

**STRUČNI ČLANAK:**  
**VAŽNOST STATIČKOG PRORAČUNA KOD**  
**KONSTRUKCIJA MALIH RASPONA**

Autori :Ivan Volarić, struč. spec. ing. aedif.

Zagreb, Siječanj 2017.

---



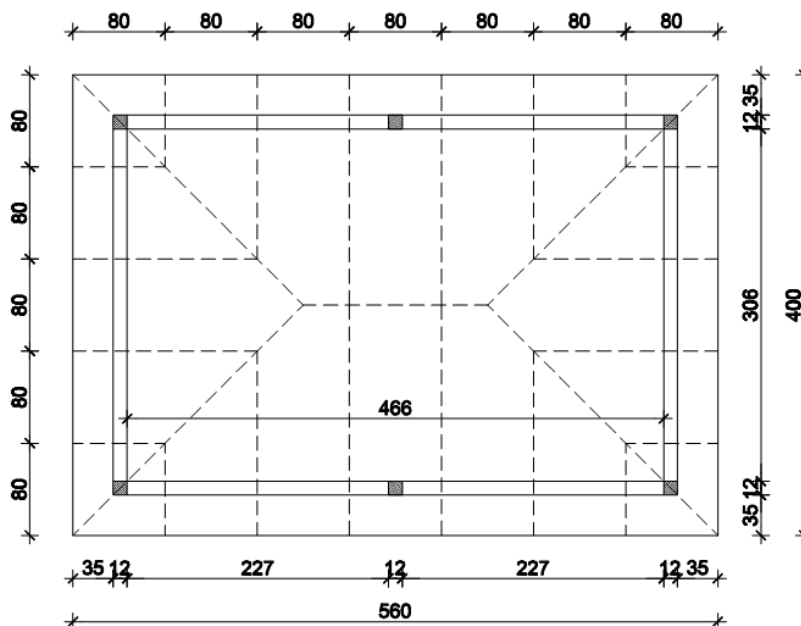
## VAŽNOST STATIČKOG PRORAČUNA KOD KONSTRUKCIJA MALIH RASPONA

Drvo kao građevinski materijal koristi se od davnina pa sve do danas. Prvi oblici gradnje drvom sežu u prapovijest, kada su ljudi kopali rovove koje su pokrivali drvenim trupcima i granjem, te zemljom kako bi se zaštitili od vanjskih utjecaja. Kako je vrijeme odmicalo, zahtjevi čovjeka su se mijenjali, te su se gradili sve složeniji objekti.

Pojavom prvih strojeva u drvenoj industriji, pojavila se mogućnost preciznog oblikovanja drvenih konstrukcija. U današnje vrijeme kada nam je na tržištu dostupna drvena građa raznih dimenzija, naglasak je potrebno staviti na optimizaciju poprečnih presjeka koje koristimo kod gradnje.

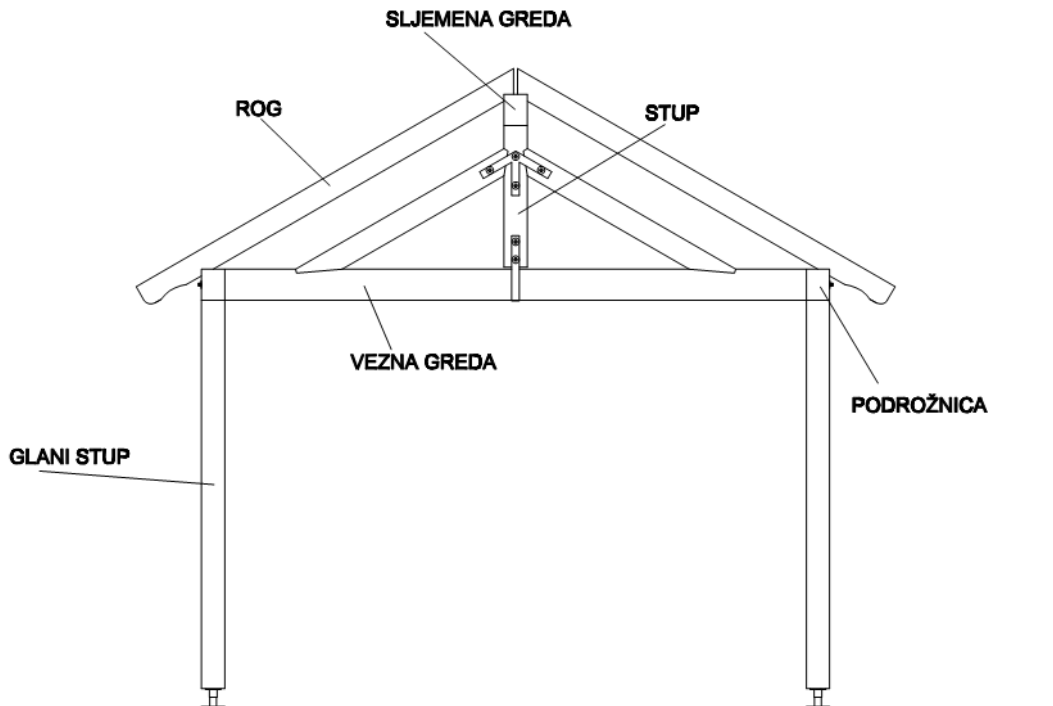
Prije izgradnje potrebno je provesti statički proračun, te postupak dimenzioniranja elemenata, kako bi poprečni presjeci bili optimalnih dimenzija, te kako bi se izbjeglo predimenzioniranje, te nepotrebni novčani izdaci. Nažalost, u Hrvatskoj kod izgradnje malih konstrukcija to još nije slučaj. Na tržištu postoji niz tvrtki, koje nemaju adekvatnog znanja iz područja drvenih konstrukcija, te vlada uvriježeno mišljenje da za izgradnju vrtnih sjenica, te manjih krovista isto nije ni potrebno.

Cilj ovog rada je dokazati suprotno, a način na koji ćemo to napraviti je usporedba dva statička sistema. Na slici 1 nalazi se tlocrt sjenice dimenzija 400cm x 560cm, nagiba krova 30°, izabran je pokrov biber crijep, koji se vrlo često koristi kod sličnih konstrukcija.



Slika 1. Tlocrt sjenice 400cm x 560cm

Kako bi sustav bio stabilan, ako se izvodi sa razvedenim krovom ovog tipa, potrebno je postaviti sljemenu gredu, na koju će se osloniti rogovi u sljemenu krova. Sljemenu gredu potrebno je osloniti na stup, koji će silu prenijeti u veznu gredu, a koja će ju dalje prenijeti na glavne stupove, te preko temelja u tlo.

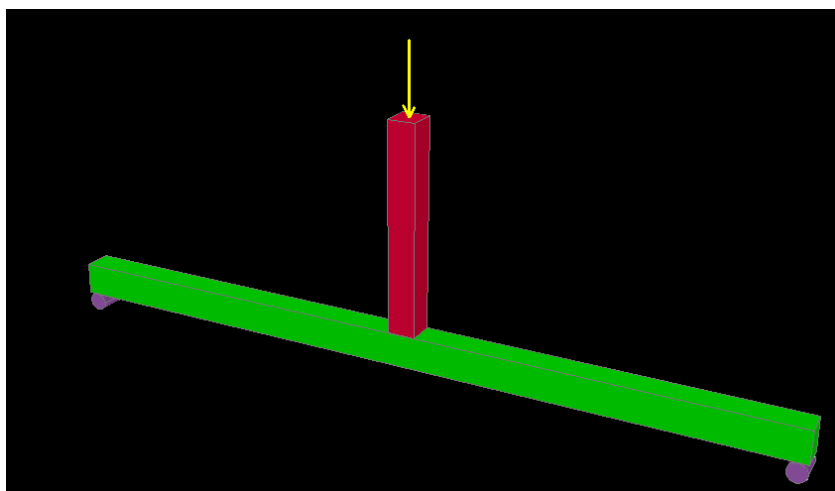


Slika 2. Presjek sjenice 400cm x 560cm, sa jednostrukom visuljom

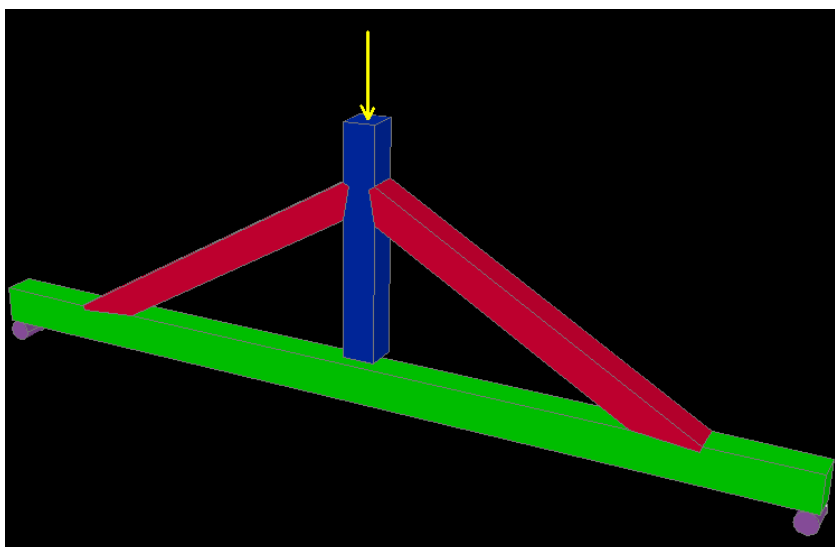
Nakon provedene analize opterećenja, te statičkog proračuna dobivena su djelovanja u svakom elementu konstrukcije. Područje u kojem se javljaju relativno velike sile je upravo ono gdje se sila prenosi sa sljemene grede na stup, a nepovoljna okolnost je što se to nalazi u sredini raspona vezne grede.

Kod izvedenih objekata ovog tipa u Hrvatskoj, uočeno je da je to područje u kojem se najčešće radi pogreška, te dolazi do velikih progiba vezne grede u sredini raspona.

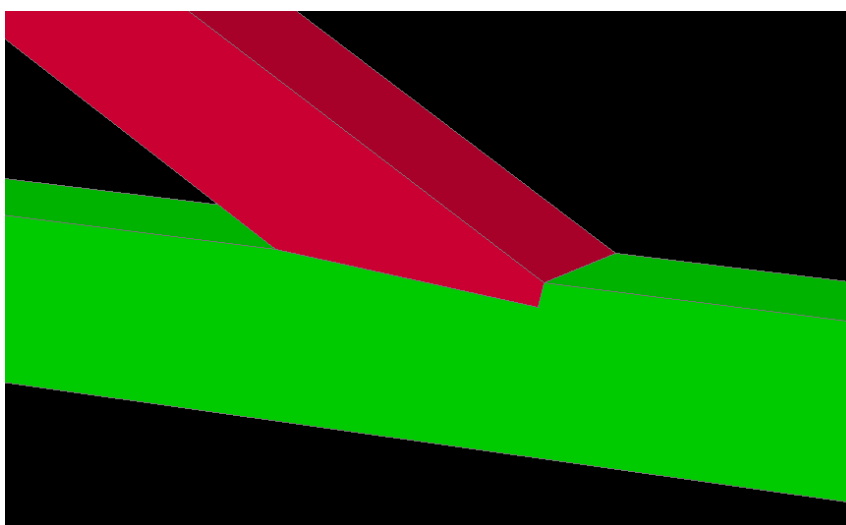
Na slici 3 prikazan je način na koji se najčešće vrši prijenos sile u praksi iz sljemene grede u veznu gredu, a koji će uzrokovati velike deformacije, dok je na slici 4 prikazan sustav sa tzv. jednostrukom visuljom, koji će silu prenijeti na krajeve vezne grede, te neće doći do prekomjernog progiba. Kod izvedbe jednostruke visulje potrebno je spoj kosnika i vezne grede, te spoj kosnika i stupa izvesti zasjekom, koji zahtjeva vrlo veliku preciznost izvedbe. Jednostruki zasjek je prikazan na slici 5, a dimenzije i dubina zasijecanja određeni su proračunom. Jednostruki zasjek potrebno je osigurati sa navojnom šipkom, plosnim željezom, ili vijkom za drvo, koji će kosniku onemogućiti neželjene pomake.



Slika 3. Sustav koji se najčešće izvodi u praski



Slika 4. Sustav sa jednostrukom visuljom



Slika 5. Spoj kosnika i vezne grede jednostrukom zasjekom

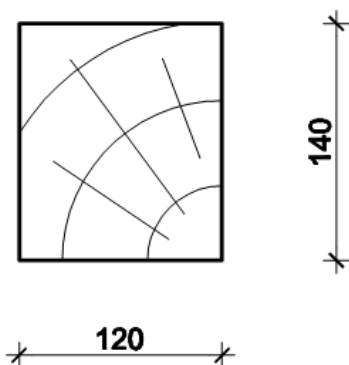
### Statički proračun sustava bez kosnika (slika 3)

Kod oba sustava radi lakše usporedbe dobivenih rezultata, u proračun su uvrštena svojstva gradiva KVH drva (C24), iako se najčešće u praksi primjenjuje neadekvatno drvo, koje nema kontrolirana svojstva i vlažnost. Kod primjene takvog materijala nema garancija da drvo ima čvrstoću koja je uzeta u proračunu, te može doći do većih deformacija u odnosu na projektirane.

Parametri za proračun

Građa C24	→(Kvaliteta materijala)
$f_{m,k} = 24 \text{ N/mm}^2$	→(Karakteristična čvrstoća na savijanje za drvo C24)
<b><math>M_{y,d} = 6.83 \text{ kNm}</math></b>	→(Projektirani moment savijanja u veznoj gredi os-y)
$M_{z,d} = 0 \text{ kNm}$	→(Projektirani moment savijanja u veznoj gredi os-z)
$\gamma_M = 1.3$	→(Koeficijent sigurnosti za materijala)
$k_{mod} = 0.9$	→(Koeficijent modifikacije)
$k_m = 0.7$	→(Koeficijent s obzirom na oblik poprečnog presjeka)

Poprečni presjek 120mm x 140mm



Statički parametri presjeka

$$A = 120 \times 140 = 16800 \text{ mm}^2$$
$$W_y = \frac{b \times h^2}{6} = \frac{120 \times 140^2}{6} = 392000 \text{ mm}^3$$
$$W_z = \frac{b^2 \times h}{6} = \frac{120^2 \times 140}{6} = 336000 \text{ mm}^3$$
$$I_y = \frac{b \times h^3}{12} = \frac{120 \times 140^3}{12} = 27440000 \text{ mm}^4$$
$$I_z = \frac{b^3 \times h}{12} = \frac{120^3 \times 140}{12} = 20160000 \text{ mm}^4$$

Izračun projektirane čvrstoće gradiva

$$f_{m,d} = k_{mod} \times \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} = 0.90 \times \frac{24}{1.3} = 16.6 \text{ N/mm}^2$$

Dokaz nosivosti presjeka na savijanje (Granično stanje nosivosti)

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{6830000}{392000} = 17.42 \text{ N/mm}^2$$



$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_z} = \frac{0}{3360000} = 0 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \frac{17.42}{16.6} + 0.7 \times \frac{0}{16.6} = 1.04 > 1 \quad \underline{\underline{1.04 > 1.0}}$$

$$k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0.7 \times \frac{17.42}{16.6} + \frac{0}{16.6} = 0.73 < 1 \quad \underline{\underline{0.73 < 1.0}}$$

### PRESJEK NE ZADOVOLJAVA ISKORISTIVOST 104%

Proračun progiba (Granično stanje uporabljivosti)

Građa C24 →(Kvaliteta materijala)

$k_{def,G} = 0.8$  →(Koeficijent deformacija za stalno opterećenje)

$k_{def,Q} = 0.0$  →(Koeficijent deformacija za korisno opterećenje)

Progib od stalnog opterećenja

$$u_{fin}^{G_{k,i}} = u_{inst}^{G_{k,i}} \times (1 + k_{def,G}) = 0.74 \times (1 + 0.8) = 1.33 \text{ cm}$$

$$u_{fin}^{G_{k,j}} = 1.33 \text{ cm} < l/200 = 1.59 \text{ cm}$$

Progib od korisnog opterećenja

$$u_{fin}^{Q_{1,k}} = u_{inst}^{Q_{1,k}} \times (1 + k_{def,Q}) = 0.62 \times (1 + 0.0) = 0.62 \text{ cm}$$

$$u_{fin}^{Q_{1,K}} = 0.62 \text{ cm} < l/300 = 1.06 \text{ cm}$$

Konačna vrijednost progiba:

$$u_{fin} = 1.33 + 0.62 = \underline{\underline{1.95 \text{ cm} > l/200 = 1.59 \text{ cm}}}$$

### PRESJEK NE ZADOVOLJAVA PROGIB VEĆI OD DOPUŠTENOG

Iz provedenog proračuna vidljivo je da odabrani presjek ne zadovoljava granično stanje nosivosti, i granično stanje uporabljivosti, što bi značilo da ako ugradimo poprečni presjek ovih dimenzija, kod maksimalnog opterećenja konstrukcije može doći do havarije. U nastavku će biti prikazan proračun za slučaj kada je sustav jednostruka visulja (slika 4). Važno je naglasiti da su gore navedene samo najvažnije vrijednosti, te da to nije cjeloviti statički proračun, već samo kratak pregled istog.

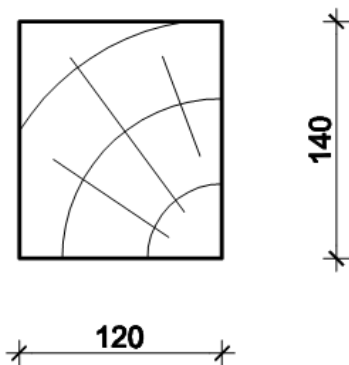


## Statički proračun sustava sa kosnicima (slika 4)

Parametri za proračun

- Građa C24 → (Kvaliteta materijala)  
 $f_{m,k} = 24 \text{ N/mm}^2$  → (Karakteristična čvrstoća na savijanje za drvo C24)  
 **$M_{y,d} = 2.14 \text{ kNm}$**  → (Projektirani moment savijanja u veznoj gredi os-y)  
 $M_{z,d} = 0 \text{ kNm}$  → (Projektirani moment savijanja u veznoj gredi os-z)  
 $\gamma_M = 1.3$  → (Koeficijent sigurnosti za materijala)  
 $k_{mod} = 0.9$  → (Koeficijent modifikacije)  
 $k_m = 0.7$  → (Koeficijent s obzirom na oblik poprečnog presjeka)

Poprečni presjek 120mm x 140mm



Statički parametri presjeka

$$A = 120 \times 140 = 16800 \text{ mm}^2$$
$$W_y = \frac{b \times h^2}{6} = \frac{120 \times 140^2}{6} = 392000 \text{ mm}^3$$
$$W_z = \frac{b^2 \times h}{6} = \frac{120^2 \times 140}{6} = 336000 \text{ mm}^3$$
$$I_y = \frac{b \times h^3}{12} = \frac{120 \times 140^3}{12} = 27440000 \text{ mm}^4$$
$$I_z = \frac{b^3 \times h}{12} = \frac{120^3 \times 140}{12} = 20160000 \text{ mm}^4$$

Izračun projektirane čvrstoće gradiva

$$f_{m,d} = k_{mod} \times \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} = 0.90 \times \frac{24}{1.3} = 16.6 \text{ N/mm}^2$$

Dokaz nosivosti presjeka na savijanje (Granično stanje nosivosti)

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{2140000}{392000} = 5.46 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_z} = \frac{0}{3360000} = 0 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \frac{5.46}{16.6} + 0.7 \times \frac{0}{16.6} = 0.32 < 1 \quad \underline{\underline{0.32 < 1.0}}$$



$$k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0.7 \times \frac{5.46}{16.6} + \frac{0}{16.6} = 0.23 < 1 \quad \mathbf{0.23 < 1.0}$$

### **PRESJEK ZADOVOLJAVA ISKORISTIVOST 32%**

Proračun progiba (Granično stanje uporabljivosti)

Građa C24 →(Kvaliteta materijala)

$k_{def,G} = 0.8$  →(Koeficijent deformacija za stalno opterećenje)

$k_{def,Q} = 0.0$  →(Koeficijent deformacija za stalno opterećenje)

Progib od stalnog opterećenja

$$u_{fin}^{G,i} = u_{inst}^{G,i} \times (1 + k_{def,G}) = 0.12 \times (1 + 0.8) = 0.22 \text{ cm}$$

$$u_{fin}^{G,j} = 0.22 \text{ cm} < l/200 = 1.59 \text{ cm}$$

Progib od korisnog opterećenja

$$u_{fin}^{Q,1,k} = u_{inst}^{Q,1,k} \times (1 + k_{def,Q}) = 0.1 \times (1 + 0.0) = 0.1 \text{ cm}$$

$$u_{fin}^{Q,1,k} = 0.1 \text{ cm} < l/300 = 1.06 \text{ cm}$$

Konačna vrijednost progiba:

$$u_{fin} = 0.21 + 0.10 = \mathbf{0.31 \text{ cm} < l/200 = 1.59 \text{ cm}}$$

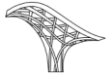
### **PRESJEK ZADOVOLJAVA**

#### **Zaključak**

Nakon provedenog statičkog proračuna prema Eurokodu, za sustav sa slike 3, te za sustav sa slike 4, napravljena je provjera graničnog stanja nosivosti, te graničnog stanja uporabljivosti. Kod graničnog stanja nosivosti napravljena je provjera momenata savijanja u elementima. Kod prvog sustava pokazalo se da je iskoristivost poprečnog presjeka 104% dok je kod druge varijante iskoristivost 32%.

Prilikom provjere graničnog stanja uporabljivosti, proračunati konačni progib za prvi sustav iznosi 1.95 cm, dok za drugi sustav konačni proračunati progib iznosi 0.31 cm, za oba slučaja dozvoljeni progib iznosi 1.59 cm.





Iz svega spomenutog dolazimo do zaključka da je potrebno kod izvedbe prvog slučaja, povećati dimenzije poprečnog presjeka, dok se kod drugog iste mogu smanjiti, kako bi optimizirali konstrukciju i smanjili joj konačnu cijenu.

U ovom radu prikazan je samo dio konstrukcije, koji nam je reprezentativni primjer zašto je potreban veliki zaokret kod izvedbe drvenih konstrukcija u Hrvatskoj. Izvođenje radova u ovom području potrebno je povjeriti obrazovanom i stručnom kadru, kako bi konačni rezultati bili optimalni, za kupca ali i za okoliš.

### **Literatura**

#### Knjige i skripte:

- [1] Magerle, Miroslav. Drvene konstrukcije - Svojstva drva, Zagreb, 1996.
- [2] Magerle, Miroslav. Drvene konstrukcije, Zagreb, 2008.
- [3] Rajčić, Vlatka; Bjelanović, Adriana. Drvene konstrukcije prema europskim normama, Zagreb, 2007.