

UNIVERZITET CRNE GORE  
GRAĐEVINSKI FAKULTET



Milena Janković

**IZRADA KODA ZA PRORAČUN I OPTIMIZACIJU ELEMENATA I ČVOROVA  
ČELIČNIH REŠETKI OD ŠUPLJIH HLADNO OBLIKOVANIH PROFILA,  
UZ POREĐENJE STARE I NOVE VERZIJE STANDARDA  
EN 1993-1-8  
MAGISTARSKI RAD**

Podgorica, 2021. godine

UNIVERZITET CRNE GORE  
GRAĐEVINSKI FAKULTET



Milena Janković

**IZRADA KODA ZA PRORAČUN I OPTIMIZACIJU ELEMENATA I ČVOROVA  
ČELIČNIH REŠETKI OD ŠUPLJIH HLADNO OBLIKOVANIH PROFILA,  
UZ POREĐENJE STARE I NOVE VERZIJE STANDARDA  
EN 1993-1-8  
MAGISTARSKI RAD**

Podgorica, 2021. godine

## PODACI I INFORMACIJE O MAGISTRANDU

Ime i prezime	Milena Janković
Datum i mjesto rođenja	19.06.1995, Cetinje
Naziv završenog osnovnog studijskog programa i godina završetka studija	Specijalističke studije na Građevinskom fakultetu u Podgorici, smjer konstruktivni, 2018. godine

## INFORMACIJE O MASTER RADU

Naziv postdiplomske studije	Akadske postdiplomske magistarske studije Građevinarstva
Naslov rada	Izrada koda za proračun i optimizaciju elemenata i čvorova čeličnih rešetki od šupljih hladno oblikovanih profila, uz poređenje stare i nove verzije standarda EN 1993-1-8
Fakultet/Akademija na kojem je rad odbranjen	Građevinski fakultet, Podgorica

## UDK, OCJENA I ODBRANA MASTER RADA

Datum prijave master rada	28.06.2021.
Datum sjednice Vijeća na kojoj je prihvaćena tema	25.10.2021.
Komisija za ocjenu teme i podobnosti magistranda	1. Prof. dr Radomir Zejak, dipl. inž. građ. 2. Prof. dr Duško Lučić, dipl. inž. građ. 3. Prof. dr Biljana Šćepanović, dipl. inž. građ.

Mentor

Prof. dr Duško Lučić, dipl. inž. građ.

Komisija za ocjenu rada

1. Prof. dr Radomir Zejak, dipl. inž. građ.
2. Prof. dr Duško Lučić, dipl. inž. građ.
3. Prof. dr Biljana Šćepanović, dipl. inž. građ.

Komisija za odbranu rada

1. Prof. dr Radomir Zejak, dipl. inž. građ.
2. Prof. dr Duško Lučić, dipl. inž. građ.
3. Prof. dr Biljana Šćepanović, dipl. inž. građ.

Lektor

Datum odbrane

28.12.2021.

Datum promocije

## **Predgovor**

Iz potrebe da se izmjene uvedene u eurokodovima blagovremeno usvoje i kod nas, poželjno ih je pratiti u kontinuitetu. Prvi dio ovog rada je upravo posvećen izmjenama uvedenim u standardu za projektovanje veza čeličnih konstrukcija, EN 1993-1-8.

Drugi i glavni dio ovog rada se koncentriše na izradu koda za proračun i optimizaciju čvorova rešetkastih nosača. Polazi se od ideje da pomoću ovog koda i svojih dodatnih ugrađenih funkcija program koji se koristi za proračun čvora (ovdje MS Excel) može sam odabrati profile za elemente čvora, a na osnovu presječnih sila i osne geometrije čvora. Postupak optimizacije bi dalje mogao dati ekonomski najpovoljnije profile. Razmatrani primjer je jednostavan i tiče se samo jedne konfiguracije čvora (K čvor sa razmakom, konkretno od cjevastih hladno oblikovanih profila), ali je zasad bio dovoljan da se razmotri isplativost jednog ovakvog pristupa kao i dalje mogućnosti razrade ovog koda za neke kompleksnije probleme.

Zahvaljujem se mentoru, prof. dr Dušku Lučiću, na slobodi koju mi je ukazao u toku trajanja mojih magistarskih studija, na ovom ali i na ostalim radovima koje sam odrađivala u saradnji sa njim. Vjerujem da je jedan od rijetkih profesora sa neumornim interesovanjem za bilo šta što je novo, što može da olakša, ubrza i modernizuje svaki posao.

Posebnu zahvalnost dugujem i svojoj porodici na bezrezervnoj podršci.

## Izvod rada

Standard EN 1993-1-8 (u punom nazivu: *Eurokod 3: Projektovanje čeličnih konstrukcija – Dio 1-8: Projektovanje veza*) pored tipskih modela veza: zglobnih i kontinualnih, uvodi i polukontinualni model veze kao osnov za dobijanje ekonomski povoljnijih konstrukcija. Ovaj rad se, u svom prvom dijelu, bavi izmjenama koje su u prvih osam poglavlja i aneksima nacrtane nove verzije ovog standarda (prEN 1993-1-8: 2021) uvedene u odnosu na staru (EN 1993-1-8: 2005). Drugi dio rada je posvećen izradi koda za proračun i optimizaciju čvorova rešetkastih nosača (i njihovih elemenata). Zato je bilo potrebno posebno razmotriti dosadašnja istraživanja u oblasti ovih tipova veza, kao i izmjene uvedene u devetom poglavlju prEN 1993-1-8: 2021 koje se njima bavi. Naglasak je pritom na K čvor sa razmakom napravljen od cjevastih hladno oblikovanih profila.

Kako bi se dao pregled izmjena uvedenih u nacrtu druge generacije ovog standarda, izvršeno je poređenje stare i nacrtane nove verzije EN 1993-1-8. Razmotrene su razlike između starih i novih izraza za nosivost K čvorova od cjevastih profila, kako bi se sagledalo u kojim slučajevima se starim izrazima potcjenjivala, a u kojim precjenjivala njihova nosivost. Razmotrene su mogućnosti primjene različitih add-inova kako bi se našao što jednostavniji način za formulisanje Excel fajla za proračun i optimizaciju predmetnog čvora.

Izmjene uvedene u prEN 1993-1-8: 2021 su navedene u skladu sa strukturom novog standarda. Pr EN 1993-1-8:2021 je generalno posmatrano uređeniji, opširniji i jasniji od EN 1993-1-8: 2005. Ovo se prije svega ogleda u dijelu standarda koji se bavi vezama između otvorenih profila. Izmjene uvedene u devetom poglavlju su date za one odredbe koje se odnose na sve tipove čvorova. Samo za K čvor sa razmakom napravljen od cjevastih profila, prikazani su relevantni analitički modeli loma, kao i poređenja između starih i novih izraza za nosivost. U skladu sa novim izrazima za nosivost, uspješno je izrađen kod za proračun i optimizaciju ovog čvora i njemu odgovarajućih elemenata.

Ovaj rad korisnicima stare verzije EN 1993-1-8 daje uvid u novu generaciju ovog standarda. Kod za proračun i optimizaciju K čvora sa razmakom napravljenog od cjevastih profila predstavlja tek početak aplikacije koja bi mogla da nađe svoju primjenu u svakodnevnoj praksi. Ako bi se ova aplikacija uspjela proširiti na bilo koje elemente i veze u konstrukciji, to bi moglo da svede proračun čeličnih konstrukcija u cjelini (dakle, i elemenata i veza) samo na unošenje geometrije konstrukcije i njenih opterećenja.

**Ključne riječi:** EN 1993-1-8, druga generacija eurokodova, čvorovi rešetkastih nosača, izrazi za nosivost K čvora, proračun i optimizacija K čvora.

## Abstract

Alongside the typical joint models: pinned and continuous joints, the European Standard EN 1993-1-8 (*Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1-8: Design of joints*) also considers the design of semi-continuous joints, which represents the basis for designing economically viable structures. The first part of this paper deals with the alterations made in the first eight clauses and annexes of the draft of the new version of this standard (prEN 1993-1-8: 2021) in comparison with the old version (EN 1993-1-8: 2005). The second part of this paper concentrates on the making of a code for the design and optimisation of lattice girder joints (and their members). From that arose the need to go through the available literature concerning these types of joints and also to determine the alterations made in the ninth chapter of prEN 1993-1-8:2021. The paper focuses particularly on K gap joint configurations made of cold formed circular hollow sections.

In order to have an overview of the alterations made in the draft of the second generation of this standard, a comparison between the old and the new version of EN 1993-1-8 has been made. The differences between the old and the new resistance formulas for K joints made of hollow sections have been considered in order to determine in which cases the design resistance was overestimated, and in which underestimated. Different add-ins have been considered in order to find the most simple way to make an Excel file for the design and optimisation of the subject joint.

Alterations made to prEN 1993-1-8: 2021 were listed in accordance with the structure of the new standard. Generally speaking, prEN 1993-1-8: 2021 is more organized, more extensive and clearer than EN 1993-1-8: 2005. This primarily reflects in the part of the Standard that deals with joints between open sections. Alterations made in the ninth clause of the Standard are only given for the provisions that encompass all types of lattice girder joints. Relevant analytical models of failure, as well as comparisons between the old and the now resistance formulas are shown only for the K gap joint made of circular hollow sections. In accordance with the new resistance formulas, the code for the design and optimization of this joint type and its members was successfully made.

This paper allows the users of the old version of EN 1993-1-8 an insight into the new generation of the Standard. Code for the design and optimisation of K gap joint made of circular hollow sections represents only the start of an application that could find its place in the everyday practice. If this application could be expanded to any members and joints, this could reduce the complete calculation of any steel structure (i.e., the calculation of both its members and its joints) only to the input of the general geometry of the structure and its loads.

**Keywords:** EN 1993-1-8, second generation of Eurocodes, lattice structure joints, design resistance formulas for K joints, design and optimisation of K joints.

## SADRŽAJ

<b>1</b>	<b>Uvod.....</b>	<b>1</b>
1.1	Predmet istraživanja.....	1
1.2	Motiv i ciljevi istraživanja.....	1
1.3	Hipoteza istraživanja.....	2
1.4	Naučne metode koje će biti primijenjene u istraživanju.....	2
<b>2</b>	<b>Izmjene uvedene u prvih osam poglavlja i aneksima nacrtu EN 1993-1-8.....</b>	<b>3</b>
2.1	Napomene za reference.....	3
2.2	Oblast i područje primjene (1).....	3
2.3	Termini, definicije i simboli (3).....	3
2.4	Osnove proračuna (4).....	4
2.5	Spojevi sa zavrtnjevima, zakivcima ili čepovima (5).....	6
2.6	Zavareni spojevi (6).....	16
2.7	Analiza konstrukcije (7).....	21
2.8	Konstrukcijske veze koje spajaju H ili I presjeke (8) + aneksi A, B, C i D.....	26
<b>3</b>	<b>Modeliranje čvorova rešetkastih nosača. Izmjene uvedene u devetom poglavlju nacrtu EN 1993-1-8:2021.....</b>	<b>46</b>
3.1	Modeliranje čvorova rešetkastih nosača.....	46
3.2	Izmjene uvedene u devetom poglavlju nacrtu EN 1993-1-8: 2021.....	62
<b>4</b>	<b>Izrada koda za proračun i optimizaciju čvora i njegovih elemenata.....</b>	<b>67</b>
<b>5</b>	<b>Primjena postupka optimizacije na usvojeni rešetkasti krovni nosač.....</b>	<b>76</b>
5.1	Geometrijski podaci.....	76
5.2	Opterećenja.....	76
5.3	Elementi usvojeni nakon proračuna i nakon optimizacije.....	77
5.4	Cijena rešetke nakon proračuna i nakon optimizacije.....	77
<b>6</b>	<b>Zaključak.....</b>	<b>78</b>
6.1	Zaključak – dio I.....	78
6.2	Zaključak – dio II.....	81
	<b>LITERATURA.....</b>	<b>83</b>



## 1 Uvod

### 1.1 Predmet istraživanja

U zavisnosti od postupaka koji se primjenjuju za provjeru njihove nosivosti, veze definisane u EN 1993-1-8 se mogu podijeliti u dvije grupe. U prvu grupu spadaju veze između otvorenih profila čija se nosivost provjerava komponentalnom metodom. U drugu grupu spadaju veze između šupljih (ili kombinacije šupljih i otvorenih profila). Nosivost ovih veza se provjerava mehaničkim modelima koji se prilagođavaju rezultatima eksperimentalnih i numeričkih ispitivanja. U tom smislu, rad će biti podijeljen na dvije cjeline.

Predmet istraživanja u prvom dijelu rada su izmjene uvedene u prвих 8 poglavlja i aneksima prEN 1993-1-8: 2021.

U drugom dijelu ovog rada će biti posebno razmotreno poglavlje 9 prEN 1993-1-8: 2021, *Veze šupljih presjeka*. Pored izmjena uvedenih u ovom poglavlju, daće se i pregled dosadašnjih saznanja iz ove oblasti sa naglaskom na K čvor sa razmakom. Ukratko će biti razmotren razvoj komponentalne metode u smislu njene primjene i za veze šupljih presjeka.

### 1.2 Motiv i ciljevi istraživanja

Eurokodovi predstavljaju skup standarda čija se izmjena i unapređenje mogu očekivati i u narednim godinama. Jedan od ciljeva izrade ovog rada je da korisnici prethodne verzije EN 1993-1-8 imaju jasan pregled svih izmjena uvedenih u novoj verziji predmetnog standarda.

Kako su pravila jednog eurokoda u stvari samo proizvod opsežnih istraživanja, ne može se očekivati da su to uvijek jedina ili „najbolja“ pravila za primjenu. S obzirom i na ograničenost informacija datih u jednom eurokodu, vrlo je vjerovatno da će korisnik morati da se služi i dodatnom literaturom. Sama formulacija eurokodova to dozvoljava. Prema tome, glavni motiv za izradu ovog rada je da se sagledaju i uporede dosadašnja istraživanja i modeli nosivosti K čvorova sa razmakom napravljenih od šupljih profila.

Prilikom izrade koda, biće primijenjeni modeli nosivosti dati u prEN 1993-1-8: 2021. Po završetku proračuna, biće dato rješenje sa najmanjim utroškom materijala. Programu će biti omogućeno da, prilikom optimizacije, bira između tri različite klase čelika kako za pojas tako i za elemente ispune. Time će se prvobitno rješenje usmjeriti ka ekonomski isplativijem rješenju (što sigurno ne mora biti rješenje sa najmanjim utroškom materijala). Program će, po završenom postupku proračuna ili optimizacije, naznačavati i koji oblik loma je mjerodavan za dobijeno rješenje. Dakle, drugi cilj ovog rada je da se omogući usvajanje elemenata čvora samo na osnovu presječnih sila, a da se

potom, postupkom optimizacije, ti elementi zamijene sa nekim ekonomski isplativijim (ako ih ima).

### **1.3 Hipoteza istraživanja**

Osnovna hipoteza ovog istraživanja je da se postupkom optimizacije čvorova (i njima odgovarajućih elemenata) mogu uvijek dobiti najracionalnija rješenja čvorova za presječne sile koje se u njima javljaju. Da li će dobijeno rješenje biti najracionalnije ili samo bolje u odnosu na prvobitno zavisi, sa jedne strane, od načina na koji je formulisan problem optimizacije, a sa druge od mogućnosti programa koji se koristi za optimizaciju.

### **1.4 Naučne metode koje će biti primijenjene u istraživanju**

Prilikom izrade magistarskog rada biće primijenjene sljedeće metode:

- Proračunske metode – za analizu konkretnog inženjerskog problema, prateći metodologiju standarda MEST EN 1990: 2013, MEST EN 1991-1-1: 2017, MEST EN 1991-1-3: 2017, MEST EN 1991-1-4: 2016, nacrti EN 1993-1-1: 2020 i nacrti EN 1993-1-8: 2021.
- Komparativne metode – za poređenje različitih modela nosivosti čvora.
- Metode kompjuterskog modeliranja – specijalizovani softveri će biti korišćeni za izradu koda za proračun i optimizaciju, kao i za provjeru tačnosti dobijenih parametara čvora prije i nakon njegove optimizacije.

Za testiranje hipoteze će biti korišćena analiza koja se po svojoj složenosti može definisati kao elementarno-kauzalna, a po cilju komparativna.

Za izvođenje zaključaka će biti korišćena deduktivna metoda.

## 2 Izmjene uvedene u prvih osam poglavlja i aneksima nacрта EN 1993-1-8

### 2.1 Napomene za reference

Naredni tekst sadrži odredbe EN 1993-1-8: 2005 (Technical Committee CEN/TC 250 “Structural Eurocodes”, 2005) i prEN 1993-1-8: 2021 (Technical Committee CEN/TC 250 “Structural Eurocodes”, 2021).

Broj u zagradi na kraju svakog naslova odnosi se na odgovarajuće poglavlje/potpoglavlje prEN 1993-1-8: 2021.

Ako tačka pripada prEN 1993-1-8: 2021, to je naznačeno odgovarajućim brojem na početku tačke. Ako je tačka pritom izmijenjena i/ili dopunjena u odnosu na odgovarajuću tačku EN 1993-1-8:2005, to je naznačeno na kraju tačke sa **i** i/ili **d** i brojem odgovarajuće tačke u EN 1993-1-8:2005. Ako je tačka nova, to je naznačeno na kraju tačke sa **n**.

Ako je tačka pripadala EN 1993-1-8:2005, a više ne postoji u prEN 1993-1-8:2021, to je naznačeno na kraju tačke sa **u** i brojem odgovarajuće tačke u EN 1993-1-8:2005.

Ako tačka nije izmijenjena, već predstavlja reference neke prethodne tačke, na kraju tačke nema naznaka.

Sadržaj tačaka, slike i tabele su numerisani u skladu sa odgovarajućim eurokodom.

### 2.2 Oblast i područje primjene (1)

**1.1(1):** Ovaj dokument daje metode proračuna za veze koje su izložene pretežno statičkom opterećenju, a izvedene su od čelika svih klasa od S235 do i uključujući S700, sem ako nije drugačije navedeno u pojedinačnim tačkama. (**i, 1.1(1)**)

**1.2(1):** Za ovaj dokument važe pretpostavke iz EN 1990 i EN 1993-1-1. (**n**)

### 2.3 Termini, definicije i simboli (3)

#### 3.1.9: injektirani zavrtnaj

Posebno spojno sredstvo kod kojeg je omogućeno punjenje slobodnog prostora između zavrtnja i unutrašnje površine rupe injektiranjem smole kroz malu rupu u glavi zavrtnja. Nakon injektiranja i završetka njege smole, ponašanje spoja sa ovim zavrtnjevima je slično ponašanju spoja sa upasovanim zavrtnjevima, zavisno od deformacionih svojstava utegnutog injektiranog materijala. (**n**)

### 3.1.11: prostorna veza

Veza koja spaja elemente rešetkaste konstrukcije koji se nalaze u dvije ili više ravni. (n)

### 3.1.12: koncentrično smičuće opterećenje:

Unutrašnje aksijalno ili smičuće opterećenje koje ne proizvodi moment savijanja na grupi zavrtnjeva. (n)

## 2.4 Osnove proračuna (4)

### 2.4.1 Opšti zahtjevi (4.1)

**4.1.1(P):** Proračunska nosivost veza mora biti takva da konstrukcija zadovoljava sve opšte zahtjeve EN 1990 i posebne proračunske odredbe date u EN 1993-1-1. (n)

**4.1.2(P):** Čelične konstrukcije projektovane prema EN 1993 treba izvesti prema EN 1090-2 i/ili EN 1090-4. (n)

### 2.4.2 Proračunske pretpostavke (4.2)

**4.2(4):** Za proračun veza smije se koristiti linearno-elastična ili elasto-plastična analiza. Za klase čelika više od S460 treba da se pretpostavi elastična raspodjela sila u vezi. Pravila za primjenu elasto-plastične analize za proračun veza i plastične globalne analize konstrukcije za klase čelika više od S460 mogu biti određena u nacionalnom aneksu. (d, 2.4(2))

### 2.4.3 Konstrukcijska svojstva veza (4.3)

**4.3.1(2):** Konstrukcijska svojstva veza se smiju odrediti analitički ili analizom primjenom konačnih elemenata. EN 1993-1-14 daje metodu za određivanje konstrukcijskih svojstava veza koja se zasniva na konačnim elementima. (n)

**4.3.1(3):** Ako se u analizi primjenom konačnih elemenata uzme u obzir nelinearnost materijala, u skladu sa EN 1993-1-14, gdje se male deformacije definišu kao prvi izvod pomjeranja, maksimalna dozvoljena glavna deformacija usljed zatezanja u elasto-plastičnom modelu materijala za čelične limove koji predstavljaju dio veze ne treba da pređe 5% prilikom provjere graničnog stanja nosivosti. (n)

**4.3.2(1)P:** Parcijalni faktori  $\gamma_M$  navedeni u tabeli 4.1 treba da se koriste za određivanje proračunske nosivosti različitih komponenti u vezama.

Tabela 4.1 — Parcijalni faktori (d, tabela 2.1)

Konstrukcijska komponenta	Parcijalni faktor
Nosivost elemenata i poprečnih presjeka	$\gamma_{M0}$ , $\gamma_{M1}$ i $\gamma_{M2}$ , vidjeti EN 1993-1-1
Nosivost zavrtnjeva	$\gamma_{M2}$
Nosivost zakivaka	
Nosivost čepova	
Nosivost šavova	
Nosivost limova na pritisak po omotaču rupe	
Nosivost na proklizavanje	$\gamma_{M3}$
- pri graničnom stanju nosivosti (Kategorija C)	
- pri graničnom stanju upotrebljivosti (Kategorija B)	$\gamma_{M3,ser}$
Nosivost injektiranog zavrtnja na pritisak po omotaču rupe	$\gamma_{M4}$
Nosivost veza u rešetkastom nosaču od šupljih presjeka	$\gamma_{M5}$
Nosivost čepova pri graničnom stanju upotrebljivosti	$\gamma_{M6,ser}$
Prednaprezanje visokovrijednih zavrtnjeva	$\gamma_{M7}$
Nosivost betona	$\gamma_c$ , vidjeti EN 1992
Vezna nosivost	$\gamma_{Mu}$

Vrijednosti za  $\gamma_M$  su sljedeće:  $\gamma_{M2} = 1.25$ ;  $\gamma_{M3} = 1.25$  i  $\gamma_{M3,ser} = 1.1$ ;  $\gamma_{M4} = 1.0$ ;  $\gamma_{M5} = 1.0$ ;  $\gamma_{M6,ser} = 1.0$ ;  $\gamma_{M7} = 1.1$ ;  $\gamma_{Mu} = 1.1$ , osim ako nacionalni aneks ne da drugačije vrijednosti.

U izrazima za proračun veza šupljih presjeka u tački 9 koristi se  $\gamma_{M5} = 1.0$  zato što su, prilikom određivanja proračunskih čvrstoća, karakteristične nosivosti kojima se uzima u obzir rasipanje u ispitnim podacima i varijacije u uticajnim promjenjivim, već podijeljene faktorom  $\gamma_M$  koji zavisi od oblika loma, tj:

- $\gamma_{M0} = 1.0$  za proračunsku nosivost koja se zasniva na analitičkoj analizi sa duktilnim oblikom loma koji daje donju granicu ispitnih podataka;
- $\gamma_{M1} = 1.1$  za proračunsku nosivost koja se zasniva na (semi) empirijskoj analizi sa duktilnim oblikom loma;

- $\gamma_{M2} = 1.25$  primijenjeno na  $f_u$  da bi se dobilo  $0.8 f_u$  ako je niže od  $f_y$  za proračunsku nosivost koja se zasniva na manje duktilnom obliku loma koji dovodi do prskanja ili pucanja, npr. smičući lom na čupanje pojasa ili efektivna širina elementa ispune. **(d, 2.2(2))**

## 2.5 Spojevi sa zavrtnjevima, zakivcima ili čepovima (5)

### 2.5.1 Spojevi sa zavrtnjevima (5.4)

**5.4.1(1):** Spojevi sa zavrtnjevima opterećeni na smicanje (smičući spojevi) treba da se projektuju kao:

#### a) Kategorija A: pritisak po omotaču rupe

Treba da se koriste zavrtnjevi klase čvrstoće od 4.6 do i uključno sa 10.9. Ne zahtijeva se prednaprezanje niti ima posebnih odredbi u pogledu kontaktnih površina. Treba koristiti zavrtnjeve u običnim kružnim rupama ili ovalnim rupama, gdje je podužna osa ovalne rupe upravna na pravac sile. Dimenzije rupe ne treba da pređu vrijednosti naznačene u 6.6 EN 1090-2: 2018.

#### b) Kategorija B: spojevi otporni na proklizavanje pri graničnom stanju upotrebljivosti

Treba koristiti prednapregnute zavrtnjeve sa kontrolisanim pritezanjem u skladu sa zahtjevima datim u 8.5 EN 1090-2: 2018. Treba koristiti zavrtnjeve u običnim kružnim rupama ili ovalnim rupama, gdje je podužna osa ovalne rupe upravna na pravac sile. Dimenzije rupe ne treba da pređu vrijednosti naznačene u 6.6 EN 1090-2: 2018.

#### c) Kategorija C: spojevi otporni na proklizavanje pri graničnom stanju nosivosti

Treba koristiti prednapregnute zavrtnjeve sa kontrolisanim pritezanjem u skladu sa zahtjevima datim u 8.5 EN 1090-2: 2018. **(i, 3.4.1(1))**

**5.4.5(7):** Pravila koja su data za spojeve sa priključnim ugaonicima ne važe za čelike klasa viših od S460. **(n)**

### 2.5.2 Položaj rupa za zavrtnjeve i zakivke (5.6)

U tabeli 5.6: *Minimalni i maksimalni razmaci između spojnih sredstava, rastojanja od kraja i ivice* prEN 1993-1-8:2021 u odnosu na tabelu 3.3: *Minimalni i maksimalni razmaci između spojnih sredstava, rastojanja od kraja i ivice* EN 1993-1-8:2005, dodatno su definisane i minimalne vrijednosti smaknutih razmaka kod zategnutih elemenata,  $p_{1,0}$  i  $p_{1,i}$ , i obje iznose  $2,2d_0$ . **(i, tabela 3.3)**

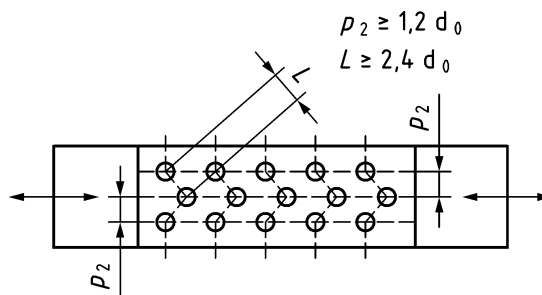
## 2.5.3 Proračunska nosivost pojedinačnih spojnih sredstava izloženih smicanju, pritisku po omotaču rupe i/ili zatezanju (5.7)

### 2.5.3.1 Zavrtnjevi i zakivci u običnim kružnim, rupama sa velikim zazorom ili ovalnim rupama (5.7.1)

Tabela 5.7 — Proračunska nosivost pojedinačnih spojnih sredstava u običnim kružnim rupama izloženih smicanju i/ili zatezanju (i, d, tabela 3.4)

Tip loma	Zavrtnjevi	Zakivci
Nosivost na smicanje za jednu ravan smicanja <sup>a</sup>	<p>Ako su navoji dio ravni smicanja (<math>A_s</math> je površina ispitnog presjeka zavrtnja):</p> $F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}}$ <p>- za klase čvrstoće 4.6, 5.6 i 8.8: <math>\alpha_v = 0.6</math></p> <p>- za klase čvrstoće 4.8, 5.8, 6.8 i 10.9: <math>\alpha_v = 0.5</math></p> <p>Ako navoji nijesu dio ravni smicanja (<math>A</math> je bruto površina poprečnog presjeka zavrtnja):</p> $F_{v,Rd} = \frac{0.6 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}}$	$F_{v,Rd} = \frac{0.6 f_{ur} A_0}{\gamma_{M2}}$ <p>(<math>A_0</math> je površina rupe zakivka)</p>
Nosivost na pritisak po omotaču rupe <sup>b,c,d,e</sup>	$F_{b,Rd} = \frac{k_m \alpha_b f_u d t}{\gamma_{M2}}$ <p>gdje je:</p> <p>- za zavrtnjeve u krajnjim redovima: <math>\alpha_b = \min\left(\frac{e_1}{d_0}; 3 \frac{f_{ub}}{f_u}; 3\right)</math></p> <p>- za zavrtnjeve u unutrašnjim redovima: <math>\alpha_b = \min\left(\frac{p_1}{d_0} - \frac{1}{2}; 3 \frac{f_{ub}}{f_u}; 3\right)</math></p> <p>Za klase čelika jednake ili više od S460 <math>k_m = 0.9</math></p> <p>U suprotnom <math>k_m = 1</math></p>	
Nosivost na zatezanje <sup>b</sup>	$F_{t,Rd} = \frac{0.9 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}}$	$F_{t,Rd} = \frac{0.6 f_{ur} A_0}{\gamma_{M2}}$ <p><math>F_{t,Rd}</math> treba pomnožiti sa 0.7 za zakivke sa upuštenom glavom.</p>
Nosivost na probijanje smicanjem lima	<p>Za zavrtnjeve sa upuštenom glavom:</p> $B_{p,Rd} = \frac{0.3\pi(d_0 + t_p)t_p f_u}{\gamma_{M2}}$ <p>U suprotnom</p> $B_{p,Rd} = \frac{0.6\pi d_m t_p f_u}{\gamma_{M2}}$	<p>Za zakivke sa upuštenom glavom, pogledati izraz za zavrtnjeve.</p>

		U suprotnom, provjera nije potrebna.
<b>Kombinovano smicanje i zatezanje<sup>f</sup></b>	$\left(\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}}\right) + \left(\frac{F_{t,Ed}}{1.4F_{t,Rd}}\right) \leq 1 \text{ ali } \frac{F_{t,Ed}}{F_{t,Rd}} \leq 1.$	
<p><sup>a</sup> Vidjeti i 5.7.1(11), 5.7.1(13) i 5.7.3 (5.7.3(1) i 5.7.3(2)).</p> <p><sup>b</sup> Za zavrtnaj sa upuštenom glavom:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- nosivost na pritisak po omotaču rupe <math>F_{b,Rd}</math> treba da se zasniva na debljini lima <math>t</math> koja je jednaka debljini spojenog lima minus polovina dubine upuštanja;</li> <li>- za proračun nosivosti na zatezanje zavrtnjeva sa upuštenom glavom <math>F_{t,Rd}</math> ugao i dubina upuštanja treba da budu u saglasnosti sa relevantnim standardima: svim djelovima EN 14399, djelovima 1 i 2 EN 15048 i standardima datim u EN 1090-2, u suprotnom, nosivost na zatezanje <math>F_{t,Rd}</math> treba da bude modifikovana zamjenjujući 0.9 u izrazu za nosivost na zatezanje <math>F_{t,Rd}</math> sa 0.63.</li> </ul> <p><sup>c</sup> Za smaknute rupe, <math>p_1</math> treba zamijeniti minimumom između <math>p_1</math> i rastojanja <math>L</math> koji su dati na slici 5.3.</p> <p><sup>d</sup> Vidjeti i 5.7.1(9), 5.7.1(15) i 5.7.1(16).</p> <p><sup>e</sup> Za zavrtnjeve ivičnih redova u spojevima, proračunska nosivost na pritisak po omotaču rupe ne treba da pređe proračunsku graničnu nosivost određenu prema formuli (5.16).</p> <p><sup>f</sup> Spojeve sa zakivcima treba projektovati tako da prenose smičuće sile. Ukoliko je prisutno zatezanje, proračunska sila zatezanja <math>F_{t,Ed}</math> ne treba da pređe proračunsku nosivost na zatezanje za zakivke <math>F_{t,Rd}</math>.</p>		



**Slika 5.3(b) — Smaknuti redovi spojnih sredstava: simboli za smaknute razmake (izdvojeno iz slike 5.3 – Simboli za rastojanja od kraja ivice i razmake spojnih sredstava)**

**5.7.1(4):** Kada se duktilnost pri GSN obezbjeđuje deformacijama usljed gnječenja omotača rupe, proračunska nosivost zavrtnja na smicanje  $F_{v,Rd}$ , uzimajući u obzir broj ravni smicanja, treba da bude veća od proračunske nosivosti na pritisak po omotaču rupe  $F_{b,Rd}$  pomnožene sa 0.8. Tečenje na mjestu rupe progresira kada pritisak po omotaču rupe pređe 0.8 od nosivosti na pritisak po omotaču rupe  $F_{b,Rd}$  određene prema tabeli 5.7. Povećanje pritiska po omotaču rupe iznad ove vrijednosti je vezano za plastičnu deformaciju rupe. **(n)**



**5.7.1(5):** Kada je potrebno ograničiti deformacije usljed gnječenja omotača rupe,  $F_{b,Rd}$  treba redukovati. U tim slučajevima  $\alpha_b$  treba zamijeniti sa  $\alpha_{b,red}$ :

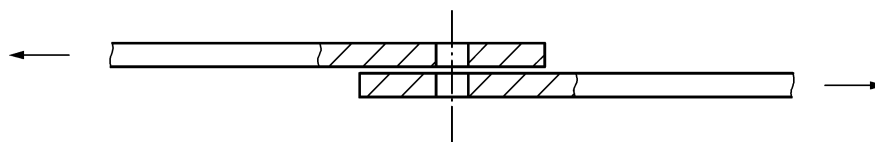
$$\alpha_{b,red} = \min(0.8\alpha_b; 2) \quad (5.1)$$

Ovime se deformacije na rupama ograničavaju na  $d/6$ . Ove deformacije mogu predstavljati problem kada je npr. mjerodavna stabilnost konstrukcije, u momentnim vezama, u spojevima projektovanim za laku demontažu i/ili ponovnu upotrebu. **(n)**

**5.7.1(7):** Uticaj prednaprezanja na varijaciju sile u zavrtnju se ne razmatra prilikom proračuna zategnutih spojeva pod statičkim opterećenjem, ali će možda biti potrebno da se uzme u obzir u slučaju opterećenja na zamor. **(n)**

**5.7.1(9):** Kod veza sa jednostranim preklopom i jednim redom zavrtnjeva postavljenih u pravcu dejstva sile (slika 5.4), zavrtnjevi treba da imaju podloške i ispod glave i ispod navrtke. Proračunska nosivost na pritisak po omotaču rupe  $F_{b,Rd}$  za svaki zavrtnanj ne treba da pređe vrijednost određenu sljedećim izrazom:

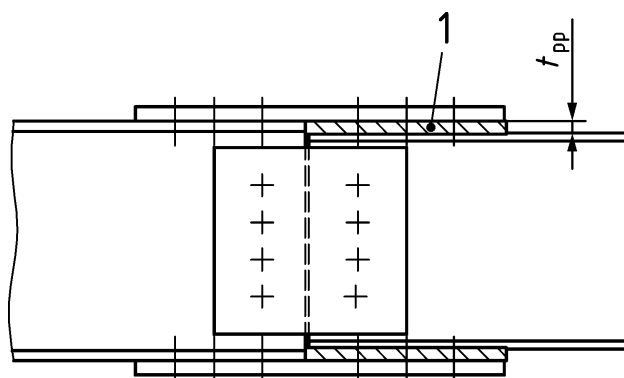
$$F_{b,Rd} = \frac{1.5 d t f_u}{\gamma_{M2}} \quad (5.3)$$



**Slika 5.4 — Veza sa jednostranim preklopom i jednim redom zavrtnjeva**

**5.7.1(11):** Ukupna debljina podmetača  $t_{pp}$  u ravni smicanja ne treba da pređe  $4d/3$ , gdje je  $d$  nominalni prečnik zavrtnjeva ili zakivaka. Kada zavrtnjevi ili zakivci koji prenose smičuće opterećenje i pritisak po omotaču rupe prolaze kroz podmetač ukupne debljine  $t_{pp}$  veće od  $d/3$ , (slika 5.5), proračunsku nosivost na smicanje  $F_{v,Rd}$  određenu prema tabeli 5.7 treba pomnožiti faktorom  $\beta_p$  datim sa:

$$\beta_p = \frac{9d}{8d + 3t_{pp}} \text{ ali } \beta_p \leq 1 \quad (5.4) \text{ (d, 3.6.1(12))}$$

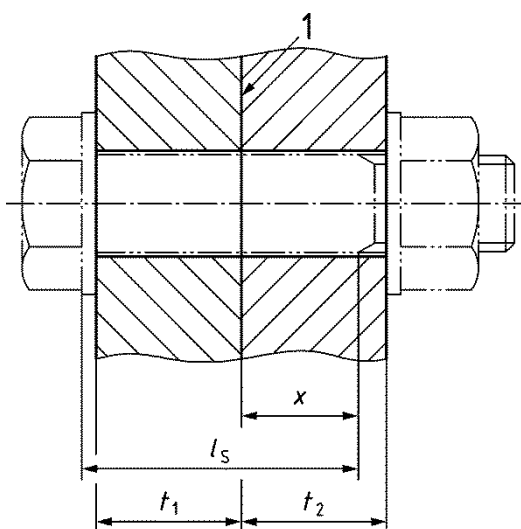


### Legenda

1 podmetači

Slika 5.5 — Spojna sredstva koja prolaze kroz podmetače

**5.7.1(13):** Nosivost na smicanje se može odrediti za bruto poprečni presjek zavrtanja ( $A$ ) ukoliko tijelo zavrtanja prolazi kroz smičuću ravan za najmanje  $x = \max(0.1 d; 0.5 t_2)$ , gdje  $x$  predstavlja rastojanje od ravni smicanja do početka prelazne zone,  $d$  je prečnik zavrtanja, a  $t_2$  je debljina lima (slika 5.6).



### Legenda

1 ravan smicanja

Slika 5.6 — Dužina  $x$  – rastojanje ravni smicanja do početka prelazne zone u jednosječnom smičućem spoju ( $n$ )

Prelazna zona zavrtanja je zona između bruto poprečnog presjeka zavrtanja ( $A$ ) i površine ispitnog presjeka zavrtanja ( $A_s$ ). (**n**)

**5.7.1(15):** Proračunsku nosivost na pritisak po omotaču rupe  $F_{b,Rd}$  za zavrtnjeve u ovalnim rupama, gdje je podužna osa ovalne rupe upravna na pravac prenošenja sile, treba pomnožiti sa faktorom  $k_b$ , koji je dat kao:

$$k_b = 0.9 \quad \text{za kratke ovalne rupe}$$

$$k_b = 0.375\alpha_b + 0.15 \text{ ali } k_b \leq 0.9 \quad \text{za duge ovalne rupe (ukupne dužine ne veće od } 2.5d)$$

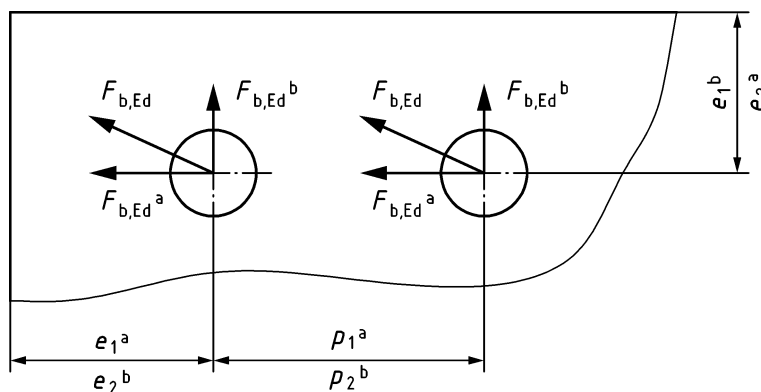
$$k_b = 0.375\alpha_b \text{ ali } k_b \leq 0.9 \quad \text{za veoma duge ovalne rupe (ukupne dužine ne veće od } 3.5d)$$

Za dimenzije rupa se može pogledati 6.6 EN 1090-2: 2018. **(i, tabela 3.4)**

**5.7.1(16):** Kada rezultujuća sila koja djeluje na zavrtnaj ili zakivak nije ni paralelna ni upravna na ivicu lima, proračunska nosivost na pritisak po omotaču rupe treba da zadovolji sljedeće:

$$\left[ \frac{F_{b,Ed}^{(1)}}{F_{b,Rd}^{(1)}} \right]^2 + \left[ \frac{F_{b,Ed}^{(2)}}{F_{b,Rd}^{(2)}} \right]^2 \leq 1.0 \quad (5.6)$$

gdje se sila razlaže na dvije međusobno ortogonalne komponente (slika 5.7). Proračunske nosivosti na pritisak po omotaču rupe u ortogonalnim pravcima treba odrediti prema tabeli 5.7. **(i, tabela 3.4)**



a pravac 1

b pravac 2

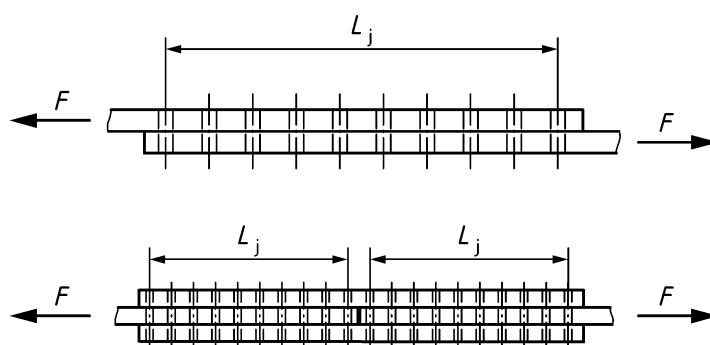
**Slika 5.7 — Pritisak po omotaču rupe koji djeluje u dva pravca (n)**

### 2.5.3.2 Dugačke veze (5.7.3)

**5.7.3(1):** Kada je rastojanje  $L_j$  između centara krajnjih spojnih sredstava u vezi, mjereno u pravcu prenosa sile (slika 5.9), veće od  $15d$ , proračunsku nosivost grupe spojnih sredstava, određenu prema 5.8(1), treba pomnožiti sa faktorom  $\beta_{Lf}$  datim na sljedeći način:

$$\beta_{Lf} = 1 - \frac{L_j - 15d}{200d} \text{ ali } 0.75 \leq \beta_{Lf} \leq 1.0 \quad (5.7) \text{ (i, 3.8(1))}$$

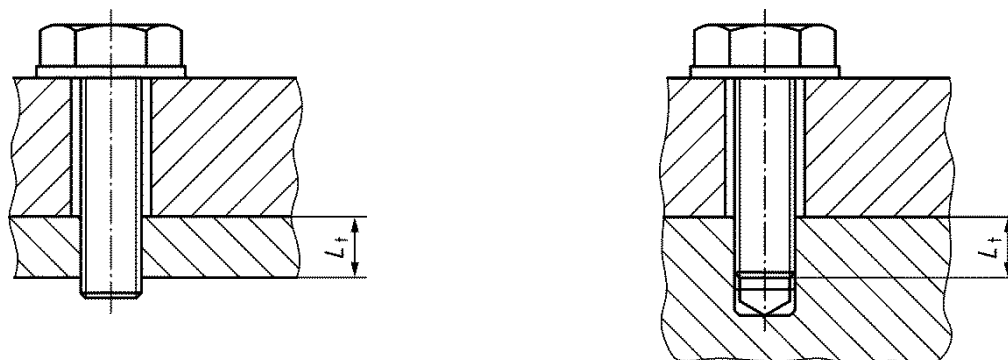
**5.7.3(2):** Odredba 5.7.3(1) se ne primjenjuje ako je prenos opterećenja po čitavoj dužini veze, npr. prenos smičuće sile između rebra i nožice presjeka, ravnomjeran.



Slika 5.9 — Dugačke veze

### 2.5.3.3 Zavrtnjevi u rupama s navojem (5.7.4)

**5.7.4(1):** Minimalni odnos dužine nošenja navojnog para  $L_t$  i prečnika zavrtnja  $d$  za zavrtnjeve koji se koriste u slijepim rupama s navojem (slika 5.10b)) ili prolaznim rupama s navojem (slika 5.10a)) treba da zadovolji vrijednosti date u tabeli 5.8.



a) Zavrtnanj u prolaznoj rupi sa navojem

b) Zavrtnanj u slijepoj rupi sa navojem

Slika 5.10 — Dužine nošenja za zavrtnanj u slijepoj rupi sa navojem i prolaznoj rupi sa navojem (n)

**Tabela 5.8 — Minimalni odnosi dužina nošenja navojnog para  $L_t$  i prečnika zavrtnja  $d$  za zavrtnjeve M12 do M36 (n)**

Klasa čelika/Čvrstoća zavrtnja	$L_t/d$ za čelik klase		
	S235	S355	$\geq$ S460
4.6	1.00	1.00	1.00
5.6	1.02	1.00	1.00
8.8	1.34	1.11	1.06
10.9	1.58	1.26	1.19

U nacionalnom aneksu mogu biti definisane preciznije metode za proračun minimalne dužine nošenja navojnog para  $L_t$ .

Minimalne vrijednosti dužine nošenja navojnog para  $L_t$  mogu da budu određene u nacionalnom aneksu. **(n)**

**5.7.4(2):** Proračunske nosivosti pojedinačnih zavrtnjeva u slijepoj rupi sa navojem ili prolaznoj rupi sa navojem izloženih smicanju i/ili zatezanju treba odrediti prema tabeli 5.7. **(n)**

**5.7.4(3):** Izrada slijepih rupa sa navojem ili prolaznih rupa sa navojem treba da bude u skladu sa zahtjevima datim u 5.7.4(4) do 5.7.4(6).

Dodatni zahtjevi za izvođenje mogu biti određeni u nacionalnom aneksu. **(n)**

**5.7.4(4):** Za izradu prolaznih rupa, rupe-vođice treba da imaju prečnik manji od nazivnog prečnika zavrtnja umanjenog za korak navoja. Za slijepu rupe, ukupna dubina rupe-vođice treba da omogući izvođenje dužine nošenja sa cjelokupnim navojem, uzimajući u obzir mogućnosti obrade alatom. Maksimalno odstupanje u odnosu na ortogonalnu osu iznosi  $1^\circ$ . Neravnine proizvedene u postupcima mašinske obrade treba ukloniti. **(n)**

**5.7.4(5):** Za zavrtnjeve bez prevlake, navoji treba da budu u skladu sa klasom tolerancije 6H prema ISO 261 i ISO 965-2. Ako je prevlaka obezbijedena na zavrtnju ili navrtki (npr. pocinčavanje), navoji treba da budu u skladu sa klasom tolerancije 6H ili 6AZ prema ISO 261 ili ISO 965-5, u zavisnosti od specifikacije prevlake. Zavrtnjevi treba da budu u skladu sa zahtjevima datim u EN 1090-2. **(n)**

**5.7.4(6):** Komplet zavrtnjeva za rupe sa navojima treba da bude u skladu za zahtjevima:

- EN 15048 serije za primjenu neprednapregnutih zavrtnjeva;
- EN 14399-2 za primjenu prednapregnutih zavrtnjeva. **(n)**

#### 2.5.4 Proračunska nosivost na cijepanje bloka (5.10)

**5.10(1):** Cijepanje bloka treba izbjeći.

Cijepanje bloka obuhvata smičući lom na liniji rupa za zavrtnjeve, a po smičućoj površini grupe zavrtnjeva, praćen lomom na zatezanje duž linije rupa za zavrtnjeve, a po zategnutoj površini grupe zavrtnjeva, (slike 5.13 i 5.14). **(d, 3.10.2(1))**

**5.10(3):** Za grupu zavrtnjeva kod koje je napon zatezanja na zategnutoj površini ravnomjeran (slika 5.13), proračunsku nosivost na cijepanje bloka  $V_{\text{eff},1,Rd}$  treba odrediti prema:

$$V_{\text{eff},1,Rd} = \left[ A_{nt}f_u + \min \left( \frac{A_{gv}f_y}{\sqrt{3}}; \frac{A_{nv}f_u}{\sqrt{3}} \right) \right] / \gamma_{M2} \quad (5.14)$$

gdje je

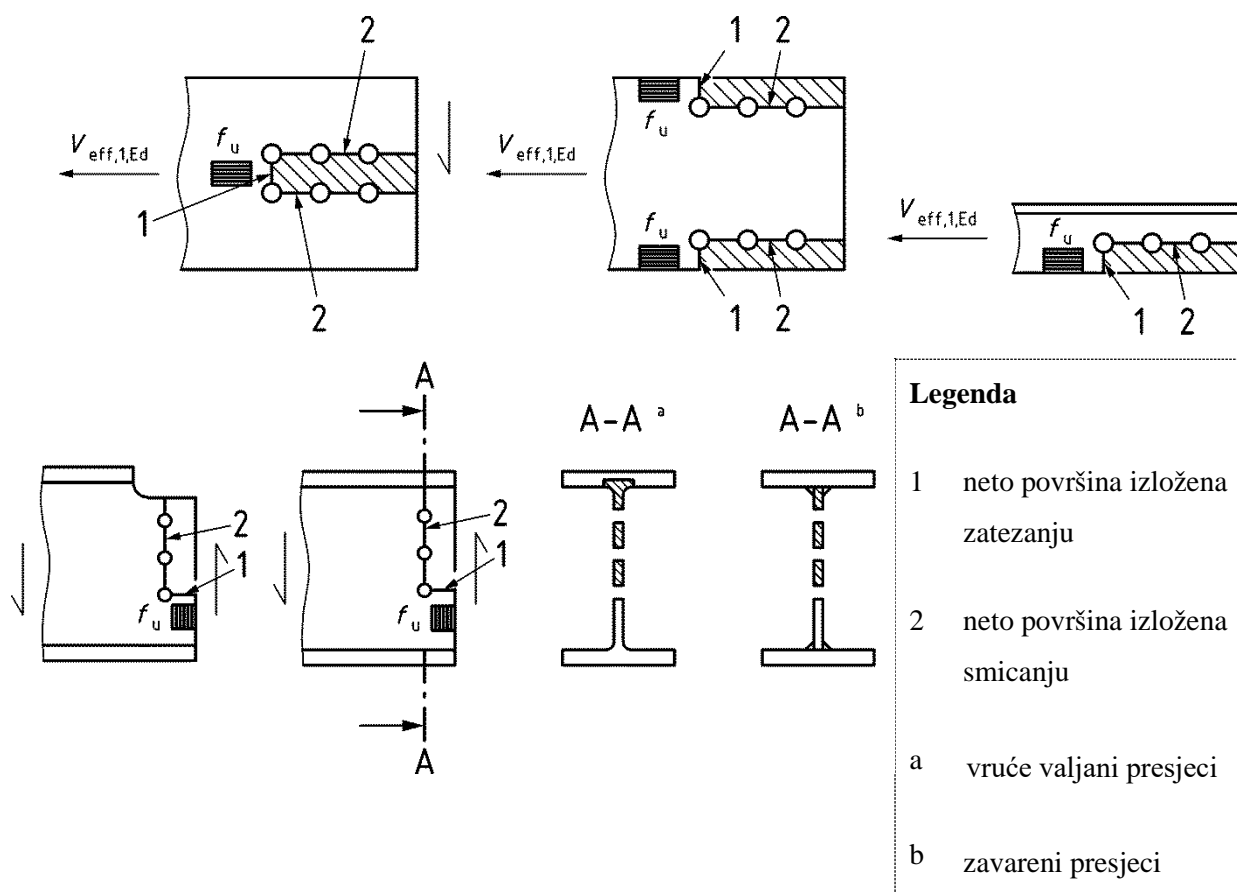
$A_{nt}$  neto površina izložena zatezanju;

$A_{gv}$  bruto površina izložena smicanju;

$A_{nv}$  neto površina izložena smicanju. **(i,3.10.2(2))**

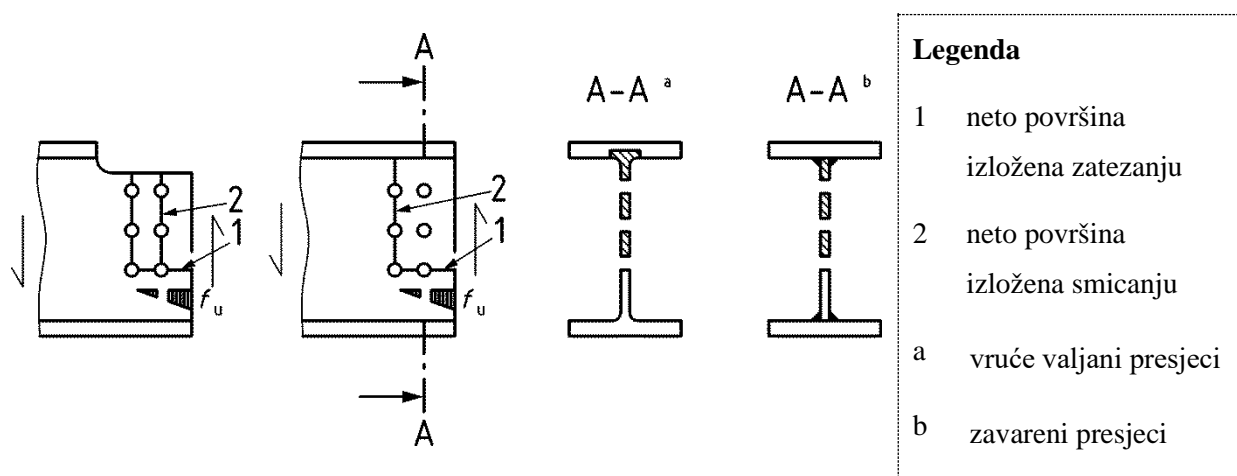
**5.10(4):** Za grupu zavrtnjeva kod koje je napon zatezanja na zategnutoj površini neravnomjeran (slika 5.14), proračunska nosivost na cijepanje bloka smicanjem  $V_{\text{eff},2,Rd}$  treba da se odredi prema:

$$V_{\text{eff},2,Rd} = \left[ 0,5A_{nt}f_u + \min \left( \frac{A_{gv}f_y}{\sqrt{3}}; \frac{A_{nv}f_u}{\sqrt{3}} \right) \right] / \gamma_{M2} \quad (5.15) \text{ (i, 3.10.2(3))}$$



Površinu smicanja treba odrediti prema 8.2.6(3) prEN 1993-1-1:2020.

**Slika 5.13 — Primjeri cijepanja bloka, kod kojih je napon zatezanja na zategnutoj površini ravnomjeran (i, slika 3.8)**



Površinu smicanja treba odrediti prema 8.2.6(3) prEN 1993-1-1:2020.

**Slika 5.14 — Primjeri cijepanja bloka, kod kojih je napon zatezanja na zategnutoj površini neravnomjeran (i, slika 3.8)**

## 2.5.5 Proračunska nosivost ugaonika spojenih preko jednog kraka i drugih nesimetrično spojenih zategnutih elemenata (5.11)

**5.11(2):** Jedan zategnuti ugaonik spojen pomoću jednog reda zavrtnjeva na jednom kraku (slika 5.15a) smije se tretirati kao element opterećen centričnom silom smicanja, za koji proračunsku graničnu nosivost treba odrediti na sljedeći način:

za slučaj spajanja pomoću  
jednog zavrtnja

$$N_{u,Rd} = \frac{2(e_2 - 0.5d_0)tf_u}{\gamma_{M2}} \quad (5.16)$$

za slučaj spajanja pomoću  
više zavrtnjeva

$$N_{u,Rd} = \min \left( \frac{0.75A_{net}f_u}{\gamma_{M2}}; V_{eff,1,Rd} \right) \quad (5.17)$$

$A_{net}$  neto površina ugaonika, za ugaonik sa nejednakim kracima povezan preko kraćeg kraka,  $A_{net}$  treba usvojiti kao neto površinu presjeka ekvivalentnog jednakokrakog ugaonika veličine kraka jednake kraćem kraku;

$V_{eff,1,Rd}$  predstavlja proračunsku nosivost na smicanje bloka, datu izrazom (5.14). (**i, 3.10.3(2)**)



a) ugaonik spojen pomoću jednog reda zavrtnjeva

b) ugaonik spojen pomoću više redova zavrtnjeva

Slika 5.15 — Ugaonici spojeni preko jednog kraka (i, slika 3.9)

## 2.6 Zavareni spojevi (6)

### 2.6.1 Opšte (6.1)

**6.1(1):** Odredbe tačke 6 primjenjuju se na zavarive konstrukcijske čelike koji su u skladu sa EN 1993-1-1 i debljine materijala jednake ili veće od 3 mm.

Smjernice za šavove kod tanjih materijala su date u EN 1993-1-3.

Za šavove kod konstrukcijskih šupljih profila debljine materijala 1.5 mm i preko 1.5mm, smjernice su date u tački 9.



Smjernice za zavarivanje moždanika su date u EN 1994-1-1.

Dalje smjernice za zavarivanje moždanika mogu se naći u EN ISO 14555 i EN ISO 13918.  
(i, 4.1(1))

### 2.6.2 Dodatni materijal za zavarivanje (6.2)

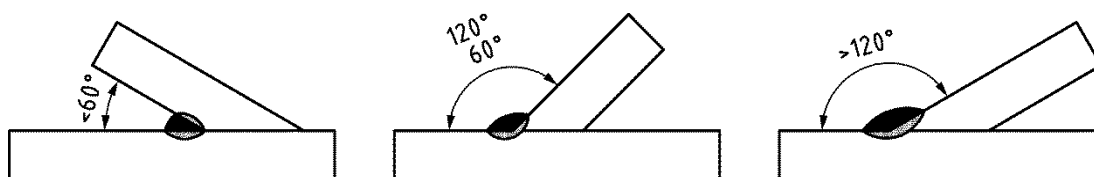
6.2(2): Za klase čelika do S460, granica razvlačenja, čvrstoća pri zatezanju, izduženje pri lomu i najmanja energija loma pri ispitivanju Charpy-jevim klatnom za dodatni materijal treba da budu iste ili bolje od vrijednosti naznačenih za slabiji osnovni metal. Osnovni metal znači isto što i sastavni materijal prema EN 1090-1. (i, 4.2(2))

6.2(3): Za klase čelika jednake ili više od S460, materijal šava smije imati nižu čvrstoću od osnovnog metala. Izduženje pri lomu i najmanja vrijednost energije loma pri ispitivanju Charpy-jevim klatnom za materijal šava treba da budu ekvivalentni ili bolji od vrijednosti definisanih za osnovni metal.

Ograničenja prilikom primjene dodatnih materijala nižih čvrstoća mogu biti određena nacionalnim aneksom. (n)

### 2.6.3 Geometrija i dimenzije (6.3)

6.3.2.1(3): Za uglove manje od  $60^\circ$  i veće od  $120^\circ$  (slika 6.1) nosivost ugaonih šavova smije da se odredi ispitivanjem u skladu sa prEN 1990:2020, Aneks D: Proračun potpomognut ispitivanjem.  
(i, 4.3.2.1(2))



Slika 6.1 — Ugao između povezanih limova (n)

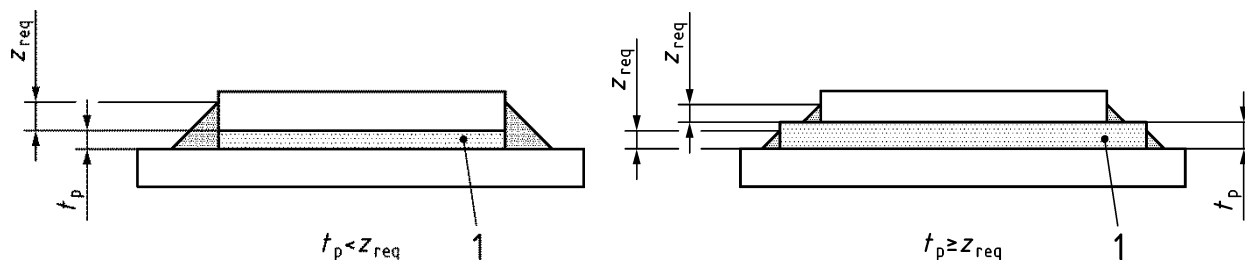
### 2.6.4 Šavovi sa podmetačima (6.4)

6.4(1): Kada su dva dijela koja se spajaju zavarivanjem odvojena podmetačem čija debljina nije veća od veličine kraka šava neophodne za prenošenje proračunske sile (slika 6.4 a):

- podmetač treba isjeći tako da su mu ivice u ravni sa ivicama spoljašnjeg spojenog dijela i;
- zahtijevanu veličinu kraka treba povećati za debljinu podmetača. (i, 4.4(2))

**6.4(2):** Kada su dva dijela koja se spajaju zavarivanjem odvojena podmetačem čija je debljina jednaka ili veća od veličine kraka šava neophodne za prenošenje proračunske sile (slika 6.4 b)):

- a) podmetač treba da se pruža izvan ivica spoljašnjeg spojenog dijela i;
- b) podmetač treba spojiti sa svakim od djelova pomoću šavova koji mogu da prenesu proračunsku silu bez prekomjernog naprezanja podmetača. **(i, 4.4(3))**



a) podmetač čija debljina nije veća od veličine kraka šava

b) podmetač čija je debljina jednaka ili veća od veličine kraka šava

### Legenda

1 podmetač

**Slika 6.4 — Šavovi sa podmetačima (n)**

### 2.6.5 Proračunska nosivost ugaonih šavova (6.5)

Kada se za određivanje proračunske nosivosti ugaonih šavova koristi **direkciona metoda**, onda:

**6.5.3.2(7):** Alternativno, proračunska nosivost ugaonog šava u spojevima sa klasama čelika jednakim ili višim od S460 i sa različitim čvrstoćama osnovnog metala i dodatnog materijala treba da se smatra dovoljnom ako je sljedeći uslov zadovoljen:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{0.25f_{u,PM} + 0.75f_{u,FM}}{\beta_{w,mod}\gamma_{M2}} \text{ i } \sigma_{\perp} \leq \frac{0.9f_{u,PM}}{\gamma_{M2}} \quad (6.2)$$

gdje je

$f_{u,PM}$  nazivna granična čvrstoća na zatezanje osnovnog metala sa nižom klasom čvrstoće;

$f_{u,FM}$  nazivna granična čvrstoća na zatezanje dodatnog materijala prema tabeli 6.2 i prema EN ISO 2560, EN ISO 14341, EN ISO 16834, EN ISO 17632 i EN 18276;

$\beta_{w,mod}$  modifikovani korelacioni faktor koji zavisi od čvrstoće dodatnog materijala dat u tabeli 6.2. (n)

**Tabela 6.2 — Granična čvrstoća materijalâ šava  $f_{u,FM}$  i modifikovani korelacioni faktor  $\beta_{w,mod}$**   
(n)

Klasa čvrstoće dodatnog materijala	42	46	69	89
Granična čvrstoća $f_{u,FM}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	500	530	770	940
Korelacioni faktor $\beta_{w,mod}$ [-]	0.89	0.85	1.09	1.19
Za dodatne materijale koji se razlikuju od onih datih u tabeli 6.2, korelacioni faktor treba usvojiti na strani sigurnosti, a u skladu sa datim vrijednostima.				

Kada se za određivanje proračunske nosivosti ugaonih šavova koristi **pojednostavljena metoda**, onda:

**6.5.3.3(4):** Alternativno, proračunsku čvrstoću šava na smicanje u spojevima sa klasama čelika jednakim ili višim od S460 i sa različitim čvrstoćama osnovnog i dodatnog materijala treba odrediti prema:

$$f_{vw,d} = \frac{0.25f_{u,PM} + 0.75f_{u,FM}}{\sqrt{3} \beta_{w,mod} \gamma_{M2}} \quad (6.2)$$

gdje su  $f_{u,PM}$ ,  $f_{u,FM}$  i  $\beta_{w,mod}$  definisani u 6.5.3.2(7). (n)

## 2.6.6 Proračunska nosivost sučeonih šavova (6.7)

**6.7.1(2):** Nosivost sučeono zavarenih spojeva sa klasama čelika jednakim ili višim od S460, kod kojih se koriste dodatni materijali nižih čvrstoća, može da se zasniva na čvrstoći dodatnog materijala (tabela 6.2). (n)

## 2.6.7 Raspodjela sila (6.9)

**6.9(5):** U vezama kod kojih se zahtijeva kapacitet deformisanja za rotaciju veze usljed mogućnosti velikih plastičnih deformacija, čvrstoća šavova treba da bude dovoljna tako da do njihovog loma ne dođe prije opšte plastifikacije susjednog osnovnog materijala. Za klase čelika jednake ili niže od S355 može se smatrati da je ovaj uslov zadovoljen ako proračunska nosivost šava nije manja od proračunske nosivosti najslabijeg od spojenih djelova pomnožene sa 0.80. Za klase čelika više

od S355, šavove treba projektovati tako da imaju nosivost koja je najmanje jednaka proračunskoj nosivosti najslabijeg od spojenih djelova pomnoženoj sa  $1.1f_{y,PM}/f_{u,PM}$ , ali ne veća od granične čvrstoće najslabijeg od spojenih djelova. (d, 4.9(6))

### 2.6.8 Proračunska nosivost dugačkih veza (6.11)

**6.11(4):** Za klase čelika koje su jednake ili više od S460, u vezama na preklap ne treba usvajati dužinu podužnih ugaonih šavova veću od  $150a$ . (n)

### 2.6.9 Ekscentrično opterećeni jednostrani ugaoni šavovi ili sućeoni šavovi sa djelimičnim provarom (6.12)

**6.12(2):** Lokalni ekscentricitet (u odnosu na liniju djelovanja sile koja se prenosi) treba da se uzme u obzir u sljedećim slučajevima:

- kada moment savijanja koji se prenosi oko podužne ose šava izaziva zatezanje u korijenu šava, (slika 6.12 (a));
- kada sila zatezanja koja se prenosi upravno na podužnu osu šava izaziva moment savijanja koji izaziva silu zatezanja u korijenu šava (slika 6.12 (b)).

U oba slučaja šav treba proračunati prema pravilima elastičnog proračuna. (i, 4.12(2))



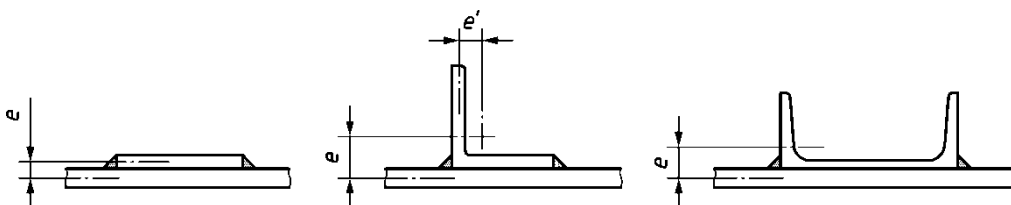
(a) Moment savijanja koji izaziva zatezanje u korijenu šava

(b) Sila zatezanja koja izaziva zatezanje u korijenu šava

Slika 6.12 - Jednostrani ugaoni šavovi i jednostrani sućeoni šavovi sa djelimičnim provarom

### 2.6.10 Ugaonici spojeni preko jednog kraka (6.13)

**6.13(1):** Kod ugaonika spojenih preko jednog kraka, ekscentricitet zavarenih veza sa preklapom smije se uzeti u obzir usvajanjem efektivne površine poprečnog presjeka, a potom tretiranjem elementa kao centrično opterećenog. Na slici 6.13 su dati primjeri ekscentricitetâ  $e$  koji se mogu zanemariti i  $e'$  koje treba uzeti u obzir prilikom proračuna. (d, 4.13(1))



Slika 6.13 — Primjeri ekscentricitetâ (n)

### 2.6.11 Zavarivanje u zonama hladnog oblikovanja (6.14)

Odredbe o zavarivanju u zonama hladnog oblikovanja su u nacrtu nove verzije EN 1993-1-8 uklonjene:

**6.14(1):** Za zavarivanje u zonama hladnog oblikovanja, treba se pridržavati pravila datih u EN 1993-1-10. (**i, 4.14(1)**)

## 2.7 Analiza konstrukcije (7)

### 2.7.1 Globalna analiza (7.1)

#### 2.7.1.1 Globalna analiza rešetkastih nosača od šupljih profila (7.1.5)

**7.1.5(3):** Sekundarni momenti u vezama, koji se razvijaju usljed rotacione krutosti veza i usljed neravnomjerne raspodjele krutosti u vezi, mogu se zanemariti i pri proračunu elemenata i pri proračunu veza, pod pretpostavkom da su ispunjeni sljedeći uslovi:

- geometrija veze zadovoljava odredbe date u odgovarajućoj tabeli (9.5, 9.7, 9.8, 9.1 ili 9.23) poglavlja 9 prEN 1993-1-8:2021;
- odnos sistemske dužine prema visini elementa u ravni rešetkastog nosača u zgradama je veći od 6;
- ekscentricitet je u okviru granica navedenih u 7.1.5(5).

Pretpostavlja se da se faktorima materijala datim u tabeli 9.1 ovi uticaji uzimaju u obzir. (**i,d, 5.1.5(3)**)

**7.1.5(4):** Momenti koji nastaju usljed poprečnih opterećenja, bilo u ili van ravni, koja se nanose između čvorova rešetke, treba da se uzmu u obzir prilikom proračuna elemenata na koje se ta opterećenja nanose. Ako su zadovoljeni uslovi dati u 7.1.5(3), onda:

- elementi ispune smiju da se posmatraju kao zglobovo vezani za pojaseve tako da momenti koji su posljedica opterećenja koja se nanose na pojasne elemente ne moraju da se raspodjeljuju na štapove ispune;

- za elemente ispune od čelika klase jednake ili više od S460, uticaj poprečnog opterećenja na elemente ispune se za veze smije uzeti u obzir na strani sigurnosti tako što se pretpostavi kruti spoj;
- pojasevi smiju da se posmatraju kao kontinualne grede slobodno oslonjene u čvorovima rešetke. **(i, 5.1.5(4))**

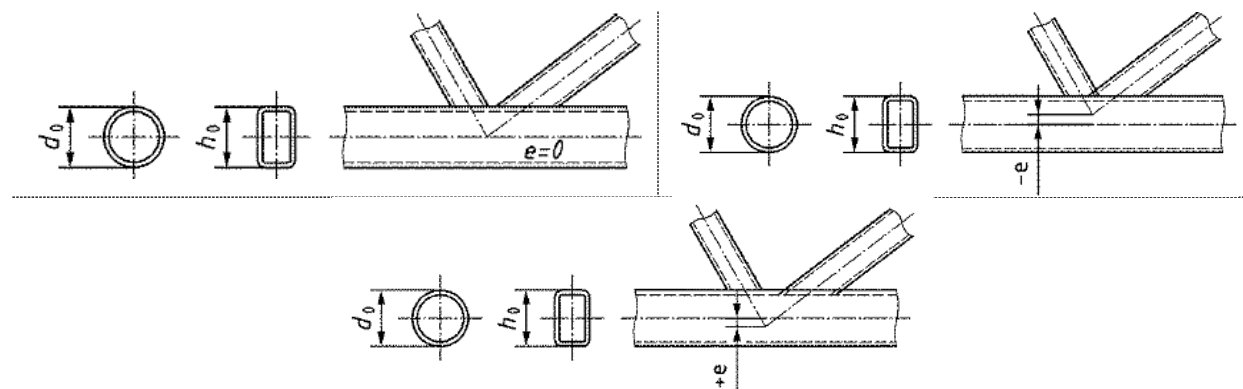
**7.1.5(5):** Momenti koji su posljedica ekscentriciteta se smiju zanemariti prilikom proračuna elemenata ispune ako su ekscentriciteti u okviru sljedećih granica:

$$-0,55d_0 \leq e \leq 0,25d_0 \quad \text{za CHS (kružne šuplje presjeke)} \quad (7.1)$$

$$-0,55h_0 \leq e \leq 0,25h_0 \quad \text{za RHS (pravougaone šuplje presjeke)} \quad (7.2)$$

$$-y_s \leq e \leq 0 \quad \text{za U presjeke} \quad (7.3)$$

- gdje je
- $e$  ekscentricitet, koji je definisan na slici 7.3;
- $d_0$  prečnik pojasa;
- $h_0$  visina pojasa, u ravni rešetkastog nosača;
- $y_s$  rastojanje od neutralne ose do spoljašnje površine rebra (koje se ovdje koristi kao nožica) U presjeka. **(i, 5.1.5(5))**



**Slika 7.3 — Ekscentricitet veza (i, slika 5.3)**

**7.1.5(6):** Kada su ekscentriciteti u okviru granica datih u 7.1.5(5), momente koji nastaju usljed ekscentriciteta treba raspodijeliti između pojasnih elemenata na svakoj strani veze, na osnovu njihove relativne krutosti  $I/L$ , gdje je  $L$  sistemska dužina elementa mjerena između čvorova. **(i, 5.1.5(6))**

**7.1.5(8):** Napone u pojasu koji su posljedica momenata (nastalih usljed ekscentricitetâ i/ili poprečnog opterećenja) uzetih u obzir prilikom proračuna pojasa, treba uzeti u obzir i prilikom određivanja faktora  $Q_f$  koji se koristi u proračunu veza. (i, 5.1.5(8))

## 2.7.2 Modeliranje veza greda-stub (7.2)

### 2.7.2.1 Oblast i područje primjene (7.2.1)

**7.2.1(2):** Veze greda-stub smiju se modelirati za globalnu analizu konstrukcije koristeći opšti pristup ili pojednostavljeni pristup. (n)

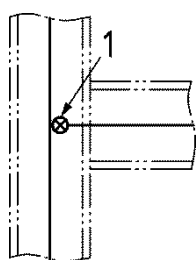
**7.2.1(3):** Pojednostavljeni pristup može da se koristi ako su presječne sile i momenti proporcionalni tokom čitave analize, u kom slučaju faktor  $\beta$  u 7.2.3 predstavlja konstantu. Ako presječne sile i momenti nijesu proporcionalni tokom čitave analize, treba koristiti opšti pristup.

Sile i momenti mogu biti neproporcionalni kada se određuju koristeći plastičnu analizu. (n)

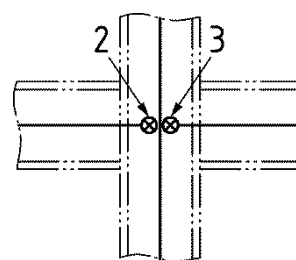
### 2.7.2.2 Pojednostavljeni pristup (7.2.3)

O pojednostavljenom pristupu (iz tačke 7.2.3(1)):

Pojednostavljeni pristup podrazumijeva modeliranje jednostrane veze kao jedne veze predstavljene rotacionom oprugom, a dvostrane veze kao dvije zasebne veze predstavljene rotacionim oprugama koje međusobno interaguju (slika 7.6). Svaka veza ima krivu moment-rotacija kojom se uzima u obzir ponašanje relevantnog spoja, ali i uticaj smičućeg polja rebra stuba. Za dvostranu vezu postoje dvije krive moment-rotacija.



a) Konfiguracija jednostrane veze



b) Konfiguracija dvostrane veze

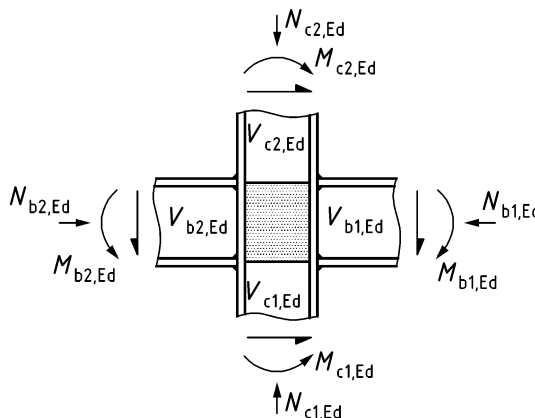
### Legenda

- 1 veza predstavljena rotacionom oprugom
- 2 veza predstavljena rotacionom oprugom 2: lijeva strana
- 3 veza predstavljena rotacionom oprugom 1: desna strana

Slika 7.6 — Pojednostavljeno modeliranje veza greda-stub

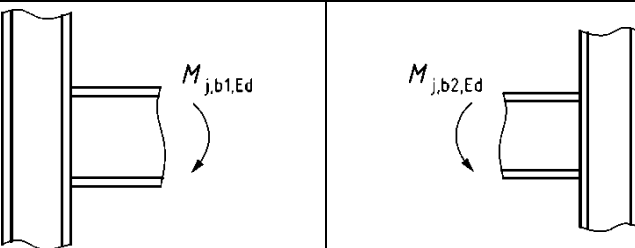
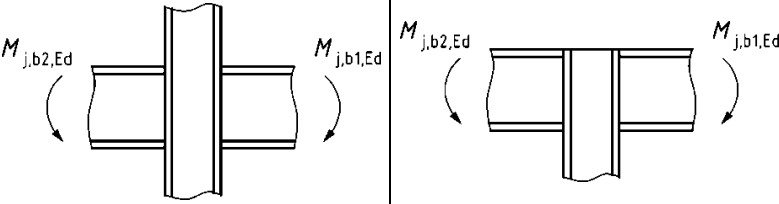
**7.2.3(2):** Prilikom određivanja proračunskog momenta nosivosti i rotacione krutosti za svaku od veza, bilo koji uticaj smičućeg polja rebra treba da se uzme u obzir preko parametra transformacije  $\beta$  datog u 7.2.3(3) i 7.2.3(4). **(i, 5.3(7))**

**7.2.3(3):** Približne vrijednosti za  $\beta$  koje se zasnivaju na vrijednostima momenata u gredama  $M_{b1,Ed}$  i  $M_{b2,Ed}$  na periferiji polja rebra (slika 7.4), mogu se odrediti iz tabele 7.4. **(i, 5.3(8))**

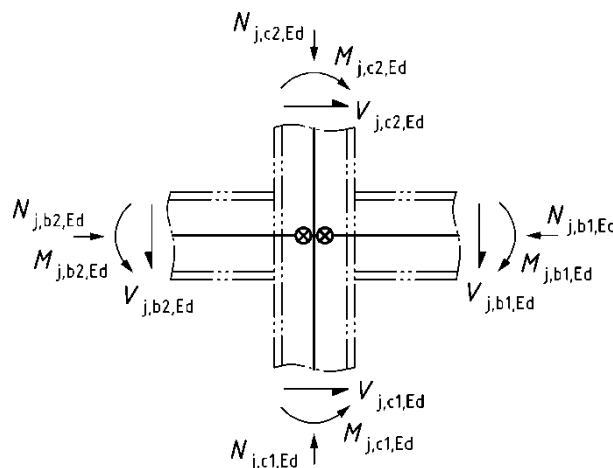


Slika 7.4 — Sile i momenti koji djeluju na vezu na periferiji polja rebra

Tabela 7.4 — Približne vrijednosti parametra transformacije  $\beta$  (i, tabela 5.4)

Konfiguracija veze	Dejstvo	Vrijednost $\beta$
	$M_{j,b1,Ed}$ ( $M_{j,b2,Ed} = 0$ ) ili $M_{j,b2,Ed}$ ( $M_{j,b1,Ed} = 0$ )	$\beta = 1^a$
	$M_{j,b1,Ed} = M_{j,b2,Ed}$	$\beta = 0^a$
	$M_{j,b1,Ed} / M_{j,b2,Ed} > 0$	$\beta \approx 1$
	$M_{j,b1,Ed} / M_{j,b2,Ed} < 0$	$\beta \approx 2$
	$M_{j,b1,Ed} + M_{j,b2,Ed} = 0$	$\beta = 2^a$
<sup>a</sup> U ovom slučaju vrijednost $\beta$ je tačna vrijednost, a ne aproksimacija.		





Slika 7.7 — Sile i momenti koji djeluju na vezu u tački presjeka težišnih linija elemenata

7.2.3(4): Kao alternativa za 7.2.3(3), tačnije vrijednosti  $\beta$  koje se zasnivaju na vrijednostima momenata u gredama  $M_{b1,Ed}$  i  $M_{b2,Ed}$  na mjestu presjeka težišnih linija elemenata, smiju se odrediti iz pojednostavljenog modela prikazanog na slici 7.7 na sljedeći način:

$$\beta = 1 - \frac{M_{j,b1,Ed}}{M_{j,b2,Ed}} \quad \text{ako je} \quad |M_{j,b1,Ed}| \leq |M_{j,b2,Ed}|$$

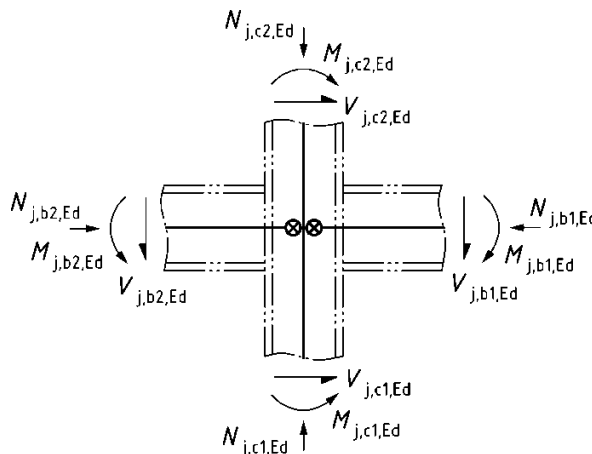
$$\beta = 1 - \frac{M_{j,b2,Ed}}{M_{j,b1,Ed}} \quad \text{ako je} \quad |M_{j,b1,Ed}| > |M_{j,b2,Ed}|$$
(7.5)

gdje je

$\beta$  parametar transformacije;

$M_{j,b1,Ed}$  moment na presjeku sa desnom gredom;

$M_{j,b2,Ed}$  moment na presjeku sa lijevom gredom. (i, 5.3(9))



Slika 7.7 — Sile i momenti koji djeluju na vezu u tački presjeka težišnih linija elemenata

## 2.8 Konstrukcijske veze koje spajaju H ili I presjeke (8) + aneksi A, B, C i D

### 2.8.1 Opšte

Za čelike klasa čvrstoća viših od S460:

- a) ako se koristi plastična globalna analiza, veze treba da budu potpuno nosive;
- b) ako se koristi elastična globalna analiza, mogu da se koriste djelimično nosive veze, pod uslovom da njihova nosivost prelazi presječne sile i momente koji djeluju na vezu. **(n)**

Za čelike klasa viših od S460, nosivost veza treba da se odredi na osnovu elastične raspodjele presječnih sila u vezi. **(n)**

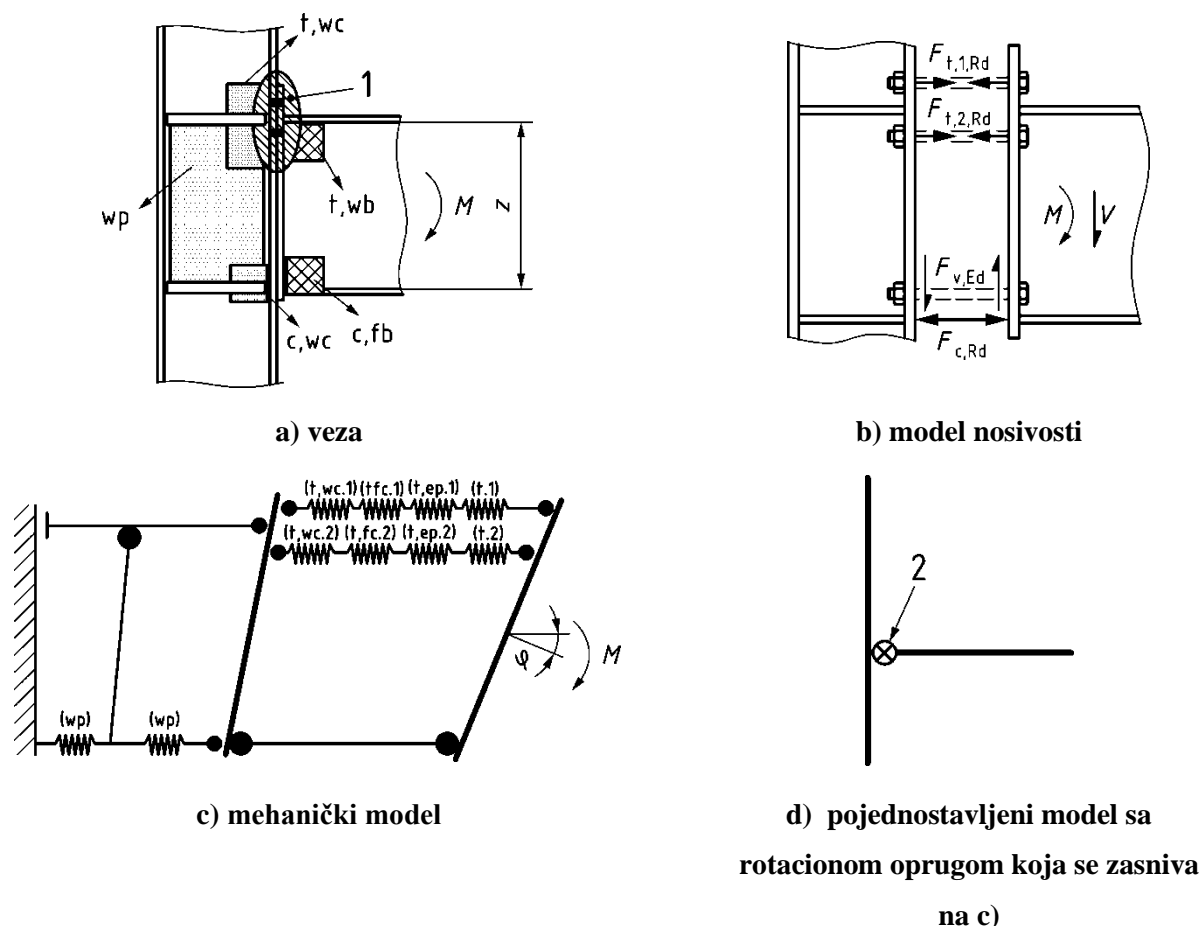
### 2.8.2 Konstrukcijska svojstva

**2.8.2(1):** Konstrukcijska svojstva veza treba da se zasnivaju na svojstvima njihovih relevantnih komponenti. **(n)**

**2.8.2(2):** Veze između svojstava osnovnih komponenti veze određenih prema Aneksu A i konstrukcijskih svojstava veze treba da budu u skladu sa:

- Aneksom B za momentno otporne konfiguracije veza tipa greda-stub, nastavke greda i stubova;
- Aneksom C za nominalno zglobne veze;
- Aneksom D za oslonačke veze stubova.

Na slici 8.2 su prikazane osnovne komponente veze greda-stub sa prepuštenom čeonom pločom i dva reda zategnutih zavrtneva, kao i mehanički model koji se koristi za dobijanje pojednostavljenog modela sa rotacionom oprugom koja predstavlja proračunsku krivu moment-rotacija za vezu. **(n)**



### Legenda

- 1 idealizacija T-elementom za t,ep i t,fc
- 2 granica za  $S_j$

**Slika 8.2 — Primjer osnovnih komponenti, modela nosivosti, mehaničkog i pojednostavljenog modela za konfiguraciju jednostrane veze greda-stub sa spojem sa čeonom pločom i zavrtnjevima, sa dva zategnuta reda zavrtnjeva (n)**

### 2.8.3 Ekvivalentni zategnuti T-element (8.3)

**8.3.4(5):** Pravila data za određivanje nosivosti ekvivalentnog zategnutog T-elementa smiju da se koriste kako za prednapregnute zavrtnjeve, tako i za neprednapregnute zavrtnjeve, nezavisno od veličine prednaprezanja.

Postojanje prednaprezanja u zavrtnjevima utiče na pravila data za određivanje krutosti ekvivalentnog zategnutog T-elementa. Koeficijenti krutosti relevantnih komponenti za neprednapregnute zavrtnjeve i za prednapregnute zavrtnjeve koji odgovaraju zahtjevima datim u relevantnim djelovima EN 14399, sa kontrolisanim pritezanjem u skladu sa zahtjevima datim u 8.5 EN 1090-2: 2018 su dati u Aneksu A. (n)

## 2.8.4 Aneks A (normativan) – Konstrukcijska svojstva osnovnih komponenti

### 2.8.4.1 Smičuće polje rebra stuba (A.4)

**A.4.1.1(1):** Proračunske metode date u potpoglavlju A.4.1 važe ukoliko vitkost rebra stuba zadovoljava sljedeći uslov:

$$\frac{h_{wc}}{t_{wc}} \leq 72 \frac{\varepsilon}{\eta} \quad (\text{A.1})$$

gdje je

$h_{wc}$  čista visina rebra stuba mjerena između nožica;

$t_{wc}$  debljina rebra stuba;

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y [\text{N/mm}^2]}}$$

Za vrijednost  $\eta$  vidjeti EN 1993-1-5. Za kriterijum (A.1), smije se pretpostaviti  $\eta = 1.2$ .  
**(i, 6.2.6.1(1))**

**A.4.1.3(1):** Ako se poprečna ukrućenja rebra koriste i u zonama pritiska i u zonama zatezanja, proračunska smičuća nosivost polja rebra stuba  $V_{wp,Rd}$  može se povećati za  $V_{wp,add,Rd}$  koja se određuje prema:

$$V_{wp,add,Rd} = \frac{b_{fc} t_{fc}^2 f_{y,fc}}{d_s \gamma_{M0}}$$

gdje je

$d_s$  rastojanje između osa ukrućenjâ;

$b_{fc}$  širina nožice stuba;

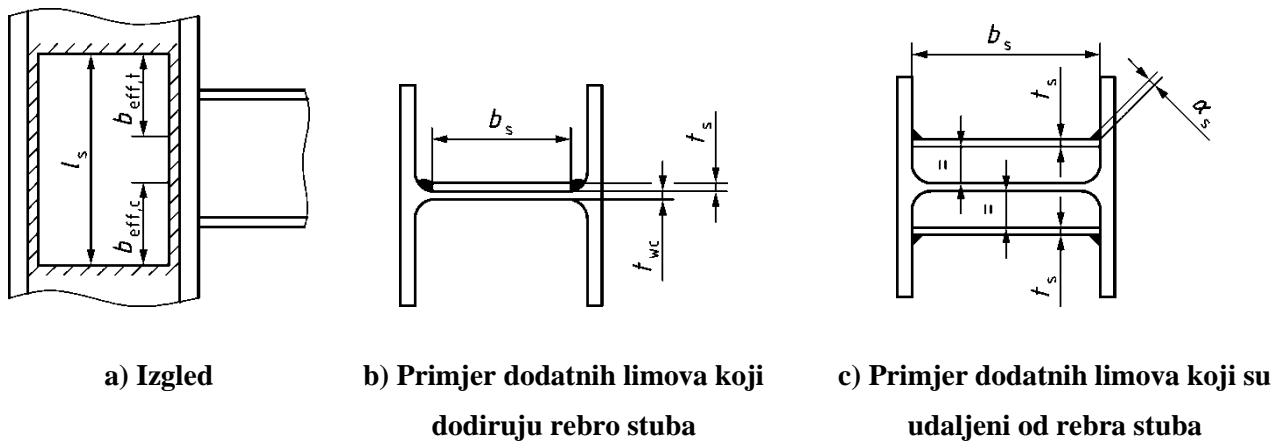
$t_{fc}$  debljina nožice stuba;

$f_{y,fc}$  granica razvlačenja nožice stuba. **(i, 6.2.6.1(4))**

**A.4.1.3(2):** Ako se za povećanje proračunske nosivosti na smicanje polja rebra stuba koriste dijagonalna ukrućenja rebra, treba ih proračunati tako da mogu da prihvate sile zatezanja i pritiska

koje se na stub prenose preko nožica grede. Proračunska nosivost ovih ukrućenja treba da se odredi prema 8.2.3 i 8.2.4 prEN 1993-1-1: 2020, i EN 1993-1-5, prema potrebi. **(i, 6.2.6.1(5))**

**A.4.1.4(1):** Ako je rebro stuba ojačano dodatnim limovima zavarenim za nožice stuba (slika A.1), površina smicanja  $A_{vc}$  može da se poveća za  $b_s \sum t_s$ . **(n)**



**Slika A.1 — Primjeri dodatnih limova (i, slika 6.5)**

**A.4.1.4(4):** Dodatni limovi mogu dodirivati rebro stuba, ili biti udaljeni od rebra.

- a) Ako limovi dodiruju rebro stuba (slika A.1(b)), širina  $b_s$  treba da bude takva da dodatni lim doseže najmanje do početka zaobljenja između rebra i nožice, ili do šava.
- b) Ako su limovi udaljeni od rebra (slika A.1(c)), širina  $b_s$  treba da bude takva da dodatni lim doseže do nožice stuba, a limove treba postaviti u paru, simetrično, na suprotnim stranama rebra stuba. **(d, 6.2.6.1(9))**

**A.4.1.4(7):** Debljina svakog dodatnog lima treba da bude takva da njegova vitkost zadovoljava uslov:

$$t_s \geq \frac{h_{wc}}{40\varepsilon} \quad (\text{A.4})$$

gdje je

$h_{wc}$  čista visina rebra stuba mjerena između nožica;

$t_s$  debljina dodatnog lima;

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y [\text{N/mm}^2]}} \quad (\text{n})$$

**A.4.1.4(8):** Alternativno, kada se lokalno izbočavanje polja rebra stuba i dodatnog lima spriječi primjenom čep šavova za njihovo povezivanje, ukupna debljina polja rebra treba da zadovolji formulu (A.4). Treba obezbijediti najmanje četiri čep šava koji su u skladu sa zahtjevima datim u 6.3.5(1) do 6.3.5(5) (*ovo su zahtjevi koji se u prEN 1993-1-8: 2021 odnose na primjenu, geometriju i dimenzije čep šavova*). Debljine polja rebra stuba i dodatnih limova, posmatrane pojedinačno, treba da zadovolje (A.1) i (A.4) respektivno, gdje je  $h_{wc}$  zamijenjeno sa horizontalnim ili vertikalnim rastojanjem između dva čep šava, ili rastojanjem između čep šava i ivice lima, šta god da je najveće. (n)

### 2.8.4.2 Rebro stuba opterećeno poprečnim pritiskom (A.5)

**A.5.1.1(7):** Faktor redukcije za izbočavanje limova  $\rho$  treba odrediti prema:

$$- \text{ ako je } \bar{\lambda}_p \leq 0.673: \rho = 1.0 \quad (\text{A.13})$$

$$- \text{ ako je } \bar{\lambda}_p > 0.673: \rho = (\bar{\lambda}_p - 0.22) / \bar{\lambda}_p^2 \quad (\text{A.14})$$

gdje je  $\bar{\lambda}_p$  vitkost lima, koja se usvaja kao:

$$\bar{\lambda}_p = 0.932 \sqrt{\frac{b_{eff,c,wc} d_{wc} f_{y,wc}}{E t_{wc}^2}} \quad (\text{A.15})$$

-  $b_{eff,c,wc}$  – efektivna širina rebra stuba u zoni pritiska

- za stub valjanog I ili H presjeka:  $d_{wc} = h_c - 2(t_{fc} + r_c)$

- za stub zavarenog I ili H presjeka:  $d_{wc} = h_c - 2(t_{fc} + \sqrt{2}a_c)$

#### (i, 6.2.6.2(1))

**A.5.1.3(1):** Ako je rebro stuba ojačano dodatnim limom zavarenim za nožice stuba, proračunska nosivost rebra stuba na pritisak može da se poveća za proračunsku nosivost dodatnog lima, određenu kao za rebro zavarenog stuba. (*Postupak proračuna se ovdje neće detaljno prikazivati, jer u principu treba da bude isti kao i u staroj verziji EN 1993-1-8, s tim što se za određivanje faktora redukcije za izbočavanje limova  $\rho$  koristi izmijenjeni izraz naveden u tački A.5.1.1(7).*) U izrazima za određivanje faktora  $\omega_1$  i  $\omega_2$ , efektivna površina  $b_{eff,c,wc} t_{wc}$  treba da se zamijeni sa zbirom efektivnih površina rebra stuba i dodatnih limova. (n)

**A.5.2(2):** Kada se koriste dodatni limovi, koeficijent krutosti za pritisnuto rebro stuba treba da se odredi iz izraza:

$$k_{c,wc} = \frac{0.7b_{eff,c,wc}t_{wc}}{d_{wc}} \quad (\text{A.17})$$

na osnovu zbira efektivnih površina rebra stuba i dodatnih limova. (i, tabela 6.11)

### 2.8.4.3 Rebro stuba opterećeno poprečnim zatezanjem (A.6)

**A.6.1.3(1):** Ako je rebro stuba ojačano dodatnim limom zavarenim za nožice stuba, proračunska nosivost rebra stuba na zatezanje može da se poveća za proračunsku nosivost dodatnog lima, određenu kao za rebro zavarenog stuba. (*Postupak proračuna se ovdje neće detaljno prikazivati, jer treba da bude isti kao i u staroj verziji EN 1993-1-8*). U izrazima za određivanje faktora  $\omega_1$  i  $\omega_2$ , efektivna površina  $b_{eff,twc} t_{wc}$  treba da se zamijeni sa zbirom efektivnih površina rebra stuba i dodatnih limova. (n)

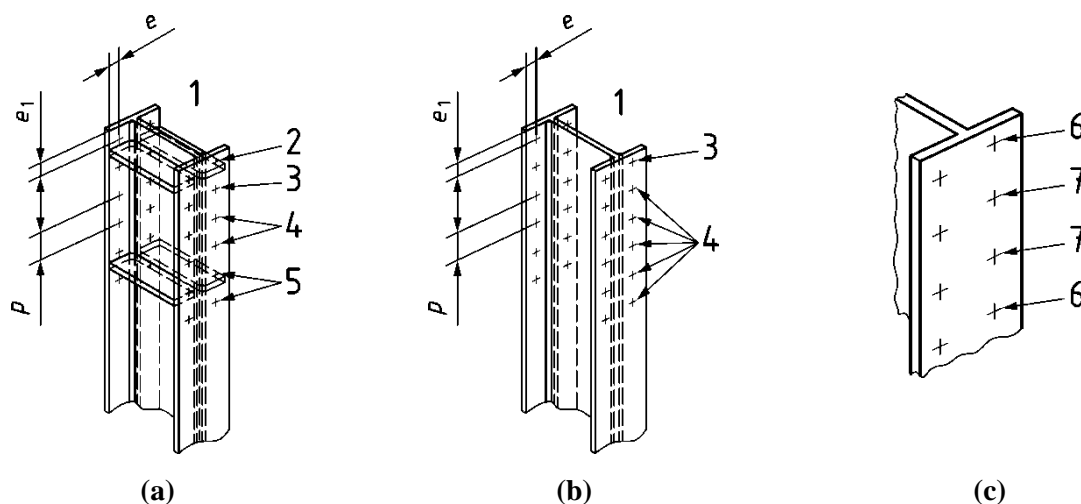
**A.6.1.3(2):** Ako je rebro stuba ojačano dodatnim limovima koji se zavaruju za rebro stuba, proračunska nosivost na zatezanje zavisi od debljine podužnih šavova koji spajaju dodatne limove sa rebrom. Kada su podužni šavovi ugaoni šavovi debljine  $a \geq t_s/\sqrt{2}$ , onda i za jedan i za dva dodatna lima na rebro efektivnu debljinu rebra  $t_{w,eff}$  treba usvojiti kako slijedi:

- za klase čelika S235, S275 ili S355:  $t_{w,eff} = 1.4t_{wc}$
- za klase čelika S420 do S460:  $t_{w,eff} = 1.3t_{wc}$  (i, 6.2.6.3(8))

Prema staroj verziji EN 1993-1-8, u slučaju primjene dodatnog lima, koeficijent krutosti za rebro stuba opterećeno na zatezanje treba da se zasniva na efektivnoj debljini rebra. U nacrtu nove verzije EN 1993-1-8, nije eksplicitno naznačeno ništa o modifikaciji izraza za određivanje koeficijenta krutosti, a u slučaju primjene dodatnih limova. (u, napomena 5 tabele 6.11)

### 2.8.4.4 Nožica stuba opterećena na savijanje (A.7)

**A.7.1.1(3):** Efektivna dužina nožice ekvivalentnog T-elementa  $l_{eff}$  treba da se odredi za pojedinačne redove zavrtnjeva i grupu zavrtnjeva u skladu sa 8.3.5 na osnovu vrijednosti datih za svaki red zavrtnjeva u tabeli A.2. U slučaju nejednako udaljenih redova zavrtnjeva, razmak  $p$  treba zamijeniti sa polovinom razmaka na svakoj strani zavrtnja. (d, 6.2.6.4.1(3))



### Legenda

1	kraj stuba	5	unutrašnji red zavrtnjeva do poprečnog ukrućenja
2	krajnji red zavrtnjeva do poprečnog ukrućenja	6	prvi/krajnji red zavrtnjeva
3	krajnji red zavrtnjeva	7	unutrašnji red zavrtnjeva (za izdvojenu grupu zavrtnjeva)
4	unutrašnji red zavrtnjeva		

Slika A.5 — Položaji redova zavrtnjeva za ukrućenu (a) i neukrućenu (b) nožicu stuba, i položaji redova zavrtnjeva unutar grupe zavrtnjeva (c) (i, slika 6.9)



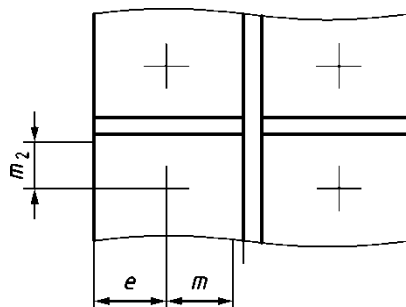
Tabela A.2 — Efektivne dužine za nožicu stuba (i, tabele 6.4 i 6.5)

	Položaj reda zavrtnjeva	Položaj reda zavrtnjeva unutar grupe zavrtnjeva	$l_{\text{eff,cp}}$ (kružni oblik loma)	$l_{\text{eff,nc}}$ (poligonalni oblik loma)
<b>Red zavrtnjeva posmatran pojedinačno</b>	Unutrašnji red zavrtnjeva	nije relevantno	$2\pi m$	$4m + 1.25e$
	Unutrašnji red zavrtnjeva do ukrućenja	nije relevantno	$2\pi m$	$\alpha m$
	Krajnji red zavrtnjeva	nije relevantno	Manja vrijednost od: $2\pi m$ $\pi m + 2e_1$	Manja vrijednost od: $4m + 1.25e$ $2m + 0.625e + e_1$
	Krajnji red zavrtnjeva do ukrućenja	nije relevantno	Manja vrijednost od: $2\pi m$ $\pi m + 2e_1$	Manja vrijednost od: $\alpha m$ $\alpha m - (2m + 0.625e) + e_1$
<b>Red zavrtnjeva posmatran kao dio grupe redova zavrtnjeva</b>	Unutrašnji red zavrtnjeva	Prvi/krajnji red zavrtnjeva (ali za izdvojenu grupu zavrtnjeva)	$\pi m + p$	$2m + 0.625e + 0.5p$
		Unutrašnji red zavrtnjeva (ali za izdvojenu grupu zavrtnjeva)	$2p$	$p$
	Unutrašnji red zavrtnjeva do ukrućenja	Prvi/krajnji red zavrtnjeva	$\pi m + p$	$0.5p + \alpha m - (2m + 0.625e)$
	Krajnji red zavrtnjeva	Prvi/krajnji red zavrtnjeva	Manja vrijednost od: $\pi m + p$ $2e_1 + p$	Manja vrijednost od: $2m + 0.625e + 0.5p$ $e_1 + 0.5p$
<p>Položaj reda zavrtnjeva za ukrućenu i neukrućenu nožicu stuba i položaj reda zavrtnjeva unutar grupe zavrtnjeva su dati na slici A.5.</p> <p><math>\alpha</math> treba odrediti prema A.7.1.2(5).</p> <p><math>e_1</math> je rastojanje od centra rupa u krajnjem redu do susjednog slobodnog kraja nožice stuba mjereno u pravcu ose profila stuba (vidjeti red 1 i red 2 na slici A.5(a) i slici A.5(b)).</p>				

**A.7.1.2(5):** Vrijednost  $\alpha$  koja se koristi u tabeli A.2 treba da se odredi prema:

$$\alpha = 4 + 1.67 \frac{e}{m} \left( \frac{m}{m_2} \right)^{0.67} \quad \text{ali} \quad \alpha \geq 4 + 1.25 \frac{e}{m} \quad \text{i} \quad \alpha \leq 8 \quad (\text{A.24})$$

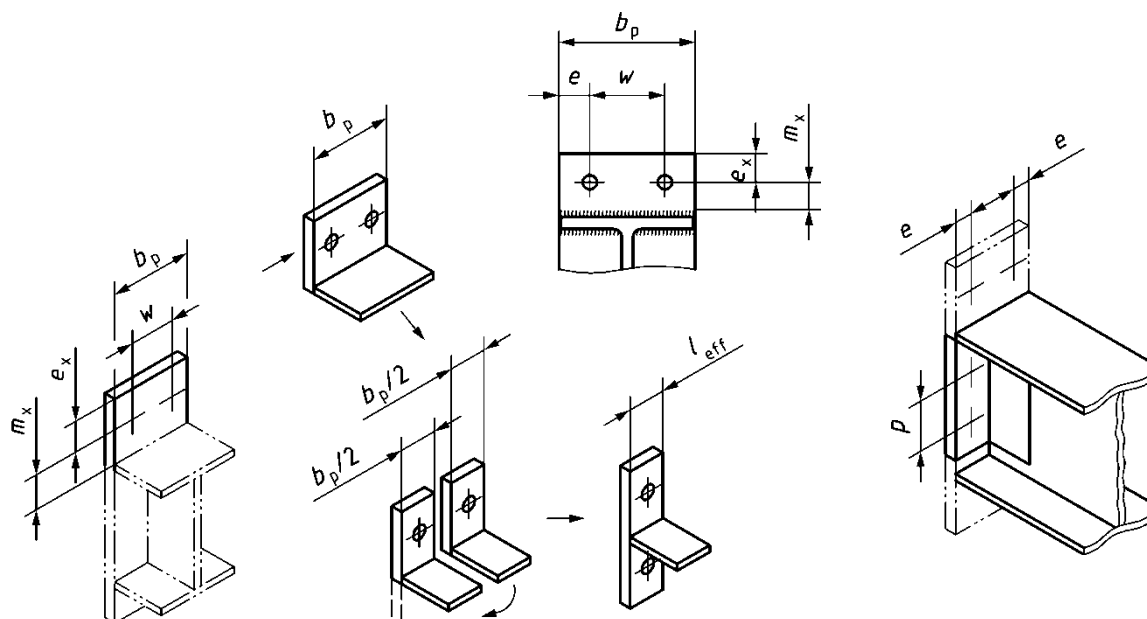
Dimenzije  $m$ ,  $e$  i  $m_2$  koje se koriste u (A.24) treba da se odrede sa slike A.6. (**i, 6.2.6.4.2(5)**)



**Slika A.6** — Definicije za  $m$ ,  $e$  i  $m_2$  za red zavrtnjeva do ukrucenja

### 2.8.4.5 Čeona ploča opterećena na savijanje (A.8.1)

**A.8.1(2):** Grupe redova zavrtnjeva sa bilo koje strane svakog ukrucenja koje je spojeno sa čeonom pločom treba da se posmatraju kao zasebni ekvivalentni T-elementi. Prepust čeone ploče i dio između nožica grede treba da se modeliraju kao dvije zasebne nožice ekvivalentnog T-elementa (slika A.8). Proračunska nosivost i oblik loma treba da se odrede zasebno za svaki ekvivalentni T-element. U slučaju nejednako udaljenih redova zavrtnjeva, razmak  $p$  treba zamijeniti sa polovinom razmaka na svakoj strani zavrtnja. (**i, d, 6.2.6.5(2)**)



**Slika A.8** — Modeliranje prepustene čeone ploče kao zasebnih T-elemenata (**i, slika 6.10**)

Tabela A.3 — Efektivne dužine za čeonu ploču (i, tabela 6.6)

	Položaj reda zavrtnjeva	Položaj reda zavrtnjeva unutar grupe zavrtnjeva	$l_{\text{eff,cp}}$ (kružni oblik loma)	$l_{\text{eff,nc}}$ (poligonalni oblik loma)
<b>Red zavrtnjeva posmatran pojedinačno</b>	Red zavrtnjeva izvan zategnute nožice grede, neukrućen	nije relevantno	Manja vrijednost od: $2\pi m_x$ $\pi m_x + w$ $\pi m_x + 2e$	Manja vrijednost od: $4m_x + 1.25e_x$ $e + 2m_x + 0.625e_x$ $0.5b_p$ $0.5w + 2m_x + 0.625e_x$
	Red zavrtnjeva izvan zategnute nožice grede, ukrućen	nije relevantno	Manja vrijednost od: $2\pi m$ $\pi m + 2e_x$	Manja vrijednost od: $am - (2m + 0.625e) + e_x$ $am$
	Prvi red zavrtnjeva ispod zategnute nožice grede	nije relevantno	$2\pi m$	$am$
	Ostali redovi zavrtnjeva	nije relevantno	$2\pi m$	$4m + 1.25e$
<b>Red zavrtnjeva posmatran kao dio grupe redova zavrtnjeva</b>	Prvi red zavrtnjeva ispod zategnute nožice grede	Prvi/krajnji red zavrtnjeva	$\pi m + p$	$0.5p + am - (2m + 0.625e)$
	Ostali redovi zavrtnjeva	Prvi/krajnji red zavrtnjeva (ali za izdvojenu grupu zavrtnjeva)	$\pi m + p$	$2m + 0.625e + 0.5p$
		Unutrašnji red zavrtnjeva (ali za izdvojenu grupu zavrtnjeva)	$2p$	$p$
$\alpha$ treba da se odredi prema A.8.1(8).				

**A.8.1(7):** Prilikom proračuna prepusta čeone ploče sa ukrućenjem, ukrućenje treba da bude u skladu sa sljedećim (slika A.9):

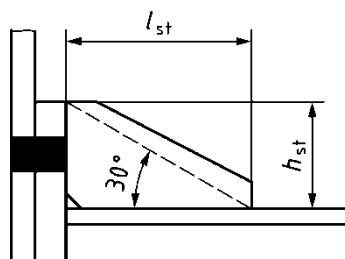
- visina ukrućenja  $h_{st}$  treba da bude jednaka visini prepusta čeone ploče;
- za minimalnu dužinu ukrućenja  $l_{st}$  treba usvojiti  $h_{st}/\tan(30^\circ)$ ;
- debljina ukrućenja ne treba da bude manja od  $t_{wb} \frac{f_{y,wb}}{f_{y,st}}$ ;

- šavove treba proračunati tako da obezbijede makar istu nosivost kao i ukrućenje;

gdje je

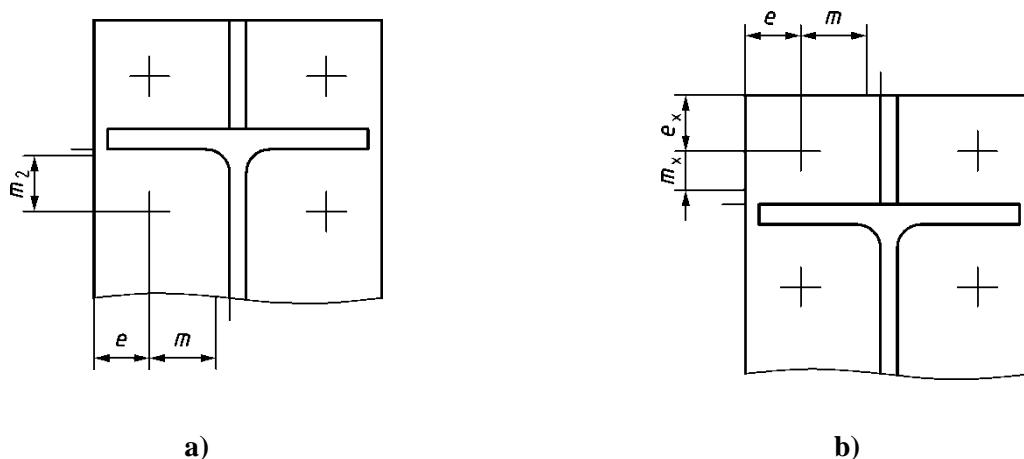
$f_{y,wb}$  granica razvlačenja rebra grede;

$f_{y,st}$  granica razvlačenja ukrućenja. (n)



Slika A.9 — Dimenzije ukrućenja čelone ploče (n)

**A.8.1(8):** Vrijednost  $\alpha$  koja se koristi u tabeli A.3 za prvi red zavrtnjeva ispod zategnute nožice grede treba da se odredi prema (A.24). Vrijednost  $\alpha$  koja se koristi u tabeli A.3 za ukrućeni red zavrtnjeva izvan zategnute nožice grede treba da se odredi prema (A.24), gdje je  $m_2$  zamijenjeno sa  $m_x$ . Dimenzije  $m$ ,  $e$ ,  $m_2$  i  $m_x$  koje se koriste u (A.24) treba da se odrede prema slici A.10. (n)



Slika A.10 — Definicije za  $m$ ,  $e$  i  $m_2$  za prvi red zavrtnjeva ispod zategnute nožice grede (a) i  $m$ ,  $e$  i  $m_x$  za ukrućeni red zavrtnjeva izvan zategnute nožice grede (b). (n)

#### 2.8.4.6 Nožica i rebro grede ili stuba opterećeni pritiskom (A.10)

Prema staroj verziji EN 1993-1-8, ako visina grede, uključujući vutu, prelazi 600 mm, učešće rebra grede u proračunskoj nosivosti na pritisak treba da se ograniči na 20%. Ovo je uklonjeno u nacrtu nove verzije EN 1993-1-8. (u, dio tačke 6.2.6.7(1))

### 2.8.4.7 Zavrtnjevi opterećeni na zatezanje (A.13)

Prema tački A.13.2(1), koeficijent krutosti za zavrtnjeve opterećene na zatezanje, za jedan red zavrtnjeva, treba da se odredi na sljedeći način:

- za neprednapregnute zavrtnjeve:  $k_t = \frac{1.6A_s}{L_b}$
- za prednapregnute zavrtnjeve:  $k_t = \infty$

gdje je

$L_b$  dužina izduženja zavrtnja.

### 2.8.4.8 Pritisak po omotaču rupa za zavrtnjeve (A.15)

**A.15.2(2):** Pod uslovom da je proračunska sila smicanja po zavrtnju  $F_{v,Ed}$

(i) manja od  $0.8F_{b,Rd}$  za klase čelika do S460 i

(ii) manja od  $F_{b,Rd}$  za više klase, koeficijent krutosti treba odrediti prema:

- za neprednapregnute zavrtnjeve  $k_b = \frac{\bar{S}_b n t_j f_u}{E}$  (A.36)

- za zavrtnjeve u spojevima otpornim na proklizavanje  $k_b = \infty$  (A.37)

gdje je

$n$  broj zavrtnjeva;

$f_u$  granična čvrstoća na zatezanje čelika na koji zavrtnanj vrši pritisak;

$t_j$  debljina te komponente;

$\bar{S}_b$  relativna krutost na pritisak po omotaču rupe, koja može da se odredi prema:

$$\bar{S}_b = \frac{\bar{\sigma}_{b,Ed}}{\bar{a}} \quad (\bar{\sigma}_b = \bar{\sigma}_{b,Ed}) \quad (A.38)$$

$$\bar{\sigma}_{b,Ed} = \frac{F_{v,Ed}}{dt_j f_u} \quad (A.39)$$

$$\bar{\sigma}_b = \frac{126 u/d}{(1 + \sqrt{30 u/d})^2} \quad (\text{A.40})$$

gdje je

$\bar{\sigma}_{b,Ed}$  bezdimenzioni prosječni pritisak po omotaču rupe

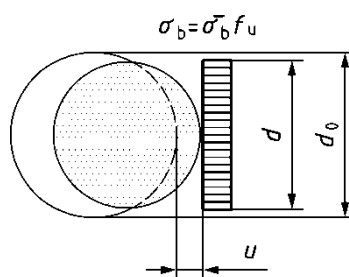
$\frac{u}{d} (\bar{\sigma}_b = \bar{\sigma}_{b,Ed})$  bezdimenziono izduženje rupe zavrtnja pri bezdimenzionom proračunskom pritisku po omotaču rupe;

$u$  izduženje rupe zavrtnja, vidjeti sliku A.13;

$d$  prečnik zavrtnja;

$\bar{\sigma}_b$  bezdimenzioni prosječni pritisak po omotaču rupe, vidjeti sliku A.13;

$F_{v,Ed}$  proračunska sila smicanja po zavrtnju. (n)



**Slika A.13 — Bezdimenziono opterećenje-deformacija ponašanje za lim opterećen na pritisak po omotaču rupe (n)**

Ovo je alternativni postupak u odnosu na postupak dat u tački A.15.2(1) prEN 1993-1-8: 2021, tj. tabeli 6.11 EN 1993-1-8: 2005.

#### 2.8.4.9 Beton i ležišna ploča opterećeni na pritisak (A.16)

**A.16.2(1):** Koeficijent krutosti za beton i ležišnu ploču opterećene na pritisak treba odrediti prema:

$$k_{c,bp} = \frac{E_{cm} \sqrt{b_{eff} l_{eff}}}{1.275 E}$$

gdje je

$b_{eff}$  efektivna širina nožice T-elementa, gdje je za  $c$  usvojena debljina ležišne ploče pomnožena sa 1.25;

$l_{\text{eff}}$  efektivna dužina nožice T-elementa, gdje je za  $c$  usvojena debljina ležišne ploče pomnožena sa 1.25;

$E$  modul elastičnosti čelika;

$E_{\text{cm}}$  sekantni modul elastičnosti betona. **(i, tabela 6.11)**

#### 2.8.4.10 Anker zavrtnanj opterećen na zatezanje (A.18)

**A.18.1(1):** Proračunska nosivost anker zavrtnja na zatezanje treba da se usvoji kao manja vrijednost od proračunske nosivosti na zatezanje čeličnih komponenti (5.7) i proračunske nosivosti na zatezanje komponenti za ankerisanje (A.19). **(i, 6.2.6.12(3))**

Za zavrtnjeve sa kukom, dužina sidrenja treba da bude takva da se spriječi lom usljed gubitka prijanjanja prije pojave tečenja zavrtnja. Dužinu sidrenja treba izračunati u skladu sa EN 1992-1-1. Ova vrsta sidrenja ne treba da se koristi za zavrtnjeve sa granicom razvlačenja  $f_{yb}$  većom od  $300 \text{ N/mm}^2$ . **(u, 6.2.6.12(3))**

#### 2.8.4.11 Komponente za ankerisanje opterećene na zatezanje (A.19)

**A.19(1):** Proračunska nosivost komponenti za ankerisanje na zatezanje za spojeve čelik-beton može da se odredi prema EN 1992-4. Provjeru komponenti za ankerisanje na zatezanje treba izvršiti za granično stanje nosivosti, a za sljedeće oblike loma:

- Lom otkidanjem kupe betona;
- Lom izvlačenjem;
- Lom cijepanjem betona;
- Odlamanje betona usljed postavljanja ankera na premalom rastojanju od ivice temelja;
- Lom čelika armature;
- Lom usljed nedovoljne athezije armature. **(n)**

**A.19(2):** Proračunska nosivost komponenti za ankerisanje na zatezanje se smije povećati uzimanjem u obzir doprinosa betona i dodatne armature koja se nalazi pored spojnih sredstava. Prenos opterećenja usljed armature i betona se može odrediti primjenom odgovarajućeg modela krutosti za komponente za ankerisanje. **(n)**

**A.19(3):** Kada se doprinos betona i armature uzima u obzir, dodatni oblici loma kao što su izbijanje betona između dodatne armature treba da se razmotre. **(n)**

### 2.8.4.12 Anker zavrtnjevi opterećeni na smicanje (A.20)

**A.20(1):** Proračunska nosivost anker zavrtnja na smicanje  $F_{vb,Rd}$  u ležišnim pločama stubova sa običnim kružnim rupama treba da se odredi na sljedeći način:

$$F_{vb,Rd} = \frac{\alpha_{bc} f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}} \quad (\text{A.47})$$

gdje je

$$\alpha_{bc} = 0.44 - 0.0003 f_{yb};$$

$f_{yb}$  granica razvlačenja anker zavrtnja, gdje je  $235 \text{ N/mm}^2 \leq f_{yb} \leq 640 \text{ N/mm}^2$ . (**i, 6.2.2(7)**)

**A.20(2):** Proračunska nosivost anker zavrtnja na smicanje treba da se usvoji kao manja vrijednost od proračunske nosivosti na smicanje,  $F_{vb,Rd}$ , (formula (A.47)), i proračunske nosivosti komponenti za ankerisanje na smicanje, (A.21). (**i, 6.2.2(7)**)

### 2.8.4.13 Komponente za ankerisanje opterećene na smicanje (A.21)

**A.21(1):** Proračunska nosivost komponenti za ankerisanje na smicanje u spojevima čelik-beton može da se odredi prema EN 1992-4. Provjera komponenti za ankerisanje na smicanje treba da se izvrši za granično stanje nosivosti za sljedeće oblike loma:

- Lom usljed drobljenja betona
- Lom po ivici betona
- Lom čelika dodatne armature
- Lom usljed nedovoljnog prijanjanja dodatne armature (**n**)

## 2.8.5 Aneks B (normativan) – Proračun momentno otpornih veza greda-stub i nastavaka

### 2.8.5.1 Proračunska nosivost (B.3)

**B.3.4(1):** Proračunska sila smicanja  $V_{j,Ed}$  treba da zadovolji sljedeći izraz:

$$\frac{V_{j,Ed}}{V_{j,Rd}} \leq 1.0$$

gdje je  $V_{j,Rd}$  proračunska nosivost veze na smicanje. (**n**)



**B.3.5(1):** Ako se proračunska nosivost veze  $M_{j,Rd}$  određuje koristeći plastičnu raspodjelu presječnih sila unutar veze, proračunska nosivost šavova ne treba da ograničava proračunski moment nosivosti veze. (i, 6.2.3(4))

### 2.8.5.2 Kapacitet rotacije (B.5)

**B.5.1(2):** Kapacitet rotacije veza sa zavrtnejevima ili zavarenih veza treba da se odredi korišćenjem odredbi datih u B.5. Metode proračuna važe samo za klase čelika do i uključujući S460 i za veze kod kojih proračunska vrijednost aksijalne sile  $N_{Ed}$  u spojenom elementu ne prelazi 5% proračunske plastične nosivosti njegovog poprečnog presjeka  $N_{pl,Rd}$ . (i, 6.4.1(2))

**B.5.1(5):** Kada se zahtijeva da se plastični zglobovi jave u elementima, susjedne veze treba proračunati na momente savijanja i sile kojima se uzima u obzir da je granica razvlačenja na mjestima plastičnih zglobova jednaka  $\gamma_{rm}f_y$ , gdje je:

$\gamma_{rm}$  faktor ojačanja materijala, određen kao odnos između srednjih i nazivnih vrijednosti granice razvlačenja konstrukcijskog čelika na mjestu plastičnog zgloba. Vrijednosti  $\gamma_{rm}$  su date u tabeli B.4;

$f_y$  nazivna vrijednost granice razvlačenja.

B.5.1(6): Prilikom određivanja proračunskog momenta nosivosti veze za potrebe B.5.1(5), ako se zahtijeva da se plastični zglob formira na kraju grede koji je uz vezu, proračunska nosivost nožice i rebra grede opterećenih pritiskom  $F_{c,fb,Rd}$  može da se izostavi u B.3.2.2(7).

**Tabela B.4 — Faktori ojačanja materijala**

Klasa čelika	$\gamma_{rm}$
S235	1.45
S275	1.35
S355	1.25
S460	1.20

**B.5.1(7):** Kada se zahtijeva da se plastični zglobovi jave u vezama, elemente treba proračunati na momente savijanja i sile kojima se uzima u obzir da je granica razvlačenja na mjestima plastičnih zglobova jednaka  $\gamma_{rm}f_y$ , gdje je:

$\gamma_{rm}$  faktor ojačanja materijala dat u tabeli B.4, određen kao odnos srednjih i nazivnih vrijednosti granice razvlačenja čelika osnovnih komponenti koje su proračunate tako da obezbijede zahtijevani kapacitet rotacije.

$f_y$  nazivna vrijednost granice razvlačenja osnovnih komponenti veza koje su proračunate tako da obezbijede zahtijevani kapacitet rotacije.

Prema staroj verziji EN 1993-1-8, kao alternativa odredbama datim u 6.4.2 i 6.4.3 koje služe za određivanje kapaciteta rotacije veza sa zavrtnjevima i zavarenih veza respektivno, kapacitet rotacije veze nije bilo potrebno provjeravati pod uslovom da je proračunski moment nosivosti veze  $M_{j,Rd}$  bio makar 1.2 puta veći od proračunskog plastičnog momenta nosivosti poprečnog presjeka spojenog elementa  $M_{pl,Rd}$ . (**u, 6.4.1(3)**)

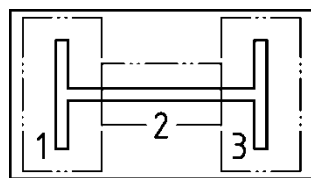
## 2.8.6 Aneks D (normativan) – Proračun oslonačkih veza stubova

### 2.8.6.1 Proračunska nosivost (D.3)

**D.3.1(2):** Proračunske nosivosti anker zavrtnjeva i komponenti za ankerisanje treba da se odrede prema A.18.1, A.19, A.20 i A.21 ovog standarda i EN 1992-4. (**n**)

**D.3.1(3):** Pravila za plastični proračun veza sa više redova anker zavrtnjeva i komponenti za ankerisanje su data u CEN/TR 17081. (**n**)

**D.3.3(1):** Proračunski moment nosivosti  $M_{j,Rd}$  simetrične oslonačke veze stuba izložene kombinovanom djelovanju aksijalne sile i momenta savijanja treba da se odredi primjenom metode date u tabeli D.1, gdje se doprinos dijela betona tik ispod rebra stuba, T-elementa 2 na slici D.2, na nosivost na pritisak ne uzima u obzir.



#### Legenda

- 1 T-element 1
- 2 T-element 2
- 3 T-element 3

Slika D.2 — T-elementi bez preklapanja

Tabela D.1 — Proračunski moment nosivosti  $M_{j,Rd}$  simetrične ležišne ploče stuba (i, tabela 6.7)

Slučaj opterećenja	Krak sila $z$	Proračunski moment nosivosti $M_{j,Rd}$	
Dominantan moment savijanja	$z = z_T + z_C$	$N_{Ed} > 0$ i $e \geq z_T$	$N_{Ed} < 0$ i $e \leq -z_C$
		Manja vrijednost od $\frac{F_{T,Rd} z}{\frac{z_C}{e} + 1}$	i $\frac{-F_{C,Rd} z}{\frac{z_T}{e} - 1}$
Dominantna sila zatezanja	$z = z_T + z_T$	$N_{Ed} > 0$ i $0 < e \leq z_T$	
		$\frac{F_{T,Rd} z}{\frac{z_T}{e} + 1}$	
Dominantna sila pritiska	$z = z_C + z_C$	$N_{Ed} < 0$ i $-z_C \leq e < 0$	
		$\frac{-F_{C,Rd} z}{\frac{z_C}{e} - 1}$	
$M_{Ed} > 0$ u smjeru kretanja kazaljke na satu, $N_{Ed} > 0$ u slučaju zatezanja; $e = \frac{ M_{Ed} }{N_{Ed}}$			

U ovoj metodi se koriste sljedeći parametri:

- Proračunska nosivost na zatezanje na jednoj strani veze,  $F_{T,Rd}$  - vidjeti D.3.3(2);
- Proračunska nosivost na pritisak na jednoj strani veze,  $F_{C,Rd}$  - vidjeti D.3.3(3). (i, 6.2.8.3(1))

**D.3.3(2):** Proračunsku nosivost na zatezanje  $F_{T,Rd}$  na jednoj strani veze treba usvojiti kao manju vrijednost od proračunskih nosivosti sljedećih osnovnih komponenti:

- rebra stuba ispod nožice stuba opterećenog na zatezanje  $F_{t,wc,Rd}$  - vidjeti A.11.1, gdje se ovaj postupak koristi za rebro grede opterećeno na zatezanje;
- ležišne ploče ispod nožice stuba opterećene na savijanje  $F_{t,bp,Rd}$  - vidjeti A.17.1. (i, 6.2.8.3(2), 6.2.8.3(3))

**D.3.3(3):** Proračunsku nosivost na pritisak  $F_{C,Rd}$  na jednoj strani veze treba usvojiti kao manju vrijednost od proračunskih nosivosti sljedećih osnovnih komponenti:

- betona i ležišne ploče ispod jedne nožice stuba opterećenih na pritisak  $F_{c,bp,Rd}$  - vidjeti A.16.1;
- nožice i rebra stuba opterećenih na pritisak  $F_{c,fb,Rd}$  - vidjeti A.10.1. (i, 6.2.8.3(4), 6.2.8.3(5))

**D.3.4(1):** Proračunska nosivost na smicanje između ležišne ploče i njenog oslonca treba da se usvoji kao:

- zbir proračunske nosivosti na trenje između ležišne ploče i njenog oslonca i proračunske nosivosti na smicanje anker zavrtnjeva, vidjeti D.3.4(3);
- proračunska nosivost krutog moždanika ili trna na pritisak određena prema EN 1992. **(i, 6.2.8.1(5))**

**D.3.4(2):** Proračunska nosivost na trenje  $F_{f,Rd}$  između ležišne ploče i materijala za podlivanje treba da se odredi prema:

$$F_{f,Rd} = C_{f,d} N_{c,Ed} \quad (D.1)$$

gdje je

$C_{f,d}$  koeficijent trenja između ležišne ploče i sloja za podlivanje, koji treba usvojiti kao 0.3;

$N_{c,Ed}$  proračunska vrijednost normalne sile pritiska u stubu.

Ako je stub opterećen normalnom silom zatezanja,  $F_{f,Rd} = 0$ . **(i, 6.2.2.(6))**

**D.3.4(3):** Proračunska nosivost na smicanje  $F_{v,Rd}$  između ležišne ploče i sloja za podlivanje treba da se odredi prema:

$$F_{v,Rd} = F_{f,Rd} + n F_{vb,Rd} \quad (D.2)$$

gdje je

$n$  broj anker zavrtnjeva;

$F_{vb,Rd}$  proračunska nosivost jednog anker zavrtnja na smicanje, vidjeti A.20(1).

Prema ovoj metodi se pretpostavlja da su svi anker zavrtnjevi okruženi betonom. **(d, 6.2.2(8))**

### 2.8.6.2 Rotaciona krutost (D.4)

**D.4(1):** Početna rotaciona krutost,  $S_{j,ini}$ , simetrične oslonačke veze stuba izložene kombinovanom dejstvu aksijalne sile i momenta savijanja treba da se odredi prema tabeli D.2 sa sljedećim koeficijentima krutosti:

- $k_T$  koeficijent krutosti na zatezanje jedne strane veze; njegovu inverznu vrijednost treba usvojiti kao zbir inverznih vrijednosti koeficijenata krutosti  $k_{t,bp}$  i  $k_{tb}$ , određenih prema A.17.2 i A.18.2;
- $k_C$  koeficijent krutosti na pritisak jedne strane veze; treba da se usvoji kao jednak koeficijentu krutosti  $k_{c,bp}$ , određenom prema A.16.2. (i, 6.3.4(1))

**Tabela D.2 — Početna rotaciona krutost  $S_{j,ini}$  simetrične ležišne ploče stuba (i, tabela 6.12)**

Slučaj opterećenja	Krak sila $z$	Inicijalna rotaciona krutost $S_{j,ini}$	
		$N_{Ed} > 0$ i $e \geq z_T$	$N_{Ed} < 0$ i $e \leq -z_C$
Dominantan moment savijanja	$z = z_T + z_C$	$S_{j,ini} = \frac{E z^2}{\left(\frac{1}{k_T} + \frac{1}{k_C}\right)} \frac{e}{e + e_k}$ gdje je $e_k = \frac{z_C k_C - z_T k_T}{k_T + k_C}$	
Dominantna sila zatezanja	$z = z_T + z_T$	$N_{Ed} > 0$ i $0 < e \leq z_T$	
		$S_{j,ini} = \frac{E z^2 k_T}{2}$	
Dominantna sila pritiska	$z = z_C + z_C$	$N_{Ed} < 0$ i $-z_C \leq e < 0$	
		$S_{j,ini} = \frac{E z^2 k_C}{2}$	
$M_{Ed} > 0$ u smjeru kretanja kazaljke na satu, $N_{Ed} > 0$ u slučaju zatezanja; $e = \frac{ M_{Ed} }{N_{Ed}}$			

### **3 Modeliranje čvorova rešetkastih nosača. Izmjene uvedene u devetom poglavlju nacрта EN 1993-1-8:2021**

#### **3.1 Modeliranje čvorova rešetkastih nosača**

Prilikom modeliranja čvorova rešetkastih nosača, važna su dva aspekta:

- Modeliranje same rešetke
- Modeliranje čvora.

##### **3.1.1 Modeliranje rešetke**

Globalnom analizom rešetki od šupljih profila bavi se potpoglavlje 7.1.5 prEN 1993-1-8: 2021 koje je razmatrano u prvom dijelu rada. Ovdje se daju dodatna objašnjenja i dopune tih odredbi.

Rešetka se modelira primjenom plastične ili elastične globalne analize.

Primjenom elastične globalne analize može biti potrebno da se rešetka modelira različito za granična stanja nosivosti i granična stanja upotrebljivosti. Prilikom određivanja uticaja za GSN se može pretpostaviti da su svi elementi zglobno povezani. Pritom se, za pretpostavku idealne rešetke, pojas može predstaviti zglobno povezanim elementima ili, za precizniji model, kao kontinualno oslonjen element.

Mogućnost modeliranja veza kao zglobnih proizilazi iz toga što se momenti savijanja u rešetki mogu podijeliti na primarne i sekundarne momente savijanja. Sekundarni moment savijanja je moment savijanja koji nastaje na spoju između kraja elementa ispune i zida pojasa i on je posljedica stvarne krutosti čvora. Smatra se da se ovaj moment može zanemariti ako:

- su čvorovi jači, ali u elementima može da dođe do preraspodjele napona nakon pojave napona tečenja;
- su čvorovi slabiji, ali imaju dovoljnu deformacionu i rotacionu krutost da raspodijele napone nakon pojave nekog lokalnog tečenja (Wardenier, 1982).

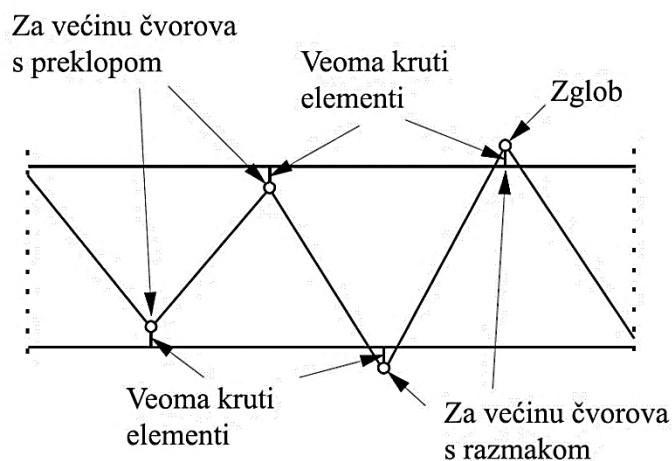
Ova pretpostavka važi ako su ispoštovani uslovi dati u 7.1.5(3).

Modeliranje elemenata kao kruto povezanih bi moglo dovesti do prevelikih vrijednosti momenata savijanja, dok se vrijednosti aksijalnih sila ne bi puno razlikovale (Wardenier, et al., 2010). Inače, prema 7.1.5(4), modeliranje čvorova kao krutih veza je dopustivo u slučaju primjene čelika klasa čvrstoća viših od S460, ali je na strani sigurnosti.

Ekscentricitet čvora se, u slučaju proračuna računom, može uzeti u obzir prilikom usvajanja same geometrije rešetke, pri čemu se usvaja velika krutost elementa (linka) čija dužina odgovara ekscentricitetu, kao što je prikazano na slici 3.1.

Veći ekscentriciteti od onih navedenih u 7.1.5(5) se ne preporučuju.

Prilikom određivanja ugiba, modeli mogu biti različiti u zavisnosti od fleksibilnosti samih čvorova. Npr, ukoliko se radi o rešetki sa K čvorovima sa preklopom, modeliranje rešetke sa zglobovima u čvorovima bi dovelo do prevelikih vrijednosti ugiba. Najbolje bi bilo modelirati rešetku sa kontinualnim pojasom, a zglobovno povezanim elementima ispune. Sa druge strane, ukoliko se radi o rešetki sa K čvorovima sa razmakom, modeliranjem rešetke sa zglobovima u čvorovima bi se čak potcijenili ugibi, pa se predlaže da se dobijene vrijednosti pomnože sa 1.1 (Wardenier, et al., 2010).



**Slika 3.1 – Pretpostavke prilikom modeliranja ravanske rešetke u cilju dobijanja realne raspodjele presječnih sila (Wardenier, et al., 2008a. p.20)**

Primjenom plastične globalne analize, pojasevi rešetke se modeliraju kao kontinualne grede, a elementi ispune obezbjeđuju oslanjanje.

Prilikom određivanja efektivne dužine pritisnutih elemenata rešetke, faktor efektivne dužine  $KL$  se može usvojiti kao 0.9 za pritisnuti pojas u ravni rešetke. Van ravni rešetke može se usvojiti kao 0.9 od dužine u kojoj se obezbjeđuje bočno pridržavanje pojasa. Za pritisnute elemente ispune, i u i van ravni rešetke, ova vrijednost se može usvojiti kao 0.75 od rastojanja između čvorova. Ovo je posljedica činjenice da se uglavnom u rešetki rijetko usvajaju elementi sa minimalnom masom, u kom slučaju bi rešetka bila dovoljno fleksibilna da se za elemente, umjesto svih navedenih vrijednosti faktora efektivne dužine, usvoji faktor efektivne dužine koji je jednak 1. Takođe,

navedene vrijednosti se dopuštaju ako se veza između elemenata ostvaruje tako da se elementi međusobno povezuju po čitavom svom obimu bez rezanja ili sužavanja. (Wardenier, et al., 2008a)

### 3.1.2 Modeliranje čvora

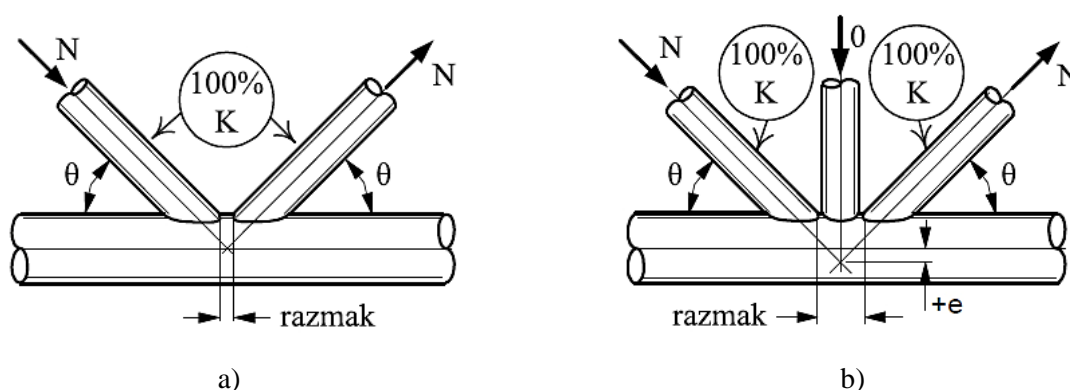
S obzirom na to da su izrazi za nosivost čvora dobijeni kombinovanjem eksperimentalnih rezultata sa teorijskim modelima, jasno je da ovi izrazi ne mogu imati primjenjivost na bilo kakve konfiguracije čvorova, već samo na one koje su ispitivanjima obuhvaćene. Uputstva za projektovanje na kojima radi i koje objavljuje CIDECT, kao i preporuke EN 1993-1-8 koje su većim dijelom u skladu sa preporukama CIDECT-a, tiču se samo određenih konfiguracija čvorova, bez ili sa nekim vrstama ojačanja, koje imaju i izvjesna geometrijska ograničenja.

Geometrijska ograničenja se odnose na utvrđeni opseg važenja izraza za nosivost čvora, a nekad se njima i redukuje broj mogućih oblika loma, čime se proračun pojednostavljuje (Wardenier, et al., 2008a).

Ukoliko naša konfiguracija čvora ne spada u tipske konfiguracije, biće potrebno služiti se dodatnom literaturom, ispitivanjima i/ili metodom konačnih elemenata za određivanje nosivosti predmetnog čvora.

#### 3.1.2.1 Konfiguracija čvora

Pod konfiguracijom čvora se ne misli na izgled čvora, već na način raspodjele sila u čvoru (za dalja objašnjenja, pogledati 3.2.1.1.2). U tom smislu, i čvor na slici 3.2a) je K čvor, ali i čvor na slici 3.2b): vrijednost sile u vertikalnom elementu ispune je jednaka nuli, pa se i ovaj čvor prema definiciji klasifikuje kao K čvor.



Slika 3.2: K čvor (Wardenier, et al., 2010, p.72)

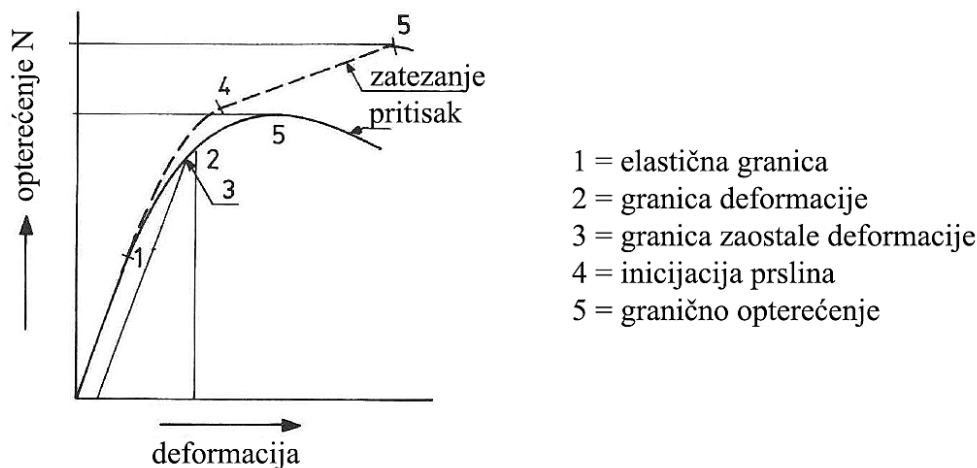
Ukoliko veličina razmaka  $g$  između elemenata ispune K čvora prevaziđe preporučenu vrijednost, čvor je potrebno provjeriti ne samo kao K čvor, već kao i dva odvojena Y čvora (Wardenier, et al., 2010).



### 3.1.2.2 Model nosivosti čvora

Statička čvrstoća veze šupljih profila se definiše različitim kriterijumima (slika 3.3):

- kapacitet nosivosti
- granica deformacije
- pojava prslina vidljive golim okom (Wardenier, 1982).



Slika 3.3: Kriterijumi loma (Wardenier, 1982)

Kapacitet nosivosti je jasno definisan kod onih čvorova kod kojih dijagram opterećenje-deformacija ima maksimum, kao npr. kod pritisnutih čvorova. Kod ostalih čvorova dolazi do povećanja nosivosti uz povećanje deformacije, tako da se maksimalna nosivost dostiže pri prevelikoj deformaciji. Maksimalni dopustivi nivo deformacija koji se usvaja iznosi oko  $0.03d_0$ . Ovo ograničenje deformacija treba da spriječi pojavu pretjeranih deformacija ili prslina pri graničnom stanju upotrebljivosti. Procjenjuje se da deformacija pri graničnom stanju upotrebljivosti ne treba da pređe  $0.01d_0$ . Ovdje se napominje da to nije slučaj za sve razmotrene modele čvorova, jer su kod nekih nosivosti određivane razmatranjem samo kapaciteta nosivosti (Wardenier, et al., 2010).

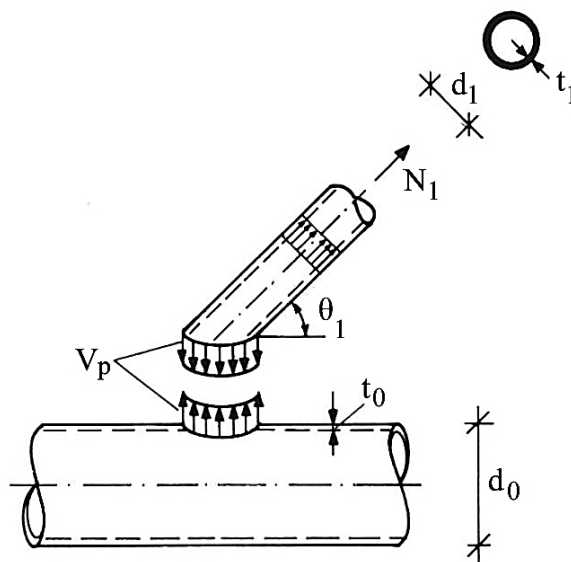
Koji oblik loma će biti mjerodavan zavisi od konfiguracije čvora, uslova opterećivanja kao i geometrije čvora. (Wardenier, et al., 2010). Analitički modeli loma služe za određivanje najznačajnijih parametara koji utiču na nosivost čvora i, u zavisnosti od tipa čvora, manje ili više su u saglasnosti sa rezultatima ispitivanja, ali egzaktnih analitičkih modela nema. Modeli prikazani ispod predstavljaju osnove za dobijanje jednačina nosivosti K čvora sa razmakom, napravljenog od cjevastih profila, koje se daju u uputstvima i standardima za projektovanje. Modeli se odnose

samo na slučajeve koji će kasnije biti obuhvaćeni programom za proračun i optimizaciju čvora: aksijalna sila i savijanje u ravni. Savijanje van ravni se ne razmatra. Problem smicanja u presjeku unutar razmaka se ne razmatra. Modeli prikazani ispod mogu se naći u (Wardenier, 1982), (Wardenier, et al., 2010).

### 3.1.2.2.1 Smičući lom na čupanje zida šupljeg presjeka pojasa

Smičući lom na čupanje podrazumijeva odvajanje dijela zida pojasa ispod elementa ispune. Ovaj lom predstavlja lom pojasa izazvan silom (momentom) u elementu ispune, pa se nosivost čvora opisuje kao maksimalna sila (maksimalni moment) u elementu ispune koja (koji) zavisi od geometrije čvora i materijalnih karakteristika pojasa.

Na slici 3.4 je prikazan smičući lom na čupanje usljed dejstva aksijalne sile u elementu ispune.



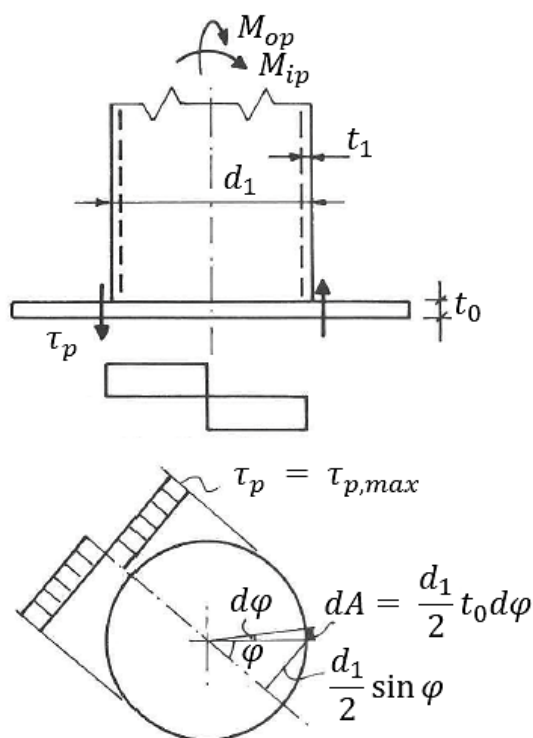
Slika 3.4: Model za smičući lom na čupanje (Wardenier, 1982, p.103)

Površina smicanja zavisi od ugla nagiba elementa ispune i iznosi  $\pi d_i t_0 \frac{1 + \sin \theta_i}{2 \sin \theta_i}$ , a maksimalni napon smicanja iznosi  $\tau_{p,max} = \frac{f_{y0}}{\sqrt{3}}$ , te je nosivost čvora u ovom slučaju određena sa:

$$N_i = \frac{f_{y0}}{\sqrt{3}} \pi d_i t_0 \frac{1 + \sin \theta_i}{2 \sin^2 \theta_i} \quad (3.1)$$

Ovaj vid loma je karakterističan za manje odnose prečnika elemenata ispune i pojasa, a kod K čvorova to može biti i u slučaju velikih razlika između prečnika elemenata ispune.

Za smičući lom na čupanje kod čvora opterećenog na savijanje pretpostavlja se raspodjela napona smicanja koja odgovara potpunoj plastifikaciji smičuće površine (slika 3.5).



**Slika 3.5:** Raspodjela napona smicanja u slučaju savijanja (Wardenier, 1982, p.138)

Iz raspodjele napona za slučaj kada je element ispune postavljen pod uglom od  $\theta_i = 90^\circ$  u odnosu na pojas, dobija se sljedeći izraz za nosivost čvora:

$$M_b = 2 \int_0^\pi \tau_{p,max} \left( \frac{d_i}{2} \sin \varphi \right) \left( \frac{d_i}{2} t_0 d\varphi \right) = d_i^2 t_0 \frac{f_{y0}}{\sqrt{3}} \quad (3.2)$$

Pritom se ovdje razmatra projekcija obima po kojem se vrši smicanje, tj. kružnica, a ne stvarni obim. Takođe, pošto se smiče površina ispod elementa ispune zajedno sa šavovima, u stvarnosti je prečnik smičuće površine nešto veći od prečnika elementa ispune. Kada je element ispune u odnosu na pojas postavljen pod nekim uglom koji se razlikuje od  $90^\circ$ , onda je potrebno uzeti u obzir da je projektovani obim smicanja elipsa. Tada prethodni izraz treba pomnožiti koeficijentom  $k_b$  za dobijanje nosivosti na smičući lom na čupanje usljed savijanja u ravni:

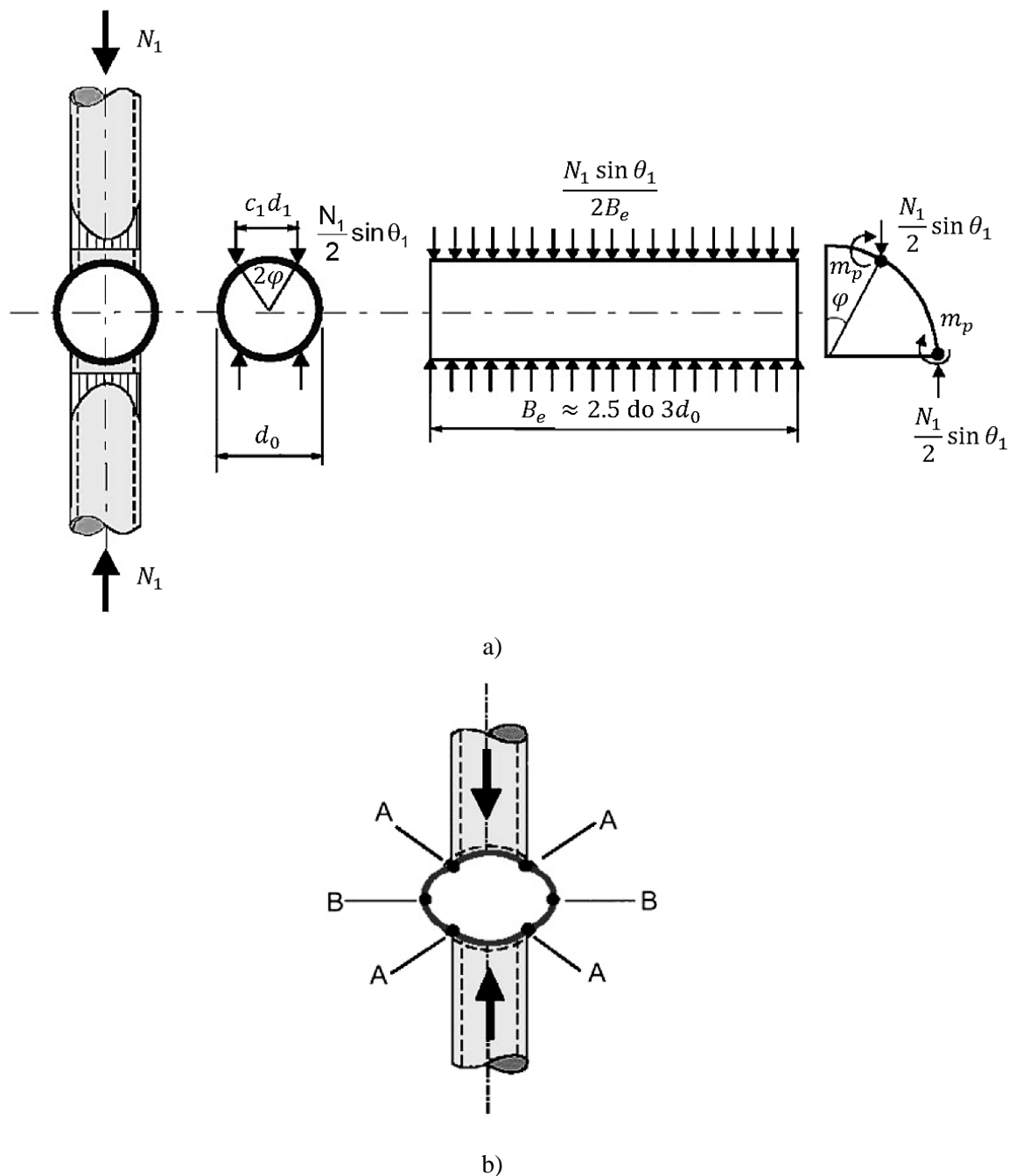
$$k_b = \frac{1+3 \sin \theta_i}{4 \sin^2 \theta_i}.$$

U odnosu na ovaj analitički izraz, forma izraza koja se primjenjuje za određivanje nosivosti na smičući lom na čupanje usljed savijanja u ravni je sljedeća:

$$M_{ip,i,Rd} = C d_i^2 t_0 \frac{f_{y0}}{\sqrt{3}} \quad (3.3)$$

### 3.1.2.2.2 Lom plastifikacijom pojasa

Lom plastifikacijom pojasa se opisuje modelom prstena čija je primjenjivost dobra za X čvorove (slika 3.6).



**Slika 3.6:** Togo-v model prstena (Wardenier, et al., 2010)

Prema ovom modelu, čvor se može predstaviti samo preko pojasa, a u nekoj efektivnoj dužini  $B_e$ . Vertikalna komponenta opterećenja od elementa ispune se može predstaviti uz pomoć dva linijska opterećenja koja se prenose u tačkama najveće krutosti, tj. u sedlima elemenata ispune. Vrijednost ovih opterećenja iznosi:  $0.5N_1 \sin \theta_1$  i ona se nalaze na određenom rastojanju  $c_1 d_1$ , gdje je  $c_1 < 1$  (slika 3.6a)). Kada dođe do plastifikacije pojasa, u tačkama A i B se dostiže plastični

moment nosivosti (slika 3.6b)), koji, ukoliko zanemarimo uticaj aksijalnih i smičućih napona, po jedinici dužine iznosi:

$$m_p = \frac{1}{4} t_0^2 f_{y0}$$

Iz uslova ravnoteže na posmatranom dijelu pojasa i usvajajući da je  $d_0 - t_0 \approx d_0$ , dobija se vrijednost maksimalne sile koja može da se javi u elementu ispune:

$$N_1 = \frac{2 B_e / d_0 t_0^2 f_{y0}}{(1 - c_1 \beta) \sin \theta_1} \quad (3.4)$$

gdje je

$$\beta = \frac{d_1}{d_0}$$

Ovaj izraz uzima u obzir samo vertikalnu komponentu opterećenja u elementu ispune, ali na nosivost čvora moraju uticati i naponi u samom pojasu. Takođe, ovaj izraz nije u potpunosti prikladan za predmetni K čvor. Iz ovih razloga, opšta forma izraza za nosivost na lom po licu pojasa je nešto drugačija:

$$N_{i,Rd} = f(\beta) f(\gamma) f(g') \frac{f_{y0} t_0^2}{\sin \theta_i} Q_f \quad (3.5)$$

gdje  $Q_f$  zavisi od nivoa napona u pojasu. Funkcije  $f(\beta)$ ,  $f(\gamma)$ ,  $f(g')$  i  $Q_f$  su semi-empirijske.

U slučaju savijanja u ravni, takođe je moguće dio pojasa određene efektivne dužine  $B_e$  predstaviti modelom prstena. Za ovaj slučaj taj model postaje dosta komplikovan, pa je modeliranje lakše izvršiti primjenom metode konačnih elemenata.

### 3.1.2.3 Poređenje starih i novih izraza za nosivost

Prvi izrazi za nosivost su objavljeni od strane Potkomisije IIW-XV-E, 1989. godine, a korigovani izrazi za nosivost su objavljeni od strane Potkomisije IIW-XV-E, 2008. godine. Dobijeni rezultati eksperimentalnih istraživanja su preispitani, uz primjenu dodatnih analiza primjenom metode konačnih elemenata i u novim izrazima je uvedeno nekoliko izmjena.

Poređenja između starih i novih izraza za nosivost X, T i K čvorova su data u (Wardenier, et al., 2008b), a ovdje su izdvojeni zaključci za K čvorove (izrazi u tabeli 3.1).

Tabela 3.1: Stari i novi izrazi za nosivost – K čvorovi

<b>K čvor sa razmakom</b>	
Stari izraz za aksijalnu nosivost	Novi izraz za aksijalnu nosivost
$\beta = \frac{d_1 + d_2}{2d_0}; \gamma = ; g' = g/t_0$	
$N_i^* = \frac{f_{y0}t_0^2}{\sin \theta_i} \left( 1.8 + 10.2 \frac{d_1}{d_0} \right) f(\gamma, g') f(n')$ $f(\gamma, g') = \gamma^{0.2} \left( 1 + \frac{0.024\gamma^{1.2}}{1 + \exp(0.5g' - 1.33)} \right)$ <p>Za <math>n' &gt; 0</math> (pritisak): <math>f(n') = 1 + 0.3n' - 0.3n'^2</math> ali <math>f(n') \leq 1.0</math>            Za <math>n' \leq 0</math> (zatezanje): <math>f(n') = 1.0</math>  <math>n'</math> – odnosi se na tzv. „prednapon“ u pojasu</p>	$N_i^* = \frac{f_{y0}t_0^2}{\sin \theta_i} (1.65 + 13.2\beta^{1.6})\gamma^{0.3}$ $\left[ 1 + \frac{1}{1.2 + (g/t_0)^{0.8}} \right] Q_f$ <p>Za pritisak: <math>Q_f = (1 -  n )^{0.25}</math>            Za zatezanje: <math>Q_f = (1 - n)^{0.2}</math>  <math>n</math> – odnosi se na napon u pojasu</p>
Stari izraz za nosivost na savijanje u ravni	Novi izraz za nosivost na savijanje u ravni
$M_{ip,i}^* = 4.85f_{y0}t_0^2\gamma^{0.5}\beta d_i \frac{f(n')}{\sin \theta_i}$ $f(n') = 1 + 0.3n' - 0.3n'^2$	$M_{ip,i}^* = 4.3f_{y0}t_0^2\gamma^{0.5}\beta d_i \frac{Q_f}{\sin \theta_i}$ $Q_f = (1 -  n )^{(0.45-0.25\beta)}$
<b>K čvor sa preklopom</b>	
Stari izraz za aksijalnu nosivost	Novi izraz za aksijalnu nosivost
$N_i^* = \frac{f_{y0}t_0^2}{\sin \theta_i} \left( 1.8 + 10.2 \frac{d_1}{d_0} \right) f(\gamma, g') f(n')$ $f(\gamma, g') = \gamma^{0.2} \left( 1 + \frac{0.024\gamma^{1.2}}{1 + \exp(0.5g' - 1.33)} \right)$ <p>Za <math>n' &gt; 0</math> (pritisak): <math>f(n') = 1 + 0.3n' - 0.3n'^2</math> ali <math>f(n') \leq 1.0</math>            Za <math>n' \leq 0</math> (zatezanje): <math>f(n') = 1.0</math>  <math>n'</math> – odnosi se na tzv. „prednapon“ u pojasu</p>	<p>Ov = overlap = <math>\frac{q}{p} \times 100\%</math>  <math>i</math> – indeks za element ispunje kojim se ostvaruje preklop  <math>j</math> – indeks za preklopljeni element ispunje</p> $d_{ei} = \frac{12}{d_0/t_0} \frac{f_{y0}t_0}{f_{yit_i}} d_i \text{ ali } \leq d_i$ $d_{e,ov} = \frac{12}{d_j/t_j} \frac{f_{yjt_j}}{f_{yit_i}} d_i \text{ ali } \leq d_i$ <p>25% <math>\leq</math> Ov <math>&lt;</math> 100%  <math>N_i^* = f_{yit_i} \frac{\pi}{4} (2d_i + d_{ei} + d_{e,ov} - 4t_i)</math>            Ov = 100%  <math>N_i^* = f_{yit_i} \frac{\pi}{4} (2d_i + 2d_{e,ov} - 4t_i)</math></p>

Izmjene se uglavnom tiču izraza za nosivost na lom plastifikacijom pojasa u prisustvu aksijalne sile (izraz (3.5)), koji je ovdje razmotren u formi:

$$N_{i,Rd} = Q_u Q_f \frac{f_{y0}t_0^2}{\sin \theta_i}$$

gdje je

$Q_u$  – funkcija koja zavisi od geometrije čvora

$Q_f$  – funkcija koja zavisi od nivoa napona u pojasu

Prilikom modeliranja primjenom MKE razmotrena su sljedeća ograničenja:

- maksimum na dijagramu opterećenje-deformacija
- kriterijum deformacije koja iznosi 3%  $d_0$
- deformacija u elementu ne treba da pređe 20%, da ne bi došlo do prskanja. (Wardenier, et al., 2008b)

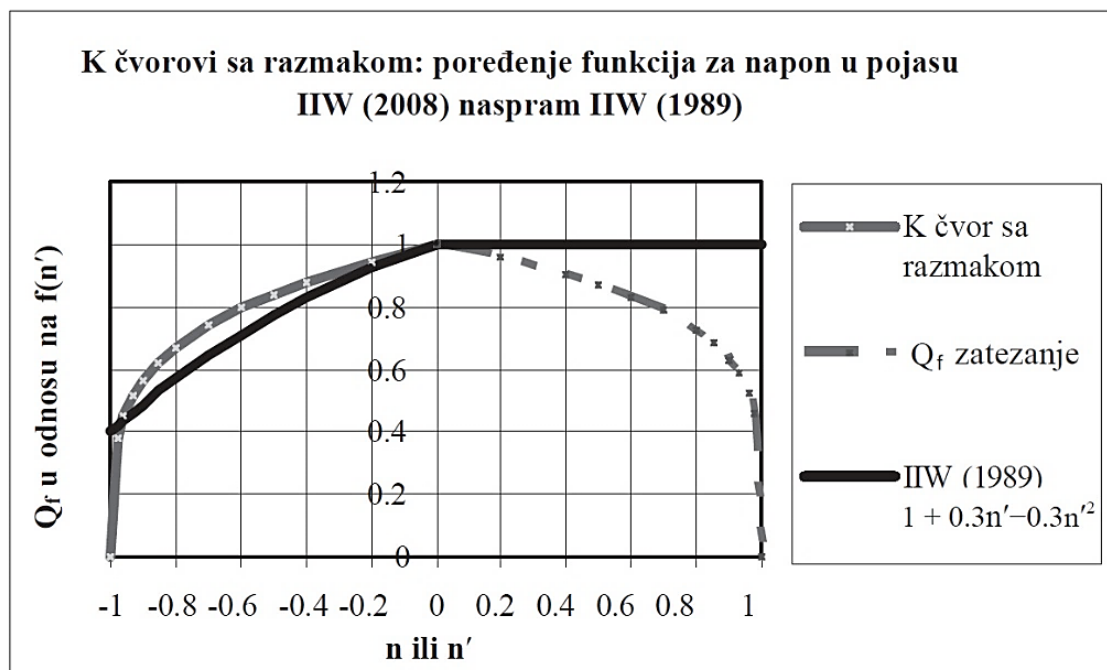
Šavovi su modelirani prema AWS (American Welding Society) sa minimalnim zahtjevima za sučeone šavove, što je dovelo do rezultata koji odgovaraju donjoj granici rezultata ispitivanja čvrstoće čvorova. (Wardenier, et al., 2008b)

### 3.1.2.3.1 Aksijalno opterećeni čvor

#### 3.1.2.3.1.1 Izmjene u funkciji napona ( $Q_f$ )

Na nosivost čvora utiče nivo napona u pojasnom elementu. Što je nivo napona veći, nosivost čvora je manja.

Na slici 3.8 se može vidjeti razlika između funkcija za nivo napona u pojasnom elementu,  $f(n')$  koja je bila data prema IIW (1989), kao i  $Q_f$ , koja je data prema IIW (2008). (Inače,  $f(n')$  odgovara faktoru  $k_p$  datom u EN 1993-1-8: 2005). Faktor  $Q_f$  daje veće vrijednosti u odnosu na  $f(n')$ , ali treba imati u vidu takođe da je  $Q_f$  funkcija od  $n$ , tj. od maksimalnog napona koji se može dobiti u pojasu.  $f(n')$  je funkcija od  $n'$ , tj. od tzv. „prednapona“, koji predstavlja napon u pojasu u koji nije uračunat napon koji proizvode horizontalne komponente sila u elementima ispune. Ova izmjena je uvedena da bi postojala usklađenost sa izrazima za određivanje nosivosti čvorova sa pojasem šupljeg pravougaonog presjeka. Takođe, prema IIW (1989), nosivost čvora nije mogla biti redukovana prisustvom napona zatezanja u pojasu, ali je u novim jednačinama ovaj uticaj prepoznat. Iz tog razloga  $Q_f$  zavisi i od pozitivnih vrijednosti  $n$ , dok je  $f(n')$  jednako jedinici za slučaj zategnutog pojasnog elementa. (Wardenier, et al., 2008b)



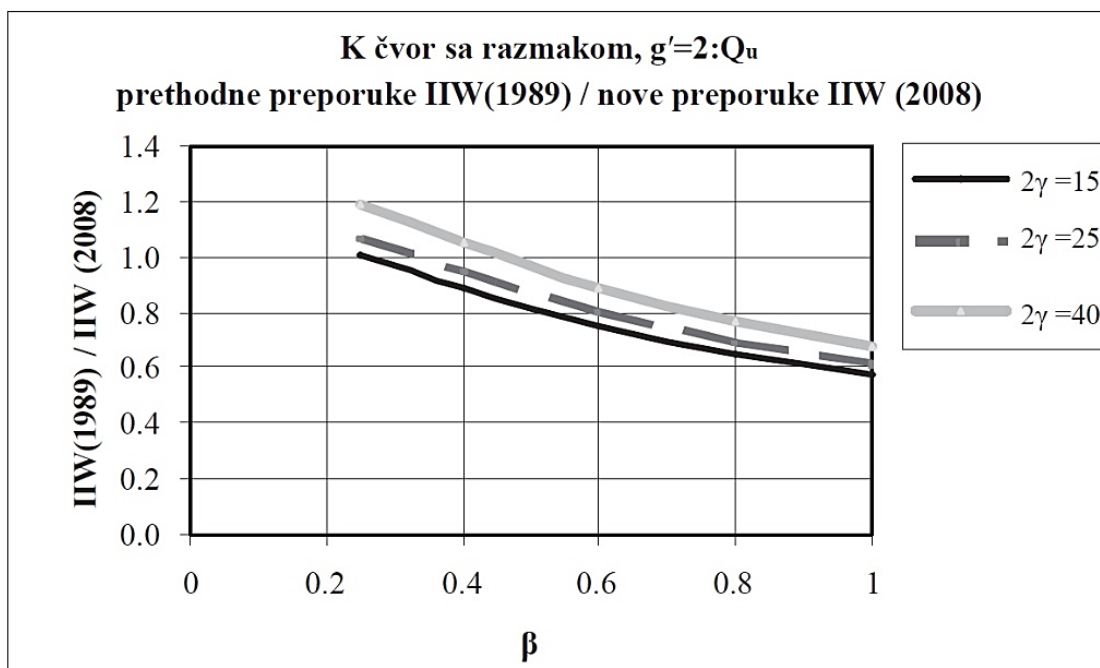
**Slika 3.8:** K čvor sa razmakom - nova IIW (2008) funkcija normalnog napona u pojasu naspram prethodne funkcije IIW (1989) (Wardenier, et al., 2008b)

### 3.1.2.3.1.2 Izmjene u $Q_u$ funkciji

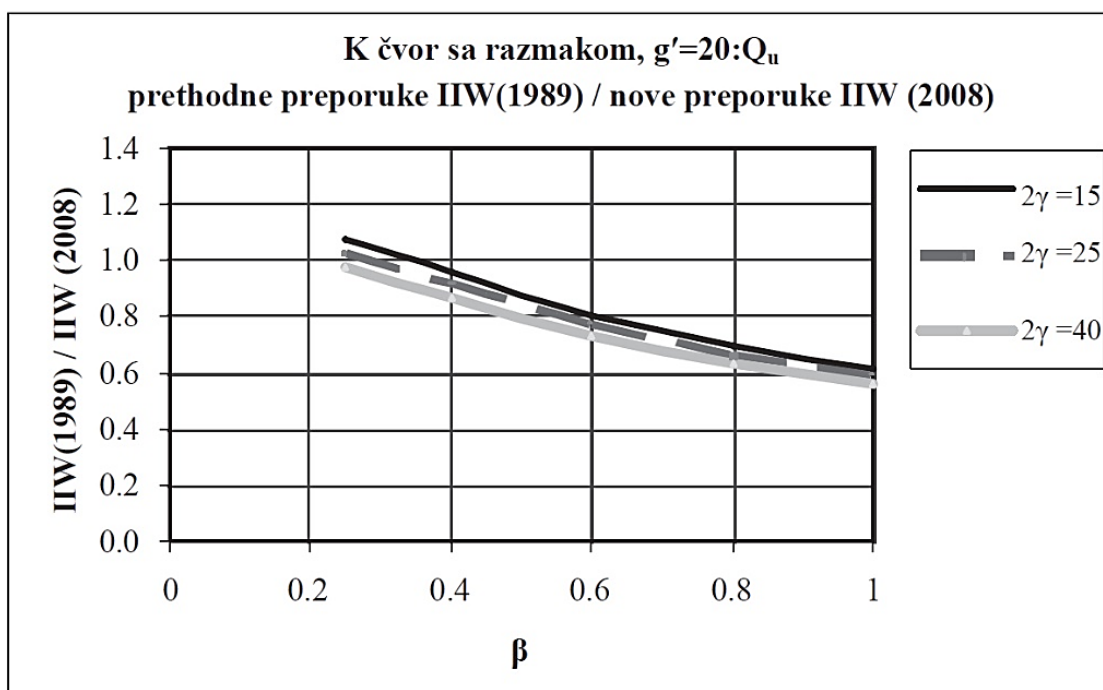
Na slikama 3.9a i 3.9b prikazan je odnos nosivosti dobijenih prema IIW (1989) i IIW (2008) u zavisnosti od  $Q_u$  funkcije za manje i veće razmake (za konkretne primjere,  $g' = 2$  i  $g' = 20$ ). Razmotrene su tri različite vrijednosti  $2\gamma$ . Sa tim fiksnim vrijednostima,  $Q_u$  funkcija se posmatra samo u zavisnosti od  $\beta$ , tj. od odnosa prečnika elemenata ispune i pojasa. Može se vidjeti da je za manje vrijednosti ovog odnosa, nosivost prema IIW (1989) veća od nosivosti prema IIW (2008). Za srednje i veće vrijednosti ovog odnosa, nosivost prema IIW (1989) je značajno manja jer je prema odgovarajućim izrazima uticaj napona u pojasu usljed komponenti opterećenja u elementima ispune bio veći za srednje i veće vrijednosti  $\beta$ .

Na slici 3.10 se mogu vidjeti  $Q_{uk}Q_f$  funkcije prema IIW (1989) i IIW (2008) za  $g' = 2$  i  $g' = 20$  i u zavisnosti od  $\beta$ , sa pretpostavkom da u pojasu nema napona, tj.  $Q_f = 1$ . Uglavnom je za manje vrijednosti razmaka i manje vrijednosti odnosa  $\beta$  nosivost prema novim izrazima manja ili jednaka nosivosti određenoj prema starim izrazima, a za veće razmake i srednje i veće vrijednosti odnosa  $\gamma$ , nosivost je veća. Manje nosivosti dobijene primjenom starih izraza su većinom posljedica funkcije razmaka prema IIW (1989), koja je za velike vrijednosti  $g'$  i  $\gamma$  davala znatno manju nosivost. (Wardenier, et al., 2008b)

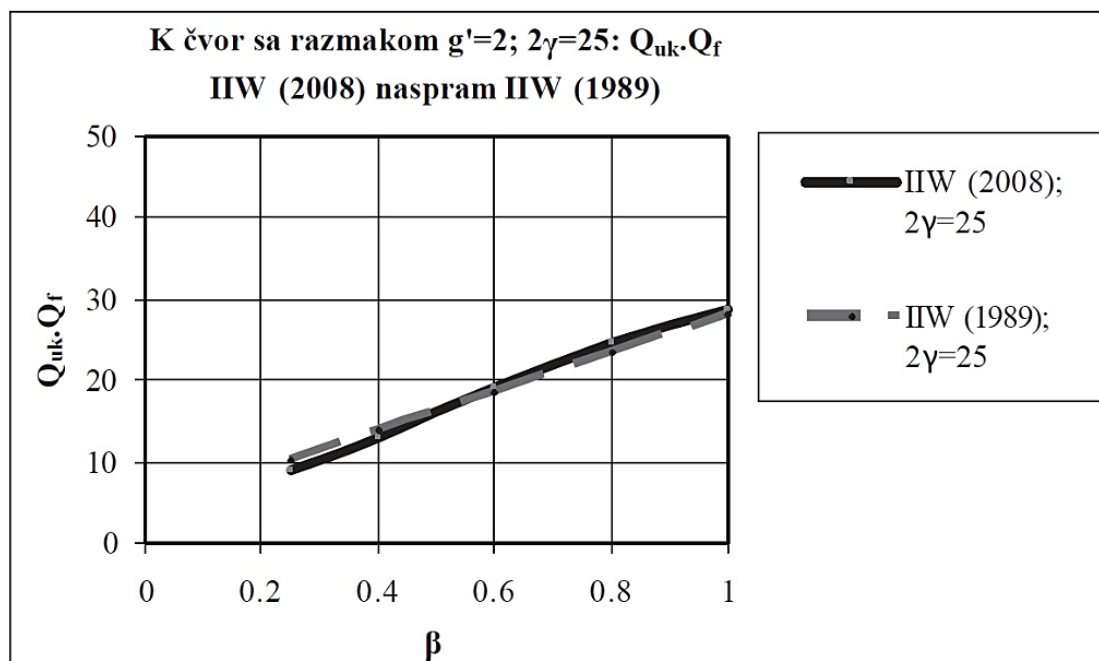
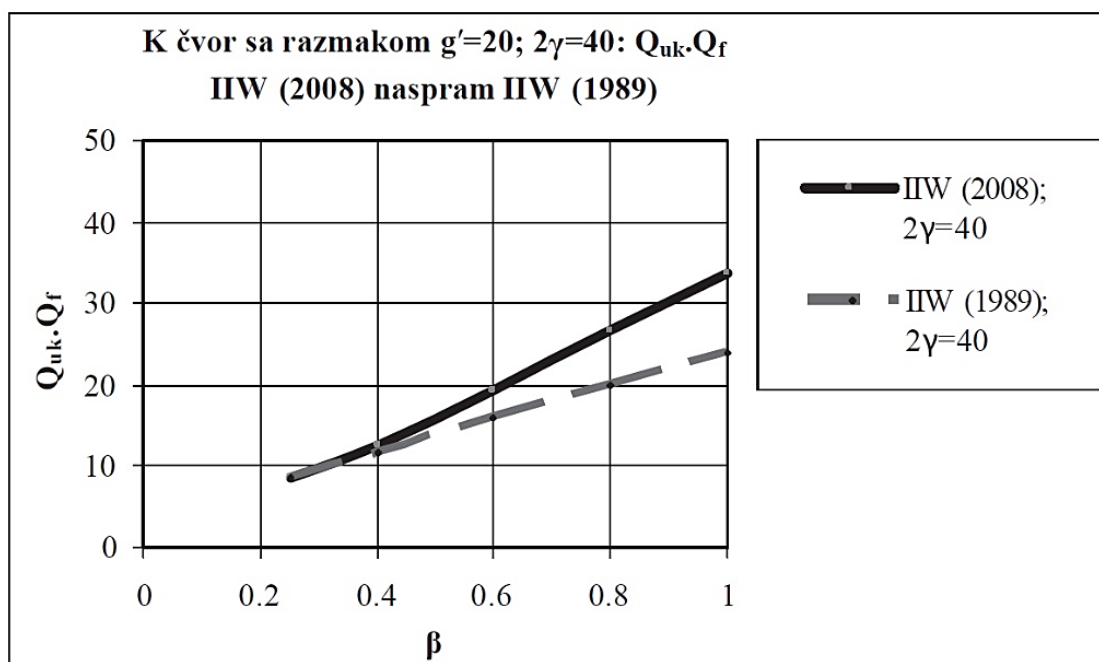




**Slika 3.9a):** K čvorovi sa malim razmacima  $g' = 2$ : nova IIW (2008)  $Q_u$  funkcija naspram prethodne funkcije IIW (1989) (Wardenier, et al., 2008b)

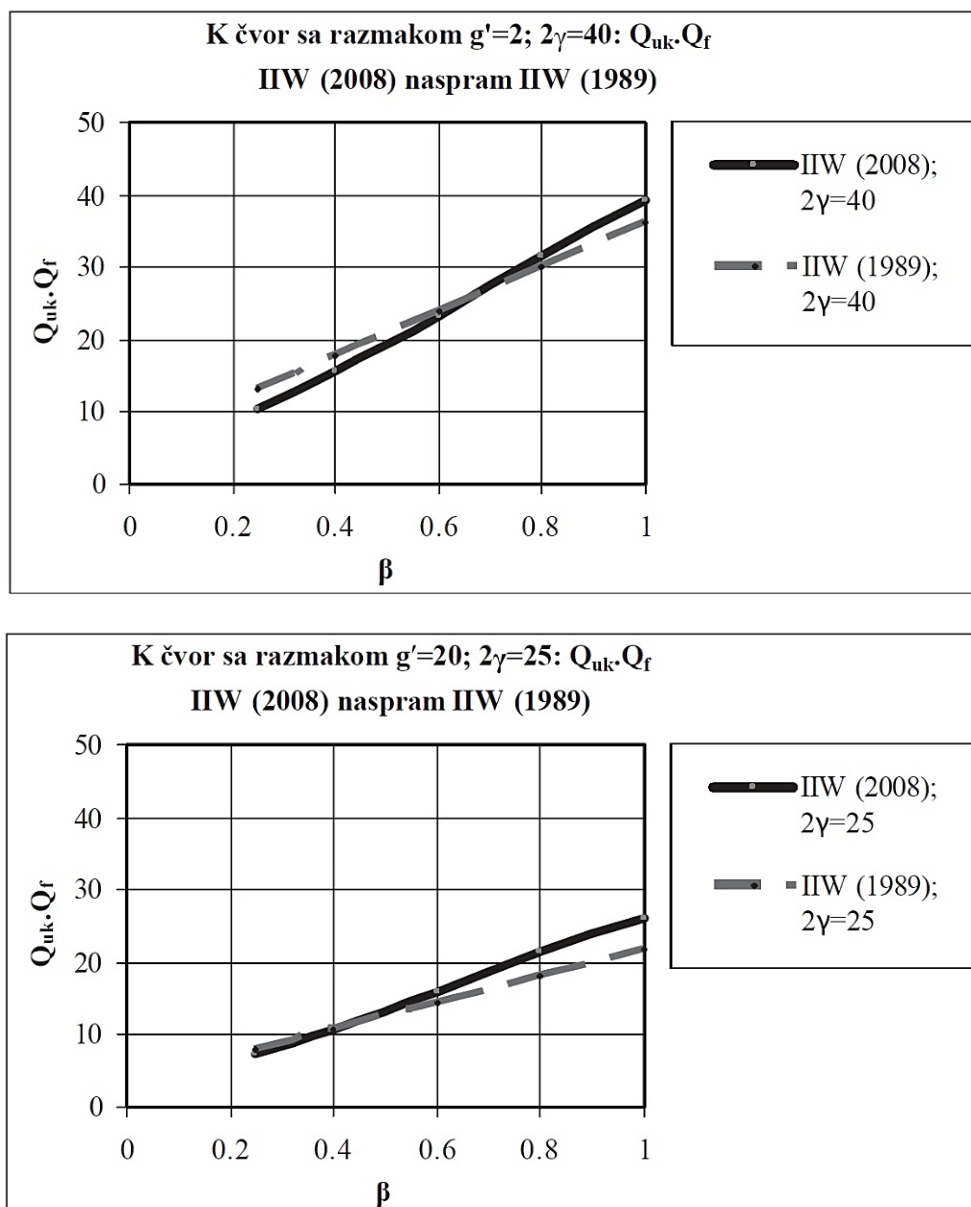


**Slika 3.9b):** K čvorovi sa velikim razmacima  $g' = 20$ : nova IIW (2008)  $Q_u$  funkcija naspram prethodne funkcije IIW (1989) (Wardenier, et al., 2008b)



**Slika 3.10a):** Poređenje karakteristične čvrstoće<sup>1</sup> ( $Q_{uk}Q_f$ ) novih preporuka IIW (2008) sa prethodnim preporukama IIW (1989) za K čvorove sa malim razmacima  $g' = 2$  (Wardenier, et al., 2008b)

<sup>1</sup> Proračunska čvrstoća se dobija dijeljenjem karakteristične čvrstoće sa 1.1.



**Slika 3.10b):** Poređenje karakteristične čvrstoće ( $Q_{uk}Q_f$ ) novih preporuka IIW (2008) sa prethodnim preporukama IIW (1989) za K čvorove sa velikim razmacima  $g' = 20$  (Wardenier, et al., 2008b)

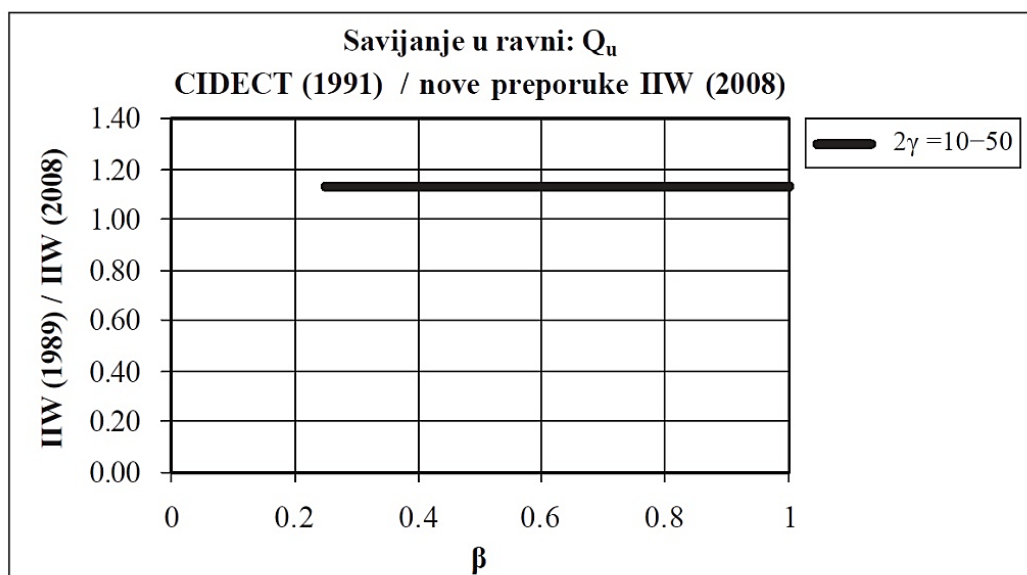
### 3.1.2.3.2 Čvor opterećen na savijanje u ravni

#### 3.1.2.3.2.1 Izmjene u funkciji napona ( $Q_f$ )

U tabeli 3.1 se mogu sagledati funkcije napona u pojasu za čvor opterećen na savijanje u ravni prema IIW (1989) i prema IIW (2008).

#### 3.1.2.3.2.2 Izmjene u $Q_u$ funkciji

Za savijanje u ravni,  $Q_u$  funkcija prema CIDECT-u (1991) je definisana tako da je dobijena vrijednost nosivosti prema IIW (2008) za 13% manja nego prema CIDECT-u (1991), (slika 3.11). (Wardenier, et al., 2008b)



**Slika 3.11:** Poređenje nosivosti na moment savijanja u ravni prema novim preporukama IIW (2008) i CIDECT-u (1991) (Wardenier, et al., 2008b)

### 3.1.2.3.3 K čvor sa preklpom

Izrazi za K čvor sa preklpom su prema IIW (1989) bili isti kao i za K čvor sa razmakom. To više nije slučaj i sada su izrazi isti sa čvorove sa CHS, RHS i pojasima I ili U presjeka. Primjer u tabeli 3.2 ukazuje na razlike koje se mogu javiti prilikom primjene odredbi IIW (1989) u odnosu na odredbe IIW (2008). Tabela prikazuje efikasnost čvora, tj. odnos (nosivost čvora)/(granica razvlačenja elementa ispune). (Wardenier, et al., 2008b)

**Tabela 3.2:** Efikasnosti čvora u slučaju čvora sa preklpom od 50% ( $\beta = 0.6$ ;  $2\gamma = 25$ ;  $\tau = \frac{t_i}{t_0} = 1$  ili 0.5;  $\theta_i = 45^\circ$  i dimenzije elemenata su jednake) (Wardenier, et al., 2008b)

Efikasnost čvora	IIW (2008)	IIW (1989)
$\beta = 0.6$ ; $2\gamma = 25$ ; $\tau = 1$	0.81	0.63
$\beta = 0.6$ ; $2\gamma = 25$ ; $\tau = 0.5$	0.84	> 1

U radovima (Van der Vegte & Wardenier, 2014), (Van der Vegte, et al., 2008) se mogu sagledati rezultati eksperimentalnih ispitivanja uzoraka koji su bili razmatrani prilikom reevaluacije izraza za nosivost K čvorova sa razmakom, napravljenih od cjevastih profila. Rasipanje eksperimentalnih podataka je posljedica nekoliko uticaja, npr. načina na koji se proglašava završetak ispitivanja, veličine uzoraka (tj. uzorci manje naspram uzoraka veće razmjere), svojstva materijala pojasnog

elementa, konfiguracije veze, graničnih uslova koji su pretpostavljeni za pojas itd. (Van der Vegte & Wardenier, 2014)

### **3.1.2.4 Razvoj komponentalne metode za modeliranje čvorova rešetkastih nosača**

U smislu projektovanja veza u čeličnim konstrukcijama, mogu se izdvojiti dva pristupa u zavisnosti od oblika poprečnog presjeka elemenata koji ulaze u vezu:

- pristup proračuna komponentalnom metodom, koja se primjenjuje kod veza otvorenih profila;
- primjena semi-empirijskih izraza, koji se primjenjuju kod veza šupljih i kombinacije šupljih i otvorenih profila.

Pristup proračuna komponentalnom metodom je primjenjiv za ramovske konstrukcije i njime se mogu dobiti svi relevantni podaci o jednoj vezi: njena nosivost, njena krutost, kao i njen kapacitet rotacije. Prilikom primjene komponentalne metode potrebno je prije svega uočiti komponente veze, odrediti nosivost i krutost tih komponenti, a potom nosivost i krutost čitave veze.

Kao što je već naznačeno, semi-empirijski izrazi nastaju kao kombinacija mehaničkih modela i ispitivanja i primjenjivost ovih izraza nije ni opšta za određenu konfiguraciju čvora, već je i geometrija elemenata čvora ograničena dimenzijama za koje je dokazano da je određeni izraz primjenjiv. Modeli loma se takođe različito analiziraju u zavisnosti od profila koji se upotrebljavaju za čvor.

J.-P. Jaspert i K. Weynand (2015) u svom radu ukazuju na primjenu komponentalne metode za proračun veza šupljih i kombinacije šupljih i otvorenih profila. Ovaj projekat je finansiran od strane CIDECT-a.

Za 6 oblika loma koji su prepoznati prilikom ispitivanja čvorova rešetkastih nosača, potrebno je bilo uspostaviti odgovarajuće komponente. Zasad je razmotreno 5 komponenti:

- lice pojasa opterećeno na savijanje (odgovara lomu lica pojasa);
- bočni zid(ovi) pojasa opterećeni na pritisak ili zatezanje (odgovara lomu bočnog zida pojasa);
- bočni zid(ovi) pojasa opterećeni na smicanje (odgovara smicanju pojasa);
- lice pojasa opterećeno na smicanje usljed proboja (odgovara smicanju usljed proboja pojasa);
- nožica i rebro(a) elementa ispune opterećeni na pritisak ili zatezanje (odgovara lomu elementa ispune). (J.-P. Jaspert & K. Weynand 2015)

S obzirom na to da bi primjenom komponentalne metode mogao da se dobije jedinstven pristup projektovanju veza i da bi bila primjenjiva na bilo koji oblik poprečnog presjeka, bilo kojih dimenzija, jasno je da bi u toj primjeni postojale određene prednosti.

### 3.2 Izmjene uvedene u devetom poglavlju nacrtu EN 1993-1-8: 2021

Odredbe EN 1993-1-8: 2005 koje se tiču proračuna čvorova rešetkastih nosača su bile u skladu sa IIW(1989), dok su odredbe prEN 1993-1-8: 2021 u skladu sa IIW(2008). prEN 1993-1-8: 2021 još dozvoljava i projektovanje veza sa većim opsegom klasa čelika nego IIW (2008), pa je dopustivo projektovati veze sa klasama čelika od S235 do S700, uključno sa S700. Pošto prikaz izmjena u izrazima za nosivost različitih konfiguracija čvorova nije moguće obuhvatiti ovim radom, ovdje se prikazuju samo izmjene odredbi koje se odnose generalno na čvorove (do potpoglavlja 9.4).

#### 3.2.1.1.1 Opšte (9.1)

**9.1.1(4):** Vrijednosti proračunskih nosivosti veza treba pomnožiti sa faktorom materijala  $C_f$ . U slučajevima smičućeg loma na čupanje pojasa i loma zategnutog elementa ispune, pored množenja sa faktorom materijala  $C_f$ , proračunske granice razvlačenja  $f_{y0}$  i  $f_{yi}$  ne treba da pređu  $0.8f_{u0}$  i  $0.8f_{ui}$  respektivno.

Vrijednosti za faktor materijala  $C_f$  su date u tabeli 9.1 osim ako nacionalni aneks ne da drugačije vrijednosti.

**Tabela 9.1 (NDP) – Faktori materijala koji utiču na nosivost**

$f_y \leq 355 \text{ N/mm}^2$	$C_f = 1.00$
$355 \text{ N/mm}^2 < f_y \leq 460 \text{ N/mm}^2$	$C_f = 0.90$
$460 \text{ N/mm}^2 < f_y \leq 550 \text{ N/mm}^2$	$C_f = 0.86$
$550 \text{ N/mm}^2 < f_y \leq 700 \text{ N/mm}^2$	$C_f = 0.80$

Izbor oblika loma za koje je proračunska granica razvlačenja ograničena na  $0.8f_{u0}$  ili  $0.8f_{ui}$  može biti izmijenjen nacionalnim aneksom. **(i, 7.1.1(4))**

**9.1.1(5):** Nominalna debljina zida šupljeg presjeka ne treba da bude manja od 1.5 mm. **(i, 7.1.1(5))**

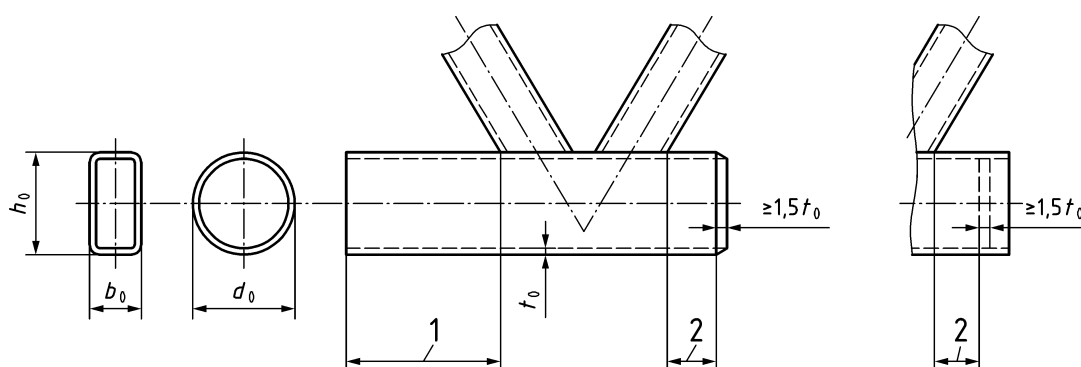
Prema tački 7.1.1(6) stare verzije EN 1993-1-8, nominalna debljina zida šupljeg presjeka pojasnog elementa nije trebalo da bude veća od 25 mm, osim ako nijesu preduzete posebne mjere kojima se osigurava da će svojstva materijala biti odgovarajuća po čitavoj debljini. **(u, 7.1.1(6))**

**9.1.2(3):** Uglovi  $\theta_i$  između pojaseva i elemenata ispune, kao i između susjednih elemenata ispune treba da budu  $\theta_i \geq 30^\circ$ . Za uglove  $\theta_i < 30^\circ$  proizvođač treba da pokaže da se mogu napraviti pravilni šavovi. Veze šupljih presjeka sa uglovima  $\theta_i < 30^\circ$  treba proračunati pretpostavljajući ugao  $\theta_i = 30^\circ$ . **(d, 7.1.2(3))**

**9.1.2(6):** Kod veza sa preklpom, preklp  $\lambda_{ov}$  treba da bude dovoljno veliki kako bi se osigurala odgovarajuća međusobna veza elemenata ispune za adekvatno prenošenje smicanja sa jednog na drugi element ispune. Preklp treba da bude najmanje 25%. Konfiguracije veza sa preklpom većim od 100% kod kojih je preklp dovoljno veliki da bi se obezbijedilo zavarivanje u proračunima nosivosti treba razmatrati kao konfiguracije veza sa preklpom od 100%. **(i, d, 7.1.2(6))**

**9.1.2(7):** Spoj između elemenata ispune  $i$  i  $j$  i lica pojasa treba da se provjeri na smicanje prema 9.7. **(n)**

**9.1.2(10):** Za konfiguracije veza kod kojih kraj pojasa nije spojen sa drugim elementima, kraj pojasa treba da bude na rastojanju od najmanje  $(2\gamma/10)d_0$  od unutrašnjeg ili spoljašnjeg vrha najbližeg elementa ispune, sa minimalnim rastojanjem od  $2.5d_0$ , (slika 9.1). Za pojaseve pravougaonog šupljeg presjeka (RHS),  $d_0$  treba zamijeniti sa  $h_0$  ili  $b_0$ , šta god je veće. U suprotnom, kraj treba zavariti za poklopac debljine najmanje  $1.5t_0$ , na minimalnom rastojanju od  $0.5d_0(1-\beta)$  ili  $0.5b_0(1-\beta)$  od spoljašnjeg ili unutrašnjeg vrha elementa ispune veze.



$$1 \geq \frac{2\gamma}{10} d_0 \geq 2.5 d_0 \quad \text{za RHS pojaseve zamijeniti } d_0 \text{ sa maksimumom između } b_0 \text{ i } h_0$$

$$2 \geq 0.5 d_0(1-\beta) \quad \text{za RHS pojaseve zamijeniti } d_0 \text{ sa } b_0$$

**Slika 9.1 – Zahtjevi za minimalni slobodni kraj pojasa (n)**

### 3.2.1.1.2 Proračun (9.2)

**9.2.1(3):** Odnos napona u pojasu  $n_0$  za funkciju napona u pojasu  $Q_f$ , koji se odnosi na presjeke pojasa klase 1 ili 2 treba da se odredi na mjestu spoja prema (9.1), uzimajući u obzir znakove naponâ:

$$n_0 = \frac{N_{0,Ed}}{A_0 f_{y0}} \pm \frac{M_{ip,0,Ed}}{W_{ip,pl,0} f_{y0}} \quad (9.1)$$

gdje

- napon pritiska u pojasu ( $n_0 < 0$ ) treba uzeti kao negativan;
- napon zatezanja u pojasu ( $n_0 \geq 0$ ) treba uzeti kao pozitivan;

$n_0$  se odnosi na položaj na ivici šava, uzimajući u obzir stvarne napone usljed normalne sile i lokalnog momenta savijanja u ravni unutar pojasa. **(i, 7.2.3(1))**

**9.2.1(4):** Funkcija napona u pojasu  $Q_f$  treba da se odredi sa vrijednošću  $n_0$  iz 9.2.1(3) i treba da se uzme na onoj strani pojasa veze koja daje najnepovoljniju vrijednost  $Q_f$ :

$$Q_f = (1 - |n_0|)^{c_1} \quad (9.2) \text{ (n)}$$

**9.2.1(5):** Za pojaseve izložene zatezanju na mjestu spoja ali koji ne zadovoljavaju granice za klasu 2, indeks u (9.1) “pl” treba da se zamijeni sa “el”. Za pojaseve izložene pritisku na mjestu spoja, presjek pojasa treba da bude klase 1 ili 2. **(n)**

**9.2.2(1):** Proračunske nosivosti veza između šupljih presjeka ili između šupljih i otvorenih presjeka treba da se zasnivaju na sljedećim oblicima loma:

- a) **Lom (po licu) pojasa** (plastični lom lica RHS pojasa ili plastični lom poprečnog presjeka CHS pojasa);
- b) **Lom bočnog zida pojasa** usljed plastifikacije, gnječenja ili nestabilnosti (ulubljenje ili izbočavanje bočnog zida pojasa ili rebra pojasa) ispod pritisnutog elementa ispune;
- c) **Lom smicanjem pojasa;**
- d) **Smićući lom na čupanje** lica pojasnog elementa šupljeg presjeka (pojava prsline koja dovodi do odvajanja elementa ispune od pojasnog elementa);
- e) **Lom elementa ispune** sa redukovanom efektivnom širinom (prsline u elementu ispune);



- f) **Lom lokalnim izbočavanjem** elementa ispune ili pojasnog elementa šupljeg presjeka na mjestu veze;
- g) **Lom smicanjem elementa ispune**, kod konfiguracija veza sa preklopom. **(d, 7.2.2(1))**

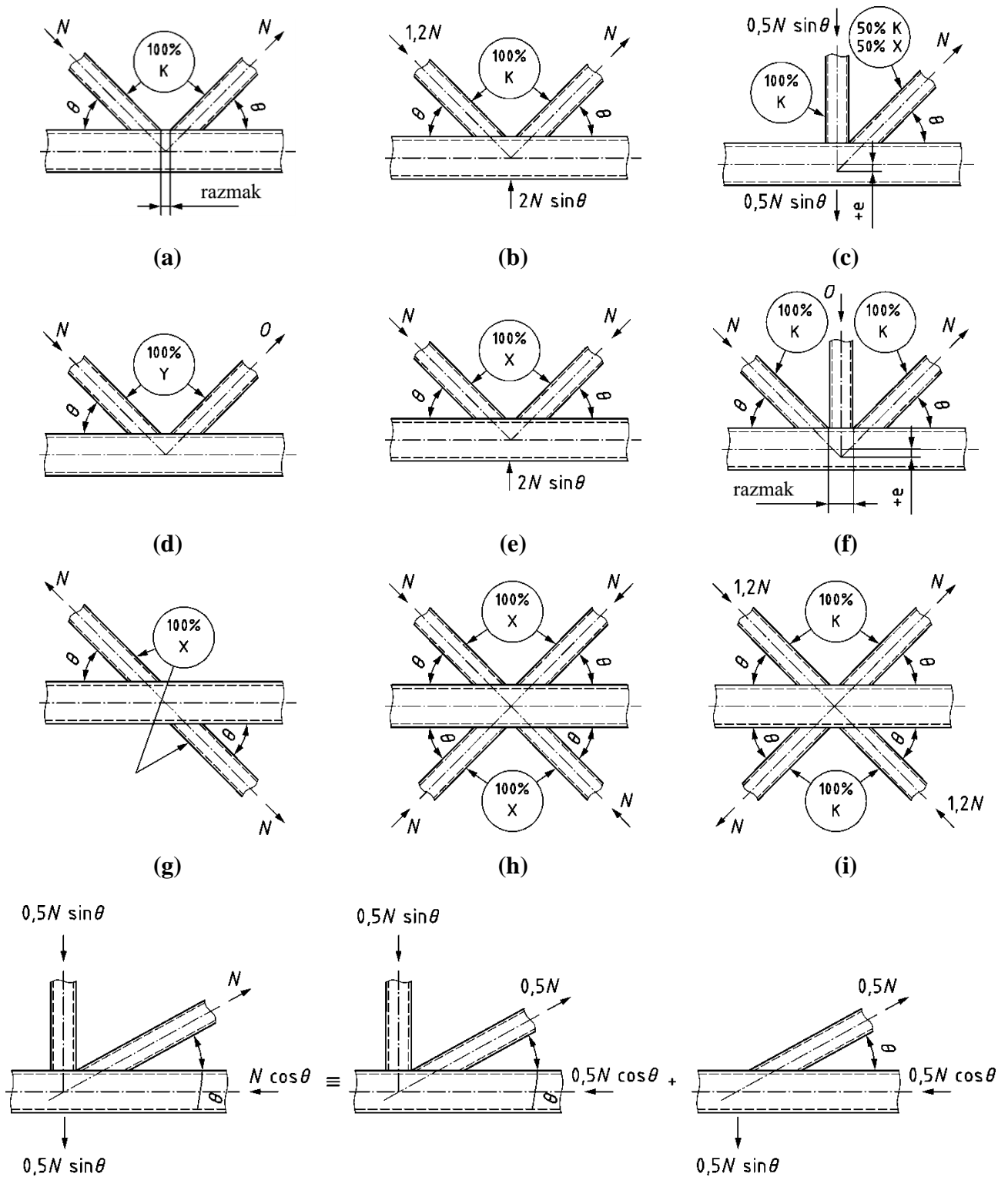
**9.2.3(1):** Definisane konfiguracije veza rešetki od šupljih profila kao T, Y, X ili K sa razmakom (koja uključuje i N) treba da bude zasnovano na načinu prenosa sile u vezama, a ne na fizičkom izgledu konfiguracije veze. **(n)**

**9.2.3(2):** Konfiguracije veza treba da budu definisane na sljedeći način, vidjeti sliku 9.2:

- a) Kada je komponenta sile u elementu ispune koja je normalna na pojas ( $N_i \sin \theta_i$ ) uravnotežena grednim smicanjem u pojasnom elementu, konfiguracija veze treba da bude definisana kao T konfiguracija veze kada je element ispune upravan na pojas, u suprotnom, treba da bude definisana kao Y konfiguracija veze.
- b) Kada je komponenta sile u elementu ispune koja je normalna na pojas ( $N_i \sin \theta_i$ ) uravnotežena (u opsegu od 20%) opterećenjima u drugom/im elementu/ima ispune na istoj strani konfiguracije veze, konfiguracija veze treba da bude definisana kao K konfiguracija veze. Razmak je između primarnih elemenata ispune čija se opterećenja uravnotežavaju. N konfiguracija veze se razmatra kao K konfiguracija veze sa jednim elementom ispune pod uglom od  $90^\circ$ .
- c) Kada se komponenta sile normalna na pojas ( $N_i \sin \theta_i$ ) prenosi kroz pojasni element i uravnotežava se sa elementom/ima ispune na suprotnoj strani, konfiguracija veze treba da se definiše kao X konfiguracija veze. **(n)**

**9.2.3(3):** Kada elementi ispune prenose jedan dio svog opterećenja kao u K konfiguraciji veze, a drugi dio svog opterećenja kao u T, Y ili X konfiguraciji veze, veze treba proračunati prema linearnoj interakciji djelova sile u elementu ispune koji su uključeni u svaki od tipova prenosa opterećenja, sa izuzetkom smicanja između elementa/ata ispune i lica pojasa (vidjeti primjer na slici 9.2).

**9.2.3(4):** Slika 9.2 prikazuje nekoliko mogućih slučajeva za različite tipove konfiguracija veza kao referencu. Još tipova je moguće.



(j) Primjer: provjera N konfiguracije veza sa neuravnoteženim opterećenjima u elementima ispunje

Slika 9.2 — Primjeri klasifikacije veza šupljih presjeka (n)

#### 4 Izrada koda za proračun i optimizaciju čvora i njegovih elemenata

U toku izrade ovog rada, napravljen je Excel fajl sa kodom za proračun i optimizaciju. Fajl se odnosi na proračun i optimizaciju isključivo čvora i njegovih elemenata.

Prilikom izrade koda postojale su dvije ideje:

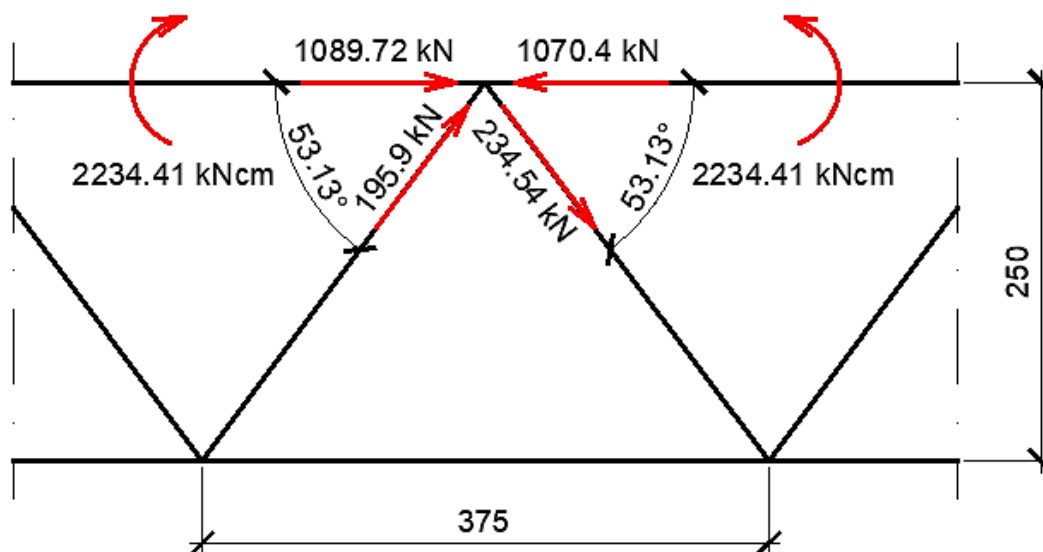
- 1) da se izbjegne bilo kakvo prethodno usvajanje profila, već da program sam vrši potrebni proračun na osnovu unesenih podataka. Kako bismo, u slučaju da sami usvajamo profile, vrlo vjerovatno težili profilima sa što manjom masom, onda je bilo dovoljno dobro da ovaj prvi dio Excel fajla radi po principu usvajanja kombinacija elemenata sa minimalnom ukupnom površinom, tj. minimalnom masom;
- 2) da se ovako usvojena kombinacija profila optimizuje. Ovdje se akcenat stavlja na cijenu kao funkciju za koju se traži minimalna vrijednost. Prpratni uslovi se svakako moraju ticati iskorišćenosti profila, odnosno čvorova: da bi neka kombinacija profila, gledano za čitavu rešetku ili za konkretni čvor bila prihvatljiva, stepeni iskorišćenosti profila i čvorova za odgovarajuće vrijednosti presječnih sila (i momenata) moraju biti manji od 1.

U prvom fajlu izrađen je kod za proračun i optimizaciju K čvorova i njihovih elemenata. U pitanju su čvorovi sa razmakom napravljeni od cjevastih profila. Izrada koda biće objašnjena na konkretnom primjeru čvora.

Prilikom izrade koda za proračun, trebalo je odmah imati u vidu da taj kod solver „čita“ kada želimo da izvršimo optimizaciju. U tom smislu, poželjno je na svakom koraku proračuna razmisliti koliko je model proračuna za naš problem kompleksan i da li solver koji posjedujemo može u potpunosti da razumije taj model. Ako postoji neki dio proračuna koji ne zavisi od promjenjivih, onda koliko god su formule za proračun „komplikovane“, on neće uticati na kompleksnost problema. Ako dio proračuna koji sadrži promjenjive sadrži i izraze koji usložnjavaju problem optimizacije, treba razmisliti da li je to jedini način na koji možemo formulirati naš problem ili mu možemo pristupiti i na neki drugi način.

Za problem optimizacije prvo treba ustanoviti koje su naše promjenjive. Naglašava se da ovdje optimizacija podrazumijeva samo optimizaciju na nivou presjeka. Optimizacija se u principu može razmatrati i na nivou cjelokupne geometrije konstrukcije i na nivou presjeka elemenata. To bi vjerovatno moglo da dovede do bolje raspodjele sila unutar konstrukcije, ali i do značajne izmjene cjelokupne geometrije, pa se smatra da to u realnosti često nije primjenjivo. Sa druge strane, vršiti optimizaciju na nivou presjeka elemenata konstrukcije je uvijek poželjno. Ovakav način vršenja

optimizacije dovodi do toga da su neki generalni podaci, kao što su dužine profila, uglovi nagiba profila kao i opterećenja konstrukcije (tj. sile u elementima ako se govori samo o čvoru) unosni podaci. Na slici 3.12 su prikazani ulazni podaci za naš čvor.



**Slika 4.1:** Geometrija i sile u čvoru

Ulazni podaci se u programu unose u narandžasto obojana polja (tabele 4.1 do 4.7).

Kao promjenjive bi se mogli definisati prečnik i debljina cjevastih profila koji se usvajaju kao elementi čvora. Od ove dvije promjenjive zavise sve ostale geometrijske karakteristike presjeka koje su potrebne za proračun nosivosti elemenata. Međutim, ako usvojimo ove dvije vrijednosti kao promjenjive, bez ikakvih posebnih zahtjeva o njima, onda ih solver tretira kao kontinualne vrijednosti i razmatra ih u onim granicama koje mu mi zadamo. Nakon dobijenih kontinualnih vrijednosti, potrebno je da sami usvojimo profile koji su bliski tim vrijednostima, jer prečnik i debljina cjevastog profila treba da uzmu neke stvarne, diskretne vrijednosti. Pošto nam to ne odgovara, drugi pristup bi bio da već u startu koristimo diskretne vrijednosti, ukoliko ih možemo dovoljno jednostavno predstaviti prije pokretanja optimizacije. Za tipske profile koji se danas izrađuju lako se mogu naći tablice profila koje sadrže podatke o prečniku, debljini i svim ostalim potrebnim geometrijskim karakteristikama, tako da ne bi bilo potrebno unositi formule ni za proračun tih karakteristika ukoliko ovakvu tabelu unesemo u MS Excel (tabela 4.8).

<b>Tabela 4.1:</b> Sistemske dužine elemenata; modul elastičnosti; faktor imperfekcije; parcijalni faktori sigurnosti	<b>Tabela 4.2:</b> Presječne sile u elementima																																				
<p style="text-align: center;">Constants - other</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr style="background-color: #92d050;"> <th style="text-align: center;">Constant</th> <th style="text-align: center;">Value</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">Length of the chord for y axis <math>l_{y0}</math> cm</td> <td style="text-align: center;">375</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Length of the chord for z axis <math>l_{z0}</math> cm</td> <td style="text-align: center;">375</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Length of brace1 <math>l_1</math> cm</td> <td style="text-align: center;">312.5</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Length of brace2 <math>l_2</math> cm</td> <td style="text-align: center;">312.5</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Modulus of elasticity E kN/cm<sup>2</sup> cm</td> <td style="text-align: center;">21000</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Imperfection factor alpha</td> <td style="text-align: center;">0.49</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Partial factor <math>\gamma_{M0}</math></td> <td style="text-align: center;">1</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Partial factor <math>\gamma_{M1}</math></td> <td style="text-align: center;">1</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Partial factor <math>\gamma_{M2}</math></td> <td style="text-align: center;">1.25</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Partial factor <math>\gamma_{M5}</math></td> <td style="text-align: center;">1</td> </tr> </tbody> </table>	Constant	Value	Length of the chord for y axis $l_{y0}$ cm	375	Length of the chord for z axis $l_{z0}$ cm	375	Length of brace1 $l_1$ cm	312.5	Length of brace2 $l_2$ cm	312.5	Modulus of elasticity E kN/cm <sup>2</sup> cm	21000	Imperfection factor alpha	0.49	Partial factor $\gamma_{M0}$	1	Partial factor $\gamma_{M1}$	1	Partial factor $\gamma_{M2}$	1.25	Partial factor $\gamma_{M5}$	1	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr style="background-color: #92d050;"> <th colspan="2" style="text-align: center;">Internal forces and moments</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">NEd,0</td> <td style="text-align: center;">-1089.72</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">MEd,0</td> <td style="text-align: center;">2234.41</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">NEd,1</td> <td style="text-align: center;">-195.9</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">MEd,1</td> <td style="text-align: center;">0</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">NEd,2</td> <td style="text-align: center;">234.54</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">MEd,2</td> <td style="text-align: center;">0</td> </tr> </tbody> </table>	Internal forces and moments		NEd,0	-1089.72	MEd,0	2234.41	NEd,1	-195.9	MEd,1	0	NEd,2	234.54	MEd,2	0
Constant	Value																																				
Length of the chord for y axis $l_{y0}$ cm	375																																				
Length of the chord for z axis $l_{z0}$ cm	375																																				
Length of brace1 $l_1$ cm	312.5																																				
Length of brace2 $l_2$ cm	312.5																																				
Modulus of elasticity E kN/cm <sup>2</sup> cm	21000																																				
Imperfection factor alpha	0.49																																				
Partial factor $\gamma_{M0}$	1																																				
Partial factor $\gamma_{M1}$	1																																				
Partial factor $\gamma_{M2}$	1.25																																				
Partial factor $\gamma_{M5}$	1																																				
Internal forces and moments																																					
NEd,0	-1089.72																																				
MEd,0	2234.41																																				
NEd,1	-195.9																																				
MEd,1	0																																				
NEd,2	234.54																																				
MEd,2	0																																				
<b>Tabela 4.3:</b> Slučajevi savijanja za pojas																																					
For chord																																					
<b>Pick a case for chord</b>	<b>Mh0</b>	<b>psiMh0</b>	<b>Ms0</b>																																		
3	0	0	2234.41																																		
<b>Tabela 4.4:</b> Slučajevi savijanja za pritisnuti element ispune																																					
For brace 1																																					
<b>Pick a case for brace1</b>	<b>Mh1</b>	<b>psiMh1</b>	<b>Ms1</b>																																		
1	0	0	0																																		
<b>Tabela 4.5:</b> Geometrija čvora	<b>Tabela 4.6:</b> Presječne sile i momenti savijanja u čvoru																																				
<p style="text-align: center;">Geometry of the joint</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr style="background-color: #92d050;"> <th style="text-align: center;">Included angle between brace1 and the chord theta1 degrees</th> <th style="text-align: center;">Included angle between brace2 and the chord theta2 degrees</th> <th style="text-align: center;">Joint eccentricity mm</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">53.13</td> <td style="text-align: center;">53.13</td> <td style="text-align: center;">0</td> </tr> </tbody> </table>			Included angle between brace1 and the chord theta1 degrees	Included angle between brace2 and the chord theta2 degrees	Joint eccentricity mm	53.13	53.13	0	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr style="background-color: #92d050;"> <th colspan="2" style="text-align: center;">Internal forces and moments in joint</th> </tr> <tr style="background-color: #92d050;"> <th style="text-align: center;">Designation</th> <th style="text-align: center;">Value</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">N0Ed</td> <td style="text-align: center;">-1070.4</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">N0rEd</td> <td style="text-align: center;">-1089.72</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Mip0Ed</td> <td style="text-align: center;">2234.41</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Mip0rEd</td> <td style="text-align: center;">2234.41</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">N1Ed</td> <td style="text-align: center;">-195.9</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Mip1Ed</td> <td style="text-align: center;">0</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">N2Ed</td> <td style="text-align: center;">234.54</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Mip2Ed</td> <td style="text-align: center;">0</td> </tr> </tbody> </table>	Internal forces and moments in joint		Designation	Value	N0Ed	-1070.4	N0rEd	-1089.72	Mip0Ed	2234.41	Mip0rEd	2234.41	N1Ed	-195.9	Mip1Ed	0	N2Ed	234.54	Mip2Ed	0								
Included angle between brace1 and the chord theta1 degrees	Included angle between brace2 and the chord theta2 degrees	Joint eccentricity mm																																			
53.13	53.13	0																																			
Internal forces and moments in joint																																					
Designation	Value																																				
N0Ed	-1070.4																																				
N0rEd	-1089.72																																				
Mip0Ed	2234.41																																				
Mip0rEd	2234.41																																				
N1Ed	-195.9																																				
Mip1Ed	0																																				
N2Ed	234.54																																				
Mip2Ed	0																																				

Tabela 4.7: Dužine elemenata čvora (za proračun cijene čvora)

Length of members	
Length of chord (cm)	375
Length of brace 1 (cm)	312.5
Length of brace 2 (cm)	312.5

Tabela 4.8: Spisak profila

Outside diameter d0 mm	Thickness t0 mm	Sectional area A0 cm <sup>2</sup>	Moment of inertia I0 cm <sup>4</sup>	Radius of gyration i0 cm	Elastic modulus WeI0 cm <sup>3</sup>	Plastic modulus Wpl0 cm <sup>3</sup>	Superficial area per meter As0 cm <sup>2</sup> _per_m
33.7	3	2.89	3.44	1.09	2.04	2.84	0.106
42.4	3	3.71	7.25	1.4	3.42	4.67	0.133
48.3	3	4.27	11	1.61	4.55	6.17	0.152
...							
508	10	156	48520	17.6	1910	2480	1.6
508	12	187	57536	17.5	2265	2953	1.6
508	12.5	195	59755	17.5	2353	3070	1.6
508	16	247	74909	17.4	2949	3874	1.6

Svaki red ove tablice sadrži skup podataka, tj. diskretnih vrijednosti za jedan konkretni profil. Ove redove možemo predstaviti binomima. Pretpostavimo da smo uz tabelu koju smo unijeli dodali kolonu sa isključivo vrijednostima 0 ili 1. Ukoliko upotrebljavamo neki profil za naš čvor, u redu koji se odnosi na taj profil, a u koloni koju smo napravili, stojaće broj 1, ako ne, stojaće 0.

Drugi skup promjenjivih u ovom problemu su klase čelika, tj. granice razvlačenja čelika. Nije obavezno da se granice razvlačenja tretiraju kao promjenjive, jer projektant često, isto kao što ima podatke i za geometriju konstrukcije, usvoji određenu klasu čelika, te i ona predstavlja još jedan ulazni podatak. Međutim, za ovaj konkretni primjer je ideja bila da se klasa čelika namjerno varira da bi postojali još neki parametri osim mase koji utiču na cijenu proizvoda. Tako je pretpostavljeno da je za veće klase čelika veća i cijena proizvoda. Dalje treba utvrditi da li se klase čelika, koje su takođe diskretne vrijednosti, mogu isto predstaviti binomima kao i profili. Da bismo to zaključili, treba preći na proračun.

Prvi dio proračuna podrazumijeva provjeru nosivosti elemenata opterećenih na kombinaciju savijanja i aksijalne sile. Iz izraza za provjeru nosivosti jasno je da ove vrijednosti zavise i od

geometrijskih i materijalnih karakteristika presjeka. Posmatrajmo npr. izraz za određivanje nosivosti aksijalno zategnutih elemenata :

$$N_{t,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{Af_y}{\gamma_{M0}} \quad (3.6)$$

Ako bismo geometrijsku karakteristiku nekog profila predstavili kao proizvod promjenjive (binoma) sa odgovarajućom diskretnom vrijednosti, a na isti način postupili i sa materijalnom karakteristikom, već bismo dobili jedan nelinearni izraz, što želimo da izbjegnemo. Takođe, ako pogledamo izraze za nosivost aksijalno pritisnutih elemenata na izvijanje:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi N_{Rk}}{\gamma_{M1}} \quad (3.7)$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \quad (3.8)$$

$$\phi = 0.5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0.2) + \bar{\lambda}^2] \quad (3.9)$$

vidjeli bismo da ne samo da postoji nelinearna veza između promjenjivih koje predstavljaju geometrijske i promjenjivih koje bi predstavljale materijalne karakteristike, već i da je sama promjenjiva koja je vezana za različite geometrijske karakteristike jednog profila dio nelinearnih izraza.

Da bismo ovaj problem pojednostavili, predstavljanje profila binomima možemo odložiti za sami kraj proračuna. Ovakvo predstavljanje nam je potrebno samo zbog jednostavnog uvođenja promjenjivih u postupak optimizacije, ali sa druge strane komplikuje sami model koji ulazi u optimizaciju (kombinaciju cijelih promjenjivih i nelinearnih funkcija valja izbjeći). Dakle, na prednosti korišćenja binomnih reprezentacija ne želimo da računamo u okviru modela proračuna. Ako binome zasad „isključimo“, to znači da smo zasad isključili sve promjenjive za optimizaciju iz našeg proračuna. Ovo je pristup koji, ako ga možemo koristiti do pred samu optimizaciju, naš problem svodi na diskretni linearni problem. Za naš slučaj je to moguće.

U pogledu samih materijala, olakšavajuća okolnost je ta što ovih vrijednosti ima dosta manje nego što ima različitih profila. Njih možemo da posmatramo formalno kao konstante, te kao takve ne mogu uticati na složenost problema optimizacije. Kao što je već navedeno, korisnik vjerovatno zna koju klasu čelika želi da primijeni. Možemo mu dati mogućnost da za početak sam odabere klasu koju smatra prikladnom. Nije potrebno niti realno da program potom varira između svih 7

različitih klasa koje daje Eurokod 3, već je predlog da se, u odnosu na klasu koju korisnik odabere, samo razmotri jedna niža i jedna viša klasa, kao što je prikazano u tabelama 4.9 i 4.10.

**Tabela 4.9:** Odabir klasa čelika za pojas

Select steel grade for chord	Steel grade for chord	fy2 kN_per_cm2	fy1 kN_per_cm2	fy3 kN_per_cm2
S275	S275	23.5	27.5	35.5

Ako se odabere čelik klase S235, u odnosu na koji nema niže klase, onda se sa lijeve strane ove tabele pojavljuje 0, a sa desne strane S275. Ako se odabere čelik klase S275, onda se sa lijeve strane ove tabele pojavljuje S235, a sa desne strane S355, itd. S obzirom na to da se različite klase čelika mogu odabrati za elemente ispune i za pojas, napravljene su dvije ovakve tabele: prva za usvajanje klase čelika za elemente ispune, a druga za usvajanje klase čelika za pojas. Što se tiče samog početnog usvajanja profila, program će razmotriti samo nosivosti elemenata za one klase čelika koje korisnik dodijeli. (Posle će, za potrebe optimizacije, biti proračunata nosivost i za niže i više klase.)

Sada kada imamo definisane i geometrijske i materijalne karakteristike profila, za svaki element posebno (pritisnuti element ispune, zategnuti element ispune, pojas) možemo da unesemo po jednu tablicu profila kao i dodatnu kolonu kojom se određuje stepen iskorišćenosti profila za dato opterećenje. Na taj način možemo direktno sagledati koji profili su povoljni a koji nijesu.

Iz izrazâ za nosivost čvora, npr:

$$N_{1,Rd} = C_f \frac{f_{y0} t_0^2}{\sin \theta_1} (1.65 + 13.2 \beta^{1.6}) \gamma^{0.3} \left[ 1 + \frac{1}{1.2 + (g/t_0)^{0.8}} \right] Q_f / \gamma_{M5} \quad (3.10)$$

se takođe može vidjeti da nosivost čvora zavisi od geometrije sva tri elementa, tj. da moramo razmotriti ne samo samostalne elemente, već i kombinacije elemenata kako bi se provjerio stepen iskorišćenosti čvora. Da bismo ostali pri istom pristupu linearnog problema, potrebno je da razmotrimo sve dozvoljene kombinacije profila. Ako jedna tablica profila sadrži npr. 100 profila, za 3 različita elementa postoji  $100^3$ , tj. 1000000 mogućih kombinacija profila. Jasno je da ovoliki broj podataka usporava rad programa. Ukoliko možemo, prije definisanja kombinacija profila koje nam služe za provjeru nosivosti čvorova, da smanjimo broj profila koje uzimamo u obzir, onda broj kombinacija možemo znatno da smanjimo. Nakon ispisivanja koda za određivanje stepena iskorišćenosti za profile pojedinačnih elemenata u okviru Power Query-ja, primijenjen je postupak filterisanja na osnovu stepena iskorišćenosti. Pošlo se od ideje da nam od interesa nijesu profili



koji imaju ni prevelike, a ni premale stepene iskorištenosti. Osim stvarnog stepena iskorištenosti, uveden je i stepen iskorištenosti za filterisanje koji ne smije biti veći od 1.55, niti manji od 0.3<sup>2</sup>. Kako se obim filterisanih podataka mijenja dinamički od slučaja do slučaja i često nije isti za različite elemente čvora, ne može se tačno reći koji je broj kombinacija koje program treba da razmotri, ali je svakako značajno manji od gore predstavljenih vrijednosti. Tabela 4.10 odgovara tablici profila za pritisnuti element ispune za naš slučaj, a nakon primjene filtera.

Dakle, za pritisnuti element ispune, broj profila nakon filterisanja iznosi 21. Za pojas, broj profila nakon filterisanja iznosi 35, a za zategnuti element ispune 25. Ukupni broj kombinacija ovih elemenata za čvor ( $21 \times 35 \times 25 = 18375$ ) je takođe filterisanjem koje se odnosi na uslove geometrije čvora i stepen iskorištenosti čvora (koji je takođe postavljen u granicama između 0.3 i 1.55) sveden i dobijena je nova tabela sa 13718 kombinacija. Da bi se prvobitni elementi usvojili, potrebno je još bilo naći kombinaciju profila koja sa minimalnom površinom ima stvarni stepen iskorištenosti i pojedinačnih elemenata i čvora  $\leq 1$ . Nakon ovoga je formirana tabela sa dodatnom kolonom za binomnu reprezentaciju kombinacija elemenata čvora. Za red koji sadrži kombinaciju elemenata sa minimalnom površinom, u ovoj koloni je upisana jedinica, a za ostale redove u ovoj koloni je nulta vrijednost. Dobijena je kombinacija profila sa geometrijom naznačenom u tabeli 4.11. Klasa čelika i za pojas i za elemente ispune je S275.

Nakon što su usvojeni prvobitni elementi čvora, tabela sa kombinacijama profila je pripremljena za optimizaciju. Dodate su kolone za određivanje stepena iskorištenosti elemenata i čvorova za druge dvije klase čelika iz tabele 4.9. Pošto je broj mogućih kombinacija  $3 \times 3$  (a u posebnim slučajevima  $2 \times 3$  ili  $2 \times 2$ ), dodato je i 8 kolona za promjenjive, tj. binomne reprezentacije kombinacija. Prema tome, broj promjenjivih koje ulaze u optimizaciju je  $9 \times 13718 = 123462$ .

---

<sup>2</sup> Logično pitanje je ovdje zašto nijesu prosto razmotreni profili čiji je stepen iskorištenosti manji od 1 i zašto se uvode stepeni iskorištenosti za filterisanje. Naime, u ovom dijelu proračuna još uvijek nijesu razmotreni profili sa materijalima više i niže klase od one koja je prvobitno usvojena. Takođe, prema Eurokodu 3, ako je iskorišćenost aksijalne nosivosti profila  $\leq 1$ , ali i dalje visoka, nosivost na savijanje ima vrlo male vrijednosti zbog eksponencijalne veze između nosivosti na savijanje i stepena iskorištenosti profila na aksijalnu silu. Realni stepeni iskorištenosti nekih manjih profila, u slučaju prisustva i aksijalne sile i momenta savijanja, su ili jednaki beskonačnosti ili mnogo veći od jedinice zbog ove zavisnosti. Zbog toga se usvajaju stepeni iskorištenosti za filterisanje, koji, u slučaju da je stepen iskorištenosti na aksijalnu silu  $\geq 1$ , usvajaju taj stepen iskorištenosti. U slučaju da prisustvo aksijalne sile izaziva smanjenje nosivosti na savijanje za više od 25%, takođe je mjerodavan stepen iskorištenosti na aksijalnu silu. Ovim putem se omogućava da se prerano ne isključe elementi kod kojih bi možda viša klasa čelika dovela do manjeg stepena iskorištenosti. Sa druge strane, ako je stepen iskorištenosti profila mnogo manji od jedinice, jasno je da je profil vrlo vjerovatno prevelikih dimenzija da bi se primjenjivao.

Tabela 4.10: Tablica profila za pritisnuti element ispune

Outside diameter d1 mm	Thickness t1 mm	Sectional area A1 cm <sup>2</sup>	Moment of inertia I1 cm <sup>4</sup>	Radius of gyration i1 cm	Elastic modulus Wel1 cm <sup>3</sup>	Plastic modulus Wpl1 cm <sup>3</sup>	Superficial area per meter As1 cm <sup>2</sup> _per_m	Utilization ratio ur1	Utilization ratio for filtering urff1	d1/t1 for filtering
88.9	4	10.7	96.3	3	21.7	28.9	0.279	1.54	1.54	22.23
88.9	5	13.2	116	2.97	26.2	35.2	0.279	1.26	1.26	17.78
88.9	6.3	16.3	140	2.93	31.5	43.1	0.279	1.04	1.04	14.11
114.3	3	10.5	163	3.94	28.4	37.2	0.359	1.15	1.15	38.10
114.3	3.5	12.2	187	3.92	32.7	43	0.359	0.99	0.99	32.66
114.3	4	13.9	211	3.9	36.9	48.7	0.359	0.88	0.88	28.58
114.3	5	17.2	257	3.87	45	59.8	0.359	0.71	0.71	22.86
114.3	6	20.4	300	3.83	52.5	70.4	0.359	0.61	0.61	19.05
114.3	6.3	21.4	313	3.82	54.7	73.6	0.359	0.58	0.58	18.14
139.7	3	12.9	301	4.83	43.1	56.1	0.439	0.79	0.79	46.57
139.7	4	17.1	393	4.8	56.2	73.7	0.439	0.60	0.60	34.93
139.7	5	21.2	481	4.77	68.8	90.8	0.439	0.49	0.49	27.94
139.7	6	25.2	564	4.73	80.8	107	0.439	0.41	0.41	23.28
139.7	6.3	26.4	589	4.72	84.3	112	0.439	0.39	0.39	22.17
139.7	8	33.1	720	4.66	103	139	0.439	0.32	0.32	17.46
168.3	4	20.6	697	5.81	82.8	108	0.529	0.45	0.45	42.08
168.3	4.5	23.2	777	5.79	92.4	121	0.529	0.40	0.40	37.40
168.3	5	25.7	856	5.78	102	133	0.529	0.36	0.36	33.66
168.3	6	30.6	1009	5.74	120	158	0.529	0.30	0.30	28.05
193.7	4	23.8	1073	6.71	111	144	0.609	0.36	0.36	48.43
193.7	4.5	26.7	1198	6.69	124	161	0.609	0.32	0.32	43.04

Tabela 4.11: Prvobitno dobijeni profili (0 – oznaka za pojas; 1 – oznaka za pritisnuti element ispune; 2 – oznaka za zategnuti element ispune)

Outside diameter d0 mm	Thickness t0 mm	Outside diameter d1 mm	Thickness t1 mm	Outside diameter d2 mm	Thickness t2 mm
219.1	10	114.3	3.5	76.1	4

Pošto je maksimalni broj promjenjivih koje prihvata solver ugrađen u MS Excel-u samo 200, instaliran je add-in OpenSolver, koji omogućava zadavanje ciljne funkcije, promjenjivih, kao i graničnih uslova na isti način kao i MS Excel-ov solver. Za razliku od MS Excel-ovog solver add-ina, ovaj add-in sadrži nešto efikasnije solvere, pa je primjenom CBC solvera ovaj problem uspješno riješen.

U narednim tabelama su prikazani granični uslovi za optimizaciju, kao i ciljna funkcija, tj. cijena profila čvora prije i nakon optimizacije. Na kraju, date su dimenzije profila dobijenih nakon

optimizacije čvora. Klasa čelika i za pojas i za elemente ispune je S235. Može se vidjeti da je prvobitna cijena smanjena za 53.49 € tj. za 17.4%.

<b>Tabela 4.12: Granični uslovi – stepeni iskorištenosti</b>				<b>Tabela 4.13: Granični uslovi – suma svih binoma</b>																																																																										
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4"><b>Constraint functions (utilization ratios):</b></th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>&lt;=</td><td>0.99</td><td>&lt;=</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>&lt;=</td><td>0.99</td><td>&lt;=</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>&lt;=</td><td>0.94</td><td>&lt;=</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>&lt;=</td><td>0.61</td><td>&lt;=</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>&lt;=</td><td>0</td><td>&lt;=</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>&lt;=</td><td>0</td><td>&lt;=</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>&lt;=</td><td>0</td><td>&lt;=</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>&lt;=</td><td>0</td><td>&lt;=</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>&lt;=</td><td>0</td><td>&lt;=</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>&lt;=</td><td>0</td><td>&lt;=</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>&lt;=</td><td>0</td><td>&lt;=</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>&lt;=</td><td>0</td><td>&lt;=</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>&lt;=</td><td>0</td><td>&lt;=</td><td>1</td></tr> </tbody> </table>				<b>Constraint functions (utilization ratios):</b>				0	<=	0.99	<=	1	0	<=	0.99	<=	1	0	<=	0.94	<=	1	0	<=	0.61	<=	1	0	<=	0	<=	1	0	<=	0	<=	1	0	<=	0	<=	1	0	<=	0	<=	1	0	<=	0	<=	1	0	<=	0	<=	1	0	<=	0	<=	1	0	<=	0	<=	1	0	<=	0	<=	1	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2"><b>Constraint functions (sum of binaries):</b></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><b>Binary representation of all combinations</b></td> <td>1 = 1</td> </tr> </tbody> </table>		<b>Constraint functions (sum of binaries):</b>		<b>Binary representation of all combinations</b>	1 = 1
<b>Constraint functions (utilization ratios):</b>																																																																														
0	<=	0.99	<=	1																																																																										
0	<=	0.99	<=	1																																																																										
0	<=	0.94	<=	1																																																																										
0	<=	0.61	<=	1																																																																										
0	<=	0	<=	1																																																																										
0	<=	0	<=	1																																																																										
0	<=	0	<=	1																																																																										
0	<=	0	<=	1																																																																										
0	<=	0	<=	1																																																																										
0	<=	0	<=	1																																																																										
0	<=	0	<=	1																																																																										
0	<=	0	<=	1																																																																										
0	<=	0	<=	1																																																																										
<b>Constraint functions (sum of binaries):</b>																																																																														
<b>Binary representation of all combinations</b>	1 = 1																																																																													
				<b>Tabela 4.14: Ciljna funkcija prije optimizacije</b>																																																																										
				<table border="1"> <tbody> <tr> <td><b>Objective function (cost):</b></td> <td><b>306.95</b></td> </tr> </tbody> </table>		<b>Objective function (cost):</b>	<b>306.95</b>																																																																							
<b>Objective function (cost):</b>	<b>306.95</b>																																																																													
				<b>Tabela 4.15: Ciljna funkcija nakon optimizacije</b>																																																																										
				<table border="1"> <tbody> <tr> <td><b>Objective function (cost):</b></td> <td><b>253.46</b></td> </tr> </tbody> </table>		<b>Objective function (cost):</b>	<b>253.46</b>																																																																							
<b>Objective function (cost):</b>	<b>253.46</b>																																																																													
<b>Tabela 4.16: Profili dobijeni nakon optimizacije</b>																																																																														
<b>Outside diameter d0 mm</b>	<b>Thickness t0 mm</b>	<b>Outside diameter d1 mm</b>	<b>Thickness t1 mm</b>	<b>Outside diameter d2 mm</b>	<b>Thickness t2 mm</b>																																																																									
273	8	139.7	3	114.3	3																																																																									

## 5 Primjena postupka optimizacije na usvojeni rešetkasti krovni nosač

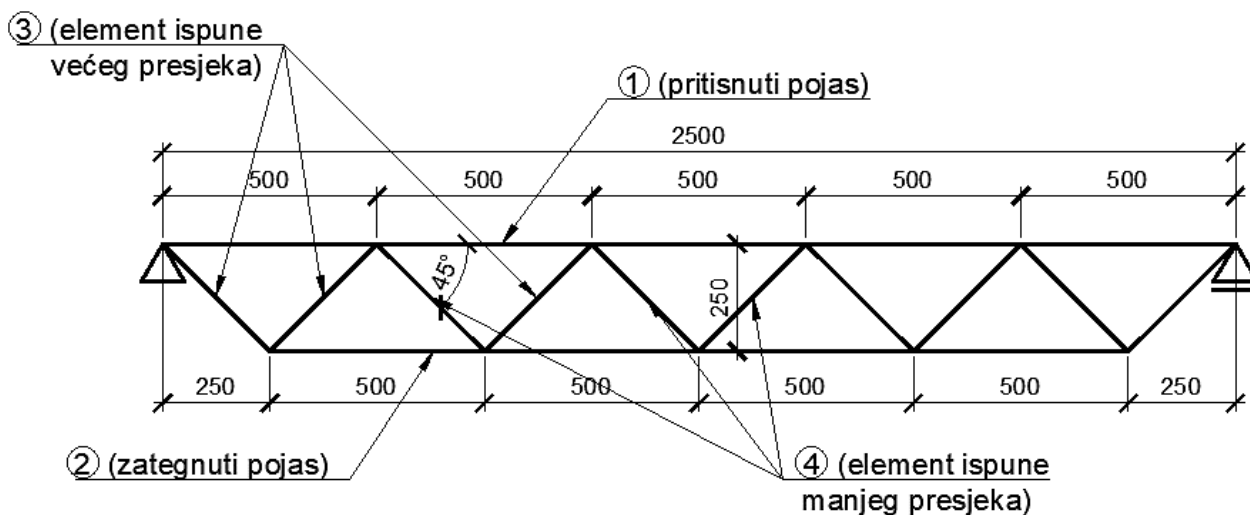
Ispod su prikazani geometrija rešetke, opterećenja određena u skladu sa relevantnim djelovima MEST EN 1991, prvobitno usvojeni elementi i elementi dobijeni nakon optimizacije. Sopstvena težina je usvojena kao neko fiksno, stalno opterećenje. Usvaja se pretpostavka idealne rešetke.

S obzirom na to da nije ekonomski opravdano usvajati veliki broj različitih profila za elemente ispune, ovdje je dovoljno da se usvoje samo dva različita profila u zavisnosti od nivoa sile u njima. Broj različitih profila koje prema tome treba usvojiti je 4, kako je naznačeno na geometriji rešetke. Prvobitno usvojena klasa čelika svih elemenata je S275.

### 5.1 Geometrijski podaci

Broj nosača: 6

Razmak između nosača:  $\lambda = 5m$



Slika 5.1: Geometrija krovnog nosača

### 5.2 Opterećenja

#### 5.2.1 Stalna opterećenja

$$g' = 2.13 \frac{kN}{m}$$

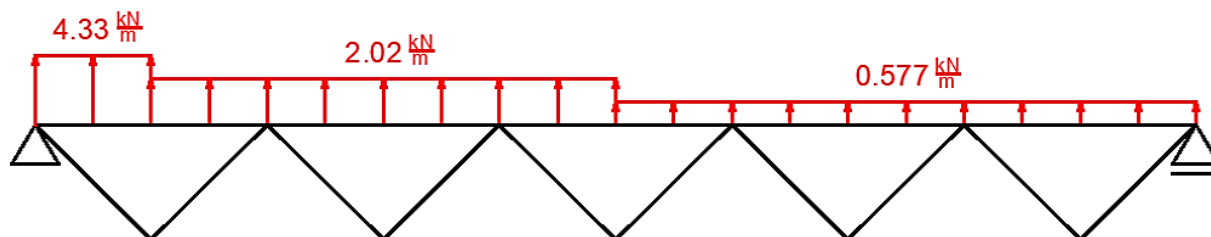
#### 5.2.2 Povremena opterećenja

##### 5.2.2.1 Opterećenje snijegom

$$s_1 = 1.59 \times 5 = 7.95 \frac{kN}{m}$$

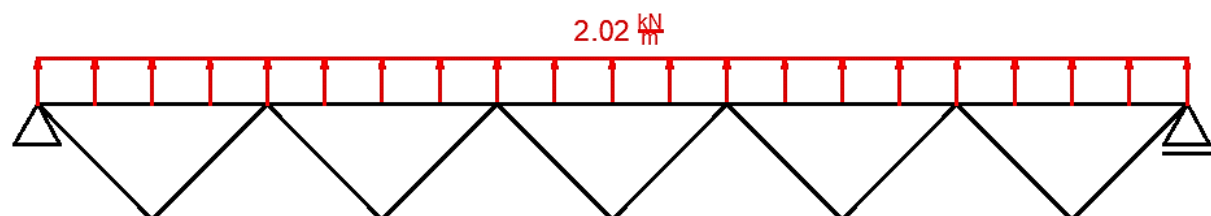
### 5.2.2.2 Opterećenje vjetrom

#### 5.2.2.2.1 Dispozicija 1 ( $\theta = 0^\circ$ )



Slika 5.2: Opterećenje vjetrom za  $\theta = 0^\circ$

#### 5.2.2.2.2 Dispozicija 2 ( $\theta = 90^\circ$ )



Slika 5.3: Opterećenje vjetrom za  $\theta = 90^\circ$

## 5.3 Elementi usvojeni nakon proračuna i nakon optimizacije

Tabela 5.1: Elementi usvojeni nakon proračuna i nakon optimizacije

	Elementi rešetke usvojeni nakon proračuna			Elementi rešetke usvojeni nakon optimizacije		
	Spoljašnji prečnik $d_i$ (mm)	Debljina zida profila $t_i$ (mm)	Klasa čelika	Spoljašnji prečnik $d_i$ (mm)	Debljina zida profila $t_i$ (mm)	Klasa čelika
1	193.7	4.5	S275	193.7	5	S235
2	168.3	4	S275	168.3	4	S235
3	139.7	3	S275	139.7	3	S275
4	48.3	3	S275	48.3	3	S275

## 5.4 Cijena rešetki nakon proračuna i nakon optimizacije

Ukupna cijena rešetki nakon proračuna iznosi: 8322.18 €

Ukupna cijena rešetki nakon optimizacije iznosi: 7392.55 €

Snizenje cijene rešetki nakon optimizacije u odnosu na prvobitnu cijenu: 11.17%

## 6 Zaključak

### 6.1 Zaključak – dio I

U zaključku prvog dijela ovog rada se daje kratak pregled izmjena uvedenih u prvih osam poglavlja i aneksima prEN 1993-1-8: 2021.

#### 6.1.1 Izmjene uvedene u prvih osam poglavlja i aneksima nacрта EN 1993-1-8

##### 6.1.1.1 Opšte

- Standard je sada primjenjiv za veći opseg klasa čelika (u staroj verziji oblast primjene su bili čelici klasa S235, S275, S355, S420 i S460). Inače odredbe za čelike viših čvrstoća daje EN 1993-1-12.
- Naznačava se mogućnost primjene MKE za analizu veza (primjenom EN 1993-1-14).

##### 6.1.1.2 Spojevi sa zavrtnjevima, zakivcima ili čepovima

- Korigovani su izrazi za proračun nosivosti na pritisak po omotaču rupe.
- Dodat je izraz za provjeru nosivosti u slučaju pritiska po omotaču rupe koji djeluje u 2 ortogonalna pravca.
- Dodat je izraz za nosivost na zatezanje zakivka sa upuštenom glavom.
- Dodat je izraz za nosivost na probijanje smicanjem lima u slučaju primjene zavrtnjeva i zakivaka sa upuštenom glavom.
- Dodate su odredbe za zavrtnjeve u rupama s navojem.
- Korigovani su izrazi za proračunsku nosivost na cijepanje bloka.
- Korigovani su izrazi za proračunsku nosivost ugaonika spojenih preko jednog kraka i drugih nesimetrično spojenih zategnutih elemenata.

##### 6.1.1.3 Zavareni spojevi

- U staroj verziji poglavlje se odnosilo na materijale debljina najmanje 4mm i šuplje profile debljina najmanje 2.5mm, a sada se odnosi na materijale debljina najmanje 3mm i šuplje profile debljine zida najmanje 1.5mm.
- Za klase čelika više od S460, nije obavezno da dodatni materijal ima jednaku ili veću čvrstoću od slabijeg osnovnog metala, ali mora imati ekvivalentne ili bolje vrijednosti izduženja pri lomu

i najmanje energije loma pri ispitivanju Charpy-jevim klatnom. Ograničenja za dodatne materijale nižih čvrstoća se mogu definisati nacionalnim aneksom.

- Korigovane su odredbe za šavove sa podmetačima. Prema EN 1993-1-8: 2005, podmetači su u svakom slučaju morali biti u ravni sa ivicama spoljašnjeg spojenog dijela, a prema prEN 1993-1-8: 2021 to zavisi od odnosa debljine podmetača i veličine kraka šava neophodne za prenošenje proračunske sile.
- Dodati su izrazi za određivanje proračunske nosivosti ugaonih šavova kod spojeva sa klasama čelika jednakim ili većim od S460 primjenom direkcione i pojednostavljene metode u slučaju različitih čvrstoća osnovnog metala i dodatnog materijala.
- Ako je dodatni materijal sučeono zavarenog spoja sa klasama čelika jednakim ili većim od S460 niže čvrstoće od osnovnog materijala, nosivost spoja može da se zasniva na čvrstoći dodatnog materijala.

#### 6.1.1.4 Analiza konstrukcije

- Prema EN 1993-1-8: 2005, ukoliko su ekscentriciteti čvorova rešetkastih nosača bili u okviru poželjnih granica, mogli su se zanemariti u proračunu elemenata ispune, zategnutih pojasnih elemenata i veza. Prema prEN 1993-1-8: 2021, ukoliko su ekscentriciteti u okviru ovih granica, mogu se zanemariti za elemente ispune, ali se uzimaju u obzir kod pojasnih elemenata.

#### 6.1.1.5 Konstrukcijske veze koje spajaju H ili I presjeke + Aneksi A, B, C, D

- Dodata je komponenta: komponente za ankerisanje opterećene na smicanje.
- Korigovan je izraz za maksimalnu vitkost za smičuće polje rebra stuba.
- Uklonjeno je ograničenje za dodatnu nosivost smičućeg polja rebra stuba u slučaju postojanja poprečnih ukrućenja i u pritisnutoj i u zategnutoj zoni:

$$V_{wp,add,Rd} \leq \frac{2M_{pl,fc,Rd} + 2M_{pl,st,Rd}}{d_s}$$

- Dodate su odredbe za slučaj zavarivanja dodatnih limova za nožice stuba.
- Dodat je uslov za minimalnu debljinu dodatnih limova koji služe za povećanje nosivosti smičućeg polja rebra stuba.
- Dodate su odredbe koje treba da zadovolji ukrućenje u slučaju usvajanja ukrućenja na prepustu čeone ploče.

- Prema EN 1993-1-8: 2005, koeficijent krutosti je bio isti i za neprednapregnute i za prednapregnute zavrtnjeve i iznosio je, za jedan red zavrtnjeva:

$$k_{10} = \frac{1.6A_s}{L_b}$$

Prema prEN 1993-1-8: 2021, ovaj koeficijent važi za neprednapregnute zavrtnjeve, a za prednapregnute zavrtnjeve važi:

$$k_t = \infty.$$

- Dodata je alternativa za proračun koeficijenta krutosti komponente: pritisak po omotaču rupe. Ovaj alternativni postupak proračuna važi kada je proračunska sila smicanja po zavrtnju  $F_{V,Ed}$  manja od  $0.8F_{b,Rd}$  za klase čelika do S460 i manja od  $F_{b,Rd}$  za više klase.
- Dodate su odredbe za oblike loma koje treba provjeriti za komponente za ankerisanje opterećene na zatezanje i smicanje (u slučaju spojeva čelik-beton). Njihova nosivost se određuje u skladu sa EN 1992-4.
- Prema EN 1993-1-8: 2005, nosivost anker zavrtnja na smicanje je bila manja vrijednost između  $F_{1,vb,Rd}$  koja se određuje kao i za sva druga spojna sredstva, i:

$$F_{2,vb,Rd} = \frac{\alpha_{bc} f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}}$$

- Prema prEN 1993-1-8: 2021, nosivost anker zavrtnja na smicanje je manja vrijednost između prethodno navedene i proračunske nosivosti komponenti za ankerisanje na smicanje.
- Dodat je aneks C za zglobne veze. Njegov sadržaj nije obuhvaćen ovim radom.
- Izrazi za određivanje proračunskog momenta nosivosti i početne rotacione krutosti osloničke veze stuba su korigovani.



## 6.2 Zaključak – dio II

Drugi dio ovog rada je bio posvećen čvorovima rešetkastih nosača sa naglaskom na K čvorove sa razmakom napravljene od cjevastih profila, za koje je izrađen kod za proračun i optimizaciju.

### 6.2.1 Modeliranje čvorova rešetkastih nosača. Izmjene uvedene u devetom poglavlju nacrtu EN 1993-1-8: 2021

#### 6.2.1.1 Modeliranje čvorova rešetkastih nosača

Čvorovi rešetkastih nosača se modeliraju pojednostavljenim analitičkim modelima loma, koji služe za određivanje najznačajnijih parametara koji utiču na nosivost ovih čvorova. U kombinaciji sa eksperimentalnim ispitivanjima i analizama primjenom metode konačnih elemenata, dobijaju se izrazi za nosivost ovih čvorova.

U ovom radu su za K čvorove sa razmakom napravljene od cjevastih profila, razmotreni najznačajniji analitički modeli loma. Izmjene koje su uvedene u izrazima za nosivost ovih čvorova bile su posljedica pogrešnog tumačenja različitih skupova rezultata ispitivanja koja su se u dugom nizu godina vršila za ove tipove čvorova. Jedna od značajnijih izmjena je uvođenje funkcije napona kojom se snižava nosivost čvora u slučaju da se u pojasu čvora javlja zatezanje. Prema prvobitnim izrazima, pretpostavka je bila da postojanje zatezanja u pojasu uopšte ne utiče na smanjenje nosivosti čvora.

Komponentalna metoda za čvorove rešetkastih nosača je i dalje u razvoju, a očekuje se da će i ova metoda biti uvedena u neku od narednih generacija EN 1993-1-8.

### 6.2.2 Izmjene uvedene u devetom poglavlju nacrtu EN 1993-1-8: 2021

- U EN 1993-1-8: 2005 izrazi za nosivost čvorova rešetkastih nosača su bili u skladu sa IIW (1989), a u prEN 1993-1-8: 2021 ovi izrazi su u skladu sa IIW (2008).
- Uveden je pojam faktora materijala,  $C_f$ .
- Dodati su zahtjevi za minimalni slobodni kraj pojasa za konfiguracije veza kod kojih kraj pojasa nije spojen sa drugim elementima.
- Objašnjen je pojam konfiguracije veze.

### 6.2.3 Kod za proračun i optimizaciju čvora i njegovih elemenata: prednosti i nedostaci, dalje preporuke za rad

Napravljen je kod za proračun i optimizaciju čvorova i njihovih elemenata, koji uspješno obavlja proračun i optimizaciju predmetnog čvora. Glavni nedostatak koda je taj što je potrebno relativno dosta vremena dok se izvrši proračun jednog čvora. Naime, program je podešen da radi po principu filterisanja i kombinacije ogromnog broja podataka. Dinamička izmjena tabela primjenom

Power Query-ja značajno usporava rad MS Excel-a. Ne samo da je učitavanje rezultata proračuna relativno sporo, već je Power Query sporo učitavao i kod koji je izrađivan. Iz tih razloga nije mogao biti napravljen neki opširniji kod koji razmatra više slučajeva od onih koje daje prEN 1993-1-8: 2021 za ovu konfiguraciju čvora, već je najjednostavnije bilo varirati klase materijala, te time proširiti opseg mogućih rješenja. Drugi problem ovog programa je taj što se sve posmatra na nivou čvora, te se promjena uticaja usljed promjene sopstvene težine elemenata nije mogla uzeti u obzir.

Smatra se da bi se program poboljšao kad bi se svi problemi određivanja nosivosti elemenata i čvorova povjerali nekim drugim programima, a dobijeni podaci samo učitavali u MS Excel. Time bi MS Excel bio program koji služi za ispisivanje ulaznih podataka i iščitavanje rezultata proračuna. Drugo poboljšanje bi bilo da se problem optimizacije posmatra na nivou konstrukcije, a ne čvora. Za rješavanje oba ova problema bilo bi povoljno (primjenom VBA) ostvariti vezu između MS Excel-a i programskog paketa SAP2000. SAP2000 bi služio za analizu čitave konstrukcije i provjeru stepena iskorištenosti elemenata po EN 1993-1-1, tako da bi dio koda u Power Query-ju koji određuje stepene iskorištenosti elemenata mogao da se ukloni i time ubrza rad Power Query-ja. Treba ustanoviti način filterisanja podataka na nivou konstrukcije. Najjednostavniji pristup je filterisanje po nekoj realnoj geometriji, ali treba ispitati koji se obim podataka time generalno proizvodi i koliko bi onda trebalo vremena za SAP 2000 da odradi analizu svih mogućih rješenja. Treba razmotriti mogućnost i da se slični postupak sprovede i za veze i da li je povoljnije da to bude neki komercijalni program ili da se ponovo izrade kodovi za proračun različitih konfiguracija čvorova.

## LITERATURA

1. Đuričić, Đ., Marković, Z., Janković, M. and Lučić, D., 2020. Ultimate strength of K-joints in lattice structures composed of circular hollow sections, *9<sup>th</sup> European Conference on Steel and Composite Structures*. Sheffield, England. 1-3 September 2021. Berlin: Ernst & Sohn.
2. EMAGENIT, 2019. *Excel Aided Engineering and Science: Excel Engineering Essentials*. Thousand Oaks, CA: EMAGENIT.
3. Jaspart, J.-P. and Weynand, K., 2015. Design of hollow joints using the component method, *15<sup>th</sup> international symposium on tubular structures ISTS15*. Rio de Janeiro, Brazil, 27-29 May 2015. Leiden: CRC Press/Balkema.
4. Jaspart, J.-P. and Weynand, K., 2017. *Design of Joints in Steel Structures - UK Edition*. [Reflowable Text VitalBook] ECCS – European Convention for Constructional Steelwork. Available at: John Wiley & Sons  
<https://www.wiley.com> [Accessed 14 May 2021].
5. Packer, J.A., Wardenier, J., Zhao, X.-L., van der Vegte, G.J. and Kurobane, Y., 2009. *Design guide for rectangular hollow section (RHS) joints under predominantly static loading*. 2<sup>nd</sup> ed. Geneva: CIDECT.
6. Technical Committee CEN/TC 250 “Structural Eurocodes”, 2005. *EN 1993-1-8 Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-8: Design of joints*. Brussels: CEN.
7. Technical Committee CEN/TC 250 “Structural Eurocodes”, 2020. *prEN 1993-1-1 Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings*. Brussels: CEN.
8. Technical Committee CEN/TC 250 “Structural Eurocodes”, 2021. *prEN 1993-1-8 Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-8: Design of joints*. Brussels: CEN.
9. Tehnički komitet CEN/TC 250 „Eurokodovi za konstrukcije“, 2013. *EN 1990 Eurokod 0: Osnove projektovanja konstrukcija*. Sa engleskog preveo Tehnički komitet ISME/TK 002: Eurokodovi. Podgorica: ISME.
10. Tehnički komitet CEN/TC 250 „Eurokodovi za konstrukcije“, 2016. *EN 1991-1-4 Eurokod 1: Dejstva na konstrukcije – Dio 1-4: Opšti uticaji – Dejstva vjetra*. Sa engleskog preveo Tehnički komitet ISME/TK 002: Eurokodovi. Podgorica: ISME.
11. Tehnički komitet CEN/TC 250 „Eurokodovi za konstrukcije“, 2017. *EN 1991-1-1 Eurokod 1: Dejstva na konstrukcije – Dio 1-1: Opšta dejstva – Zapreminske težine, sopstvena težina, korisna opterećenja za zgrade*. Sa engleskog preveo Tehnički komitet ISME/TK 002: Eurokodovi. Podgorica: ISME.

12. Tehnički komitet CEN/TC 250 „Eurokodovi za konstrukcije“, 2017. *EN 1991-1-3 Eurokod 1: Dejstva na konstrukcije – Dio 1-3: Opšta dejstva – Opterećenja snijegom*. Sa engleskog preveo Tehnički komitet ISME/TK 002: Eurokodovi. Podgorica: ISME.
13. Tehnički komitet ISME/TK 002: Eurokodovi, 2013. *EN 1990 Eurokod 0: Osnove projektovanja konstrukcija – Nacionalni aneks*. Podgorica: ISME.
14. Tehnički komitet ISME/TK 002: Eurokodovi, 2016. *EN 1991-1-4 Eurokod 1: Dejstva na konstrukcije – Dio 1-4: Opšti uticaji – Dejstva vjetra – Nacionalni aneks*. Podgorica: ISME.
15. Tehnički komitet ISME/TK 002: Eurokodovi, 2017. *EN 1991-1-1 Eurokod 1: Dejstva na konstrukcije – Dio 1-1: Opšta dejstva – Zapreminske težine, sopstvena težina, korisna opterećenja za zgrade – Nacionalni aneks*. Podgorica: ISME.
16. Tehnički komitet ISME/TK 002: Eurokodovi, 2017. *EN 1991-1-3 Eurokod 1: Dejstva na konstrukcije – Dio 1-3: Opšta dejstva – Opterećenja snijegom – Nacionalni aneks*. Podgorica: ISME.
17. Van der Vegte, G.J., Wardenier, J., Qian, X.D. and Choo, Y.S., 2008. Reanalysis of the moment capacity of CHS joints, *12<sup>th</sup> International Symposium on Tubular Structures*. Shanghai, China, 8-10 October 2008. Leiden: CRC Press/Balkema.
18. Van der Vegte, G.J. and Wardenier, J., 2014. Evaluation of the recent IIW (2012) and ISO (2013) strength equations for axially loaded CHS K gap joints. *Steel Construction*, 7(2), pp.97-106.
19. Wardenier, J., 1982. *Hollow section joints*. Delft: Delft University Press.
20. Wardenier, J., Kurobane, Y., Packer, J.A., van der Vegte, G.J. and Zhao, X.-L., 2008a. *Design guide for circular hollow section (CHS) joints under predominantly static loading*. 2<sup>nd</sup> ed. Geneva: CIDECT.
21. Wardenier, J., van der Vegte, G.J., Makino, Y. and Marshall, P.W., 2008b. Comparison of the new IIW (2008) CHS joint strength formulae with those of the previous IIW (1989) and the new API (2007), *12<sup>th</sup> International Symposium on Tubular Structures*. Shanghai, China, 8-10 October 2008. Leiden: CRC Press/Balkema.
22. Wardenier, J., Packer, J.A., Zhao, X.-L. and van der Vegte, G.J., 2010. *Hollow Sections in Structural Applications*. 2<sup>nd</sup> ed. Geneva: CIDECT.

## Izjava o autorstvu

Potpisana Milena Janković  
Broj indeksa/upisa 2/18

### Izjavljujem

da je magistarski rad pod naslovom

Izrada koda za proračun i optimizaciju elemenata i čvorova čeličnih rešetki od šupljih hladno oblikovanih profila, uz poređenje stare i nove verzije standarda EN 1993-1-8

- rezultat sopstvenog istraživačkog rada,
- da rad ni u cjelini ni u djelovima nije bio predložen za dobijanje bilo koje diplome prema studijskim programima drugih ustanova visokog obrazovanja,
- da su rezultati korektno navedeni i
- da nisam povrijedila autorska i druga prava intelektualne svojine koja pripadaju trećim licima.

U Podgorici, 26.10.2021. god.

Potpis magistranda



---

**Izjava o istovjetnosti štampane i elektronske verzije magistarskog rada**

Ime i prezime autora	Milena Janković
Broj indeksa/upisa	2/18
Naslov rada	Izrada koda za proračun i optimizaciju elemenata i čvorova čeličnih rešetki od šupljih hladno oblikovanih profila, uz poređenje stare i nove verzije standarda EN 1993-1-8
Mentor	Prof. dr Duško Lučić
Potpisana	Milena Janković

Izjavljujem da je štampana verzija mog magistarskog rada istovjetna elektronskoj verziji koju sam predala za objavljivanje u Digitalni arhiv Univerziteta Crne Gore.

Istovremeno izjavljujem da dozvoljavam objavljivanje mojih ličnih podataka u vezi sa dobijanjem naziva magistra, kao što su ime i prezime, godina i mjesto rođenja, naziv i datum odbrane magistarskog rada.

U Podgorici, 26.10.2021. god.

Potpis magistranda

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Milena Janković', is written over a horizontal line.