

ДГКМ
ДРУШТВО НА
ГРАДЕЖНИТЕ
КОНСТРУКТОРИ НА
МАКЕДОНИЈА

Партизански одреди 24,
П.Фах 560, 1001 Скопје
Македонија

MASE
MACEDONIAN
ASSOCIATION OF
STRUCTURAL
ENGINEERS

Partizanski odredi 24,
P. Box 560, 1001 Skopje
Macedonia

ЧК-7

mase@gf.ukim.edu.mk
http://www.mase.org.mk

А. ФИЛИПОВСКИ¹, Ф. Плана², Р. Хадри³, Д. Поповски⁴, Ш. Зејнели⁵, М. Партиков⁶
**НУМЕРИЧКИ ПРИМЕР ЗА ПРОЕКТИРАЊЕ НА ЗАВАРЕНИ ГРЕДНИ НОСАЧИ
ИЗВЕДЕНИ ОД АЛУМИНИУМСКИ ЛИМОВИ СПОРЕД ЕВРОКОД 9**

РЕЗИМЕ

Во трудот е дадена пресметката на една греда изведена од алуминиумски плочи. Врската на појасите и вертикалното ребро на избраната греда се изведена како заварена со аголни завари. Гредата е со распон од 15,0m со рамномерен товар по целата должина. Разгледани се повеќе случаи: без вкртувања, со надолжни вкртувања, со напречни вкртувања над потпорите и со напречни вкртувања во средно поле на гредата. Во однос на поставувањето на вкртувањата разгледани се двата можни случаи на несиметрично и симетрично поставување на вкртувањата во однос на пресекот на гредата. За сите случаи извршена е пресметка на носивоста на гредата за свиткување вертикалното ребро на смолкнување. Сите контроли во пресметката се извршени според Еврокод 9.

Клучни зборови: алуминум, греда, плочи, вкртувања

A. Filipovski¹, F. Plana², R. Hadri³, D. Popovski⁴, Sh. Zejneli⁵, M. Partikov⁶

**NUMERICAL EXAMPLES FOR THE DESIGN OF WELDED GIRDERS DERIVED
FROM ALUMINIUM PLATES ACCORDING TO EUROCODE 9**

SUMMARY

The paper contains calculation of a beam derived from aluminium plates. Connection of vertical web of the beams is performed as welded with fillet welds. The analyzed beam has a span of 15,0m loaded with uniformly distributed load. There are more variants of the beam: without any stiffeners, with longitudinal stiffeners, with transverse stiffeners over the supports and with transverse stiffeners in middle panel of the beam. In terms of positioning of the sitting stiffeners, two possible cases of unsymmetrical and symmetrical settings are analyzed. In all cases the calculation is performed for bending resistance of the beam and the bearing capacity of shear fracture in vertical web. The calculations in this paper are according to Eurocode 9.

Keywords: aluminium, beam, plates, stiffeners

¹ Prof. PhD, Faculty of Civil Engineering, University "Ss. Cyril and Methodius", Skopje, Republic of Macedonia, filipovski@gf.ukim.edu.mk

² Assoc. Prof. PhD, Faculty of Civil Engineering and Architecture, University in Pristina, Pristina, Kosovo.

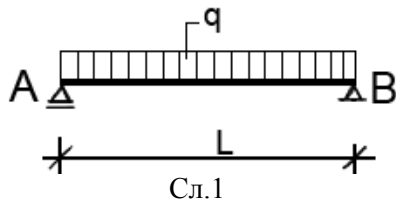
³ Assist. MSc, Faculty of Civil Engineering and Architecture, University in Pristina, Pristina, Kosovo.

⁴ Assist. MSc, Faculty of Civil Engineering, University "Ss. Cyril and Methodius", Skopje, Republic of Macedonia, popovski@gf.ukim.edu.mk

⁵ Assist. MSc, State University of Tetovo, Tetovo, Republic of Macedonia.

⁶ Assist. MSc, Faculty of Civil Engineering, University "Ss. Cyril and Methodius", Skopje, Republic of Macedonia, partikov@gf.ukim.edu.mk

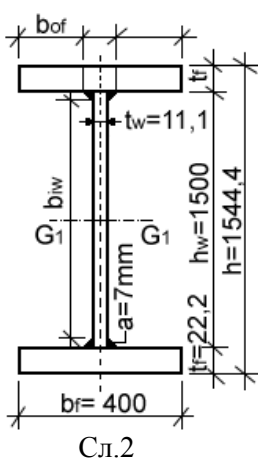
НУМЕРИЧКИ ПРИМЕР



Разгледуваме една проста греда (Сл.1) конструирана од алуминиумски (плочи) лимови со распон од 15,0 метри. Гредата е оптоварена со рамномерно оптоварување q , чија вредност ќе ја определиме од пресметаната вредност на носивоста на гредата.

1.ОТПОРНОСТ НА ГРЕДАТА НА СВИТКУВАЊЕ

1.1 Избор на напречен пресек на гредата и материјал



Вертикален лим (реброто) $h_w = \frac{1}{10}L = 1500\text{mm} \rightarrow t_w = 11,1\text{mm} < 0,1 \cdot h_w$

Појаси $b_f = \frac{1}{13,75} \cdot h_w = 400\text{mm} \rightarrow t_f = 22,2\text{mm} \left(\frac{b_f}{t_f} = 18\right)$ - (Сл.2)

Матријал за плочите, легура EN-AW 6061/651 со карактеристиките: $f_o = 240\text{ Мра}$; $f_u = 290\text{ Мра}$; $f_{o,haz} = 115\text{ Мра}$; $f_{u,haz} = 175\text{ Мра}$ и $\rho_{o,haz} = 0,48$ и $\rho_{u,haz} = 0,60$.

Метал за пополнување на варот (filer metal) легура 6061 со $f_w = 190\text{ Мра}$
 Конструираниот пресек е заварен по целата должина со аголни завари со дебелина $a=7\text{mm}$ со MIG постапка со внатрешно ладење до 60° така што протегањето на HAZ зоната ќе изнесува:

-за реброто $b_{w,haz} = 30\text{mm} \rightarrow 6 < t \leq 12\text{mm}$

-за појасите $b_{f,haz} = 35\text{mm} \rightarrow 12 < t \leq 25\text{mm}$

- **Определуваме геометриски карактеристики на пресекот**

-површина на напречен пресек $A_{el} = 150 \cdot 1,11 + 2 \cdot 40 \cdot 2,2 = 344,1\text{cm}^2$

-момент на инерција $I_{el} = \frac{1,11 \cdot 150^3}{12} + 177,6 \cdot \left(\frac{150+2,22}{2}\right)^2 = 1340976,7\text{cm}^4$

-отпорен момент $W_{el} = \frac{2 \cdot I_{el}}{154,44} = 17365,7\text{cm}^3$

- **Определуваме класа на пресекот**

Од Слика 2 се определуваат параметрите за определување на класата на пресекот.

-вертикално ребро $b_{iw} = h_w - 2 \cdot a' = 150 - 2 \cdot 1 = 148\text{cm} \rightarrow a' = a \cdot \sqrt{2} = 7 \cdot 1,41 \sim 10\text{mm}$

-појаси $b_{of} = 0,5 \cdot (b_f - t_w - 2 \cdot a') = 0,5 \cdot (40 - 1,11 - 2) = 18,445\text{cm}$

$$\beta_w = \eta \cdot \frac{b_{iw}}{t_w} = 0,4 \cdot \frac{148}{1,11} = 53,33 \rightarrow \beta_f = \eta \cdot \frac{b_{of}}{t_f} = 0,4 \cdot \frac{18,445}{2,22} = 3,32$$

За класа А (според материјалот) заварени елементи ги имаме следните коефициенти:

-вертикално ребро $\beta_{w,1,2,3}/\varepsilon \rightarrow (9; 13; 18) \rightarrow \varepsilon = \sqrt{\frac{250}{f_o}} = \sqrt{\frac{250}{240}} = 1,02$

$\beta_{w,1,2,3} \rightarrow (10,8; 13,26; 18,36) \rightarrow \beta_{w3} = 18,36 < \beta_w = 53,33 \rightarrow$ Класа 4 за реброто

-за појаси $\beta_{w,1,2,3}/\varepsilon \rightarrow (2,5; 4,0; 5) \rightarrow \varepsilon = 1,02$

$\beta_{f,1,2,3} \rightarrow (2,55; 4,08; 5,1) \rightarrow \beta_{f1} < \beta_f < \beta_{f2} (2,55 < 3,32 < 4,5) \rightarrow$ Класа 2 за појасите

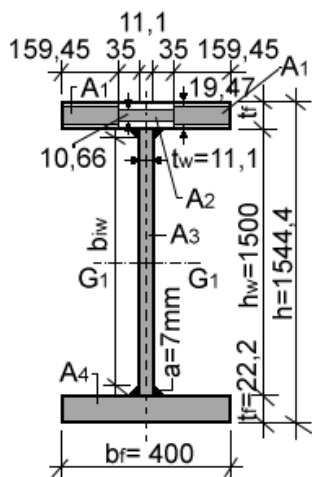
Усвоена класа за целиот пресек: Класа 4

Редукција на дебелините: $\rho_c = \frac{C_1}{\beta/\varepsilon} - \frac{C_2}{(\beta/\varepsilon)^2}$

-вертикално ребро коефициенти $C_1 = 29$; $C_2 = 198$

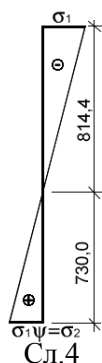
$$\rho_{cw} = \frac{29}{53,33/1,02} - \frac{198}{(53,33/1,02)^2} = 0,555 - 0,072 = 0,483$$

-притиснат појас коефициенти $C_1 = 9$; $C_2 = 20$



Сл.3

$$y_T = \frac{(2 \cdot 31,04 + 8,65) \cdot 153,33 + 166,5 \cdot 77,22 + 88,8 \cdot 1,11}{326} = \frac{10845,03 + 12857,13 + 97,68}{326} = 73,0 \text{ cm}$$



Сл.4

Напрегањата во крајните влакна за новото тежиште ќе зависат од

$$\text{растојанијата до тежиштето односно } \Psi = -\frac{\sigma_2}{\sigma_1} = -\frac{730}{814,4} = -0,896 > -1 \quad (\text{Сл.4})$$

$$\text{За } 1 \geq \Psi \geq -1 \rightarrow \eta = 0,70 + 0,3 \cdot \Psi = 0,70 - 0,3 \cdot 0,896 = 0,431$$

$$\beta_w = \eta \cdot \frac{b_{iw}}{t_w} = 0,431 \cdot \frac{148}{1,11} = 57,47 \rightarrow \beta_f = \eta \cdot \frac{b_{of}}{t_f} = 0,431 \cdot \frac{18,445}{2,22} = 3,58$$

Класа за вертикалното ребро $\beta_{w3} = 18,36 < \beta_w = 57,47$ одговара за Класа 4

Класа за појасите $\beta_{f1} < \beta_f < \beta_{f2} (2,55 < 3,58 < 4,08)$ одговара за Класа 2

Усвоено за целиот пресек Класа 4.

Вршме редуција на дебелините и влијанијата во HAZ зоната

-вертикално ребро коефициенти $C_1 = 29$; $C_2 = 198$

$$\rho_{cw} = \frac{29}{57,47/1,02} - \frac{198}{(57,47/1,02)^2} = 0,514 - 0,062 = 0,452; \quad t_{efw} = \rho_{cw} \cdot t_w = 0,452 \cdot 11,1 = 5,02 \text{ mm}$$

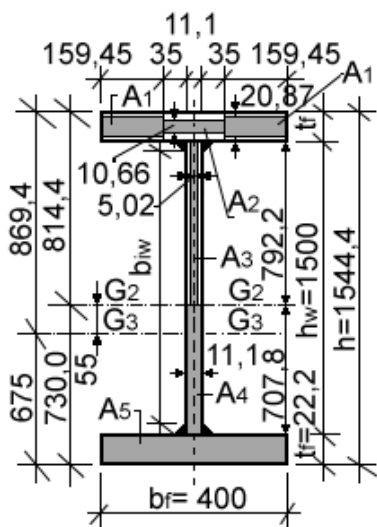
-притиснат појас коефициенти $C_1 = 9$; $C_2 = 20$

$$\rho_{cf} = \frac{9}{3,58/1,02} - \frac{20}{(3,58/1,02)^2} = 2,564 - 1,624 = 0,94; \quad t_{eff} = \rho_{cf} \cdot t_f = 0,94 \cdot 22,2 = 20,87 \text{ mm}$$

-во HAZ зоната имаме да е:

$$t_w \cdot \rho_{haz} = 11,1 \cdot 0,48 = 5,33 \text{ mm} > t_{efw} = 5,02 \text{ mm} \text{ (ова е меродавно) за реброто}$$

$$t_f \cdot \rho_{haz} = 22,2 \cdot 0,48 = 10,66 \text{ mm} \text{ за појасите}$$



Сл.5

Во вториот чорак вршме редуција на дебелините на појасите и вертикалното ребро и за тој пресек го определуваме неговото тежиште (Сл.5).

$$A_1 = 15,945 \cdot 2,087 = 33,28 \text{ cm}^2; \quad A_2 = 8,11 \cdot 1,066 = 8,65 \text{ cm}^2$$

$$A_3 = 0,502 \cdot 79,22 = 39,77 \text{ cm}^2; \quad A_4 = 1,11 \cdot 70,78 = 78,57 \text{ cm}^2$$

$$A_5 = 2,22 \cdot 40,0 = 88,8 \text{ cm}^2; \rightarrow A = 282,35 \text{ cm}^2$$

$$y_1 = y_2 = 153,33 \text{ cm}; \quad y_3 = 112,61 \text{ cm}; \quad y_4 = 37,61 \text{ cm};$$

$$y_5 = 1,11 \text{ cm};$$

$$y_T = \frac{(2 \cdot 33,28 + 8,65) \cdot 153,33 + 39,77 \cdot 112,61 + 78,57 \cdot 37,61 + 88,8 \cdot 1,11}{282,35} = \frac{19064,04}{282,35}$$

$$y_T = 67,5 \text{ cm} \text{ (G}_3\text{-G}_3\text{)}$$

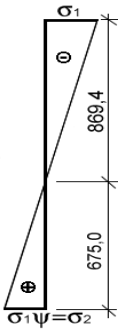
Определуваме нови параметри на пресекот според односот на напрегањата (Сл.6).

$$\Psi = -\frac{\sigma_2}{\sigma_1} = -\frac{675}{869,4} = -0,776 > -1; \text{ за } 1 \geq \Psi \geq -1$$

$$\eta = 0,70 + 0,3 \cdot \Psi = 0,70 - 0,3 \cdot 0,776 = 0,467$$

$$\beta_w = \eta \cdot \frac{b_{iw}}{t_w} = 0,467 \cdot \frac{148}{1,11} = 62,27 > \beta_{3w} = 18,36 \text{ -Класа 4}$$

$$\beta_f = \eta \cdot \frac{b_{of}}{t_f} = 0,467 \cdot \frac{18,445}{2,22} = 3,88; \beta_{f1} < \beta_f < \beta_{f2} \text{ Класа 2. Усвоено за целиот пресек Класа 4.}$$



Сл.6

Вршме редукција на дебелините и влијанијата во HAZ зоната

-вертикално ребро коефициенти $C_1 = 29$; $C_2 = 198$

$$\rho_{cw} = \frac{29}{62,27/1,02} - \frac{198}{(62,27/1,02)^2} = 0,475 - 0,053 = 0,422; t_{efw} = 0,422 \cdot 11,1 = 4,22mm$$

-притиснат појас коефициенти $C_1 = 9$; $C_2 = 20$

$$\rho_{cf} = \frac{9}{3,88/1,02} - \frac{20}{(3,88/1,02)^2} = 2,366 - 1,382 = 0,984; t_{eff} = 0,984 \cdot 22,2 = 21,84mm$$

-во HAZ зоната имаме да е:

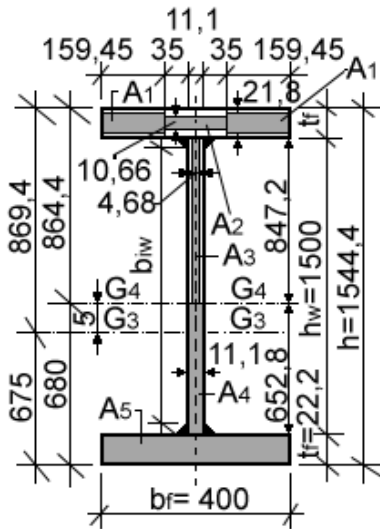
$$t_w \cdot \rho_{haz} = 11,1 \cdot 0,48 = 5,33mm > t_{efw} = 4,22mm \rightarrow \text{меродавно за реброто}$$

$$t_f \cdot \rho_{haz} = 22,2 \cdot 0,48 = 10,66mm \text{ за појасите}$$

Во третиот корак вршме редукција на дебелините на пресекот на појасите и

вертикалното ребро и за тој пресек определуваме ново тежиште и за него ги

определуваме геометриските карактеристики и носивоста (Сл.7).



Сл.7

-тежиште на пресекот

$$A_1 = 15,945 \cdot 2,18 = 34,75cm^2; A_2 = 8,11 \cdot 1,066 = 8,65cm^2$$

$$A_3 = 0,468 \cdot 84,72 = 39,65cm^2; A_4 = 1,11 \cdot 65,28 = 72,46cm^2$$

$$A_5 = 2,22 \cdot 40,0 = 88,8cm^2; \rightarrow A = 279,0cm^2$$

$$y_1 = y_2 = 153,33cm; y_3 = 109,86cm; y_4 = 34,86cm;$$

$$y_5 = 1,11cm;$$

$$y_T = \frac{(2 \cdot 34,75 + 8,65) \cdot 153,33 + 39,65 \cdot 109,86 + 72,46 \cdot 34,86 + 88,8 \cdot 1,11}{279} = \frac{18963,3}{279}$$

$$y_T = 68,0cm$$

-ефективен момент на инерција за тежишната оска G_4-G_4

$$I_{ef} = (2 \cdot 34,75 + 8,65) \cdot 85,33^2 + \frac{0,468 \cdot 84,72^3}{12} + 39,65 \cdot 41,86^2 +$$

$$+ \frac{1,11 \cdot 65,28^3}{12} + 72,46 \cdot 33,14^2 + 88,8 \cdot 66,89^2 = 1164846,34cm^4$$

-ефективни отпорни моменти во горниот и долниот појас

$$W_{ef,g} = \frac{I_{ef}}{86,44} = 13475,8cm^3; W_{ef,d} = \frac{I_{ef}}{68} = 17130,1cm^3$$

-ефективен пластичен отпорен момент

$$W_{plef} = 78,1 \cdot 85,33 + 39,65 \cdot 41,86 + 72,46 \cdot 33,14 + 88,8 \cdot 66,89$$

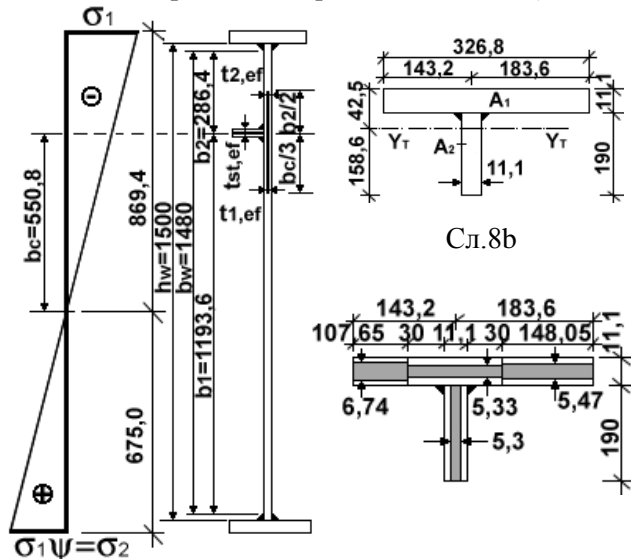
$$W_{plef} = 16665,1cm^3 \rightarrow \alpha = \frac{W_{plef}}{W_{el}} = \frac{16665,1}{17365,7} = 0,96$$

Проектната отпорност за моментот на свиткување и соодветното оптоварување ќе изнесува:

$$M_{Rd} = \frac{\alpha \cdot W_{el} \cdot f_o}{\gamma_{M1}} = \frac{0,96 \cdot 17365,7 \cdot 24}{1,1} = 363732kN \cdot cm = 3637,32kN \cdot m \rightarrow q = \frac{8 \cdot 3637,32}{15^2} = 129,3kN/m'$$

1.2 Отпорност на гредниот носач со лонгитудинални вкргувања на реброто

Поставуваме едно надолжно (лонгитудинално) вкргување (190x11,1) на едната страна на гредата поставено на третина од притиснатиот дел (Сл.8a).



Сл.8b

Ги определуваме геометриските карактеристики за вкргувањет заедно со делот од вертикалното ребро според Еврокод 9 (Сл.8b) со следните димензии:

$$b_2 = (869,4 - 10) \cdot \frac{1}{3} = 286,4mm$$

$$b_1 = b_w - b_2 = 1480 - 286,4 = 1193,6mm$$

$$b_2/2 = 286,4/2 = 143,2mm;$$

$$b_c/3 = 550,8/3 = 183,6mm$$

вкргувањето е заврено за вертикалниот лим со дебелина на аголните завари $a = 4mm$

материјал за пополнување како и за реброто.

$$A_1 = 32,68 \cdot 1,11 = 36,275cm^2$$

Сл.8а

Сл.8с

$$A_2 = 19 \cdot 1,11 = 21,09 \text{ cm}^2; A = 57,365 \text{ cm}^2$$

$$y_1 = 19,555 \text{ cm}; y_2 = 9,5 \text{ cm}$$

$$Y_T = \frac{36,275 \cdot 19,555 + 21,09 \cdot 9,5}{57,365} = 15,86 \text{ cm}$$

$$I_{st} = 36,275 \cdot 3,695^2 + \frac{1,11 \cdot 19^3}{12} + 21,09 \cdot 6,36^2 = 1982,8 \text{ cm}^4$$

Определуваме ефективна површина за пресекот според класата и HAZ зоната за сите елементи од пресекот (Сл. 8с)

-коэффициенти за редуција на дебелините (Класа4)

$$b_{2f} = 143,2 - 6 = 137,2 \rightarrow \beta_{2f} = 0,4 \cdot \frac{137,2}{11,1} = 12,36 > \beta_3 = 5,1$$

$$b_{cf} = 183,2 - 6 = 177,2 \rightarrow \beta_{2f} = 0,4 \cdot \frac{177,2}{11,1} = 15,96 > \beta_3 = 5,1$$

$$b_{st} = 190 - 6 = 184 \rightarrow \beta_{2f} = 0,4 \cdot \frac{184}{11,1} = 16,58 > \beta_3 = 5,1$$

$$\rho_{c,2} = \frac{9}{\frac{12,36}{1,02}} - \frac{20}{\left(\frac{12,36}{1,02}\right)^2} = 0,743 - 0,136 = 0,607; t_{2f} = 6,74 \text{ mm}$$

$$\rho_{c,1} = \frac{9}{\frac{15,96}{1,02}} - \frac{20}{\left(\frac{15,96}{1,02}\right)^2} = 0,575 - 0,082 = 0,493; t_{1f} = 5,47 \text{ mm}$$

$$\rho_{c,st} = \frac{9}{\frac{16,58}{1,02}} - \frac{20}{\left(\frac{16,58}{1,02}\right)^2} = 0,554 - 0,076 = 0,478; t_{st,eff} = 5,3 \text{ mm}$$

Во HAZ зоната имаме да е: $t_w = 0,48 \cdot 11,1 = 5,33 \text{ mm}; b_{haz} = 30 \text{ mm}$

Според Сл.8с ја определуваме ефективната површина.

$$A_{st,eff} = 0,674 \cdot 10,765 + 0,533 \cdot 7,11 + 0,547 \cdot 14,805 + 0,53 \cdot 19 = 29,22 \text{ cm}^2$$

Го определуваме релативниот параметар на витоста $\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{st,eff} \cdot f_o}{N_{cr}}} \rightarrow N_{cr} = 1,05 \cdot E \cdot \frac{\sqrt{I_{st} \cdot t_w^3 \cdot b_w}}{b_1 b_2}$

за $a > a_c$; a е растојание помеѓу трансверзалните вкргувања, во овој случај тие не постојат, што значи дека целиот панел на реброто е должината на гредата $a = L = 1500 \text{ cm}$.

$$a_c = 4,33 \cdot \sqrt[4]{\frac{I_{st} \cdot b_1^2 \cdot b_2^2}{t_w^3 \cdot b_w}} = 4,33 \cdot \sqrt[4]{\frac{1982,8 \cdot 119,36^2 \cdot 28,64^2}{1,11^3 \cdot 148}} = 447,88 < a = 1500$$

$$N_{cr} = 1,05 \cdot 7000 \cdot \frac{\sqrt{1982,8 \cdot 1,11^3 \cdot 148}}{119,36 \cdot 28,64} = 1362,1 \text{ kN} \text{ (контролата е како за притиснат столб)}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{29,22 \cdot 24}{1362,1}} = 0,72 \rightarrow \phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - \bar{\lambda}_o) + \bar{\lambda}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,2 \cdot (0,72 - 0,1) + 0,72^2]$$

$$\phi = 0,82 \rightarrow \chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,82 + \sqrt{0,82^2 - 0,72^2}} = 0,82$$

Проектната вредност на извиткување на притиснатиот елемент изнесува:

$$N_{b,Rd} = K \cdot \chi \cdot A_{st,eff} \cdot \frac{f_o}{\gamma_{M1}};$$

Каде што K е фактор што го вклучува влијанието од надолжните (лонгитудиналните) завари и се

определува со изразот: $K = 1 - \left(1 - \frac{A_1}{A}\right) \cdot 10^{-\bar{\lambda}} - \left(0,05 + 0,1 \cdot \frac{A_1}{A}\right) \cdot \bar{\lambda}^{-1,31(1-\bar{\lambda})}$

Каде што A е вкупната површина на пресекот, а A_{haz} површина во HAZ зоната.

$$A_1 = A - A_{haz} \cdot (1 - \rho_{haz}) \rightarrow A_{haz} = 2 \cdot 3,0 \cdot 0,533 + 3,0 \cdot 0,53 = 4,788 \text{ cm}^2$$

$$A_1 = 57,365 - 4,788 \cdot (1 - 0,48) = 54,88$$

$$K = 1 - \left(1 - \frac{54,88}{57,365}\right) \cdot 10^{-0,72} - \left(0,05 + 0,1 \cdot \frac{54,88}{57,365}\right) \cdot 0,72^{-1,31(1-0,72)} = 0,828$$

$$N_{b,Rd} = 0,828 \cdot 0,82 \cdot 29,22 \cdot \frac{24}{1,1} = 432,86 \text{ kN}$$

2. ОТОРНОСТ НА ГРЕДАТА НА СМОЛКНУВАЊЕ

2.1 Без вкргувања во средниот простор на гредата

Гредите кои го исполнуваат условот: $\frac{h_w}{t_w} > \frac{2,37}{\eta} \cdot \sqrt{\frac{E}{f_o}}$ мора да се контролираат за отпорност на извиткување од смолкнување.

$$\eta = 0,642 \rightarrow \frac{150}{1,11} = 135,14 > \frac{2,37}{0,642} \cdot \sqrt{\frac{7000}{24}} = 63,05$$

Проектната отпорност на гредата на смолкнување изнесува: $V_w = \rho_w \cdot h_w \cdot t_w \cdot \frac{f_o}{\gamma_{M1}\sqrt{3}}$

-определуваме параметар на витоста $\lambda_w = 0,35 \cdot \frac{b_w}{t_w} \cdot \sqrt{\frac{f_o}{E}} = 0,35 \cdot \frac{148}{1,11} \cdot \sqrt{\frac{24}{7000}} = 2,733 > 0,949$

За $0,949 \leq \lambda_w = 2,733 \rightarrow \eta = 0,4 + 0,2 \cdot \frac{f_{aw}}{f_{ow}} = 0,4 + 0,2 \cdot \frac{290}{240} = 0,642$; ($f_{aw}, f_{ow} = f_u, f_o$)

-коэффициентот на редуција изнесува $\rho_v = \frac{1,32}{1,66+\lambda_w} = \frac{1,32}{1,66+2,733} = 0,3$

Проектната отпорност на гредата на смолкнување ќе изнесува:

$$V_w = 0,3 \cdot 150 \cdot 1,11 \cdot \frac{24}{1,1\sqrt{3}} = 629,0kN, \text{ ако реброто ги прима тангенцијалните}$$

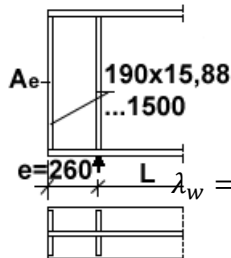
$$\text{напрегања за максималната трансверзална сила (реакциите) го определуваме}$$

$$\text{оптоварувањето: } q = \frac{2 \cdot 629}{15} = 83,9kN/m'$$

2.2 Вкрутување на крајот и над потпорите

Гредите кои го исполнуваат условот : $\frac{h_w}{t_w} > \frac{1,02}{\eta} \cdot \sqrt{\frac{k_\tau \cdot E}{f_o}}$ мора да се контролираат за отпорност на свиткување од смолкнување и мора да се постават трансверзални вкрутувања и над потпорите.

$a = L = 1500cm \rightarrow \frac{a}{b_w} = \frac{1500}{148} = 10,14 > 1$; коэффициентот на извиткување од смолкнување



за овој случај изнесува $k_\tau = 5,34 + 4 \cdot \left(\frac{b_w}{a}\right)^2 = 5,34 + 4 \cdot 0,099^2 = 5,35$

$$\eta = 0,642 \rightarrow \frac{150}{1,11} = 135,14 > \frac{1,02}{0,642} \cdot \sqrt{\frac{5,38 \cdot 7000}{24}} = 62,94$$

$$\lambda_w = \frac{0,81 \cdot b_w}{t_w \cdot \sqrt{k_\tau}} \cdot \sqrt{\frac{f_o}{E}} = \frac{0,81 \cdot 148}{1,11 \cdot \sqrt{5,35}} \cdot \sqrt{\frac{24}{7000}} = 2,734 > 0,949$$

$0,949 \leq \lambda_w = 2,733 \rightarrow \eta = 0,4 + 0,2 \cdot \frac{f_{aw}}{f_{ow}} = 0,4 + 0,2 \cdot \frac{290}{240} = 0,642$;

коэффициентот на редуција изнесува $\rho_v = \frac{1,32}{1,66+\lambda_w} = \frac{1,32}{1,66+2,734} = 0,3$

Вкрутувањата над потпората и краевите треба да го задоволат условот:

$$A_e > \frac{4 \cdot h_w \cdot t_w^2}{e} \rightarrow A_e = 2 \cdot 19 \cdot 1,588 = 60,34cm^2 ; e = 26cm > 0,1 \cdot h_w = 15cm$$

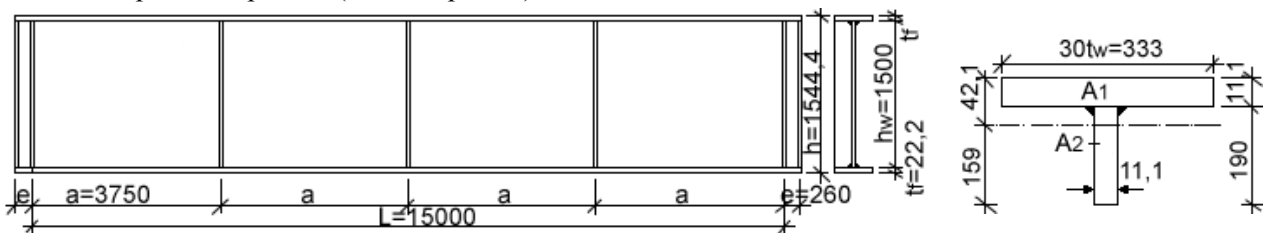
Проектната отпорност на смолкнување изнесува: $V_w = \rho_v \cdot h_w \cdot t_w \cdot \frac{f_o}{\gamma_{M1}\sqrt{3}}$

$$V_w = 0,3 \cdot 150 \cdot 1,11 \cdot \frac{24}{1,1\sqrt{3}} = 629,0kN, \text{ а напрегањата во вкрутувањата изнесуваат:}$$

$$\sigma_{st} = \frac{V_w}{A_e} = \frac{629}{60,34} = 10,42 kN/cm^2 < \frac{f_{ow}}{\gamma_{M1}} = \frac{24}{1,1} = 21,8 kN/cm^2$$

2.3 Трансверзални вкрутувања во средниот дел на гредата

Поставуваме три напречни (трансверзални) вкрутувања во средниот дел на гредата на растојание $a = \frac{L}{4} = 375cm$ со напречен пресек 190x11.1 (Сл.10). Трансверзалните вкрутувања се поставени само од едната страна на гредата (несиметрично).



Сл.10

Определуваме геометриски карактеристики за припадната површина(Сл.10):

$$A_1 = 1,11 \cdot 33,3 = 36,96cm^2 ; A_2 = 1,11 \cdot 19 = 21,09cm^2 \rightarrow A_{st} = 58,05cm^2$$

$$y_1 = 19,555 \text{ cm}; y_2 = 9,5 \text{ cm} \rightarrow Y_T = \frac{36,96 \cdot 19,555 + 21,09 \cdot 9,5}{58,05} = 15,9 \text{ cm} \rightarrow \text{тежиште на пресекот}$$

$$I_{st} = 36,96 \cdot 3,655^2 + \frac{1,11 \cdot 19^3}{12} + 21,09 \cdot 3,1^2 = 1330,9 \text{ cm}^4 \rightarrow \text{момент на инерција}$$

$$\text{За } \frac{a}{h_w} \geq \sqrt{2} \rightarrow \frac{375}{150} = 2,5 \geq 1,41; I_{st} \geq 0,75 \cdot \frac{h_w^3 \cdot t_w^3}{a^2} \rightarrow 1330,9 \geq 0,75 \cdot \frac{150^3 \cdot 1,11^3}{375^2} = 24,62$$

Го определуваме коефициентот на извиткување од смолкнување во реброто k_τ :

$$\text{за } \frac{a}{b_w} = \frac{375}{148} = 2,53 > 1 \rightarrow k_\tau = 5,34 + 4 \cdot \left(\frac{b_w}{a}\right)^2 + k_{\tau st}$$

$$k_{\tau st} = 9 \cdot \left(\frac{b_w}{a}\right)^2 \cdot \left(\frac{I_{st}}{t_w^3 \cdot b_w}\right)^{\frac{3}{4}} \rightarrow \text{не помало од } \frac{2,1}{t_w} \cdot \left(\frac{I_{st}}{b_w}\right)^{\frac{1}{3}}$$

$$k_{\tau st} = 9 \cdot \left(\frac{148}{375}\right)^2 \cdot \left(\frac{1330,9}{1,11^3 \cdot 148}\right)^{\frac{3}{4}} = 5,757 > \frac{2,1}{1,11} \cdot \left(\frac{1330,9}{148}\right)^{\frac{1}{3}} = 3,93$$

$$k_\tau = 5,34 + 4 \cdot \left(\frac{148}{375}\right)^2 + 5,757 = 11,72 \rightarrow \text{параметарот на витоста ќе изнесува:}$$

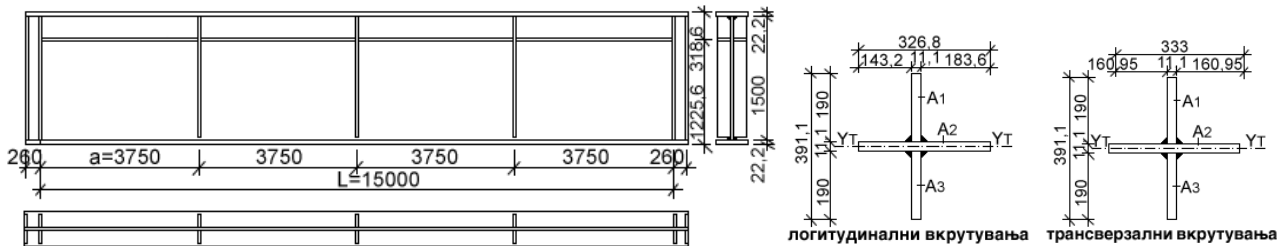
$$\lambda_w = \frac{0,81 \cdot b_w}{t_w \cdot \sqrt{k_\tau}} \cdot \sqrt{\frac{f_o}{E}} = \frac{0,81 \cdot 148}{1,11 \cdot \sqrt{11,72}} \cdot \sqrt{\frac{24}{7000}} = 1,85 > 0,949 \rightarrow \rho_v = \frac{1,32}{1,66 + \lambda_w} = \frac{1,32}{1,66 + 1,85} = 0,376$$

Проектната отпорност на смолкнување изнесува: $V_w = \rho_v \cdot h_w \cdot t_w \cdot \frac{f_o}{\gamma_{M1} \sqrt{3}}$

$$V_w = 0,376 \cdot 150 \cdot 1,11 \cdot \frac{24}{1,1 \cdot \sqrt{3}} = 788,6 \text{ kN} \rightarrow q = \frac{2 \cdot 788,6}{15} = 105,0 \text{ kN/m'}$$

2.4 Опорност на гредата со лонгитудинални и трансверзални вкртувања

За гредата ги поставуваме истите вкртувања само од двете страни на гредата со пресек 190x11,1 mm (Сл.11).



Сл.11

- Извиткување на реброто од лонгитудиналните напрегања на притисок**

Ги определуваме геометриските карактеристики на вкртувањето (Сл.11):

$$A_1 = A_3 = 21,09 \text{ cm}^2; A_2 = 32,68 \cdot 1,11 = 36,275; A = 2 \cdot A_1 + A_2 = 78,455 \text{ cm}^2$$

$$I_{st} = 2 \cdot \frac{1,11 \cdot 19^3}{12} + 2 \cdot 21,09 \cdot 10,05^2 + \frac{32,68 \cdot 1,11^3}{12} = 1268,92 + 4264,52 + 3,73 = 5537,2 \text{ cm}^4$$

Ефективната површина според сликите (Сл.8с и Сл.11) ќе изнесува:

$$A_{st,ef} = 29,22 + 19 \cdot 0,53 = 39,29 \text{ cm}^2 \rightarrow a = L/4 = 375 \text{ cm}$$

Го определуваме релативниот параметар на витоста $\bar{\lambda}$ со дадените услови:

$$a_c = 4,33 \cdot \sqrt[4]{\frac{I_{st} \cdot b_1^2 \cdot b_2^2}{t_w^3 \cdot b_w}} = 4,33 \cdot \sqrt[4]{\frac{5537,2 \cdot 119,36^2 \cdot 28,64^2}{1,11^3 \cdot 148}} = 579 \text{ cm} > a = 375 \text{ cm}$$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{st}}{a^2} + \frac{E \cdot t_w^3 \cdot b_w \cdot a^2}{4 \cdot \pi^2 \cdot (1 - \nu^2) \cdot b_1^2 \cdot b_2^2} = \frac{3,14^2 \cdot 7000 \cdot 5537,2}{375^2} + \frac{7000 \cdot 1,11^3 \cdot 148 \cdot 375^2}{4 \cdot 3,14^2 \cdot (1 - 0,3^2) \cdot 119,36^2 \cdot 28,64^2}$$

$$N_{cr} = 2717,6 + 468,5 = 3186,1 \text{ kN} \rightarrow \bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{st,eff} \cdot f_o}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{39,29 \cdot 24}{3186,1}} = 0,544$$

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - \bar{\lambda}_o) + \bar{\lambda}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,2 \cdot (0,544 - 0,1) + 0,544^2] = 0,722$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,722 + \sqrt{0,722^2 - 0,544^2}} = 0,836$$

Го определуваме факторот K за влијанието од лонгитудиналните завари:

$$K = 1 - \left(1 - \frac{A_1}{A}\right) \cdot 10^{-\bar{\lambda}} - \left(0,05 + 0,1 \cdot \frac{A_1}{A}\right) \cdot \bar{\lambda}^{-1,31(1-\bar{\lambda})}$$

$$A_1 = A - A_{haz} \cdot (1 - \rho_{haz}) \rightarrow A_{haz} = 2 \cdot 3,0 \cdot 0,533 + 2 \cdot 3,0 \cdot 0,53 = 6,36 \text{ cm}^2$$

$$A_1 = 78,455 - 6,36 \cdot (1 - 0,48) = 75,15$$

$$K = 1 - \left(1 - \frac{75,15}{78,455}\right) \cdot 10^{-0,544} - \left(0,05 + 0,1 \cdot \frac{75,15}{78,455}\right) \cdot 0,544^{-1,31(1-0,544)} = 0,778$$

Проектната вредност на извиткување на притиснатиот елемент ќе изнесува:

$$N_{b,Rd} = K \cdot \chi \cdot A_{st,eff} \cdot \frac{f_o}{\gamma_{M1}} \rightarrow 0,778 \cdot 0,836 \cdot 39,29 \cdot \frac{24}{1,1} = 557,6kN \rightarrow q = 74,3kN/m'$$

- **Извиткување на реброто од лонгитудиналните и трансверзалните вкртувања**

Определуваме геометриски карактеристики за трансверзалните вкртувања (Сл.11)

$$A_1 = A_3 = 21,09cm^2; A_2 = 33,3 \cdot 1,11 = 36,96; A = 2 \cdot A_1 + A_2 = 79,14 cm^2$$

$$I_{st} = 2 \cdot \frac{1,11 \cdot 19^3}{12} + 2 \cdot 21,09 \cdot 10,05^2 + \frac{33,3 \cdot 1,11^3}{12} = 1268,92 + 4264,52 + 3,8 = 5537,25cm^4$$

Го определуваме тоталниот параметар на витоста за целиот панел $a = \frac{L}{4} = 375cm$

$$\text{за } \frac{a}{b_w} = \frac{375}{148} = 2,53 > 1 \rightarrow k_\tau = 5,34 + 4 \cdot \left(\frac{b_w}{a}\right)^2 + k_{\tau st}$$

$$k_{\tau st} = 9 \cdot \left(\frac{148}{375}\right)^2 \cdot \left(\frac{5537,25}{1,11^3 \cdot 148}\right)^{\frac{3}{4}} = 16,77 > \frac{2,1}{1,11} \cdot \left(\frac{5537,25}{148}\right)^{\frac{1}{3}} = 6,33$$

$$k_\tau = 5,34 + 4 \cdot \left(\frac{148}{375}\right)^2 + 16,77 = 22,73 \rightarrow \text{параметарот на витоста ќе изнесува:}$$

$$\lambda_w = \frac{0,81 \cdot b_w}{t_w \cdot \sqrt{k_\tau}} \cdot \sqrt{\frac{f_o}{E}} = \frac{0,81 \cdot 148}{1,11 \cdot \sqrt{22,73}} \cdot \sqrt{\frac{24}{7000}} = 1,326 = \lambda_{w,tot}$$

Определуваме параметар на витоста во еден панел со лонгитудинално вкртување во притиснатиот дел (субпанел) со висина $h_l = 28,64cm$

$$k_\tau = 5,34 + 4 \cdot \left(\frac{h_l}{a}\right)^2 = 5,34 + 4 \cdot \left(\frac{28,64}{375}\right)^2 = 5,36$$

$$\lambda_{w,sub} = \frac{0,81 \cdot b_w}{t_w \cdot \sqrt{k_\tau}} \cdot \sqrt{\frac{f_o}{E}} = \frac{0,81 \cdot 28,64}{1,11 \cdot \sqrt{5,36}} \cdot \sqrt{\frac{24}{7000}} = 0,529 < \lambda_{w,tot} = 1,326$$

Проектната вредност на смолкнување од трансверзалните сили се определува со поголемата вредност на параметарот $\lambda_w \rightarrow \lambda_{w,tot} = 1,326 > 0,949$

$$\rho_v = \frac{1,32}{1,66 + \lambda_w} = \frac{1,32}{1,66 + 1,326} = 0,442 \rightarrow V_w = 0,442 \cdot 150 \cdot 1,11 \cdot \frac{24}{1,1 \cdot \sqrt{3}} = 927,4kN$$

За усвоено $q = 55 kN/m'$ максималниот уклон во средина на носачот изнесува:

$$f_{max} = \frac{5 \cdot q \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I_{el}} = \frac{5 \cdot 10 \cdot 55^2 \cdot 1500^4}{384 \cdot 7000 \cdot 1340976,7} = 3,87cm < \frac{L}{400} = 4,0cm$$

Тежина на гредата:

-појаси	2 ≠ 400x22,2 ... 15520	744,22kg
-вертикално ребро	≠ 1500x11,1 ... 15520	697,70-/-
-вкртувања на краевите	8 ≠ 190x15,88 ... 1500	97,76-/-
-лонгитудинални вкртувања	4 ≠ 190x11,1 ... 361,55	82,36-/-
	4 ≠ 190x11,1 ... 363,90	82,88-/-
-трансверзални вкртувања	6 ≠ 190x11,1 ... 1490	<u>50,91-/-</u>

$$G = 1755,83kg$$

ЗАКЛУЧОК

Пресметувањето на заварените гредни плочести носачи според Еврокод 9 , дават можност за зголемување на носивоста на пресекот кој е избран, со поставување на надолжни и напречни вкртувања. Изборот на пресекот е многу пософистициран, од оној за челичните носачи, поради помалиот модул на еластичност. Во правилата за изборот на пресекот генерално мора да се води сметка за две работи и тоа: за висината на носачот и користење на несиметрични пресеци. Првиот критериум се однесува на дозволеният уклон, кој поради трипати помалиот модул на еластичност е многу поголем од оној кај челичните носачи. Вториот критериум произлегува од горниот притиснат појас кој со неговата редуција ја намалува носивоста на свиткување. Користејќи ги овие два критериуми може да се добие оптимален пресек за заварените гредни плочести алуминиумски носачи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Eurokode-9:-Design of aluminium structures; Part 1-1: General structural rules
2. Guther Valting „Aluminium im Konstruktiven Ingenieurbau”, Ernst & Sohn, Technische Universitat Hamburg-Germany, 2003.
3. Атанас Филиповски „Алуминиумски конструкции во градежништвото”, книга, 2012г ЗИМ