



## **INTERNACIONALNI NAUČNO-STRUČNI SKUP**

### **GRAĐEVINARSTVO - NAUKA I PRAKSA**

**ŽABLJAK, 20-24. 02. 2012.**

---

*Aleksandar Jurić<sup>1</sup>, Nikola Anić<sup>2</sup>, Tihomir Štefić<sup>3</sup>, Mirjana Bošnjak-Klečina<sup>4</sup>.*

## **STATIČKA ANALIZA NOSIVOSTI TLAČNIH ŠTAPOVA PRIKLJUČKA ČELIČNE REŠETKE**

### **Rezime**

U radu se, na jednoj ravninskoj čeličnoj rešetki, analizira promjena nosivosti i stvarnih sila u tlačnim štapovima ispune u ovisnosti o stupnju ekscentriciteta, dobivenog spajanjem štapova ispune u pojaseve. Statička analiza promjenjivosti stvarne tlačne sile provedena je linearnim numeričkim modelom, dok je analiza nosivosti u štapu najveće tlačne sile, provedena prema važećim propisima. Odabran je konkretan ravninski rešetkasti nosač s poznatom geometrijom, dimenzijama poprečnih presjeka i opterećenjem koncentriranim u čvorovima gornjeg pojasa. Priključak štapova ispune u pojaseve usvojen je kao potpuno upet. Dobiveni rezultati iz oba proračuna prikazani su dijagramima ekscentricitet/sila, a zbroj u postotcima predstavlja stupanj iskoristivosti.

### **Ključne riječi**

Rešetka, tlačni štap ispune, priključak, ekscentricitet, proračun nosivosti.

---

<sup>1</sup> Doc.dr.sc. dipl.ing.građ., docent, Građevinski fakultet u Osijeku, Drinska 16a, 31000 Osijek, [ajuric@gfos.hr](mailto:ajuric@gfos.hr)

<sup>2</sup> Mag.ing.aedif., Sjenjak 10, 31000 Osijek, [anic.nikola4@gmail.com](mailto:anic.nikola4@gmail.com)

<sup>3</sup> Dipl.ing.građ., asistent, Građevinski fakultet u Osijeku, Drinska 16a, 31000 Osijek, [tstefic@gfos.hr](mailto:tstefic@gfos.hr)

<sup>4</sup> Prof.dr.sc. dipl.ing.građ., izvanredna profesorica, Građevinski fakultet u Osijeku, Drinska 16a, 31000 Osijek, [mbosnjak@gfos.hr](mailto:mbosnjak@gfos.hr)

## **STATICAL ANALISYS OF ELEMENTS UNDER COMPRESSION IN TRUSSES JOINTS**

### ***Summary***

This paper analyses, on a in plane steel truss, the variation of bearing and inner forces in compressive inner elements in relation to eccentricity, which comes from the assembly of the truss. Variation of inner forces is analysed by an linear numerical model, and the design procedure was conducted by using current procedures. A specific in plane truss with known geometry, cross sections and loads concentrated in nodes of the upper chord was chosen. The connection of the inner elements and the chord is assumed as rigid. The results of the analysis are shown by eccentricity/force diagrams, and the sum in percentages represents the utility.

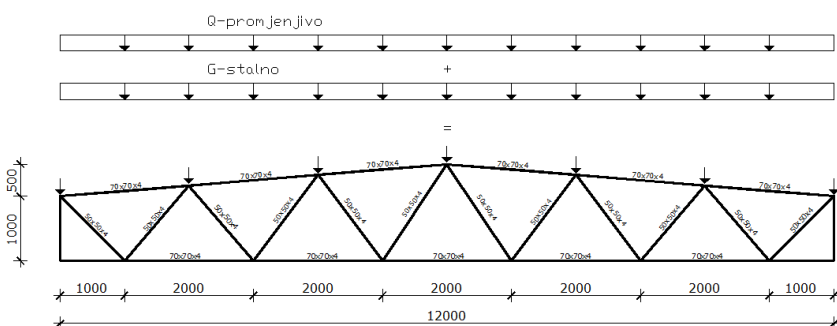
### ***Key words***

Truss, compressive inner element, joint, eccentricity, connection, design procedure.

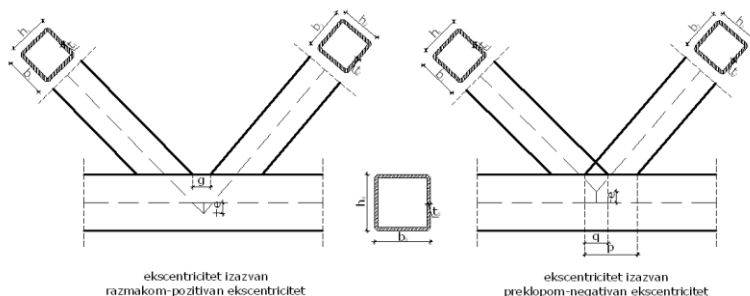
## uvod

Prilikom izrade rešetkastih nosača, odnosno izvođenjem priključaka štapovima ispune u pojaseve, bez obzira na statički sustav i vrstu materijala, često dolazi do odstupanja, što rezultira pojavom ekscentriciteta. Istovremeno dolazi do promjene unutrašnjih sila u štapovima rešetke te do pojave dodatnih, sekundarnih naprezanja. Prema postojećim propisima, nalazi li se ekscentricitet unutar propisanih granica od  $-0,55h_0$  do  $0,25h_0$ , pri čemu je  $h_0$  visina čeličnog profila štapa pojasa, naprezanja nastala kao posljedica toga, možemo u proračunu zanemariti.

Promjena nosivosti priključaka čeličnih rešetki zavisno od ekscentriciteta definirana je euronormama [1] i literaturom [2] i [3], a analizirana u radovima nekih autora [4], [5] i [6]. U ovom radu analizirana je pomoću pripadnih izraza iz euronormi te pomoću jednog od u inženjerskoj praksi uobičajenog programskog paketa [7]. Analizirana rešetka prikazana na slici 1, djelomično je preuzeta iz [4] i izvedena iz šupljih kvadratnih profila kvalitete čelika S235. Ekscentriciteti su zadavani kao postotak visine pojasnog štapa, u vrijednostima od 5% do 30%, slika 2. Pretpostavlja se potpuna upetost štapova ispune u pojaseve, a opterećenje je kao zbroj stalnog i korisnog kontinuiranog opterećenja koncentrirano u čvorovima gornjeg pojasa.



Slika 1. Geometrija i opterećenje



Slika 2. Zadavanje ekscentriciteta

U prvom koraku analizirana je rešetka bez ekscentričnih priključaka, odnosno, s centrično spojenim štapovima, a nakon toga su redom varirani pozitivni i negativni ekscentriciteti u donjem, gornjem, te u oba pojasa. Rezultati su, radi lakše usporedbe, prikazani dijagramima  $e/N$  za tlačnu ispunu prvog polja, gdje je očekivano najveća sila. Na ordinati se nalaze vrijednosti uzdužne sile  $N(\text{kN})$ , a na apcisi ekscentricitet  $e(\%)$ . Ekscentriciteta uzet je kao postotak pozitivnog ili negativnog ekscentriciteta i visine presjeka pojasnog štapa.

## NOSIVOST TLAČNIH ŠTAPOVA PRIKLJUČKA PREMA EURONORMAMA

Mogući načini otkazivanja nosivosti, na temelju kojih je proveden proračun priključka su: plastifikacija lica pojasnog štapa, posmični probij stijenke pojasnog štapa tlačnim štapom, te otkazivanje štapa ispune zbog smanjenja efektivne širine pukotinom u zavaru ili štapu ispune. Potrebni izrazi za proračun nosivosti prema [1] su:

- 1) plastifikacija lica pojasnog štapa:

$$N_{i,Rd} = \frac{8,9 \cdot k_n \cdot f_{y0} \cdot t_0^2 \cdot \sqrt{\gamma} \cdot \beta}{\sin \theta_i \cdot \gamma_{M5}} \quad (2)$$

- 2) posmični probij stijenke pojasnog štapa kao pojava pukotine ili odvajanje štapa ispune od pojasa:

$$N_{i,Rd} = \frac{f_{yi} \cdot t_i \cdot (2 \cdot h_i - 4 \cdot t_i + b_i + b_{eff})}{\gamma_{M5}} \quad (3)$$

- 3) otkazivanje štapa ispune zbog smanjenja efektivne širine:

$$N_{i,Rd} = \frac{f_{y0} \cdot t_0}{\sqrt{3} \cdot \sin \theta_i} \cdot \left( \frac{2 \cdot h_i}{\sin \theta_i} + b_i + b_{e,p} \right) \cdot \gamma_{M5} \quad (4)$$

$$N_{i,Rd} = \frac{f_{yi} \cdot t_i \cdot \left( b_{eff} + b_{e,ov} + \frac{\lambda_{ov}}{50} \cdot (2 \cdot h_i - 4 \cdot t_i) \right)}{\gamma_{M5}} \quad (5)$$

U izrazima 2, 3, 4 i 5 su:

$\theta$  – kut između štapova ispune,

$f_{yi}$  – granica popuštanja za štap,

$b_i$  – ukupna širina šupljeg kutijastog profila,

$b_{eff}$  – efektivna širina spoja između štapa ispune i pojasnog štapa,

$b_{e,ov}$  – efektivna širina spoja između dva štapa kod preklopa,

$b_{e,p}$  – djelotvorna širina spoja pri posmičnom probodu stijenke profila,

$t_i$  – debljina stijenke šupljeg kutijastog profila,

$\lambda_{ov}$  – omjer preklopa u postotcima,

$\beta$  – omjer širine štapa ispune i širine pojasnog štapa i

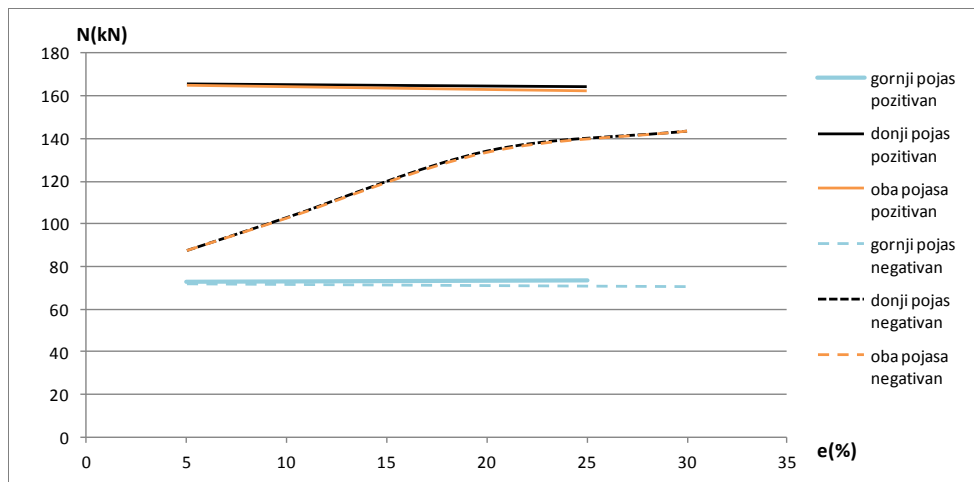
$\gamma$  – omjer širine pojasnog štapa i dvostruke debljine stijenke.

U tablici 1 prikazani su rezultati dobiveni proračunom nosivosti prema [1], za centrično spojeni priključak te za sve tipove ekscentrično spojenog priključka. Rezultati su dani za najmanji postotak ekscentriciteta od 5% visine pojasnog presjeka.

Tablica 1. Nosivost tlačnog štapa za centrični spoj te ekscentrični s 5% ekscentriciteta

| VRIJEDNOSTI SILA IZAČUNATIH PO EURONORMAMA |                                                  |                       |
|--------------------------------------------|--------------------------------------------------|-----------------------|
| Izraz                                      | Tipovi ekscentriciteta                           | Sila u tlačnoj ispuni |
| (5)                                        | Centrični priključak                             | 72,32 kN              |
| (5)                                        | Pozitivan ekscentricitet na gornjem pojasu od 5% | 72,620 kN             |
| (2)                                        | Pozitivan ekscentricitet na donjem pojasu od 5%  | 92,975 kN             |
| (3)                                        |                                                  | 152,816 kN            |
| (4)                                        |                                                  | 165,307 kN            |
| (2)                                        | Pozitivan ekscentricitet na oba pojasa od 5%     | 99,836 kN             |
| (3)                                        |                                                  | 152,816 kN            |
| (4)                                        |                                                  | 164,922 kN            |
| (5)                                        | Negativan ekscentricitet na gornjem pojasu od 5% | 72,047 kN             |
| (5)                                        | Negativan ekscentricitet na donjem pojasu od 5%  | 87,662 kN             |
| (5)                                        | Negativan ekscentricitet na oba pojasa od 5%     | 87,416 kN             |

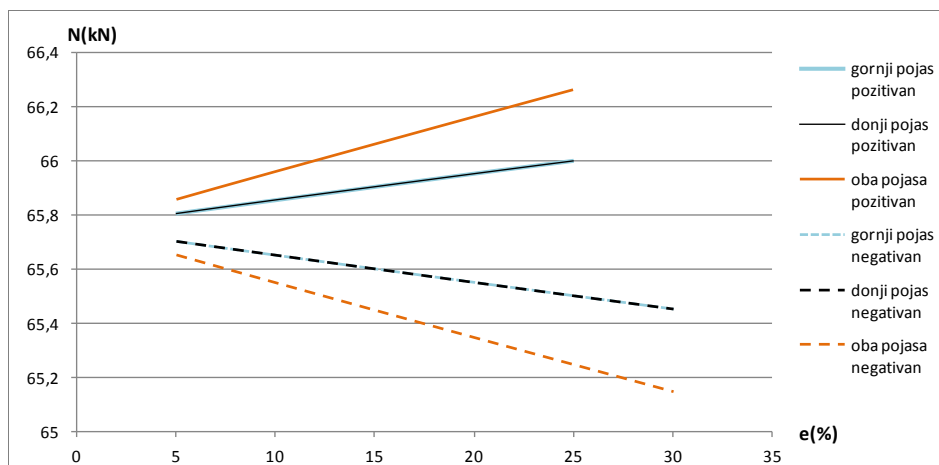
Iz izračunatih nosivosti s minimalnim ekscentricitetom prema euronormama, vidi se da je najmanja vrijednost sile u štapovima ispune upravo zbog otkazivanja štapa ispune, te su stoga za preostale vrijednosti ekscentriciteta računane pripadne sile pomoću izraza 4 i 5. Rezultati su prikazani na slici 3.



Slika 3. Nosivost tlačne ispune dobivene prema euronormama

## NUMERIČKI PRORAČUN SILA U TLAČNOM ŠTAPU PRIKLJUČKA

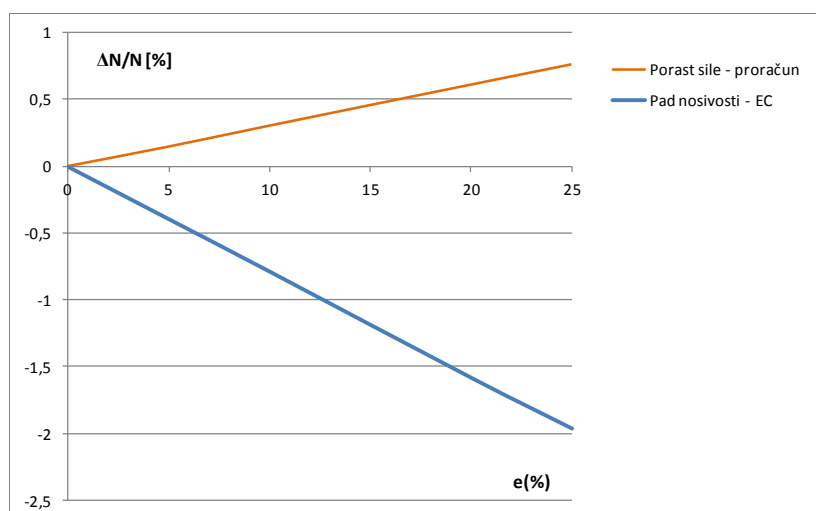
Za zadano opterećenje i varijaciju ekscentriciteta dobivene su sile u tlačnim štapovima ispune linearnim modelom, pomoću programskog paketa [7]. Za očekivano najveću silu u tlačnom štapu ispune prvog polja, rezultati su prikazani na slici 4.



Slika 4. Vrijednosti sile u tlačnoj ispuni dobivene numerički

## USPOREDBA ZA POZITIVNE EKSCENTRICITETE U OBA POJASA

Radi lakše usporedbe analize nosivosti prema euronormama i numerički dobivenih sila, zavisno o varijaciji ekscentriciteta, prikazani su zbirni rezultati za pozitivni ekscentricitet u oba pojasa u postocima. Ovaj slučaj izabran je zato što se s porastom ekscentriciteta stvara najveća razlika između pada nosivosti i porasta stvarne sile. Na apscisi se nalazi ekscentricitet u postocima, a na ordinati pad nosivosti, odnosno, porast sile u štapu. Kao što se vidi na slici 5, npr. za ekscentricitet od 25 % pad nosivosti tlačnog štapa iznosi oko 1,9 %, dok je porast stvarne sile u istom štapu oko 0,7%. Zbrojem ovih dviju vrijednosti dobije se porast iskoristivosti od oko 2,6 %.



Slika 5. Usporedba rezultata za ekscentricitete u oba pojasa

## ZAKLJUČAK

Nakon provedene analize nosivosti priključka izrazima iz euronormi, može se zaključiti da povećanjem ekscentriciteta izazvanog razmakom između štapova, odnosno, pozitivnog ekscentriciteta, nosivost tlačnog štapa lagano opada. Ista pojava vidi se porastom negativnog ekscentriciteta, odnosno, ekscentriciteta nastalog preklapanjem štapova ispune u gornjem pojasu. Za slučaj porasta negativnog ekscentriciteta u donjem te u oba pojasa nosivost tlačnog štapa do vrijednosti ekscentriciteta od 30% raste. Statička analiza najvećih sila u štapovima ispune linearnim numeričkim modelom, pokazuje da povećanjem negativnih ekscentriciteta u sva tri slučaja, vrijednost uzdužne sile u tlačnoj ispuni opada. Povećanjem pozitivnih ekscentriciteta, odnosno, ekscentriciteta izazvanih preklapom štapova u sva tri slučaja, vrijednost uzdužne sile u tlačnoj ispuni raste.

Usporedni dijagrami pokazuju da je najveća razlika između pada nosivosti i porasta stvarne sile u slučaju pozitivnog ekscentriciteta u oba pojasa. Jednostavni zbroj postotaka od ovih dviju vrijednosti povećava iskoristivosti samog nosača!

Rezultati dobiveni u ovom radu mogu biti od velike koristi u inženjerskoj praksi, posebno prilikom izvedbe grednih rešetki bez obzira na materijal, dimenzije kao i oblik ispune. Istovremeno jasno upućuju na činjenicu koliko je važna precizna ugradnja štapova ispune pri izvedbi rešetke, posebno u slučajevima kada su ti štapovi u visokom stupnju iskorištenosti.

## LITERATURA

- [1] European Committee for Standardization (CEN) 2005: EN 1993-1-8, Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1-8: Design of Joints
- [2] Džeba, I.; Androić, B.; Dujmović, D.: Metalne konstrukcije 3, I.A.P., Zagreb
- [3] Markulak, D.: Proračun čeličnih konstrukcija prema EN 1993-1-1, Sveučilište J.J.Strossmayera u Osijeku, GF Osijek, 2008
- [4] Utjecaj ekscentriciteta na nosivost priključka čeličnih rešetki, e-GFOS (br 2), Građevinski fakultet Osijek, 2011.
- [5] Knežević, I.; Mikolin, M.; Markulak, D.: Proračun priključaka u rešetkastim čeličnim nosačima prema Eurokod normama, e –GFOS (br.1)
- [6] Radić, I.; Markulak, D.; Mikolin, M. 2010: Design and FEM Modelling of Steel Truss Girder Joints; Strojarstvo 52 (2) 125-135
- [7] Programski paket, 2009: CSI SAP2000 INTEGRATED SOFTWARE FOR STRUCTURAL ANALYSIS & DESIGN V14.

|                                                                              |
|------------------------------------------------------------------------------|
| <b>173 Dr Aleksandar Jurić - Građevinski fakultet u Osijeku</b>              |
| Koautori: Nikola Anić<br>Tihomir Štefić<br>Mirjana Bošnjak-Klečina           |
| <b>STATIČKA ANALIZA NOSIVOSTI TLAČNIH ŠTAPOVA PRIKLJUČKA ČELIČNE REŠETKE</b> |

U radu se analizira promjenjivost sila u tlačno opterećenim štapovima ispune u ovisnosti o ekscentricitetu dobivenom spajanjem štapova ispune u pojaseve, ravninskih čeličnih grednih rešetki. Na konkretnom ravninskom rešetkastom nosaču s unaprijed oda...>>>