

# Prijedlog postupka proračuna nosača opterećenih na savijanje

Julije Milevoj

## Ključne riječi

nosač,  
naprezanje,  
iskorištavanje nosača,  
spajanje dvaju nosača,  
postupak proračuna,  
povećanje nosivosti

## Key words

girder,  
stress,  
girder efficiency,  
connection of two girders,  
calculation procedure,  
increase in bearing  
capacity

## Mots clés

poutre,  
contrainte,  
efficacité des poutres,  
liaison de deux poutres,  
procédé de calcul,  
augmentation de  
capacité portante

## Ключевые слова

балка,  
напряжение,  
использованность балки,  
соединение двух балок,  
способ расчёта,  
увеличение несущей  
способности

## Schlüsselworte

Träger,  
Spannung,  
Auswertung des Trägers,  
Verbund zweier Träger,  
Berechnungsverfahren,  
Festigkeitssteigerung

J. Milevoj

Prethodno priopćenje

## Prijedlog postupaka proračuna nosača opterećenih na savijanje

Opisuje se postupak proračuna nosača opterećenog na savijanje koji omogućava poboljšanje njegova iskorištavanja. Predlaže se spajanje dvaju prethodno deformiranih nosača tako da je ukupna visina jednaka zbroju visina obaju nosača. Provedeni su proračuni stanja naprezanja takvog nosača. Rezultati se uspoređuju s rezultatima proračuna nosača iste visine klasičnim postupkom. Analizom rezultata pokazuje se da je za nosač pravokutnog presjeka povećanje nosivosti do 50%.

J. Milevoj

Preliminary note

## Recommended procedures for the analysis of girders submitted to bending stress

A procedure for the analysis of girders submitted to bending stress, resulting in higher efficiency of girders, is described. The procedure of connecting two previously deformed girders in such a way that the total height is equal to the sum of heights of both girders is recommended. The state of stress of one such girder is analyzed. Results are compared with those obtained by analyzing girders of equal height according to a traditional procedure. The analysis of results shows that an increase in bearing capacity of girders of rectangular section may be up to 50 percent.

J. Milevoj

Note préliminaire

## Procédures recommandées pour l'analyse des poutres soumises aux contraintes en flexion

La procédure pour l'analyse des poutres soumises aux contraintes en flexion, résultant en une efficacité plus grande des poutres, est décrite. La procédure de liaison des deux poutres préalablement déformées, et cela de telle manière que la hauteur totale soit égale à la somme des hauteurs des deux poutres, est recommandée. La contrainte d'une telle poutre est analysée. Les résultats sont comparés avec ceux obtenus en analysant les poutres de même hauteur selon une procédure traditionnelle. L'analyse des résultats montre que l'augmentation de la capacité portante des poutres de section rectangulaire peut être même de l'ordre de 50 pour cent.

Ю. Милевой

Предварительное сообщение

## Предложение способа расчёта балок нагружённых на изгиб

В работе описывается один способ расчёта балки, нагруженной на изгиб, обеспечивающего её лучшее использование. Предлагается соединение двух предварительно деформированных балок таким образом, чтобы общая высота была равна сумме высот обеих балок. Проведены расчёты состояния напряжения такой балки. Результаты сравниваются с результатами расчёта балки той же самой высоты классическим способом. Анализ результатов показывает, что для балки прямоугольного сечения увеличение несущей способности составляет до 50%.

J. Milevoj

Vorherige Mitteilung

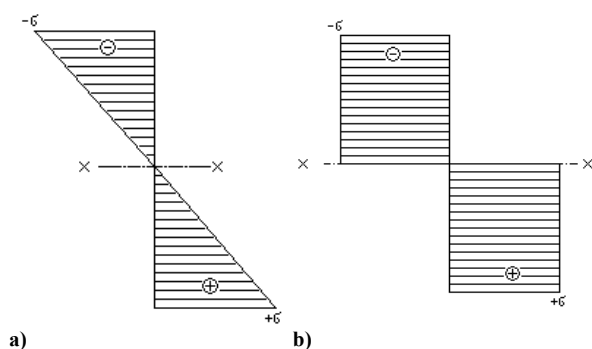
## Vorschlag eines Berechnungsverfahrens für biegebeanspruchte Träger

Beschrieben ist ein Berechnungsverfahren für biegebeanspruchte Träger das die Besserung ihrer Auswertung ermöglicht. Vorgeschlagen ist die Verbindung zweier vorher deformierter Träger, so dass die gesamte Höhe der Summe der Höhen beider Träger gleich ist. Man berechnete die Spannungszustände eines solchen Trägers. Die Ergebnisse vergleicht man mit den Berechnungsergebnissen eines gleich hohen Trägers nach klassischem Verfahren. Die Analyse der Ergebnisse zeigt dass die Steigerung der Festigkeit für Träger mit rechteckigem Querschnitt bis 50 % beträgt.

Autor: **Julije Milevoj**, dipl. ing. stroj., Drvinje 36, Zagreb

## 1 Uvod

Promatrajući dijagram naprezanja u poprečnom presjeku nosača koji je opterećen na savijanje prema slici 1.a, može se uočiti da je naprezanje veće što je neka točka nosača udaljenija od neutralne osi nosača, prema tome, najudaljenija točka ima najveće naprezanje, a točke na neutralnoj osi nisu napregnute na savijanje. Znači da materijal nosača nije jednoliko napregnut, a time niti dovoljno iskorišten. Razmišlja se kako to ostvariti, tj. kako postići naprezanje kao što je prikazano na slici 1.b.



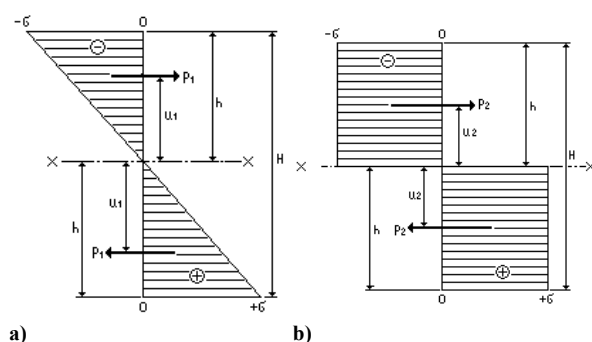
Slika 1. Dijagrami naprezanja grede

## 2 Iskorištenje nosača prema slikama 1. i 2.

Da bismo dokazali koliki je odnos iskorištenja istog nosača napregnutog prema slici 1.a u odnosu prema slici 1.b za oba se slučaja izračunava koliki moment može djelovati na nosač pri istom naprezanju.

Izračunavanje se izvodi prema slikama 2.a. i 2.b., u kojima su naznačene resultantne sile naprezanja i njihove udaljenosti od osi x-x.

Radi jednostavnijeg proračuna koristit ćemo se nosačem pravokutnog presjeka dimenzija  $B \times H$ .



Slika 2. Dijagrami naprezanja s označenim silama i geometrijskim veličinama

Unutrašnji moment jednak je vanjskom momentu, tj. moment sila naprezanja jednak je vanjskom (aktivnom) momentu savijanja.

Na temelju oznaka na slici 2.a dobivamo

$$M' = 2 \cdot B \cdot (H/2) \cdot (\sigma/2) \cdot H/3 = B \cdot H^2 \cdot \sigma/6 \quad (1)$$

Ako u relaciju (1) uvrstimo  $B \cdot H^2/6 = W_x$  dobit ćemo poznatu relaciju:  $M = W_x \cdot \sigma$

Na temelju oznaka na slici 2.b dobivamo

$$M'' = 2 \cdot B \cdot (H/2) \cdot \sigma \cdot H/4 = B \cdot H^2 \cdot \sigma/4 \quad (2)$$

Odnos momenata je  $M''/M' = 1,5$

Vidimo da je za slučaj grede pravokutnog presjeka  $M'' > M'$ , odnosno  $M'' = 1,5 M'$ , što znači da ovakav nosač ima 50% veću nosivost pri savijanju, nego prema klasičnom proračunu istog nosača. Kod drugih oblika presjeka taj je odnos drugačiji i redovito je veći od 1; za I-profile je otprilike 1,21, za pravokutne cijevi oko 1,25, a za nosače sastavljene od T-profila prema DIN 1024 taj je odnos od 1,18 do 1,19.

Dio  $B \cdot H^2/4$  iz (2) jest umnožak površina presjeka polaznih nosača i udaljenosti njihovih težišta od osi x-x, što je statički moment tih dviju površina na os x-x.

Dimenzija tog izraza je  $\text{cm}^3$ , isto kao i momenta otpora  $W$ .

Znači da je dovoljno izračunati moment otpora sastavljenog nosača i statičke momente površina polaznih nosača s obzirom na zajedničku os x-x i staviti u odnos te dvije vrijednosti. Taj nam odnos pokazuje koliki je odnos nosivosti na savijanje tih dviju slučajeva.

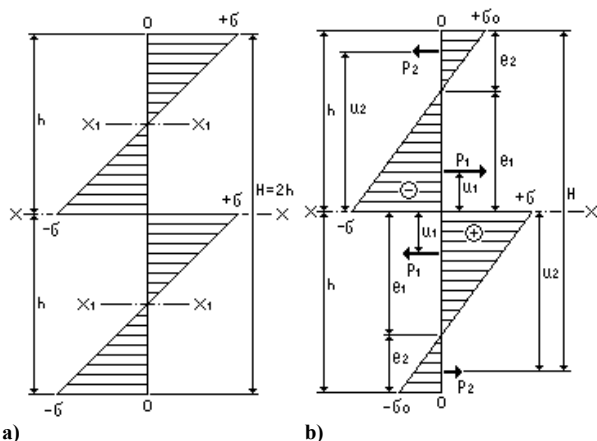
## 3 Tehnologija ostvarenja stanja prema dijagramu na slici 1.b. odnosno 2.b

Dijagram prema slici 1.b odnosno 2.b nije moguće postići na jednodjelnom nosaču, već se to ostvaruje iz dvodjelnog nosača koji je potrebno prije spajanja prednapeti (pedsavinuti) te u takvu stanju spojiti.

Da bismo u konačnom stanju postigli određeno naprezanje po cijelom poprečnom presjeku nosača, potrebno je pedsavinuti dva nosača istog presjeka do iste vrijednosti  $\sigma$  i u tom stanju spojiti ih na dodirnoj površini, te nakon spajanja osloboditi od vanjskih opterećenja. Pedsavijanje komponenata obavlja se u suprotnom smjeru od smjera aktivnog opterećenja koje će biti u uporabnom stanju.

Stanje pedsavinutih i spojenih nosača, a prije otklanjanja vanjskog opterećenja, prikazano je na slici 3.a. Osi  $x_1-x_1$  su osi polaznih nosača, a os x-x je os novonastalog (sastavljenog) nosača. Prije otklanjanja vanjskih opterećenja, naprezanja u polaznim nosačima su simetrična. Nakon prestanka djelovanja vanjskih opterećenja pedsavinuti nosači imaju tendenciju vraćanja u prvobitno stanje, što nije moguće, već će se ostvariti samo djelomično vraćanje. Dijagram unutarnjih naprezanja no-

vonastalog nosača u neopterećenom stanju prikazan je na slici 3.b i taj dijagram pokazuje ravnotežno stanje. Iz slike se vidi da na neutralnoj osi novog nosača naprezanje ostaje trajno, i to s jedne strane  $+\sigma$ , a s druge  $-\sigma$ . Na najudaljenijim točkama od neutralne osi naprezanja su se smanjila na vrijednost  $\pm\sigma_0$  koju trebamo izračunati.



Slika 3. Naprezanja predsavinutih i spregnutih nosača: a) u opterećenom stanju, b) u neopterećenom stanju

Izračunavanje  $\sigma_0$  izvodi se na osnovi ravnotežnog stanja prema slici 3.b, tj. iz sume spregova sila unutarnjih naprezanja, odnosno momenata sila naprezanja  $P_1$  i  $P_2$  s obzirom na os x-x.

$$\sum M_{x-x} = 0$$

$$2 \cdot P_1 \cdot u_1 - 2 \cdot P_2 \cdot u_2 = 0 \quad (3)$$

$$P_1 = \sigma \cdot B \cdot e_1 / 2$$

$$P_2 = \sigma_0 \cdot B \cdot e_2 / 2$$

$$u_1 = e_1 / 3$$

$$u_2 = h - e_2 / 3 = h - (h - e_1) / 3 = (2 \cdot h + e_1) / 3$$

Uvrštavanjem  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $u_1$  te  $u_2$  u (3) dobit ćemo:

$$2 \cdot \sigma \cdot b \cdot e_1 \cdot e_1 / 3 / 2 - 2 \cdot \sigma_0 \cdot b \cdot e_2 \cdot (2 \cdot h + e_1) / 3 / 2 = 0$$

$$\sigma \cdot e_1^2 - \sigma_0 \cdot e_2 \cdot (2 \cdot h + e_1) = 0$$

Uvrstimo za  $e_2 = h - e_1$ , te sredimo izraz, dobit ćemo:

$$\sigma \cdot e_1^2 - \sigma_0 \cdot (2 \cdot h^2 - h \cdot e_1 - e_1^2) = 0 \quad (4)$$

Iz slike 3.b dobivamo odnos između  $\sigma_0$  i  $\sigma$ :

$$\sigma_0 / \sigma = e_2 / e_1$$

$$\sigma_0 = \sigma \cdot e_2 / e_1 = \sigma \cdot (h - e_1) / e_1$$

Uvrštavanjem u (4) imamo:

$$\sigma \cdot e_1^2 - \sigma \cdot (h - e_1) \cdot (2 \cdot h^2 - h \cdot e_1 - e_1^2) / e_1 = 0$$

Sređivanjem dobijemo:

$$e_1 = 2 \cdot h / 3, \text{ odnosno } e_2 = h / 3: \quad (5)$$

$$\sigma_0 = \sigma \cdot (h - 2 \cdot h / 3) / 2 \cdot h / 3$$

$$\sigma_0 = \sigma / 2 \quad (6)$$

Sljedeće što nas zanima jest progib  $f_0$  koji će imati sastavljen nosač u ravnotežnom stanju, tj. nakon spajanja dvaju predsavinutih nosača i uklanjanje vanjskih sila. Iz razlike u naprezanjima (slike 3.a i 3.b) izračunava se ostali progib. Progib u fazi predsavijanja, odnosno u sastavljenom stanju prije otpuštanja vanjskog opterećenja jest  $f_1$  i određen je relacijom:

$$f_1 = v \cdot M_1 \cdot L^2 / 48 EI_{x1} \quad (7)$$

gdje je:

$I_{x1}$  - moment tromosti polaznog nosača

$v$  - faktor vrste savijanja i on ima vrijednosti: 4 za savijanje nastalo koncentriranom silom na sredini grede, 5 za savijanje nastalo kontinuiranim opterećenjem, 6 za čisto savijanje.

Uzmemo li da je pri određenom naprezanju moment savijanja  $M_1 = \sigma \cdot W_{x1} = \sigma \cdot 2 \cdot I_{x1} / h$  te uvrstimo u relaciju (7) dobit ćemo:

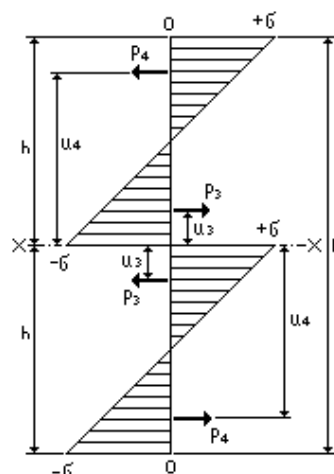
$$f_1 = v \cdot \sigma \cdot L^2 / 24 \cdot E / h \quad (8)$$

Progib novonastalog nosača u ravnotežnom stanju bit će:

$$f_0 = f_1 - \Delta f$$

gdje je  $\Delta f$  razlika progiba između predsavinutog stanja polaznih nosača i ravnotežnog stanja nakon uklanjanja vanjskih opterećenja, tj. razlika između faze 1 i faze 2.

Da bismo izračunali  $\Delta f$  koristimo se dijagramom naprezanja na slici 4., koji je zapravo faza 1 ili početno stanje. Za izračunavanje progiba  $\Delta f$  svejedno je li je promjena iz faze 1 u fazu 2 ili obratno. Razlika između faze 2 i faze 1 izračunava se prema razlici naprezanja u dijagramima slike 3.b i slike 4.



Slika 4. Stanje naprezanja faze 1

Spreg sila naprezanja u odnosu na os X-X prema slici 6 jednak je nuli, a spreg prema slici 4. ima određenu vrijednost, i to upravo onu vrijednost koja uzrokuje progib  $\Delta f$ .

Iz sume momenata na os X-X dobivamo:

$$M' = 2 \cdot P_3 \cdot u_3 - 2 \cdot P_4 \cdot u_4 = 2 \cdot P_3 (u_3 - u_4) \quad |P_3| = |P_4|$$

$$|P_3| = |P_4| = |\sigma| \cdot B \cdot h / 4$$

Uz uvrštenje

$$u_3 = h/2/3 = h/6$$

$$u_4 = h-h/6 = 5 \cdot h/6$$

$$u_3 - u_4 = h/6 - 5 \cdot h/6 = -2 \cdot h/3$$

dobivamo

$$M' = -\sigma \cdot B \cdot h^2 / 3$$

Razlika progiba je

$$\Delta f = v \cdot M' \cdot L^2 / 48 / E / I_x \quad (9)$$

Moment inercije je

$$I_x = B \cdot H^3 / 12 = B \cdot (2 \cdot h)^3 / 12 = 2 \cdot B \cdot h^3 / 3. \quad (10)$$

Ako u relaciju (7) uvrstimo vrijednosti za  $M'$  i  $I_x$  dobit ćemo:

$$\Delta f = -v \cdot \sigma \cdot B \cdot h^2 \cdot L^2 \cdot 3 / 48 / E / 2 / B / h^3 / 3$$

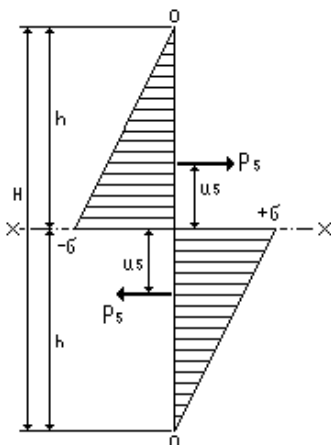
$$\Delta f = -v \cdot \sigma \cdot L^2 / 96 / E / h \quad (11)$$

Usporedbom relacije (8) i (11) vidi se da  $\Delta f$  ima  $1/4$  vrijednosti  $f_1$  pa zaostali progib  $f_0$  ima vrijednost  $3/4 f_1$  na temelju čega slijedi:

$$f_0 = f_1 - \Delta f = 3 \cdot v \cdot \sigma \cdot L^2 / 96 / E / h. \quad (12)$$

### Stanje prema slici 5.

To je stanje karakteristično po tome što naprezanje na najudaljenijim mjestima od osi X-X ima nultu vrijednost. U ovome nas slučaju interesira samo iznos progiba u odnosu prema ravnotežnom stanju.



Slika 5. Stanje naprezanja s nultom vrijednosti na krajevima

Prema slici 5. spreg sila unutarnjih naprezanja daje moment savijanja prema kojem računamo progib

$$f_2: f_2 = v \cdot M'' \cdot L^2 / 48 / E / I_x$$

Uz

$$P_5 = \sigma \cdot b \cdot h / 2 \quad u_5 = h/3$$

i

$$M'' = 2 \cdot P_5 \cdot u_5 = 2 \cdot \sigma \cdot B \cdot h \cdot h / 2 / 3 = B \cdot h^2 \cdot \sigma / 3.$$

Uvrstimo  $I_x$  prema (8) u izraz za  $f_2$  dobivamo

$$f_2 = 3 \cdot v \cdot B \cdot h^2 \cdot \sigma \cdot L^2 / 3 / 48 / E / 2 / B / h^3 = v \cdot \sigma \cdot L^2 / 96 / E / h \quad (13)$$

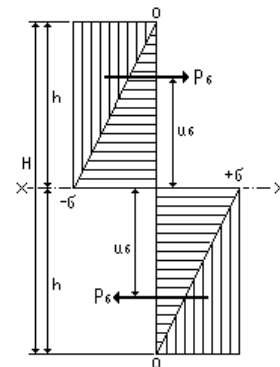
Iz relacije (13) vidi se da je progib nosača u ovom stanju smanjen na polovicu prvobitnog progiba  $f_1$ , a za  $1/3$  ravnotežnog progiba  $f_0$ .

### Stanje prema slici 6.

Ovo je konačna faza, što se vidi iz dijagrama naprezanja prema slici 6. u kojoj je naprezanje jednako po cijelom presjeku nosača, s tom napomenom da s jedne strane osi X-X naprezanje ima pozitivan predznak, a s druge strane osi X-X ima negativan predznak. Jedina nepoznanica koja je ostala je konačni progib nosača. Njega ćemo izračunati prema izrazu:

$$f_3 = v \cdot M''' \cdot L^2 / 48 / E / I_x$$

Vertikalno šrafirana površina na slici 6. pokazuje razliku između stanja prema slikama 6. i 5. pa se samo ta površina unutarnjeg naprezanja koristi za izračunavanje momenta sprega sila.



Slika 6. Stanje naprezanja konačne faze

Moment sprega sila naprezanja jest:

$$M''' = 2 \cdot P_6 \cdot u_6$$

uz

$$P_6 = B \cdot h \cdot \sigma / 2 \quad u_6 = 2 \cdot h/3$$

dobivamo

$$M''' = 2 \cdot B \cdot h \cdot \sigma \cdot 2 \cdot h / 2 / 3 = 2 \cdot B \cdot h^2 \cdot \sigma / 3$$

Uvrstimo li relacije (10)  $I_x$  u izraz za progib dobijemo:

$$f_3 = v \cdot (2 \cdot B \cdot h^2 \cdot \sigma / 3) \cdot L^2 / 48 / E / (2 \cdot B \cdot h^3 / 3)$$

odnosno

$$f_3 = 2 \cdot v \cdot \sigma \cdot L^2 / 96 / E / h \quad (14)$$

Zapravo interesantan je zbroj  $f_2 + f_3$ , koji kazuje koliki će biti progib zbog djelovanja vanjskog opterećenja ako po cijelom presjeku nosača ostvarimo jednako naprezanje  $\sigma$ .

Ujedno vidimo da je  $f_0 = f_2 + f_3$ , tj. da je u tom stanju naprezanja nosača postignut nulti progib, što je vrlo zanimljivo.

Vertikalno šrafirana površina na slici 6. jest površina naprezanja koja odgovara površini naprezanja pri klasičnoj primjeni nosača istog presjeka prema slici 1.a, pa i progib  $f_3$  ima jednaku vrijednost kao pri klasičnoj upotrebi.

Ukupni progib pri ravnotežnom stanju jest:

$$f_2 + f_3 = v \cdot \sigma \cdot L^2 / 96 / E / h + 2 \cdot v \cdot \sigma \cdot L^2 / 96 / E / h = 3 \cdot v \cdot \sigma \cdot L^2 / 96 / E / h$$

Isto bismo dobili da smo se koristili cijelom površinom naprezanja prema slici 6., pri čemu je sila  $P = B \cdot h \cdot \sigma$ , a udaljenost sile od neutralne osi:  $u = h/2$ .

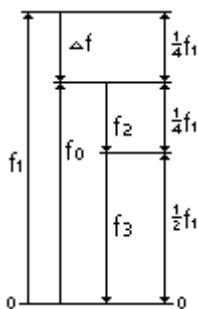
Uspoređujući relacije 7, 11, 13 i 14 za progibe uočavamo da svaki izraz ima dio koji je jednak, pa taj dio možemo uvjetno nazvati «konstanta» s oznakom K.

$$K = v \cdot \sigma \cdot L^2 / 96 / E / h$$

Kad to uvrstimo u relacije 7, 11, 13 i 14 imamo

$$f_1 = 4 \cdot K, \Delta f = K, f_2 = K, f_3 = 2 \cdot K$$

Slika 7. grafički ilustrira progibe i odnos između njih. Naročito je interesantno da nosač opterećen na savijanje prema slici 1.b. postiže nulti progib, tj. vraća se, što se tiče progiba, u nulto stanje.



Slika 7. Odnosi između progiba

Pri tome stanju nosač je opterećen 50% više nego što bi se mogao opteretiti nesastavljen i neprednapregnut nosač istih dimenzija. Znači da osim veće nosivosti dobivamo i drugu pogodnost, a to je nulti progib. To je naročito bitno kod greda s velikim rasponom i uz uvjet dopuštenog progiba pri čemu korist takve upotrebe prednapetih nosača može biti višestruko veća od 50%.

*Primjer:*

Aluminijska greda duljine 6 m i presjeka  $B \times H = 6 \times 12$  cm.

Opterećenje: kontinuirano

Naprezanje:  $\sigma_d = 86 \text{ N/mm}^2$

Dopušteni progib:  $f_d = L/300 = 600/300 = 2 \text{ cm}$

$E = 70000 \text{ N/mm}^2$

a) *Klasični proračun*

$$I_x = B \cdot H^3 / 12 = 864 \text{ cm}^4$$

$$W_x = 2 \cdot I_x / H = B \cdot H^2 / 6 = 144 \text{ cm}^3$$

$$M_a = \sigma_d \cdot W_x = 86 \cdot 144 = 12384 \text{ Nm}$$

$$\text{Progib } f_a = 5 \cdot M_a \cdot L^2 / 48 / E / I_x = 7,679 \text{ cm}$$

Vidimo da je progib grede kod granice dopuštenog naprezanja za 3,84 puta veći od dopuštenog, što znači da će pri dopuštenom progibu od 2 cm moment savijanja iznositi  $M_d = M_a / 3,84 = 12384 / 3,84 = 3225 \text{ Nm}$ , a naprezanje  $22,40 \text{ N/mm}^2$  što je za 3,84 puta manje od dopuštenog, drugim riječima vrlo slaba iskorištenost grede.

b) *Nov način proračuna*

Sastavljena greda od dva nosača presjeka  $B \times h = 6 \times 6$  cm

$$I_{x1} = B \cdot h^3 / 12 = 6 \cdot 6^3 / 12 = 6^4 / 12 = 108 \text{ cm}^4$$

$$W_{x1} = 2 \cdot I_{x1} / h = B \cdot h^2 / 6 = 6 \cdot 6^2 / 6 = 6^2 = 36 \text{ cm}^3$$

$$M_1 = \sigma_d \cdot W_{x1} = 86 \cdot 36 = 3096 \text{ Nm}$$

Prema (7) slijedi:

$$f_1 = 5 \cdot M_1 \cdot L^2 / 48 / E / I_{x1} = 15,357 \text{ cm}$$

Dalje prema slici 7.:

$$\Delta f = f_1 / 4 = 15,357 / 4 = 3,839 \text{ cm}$$

$$f_0 = f_1 - \Delta f = 15,357 - 3,839 = 11,518 \text{ cm}$$

$$f_2 = f_1 / 4 = 3,839 \text{ cm}$$

$$f_3 = f_1 / 2 = 7,679 \text{ cm}$$

Ukupni aktivni progib grede jest:  $f_u = f_2 + f_3 = 11,518 \text{ cm}$

Ukupni progib  $f_u$  nastat će djelovanjem vanjskog momenta savijanja  $M_u = M'' + M'''$

$$M_u = B \cdot h^2 \cdot \sigma_d / 3 + 2 \cdot B \cdot h^2 \cdot \sigma_d / 3 = B \cdot h^2 \cdot \sigma_d = 18576 \text{ Nm}$$

Ako usporedimo nov način upotrebe s klasičnim, tj. ako stavimo u odnos  $M_u / M_a = 5,76$  primjećujemo da je nosivost za ovaj konkretni slučaj 5,76 puta veća u novom načinu primjene nego u klasičnoj primjeni.

*Napomena 1.*

U slučajevima kada osim uvjeta dopuštenog naprezanja postoji i uvjet dopuštenog progiba, tada za svaki konkretni nosač postoji granična duljina ispod koje je utjecajno dozvoljeno dopušteno naprezanje, a iznad koje je utjecajan dopušteni progib. Na graničnoj duljini nosača oba faktora imaju jednak utjecaj. Što je odnos stvarne duljine nosača prema graničnoj veći, to je i odnos  $M_u / M_a$  veći.

*Napomena 2.*

U prethodnom primjeru nije uzeto u obzir tangencijalno naprezanje, pa ga je u svakom slučaju potrebno uključiti u proračun, što znači da će u neznatnoj mjeri smanjiti naprezanje nastalo savijanjem, a u toj mjeri i moment savijanja odnosno vanjsko opterećenje.

**4 Zaključak**

Iz prethodnog prikaza je vidljiv način primjene, izračunavanje svih relevantnih parametara te korisnost primjene. Znamo izračunati odnos nosivosti nosača novog načina primjene prema postojećem načinu, potom možemo kod nosača duljine veće od granične sa zahtjevom na dopušteni progib opteretiti do granice dopuštenog naprezanja, što je najveća korist. Daljnja, vrlo značajna pogodnost je da pri maksimalnom opterećenju nosača ostvarujemo njegov nulti progib, odnosno nosač se vraća u položaj koji je imao prije prednapinjanja. U ovom je članku obrađen nosač pravokutnog presjeka na koji se odnose proračuni. Za ostale oblike presjeka nosača vrijede sljedeća pravila:

- nosivost sastavljenog nosača izračunava se na isti način,
- progibi se izračunavaju na isti način,
- -ravnotežni progib  $f_0$  nije isti kao kod pravokutnog presjeka, već ima drugi odnos prema  $f_1$ , a ovisan je o odnosu momenta otpora presjeka sastavljenog nosača i statičkih momenata površina polaznih nosača.
- -ukupni progib opterećenog nosača pri postizanju pravokutnog dijagrama naprezanja analogan je kao i pri pravokutnom presjeku, tj, ima vrijednost  $-f_0$ , što znači da je postignut nulti progib.

Nov je način primjene zanimljiv s teorijskog gledišta, ali još više sa stajališta ekonomičnosti u primjeni. Prethodni primjer pokazuje koliko je slabo iskorištenje nosača u klasičnoj primjeni te višestruko veće iskorištenje prema predloženom rješenju. U praksi se pojavljuju slučajevi gdje je odnos novog prema postojećem još znatno povoljniji.

*Napomena Uredništva*

*Uredništvo se odlučilo za objavljivanje ovog rada unatoč činjenici što recenzenti nisu bili jednoglasni u tome da ga treba objaviti. U radu predloženi način proračuna ima ograničenu mogućnost primjene i nije do kraja dorečen. S obzirom na činjenicu da je ideja autora originalna, a obrađena je korektno, Uredništvo smatra da će čitateljima koji se bave proračunom konstrukcije članak biti zanimljiv.!*