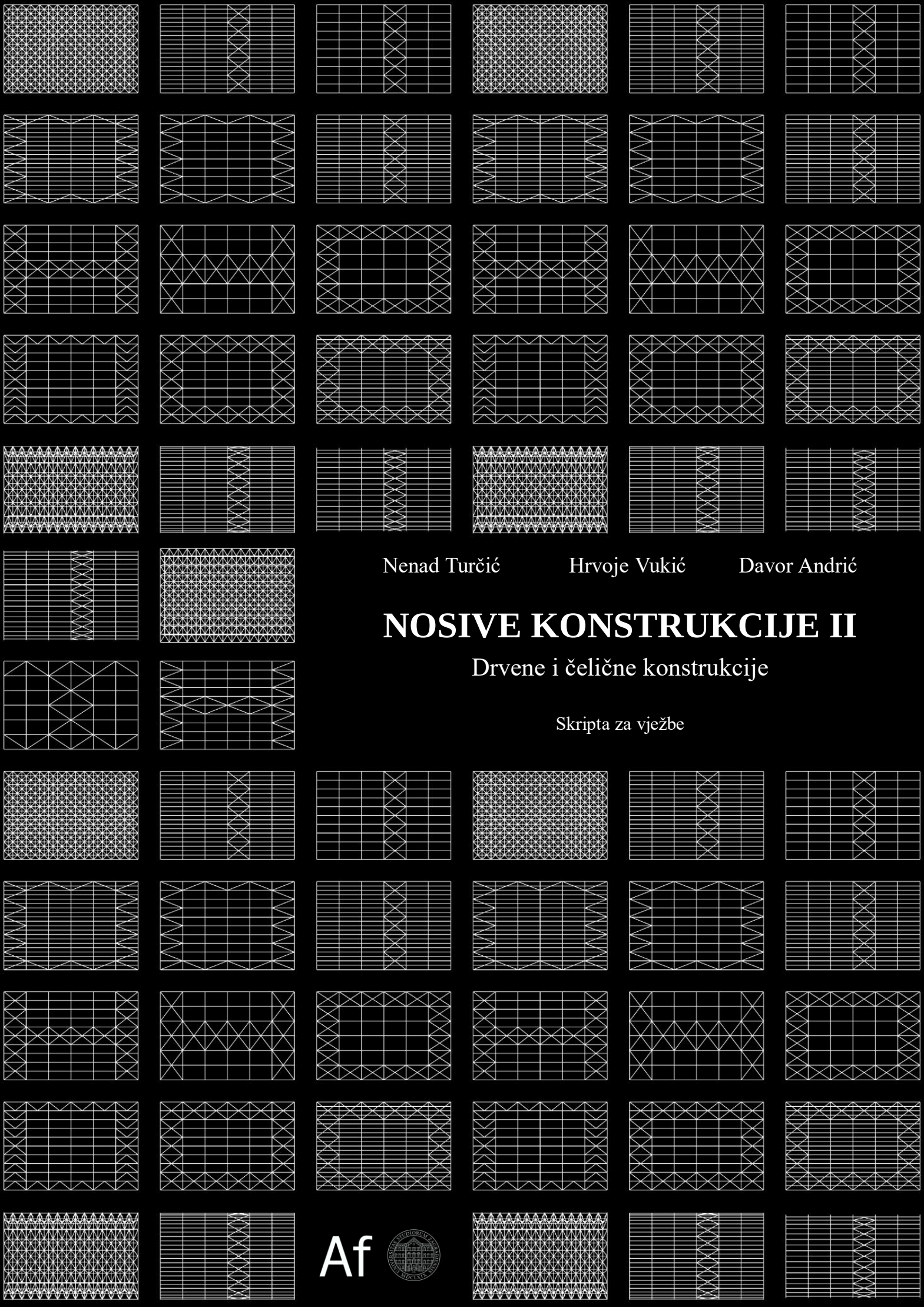
Nenad Turčić Hrvoje Vukić Davor Andrić

# NOSIVE KONSTRUKCIJE II

## Drvene i čelične konstrukcije

Skripta za vježbe



**Nenad Turčić**

**Hrvoje Vukić**

**Davor Andrić**

# NOSIVE KONSTRUKCIJE II

## Drvene i čelične konstrukcije

## Skripta za vježbe

**Sveučilište u Zagrebu, Arhitektonski fakultet**

**Zagreb, 2019. g.**

Napomena:
Ova skripta sadrži pojednostavljene izraze i tablice prilagođene za rad na studiju arhitekture, ali i kao pomoć za približno dimenzioniranje u građevinskoj i arhitektonskoj struci.

**Nakladnik:**

Arhitektonski fakultet Sveučilišta u Zagrebu

Fra Andrije Kačića Miošića 26

HR-10 000 Zagreb

www.arhitekt.hr

**Autori:**

Nenad Turčić, dipl.ing.građ.

Hrvoje Vukić, mag.ing.aedif.

dr.sc. Davor Andrić, dipl.ing.arh.

**Recenzenti:**

izv.prof. dr.sc. Josip Galić, dipl.ing.građ.

izv.prof. dr.sc. Miljenko Haiman, dipl.ing.građ.

izv.prof. dr.sc. Zoran Veršić, dipl.ing.arh.

**Ilustracije:**

dr.sc. Davor Andrić, dipl.ing.arh.

Nenad Turčić, dipl.ing.građ.

Hrvoje Vukić, mag.ing.aedif.

**Lektura:**

Mirjana Ostoja, prof.

**Grafičko oblikovanje:**

Nenad Turčić, dipl.ing.građ.

Rukopis je za objavljivanje prihvatilo Povjerenstvo za nakladničku djelatnost Arhitektonskoga fakulteta na sjednici održanoj 20. rujna 2019. godine.

ISBN 978-953-8042-57-7

Zagreb, rujan 2019. g.

# Sadržaj

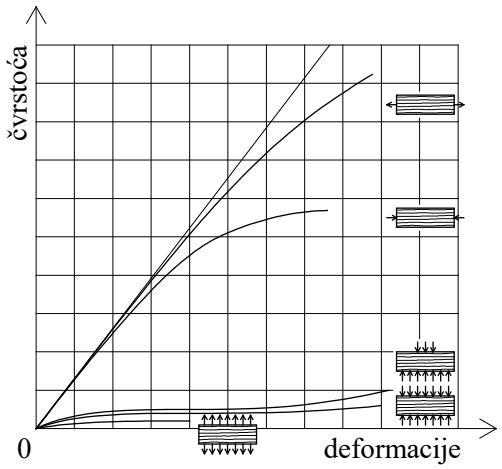
1. Svojstva materijala ... 3
1.1. Mehanička svojstva drva ... 3
1.2. Mehanička svojstva čelika ... 5
1.2.1. Konstruktivni čelik ... 5
1.2.2. Čelik za spojna sredstva ... 5
1.3. Presjeci i profili ... 6
1.3.1. Drveni elementi konstrukcije ... 6
1.3.2. Čelični profili ... 8
2. Djelovanja na konstrukciju ... 10
2.1. .Vrste djelovanja ... 11
2.2. Stalno opterećenje ... 12
2.3. Promjenjiva opterećenja ... 13
2.3.1. Uporabno opterećenje ... 13
2.3.2. Opterećenje snijegom ... 15
2.3.3. Opterećenje vjetrom ... 17
2.4. Granična stanja i pripadajuća kombinacija opterećenja ... 21
2.4.1. Granično stanje nosivosti ... 21
2.4.2. Granična stanja uporabljivosti ... 22
3. Dimenzioniranje drvenih konstrukcija ... 23
3.1. Računske vrijednosti svojstava materijala ... 23
3.2. Vlak paralelno s vlaknima ... 23
3.3. Savijanje ... 24
3.4. Posmik ... 25
3.5. Tlak paralelno s vlaknima ... 25
3.5.1. Dimenzioniranje elementa male vitkosti ... 25
3.5.2. Dimenzioniranje vitkog elementa - IZVIJANJE ... 26
3.6. Složena stanja naprezanja ... 28
3.6.1. Koso savijanje ... 28
3.6.2. Vlak paralelno s vlaknima i savijanje ... 29
3.6.3. Tlak paralelno s vlaknima i savijanje ... 29
3.7. Kontrola uporabivosti ... 30
4. Dimenzioniranje čeličnih konstrukcija ... 31
4.1. Računske vrijednosti svojstava materijala ... 31
4.2. Vlačni element ... 31
4.3. Savijanje ... 32
4.4. Posmik ... 32
4.5. Tlačni element ... 33
4.5.1. Otpornost poprečnog presjeka ... 33
4.5.2. Vitkost ... 34
4.6. Složena stanja naprezanja ... 35
4.6.1. Element izložen uzdužnoj sili i savijanju ... 35
4.7. Kontrola uporabljivosti ... 36
5. Konstruktivni sustavi ... 37
5.1. Vrste konstruktivnih sustava ... 37
5.1.1. Općenito ... 37
5.1.2. Ravninski sustavi ... 38
5.1.3. Prostorni sustavi ... 40
5.1.4. Preliminarno određivanje dimenzija konstruktivnih sustava ... 41
5.2. Stabilizacija ... 43
5.3. Primjeri različitih konstruktivnih sustava ... 47

6. Spojevi i spojna sredstva ... 49
6.1. Spojevi u drvenim konstrukcijama ... 49
6.2. Spajala u drvenim konstrukcijama ... 50
6.2.1. Čavli ... 50
6.2.2. Vijci ... 51
6.2.3. Trnovi ... 53
6.2.4. Vijci za drvo ... 53
6.3. Spojevi u čeličnim konstrukcijama ... 54
6.3.1. Vijci ... 54
6.3.2. Zavareni spojevi ... 57
7. Riješeni primjeri ... 60
7.1. Zadatak 1. - drvena krovna konstrukcija na čel. stupovima ... 60
7.1.1. Analiza opterećenja ... 61
7.1.2. Sekundarni drveni nosač ... 61
7.1.3. Glavni nosač od LLD ... 63
7.1.4. Čelični stup ... 65
7.1.5. Stabilizacija ... 67
7.2. Zadatak 2. - čelična konstrukcija hale ... 69
7.2.1. Analiza opterećenja ... 71
7.2.2. Sekundarni čelični nosač ... 72
7.2.3. Glavni rešetkasti čelični nosač ... 73
7.2.4. Čelični stup ... 76
7.2.5. Vjetrovni spreg ... 77
7.3. Zadatak 3. - most ... 79
7.3.1. Analiza opterećenja ... 79
7.3.2. Hodna ploha / Platice ... 79
7.3.3. Sekundarni nosač ... 81
7.3.4. Glavni nosač ... 82
7.3.5. Stup ... 84
7.3.6. Stup ograde ... 85
8. Tablice ... 89
8.1. Jednorasponski nosači ... 89
8.2. Kontinuirani nosači ... 90
8.3. Dvozglobni okvir ... 94
8.4. Mehanička svojstva drva ... 95
8.4.1. Piljena građa (HRN EN 338:2016) ... 95
8.4.2. Lijepljeno lamelirano drvo (HRN EN 14080:2013) ... 96
8.5. Europske krivulje izvijanja ... 97
8.6. Čelični profili (Metalne konstrukcije 3) ... 98
8.7. Tablice za preliminarno dimenzioniranje ... 103
8.7.1. OSB ploče ... 103
8.7.2. Cross-laminated timber ... 104
8.7.3. Ploče od valovitog lima ... 105
8.7.4. Spregnute ploče ... 106
9. Literatura ... 109

# 1. Svojstva materijala

## *1.1.Mehanička svojstva drva*

Mehanička svojstva drva ovise o vrsti i klasi drvene građe. Kako je drvo prirodan materijal nastao rastom u prirodi, njegova mehanička svojstva različita su u tri međusobno okomita smjera pa kažemo da je drvo ortotropan materijal.




*Slika 1.1 Odnosi čvrstoća ovisno o smjeru sile prema vlaknima*

U konstrukcijama najčešće upotrebljavamo četinare (jela, smreka i bor) i listare (hrast i bukva), pri čemu razlikujemo piljenu građu i lijepljeno lamelirano drvo (LLD). U nastavku su navedena mehanička svojstva najčešće korištenih vrsta drvene građe, a svi tipovi drvene građe s pripadajućim karakteristikama nalaze se u prilogu (*8.4. Mehanička svojstva drva*).

*Tablica 1.1 Mehanička svojstva najčešće korištenih vrsta drvene građe (HRN EN 338 i 14080)*

| | Oznake: | **C24** (četinari II. klase) | **GL24h** (LLD II. klase) | **D40** (listari II. klase) |
|---|---|---|---|---|
| Čvrstoće [N/mm$^2$] | $f_{m,k}$ | 24,0 | 24,0 | 40,0 |
| | $f_{t,0,k}$ | 14,5 | 19,2 | 24,0 |
| | $f_{t,90,k}$ | 0,4 | 0,5 | 0,6 |
| | $f_{c,0,k}$ | 21,0 | 24,0 | 27,0 |
| | $f_{c,90,k}$ | 2,5 | 2,5 | 5,5 |
| | $f_{v,k}$ | 4,0 | 3,5 | 4,2 |
| Modul elastičnosti [N/mm$^2$] | $E_{0,mean}$ | 11000 | 11500 | 13000 |
| Gustoća [kg/m$^3$] | $\rho_{mean}$ | 420 | 420 | 660 |

Gdje su:

$f_{m,k}$ karakteristična čvrstoća na savijanje

$f_{t,0,k}$ karakteristična vlačna čvrstoća paralelno s vlaknima

$f_{t,90,k}$ karakteristična vlačna čvrstoća okomito na vlakna

$f_{c,0,k}$ karakteristična tlačna čvrstoća paralelno s vlaknima

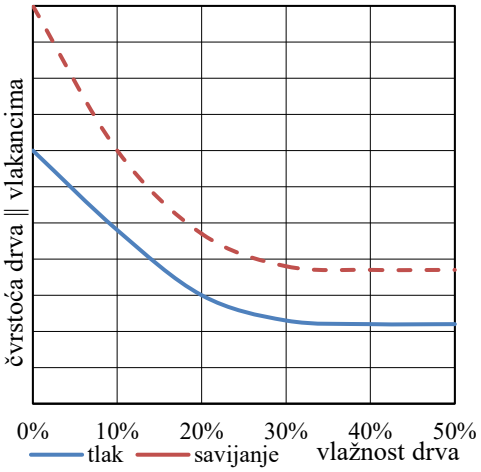
$f_{t,90,k}$ karakteristična tlačna čvrstoća okomito na vlakna

$f_{v,k}$ karakteristična vrijednost čvrstoće na posmik

$E_{0,mean}$ srednja vrijednost modula elastičnosti paralelno s vlaknima

$\rho_{mean}$ srednja gustoća

Vlažnost drva ima velik utjecaj na njegova mehanička svojstva (čvrstoća, modul elastičnosti), a smanjuje se i trajnost drva.




*Slika 1.2 Čvrstoća u ovisnosti o vlažnosti drva*

Mehanička svojstva materijala iskazana su karakterističnim vrijednostima. Za provjeru graničnog stanja nosivosti (dimenzioniranje) koristimo računske vrijednosti čvrstoće materijala koje dobijemo tako da karakterističnu vrijednost podijelimo s koeficijentom sigurnosti za materijal $\gamma_M$. Kako bi se u proračunu uključio utjecaj vlažnosti drva i trajanje opterećenja, uvodi se i koeficijent izmjene $k_{mod}$. Vrijednost navedenog koeficijenta može biti između 0.6 – 0.9, no radi jednostavnosti proračuna u nastavku se usvaja vrijednost 0,8.

$$X_d = k_{mod} \cdot \frac{X_k}{\gamma_M} = 0{,}8 \cdot \frac{X_k}{1{,}3} \tag{1.1}$$

Gdje su:

$X_k$ karakteristična vrijednost svojstva čvrstoće

$k_{mod}$ koeficijent izmjene koji obuhvaća utjecaj trajanja djelovanja i sadržaja vlage, vrijednosti 0,6 – 0,9; najčešće se uzima i mi koristimo 0.8

$\gamma_M$ parcijalni koeficijent za svojstvo materijala, koji za drvo iznosi 1,3

## 1.2. Mehanička svojstva čelika

### 1.2.1. Konstruktivni čelik

Čelike koji se primjenjuju u nosivim čeličnim konstrukcijama zovemo konstruktivni čelici. U nastavku su navedena bitna mehanička svojstva najčešće korištenih konstruktivnih čelika.

*Tablica 1.2 Mehanička svojstva konstruktivnih čelika (HRN EN 10027)*

| | Granica popuštanja [N/mm$^2$] | Vlačna čvrstoća [N/mm$^2$] | Modul elastičnosti [N/mm$^2$] | Gustoća [kg/m$^3$] |
|---|---|---|---|---|
| Oznake: | $f_y$ | $f_u$ | E | $\gamma$ |
| **S235** | 235 | 360 | 210 000 | 7 850 |
| **S275** | 275 | 430 | | |
| **S355** | 355 | 510 | | |

### 1.2.2. Čelik za spojna sredstva

Vijci kao spojna sredstva u konstrukcijama izrađuju se od čelika koji imaju različita svojstva od konstruktivnih čelika. U nastavku su navedena mehanička svojstva čelika za vijke.

*Tablica 1.3 Mehanička svojstva čelika za spojna sredstva (HRN EN 1993-1-8)*

| | Granica popuštanja [N/mm$^2$] | Vlačna čvrstoća [N/mm$^2$] |
|---|---|---|
| Oznake: | $f_{yb}$ | $f_{ub}$ |
| **4.6** | 240 | 400 |
| **4.8** | 320 | 400 |
| **5.6** | 300 | 500 |
| **5.8** | 400 | 500 |
| **6.8** | 480 | 600 |
| **8.8** | 640 | 800 |
| **10.9** | 900 | 1000 |
| **12.9** | 1080 | 1200 |

## 1.3. Presjeci i profili

### 1.3.1. Drveni elementi konstrukcije

***Presjeci drvenih elemenata***

| | Naziv | Dimenzije | |
|---|---|---|---|
|  | **Daske** | $b \geq 8$ cm | $d \leq 4$ cm |
| | **Platice** | $b > 3d$ | $d > 4$ cm |
|  | **Letve** | $b < 4$ cm | $h < 8$ cm |
| | **Grede** | $b \geq 4$ cm | $b \leq h \leq 3b$ |
|  | **Lijepljena greda** | $b < 20$ cm | $h \leq 24$ cm |
| | **Lijepljena lamelirana greda** | $b \leq 22$ cm (iznimno 24 cm) | $h \leq 220$ cm (ovisno o proizvođaču) |

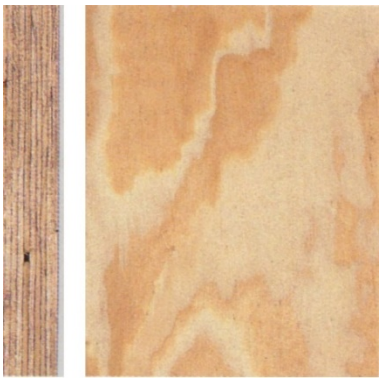
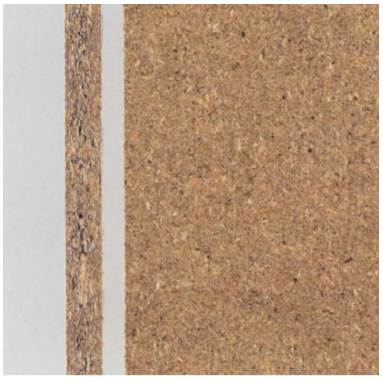
Gdje su:

*b* širina

*d* debljina

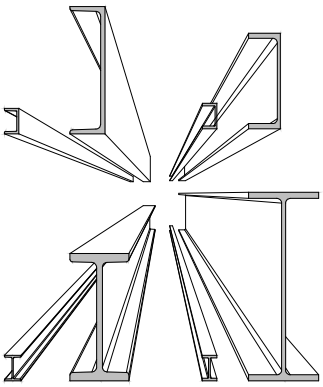
*h* visina

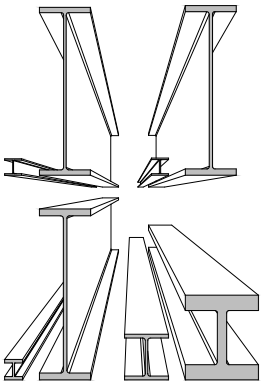
***Plošni elementi na bazi drva***

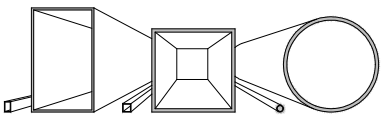
| | Naziv: | Debljina: |
|---|---|---|
|  | **Šperploča** | d = 16-80 mm |
|  | **Furnirska ploča** | d = 21-75 mm |
|  | **OSB ploča** | d = 6-40 mm |
|  | **Ploča iverica** | d = 2-38 mm |

### *1.3.2. Čelični profili*

***Vruće valjani profili***



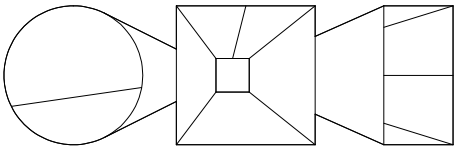




| Naziv | Min. profil (gabariti u mm) | Max. profil (gabariti u mm) |
|---|---|---|
| **I profili** | IPN 80 (42/80) | IPN 600 (215/600) |
| **IPE profili** | IPE 80 (46/80) | IPE 600 (220/600) |
| **U profili** | UPN 80 (45/80) | UPN 400 (110/400) |
| **HEA profili** | HEA 100 (100/96) | HEA 1000 (300/990) |
| **HEB profili** | HEB 100 (100/100) | HEB 1000 (300/1000) |
| **HEM profili** | HEM 100 (106/120) | HEM 1000 (302/1008) |
| **Kružni profili** | Ø21,3x2,6 mm (Ø38) | Ø609,6x16 mm (Ø609,6) |
| **Kvadratni profili** | 20x20x2 mm (20/20) | 400x400x20 mm (400/400) |
| **Pravokutni profili** | 30x50x2 mm (30/50) | 300x500x20 mm (300/500) |

Uskopojasni profili (I, IPN i U profili) prikladni su za sekundarne nosače i glavne nosače manjih raspona i opterećenja. Širokopojasni profili tipa HEA prikladni su za glavne nosače i manje opterećene stupove, profili tipa HEB optimalni su za stupove, dok se profili tipa HEM koriste isključivo za stupove izložene iznimno velikom opterećenju. Šuplji profili (kružni, kvadratni i pravokutni profili) mogu se koristiti kao stupovi i/ili grede uz ograničenje da ne preuzimaju izrazito velika opterećenja, te vodeći računa o izvedbi jer je kod njih izvedba detalja spojeva malo kompliciranija.

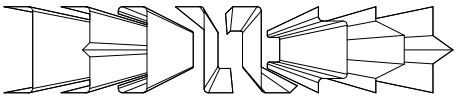
### *Hladno oblikovani profili*



| Naziv | Min. profil (gabariti u mm) | Max. profil (gabariti u mm) |
|---|---|---|
| **Kružni profili** | Ø26,9x2 mm (Ø26,9) | Ø1219x16 mm (Ø1219) |
| **Kvadratni profili** | 20x20x2 mm (20/20) | 400x400x16 mm (400/400) |
| **Pravokutni profili** | 20x40x2 mm (20/40) | 200x400x10 mm (200/400) |

Hladno oblikovani profili imaju karakteristike i dimenzije gotovo iste kao i srodni vruće valjani profili, no kod njih je vidljiv uzdužni spoj odnosno var.

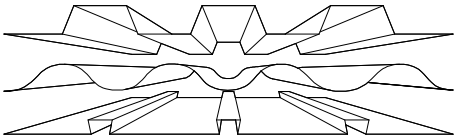
### *Hladno oblikovani limovi*



| Naziv | Min. profil (gabariti u mm) | Max. profil (gabariti u mm) |
|---|---|---|
| **C profili** | C 100 15 (49/100) | C 300 30 (100/300) |
| **Z profili** | Z 100 15 (96,5/100) | Z 300 30 (187/300) |

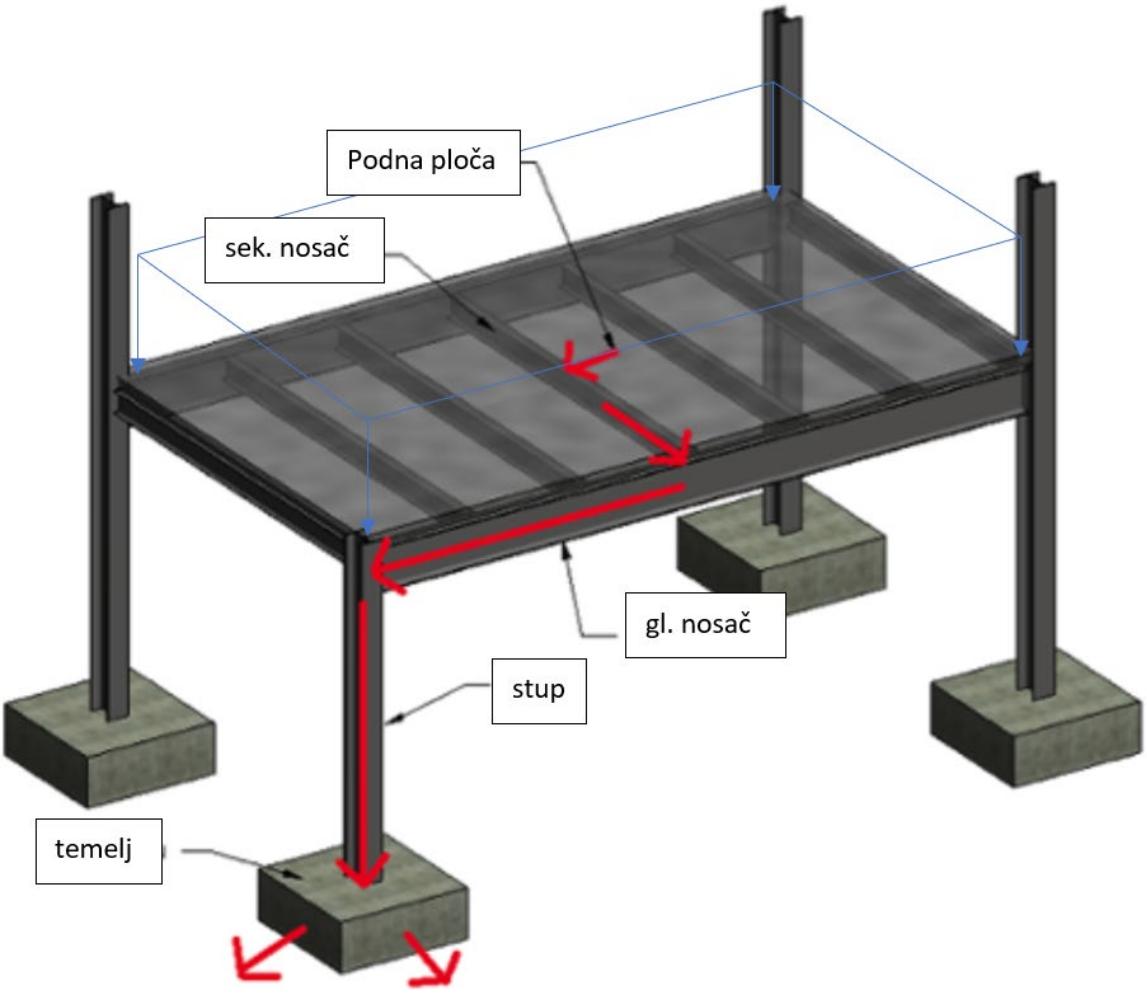
Hladno oblikovani limovi koriste se isključivo kao sekundarni nosači.

### *Hladno oblikovani trapezni limovi*



| Naziv | Min. visina | Max. visina |
|---|---|---|
| **Trapezni limovi** | 45 mm | 206 mm |

# 2. Djelovanja na konstrukciju




*Slika 2.1 Prikaz prijenosa vertikalnog opterećenja*

Djelovanja na konstrukcije nastaju općenito zbog nekog događaja, koji može podrazumijevati građenje, padanje snijega na građevinu, promjenu temperature okoliša ili pojavu vjetra. Osnovni podaci o djelovanjima, na osnovi kojih se dolazi do potrebnih numeričkih vrijednosti, dobivaju se promatranjem (opterećenja snijegom i vjetrom) ili proračunom specifičnim težinama materijala (vlastita težina).

Prilikom analize opterećenja važno je odrediti djelovanje. Njegovo određivanje važno je zbog sprječavanja otkazivanja pojedinog elementa konstrukcije ili pojave prekomjernih deformacija uslijed djelovanja opterećenja. Načini definiranja djelovanja dani su u europskim normama za pojedine vrste konstrukcija. Kod određivanja djelovanja podrazumijevaju se sljedeći koraci:

- definiranje mogućih djelovanja na konstrukciju
- prikupljanje informacija s podloga i specifikacija danih u normama za pojedino opterećenje (karte snijega, vjetra, potresa)
- određivanje proračunskog opterećenja
- određivanje mjerodavne kombinacije.

## *2.1..Vrste djelovanja*

Djelovanja se u osnovi dijele na **izravna** (razna opterećenja, koncentrirana i rasprostrta) i **neizravna** (slijeganje temelja, temperatura).

Djelovanja se prema promjeni u vremenu dijele na:

- **stalna** (vl. težina, slojevi krovnih ili podnih ploha)
- **promjenjiva** (opterećenje snijegom, vjetar, uporabno opterećenje…)
- **izvanredna** (potres, eksplozija, požar).

Veličine djelovanja i otpornosti koje se koriste u projektiranju i proračunu nosivih konstrukcija poprimaju načelno vrijednosti:

**Karakteristična vrijednost djelovanja -** određuje se na temelju teorije vjerojatnosti i statistike, tako da postoji neka mala vjerojatnost da ta vrijednost ne bude nadmašena;

**Računska vrijednost djelovanja** - dobivamo primjenom parcijalnih koeficijenata sigurnosti na karakteristične vrijednosti. Računska vrijednost djelovanja $F_d$ može se izraziti općim izrazom:

$$F_d = \gamma_f \cdot F_k \tag{2.1}$$

Gdje je:

$\gamma_f$ - parcijalni koeficijent sigurnosti za djelovanje kojim se u obzir uzima mogućnost nepovoljnih otklona djelovanja od karakterističnih vrijednosti ($\gamma_f \geq 1{,}0$)

$F_k$ - odgovarajuća karakteristična vrijednost djelovanja, koja će se poslije u tekstu označavati sljedećim oznakama, ovisno o vrsti opterećenja:

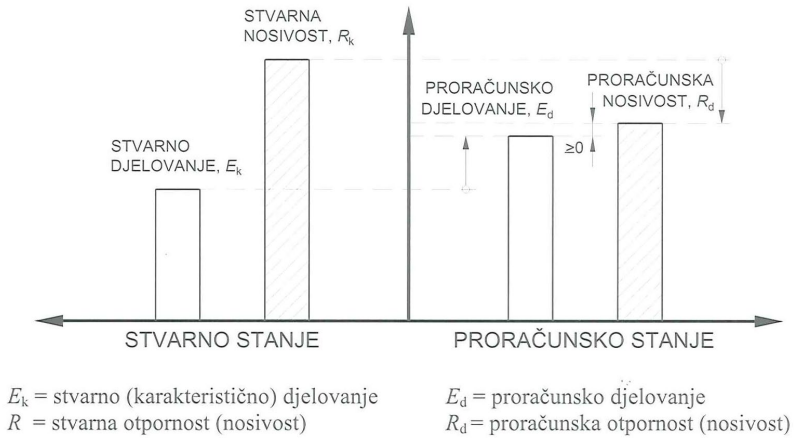
$G_k$ - stalno opterećenje

$Q_k$ - promjenjivo opterećenje (uporabno, snijeg ili vjetar).

*Tablica 2.1 Parcijalni koeficijenti sigurnosti za djelovanja u proračunu ovisno o graničnom stanju - $\gamma_f$*

| Djelovanje | $\gamma_f$ | GSN | GSU |
|---|---|---|---|
| Stalno opterećenje (vl. težina, slojevi, pregrade i dr.) | $\gamma_G$ | 1,35 | 1,00 |
| Promjenjivo opterećenje I (dominantno – uporabno, snijeg ili vjetar) | $\gamma_{Q,1}$ | 1,50 | 1,00 |
| Promjenjivo opterećenje II (prateće - uporabno, snijeg ili vjetar ) | $\gamma_{Q,II}$ | 0,9 | 0,6 |

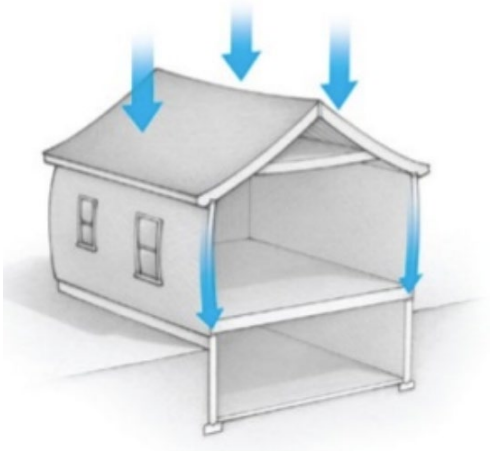
Sigurnost nosivih konstrukcija postiže se tako da se učinci reprezentativnih vrijednosti djelovanja uvećavaju parcijalnim koeficijentima sigurnosti za djelovanja, a karakteristična se otpornost konstrukcije, određena na osnovi karakterističnih vrijednosti svojstava materijala, umanjuje parcijalnim koeficijentima sigurnosti za materijal, što se vidi na slici 2.1.




Slika 2.2 *Grafički prikaz stvarnog i proračunskog stanja djelovanja i nosivosti (otpornosti)*

## *2.2.Stalno opterećenje*

Stalna opterećenja jesu ona za koja se smatra da će vjerojatno djelovati na konstrukciju tijekom cijeloga vijeka trajanja. U stalna djelovanja ubrajamo - vlastitu težinu i nepokretnu opremu (dodatno stalno).



*Slika 2.2 Grafički prikaz stalnog djelovanja na konstrukciju*

Najvažnije stalno opterećenje jest **vlastita težina konstrukcije**. Vlastita težina građevinskih elemenata razvrstava se kao stalno djelovanje i kao nepomično djelovanje. Vlastita težina konstrukcije (ili njenih dijelova ili opreme) može se prikazati pomoću jedne karakteristične vrijednosti ($G_k$, $g_k$), a proračunava se na osnovi nazivnih izmjera i karakterističnih zapreminskih težina.
Stalno opterećenje od vlastite težine konstrukcije računa se ovako:

za ukupnu težinu

$$G_k = \gamma \cdot V \tag{2.2}$$

za linijsko opterećenje od vl. težine

$$g_k = \gamma \cdot A \tag{2.3}$$

za površinsko opterećenje od vl. težine

$$g_k = \gamma \cdot h \tag{2.4}$$

Gdje je:

$\gamma$ zapreminska težina materijala u kN/m$^3$,

$V$ zapremina elementa u m$^3$,

$A$ ploština s koje se svodi opterećenje u m$^2$,

$h$ debljina sloja u m.

*Tablica 2.2 Zapreminske težine pojedinih materijala*

| **Materijal** | **Zapreminska težina (kN/m$^3$)** |
|---|---|
| Armirani beton | 25,0 |
| Čelik | 78,5 |
| Meko drvo –četinari | 6,00 |
| Tvrdo drvo –listari | 8,00 |
| LLD | 5,00 |
| Šperploča | 7,50 – 8,50 |
| Iverica | 4,50 – 6,50 |

Za čelične konstrukcije karakterističnu vlastitu težinu treba odrediti kao umnožak zbroja nazivnih težina pojedinih elemenata i koeficijenta 1,1 da bi se uzeli u obzir limovi i spojna sredstva u čvorovima.

*Tablica 2.3 Težine pokrova, slojeva i instalacija*

| **Pokrovi** | **Površinska težina (kN/m$^2$)** |
|---|---|
| Sendvič paneli | 0,25 |
| Valoviti lim | 0,15 |
| Sintetička membrana | 0,10 |
| Termoizolacija | 0,15 |
| Parna brana | 0,10 |
| Xeroflor | 0,25-0,95 |
| Instalacije | 0,15-0,35 |

## *2.3. Promjenjiva opterećenja*

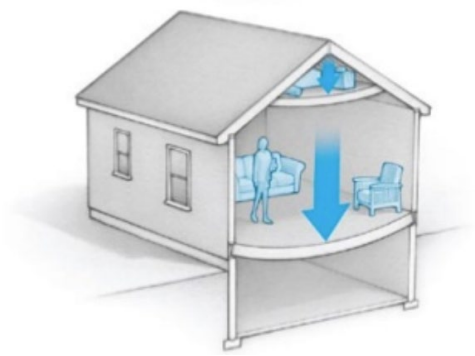
### *2.3.1. Uporabno opterećenje*

Uporabna opterećenja uglavnom se svrstavaju u promjenjiva i pokretna. Uporabno opterećenje u zgradama jest ono koje proizlazi iz samoga korištenja (svrhe građevine) i uglavnom se u proračunu uzima kao jednoliko rasprostrto opterećenje. Karakteristične vrijednosti ove vrste opterećenja dane su u ovisnosti o namjeni zgrade, odnosno prostorije.

Za proračun zgrada posebno su važna i uporabna opterećenja:

- za **ravne neprohodne krovove** uporabno opterećenje iznosi: $q_k = 0{,}60$ kN/m$^2$.

Krovovi koji su pristupačni projektiraju se na istu razinu uporabnog opterećenja kao i podovi zgrada prema tablici 2.4 i 2.5 ovisno o namjeni.



*Slika 2.3 Grafički prikaz uporabnog djelovanja na konstrukciju*

*Tablica 2.4 Karakteristična uporabna opterećenja stropova u zgradama – 1. dio (HRN EN 1991-1-1)*

| Stupac | 1 | | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|---|---|
| Redak | Kategorija | | Namjena | Primjer | $q_k$ [kN/m$^2$] |
| 1 | A | A1 | Nestambena potkrovlja | Neprikladna za stanovanje no pristupačna potkrovlja do 1,8 m svijetle visine | 1,5 |
| 2 | | A2 | Prostori za stanovanje i kućanske djelatnosti | Stropovi sa zadovoljavajućom poprečnom raspodjelom opterećenja[b] u stambenim zgradama i kućama, sobama s krevetima, bolnicama (spavaonicama), sobama u hotelima i prenoćištima i pripadajuće kuhinje i kupaonice | 1,5 |
| 3 | | A3 | | A2, ali bez zadovoljavajuće poprečne raspodjele opterećenja | 2,0[c] |
| 4 | B | B1 | Uredski prostori, radni prostori, hodnici | Hodnici u uredskim zgradama, uredi, medicinske ordinacije bez teške opreme, bolnički odjeli, čekaonice i hodnici, staje sa sitnom stokom | 2 |
| 5 | | B2 | | Hodnici i kuhinje u bolnicama, hotelima, staračkim domovima, hodnici u internatima i sl., prostori za medicinske tretmane u bolnicama, uključujući i operacijske dvorane bez teške opreme, podrumske prostorije u stambenim zgradama | 3 |
| 6 | | B3 | | Svi prostori navedeni u B1 i B2, ali s teškom opremom[d] | 5 |
| 7 | C | C1 | Prostorije za sastanke, prostori u kojima se mogu okupljati ljudi (osim prostora definiranih u kategorijama A, B, D i E ) | Prostori sa stolovima, kao što su dječji vrtići, jaslice, škole, učionice, kavane, restorani, blagovaonice, čitaonice, recepcije, zbornice | 3 |
| 8 | | C2 | | Prostori s nepomičnim sjedalima, primjerice u crkvama,kazalištima, kinima, konferencijskim dvoranama, predavaonicama, čekaonicama | 4 |
| 9 | | C3 | | Javni prostori, npr. muzeji, izložbeni prostori, ulazi u javne zgrade i hotele, stropovi podruma koji su pod dvorišta i u koja nije omogućen pristup vozila, hodnici za kategorije prostora C1 do C3 | 5 |
| 10 | | C4 | | Prostori za sport i igru, kao što su plesne dvorane, sportski centri, gimnastičke dvorane i teretane, pozornice | 5 |
| 11 | | C5 | | Prostori za velike skupove ljudi, npr. u zgradama kao što su koncertne dvorane, terase, prilazi i tribine s nepomičnim sjedalima | 5 |
| 12 | | C6 | | Prostori za učestalo okupljanje mnogo ljudi, tribine bez nepomičnih sjedala | 7,5 |

*Tablica 2.5 Karakteristična uporabna opterećenja stropova u zgradama – 2. dio (HRN EN 1991-1-1)*

| Stupac | 1 | | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|---|---|
| Redak | Kategorija | | Namjena | Primjer | $q_k$ [kN/m$^2$] |
| 13 | D | D1 | Prodajni prostori | Trgovački prostori do 50 m² tlocrtne površine u stambenim, uredskim i sličnim građevinama | 2 |
| 14 | | D2 | | Prostori u trgovinama i robnim kućama | 5 |
| 15 | | D3 | | Prostori kao u D2, ali s većim opterećenjima zbog visokih polica za skladištenje | 5 |
| 16 | E | E1.1 | Skladišta, tvornice i radionice, staje, skladišni prostori i pristupi | Prostori u tvornicama[e] i radionicama[e] s lakim proizvodnim pogonom, staje za krupnu stoku | 5[f] |
| 17 | | E1.2 | | Skladišni prostori općenito, uključujući i knjižnice | 6[f] |
| 18 | | E2.1 | | Prostori u tvornicama[e] i radionicama[e] s umjereno teškim ili teškim proizvodnim pogonom | 7,5 |
| 19 | S[g] | S1 | Stubišta i stubišni podesti | Stubišta i stubišni podesti u stambenim i uredskim zgradama i ambulantama, bez teške opreme | 3 |
| 20 | | S2 | | Sva stubišta i stubišni podesti koji se ne mogu razvrstati u S1 ili S3 | 5 |
| 21 | | S3 | | Pristupi i stubišta koji vode do tribina bez nepomičnih sjedala, a služe kao izlazi za nuždu | 7,5 |
| 22 | P[g] | | Pristupi, balkoni i sl. | Krovne terase, trijemovi, lođe, balkoni, izlazni podesti | 4 |

### *2.3.2. Opterećenje snijegom*

Opterećenja snijegom proračunavaju se na osnovi karakterističnog opterećenja ***s***, koje odgovara jednolikom snijegu koji je napadao pri mirnim vremenskim uvjetima na ravno tlo. Ova se vrijednost prilagođava ovisno o obliku krova i utjecaju vjetra na raspodjelu snijega.



*Slika 2.4 Grafički prikaz djelovanja snijega na konstrukciju*

Opterećenje od snijega na krov određuje se izrazom:

$$s = s_k \cdot \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot \tag{2.5}$$

Gdje je:

$s_k$ karakteristično opterećenje snijegom na tlu koje ovisi o nadmorskoj visini i zemljopisnoj lokaciji (vidi kartu na slici 2.5 i tablicu 2.6),

$\mu_i$ koeficijent oblika opterećenja snijegom na krovu ovisno o tipu krova (krov do $\alpha = 30°$ nagiba, uzeti $\mu_i$=0,8),

$C_e$ koeficijent izloženosti koji uzima uvjete puhanja vjetra (uzeti $C_e = 1{,}0$),

$C_t$ toplinski koeficijent koji uzima u obzir topljenje snijega (uzeti $C_t = 1{,}0$).

Karakteristično opterećenje snijegom $s_k$ temelji se na kartama. Hrvatska je podijeljena na 4 zone snijega, što je prikazano na slici 2.5.




*Slika 2.5 Karta snježnih područja Republike Hrvatske (HRN EN 1991-1-3)*

*Tablica 2.6 Karakteristično opterećenje snijegom na tlu (HRN EN 1991-1-3)*

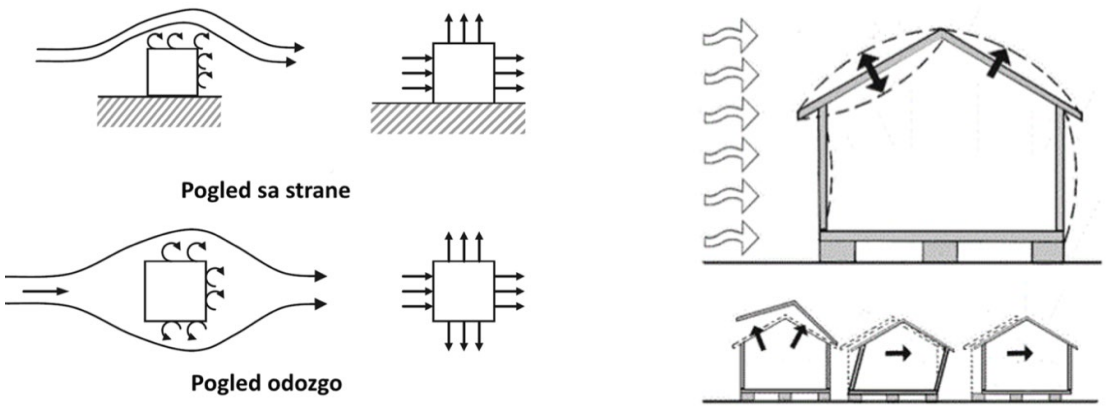
| Nadmorska visina do [m] | 1. područje – priobalje i otoci [kN/m²] | 2. područje – zaleđe Dalmacije, Primorja i Istre [kN/m²] | 3. područje – kontinentalna Hrvatska [kN/m²] | 4. područje – gorska Hrvatska [kN/m²] |
|---|---|---|---|---|
| 100 | 0,50 | 0,75 | 1,00 | 1,25 |
| 200 | 0,50 | 0,75 | 1,25 | 1,50 |
| 300 | 0,50 | 0,75 | 1,50 | 1,75 |
| 400 | 0,50 | 1,00 | 1,75 | 2,00 |
| 500 | 0,50 | 1,25 | 2,00 | 2,50 |
| 600 | 0,50 | 1,50 | 2,25 | 3,00 |
| 700 | 0,50 | 2,00 | 2,50 | 3,50 |
| 800 | 0,50 | 2,50 | 2,75 | 4,00 |
| 900 | 1,00 | 3,00 | 3,00 | 4,50 |
| 1 000 | 2,00 | 4,00 | 3,50 | 5,00 |
| 1 100 | 3,00 | 5,00 | 4,00 | 5,50 |
| 1 200 | 4,00 | 6,00 | 4,50 | 6,00 |
| 1 300 | 5,00 | 7,00 | | 7,00 |
| 1 400 | 6,00 | 8,00 | | 8,00 |
| 1 500 | | 9,00 | | 9,00 |
| 1 600 | | 10,00 | | 10,00 |
| 1 700 | | 11,00 | | 11,00 |
| 1 800 | | 12,00 | | |

Kod proračuna ravnih krovova i krovova s blagim nagibom ($\alpha \leq 30$ °) i nadmorsku visinu građevine H ≤ 200 m.n.v. mogu se usvojiti sljedeće vrijednosti opterećenja snijegom:

- priobalni dio Hrvatske i otoci: $s = 0{,}80 \cdot 0{,}50 = 0{,}40$ kN/m²
- dalmatinska i primorska zagora te Istra: $s = 0{,}80 \cdot 0{,}75 = 0{,}60$ kN/m²
- kontinentalna Hrvatska (Zagreb): $s = 0{,}80 \cdot 1{,}25 = 1{,}00$ kN/m²
- gorska Hrvatska: $s = 0{,}80 \cdot 1{,}75 = 1{,}40$ kN/m²

### *2.3.3. Opterećenje vjetrom*

Vjetar je promjenjivo slobodno djelovanje. Djelovanje vjetra na građevinu ovisi o brzini vjetra i obliku samih građevina. Očituje se promjenom tlaka u odnosu na normalni atmosferski tlak. Zbog djelovanja vjetrom na izloženoj strani javlja se tlak (pritisak), a na suprotnoj strani i bočnim stranama javlja se podtlak (usis) kako je prikazano na slici 2.6.




*Slika 2.6 Grafički prikaz djelovanja vjetra na konstrukciju*

Karakteristični tlak vjetra jest tlak osnovne brzine vjetra koja je dobivena na temelju brzine vjetra za određeno geografsko područje. Očitanje vrijednosti osnovnih brzina vjetra provodi se pomoću karte za područje Hrvatske. Karta je prikazana na slici 2.7.




*Slika 2.7 Karta osnovne brzine ($v_{b,o}$) vjetra za Republiku Hrvatsku (HRN EN 1991-1-4)*

Prema prikazu područja na karti i vrijednosti osnovnih brzina vjetra u tablici su dane vrijednosti $v_{b,o}$ u nekim osnovnim područjima.

*Tablica 2.7 Osnovne brzine ($v_{b,o}$) vjetra za pojedina područja Republike Hrvatske*

| ***Područje u Hrvatskoj*** | *Osnovne brzina vjetra ($v_{b,o}$)* |
|---|---|
| Kontinentalna Hrvatska - Slavonija | 20 m/s |
| Kontinentalna Hrvatska - Zagreb | 25 m/s |
| Priobalje i otoci - Istra | 25 - 30 m/s |
| Priobalje i otoci – sjeverna Dalmacija | 35 - 40 m/s |
| Priobalje i otoci – južna Dalmacija | 30 - 35 m/s |

Osnovni tlak djelovanja vjetra $w_0$ u [kN/m$^2$] proračunava se prema izrazu:

$$w_0 = \frac{0{,}625}{1000} \cdot C_e(Z) \cdot {v_{b,0}}^2 \tag{2.6}$$

Gdje su:

$v_{b,0}$ osnovna brzina vjetra u m/s (tablica 2.7)

$C_e(Z)$ koeficijent izloženosti koji uzima u obzir hrapavost terena, topografiju i visinu iznad tla i određuje se u skladu s tablicom 2.8.

*Tablica 2.8 Koeficijent izloženosti $C_e(Z)$ u ovisnosti kategorije terena i visini građevine $h \leq 10$ m*

| ***Kategorija terena*** | ***Karakteristike terena*** | *h≤10 m* | *10≤h≤20 m* |
|---|---|---|---|
| 0 | More i površine uz more | 3,00 | 3,40 |
| I | Jezera – nema zapreka | 2,75 | 3,20 |
| II | Slaba vegetacija, pojedine zapreke s razmakom najmanje 20x visine zapreke | 2,35 | 2,80 |
| III | Normalna vegetacija, šume i predgrađa | 1,70 | 2,15 |
| IV | Najmanje 15% površine pokriveno je zgradama prosječne visine 15 m | 1,15 | 1,65 |

Tlak vjetra na nekoj površini dobije se iz izraza:

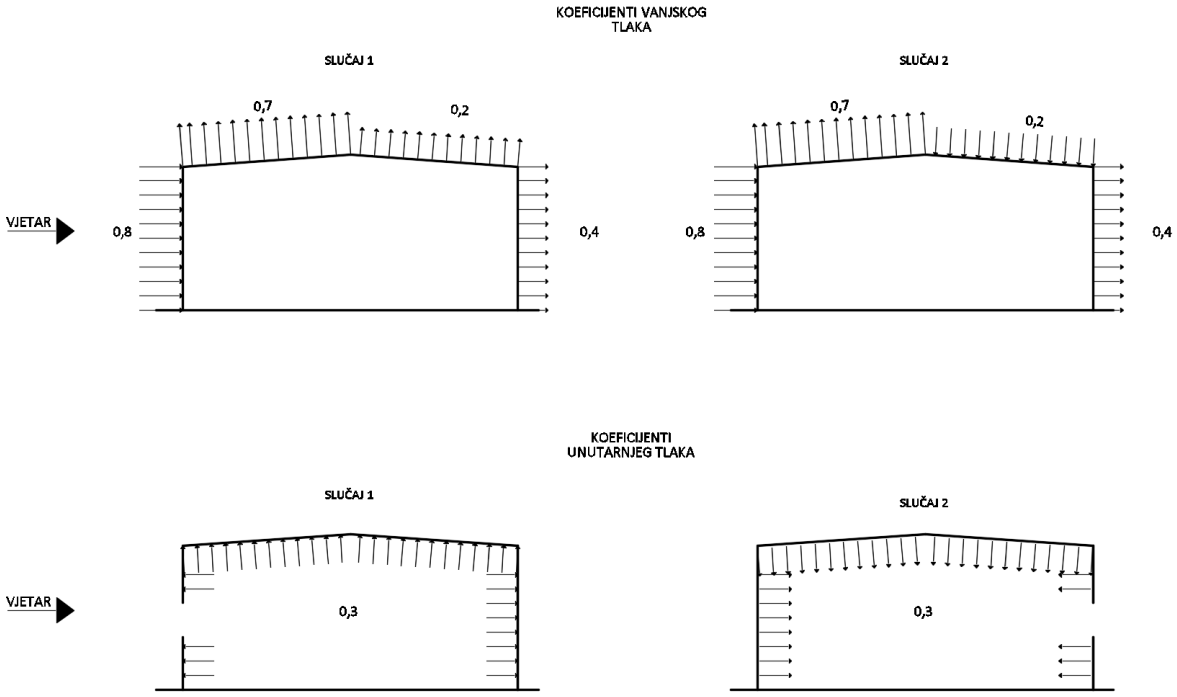
$$w = c \cdot w_0 \tag{2.7}$$

Gdje su:

$w$ tlak vjetra na građevinu u kN/m$^2$

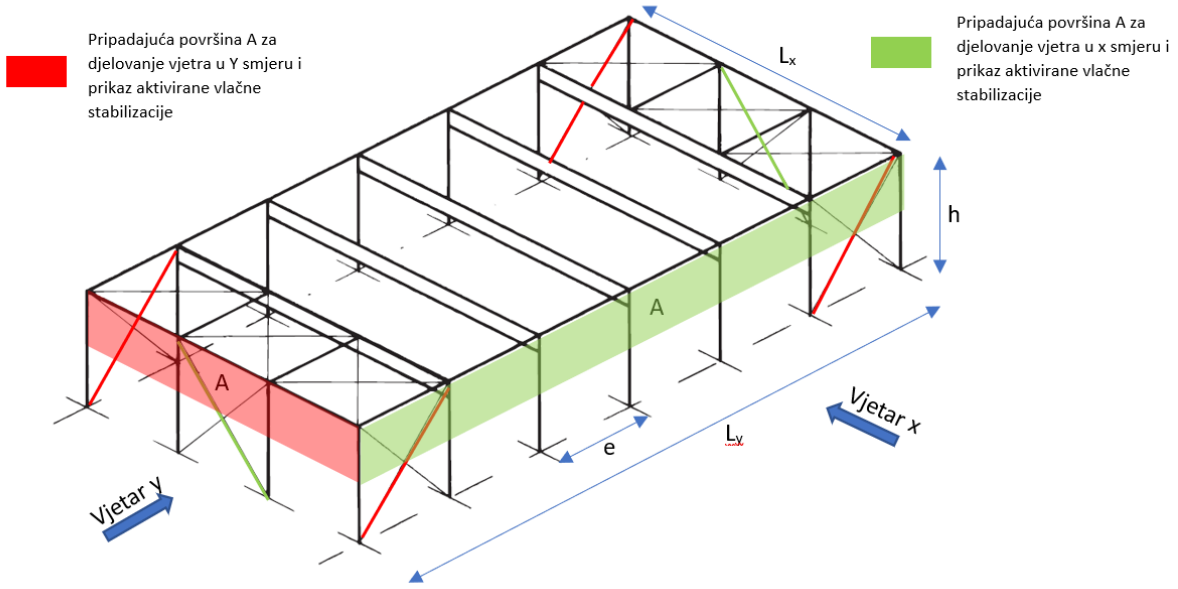
$c$ algebarski zbroj vanjskog i unutrašnjeg tlaka (Vrijednosti su dane na slici 2.8)

$w_0$ osnovni tlak djelovanja vjetra (2.6).




*Slika 2.8 Koeficijenti tlaka na građevinu c*

Temeljem prikazanih koeficijenata tlaka i opterećenja vjetrom uzimat će sljedeće vrijednosti sile vjetra na građevinu za pojedine elemente.




*Slika 2.9 Prikaz mjerodavnih površina za smjerove djelovanja vjetra*

**Proračun vertikalne stabilizacije (u kN):**

$$W = (0{,}8 + 0{,}4) \cdot w_0 \cdot A = 1{,}2 \cdot w_0 \cdot A \qquad (2.8)$$

Gdje je:

W ukupna sila vjetra u kN koja djeluje na plohu A

A pripadajuća površina djelovanja tlaka vjetra ovisno o smjeru vjetra. Za x smjer djelovanja vjetra iznosi:

$$A = 0{,}5 \cdot h \cdot L_y \tag{2.9}$$

dok za Y smjer djelovanja vjetra iznosi:

$$A = 0{,}5 \cdot h \cdot L_x \tag{2.10}$$

**Proračun stupa (u kN/m):**

$$w = (0{,}8 + 0{,}3) \cdot w_0 = 1{,}1 \cdot w_0 \cdot e \tag{2.11}$$

**Krovna konstrukcija - glavni nosač (odižuće djelovanje, kN/m):**

$$w = (0{,}7 + 0{,}3) \cdot w_0 \cdot e = 1{,}0 \cdot w_0 \cdot e \tag{2.12}$$

**Krovna konstrukcija – glavni nosač (pritiskajuće djelovanje, kN/m):**

$$w = (0{,}2 + 0{,}3) \cdot w_0 \cdot e = 0{,}5 \cdot w_0 \cdot e \tag{2.13}$$

Kod sekundarnih nosača odnosno podrožnica, linijsko opterećenje od vjetra na podrožnicu dobije se tako da izraz (2.6) umnožimo s razmakom podrožnica *a*.

## *2.4. Granična stanja i pripadajuća kombinacija opterećenja*

Granična stanja općenito su ona stanja čijim prekoračenjem konstrukcija više ne udovoljava projektnim zahtjevima, tj. ne ispunjava temeljne zahtjeve građevine. Pritom razlikujemo:

### *2.4.1. Granično stanje nosivosti*

***GSN*** *(engl. Ultimate limit states - ULS)* – stanja koja mogu izazvati rušenje konstrukcije (stanja netom prije rušenja konstrukcije ili dovode konstrukciju u stanje mehanizma. Tu pripadaju

- *EQU (engl. **Equ**ililbrium)* - gubitak ravnoteže konstrukcije ili njezina elementa promatrane kao kruto tijelo, tj. kao cjeline;
- *STR (engl. **Str**ucture)* - prekoračenje otpornosti jednog ili više kritičnih elemenata (područja), odnosno gubitak ravnoteže zbog velikog deformiranja (teorija II. reda – izvijanje);
- *FAT (engl. **Fat**ique)* - slom jednog ili više kritičnih elemenata zbog zamora.

Proračunska kombinacija koja će se provoditi za granično stanje nosivosti bit će:
Osnovna komb. za stalno + uporabno (ili snijeg i/ili vjetar ):

$$1{,}35 \cdot G_k + 1{,}5 \cdot Q_{k,I} + 0{,}9 \cdot Q_{k,II} \tag{2.14}$$

Gdje je:

$G_k$ karakteristično stalno opterećenje

$Q_{k,I}$ karakteristično promjenjivo opterećenje (vodeće – snijeg, vjetar ili uporabno)

$Q_{k,II}$ karakteristično promjenjivo opterećenje (prateće djelovanje).

### *2.4.2. Granična stanja uporabljivosti*

***GSU*** *(engl. Serviceability limit states - SLS)* – podređena su mjerodavnim kriterijima za normalnu uporabu i odnose se na funkcioniranje konstrukcije u uobičajenoj uporabi, udobnost (komfor) ljudi i izgled građevine. Tu pripadaju:

- ograničenja naprezanja kako bi se spriječilo plastično deformiranje i raspucavanje koje ugrožava trajnost konstrukcije (granično stanje naprezanja),
- ograničena lokalna oštećenja kao pretjerano raspucavanje (granično stanje pukotina),
- progibi koji uzrokuju neprihvatljiva oštećenja nekonstruktivnih elemenata ili nepovoljno utječu na funkciju ili izgled konstrukcije (granično stanje deformacija),
- vibracije koje uzrokuju neugodu, nemir ili smanjuju funkcionalnost (granično stanje vibracija).

Proračunska kombinacija koja će se provoditi za granično stanje uporabljivosti bit će:
Osnovna komb. za stalno + uporabno (ili snijeg i/ili vjetar ):

$$1{,}0 \cdot G_k + 1{,}0 \cdot Q_{k,I} + 0{,}6 \cdot Q_{k,II} \tag{2.15}$$

Gdje je:

$G_k$ karakteristično stalno opterećenje

$Q_{k,I}$ karakteristično promjenjivo opterećenje (vodeće – snijeg, vjetar ili uporabno)

$Q_{k,II}$ karakteristično promjenjivo opterećenje (prateće djelovanje).

# 3. Dimenzioniranje drvenih konstrukcija

## *3.1. Računske vrijednosti svojstava materijala*

Provjera graničnog stanja nosivosti temelji se na uvjetu da utjecaj svih predvidljivih djelovanja mora biti manji od otpornosti konstrukcije na ta ista djelovanja. Praktično to znači da nastala naprezanja moraju biti manja od čvrstoće materijala. Kako je drvo ortotropan materijal, odnosno ima različita mehanička svojstva u tri međusobno okomita smjera, ovisno o analiziranom svojstvu računska vrijednost čvrstoće materijala dana je izrazom:

$$X_d = k_{mod} \cdot \frac{X_k}{\gamma_M} = 0{,}8 \cdot \frac{X_k}{1{,}3} \tag{3.1}$$

Gdje su:

$X_k$ karakteristična vrijednost svojstva čvrstoće (tablica 1.1)

$k_{mod}$ koeficijent izmjene koji obuhvaća utjecaj trajanja djelovanja i sadržaja vlage, vrijednosti 0,6 - 0,9; najčešće se uzima i mi koristimo 0,8

$\gamma_M$ parcijalni koeficijent za svojstvo materijala, koji za drvo iznosi 1,3.

## *3.2. Vlak paralelno s vlaknima*

Provjera otpornosti poprečnog presjeka elementa opterećenog uzdužnom vlačnom silom čiji se pravac poklapa s osi elementa, provodi se kontrolom naprezanja paralelno s vlaknima prema izrazu:

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{F_{Ed}}{A_{net}} \leq f_{t,0,d} \tag{3.2}$$

Gdje su:

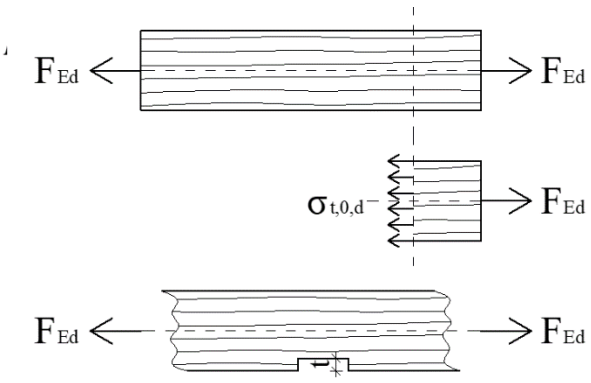
$\sigma_{t,0,d}$ računska vrijednost vlačnog naprezanja paralelno s vlaknima

$F_{Ed}$ računska uzdužna vlačna sila

$A_{net}$ neto površina poprečnog presjeka, umanjena za površinu oslabljenja

$f_{t,0,d}$ računska vlačna čvrstoća paralelno s vlaknima, koju izračunavamo temeljem karakteristične vlačne čvrstoće paralelno s vlaknima $f_{t,0,k}$ (tablica 1.1), koristeći izraz (3.1):

$$f_{t,0,d} = 0{,}8 \cdot \frac{f_{t,0,k}}{1{,}3} \tag{3.3}$$




*Slika 3.1 Primjer presjeka opterećenog uzdužnom vlačnom silom*

## *3.3.Savijanje*

Provjera otpornosti poprečnog presjeka elementa opterećenog savijanjem provodi se u presjeku s najvećim momentom savijanja, gdje najveća naprezanja provjeravamo prema izrazu:

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_{Ed}}{W_{min}} \leq f_{m,d} \tag{3.4}$$

Gdje su:

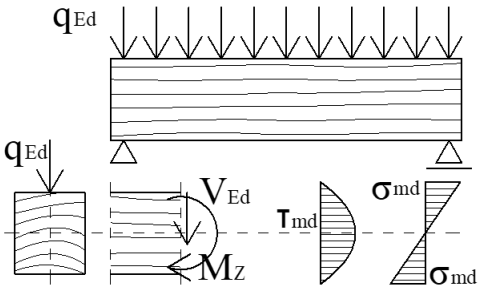
$\sigma_{m,d}$ računska vrijednost naprezanja od savijanja

$M_{Ed}$ računska vrijednost savijanja oko osi *z*

$W_{min}$ (manja) vrijednost momenta otpora oko osi oko koje se presjek savija

$f_{m,d}$ računska čvrstoća na savijanje, koju izračunavamo temeljem karakteristične čvrstoće na savijanje $f_{m,k}$ (tablica 1.1), koristeći izraz (3.1):

$$f_{m,d} = 0{,}8 \cdot \frac{f_{m,k}}{1{,}3} \tag{3.5}$$




*Slika 3.2 Primjer presjeka opterećenog poprečnom silom i momentom savijanja*

## 3.4. Posmik

Provjera otpornosti poprečnog presjeka elementa opterećenog posmikom provodi se u presjeku s najvećom poprečnom silom, gdje najveća posmična naprezanja provjeravamo prema izrazu:

$$\tau_{v,d} \leq f_{v,d} \tag{3.6}$$

Gdje su:

$\tau_{v,d}$ računska vrijednost posmičnog naprezanja

$f_{v,d}$ računska vrijednost čvrstoće na posmik, koju izračunavamo temeljem karakteristične čvrstoće na posmik $f_{v,k}$ (tablica 1.1), koristeći izraz (3.1):

$$f_{v,d} = 0{,}8 \cdot \frac{f_{v,k}}{1{,}3} \tag{3.7}$$

Računsko posmično naprezanje općenito izračunavamo pomoću izraza:

$$\tau_{v,d} = \frac{V_{Ed} \cdot S}{b \cdot I} \tag{3.8}$$

Odnosno kad analiziramo pravokutni presjek koristimo izraz:

$$\tau_{v,d} = 1{,}5 \cdot \frac{V_{Ed}}{A} \tag{3.9}$$

Gdje su:

$V_{Ed}$ računska vrijednost poprečne sile

$S$ statički moment površine

$b$ širina odgovarajućeg presjeka

$I$ moment tromosti (inercije) površine

$A$ površina presjeka.

## 3.5. Tlak paralelno s vlaknima

### 3.5.1. Dimenzioniranje elementa male vitkosti

Elementom male vitkosti nazivamo stupove ili grede opterećene uzdužnom tlačnom silom, kod kojih je vitkost dovoljno mala da ne dolazi do izvijanja. Navedeno je ispunjeno kada vitkosti oko slabije osi $\lambda_{min}$ ne prelazi vrijednost 30.

$$\lambda_{min} \leq 30 \tag{3.10}$$

Provjera otpornosti poprečnog presjeka elementa male vitkosti opterećenog uzdužnom tlačnom silom provodi se kontrolom naprezanja paralelno s vlaknima prema izrazu:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{F_{Ed}}{A} \leq f_{c,0,d} \tag{3.11}$$

Gdje su:

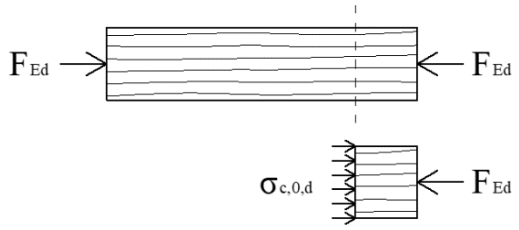
$\sigma_{c,0,d}$ računska vrijednost tlačnog naprezanja paralelno s vlaknima

$F_{Ed}$ računska uzdužna tlačna sila

$A$ površina poprečnog presjeka

$f_{c,0,d}$ računska tlačna čvrstoća paralelno s vlaknima, koju izračunavamo temeljem karakteristične tlačne čvrstoće paralelno s vlaknima $f_{c,0,k}$ (tablica 1.1), koristeći izraz (3.1):

$$f_{c,0,d} = 0{,}8 \cdot \frac{f_{c,0,k}}{1{,}3} \tag{3.12}$$




*Slika 3.3 Primjer presjeka opterećenog uzdužnom tlačnom silom*

### *3.5.2. Dimenzioniranje vitkog elementa - IZVIJANJE*

Kod vitkih elementa opterećenih uzdužnom tlačnom silom ($\lambda$>30) postoji opasnost od deformiranja uzdužne osi, odnosno izvijanja. Iz navedenog razloga potrebno je provesti dokaz stabilnosti.

Provjera otpornosti vitkog elementa opterećenog uzdužnom tlačnom silom provodi se kontrolom naprezanja paralelno s vlaknima uz koeficijent $k_c$ koji uzima u obzir mogućnost izvijanja:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{F_{Ed}}{A} \leq k_c \cdot f_{c,0,d} \tag{3.13}$$

Gdje su:

$\sigma_{c,0,d}$ računska vrijednost tlačnog naprezanja paralelno s vlaknima

$F_{Ed}$ računska uzdužna tlačna sila

$A$ površina poprečnog presjeka

$k_c$ koeficijent izvijanja

$f_{c,0,d}$ računska tlačna čvrstoća paralelno s vlaknima, koju izračunavamo temeljem karakteristične tlačne čvrstoće paralelno s vlaknima $f_{c,0,k}$ (tablica 1.1), koristeći izraz (3.1):

$$f_{c,0,d} = 0{,}8 \cdot \frac{f_{c,0,k}}{1{,}3} \tag{3.14}$$

Kontrolu izvijanja potrebno je provesti oko slabije osi, odnosno oko osi oko koje je moguće izvijanje. Pritom treba voditi računa da izvijanje oko osi *z* odgovara gubitku stabilnosti u smjeru osi *y* i obrnuto. Ako je omogućeno izvijanje oko obiju osi ili nije očito koja je slabija os, potrebno je provesti kontrolu oko obiju osi.

Ovisno o vitkosti analiziranog elementa vrijednost koeficijenta izvijanja $k_c$ izračunavamo (po pojednostavljenom postupku):

$$\lambda \leq 75 \;\rightarrow\; k_c = 1 - 0{,}8\left(\frac{\lambda}{100}\right)^2 \tag{3.15}$$

$$\lambda > 75 \;\rightarrow\; k_c = \frac{3100}{\lambda^2} \tag{3.16}$$

Vitkost $\lambda$ određujemo pomoću izraza:

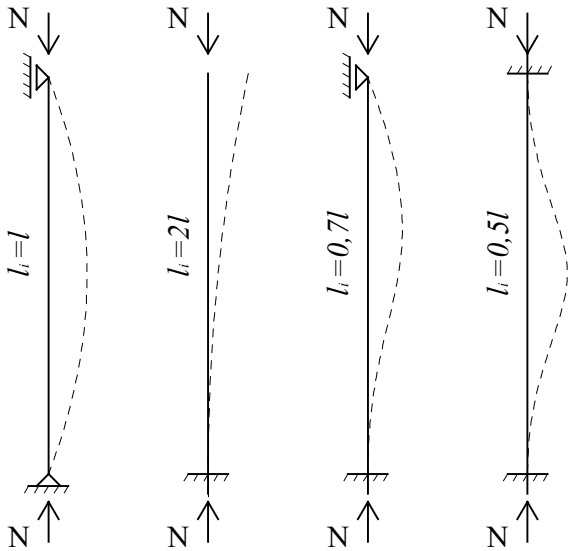
$$\lambda = \frac{l_i}{i_{min}} \tag{3.17}$$

Gdje su:

$l_i$ dužina izvijanja tlačno opterećenog elementa (stupa)

$i_{min}$ manja vrijednost radijusa inercije poprečnog presjeka.

Dužinu izvijanja $l_i$ određujemo ovisno o rubnim uvjetima i dužini elementa $l_0$:




*Slika 3.4 Oblici izvijanja tlačno opterećenog elementa ovisno o rubnim uvjetima*

Radijus inercije $i$ općenito izračunavamo:

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}}\,; \qquad i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} \tag{3.18}$$

Odnosno kad analiziramo pravokutni presjek, navedeni izraz može se svesti na:

$$i_{min} = 0{,}289 \cdot a \tag{3.19}$$

Gdje je:

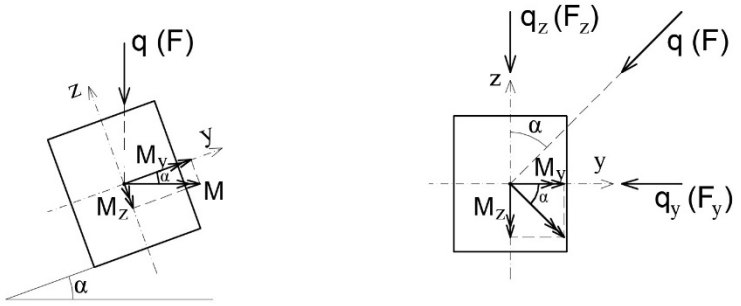
$a$ manja stranica pravokutnog presjeka.

## *3.6. Složena stanja naprezanja*

Kod analize nosača izloženih kombinaciji nekoliko utjecaja naprezanja izračunavamo primjenjujući metodu superpozicije.

### *3.6.1. Koso savijanje*

Nosači izloženi kosom savijanju jesu nosači kod kojih se ravnina opterećenja ne poklapa s glavnim osima. Navedeno je ispunjeno kod elemenata konstrukcije ugrađenih pod nagibom, a izloženih vertikalnom opterećenju (*slika 3.5a*) ili u slučaju kad je nosač izložen opterećenju u obje ravnine (*slika 3.5b*). U oba slučaja opterećenje mora prolaziti kroz težište presjeka kako ne bi došlo do torzije (uvijanja).




*Slika 3.5 Koso savijanje: a) nosač ugrađen pod nagibom, b) nosač izložen opterećenju u obje ravnine*

Provjeru otpornosti poprečnog presjeka provodimo analizirajući utjecaj momenta savijanja oko svake osi zasebno:

$$M_{z,d} = M_d \cdot \cos\alpha \quad ; \quad M_{y,d} = M_d \cdot \sin\alpha \tag{3.20}$$

Gdje su:

$M_{z,d}$ računska vrijednost momenta savijanja oko osi *z*

$M_{y,d}$ računska vrijednost momenta savijanja oko osi *y*

$M_d$ računska vrijednost rezultirajućeg momenta savijanja

$\alpha$ kut pod kojim je element ugrađen (*slika 3.5a*) ili pod kojim djeluje rezultanta računske vrijednosti djelovanja (*slika 3.5b*).

Vrijednost najvećih naprezanja dobivamo metodom superpozicije:

$$\sigma_{m,d} = \sigma_{m,z,d} + \sigma_{m,y,d} = \frac{M_{z,d}}{W_z} + \frac{M_{y,d}}{W_y} \leq f_{m,d} \tag{3.21}$$

Gdje su:

$\sigma_{m,d}$ računska vrijednost naprezanja od savijanja

$\sigma_{m,z,d}$ računska vrijednost naprezanja od savijanja oko osi *z*

$\sigma_{m,y,d}$ računska vrijednost naprezanja od savijanja oko osi *y*

$W_z$ i $W_y$ momenti otpora oko osi *z*, odnosno osi *y*

$f_{m,d}$ računska čvrstoća na savijanje, izraz (3.5).

Provjeru posmičnih naprezanja provodimo prema izrazu:

$$\tau_{v,d} = \sqrt{\tau_{v,z,d}^2 + \tau_{v,y,d}^2} \leq f_{v,d} \tag{3.22}$$

Gdje su:

$\tau_{v,d}$ računska vrijednost posmičnog naprezanja

$\tau_{v,z,d}$ računska vrijednost posmičnog naprezanja u smjeru osi *z*

$\tau_{v,y,d}$ računska vrijednost posmičnog naprezanja u smjeru osi *y*

$f_{v,d}$ računska čvrstoća na posmik, izraz (3.7).

### *3.6.2. Vlak paralelno s vlaknima i savijanje*

Provjera otpornosti poprečnog presjeka elementa opterećenog uzdužnom vlačnom silom i (kosim) savijanjem provodi se kontrolom naprezanja paralelno s vlaknima prema izrazu:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d} + \sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} \leq 1 \tag{3.23}$$

Gdje su:

$\sigma_{t,0,d}$ računska vrijednost vlačnog naprezanja paralelno s vlaknima, izraz (3.2)

$\sigma_{m,z,d}$ i $\sigma_{m,y,d}$ računska vrijednost naprezanja od savijanja oko osi *z*, odnosno osi *y*, izraz (3.21)

$f_{t,0,d}$ računska vlačna čvrstoća paralelno s vlaknima, izraz (3.3)

$f_{m,d}$ računska čvrstoća na savijanje, izraz (3.5).

### *3.6.3. Tlak paralelno s vlaknima i savijanje*

Provjera otpornosti poprečnog presjeka elementa opterećenog uzdužnom tlačnom silom i (kosim) savijanjem provodi se kontrolom naprezanja paralelno s vlaknima prema izrazu:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_c \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d} + \sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} \leq 1 \tag{3.24}$$

Gdje su:

$\sigma_{c,0,d}$ računska vrijednost tlačnog naprezanja paralelno s vlaknima, izraz (3.13)

$\sigma_{m,z,d}$ i $\sigma_{m,y,d}$ računska vrijednost naprezanja od savijanja oko osi *z*, odnosno osi *y*, izraz (3.21)

$k_c$ koeficijent izvijanja, izraz (3.15 i 3.16)

$f_{c,0,d}$ računska tlačna čvrstoća paralelno s vlaknima, izraz (3.14)

$f_{m,d}$ računska čvrstoća na savijanje, izraz (3.5).

## *3.7. Kontrola uporabivosti*

U proračunu graničnog stanja uporabivosti provjeravamo deformaciju konstrukcije. Za provjeru najveće vrijednosti deformacije jednostavne grede opterećene kontinuiranim opterećenjem koristimo izraz:

$$u = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_{Ed} \cdot L^4}{E_{mean} \cdot I} \leq \frac{L}{250} \tag{3.25}$$

Odnosno za konzolu opterećenu kontinuiranim opterećenjem:

$$u = \frac{1}{8} \cdot \frac{q_{Ed} \cdot L^4}{E_{mean} \cdot I} \leq \frac{L}{150} \tag{3.26}$$

Gdje su:

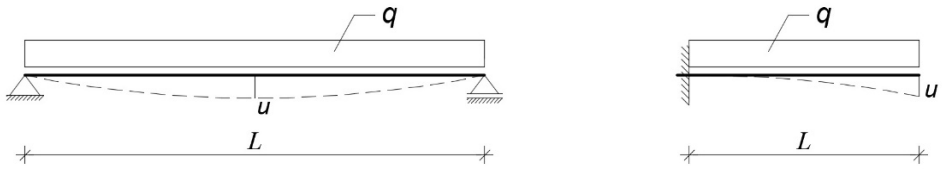
$u$ vrijednost deformacije (progiba)

$q_{Ed}$ računska vrijednost kontinuiranog opterećenja, u skladu s točkom 2.4.2.

$L$ raspon grede, odnosno dužina konzole (*slika 3.6)*

$I$ vrijednost momenta inercije oko osi oko koje se presjek savija

$E_{mean}$ srednja vrijednost modula elastičnosti (tablica 1.1).




*Slika 3.6 Deformacija: a) jednostavne grede, b) konzole*

Za ostale statičke sustave i tipove opterećenja koristimo gotove izraze ((*8.1 i 8.2*).

# 4. Dimenzioniranje čeličnih konstrukcija

## *4.1. Računske vrijednosti svojstava materijala*

Provjera graničnog stanja nosivosti temelji se na uvjetu da utjecaj svih predvidljivih djelovanja mora biti manji od otpornosti konstrukcije na ta ista djelovanja:

$$E_d \leq R_d \tag{4.1}$$

Gdje su:

$E_d$ računska vrijednost učinka djelovanja

$R_d$ računska vrijednost otpornosti.

Suvremeni način proračuna elemenata čeličnih konstrukcija uzima u obzir mogućnost plastifikacije poprečnog presjeka pa se u skladu s tim poprečni presjeci dijele na četiri klase. Radi jednostavnosti proračuna ovdje se neće uzimati mogućnost plastifikacije presjeka te će se otpornost računati prema teoriji elastičnosti (*klasa 3*).

## *4.2. Vlačni element*

Provjera otpornosti poprečnog presjeka elementa opterećenog uzdužnom vlačnom silom provodi se kontrolom računske vrijednosti uzdužne sile koja ne smije prelaziti vrijednost računske otpornosti:

$$N_{Ed} \leq N_{Rd} = \frac{A_{net} \cdot f_y}{\gamma_M} \tag{4.2}$$

Gdje su:

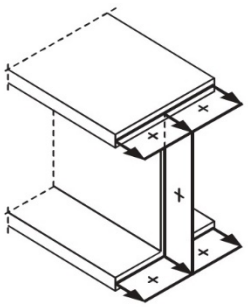
$N_{Ed}$ računska uzdužna sila

$N_{Rd}$ računska otpornost poprečnog presjeka na djelovanje uzdužne sile

$A_{net}$ neto-površina poprečnog presjeka umanjena za površinu oslabljenja

$f_y$ granica popuštanja za odabranu kvalitetu čelika (tablica 1.2)

$\gamma_M$ parcijalni koeficijent sigurnosti za otpornost poprečnog presjeka, uzimamo vrijednost 1,1 .



*Slika 4.1 Primjer presjeka opterećenog uzdužnom vlačnom silom*

## 4.3.Savijanje

Provjera otpornosti poprečnog presjeka elementa opterećenog savijanjem provodi se u presjeku s najvećim momentom savijanja, gdje računski moment savijanja ne smije prelaziti vrijednost računske otpornosti:

$$M_{Ed} \leq M_{Rd} = \frac{W_{min} \cdot f_y}{\gamma_M} \tag{4.3}$$

Gdje su:

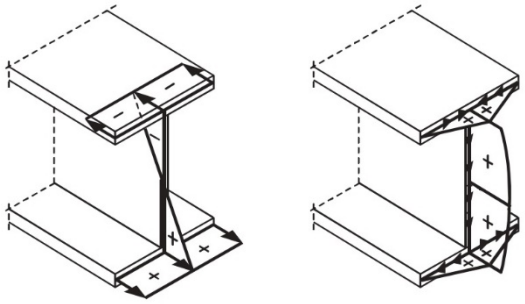
$M_{Ed}$ računski moment savijanja

$M_{Rd}$ računska otpornost poprečnog presjeka na savijanje

$W_{min}$ (manja) vrijednost momenta otpora oko osi oko koje se presjek savija

$f_y$ granica popuštanja za odabranu kvalitetu čelika (tablica 1.2)

$\gamma_M$ parcijalni koeficijent sigurnosti za otpornost poprečnog presjeka, uzimamo vrijednost 1,1.



*Slika 4.2 Primjer presjeka opterećenog poprečnom silom i momentom savijanja*

## 4.4.Posmik

Provjera otpornosti poprečnog presjeka elementa opterećenog posmikom provodi se u presjeku s najvećom poprečnom silom, gdje računska vrijednost posmične sile ne smije prelaziti vrijednost računske otpornosti:

$$V_{Ed} \leq V_{Rd} = \frac{A_v \cdot \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}}\right)}{\gamma_M} \tag{4.4}$$

Gdje su:

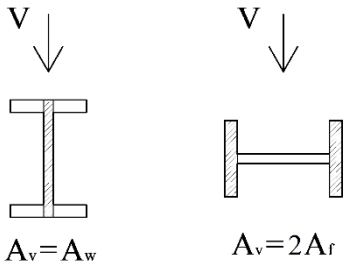
$V_{Ed}$ računska poprečna sila

$V_{Rd}$ računska otpornost poprečnog presjeka na posmik

$A_v$ površina dijela poprečnog presjeka orijentiranog „u smjeru poprečne sile“

$f_y$ granica popuštanja za odabranu kvalitetu čelika (tablica 1.2)

$\gamma_M$ parcijalni koeficijent sigurnosti za otpornost poprečnog presjeka, uzimamo vrijednost 1,1.




*Slika 4.3 Prikaz površine poprečnog presjeka koji preuzima djelovanje poprečne sile*

## *4.5. Tlačni element*

### *4.5.1. Otpornost poprečnog presjeka*

Kod elemenata opterećenih uzdužnom tlačnom silom postoji opasnost od deformiranja uzdužne osi, odnosno izvijanja. Iz navedenog razloga potrebno je provesti dokaz stabilnosti.

Provjera otpornosti poprečnog presjeka elementa opterećenog uzdužnom tlačnom silom provodi se kontrolom računske vrijednosti uzdužne sile koja ne smije prelaziti vrijednost računske otpornosti:

$$N_{Ed} \leq N_{Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_M} \tag{4.6}$$

Gdje su:

$N_{Ed}$ računska uzdužna sila

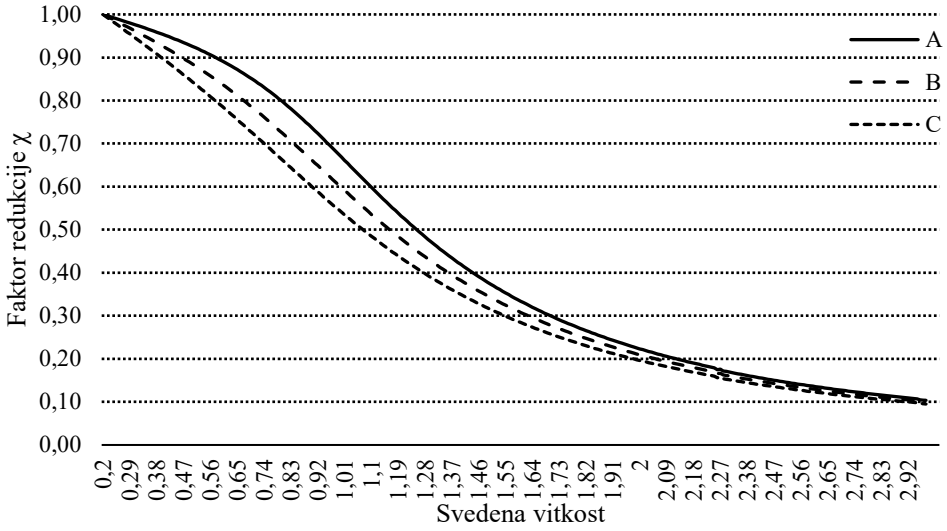
$N_{Rd}$ računska otpornost poprečnog presjeka na djelovanje uzdužne sile

$\chi$ koeficijent redukcije koji uzima u obzir opasnost od izvijanja (*8.5 Europske krivulje izvijanja*)

$A$ površina poprečnog presjeka

$f_y$ granica popuštanja za odabranu kvalitetu čelika (tablica 1.2)

$\gamma_M$ parcijalni koeficijent sigurnosti za otpornost poprečnog presjeka, uzimamo vrijednost 1,1.




*Slika 4.4 Dijagram europskih krivulja izvijanja za čelične štapove*

Suvremeni način proračuna elemenata čeličnih konstrukcija uzima u obzir mogućnost plastifikacije poprečnog presjeka pa se u skladu s time poprečni presjeci dijele na četiri klase. Radi jednostavnosti proračuna ovdje se neće uzimati mogućnost plastifikacije presjeka te će se otpornost računati prema teoriji elastičnosti, što odgovara europskoj krivulji izvijanja C.



Kontrolu izvijanja potrebno je provesti oko slabije osi, odnosno oko osi oko koje je moguće izvijanje. Pritom treba voditi računa da izvijanje oko osi *z* odgovara gubitku stabilnosti u smjeru osi *y* i obrnuto. Ako je omogućeno izvijanje oko obiju osi ili nije očito koja je slabija os, potrebno je provesti kontrolu oko obiju osi.

### *4.5.2. Vitkost*

Vrijednost koeficijenta redukcije koji uzima u obzir opasnost od izvijanja $\chi$ očitavamo iz krivulja izvijanja, koje su u aktualnim propisima podijeljene na: $a_0$, $a$, $b$, $c$ i $d$. Radi pojednostavljenja izračuna ovdje uzimamo da je za sve slučajeve mjerodavna krivulja izvijanja $c$ (slika 4.4). Koeficijent redukcije koji uzima u obzir opasnost od izvijanja $\chi$ ovisi o svedenoj vitkosti koja se izračunava:

$$\overline{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} \tag{4.7}$$

Gdje su:

$\overline{\lambda}$ svedena vitkost

$\lambda$ vitkost

$\lambda_1$ vitkost pri kojoj je kritični napon izvijanja jednak granici popuštanja.

Vitkost $\lambda$ određujemo pomoću izraza:

$$\lambda = \frac{l_i}{i_{min}} \tag{4.8}$$

Gdje su:

$l_i$ dužina izvijanja tlačno opterećenog elementa (stupa)

$i_{min}$ manja vrijednost radijusa inercije poprečnog presjeka (tablični podatak).

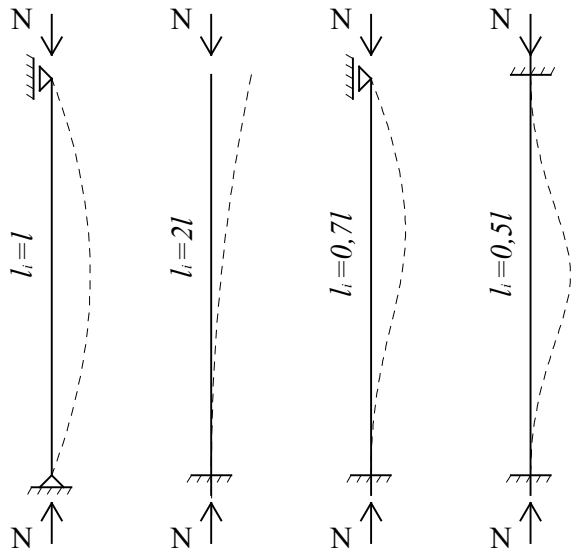
Dužinu izvijanja $l_i$ određujemo ovisno o rubnim uvjetima i dužini elementa $l_0$ *(slika 4.5)*.

Vrijednost $\lambda_1$, koja predstavlja vitkost pri kojoj je kritični napon izvijanja jednak granici popuštanja, određujemo pomoću izraza:

$$\lambda_1 = 93{,}9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} \tag{4.9}$$

Ili očitamo iz tablice:

| | | |
|---|---|---|
| S235 | $f_y = 235\ N/mm^2$ | $\lambda_1 = 93{,}9$ |
| S275 | $f_y = 275\ N/mm^2$ | $\lambda_1 = 86{,}8$ |
| S355 | $f_y = 355\ N/mm^2$ | $\lambda_1 = 76{,}4$ |




*Slika 4.5 Oblici izvijanja tlačno opterećenog elementa ovisno o rubnim uvjetima*

## *4.6.Složena stanja naprezanja*

Kod analize nosača izloženih kombinaciji nekoliko utjecaja naprezanja izračunavamo primjenjujući metodu superpozicije.

### *4.6.1. Element izložen uzdužnoj sili i savijanju*

Provjera otpornosti poprečnog presjeka elementa opterećenog uzdužnom silom i savijanjem provodi se prema izrazu:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} \leq 1 \qquad (4.10)$$

Gdje su:

$N_{Ed}$ računska uzdužna sila

$M_{z,Ed}$ i $M_{y,Ed}$ računski moment savijanja oko osi *z*, odnosno osi *y*

$N_{Rd} = \frac{A_{net} \cdot f_y}{\gamma_M}$ računska otpornost poprečnog presjeka na djelovanje uzdužne vlačne sile, izraz (4.2)

$N_{Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_M}$ računska otpornost poprečnog presjeka na djelovanje uzdužne tlačne sile, izraz (4.6)

$M_{y,Rd} = \frac{W_y \cdot f_y}{\gamma_M}$ računska otpornost poprečnog presjeka na savijanje oko osi *y*, izraz (4.3)

$M_{z,Rd} = \frac{W_z \cdot f_y}{\gamma_M}$ računska otpornost poprečnog presjeka na savijanje oko osi *z*, izraz (4.3).

## *4.7. Kontrola uporabljivosti*

U proračunu graničnog stanja uporabljivosti provjeravamo deformaciju konstrukcije. Za provjeru najveće vrijednosti deformacije jednostavne grede opterećene kontinuiranim opterećenjem koristimo izraz:

$$u = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_{Ed} \cdot L^4}{\mathrm{E} \cdot I} \leq \frac{L}{250} \tag{4.11}$$

Odnosno za konzolu opterećenu kontinuiranim opterećenjem:

$$u = \frac{1}{8} \cdot \frac{q_{Ed} \cdot L^4}{\mathrm{E} \cdot I} \leq \frac{L}{150} \tag{4.12}$$

Gdje su:

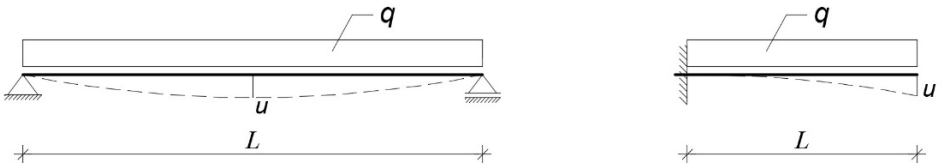
$u$ vrijednost deformacije (progiba)

$q_{Ed}$ računska vrijednost kontinuiranog opterećenja, u skladu s točkom 2.4.2.

$L$ raspon grede, odnosno dužina konzole (*slika 4.6)*

$E$ modul elastičnosti koji za čelik iznosi $E = 210\,000\ N/mm^2$

$I$ vrijednost momenta inercije oko osi oko koje se presjek savija.




*Slika 4.6 Deformacija: a) jednostavne grede, b) konzole*

Za ostale statičke sustave i tipove opterećenja koristimo gotove izraze (*8.1 i 8.2*).

# 5. Konstruktivni sustavi

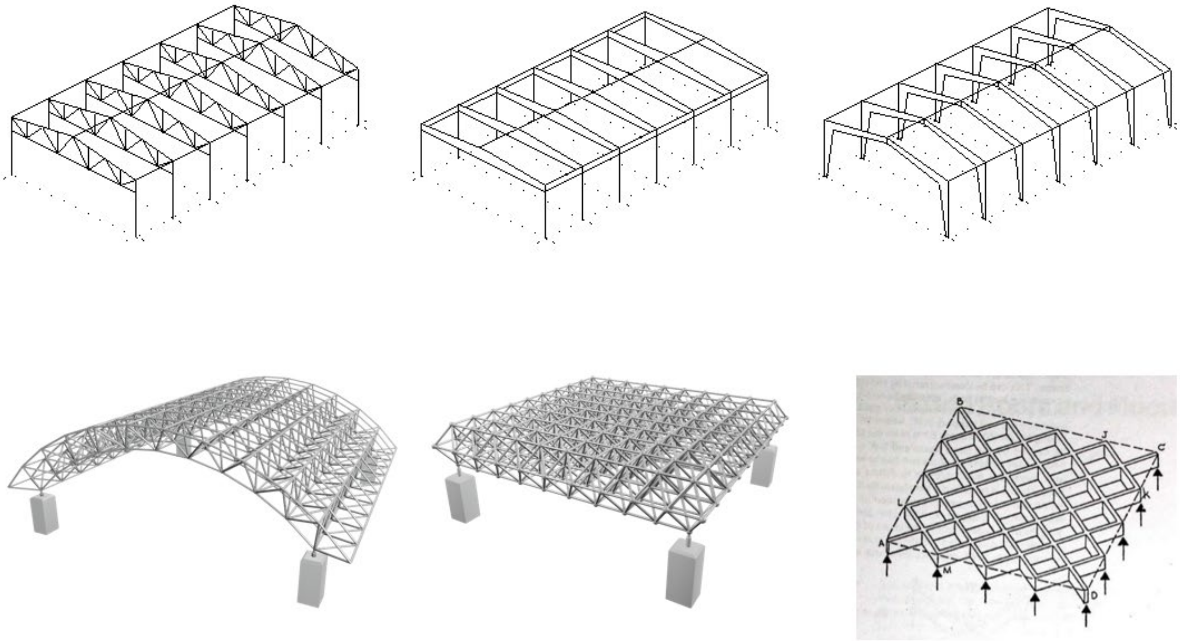
## *5.1. Vrste konstruktivnih sustava*

### *5.1.1. Općenito*

Nosiva čelična ili drvena konstrukcija jest sustav u objektu koji ima funkciju preuzimanja i prijenosa opterećenja uz dostatnu nosivost svakoga od pojedinih elemenata sustava konstrukcije. Pojedini elementi konstrukcije prenose opterećenja od krovnih ploha, pa sve do temelja u temeljno tlo. Sustavi nosača i stupova od čeličnih ili drvenih elemenata napregnuti su pod djelovanjem opterećenja na osnovna naprezanja od tlaka, vlaka i savijanja, te njihovu kombinaciju. Uz navedena stanja naprezanja potrebno je također osigurati lokalnu i globalnu stabilnost elemenata.

Osnovna podjela nosive konstrukcije s obzirom na njen sustav jest na:

- ravninske i
- prostorne sustave.



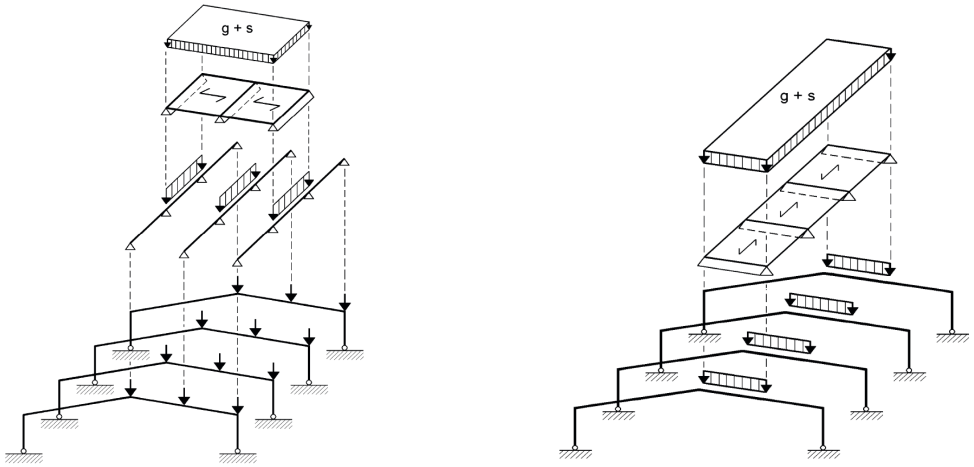
*Slika 5.1 Prikaz primjera ravninskog sustava (gore) i prostornog sustava (dolje)*

Sustavi nosača i stupova tvore statički određene ili neodređene, ravninske ili prostorne okvire, skelete i ljuske. Osnovna (glavna) konstrukcija preuzima stalno (gravitacijsko) i korisno (pokretno) opterećenje od nosača pokrova (sekundarne konstrukcije) ili stropne konstrukcije (pokrov) te zatim opterećenje preko stupova predaje temeljima.

### *5.1.2. Ravninski sustavi*

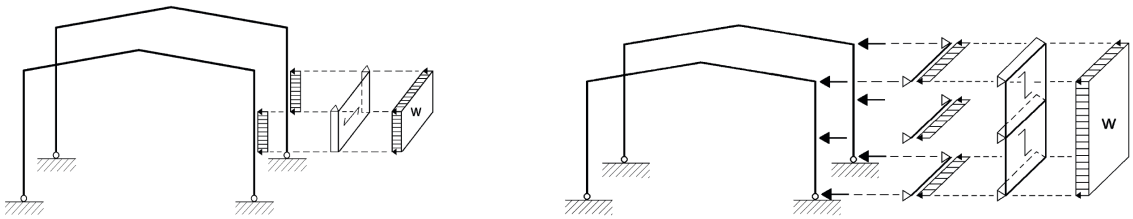
Kod ravninskih sustava osnovni je oblik glavne nosive konstrukcije - ravninski nosač sa stupovima ili okvir, s različitim statičkim ponašanjem.

Osnovni princip prijenosa površinskoga vertikalnog opterećenja (vl. težina + snijeg) u odnosu na elemente pokrova konstrukcije prikazan je na slici 5.2.




*Slika 5.2 Prikaz prijenosa vertikalnog opterećenja sa sekundarnih nosača na gl. nosač (lijevo) ili preko plošnih elemenata na gl. nosač (desno)*

Glavna nosiva konstrukcija uz vertikalno opterećenje preuzima i horizontalno opterećenje (vjetar, potres). Kod laganih konstrukcija od drva i čelika u većini je slučajeva kod djelovanja horizontalnog opterećenja mjerodavan vjetar. Prikaz prijenosa horizontalnog opterećenja vjetrom dan je na slici 5.3.

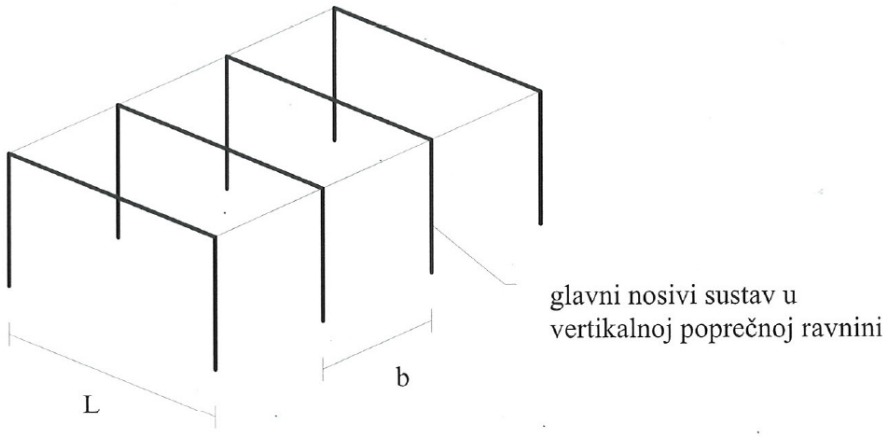



*Slika 5.3 Prikaz prijenosa horizontalnog opterećenja s fasadne obloge direktno na stupove (lijevo) ili preko horizontalnih nosača fasadne obloge na stupove (desno)*

Prilikom oblikovanja konstrukcije pomoću ravninskog sustava vrlo je važan razmak između glavnoga nosivoga konstrukcijskog sustava. Razmak koji bi trebalo poštovati kod oblikovanja, a za koji se pokazalo u praksi da daje najbolje rezultate, glasi:

$$b \cong (0{,}3 - 0{,}5)L \tag{5.1}$$

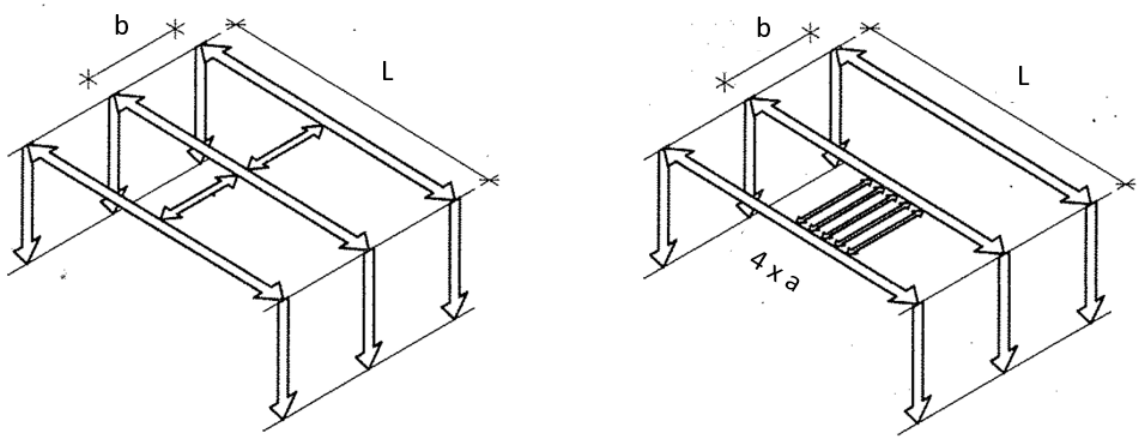
Gdje je na slici 5.4 vidljivo na koje se dimenzije odnosi b i L u izrazu 5.1:




*Slika 5.4 Prikaz razmaka i raspona nosivog sustava*

Kod ravninskog sustava, kako je prije već spomenuto, opterećenje se sa sekundarnih nosača ili s krovne plohe prenosi na glavne nosače. Osnovni princip prijenosa prikazan je na slici 5.2.

Princip analize opterećenja ravninskih sustava jest takav da se površinska opterećenja s krovne plohe prenose na sekundarne nosače ili glavne nosače i pretvaraju u pripadajuća linijska opterećenja po sljedećem principu:




*Slika 5.5 Prikaz prijenosa opterećenja direktno s krovne plohe na gl. nosač (lijevo) i preko sek. nosača na razmaku a na gl. nosač (desno)*

Izraz za izračun linijskog opterećenja na sekundarni nosač ako imamo računsko opterećenje s krovne plohe glasi:

$$q_{Ed,lin1} = a \cdot q_{Ed} \tag{5.2}$$

Gdje su:

$q_{Ed,lin1}$ linijsko računsko opterećenje koje djeluje na sekundarni nosač

$a$ razmak sekundarnih nosača

$q_{Ed}$ računsko površinsko opterećenje koje djeluje na krovnu plohu

Ako se pak površinsko opterećenje preko plohe direktno prenosi na glavni nosač, onda vrijedi shema sa slike 5.5 (lijevo) i sljedeći izraz:

$$q_{Ed,lin2} = b \cdot q_{Ed} \tag{5.3}$$

Gdje su:

$q_{Ed,lin2}$ linijsko računsko opterećenje koje djeluje na srednji glavni nosač

$a$ razmak sekundarnih nosača

$q_{Ed}$ računsko površinsko opterećenje koje djeluje na krovnu plohu.

### *5.1.3. Prostorni sustavi*

Odabir konstrukcija s prostornim sustavom opravdan je kada se radi o zatvaranju velikog prostora kružnog i približno kvadratnog tlocrta ili je tlocrt nepravilna poligonalnog oblika. U tom slučaju poželjno je da su stupovi ravnomjerno raspoređeni po obodu prostora koji se zatvara. Kako bi se uopće mogla formirati prostorna konstrukcija, važno je da omjer širine i duljine tlocrtnih dimenzija prostora koji se planira natkriti bude:

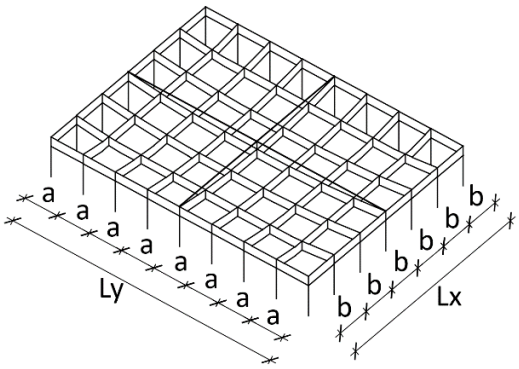
$$L_X : L_Y = \max 1:2 \tag{5.4}$$

Gdje su:

$L_Y$ tlocrtna duljina prostora koji se natkriva

$L_X$ tlocrtna širina prostora koji se natkriva.

Analiza opterećenja i pretvaranje površinskog opterećenja na linijsko malo je složenija u odnosu na ravninske sustave. Razlog je tome što kod ovakvih sustava opterećenje s krovne ravnine odlazi na glavne nosače koji su postavljeni u oba smjera.




*Slika 5.6 Prikaz roštiljne konstrukcije*

Uz pretpostavku da su glavni nosači u oba smjera od istog materijala i istih dimenzija, raspodjela površinskog opterećenja *q* na glavne nosače u smjeru *x*, odnosno *y*, dobiva se primjenom izraza :

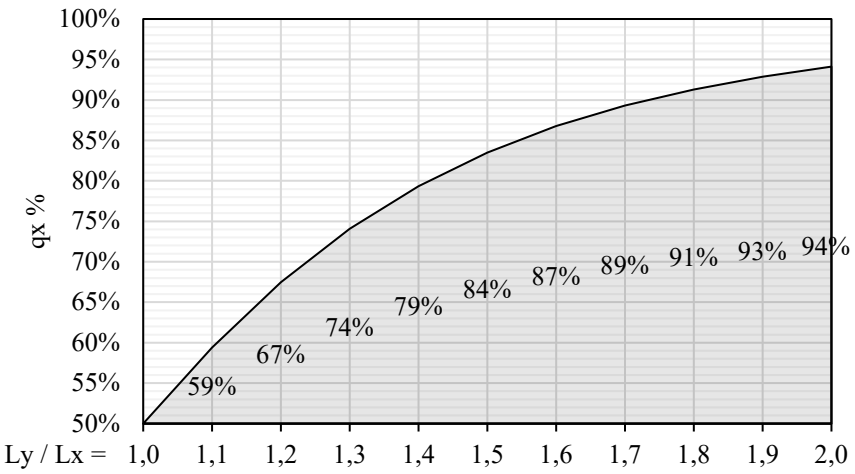
$$q_x = q\frac{L_y^4}{L_x^4 + L_y^4} \quad \text{i} \quad q_y = q\frac{L_x^4}{L_x^4 + L_y^4} \tag{5.2}$$

Kako se ne bi pogriješilo, potrebno je imati na umu da je kraći smjer krući pa će on više sudjelovati u preuzimanju opterećenja.

Ako je ispunjeno *Lx* < *Ly*, u nastavku dimenzioniramo samo glavni nosač na rasponu *Lx* kao da je ravninski nosač statičkog sustava jednostavne grede. Linijsko opterećenje dobijemo umnoškom dobivenoga površinskog opterećenja koji otpada na smjer *x* s pripadajućim razmakom glavnih nosača *a*.

*Tablica 5.4 Postotak ukupnog opterećenja za smjer x i y dvosmjernih roštilja*

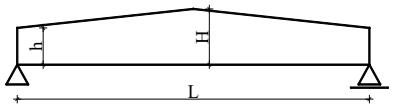
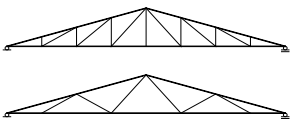
| Ly/Lx | qx% | qy% |
|---|---|---|
| 1,0 | 50% | 50% |
| 1,1 | 59% | 41% |
| 1,2 | 67% | 33% |
| 1,3 | 74% | 26% |
| 1,4 | 79% | 21% |
| 1,5 | 84% | 16% |
| 1,6 | 87% | 13% |
| 1,7 | 89% | 11% |
| 1,8 | 91% | 9% |
| 1,9 | 93% | 7% |
| 2,0 | 94% | 6% |

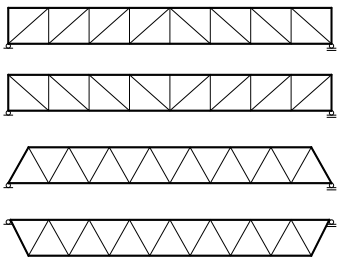
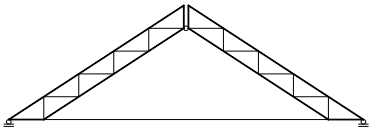
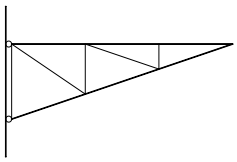
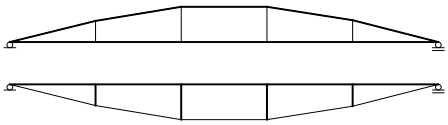
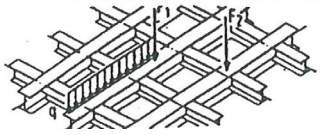
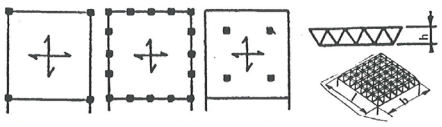



### *5.1.4. Preliminarno određivanje dimenzija konstruktivnih sustava*

Prije proračuna konstrukcije i dimenzioniranja elemenata moguće je preko jednostavnih izraza, koji u obzir uzimaju raspon konstrukcije i vrstu nosača, dobiti preliminarne visine elemenata. Podjela prema vrsti nosača i materijalu dana je u tablici 5.2.

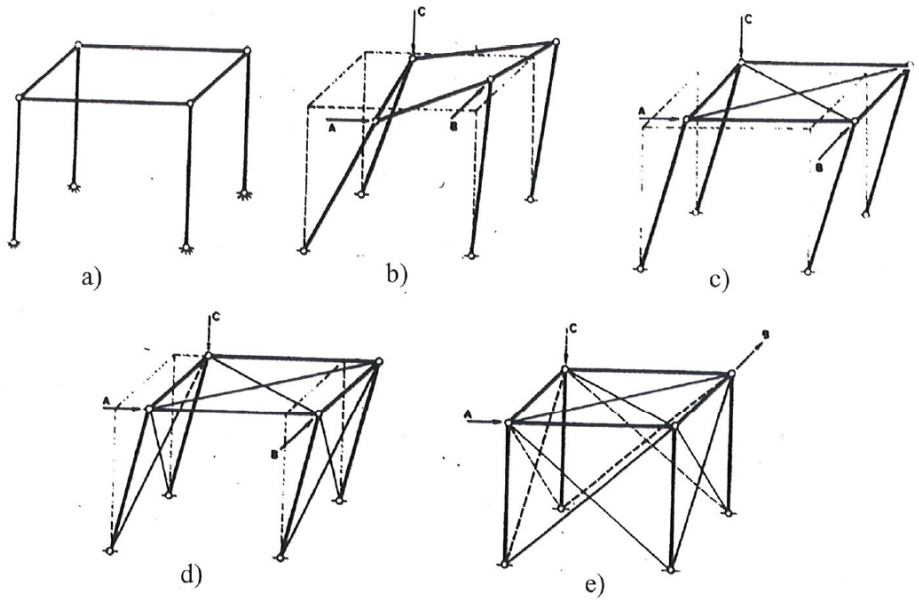
*Tablica 5.5 Preliminarne dimenzije nosača u odnosu na konstruktivni sustav i materijal*

| **Čelik** | **Vrsta nosača** | **Drvo** |
|---|---|---|
| Raspon:<br>$L_{max}$≈30 m<br>Potrebna visina nosača:<br>$H_{min}$ ≈ L/25 – L/30 | <br>Jednostavna greda | Raspon:<br>$L_{max}$≈30 m<br>Potrebna visina nosača:<br>$H_{min}$ ≈ L/16 – L/20 |
| |  <br>Slobodno oslonjena greda promjenjive visine | Raspon:<br>$L_{max}$≈35 m<br>Potrebna visina nosača:<br>$H_{min}$≈L/15<br>h≈L/30 |
| Raspon:<br>$L_{max}$≈40 m<br>Potrebna visina nosača:<br>L/7<$H_{pot}$<L/4 |  <br>Trokutasti nosači s dijagonalama i vertikalama (različita ispuna) | Raspon:<br>$L_{max}$≈30 m<br>Potrebna visina nosača:<br>L/7<$H_{pot}$<L/4 |

| | | |
|---|---|---|
| Raspon:<br>$L_{max}$≈100 m<br>Potrebna visina nosača:<br>L/15<$H_{pot}$<L/8 |  <br>Nosači s paralelnim pojasima, ispuna:<br>Howe, Pratt, Warren | Raspon:<br>$L_{max}$≈40 m<br>Potrebna visina nosača:<br>L/10<$H_{pot}$<L/8 |
| Raspon:<br>$L_{max}$≈100 m<br>Potrebna visina nosača (razmak pojasnica):<br>L/15<$H_{pot}$<L/8 |  <br>Nosači s nadvišenjem i zategom | Raspon:<br>$L_{max}$≈50 m |
| Raspon:<br>$L_{max}$≈15 m<br>Potrebna visina nosača:<br>L/7<$H_{pot}$<L/4 |  <br>Rešetkaste konzole | |
| Raspon:<br>$L_{max}$≈20-40 m<br>Potrebna visina nosača:<br>L/18<$H_{pot}$<L/16 |  <br>Poduprte i ovješene grede | Raspon:<br>$L_{max}$≈30 m<br>Potrebna visina nosača:<br>$H_{min}$≈L/16 |
| Raspon:<br>$L_{max}$≈100 m<br>$L_X : L_Y = \max 1:2$<br>Potrebna visina nosača:<br>$H_{min}$≈L/20 |  <br>Prostorni sustav (Roštilj) | |
| Raspon:<br>$L_{max}$≈150 m<br>$L_X : L_Y = \max 1:1{,}5$<br>Potrebna visina nosača:<br>$H_{min}$≈L/25 |  <br>Prostorni rešetkasti sustav | |

## *5.2.Stabilizacija*

Zadaća stabilizacije jest osigurati prijenos svih djelovanja na konstrukciju do temelja, i to tako da je osigurana globalna stabilnost konstrukcije. Pretpostavlja se, dakle, da elementi pojedinačno mogu preuzeti djelovanja i da sami nisu podložni velikim deformacijama.




*Slika 5.7 Prikaz načina rješavanja globalne stabilizacije*

Najjednostavniji prikaz ideje stabiliziranja dan je na slici 5.7., uz pretpostavku da su svi elementi zglobno vezani.

Prvi je korak stabiliziranje horizontalne ravnine ugradnjom dvaju dijagonalnih štapova. Tako se formira horizontalni vez. Ovim načinom točke horizontalne ravnine ostvaruju pomak zbog djelovanja, ali ne dolazi do relativnih pomaka jedne točke u odnosu na drugu (slika 5.7c).

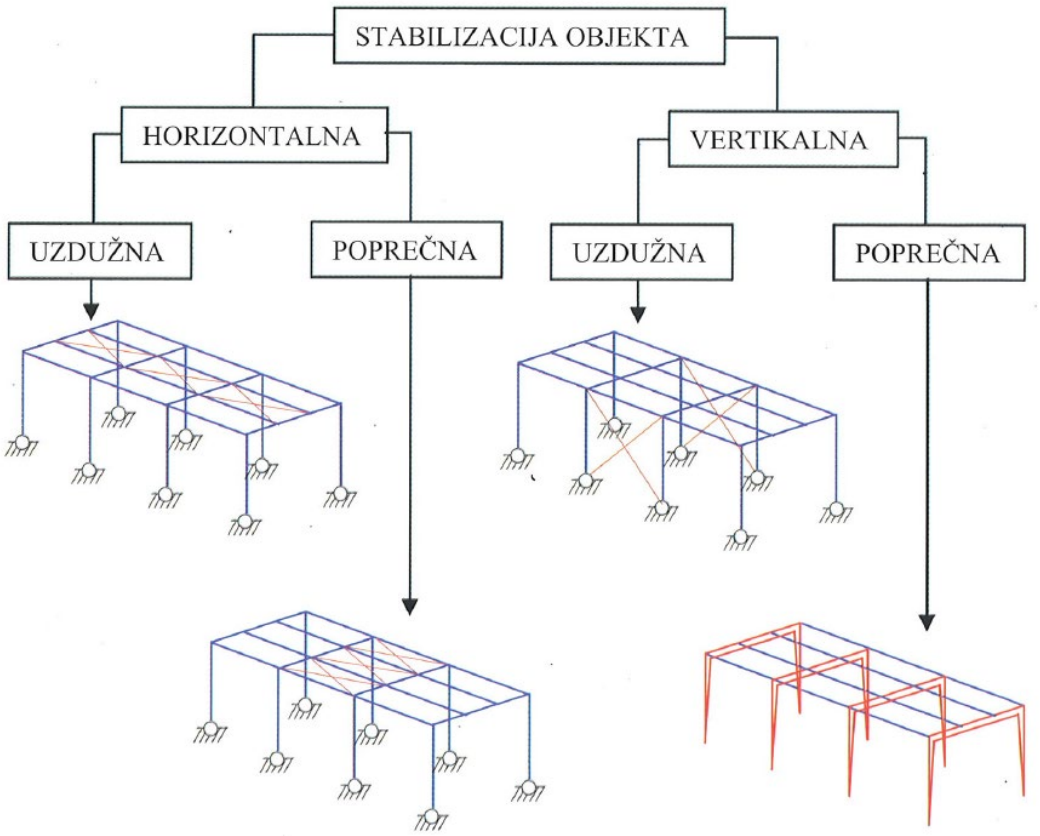
Kako bi se horizontalna sila B prenijela do temelja, postavljaju se u dvjema vertikalnim ravninama dijagonalni štapovi tvoreći dvije vertikalne rešetke, što je vidljivo na slici 5.7d.

Zbog djelovanja horizontalne sile C još su mogući pomaci u smjeru djelovanja promatrane sile. Prema tome, analogno prethodnom koraku postavljaju se u objema vertikalnim ravninama dijagonalni štapovi kako bi se spriječili relativni pomaci jedne točke u odnosu na drugu.

Na ovomu je primjeru pokazano rješenje stabilizacije pomoću ugradnje tzv. vezova. Međutim, stabilizacija se može izvesti i pomoću drugih konstrukcijskih elemenata. Tako npr. za horizontalnu stabilizaciju to mogu biti elementi koji tvore posmično krutu ploču (AB ploča, OSB ploče), a za vertikalnu to mogu biti okvirni sustavi s posmičnim poljima (zidovi).

Općenito govoreći, svaka građevina mora imati 4 dijela ukupne stabilizacije objekta:

1) vertikalnu uzdužnu
2) vertikalnu poprečnu
3) horizontalnu uzdužnu
4) horizontalnu poprečnu.

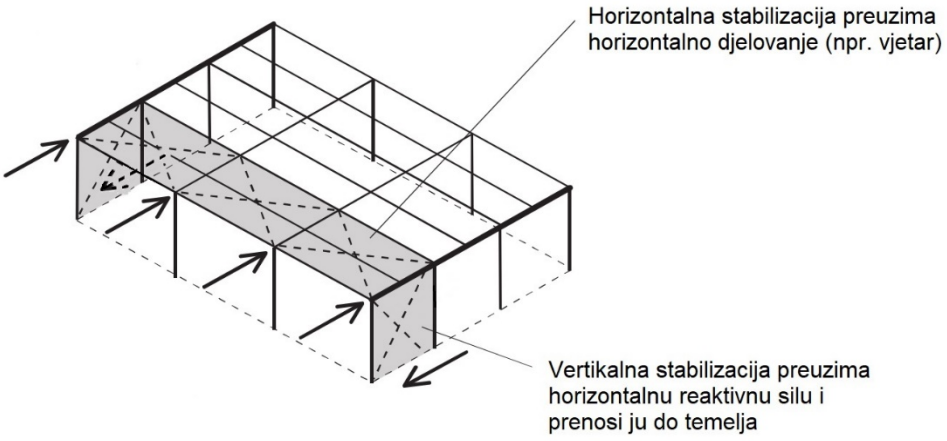



*Slika 5.8 Prikaz vrsta stabilizacije na objektu*

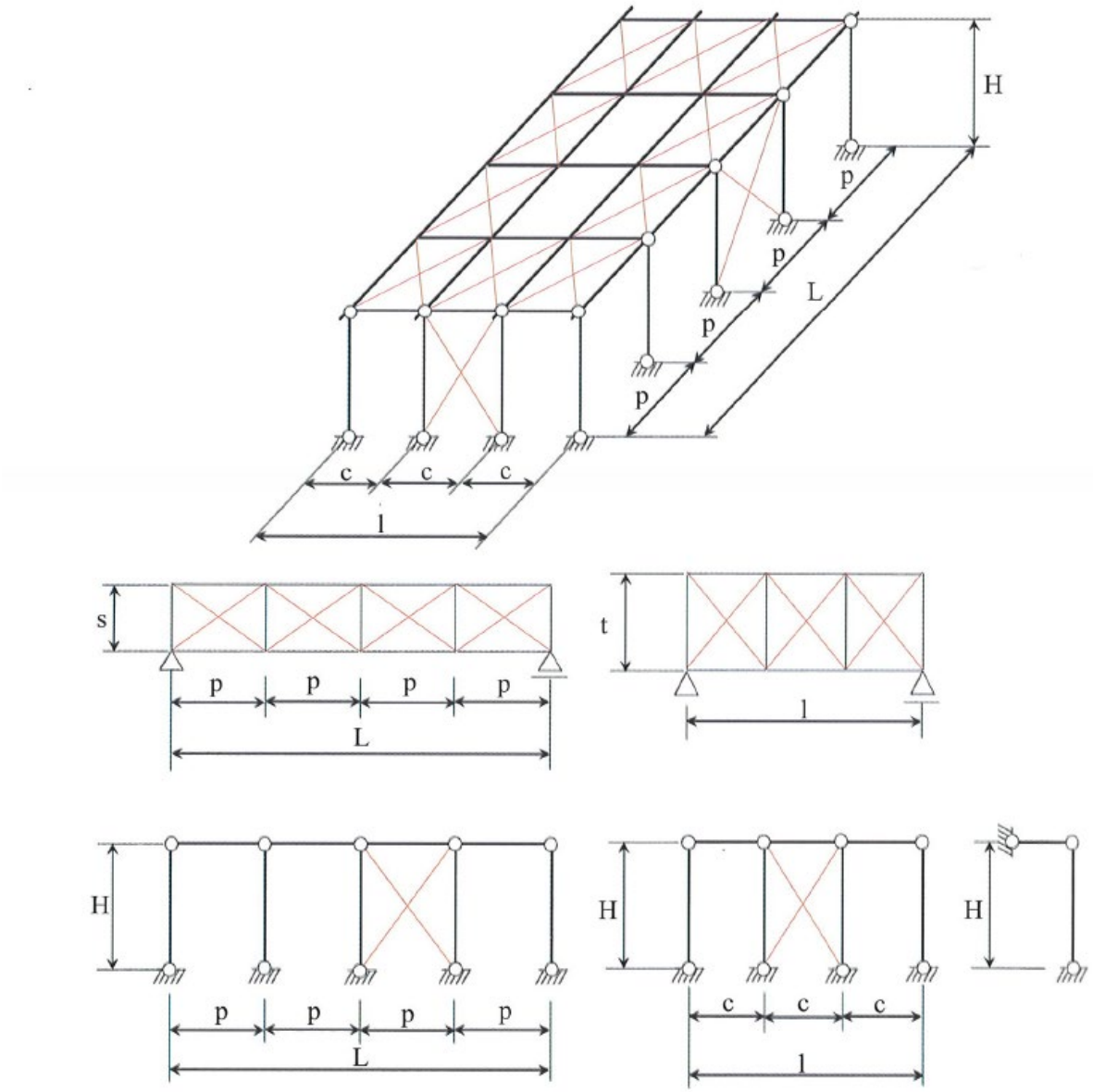
Poprečna krovna stabilizacija aktivira se za djelovanje horizontalnih sila uzduž ravnine krova. Ležajevi poprečnoga horizontalnog veza nalaze se na liniji gdje se sile mogu prenijeti u temelje. U ovomu slučaju to je linija vertikalnoga uzdužnog veza. Reakcije horizontalnoga poprečnog veza prenose se, dakle, preko podrožnica kao akcija na vertikalni uzdužni vez.

Analogno vrijedi i za djelovanje horizontalnih sila okomito na ravninu i u visini krova. Aktivira se u tom slučaju horizontalni uzdužni vez koji ima ležajeve na mjestima vertikalnoga poprečnog veza.

Uobičajeno je da se HUS izvodi uz uzdužne rubne dijelove krovne ravnine, dok se HPS postavlja u prvo i posljednje polje (ili u neposrednu blizinu, npr. drugo i pretposljednje), te u svako peto-šesto polje.




*Slika 5.9 Prikaz prijenosa horizontalne sile putem stabilizacije*



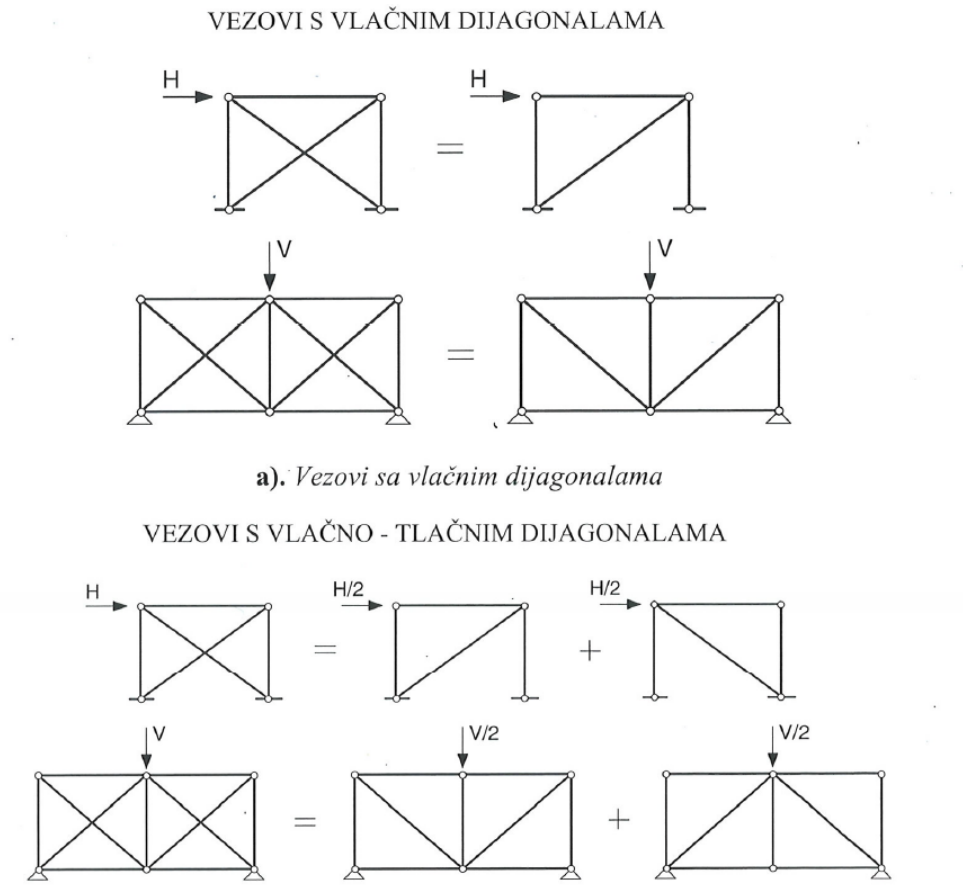

*Slika 5.10 Prikaz statičkih sustava pojedinih dijelova stabilizacije sustava*

Vezovi se također razlikuju prema tipu poprečnog presjeka:

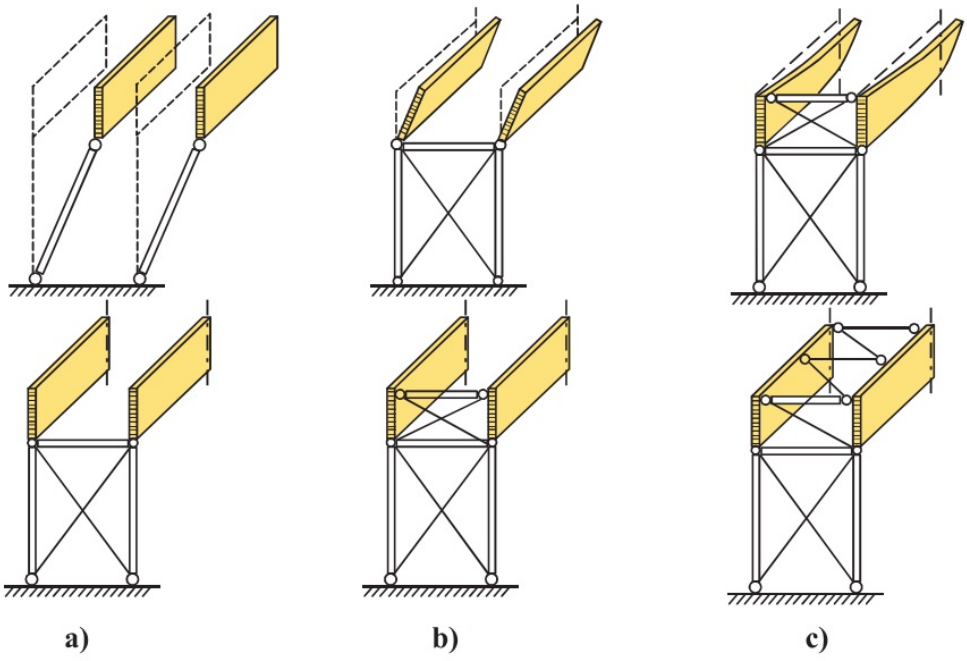
1) vezovi s vlačnim dijagonalama
2) vezovi s vlačno-tlačnim dijagonalama.

Kad se npr. za dijagonale primijene puni poprečni presjeci vrlo velike vitkosti, u slučaju pojave i najmanje tlačne sile takav će se element elastično izviti i neće dalje sudjelovati u prijenosu sila. Takav sustav je sustav s vlačnim dijagonalama (slika 5.11a).

Kod sustava s vlačno-tlačnim dijagonalama (slika 5.11b) pretpostavlja se da je otpornost i vlačnih i tlačnih elemenata veća od sila u tim elementima zbog vanjskih djelovanja. Ovdje se najčešće radi o šupljim čeličnim poprečnim presjecima.



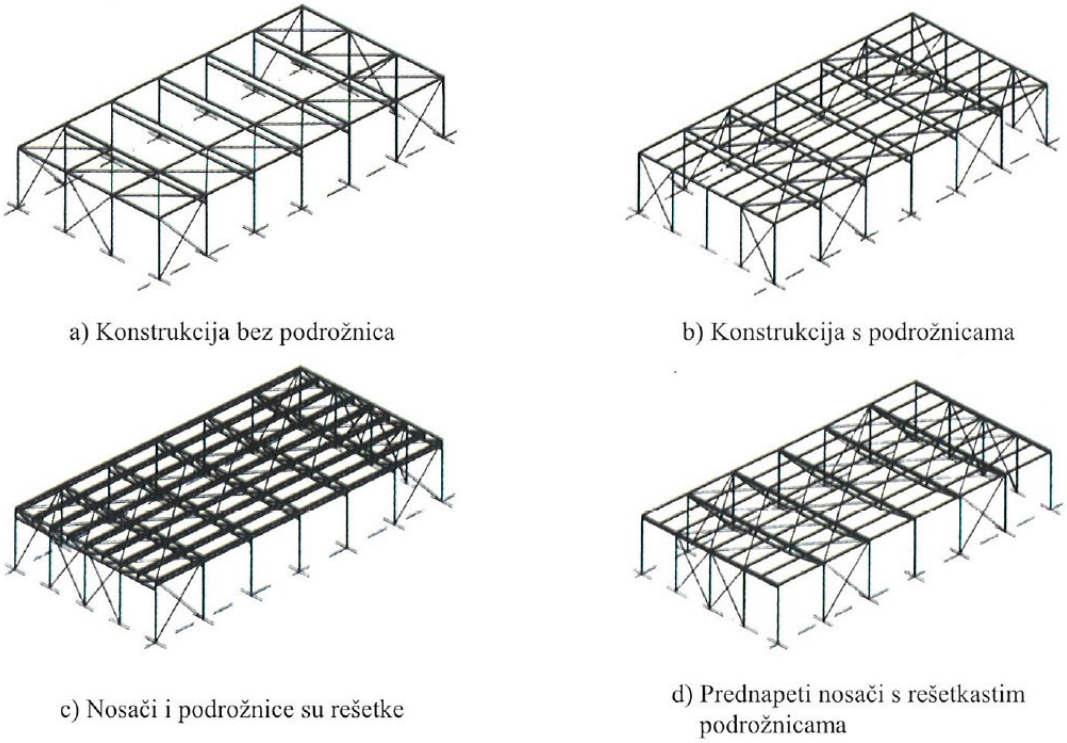

*Slika 5.11 Prikaz vrste vezova (vlačni i vlačno-tlačni)*




*Slika 5.12 Prikaz rješavanja stabilizacije kod složenijih konstrukcija*

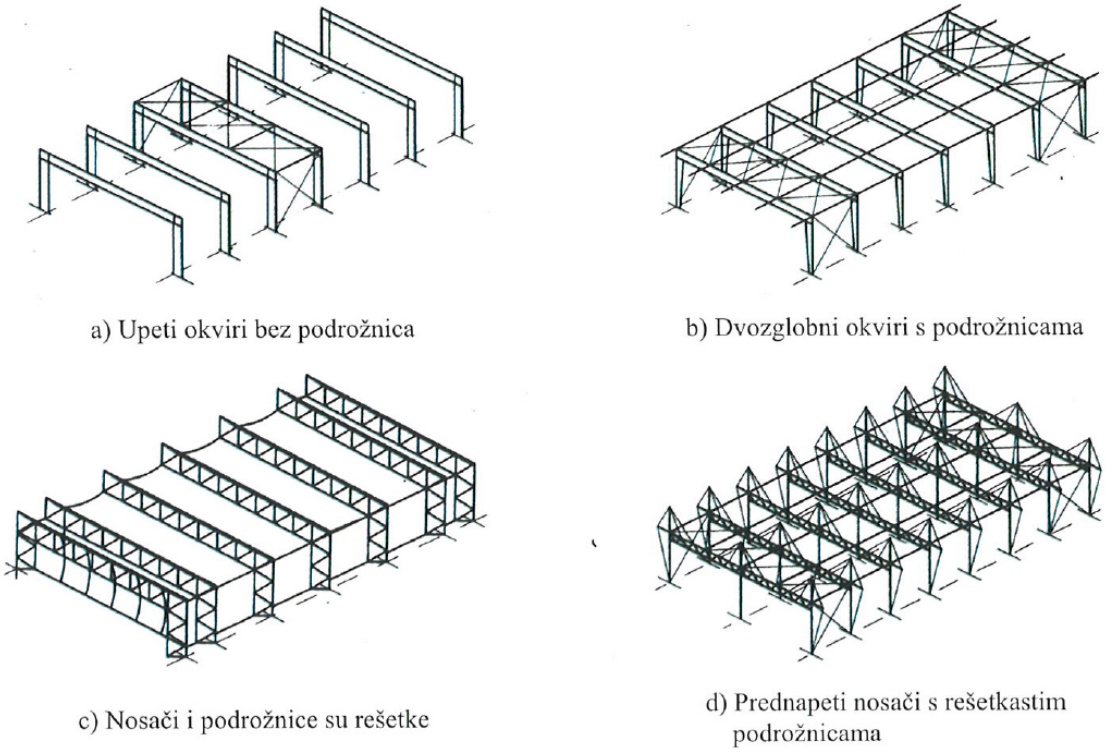
## 5.3. Primjeri različitih konstruktivnih sustava

**Hale sa stupovima i nosačima**



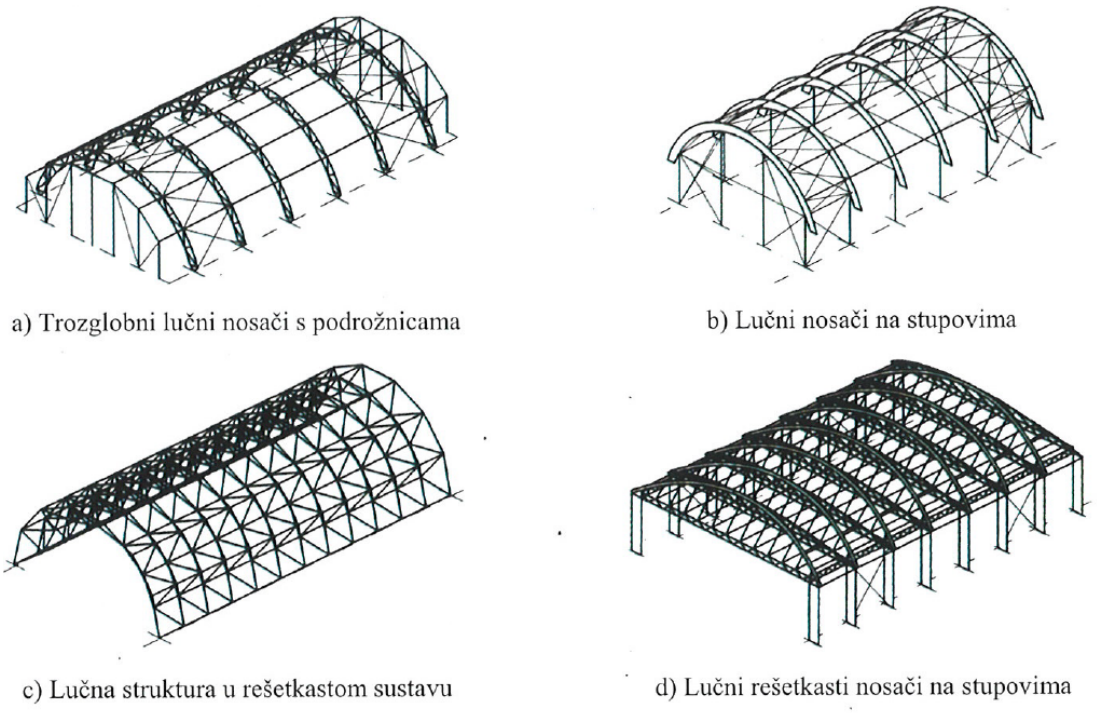

*Slika 5.13 Hale izvedene sa stupovima i nosačima*

**Hale s okvirima**



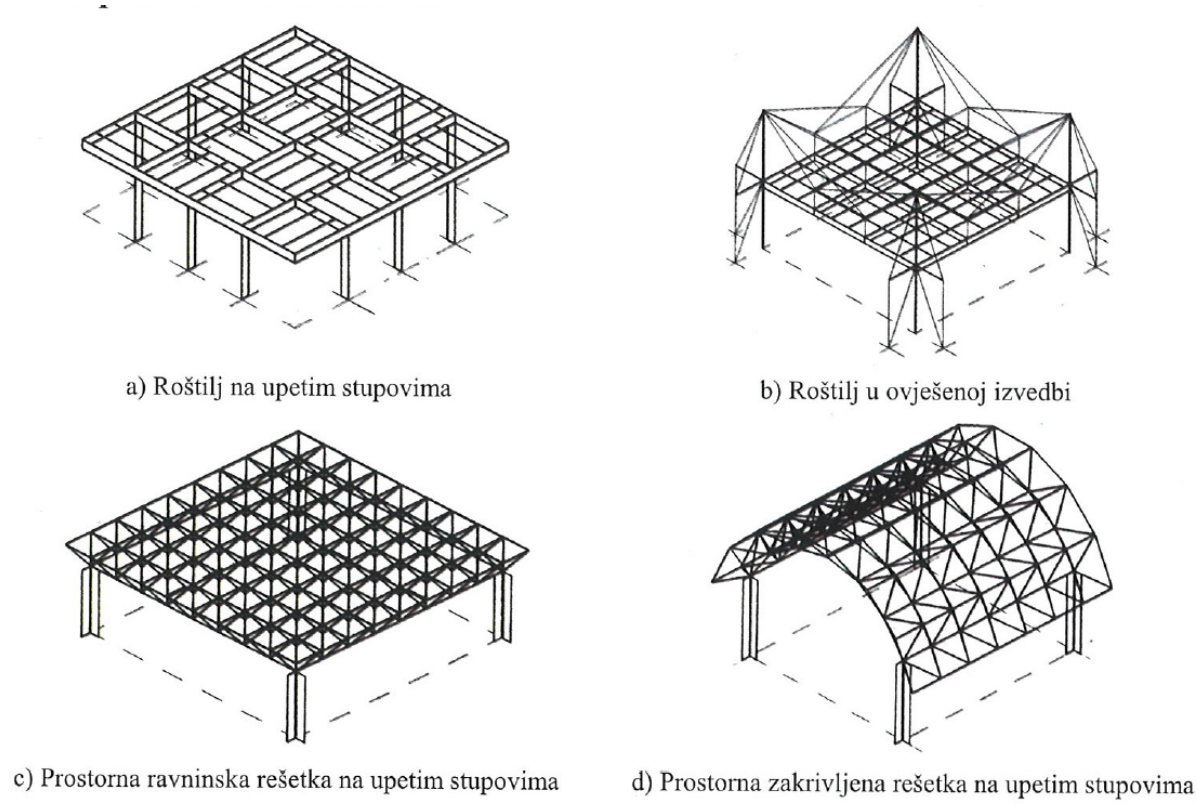

*Slika 5.14 Hale izvedene s okvirnim sustavima*

**Hale s lučnim nosačima**




*Slika 5.16 Hale izvedene s lučnim nosačima*

**Hale s prostornim sustavima**




*Slika 5.16 Hale izvedene s prostornim sustavima*

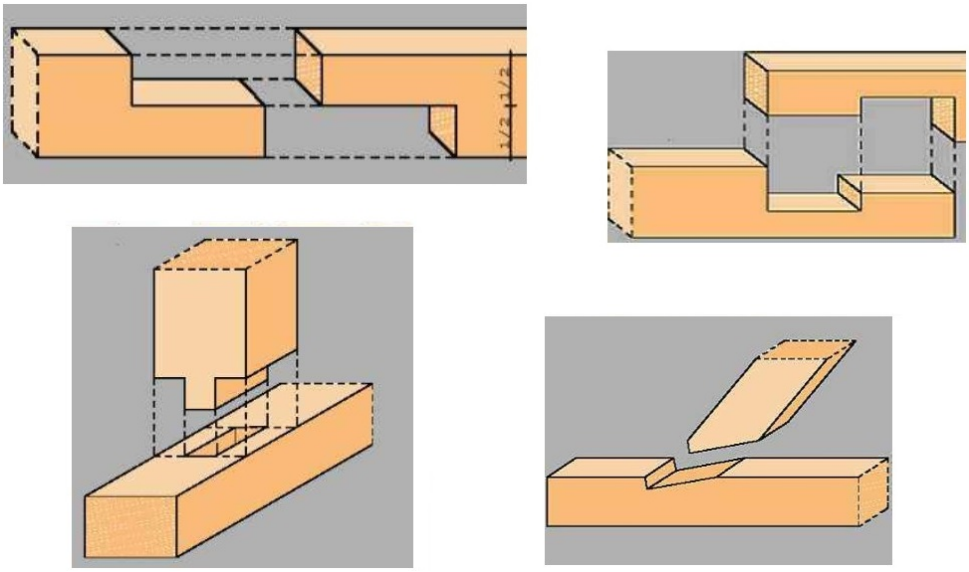
# 6. Spojevi i spojna sredstva

## *6.1.Spojevi u drvenim konstrukcijama*

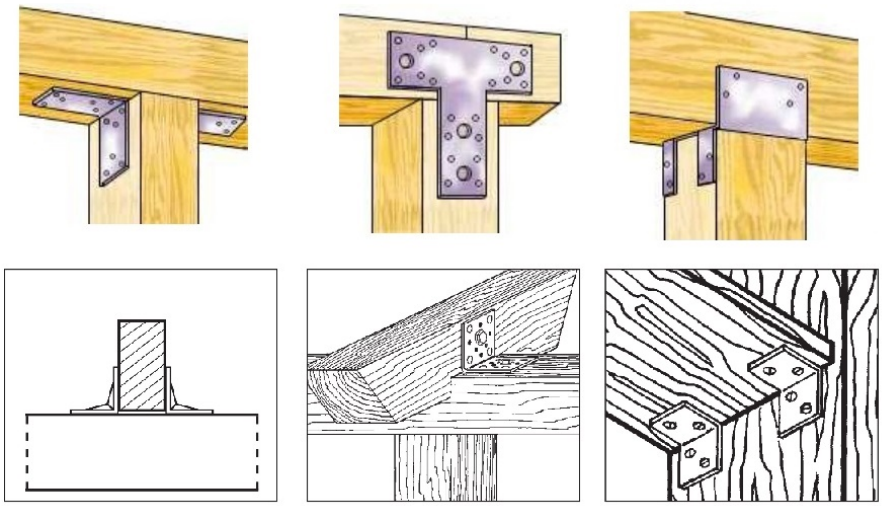
Nastavci i spojevi u drvenim konstrukcijama mogu se podijeliti u dvije skupine:

1) tesarski i konstruktivni spojevi
2) nosivi spojevi.

Tesarski spojevi rezultat su prakse izvođenja drvenih konstrukcija, dok konstruktivni spojevi osiguravaju poziciju elementa na mjestu ugradnje. Takvi spojevi u pravilu se ne proračunavaju.

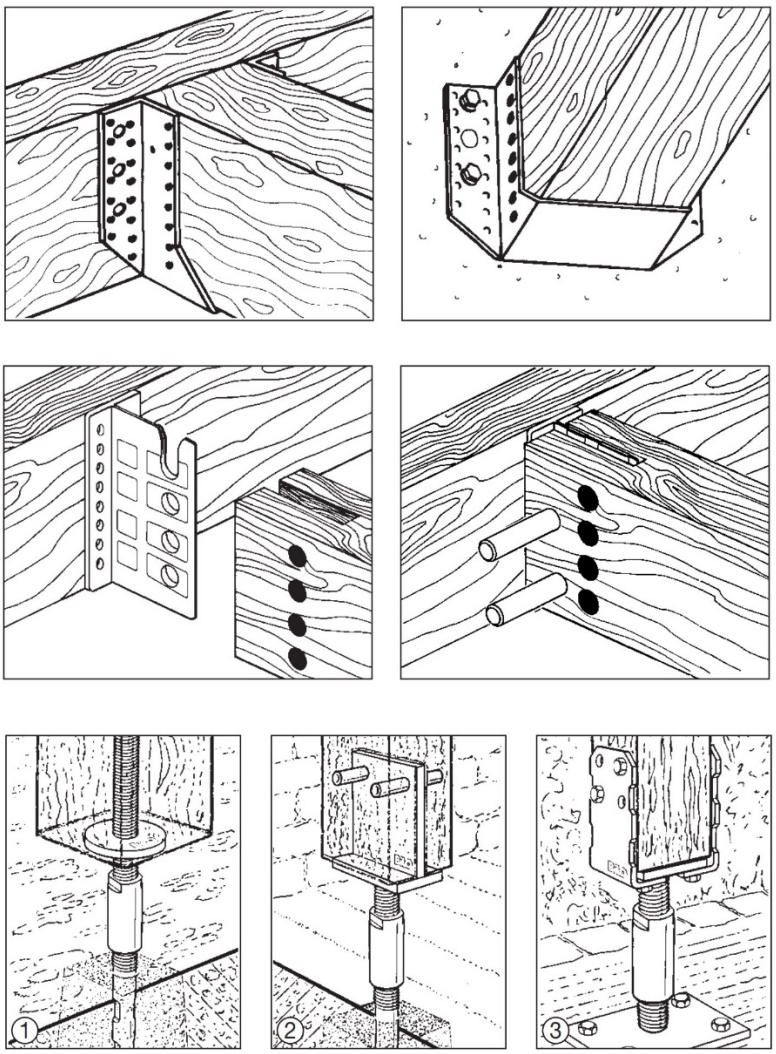


*Slika 6.1 Primjeri tesarskih spojeva*



*Slika 6.2 Primjeri konstruktivnih spojeva*

Nosivi spojevi konstruiraju se za određenu silu, odnosno opterećenje, pa se mora dokazati njihova nosivost.




*Slika 6.3 Primjeri nosivih spojeva*

## *6.2.Spajala u drvenim konstrukcijama*

Za osiguranje tesarskih i konstruktivnih spojeva, te kao elementi koji preuzimaju silu u nosivom spoju, koristimo spajala. Ovdje će se obraditi najčešće korištena tzv. štapna spojna sredstva:

1) čavli
2) vijci
3) trnovi
4) vijci za drvo.

### *6.2.1. Čavli*

Čavli su najstarija sredstva za spajanje drvenih elemenata i proizvode se različitih oblika poprečnog presjeka i površine tijela. Najčešće se koriste okrugli, glatki čavli, no mogu biti eliptični, navijeni, utoreni itd.

Čavli se označavaju slovom *Č* i brojčanom oznakom *dxL*, pri čemu je *d* promjer čavla u 1/10 mm, a *L* dužina čavla u mm.



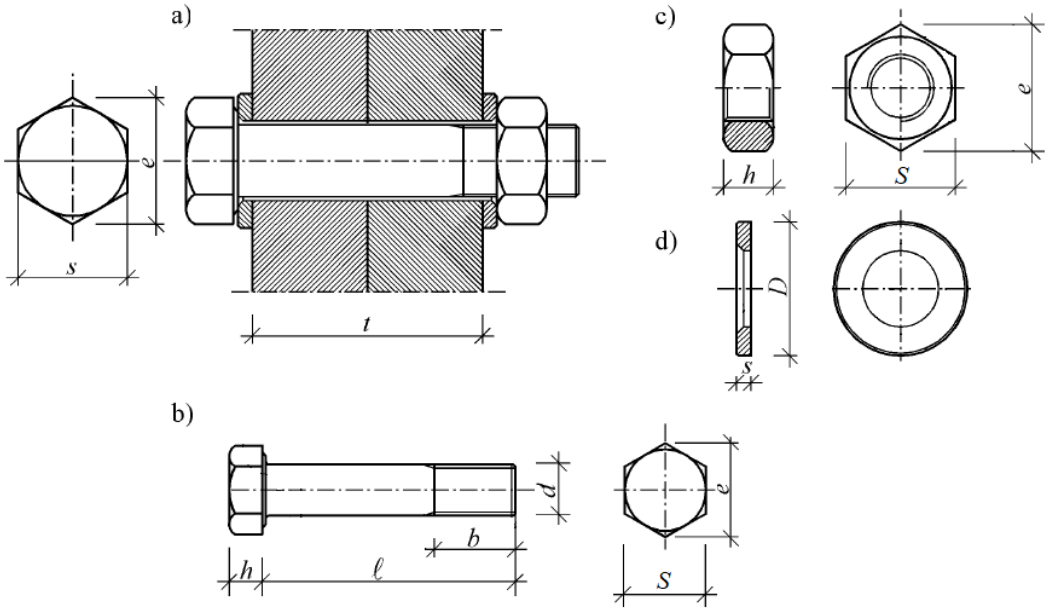
*Slika 6.4 Čavli*

### *6.2.2. Vijci*

Klasični tipovi vijaka jesu cilindrične čelične šipke koje na jednoj strani imaju glavu, a na drugoj navoj s maticom. Sastavni su dio svakoga vijka i podložne pločice koje su kod vijaka što se koriste za drvene konstrukcije većih dimenzija od onih koje se koriste u čeličnim konstrukcijama.

Vijci se označavaju kao M12, M16, M20, M22 i M24, pri čemu se točne dimenzije pojedinih vijaka mogu pronaći u tablici 6.1. Vijci koji se koriste u drvenim konstrukcijama izrađuju se od čelika klase čvrstoće od 3.6 do 5.8, čije karakteristike su prikazane u tablici 1.3. Oznaka M znači metarski (milimetarski) navoj, a brojčana vrijednost predstavlja promjer tijela vijka u mm.

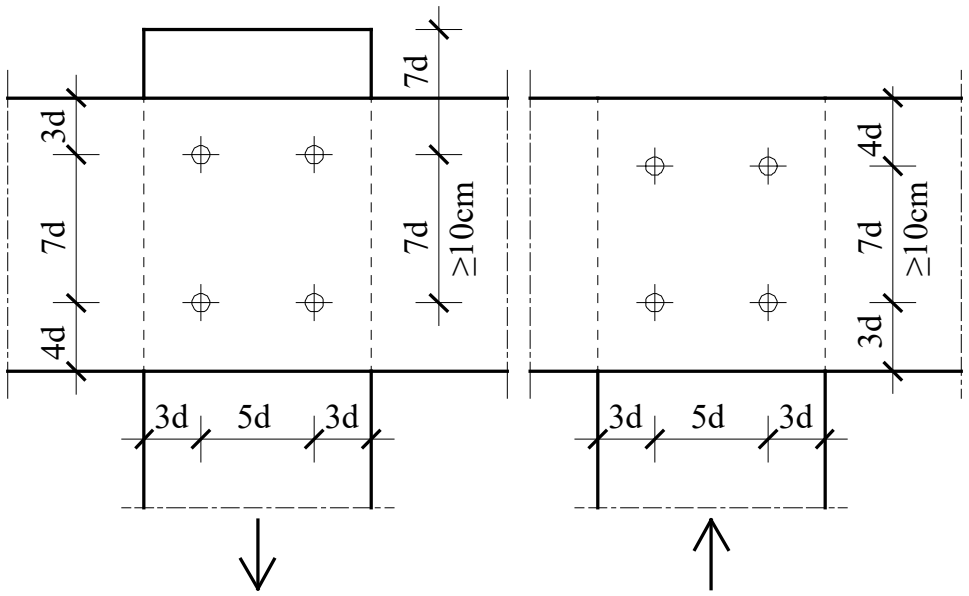
Nosivi spoj s vijcima mora biti izveden s najmanje 2 vijka.




*Slika 6.5 Vijak: a) vijčani spoj, b) vijak, c) matica, d) podložna pločica*

*Tablica 6.1 Vijci koji se koriste u drvenim konstrukcijama – osnovne dimenzije*

| Opis | | Oznaka | **M12** | **M16** | **M20** | **M24** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| promjer rupe | | $d_1$ | 13 | 17 | 21 | 25 |
| Navoj | vanjski promjer | D | 12 | 16 | 20 | 24 |
| | Dužina | B | 19,5 | 23 | 26 | 29,5 |
| Glava vijka | Visina | H | 8 | 10,5 | 13 | 15 |
| | Dijagonala | E | 21,9 | 27,7 | 34,6 | 41,6 |
| | otvor ključa | S | 19 | 24 | 30 | 36 |
| P. pločica | vanjski promjer | D | 58 | 68 | 80 | 105 |
| | Debljina | S | 6 | 6 | 8 | 8 |




*Slika 6.6 Pravila za razmake vijaka u drvenim konstrukcijama (d – promjer vijka/trna)*

*Tablica 6.2 Nosivost vijaka i trnova [kN] ugrađenih u drvo C24 u ovisnosti o promjeru vijka/trna, debljini drva i kutu α koji zatvara smjer sile u odnosu na smjer vlakanaca*

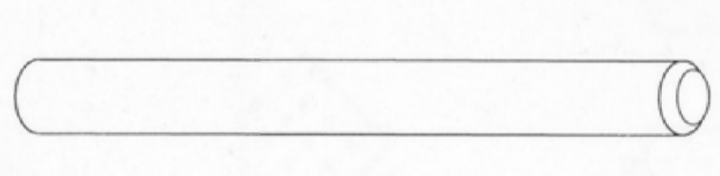
| **Vijak** | **M12** | | **M16** | | **M20** | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Smjer sile / Drvo** | α = 0° | α = 90° | α = 0° | α = 90° | α = 0° | α = 90° |
| 4 cm | 3,01 | 2,37 | 3,93 | 3,18 | 4,68 | 3,73 |
| 6 cm | 4,19 | 3,11 | 5,55 | 4,17 | 6,93 | 5,32 |
| 8 cm | 5,43 | 3,92 | 7,08 | 5,09 | 8,67 | 6,28 |
| 10 cm | 6,69 | 4,78 | 8,65 | 6,09 | 10,51 | 7,36 |
| 12 cm | 7,97 | 5,65 | 10,26 | 7,13 | 12,38 | 8,50 |
| 14 cm | 9,26 | 6,53 | 11,88 | 8,19 | 14,29 | 9,68 |

### *6.2.3. Trnovi*

Trnovi ili štapasti moždanici su glatka cilindrična tijela. Izrađuju se najčešće od čelika klase S235, S275 ili S355.

Trnovi se označavaju slovom *T* i brojčanom oznakom koja predstavlja promjer tijela trna u mm.

Nosivi spoj s trnovima mora biti izveden s najmanje 4 trna. Pravila za razmake i nosivost čeličnih trnova uglavnom se podudaraju s vrijednostima za vijke pa se mogu usvojiti vrijednosti navedene u prethodnom poglavlju.



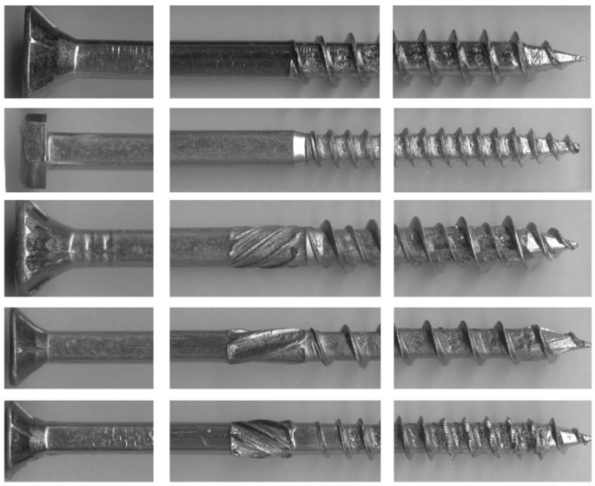
*Slika 6.7 Trn*

### *6.2.4. Vijci za drvo*

Vijci za drvo koriste se isključivo za jednorezne veze kod spajanja elemenata od različitih materijala.

Postoji mnogo vrsta vijaka za drvo, dužina do 60 cm, koji se koriste za različite namjene.

Nosivi spoj s vijcima za drvo mora biti izveden s najmanje 2 vijka za drvo.



*Slika 6.8 Vijci za drvo*

## *6.3.Spojevi u čeličnim konstrukcijama*

Spojevi u čeličnim konstrukcijama mogu se izvoditi sa spajalima:

1) zakovice
2) vijci
3) visokovrijedni vijci
4) zavarivanje.

Spojevi zakovicama koristili su se kao prvi tip spajala u čeličnim konstrukcijama, no danas se uglavnom više ne koriste pa ovdje neće biti obrađene. Za suvremene konstrukcije uglavnom se koriste vijci i visokovrijedni vijci (razlika u klasi čelika), te zavarivanje. Pritom je zavarivanje preporučljivo koristiti za spojeve elemenata koji su mogu izvesti u radionici, da bi se nakon toga transportirali i montirali na gradilištu. Spojeve koji se izvode na gradilištu preporučljivo je projektirati vijčanim spojem.

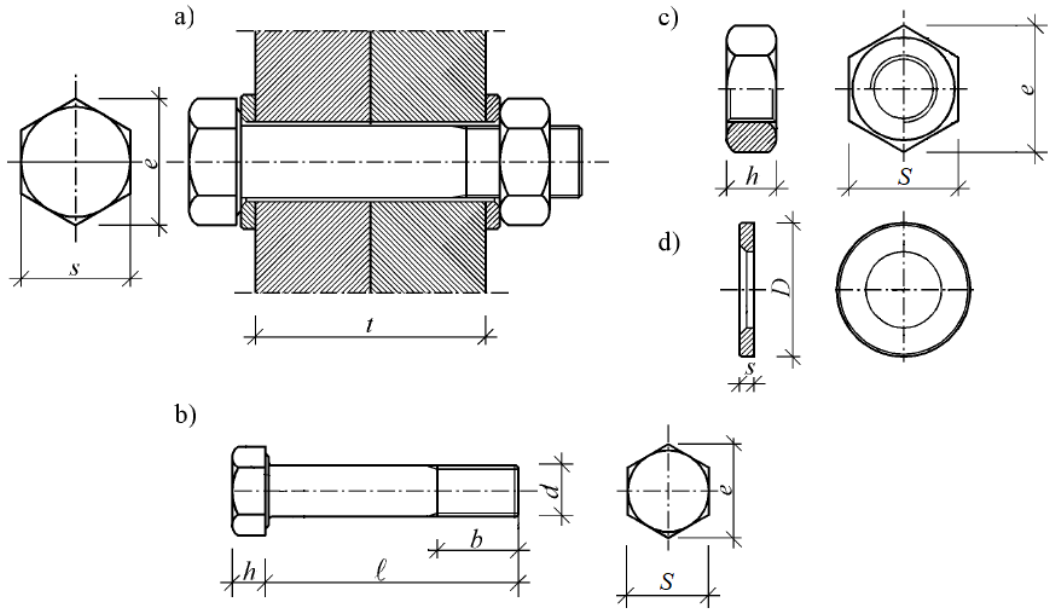
### *6.3.1. Vijci*

Vijcima se osigurava točkasto spajanje elemenata konstrukcije, prikladno za montažne konstrukcije.

Vijci su cilindrične čelične šipke koje na jednoj strani imaju glavu, a na drugoj navoj s maticom. Sastavni dijelovi svakoga vijčanog spoja jesu vijak, matica i podložna pločica.

Vijci se označavaju kao M12, M16, M20, M22, M24 itd., pri čemu se točne dimenzije pojedinih vijaka mogu pronaći u tablici 6.3. Vijci koji se koriste u čeličnim konstrukcijama izrađuju se od čelika klase čvrstoće od 4.6 do 12.9, čije karakteristike su prikazane u tablici 1.3. Oznaka M znači metarski (milimetarski) navoj, a brojčana vrijednost predstavlja promjer tijela vijka u mm.

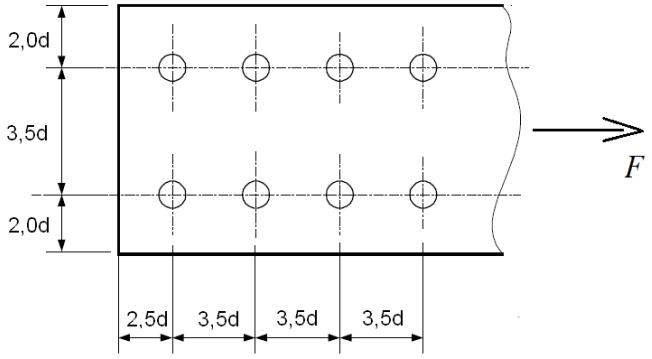
Nosivi spoj s vijcima mora biti izveden s najmanje 2 vijka.




*Slika 6.9 Vijak: a) vijčani spoj, b) vijak, c) matica, d) podložna pločica*

*Tablica 6.3 Vijci koji se koriste u čeličnim konstrukcijama – osnovne dimenzije*

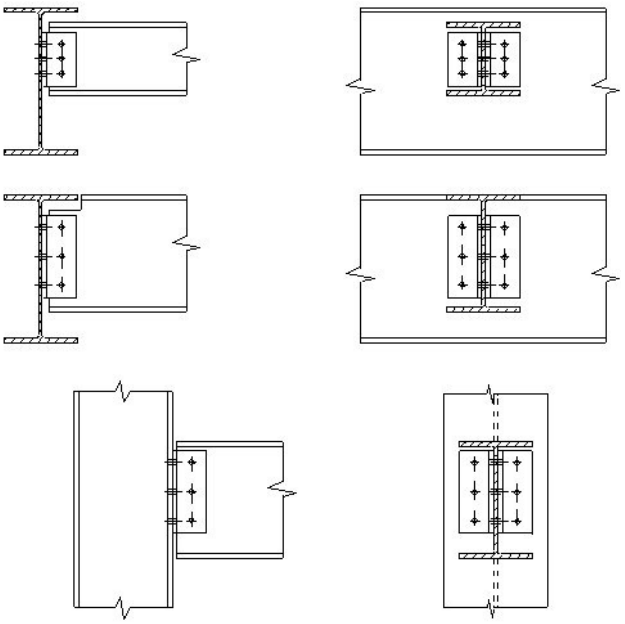
| Opis | | Oznaka | **M12** | **M16** | **M20** | **M24** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| promjer rupe | | $d_1$ | 13 | 17 | 21 | 25 |
| Navoj | vanjski promjer | D | 12 | 16 | 20 | 24 |
| | dužina | B | 19,5 | 23 | 26 | 29,5 |
| Glava vijka | visina | H | 8 | 10,5 | 13 | 15 |
| | dijagonala | E | 21,9 | 27,7 | 34,6 | 41,6 |
| | otvor ključa | S | 19 | 24 | 30 | 36 |
| P. pločica | vanjski promjer | D | 24 | 30 | 36 | 44 |
| | debljina | S | 3 | 3 | 4 | 4 |




*Slika 6.10 Pravila za razmake vijaka u čeličnim konstrukcijama (d - promjer vijka)*

*Tablica 6.4 Nosivost vijaka na smicanje [kN] ugrađenih kroz čelik S 235 u ovisnosti o promjeru i klasi vijka*

| **Vijak** | **M12** | **M16** | **M20** | **M22** | **M24** |
|---|---|---|---|---|---|
| Lim, min. debljina | 8 mm | 10 mm | 15 mm | 15 mm | 20 mm |
| KV 5.6 | 27,1 | 48,3 | 75,4 | 91,2 | 108,6 |
| KV 8.8 | 43,4 | 77,2 | 120,6 | 146,0 | 173,7 |
| KV 10.9 | 51,8 | 86,3 | 150,8 | 177,9 | 217,1 |



*Slika 6.11 Primjeri čisto vijčanih spojeva*

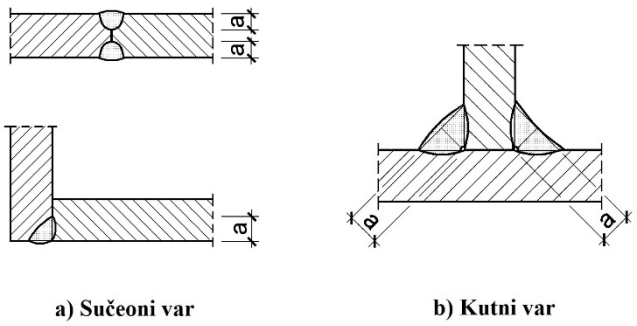
### *6.3.2. Zavareni spojevi*

Zavarivanjem nastaje kontinuirani linijski spoj elemenata koji se zavaruju.

Spojevi elemenata izvedeni zavarivanjem jesu ekonomični, no preporučuje ih se izvoditi u radionici, gdje se može osigurati kvaliteta izvedbe. Najbolje je spojeve elemenata i spojnih ploča zavariti u radionici, a na gradilištu spojeve izvesti vijčanom vezom.

Ovisno o pripremi i načinu zavarivanja razlikujemo:

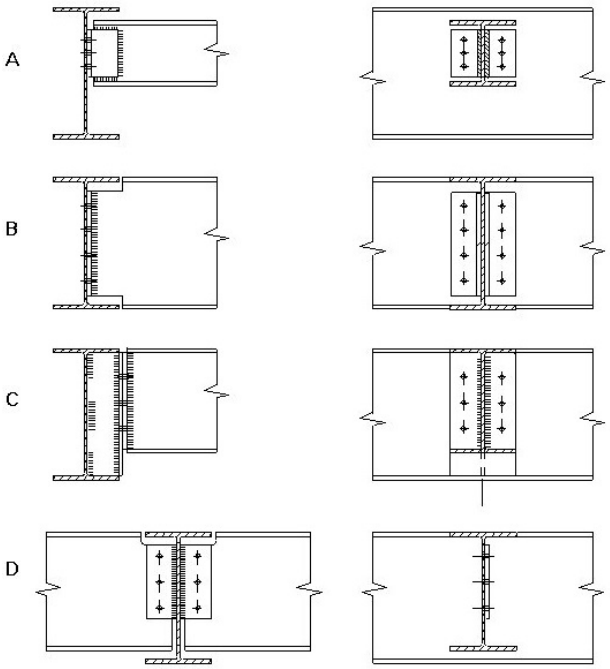
1) sučeoni var
2) kutni var.



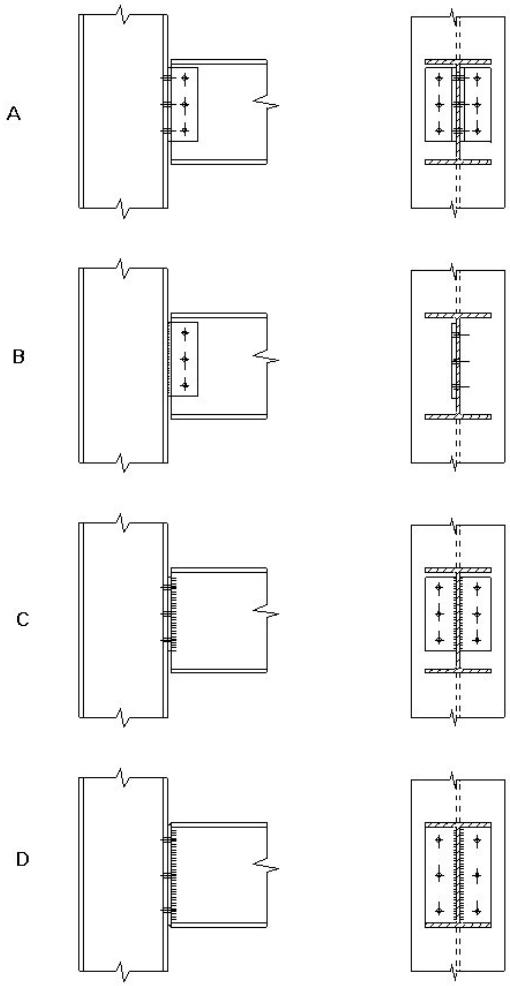

*Slika 6.12 Primjer zavarenog spoja, a - debljina vara*

*Tablica 6.5 Nosivost vara [kN/cm] u ovisnosti o kvaliteti čelika i debljini vara u mm*

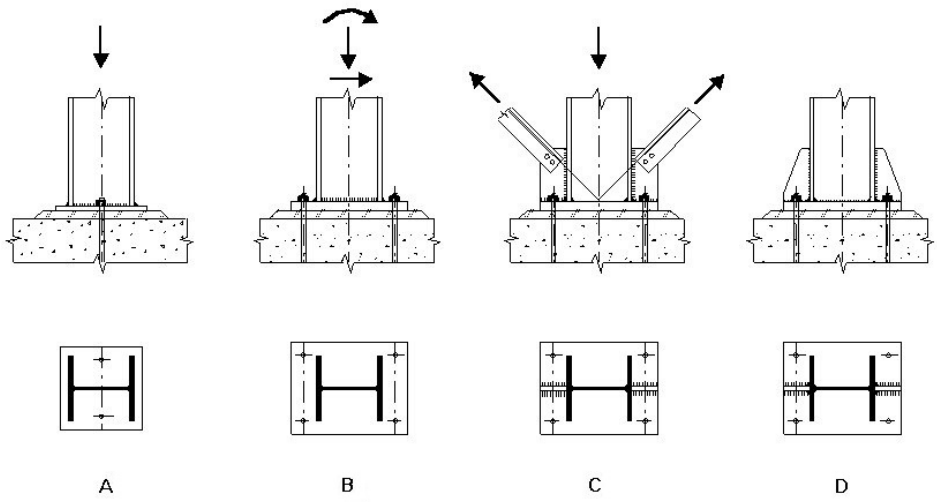
| Vijak | 3 mm | 4 mm | 5 mm | 6 mm | 7 mm |
|---|---|---|---|---|---|
| S235 | 6,2 | 8,3 | 10,4 | 12,5 | 14,5 |
| S275 | 7,0 | 9,3 | 11,7 | 14,0 | 16,4 |
| S355 | 7,9 | 10,5 | 13,1 | 15,7 | 18,3 |




*Slika 6.11 Primjeri spojeva greda - greda*




*Slika 6.12 Primjeri spojeva greda - stup*

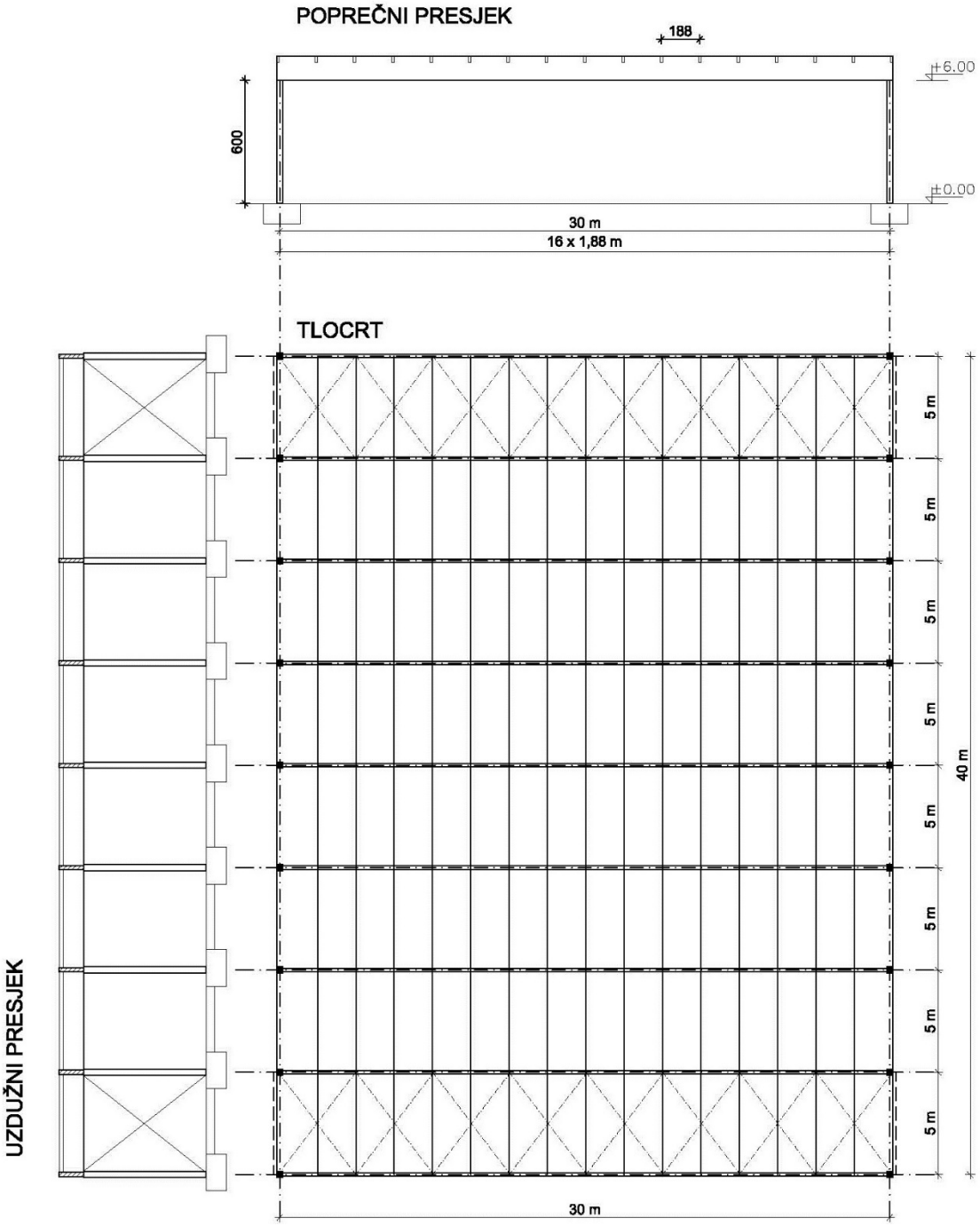



*Slika 6.13 Primjeri spojeva stup - temelj*

# 7. Riješeni primjeri

## *7.1.Zadatak 1. - drvena krovna konstrukcija na čel. stupovima*

Zadana je dispozicijska shema hale. Konstrukciju čine upeti čelični stupovi, glavni nosači od lameliranoga lijepljenog drva i drveni sekundarni nosači. Konstrukcija je stabilizirana vlačnim spregovima. Raspored elemenata definiran je na shemi, a dimenzije svih elemenata konstrukcije potrebno je proračunati. Oblogu čine sendvič-paneli debljine 10 cm. Građevina je smještena u Sisku.



### *7.1.1. Analiza opterećenja*

Stalno opterećenje (t. 2.2.)

Stalno opterećenje čini vlastita težina konstrukcije kojoj je dodana težina slojeva koji se na nju naslanjaju. U ovomu je slučaju to samo sendvič-panel debljine 10 cm, težine 20 kg/m$^2$ (izvor: www.trimo-group.com).

1. Sendvič-panel 20kg/m$^2$:
   $g = 0{,}20\ kN/m^2$

Promjenjiva opterećenja (t. 2.3.)

2. Opterećenje snijegom: Sisak, kontinentalna Hrvatska, nadmorska visina ≤ 200 m.n.m:
   $s = 1{,}00\ kN/m^2$ (tab. 2.6)
3. Opterećenje vjetrom: Sisak, kontinentalna Hrvatska, predgrađe, visina ≤ 10 m:
   $w_0 = \frac{0{,}625}{1000} \cdot C_e(Z) \cdot {v_{b,0}}^2$ (izraz 2.6)
   $v_{b,0} = 20 m/s$ (tab. 2.7)
   $C_e = 1{,}7$ (tab. 2.8)

   $w_0 = \frac{0{,}625}{1000} \cdot 1{,}7 \cdot 20^2 = 0{,}425\ kN/m^2$

### *7.1.2. Sekundarni drveni nosač*

**Analiza opterećenja**

Osni razmak greda iznosi 188 cm, raspon 500 cm.

Za sekundarni drveni nosač procjenjujemo visinu u ovisnosti o rasponu (tab. 5.1):

$h = L/20 = 500/20 = 25\ cm\ -\ odabrano\ 24\ cm,$

dok širinu za piljenu građu uzimamo:

$b = 2/3 \cdot h = 2/3 \cdot 24 = 16\ cm.$

I. **Stalno opterećenje**:
   - sendvič-panel 0,20·1,88 = 0,38 kN/m'
   - vl. tež. grede 0,16·0,24·4,2* = 0,16 kN/m'
   - Ukupno stalno **g = 0,54 kN/m'**

   * - zapreminska težina drva, tab. 1.1

II. **Snijeg**:
   - Opt. snijegom 1,0·1,88 **s = 1,88 kN/m'**

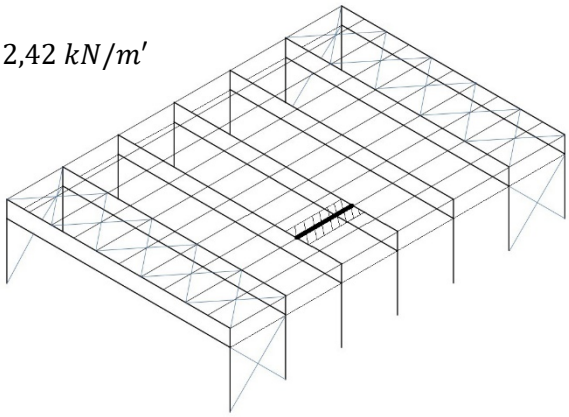
**III. Vjetar:**
   - Zbog maloga nagiba krova opterećenje vjetrom dominantno je odižuće, o čemu treba voditi računa kod projektiranja spojeva, a u ovome se proračunu zanemaruje.

**IV. Kombinacija opterećenja za GSN (t. 2.4.1.):**

$q_{Ed} = 1{,}35 \cdot g + 1{,}50 \cdot s = 1{,}35 \cdot 0{,}54 + 1{,}50 \cdot 1{,}88 = 3{,}55\ kN/m'$

**V. Kombinacija opterećenja za GSU (t. 2.4.2.):**

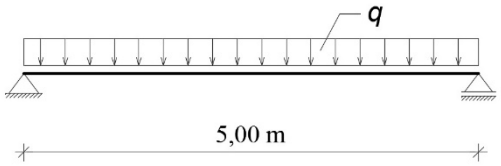
$q_{Ed} = 1{,}00 \cdot g + 1{,}00 \cdot s = 0{,}54 + 1{,}88 = 2{,}42\ kN/m'$



**Dimenzioniranje**

Materijal: drvo klase C24

Statički sustav:




Unutarnje sile:

$$M_{Ed} = \frac{q_{Ed} \cdot L^2}{8} = \frac{3{,}55 \cdot 5^2}{8} = 11{,}09\ kNm$$

$$V_{Ed} = \frac{q_{Ed} \cdot L}{2} = \frac{3{,}55 \cdot 5}{2} = 8{,}88\ kN$$

- Kontrola naprezanja od savijanja (t.3.3.):

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_{Ed}}{W_{min}} \leq f_{m,d}$$

$$W = \frac{16 \cdot 24^2}{6} = 1536\ cm^3$$

$$f_{m,d} = 0{,}8 \cdot \frac{f_{m,k}}{1{,}3} = 0{,}8 \cdot \frac{24}{1{,}3} = 14{,}77\ N/mm^2$$

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_{Ed}}{W} = \frac{11{,}09 \times 10^2}{1536} = 0{,}722\ kN/cm^2 = 7{,}22\ N/mm^2 \leq 14{,}77\ N/mm^2$$

- Kontrola posmičnih naprezanja (t.3.4.):

$$\tau_{v,d} = 1{,}5 \cdot \frac{V_{Ed}}{A} \leq f_{v,d}$$

$$A = 16 \cdot 24 = 384\ cm^2$$

$$f_{v,d} = 0{,}8 \cdot \frac{f_{v,k}}{1{,}3} = 0{,}8 \cdot \frac{4{,}0}{1{,}3} = 2{,}46\ N/mm^2$$

$$\tau_{v,d} = 1{,}5 \cdot \frac{V_{Ed}}{A} = 1{,}5 \cdot \frac{8{,}88}{384} = 0{,}035\ kN/cm^2 = 0{,}35\ N/mm^2 \leq 2{,}46\ N/mm^2$$

- Kontrola progiba (t.3.7.):

$$u = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_{Ed} \cdot L^4}{E_{mean} \cdot I} \leq \frac{L}{250}$$

$$I = \frac{16 \cdot 24^3}{12} = 18432\ cm^4$$

$$u = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_{Ed} \cdot L^4}{E_{mean} \cdot I} = \frac{5}{384} \cdot \frac{2{,}42 \times 10^{-2} \cdot 500^4}{1100 \cdot 18432} = 0{,}97\ cm$$

$$\leq \frac{L}{250} = \frac{500}{250} = 2{,}0\ cm$$

**ODABRANO: Sekundarni krovni nosači: 16/24 cm, C24**

**Napomena:**

Prilikom dimenzioniranja sekundarnog nosača zanemaren je utjecaj uzdužne sile koja se javlja zbog djelovanja vjetra na zabatno pročelje objekta. Navedena se sila javlja zbog toga što sekundarni nosači čine dio horizontalne stabilizacije.

### *7.1.3. Glavni nosač od LLD*

**Analiza opterećenja**

Osni razmak greda iznosi 5 m, raspon 30 m.

Za glavni nosač od LLD procjenjujemo visinu u ovisnosti o rasponu (tab. 5.1):

$h = L/16 = 3000/16 = 187{,}5\ cm\ -\ odabrano\ 190\ cm,$

dok širinu za uzimamo:

$$b = \frac{h}{10} \geq 14cm = 190/10 = 19\ cm - \ odabrano\ 20\ cm.$$

**I. Stalno opterećenje:**

a. **VAR. 1** (prethodno analiziran/dimenzioniran sek. nosač):

- uk. stalno: 0,54 kN/m' sek. nosača, raspon 5,0 m, razmak 1,88 m
  0,54·5,00/1,88 = 1,44 kN/m'
- vl. tež. grede 0,20·1,90·4,2* = 1,60 kN/m'
- ukupno stalno **g = 3,04 kN/m'** - usvojeno

  * - zapreminska težina drva, tab. 1.1

b. **VAR. 2** (u slučaju kad prethodno nije analiziran sek. nosač):

- sendvič-panel 0,20·5,00 = 1,00 kN/m'
- vl. tež. sek. nos. dimenzija 16/24 cm, raspon 5,0 m, razmak 1,88 m
  0,16·0,24·4,2*·5,00/1,88 = 0,43 kN/m'
- vl. tež. grede 0,20·1,90·4,2* = 1,60 kN/m'
- ukupno stalno **g = 3,03 kN/m'**

  * - zapreminska težina drva, tab. 1.1

**II. Snijeg:**

- Prije izračunato:
  $s = 1{,}00\ kN/m^2$
- Opt. snijegom 1,0·5,00 **s = 5,00 kN/m'**

**III. Vjetar:**

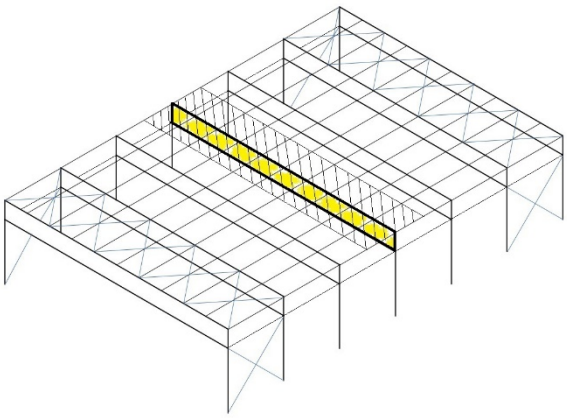
- Zbog maloga nagiba krova opterećenje vjetrom zanemaruje se.

**IV. Kombinacija opterećenja za GSN (t. 2.4.1.):**

$q_{Ed} = 1{,}35 \cdot g + 1{,}50 \cdot s = 1{,}35 \cdot 3{,}04 + 1{,}50 \cdot 5{,}00 = 11{,}60\ kN/m'$

**V. Kombinacija opterećenja za GSU (t. 2.4.2.):**

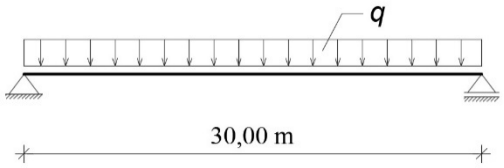
$q_{Ed} = 1{,}00 \cdot g + 1{,}00 \cdot s = 3{,}04 + 5{,}00 = 8{,}04\ kN/m'$



**Dimenzioniranje**

Materijal: LLD klase GL24h

Statički sustav:




Unutarnje sile:

$$M_{Ed} = \frac{q_{Ed} \cdot L^2}{8} = \frac{11{,}6 \cdot 30^2}{8} = 1305\ kNm$$

$$V_{Ed} = \frac{q_{Ed} \cdot L}{2} = \frac{11{,}6 \cdot 30}{2} = 174\ kN$$

- Kontrola naprezanja od savijanja (t.3.3.):

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_{Ed}}{W} \leq f_{m,d}$$

$$W = \frac{20 \cdot 190^2}{6} = 120300\ cm^3$$

$$f_{m,d} = 0{,}8 \cdot \frac{f_{m,k}}{1{,}3} = 0{,}8 \cdot \frac{24}{1{,}3} = 14{,}77\ N/mm^2$$

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_{Ed}}{W} = \frac{1305 \times 10^2}{120300} = 1{,}085\ kN/cm^2 = 10{,}85\ N/mm^2 \leq 14{,}77\ N/mm^2$$

- Kontrola posmičnih naprezanja (t.3.4.):

$$\tau_{v,d} = 1{,}5 \cdot \frac{V_{Ed}}{A} \leq f_{v,d}$$

$$A = 20 \cdot 190 = 3800\ cm^2$$

$$f_{v,d} = 0{,}8 \cdot \frac{f_{v,k}}{1{,}3} = 0{,}8 \cdot \frac{3{,}5}{1{,}3} = 2{,}15\ N/mm^2$$

$$\tau_{v,d} = 1{,}5 \cdot \frac{V_{Ed}}{A} = 1{,}5 \cdot \frac{174}{3800} = 0{,}046\ kN/cm^2 = 0{,}46\ N/mm^2 \leq 2{,}15\ N/mm^2$$

- Kontrola progiba (t.3.7.):

$$u = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_{Ed} \cdot L^4}{E_{mean} \cdot I} \leq \frac{L}{250}$$

$$I = \frac{20 \cdot 190^3}{12} = 11431667\ cm^4$$

$$u = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_{Ed} \cdot L^4}{E_{mean} \cdot I} = \frac{5}{384} \cdot \frac{8{,}04 \times 10^{-2} \cdot 3000^4}{1150 \cdot 11431667} = 6{,}45\ cm$$

$$\leq \frac{L}{250} = \frac{3000}{250} = 12\ cm$$

**ODABRANO: Glavni krovni nosači: 20/190 cm, GL24h**

### *7.1.4. Čelični stup*

**Analiza opterećenja**

Osni razmak stupova iznosi 5 m, visina 6 m + visina gl. nosača, ukupno 7,9 m.

Za stup pretpostavljamo profil HE 220 B:

**I. Stalno opterećenje – vertikalno opt.:**

a. **VAR. 1** (prethodno analiziran/dimenzioniran gl. nosač):
- uk. stalno: 3,04 kN/m' gl. nosača, raspon 30,0 m
  3,04·30,00/2 = 45,6 kN
- vl. tež. stupa 0,715**·6,00 = 4,29 kN
- ukupno stalno **G = 49,89 kN - mjerodavno**

b. **VAR. 2** (u slučaju kad prethodno nije analiziran gl. nosač):
- Sendvič-panel 0,20·5,00·30/2 = 15,00 kN
- vl. tež. sek. nos. dimenzija 16/24 cm, raspon 5,0 m, razmak 1,88 m
  0,16·0,24·4,2*·5,00/1,88·30/2 = 6,43 kN
- v.t. gl. n. 0,20·1,90·4,2*·30/2 = 23,94 kN
- vl. tež. stupa 0,832**·6,00 = 4,29 kN
- ukupno stalno **G = 49,66 kN**

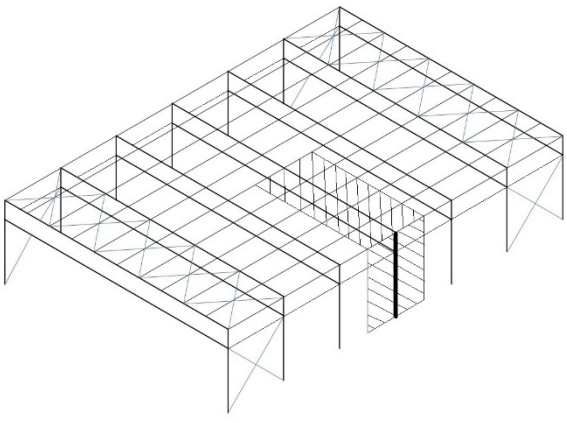
* - zapreminska težina drva, tab. 1.1

** - težina profila po m' (t. 8.6.)

**II. Snijeg – vertikalno opt.:**
- Prije izračunato:
  $s = 1{,}00\ kN/m^2$
- Opt. snijegom 1,0·5·30/2 **S = 75,00 kN**

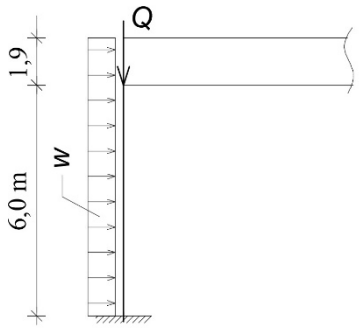
**III. Vjetar (t. 2.3.3.) – horizontalno opt.:**
- Prije izračunato:
  $w_0 = 0{,}425\ kN/m^2$
- Prema izrazu 2.11:
  $\boldsymbol{w = 1{,}1 \cdot w_0 \cdot e = 1{,}1 \cdot 0{,}425 \cdot 5{,}00 = 2{,}34\ kN/m'}$

**IV. Kombinacija opterećenja za GSN (t. 2.4.1.):**
- vertikalno opterećenje:
  $Q_{Ed} = 1{,}35 \cdot G + 1{,}50 \cdot S = 1{,}35 \cdot 49{,}89 + 1{,}50 \cdot 75{,}00 = 179{,}85\ kN$
- horizontalno opterećenje:
  $w_{Ed} = 1{,}50 \cdot w = 1{,}50 \cdot 2{,}34 = 3{,}51\ kN/m'$



**Dimenzioniranje**

Materijal: Čelik S235




Statički sustav i unutarnje sile:

$$N_{Ed} = Q_{Ed} = 179{,}85\ kN$$
$$M_{Ed} = \frac{w_{Ed} \cdot L^2}{2} = \frac{2{,}34 \cdot 7{,}9^2}{2} = 73{,}02\ kNm$$
$$V_{Ed} = q_{Ed} \cdot L = 2{,}34 \cdot 7{,}9 = 18{,}49\ kN$$

- Tablični podaci za odabrani profil HE220B (t.8.6.):
  $A = 91{,}04\ cm^2$
  $h = 220\ mm$
  $t_w = 9{,}5\ mm$
  $W_y = 735{,}5\ cm^3$
  $i_y = 9{,}43\ cm$
  $i_z = 5{,}59\ cm$

- Vitkost tlačno opterećenog stupa (t.4.5.2.):
  Vitkost oko jače osi:
  $$\lambda_y = \frac{l_{i,y}}{i_y} = \frac{2 \cdot 600}{9{,}43} = 127{,}3\ -\ mjerodavno$$
  Vitkost oko slabije osi:
  $$\lambda_z = \frac{l_{i,z}}{i_z} = \frac{0{,}7 \cdot 600}{5{,}59} = 75{,}13$$
  $$\overline{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{127{,}3}{93{,}9} = 1{,}36$$
  $\chi = 0{,}365 \quad (očitano\ temeljem\ \overline{\lambda} = 1{,}36; t.\ 8.5)$

- Otpornost na tlačnu silu (t.4.5.):
  $$N_{Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_M} = \frac{0{,}365 \cdot 91{,}04 \cdot 23{,}5}{1{,}1} = 709{,}91\ kN$$
  pri čemu je za S235: $f_y = 235\ N/mm^2 = 23{,}5\ kN/cm^2$

- Otpornost na savijanje (t.4.3.):
  $$M_{Rd} = \frac{W_y \cdot f_y}{\gamma_M} = \frac{735{,}5 \cdot 23{,}5}{1{,}1} = 15713\ kNcm = 157{,}13\ kNm$$

- Kontrola otpornosti profila opterećenog uzdužnom silom i savijanjem (t.4.6.):
  $$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} \leq 1$$

  $$\frac{179{,}85}{709{,}91} + 0 + \frac{73{,}02}{157{,}13} = 0{,}253 + 0{,}465 = 0{,}718 \leq 1$$

- Kontrola posmičnih naprezanja (t.3.4.):

$$V_{Ed} \leq V_{Rd} = \frac{A_v \cdot \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}}\right)}{\gamma_M}$$

$$A_v = t_w \cdot h = 0{,}95 \cdot 22{,}0 = 20{,}90\ cm^2$$

$$V_{Rd} = \frac{20{,}90 \cdot \left(\frac{23{,}5}{\sqrt{3}}\right)}{1{,}1} = 257{,}8\ kN$$

$$V_{Ed} = 18{,}49 \leq V_{Rd} = 257{,}8\ kN$$

**ODABRANO: Stup: HE 240 B, S235**

### *7.1.5. Stabilizacija*

- Proračun vertikalne stabilizacije na djelovanje vjetra (t.2.3.3.);
- Analizira se djelovanje vjetra na zabatno pročelje, pri čemu se aktivira horizontalna poprečna i vertikalna uzdužna stabilizacija (t.5.2., slika 5.8 i 5.9);
- Spregovi su predviđeni kao vlačni (t.5.2., slika 5.11).

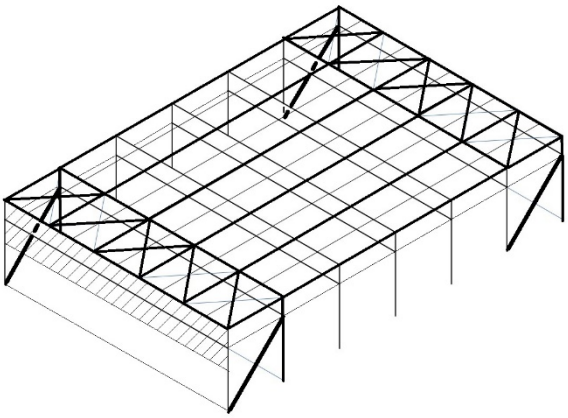
**Analiza opterećenja**:

**I. Vjetar (t. 2.3.3.) – horizontalno opt.:**

- Prije izračunato:
  $w_0 = 0{,}425\ kN/m^2$
- Prema izrazu 2.8 sila na zabatno pročelje (ploha $A_1$):
  $\boldsymbol{W = 1{,}2 \cdot w_0 \cdot A = 1{,}2 \cdot 0{,}425 \cdot 118{,}5 = 60{,}44\ kN}$
  $A = 0{,}5 \cdot h \cdot L_y = 0{,}5 \cdot 7{,}9 \cdot 30 = 118{,}5\ m^2$

**II. Kombinacija opterećenja za GSN (t. 2.4.1.):**

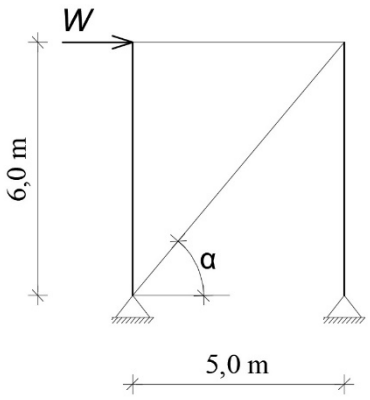
- horizontalno opterećenje:
  $W_{Ed} = 1{,}50 \cdot W$
  $1{,}50 \cdot 60{,}44 = 90{,}65\ kN$



**Dimenzioniranje**

Materijal: Čelik S235

- Dimenzioniramo najopterećeniji element, što je u ovom slučaju dijagonala vertikalnoga vlačnog sprega;
- Kako horizontalnu silu preuzimaju po dva uzdužna sprega na svakoj strani, ukupno četiri sprega, računamo da svaki pojedini spreg preuzima 1/4 sile.




Statički sustav i unutarnje sile:

$$N_{Ed} = \frac{W_{Ed}}{4} \cdot \frac{1}{\cos\alpha} = \frac{90{,}65}{4 \cdot \cos 50{,}2°} = 35{,}40\ kN$$

$$\tan \propto = \frac{6}{5};\quad \propto = 50{,}2°$$

- Otpornost na vlačnu silu (t.4.2.):

$$N_{Ed} \leq N_{Rd} = \frac{A_{net} \cdot f_y}{\gamma_M}$$

Potrebna površina presjeka za čelik S235; $f_y = 23{,}5\ kN/cm^2$:

$$A_{net} \geq \frac{N_{Ed} \cdot \gamma_M}{f_y} = \frac{35{,}4 \cdot 1{,}1}{23{,}5} = 1{,}66\ cm^2$$

Odabran presjek Ø10 mm:

$$A = 1{,}0^2 \cdot \pi = 3{,}14\ cm^2$$

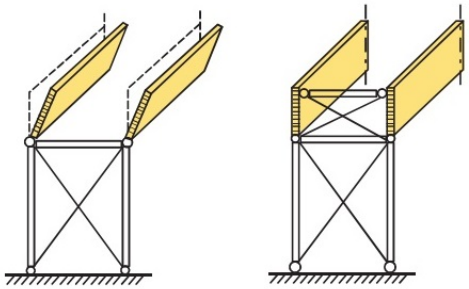
$$N_{Ed} = 35{,}4\ kN \leq N_{Rd} = \frac{3{,}14 \cdot 23{,}5}{1{,}1} = 67{,}12\ kN$$

**ODABRANO: Stabilizacija: Ø10 mm, S235**

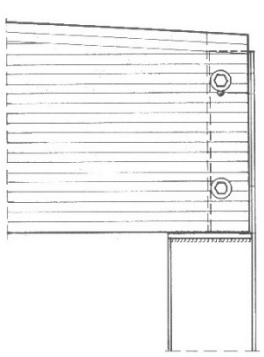
**Napomena:**

- Prilikom projektiranja spoja glavnog nosača i stupa potrebno je voditi računa o bočnoj stabilnosti glavnog nosača:

1) Ako spoj prenosi samo vertikalnu i horizontalnu silu, a ne sprječava bočno zaokretanje glavnog nosača, tada je potrebno dodati (produžiti) vertikalnu stabilizaciju kako bi se pridržao vrh glavnog nosača.



2) U drugom slučaju spoj je potrebno riješiti na način koji sprječava bočno zaokretanje glavnog nosača, što se postiže produljenjem stupa. Tada je zadana stabilizacija dostatna.
 - odabrano rješenje



## *7.2.Zadatak 2. - čelična konstrukcija hale*

Planira se izgradnja proizvodne hale tlocrtnih dimenzija 20x30 m i korisne visine 5 metara. Unutar zadanih gabarita potrebno je riješiti čeličnu konstrukciju sa sljedećim zahtjevima:
1) stupovi zglobno oslonjeni na temelje,
2) glavni nosači rešetkastog tipa postavljeni u smjeru kraćeg raspona, zglobno oslonjeni na stupove
3) sekundarni nosači postavljeni preko glavnih nosača, slojevi kako je definirano u nastavku,
4) stabilizacija s vlačnim dijagonalama.
Potrebno je riješiti globalnu stabilizaciju, dimenzionirati karakteristične elemente konstrukcije i nacrtati karakteristične detalje. Koristiti čelik kvalitete S235.

Zadani slojevi krova:
čelični trapezni lim visine 5 cm
parna brana, bitumenska s Al folijom, 5,00 mm (9 kN/m$^3$)
termoizolacijska mineralna vuna za ravne krovove, 300 mm (1,35 kN/m$^3$)
polimerna hidroizolacijska traka 2,00 mm (16,00 kN/m$^3$).

---

Definiranje dispozicija elemenata konstrukcije

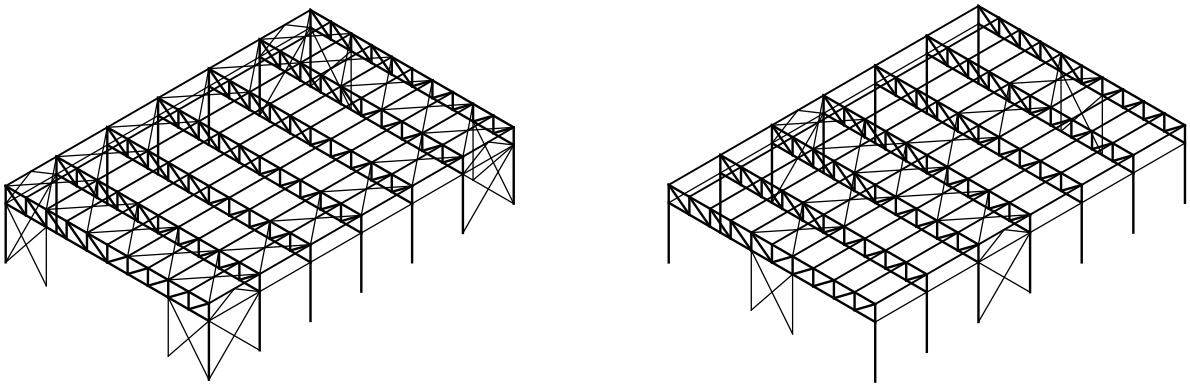
Uobičajeni razmaci potkonstrukcije za lagane pokrove kreću se od 2 do 3 m, što u ovom slučaju odgovara razmaku sekundarnih nosača. Najbolji razmaci glavnih nosača kreću se od 4 do 6 m, dok visinu rešetkastih nosača biramo u području od L/8 do L/15 (tab. 5.1), optimalno od L/10 do L/12.

Prema tome, visinu rešetke za zadani raspon biramo u najboljem području, između 1,7 i 2,0 m, odabrano 1,8m. Ako odaberemo rešetku s vertikalama i vlačnim dijagonalama (N-ispuna), najbolji je razmak između vertikala uzeti što bliže visini rešetke kako bi nagib dijagonale bio u području od 30°do 60°. Odabran je razmak čvorova rešetke od 2 m, što na rasponu od 20 m čini 10 polja. Navedeni razmak čvorova odgovara i razmaku sekundarnih nosača.

Raspored stabilizacijskih spregova

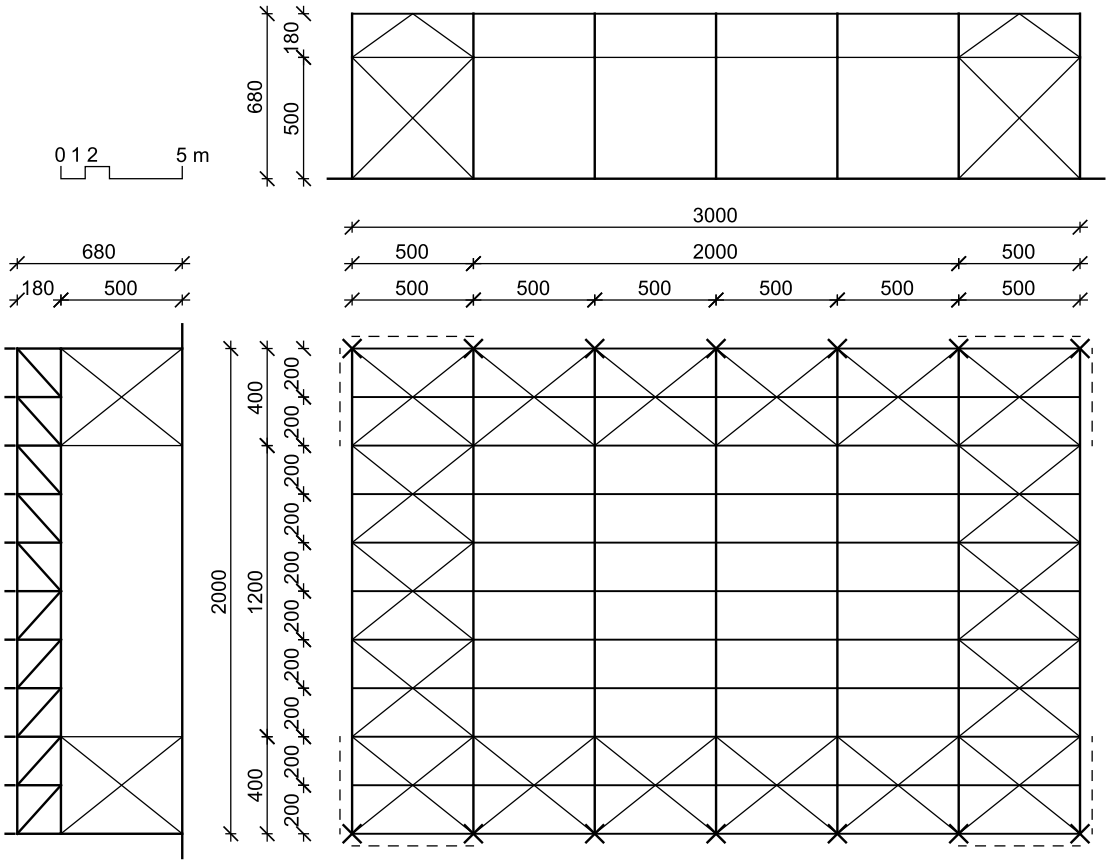
Konstrukcija je sustava rešetkasta greda na zglobno priključenim stupovima pa je objekt potrebno stabilizirati u uzdužnom i poprečnom smjeru. Krovna ploha sastoji se od elemenata (rešetka i sekundarni elementi – podrožnice) koji zatvaraju pravokutna polja bez krutog pokrova, te je potrebno stabilizirati i krovnu plohu. Odabrani su vlačni spregovi za oba smjera vertikalne stabilizacije i u krovnoj plohi. Za bočnu stabilizaciju rešetke (glavnih nosača) na uzdužnom pročelju u visini rešetke odabrana je stabilizacija K oblika (može se često za ovakve spregove naići na izraz Kapa spregovi ili vezovi). Navedena stabilizacija odabrana je zbog male visine u odnosu na razmak glavnih nosača, te bi klasične dijagonale vlačnih spregova zatvarale (pre)oštar kut.

Dimenzije i raspored elemenata konstrukcije dopuštaju dva rješenja stabilizacije. U prvom slučaju sa po dva sprega uzdužno i poprečno smještena u krajnjim poljima ili, u drugom slučaju, s jednim centralno postavljenim spregom uzdužno i poprečno (*slika 1*). Naravno, moguća je i kombinacija navedenih dvaju rješenja. Obično spregovi jednoga polja posredno (kroz podrožnice i razupore) bočno pridržavaju nekoliko susjednih polja, tako da je svakih 5-6 polja odnosno 30-35 m stabilizirano jednim poljem vertikalnih i horizontalnih spregova. Iz praktičnih razloga (otvori, komunikacija) odabrano je prvo rješenje.



*Slika 1. Varijante rasporeda stabilizacijskih spregova*

ODABRANO RJEŠENJE




*Slika 2. Pregledni nacrt odabranog rješenja (dispozicijska shema)*

### *7.2.1. Analiza opterećenja*

STALNO OPTEREĆENJE

**Težina pokrova:** lagani pokrov

| | | |
|---|---|---|
| Čelični trapezni lim visine 5 cm, debljine lima 1,25 mm | | 0,15 kN/m$^2$ |
| Parna brana bitumenska s Al folijom | 5,00 mm x 9 kN/m$^3$ | 0,045 kN/m$^2$ |
| Termoizolacijska mineralna vuna za ravne krovove | 300 mm x 1,35 kN/m$^3$ | 0,405 kN/m$^2$ |
| Polimerna hidroizolacijska traka | 2,00 mm x 16,00 kN/m$^3$ | 0,032 kN/m$^2$ |
| | Ukupno (zaokruženo) | 0,65 kN/m$^2$ |

**Vlastita težina sekundarnog nosača**

Za sekundarni metalni nosač, s obzirom na raspon, može se pretpostaviti potrebna visinu od oko L/30, gdje je L raspon sekundarnog nosača (5 m), pa to iznosi oko 18 cm. Odabrano IPE 180: 0,188 kN/m',

| | |
|---|---|
| IPE 180 (zaokruženo) | 0,20 kN/m' |

**Vlastita težina glavnog nosača**

Ovo je teže preciznije odrediti kada se unaprijed ne znaju profili štapova rešetke, pa se može pretpostaviti da je vlastita težina glavne čelične konstrukcije u odnosu na raspon 0,01 x L [kN/m$^2$ krovne plohe]. U slučaju zadanog raspona od 20 m to će biti 0,01 x 20 =

0,2 kN/m$^2$

**Ostali stalni teret**

Za ovješene instalacije, rasvjetu i eventualne druge uređaje može se dodati procijenjeno 0,1 kN/m$^2$

PROMJENJIVO OPTEREĆENJE

**Vertikalno (gravitacijsko) od snijega (t. 2.3.2)**

Za zagrebačko područje (tab. 2.6 – kontinentalna Hrvatska, nadmorska visina veća od 100 i manja od 200 m te nagib krova manji od 30°) računska vrijednost iznosi 0,8x1,25 = 1,0 kN/m$^2$

**Horizontalno od djelovanja vjetra (t. 2.3.3.)**

Za zagrebačko područje (tab. 2.6 – kontinentalna Hrvatska – Zagreb $V_{b,o}$=25 m/s, okoliš poljoprivreda s niskom vegetacijom bez visokih zapreka vjetru – tab 2.8. II kategorija, građevina niža od 10 m - $C_e(Z)$=2,35)

$$w_0 = \frac{0{,}625}{1000} \cdot 2{,}35 \cdot 25^2 = 0{,}92\ kN/m^2$$

### *7.2.2. Sekundarni čelični nosač*

Osni razmak sekundarnih nosača iznosi 2 m, raspon 5 m.

Stalno opterećenje:
- pokrov 0,65 x 2 = 1,30 kN/m
- vlastita težina = 0,20 kN/m
- ukupno stalno = 1,50 kN/m

Pokretno:
- snijeg 1,0 x 2 = 2,00 kN/m
- vjetar (zanemareno zbog rasterećujućeg utjecaja vjetra na ravni krov, trenje po krovu također zanemareno)

Kombinacije opterećenja (t. 2.1):
- za GSN $q_{Ed} = 1{,}35 \cdot g + 1{,}50 \cdot s = 1{,}35 \cdot 1{,}50 + 1{,}50 \cdot 2{,}00 = 5{,}03\ kN/m$
- za GSU $q_{Ed} = 1{,}00 \cdot g + 1{,}00 \cdot s = 1{,}00 \cdot 1{,}50 + 1{,}00 \cdot 2{,}00 = 3{,}50\ kN/m$

**Proračun unutarnjih sila**
Statički sustav - prosta greda

$$M_{Ed} = \frac{q_{Ed} \cdot L^2}{8} = \frac{5{,}03 \cdot 5^2}{8} = 15{,}72\ KNm = 1572\ kNcm$$

$$V_{Ed} = \frac{q_{Ed} \cdot L}{2} = \frac{5{,}03 \cdot 5}{2} = 12{,}58\ kN$$

**Dimenzioniranje profila IPE 180, S235**
Zadan je čelik kvalitete S235 za izradu konstrukcije, što znači da je $f_y=23{,}5\ kN/cm^2$
Računska otpornost na savijanje (t. 4.3):

$$M_{Rd} = \frac{W_y \cdot f_y}{\gamma_m} = \frac{146{,}3 \cdot 23{,}5}{1{,}1} = 3125\ kNcm$$

$M_{Rd} > M_{Ed}$ → Presjek zadovoljava kontrolu na savijanje.

Računska otpornost na poprečnu silu (t. 4.4):

$$A_v = t_w \cdot h = 0{,}53 \cdot 18 = 9{,}54\ cm^2;\ V_{Rd} = \frac{A_v \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3}}}{\gamma_m} = \frac{9{,}54 \cdot \frac{23{,}5}{\sqrt{3}}}{1{,}1} = 117{,}6\ kN$$

$V_{Rd} > V_{Ed}$ → presjek zadovoljava kontrolu na posmik.

Kontrola progiba (t. 4.7):
Koristi se kombinacija opterećenja za GSU: $q_{Ed} = 3{,}5\ kN/m$.

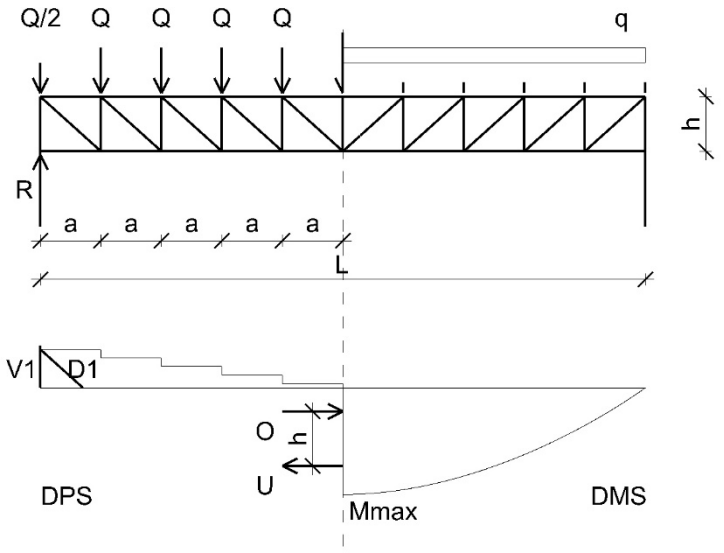
$$\delta = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_{Ed} \cdot L^4}{E \cdot I_y} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0{,}035 \cdot 500^4}{21000 \cdot 1317} = 1{,}03\ cm < \frac{L}{250} = 2\ cm$$

Odabrani profil zadovoljava kontrolu progiba.

### *7.2.3. Glavni rešetkasti čelični nosač*

Napomena: kod rešetkastih nosača s horizontalnim pojasima i simetričnim jednolikim opterećenjem moguće je brzo odrediti ekstremne sile u najopterećenijim elementima rešetke, i to ovako:

- Najveći iznosi tlačne i vlačne sile u pojasima jesu na sredini i jednaki su računskom momentu na sredini grede podijeljenom s krakom sila. Krak sila jednak je visini nosača, tj. osnom razmaku između gornjeg i donjeg pojasa rešetke;
- Najveća sila u štapovima ispune javlja se u prvoj dijagonali. U ovom slučaju to je vlačna sila koje je vertikalna komponenta jednaka reakciji R umanjenoj za silu Q/2.




Osni razmak glavnih nosača iznosi 5 m, raspon 20 m.

Stalno opterećenje:

- pokrov 0,65 x 5 = 3,25 kN/m
- sekundarni nosač 0,20 / 2 x 5 = 0,50 kN/m
- vlastita težina 0,20 x 5 = 1,00 kN/m
- ovješene instalacije 0,10 x 5 = 0,50 kN/m
- ukupno stalno = 5,25 kN/m

Pokretno:

- snijeg 1,0 x 5 = 5,00 kN/m
- vjetar (zanemareno zbog rasterećujućeg utjecaja vjetra na ravni krov, trenje po krovu također zanemareno)

Kombinacije opterećenja:

- za GSN $q_{Ed} = 1{,}35 \cdot g + 1{,}50 \cdot s = 1{,}35 \cdot 5{,}25 + 1{,}50 \cdot 5{,}00 = 14{,}09\ kN/m$
- za GSU $q_{Ed} = 1{,}00 \cdot g + 1{,}00 \cdot s = 1{,}00 \cdot 5{,}25 + 1{,}00 \cdot 5{,}00 = 10{,}25\ kN/m$

**Proračun unutarnjih sila:**

Statički sustav – jednostavna greda

$$M_{Ed} = \frac{q_{Ed} \cdot L^2}{8} = \frac{14{,}09 \cdot 20^2}{8} = 704{,}50\ kNm$$

$$R = V_{Ed} = \frac{q_{Ed} \cdot L}{2} = \frac{14{,}09 \cdot 20}{2} = 140{,}90\ kN$$

Tlačni i vlačni pojas na sredini nosača

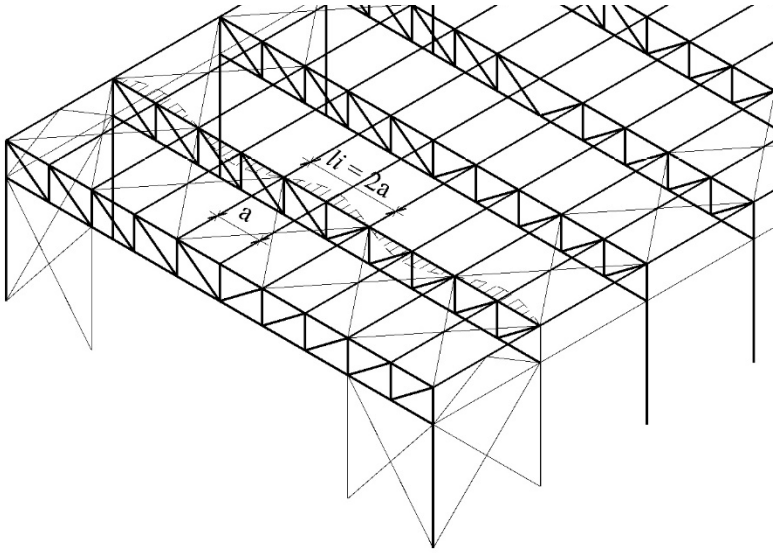
$$U = -O = \frac{M_{Ed}}{h} = \frac{704{,}50}{1{,}8} = 391{,}40\ kN$$

Vlačna dijagonala – iz vertikalne komponente u dijagonali i odnosa visine rešetke (1,8) i dužine dijagonale ($\sqrt{1{,}8^2 + 2^2}$ ) (sličnost trokuta rešetke i poligona sila):

$$D_1 = (R - \frac{Q}{2}) \cdot \frac{\sqrt{1{,}8^2 + 2^2}}{1{,}8} = (140{,}90 - 14{,}09 \cdot 1) \cdot 1{,}495 = 189{,}6\ kN$$

**DIMENZIONIRANJE - gornji pojas rešetke**

Dimenzionira se na centričnu tlačnu silu od 391,4 kN i dužinu izvijanja 2a u horizontalnoj ravnini. Napomena: dužina izvijanja u horizontalnoj ravnini ovisi o rasporedu spregova za svaki pojedini slučaj. Ovdje su vlačni spregovi preko dva polja (2a = 4,0 m), pa je to ujedno duljina izvijanja gornjeg pojasa.




Odabran je profil - okrugla šuplja, toplo oblikovana cijev $\phi$ 168,3x6,3 mm, površine $A = 32{,}1\ cm^2$, *i*=5,73 cm i kvalitete S235.

Vitkost i svedena vitkost (t. 4.5.2) iznose:

$$\lambda = \frac{l_i}{i} = \frac{400}{5{,}73} = 69{,}81 \Rightarrow \bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{69{,}81}{93{,}9} = 0{,}74$$

Za $\bar{\lambda} = 0{,}74$ iz tablica (t. 8.5) slijedi da je faktor redukcije uzdužne sile $\chi = 0{,}700$.

Otpornost elementa izražena kao uzdužna sila iznosi (t. 4.5.1):

$$N_{Rd} = \chi \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_M} = 0{,}70 \cdot \frac{32{,}1 \cdot 23{,}5}{1{,}1} = 480{,}04\ kN$$

$$N_{Rd} = 480{,}04 > 391{,}4 = N_{Ed}$$

Odabrani presjek zadovoljava kontrolu na izvijanje.

**DIMENZIONIRANJE – donji pojas rešetke**

Sila u donjem pojasu je vlačna i iznosi 391,4 kN.
Potrebna površina presjeka iznosi (4.2):

$$A_{pot} = \frac{N_{Ed} \cdot \gamma_M}{f_y} = \frac{391{,}4 \cdot 1{,}1}{23{,}5} = 18{,}37\ cm^2$$

Odabran je profil koji ima isti vanjski promjer kao gornji pojas, ali tanju stijenku: $\phi$ 168,3x4,0 mm, površine $A = 20{,}65\ cm^2$ i kvalitete čelika S235.

Otpornost elementa na vlačnu silu iznosi (4.2):

$$N_{Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_M} = \frac{20{,}65 \cdot 23{,}5}{1{,}1} = 441{,}16\ kN$$

$$N_{Rd} = 441{,}16 > 391{,}4 = N_{Ed}$$

Odabrani presjek zadovoljava kontrolu na vlačnu silu.
Napomena: može se po potrebi izabrati profil manjeg promjera i deblje stijenke.

**DIMENZIONIRANJE – dijagonala rešetke**

Najveća sila u štapu ispune je vlačna i iznosi $N_{Ed}$=189,6 kN.
Potrebna površina iznosi (izvedeno iz izraza 4.2):

$$A_{pot} = \frac{N_{Ed} \cdot \gamma_M}{f_y} = \frac{198{,}73 \cdot 1{,}1}{23{,}5} = 9{,}3\ cm^2$$

Odabran je profil $\phi$ 88,9x5 mm, $A = 13{,}18\ cm^2$, čelik kvalitete S235.

Otpornost štapa na vlačnu silu iznosi (4.2):

$$N_{Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_M} = \frac{13{,}18 \cdot 23{,}5}{1{,}1} = 281{,}6\ kN > 189{,}6\ kN = N_{Ed}$$

Odabrani presjek zadovoljava kontrolu na vlačnu silu.
Napomena: analizirana dijagonala rešetke dimenzionirana je kao vlačni element, dok je u slučaju tlačne sile potrebno provesti postupak dimenzioniranja tlačnog elementa u skladu s točkom 4.5.

### *7.2.4. Čelični stup*

Stup ima uzdužnu silu koja je jednaka reakciji glavnog nosača i momenta savijanja od djelovanja vjetra.

Uzdužna tlačna sila iznosi 140,9 kN, dužina izvijanja jednaka je dužini stupa (zglobne veze na krajevima) $l_i$ = 5 m = 500 cm.

Djelovanje sile vjetra na jedan stup (izraz 2.11):

$$w = (0{,}8 + 0{,}3) \cdot w_0 \cdot e = 1{,}1 \cdot 0{,}92 \cdot 5 = 5{,}06\ kN/m$$

pri čemu je *e* jednako osnom razmaku stupova.

Kombinacije opterećenja (t. 2.1):

- za GSN $w_{Ed} = 1{,}50 \cdot w = 1{,}50 \cdot 5{,}06 = 7{,}59\ kN/m$

Moment od djelovanja vjetra na stup iznosi:

$$M_{w,Ed} = \frac{q_{wEd} \cdot {h_s}^2}{8} = \frac{7{,}59 \cdot 5^2}{8} = 23{,}72\ kNm = 2372\ kNcm$$

Pri čemu je $h_s$ visina stupa.

**DIMENZIONIRANJE - stup**

Uzdužna sila u stupu iznosi $N_{Ed} = 140{,}9\ kN$. Duljina izvijanja prema rubnim uvjetima za zglobno priključeni stup (sl. 4.5) jednaka je dužini stupa, dakle iznosi 500 cm.
Moment savijanja u stupu od djelovanja vjetra iznosi $M_{Ed} = 23{,}72\ kNm = 2372\ kNcm$.

Odabran je profil $\phi$ *219,1*x6,3 mm; $i = 7{,}53\ cm$, $A = 42{,}1\ cm^2$ i $W = 285\ cm^3$.

Vitkost i svedena vitkost (t. 4.5.2) iznose:

$$\lambda = \frac{l_i}{i} = \frac{500}{7{,}53} = 66{,}4 \Rightarrow \bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{66{,}4}{93{,}9} = 0{,}71$$

Za vrijednost $\bar{\lambda} = 0{,}71$ iz tablica (t. 8.5) očitana je vrijednost $\chi = 0{,}719$.

Provjera presjeka na uzdužnu silu i moment savijanja (t. 4.6.1):

$$N_{Rd} = \chi \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_M} = 0{,}719 \cdot \frac{42{,}1 \cdot 23{,}5}{1{,}1} = 646{,}7\ kN$$

$$M_{Rd} = \frac{W \cdot f_y}{\gamma_M} = \frac{285 \cdot 23{,}5}{1{,}1} = 6089\ kNcm$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} + \frac{M_{Ed}}{M_{Ed}} = \frac{140{,}9}{646{,}7} + \frac{2372}{6089} = 0{,}219 + 0{,}390 = 0{,}609$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} + \frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} < 1$$

Odabrani presjek zadovoljava kontrolu na uzdužnu silu i moment savijanja.

### *7.2.5. Vjetrovni spreg*

Ukupnu silu djelovanja vjetra na duže i kraće pročelje izračunavamo prema izrazu 2.8:

$$W_{Ed} = (0{,}8 + 0{,}4) \cdot w_o \cdot A$$

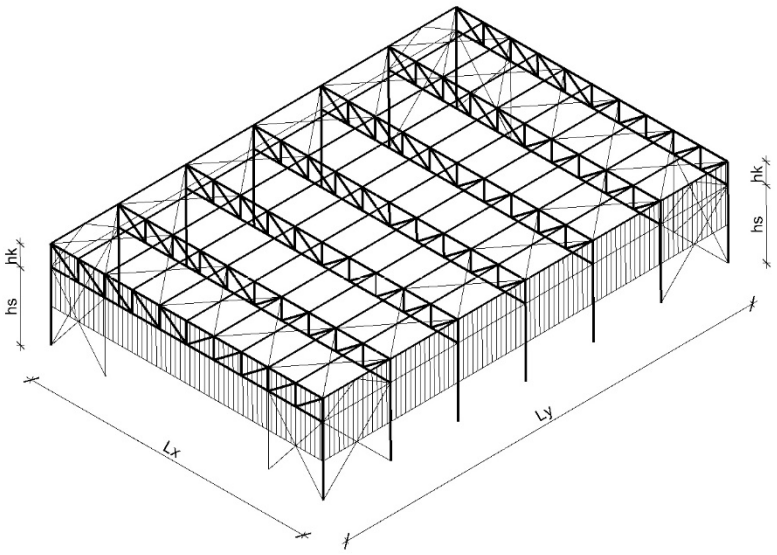
Navedeni izraz moramo uvećati za koeficijent sigurnosti za promjenjivo djelovanje (t. 2.1):

$$W_{Ed} = 1{,}5 \cdot (0{,}8 + 0{,}4) \cdot w_o \cdot A$$

Temeljem navedenoga ukupne sile djelovanja vjetra na duže i kraće pročelje (u smjeru x i y) iznose:

$$W_{xEd} = 1{,}5 \cdot (0{,}8 + 0{,}4) \cdot w_o \cdot (0{,}5 \cdot h_s + h_k) \cdot L_y = 1{,}5 \cdot 1{,}2 \cdot 0{,}92 \cdot 4{,}3 \cdot 30 = 213{,}63\ kN$$

$$W_{yEd} = 1{,}5 \cdot (0{,}8 + 0{,}4) \cdot w_o \cdot (0{,}5 \cdot h_s + h_k) \cdot L_x = 1{,}5 \cdot 1{,}2 \cdot 0{,}92 \cdot 4{,}3 \cdot 20 = 142{,}41\ kN$$




Na kraćemu su pročelju 4 sprega pa će se ukupna sila dijeliti na 4. Svaki spreg ima visinu 5 m i širinu 4 m, a dužina je dijagonale 6,4 m, što znači da će (iz sličnosti trokuta) sila u jednoj dijagonali iznositi:

$$D_{xEd} = \frac{W_{xEd}}{4} \cdot \frac{6{,}4}{4} = \frac{213{,}63}{4} \cdot \frac{6{,}4}{4} = 85{,}46\ kN$$

Na dužemu su pročelju također 4 sprega pa će se i tamo ukupna sila dijeliti na 4, ali su spregovi širine 5 i visine 5 m te im je dijagonala duga 7,07 m, što znači da će (iz sličnosti trokuta) sila u jednoj dijagonali iznositi:

$$D_{yEd} = \frac{W_{yEd}}{4} \cdot \frac{7{,}07}{5} = \frac{142{,}41}{4} \cdot \frac{7{,}07}{5} = 50{,}34\ kN$$

**DIMENZIONIRANJE – vjetrovni spreg**

Oba sprega su vlačna pa se dimenzioniraju na uzdužnu vlačnu silu. Mjerodavna je veća sila $N_{Ed} = D_{xEd} = 85{,}46\ kN$.

Potrebna površina iznosi (4.2):

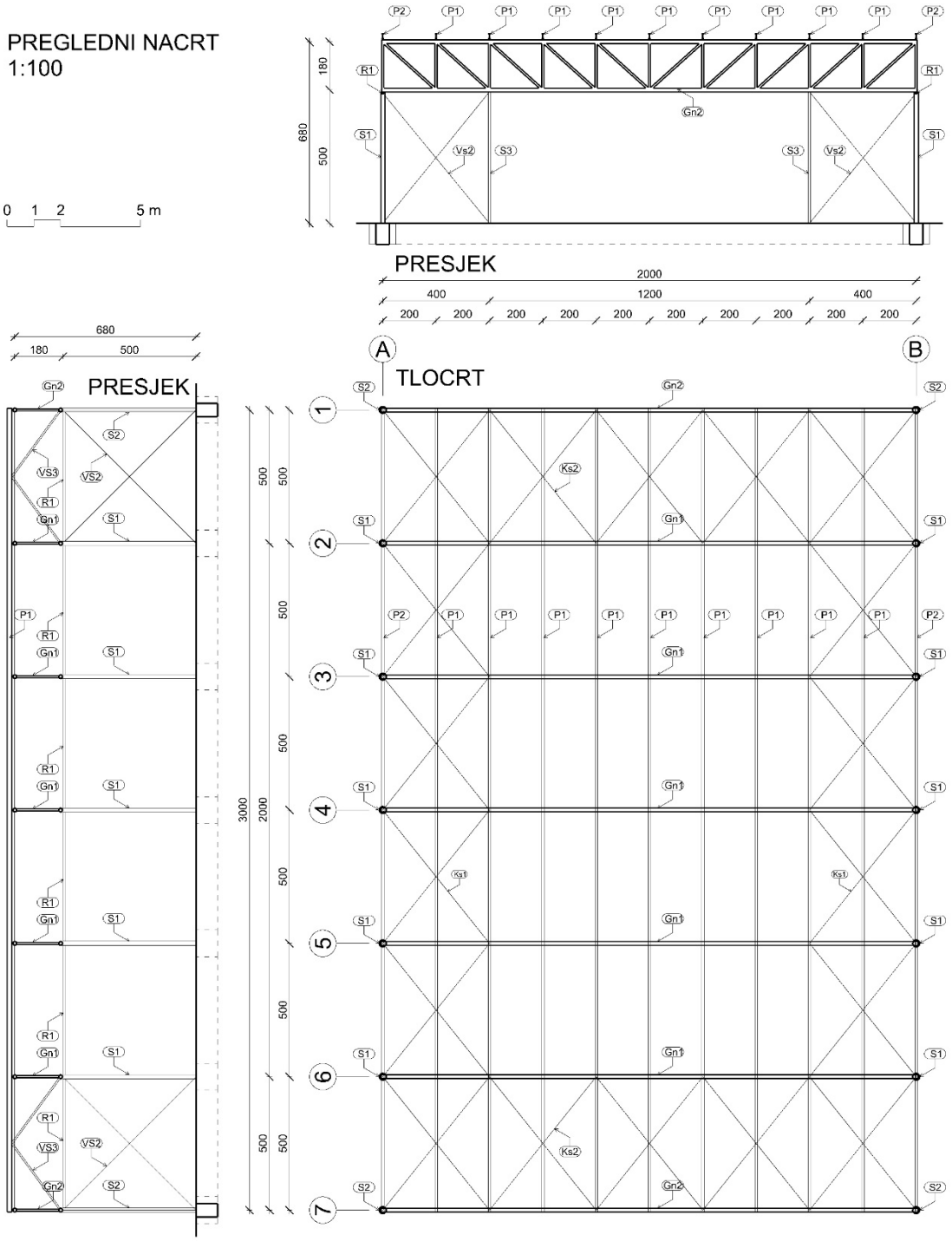
$$A_{pot} = \frac{N_{xEd} \cdot \gamma_{M1}}{f_y} = \frac{85{,}46 \cdot 1{,}1}{23{,}5} = 4{,}0\ cm^2$$

Odabran je puni okrugli profili: $\phi$ 24 mm; $A = 4{,}52\ cm^2$.

Kontrola na uzdužnu vlačnu silu (t. 4.2):

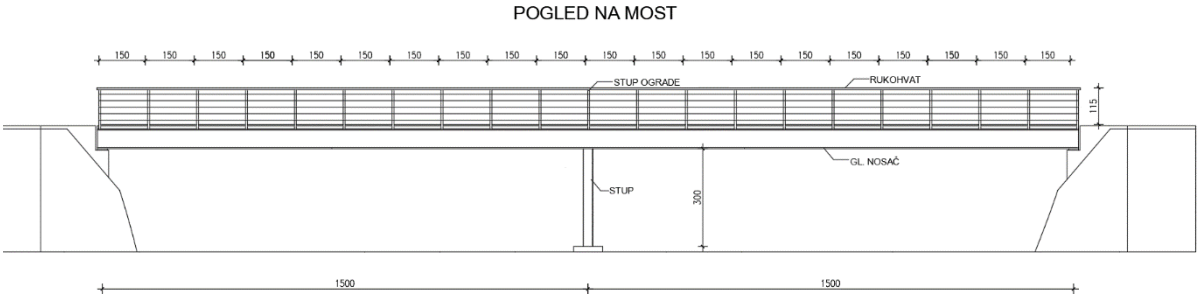
$$N_{xRd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{4{,}52 \cdot 23{,}5}{1{,}1} = 96{,}56\ kN > N_{Ed} = 85{,}46\ kN$$

Odabrani presjek zadovoljava kontrolu na vlačnu silu.


PREGLEDNI NACRT
1:100
0 1 2 5 m
PRESJEK
TLOCRT
A
B
680
180
500
2000
400
1200
200
3000

## *7.3.Zadatak 3. - most*

Zadana je shema pješačkog mosta širokog 2 m. Konstrukciju čine čelični glavni nosači preko dva jednaka raspona od 15 m. Sekundarne nosače čine čelični profili postavljeni na osnom razmaku od 150 cm. Na sekundarne nosače oslanja se hodna ploha koja je sastavljena od drvenih platica. Ograda mosta sastavljena je od čeličnih cijevnih profila međusobno povezanih rukohvatom i zavarenih za glavni nosač. Raspored elemenata definiran je na shemi, a dimenzije svih elemenata konstrukcije potrebno je proračunati. Uporabno opterećenje mosta iznosi 5 kN/m$^2$.




### *7.3.1. Analiza opterećenja*

Stalno opterećenje (t. 2.2.)

Stalno opterećenje čini vlastita težina konstrukcije; za čelične profile težina će se očitati iz tablice profila, dok se vlastite težine drvenih elemenata izračunavaju prema izrazima 2.3 i 2.4, a zapreminska težina drva očitana je iz tablice 2.1.

Promjenjiva opterećenja (t. 2.3.)

Kako se radi o pješačkom mostu, mjerodavno je opterećenje od pješaka, tako da se neće u proračunu razmatrati utjecaj vjetra i snijega na most, već samo uporabno opterećenje od pješaka.

4. Uporabno opterećenje:
   $q = 5{,}00\ kN/m^2$

### *7.3.2. Hodna ploha / Platice*

**Analiza opterećenja:**
Osni razmak platica iznosi 20 cm, raspon 150 cm, preko dva polja.
Za visinu procjenjujemo:
$h = 6\ cm,$
dok širinu uzimamo:
$b = 20\ cm.$

VI. **Stalno opterećenje**:
- vl. tež. platice 0,06·6,0* = 0,36 kN/m$^2$
- ukupno stalno **g = 0,36 kN/m$^2$**

  * - zapreminska težina drva, tab. 2.1

VII. **Uporabno**:
- pješaci = 5,00 kN/m$^2$
- ukupno uporabno **q = 5,00 kN/m$^2$**

VIII. **Kombinacija opterećenja za GSN (t. 2.4.1.)**

Površinsko opterećenje:

$q_{Ed} = 1{,}35 \cdot g + 1{,}50 \cdot q = 1{,}35 \cdot 0{,}36 + 1{,}50 \cdot 5{,}0 = 7{,}99\ kN/m^2$

Linijsko opterećenje:

$q_{Ed,lin} = 7{,}99 \cdot 0{,}2 = \ 1{,}60\ kN/m'$

IX. **Kombinacija opterećenja za GSU (t. 2.4.2.)**

Površinsko opterećenje:

$q_{Ed} = 1{,}00 \cdot g + 1{,}00 \cdot q = 0{,}36 + 5{,}0 = 5{,}36\ kN/m^2$

Linijsko opterećenje:

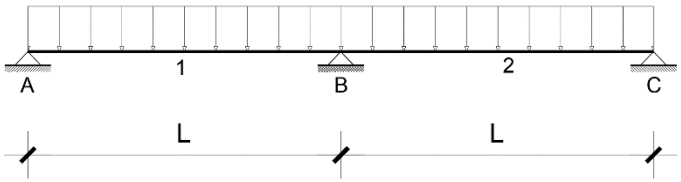
$q_{Ed,lin} = 5{,}36 \cdot 0{,}2 = \ 1{,}07\ kN/m'$

**Dimenzioniranje drvenih platica 20/6 cm:**

Materijal: drvo klase C24

Raspon 1,5 + 1,5 m

Statički sustav platice:




Unutarnje sile prema tablici 8.1:

$M_{1,1} = 0{,}070 \cdot q_{Ed,lin} \cdot L^2 = 0{,}070 \cdot 1{,}60 \cdot 1{,}5^2 = 0{,}252\ kNm$

$M_{Bmin} = -0{,}125 \cdot q_{Ed,lin} \cdot L^2 = -0{,}125 \cdot 1{,}60 \cdot 1{,}5^2 = -0{,}45 kNm$

$R_A = Q_{1A} = 0{,}375 \cdot q_{Ed,lin} \cdot L = 0{,}375 \cdot 1{,}60 \cdot 1{,}5 = 0{,}90\ kN$

$R_{Bmax} = 1{,}250 \cdot q_{Ed,lin} \cdot L = 1{,}250 \cdot 1{,}60 \cdot 1{,}5 = 3{,}00\ kN$

$Q_{1Bmin} = -0{,}625 \cdot q_{Ed,lin} \cdot L = -0{,}625 \cdot 1{,}60 \cdot 1{,}5 = -1{,}50\ kN$

- Kontrola naprezanja od savijanja (t.3.3.):

$\sigma_{m,d} = \frac{M_{Ed}}{W_{min}} \leq f_{m,d}$

$W = \frac{20 \cdot 6{,}0^2}{6} = 120\ cm^3$

$f_{m,d} = 0{,}8 \cdot \frac{f_{m,k}}{1{,}3} = 0{,}8 \cdot \frac{24}{1{,}3} = 14{,}77\ N/mm^2$

$\sigma_{m,d} = \frac{M_{Ed}}{W} = \frac{0{,}45 \times 10^2}{120} = 0{,}375\ kN/cm^2 = 3{,}75\ N/mm^2 \leq 14{,}77\ N/mm^2$

- Kontrola posmičnih naprezanja (t.3.4.):

$\tau_{v,d} = 1{,}5 \cdot \frac{V_{Ed}}{A} \leq f_{v,d}$

$A = 20 \cdot 6{,}0 = 120\ cm^2$

$f_{v,d} = 0{,}8 \cdot \frac{f_{v,k}}{1{,}3} = 0{,}8 \cdot \frac{4{,}0}{1{,}3} = 2{,}46\ N/mm^2$

$\tau_{v,d} = 1{,}5 \cdot \frac{V_{Ed}}{A} = 1{,}5 \cdot \frac{1{,}50}{120} = 0{,}0188\ kN/cm^2 = 0{,}188\ N/mm^2 \leq 2{,}46\ N/mm^2$

– Kontrola progiba (t.3.7.):

$$u = \frac{1}{185} \cdot \frac{q_{Ed} \cdot L^4}{E_{mean} \cdot I} \leq \frac{L}{250}$$

$$I = \frac{20 \cdot 6{,}0^3}{12} = 360\ cm^4$$

$$u = \frac{1}{185} \cdot \frac{q_{Ed} \cdot L^4}{E_{mean} \cdot I} = \frac{1}{185} \cdot \frac{1{,}07 \times 10^{-2} \cdot 150^4}{1100 \cdot 360} = 0{,}074\ cm$$

$$\leq \frac{L}{250} = \frac{150}{250} = 0{,}6\ cm$$

**ODABRANO: Platica 20/6,0 cm, C24**

### *7.3.3. Sekundarni nosač*

**Analiza opterećenja**

Osni razmak greda iznosi 1,50 m, raspon 2,0 m.
Za sekundarni nosač od čelika procjenjujemo visinu u ovisnosti o rasponu (tab. 5.1):
$h = L/25 = 200/25 = 8{,}0\ cm$ – odabrano IPE 120

**VI. Stalno opterećenje:**

– platice (prijenos reakcije na ležaju B):

1,25·0,360·1,50 = 0,675 kN/m'

– vl. tež. grede = 0,104 kN/m' - tablica 8.6

– ukupno stalno **g = 0,78 kN/m'**

**VII. Uporabno:**

– pješaci 1,25·5,00·1,50 = 9,38 kN/m' - tablica 8.6

– ukupno uporabno **q = 9,38 kN/m'**

**VIII. Kombinacija opterećenja za GSN (t. 2.4.1.):**

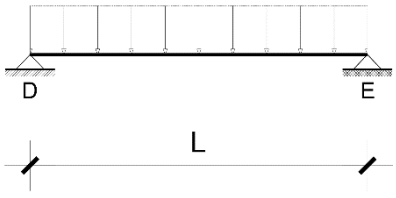
$$q_{Ed} = 1{,}35 \cdot g + 1{,}50 \cdot q = 1{,}35 \cdot 0{,}78 + 1{,}50 \cdot 9{,}38 = 15{,}12\ kN/m'$$

**IX. Kombinacija opterećenja za GSU (t. 2.4.2.):**

$$q_{Ed} = 1{,}00 \cdot g + 1{,}00 \cdot q = 0{,}78 + 9{,}38 = 10{,}16\ kN/m'$$

**Dimenzioniranje sekundarnog nosača IPE 120:**
Materijal: čelik S 235

Raspon 2,0 m
Statički sustav sekundarnog nosača:




Unutarnje sile:

$$M_{Ed} = \frac{q_{Ed} \cdot L^2}{8} = \frac{15{,}12 \cdot 2{,}0^2}{8} = 7{,}56\ kNm$$

$$V_{Ed} = \frac{q_{Ed} \cdot L}{2} = \frac{15{,}12 \cdot 2}{2} = 15{,}22\ kN$$

- Tablični podaci za odabrani profil IPE 120 (t.8.6.):
  $A = 13{,}21\ cm^2$
  $h = 120\ mm$
  $t_w = 4{,}4mm$
  $W_y = 52{,}96\ cm^3$
  $I_y = 317{,}8\ cm^4$

- Računska otpornost na savijanje (tablica 2.2 i t.4.3):

$$M_{Rd} = \frac{W_y \cdot f_y}{\gamma_m} = \frac{52{,}96 \cdot 23{,}5}{1{,}1} = 1131\ kNcm = 11{,}31\ kNm$$

$M_{Ed} = 7{,}56\ kNm < M_{Rd} = 11{,}31\ kNm$
→ Presjek zadovoljava kontrolu na savijanje.

- Računska otpornost na poprečnu silu (t.4.4):

$$A_v = t_w \cdot h = 0{,}44 \cdot 12 = 5{,}28\ cm^2;$$

$$V_{Rd} = \frac{A_v \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3}}}{\gamma_m} = \frac{5{,}28 \cdot \frac{23{,}5}{\sqrt{3}}}{1{,}1} = 65{,}12\ kN$$

$V_{Ed} = 15{,}22\ kN < V_{Rd} = 65{,}12\ kN$
→ Presjek zadovoljava kontrolu na posmik.

- Kontrola progiba (4.11):
  Koristi se kombinacija opterećenja za GSU: $q_{Ed} = 10{,}16\ kN/m'$

$$\delta = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_{Ed} \cdot L^4}{E \cdot I_y} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0{,}102 \cdot 200^4}{21000 \cdot 317{,}8} = 0{,}32\ cm < \frac{L}{250} = 0{,}8\ cm$$

→ Odabrani profil zadovoljava kontrolu progiba.

**ODABRANO: IPE 120, S 235**

### *7.3.4. Glavni nosač*

**Analiza opterećenja**

Osni razmak greda iznosi 2,00 m, raspon 15,0 m.
Za glavni nosač od čelika procjenjujemo visinu u ovisnosti o rasponu (tab. 5.1):

$$h = \frac{L}{25} = \frac{1500}{25} = 60{,}0\ cm\ -\ \text{odabrano HEA 600}$$

**I. Stalno opterećenje:**

| | | | |
|---|---|---|---|
| – platice | 1,0·0,360 | = 0,36 kN/m' | |
| – sek.nosač | 1,0·(0,104/1,50) | = 0,07 kN/m' | |
| – ograda | | = 0,50 kN/m' | (procjena) |
| – vl. tež. grede | | = 1,78 kN/m' | - tablica 8.6 |
| – ukupno stalno | | **g = 2,71 kN/m'** | |

**II. Uporabno:**

- pješaci 5,00·1,00 = 5,00 kN/m' - tablica 8.6
- ukupno uporabno **q = 5,00 kN/m'**

**III. Kombinacija opterećenja za GSN (t. 2.4.1.):**

$q_{Ed} = 1{,}35 \cdot g + 1{,}50 \cdot q = 1{,}35 \cdot 2{,}71 + 1{,}50 \cdot 5{,}0 = 11{,}16\ kN/m'$

**IV. Kombinacija opterećenja za GSU (t. 2.4.2.):**

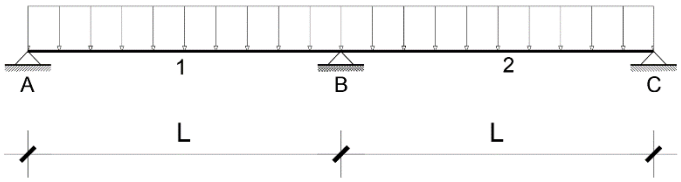
$q_{Ed} = 1{,}00 \cdot g + 1{,}00 \cdot q = 2{,}71 + 5{,}00 = 7{,}71\ kN/m'$

**Dimenzioniranje glavnog nosača HEA 600:**

Materijal: S 235

Raspon 15,0 + 15,0 m

Statički sustav gl. nosača:




Unutarnje sile prema tablici 8.2:

$M_{Bmin} = -0{,}125 \cdot q_{Ed,lin} \cdot L^2 = -0{,}125 \cdot 11{,}16 \cdot 15^2 = 313{,}9\ kNm$
$Q_{1Bmin} = -0{,}625 \cdot q_{Ed,lin} \cdot L = -0{,}625 \cdot 11{,}16 \cdot 15 = -104{,}6\ kN$
$R_{Bmax} = 1{,}250 \cdot q_{Ed,lin} \cdot L = 1{,}250 \cdot 11{,}16 \cdot 15 = -209{,}3\ kN$

- Tablični podaci za odabrani profil HEA 600 (t.8.6.):
  $A = 226{,}5\ cm^2$
  $h = 590\ mm$
  $t_w = 13\ mm$
  $W_y = 4787\ cm^3$
  $I_y = 141210\ cm^4$

- Računska otpornost na savijanje (tablica 2.2 i t.4.3):

$$M_{Rd} = \frac{W_y \cdot f_y}{\gamma_m} = \frac{4787 \cdot 23{,}5}{1{,}1} = 102267\ kNcm = 1022\ kNm$$

$M_{Ed} = 314\ kNm < M_{Rd} = 1022\ kNm$

→ Presjek zadovoljava kontrolu na savijanje.

- Računska otpornost na poprečnu silu (t.4.4):

$A_v = t_w \cdot h = 1{,}3 \cdot 59 = 76{,}7\ cm^2;$

$$V_{Rd} = \frac{A_v \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3}}}{\gamma_m} = \frac{76{,}7 \cdot \frac{23{,}5}{\sqrt{3}}}{1{,}1} = 946\ kN$$

$V_{Ed} = 105\ kN < V_{Rd} = 946\ kN$

→ Presjek zadovoljava kontrolu na posmik.

– Kontrola progiba (t.4.7.):
Koristi se kombinacija opterećenja za GSU: $q_{Ed} = 7{,}71\ kN/m'$

$$\mathrm{u} = \frac{1}{185} \cdot \frac{q_{Ed} \cdot L^4}{E \cdot I_y} = \frac{1}{185} \cdot \frac{0{,}0771 \cdot 1500^4}{21000 \cdot 141210} = 0{,}71\ cm < \frac{L}{250} = 6\ cm$$

→ Odabrani profil zadovoljava kontrolu progiba.

**ODABRANO: HEA 600**

### *7.3.5. Stup*

**Analiza opterećenja:**
Visina stupa iznosi 300 cm.
Za stup procjenjujemo čelični profil HEA 300 (jednake širine kao i gl. nosač).

**I. Stalno opterećenje**:
– gl. nosač (prijenos reakcije na ležaju B):

1,25·2,71·15,0 = 50,81 kN

– vl.težina stupa 0,883·3,0 = 2,65 kN - tablica 8.6
– ukupno stalno **G = 53,46 kN**

**II. Uporabno:**
– pješaci (prijenos reakcije na ležaju B):

1,25·5,0·15,0 = 93,75 kN

– ukupno uporabno **Q = 93,75 kN**

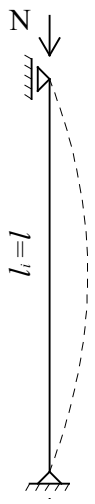
**III. Kombinacija opterećenja za GSN (t. 2.4.1.):**

$$q_{Ed} = 1{,}35 \cdot g + 1{,}50 \cdot q = 1{,}35 \cdot 53{,}46 + 1{,}50 \cdot 93{,}75 = 212{,}8\ kN$$

Napomena: umjesto prikazanog izračuna sile mogla se preuzeti vrijednost reakcije glavnog nosača $R_{Bmax}$ uvećana za težinu stupa.

**Dimenzioniranje stupa HEA 300:**
Materijal: S235

Statički sustav:




Napomena:

Prikazani statički sustav možemo usvojiti u slučaju kada je konstrukcija u razini hodne plohe stabilizirana u horizontalnom smjeru. Navedeno se postiže ugradnjom horizontalnih vlačnih spregova.

No kada to prethodno nije ispunjeno, stup tada moramo računati kao konzolu upetu u temelj.

Unutarnje sile:

$N_{Ed} = 212{,}8\ kN$

- Tablični podaci za odabrani profil HEA 300 (t.8.6.):
  $A = 112{,}5\ cm^2$
  $i_y = 12{,}74\ cm$
  $i_z = 7{,}49\ cm$

- Vitkost tlačno opterećenog stupa (t.4.5.2.):
  Vitkost:
  $\lambda_y = \frac{l_{i,y}}{i_{min}} = \frac{300}{7{,}49} = 40{,}05$
  $\overline{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{40{,}05}{93{,}9} = 0{,}427$
  $\chi = 0{,}882 \quad (očitano\ temeljem\ \overline{\lambda} = 0{,}43; t.8.5)$

- Otpornost na tlačnu silu (t.4.5.):
  $N_{Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_M} = \frac{0{,}882 \cdot 112{,}5 \cdot 23{,}5}{1{,}1} = 2119{,}8\ kN$
  pri čemu je za S235: $f_y = 235\ N/mm^2 = 23{,}5\ kN/cm^2$

  $N_{Ed} = 212{,}8\ kN < N_{Rd} = 2119{,}8$ kN

  → Presjek zadovoljava kontrolu na tlačnu silu.

**ODABRANO: HEA 300, S235**

### *7.3.6. Stup ograde*

**Analiza opterećenja**
Osni razmak stupova ograde iznosi 150 cm, dok mu je visina 115 cm.
Za stup ograde procjenjujemo čelični profil (cijev) QRO 60/60/5 mm:

**I. Stalno opterećenje**:
- vl.težina = 0,09 kN/m' – nije uključeno u proračun

**II. Uporabno:**
- Horizontalno opterećenje na ogradu od pješaka 1,50·0,50 = 0,75 kN

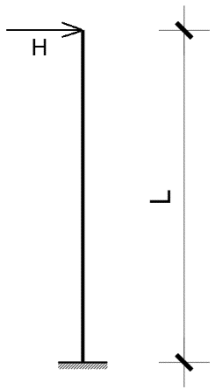
**III. Kombinacija opterećenja za GSN (t. 2.4.1.):**
$Q_{Ed,h} = 1{,}50 \cdot q = 1{,}50 \cdot 0{,}75 = 1{,}125\ kN$

**IV. Kombinacija opterećenja za GSU (t. 2.4.2.):**
$Q_{Ed,h} = 1{,}00 \cdot q = 0{,}75\ kN$

**Dimenzioniranje stupa ograde QRO 60/60/5 mm:**

Materijal: S235

Statički sustav:




Unutarnje sile:

$M_{Ed} = Q_{Ed,h} \cdot L = 1{,}125 \cdot 1{,}15 = 1{,}294\ kNm$

$V_{Ed} = Q_{Ed,h} = 0{,}75\ kN$

- Tablični podaci za odabrani profil QRO 60/60/5 mm:

  $A = 10{,}73\ cm^2$

  $h = 590\ mm$

  $t = 5\ mm$

  $W_y = 17{,}75\ cm^3$

  $I_y = 53{,}26\ cm^4$

  $i_y = 2{,}23\ cm$

- Otpornost na savijanje (t.4.3.):

  $$M_{Rd} = \frac{W_y \cdot f_y}{\gamma_M} = \frac{17{,}75 \cdot 23{,}5}{1{,}1} = 379\ kNcm = 3{,}79\ kNm$$

  $M_{Ed} = 1{,}294\ kNm < M_{Rd} = 3{,}79\ kNm$

  → Presjek zadovoljava kontrolu na moment savijanja.

- Kontrola pomaka vrha stupa (t.4.7.):

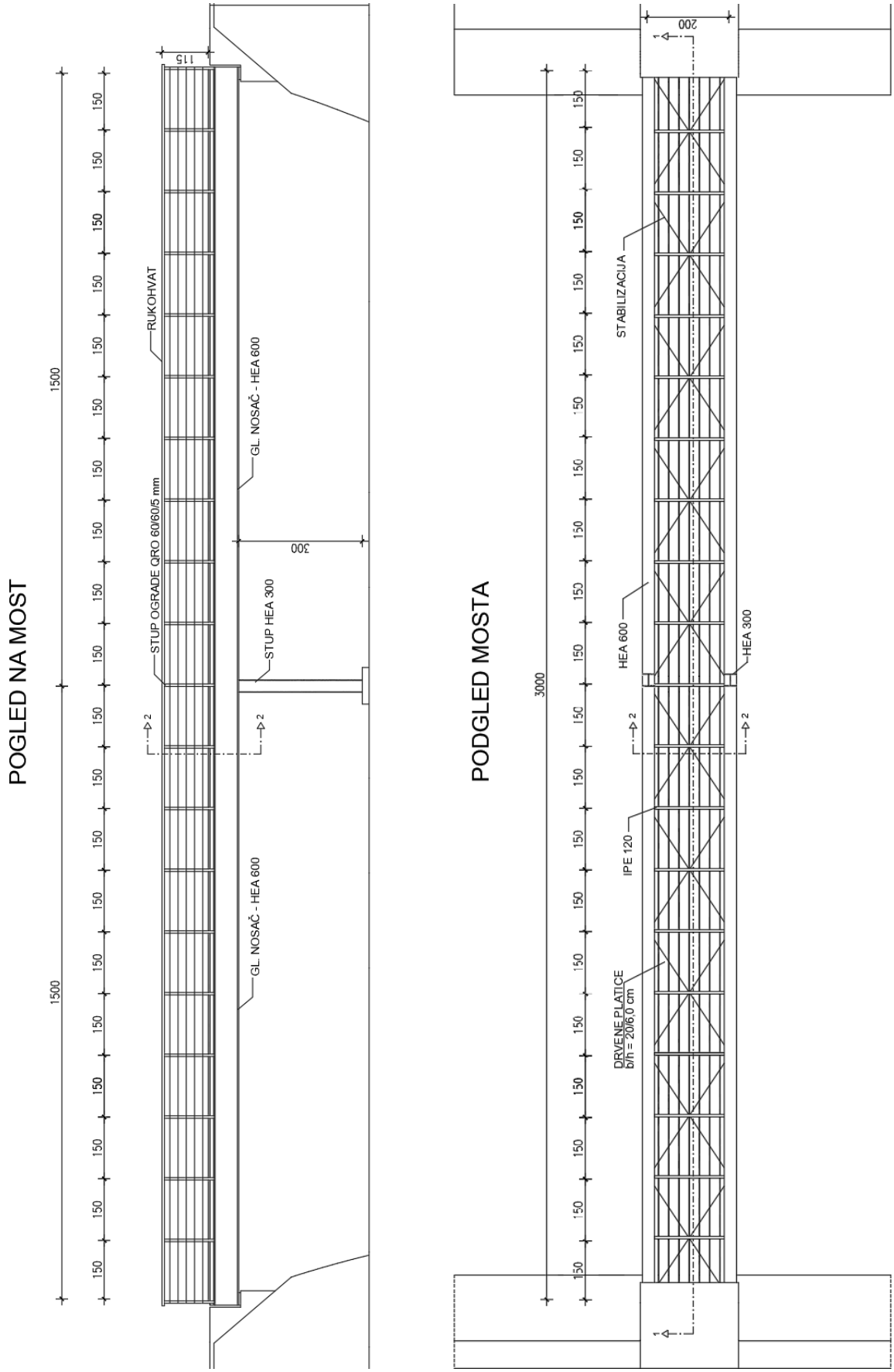
  Koristi se kombinacija opterećenja za GSU: $Q_{Ed,h} = 0{,}75\ kN$

  $$u = \frac{1}{3} \cdot \frac{P_{Ed} \cdot L^3}{E \cdot I} \leq \frac{L}{150}$$

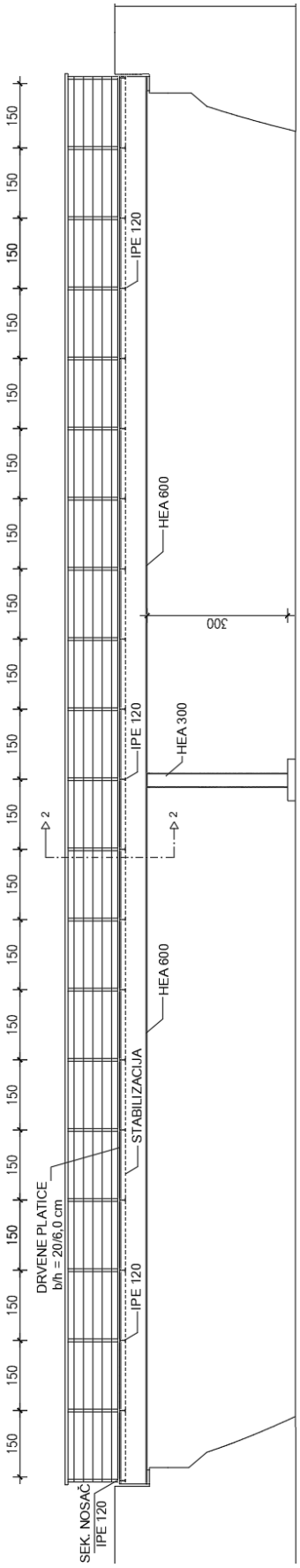
  $$u = \frac{1}{3} \cdot \frac{0{,}75 \cdot 115^3}{21000 \cdot 53{,}26} = 0{,}34\ cm < \frac{115}{150} = 0{,}77\ cm$$

  → Odabrani profil zadovoljava kontrolu pomaka.

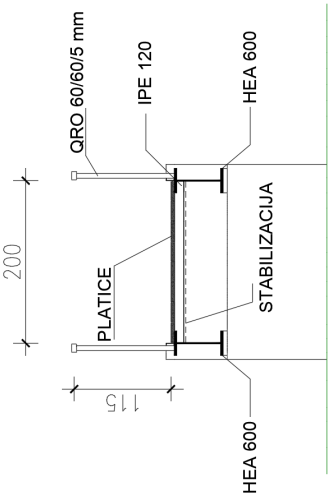
**ODABRANO: QRO 60/60/5 mm, S235**


POGLED NA MOST
1500
1500
150
115
RUKOHVAT
STUP OGRADE QRO 60/60/5 mm
GL. NOSAČ - HEA 600
300
STUP HEA 300
GL. NOSAČ - HEA 600
PODGLED MOSTA
3000
200
STABILIZACIJA
HEA 600
HEA 300
IPE 120
DRVENE PLATICE
b/h = 20/6,0 cm

UZDUŽNI PRESJEK 1-1

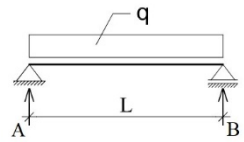
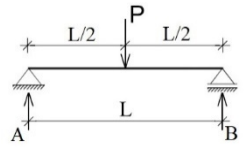
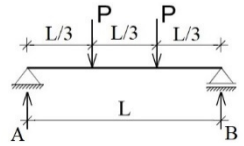
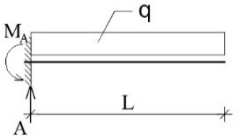
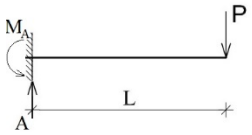
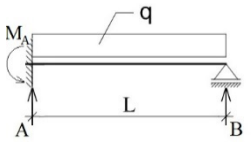
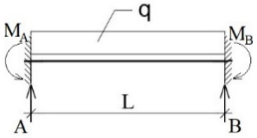



PRESJEK 2-2



# 8. Tablice

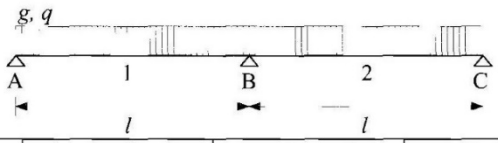
## *8.1. Jednorasponski nosači*

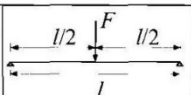
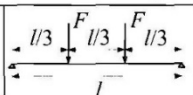
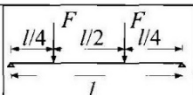
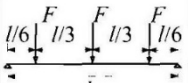
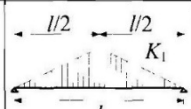
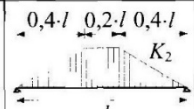
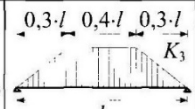
| Statički sustav | Reakcije | Momenti | Najveći progib |
|---|---|---|---|
|  | $A = B = \frac{q \cdot L}{2}$ | $M_{max} = \frac{q \cdot L^2}{8}$ | $u = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_{Ed} \cdot L^4}{\mathrm{E} \cdot I}$ |
|  | $A = B = \frac{P}{2}$ | $M_{max} = \frac{P \cdot L}{4}$ | $u = \frac{1}{48} \cdot \frac{P_{Ed} \cdot L^3}{\mathrm{E} \cdot I}$ |
|  | $A = B = P$ | $M_{max} = \frac{P \cdot L}{3}$ | $u = \frac{23}{648} \cdot \frac{P_{Ed} \cdot L^3}{\mathrm{E} \cdot I}$ |
|  | $A = q \cdot L$<br>$M_A = \frac{q \cdot L^2}{2}$ | $M_{min} = -\frac{q \cdot L^2}{2}$ | $u = \frac{1}{8} \cdot \frac{q_{Ed} \cdot L^4}{\mathrm{E} \cdot I}$ |
|  | $A = P$<br>$M_A = P \cdot L$ | $M_{min} = -P \cdot L$ | $u = \frac{1}{3} \cdot \frac{P_{Ed} \cdot L^3}{\mathrm{E} \cdot I}$ |
|  | $A = \frac{5}{8} \cdot q \cdot L$<br>$B = \frac{3}{8} \cdot q \cdot L$ | $M_{min} = -\frac{q \cdot L^2}{8}$<br>$M_{max} = \frac{9}{128} \cdot q \cdot L^2$ | $u = \frac{1}{185} \cdot \frac{q_{Ed} \cdot L^4}{\mathrm{E} \cdot I}$ |
|  | $A = B = \frac{q \cdot L}{2}$<br>$M_A = \frac{q \cdot L^2}{12}$ | $M_{min} = -\frac{q \cdot L^2}{12}$<br>$M_{max} = \frac{q \cdot L^2}{24}$ | $u = \frac{1}{185} \cdot \frac{q_{Ed} \cdot L^4}{\mathrm{E} \cdot I}$ |

## 8.2. Kontinuirani nosači

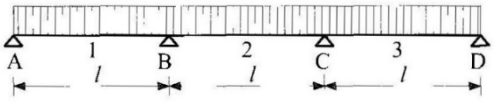
(izvor: Betonske konstrukcije 2)

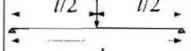
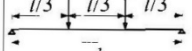
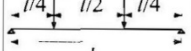
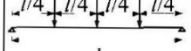
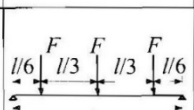
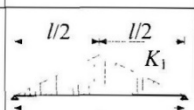
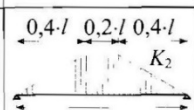
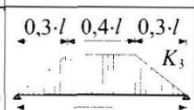
### *Nosač preko dva jednaka raspona*



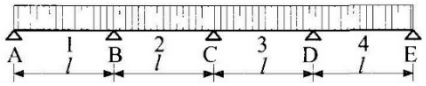

| Statička veličina | $x = (0{,}4 \div 0{,}5) \cdot l$  |  |  |  |  |
|---|---|---|---|---|---|
| $M_{1,1}$ | $0{,}070 \cdot q \cdot l^2$ | $0{,}156 \cdot F \cdot l$ | $0{,}222 \cdot F \cdot l$ | $0{,}180 \cdot F \cdot l$ | $0{,}258 \cdot F \cdot l$ |
| $M_{1,2}$ | – | – | $0{,}111 \cdot F$ | $0{,}039 \cdot F \cdot l$ | $0{,}266 \cdot F \cdot l$ |
| $M_{1,3}$ | – | – | – | – | $0{,}023 \cdot F \cdot l$ |
| $M_{B\min}$ | $-0{,}125 \cdot q \cdot l^2$ | $-0{,}188 \cdot F \cdot l$ | $-0{,}333 \cdot F \cdot l$ | $-0{,}281 \cdot F \cdot l$ | $-0{,}469 \cdot F \cdot l$ |
| $R_A = Q_{1A}$ | $0{,}375 \cdot q \cdot l$ | $0{,}313 \cdot F$ | $0{,}667 \cdot F$ | $0{,}719 \cdot F$ | $1{,}031 \cdot F$ |
| $R_{B\max}$ | $1{,}250 \cdot q \cdot l$ | $1{,}375 \cdot F$ | $2{,}667 \cdot F$ | $2{,}563 \cdot F$ | $3{,}938 \cdot F$ |
| $Q_{1B\min}$ | $-0{,}625 \cdot q \cdot l^2$ | $-0{,}688 \cdot F$ | $-1{,}333 \cdot F$ | $-1{,}281 \cdot F$ | $-1{,}969 \cdot F$ |
| Statička veličina |  |  |  |  | $K_1 = 0{,}5 \cdot q \cdot l$<br>$K_2 = 0{,}6 \cdot q \cdot l$<br>$K_3 = 0{,}7 \cdot q \cdot l$ |
| $M_{1,1}$ | $0{,}184 \cdot F \cdot l$ | $0{,}095 \cdot K_1 \cdot l$ | $0{,}094 \cdot K_2 \cdot l$ | $0{,}089 \cdot K_3 \cdot l$ | |
| $M_{1,2}$ | $0{,}219 \cdot F \cdot l$ | – | – | – | |
| $M_{1,3}$ | $-0{,}080 \cdot F \cdot l$ | – | – | – | |
| $M_{B\min}$ | $-0{,}396 \cdot F \cdot l$ | $-0{,}156 \cdot K_1 \cdot l$ | $-0{,}155 \cdot K_2 \cdot l$ | $-0{,}151 \cdot K_3 \cdot l$ | |
| $R_A = Q_{1A}$ | $1{,}104 \cdot F$ | $0{,}344 \cdot K_1$ | $0{,}345 \cdot K_2$ | $0{,}349 \cdot K_3$ | |
| $R_{B\max}$ | $3{,}792 \cdot F$ | $1{,}312 \cdot K_1$ | $1{,}310 \cdot K_2$ | $1{,}302 \cdot K_3$ | |
| $Q_{1B\min}$ | $-1{,}896 \cdot F$ | $-0{,}656 \cdot K_1$ | $-0{,}655 \cdot K_2$ | $-0{,}651 \cdot K_3$ | |

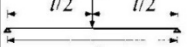
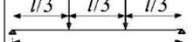
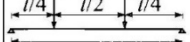
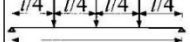
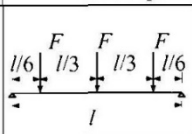
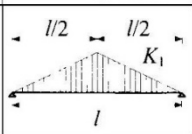
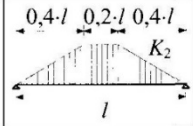
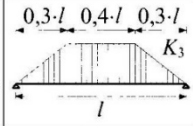
***Nosač preko tri jednaka raspona***



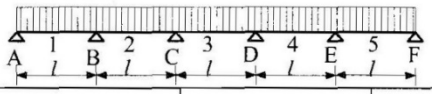

| Statička veličina | $x = (0{,}4 \div 0{,}5) \cdot l$  |  |  |  |  |
|---|---|---|---|---|---|
| $M_{1,1}$ | $0{,}080 \cdot q \cdot l^2$ | $0{,}175 \cdot F \cdot l$ | $0{,}244 \cdot F \cdot l$ | $0{,}194 \cdot F \cdot l$ | $0{,}281 \cdot F \cdot l$ |
| $M_{1,2}$ | – | - | $0{,}156 \cdot F \cdot l$ | $0{,}081 \cdot F \cdot l$ | $0{,}313 \cdot F \cdot l$ |
| $M_{1,3}$ | – | – | – | – | $0{,}094 \cdot F \cdot l$ |
| $M_{2,1}$ | $0{,}025 \cdot q \cdot l^2$ | $0{,}100 \cdot F \cdot l$ | $0{,}067 \cdot F \cdot l$ | $0{,}025 \cdot F \cdot l$ | 0 |
| $M_{2,2}$ | - | – | $0{,}067 \cdot F \cdot l$ | $0{,}025 \cdot F \cdot l$ | $0{,}125 \cdot F \cdot l$ |
| $M_B$ | $-0{,}100 \cdot q \cdot l^2$ | $-0{,}150 \cdot F \cdot l$ | $-0{,}267 \cdot F \cdot l$ | $-0{,}225 \cdot F \cdot l$ | $-0{,}375 \cdot F \cdot l$ |
| $R_A = Q_{1A}$ | $0{,}400 \cdot q \cdot l$ | $0{,}350 \cdot F$ | $0{,}733 \cdot F$ | $0{,}775 \cdot F$ | $1{,}125 \cdot F$ |
| $R_B$ | $1{,}100 \cdot q \cdot l$ | $1{,}150 \cdot F$ | $2{,}267 \cdot F$ | $2{,}225 \cdot F$ | $3{,}375 \cdot F$ |
| $Q_{1B}$ | $-0{,}600 \cdot q \cdot l$ | $-0{,}650 \cdot F$ | $-1{,}267 \cdot F$ | $-1{,}225 \cdot F$ | $-1{,}875 \cdot F$ |
| $Q_{2B} = -Q_{2C}$ | $0{,}500 \cdot q \cdot l$ | $0{,}500 \cdot F$ | $1{,}000 \cdot F$ | $1{,}000 \cdot F$ | $1{,}500 \cdot F$ |
| Statička veličina |  |  |  |  | $K_1 = 0{,}5 \cdot q \cdot l$<br>$K_2 = 0{,}6 \cdot q \cdot l$<br>$K_3 = 0{,}7 \cdot q \cdot l$ |
| $M_{1,1}$ | $0{,}197 \cdot F \cdot l$ | $0{,}108 \cdot K_1 \cdot l$ | $0{,}107 \cdot K_2 \cdot l$ | $0{,}102 \cdot K_3 \cdot l$ | |
| $M_{1,2}$ | $0{,}258 \cdot F \cdot l$ | – | – | – | |
| $M_{1,3}$ | $-0{,}014 \cdot F \cdot l$ | - | - | – | |
| $M_{2,1}$ | $-0{,}067 \cdot F \cdot l$ | $0{,}042 \cdot K_1 \cdot l$ | $0{,}040 \cdot K_2 \cdot l$ | $0{,}063 \cdot K_3 \cdot l$ | |
| $M_{2,2}$ | $0{,}100 \cdot F \cdot l$ | – | – | – | |
| $M_B$ | $-0{,}317 \cdot F \cdot l$ | $-0{,}125 \cdot K_1 \cdot l$ | $-0{,}124 \cdot K_2 \cdot l$ | $-0{,}121 \cdot K_3 \cdot l$ | |
| $R_A = Q_{1A}$ | $1{,}183 \cdot F$ | $0{,}375 \cdot K_1$ | $0{,}376 \cdot K_2$ | $0{,}379 \cdot K_3$ | |
| $R_B$ | $3{,}317 \cdot F$ | $1{,}125 \cdot K_1$ | $1{,}124 \cdot K_2$ | $1{,}121 \cdot K_3$ | |
| $Q_{1B}$ | $-1{,}817 \cdot F$ | $-0{,}625 \cdot K_1$ | $-0{,}624 \cdot K_2$ | $-0{,}621 \cdot K_3$ | |
| $Q_{2B} = -Q_{2C}$ | $1{,}500 \cdot F$ | $0{,}500 \cdot K_1$ | $0{,}500 \cdot K_2$ | $0{,}500 \cdot K_3$ | |

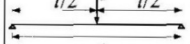
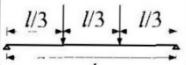
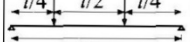
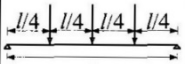
***Nosač preko četiri jednaka raspona***

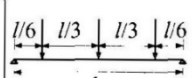
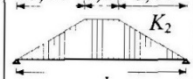



| Statička veličina | $x = (0{,}4 \div 0{,}5) \cdot l$  |  |  |  |  |
|---|---|---|---|---|---|
| $M_{11}$ | $0{,}077 \cdot q \cdot l^2$ | $0{,}170 \cdot F \cdot l$ | $0{,}238 \cdot F \cdot l$ | $0{,}190 \cdot F \cdot l$ | $0{,}275 \cdot F \cdot l$ |
| $M_{12}$ | – | – | $0{,}143 \cdot F \cdot l$ | $0{,}069 \cdot F \cdot l$ | $0{,}299 \cdot F \cdot l$ |
| $M_{13}$ | – | – | – | – | $0{,}074 \cdot F \cdot l$ |
| $M_{21}$ | $0{,}037 \cdot q \cdot l^2$ | $0{,}116 \cdot F \cdot l$ | $0{,}079 \cdot F \cdot l$ | $0{,}029 \cdot F \cdot l$ | $0{,}007 \cdot F \cdot l$ |
| $M_{22}$ | – | – | $0{,}111 \cdot F \cdot l$ | $0{,}069 \cdot F \cdot l$ | $0{,}165 \cdot F \cdot l$ |
| $M_{23}$ | – | – | – | – | $0{,}074 \cdot F \cdot l$ |
| $M_B$ | $-0{,}107 \cdot q \cdot l^2$ | $-0{,}161 \cdot F \cdot l$ | $-0{,}286 \cdot F \cdot l$ | $-0{,}241 \cdot F \cdot l$ | $-0{,}402 \cdot F \cdot l$ |
| $M_C$ | $-0{,}071 \cdot q \cdot l^2$ | $-0{,}107 \cdot F \cdot l$ | $-0{,}190 \cdot F \cdot l$ | $-0{,}161 \cdot F \cdot l$ | $-0{,}268 \cdot F \cdot l$ |
| $R_A = Q_{1A}$ | $0{,}393 \cdot q \cdot l$ | $0{,}339 \cdot F$ | $0{,}714 \cdot F$ | $0{,}759 \cdot F$ | $1{,}098 \cdot F$ |
| $R_B$ | $1{,}143 \cdot q \cdot l$ | $1{,}214 \cdot F$ | $2{,}381 \cdot F$ | $2{,}321 \cdot F$ | $3{,}536 \cdot F$ |
| $R_C$ | $0{,}929 \cdot q \cdot l$ | $0{,}892 \cdot F$ | $1{,}810 \cdot F$ | $1{,}839 \cdot F$ | $2{,}732 \cdot F$ |
| $Q_{1B}$ | $-0{,}607 \cdot q \cdot l$ | $-0{,}661 \cdot F$ | $-1{,}286 \cdot F$ | $-1{,}241 \cdot F$ | $-1{,}902 \cdot F$ |
| $Q_{2B}$ | $0{,}536 \cdot q \cdot l$ | $0{,}554 \cdot F$ | $1{,}095 \cdot F$ | $1{,}080 \cdot F$ | $1{,}634 \cdot F$ |
| $Q_{2C}$ | $-0{,}464 \cdot q \cdot l$ | $-0{,}446 \cdot F$ | $-0{,}905 \cdot F$ | $-0{,}920 \cdot F$ | $-1{,}366 \cdot F$ |
| Statička veličina |  |  |  |  | $K_1 = 0{,}5 \cdot q \cdot l$<br>$K_2 = 0{,}6 \cdot q \cdot l$<br>$K_3 = 0{,}7 \cdot q \cdot l$ |
| $M_{11}$ | $0{,}193 \cdot F \cdot l$ | $0{,}104 \cdot K_1 \cdot l$ | $0{,}103 \cdot K_2 \cdot l$ | $0{,}098 \cdot K_3 \cdot l$ | |
| $M_{12}$ | $0{,}247 \cdot F \cdot l$ | – | – | – | |
| $M_{13}$ | $-0{,}033 \cdot F \cdot l$ | – | – | – | |
| $M_{21}$ | $-0{,}070 \cdot F \cdot l$ | $0{,}056 \cdot K_1 \cdot l$ | $0{,}053 \cdot K_2 \cdot l$ | $0{,}049 \cdot K_3 \cdot l$ | |
| $M_{22}$ | $0{,}134 \cdot F \cdot l$ | – | – | – | |
| $M_{23}$ | $0{,}005 \cdot F \cdot l$ | – | – | – | |
| $M_B$ | $-0{,}339 \cdot F \cdot l$ | $-0{,}134 \cdot K_1 \cdot l$ | $-0{,}133 \cdot K_2 \cdot l$ | $-0{,}130 \cdot K_3 \cdot l$ | |
| $M_C$ | $-0{,}226 \cdot F \cdot l$ | $-0{,}089 \cdot K_1 \cdot l$ | $-0{,}088 \cdot K_2 \cdot l$ | $-0{,}086 \cdot K_3 \cdot l$ | |
| $R_A = Q_{1A}$ | $1{,}161 \cdot F$ | $0{,}366 \cdot K_1$ | $0{,}367 \cdot K_2$ | $0{,}370 \cdot K_3$ | |
| $R_B$ | $3{,}452 \cdot F$ | $1{,}179 \cdot K_1$ | $1{,}178 \cdot K_2$ | $1{,}174 \cdot K_3$ | |
| $R_C$ | $2{,}774 \cdot F$ | $0{,}910 \cdot K_1$ | $0{,}910 \cdot K_2$ | $0{,}912 \cdot K_3$ | |
| $Q_{1B}$ | $-1{,}839 \cdot F$ | $-0{,}634 \cdot K_1$ | $-0{,}633 \cdot K_2$ | $-0{,}630 \cdot K_3$ | |
| $Q_{2B}$ | $1{,}613 \cdot F$ | $0{,}545 \cdot K_1$ | $0{,}545 \cdot K_2$ | $0{,}544 \cdot K_3$ | |
| $Q_{2C}$ | $-1{,}387 \cdot F$ | $-0{,}455 \cdot K_1$ | $-0{,}455 \cdot K_2$ | $-0{,}456 \cdot K_3$ | |

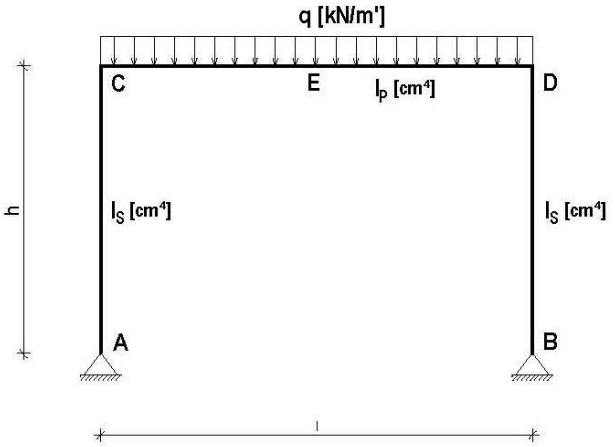
***Nosač preko pet jednakih raspona***




| Statička veličina | $x = (0{,}4 \div 0{,}5) \cdot l$  $l$ |  $l$ |  $l$ |  $l$ |  $l$ |
|---|---|---|---|---|---|
| $M_{1,1}$ | $0{,}078 \cdot q \cdot l^2$ | $0{,}171 \cdot F \cdot l$ | $0{,}240 \cdot F \cdot l$ | $0{,}191 \cdot F \cdot l$ | $0{,}276 \cdot F \cdot l$ |
| $M_{1,2}$ | – | – | $0{,}146 \cdot F \cdot l$ | $0{,}072 \cdot F \cdot l$ | $0{,}303 \cdot F \cdot l$ |
| $M_{1,3}$ | – | – | – | – | $0{,}079 \cdot F \cdot l$ |
| $M_{2,1}$ | $0{,}033 \cdot q \cdot l^2$ | $0{,}112 \cdot F \cdot l$ | $0{,}076 \cdot F \cdot l$ | $0{,}028 \cdot F \cdot l$ | $0{,}005 \cdot F \cdot l$ |
| $M_{2,2}$ | – | | $0{,}099 \cdot F \cdot l$ | $0{,}058 \cdot F \cdot l$ | $0{,}155 \cdot F \cdot l$ |
| $M_{2,3}$ | – | – | – | – | $0{,}054 \cdot F \cdot l$ |
| $M_{3,1}$ | $0{,}046 \cdot q \cdot l^2$ | $0{,}132 \cdot F \cdot l$ | $0{,}123 \cdot F \cdot l$ | $0{,}072 \cdot F \cdot l$ | $0{,}079 \cdot F \cdot l$ |
| $M_{3,2}$ | – | – | $0{,}123 \cdot F \cdot l$ | $0{,}072 \cdot F \cdot l$ | $0{,}204 \cdot F \cdot l$ |
| $M_B$ | $-0{,}105 \cdot q \cdot l^2$ | $-0{,}158 \cdot F \cdot l$ | $-0{,}281 \cdot F \cdot l$ | $-0{,}237 \cdot F \cdot l$ | $-0{,}395 \cdot F \cdot l$ |
| $M_C$ | $-0{,}079 \cdot q \cdot l^2$ | $-0{,}118 \cdot F \cdot l$ | $-0{,}211 \cdot F \cdot l$ | $-0{,}178 \cdot F \cdot l$ | $-0{,}296 \cdot F \cdot l$ |
| $R_A = Q_{1A}$ | $0{,}395 \cdot q \cdot l$ | $0{,}342 \cdot F$ | $0{,}719 \cdot F$ | $0{,}763 \cdot F$ | $1{,}105 \cdot F$ |
| $R_B$ | $1{,}132 \cdot q \cdot l$ | $1{,}197 \cdot F$ | $2{,}351 \cdot F$ | $2{,}296 \cdot F$ | $3{,}494 \cdot F$ |
| $R_C$ | $0{,}974 \cdot q \cdot l$ | $0{,}960 \cdot F$ | $1{,}930 \cdot F$ | $1{,}941 \cdot F$ | $2{,}901 \cdot F$ |
| $Q_{1B}$ | $-0{,}605 \cdot q \cdot l$ | $-0{,}658 \cdot F$ | $-1{,}281 \cdot F$ | $-1{,}237 \cdot F$ | $-1{,}895 \cdot F$ |
| $Q_{2B}$ | $0{,}526 \cdot q \cdot l$ | $0{,}540 \cdot F$ | $1{,}070 \cdot F$ | $1{,}059 \cdot F$ | $1{,}599 \cdot F$ |
| $Q_{2C}$ | $-0{,}474 \cdot q \cdot l$ | $-0{,}460 \cdot F$ | $-0{,}930 \cdot F$ | $-0{,}941 \cdot F$ | $-1{,}401 \cdot F$ |
| $Q_{3C}$ | $0{,}500 \cdot q \cdot l$ | $0{,}500 \cdot F$ | $1{,}000 \cdot F$ | $1{,}000 \cdot F$ | $1{,}500 \cdot F$ |

| Statička veličina |  $l$ |  $l$ |  $l$ |  $l$ | $K_1 = 0{,}5 \cdot q \cdot l$<br>$K_2 = 0{,}6 \cdot q \cdot l$<br>$K_3 = 0{,}7 \cdot q \cdot l$ |
|---|---|---|---|---|---|
| $M_{1,1}$ | $0{,}194 \cdot F \cdot l$ | $0{,}106 \cdot K_1 \cdot l$ | $0{,}104 \cdot K_2 \cdot l$ | $0{,}099 \cdot K_3 \cdot l$ | |
| $M_{1,2}$ | $0{,}250 \cdot F \cdot l$ | – | – | – | |
| $M_{1,3}$ | $-0{,}028 \cdot F \cdot l$ | – | – | – | |
| $M_{2,1}$ | $-0{,}069 \cdot F \cdot l$ | $0{,}052 \cdot K_1 \cdot l$ | $0{,}050 \cdot K_2 \cdot l$ | $0{,}046 \cdot K_3 \cdot l$ | |
| $M_{2,2}$ | $0{,}125 \cdot F \cdot l$ | – | – | – | |
| $M_{2,3}$ | $-0{,}014 \cdot F \cdot l$ | | | | |
| $M_{3,1}$ | 0 | $0{,}068 \cdot K_1 \cdot l$ | $0{,}066 \cdot K_2 \cdot l$ | $0{,}061 \cdot K_3 \cdot l$ | |
| $M_{3,2}$ | $0{,}167 \cdot F \cdot l$ | – | – | – | |
| $M_B$ | $-0{,}333 \cdot F \cdot l$ | $-0{,}131 \cdot K_1 \cdot l$ | $-0{,}130 \cdot K_2 \cdot l$ | $-0{,}127 \cdot K_3 \cdot l$ | |
| $M_C$ | $-0{,}250 \cdot F \cdot l$ | $-0{,}099 \cdot K_1 \cdot l$ | $-0{,}098 \cdot K_2 \cdot l$ | $-0{,}096 \cdot K_3 \cdot l$ | |
| $R_A = Q_{1A}$ | $1{,}167 \cdot F$ | $0{,}369 \cdot K_1$ | $0{,}370 \cdot K_2$ | $0{,}373 \cdot K_3$ | |
| $R_B$ | $3{,}417 \cdot F$ | $1{,}163 \cdot K_1$ | $1{,}162 \cdot K_2$ | $1{,}158 \cdot K_3$ | |
| $R_C$ | $2{,}917 \cdot F$ | $0{,}968 \cdot K_1$ | $0{,}968 \cdot K_2$ | $0{,}969 \cdot K_3$ | |
| $Q_{1B}$ | $-1{,}833 \cdot F$ | $-0{,}631 \cdot K_1$ | $-0{,}630 \cdot K_2$ | $-0{,}627 \cdot K_3$ | |
| $Q_{2B}$ | $1{,}583 \cdot F$ | $0{,}532 \cdot K_1$ | $0{,}532 \cdot K_2$ | $0{,}531 \cdot K_3$ | |
| $Q_{2C}$ | $-1{,}471 \cdot F$ | $-0{,}468 \cdot K_1$ | $-0{,}468 \cdot K_2$ | $-0{,}469 \cdot K_3$ | |
| $Q_{3C}$ | $1{,}500 \cdot F$ | $0{,}500 \cdot K_1$ | $0{,}500 \cdot K_2$ | $0{,}500 \cdot K_3$ | |

## *8.3. Dvozglobni okvir*




Omjer krutosti prečke i stupa:

$$k = \frac{I_p}{I_s} \cdot \frac{h}{L}$$

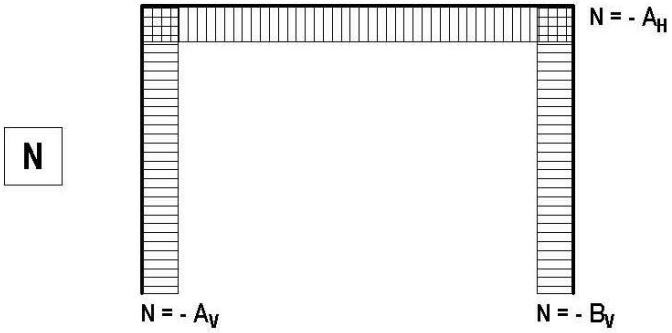
Gdje je:

$I_p$ - moment inercije prečke

$I_s$ - moment inercije stupa

$h$ - dužina stupa (visina okvira)

$L$ - dužina prečke (širina okvira)

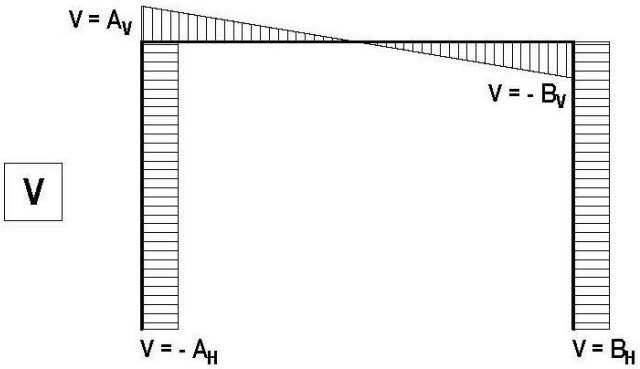



Vertikalne reakcije:

$$A_V = B_V = \frac{q \cdot L}{2}$$

Horizontalne reakcije:

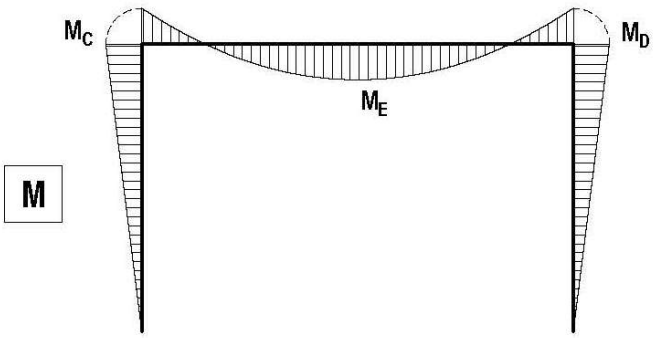
$$A_H = B_H = \frac{q \cdot L^2}{4h(2k+3)}$$




Momenti:

$$M_C = M_D = -A_H \cdot h$$

$$M_E = M_C + \frac{q \cdot L^2}{8}$$



## 8.4. Mehanička svojstva drva

### 8.4.1. *Piljena građa (HRN EN 338:2016)*

Karakteristične vrijednosti čvrstoće, krutosti i gustoće za piljenu građu prema HRN EN 338

| | Klase čvrstoće | Karakteristične vrijednosti čvrstoće (N/mm²) | | | | | | Karakteristične vrijednosti krutosti (N/mm²) | | | | Gustoća (kg/m³) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Savijanje | Vlak | Vlak | Tlak | Tlak | Posmik | Srednji modul elastičnosti | Karakter. modul elastičnosti | Srednji modul elastičnosti | Srednji modul posmika | Gustoća | Karakter. gustoća |
| | | | 0° | 90° | 0° | 90° | | | | | | | |
| | | $(f_{m,k})$ | $(f_{t,0,k})$ | $(f_{t,90,k})$ | $(f_{c,0,k})$ | $(f_{c,90,k})$ | $(f_{v,k})$ | $(E_{0,mean})$ | $(E_{0,05})$ | $(E_{90,mean})$ | $(G_{mean})$ | $(\rho_k)$ | $(\rho_{mean})$ |
| Četinari | C14 | 14 | 7,2 | 0,4 | 16 | 2,0 | 3,0 | 7000 | 4700 | 230 | 440 | 290 | 350 |
| | C16 | 16 | 8,5 | 0,4 | 17 | 2,2 | 3,2 | 8000 | 5400 | 270 | 500 | 310 | 370 |
| | C18 | 18 | 10 | 0,4 | 18 | 2,2 | 3,4 | 9000 | 6000 | 300 | 560 | 320 | 380 |
| | C20 | 20 | 11,5 | 0,4 | 19 | 2,3 | 3,6 | 9500 | 6400 | 320 | 590 | 330 | 400 |
| | C22 | 22 | 13 | 0,4 | 20 | 2,4 | 3,8 | 10000 | 6700 | 330 | 630 | 340 | 410 |
| | **C24** | **24** | **14,5** | 0,4 | **21** | **2,5** | **4,0** | **11000** | **7400** | **370** | **690** | **350** | **420** |
| | C27 | 27 | 16,5 | 0,4 | 22 | 2,5 | 4,0 | 11500 | 7700 | 380 | 720 | 360 | 430 |
| | C30 | 30 | 19 | 0,4 | 24 | 2,7 | 4,0 | 12000 | 8000 | 400 | 750 | 380 | 460 |
| | C35 | 35 | 22,5 | 0,4 | 25 | 2,7 | 4,0 | 13000 | 8700 | 430 | 810 | 390 | 470 |
| | C40 | 40 | 26 | 0,4 | 27 | 2,8 | 4,0 | 14000 | 9400 | 470 | 880 | 400 | 480 |
| | C45 | 45 | 30 | 0,4 | 29 | 2,9 | 4,0 | 15000 | 10100 | 500 | 940 | 410 | 490 |
| | C50 | 50 | 33,5 | 0,4 | 30 | 3,0 | 4,0 | 16000 | 10700 | 530 | 1000 | 430 | 520 |
| Listari | D24 | 24 | 14 | 0,6 | 21 | 4,9 | 3,7 | 10000 | 4400 | 670 | 630 | 485 | 580 |
| | D30 | 30 | 18 | 0,6 | 24 | 5,3 | 3,9 | 11000 | 9200 | 630 | 690 | 530 | 640 |
| | D35 | 35 | 21 | 0,6 | 25 | 5,4 | 4,1 | 12000 | 10100 | 800 | 750 | 540 | 650 |
| | **D40** | **40** | **24** | **0,6** | **27** | **5,5** | **4,2** | **13000** | **10900** | **870** | **810** | **550** | **660** |
| | D50 | 50 | 30 | 0,6 | 30 | 6,2 | 4,5 | 14000 | 11800 | 930 | 880 | 620 | 740 |
| | D60 | 60 | 36 | 0,6 | 33 | 10,5 | 4,8 | 17000 | 14300 | 1130 | 1060 | 700 | 840 |
| | D70 | 70 | 42 | 0,6 | 36 | 12,0 | 5,0 | 20000 | 16800 | 1330 | 1250 | 800 | 960 |

Korištene oznake predstavljaju: 0, smijer paralelan s vlaknima; 90, smijer okomit na vlakna; m, savijanje; t, vlak; c, tlak; v, posmik; k, karakteristično.

### *8.4.2. Lijepljeno lamelirano drvo (HRN EN 14080:2013)*

Karakteristične vrijednosti čvrstoće, krutosti i gustoće za lijepljeno lamelirano drvo prema HRN EN 14080

| Klase čvrstoće | | Karakteristične vrijednosti čvrstoće ($N/mm^2$) | | | | | | Karakteristične vrijednosti krutosti ($N/mm^2$) | | | | Gustoća ($kg/m^3$) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Savijanje | Vlak | Vlak | Tlak | Tlak | Posmik | Srednji modul elastičnosti | Karakter. modul elastičnosti | Srednji modul elastičnosti | Srednji modul posmika | Gustoća | Karakter. gustoća |
| | | | 0° | 90° | 0° | 90° | | | | | | | |
| | | ($f_{m,k}$) | ($f_{t,0,k}$) | ($f_{t,90,k}$) | ($f_{c,0,k}$) | ($f_{c,90,k}$) | ($f_{v,k}$) | ($E_{0,mean}$) | ($E_{0,05}$) | ($E_{90,mean}$) | ($G_{mean}$) | ($\rho_k$) | ($\rho_{mean}$) |
| Kombinirano drvo | GL 20c | 20 | 15 | 0,5 | 18,5 | 2,5 | 3,5 | 10400 | 8600 | 300 | 650 | 355 | 390 |
| | GL 22c | 22 | 16 | 0,5 | 20 | 2,5 | 3,5 | 10400 | 8600 | 300 | 650 | 355 | 390 |
| | **GL 24c** | **24** | **17** | **0,5** | **21,5** | **2,5** | **3,5** | **11000** | **9100** | **300** | **650** | **365** | **400** |
| | GL 26c | 26 | 19 | 0,5 | 23,5 | 2,5 | 3,5 | 12000 | 10000 | 300 | 650 | 385 | 420 |
| | GL 28c | 28 | 19,5 | 0,5 | 24 | 2,5 | 3,5 | 12500 | 10400 | 300 | 650 | 390 | 420 |
| | GL 30c | 30 | 19,5 | 0,5 | 24,5 | 2,5 | 3,5 | 13000 | 10800 | 300 | 650 | 390 | 430 |
| | GL 32c | 32 | 19,5 | 0,5 | 24,5 | 2,5 | 3,5 | 13500 | 11200 | 300 | 650 | 400 | 440 |
| Homogeno drvo | GL 20h | 20 | 16 | 0,5 | 20 | 2,5 | 3,5 | 8400 | 7000 | 300 | 650 | 340 | 370 |
| | GL 22h | 22 | 17,6 | 0,5 | 22 | 2,5 | 3,5 | 10500 | 8800 | 300 | 650 | 370 | 410 |
| | **GL 24h** | **24** | **19,2** | **0,5** | **24** | **2,5** | **3,5** | **11500** | **9600** | **300** | **650** | **385** | **420** |
| | GL 26h | 26 | 20,8 | 0,5 | 26 | 2,5 | 3,5 | 12100 | 10100 | 300 | 650 | 405 | 445 |
| | GL 28h | 28 | 22,3 | 0,5 | 28 | 2,5 | 3,5 | 12600 | 10500 | 300 | 650 | 425 | 460 |
| | GL 30h | 30 | 24 | 0,5 | 30 | 2,5 | 3,5 | 13600 | 11300 | 300 | 650 | 430 | 480 |
| | GL 32h | 32 | 25,6 | 0,5 | 32 | 2,5 | 3,5 | 14200 | 11800 | 300 | 650 | 440 | 490 |

Korištene oznake predstavljaju: 0, smijer paralelan s vlaknima; 90, smijer okomit na vlakna; m, savijanje; t, vlak; c, tlak; v, posmik; k, karakteristično.

## *8.5. Europske krivulje izvijanja*

| $\bar{\lambda}$ | $\chi_C$ | $\bar{\lambda}$ | $\chi_C$ | $\bar{\lambda}$ | $\chi_C$ | $\bar{\lambda}$ | $\chi_C$ | $\bar{\lambda}$ | $\chi_C$ | $\bar{\lambda}$ | $\chi_C$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **0,20** | 1,000 | **0,70** | 0,725 | **1,20** | 0,434 | **1,70** | 0,258 | **2,20** | 0,166 | **2,70** | 0,115 |
| **0,21** | 0,995 | **0,71** | 0,719 | **1,21** | 0,429 | **1,71** | 0,255 | **2,21** | 0,165 | **2,71** | 0,115 |
| **0,22** | 0,990 | **0,72** | 0,713 | **1,22** | 0,425 | **1,72** | 0,253 | **2,22** | 0,164 | **2,72** | 0,114 |
| **0,23** | 0,985 | **0,73** | 0,706 | **1,23** | 0,420 | **1,73** | 0,251 | **2,23** | 0,162 | **2,73** | 0,113 |
| **0,24** | 0,980 | **0,74** | 0,700 | **1,24** | 0,415 | **1,74** | 0,248 | **2,24** | 0,161 | **2,74** | 0,112 |
| **0,25** | 0,975 | **0,75** | 0,694 | **1,25** | 0,411 | **1,75** | 0,246 | **2,25** | 0,160 | **2,75** | 0,112 |
| **0,26** | 0,970 | **0,76** | 0,688 | **1,26** | 0,406 | **1,76** | 0,244 | **2,26** | 0,159 | **2,76** | 0,111 |
| **0,27** | 0,964 | **0,77** | 0,681 | **1,27** | 0,402 | **1,77** | 0,241 | **2,27** | 0,157 | **2,77** | 0,110 |
| **0,28** | 0,959 | **0,78** | 0,675 | **1,28** | 0,398 | **1,78** | 0,239 | **2,28** | 0,156 | **2,78** | 0,109 |
| **0,29** | 0,954 | **0,79** | 0,669 | **1,29** | 0,393 | **1,79** | 0,237 | **2,29** | 0,155 | **2,79** | 0,109 |
| **0,30** | 0,949 | **0,80** | 0,663 | **1,30** | 0,389 | **1,80** | 0,235 | **2,30** | 0,154 | **2,80** | 0,108 |
| **0,31** | 0,944 | **0,81** | 0,656 | **1,31** | 0,385 | **1,81** | 0,232 | **2,31** | 0,153 | **2,81** | 0,107 |
| **0,32** | 0,939 | **0,82** | 0,650 | **1,32** | 0,381 | **1,82** | 0,230 | **2,32** | 0,151 | **2,82** | 0,107 |
| **0,33** | 0,934 | **0,83** | 0,644 | **1,33** | 0,377 | **1,83** | 0,228 | **2,33** | 0,150 | **2,83** | 0,106 |
| **0,34** | 0,929 | **0,84** | 0,637 | **1,34** | 0,373 | **1,84** | 0,226 | **2,34** | 0,149 | **2,84** | 0,105 |
| **0,35** | 0,924 | **0,85** | 0,631 | **1,35** | 0,369 | **1,85** | 0,224 | **2,35** | 0,148 | **2,85** | 0,104 |
| **0,36** | 0,918 | **0,86** | 0,625 | **1,36** | 0,365 | **1,86** | 0,222 | **2,36** | 0,147 | **2,86** | 0,104 |
| **0,37** | 0,913 | **0,87** | 0,619 | **1,37** | 0,361 | **1,87** | 0,220 | **2,37** | 0,146 | **2,87** | 0,103 |
| **0,38** | 0,908 | **0,88** | 0,613 | **1,38** | 0,357 | **1,88** | 0,218 | **2,38** | 0,145 | **2,88** | 0,103 |
| **0,39** | 0,903 | **0,89** | 0,606 | **1,39** | 0,353 | **1,89** | 0,216 | **2,39** | 0,144 | **2,89** | 0,102 |
| **0,40** | 0,898 | **0,90** | 0,600 | **1,40** | 0,349 | **1,90** | 0,214 | **2,50** | 0,143 | **2,90** | 0,101 |
| **0,41** | 0,892 | **0,91** | 0,594 | **1,41** | 0,346 | **1,91** | 0,212 | **2,51** | 0,142 | **2,91** | 0,101 |
| **0,42** | 0,887 | **0,92** | 0,588 | **1,42** | 0,342 | **1,92** | 0,210 | **2,52** | 0,140 | **2,92** | 0,100 |
| **0,43** | 0,882 | **0,93** | 0,582 | **1,43** | 0,339 | **1,93** | 0,209 | **2,53** | 0,139 | **2,93** | 0,099 |
| **0,44** | 0,876 | **0,94** | 0,576 | **1,44** | 0,335 | **1,94** | 0,207 | **2,44** | 0,138 | **2,94** | 0,099 |
| **0,45** | 0,871 | **0,95** | 0,570 | **1,45** | 0,331 | **1,95** | 0,205 | **2,45** | 0,137 | **2,95** | 0,098 |
| **0,46** | 0,865 | **0,96** | 0,564 | **1,46** | 0,328 | **1,96** | 0,203 | **2,46** | 0,136 | **2,96** | 0,097 |
| **0,47** | 0,860 | **0,97** | 0,558 | **1,47** | 0,325 | **1,97** | 0,201 | **2,47** | 0,135 | **2,97** | 0,097 |
| **0,48** | 0,854 | **0,98** | 0,552 | **1,48** | 0,321 | **1,98** | 0,200 | **2,48** | 0,134 | **2,98** | 0,096 |
| **0,49** | 0,849 | **0,99** | 0,546 | **1,49** | 0,318 | **1,99** | 0,198 | **2,49** | 0,133 | **2,99** | 0,096 |
| **0,50** | 0,843 | **1,00** | 0,540 | **1,50** | 0,315 | **2,00** | 0,196 | **2,50** | 0,133 | **3,00** | 0,095 |
| **0,51** | 0,838 | **1,01** | 0,534 | **1,51** | 0,311 | **2,01** | 0,195 | **2,51** | 0,132 | | |
| **0,52** | 0,832 | **1,02** | 0,529 | **1,52** | 0,308 | **2,02** | 0,193 | **2,52** | 0,131 | | |
| **0,53** | 0,826 | **1,03** | 0,523 | **1,53** | 0,305 | **2,03** | 0,191 | **2,53** | 0,130 | | |
| **0,54** | 0,821 | **1,04** | 0,517 | **1,54** | 0,302 | **2,04** | 0,190 | **2,54** | 0,129 | | |
| **0,55** | 0,815 | **1,05** | 0,512 | **1,55** | 0,299 | **2,05** | 0,188 | **2,55** | 0,128 | | |
| **0,56** | 0,809 | **1,06** | 0,506 | **1,56** | 0,296 | **2,06** | 0,187 | **2,56** | 0,127 | | |
| **0,57** | 0,803 | **1,07** | 0,501 | **1,57** | 0,293 | **2,07** | 0,185 | **2,57** | 0,126 | | |
| **0,58** | 0,797 | **1,08** | 0,495 | **1,58** | 0,290 | **2,08** | 0,183 | **2,58** | 0,125 | | |
| **0,59** | 0,792 | **1,09** | 0,490 | **1,59** | 0,287 | **2,09** | 0,182 | **2,59** | 0,124 | | |
| **0,60** | 0,786 | **1,10** | 0,485 | **1,60** | 0,284 | **2,10** | 0,180 | **2,60** | 0,123 | | |
| **0,61** | 0,780 | **1,11** | 0,479 | **1,61** | 0,282 | **2,11** | 0,179 | **2,61** | 0,123 | | |
| **0,62** | 0,774 | **1,12** | 0,474 | **1,62** | 0,279 | **2,12** | 0,177 | **2,62** | 0,122 | | |
| **0,63** | 0,768 | **1,13** | 0,469 | **1,63** | 0,276 | **2,13** | 0,176 | **2,63** | 0,121 | | |
| **0,64** | 0,762 | **1,14** | 0,464 | **1,64** | 0,273 | **2,14** | 0,175 | **2,64** | 0,120 | | |
| **0,65** | 0,756 | **1,15** | 0,459 | **1,65** | 0,271 | **2,15** | 0,173 | **2,65** | 0,119 | | |
| **0,66** | 0,750 | **1,16** | 0,454 | **1,66** | 0,268 | **2,16** | 0,172 | **2,66** | 0,118 | | |
| **0,67** | 0,744 | **1,17** | 0,449 | **1,67** | 0,265 | **2,17** | 0,170 | **2,67** | 0,118 | | |
| **0,68** | 0,737 | **1,18** | 0,444 | **1,68** | 0,263 | **2,18** | 0,169 | **2,68** | 0,117 | | |
| **0,69** | 0,731 | **1,19** | 0,439 | **1,69** | 0,260 | **2,19** | 0,168 | **2,69** | 0,116 | | |

## *8.6. Čelični profili (Metalne konstrukcije 3)*

# IPE

## Europski I-profili




| PROFIL | G kg/m | A cm² | DIMENZIJE POPREČNOG PRESJEKA h mm | b mm | $t_w$ mm | $t_f$ mm | r mm | STATIČKE VELIČINE OS y-y $I_y$ cm⁴ | $W_y$ cm³ | $i_y$ cm | OS z-z $I_z$ cm⁴ | $W_z$ cm³ | $i_z$ cm | PROFIL |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| IPE 80 | 6.0 | 7.64 | 80 | 46 | 3.8 | 5.2 | 5 | 80.14 | 20.03 | 3.24 | 8.49 | 3.69 | 1.05 | IPE 80 |
| IPE 100 | 8.1 | 10.32 | 100 | 55 | 4.1 | 5.7 | 7 | 171.0 | 34.20 | 4.07 | 15.92 | 5.79 | 1.24 | IPE 100 |
| IPE 120 | 10.4 | 13.21 | 120 | 64 | 4.4 | 6.3 | 7 | 317.8 | 52.96 | 4.90 | 27.67 | 8.65 | 1.45 | IPE 120 |
| IPE 140 | 12.9 | 16.43 | 140 | 73 | 4.7 | 6.9 | 7 | 541.2 | 77.32 | 5.74 | 44.92 | 12.31 | 1.65 | IPE 140 |
| IPE 160 | 15.8 | 20.09 | 160 | 82 | 5.0 | 7.4 | 9 | 869.3 | 108.7 | 6.58 | 68.31 | 16.66 | 1.84 | IPE 160 |
| IPE 180 | 18.8 | 23.95 | 180 | 91 | 5.3 | 8.0 | 9 | 1317 | 146.3 | 7.42 | 100.9 | 22.16 | 2.05 | IPE 180 |
| IPE 200 | 22.4 | 28.48 | 200 | 100 | 5.6 | 8.5 | 12 | 1943 | 194.3 | 8.26 | 142.4 | 28.47 | 2.24 | IPE 200 |
| IPE 220 | 26.2 | 33.37 | 220 | 110 | 5.9 | 9.2 | 12 | 2772 | 252.0 | 9.11 | 204.9 | 37.25 | 2.48 | IPE 220 |
| IPE 240 | 30.7 | 39.12 | 240 | 120 | 6.2 | 9.8 | 15 | 3892 | 324.3 | 9.97 | 283.6 | 47.27 | 2.69 | IPE 240 |
| IPE 270 | 36.1 | 45.94 | 270 | 135 | 6.6 | 10.2 | 15 | 5790 | 428.9 | 11.23 | 419.9 | 62.20 | 3.02 | IPE 270 |
| IPE 300 | 42.2 | 53.81 | 300 | 150 | 7.1 | 10.7 | 15 | 8356 | 557.1 | 12.46 | 603.8 | 80.50 | 3.35 | IPE 300 |
| IPE 330 | 49.1 | 62.61 | 330 | 160 | 7.5 | 11.5 | 18 | 11770 | 713.1 | 13.71 | 788.1 | 98.52 | 3.55 | IPE 330 |
| IPE 360 | 57.1 | 72.73 | 360 | 170 | 8.0 | 12.7 | 18 | 16270 | 903.6 | 14.95 | 1043 | 122.8 | 3.79 | IPE 360 |
| IPE 400 | 66.3 | 84.46 | 400 | 180 | 8.6 | 13.5 | 21 | 23130 | 1156 | 16.55 | 1318 | 146.4 | 3.95 | IPE 400 |
| IPE 450 | 77.6 | 98.82 | 450 | 190 | 9.4 | 14.6 | 21 | 33740 | 1500 | 18.48 | 1676 | 176.4 | 4.12 | IPE 450 |
| IPE 500 | 90.7 | 115.5 | 500 | 200 | 10.2 | 16.0 | 21 | 48200 | 1928 | 20.43 | 2142 | 214.2 | 4.31 | IPE 500 |
| IPE 550 | 106 | 134.4 | 550 | 210 | 11.1 | 17.2 | 24 | 67120 | 2441 | 22.35 | 2668 | 254.1 | 4.45 | IPE 550 |
| IPE 600 | 122 | 156.0 | 600 | 220 | 12.0 | 19.0 | 24 | 92080 | 3069 | 24.30 | 3387 | 307.9 | 4.66 | IPE 600 |

# IPN

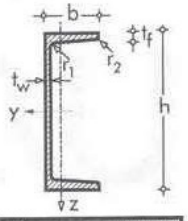
## Europski normalni I-profili




| PROFIL | G kg/m | A cm² | DIMENZIJE POPREČNOG PRESJEKA h mm | b mm | $t_w$ mm | $t_f$ mm | $r_2$ mm | STATIČKE VELIČINE OS y-y $I_y$ cm⁴ | $W_y$ cm³ | $i_y$ cm | OS z-z $I_z$ cm⁴ | $W_z$ cm³ | $i_z$ cm | PROFIL |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| IPN 80 | 5.94 | 7.58 | 80 | 42 | 3.9 | 5.9 | 2.3 | 77.8 | 19.5 | 3.20 | 6.29 | 3.00 | 0.91 | IPN 80 |
| IPN 100 | 8.34 | 10.6 | 100 | 50 | 4.5 | 6.8 | 2.7 | 171 | 34.2 | 4.01 | 12.2 | 4.88 | 1.07 | IPN 100 |
| IPN 120 | 11.1 | 14.2 | 120 | 58 | 5.1 | 7.7 | 3.1 | 328 | 54.7 | 4.81 | 21.5 | 7.41 | 1.23 | IPN 120 |
| IPN 140 | 14.3 | 18.3 | 140 | 66 | 5.7 | 8.6 | 3.4 | 573 | 81.9 | 5.61 | 35.2 | 10.7 | 1.40 | IPN 140 |
| IPN 160 | 17.9 | 22.8 | 160 | 74 | 6.3 | 9.5 | 3.8 | 935 | 117 | 6.40 | 54.7 | 14.8 | 1.55 | IPN 160 |
| IPN 180 | 21.9 | 27.9 | 180 | 82 | 6.9 | 10.4 | 4.1 | 1450 | 161 | 7.20 | 81.3 | 19.8 | 1.71 | IPN 180 |
| IPN 200 | 26.2 | 33.4 | 200 | 90 | 7.5 | 11.3 | 4.5 | 2140 | 214 | 8.00 | 117 | 26.0 | 1.87 | IPN 200 |
| IPN 220 | 31.1 | 39.5 | 220 | 98 | 8.1 | 12.2 | 4.9 | 3060 | 278 | 8.80 | 162 | 33.1 | 2.02 | IPN 220 |
| IPN 240 | 36.2 | 46.1 | 240 | 106 | 8.7 | 13.1 | 5.2 | 4250 | 354 | 9.59 | 221 | 41.7 | 2.20 | IPN 240 |
| IPN 260 | 41.9 | 53.3 | 260 | 113 | 9.4 | 14.1 | 5.6 | 5740 | 442 | 10.4 | 288 | 51.0 | 2.32 | IPN 260 |
| IPN 280 | 47.9 | 61.0 | 280 | 119 | 10.1 | 15.2 | 6.1 | 7590 | 542 | 11.1 | 364 | 61.2 | 2.45 | IPN 280 |
| IPN 300 | 54.2 | 69.0 | 300 | 125 | 10.8 | 16.2 | 6.5 | 9800 | 653 | 11.9 | 451 | 72.2 | 2.56 | IPN 300 |
| IPN 320 | 61.0 | 77.7 | 320 | 131 | 11.5 | 17.3 | 6.9 | 12510 | 782 | 12.7 | 555 | 84.7 | 2.67 | IPN 320 |
| IPN 340 | 68.0 | 86.7 | 340 | 137 | 12.2 | 18.3 | 7.3 | 15700 | 923 | 13.5 | 674 | 98.4 | 2.80 | IPN 340 |
| IPN 360 | 76.1 | 97.0 | 360 | 143 | 13.0 | 19.5 | 7.8 | 19610 | 1090 | 14.2 | 818 | 114 | 2.90 | IPN 360 |
| IPN 380 | 84.0 | 107 | 380 | 149 | 13.7 | 20.5 | 8.2 | 24010 | 1260 | 15.0 | 975 | 131 | 3.02 | IPN 380 |
| IPN 400 | 92.4 | 118 | 400 | 155 | 14.4 | 21.6 | 8.6 | 29210 | 1460 | 15.7 | 1160 | 149 | 3.13 | IPN 400 |
| IPN 450 | 115 | 147 | 450 | 170 | 16.2 | 24.3 | 9.7 | 45850 | 2040 | 17.7 | 1730 | 203 | 3.43 | IPN 450 |
| IPN 500 | 141 | 179 | 500 | 185 | 18.0 | 27.0 | 10.8 | 68740 | 2750 | 19.6 | 2480 | 268 | 3.72 | IPN 500 |
| IPN 550 | 166 | 212 | 550 | 200 | 19.0 | 30.0 | 11.9 | 99180 | 3610 | 21.6 | 3490 | 349 | 4.02 | IPN 550 |

# UPN

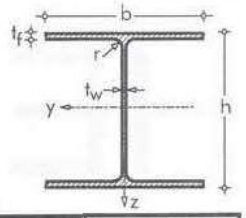
## Europski normalni U-profili




| PROFIL | G | A | DIMENZIJE POPREČNOG PRESJEKA | | | | | | STATIČKE VELIČINE | | | | | | PROFIL |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | OS y-y | | | OS z-z | | | |
| | kg/m | $cm^2$ | h mm | b mm | $t_w$ mm | $t_f$ mm | $r_1$ mm | $r_2$ mm | $I_y$ $cm^4$ | $W_y$ $cm^3$ | $W_{pl.y}$ $cm^3$ | $I_z$ $cm^4$ | $W_z$ $cm^3$ | $i_z$ cm | |
| UPN 30x15 | 1.74 | 2.21 | 30 | 15 | 4.0 | 4.5 | 4.5 | 2.0 | 2.53 | 1.69 | — | 0.38 | 0.39 | 0.42 | UPN 30x15 |
| UPN 30 | 4.27 | 5.44 | 30 | 33 | 5.0 | 7.0 | 7.0 | 3.5 | 6.39 | 4.26 | — | 5.33 | 2.68 | 0.99 | UPN 30 |
| UPN 40x20 | 2.87 | 3.66 | 40 | 20 | 5.0 | 5.5 | 5.5 | 2.5 | 7.58 | 3.79 | — | 1.14 | 0.86 | 0.56 | UPN 40x20 |
| UPN 40 | 4.87 | 6.21 | 40 | 35 | 5.0 | 7.0 | 7.0 | 3.5 | 14.1 | 7.05 | — | 6.68 | 3.08 | 1.04 | UPN 40 |
| UPN 50x25 | 3.86 | 4.92 | 50 | 25 | 5.0 | 6.0 | 6.0 | 3.0 | 16.8 | 6.73 | — | 2.49 | 1.48 | 0.71 | UPN 50x25 |
| UPN 50 | 5.59 | 7.12 | 50 | 38 | 5.0 | 7.0 | 7.0 | 3.5 | 26.4 | 10.6 | — | 9.12 | 3.75 | 1.13 | UPN 50 |
| UPN 60 | 5.07 | 6.46 | 60 | 30 | 6.0 | 6.0 | 6.0 | 3.0 | 31.6 | 10.5 | — | 4.51 | 2.16 | 0.84 | UPN 60 |
| UPN 65 | 7.09 | 9.03 | 65 | 42 | 5.5 | 7.5 | 7.5 | 4.0 | 57.5 | 17.7 | — | 14.1 | 5.07 | 1.25 | UPN 65 |
| UPN 80 | 8.64 | 11.0 | 80 | 45 | 6.0 | 8.0 | 8.0 | 4.0 | 106 | 26.5 | 31.8 | 19.4 | 6.36 | 1.33 | UPN 80 |
| UPN 100 | 10.6 | 13.5 | 100 | 50 | 6.0 | 8.5 | 8.5 | 4.5 | 206 | 41.2 | 49.0 | 29.3 | 8.49 | 1.47 | UPN 100 |
| UPN 120 | 13.4 | 17.0 | 120 | 55 | 7.0 | 9.0 | 9.0 | 4.5 | 364 | 60.7 | 72.6 | 43.2 | 11.1 | 1.59 | UPN 120 |
| UPN 140 | 16.0 | 20.4 | 140 | 60 | 7.0 | 10.0 | 10.0 | 5.0 | 605 | 86.4 | 103 | 62.7 | 14.8 | 1.75 | UPN 140 |
| UPN 160 | 18.8 | 24.0 | 160 | 65 | 7.5 | 10.5 | 10.5 | 5.5 | 925 | 116 | 138 | 85.3 | 18.3 | 1.89 | UPN 160 |
| UPN 180 | 22.0 | 28.0 | 180 | 70 | 8.0 | 11.0 | 11.0 | 5.5 | 1350 | 150 | 179 | 114 | 22.4 | 2.02 | UPN 180 |
| UPN 200 | 25.3 | 32.2 | 200 | 75 | 8.5 | 11.5 | 11.5 | 6.0 | 1910 | 191 | 228 | 148 | 27.0 | 2.14 | UPN 200 |
| UPN 220 | 29.4 | 37.4 | 220 | 80 | 9.0 | 12.5 | 12.5 | 6.5 | 2690 | 245 | 292 | 197 | 33.6 | 2.30 | UPN 220 |
| UPN 240 | 33.2 | 42.3 | 240 | 85 | 9.5 | 13.0 | 13.0 | 6.5 | 3600 | 300 | 358 | 248 | 39.6 | 2.42 | UPN 240 |
| UPN 260 | 37.9 | 48.3 | 260 | 90 | 10.0 | 14.0 | 14.0 | 7.0 | 4820 | 371 | 442 | 317 | 47.7 | 2.56 | UPN 260 |
| UPN 280 | 41.8 | 53.3 | 280 | 95 | 10.0 | 15.0 | 15.0 | 7.5 | 6280 | 448 | 532 | 399 | 57.2 | 2.74 | UPN 280 |
| UPN 300 | 46.2 | 58.8 | 300 | 100 | 10.0 | 16.0 | 16.0 | 8.0 | 8030 | 535 | 632 | 495 | 67.8 | 2.90 | UPN 300 |
| UPN 320 | 59.5 | 75.8 | 320 | 100 | 14.0 | 17.5 | 17.5 | 8.75 | 10870 | 679 | 826 | 597 | 80.6 | 2.81 | UPN 320 |
| UPN 350 | 60.6 | 77.3 | 350 | 100 | 14.0 | 16.0 | 16.0 | 8.0 | 12840 | 734 | 918 | 570 | 75.0 | 2.72 | UPN 350 |
| UPN 380 | 63.1 | 80.4 | 380 | 102 | 13.5 | 16.0 | 16.0 | 8.0 | 15760 | 829 | 1014 | 615 | 78.7 | 2.77 | UPN 380 |
| UPN 400 | 71.8 | 91.5 | 400 | 110 | 14.0 | 18.0 | 18.0 | 9.0 | 20350 | 1020 | 1240 | 846 | 102 | 3.04 | UPN 400 |

# HE A

## Europski širokopojasni H profili




| PROFIL | G kg/m | A $cm^2$ | DIMENZIJE POPREČNOG PRESJEKA h mm | b mm | $t_w$ mm | $t_f$ mm | r mm | STATIČKE VELIČINE OS y-y $I_y$ $cm^4$ | $W_y$ $cm^3$ | $i_y$ cm | OS z-z $I_z$ $cm^4$ | $W_z$ $cm^3$ | $i_z$ cm | PROFIL |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| HE 100 A | 16.7 | 21.24 | 96 | 100 | 5.0 | 8.0 | 12 | 349.2 | 72.76 | 4.06 | 133.8 | 26.76 | 2.51 | HE 100 A |
| HE 120 A | 19.9 | 25.34 | 114 | 120 | 5.0 | 8.0 | 12 | 606.2 | 106.3 | 4.89 | 230.9 | 38.48 | 3.02 | HE 120 A |
| HE 140 A | 24.7 | 31.42 | 133 | 140 | 5.5 | 8.5 | 12 | 1033 | 155.4 | 5.73 | 389.3 | 55.62 | 3.52 | HE 140 A |
| HE 160 A | 30.4 | 38.77 | 152 | 160 | 6.0 | 9.0 | 15 | 1673 | 220.1 | 6.57 | 615.6 | 76.95 | 3.98 | HE 160 A |
| HE 180 A | 35.5 | 45.25 | 171 | 180 | 6.0 | 9.5 | 15 | 2510 | 293.6 | 7.45 | 924.6 | 102.7 | 4.52 | HE 180 A |
| HE 200 A | 42.3 | 53.83 | 190 | 200 | 6.5 | 10.0 | 18 | 3692 | 388.6 | 8.28 | 1336 | 133.6 | 4.98 | HE 200 A |
| HE 220 A | 50.5 | 64.34 | 210 | 220 | 7.0 | 11.0 | 18 | 5410 | 515.2 | 9.17 | 1955 | 177.7 | 5.51 | HE 220 A |
| HE 240 A | 60.3 | 76.84 | 230 | 240 | 7.5 | 12.0 | 21 | 7763 | 675.1 | 10.05 | 2769 | 230.7 | 6.00 | HE 240 A |
| HE 260 A | 68.2 | 86.82 | 250 | 260 | 7.5 | 12.5 | 24 | 10450 | 836.4 | 10.97 | 3668 | 282.1 | 6.50 | HE 260 A |
| HE 280 A | 76.4 | 97.26 | 270 | 280 | 8.0 | 13.0 | 24 | 13670 | 1013 | 11.86 | 4763 | 340.2 | 7.00 | HE 280 A |
| HE 300 A | 88.3 | 112.5 | 290 | 300 | 8.5 | 14.0 | 27 | 18260 | 1260 | 12.74 | 6310 | 420.6 | 7.49 | HE 300 A |
| HE 320 A | 97.6 | 124.4 | 310 | 300 | 9.0 | 15.5 | 27 | 22930 | 1479 | 13.58 | 6985 | 465.7 | 7.49 | HE 320 A |
| HE 340 A | 105 | 133.5 | 330 | 300 | 9.5 | 16.5 | 27 | 27690 | 1678 | 14.40 | 7436 | 495.7 | 7.46 | HE 340 A |
| HE 360 A | 112 | 142.8 | 350 | 300 | 10.0 | 17.5 | 27 | 33090 | 1891 | 15.22 | 7887 | 525.8 | 7.43 | HE 360 A |
| HE 400 A | 125 | 159.0 | 390 | 300 | 11.0 | 19.0 | 27 | 45070 | 2311 | 16.84 | 8564 | 570.9 | 7.34 | HE 400 A |
| HE 450 A | 140 | 178.0 | 440 | 300 | 11.5 | 21.0 | 27 | 63720 | 2896 | 18.92 | 9465 | 631.0 | 7.29 | HE 450 A |
| HE 500 A | 155 | 197.5 | 490 | 300 | 12.0 | 23.0 | 27 | 86970 | 3550 | 20.98 | 10370 | 691.1 | 7.24 | HE 500 A |
| HE 550 A | 166 | 211.8 | 540 | 300 | 12.5 | 24.0 | 27 | 111900 | 4146 | 22.99 | 10820 | 721.3 | 7.15 | HE 550 A |
| HE 600 A | 178 | 226.5 | 590 | 300 | 13.0 | 25.0 | 27 | 141200 | 4787 | 24.97 | 11270 | 751.4 | 7.05 | HE 600 A |
| HE 650 A | 190 | 241.6 | 640 | 300 | 13.5 | 26.0 | 27 | 175200 | 5474 | 26.93 | 11720 | 781.6 | 6.97 | HE 650 A |
| HE 700 A | 204 | 260.5 | 690 | 300 | 14.5 | 27.0 | 27 | 215300 | 6241 | 28.75 | 12180 | 811.9 | 6.84 | HE 700 A |
| HE 800 A | 224 | 285.8 | 790 | 300 | 15.0 | 28.0 | 30 | 303400 | 7682 | 32.58 | 12640 | 842.6 | 6.65 | HE 800 A |
| HE 900 A | 252 | 320.5 | 890 | 300 | 16.0 | 30.0 | 30 | 422100 | 9485 | 36.29 | 13550 | 903.2 | 6.50 | HE 900 A |
| HE 1000 A | 272 | 346.8 | 990 | 300 | 16.5 | 31.0 | 30 | 553800 | 11190 | 39.96 | 14000 | 933.6 | 6.35 | HE 1000 A |

# HE B

## Europski širokopojasni H profili




| PROFIL | G kg/m | A cm² | DIMENZIJE POPREČNOG PRESJEKA h mm | b mm | $t_w$ mm | $t_f$ mm | r mm | STATIČKE VELIČINE OS y-y $I_y$ cm⁴ | $W_y$ cm³ | $i_y$ cm | OS z-z $I_z$ cm⁴ | $W_z$ cm³ | $i_z$ cm | PROFIL |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| HE 100 B | 20.4 | 26.04 | 100 | 100 | 6.0 | 10.0 | 12 | 449.5 | 89.91 | 4.16 | 167.3 | 33.45 | 2.53 | HE 100 B |
| HE 120 B | 26.7 | 34.01 | 120 | 120 | 6.5 | 11.0 | 12 | 864.4 | 144.1 | 5.04 | 317.5 | 52.92 | 3.06 | HE 120 B |
| HE 140 B | 33.7 | 42.96 | 140 | 140 | 7.0 | 12.0 | 12 | 1509 | 215.6 | 5.93 | 549.7 | 78.54 | 3.58 | HE 140 B |
| HE 160 B | 42.6 | 54.25 | 160 | 160 | 8.0 | 13.0 | 15 | 2492 | 311.5 | 6.78 | 889.2 | 111.2 | 4.05 | HE 160 B |
| HE 180 B | 51.2 | 65.25 | 180 | 180 | 8.5 | 14.0 | 15 | 3831 | 425.7 | 7.66 | 1363 | 151.4 | 4.57 | HE 180 B |
| HE 200 B | 61.3 | 78.08 | 200 | 200 | 9.0 | 15.0 | 18 | 5696 | 569.6 | 8.54 | 2003 | 200.3 | 5.07 | HE 200 B |
| HE 220 B | 71.5 | 91.04 | 220 | 220 | 9.5 | 16.0 | 18 | 8091 | 735.5 | 9.43 | 2843 | 258.5 | 5.59 | HE 220 B |
| HE 240 B | 83.2 | 106.0 | 240 | 240 | 10.0 | 17.0 | 21 | 11260 | 938.3 | 10.31 | 3923 | 326.5 | 6.08 | HE 240 B |
| HE 260 B | 93.0 | 118.4 | 260 | 260 | 10.0 | 17.5 | 24 | 14920 | 1148 | 11.22 | 5135 | 395.0 | 6.58 | HE 260 B |
| HE 280 B | 103 | 131.4 | 280 | 280 | 10.5 | 18.0 | 24 | 19270 | 1376 | 12.11 | 6595 | 471.0 | 7.09 | HE 280 B |
| HE 300 B | 117 | 149.1 | 300 | 300 | 11.0 | 19.0 | 27 | 25170 | 1678 | 12.99 | 8563 | 570.5 | 7.58 | HE 300 B |
| HE 320 B | 127 | 161.3 | 320 | 300 | 11.5 | 20.5 | 27 | 30820 | 1926 | 13.82 | 9239 | 615.9 | 7.57 | HE 320 B |
| HE 340 B | 134 | 170.9 | 340 | 300 | 12.0 | 21.5 | 27 | 36660 | 2156 | 14.65 | 9690 | 646.0 | 7.53 | HE 340 B |
| HE 360 B | 142 | 180.6 | 360 | 300 | 12.5 | 22.5 | 27 | 43190 | 2400 | 15.46 | 10140 | 676.1 | 7.49 | HE 360 B |
| HE 400 B | 155 | 197.8 | 400 | 300 | 13.5 | 24.0 | 27 | 57680 | 2884 | 17.08 | 10820 | 721.3 | 7.40 | HE 400 B |
| HE 450 B | 171 | 218.0 | 450 | 300 | 14.0 | 26.0 | 27 | 79890 | 3551 | 19.14 | 11720 | 781.4 | 7.33 | HE 450 B |
| HE 500 B | 187 | 238.6 | 500 | 300 | 14.5 | 28.0 | 27 | 107200 | 4287 | 21.19 | 12620 | 841.4 | 7.27 | HE 500 B |
| HE 550 B | 199 | 254.1 | 550 | 300 | 15.0 | 29.0 | 27 | 136700 | 4971 | 23.20 | 13080 | 871.8 | 7.17 | HE 550 B |
| HE 600 B | 212 | 270.0 | 600 | 300 | 15.5 | 30.0 | 27 | 171000 | 5701 | 25.17 | 13530 | 902.0 | 7.08 | HE 600 B |
| HE 650 B | 225 | 286.3 | 650 | 300 | 16.0 | 31.0 | 27 | 210600 | 6480 | 27.12 | 13980 | 932.3 | 6.99 | HE 650 B |
| HE 700 B | 241 | 306.4 | 700 | 300 | 17.0 | 32.0 | 27 | 256900 | 7340 | 28.96 | 14440 | 962.7 | 6.87 | HE 700 B |
| HE 800 B | 262 | 334.2 | 800 | 300 | 17.5 | 33.0 | 30 | 359100 | 8977 | 32.78 | 14900 | 993.4 | 6.68 | HE 800 B |
| HE 900 B | 291 | 371.3 | 900 | 300 | 18.5 | 35.0 | 30 | 494100 | 10980 | 36.48 | 15820 | 1054 | 6.53 | HE 900 B |
| HE 1000 B | 314 | 400.0 | 1000 | 300 | 19.0 | 36.0 | 30 | 644700 | 12890 | 40.15 | 16280 | 1085 | 6.38 | HE 1000 B |

## 8.7. Tablice za preliminarno dimenzioniranje

### 8.7.1. OSB ploče

(izvor: **www.egger.com**)

| Dozvoljeno opterećenje [kN/m$^2$] | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Razmak oslonaca [m] | Debljina ploče [mm] | | | | | | | |
| | **8** | **10** | **12** | **15** | **18** | **22** | **25** | **30** |
| 0,40 | 0,91 | 1,80 | 2,98 | 5,87 | 10,00 | 18,32 | 26,93 | 43,31 |
| 0,45 | 0,62 | 1,25 | 2,07 | 4,09 | 6,99 | 12,82 | 18 ,87 | 31,42 |
| 0,50 | | 0,89 | 1,49 | 2,96 | 5,06 | 9,31 | 13,71 | 22,85 |
| 0,55 | | 0,66 | 1,10 | 2,20 | 3,78 | 6,96 | 10,26 | 17,1 2 |
| 0,60 | | | 0,83 | 1 ,67 | 2,88 | 5,33 | 7,87 | 13,15 |
| 0,62 | | | 0,72 | 1,47 | 2,54 | 4,70 | 6,94 | 11,61 |
| 0,65 | | | 0 ,64 | 1 ,30 | 2,24 | 4,16 | 6,15 | 10,3 |
| 0,70 | | | 0,49 | 1 ,02 | 1 ,77 | 3,31 | 4,9 | 8,21 |
| 0,75 | | | | 0,81 | 1,42 | 2,66 | 3,95 | 6,64 |
| 0,80 | | | | 0,65 | 1 ,15 | 2,17 | 3,23 | 5,44 |
| 0,835 | | <50 kg/ m$^2$ | | 0,57 | 1,01 | 1 ,91 | 2,84 | 4,79 |
| 0,85 | | | | 0,53 | 0,94 | 1,78 | 2,67 | 4,50 |
| 0,90 | | | | | 0,77 | 1,48 | 2,22 | 3,76 |
| 0,95 | | | | | 0,64 | 1,24 | 1,86 | 3,17 |
| 1,00 | | | | | 0 ,53 | 1,04 | 1,58 | 2,69 |
| 1,10 | | | | | | 0,75 | 1,14 | 1,97 |
| 1,20 | | | | | | 0,55 | 0,85 | 1,48 |
| 1,25 | | | | | | | 0,73 | 1,29 |

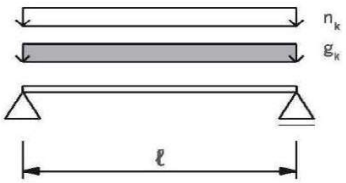
## *8.7.2. Cross-laminated timber*

(izvor: **www.klh.at)**

**STRUCTURAL PRE-ANALYSIS TABLES**

**VIBRATION TEST FOR INCREASED REQUIREMENTS**

Minimum panel thicknesses for R0 (cold dimensioning) according to approval ETA-06/0138
ONORM EN 1995-1-1:2009 and ONORM B 1995-1-1:2010
ONORM EN 1995-1-2:2011 and ONORM B 1995-1-2 :2011

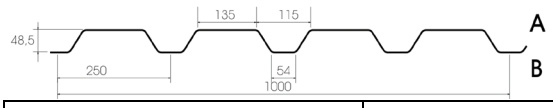


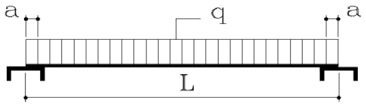

| Constan load | Imposed load | | SPAN OF SINGLE-SPAN GIRDER, f | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $g_k$ *) | $n_k$ | | 3.00 m | 3.50 m | 4.00 m | 4.50 m | 5.00 m | 5.50 m | 6.00 m | 6.50 m | 7.00 m |
| [kN/m²] | CAT | [kN/m²] | | | | | | | | | |
| 1.00 | A | 1.50 | 3s 78 TL | 3s 90 TL | 3s 120 TL | 5s 140 TL | 5s 162 TL | 5s 200 TL | 7ss 208 TL | 7ss 208 TL | 7ss 230 TL |
| | | 2.00 | | 3s 95 TL | | | 5s 182 TL | | | | |
| | | 2.80 | 3s 90 TL | | | | | | | | |
| | B | 3.00 | | 3s 108 TL | | 5s 145 TL | | | | | |
| | | 3.50 | | | | | | | | | |
| | C | 4.00 | 3s 95 TL | 3s 120 TL | 5s 140 TL | 5s 182 TL | | | | 7ss 230 TL | 7ss 248 TL |
| | | 5.00 | 3s 108 TL | | 5s 162 TL | | 5s 200 TL | | | | 7ss 260 TL |
| 1.50 | A | 1.50 | 3s 90 TL | 3s 108 TL | 3s 120 TL | 5s 145 TL | 5s 182 TL | 5s 200 TL | 7s 201 TL | 7s 201 TL | 7ss 208 TL |
| | | 2.00 | | | | | | | | | |
| | | 2.80 | | | 5s 140 TL | 5s 162 TL | | | | 7ss 208 TL | 7ss 230 TL |
| | B | 3.00 | | | | | | | | | |
| | | 3.50 | | | | | 5s 200 TL | | | | |
| | C | 4.00 | 3s 95 TL | 3s 120 TL | 5s 145 TL | | | | 7ss 208 TL | 7ss 230 TL | 7ss 248 TL |
| | | 5.00 | 3s 108 TL | 5s 140 TL | 5s 162 TL | 5s 182 TL | | | | 7ss 248 TL | 7ss 260 TL |
| 2.00 | A | 1.50 | 3s 90 TL | 3s 108 TL | 5s 140 TL | 5s 162 TL | 5s 200 TL | 5s 200 TL | 7s 201 TL | 7ss 208 TL | 7ss 230 TL |
| | | 2.00 | | | | | | | | | |
| | | 2.80 | | 3s 120 TL | | | | | | | |
| | B | 3.00 | | | | | | | | | 7ss 248 TL |
| | | 3.50 | | | | 5s 182 TL | | | | | |
| | C | 4.00 | 3s 108 TL | 5s 140 TL | 5s 162 TL | | | | 7ss 208 TL | 7ss 248 TL | 7ss 260 TL |
| | | 5.00 | | | | | | 7s 201 TL | 7ss 230 TL | | 7ss 280 TL |
| 2.50 | A | 1.50 | 3s 90 TL | 3s 120 TL | 5s 140 TL | 5s 162 TL | 5s 182 TL | 5s 200 TL | 7s 201 TL | 7ss 208 TL | 7ss 230 TL |
| | | 2.00 | | | | 5s 182 TL | | | | | 7ss 248 TL |
| | | 2.80 | 3s 95 TL | | | | | | | 7ss 230 TL | |
| | B | 3.00 | | | | | | | 7ss 208 TL | | |
| | | 3.50 | | | | | | | | | |
| | C | 4.00 | 3s 108 TL | 5s 140 TL | 5s 162 TL | | | 7s 201 TL | 7ss 230 TL | 7ss 248 TL | 7ss 280 TL |
| | | 5.00 | | | | | 5s 200 TL | 7ss 208 TL | | | |
| 3.00 | A | 1.50 | 3s 95 TL | 3s 120 TL | 5s 140 TL | 5s 182 TL | 5s 182 TL | 5s 200 TL | 7ss 208 TL | 7ss 230 TL | 7ss 248 TL |
| | | 2.00 | | | 5s 145 TL | | | | | | |
| | | 2.80 | | | | | | | | | |
| | B | 3.00 | | | | | | | | | |
| | | 3.50 | 3s 108 TL | | | | | | | | 7ss 260 TL |
| | C | 4.00 | | 5s 140 TL | 5s 162 TL | | 5s 200 TL | 7ss 208 TL | 7ss 230 TL | 7ss 248 TL | 7ss 280 TL |
| | | 5.00 | 3s 120 TL | | | | | | | 7ss 260 TL | 8ss 300 TL |

*) in addition to the own weight of the KLH elements (the own weight of KLH is already taken into account in the table)

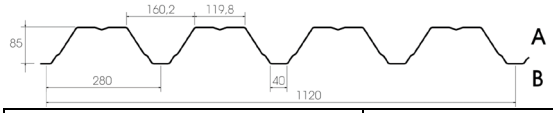
### *8.7.3. Ploče od valovitog lima*

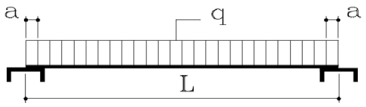
(izvor: **www.fillistahl.hr**)



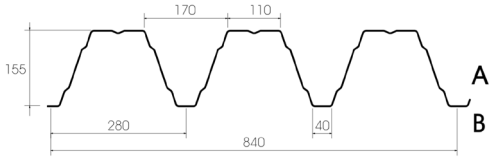



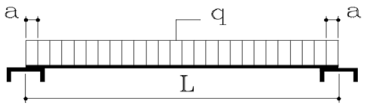

| **M 50/250** | | Raspon L [m] | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1,0 | 1,5 | 2,0 | 2,5 | 3,0 | 3,5 | 4,0 | 4,5 |
| Debljina lima [mm] | Težina [kN/m$^2$] | Najveće dopušteno opterećenje [kN/m$^2$] | | | | | | | |
| 0,75 | 0,075 | 11,15 | 4,96 | | | | | | |
| 0,88 | 0,088 | 14,88 | 6,61 | 2,79 | 1,43 | | | | |
| 1,00 | 0,100 | 18,28 | 7,57 | 3,19 | 1,63 | | | | |
| 1,25 | 0,125 | 27,35 | 9,53 | 4,02 | 2,06 | 1,19 | 0,45 | | |
| 1,50 | 0,150 | 36,46 | 11,50 | 4,85 | 2,48 | 1,44 | 0,91 | 0,61 | |




| **M 85/280** | | Raspon L [m] | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 2,5 | 3,0 | 3,5 | 4,0 | 4,5 | 5,0 | 5,5 | 6,0 |
| Debljina lima [mm] | Težina [kN/m$^2$] | Najveće dopušteno opterećenje [kN/m$^2$] | | | | | | | |
| 0,75 | 0,080 | 3,48 | 2,01 | 1,27 | | | | | |
| 0,88 | 0,094 | 4,09 | 2,37 | 1,49 | 1,00 | 0,70 | 0,51 | | |
| 1,00 | 0,107 | 4,68 | 2,71 | 1,71 | 1,44 | 0,80 | 0,58 | 0,44 | 0,34 |
| 1,25 | 0,133 | 5,57 | 3,23 | 2,03 | 1,36 | 0,96 | 0,70 | 0,52 | 0,40 |
| 1,50 | 0,160 | 6,74 | 3,90 | 2,46 | 1,65 | 1,16 | 0,84 | 0,63 | 0,49 |




| **M 150/280** | | Raspon L [m] | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 4,0 | 4,5 | 5,0 | 5,5 | 6,0 | 6,5 | 7,0 | 7,5 |
| Debljina lima [mm] | Težina [kN/m$^2$] | Najveće dopušteno opterećenje [kN/m$^2$] | | | | | | | |
| 0,75 | 0,107 | 2,73 | 2,42 | 1,76 | 1,32 | 1,02 | 0,80 | 0,64 | 0,52 |
| 0,88 | 0,126 | 4,04 | 2,86 | 2,09 | 1,57 | 1,21 | 0,95 | 0,76 | 0,62 |
| 1,00 | 0,143 | 4,66 | 3,27 | 2,38 | 1,79 | 1,38 | 1,09 | 0,87 | 0,71 |
| 1,25 | 0,179 | 5,87 | 4,12 | 3,00 | 2,26 | 1,74 | 1,37 | 1,10 | 0,89 |
| 1,50 | 0,214 | 7,08 | 4,97 | 3,63 | 2,72 | 2,10 | 1,65 | 1,32 | 1,07 |

### *8.7.4. Spregnute ploče*

(izvor: **www.kingspan.com)**

**Multideck 50** (visina lima 50 mm, čelik 450 N/mm$^2$

| Debljina lima [mm] | Debljina ploče [cm] | Ukupno opterećenje [kN/m$^2$] | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 4,0 | 6,0 | 8,0 | 10,0 | 12,0 | 14,0 |
| | | Najveći dozvoljeni raspon [m] | | | | | |
| **0,85** | 10,0 | 3.02 | 3.02 | 3.02 | 3.00 | 3.00 | 2.99 |
| | 11,0 | 2.94 | 2.94 | 2.94 | 2.94 | 2.94 | 2.94 |
| | 12,0 | 2.87 | 2.87 | 2.87 | 2.87 | 2.87 | 2.87 |
| | 13,0 | 2.78 | 2.78 | 2.78 | 2.78 | 2.78 | 2.78 |
| | 14,0 | 2.71 | 2.71 | 2.71 | 2.71 | 2.71 | 2.71 |
| | 15,0 | 2.63 | 2.63 | 2.63 | 2 63 | 2.63 | 2.63 |
| | 16,0 | 2.58 | 2.58 | vlj.58 | 2.58 | 2.58 | 2.58 |
| | 17,5 | 2.49 | 2.49 | 2.49 | 2.49 | 2.49 | 2.49 |
| | 20,0 | 2.36 | 2.36 | 2.36 | 2.36 | 2.36 | 2.36 |
| | 25,0 | 2.16 | 2.16 | 2.16 | 2.16 | 2.16 | 2.16 |
| **0,90** | 10,0 | 3.17 | 3.17 | 3.17 | 3.00 | 3.00 | 3.00 |
| | 11,0 | 3.08 | 3.08 | 3.08 | 3.08 | 3.08 | 3.08 |
| | 12,0 | 3.01 | 3.01 | 3.01 | 3.01 | 3.01 | 3.01 |
| | 13,0 | 2.94 | 2.94 | 2.94 | 2.94 | 2.94 | 2.94 |
| | 14,0 | 2.88 | 2.88 | 2.88 | 2.88 | 2.88 | 2.88 |
| | 15,0 | 2.82 | 2.82 | 2.82 | 2.82 | 2.82 | 2.82 |
| | 16,0 | 2.77 | 2.77 | 2.77 | 2.77 | 2.77 | 2.77 |
| | 17,5 | 2.70 | 2.70 | 2.70 | 2.70 | 2.70 | 2.70 |
| | 20,0 | 2.59 | 2.59 | 2.59 | 2.59 | 2.59 | 2.59 |
| | 25,0 | 2.38 | 2.38 | 2.38 | 2.38 | 2.38 | 2.38 |
| **1,00** | 10,0 | 3.30 | 3.30 | 3.22 | 3.00 | 3.00 | 3.00 |
| | 11,0 | 3.22 | 3.22 | 3.22 | 3.22 | 3.22 | 3.22 |
| | 12,0 | 3.14 | 3.14 | 3.14 | 3.14 | 3.14 | 3.14 |
| | 13,0 | 3.07 | 3.07 | 3.07 | 3.07 | 3.07 | 3.07 |
| | 14,0 | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 3.00 |
| | 15,0 | 2.94 | 2.94 | 2.94 | 2.94 | 2.94 | 2.94 |
| | 16,0 | 2.89 | 2.89 | 2.89 | 2.89 | 2.89 | 2.89 |
| | 17,5 | 2.81 | 2.81 | 2.81 | 2.81 | 2.81 | 2.81 |
| | 20,0 | 2.70 | 2.70 | 2.70 | 2.70 | 2.70 | 2.70 |
| | 25,0 | 2.53 | 2.53 | 2.53 | 2.53 | 2.53 | 2.53 |
| **1,10** | 10,0 | 3.40 | 3.40 | 3.28 | 3.00 | 3.00 | 3.00 |
| | 11,0 | 3.31 | 3.31 | 3.31 | 3.31 | 3.30 | 3.30 |
| | 12,0 | 3.24 | 3.24 | 3.24 | 3.24 | 3.24 | 3.24 |
| | 13,0 | 3.16 | 3.16 | 3.16 | 3.16 | 3.16 | 3.16 |
| | 14,0 | 3.10 | 3.10 | 3.10 | 3.10 | 3.10 | 3.10 |
| | 15,0 | 3.04 | 3.04 | 3.04 | 3.04 | 3.04 | 3.04 |
| | 16,0 | 2.98 | 2.98 | 2.98 | 2.98 | 2.98 | 2.98 |
| | 17,5 | 2.90 | 2.90 | 2.90 | 2.90 | 2.90 | 2.90 |
| | 20,0 | 2.86 | 2.86 | 2.86 | 2.86 | 2.86 | 2.86 |
| | 25,0 | 2.61 | 2.61 | 2.61 | 2.61 | 2.61 | 2.61 |
| **1,10** | 10,0 | 3.50 | 3.50 | 3.32 | 3.05 | 300,00 | 3.00 |
| | 11,0 | 3.42 | 3.42 | 3.42 | 3.35 | 3.28 | 3.28 |
| | 12,0 | 3.33 | 3.33 | 3.33 | 3.33 | 3.33 | 3.33 |
| | 13,0 | 3.25 | 3.25 | 3.25 | 3.25 | 3.25 | 3.25 |
| | 14,0 | 3.19 | 3.19 | 3.19 | 3.19 | 3.19 | 3.19 |
| | 15,0 | 3.12 | 3.12 | 3.12 | 3.12 | 3.12 | 3.12 |
| | 16,0 | 3.07 | 3.07 | 3.07 | 3.07 | 3.07 | 3.07 |
| | 17,5 | 2.99 | 2.99 | 2.99 | 2.99 | 2.99 | 2.99 |
| | 20,0 | 2.87 | 2.87 | 2.87 | 2.87 | 2.87 | 2.87 |
| | 25,0 | 2.69 | 2.69 | 2.69 | 2.69 | 2.69 | 2.69 |

Ukupno opterećenje predstavlja ukupno računsko opterećenje bez vl. težine ploče

.

**Multideck 60** (visina lima 60 mm, čelik 350 N/mm$^2$

| Debljina lima [mm] | Debljina ploče [cm] | Ukupno opterećenje [kN/m$^2$] | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 4,0 | 6,0 | 8,0 | 10,0 | 12,0 | 14,0 |
| | | Najveći dozvoljeni raspon [m] | | | | | |
| **0,90** | 12,0 | 3.26 | 3.26 | 3.26 | 2.99 | 2.65 | 2.39 |
| | 13,0 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 2.86 | 2.58 |
| | 14,0 | 3.06 | 3.06 | 3.06 | 3.06 | 3.06 | 2.77 |
| | 15,0 | 2,97 | 2.97 | 2.97 | 2.97 | 2.97 | 2.95 |
| | 16,0 | 2.90 | 2.90 | 2.90 | 2.90 | 2.90 | 2.90 |
| | 17,5 | 2.79 | 2.79 | 2.79 | 2.79 | 2.79 | 2.79 |
| | 20,0 | 2.63 | 2.63 | 2.63 | 2.63 | 2.63 | 2.63 |
| | 25,0 | 2.37 | 2.37 | 2.37 | 2.37 | 2.37 | 2.37 |
| **1,00** | 12,0 | 3.39 | 3.39 | 3.39 | 3.17 | 2.81 | 2.54 |
| | 13,0 | 3.28 | 3.28 | 3.28 | 3.28 | 3.03 | 2.73 |
| | 14,0 | 3.18 | 3.18 | 3 .18 | 3.18 | 3.18 | 2.92 |
| | 15,0 | 3.09 | 3.09 | 3.09 | 3.09 | 3.09 | 3.09 |
| | 16,0 | 3.01 | 3.01 | 3.01 | 3.01 | 3.01 | 3.01 |
| | 17,5 | 2.91 | 2.91 | 2.91 | 2.91 | 2.91 | 2.91 |
| | 20,0 | 2.76 | 2.76 | 2.76 | 2.76 | 2.76 | 2.76 |
| | 25,0 | 2.54 | 2.54 | 2.54 | 2.54 | 2.54 | 2.54 |
| **1,10** | 12,0 | 3.52 | 3.52 | 3.52 | 3.32 | 2.94 | 2.66 |
| | 13,0 | 3.40 | 3.40 | 3.40 | 3.40 | 3.16 | 2.86 |
| | 14,0 | 3.30 | 3.30 | 3.30 | 3.30 | 3.30 | 3.05 |
| | 15,0 | 3.21 | 3.21 | 3.21 | 3.21 | 3.21 | 3.21 |
| | 16,0 | 3.12 | 3.12 | 3.12 | 3.12 | 3.12 | 3.12 |
| | 17,5 | 3.02 | 3.02 | 3.02 | 3.02 | 3.02 | 3.02 |
| | 20,0 | 2.86 | 2.86 | 2.86 | 2.86 | 2.86 | 2.86 |
| | 25,0 | 2.63 | 2.63 | 2.63 | 2.63 | 2.63 | 2.63 |
| **1,10** | 12,0 | 3.62 | 3.62 | 3.60 | 3.32 | 2.94 | 2.66 |
| | 13,0 | 3.50 | 3.50 | 3.50 | 350,00 | 3.16 | 2.86 |
| | 14,0 | 3.39 | 3.39 | 3.39 | 3.39 | 3.38 | 3.05 |
| | 15,0 | 3.30 | 3.30 | 3.30 | 3.30 | 3.30 | 3.24 |
| | 16,0 | 3.21 | 3.21 | 3.21 | 3.21 | 3.21 | 3.21 |
| | 17,5 | 3.10 | 3.10 | 3.10 | 3.10 | 3.10 | 3.10 |
| | 20,0 | 2.95 | 2.95 | 2.95 | 2.95 | 2.95 | 2.95 |
| | 25,0 | 2.71 | 2.71 | 2.71 | 2.71 | 2.71 | 2.71 |

Ukupno opterećenje predstavlja ukupno računsko opterećenje bez vl. težine ploče

**Multideck 80** (visina lima 80 mm, čelik 350 N/mm$^2$

| Debljina lima [mm] | Debljina ploče [cm] | Ukupno opterećenje [kN/m$^2$] | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 4,0 | 6,0 | 8,0 | 10,0 | 12,0 | 14,0 |
| | | Najveći dozvoljeni raspon [m] | | | | | |
| **1,00** | 13,0 | 4.03 | 3.90 | 3.70 | 3.28 | 2.98 | 2.75 |
| | 14,0 | 3.93 | 3.93 | 3.92 | 3.48 | 3.16 | 2.91 |
| | 15,0 | 3.84 | 3.84 | 3.84 | 3.66 | 3.32 | 3.06 |
| | 16,0 | 3.75 | 3.75 | 3.75 | 3.75 | 3.49 | 3.21 |
| | 17,5 | 3.65 | 3.65 | 3.65 | 3.65 | 3.65 | 3.42 |
| | 20,0 | 3.45 | 3.45 | 3.45 | 3.45 | 3.45 | 3.45 |
| | 25,0 | 3.16 | 3.16 | 3.16 | 3.16 | 3.16 | 3.16 |
| **1,10** | 13,0 | 4.13 | 3.93 | 3.86 | 3.43 | 3.11 | 2.87 |
| | 14,0 | 4.03 | 4.03 | 4.03 | 3.63 | 3.30 | 3.04 |
| | 15,0 | 3.93 | 3.93 | 3.93 | 3.83 | 3.47 | 3.20 |
| | 16,0 | 3.85 | 3.85 | 3.85 | 3.85 | 3.64 | 3.36 |
| | 17,5 | 3.74 | 3.74 | 3.74 | 3.74 | 3.74 | 3.58 |
| | 20,0 | 3.58 | 3.58 | 3.58 | 3.58 | 3.58 | 3.58 |
| | 25,0 | 3.27 | 3.27 | 3.27 | 3.27 | 3.27 | 3.27 |
| **1,10** | 13,0 | 4.22 | 3.95 | 3.90 | 3.53 | 3.21 | 2.96 |
| | 14,0 | 4.11 | 4.11 | 4.11 | 3.75 | 3.40 | 3.14 |
| | 15,0 | 4.02 | 4.02 | 4.02 | 3.95 | 3.59 | 3.31 |
| | 16,0 | 3.93 | 3.93 | 3.93 | 3.93 | 3.77 | 3.47 |
| | 17,5 | 3.82 | 382 | 3.82 | 3.82 | 3.82 | 3.70 |
| | 20,0 | 3.66 | 3.66 | 3.66 | 3.66 | 3.66 | 3.66 |
| | 25,0 | 3.37 | 3.37 | 3.37 | 3.37 | 3.37 | 3.37 |

Ukupno opterećenje predstavlja ukupno računsko opterećenje bez vl. težine ploče

**Multideck 146** (visina lima 146 mm, čelik 350 N/mm$^2$

| Debljina lima [mm] | Debljina ploče [cm] | Ukupno opterećenje [kN/m$^2$] | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 4,0 | 6,0 | 8,0 | 10,0 | 12,0 |
| | | Najveći dozvoljeni raspon [m] | | | | |
| **1,20** | 21,5 | 6.06 | 5.95 | 5.75 | 528,00 | 4.55 |
| | 22,5 | 5.97 | 5.97 | 5.90 | 5.48 | 4.69 |
| | 23,5 | 5.89 | 5.89 | 5.89 | 5.69 | 4.82 |
| | 24,5 | 5.81 | 5.81 | 5.81 | 5.81 | 4.94 |
| | 25,5 | 5.75 | 5.75 | 5.75 | 5.75 | 5.00 |
| | 26,5 | 5.66 | 5.66 | 5.66 | 5.66 | 5.18 |
| | 27,5 | 5.60 | 5.60 | 5.60 | 5.60 | 5.30 |
| | 28,5 | 5.54 | 5.54 | 5.54 | 5.54 | 5.41 |
| | 29,5 | 5.49 | 5.49 | 5.49 | 5.49 | 5.49 |
| | 30,5 | 5.42 | 5.42 | 5.42 | 5.42 | 5.42 |
| **1,50** | 21,5 | 6.44 | 6.44 | 5.93 | s.ss | 4.90 |
| | 22,5 | 6.34 | 6.34 | 6.10 | 5.71 | 5.04 |
| | 23,5 | 6.25 | 6.25 | 6.25 | 5.91 | 5.19 |
| | 24,5 | 6.14 | 6.14 | 6.14 | 6.09 | 5.32 |
| | 25,5 | 6.09 | 6.09 | 6.09 | 6.09 | 5.45 |
| | 26,5 | 5.98 | 5.98 | 5.98 | 5.98 | 5.57 |
| | 27,5 | 5.95 | 5.95 | 5.95 | 5.95 | 5.69 |
| | 28,5 | 5.89 | 5.89 | 5.89 | 5.89 | 5.83 |
| | 29,5 | 5.82 | 5.82 | 5.82 | 5.82 | 5.82 |
| | 30,5 | 5.75 | 5.75 | 5.75 | 5.75 | 5.75 |

Ukupno opterećenje predstavlja ukupno računsko opterećenje bez vl. težine ploče

# 9. Literatura


1. HRN EN 1991-1-1:2012: *Eurokod 1:Djelovanja na konstrukcije – Dio 1-4: Opća djelovanja – Obujamske težine, vlastite težine i uporabna opterećenja zgrada + nacionalni dodatak*
2. HRN EN 1991-1-3:2012: *Eurokod 1:Djelovanja na konstrukcije – Dio 1-4: Opća djelovanja – Opterećenja snijegom + nacionalni dodatak*
3. HRN EN 1991-1-4:2012: *Eurokod 1:Djelovanja na konstrukcije – Dio 1-4: Opća djelovanja – Djelovanje vjetra + nacionalni dodatak*
4. HRN EN 1993-1-1:2014: Eurokod 3: *Projektiranje čeličnih konstrukcija – Dio 1-1: Opća pravila i pravila za zgrade* + nacionalni dodatak
5. HRN EN 1995-1-1:2013: Eurokod 5: *Projektiranje drvenih konstrukcija – Dio 1-1: Općenito – Opća pravila i pravila za zgrade* + nacionalni dodatak
6. HRN EN 10027-1:2016: *Sustavi označavanja za čelike – 1. dio: Nazivi čelika*
7. HRN EN 338:2016: *Konstrukcijsko drvo – Razredi čvrstoće*
8. HRN EN 14080:2013: *Drvene konstrukcije – Lijepljeno lamelirano drvo i lijepljeno cjelovito drvo – Zahtjevi*
9. Androić, B., Dujmović, D., Džeba, I.: *Metalne konstrukcije 1*, IGH Zagreb, Zagreb 1994.
10. Androić, B., Dujmović, D., Džeba, I.: *Metalne konstrukcije 3*, IA projektiranje, Zagreb 1998.
11. Bjelanović, A., Rajčić, V.: *Drvene konstrukcije prema europskim normama*, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Hrvatska sveučilišna naklada, Zagreb 2005.
12. Gojković, M.: *Drvene konstrukcije*, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd 1983.
13. Radić, J.: *Betonske konstrukcije 2 - riješeni primjeri*, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Hrvatska sveučilišna naklada, Zagreb 2006.
14. Kindmann, R.: *Stahlbau: Teil 2: Stabilität und Theorie II. Ordnung*, Ernst&Sohn, Berlin, 2008.
15. Petersen, C.: *Stahlbau: Grundlagen der Berechnung und baulichen Ausbildung von Stahlbauten*, Springer Vieweg, Wiesbaden, 2013.
16. Kuhlmann, U. i ur.: *Stahlbau Kalender 2016: Eurocode 3 - Grundnorm Werkstoffe und Nachhaltigkeit*., Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 2016.
17. Kindmann, R. i Krahwinkel, M.: *Stahl- und Verbundkonstruktionen: Hallen-, Geschoss- und Brückenbau*, Springer Vieweg, Wiesbaden, 2016.