

Provjera nosivosti europalette

Bogdan Šimun

redoviti profesor na Fakultetu Strojarnstva i Računarstva, Sveučilišta u Mostaru, Mostar, Bosna i Hercegovina, simun.bogdan@sve-mo.ba

Sažetak: Za paletu koja je predviđena za skladištenje i transport materijala, koja je definirana danim crtežima, potrebno je u sklopu vještačenja izvršiti provjeru nosivosti jer je za dato opterećenje koje je predvidio proizvođač iste, došlo do loma konstrukcije palete i određene štete za poduzeće na kojoj se vršio transport određene robe. Materijal europalette je kombiniran, bukva i jela.

Ključne riječi: kontinuirano opterećenje, obostrano ukliještena greda, momenti savijanja, moment inercije-tromosti poprečnog presjeka, moment torzije, otporni moment.

Primljen / Received: 11. septembar 2015. / September 11, 2015

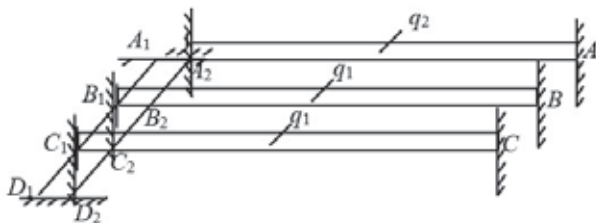
Prihvaćen / Accepted: 21. septembar 2015. / September 21, 2015

UVOD

U ovom radu je izvršena analiza nosivosti europalette koja je predviđena za skladištenje i transport materijala, koja je definirana danim crtežima, a potrebno je u sklopu vještačenja izvršiti provjeru nosivosti jer je za dato opterećenje koje je predvidio proizvođač iste, došlo do loma konstrukcije palete i određene štete za poduzeće na kojoj se vršio transport određene robe. Materijal europalette je kombiniran, bukva i jela.

PRORAČUNSKA SCHEMA PALETE

Paleta ima dvije ose simetrije pa će se proračun temeljiti na jednoj četvrtini



Proračunska shema palete

U gornjoj proračunskoj shemi nosača su:

1. AA_2 obostrano ukliještena greda opterećena kontinuiranim opterećenjem q_2 , duljine 437.5 mm, poprečnoga presjeka $110 \times 21 \text{ mm}^2$, materijal bukva
2. BB_2B_1 obostrano ukliještena greda sa nepomičnim ukliještenjem u točki B i sa pomičnim elastičnim ukliještenjem u točki B_1 , opterećena kontinuiranim

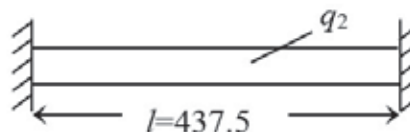
opterećenjem q_1 , vertikalnim silama F_2 u točki B_2 i F_1 u točki B_1 te momentom M_{B_1} , duljine 542.5 mm poprečnoga presjeka $95 \times 21 \text{ mm}^2$, materijal jela

3. CC_2C_1 je isto kao i BB_2B_1
4. $A_1B_1C_1D_1$ obostrano ukliještena greda opterećena vertikalnim silama F_1 i momentima uvijanja M_{B_1} u točkama B_1 i C_1 , duljine 442.5 mm, poprečnoga presjeka $110 \times 21 \text{ mm}^2$, materijal bukva
5. $A_2B_2C_2D_2$ obostrano ukliještena greda opterećena vertikalnim silama F_2 u točkama B_2 i C_2 , duljine 442.5 mm, poprečnog presjeka $110 \times 21 \text{ mm}^2$, materijal bukva

Statički neodređen sustav nosača danih pod brojevima 2 – 5 ima, obzirom na simetriju, tri statički prekobrojne veličine F_1 , F_2 i M_{B_1} . Dopunski su uvjeti jednakost ugiba u točki B_1 za nosač BB_2B_1 i nosač $A_1B_1C_1D_1$ odnosno u točki B_2 za nosač BB_2B_1 i nosač $A_2B_2C_2D_2$ te jednakost zaokretanja tangente nosača BB_2B_1 i kuta uvijanja nosača $A_1B_1C_1D_1$ u točki B_1 .

PRORAČUN POJEDINIH ELEMENATA

Nosač AA_2



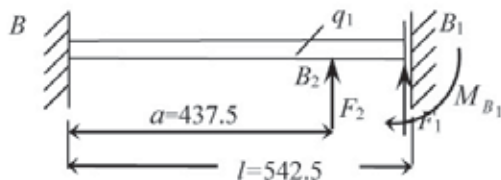
Maksimalni su momenti u ukliještenjima $M_{\max} = q_2 l^2 / 12$

Maksimalna poprečna sila je otpor oslonca $Q_{\max} = q_2 l / 2$

Nosač BB_2B_1

Iz opterećenja, smatrajući nosač kon-zolom slijedi jednačina

$$\gamma = \frac{l}{6B_1} \left[q_1 l^2 + 6M_{B_1} - 3F_1 l - 3F_2 l \left(\frac{a}{l} \right)^2 \right]$$



Progibi pod silama F_1 i F_2 će biti

$$f_1 = \frac{q_1 l^4}{8B_1} - \frac{F_1 l^3}{3B_1} - \frac{F_2 l^3}{6B_1} \left(\frac{a}{l} \right)^2 \left[3 - \frac{a}{l} \right] + \frac{M_{B_1} l^2}{2B_1}$$

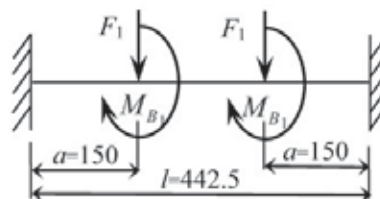
$$f_2 = \frac{q_1 l^4}{24B_1} \left(\frac{a}{l} \right)^2 \left[6 - 4 \frac{a}{l} + \left(\frac{a}{l} \right)^2 \right] - \frac{F_1 l^3}{6B_1} \left(\frac{a}{l} \right)^2 \left(3 - \frac{a}{l} \right) - \frac{F_2 a^3}{3B_1} + \frac{M_{B_1} l^2}{2B_1} \left(\frac{a}{l} \right)^2$$

$$I_x = 0.095 \times 0.021^3 / 12 = 7.331625 \times 10^{-8} \text{ m}^4, E = 11000 \text{ MPa } B_1 = 806.48 \text{ Nm}^2$$

Nosač $A_1B_1C_1D_1$

Nosač je jednom statički neodređen pa će se momenti uklještenja naći iz uvjeta da su tangente nad osloncima horizontalne

$$\alpha = \frac{F_1 l^2}{2B_2} \frac{a}{l} \left(1 - \frac{a}{l} \right) - \frac{M_A l}{2B_2} = 0$$



Oдавде се добија да је момент укљештенја дан изразом

$$M_A = F_1 l \frac{a}{l} \left(1 - \frac{a}{l} \right)$$

Progib ispod sile F_1 će biti

$$f_1 = \frac{F_1 l^3}{6B_2} \left(\frac{a}{l} \right)^2 \left[3 - 4 \left(\frac{a}{l} \right) \right] - \frac{M_A l^2}{2B_2} \left(\frac{a}{l} \right)^2$$

odnosno

$$f_1 = \frac{F_1 l^3}{6B_2} \left(\frac{a}{l} \right)^2 \left[3 - 7 \frac{a}{l} + 3 \left(\frac{a}{l} \right)^2 \right]$$

Kut uvijanja ispod sile F_1 će biti

$$\theta = \frac{M_{B_1} a}{GI_t}, \quad I_t = \eta_3 A b^2, \quad \tau_{\max} = \frac{M_{B_1}}{\eta_2 A b}, \quad \eta_2 = 0.292, \quad \eta_3 = 0.29165$$

gdje je I_t torzijski moment tromosti. Koeficijenti η_2 i η_3 odnose se na pravokutni presjek odnosa stranica $\psi = h/b = 110/21 = 5.2381$.

$$I_x = 0.11 \times 0.021^3 / 12 = 8.48925 \times 10^{-8} \text{ m}^4, \quad E = 10000 \text{ MPa}, \quad B_2 = 848.925 \text{ Nm}^2$$

$$I_t = \eta_3 \times 0.11 \times 0.021^3 = 2.97107 \times 10^{-7} \text{ m}^4, \quad G = 650 \text{ MPa}, \quad GI_t = 193.119 \text{ Nm}^2$$

Nosač $A_2 B_2 C_2 D_2$

Ovaj je nosač istovjetan sa nosačem $A_1 B_1 C_1 D_1$ s tim da umjesto sile F_1 djeluje sila F_2 i što nema uvijanja pa će biti

$$M_B = F_2 l \frac{a}{l} \left(1 - \frac{a}{l} \right)$$

Progib ispod sile F_2 je

$$f_2 = \frac{F_2 l^3}{6B_3} \left(\frac{a}{l} \right)^2 \left[3 - 4 \left(\frac{a}{l} \right) \right] - \frac{M_B l^2}{2B_3} \left(\frac{a}{l} \right)^2$$

odnosno

$$f_2 = \frac{F_2 l^3}{6B_3} \left(\frac{a}{l} \right)^2 \left[3 - 7 \frac{a}{l} + 3 \left(\frac{a}{l} \right)^2 \right]$$

$$I_x = 0.06 \times 0.021^3 / 12 = 4.6305 \times 10^{-8} \text{ m}^4, \quad E = 11000 \text{ MPa}, \quad B_3 = 509.355 \text{ Nm}^2$$

3. RJEŠAVANJE SUSTAVA

Iz uvjeta jednakosti kutova θ i γ slijedi

$$M_{B_1} = 0.317102q_1 - 1.753557F_1 - 1.14045095F_2$$

Izjednačujući progibe f_1 i uvrštavajući izraz za moment M_{B_1} te odnos krutosti na savijanje te jednako tako i za progibe f_2 dobiva se

$$f_1 = \frac{1}{B_1} \left(0.00479251q_1 - 0.028880F_1 - 0.237776F_2 + 0.097903M_{B_1} \right)$$

$$f_1 = \frac{1}{B_1} \left(0.03583775q_1 - 0.200560F_1 - 0.349421F_2 \right) = \frac{0.00161266}{B_2} F_1$$

$$f_2 = \frac{1}{B_1} \left(0.00803802q_1 - 0.037962F_1 - 0.027913F_2 + 0.095703M_{B_1} \right)$$

$$f_2 = \frac{1}{B_1} \left(0.03838567q_1 - 0.205783F_1 - 0.137058F_2 \right) = \frac{0.00161266}{B_3} F_2$$

sređivanjem se dobiva sustav

$$0.202092F_1 + 0.349421F_2 = 0.03583775q_1$$

$$0.205783F_1 + 0.139612F_2 = 0.03838567q_1$$

4. PROVJERA DOZVOLJENOGA OPTEREĆENJA

Nosač AA₂

Maksimalni su momenti u uklještenjima $M_{\max} = q_2 l^2 / 12 = 0.01591 q_2$

Maksimalna poprečna sila je otpor oslonca $Q_{\max} = q_2 l / 2 = 0.21875 q_2$

Dopušteno naprezanje na savijanje $\sigma_d = 14 \text{ MPa}$

Dopušteno naprezanje na smik $\tau_d = 4 \text{ MPa}$

Otporni moment poprečnoga presjeka $W_x = 0.110 \times 0.021^2 / 6 = 8.085 \times 10^{-6} \text{ m}^3$

Površina poprečnoga presjeka $A = 0.110 \times 0.021 = 2.31 \times 10^{-3} \text{ m}^2$

$$M_x = \sigma W_x = 14 \times 10^6 \times 8.085 \cdot 10^{-6} = 113.19 = 0.01591 q_2$$

$$q_2 = 7114.39 \frac{\text{N}}{\text{m}}, \quad p_2 = \frac{q_2}{0.11 + 0.02375} = 53191.73 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$G = 1.195 \times 0.995 p_2 = 63246.29 \text{ N} \Rightarrow M = 6447 \text{ kg}$$

Nosači BB₂B₁ i CC₂C₁

Maksimalni moment je u uklještenju B $M_{\max} = 0.0570 q_1$

Maksimalna poprečna sila je otpor oslonca B $Q_{\max} = 0.35878 q_1$

Dopušteno naprezanje na savijanje $\sigma_d = 11.5 \text{ MPa}$

Dopušteno naprezanje na smik $\tau_d = 3.5 \text{ MPa}$

Otporni moment poprečnoga presjeka $W_x = 0.095 \times 0.021^2 / 6 = 6.983 \times 10^{-6} \text{ m}^3$

Površina poprečnoga presjeka $A = 0.095 \times 0.021 = 2.00 \times 10^{-3} \text{ m}^2$

$$M_x = \sigma W_x = 11.5 \times 10^6 \times 6.983 \times 10^{-6} = 80.30 = 0.0570 q_1$$

$$q_1 = 1408.77 \frac{\text{N}}{\text{m}}, \quad p_2 = \frac{q_1}{0.11 + 0.02375} = 10532.87 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$G = 1.195 \times 0.995 p_2 = 12523.85 \text{ N} \Rightarrow M = 1277.21 \text{ kg}$$

Nosač A₁B₁C₁D₁

Dopušteno naprezanje na savijanje $\sigma_d = 14 \text{ MPa}$

Dopušteno naprezanje na smik $\tau_d = 4 \text{ MPa}$

Otporni moment poprečnoga presjeka $W_t = \eta_2 \times hb^2 = 0.292 \times 0.11 \times 0.021^2 = 1.4165 \times 10^{-5} \text{ m}^3$

Maksimalni su momenti torzije $M_t = M_{\beta_1} = 0.010428185 q_1 = \tau_{\max} \eta_2 A b = \tau_{\max} W_t$

$$0.010428185 q_1 = \tau_{\max} W_t = 4 \times 10^6 \times 1.4165 \times 10^{-5} = 56.66 \text{ Nm}$$

$$q_1 = 5433.35 \frac{\text{N}}{\text{m}}, \quad p_2 = \frac{q_1}{0.11 + 0.02375} = 40623.18 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$G = 1.195 \times 0.995 p_2 = 48301.97 \text{ N} \Rightarrow M = 4925.93 \text{ kg}$$

ZAKLJUČAK

Iz proračuna se vidi da najmanju nosivost u sklopu konstrukcije europaleta ima nosač BB_2B_1 , jer dozvoljava opterećenje samo mase $M = 1277.21$ kg po paleti. U stvarnosti ta masa može biti veća jer će doći do određene preraspodjele nosivosti. Ta preraspodjela između ostaloga zavisi i od oblika u kojem se tovari teret i same vrste tereta (dali je teret u čvrstom ili rasutom pakiranom stanju). Povećavanjem nosivosti ovog nosača BB_2B_1 , ugradnjom većeg poprečnog presjeka lamele, osjetno se povećava i ukupna nosivost paleta.

LITERATURA:

- Določek, V., Bogdan, Š., i dr. (2003). Elastostatika I, Elastostatika II, Sarajevo, str. 153-255.
- Bogdan, Š., Raspudić, V. (2002). Zbirka riješenih zadataka iz Nauke o čvrstoći, Mostar, str. 122-207.
- Muhtić, O. i sar. (2002). Osnovi ergonomije, Sarajevo, str. 88-127.
- Timoschenko, J. (1983). Teorija elastičnosti, Tehnička enciklopedija VII, Zagreb: JLZ, str. 104-186.
- Timoshenko, S., and Goodier, J. M. (1951). Theory of Elasticity, 2nd edition, New York: Mc Graw – Hill Book Company.
- Wang, C. T. (1953). Applied Elasticity, New York: Mc Graw – Hill Book Comp.

Load Bearing Capacity Check Euro-Pallets

Šimun Bogdan

a full-time professor at the Faculty of Mechanical Engineering and Computer Sciences, University of Mostar, Mostar, Bosnia and Herzegovina, simun.bogdam@sve-mo.ba.

Abstract: For a pallet that is meant for material storage and transportation, as defined in the given drawings, it is necessary, within the scope of the expertise, to check its load bearing capacity, because as regards the given load envisaged by its manufacturer the construction of the pallet on which certain goods were transported broke, and a certain damage was caused to the company. Euro-pallet material is a combined one, beech and fir.

Keywords: continuous load, beam fixed at both ends, bending moments, moment of inertia of cross section, torsional moment, resistance moment.