

# PRORAČUN I DIMENZIONIRANJE OJAČANE GREDE

---

**Kokić, Anamaria**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2023**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Split / Sveučilište u Splitu**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:228:950190>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-06-26**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of University Department of Professional Studies](#)



**SVEUČILIŠTE U SPLITU**  
**SVEUČILIŠNI ODJEL ZA STRUČNE STUDIJE**

Prijediplomski stručni studij Konstrukcijsko strojarstvo

**ANAMARIA KOKIĆ**

**ZAVRŠNI RAD**

**PRORAČUN I DIMENZIONIRANJE OJAČANE  
GREDE**

Split, srpanj 2023.

**SVEUČILIŠTE U SPLITU**  
**SVEUČILIŠNI ODJEL ZA STRUČNE STUDIJE**

Prijediplomski stručni studij Konstrukcijsko strojarstvo

**Predmet:** Nauka o čvrstoći

**Z A V R Š N I R A D**

Kandidat: Anamaria Kokić

Naslov rada: Proračun i dimenzioniranje ojačane grede

Mentor: dr. sc. Ado Matoković, prof. struč. stud. u t.i.

Split, srpanj 2023.

**REPUBLIKA HRVATSKA**  
**SVEUČILIŠTE U SPLITU**  
**Sveučilišni odjel za stručne studije**

**Studij:** Konstrukcijsko strojarstvo  
**Predmet:** Nauka o čvrstoći  
**Nastavnik:** dr. sc. Ado Matoković, prof. struč. stud. u t.i.

## **ZADATAK**

**Kandidat:** Anamaria Kokić

**Zadatak:** Proračun i dimenzioniranje ojačane grede

U radu je potrebno:

- u uvodnom dijelu dati kratki prikaz proračuna linijskih i rešetkastih nosača;
- za ojačanje odrediti sile u štapovima, a za gredu reakcije oslonaca i unutarnje sile po područjima;
- na temelju proračuna nacrtati za gredu dijagrame unutarnjih sila;
- rezultate provjeriti uz pomoć programskog paketa MDSolids;
- dimenzionirati gredu i štapove ojačane grede za dva različita materijala;
- provjeriti stabilnost tlačno opterećenih štapova ojačane grede;
- oblikovati i dimenzionirati jedan čvor ojačanja.

## Sažetak

U ovom radu je izvršen proračun grede ojačane rešetkastom konstrukcijom koja se sastoji od štapova i linijskog nosača. U uvodnom dijelu su opisani linijski i rešetkasti nosači te su navedene i opisane dvije metode određivanja sila u štapovima rešetke.

Nakon određivanja reakcija u osloncima grede i unutarnjih sila u nezavisnim područjima grede, rezultati dobiveni analitičkim izračunom vrijednosti unutarnjih sila u poprečnom presjeku nosača uspoređeni su s rezultatom dobivenih vrijednosti iz programskog paketa MDSolids. U nastavku je izvršeno dimenzioniranje štapova ojačanja za konstrukcijski čelik S235 i aluminijsku slitinu EN AW-6082 te dimenzioniranje linijskog nosača.

U posljednjem dijelu rada izvršeno je oblikovanje i dimenzioniranje proizvoljno odabranog čvora rešetkaste konstrukcije.

Ključne riječi: rešetkasta konstrukcija, dimenzioniranje, linijski nosač, štapovi

## Summary (Calculation and dimensioning of the reinforced beam)

In this paper, the calculation of a beam reinforced with a lattice structure consisting of rods and a linear support was performed. In the introductory part, linear and truss supports are described, and two methods of determining forces in truss rods are listed and described.

After determining the reactions in the beam supports and the internal forces in the independent areas of the beam, the results obtained by analytically calculating the values of the internal forces in the cross section of the beam were compared with the results obtained from the MDSolids software package. In the following, the dimensioning of the reinforcement rods for structural steel S235 and aluminum alloy EN AW-6082 and the dimensioning of the linear support were carried out.

In the last part of this paper, the shaping and dimensioning of an arbitrarily selected node of the lattice structure was performed.

Keywords: grid construction, dimensioning, linear girder, rods

**SADRŽAJ**

Sažetak .....	2
Summary (Calculation and dimensioning of the reinforced beam) .....	2
1. Uvod .....	6
1.1. Linijski nosači.....	6
1.2. Rešetkasti nosači.....	9
2. Proračun i dimenzioniranje ojačane grede .....	14
3. Dimenzioniranje štapova ojačane grede.....	34
3.1. Dimenzioniranje štapova ojačanja za konstrukcijski čelik S235.....	36
3.2. Dimenzioniranje štapova ojačanja za aluminijsku leguru EN AW-6082.....	46
4. Dimenzioniranje linijskog nosača .....	53
5. Oblikovanje i dimenzioniranje čvora .....	57
6. Zaključak.....	65
Literatura .....	66
Prilozi .....	67

## Popis slika

Slika 1.1 Jednostavni nosač.....	6
Slika 1.2 Nosač s jednim prepustom .....	6
Slika 1.3 Konzolni nosač s uklještenjem na lijevom kraju.....	7
Slika 1.4 Gerberov nosač sastavljen od dvije grede .....	7
Slika 1.5 Definirani koordinatni sustav linijskih nosača.....	8
Slika 1.6 Štap opterećen na sabijanje (tlak) .....	9
Slika 1.7 Štap opterećen na rastezanje (vlak).....	9
Slika 1.8 Rešetkasti nosač .....	9
Slika 1.9 Rešetkasti nosač (primjer).....	10
Slika 1.10 Čvor A.....	10
Slika 1.11 Rešetkasti nosač (primjer).....	12
Slika 1.12 Desni dio presjeka .....	12
Slika 2.1 Ojačana greda.....	14
Slika 2.2 Ojačana greda oslobođena od veza .....	15
Slika 2.3 Desni dio ojačane grede .....	16
Slika 2.4 Čvor D.....	17
Slika 2.5 Čvor C .....	18
Slika 2.6 Nezavisna područja grede .....	20
Slika 2.7 Presjek 1-1.....	20
Slika 2.8 Presjek 2-2.....	22
Slika 2.9 Kut $\alpha_1$ .....	22
Slika 2.10 Presjek 3-3.....	24
Slika 2.11 Presjek 4-4.....	26
Slika 2.12 Presjek 5-5.....	28
Slika 2.13 Kut $\beta$ .....	28
Slika 2.14 Presjek 6-6.....	30
Slika 2.15 Dijagram unutarnjih sila ojačane grede .....	31
Slika 2.16 Dijagram unutarnjih sila ojačane grede iz programskog paketa MDSolids.....	32
Slika 3.1 Čvor D.....	36
Slika 3.2 Čvor C .....	42
Slika 5.1 Čvor D.....	57

## Popis tablica

Tablica 2.1 Izračunate sile u štapovima rešetkaste konstrukcije ojačane grede.....	33
Tablica 3.1 - Tablica koeficijenta gubitka stabilnosti u ovisnosti o klasi izvijanja za $\lambda=1,08$ .	38
Tablica 3.2 - Tablica koeficijenta gubitka stabilnosti u ovisnosti o klasi izvijanja za $\lambda=1,99$ .	41
Tablica 3.3 - Tablica koeficijenta gubitka stabilnosti u ovisnosti o klasi izvijanja za $\lambda=1,53$ .	44
Tablica 3.4 - Tablica ovisnosti relativne vitkosti o faktoru gubitka stabilnosti za $\lambda=1,53$ .....	47
Tablica 3.5 - Tablica ovisnosti relativne vitkosti o faktoru gubitka stabilnosti za $\lambda=2,45$ .....	49
Tablica 3.6 Tablica koeficijenta gubitka stabilnosti u ovisnosti o klasi izvijanja za $\lambda=2,17$ ...	52



# 1. Uvod

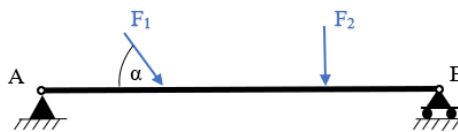
## 1.1. Linijski nosači

Svako kruto tijelo vezano za podlogu i opterećeno jednom ili više sila naziva se nosač. Nosači mogu biti ravninski i prostorni. Ravninskim nosačem se smatra nosač kojem su os nosača i sve sile u istoj ravnini. Prostornim nosačem smatra se nosač kojem osi ne leže u istoj ravnini, tj. odnosi se na konstrukcije čije su osi u jednoj ravnini, ali pravci djelovanja vanjskih sila su izvan te ravnine.

Sile koje djeluju na nosač mogu biti koncentrirane (pod kutom ili okomito na os nosača) ili kontinuirane (konstantnog ( $q_z = konst.$ ) ili promjenljivog intenziteta ( $q_z = q_z(x)$ )).

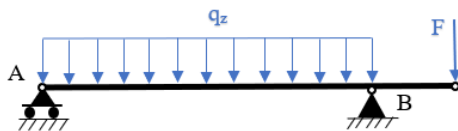
Prilikom podjele prema složenosti i načinu oslanjanja, linijski nosači mogu biti:

- jednostavni nosači kojima je udaljenost između oslonaca ujedno i ukupna duljina nosača (slika 1.1);



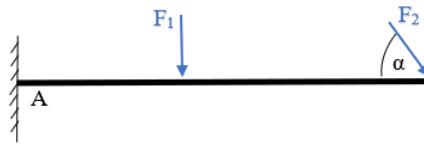
Slika 1.1 Jednostavni nosač

- nosači s jednim ili dva prepusta (slika 1.2);



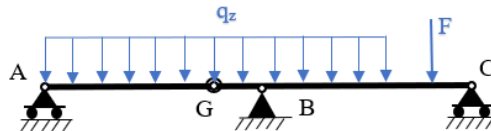
Slika 1.2 Nosač s jednim prepustom

- konzolni nosači tj. nosači s uklještenjem na jednom kraju (slika 1.3);



Slika 1.3 Konzolni nosač s uklještenjem na lijevom kraju

- nosači sa zglobom (Gerberovi nosači) tj. složeni nosači koji su sastavljeni od jedne ili više greda i međusobno su povezani zglobovima (slika 1.4) [1].



Slika 1.4 Gerberov nosač sastavljen od dvije grede

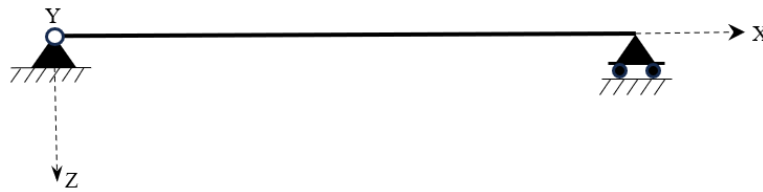
Djelovanjem vanjskih sila u proizvoljnom presjeku nosača pojavit će se *unutarnje sile* kako bi se kod proračuna i dimenzioniranja odabrale odgovarajuće dimenzije same konstrukcije.

Unutarnje sile možemo odrediti definiranjem zamišljenog presjeka nosača na proizvoljnoj udaljenosti te razmatranjem ravnoteže dijela nosača, lijevo ili desno od zamišljenog presjeka. Uvjet glasi da oba dijela moraju biti u ravnoteži zbog međusobnog djelovanja jednog dijela na drugi.

Unutarnje sile u presjeku nosača čine:

- uzdužna sila u pravcu osi nosača s oznakom  $N$ ;
- poprečna sila okomita na os nosača s oznakom  $Q_z$ ;
- moment savijanja s oznakom  $M_y$ .

Koordinatni sustav sila linijskih nosača definiran je na način da se os  $O_x$  poklapa s uzdužnom osi nosača, os  $O_y$  izlazi iz slike, a os  $O_z$  je usmjerena prema dolje jer se upotrebljava desni pravokutni koordinatni sustav prikazan na slici 1.5 [1].



Slika 1.5 Definirani koordinatni sustav linijskih nosača

Poprečni presjek je pozitivan ako se smjer vanjske normale na presjek poklapa s pozitivnim smjerom osi  $x$ , negativan ako smjer vanjske normale na presjek ima suprotan smjer od pozitivnog dijela osi  $x$  [1].

Na pozitivnom poprečnom presjeku unutarnje sile su pozitivne ako im se smjerovi poklapaju s pozitivnim dijelovima koordinatnih osi, a na negativnom poprečnom presjeku bit će pozitivne ako imaju smjerove suprotne smjerovima pozitivnih dijelova koordinatnih osi [1].

Nakon analitičkog određivanja iznosa unutarnjih sila, potrebno je odrediti tzv. *nezavisna područja nosača*. Temeljem dobivenih vrijednosti crta se i kotira *dijagram unutarnjih sila*.

## 1.2. Rešetkasti nosači

Rešetkasti nosači su nosači sastavljeni od ravnih štapova koji su međusobno povezani zglobovima. Mjesto spajanja štapova naziva se čvor rešetke.

Štapovi rešetke mogu biti opterećeni na sabijanje (tlak) kao što je prikazano na slici 1.6 i na rastezanje (vlak) kao što je prikazano na slici 1.7 [1].



Slika 1.6 Štap opterećen na sabijanje (tlak)



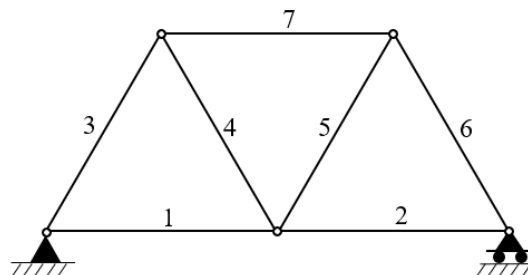
Slika 1.7 Štap opterećen na rastezanje (vlak)

Razmatranjem rešetkastih nosača (slika 1.8) definiraju se sljedeće pretpostavke:

- vanjsko opterećenje djeluje samo u čvorovima rešetke;
- štapovi rešetke opterećeni su na rastezanje (vlak) ili sabijanje (tlak);
- vlastita težina štapova može se zanemariti;
- trenje u zglobovima može se zanemariti.

Sile u štapovima možemo odrediti pomoću dvije metode:

- metodom čvorova,
- metodom presjeka.



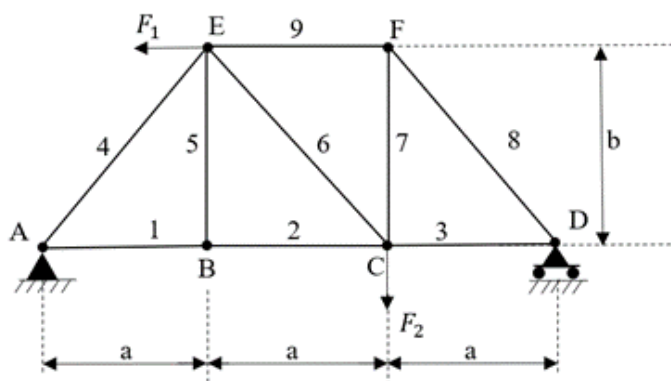
Slika 1.8 Rešetkasti nosač

Metoda čvorova

Određivanjem sila u štapovima metodom čvorova potrebno je prvo odrediti reakcije u osloncima pomoću uvjeta ravnoteže za cijelu rešetku. Odabire se čvor rešetke s najmanje jednom poznatom silom i najviše dvije nepoznate sile te se postavljaju uvjeti ravnoteže za taj čvor.

Pretpostavlja se vlačno opterećenje u svim štapovima rešetke, odnosno pozitivan predznak označava vlačne sile, a negativan predznak tlačne sile.

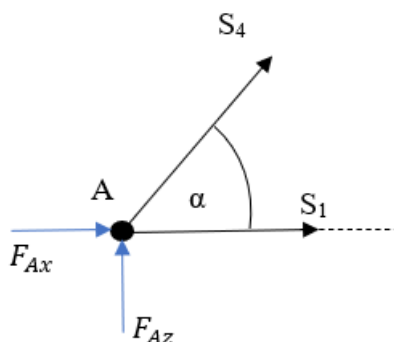
Način određivanja sila u štapovima metodom čvorova prikazan je na primjeru (slika 1.9).



Slika 1.9 Rešetkasti nosač (primjer)

Rešetka je vezana za podlogu sa nepomičnim osloncem u A, pomičnim osloncem u D te sa dvije koncentrirane sile u čvorovima E i C. Postavljanjem uvjeta ravnoteže za cijeli nosač, dobiju se reakcije u osloncima te se odabire čvor A za određivanje sila u štapovima 1 i 4.

Čvor A je prikazan na slici 1.10.



Slika 1.10 Čvor A

Uvjeti ravnoteže za čvor A glase:

$$\sum F_x = 0; F_{Ax} + S_1 + S_4 \cdot \sin \alpha = 0,$$

$$\sum F_z = 0; F_{Az} + S_4 \cdot \cos \alpha = 0,$$

gdje je kut  $\alpha$  dobiven na sljedeći način :

$$\tan \alpha = \frac{b}{a}$$

Rješavanjem navedenih jednadžbi dobiju se tražene sile u štapovima 1 i 4.

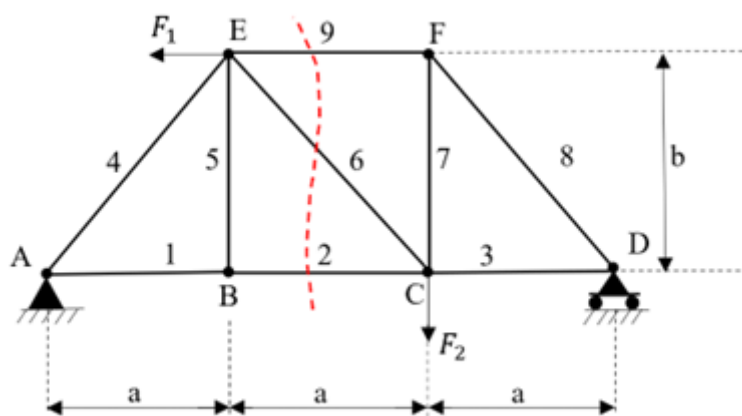
Navedeni postupak se ponavlja dok se ne odrede sve sile u traženim štapovima.

Metoda presjeka

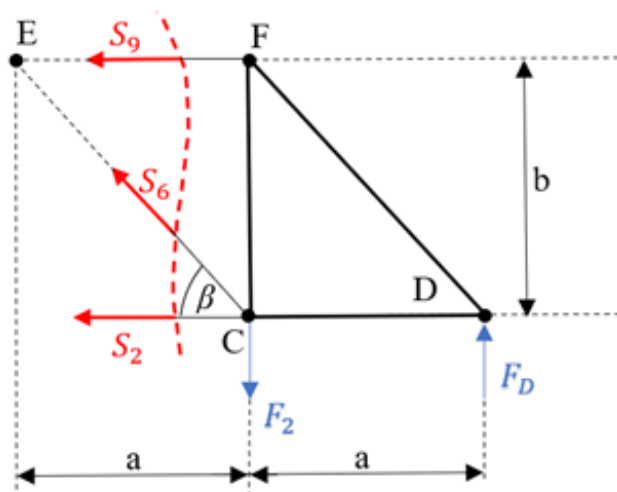
Metoda presjeka koristi se kada želimo odrediti sile samo u nekim štapovima rešetkastog nosača. Potrebno je postaviti zamišljeni presjek preko tih štapova, čime je rešetka podijeljena na dva dijela. Uvjet glasi da oba dijela moraju biti u ravnoteži zbog međusobnog djelovanja jednog dijela rešetke na drugi.

Način određivanja sila u štapovima metodom presjeka prikazan je na već spomenutom primjeru (slika 1.11).

Sile u štapovima 2, 6 i 9 dobit ćemo promatranjem desnog dijela rešetke (slika 1.12).



Slika 1.11 Rešetkasti nosač (primjer)



Slika 1.12 Desni dio presjeka

Uvjeti ravnoteže za desni dio rešetke glase:

$$\sum M_E = 0; F_D \cdot 2 \cdot a - F_2 \cdot a - S_2 \cdot b = 0,$$

$$\sum M_C = 0; F_D \cdot a + S_9 \cdot b = 0,$$

$$\sum F_y = 0: S_6 \cdot \sin \alpha - F_2 + F_D = 0,$$

gdje je kut  $\beta$  dobiven na sljedeći način:

$$\tan \beta = \frac{b}{a}$$

Rješavanjem navedenih jednadžbi dobiju se tražene sile u štapovima 2, 6 i 9.



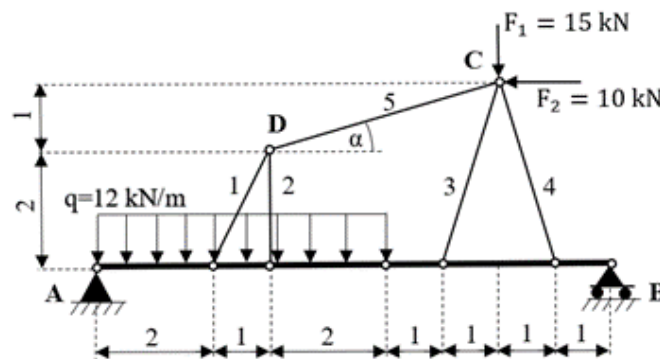
## 2. Proračun i dimenzioniranje ojačane grede

U ovom radu predmet razmatranja je ojačana greda koja se sastoji od linijskog nosača s jednoliko raspodijeljenim kontinuiranim opterećenjem iznosa  $q$ , ojačanja kojeg čine štapovi 1, 2, 3, 4 i 5 od dva različita materijala, vanjskih sila iznosa  $F_1$  i  $F_2$  koje djeluju na čvor ojačanja te zglobova  $A$  i  $B$  linijskog nosača čija je udaljenost jednaka ukupnoj duljini nosača.

Ojačanu gredu prikazanoj na slici 2.1 potrebno je analitičkim postupkom uravnotežiti, odrediti dijagrame unutarnjih sila, dimenzionirati linijski nosač te dimenzionirati i oblikovati proizvoljno odabrani čvor.

Prilikom izrade dijagrama unutarnjih sila i provjere rezultata koristit će se programski paket MDSolids. To je softver koji sadrži brojne alate za teme u područjima statike, čvrstoće materijala i mehanike deformabilnih krutih tijela poput proračuna greda, torzijskih sklopova, rešetki, stupova i mnogih drugih.

Nosač je vezan za podlogu nepomičnim osloncem u  $A$  i pomičnim osloncem u  $B$ .



Slika 2.1 Ojačana greda

Zadano je :

$$F_1 = 15 \text{ kN}$$

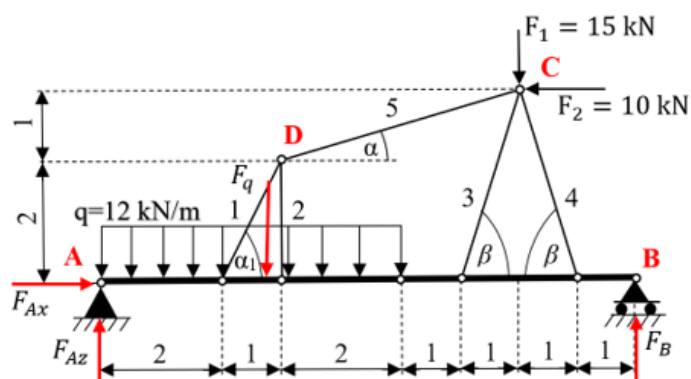
$$F_2 = 10 \text{ kN}$$

$$q = 12 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$F_q = q \cdot l = 12 \cdot 5 = 60 \text{ kN} ; q = \text{konst.}$$

Izračunavanje reakcija u osloncima A i B

Rešetkasti nosač oslobađa se od veza kao što je prikazano na slici 2.2 te se djelovanje nepomičnog oslonca u A zamjenjuje reakcijom dvjema komponentama reakcije  $F_{Ax}$  i  $F_{Az}$ , a pomičnog oslonca u B reakcijom  $F_B$ . Kontinuirano opterećenje grede možemo zamijeniti jednom koncentriranom silom  $F_q = q \cdot l$  s hvatištem u težištu.



Slika 2.2 Ojačana greda oslobođena od veza

Reakcije oslonaca dobit ćemo iz uvjeta ravnoteže :

$$\sum F_x = 0; F_{Ax} - F_2 = 0$$

$$\sum F_z = 0; F_{Az} - F_q - F_1 + F_B = 0$$

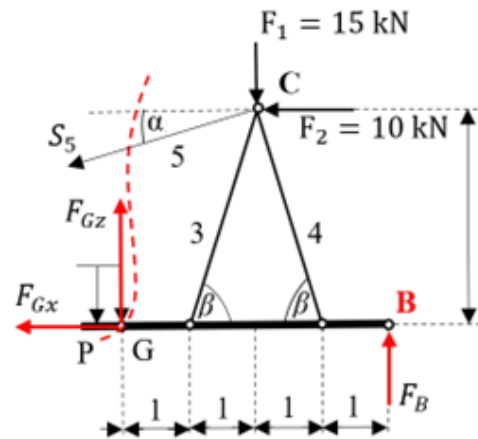
$$\sum M_A = 0; -F_q \cdot 2,5 + F_B \cdot 9 - F_1 \cdot 7 + F_2 \cdot 3 = 0$$

Rješavanjem gornjih jednadžbi dobije se :

$$F_B = 25 \text{ kN}; \quad F_{Az} = 50 \text{ kN}; \quad F_{Ax} = 10 \text{ kN}$$

Izračunavanje sila u štapovima ojačanja

Kako bismo metodom presjeka odredili silu u štapu 5 i komponente sile u zglobu G, potrebno je učiniti zamišljeni presjek rešetke preko tog štapa. Time je rešetka rastavljena na dva dijela, a tražene sile odredit će se razmatranjem ravnoteže desnog dijela rešetkastog nosača prema slici 2.3.



Slika 2.3 Desni dio ojačane grede

Uvjeti ravnoteže glase :

$$\sum F_x = 0; -S_5 \cdot \cos \alpha - F_2 - F_{Gx} = 0$$

$$\sum F_z = 0; -F_1 + F_B + F_{Gz} - S_5 \cdot \sin \alpha = 0$$

$$\sum M_P = 0; -F_1 \cdot 2 + F_2 \cdot 3 + S_5 \cdot \cos \alpha \cdot 3 - S_5 \cdot \sin \alpha \cdot 2 + F_B \cdot 4 = 0$$

gdje je kut  $\alpha$  kojeg zatvara štap  $S_5$  i horizontalna linija koja izlazi iz čvora D, a iznosi :

$$\tan \alpha = \frac{1}{4}$$

$$\alpha = 14,04^\circ$$

Rješavanjem gornjih jednažbi dobije se :

$$S_5 = \frac{-100}{\cos(14,04^\circ) \cdot 3 - \sin(14,04^\circ) \cdot 2} = -41,23 \text{ kN}$$

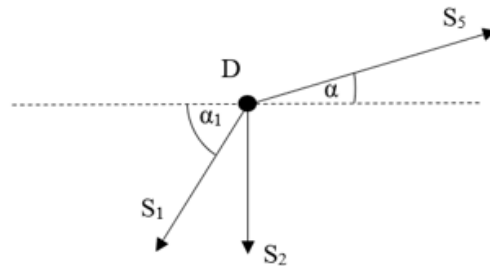
Štap  $S_5$  je opterećen tlačno.

$$F_{Gz} = -F_B + F_1 + S_5 \cdot \sin \alpha = -25 + 15 + (-41,23) \cdot \sin(14,04^\circ) = -20 \text{ kN}$$

$$F_{Gx} = -F_2 - S_5 \cdot \cos(14,04^\circ) = 30 \text{ kN}$$

Sile u ostalim štapovima ojačanja ( $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$  i  $S_4$ ) određujemo metodom čvorova odnosno postavljanjem uvjeta ravnoteže za svaki čvor rešetke. Pretpostavlja se vlačno opterećenje svih štapova.

Odabire se čvor D prikazan na slici 2.4:



Slika 2.4 Čvor D

Uvjeti ravnoteže glase:

$$\sum F_x = 0; S_5 \cdot \cos \alpha - S_1 \cdot \cos \alpha_1 = 0$$

$$\sum F_z = 0; -S_2 - S_1 \cdot \sin \alpha_1 + S_5 \cdot \sin \alpha = 0$$

gdje je kut  $\alpha_1$  kojeg zatvaraju štap  $S_1$  i horizontalna linija koja izlazi iz čvora D, a iznosi :

$$\tan \alpha_1 = \frac{2}{1}$$

$$\alpha_1 = 63,43^\circ$$

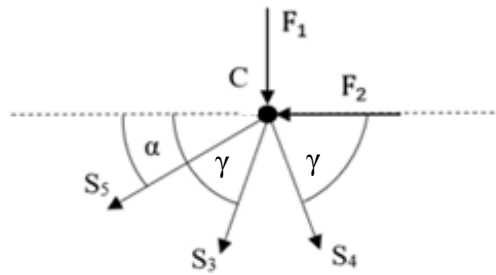
Rješavanjem gornjih jednadžbi dobije se :

$$S_1 = \frac{S_5 \cdot \cos \alpha}{\cos \alpha_1} = \frac{-41,23 \cdot \cos(14,04^\circ)}{\cos(63,43^\circ)} = -89,42 \text{ kN}$$

$$S_2 = S_5 \cdot \sin \alpha - S_1 \cdot \sin \alpha_1 = -41,23 \cdot \sin(14,04^\circ) - (-89,42) \cdot \sin(63,43^\circ) = 69,97 \text{ kN}$$

Štap  $S_1$  je opterećen tlačno, a štap  $S_2$  je opterećen vlačno.

Odabire se čvor C prikazan na slici 2.5:



Slika 2.5 Čvor C

Uvjeti ravnoteže glase :

$$\sum F_x = 0; \quad -S_5 \cdot \cos \alpha - F_2 - S_3 \cdot \cos \gamma + S_4 \cdot \cos \gamma = 0$$

$$\sum F_z = 0; \quad -F_1 - S_5 \cdot \sin \gamma - S_3 \cdot \sin \gamma - S_4 \cdot \sin \gamma = 0$$

gdje je  $\gamma$  kut između štapova S4 i S3 i horizontalne linije koja izlazi iz čvora C, a iznosi :

$$\tan \gamma = \frac{3}{1}$$

$$\gamma = 71,57^\circ$$

a kut  $\delta$  između štapa S3 i horizontalne linije koja izlazi iz čvora C, a iznosi :

$$\tan \alpha = \frac{1}{4}$$

$$\alpha = 14,04^\circ$$

$$S_4 = \frac{S_3 \cdot \cos \gamma + F_2 + S_5 \cdot \cos \alpha}{\cos \gamma} = \frac{S_3 \cdot \cos(71,57^\circ) + 10 + (-41,23) \cdot \cos(14,04^\circ)}{\cos(71,57^\circ)} =$$

$$= S_3 - 94,89 = 44,81 - 94,89 = -50,08 \text{ kN}$$

Štap S4 je opterećen tlačno.

$$-S_3 \cdot \sin \gamma - S_4 \cdot \sin \gamma = F_1 + S_5 \cdot \sin \alpha \quad / \cdot (-1)$$

$$S_3 \cdot \sin \gamma + S_4 \cdot \sin \gamma = -F_1 - S_5 \cdot \sin \alpha$$

$$S_3 \cdot \sin \gamma + (S_3 - 94,89) \cdot \sin \gamma = -F_1 - S_5 \cdot \sin \alpha$$

$$S_3 \cdot \sin \gamma + S_3 \cdot \sin \gamma - 94,89 \cdot \sin \gamma = -F_1 - S_5 \cdot \sin \alpha$$

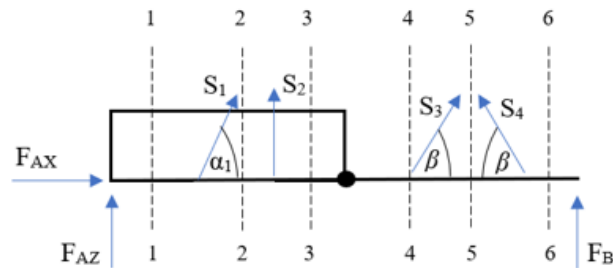
$$2 \cdot S_3 \cdot \sin \gamma = -F_1 - S_5 \cdot \sin \alpha + 94,89 \cdot \sin \gamma$$

$$S_3 = \frac{-15 - (-41,23) \cdot \sin(14,04^\circ) + 94,89 \cdot \sin(71,57^\circ)}{2 \cdot \sin(71,57^\circ)} = 44,81 \text{ kN}$$

Štap  $S_3$  je opterećen vlačno.

## Unutarnje sile

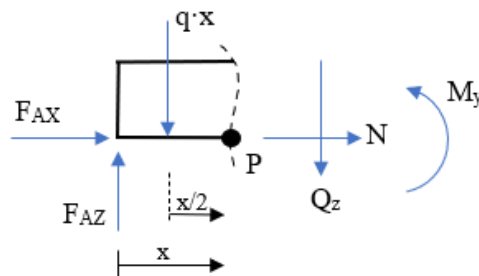
Unutarnje sile u označenom presjeku odredit će se s pomoću zamišljenog presjeka po nezavisnim područjima na proizvoljnoj udaljenosti  $x$  od lijevog oslonca (slika 2.6), pa za svako od tih područja određujemo analitičke izraze za unutarnje sile.



Slika 2.6 Nezavisna područja grede

### Presjek 1-1

$$0 \leq x \leq 2 \text{ m}$$



Slika 2.7 Presjek 1-1

Zadano :  $q = 12 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

Uvjeti ravnoteže za dio nosača lijevo od presjeka (slika 2.7) glase:

$$\sum F_x = 0; F_{Ax} + N = 0$$

$$\sum F_z = 0; -F_{Az} + q \cdot x + Q_z = 0$$

$$\sum M_P = 0; -F_{Az} \cdot x + q \cdot x \cdot \frac{x}{2} + M_y = 0$$

Rješavanjem gornjih jednažbi dobije se :

- $N = -F_{Ax} = -10 \text{ kN}$

- $Q_z = F_{Az} - q \cdot x$

za  $x=0 \rightarrow Q_z = 50 - 12 \cdot 0 = 50 \text{ kN}$

za  $x=2 \rightarrow Q_z = 50 - 12 \cdot 2 = 26 \text{ kN}$

- $M_y = F_{Az} \cdot x - q \cdot x \cdot \frac{x^2}{2}$

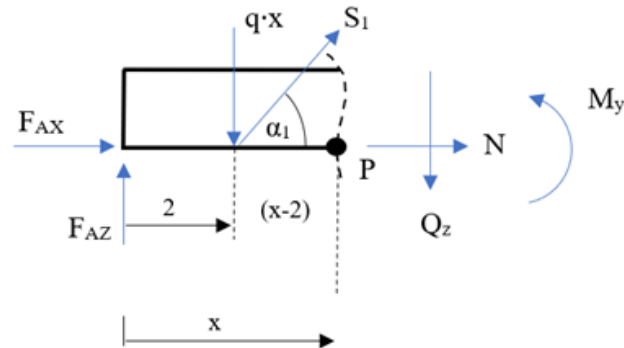
za  $x=0 \rightarrow M_y = 0 \text{ kN}$

za  $x=2 \rightarrow M_y = 50 \cdot 2 - 12 \cdot \frac{2^2}{2} = 76 \text{ kNm}$



**Presjek 2-2**

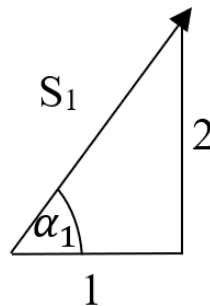
$$2 \leq x \leq 3 \text{ m}$$



Slika 2.8 Presjek 2-2

Zadano :  $q = 12 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

Kut  $\alpha_1$  dobiven je na način (slika 2.9):

Slika 2.9 Kut  $\alpha_1$ 

$$\tan \alpha_1 = \frac{2}{1}$$

$$\alpha_1 = 63,43^\circ$$

Uvjeti ravnoteže za dio nosača lijevo od presjeka (slika 2.8) glase:

$$\sum F_x = 0; F_{Ax} + S_1 \cdot \cos \alpha_1 + N = 0$$

$$\sum F_z = 0; Q_z - F_{Az} + q \cdot x - S_1 \cdot \sin \alpha_1 = 0$$

$$\sum M_P = 0; -F_{Az} \cdot x + q \cdot x \cdot \frac{x}{2} - S_1 \cdot \sin \alpha_1 \cdot (x - 2) + M_y = 0$$

Rješavanjem gornjih jednažbi dobije se :

- $$N = -F_{Ax} - S_1 \cdot \cos \alpha_1 =$$
$$= -10 - (-89,42) \cdot \cos(63,43^\circ) =$$
$$= 30 \text{ kN}$$

- $$Q_z = F_{Az} - q \cdot x + S_1 \cdot \sin \alpha =$$
$$= 50 - 12 \cdot x + (-89,42) \cdot \sin(63,43^\circ)$$

$$\text{za } x=2 \rightarrow Q_z = 50 - 12 \cdot 2 + (-89,42) \cdot \sin(63,43^\circ) = -53,98 \text{ kN}$$

$$\text{za } x=3 \rightarrow Q_z = 50 - 12 \cdot 3 + (-89,42) \cdot \sin(63,43^\circ) = -65,98 \text{ kN}$$

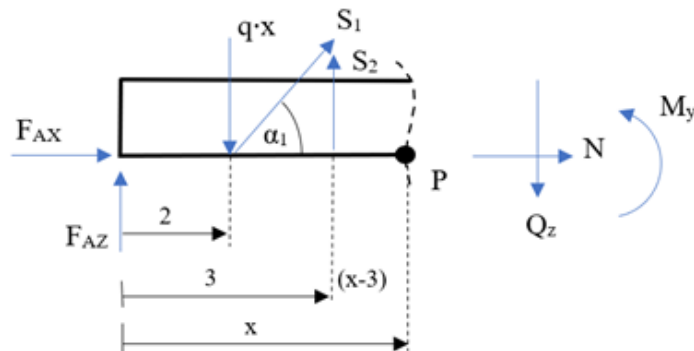
- $$M_y = F_{Az} \cdot x - q \cdot \frac{x^2}{2} + S_1 \cdot \sin \alpha_1 \cdot (x - 2)$$

$$\text{za } x=2 \rightarrow M_y = 50 \cdot 2 - 12 \cdot \frac{2^2}{2} + (-89,42) \cdot \sin(63,43^\circ) \cdot (2 - 2) = 76 \text{ kNm}$$

$$\text{za } x=3 \rightarrow M_y = 50 \cdot 3 - 12 \cdot \frac{3^2}{2} + (-89,42) \cdot \sin(63,43^\circ) \cdot (3 - 2) = 16,02 \text{ kNm}$$

**Presjek 3-3**

$$3 \leq x \leq 5 \text{ m}$$



Slika 2.10 Presjek 3-3

$$\text{Zadano : } q = 12 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\alpha_1 = 63,43^\circ$$

Uvjeti ravnoteže za dio nosača lijevo od presjeka (slika 2.10) glase:

$$\sum F_x = 0; F_{Ax} + S_1 \cdot \cos \alpha_1 + N = 0$$

$$\sum F_z = 0; Q_z - F_{Az} + q \cdot x - S_1 \cdot \sin \alpha_1 - S_2 = 0$$

$$\sum M_P = 0; -F_{Az} \cdot x + q \cdot x \cdot \frac{x}{2} - S_1 \cdot \sin \alpha_1 \cdot (x - 2) - S_2 \cdot (x - 3) + M_y = 0$$

Rješavanjem gornjih jednadžbi dobije se :

- $N = -F_{Ax} - S_1 \cdot \cos \alpha_1 =$   
 $= -10 - (-89,42) \cdot \cos(63,43^\circ) =$   
 $= 30 \text{ kN}$

- $Q_z = F_{Az} - q \cdot x + S_1 \cdot \sin \alpha_1 + S_2 =$   
 $= 50 - 12 \cdot x + (-89,42) \cdot \sin(63,43^\circ) + 69,97$

$$\text{za } x=3 \rightarrow Q_z = 50 - 12 \cdot 3 + (-89,42) \cdot \sin(63,43^\circ) + 69,97 = 4 \text{ kN}$$

$$\text{za } x=5 \rightarrow Q_z = 50 - 12 \cdot 5 + (-89,42) \cdot \sin(63,43^\circ) + 69,97 = -20 \text{ kN}$$

$$\bullet \quad M_Y = F_{Az} \cdot x - q \cdot \frac{x^2}{2} + S_1 \cdot \sin \alpha \cdot (x - 2) + S_2 \cdot (x - 3)$$

$$\begin{aligned} \text{za } x=3 \rightarrow M_Y &= 50 \cdot 3 - 12 \cdot \frac{3^2}{2} + (-89,42) \cdot \sin(63,43^\circ) \cdot (3 - 2) + 69,97 \cdot 0 = \\ &= 16,02 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{za } x=5 \rightarrow M_Y &= 50 \cdot 5 - 12 \cdot \frac{5^2}{2} + (-89,42) \cdot \sin(63,43^\circ) \cdot (5 - 2) + 69,97 \cdot (5 - 3) \\ &= 0 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Na mjestu gdje je poprečna sila jednaka nuli potrebno je izračunati lokalni maksimum momenta savijanja za treće područje.

Udaljenost lokalnog momenta savijanja računa se prema izrazu:

$$\bullet \quad Q_z = 0$$

$$Q_z = F_{Az} - q \cdot x + S_1 \cdot \sin \alpha_1 + S_2$$

$$F_{Az} - q \cdot x + S_1 \cdot \sin \alpha_1 + S_2 = 0$$

$$-q \cdot x = -F_{Az} - S_1 \cdot \sin \alpha_1 - S_2 \quad / \cdot (-1)$$

$$q \cdot x = F_{Az} + S_1 \cdot \sin \alpha_1 + S_2$$

$$x = \frac{F_{Az} + S_1 \cdot \sin \alpha_1 + S_2}{q} = \frac{50 + (-89,42) \cdot \sin(63,43^\circ) + 69,97}{12} = 3,33 \text{ m}$$

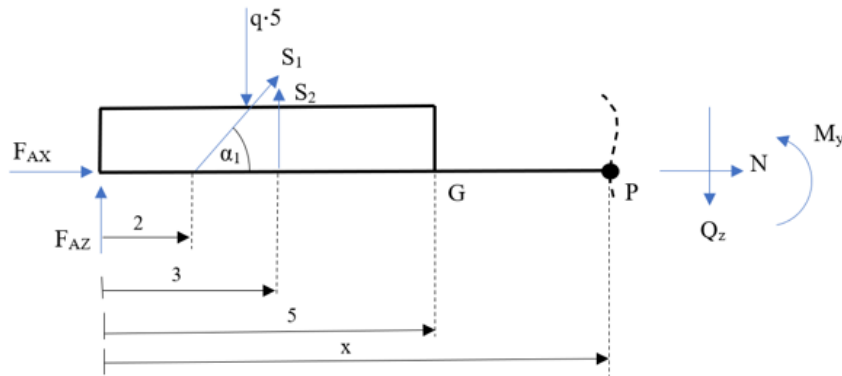
Lokalni maksimum momenta savijanja na udaljenosti  $x = 3,33 \text{ m}$  računa se prema izrazu:

$$\bullet \quad M_Y = F_{Az} \cdot x - q \cdot \frac{x^2}{2} + S_1 \cdot \sin \alpha \cdot (x - 2) + S_2 \cdot (x - 3)$$

$$\begin{aligned} \text{za } x=3,33 \rightarrow M_Y &= 50 \cdot 3,33 - 12 \cdot \frac{3,33^2}{2} + (-89,42) \cdot \sin(63,43^\circ) \cdot (3,33 - 2) + 69,97 \cdot \\ &\quad (3,33 - 3) = \\ &= 16,67 \text{ kNm} \end{aligned}$$

**Presjek 4-4**

$$5 \leq x \leq 6 \text{ m}$$



Slika 2.11 Presjek 4-4

$$\text{Zadano : } q = 12 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\alpha_1 = 63,43^\circ$$

Uvjeti ravnoteže za dio nosača lijevo od presjeka glase (slika 2.11):

$$\sum F_x = 0; F_{Ax} + S_1 \cdot \cos \alpha_1 + N = 0$$

$$\sum F_z = 0; Q_z - F_{Az} + q \cdot 5 - S_1 \cdot \sin \alpha_1 - S_2 = 0$$

$$\sum M_P = 0; -F_{Az} \cdot x + q \cdot 5 \cdot (x - 2,5) - S_1 \cdot \sin \alpha_1 \cdot (x - 2) - S_2 \cdot (x - 3) + M_y = 0$$

Rješavanjem gornjih jednadžbi dobije se :

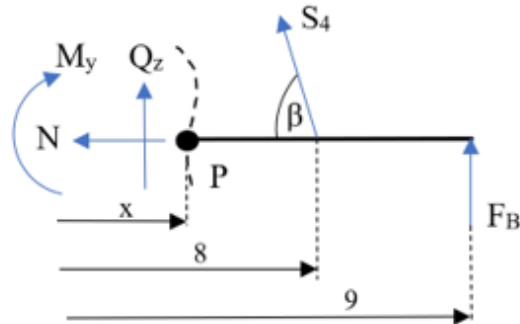
- $N = -F_{Ax} - S_1 \cdot \cos \alpha_1 =$   
 $= -10 - (-89,42) \cdot \cos(63,43^\circ) =$   
 $= 30 \text{ kN}$
- $Q_z = F_{Az} - q \cdot 5 + S_1 \cdot \sin \alpha_1 + S_2 =$   
 $= 50 - 12 \cdot 5 + (-89,42) \cdot \sin(63,43^\circ) + 69,97 = -20 \text{ kN}$
- $M_y = F_{Az} \cdot x - q \cdot 5 \cdot (x - 2,5) + S_1 \cdot \sin \alpha_1 \cdot (x - 2) + S_2 \cdot (x - 3)$

$$\begin{aligned} \text{za } x=5 \rightarrow M_y &= 50 \cdot 5 - 12 \cdot 5 \cdot 2,5 + (-89,42) \cdot \sin(63,43^\circ) \cdot (5 - 2) + \\ &69,97 \cdot (5 - 3) = \\ &= 0 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{za } x=6 \rightarrow M_y &= 50 \cdot 6 - 12 \cdot 5 \cdot 3,5 + (-89,42) \cdot \sin(63,43^\circ) \cdot (6 - 2) + \\ &69,97 \cdot (6 - 3) = \\ &= -20 \text{ kNm} \end{aligned}$$

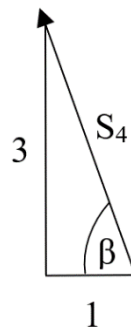
**Presjek 5-5**

$$6 \leq x \leq 8 \text{ m}$$



Slika 2.12 Presjek 5-5

Kut  $\beta$  dobiven je na način (slika 2.13):

Slika 2.13 Kut  $\beta$ 

$$\tan \beta = \frac{3}{1}$$

$$\beta = 71,57^\circ$$

Uvjeti ravnoteže za dio nosača lijevo od presjeka glase (slika 2.12):

$$\sum F_x = 0; -N - S_4 \cdot \cos \beta = 0$$

$$\sum F_z = 0; -Q_z - F_B - S_4 \cdot \sin \beta = 0$$

$$\sum M_P = 0; -M_y + F_B \cdot (9 - x) + S_4 \cdot \sin \beta \cdot (8 - x) = 0$$

Rješavanjem gornjih jednažbi dobije se :

- $N = -S_4 \cdot \cos \beta =$

$$= -(-50,08) \cdot \cos(71,57^\circ) =$$

$$= 15,83 \text{ kN}$$

- $Q_z = -F_B - S_4 \cdot \sin \beta =$

$$= -25 - (-50,08) \cdot \sin(71,57^\circ) = 22,51 \text{ kN}$$

- $M_Y = F_B \cdot (9 - x) + S_4 \cdot \sin \beta \cdot (8 - x)$

$$\text{za } x=6 \rightarrow M_Y = 25 \cdot (9 - 6) + (-50,08) \cdot \sin(71,57^\circ) \cdot (8 - 6) =$$

$$= -20 \text{ kNm}$$

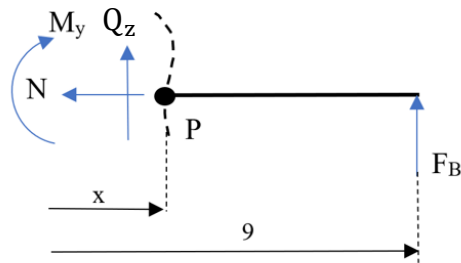
$$\text{za } x=8 \rightarrow M_Y = 25 \cdot (9 - 8) + (-50,08) \cdot \sin(71,57^\circ) \cdot (8 - 8) =$$

$$= 25 \text{ kNm}$$



**Presjek 6-6**

$$8 \leq x \leq 9 \text{ m}$$



Slika 2.14 Presjek 6-6

Uvjeti ravnoteže za dio nosača lijevo od presjeka glase (slika 2.14):

$$\sum F_x = 0; -N = 0$$

$$\sum F_z = 0; -Q_z - F_B = 0$$

$$\sum M_P = 0; -M_y + F_B \cdot (9 - x) = 0$$

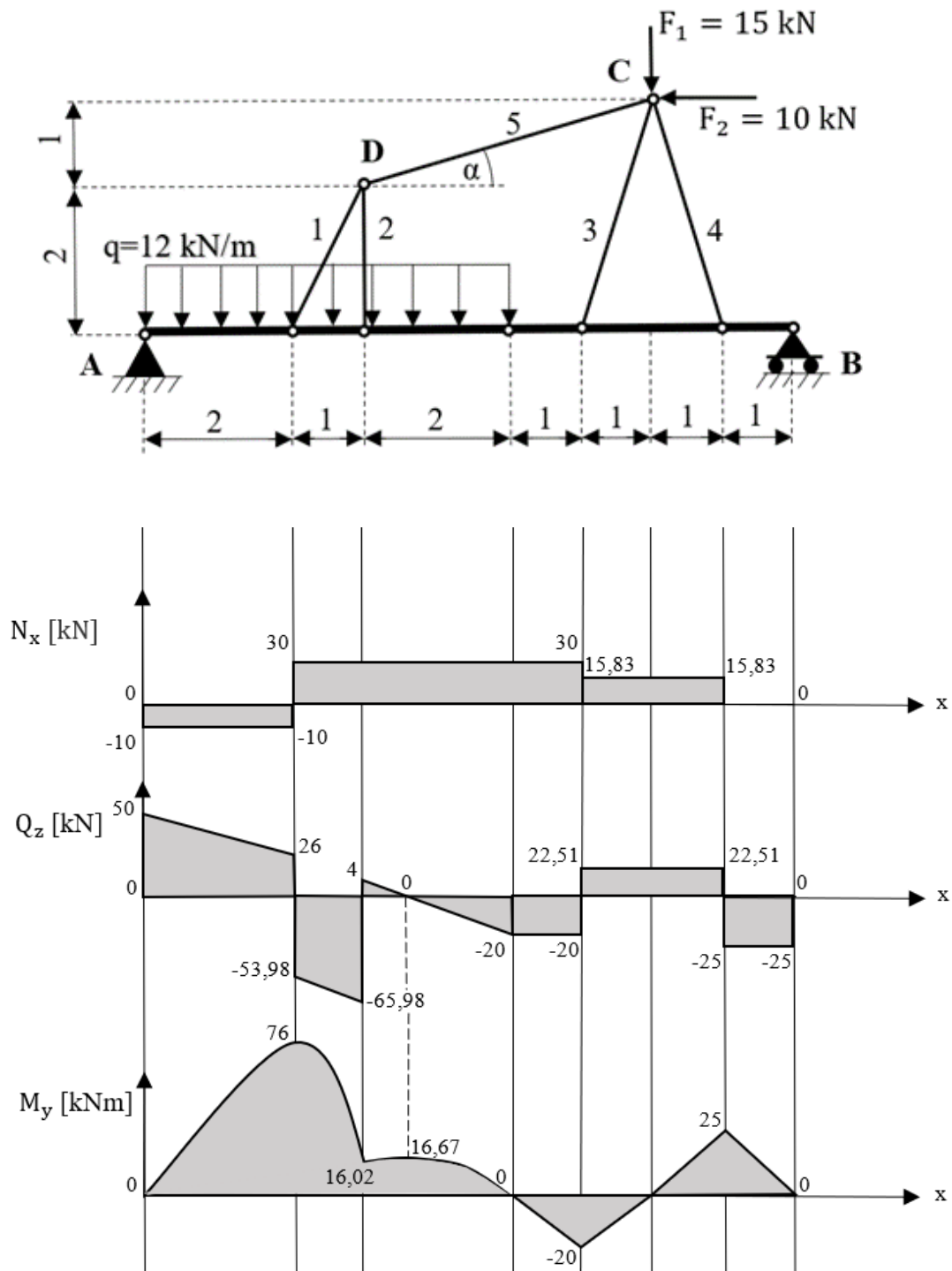
Rješavanjem gornjih jednadžbi dobije se :

- $N = 0 \text{ kN}$
- $Q_z = -F_B = -25 \text{ kN}$
- $M_y = F_B \cdot (9 - x)$

$$\text{za } x=8 \rightarrow M_y = 25 \cdot (9 - 8) = 25 \text{ kNm}$$

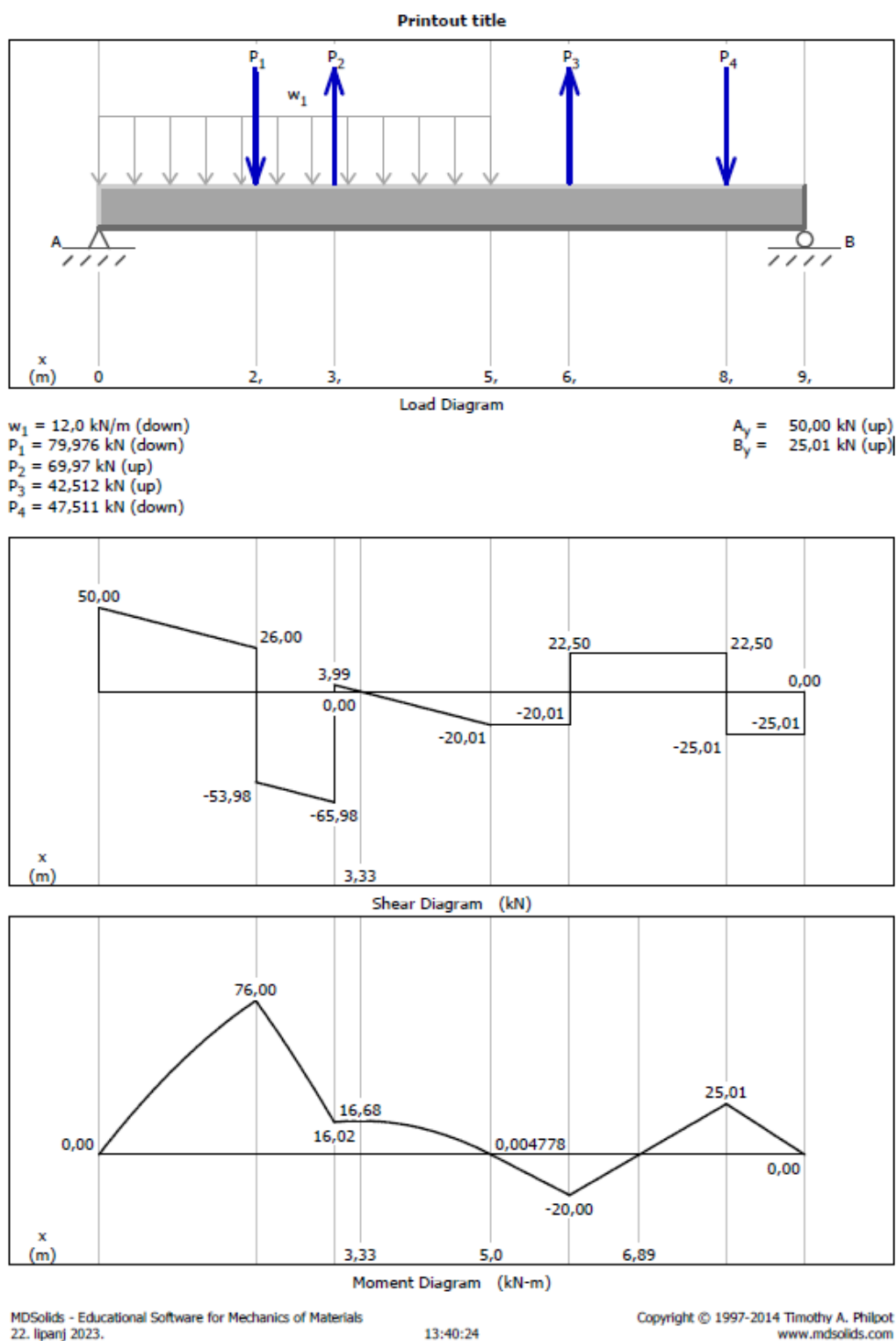
$$\text{za } x=9 \rightarrow M_y = 25 \cdot (9 - 9) = 0 \text{ kNm}$$

Dijagram unutarnjih sila po nezavisnim područjima linijskog nosača prikazan je na slici 2.15.



Slika 2.15 Dijagram unutarnjih sila ojačane grede

Dijagram unutarnjih sila dobiven iz programskog paketa MDSolids prikazan je na slici 2.16.



Slika 2.16 Dijagram unutarnjih sila ojačane grede iz programskog paketa MDSolids

Usporedbom dobivenih vrijednosti unutarnjih sila po nezavisnim područjima linijskog nosača analitičkim izračunom i dobivenih vrijednosti iz programskog paketa MDSolids utvrđuje se podudaranje vrijednosti.

U tablici 2.1 prikazane su izračunate sile u štapovima rešetkaste konstrukcije ojačane grede.

*Tablica 2.1 Izračunate sile u štapovima rešetkaste konstrukcije ojačane grede*

Štap	$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$	$S_5$
Sila u štapu [kN]	-89,42	69,97	44,81	-50,08	-41,23

### 3. Dimenzioniranje štapova ojačane grede

U ovom dijelu rada vrši se dimenzioniranje štapova ojačanja grede za dva izabrana materijala, za konstrukcijski čelik S235 i aluminijsku slitinu EN AW-6082.

Čelik s oznakom S235 je konstrukcijski čelik koji se primjenjuje kod izrade karakterističnih konstrukcijskih dijelova strojeva i uređaja. Najčešće služe za izradu vratila, osovina, zupčanika, nosača opruga, vijaka, poklopaca, ventila, kućišta itd. Obzirom na mehanička svojstva, konstrukcijski čelici moraju imati visoku granicu razvlačenja, dovoljnu plastičnu deformabilnost (radi izbjegavanja pojave krhkog loma), moraju biti otporni na trošenje i koroziju, te obradivi odvajanjem čestica (rezanje), zavarljivi itd. [2].

Kod oznake S235 slovom S označavamo konstrukcijski čelik, a vrijednost 235 označava granicu tečenja materijala ( $f_{yk}$ ).

Karakteristike konstrukcijskog čelika S235 su:

$$f_{yk} = 240 \text{ MPa (granica tečenja)}$$

$$f_{yd} = 218 \text{ MPa (vlačna čvrstoća)}$$

$$E = 210 \text{ GPa} = 210 \cdot 10^3 \text{ MPa (modul elastičnosti)}$$

Aluminijska slitina EN AW-6082 odlikuje se dobrom toplinskom obradivošću, otpornošću na koroziju i najvećom vlačnom čvrstoćom iz grupe legura 6000 [3].

Koristi se za izradu limova, strukturnih profila, šipki i ploča. Naširoko se koristi u zrakoplovstvu, kamionima, tornjevima, brodovima i drugim primjenama koje zahtijevaju visoku čvrstoću, zavarljivost i otpornost na koroziju [4].

Kod oznake AW-6082 slovom A označavamo da se radi o aluminiju, iza slijedi četveroznamenasti broj za identifikaciju legure u kojoj prva znamenka označava glavni legirni element, druga znamenka varijacije početne legure, a treća i četvrtka znamenka varijacije pojedinačnih legura. U ovom slučaju 6xxx označava aluminij-magnezij-silicij leguru [5].

Karakteristike aluminijske slitine EN AW-6082 [6] su:

$$f_{yk} = 230 \text{ MPa (granica tečenja)}$$

$$f_{yd} = 270 \text{ MPa (vlačna čvrstoća)}$$

$$E = 71 \text{ GPa} = 71 \cdot 10^3 \text{ MPa (modul elastičnosti)}$$

$$\rho = 2710 \text{ kg / m}^3 \text{ (gustoća)}$$

Vlačno opterećene elemente dimenzioniramo po kriteriju nosivosti koji glasi

$$\sigma_d \leq f_{yd} .$$

Tlačno opterećene elemente dimenzioniramo po kriteriju stabilnosti tj. opasnosti od izvijanja

koji glasi  $\frac{N_d}{A \cdot \chi} \leq f_{yd} .$

### 3.1. Dimenzioniranje štapova ojačanja za konstrukcijski čelik S235

Čvor D prikazan je na slici 3.1.

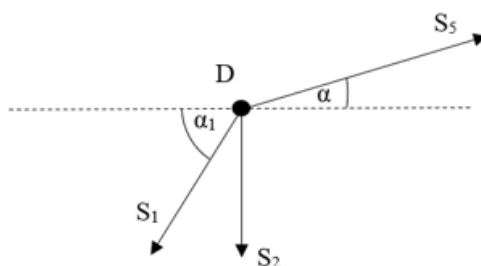
$$S_1 = -89,42 \text{ kN}$$

$$S_2 = 69,97 \text{ kN}$$

$$S_5 = -41,23 \text{ kN}$$

$$\alpha_1 = 63,43^\circ$$

$$\alpha = 14,04^\circ$$



Slika 3.1 Čvor D

- Dimenzioniranje štapa  $S_1$

Provjerava se izvijanje tlačno opterećenog štapa iznosa  $S_1 = -89,42 \text{ kN}$ .

Uvjet izvijanja tlačno opterećenih elemenata glasi:  $N_d \leq N_{iRd}$ ,

iz čega slijedi da je:  $N_d = S_1$ ;  $N_{iRd} = \kappa \cdot A \cdot f_{yd}$ .

Oznaka  $\kappa$  označava koeficijent gubitka stabilnosti štapa,  $A$  označava površinu poprečnog presjeka opterećenog štapa, a  $f_{yd}$  označava vlačnu čvrstoću materijala štapa.

Za potrebe ovog proračuna dogovorno se uzima početna vrijednost koeficijenta gubitka stabilnosti  $\kappa \rightarrow 0,6 \div 0,7$  odnosno usvaja se  $\kappa = 0,6$ .

Uvjet izvijanja sada glasi:  $S_1 \leq \kappa \cdot A \cdot f_{yd}$ ,

$$\text{odnosno : } A \geq \frac{S_1}{\kappa \cdot f_{yd}} = \frac{89420 \text{ N}}{0,6 \cdot 218 \text{ MPa}} = 684 \text{ mm}^2$$

Vlačna čvrstoća materijala računa se prema izrazu:  $f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_M} = \frac{240}{1,1} = 218 \text{ MPa}$

Na temelju izračunate površine  $A = 684 \text{ mm}^2$  usvaja se kvadratni profil dimenzija 60x60x5 mm s prvom većom površinom  $A$  od izračunate, a pripadajući podaci glase:

$$A = 1070 \text{ mm}^2$$

$$m = 8,42 \text{ kg/m}$$

$$I_y = I_z = 533000 \text{ mm}^4$$

$$W_y = W_z = 1,78 \times 10^4 \text{ mm}^3$$

$$i = 22,3 \text{ mm}$$

Vitkost tlačno opterećenog štapa  $S_1$  računa se prema izrazu:  $\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_a}$ , gdje oznaka  $\lambda$  označava vitkost prema Eulerovom izrazu, a oznaka  $\lambda_a$  označava vitkost na granici tečenja.

Vitkost po Euleru se računa prema izrazu:  $\lambda = \frac{l_i}{i}$ , gdje oznaka  $l_i$  označava duljinu izvijanja štapa, a oznaka  $i$  označava polumjer tromosti.

$$l_i = l_1 \rightarrow \text{duljina štapa } S_1 = 2,24 \text{ m} = 2240 \text{ mm}$$

$$i = 22,3 \text{ mm}$$

$$\text{Dobivena vitkost po Euleru iznosi: } \lambda = \frac{l_i}{i} = \frac{2240}{22,3} = 100,45$$

Vitkost na granici tečenja računa se prema izrazu:  $\lambda_a = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_{yk}}}$ , gdje oznaka  $E$  označava modul elastičnosti materijala, a oznaka  $f_{yk}$  označava granicu tečenja materijala.

$$E = 210 \text{ GPa} = 210\,000 \text{ MPa}$$

$$f_{yk} = 240 \text{ MPa}$$

$$\text{Dobivena vitkost na granici tečenja iznosi: } \lambda_a = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_{yk}}} = \pi \cdot \sqrt{\frac{210 \cdot 10^3}{240 \text{ MPa}}} = 92,9$$

$$\text{Vitkost štapa } S_1 \text{ iznosi: } \bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_a} = \frac{100,45}{92,9} = 1,08$$



Dobivena vrijednost se raspodjeljuje na brojeve 1,00 i 0,08, te se pomoću tablice 3.1 određuje vrijednost  $\kappa = 0,49$ .

Tablica 3.1 - Tablica koeficijenta gubitka stabilnosti u ovisnosti o klasi izvijanja za  $\bar{\lambda}=1,08$

$\bar{\lambda}_k$	für Knickspannungslinie c									
	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,2	1,00	0,99	0,99	0,98	0,98	0,97	0,97	0,96	0,96	0,95
0,3	0,95	0,94	0,94	0,93	0,93	0,92	0,92	0,91	0,91	0,90
0,4	0,90	0,89	0,89	0,88	0,88	0,87	0,86	0,86	0,85	0,85
0,5	0,84	0,84	0,83	0,83	0,82	0,81	0,81	0,80	0,80	0,79
0,6	0,78	0,78	0,77	0,77	0,76	0,75	0,75	0,74	0,74	0,73
0,7	0,72	0,72	0,71	0,71	0,70	0,69	0,69	0,68	0,67	0,67
0,8	0,66	0,66	0,65	0,64	0,64	0,63	0,62	0,62	0,61	0,61
0,9	0,60	0,59	0,58	0,58	0,57	0,57	0,56	0,56	0,55	0,55
1,0	0,54	0,53	0,53	0,52	0,52	0,51	0,51	0,50	0,49	0,49
1,1	0,48	0,48	0,47	0,47	0,46	0,46	0,45	0,45	0,44	0,44
1,2	0,43	0,43	0,42	0,42	0,41	0,41	0,41	0,40	0,40	0,39
1,3	0,39	0,38	0,38	0,38	0,37	0,37	0,36	0,36	0,36	0,35
1,4	0,35	0,35	0,34	0,34	0,33	0,33	0,33	0,32	0,32	0,32
1,5	0,31	0,31	0,31	0,30	0,30	0,30	0,30	0,29	0,29	0,29
1,6	0,28	0,28	0,28	0,28	0,27	0,27	0,27	0,26	0,26	0,26
1,7	0,26	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,24	0,24	0,24	0,24
1,8	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22
1,9	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
2,0	0,20	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,18	0,18	0,18
2,1	0,18	0,18	0,18	0,18	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17
2,2	0,17	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,15
2,3	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,14	0,14
2,4	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,13	0,13	0,13
2,5	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,12	0,12
2,6	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
2,7	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11
2,8	0,11	0,11	0,11	0,11	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
2,9	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
3,0	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09

Zatim se vrši provjera zadovoljavanja uvjeta izvijanja tlačno opterećenog štapa:

$$N_{iRd} = \kappa \cdot A \cdot f_{yd} = 0,49 \cdot 1070 \cdot 218 = 114297,4 \text{ N} = 114,3 \text{ kN}$$

$$N_{iRd} = 114,3 \text{ kN} > S_1 = 89,42 \text{ kN}$$

Uvjet je zadovoljen!

- Dimenzioniranje štapa  $S_2$

Provjerava se nosivost vlačno opterećenog štapa iznosa  $S_2 = 69,97 \text{ kN}$ .

Uvjet nosivosti vlačno opterećenih elemenata glasi:  $\sigma_d = \frac{N_d}{A} \leq f_{yd}$ , odnosno  $N_d \leq N_{Rd}$

iz čega slijedi da je:  $N_d = S_2$ .

$$A \geq \frac{S_2}{f_{yd}} = \frac{69970 \text{ N}}{218 \text{ MPa}} = 321 \text{ mm}^2$$

Na temelju izračunate površine  $A = 321 \text{ mm}^2$  usvaja se kvadratni profil dimenzija 50x50x3 mm s prvom većom površinom  $A$  od izračunate, a pripadajući podaci glase:

$$A = 554 \text{ mm}^2$$

$$m = 4,35 \text{ kg/m}$$

$$I_y = I_z = 202000 \text{ mm}^4$$

$$W_y = W_z = 8080 \text{ mm}^3$$

$$i = 19,1 \text{ mm}$$

Zatim se vrši provjera zadovoljavanja uvjeta nosivosti vlačno opterećenog štaba:

$$\sigma_s = \frac{S_2}{A} = \frac{69970 \text{ N}}{554 \text{ mm}^2} = 126,3 \text{ MPa} < f_{yd} = 218 \text{ MPa}$$

Uvjet je zadovoljen!

- Dimenzioniranje štaba  $S_5$

Provjerava se izvijanje tlačno opterećenog štaba iznosa  $S_5 = -41,23 \text{ kN}$ .

Uvjet izvijanja tlačno opterećenih elemenata glasi:  $N_d \leq N_{iRd}$ ,

iz čega slijedi da je:  $N_d = S_5$ ;  $N_{iRd} = \kappa \cdot A \cdot f_{yd}$ .

Za potrebe ovog proračuna dogovorno se uzima početna vrijednost koeficijenta gubitka stabilnosti  $\kappa \rightarrow 0,6 \div 0,7$  odnosno usvaja se  $\kappa = 0,6$ .

Uvjet izvijanja sada glasi:  $S_5 \leq \kappa \cdot A \cdot f_{yd}$ ,

$$\text{odnosno : } A \geq \frac{S_5}{\kappa \cdot f_{yd}} = \frac{41230}{0,6 \cdot 218 \text{ MPa}} = 315,21 \text{ mm}^2$$

Vlačna čvrstoća materijala iznosi:  $f_{yk} = \frac{f_{yk}}{\gamma_M} = \frac{240}{1,1} = 218 \text{ MPa}$

Na temelju izračunate površine  $A = 315 \text{ mm}^2$  usvaja se kvadratni profil dimenzija 60x60x5 mm s prvom većom površinom  $A$  od izračunate, a pripadajući podaci glase:

$$A = 1070 \text{ mm}^2$$

$$m = 8,42 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

$$I_y = I_z = 533000 \text{ mm}^4$$

$$W_y = W_z = 1,78 \times 10^4 \text{ mm}^3$$

$$i = 22,3 \text{ mm}$$

Vitkost tlačno opterećenog štapa  $S_5$  računa se prema izrazu:  $\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_a}$ .

Vitkost po Euleru se računa prema izrazu:  $\lambda = \frac{l_i}{i} = \frac{4120}{22,3} = 184,75$

$$l_i = l_1 \rightarrow \text{duljina štapa } S_5 = \sqrt{4^2 + 1^2} = 4,12 \text{ m} = 4120 \text{ mm}$$

$$i = 22,3 \text{ mm}$$

Vitkost na granici tečenja računa se prema izrazu:  $\lambda_a = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_{yk}}} = \pi \cdot \sqrt{\frac{210 \cdot 10^3}{240 \text{ MPa}}} = 92,9$

$$E = 210 \text{ GPa} = 210\,000 \text{ MPa}$$

$$f_{yk} = 240 \text{ MPa}$$

Vitkost štapa  $S_1$  iznosi:  $\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_a} = \frac{184,75}{92,9} = 1,99$

Dobivena vrijednost se raspodjeljuje na brojeve 1,9 i 0,09 te se pomoću tablice 3.2 određuje vrijednost  $\kappa = 0,20$ .

Tablica 3.2 - Tablica koeficijenta gubitka stabilnosti u ovisnosti o klasi izvijanja za  $\bar{\lambda}=1,99$ 

$\bar{\lambda}_k$	für Knickspannungslinie c									
	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,2	1,00	0,99	0,99	0,98	0,98	0,97	0,97	0,96	0,96	0,95
0,3	0,95	0,94	0,94	0,93	0,93	0,92	0,92	0,91	0,91	0,90
0,4	0,90	0,89	0,89	0,88	0,88	0,87	0,86	0,86	0,85	0,85
0,5	0,84	0,84	0,83	0,83	0,82	0,81	0,81	0,80	0,80	0,79
0,6	0,78	0,78	0,77	0,77	0,76	0,75	0,75	0,74	0,74	0,73
0,7	0,72	0,72	0,71	0,71	0,70	0,69	0,69	0,68	0,67	0,67
0,8	0,66	0,66	0,65	0,64	0,64	0,63	0,62	0,62	0,61	0,61
0,9	0,60	0,59	0,58	0,58	0,57	0,57	0,56	0,56	0,55	0,55
1,0	0,54	0,53	0,53	0,52	0,52	0,51	0,51	0,50	0,49	0,49
1,1	0,48	0,48	0,47	0,47	0,46	0,46	0,45	0,45	0,44	0,44
1,2	0,43	0,43	0,42	0,42	0,41	0,41	0,41	0,40	0,40	0,39
1,3	0,39	0,38	0,38	0,38	0,37	0,37	0,36	0,36	0,36	0,35
1,4	0,35	0,35	0,34	0,34	0,33	0,33	0,33	0,32	0,32	0,32
1,5	0,31	0,31	0,31	0,30	0,30	0,30	0,30	0,29	0,29	0,29
1,6	0,28	0,28	0,28	0,28	0,27	0,27	0,27	0,26	0,26	0,26
1,7	0,26	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,24	0,24	0,24	0,24
1,8	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22
1,9	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
2,0	0,20	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,18	0,18	0,18
2,1	0,18	0,18	0,18	0,18	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17
2,2	0,17	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,15
2,3	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,14	0,14
2,4	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,13	0,13	0,13
2,5	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,12	0,12
2,6	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
2,7	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11
2,8	0,11	0,11	0,11	0,11	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
2,9	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
3,0	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09

Zatim se vrši provjera zadovoljavanja uvjeta izvijanja tlačno opterećenog štapa:

$$N_{iRd} = \kappa \cdot A \cdot f_{yd} = 0,20 \cdot 1070 \cdot 218 = 46652 \text{ N} = 46,65 \text{ kN}$$

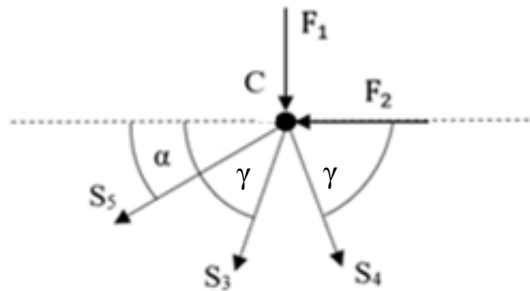
$$N_{iRd} = 46,65 \text{ kN} > S_5 = 41,23 \text{ kN}$$

Uvjet je zadovoljen!

Čvor C prikazan je na slici 3.2.

$$S_3 = 44,81 \text{ kN}$$

$$S_4 = -50,08 \text{ kN}$$



Slika 3.2 Čvor C

- Dimenzioniranje štapa  $S_3$

Provjerava se nosivost vlačno opterećenog štapa iznosa  $S_3 = 44,81 \text{ kN}$ .

Uvjet nosivosti vlačno opterećenih elemenata glasi:  $\sigma_d = \frac{N_d}{A} \leq f_{yd}$ , odnosno  $N_d \leq N_{Rd}$

iz čega slijedi da je:  $N_d = S_3$ .

$$A \geq \frac{S_3}{f_{yd}} = \frac{44810}{218 \text{ MPa}} = 205,55 \text{ mm}^2$$

Na temelju izračunate površine  $A = 205,55 \text{ mm}^2$  usvaja se kvadratni profil dimenzija 40x40x3 mm s prvom većom površinom A od izračunate, a pripadajući podaci glase:

$$A = 434 \text{ mm}^2$$

$$m = 3,41 \text{ kg/m}$$

$$I_y = I_z = 97800 \text{ mm}^4$$

$$W_y = W_z = 4890 \text{ mm}^3$$

$$i = 15 \text{ mm}$$

Zatim se vrši provjera zadovoljavanja uvjeta nosivosti vlačno opterećenog štapa:

$$\sigma_s = \frac{S_3}{A} = \frac{44810 \text{ N}}{434 \text{ mm}^2} = 103,2 \text{ MPa} < f_{yd} = 218 \text{ MPa}$$

Uvjet je zadovoljen!

- Dimenzioniranje štapa  $S_4$

Provjerava se izvijanje tlačno opterećenog štapa iznosa  $S_4 = -50,08 \text{ kN}$ .

Uvjet izvijanja tlačno opterećenih elemenata glasi:  $N_d \leq N_{iRd}$ ,

iz čega slijedi da je:  $N_d = S_4$ ;  $N_{iRd} = \kappa \cdot A \cdot f_{yd}$ .

Za potrebe ovog proračuna dogovorno se uzima početna vrijednost koeficijenta gubitka stabilnosti  $\kappa \rightarrow 0,6 \div 0,7$  odnosno usvaja se  $\kappa = 0,6$ .

Uvjet izvijanja sada glasi:  $S_4 \leq \kappa \cdot A \cdot f_{yd}$ ,

$$\text{odnosno : } A \geq \frac{S_4}{\kappa \cdot f_{yd}} = \frac{50080}{0,6 \cdot 218 \text{ MPa}} = 382,9 \text{ mm}^2$$

Vlačna čvrstoća materijala iznosi:  $f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_M} = \frac{240}{1,1} = 218 \text{ MPa}$

Na temelju izračunate površine  $A = 382,9 \text{ mm}^2$  usvaja se kvadratni profil dimenzija 60x60x5 mm s prvom većom površinom A od izračunate, a pripadajući podaci glase:

$$A = 1070 \text{ cm}^2$$

$$m = 8,42 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

$$I_y = I_z = 533000 \text{ mm}^4$$

$$W_y = W_z = 1,78 \times 10^4 \text{ mm}^3$$

$$i = 22,3 \text{ mm}$$

Vitkost tlačno opterećenog štapa  $S_4$  računa se prema izrazu:  $\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_a}$ .

Vitkost po Euleru se računa prema izrazu:  $\lambda = \frac{l_i}{i} = \frac{316}{22,3} = 141,70$

$$l_i = l_4 \rightarrow \text{duljina štapa } S_4 = \sqrt{3^2 + 1^2} = 3,16 \text{ m} = 3160 \text{ mm}$$

$$i = 22,3 \text{ mm}$$

$$\text{Vitkost na granici tečenja računa se prema izrazu: } \lambda_a = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_{yk}}} = \pi \cdot \sqrt{\frac{210 \cdot 10^3}{240 \text{ MPa}}} = 92,9$$

$$E = 210 \text{ GPa} = 210\,000 \text{ MPa}$$

$$f_{yk} = 240 \text{ MPa}$$

$$\text{Vitkost štapa } S_1 \text{ iznosi: } \bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_a} = \frac{141,70}{92,9} = 1,53$$

Dobivena vrijednost se raspodjeljuje na brojeve 1,5 i 0,03 te se pomoću tablice 3.3 određuje vrijednost  $\kappa = 0,30$ .

Tablica 3.3 - Tablica koeficijenta gubitka stabilnosti u ovisnosti o klasi izvijanja za  $\bar{\lambda}=1,53$

$\bar{\lambda}_k$	für Knickspannungslinie c									
	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,2	1,00	0,99	0,99	0,98	0,98	0,97	0,97	0,96	0,96	0,95
0,3	0,95	0,94	0,94	0,93	0,93	0,92	0,92	0,91	0,91	0,90
0,4	0,90	0,89	0,89	0,88	0,88	0,87	0,86	0,86	0,85	0,85
0,5	0,84	0,84	0,83	0,83	0,82	0,81	0,81	0,80	0,80	0,79
0,6	0,78	0,78	0,77	0,77	0,76	0,75	0,75	0,74	0,74	0,73
0,7	0,72	0,72	0,71	0,71	0,70	0,69	0,69	0,68	0,67	0,67
0,8	0,66	0,66	0,65	0,64	0,64	0,63	0,62	0,62	0,61	0,61
0,9	0,60	0,59	0,58	0,58	0,57	0,57	0,56	0,56	0,55	0,55
1,0	0,54	0,53	0,53	0,52	0,52	0,51	0,51	0,50	0,49	0,49
1,1	0,48	0,48	0,47	0,47	0,46	0,46	0,45	0,45	0,44	0,44
1,2	0,43	0,43	0,42	0,42	0,41	0,41	0,41	0,40	0,40	0,39
1,3	0,39	0,38	0,38	0,38	0,37	0,37	0,36	0,36	0,36	0,35
1,4	0,35	0,35	0,34	0,34	0,33	0,33	0,33	0,32	0,32	0,32
1,5	0,31	0,31	0,31	0,30	0,30	0,30	0,30	0,29	0,29	0,29
1,6	0,28	0,28	0,28	0,28	0,27	0,27	0,27	0,26	0,26	0,26
1,7	0,26	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,24	0,24	0,24	0,24
1,8	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22
1,9	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
2,0	0,20	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,18	0,18	0,18
2,1	0,18	0,18	0,18	0,18	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17
2,2	0,17	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,15
2,3	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,14	0,14
2,4	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,13	0,13	0,13
2,5	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,12	0,12
2,6	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
2,7	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11
2,8	0,11	0,11	0,11	0,11	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
2,9	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
3,0	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09

Zatim se vrši provjera zadovoljavanja uvjeta izvijanja tlačno opterećenog štapa:

$$N_{iRd} = \kappa \cdot A \cdot f_{yd} = 0,30 \cdot 1070 \cdot 218 = 69978 \text{ N} = 69,98 \text{ kN}$$

$$N_{iRd} = 69,98 \text{ kN} > S_4 = 50,08 \text{ kN}$$

Uvjet je zadovoljen!



### 3.2. Dimenzioniranje štapova ojačanja za aluminijsku leguru EN AW-6082

- Dimenzioniranje štapa  $S_1$

Provjerava se izvijanje tlačno opterećenog štapa iznosa  $S_1 = -89,42$  kN.

Uvjet izvijanja tlačno opterećenih elemenata glasi:  $N_d \leq N_{iRd}$ ,

iz čega slijedi da je:  $N_d = S_1$ ;  $N_{iRd} = \kappa \cdot A \cdot f_{yd}$ .

Za potrebe ovog proračuna dogovorno se uzima početna vrijednost koeficijenta gubitka stabilnosti  $\kappa \rightarrow 0,6 \div 0,7$  odnosno usvaja se  $\kappa = 0,6$ .

Uvjet izvijanja sada glasi:  $S_1 \leq \kappa \cdot A \cdot f_{yd}$ ,

$$\text{odnosno : } A \geq \frac{S_1}{\kappa \cdot f_{yd}} = \frac{89420}{0,6 \cdot 27 \text{ MPa}} = 551,2 \text{ mm}^2$$

Vlačna čvrstoća materijala iznosi:  $f_{yd} = 270$  MPa

Na temelju izračunate površine  $A = 551,2 \text{ mm}^2$  usvaja se kvadratni profil dimenzija 70x70x5 mm s prvom većom površinom A od izračunate, a pripadajući podaci glase:

$$A = 1270 \text{ mm}^2$$

$$m = 9,99 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

$$I_y = I_z = 885000 \text{ mm}^4$$

$$W_y = W_z = 2,53 \times 10^4 \text{ mm}^3$$

$$i = 26,4 \text{ mm}$$

Vitkost tlačno opterećenog štapa  $S_1$  računa se prema izrazu:  $\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_a}$ .

Vitkost po Euleru se računa prema izrazu:  $\lambda = \frac{l_i}{i} = \frac{2240}{26,4} = 84,85$  mm

$l_i = l_1 \rightarrow$  duljina štapa  $S_1 = 2,24 \text{ m} = 2240 \text{ mm}$

$$i = 26,4 \text{ mm}$$

$$\text{Vitkost na granici tečenja računa se prema izrazu: } \lambda_a = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_{yk}}} = \pi \cdot \sqrt{\frac{71 \cdot 10^3}{230 \text{ MPa}}} = 55,20$$

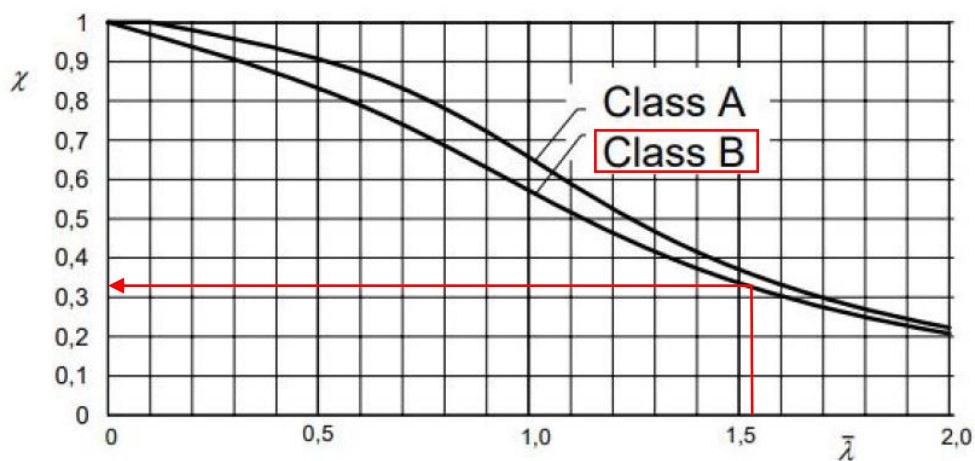
$$E = 71 \text{ GPa} = 71\,000 \text{ MPa}$$

$$f_{yk} = 230 \text{ MPa}$$

$$\text{Vitkost štapa } S_1 \text{ iznosi: } \bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_a} = \frac{84,85}{55,20} = 1,53$$

Pomoću tablice 3.4 se određuje vrijednost  $\kappa = 0,32$ .

Tablica 3.4 - Tablica ovisnosti relativne vitkosti o faktoru gubitka stabilnosti za  $\bar{\lambda}=1,53$



Zatim se vrši provjera zadovoljavanja uvjeta izvijanja tlačno opterećenog štapa:

$$N_{iRd} = \kappa \cdot A \cdot f_{yd} = 0,32 \cdot 1270 \cdot 270 = 109728 \text{ N} = 109,73 \text{ kN}$$

$$N_{iRd} = 109,73 \text{ kN} > S_1 = 89,42 \text{ kN}$$

Uvjet je zadovoljen!

- Dimenzioniranje štapa  $S_2$

Provjerava se nosivost vlačno opterećenog štapa iznosa  $S_2 = 69,97 \text{ kN}$ .

$$\text{Uvjet nosivosti vlačno opterećenih elemenata glasi: } \sigma_d = \frac{N_d}{A} \leq f_{yd}, \text{ odnosno } N_d \leq N_{Rd}$$

iz čega slijedi da je:  $N_d = S_2$ .

$$A \geq \frac{S_2}{f_{yd}} = \frac{69970 \text{ N}}{270 \text{ MPa}} = 259,15 \text{ mm}^2$$

Na temelju izračunate površine  $A = 259,15 \text{ mm}^2$  usvaja se kvadratni profil dimenzija 40x40x3 mm s prvom većom površinom  $A$  od izračunate, a pripadajući podaci glase:

$$A = 434 \text{ mm}^2$$

$$m = 3,41 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

$$I_y = I_z = 97800 \text{ mm}^4$$

$$W_y = W_z = 4890 \text{ mm}^3$$

$$i = 15 \text{ mm}$$

Zatim se vrši provjera zadovoljavanja uvjeta nosivosti vlačno opterećenog štaba:

$$\sigma_s = \frac{S_2}{A} = \frac{69970}{434 \text{ mm}^2} = 161,2 \text{ MPa} < f_{yd} = 270 \text{ MPa}$$

Uvjet je zadovoljen!

- Dimenzioniranje štaba  $S_5$

Provjerava se izvijanje tlačno opterećenog štaba iznosa  $S_5 = -41,23 \text{ kN}$ .

Uvjet izvijanja tlačno opterećenih elemenata glasi:  $N_d \leq N_{iRd}$ ,

iz čega slijedi da je:  $N_d = S_5$ ;  $N_{iRd} = \kappa \cdot A \cdot f_{yd}$ .

Za potrebe ovog proračuna dogovorno se uzima početna vrijednost koeficijenta gubitka stabilnosti  $\kappa \rightarrow 0,6 \div 0,7$  odnosno usvaja se  $\kappa = 0,6$ .

Uvjet izvijanja sada glasi:  $S_5 \leq \kappa \cdot A \cdot f_{yd}$ ,

$$\text{odnosno : } A \geq \frac{S_5}{\kappa \cdot f_{yd}} = \frac{41230}{0,6 \cdot 270 \text{ MPa}} = 254,5 \text{ mm}^2$$

Vlačna čvrstoća materijala iznosi:  $f_{yd} = 270 \text{ MPa}$

Na temelju izračunate površine  $A = 254,5 \text{ mm}^2$  usvaja se kvadratni profil dimenzija 80x80x5 mm s prvom većom površinom  $A$  od izračunate, a pripadajući podaci glase:

$$A = 1470 \text{ mm}^2$$

$$m = 11,6 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

$$I_y = I_z = 1370000 \text{ mm}^4$$

$$W_y = W_z = 34,2 \times 10^4 \text{ mm}^3$$

$$i = 30,5 \text{ mm}$$

Vitkost tlačno opterećenog štapa  $S_5$  računa se prema izrazu:  $\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_a}$ .

Vitkost po Euleru se računa prema izrazu:  $\lambda = \frac{l_i}{i} = \frac{4120}{30,5} = 135,08 \text{ cm}$

$$l_i = l_5 \rightarrow \text{duljina štapa } S_5 = \sqrt{4^2 + 1^2} = 4,12 \text{ m} = 4120 \text{ mm}$$

$$i = 30,5 \text{ mm}$$

Vitkost na granici tečenja računa se prema izrazu:  $\lambda_a = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_{yk}}} = \pi \cdot \sqrt{\frac{71 \cdot 10^3}{230 \text{ MPa}}} = 55,20$

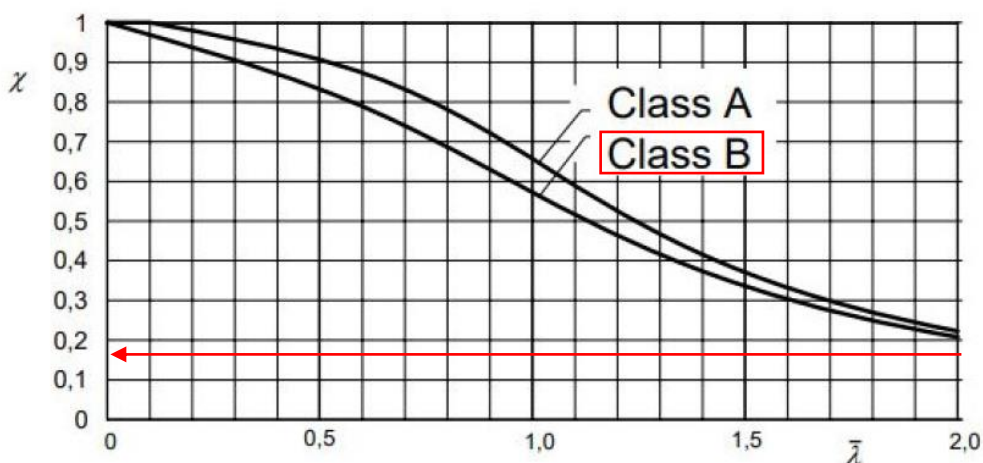
$$E = 71 \text{ GPa} = 71 \text{ 000 MPa}$$

$$f_{yk} = 230 \text{ MPa}$$

$$\text{Vitkost štapa } S_1 \text{ iznosi : } \bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_a} = \frac{135,08}{55,20} = 2,45$$

Pomoću tablice 3.5 se određuje vrijednost  $\kappa = 0,14$ .

Tablica 3.5 - Tablica ovisnosti relativne vitkosti o faktoru gubitka stabilnosti za  $\bar{\lambda}=2,45$



Zatim se vrši provjera zadovoljavanja uvjeta izvijanja tlačno opterećenog štapa:

$$N_{iRd} = \kappa \cdot A \cdot f_{yd} = 0,14 \cdot 1470 \cdot 270 = 55566 \text{ N} = 55,57 \text{ kN}$$

$$N_{iRd} = 55,57 \text{ kN} > S_5 = 41,23 \text{ kN}$$

Uvjet je zadovoljen!

- Dimenzioniranje štapa  $S_3$

Provjerava se nosivost vlačno opterećenog štapa iznosa  $S_3 = 44,81 \text{ kN}$ .

Uvjet nosivosti vlačno opterećenih elemenata glasi:  $\sigma_d = \frac{N_d}{A} \leq f_{yd}$ , odnosno  $N_d \leq N_{Rd}$

iz čega slijedi da je:  $N_d = S_3$ .

$$A \geq \frac{S_3}{f_{yd}} = \frac{44810 \text{ N}}{270 \text{ MPa}} = 165,9 \text{ mm}^2$$

Na temelju izračunate površine  $A = 165,9 \text{ mm}^2$  usvaja se kvadratni profil dimenzija 40x40x3 mm s prvom većom površinom A od izračunate, a pripadajući podaci glase:

$$A = 434 \text{ mm}^2$$

$$m = 3,41 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

$$I_y = I_z = 97800 \text{ mm}^4$$

$$W_y = W_z = 4890 \text{ mm}^3$$

$$i = 15 \text{ mm}$$

Zatim se vrši provjera zadovoljavanja uvjeta nosivosti vlačno opterećenog štapa:

$$\sigma_s = \frac{S_3}{A} = \frac{44810 \text{ N}}{434 \text{ mm}^2} = 103,2 \text{ MPa} < f_{yd} = 270 \text{ MPa}$$

Uvjet je zadovoljen!

- Dimenzioniranje štapa  $S_4$

Provjerava se izvijanje tlačno opterećenog štapa iznosa  $S_4 = -50,08 \text{ kN}$ .

Uvjet izvijanja tlačno opterećenih elemenata glasi:  $N_d \leq N_{iRd}$ ,

iz čega slijedi da je:  $N_d = S_4$ ;  $N_{iRd} = \kappa \cdot A \cdot f_{yd}$ .

Za potrebe ovog proračuna dogovorno se uzima početna vrijednost koeficijenta gubitka stabilnosti  $\kappa \rightarrow 0,6 \div 0,7$  odnosno usvaja se  $\kappa = 0,6$ .

Uvjet izvijanja sada glasi:  $S_4 \leq \kappa \cdot A \cdot f_{yd}$ ,

$$\text{odnosno : } A \geq \frac{S_4}{\kappa \cdot f_{yd}} = \frac{50080}{0,6 \cdot 270 \text{ MPa}} = 309,13 \text{ mm}^2$$

Vlačna čvrstoća materijala iznosi:  $f_{yd} = 270 \text{ MPa}$

Na temelju izračunate površine  $A = 309,13 \text{ mm}^2$  usvaja se kvadratni profil dimenzija 70x70x5 mm s prvom većom površinom A od izračunate, a pripadajući podaci glase:

$$A = 1270 \text{ mm}^2$$

$$m = 9,99 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

$$I_y = I_z = 885000 \text{ mm}^4$$

$$W_y = W_z = 25,3 \times 10^4 \text{ mm}^3$$

$$i = 26,4 \text{ mm}$$

Vitkost tlačno opterećenog štapa  $S_4$  računa se prema izrazu:  $\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_a}$ .

Vitkost po Euleru se računa prema izrazu:  $\lambda = \frac{l_i}{i} = \frac{3160}{26,4} = 119,7$

$$l_i = l_4 \rightarrow \text{duljina štapa } S_4 = \sqrt{3^2 + 1^2} = 3,16 \text{ m} = 3160 \text{ mm}$$

$$i = 26,4 \text{ mm}$$

Vitkost na granici tečenja računa se prema izrazu:  $\lambda_a = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_{yk}}} = \pi \cdot \sqrt{\frac{71 \cdot 10^3}{230 \text{ MPa}}} = 55,20$

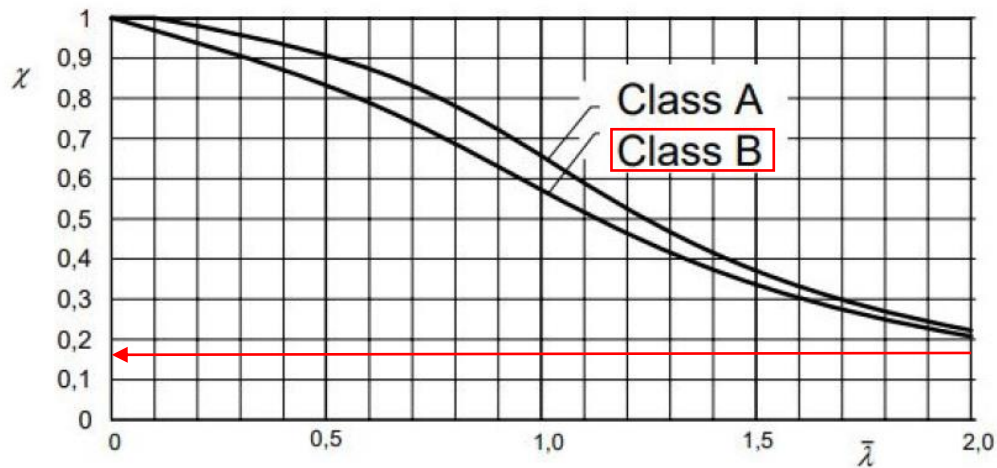
$$E = 71 \text{ GPa} = 71 \text{ 000 MPa}$$

$$f_{yk} = 230 \text{ MPa}$$

Vitkost štapa  $S_1$  iznosi :  $\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_a} = \frac{119,7}{55,20} = 2,17$

Pomoću tablice 3.6 se određuje vrijednost  $\kappa = 0,17$ .

Tablica 3.6 Tablica koeficijenta gubitka stabilnosti u ovisnosti o klasi izvijanja za  $\bar{\lambda}=2,17$



Zatim se vrši provjera zadovoljavanja uvjeta izvijanja tlačno opterećenog štapa:

$$N_{iRd} = \kappa \cdot A \cdot f_{yd} = 0,17 \cdot 1270 \cdot 270 = 58293 \text{ N} = 59,29 \text{ kN}$$

$$N_{iRd} = 59,29 \text{ kN} > S_4 = 50,08 \text{ kN}$$

Uvjet je zadovoljen!

## 4. Dimenzioniranje linijskog nosača

Za dimenzioniranje linijskog nosača koriste se profili IPE, HEB i HEM iz priloga. Čelični profili imaju izvrsna fizička svojstva, zbog čega su poželjni i često se upotrebljavaju, prije svega u gradnji većih objekata. Čelični profili mogu premostiti velike udaljenosti, stoga se često upotrebljavaju u gradnji objekata gdje su potrebni veliki konstrukcijski rasponi. Glavne prednosti čeličnih profila su brza i ekonomična montaža, dug vijek, fleksibilnost u gradnji te jednostavno održavanje [7].

Uvjet nosivosti :  $\sigma_d \leq f_{yd}$

$$\frac{M_{yd,max}}{W_y} \leq f_{yd}$$

$$W_y \geq \frac{M_{yd,max}}{f_{yd}}$$

$$W_y \geq \frac{76 \cdot 10^6 \text{ Nmm}}{218 \text{ MPa}}$$

$$W_y \geq 348623,9 \text{ mm}^3$$

Dopušteni progib  $W_{dop}$  računa se prema izrazu:

$$W_{dop} = \frac{l}{200} = \frac{9000}{200} = 45 \text{ mm}$$

$$W_{max} \leq 45 \text{ mm}$$

Karakteristike profila IPE 270 :

$$I_y = 57900000 \text{ mm}^4$$

$$W_y = 428900 \text{ mm}^3$$

$$G = 36,1 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

$$A_{vz} = 2568 \text{ mm}^2$$



Provjera nosivosti profila:

$$\sigma_d = \frac{M_{d,max}}{W_y} = \frac{76 \cdot 10^6 \text{ Nmm}}{428900} = 177,19 \text{ MPa} \leq f_{yd} = 218 \text{ MPa}$$

Uvjet je zadovoljen!

Tangencijalno naprezanje:

uvjet :  $\tau_d \leq \tau_{R,d}$

$$\tau_{R,d} = \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}} = \frac{218}{\sqrt{3}} = 126 \text{ MPa} \rightarrow \text{HMH teorija}$$

$$\frac{Q_{z,max}}{A_{vz}} \leq \tau_{R,d}$$

$$\frac{65980 \text{ N}}{2568 \text{ mm}^2} = 25,69 \text{ MPa} \leq \tau_{R,d} = 126 \text{ MPa}$$

Uvjet je zadovoljen!

Karakteristike profila HE 180B:

$$I_y = 3831000 \text{ mm}^4$$

$$W_y = 425700 \text{ mm}^3$$

$$G = 51,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

$$A_{vz} = 2024 \text{ mm}^2$$

Provjera nosivosti:

$$\sigma_d = \frac{M_{d,max}}{W_y} = \frac{76 \cdot 10^6 \text{ Nmm}}{425700} = 178,5 \text{ MPa} \leq f_{yd} = 218 \text{ MPa}$$

Uvjet je zadovoljen!

Tangencijalno naprezanje:

uvjet :  $\tau_d \leq \tau_{R,d}$

$$\tau_{R,d} = \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}} = \frac{218}{\sqrt{3}} = 126 \text{ MPa}$$

$$\frac{Q_{z,max}}{A_{vz}} \leq \tau_{R,d}$$

$$\frac{65980 \text{ N}}{2024 \text{ mm}^2} = 32,6 \text{ MPa} \leq \tau_{R,d} = 126 \text{ MPa}$$

Uvjet je zadovoljen!

Karakteristike profila HE 140M :

$$I_y = 32910000 \text{ mm}^4$$

$$W_y = 411400 \text{ mm}^3$$

$$G = 63,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

$$A_{vz} = 2446 \text{ mm}^2$$

$$\text{Provjera nosivosti : } \sigma_d = \frac{M_{d,max}}{W_y} = \frac{76 \cdot 10^6 \text{ kN cm}}{411400} = 184,7 \text{ MPa} \leq f_{yd} = 218 \text{ MPa}$$

Tangencijalno naprezanje :

$$\text{uvjet : } \tau_d \leq \tau_{R,d}$$

$$\tau_{R,d} = \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}} = \frac{218}{\sqrt{3}} = 126 \text{ MPa}$$

$$\frac{Q_{z,max}}{A_{vz}} \leq \tau_{R,d}$$

$$\frac{65980 \text{ N}}{2446 \text{ mm}^2} = 26,97 \text{ MPa} \leq \tau_{R,d} = 126 \text{ MPa}$$

Optimalni profil, koji se ujedno i usvaja, je IPE 270 s pripadajućim podacima:

$$I_y = 57900000 \text{ mm}^4$$

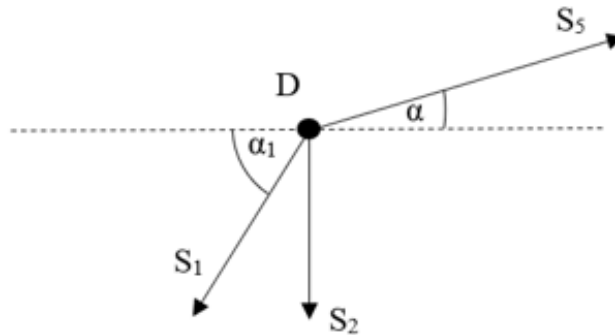
$$W_y = 428900 \text{ mm}^3$$

$$G = 36,1 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

$$A_{vz} = 2568 \text{ mm}^2$$

## 5. Oblikovanje i dimenzioniranje čvora

Za oblikovanje i dimenzioniranje čvora proizvoljno je odabran čvor D prikazan na slici 5.1., a sastoji se od štapova  $S_1$ ,  $S_2$  i  $S_5$ .



Slika 5.1 Čvor D

Vrijednosti sila u štapovima u čvoru D iznose:

$$S_1 = -89,42 \text{ kN} \quad S_2 = 69,97 \text{ kN} \quad S_5 = -41,23 \text{ kN}$$

Kutovi između štapova iznose:

$$\alpha = 14,04^\circ \quad \alpha_1 = 63,43^\circ$$

Provjera nosivosti traka štapa  $S_1$  kvadratnog profila dimenzija 60x60x5:

$$A = 2 \cdot 0,6 \cdot 10 = 12 \text{ cm}^2 = 1200 \text{ mm}^2$$

↓

debljina uški

Uvjet nosivosti glasi:  $N_{Rd} > N_d \rightarrow \text{nosivost} > \text{opterećenje}$

$$N_d = S_1 = 89,42 \text{ kN}$$

$$\sigma_d \leq f_{yd} = 218 \text{ MPa}$$

$$\frac{N_d}{A} \leq f_{yd}$$

$$\frac{S_1}{120} \leq f_{yd}$$

$$\frac{89420}{1200} \leq 218$$

74,5 MPa  $\leq$  218 MPa  $\rightarrow$  Nosivost traka (uški) štapa zadovoljava uvjet!

Izbor promjera vijka:

Definira se promjer vijka prema izrazu:

$$d_{max} = \sqrt{50 \cdot t_{min}} - 2 ; t_{min} = 6 \text{ mm}$$

$$d_{max} = \sqrt{50 \cdot 6} - 2 = 15,32 \text{ mm}$$

Usvaja se :     *promjer rupe*  $\rightarrow d_r = 15 \text{ mm}$

*promjer vijka*  $\rightarrow d_v = 14 \text{ mm}$

*Prvi manji standardni promjer vijka* : M14

*k.č. 8.8.*  $\rightarrow$  *čvrstoća* :  $f_{uvk} = 800 \text{ MPa}$

$\rightarrow$  *granica tečenja* :  $f_{yk} = 640 \text{ MPa}$

Nosivost jednog vijka računa se prema izrazu:

$$V_{VR} = n \cdot i \cdot \alpha_a \cdot A_v \cdot \frac{f_{uvk}}{\gamma_m}$$

*n*  $\rightarrow$  *broj vijaka*  $\rightarrow n = 1$

*i*  $\rightarrow$  *broj reznih ploha*  $\rightarrow i = 2$

$\alpha_a$   $\rightarrow$  *koeficijent ovisan o čvrstoći vijka*

                  za *k.č. 8.8.*  $\rightarrow \alpha_a = 0,56$

$A_v$   $\rightarrow$  *površina vijka*

$$A_v = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} = \frac{14^2 \cdot \pi}{4} = 153,94 \text{ mm}^2$$

$f_{uvk}$   $\rightarrow$  *karakteristična čvrstoća vijka*  $\rightarrow f_{uvk} = 800 \text{ MPa}$

$\gamma_m \rightarrow$  koeficijent materijala  $\rightarrow \gamma_m = 1,1$

$$V_{VR} = 1 \cdot 2 \cdot 6 \cdot 153,94 \cdot \frac{800}{1,1} = 1343476 \text{ N} = 133,52 \text{ kN}$$

Potreban broj vijaka određuje se na način:

Štap  $S_1 \rightarrow V_{VR} \geq N_d$  ;  $N_d = S_1 = 89,42 \text{ kN}$

$$V_{VR} = 133,52 \text{ kN} > S_1 = 89,42 \text{ kN}$$

usvaja se:  $n = 1$  vijak

Nosivost omotača rupe za  $n = 1$  vijak iznosi:

$$V_{rR} = t \cdot d_v \cdot \alpha_{r1} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_m}$$

$$t = \{2 \cdot t_1, t_2\} \rightarrow \{2 \cdot 6, 20\} \rightarrow t = 12 \text{ mm}$$

Udaljenost vijka od ruba čelične trake računa se prema izrazu:  $e_1 = 2 \cdot d_r = 2 \cdot 15 = 30 \text{ mm}$

Zbog sigurnosti usvaja se :  $e_1 = 40 \text{ mm}$

Koeficijent nosivosti omotača rubnog dijela računa se prema izrazu:

$$\alpha_{r1} = 1,1 \cdot \frac{e_1}{d_r} - 0,3 = 1,1 \cdot \frac{40}{15} - 0,3 = 2,63$$

$$V_{rR} = 12 \cdot 14 \cdot 2,63 \cdot \frac{240}{1,1} = 96401,5 \text{ N} = 96,40 \text{ kN}$$

$$V_{rR} \geq N_{Rd} \rightarrow 96,40 \text{ kN} \geq 89,42 \text{ kN}$$

Provjera nosivosti trake na poziciji rupe vijka iznosi:

$$A_{bruto} = 2 \cdot 100 \cdot 6 = 1200 \text{ mm}^2$$

$$A_{neto} = A_{bruto} - 2 \cdot d_r \cdot t_1 = 1200 - 2 \cdot 15 \cdot 6 = 1020 \text{ mm}^2$$

$$\frac{A_{bruto}}{A_{neto}} = \frac{1200}{1020} = 1,176 < 1,2 \rightarrow \text{Presjek na mjestu rupe nije oslabljen!}$$

Provjera nosivosti traka štapa  $S_2$  kvadratnog profila dimenzija 50x50x3:

$$A = 2 \cdot 6 \cdot 9 = 108 \text{ mm}^2$$

Uvjet nosivosti glasi:  $N_{Rd} > N_d \rightarrow \text{nosivost} > \text{opterećenje}$

$$N_d = S_2 = 69,97 \text{ kN}$$

$$\sigma_d \leq f_{yd} = 218 \text{ MPa}$$

$$\frac{N_d}{A} \leq f_{yd}$$

$$\frac{S_2}{108} \leq f_{yd}$$

$$\frac{69970 \text{ N}}{108 \text{ mm}^2} \leq 218$$

$64,79 \text{ MPa} \leq 218 \text{ MPa} \rightarrow \text{Nosivost traka (uški) štapa zadovoljava uvjet!}$

Izbor promjera vijka:

Definira se promjer vijka prema izrazu:

$$d_{max} = \sqrt{50 \cdot t_{min}} - 2 ; t_{min} = 6 \text{ mm}$$

$$d_{max} = \sqrt{50 \cdot 6} - 2 = 15,32 \text{ mm}$$

Usvaja se : *promjer rupe*  $\rightarrow d_r = 15 \text{ mm}$

*promjer vijka*  $\rightarrow d_v = 14 \text{ mm}$

*Prvi manji standardni promjer vijka:* M14

*k. č. 8.8.  $\rightarrow$  čvrstoća :*  $f_{uvk} = 800 \text{ MPa}$

$\rightarrow$  *granica tečenja :*  $f_{yk} = 640 \text{ MPa}$

Nosivost jednog vijka računa se prema izrazu:

$$V_{VR} = n \cdot i \cdot \alpha_a \cdot A_v \cdot \frac{f_{uvk}}{\gamma_m}$$

$n \rightarrow$  *broj vijaka*  $\rightarrow n = 1$

$i \rightarrow$  *broj reznih ploha*  $\rightarrow i = 2$

$\alpha_a \rightarrow$  koeficijent ovisan o čvrstoći vijka

$$\text{za k. č. 8.8.} \rightarrow \alpha_a = 0,56$$

$A_v \rightarrow$  površina vijka

$$A_v = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} = \frac{14^2 \cdot \pi}{4} = 153,94 \text{ mm}^2$$

$f_{uvk} \rightarrow$  karakteristična čvrstoća vijka  $\rightarrow f_{uvk} = 800 \text{ MPa}$

$\gamma_m \rightarrow$  koeficijent materijala  $\rightarrow \gamma_m = 1,1$

$$V_{VR} = 1 \cdot 2 \cdot 6 \cdot 153,94 \cdot \frac{800}{1,1} = 1343476 \text{ N} = 133,52 \text{ kN}$$

Potreban broj vijaka određuje se na način:

Štap  $S_2 \rightarrow V_{VR} \geq N_d ; N_d = S_2 = 69,97 \text{ kN}$

$$V_{VR} = 133,52 \text{ kN} > S_2 = 69,97 \text{ kN}$$

usvaja se:  $n = 1$  vijak

Nosivost omotača rupe za  $n = 1$  vijak iznosi:

$$V_{rR} = t \cdot d_v \cdot \alpha_r \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_m}$$

$$t = \{2 \cdot t_1, t_2\} \rightarrow \{2 \cdot 6, 20\} \rightarrow t = 12 \text{ mm}$$

Udaljenost vijka od ruba čelične trake računa se prema izrazu:  $e_1 = 2 \cdot d_r = 2 \cdot 15 = 30 \text{ mm}$

Zbog sigurnosti usvaja se :  $e_1 = 40 \text{ mm}$ .

$$\alpha_{r1} = 1,1 \cdot \frac{e_1}{d_r} - 0,3 = 1,1 \cdot \frac{40}{15} - 0,3 = 2,63$$

$$V_{rR} = 12 \cdot 14 \cdot 2,63 \cdot \frac{240}{1,1} = 96401,5 \text{ N} = 96,40 \text{ kN}$$

$$V_{rR} \geq N_{Rd} \rightarrow 96,40 \text{ kN} \geq 89,42 \text{ kN}$$

Provjera nosivosti trake na poziciji rupe vijka iznosi:



$$A_{bruto} = 2 \cdot 9 \cdot 6 = 1080 \text{ mm}^2$$

$$A_{neto} = A_{bruto} - 2 \cdot d_r \cdot t_1 = 1080 - 2 \cdot 15 \cdot 6 = 900 \text{ mm}^2$$

$$\frac{A_{bruto}}{A_{neto}} = \frac{1080}{900} = 1,2 < 1,2 \rightarrow \text{Presjek na mjestu rupe nije oslabljen!}$$

Provjera nosivosti traka štapa S<sub>5</sub> kvadratnog profila dimenzija 60x60x5:

$$A = 2 \cdot 6 \cdot 10 = 120 \text{ mm}^2$$

↓

debljina uški

Uvjet nosivosti glasi:  $N_{Rd} > N_d \rightarrow \text{nosivost} > \text{opterećenje}$

$$N_d = S_5 = -41,23 \text{ kN}$$

$$\sigma_d \leq f_{yd} = 218 \text{ MPa}$$

$$\frac{N_d}{A} \leq f_{yd}$$

$$\frac{S_1}{120} \leq f_{yd}$$

$$\frac{41230 \text{ N}}{120 \text{ mm}^2} \leq 218$$

34,36 MPa ≤ 218 MPa → *Nosivost traka (uški) štapa zadovoljava uvjet!*

Izbor promjera vijka:

Definira se promjer vijka prema izrazu:

$$d_{max} = \sqrt{50 \cdot t_{min}} - 2 ; t_{min} = 6 \text{ mm}$$

$$d_{max} = \sqrt{50 \cdot 6} - 2 = 15,32 \text{ mm}$$

Usvaja se : *promjer rupe* →  $d_r = 15 \text{ mm}$

*promjer vijka* →  $d_v = 14 \text{ mm}$

*Prvi manji standardni promjer vijka: M14*

k. č. 8.8. → čvrstoća :  $f_{uvk} = 800$  MPa

→ granica tečenja :  $f_{yk} = 640$  MPa

Nosivost jednog vijka računa se prema izrazu:

$$V_{VR} = n \cdot i \cdot \alpha_a \cdot A_v \cdot \frac{f_{uvk}}{\gamma_m}$$

$n$  → broj vijaka →  $n = 1$

$i$  → broj reznih ploha →  $i = 2$

$\alpha_a$  → koeficijent ovisan o čvrstoći vijka

za k. č. 8.8. →  $\alpha_a = 0,56$

$A_v$  → površina vijka

$$A_v = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} = \frac{14^2 \cdot \pi}{4} = 153,94 \text{ mm}^2$$

$f_{uvk}$  → karakteristična čvrstoća vijka →  $f_{uvk} = 800$  MPa

$\gamma_m$  → koeficijent materijala →  $\gamma_m = 1,1$

$$V_{VR} = 1 \cdot 2 \cdot 0,56 \cdot 153,94 \cdot \frac{800}{1,1} = 1343476 \text{ N} = 133,52 \text{ kN}$$

Potreban broj vijaka određuje se na način:

Štap  $S_5$  →  $V_{VR} \geq N_d$  ;  $N_d = S_5 = 41,23$  kN

$V_{VR} = 133,52$  kN >  $S_5 = 41,23$  kN

usvaja se:  $n = 1$  vijak

Nosivost omotača rupe za  $n = 1$  vijak iznosi:

$$V_{rR} = t \cdot d_v \cdot \alpha_{r1} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_m}$$

$t = \{2 \cdot t_1, t_2\} \rightarrow \{2 \cdot 6, 20\} \rightarrow t = 12$  mm

Udaljenost vijka od ruba čelične trake računa se prema izrazu:  $e_1 = 2 \cdot d_r = 2 \cdot 15 = 30$  mm

Zbog sigurnosti usvaja se :  $e_1 = 40 \text{ mm}$

Koeficijent nosivosti omotača rubnog dijela računa se prema izrazu:

$$\alpha_{r1} = 1,1 \cdot \frac{e_1}{d_r} - 0,3 = 1,1 \cdot \frac{40}{15} - 0,3 = 2,63$$

$$V_{rR} = 12 \cdot 14 \cdot 2,63 \cdot \frac{240}{1,1} = 96401,5 \text{ N} = 96,40 \text{ kN}$$

$$V_{rR} \geq N_{Rd} \rightarrow 96,40 \text{ kN} \geq 41,23 \text{ kN}$$

Provjera nosivosti trake na poziciji rupe vijka iznosi:

$$A_{bruto} = 2 \cdot 100 \cdot 6 = 1200 \text{ mm}^2$$

$$A_{neto} = A_{bruto} - 2 \cdot d_r \cdot t_1 = 1200 - 2 \cdot 15 \cdot 6 = 1020 \text{ mm}^2$$

$$\frac{A_{bruto}}{A_{neto}} = \frac{1200}{1020} = 1,176 < 1,2 \rightarrow \text{Presjek na mjestu rupe nije oslabljen!}$$

## 6. Zaključak

Cilj završnog rada bio je izvršiti proračun i dimenzioniranje grede ojačane rešetkastom konstrukcijom.

Usporedbom prethodno dimenzioniranih štapova nosača od dva različita materijala, konstrukcijskog čelika S235 i aluminijske legure EN AW-6082, uočene su razlike u odabiru dimenzija profila samih štapova. Štapovi izrađeni od aluminijske legure zahtijevaju veće dimenzije profila u usporedbi sa štapovima konstrukcijskog čelika. Iako su dimenzije dobivenih aluminijskih štapova veće od dimenzija čeličnih, zbog male težine aluminija, težina same konstrukcije je znatno manja od čelične. Unatoč činjenici da su aluminijske legure skuplje od konstrukcijskih čelika, treba uzeti u obzir da je aluminij otporan na koroziju, te za razliku od čelika, nije mu potrebna dodatna antikorozivna zaštita, dok je čelik potrebno dodatno zaštititi od korozije čime se mijenja odnos cijena izvedbe same konstrukcije. Tablicom, priložena kao Prilog 1, je prikazan odnos cijena i težina konstrukcije u oba slučaja, te na temelju svih činjenica i analiza provedenih u ovom završnom radu možemo zaključiti da aluminijske legure mogu konkurirati konstrukcijskom čeliku u slučajevima koji zahtijevaju manje težine, jednostavniju montažu, manje statičko opterećenje i agresivnije uvjete okoline (npr. morska atmosfera).

Provjera rezultata unutarnjih sila poprečnog presjeka grede po nezavisnim područjima nosača izvršena je pomoću programskog paketa MDSolids te je utvrđeno da se vrijednosti unutarnjih sila po nezavisnim područjima linijskog nosača dobivene analitičkim izračunom i vrijednosti dobivene iz programskog paketa MDSolids podudaraju.

U prilogima su dane sve tablice karakteristika kvadratnih i pravokutnih profila za dimenzioniranje štapova ojačanja i IPE, HEB i HEM profila za dimenzioniranje linijskog nosača.

## Literatura

- [1] Plazibat B., Matoković A., Vetma V.: *Tehnička mehanika I*, Sveučilište u Splitu, Sveučilišni odjel za stručne studije, Split 2020.
- [2] Omnimerkur – konstrukcijski čelici. Dostupno na : <https://omnimerkur.hr/prodajni-program/crna-metalurgija/konstrukcijski-celici/>
- [3] Feal – aluminijske legure. Dostupno na : <https://feal.ba/legure/>
- [4] EOAluminium – primjena aluminijskih legura. Dostupno na : <http://ba.eo-aluminum.com/aluminum-material/aluminum-sheet/6082-aluminumsheet.html>
- [5] Top Aluminium - specifikacije aluminijske legure. Dostupno na : <https://hr.top-aluminumprofile.com/info/the-specifications-of-aluminum-alloy-35986628.html>
- [6] ZhognlianAluminium - 6082 aluminijske legure. Dostupno na: <https://ba.chinealuminium.com/info/6082-aluminium-alloy-22396556.html>
- [7] Magazin Emajstor - Čelična konstrukcija i čelični profili (željezni profili). Dostupno na: [https://www.emajstor.hr/clanak/466/celicna\\_konstrukcija\\_i\\_celicni\\_profili\\_zeljezni\\_profili](https://www.emajstor.hr/clanak/466/celicna_konstrukcija_i_celicni_profili_zeljezni_profili)
- [8] Karakteristike profila konstrukcijskog čelika i aluminijske legure. Dostupno na: <https://www.thesteel.com/hr/ponuda/cijevi-profili/cijevni-profili/suplji-profili-kvadratni>

## Prilozi

1. Prilog 1 – Tablični prikaz odnos cijena i težina konstrukcije za konstrukcijski čelik S235 i aluminijsku leguru EN AW-6082
2. Prilog 2.a – Tablice karakteristika kvadratnih i pravokutnih profila (1.dio)
3. Prilog 2.b – Tablice karakteristika kvadratnih i pravokutnih profila (2.dio)
4. Prilog 3 – Tablice odabranih IPE, HEM I HEB profila
5. Prilog 4 – Tablica koeficijenta gubitka stabilnosti u ovisnosti o klasi izvijanja

## Prilog 1

SILE U ŠTAPOVIMA OJAČANJA	KONSTRUKCIJSKI ČELIK S235						ALUMINIJSKA LEGURA EN AW-608						
	DIMENZIJE PROFILA (mm)	DUŽINA PROFILA L (m)	MASA (kg/m)	CIJENA / m (€/m)	UKUPNA MASA (kg)	UKUPNA CIJENA (€)	DIMENZIJE PROFILA (mm)	DUŽINA PROFILA L (m)	MASA (kg/m)	CIJENA / m (€/m)	UKUPNA MASA (kg)	UKUPNA CIJENA (€)	
S1=89,42 kN	60x60x5	2.24	8.42	8.96	18.86	20.07	70x70x5	2.24	2.85	17.10	6.38	38.30	
S2=69,97kN	50x50x3	2	4.35	5.13	8.70	10.26	40x40x3	2	1.2	10.20	2.40	20.40	
S3=44,81kN	40x40x3	3.16	3.41	4.27	10.78	13.49	40x40x3	3.16	1.2	10.20	3.79	32.23	
S4=50,08kN	60x60x5	3.16	8.42	8.96	26.61	28.31	70x70x5	3.16	2.85	17.10	9.01	54.04	
S5=41,23kN	60x60x5	4.12	8.42	8.96	34.69	36.92	80x80x5	4.12	4.1	22.10	16.89	91.05	
<b>UKUPNO :</b>					99.63	109.05	<b>UKUPNO:</b>					38.47	236.02
<b>UKUPNO €:</b>					<b>10865.33</b>		<b>UKUPNO €:</b>					<b>9080.79</b>	

Prilog 2.a



B	T	A	M	I	W	I <sub>y</sub>	B	T	A	M	I	W	I <sub>y</sub>	B	T	A	M	I	W	I <sub>y</sub>	
mm	mm	mm <sup>2</sup>	kg/m	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm <sup>6</sup>	mm	mm	mm <sup>2</sup>	kg/m	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm <sup>6</sup>	mm	mm	mm <sup>2</sup>	kg/m	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm <sup>6</sup>	
<b>Quadrat-Hohlprofile (warmgalvanisiert, naddos oder geschweißt), nach DIN EN 10210-2, Weißdruck 1996</b>																					
40	3	4,34	3,41	8,78	4,85	1,50	120	10	40,9	33,7	852	142	4,48	220	8	67,2	52,7	5 002	465	8,63	
40	4	5,59	4,39	11,8	5,91	1,45	140	5	26,7	21,0	807	115	5,90	10	10	82,9	65,1	6 050	550	8,54	
50	3	5,54	4,35	26,2	8,06	1,91	6,5	33,3	26,1	964	141	5,44	12,5	102	102	80,1	7 254	659	8,43		
50	4	7,19	5,64	25,0	9,89	1,86	8	41,8	32,6	1 195	171	5,36	280	8	81,0	47,8	8 014	481	9,33		
60	3	8,74	5,29	36,2	12,1	2,32	10	52,9	40,0	1 416	202	5,27	8	78,8	60,3	7 453	596	8,98			
60	4	8,79	6,90	48,4	15,1	2,27	150	5	28,7	22,6	1 002	134	5,95	10	94,0	74,5	9 055	724	8,77		
60	5	10,7	8,42	52,3	17,8	2,23	6,3	35,8	28,1	1 223	183	5,85	18	147	115	13 287	1 061	8,50			
70	3	7,94	6,24	58,0	16,9	2,73	8	44,8	35,1	1 491	199	5,77	280	8	80,0	62,8	8 423	848	10,3		
70	4	10,4	8,15	74,7	21,3	2,68	10	54,9	43,1	1 773	230	5,68	10	98,0	77,7	10 342	1 298	10,2			
70	5	12,7	9,99	88,5	25,3	2,64	180	6,3	38,3	30,1	1 499	187	6,29	12,5	122	95,8	12 365	951	10,1		
80	4	12,0	9,41	114	28,5	3,09	8	48,0	37,8	1 831	229	6,18	16	153	120	15 081	1 158	9,91			
80	5	14,7	11,6	137	34,2	3,05	10	58,9	48,3	2 185	273	6,09	300	8	92,0	72,8	13 128	875	11,9		
80	6,3	18,1	14,2	158	40,5	2,99	12,5	72,1	58,6	2 576	322	5,98	10	115	90,3	18 028	1 068	11,8			
90	4	13,8	10,7	166	37,9	3,50	180	6,3	43,3	34,0	2 158	241	7,07	12,5	142	112	19 442	1 296	11,7		
90	5	16,7	13,1	200	44,4	3,45	8	54,4	42,7	2 681	296	7,00	18	179	141	23 855	1 580	11,5			
90	6,3	20,7	16,2	236	53,0	3,40	10	66,9	52,5	3 193	355	6,91	300	8	109	85,4	21 129	1 207	13,9		
100	4	15,2	11,9	232	48,4	3,91	12,5	62,1	64,4	3 790	421	6,80	10	135	108	25 884	1 479	13,9			
100	5	18,7	14,7	279	58,9	3,86	200	6,3	48,4	38,0	3 011	361	7,89	12,5	167	131	31 541	1 602	13,7		
100	6,3	23,2	18,2	336	67,1	3,80	8	60,8	47,7	3 700	371	7,81	16	211	156	38 942	2 225	13,6			
120	5	22,7	17,8	498	83,0	4,68	10	74,9	58,8	4 471	447	7,72	400	10	155	122	39 128	1 956	15,9		
120	6,3	28,2	22,2	603	100	4,62	12,5	92,1	72,3	5 336	534	7,81	12,5	192	151	47 820	2 392	15,8			
120	8	35,2	27,6	726	121	4,55	220	6,3	63,4	41,9	4 048	368	8,71	18	243	181	58 344	2 967	15,8		

H x B	T	A	M	I <sub>y</sub>	W <sub>y</sub>	I <sub>y</sub>	I <sub>z</sub>	W <sub>z</sub>	I <sub>z</sub>	H x B	T	A	M	I <sub>y</sub>	W <sub>y</sub>	I <sub>y</sub>	I <sub>z</sub>	W <sub>z</sub>	I <sub>z</sub>
mm	mm	mm <sup>2</sup>	kg/m	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm <sup>6</sup>	cm <sup>6</sup>	cm <sup>3</sup>	cm <sup>6</sup>	mm	mm	mm <sup>2</sup>	kg/m	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm <sup>6</sup>	cm <sup>6</sup>	cm <sup>3</sup>	cm <sup>6</sup>
<b>Rechteck-Hohlprofile (warmgalvanisiert, naddos oder geschweißt), nach DIN EN 10210-2, Weißdruck 1996</b>																			
60 x 30	3	4,34	3,41	13,8	5,43	1,77	5,94	2,98	1,17	300 x 100	6,3	35,8	28,1	1 825	183	7,15	613	123	4,14
60 x 30	4	5,59	4,39	16,5	6,80	1,72	7,08	4,72	1,13	8	44,8	35,1	2 204	223	7,08	739	148	4,06	
60 x 40	3	5,54	4,35	26,5	8,82	2,18	13,9	6,85	1,58	10	54,0	40,1	2 664	266	6,96	869	174	3,93	
60 x 40	4	7,19	5,64	32,8	10,9	2,14	17,0	8,52	1,54	12,5	67,1	52,7	3 136	314	6,84	1 004	201	3,87	
60 x 40	5	8,79	6,90	48,4	15,1	2,09	20,1	10,6	1,50	8	48,0	37,8	2 529	253	7,25	1 128	188	4,85	
60 x 40	6,3	10,7	8,42	60,3	19,1	2,04	23,2	12,9	1,45	10	58,9	48,3	3 020	303	7,17	1 337	223	4,78	
90 x 50	3	7,94	6,24	84,4	18,6	3,20	33,5	13,4	2,05	12,5	72,1	58,6	3 578	358	7,04	1 582	260	4,66	
90 x 50	4	10,4	8,15	107	23,8	3,21	41,9	18,8	2,01	8	48,4	38,0	4 143	413	6,95	1 874	250	6,22	
90 x 50	5	12,7	9,99	127	28,3	3,16	49,2	19,7	1,97	8	60,8	47,7	5 111	409	6,17	2 288	305	6,15	
90 x 50	6,3	16,9	13,3	157	35,4	3,42	63,0	25,2	1,93	10	74,9	58,8	6 174	494	6,08	2 705	367	6,06	
100 x 50	3	13,7	10,8	167	33,3	3,48	54,3	21,7	1,89	12,5	92,1	72,3	7 378	591	6,96	3 255	435	5,96	
100 x 50	4	17,8	14,2	200	40,5	3,42	66,9	28,0	1,85	8	53,4	41,9	8 186	367	6,83	3 929	325	7,49	
100 x 50	5	22,2	17,8	232	48,4	3,37	80,8	35,1	1,81	8	67,2	52,7	9 390	432	6,75	3 808	401	7,33	
100 x 50	6,3	28,2	22,2	279	58,9	3,32	95,7	42,2	1,77	10	82,9	65,1	10 741	535	6,66	4 311	483	7,34	
120 x 60	3	14,7	11,6	189	37,8	3,58	63,6	27,9	2,38	12,5	102	80,1	9 299	718	6,54	5 196	577	7,13	
120 x 60	4	18,1	14,2	225	45,9	3,52	81,1	32,7	2,33	6,3	61,0	47,9	7 829	522	11,3	4 183	419	8,29	
120 x 60	5	22,7	17,8	269	54,9	3,47	99,8	32,9	2,43	8	78,8	60,3	9 717	648	11,3	5 184	518	8,22	
120 x 60	6,3	29,7	23,2	358	67,1	4,16	116	38,3	2,37	10	94,9	74,5	11 819	798	11,2	6 278	628	8,13	
120 x 60	8	38,2	29,7	460	83,0	4,48	141	48,3	2,28	12,5	117	91,9	14 273	952	11,0	7 537	754	8,02	
140 x 80	3	15,2	11,9	303	52,4	4,48	161	40,3	3,28	8	92,8	72,8	16 449	940	13,3	9 798	794	10,3	
140 x 80	4	18,7	14,7	365	62,9	4,42	193	48,2	3,23	10	115	90,2	20 102	1 149	13,2	11 937	925	10,2	
140 x 80	5	23,2	18,2	440	73,3	4,36	230	57,8	3,15	12,5	142	112	24 419	1 395	13,1	14 444	1 156	10,1	
140 x 80	6,3	29,7	23,2	548	82,3	5,01	285	68,2	3,21	16	179	141	30 061	1 715	12,9	17 654	1 412	9,93	
150 x 100	3	20,7	16,2	441	62,9	5,12	184	48,0	3,31	8	92,8	72,8	19 982	978	14,5	8 660	866	8,47	
150 x 100	4	26,5	20,2	534	76,3	5,08	222	55,3	3,27	10	115	90,2	23 914	1 196	14,4	8 084	808	8,39	
150 x 100	5	36,8	28,9	1 087	145	5,44	288	114	3,94	12,5	142	112	29 083	1 483	14,3	8 738	874	8,28	
150 x 100	6,3	44,9	36,3	1 282	171	5,34	365	133	3,85	16	179	141	35 738	1 787	14,1	11 824	1 182	8,13	
180 x 80	3	22,7	17,8	744	83,0	6,72	249	62,3	3,31	8	109	85,4	30 062	1 337	16,8	12 142	971	10,8	
180 x 80	4	28,2	22,2	903	113	6,68	299	74,8	3,26	10	135	108	36 895	1 640	16,5	14 819	1 185	10,5	
180 x 80	5	35,2	27,6	1 091	136	6,57	366	89,0	3,18	12,5	167	131	43 026	2 001	16,4	17 973	1 436	10,4	
180 x 80	6,3	42,8	32,7	1 284	161	6,47	411	103	3,10	16	211	156	55 708	2 476	16,2	22 041	1 763	10,2	
180 x 100	3	26,7	21,0	1 153	128	6,57	460	82,0	4,15	10	155	122	53 782	2 150	16,8	24 439	1 929	12,5	
180 x 100	4	33,3	26,1	1 407	156	6,50	557	111	4,09	12,5	192	151	64 813	2 633	16,5	29 780	1 965	12,8	
180 x 100	5	41,8	32,6	1 713	190	6,42	671	134	4,02	16	243	181	81 783	3 271	16,3	36 788	2 451	12,3	
180 x 100	6,3	52,9	40,0	2 096	225	6,32	787	157	3,93	20	300	235	98 777	3 951	16,2	44 078	2 938	12,1	

\* In dieser Norm sind die Achsen mit x-x und y-y bezeichnet.



Prilog 2.b

B	T	A	M	I	W	I	B	T	A	M	I	W	I	B	T	A	M	I	W	I	
mm	mm	cm²	kg/m	cm⁴	cm⁴	cm	mm	mm	cm²	kg/m	cm⁴	cm⁴	cm	mm	mm	cm²	kg/m	cm⁴	cm⁴	cm	
<b>Quadrat-Hohlprofile (kaltegerigt, geschweißt), Auswahl aus DIN EN 10219-2 (Welddruck 1996)</b>																					
29	2	1,34	1,05	0,89	0,69	0,72	100	4	14,9	11,7	225	45,3	3,89	180	12,5	77,0	50,5	3 496	378	6,05	
30	2	2,14	1,68	2,72	1,81	1,13		5	18,4	14,4	271	54,2	3,84	200	6,3	47,4	37,2	2 622	232	7,85	
40	2	2,94	2,31	6,94	3,47	1,54		6,3	22,2	17,5	314	62,6	3,76	8	58,2	46,5	3 586	337	7,78		
3	4,21	3,30	9,32	4,85	1,48		120	4	18,1	14,2	402	67,0	4,71	10	72,8	57,0	4 261	425	7,63		
4	5,35	4,20	11,1	6,54	1,44		5	22,4	17,5	485	80,9	4,66	12,5	87,0	68,3	4 859	496	7,47			
50	2	3,74	2,83	14,1	5,88	1,95		6,3	27,3	21,4	572	95,3	4,58	220	8	65,6	51,5	4 628	439	8,58	
3	5,41	4,25	19,5	7,79	1,90		8	33,6	26,4	677	113	4,49	10	86,8	63,2	5 792	574	8,47			
4	6,95	5,45	23,7	9,49	1,85		140	4	21,3	16,8	652	93,1	5,52	12,5	97,0	76,2	6 674	667	8,29		
5	8,99	6,95	27,0	10,8	1,80		5	26,4	20,7	791	113	5,46	250	6,3	60,0	47,1	5 873	475	9,89		
60	2	4,54	3,58	25,1	8,38	2,35		6,3	32,3	25,4	941	134	5,39	8	75,2	59,1	7 229	578	9,80		
3	6,81	5,19	36,1	11,7	2,31		8	40,0	31,4	1 127	161	5,30	10	92,8	72,7	8 707	697	9,70			
4	8,55	6,71	43,8	14,5	2,26		10	48,6	38,1	1 312	187	5,20	12,5	112	88,0	10 151	813	9,50			
5	10,4	8,13	50,5	16,8	2,21		150	5	28,4	22,3	882	131	5,89	260	8	78,4	61,8	8 178	679	10,2	
6	12,7	9,81	59,1	19,8	2,15		6,3	34,8	27,4	1 174	156	5,80	10	96,6	75,8	9 665	759	10,1			
70	3	7,81	6,13	57,5	16,4	2,71		8	43,2	33,9	1 412	188	5,71	12,5	117	91,9	11 548	888	9,90		
4	10,1	7,87	72,1	20,9	2,67		150	4	34,5	19,3	967	123	6,34	300	6,3	73,6	57,8	10 342	859	11,0	
5	12,4	9,70	84,9	24,4	2,62		5	36,4	23,8	1 202	150	6,29	8	91,2	71,6	12 801	833	11,8			
80	3	9,01	7,07	67,8	22,9	3,12		6,3	37,4	29,3	1 442	180	6,21	10	113	83,4	15 519	1035	12,7		
4	11,7	9,22	111	27,8	3,07		12,5	44,4	36,5	1 741	218	6,12	12,5	137	108	19 348	1223	11,6			
5	14,4	11,3	131	32,9	3,03		8	46,4	36,5	2 040	256	6,02	350	8	107	84,2	20 661	1182	13,9		
6,3	17,2	13,5	149	37,1	2,94		10	56,6	44,4	2 048	256	6,02	10	130	104	25 189	1439	13,8			
90	3	10,2	8,01	127	28,3	3,53		6,3	42,4	33,3	2 096	233	7,03	12,5	162	127	30 045	1717	13,6		
4	13,3	10,5	162	38,9	3,48		8	52,8	41,5	2 548	283	8,94	400	10	153	120	38 216	1911	15,8		
5	16,4	12,8	199	42,9	3,43		10	64,6	50,7	3 017	335	8,84		12,5	187	147	45 877	2294	15,7		

HxB	T	A	M	I <sub>y</sub>	I <sub>x</sub>	I <sub>y</sub>	I <sub>x</sub>	I <sub>y</sub>	HxB	T	A	M	I <sub>y</sub>	I <sub>x</sub>	I <sub>y</sub>	I <sub>x</sub>	I <sub>y</sub>	I <sub>x</sub>	I <sub>y</sub>	I <sub>x</sub>	I <sub>y</sub>	
mm	mm	cm²	kg/m	cm⁴	cm⁴	cm	cm	cm	mm	mm	cm²	kg/m	cm⁴	cm⁴	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	
<b>Rechteck-Hohlprofile (kaltegerigt, geschweißt), Auswahl aus DIN EN 10219-2 (Welddruck 1996)*</b>																						
40x20	2	2,14	1,88	4,85	2,02	1,38	1,34	0,70	80x40	4	18,1	14,2	598	74,7	6,74	204	50,9	3,35				
2,5	2,59	2,03	4,89	2,35	1,35	1,54	1,54	0,77	5	22,4	17,5	722	90,2	6,58	244	61,0	3,30					
50x30	2	2,94	2,31	9,54	3,81	1,89	4,29	2,86	1,21	6,3	27,3	21,4	846	106	5,57	289	71,4	3,24				
3	4,21	3,30	12,8	5,13	1,75	5,70	3,80	1,18	8	33,6	26,4	1 001	125	5,46	335	83,7	3,16					
4	5,35	4,20	15,3	6,10	1,69	6,69	4,48	1,12	5	26,4	20,7	1 124	125	6,53	432	90,4	2,14					
50x40	2	3,74	2,83	18,4	6,14	2,22	3,83	4,92	1,62	6,3	32,3	25,4	1 335	149	6,43	536	107	4,07				
3	5,41	4,25	25,4	8,46	2,17	13,4	8,72	1,58	8	40,0	31,4	1 598	173	6,32	637	127	3,99					
4	6,95	5,45	31,0	10,3	2,11	16,3	9,14	1,53	10	48,6	38,1	1 859	207	6,19	736	147	3,89					
5	8,99	6,95	35,3	11,8	2,06	18,4	9,21	1,48	6,3	34,8	27,4	1 739	174	7,06	591	118	4,12					
80x40	2	4,54	3,58	37,4	8,34	2,87	12,7	6,36	1,67	8	43,2	33,9	2 091	209	8,95	705	141	4,04				
3	6,81	5,19	52,3	13,1	2,81	17,6	9,78	1,63	10	52,8	41,3	2 444	244	8,82	818	164	3,94					
4	8,95	6,71	64,8	16,2	2,75	21,5	10,7	1,59	5	32,4	23,8	1 975	158	7,27	750	125	4,97					
5	10,4	8,13	75,1	18,8	2,69	24,5	12,3	1,54	6,3	37,4	29,3	1 975	158	7,27	806	158	4,90					
90x50	3	7,81	6,13	81,9	18,2	3,24	32,7	13,1	2,05	8	46,4	36,5	2 396	239	7,17	1079	189	4,82				
4	10,1	7,87	103	22,8	3,18	40,7	18,3	2,00	10	56,6	44,4	2 806	261	7,04	1262	210	4,72					
5	12,4	9,70	121	26,8	3,12	47,4	19,9	1,96	6,3	47,4	37,2	4 001	320	8,18	1825	243	6,20					
100x50	3	8,41	6,60	106	21,3	3,58	36,1	14,4	2,07	8	56,6	46,5	4 886	391	9,08	2219	286	6,12				
4	11,7	9,22	153	30,5	3,80	58,7	22,9	2,42	10	72,8	57,0	5 825	450	8,96	2834	351	6,02					
5	14,4	11,3	181	36,2	3,74	67,4	26,4	2,46	12,5	87,0	68,3	6 833	531	8,73	3002	400	5,87					
6,3	17,2	13,5	203	40,7	3,44	90,9	30,3	2,30	300x100	6,3	47,4	37,2	4 907	327	10,2	268	174	4,26				
3	10,2	8,01	109	31,5	4,30	64,4	21,5	2,51	10	72,8	46,5	7 106	474	9,90	1224	245	4,11					
4	13,3	10,5	141	40,1	4,25	81,2	27,1	2,47	12	84,1	57,0	7 808	521	9,64	1343	269	4,00					
5	16,4	12,8	187	47,8	4,19	96,0	32,0	2,42	6,3	60,0	47,1	7 624	508	11,3	1194	310	3,27					
6,3	19,7	15,5	227	54,5	4,07	109	36,4	2,35	8	75,2	59,1	9 089	626	11,2	1342	354	3,19					
120x80	4	14,9	11,7	285	49,1	4,44	157	39,3	3,24	10	92,8	72,7	11 313	754	11,1	1658	406	3,09				
5	18,4	14,4	353	58,9	4,39	188	46,8	3,20	12,5	112	88,0	13 179	870	10,8	2066	466	2,94					
6,3	22,2	17,5	408	68,1	4,26	217	54,3	3,12	6,3	72,6	57,0	12 623	736	13,3	2744	620	10,3					
140x80	4	16,5	13,0	430	41,4	5,10	180	45,1	3,30	8	91,2	71,8	16 001	914	13,2	2673	788	10,2				
5	20,4	16,0	517	73,9	5,04	218	54,0	3,26	10	113	88,4	18 407	1109	13,1	3158	927	10,1					
6,3	24,6	19,4	603	86,1	4,93	251	62,9	3,19	12	132	104	22 187	1296	13,0	3781	1061	9,90					
150x100	4	18,9	14,9	585	79,3	5,80	319	63,7	4,19	10	113	98,4	20 023	1150	14,5	4214	1250	8,26				
5	23,4	18,3	718	95,9	5,55	384	76,8	4,05	12,5	137	108	23 100	1355	14,1	4950	1329	8,22					
6,3	28,5	22,4	848	113	5,45	453	90,5	3,98	8	107	84,											

## Prilog 3



# IPE

Notations pages 211-215 / Bezeichnungen Seiten 211-215

Désignation Designation Bezeichnung	Valeurs statiques / Section properties / Statische Kennwerte											Classification ENV 1993-1-1										
	axe fort y-y strong axis y-y starke Achse y-y					axe faible z-z weak axis z-z schwache Achse z-z					pure bending yy		pure compression									
	G kg/m	$I_y$ mm <sup>4</sup>	$W_{pl,y}$ mm <sup>3</sup>	$W_{pl,y}^*$ mm <sup>3</sup>	$i_y$ mm	$A_{vz}$ mm <sup>2</sup>	$I_z$ mm <sup>4</sup>	$W_{pl,z}$ mm <sup>3</sup>	$W_{pl,z}^*$ mm <sup>3</sup>	$i_z$ mm	$t_s$ mm	$I_t$ mm <sup>4</sup>	$I_w$ mm <sup>6</sup>	S 235	S 355	S 460	S 235	S 355	S 460	EN 10025:1993	EN 10113:1993	EN 10225:2001
	x 10 <sup>4</sup>	x 10 <sup>3</sup>	x 10 <sup>3</sup>	x 10	x 10 <sup>2</sup>	x 10 <sup>4</sup>	x 10 <sup>3</sup>	x 10 <sup>3</sup>	x 10		x 10 <sup>4</sup>	x 10 <sup>6</sup>										
IPE A 240	26,2	3290	277,7	311,6	9,94	16,31	240,1	40,02	62,40	2,68	39,37	8,35	31,26	1	1	-	2	4	-	✓	✓	✓
IPE 240	30,7	3892	324,3	366,6	9,97	19,14	283,6	47,27	73,92	2,69	43,37	12,88	37,39	1	1	-	1	2	-	✓	✓	✓
IPE O 240	34,3	4369	361,1	410,3	10,00	21,36	328,5	53,86	84,40	2,74	46,17	17,18	43,68	1	1	-	1	2	-	✓	✓	✓
IPE A 270	30,7	4917	368,3	412,5	11,21	18,75	358,0	53,03	82,34	3,02	40,47	10,30	59,51	1	1	-	3	4	-	✓	✓	✓
IPE 270	36,1	5790	428,9	484,0	11,23	22,14	419,9	62,20	96,95	3,02	44,57	15,94	70,58	1	1	-	2	3	-	✓	✓	✓
IPE O 270	42,3	6947	507,1	574,6	11,36	25,23	513,5	75,51	117,7	3,09	49,47	24,90	87,64	1	1	-	1	2	-	✓	✓	✓
IPE A 300	36,5	7173	483,1	541,8	12,42	22,25	519,0	69,20	107,3	3,34	42,07	13,43	107,2	1	2	-	3	4	-	✓	✓	✓
IPE 300	42,2	8356	557,1	628,4	12,46	25,68	603,8	80,50	125,2	3,35	46,07	20,12	125,9	1	1	-	2	4	-	✓	✓	✓
IPE O 300	49,3	9994	657,5	743,8	12,61	29,05	745,7	98,12	152,6	3,45	50,97	31,06	157,7	1	1	-	1	3	-	✓	✓	✓
IPE A 330	43,0	10230	625,7	701,9	13,67	26,99	685,2	85,64	133,3	3,54	47,59	19,57	171,5	1	1	-	3	4	-	✓	✓	✓
IPE 330	49,1	11770	713,1	804,3	13,71	30,81	788,1	98,52	153,7	3,55	51,59	28,15	199,1	1	1	-	2	4	-	✓	✓	✓
IPE O 330	57,0	13910	833,0	942,8	13,84	34,88	960,4	118,6	185,0	3,64	56,59	42,15	245,7	1	1	-	1	3	-	✓	✓	✓
IPE A 360	50,2	14520	811,8	906,8	15,06	29,76	944,3	111,1	171,9	3,84	50,69	26,51	282,0	1	1	-	4	4	-	✓	✓	✓
IPE 360	57,1	16270	903,6	1019	14,95	35,14	1043	122,8	191,1	3,79	54,49	37,32	313,6	1	1	-	2	4	-	✓	✓	✓
IPE O 360	66,0	19050	1047	1186	15,05	40,21	1251	145,5	226,9	3,86	59,69	55,76	380,3	1	1	-	1	3	-	✓	✓	✓
IPE A 400	57,4	20290	1022	1144	16,66	35,78	1171	130,1	202,1	4,00	55,60	34,79	432,2	1	1	-	4	4	-	✓	✓	✓
IPE 400	66,3	23130	1156	1307	16,55	42,69	1318	146,4	229,0	3,95	60,20	51,08	490,0	1	1	-	3	4	-	✓	✓	✓
IPE O 400	75,7	26750	1324	1502	16,66	47,98	1564	171,9	269,1	4,03	65,30	73,10	587,6	1	1	-	2	3	-	✓	✓	✓
IPE A 450	67,2	29760	1331	1494	18,65	42,26	1502	158,1	245,7	4,19	58,40	45,67	704,9	1	1	-	4	4	-	✓	✓	✓
IPE 450	77,6	33740	1500	1702	18,48	50,85	1676	176,4	276,4	4,12	63,20	66,87	791,0	1	1	-	3	4	-	✓	✓	✓
IPE O 450	92,4	40920	1795	2046	18,65	59,40	2085	217,2	341,0	4,21	70,80	109	997,6	1	1	-	2	4	-	✓	✓	✓

\*  $W_{pl}$ : pour un dimensionnement plastique, la section doit appartenir à la classe 1 ou 2 suivant la capacité de rotation requise. Voir page 215.

\*  $W_{pl}$ : for plastic design, the shape must belong to class 1 or 2 according to the required rotation capacity. See page 215.

\*  $W_{pl}$ : bei einer plastischen Bemessung muss das Profil der Klasse 1 oder 2, entsprechend der erforderlichen Rotationskapazität, angehören. Siehe Seite 215.





**HE**

Notations pages 211-215 / Bezeichnungen Seiten 211-215

Désignation Designation Bezeichnung	Valeurs statiques / Section propriétés / Statische Kennwerte												Classification ENV 1993-1-1									
	axe fort y-y strong axis y-y starke Achse y-y						axe faible z-z weak axis z-z schwache Achse z-z						pure bending yy		pure compression							
	G kg/m	I <sub>y</sub> mm <sup>4</sup>	W <sub>el,y</sub> mm <sup>3</sup>	W <sub>pl,y</sub> † mm <sup>3</sup>	i <sub>y</sub> mm	A <sub>vz</sub> mm <sup>2</sup>	I <sub>z</sub> mm <sup>4</sup>	W <sub>el,z</sub> mm <sup>3</sup>	W <sub>pl,z</sub> † mm <sup>3</sup>	i <sub>z</sub> mm	e <sub>s</sub> mm	I <sub>t</sub> mm <sup>4</sup>	I <sub>w</sub> mm <sup>6</sup>	S 235	S 355	S 460	S 235	S 355	S 460	EN 10225:1993	EN 10113-3:1993	EN 10225:2001
	x 10 <sup>4</sup>	x 10 <sup>3</sup>	x 10 <sup>3</sup>	x 10	x 10 <sup>2</sup>	x 10 <sup>4</sup>	x 10 <sup>3</sup>	x 10 <sup>3</sup>	x 10		x 10 <sup>4</sup>	x 10 <sup>6</sup>										
HE 100 AA	12,2	236,5	51,98	58,36	3,89	6,15	92,06	18,41	28,44	2,43	29,26	2,51	1,68	1	3	-	1	3	-	✓	✓	✓
HE 100 A	16,7	349,2	72,76	83,01	4,06	7,56	133,8	26,76	41,14	2,51	35,06	5,24	2,58	1	1	-	1	1	-	✓	✓	✓
HE 100 B	20,4	449,5	89,91	104,2	4,16	9,04	167,3	33,45	51,42	2,53	40,06	9,25	3,38	1	1	-	1	1	-	✓	✓	✓
HE 100 M	41,8	1143	190,4	235,8	4,63	18,04	399,2	75,31	116,3	2,74	66,06	68,21	9,93	1	1	-	1	1	-	✓	✓	✓
HE 120 AA	14,6	413,4	75,85	84,12	4,72	6,90	158,8	26,47	40,62	2,93	29,26	2,78	4,24	2	3	-	2	3	-	✓	✓	✓
HE 120 A	19,9	606,2	106,3	119,5	4,89	8,46	230,9	38,48	58,85	3,02	35,06	5,99	6,47	1	1	-	1	1	-	✓	✓	✓
HE 120 B	26,7	864,4	144,1	165,2	5,04	10,96	317,5	52,92	80,97	3,06	42,56	13,84	9,41	1	1	-	1	1	-	✓	✓	✓
HE 120 M	52,1	2018	288,2	350,6	5,51	21,15	702,8	111,6	171,6	3,25	68,56	91,66	24,79	1	1	-	1	1	-	✓	✓	✓
HE 140 AA	18,1	719,5	112,4	123,8	5,59	7,92	274,8	39,26	59,93	3,45	30,36	3,54	10,21	3	3	-	3	3	-	✓	✓	✓
HE 140 A	24,7	1083	155,4	173,5	5,73	10,12	389,3	55,62	84,85	3,52	36,56	8,13	15,06	1	2	-	1	2	-	✓	✓	✓
HE 140 B	33,7	1509	215,6	245,4	5,93	13,08	549,7	78,52	119,8	3,58	45,06	20,06	22,48	1	1	-	1	1	-	✓	✓	✓
HE 140 M	63,2	3291	411,4	493,8	6,39	24,46	1144	156,8	240,5	3,77	71,06	120,0	54,33	1	1	-	1	1	-	✓	✓	✓
HE 160 AA	23,8	1283	173,4	190,4	6,50	10,38	478,7	59,84	91,36	3,97	36,07	6,33	23,75	3	3	-	3	3	-	✓	✓	✓
HE 160 A	30,4	1673	220,1	245,1	6,57	13,21	615,6	76,95	117,6	3,98	41,57	12,19	31,41	1	2	-	1	2	-	✓	✓	✓
HE 160 B	42,6	2492	311,5	354,0	6,78	17,59	889,2	111,2	170,0	4,05	51,57	31,24	47,94	1	1	-	1	1	-	✓	✓	✓
HE 160 M	76,2	5088	566,5	674,6	7,25	30,81	1759	211,9	325,5	4,26	77,57	162,4	108,1	1	1	-	1	1	-	✓	✓	✓
HE 180 AA	28,7	1967	235,6	258,2	7,34	12,16	730,0	81,11	123,6	4,47	37,57	8,33	46,36	3	3	-	3	3	-	✓	✓	✓
HE 180 A	35,5	2510	293,6	324,9	7,45	14,47	924,6	102,7	156,5	4,52	42,57	14,80	60,21	1	3	-	1	3	-	✓	✓	✓
HE 180 B	51,2	3831	425,7	481,4	7,66	20,24	1363	151,4	231,0	4,57	54,07	42,16	93,75	1	1	-	1	1	-	✓	✓	✓
HE 180 M	88,9	7483	748,3	883,4	8,13	34,65	2580	277,4	425,2	4,77	80,07	203,3	199,3	1	1	-	1	1	-	✓	✓	✓
HE 200 AA	34,6	2944	316,6	347,1	8,17	15,45	1068	106,8	163,2	4,92	42,59	12,69	84,49	3	4	-	3	4	-	✓	✓	✓
HE 200 A	42,3	3692	388,6	429,5	8,28	18,08	1336	133,6	203,8	4,98	47,59	20,98	108,0	1	3	-	1	3	-	✓	✓	✓
HE 200 B	61,3	5696	569,6	642,5	8,54	24,83	2003	200,3	305,8	5,07	60,09	59,28	171,1	1	1	-	1	1	-	✓	✓	✓
HE 200 M	103	10640	967,4	1135	9,00	41,03	3651	354,5	543,2	5,27	86,09	259,4	346,3	1	1	-	1	1	-	✓	✓	✓
HE 220 AA	40,4	4170	406,9	445,5	9,00	17,63	1510	137,3	209,3	5,42	44,09	15,93	145,6	3	4	-	3	4	-	✓	✓	✓
HE 220 A	50,5	5410	515,2	568,5	9,17	20,67	1955	177,7	270,6	5,51	50,09	28,46	193,3	1	3	-	1	3	-	✓	✓	✓
HE 220 B	71,5	8091	735,5	827,0	9,43	27,92	2843	258,5	393,9	5,59	62,59	76,57	295,4	1	1	-	1	1	-	✓	✓	✓
HE 220 M	117	14600	1217	1419	9,89	45,31	5012	443,5	678,6	5,79	88,59	315,3	572,7	1	1	-	1	1	-	✓	✓	✓

† W<sub>pl</sub>: pour un dimensionnement plastique, la section doit appartenir à la classe 1 ou 2 suivant la capacité de rotation requise. Voir page 215.  
 † W<sub>pl</sub>: for plastic design, the shape must belong to class 1 or 2 according to the required rotation capacity. See page 215.  
 † W<sub>pl</sub>: bei einer plastischen Bemessung muss das Profil der Klasse 1 oder 2, entsprechend der erforderlichen Rotationskapazität, angehören. Siehe Seite 215.



Prilog 4

Abminderungsfaktoren  $\chi$  für Biegeknicke

$\bar{\lambda}_k$	für Knickspannungslinie a										$\bar{\lambda}_k$	für Knickspannungslinie b									
	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09		0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,2	1,00	1,00	1,00	0,99	0,99	0,99	0,99	0,98	0,98	0,98	0,2	1,00	1,00	0,99	0,99	0,99	0,98	0,98	0,97	0,97	0,97
0,3	0,98	0,97	0,97	0,97	0,97	0,96	0,96	0,96	0,95	0,95	0,3	0,96	0,96	0,96	0,95	0,95	0,94	0,94	0,94	0,93	0,93
0,4	0,95	0,95	0,95	0,94	0,94	0,94	0,94	0,93	0,93	0,93	0,4	0,93	0,92	0,92	0,91	0,91	0,91	0,90	0,90	0,89	0,89
0,5	0,92	0,92	0,92	0,91	0,91	0,91	0,90	0,90	0,89	0,89	0,5	0,88	0,88	0,87	0,87	0,87	0,86	0,86	0,85	0,85	0,84
0,6	0,89	0,89	0,88	0,88	0,87	0,87	0,87	0,86	0,85	0,85	0,6	0,84	0,83	0,83	0,82	0,82	0,81	0,81	0,80	0,80	0,79
0,7	0,85	0,84	0,84	0,83	0,83	0,82	0,82	0,81	0,81	0,80	0,7	0,78	0,78	0,77	0,77	0,76	0,75	0,75	0,74	0,74	0,73
0,8	0,80	0,79	0,78	0,78	0,77	0,77	0,76	0,75	0,75	0,74	0,8	0,72	0,72	0,71	0,71	0,70	0,69	0,69	0,68	0,67	0,67
0,9	0,73	0,73	0,72	0,71	0,71	0,70	0,69	0,69	0,68	0,67	0,9	0,66	0,65	0,65	0,64	0,63	0,63	0,62	0,62	0,61	0,60
1,0	0,67	0,66	0,65	0,64	0,64	0,63	0,62	0,62	0,61	0,60	1,0	0,60	0,59	0,58	0,58	0,57	0,57	0,56	0,55	0,55	0,54
1,1	0,60	0,59	0,58	0,58	0,57	0,56	0,56	0,55	0,54	0,54	1,1	0,53	0,53	0,52	0,52	0,51	0,51	0,50	0,49	0,49	0,48
1,2	0,53	0,52	0,52	0,51	0,50	0,49	0,49	0,49	0,48	0,48	1,2	0,48	0,47	0,47	0,46	0,46	0,45	0,45	0,44	0,44	0,43
1,3	0,47	0,46	0,46	0,45	0,45	0,44	0,44	0,43	0,43	0,42	1,3	0,43	0,42	0,42	0,41	0,41	0,40	0,40	0,39	0,39	0,39
1,4	0,42	0,41	0,41	0,40	0,40	0,39	0,39	0,38	0,38	0,38	1,4	0,38	0,38	0,37	0,37	0,36	0,36	0,36	0,35	0,35	0,35
1,5	0,37	0,37	0,36	0,36	0,36	0,35	0,35	0,34	0,34	0,34	1,5	0,34	0,34	0,33	0,33	0,33	0,32	0,32	0,32	0,31	0,31
1,6	0,33	0,33	0,33	0,32	0,32	0,31	0,31	0,31	0,31	0,30	1,6	0,31	0,30	0,30	0,30	0,29	0,29	0,29	0,29	0,28	0,28
1,7	0,30	0,30	0,29	0,29	0,29	0,28	0,28	0,28	0,28	0,27	1,7	0,28	0,27	0,27	0,27	0,27	0,26	0,26	0,26	0,26	0,25
1,8	0,27	0,27	0,26	0,26	0,26	0,26	0,25	0,25	0,25	0,25	1,8	0,25	0,25	0,25	0,24	0,24	0,24	0,24	0,23	0,23	0,23
1,9	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,23	0,23	0,23	0,23	0,22	1,9	0,23	0,23	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,21	0,21	0,21
2,0	0,22	0,22	0,22	0,22	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,20	2,0	0,21	0,21	0,21	0,20	0,20	0,20	0,20	0,19	0,19	0,19
2,1	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	2,1	0,19	0,19	0,19	0,19	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18
2,2	0,19	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,17	0,17	2,2	0,18	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,16	0,16	0,16
2,3	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	2,3	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
2,4	0,16	0,16	0,16	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	2,4	0,15	0,15	0,15	0,15	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
2,5	0,15	0,15	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	2,5	0,14	0,14	0,14	0,14	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
2,6	0,14	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	2,6	0,13	0,13	0,13	0,13	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
2,7	0,13	0,13	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	2,7	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,11	0,11	0,11	0,11
2,8	0,12	0,12	0,12	0,12	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	2,8	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11
2,9	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,10	0,10	2,9	0,11	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
3,0	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	3,0	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,09	0,09	0,09	0,09

$\bar{\lambda}_k$	für Knickspannungslinie c										$\bar{\lambda}_k$	für Knickspannungslinie d									
	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09		0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,2	1,00	0,99	0,99	0,98	0,98	0,97	0,97	0,96	0,96	0,95	0,2	1,00	0,99	0,98	0,98	0,97	0,96	0,95	0,95	0,94	0,93
0,3	0,95	0,94	0,94	0,93	0,93	0,92	0,92	0,91	0,91	0,90	0,3	0,92	0,92	0,91	0,90	0,89	0,89	0,88	0,87	0,86	0,86
0,4	0,90	0,89	0,89	0,88	0,88	0,87	0,86	0,86	0,85	0,85	0,4	0,85	0,84	0,84	0,83	0,82	0,81	0,81	0,80	0,79	0,79
0,5	0,84	0,84	0,83	0,83	0,82	0,81	0,81	0,80	0,80	0,79	0,5	0,78	0,77	0,76	0,76	0,75	0,74	0,74	0,73	0,72	0,72
0,6	0,78	0,78	0,77	0,77	0,76	0,75	0,75	0,74	0,74	0,73	0,6	0,71	0,70	0,70	0,69	0,68	0,68	0,67	0,66	0,66	0,65
0,7	0,72	0,72	0,71	0,71	0,70	0,69	0,69	0,68	0,67	0,67	0,7	0,64	0,64	0,63	0,62	0,61	0,60	0,60	0,59	0,59	0,59
0,8	0,66	0,66	0,65	0,64	0,64	0,63	0,62	0,62	0,61	0,61	0,8	0,58	0,57	0,57	0,56	0,55	0,54	0,54	0,53	0,53	0,53
0,9	0,60	0,59	0,58	0,58	0,57	0,57	0,56	0,56	0,55	0,55	0,9	0,52	0,51	0,51	0,50	0,50	0,49	0,49	0,48	0,48	0,47
1,0	0,54	0,53	0,53	0,52	0,52	0,51	0,51	0,50	0,49	0,49	1,0	0,47	0,46	0,46	0,45	0,45	0,44	0,44	0,43	0,43	0,42
1,1	0,48	0,48	0,47	0,47	0,46	0,46	0,45	0,45	0,44	0,44	1,1	0,42	0,41	0,41	0,41	0,40	0,40	0,39	0,39	0,38	0,38
1,2	0,43	0,43	0,42	0,42	0,41	0,41	0,41	0,40	0,40	0,39	1,2	0,38	0,37	0,37	0,36	0,36	0,36	0,35	0,35	0,35	0,34
1,3	0,39	0,38	0,38	0,38	0,37	0,37	0,36	0,36	0,36	0,35	1,3	0,34	0,33	0,33	0,33	0,32	0,32	0,32	0,31	0,31	0,31
1,4	0,35	0,35	0,34	0,34	0,33	0,33	0,33	0,32	0,32	0,32	1,4	0,31	0,30	0,30	0,30	0,29	0,29	0,29	0,28	0,28	0,28
1,5	0,31	0,31	0,31	0,30	0,30	0,30	0,30	0,29	0,29	0,29	1,5	0,28	0,27	0,27	0,27	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,25
1,6	0,28	0,28	0,28	0,28	0,27	0,27	0,27	0,26	0,26	0,26	1,6	0,25	0,25	0,25	0,24	0,24	0,24	0,24	0,23	0,23	0,23
1,7	0,26	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,24	0,24	0,24	0,24	1,7	0,23	0,23	0,22	0,22	0,22	0,22	0,21	0,21	0,21	0,21
1,8	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	1,8	0,21	0,21	0,21	0,20	0,20	0,20	0,20	0,19	0,19	0,19
1,9	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	1,9	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18
2,0	0,20	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,18	0,18	0,18	2,0	0,18	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,16
2,1	0,18	0,18	0,18	0,18	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	2,1	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,15	0,15	0,15	0,15
2,2	0,17	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,15	2,2	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
2,3	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,14	0,14	2,3	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
2,4	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,13	0,13	0,13	2,4	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
2,5	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,12	0,12	2,5	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,11	0,11
2,6	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	2,6	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11
2,7	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	2,7	0,11	0,11	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
2,8	0,11	0,11	0,11	0,11	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	2,8	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,09	0,09	0,09
2,9	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	2,9	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
3,0	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	3,0	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08