

Provjera mogućnosti postavljanja urbano – turističke signalizacije na stupove rasvjetnih tijela u gradu Mostaru i njihov utjecaj na sigurnost prometa

Bogdan Šimun

Prof. dr. sc. redovit profesor na Fakultetu Strojstva i Računarstva, Sveučilišta u Mostaru, Mostar, Bosna i Hercegovina, simun.bogdan@sve-mo.ba

Rezime: U sklopu projekta urbano – turističke signalizacije grada Mostara predviđa se postavljanje samostane signalizacije pored kolničke trake, a jednako tako i postavljanje signalizacije na rasvjetne stupove. Grad Mostar se nalazi u trećoj vjetrovnoj zoni gdje se, po zakonu, predviđa mogućnost puhanja vjetrova brzinom do oko $v = 42$ m/s odnosno 151 km/h što daje dinamički tlak $q = av^2/2 = 1100$ Pa te provjeru otpornosti građevina na djelovanje takvog tlaka. U stvarnosti u gradu i okolini su izmjerene i veće brzine vjetrova koje su prelazile brzinu od oko 200 km/h odnosno 60 m/s što daje dinamički tlak $q_1 = 2250$ Pa. Iz tih će se razloga izvršiti provjera otpornosti za oba slučaja i njihov utjecaj na sigurnost prometa u gradu Mostaru.

Gljučne riječi: Brzina vozila, signalizacija, brzina vjetra, moment inercije (tromosti), otporni moment površine poprečnog presjeka.

Datum prijema rada: 9. maj 2015.

Datum odobrenja rada: 22. maj 2015.

UVOD

U ovom radu, a na traženje gradskog prometnog odjela, je izvršena analiza postavljanja urbano-turističke signalizacije u gradu Mostaru i kao samostalne (na posebnim stupovima pored kolničke trake) a jednako tako i postavljanje signalizacije na rasvjetne stupove na javnoj gradskoj električnoj mreži. Uzimajući u obzir starost rasvjetnih stupova javne mreže i djelovanje korozije na materijal istih, potrebno je bilo provjeriti nosivost i stabilnost takvih panoa, pošto se grad Mostar nalazi u trećoj vjetrovnoj zoni gdje se, po zakonu, predviđa mogućnost puhanja vjetrova brzinom do oko $v = 42$ m/s odnosno 151 km/h što daje dinamički tlak

$$q = av^2/2 = 1100 \text{ Pa} .$$

MOGUĆNOST POSTAVLJANJA SAMOSTALNE SIGNALIZACIJE

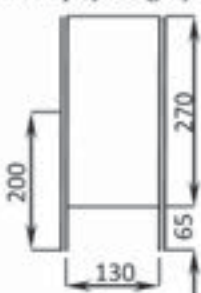
Prema idejnom projektu samostalna signalizacija se sastoji od ploče (aluminijски lim debljine $\delta = 3$ mm) i dva stupa Ø85 mm, u prijedlogu je naznačeno da su od aluminija, što je vjerojatno greška, dok se u materijalima vidi da su vršena ispitivanja stupa od čelične šavne cijevi, materijal Č0370. Pri provjeri će se koristiti ovaj drugi podatak.

U prijedlogu je, također, definirana veličina putokaza sa dva prijedloga 125x25 ili 130x30 pri čemu su dimenzije dane u cm. U provjeri će se koristiti veće dimenzije. Od navedenih grupiranih putokaza trećina, tj. četiri su izrazito visoka jer sadrže osam odnosno devet putokaza pa će se vršiti njihova provjera.

Intenzitet sile otpora vjetra F_x dan je izrazom

$$F_x = qC_x A = 1100 \times 1,2 \times 1,3 \times 2,7 = 4633 \text{ N}$$

gdje su koeficijent otpora ravne plohe $C_x = 1.2$ i površina $A = 1.3 \times 2.7 = 3.51 \text{ m}^2$. Izračunata sila



otpora djeluje u težištu ravne plohe, tj. na 200 cm od tla (polovina visine ravne plohe). Moment te sile za točku uklještenja stupova M je

$$M = 2.00 \times 4633 = 9266 \text{ Nm}$$

Čvrstoća na vlak čelika Č0370 je $\sigma_M = 370 + 390 \text{ MPa}$ i ako se uzme koeficijent sigurnosti $\nu = 2.9$ dopušteno će naprezanje biti $\sigma_{dop} = 380/2.9 = 130 \text{ MPa}$ te je potreban otporni moment W_p jednako

$$W_p = \frac{1}{2} \frac{M}{\sigma_{dop}} = \frac{1}{2} \frac{9266}{130 \times 10^6} = 35.6385 \times 10^{-6} \text{ m}^3 = 35638.5 \text{ mm}^3$$

Prema Krautu cijevi nazivnog promjera $D = 100 \text{ mm}$:

1.) vanjski promjer $D_2 = 108.0 \text{ mm}$, debljina stijenke 4.5 mm i $W = 36351 \text{ mm}^3$

2.) vanjski promjer $D_2 = 114.3 \text{ mm}$, debljina stijenke 4.0 mm i $W = 36931 \text{ mm}^3$

zadovoljavaju traženi uvjet.

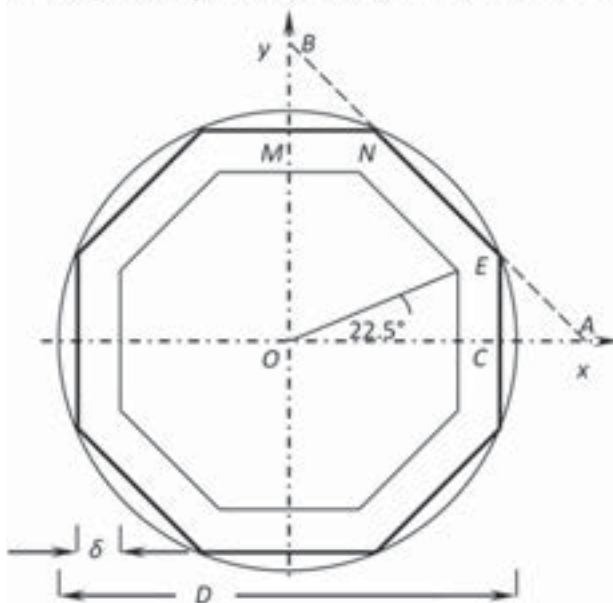
Za slučaj brzine vjetra od oko 200 km/h čas sila će biti $F_{st} = 9477 \text{ N}$ a moment $M_1 = 18953 \text{ Nm}$, traženi potreban otporni moment je $W_{p1} = 72896.9 \text{ mm}^3$.

Prema Krautu cijevi nazivnog promjera $D = 125 \text{ mm}$:

3.) vanjski promjer $D_2 = 133.0 \text{ mm}$, debljina stijenke 6.3 mm i $W = 75854 \text{ mm}^3$

4.) vanjski promjer $D_2 = 139.7 \text{ mm}$, debljina stijenke 5.6 mm i $W = 76054 \text{ mm}^3$

zadovoljavaju traženi uvjet.



SIGNALIZACIJA POSTAVLJENA NA RASVJETNE STUPOVE Otporni moment osmerokutnog presjeka

Moment inercije I_x osmerokutnog poprečnog presjeka s dijemetrom vanjske kružnice D i debljine stijenke δ bit će četverostruka vrijednost momenta inercije trokuta OAB I_{x1} koja je umanjena za vrijednosti momenata inercije za x osu trokuta CAE I_{x2} i trokuta MNB I_{x3} za Ox osu tako da je

$$I_x = 4(I_{x1} - I_{x2} - I_{x3})$$

Kut OAB 45° pa su duži

$$a/2 = \overline{CE} = \overline{CA} = (D/2) \sin 22.5^\circ.$$

Jednako tako su duži

$$\overline{OA} = \overline{OB} = \frac{D \cos 22.5^\circ}{2 \cos 45^\circ}$$

pa je

$$I_{x1} = \int_0^{\overline{OB}} y^2 x dy = \int_0^{\overline{OB}} y^2 (\overline{OA} - y) dy = \frac{\overline{OA} \times y^3}{3} - \frac{y^4}{4} \Big|_0^{\overline{OB}} = \overline{OB}^3 \left(\frac{\overline{OA}}{3} - \frac{\overline{OB}}{4} \right)$$

$$I_{x1} = \overline{OA}^3 \times \frac{\overline{OA}}{12} = \frac{\overline{OA}^4}{12}$$

Zbog sličnosti postoji odnos

$$\frac{I_{x2}}{I_{x1}} = \left(\frac{\overline{CA}}{\overline{OA}} \right)^4 = (\tan 22.5^\circ \cos 45^\circ)^4 = \left(\frac{\sqrt{1 - \cos 45^\circ}}{\sqrt{1 + \cos 45^\circ}} \cos 45^\circ \right)^4 = \left(\frac{1 - \cos 45^\circ}{\sin 45^\circ} \cos 45^\circ \right)^4$$

$$\frac{I_{x2}}{I_{x1}} = \left(\frac{\sqrt{2} - 1}{\sqrt{2}} \right)^4 = \frac{4 - 8\sqrt{2} + 12 - 4\sqrt{2} + 1}{4} = \frac{17 - 12\sqrt{2}}{4}$$

Bogdan Šimun:

Provjera mogućnosti postavljanja urbano – turističke signalizacije na stupove rasvjetnih tijela u gradu Mostaru i njihov utjecaj na sigurnost prometa

Vlastiti moment inercije trokuta OAB je

$$I_{x1,s} = I_{x1} - \left(\frac{\overline{OA}}{3}\right)^2 \overline{OA}^2 = \frac{\overline{OA}^4}{12} - \frac{\overline{OA}^4}{18} = \frac{\overline{OA}^4}{36}$$

prema tomu će vlastiti momenti inercije trokuta CAE ili MNB i položajni moment inercije trokuta MNB biti

$$\frac{I_{x2,s}}{I_{x1,s}} = \frac{I_{x3,s}}{I_{x1,s}} = \frac{I_{x2}}{I_{x1}} = \frac{17 - 12\sqrt{2}}{4}$$

$$I_{x3,p} = \left(\overline{OM} + \frac{\overline{CE}}{3}\right)^2 \frac{\overline{CE}^2}{2} = \left(\overline{OA} \cos 45^\circ + \frac{\overline{OA} \cos 45^\circ \tan 22.5^\circ}{3}\right)^2 \frac{(\overline{OA} \cos 45^\circ \tan 22.5^\circ)^2}{2}$$

$$I_{x3,p} = \frac{(\overline{OA} \cos 45^\circ)^4}{18} (3 \tan 22.5^\circ + \tan^2 22.5^\circ)^2 = \frac{(\overline{OA} \cos 45^\circ)^4}{18} \left[3 \frac{1 - \cos 45^\circ}{\sin 45^\circ} + \left(\frac{1 - \cos 45^\circ}{\sin 45^\circ}\right)^2\right]^2$$

tako da je

$$I_{x3,p} = \frac{\overline{OA}^4}{36}$$

Sada se može konačno pisati

$$I_x = 4 \left[I_{x1} - (I_{x2} + I_{x3,s} + I_{x3,p}) \right] = 4 \left[\frac{\overline{OA}^4}{12} - \frac{17 - 12\sqrt{2}}{4} \frac{\overline{OA}^4}{12} - \frac{17 - 12\sqrt{2}}{4} \frac{\overline{OA}^4}{12} - \frac{\overline{OA}^4}{36} \right]$$

$$I_x = \frac{4\sqrt{2} - 5}{3} \overline{OA}^4 = \frac{1 + 2\sqrt{2}}{6} R^4 = \frac{1 + 2\sqrt{2}}{96} D^4$$

Moment inercije za y osu ima istu vrijednost pa je elipsa inercije u stvari kružnica tako da je moment inercije isti za sve ose koje prolaze kroz težište presjeka.

Moment inercije osmerokutnog prstena vanjskog promjera D_2 a unutarnjeg D_1 bit će

$$I_x = \frac{1 + 2\sqrt{2}}{96} (D_2^4 - D_1^4) = \frac{1 + 2\sqrt{2}}{96} D_2^4 \left[1 - \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^4 \right] = \frac{1 + 2\sqrt{2}}{96} D_2^4 (1 - \psi^4)$$

Otporni je moment ravan

$$W_x = \frac{I_x}{OM} = \frac{1 + 2\sqrt{2}}{96} \frac{2D_2^4}{D_2 \cos 22.5^\circ} (1 - \psi^4) = \frac{1 + 2\sqrt{2}}{96} \frac{4D_2^3}{\sqrt{2} + \sqrt{2}} (1 - \psi^4)$$

$$W_x = \frac{1 + 2\sqrt{2}}{48} \sqrt{2(2 - \sqrt{2})} D_2^3 (1 - \psi^4) = \frac{1 + 2\sqrt{2}}{6} \sqrt{2(2 - \sqrt{2})} R_2^3 (1 - \psi^4)$$

Otporni moment oslabljenog presjeka

Poprečni presjek stupa na visini oko 1 m iznad tla oslabljen je izrezom za pristup električnim vodičima te električnoj opremi stupa. Radi provjere nosivosti stupa nužno je odrediti njegov otporni moment i u tom presjeku.

Položaj težišta poprečnog presjeka na toj poziciji, zanemarujući ivice koje služe kao oslonac za poklopac i čija je širina oko 10 mm, određen je dimenzijom η_T . Neka je q odstojanje težišta segmenta osmerokutnog prstena od točke O onda se može pisati

$$6(A_2 - A_1)\eta_T = 2(A_2 - A_1)q \cos 22.5^\circ$$

$$\eta_T = \frac{q}{3} \cos 22.5^\circ = \frac{q}{3} \sqrt{\frac{1 + \cos 45^\circ}{2}} = \frac{q}{3} \sqrt{\frac{2 + \sqrt{2}}{4}} = \frac{q}{6} \sqrt{2 + \sqrt{2}}$$

Za q se može pisati

$$(A_2 - A_1)q = A_2q_2 - A_1q_1 = \frac{R_2^2}{2} \sin 45^\circ \times \frac{2}{3} R_2 \cos 22.5^\circ - \frac{R_1^2}{2} \sin 45^\circ \times \frac{2}{3} R_1 \cos 22.5^\circ$$

$$\left(\frac{R_2^2}{2} \sin 45^\circ - \frac{R_1^2}{2} \sin 45^\circ \right) q = \frac{R_2^3}{3} \sin 45^\circ \cos 22.5^\circ (1 - \psi^3)$$

$$q = \frac{\frac{R_2^3}{3} \sin 45^\circ \cos 22.5^\circ (1 - \psi^3)}{\frac{R_2^2}{2} \sin 45^\circ (1 - \psi^2)} = \frac{2}{3} \frac{1 - \psi^3}{1 - \psi^2} R_2 \cos 22.5^\circ$$

pa je

$$\eta_T = \frac{q}{6} \sqrt{2 + \sqrt{2}} = \frac{1}{9} \frac{1 - \psi^3}{1 - \psi^2} R_2 \sqrt{2 + \sqrt{2}} \cos 22.5^\circ = \frac{2 + \sqrt{2}}{18} \frac{1 - \psi^3}{1 - \psi^2} R_2 = \frac{2 + \sqrt{2}}{36} \frac{1 - \psi^3}{1 - \psi^2} D_2$$

Da bi se našao moment inercije oslabljenog presjeka treba naći moment inercije istokračnog trokuta za osu koja se poklapa s jednim od krakova kao i osu okomitu na krak.

Promatra se trokut OAB u koordinatnom sustavu $\xi O\eta$ u kojem je točka A sa koordinatama $(0; R)$ a točka B sa

$$\left(R\sqrt{2}/2; R\sqrt{2}/2 \right).$$

Jednadžbe pravih su

$$OB: y = x$$

$$AB: y - R_2 \frac{\sqrt{2}}{2} = \frac{R_2 - R_2 \frac{\sqrt{2}}{2}}{0 - R_2 \frac{\sqrt{2}}{2}} \left(x - R_2 \frac{\sqrt{2}}{2} \right)$$

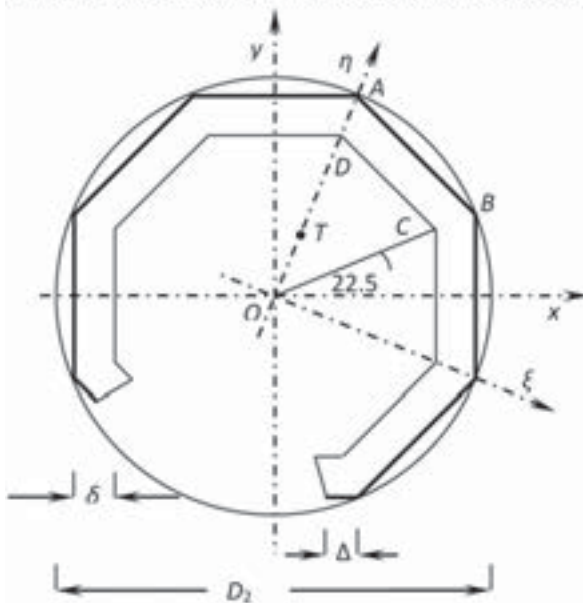
$$y + (\sqrt{2} - 1)x = R_2$$

Sada se mogu pisati integrali za momente inercije trokuta OAE i stijenku $ABCD$.

Moment inercije za osu ξ je

$$I_{\xi 2} = \int_0^{R_2 \sqrt{2}/2} y^2 x dx + \int_{R_2 \sqrt{2}/2}^{R_2} y^2 x dx = \int_0^{R_2 \sqrt{2}/2} y^3 dx + \int_{R_2 \sqrt{2}/2}^{R_2} y^2 \frac{R_2 - y}{\sqrt{2} - 1} dx$$

$$I_{\xi 2} = \frac{1}{4} y^4 \Big|_0^{R_2 \sqrt{2}/2} + \frac{1}{3} \frac{R_2}{\sqrt{2} - 1} y^3 \Big|_{R_2 \sqrt{2}/2}^{R_2} - \frac{1}{4} \frac{1}{\sqrt{2} - 1} y^4 \Big|_{R_2 \sqrt{2}/2}^{R_2}$$



Za stijenku $ABCD$, vodeći računa da se radi o razlici dva slična trokuta, moment inercije je

$$I_{ABCD_z} = I_{z_2} - I_{z_1} = I_{z_2} = \frac{2+3\sqrt{2}}{768} D_2^4 - \frac{2+3\sqrt{2}}{768} D_1^4 = \frac{2+3\sqrt{2}}{768} D_2^4 (1-\psi^4)$$

Moment inercije za osu η je

$$I_{\eta 2} = \int_0^{R_2\sqrt{2}/2} x^2 (y_2 - y_1) dx = \int_0^{R_2\sqrt{2}/2} x^2 [R_2 - (\sqrt{2}-1)x - x] dx = \int_0^{R_2\sqrt{2}/2} x^2 [R_2 - \sqrt{2}x] dx$$

$$I_{\eta 2} = \frac{1}{3} R_2 x^3 \Big|_0^{R_2\sqrt{2}/2} - \frac{1}{4} \sqrt{2} x^4 \Big|_0^{R_2\sqrt{2}/2} = \frac{1}{3} \frac{\sqrt{2}}{4} R_2^4 - \frac{1}{4} \sqrt{2} \frac{1}{4} R_2^4 = R_2^4 \left(\frac{\sqrt{2}}{12} - \frac{\sqrt{2}}{16} \right)$$

$$I_{\eta 2} = \frac{\sqrt{2}}{48} R_2^4 = \frac{\sqrt{2}}{768} D_2^4$$

Za stijenku $ABCD$ moment inercije je

$$I_{ABCD_\eta} = I_{\eta 2} - I_{\eta 1} = \frac{\sqrt{2}}{768} D_2^4 - \frac{\sqrt{2}}{768} D_1^4 = \frac{\sqrt{2}}{768} D_2^4 (1-\psi^4)$$

Moment inercije oslabljenog presjeka za osu ξ je

$$I_\xi = 2I_{ABCD_z} + 4I_{ABCD_\eta} = \frac{2+3\sqrt{2}}{384} D_2^4 (1-\psi^4) + \frac{\sqrt{2}}{192} D_2^4 (1-\psi^4)$$

$$I_\xi = \frac{2+5\sqrt{2}}{384} D_2^4 (1-\psi^4)$$

Moment inercije presjeka za osu η je

$$I_\eta = 4I_{ABCD_z} + 2I_{ABCD_\eta} = \frac{2+3\sqrt{2}}{192} D_2^4 (1-\psi^4) + \frac{\sqrt{2}}{384} D_2^4 (1-\psi^4)$$

$$I_\eta = \frac{4+7\sqrt{2}}{384} D_2^4 (1-\psi^4)$$

Glavni težišni momenti inercije će biti

$$I_1 = I_\eta = \frac{4+7\sqrt{2}}{384} D_2^4 (1-\psi^4)$$

$$I_2 = I_\xi - \eta_T^2 A = \frac{2+5\sqrt{2}}{384} D_2^4 (1-\psi^4) - \frac{3\sqrt{2}+4}{1728} \frac{(1-\psi^3)^2}{1-\psi^2} D_2^4$$

$$I_2 = \frac{1}{3456} \left[9(2+5\sqrt{2})(1+\psi^2)(1-\psi^2)^2 - 2(3\sqrt{2}+4)(1-\psi^3)^2 \right] \frac{D_2^4}{1-\psi^2}$$

dok su otporni momenti

$$W_1 = \frac{2I_1}{D_2} = \frac{4+7\sqrt{2}}{192} D_2^3 (1-\psi^4)$$

$$W_2 = \frac{2I_2}{D_2} = \frac{1}{1728} \left[9(2 + 5\sqrt{2})(1 + \psi^2)(1 - \psi^2)^2 - 2(3\sqrt{2} + 4)(1 - \psi^3)^2 \right] \frac{D_2^3}{1 - \psi^2}$$

Središte smicanja oslabljenog presjeka

Središte smicanja je točka oko koje se presjek rotira ako nema ometene deplanacije presjeka. Koordinate te točke su dane izrazima

$$\xi_{E_{s,0}} = \frac{1}{I_\xi \left(1 - I_{\xi\eta}^2 / I_\xi I_\eta\right)} \left(\int_0^L p S_{\xi s} ds - \frac{I_{\xi\eta}}{I_\eta} \int_0^L p S_{\eta s} ds \right)$$

$$\eta_{E_{s,0}} = -\frac{1}{I_\eta \left(1 - I_{\xi\eta}^2 / I_\xi I_\eta\right)} \left(\int_0^L p S_{\eta s} ds - \frac{I_{\xi\eta}}{I_\xi} \int_0^L p S_{\xi s} ds \right)$$

Kako je osa η osa simetrije to je $\xi_{E_{s,0}} = 0$ a jednako tako je ravan nuli i centrifugalni moment inercije, tj. $I_{\xi\eta} = 0$. Sa ovim vrijednostima ostaje samo da se izračuna koordinata

$\eta_{E_{s,0}}$

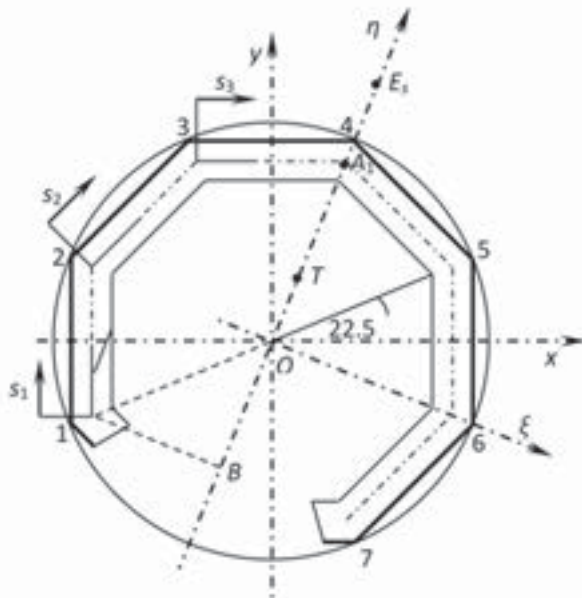
$$\eta_{E_{s,0}} = -\frac{1}{I_\eta} \int_0^L p S_{\eta s} ds$$

gdje je $S_{\eta s}$ tekuća vrijednost statičkog momenta površine za osu η , s tekuća koordinata mjerena duž srednje linije a p krak srednje linije za koordinatni početak pri čemu je

$$\overline{OA_1} = \frac{1}{2} \left(\frac{D_2}{2} + \frac{D_1}{2} \right) = \frac{D_2}{4} (1 + \psi)$$

$$p = \overline{OA_1} \cos 22.5^\circ = \frac{D_2}{4} (1 + \psi) \frac{\sqrt{2 + \sqrt{2}}}{2}$$

$$p = \frac{\sqrt{2 + \sqrt{2}}}{8} D_2 (1 + \psi)$$



i taj je krak konstantan za svih šest segmenata konture.

Tekući statički moment segmenta $\overline{12}$ je dan izrazom

$$-S_{\eta s} = \delta s_1 \left(\overline{1B} + \frac{s_1}{2} \sin 22.5^\circ \right) = \delta s_1 \left(\overline{OA_1} \cos 45^\circ + \frac{s_1}{2} \sin 22.5^\circ \right) = \frac{\delta}{4} \left(2\overline{OA_1} \sqrt{2} s_1 + \sqrt{2 - \sqrt{2}} s_1^2 \right)$$

$$0 \leq s_1 \leq 2\overline{OA_1} \sin 22.5^\circ = \sqrt{2 - \sqrt{2}} \overline{OA_1}; \quad -S_{\eta_2} = \sqrt{4 + 2\sqrt{2}} \delta \overline{OA_1}^2 / 4 = -\delta \overline{OA_1}^2 \cos 45^\circ \cos 22.5^\circ$$

Tekući statički moment segmenta $\overline{23}$ je dan izrazom

$$-S_{\eta s} = -S_{\eta_2} \delta s_2 \left(\overline{OA_1} - \frac{s_2}{2} \sin 22.5^\circ \right) = \frac{\sqrt{4 + 2\sqrt{2}}}{4} \delta \overline{OA_1}^2 + \frac{\delta}{4} \left(4\overline{OA_1} s_2 - s_2^2 \sqrt{2 - \sqrt{2}} \right)$$

$$0 \leq s_2 \leq 2\overline{OA_1} \sin 22.5^\circ = \sqrt{2 - \sqrt{2}} \overline{OA_1};$$

$$-S_{\eta_3} = \sqrt{4+2\sqrt{2}} \delta \overline{OA}_1^2 / 2 = 2\delta \overline{OA}^2 \cos 45^\circ \cos 22.5^\circ$$

Tekući statički moment segmenta 34 je dan izrazom

$$-S_{\eta_4} = -S_{\eta_3} + \delta s_3 \left(\overline{OA}_1 \cos 45^\circ - \frac{s_3}{2} \cos 22.5^\circ \right) = \frac{\sqrt{4+2\sqrt{2}}}{2} \delta \overline{OA}_1^2 + \frac{\delta}{4} \left(2\sqrt{2} \overline{OA}_1 s_3 - s_3^2 \sqrt{2+\sqrt{2}} \right)$$

$$0 \leq s_2 \leq 2\overline{OA} \sin 22.5^\circ = \sqrt{2-\sqrt{2}} \overline{OA};$$

$$-S_{\eta_4} = \left[2\sqrt{4+2\sqrt{2}} + \sqrt{4-2\sqrt{2}} \right] \delta \overline{OA}_1^2 / 4 = 2\delta \overline{OA}_1^2 \cos^3 22.5^\circ$$

Obzirom da je krak p konstantan treba sam izvršiti integraciju nadenih izraza za statički moment površine. Kako je osa η istodobno i osa simetrije to je dovoljno naći integral od 1 do 4 i nadeni vrijednost pomnožiti sa dva tako da će biti

$$\begin{aligned} -\frac{1}{I_\eta} \int_0^L p S_{\eta_4} ds &= -\frac{2p}{I_\eta} \int_0^{L/2} S_{\eta_4} ds = -\frac{2p}{I_\eta} \left[\int_1^2 S_{\eta_4} ds + \int_2^3 S_{\eta_4} ds + \int_3^4 S_{\eta_4} ds \right] = \\ &= \frac{p\delta}{2I_\eta} \int_0^{2\overline{OA} \sin 22.5^\circ} \left[\left(2\sqrt{2} \overline{OA}_1 s_1 + \sqrt{2-\sqrt{2}} s_1^2 \right) ds_1 + \left(\sqrt{4+2\sqrt{2}} \overline{OA}_1^2 + 4\overline{OA}_1 s_2 + \sqrt{2-\sqrt{2}} s_2^2 \right) ds_2 + \right. \\ &+ \left. \left(2\sqrt{4+2\sqrt{2}} \overline{OA}_1^2 + 2\sqrt{2} \overline{OA}_1 s_3 + \sqrt{2+\sqrt{2}} s_3^2 \right) ds_3 \right] = \\ &= \frac{p\delta \overline{OA}_1^3}{2I_\eta} \left[6\sqrt{4+2\sqrt{2}} \sin 22.5^\circ + 4(2\sqrt{2}+2) \sin^2 22.5^\circ + \frac{8}{3} \sqrt{2-\sqrt{2}} (3+\sqrt{2}) \sin^3 22.5^\circ \right] = \\ &= \frac{14}{3} \frac{p\delta \overline{OA}_1^3}{I_\eta}; \quad \eta_{E,0} = \frac{7\sqrt{2+\sqrt{2}} (1+\psi)^3}{16+28\sqrt{2} (1+\psi^2)} D_2 \approx 0.913 D_2 = 246.51 \text{ mm} \end{aligned}$$

pri čemu je uzeto da je $D_2 = 270$ mm i $\delta = 5$ mm.

Usljed ekscentričnosti sile vjetra u odnosu na središte smicanja dolazi do stvaranja momenta uvijanja M_t koji je dan izrazom

$$M_t = F_x \times \eta_{E,0} \times \cos 22.5^\circ = T_\xi \eta_{E,0}$$

kao i tokova uslijed djelovanja sile vjetra kao transverzalne sile koji su dani izrazom

$$t_x = -\frac{\overline{T}_\eta}{I_\xi} \int_0^s \eta \delta ds - \frac{\overline{T}_\xi}{I_\eta} \int_0^s \xi \delta ds = -\frac{\overline{T}_\eta}{I_\xi} S_{\xi_0} - \frac{\overline{T}_\xi}{I_\eta} S_{\eta_0}$$

pri čemu su efektivne transverzalne sile \overline{T}_ξ i \overline{T}_η ravne stvarnim silama T_ξ i T_η jer je centrifugalni moment inercije ravan nuli. Tok od momenta uvijanja je

$$\tau_{\max} = \frac{M_t \delta}{I_t} = \frac{3M_t}{L\delta^2}, \quad t_{M_t} = \delta \tau = \frac{3M_t}{L\delta} = \frac{6\sqrt{2} M_t}{(1-\psi^2) D_2^2} = \frac{21(28\sqrt{2}-16)\sqrt{4+2\sqrt{2}} (1+\psi)^3}{656(1-\psi^4)} \frac{T_\xi}{D_2}$$

a za tok od sile vjetra za presjek na osi η , vodeći računa da je za taj presjek zbog simetrije statički moment površine $S_{z4} = 0$, može se pisati

$$t_4 = \frac{\bar{T}_z}{I_\eta} S_{\eta_4} = -\frac{384 \times 2\delta \overline{OA_1} \cos^3 22.5^\circ}{(4 + 7\sqrt{2})(1 - \psi^4) D_2^4} T_z = -\frac{12(7\sqrt{2} - 4)(1 + \psi) \cos^4 22.5^\circ}{41(1 + \psi^2)} \frac{T_z}{D_2}$$

kada se usporede tokovi od momenta uvijanja i od smicanja vidi se da je ovaj drugi zanemariva veličina pa će se računati samo s tokom od uvijanja za koji se može pisati

$$t_{M_1} = \frac{21(28\sqrt{2} - 16)\sqrt{4 + 2\sqrt{2}}(1 + \psi)^3}{656(1 - \psi^4)} \frac{T_z}{D_2} = 106.559 \frac{T_z}{D_2}$$

Za danu debljinu otporni će momenti biti

$$W_1 = 0.01014 D_2^3; \quad W_2 = 0.00512 D_2^3;$$

a normalno naprezanje

$$\sigma = \frac{M_\eta}{W_1} \left(\frac{\xi}{\xi_{\max}} \right) + \frac{M_z}{W_2} \left(\frac{\eta}{\eta_{\max}} \right)$$

Za proračun momenta savijanja pretpostavlja se krak sile u odnosu na presjek u kojem se normalno naprezanje računa da je $h = 6$ m pa su momenti savijanja

$$M_z = h T_\eta, \quad M_\eta = h T_z$$

tako da je normalno naprezanje

$$\sigma = \frac{h T_z}{W_1} \left(\frac{\xi}{\xi_{\max}} \right) + \frac{h T_\eta}{W_2} \left(\frac{\eta}{\eta_{\max}} \right) = \frac{h}{D_2^3} \left[\frac{T_z}{0.01014} \left(\frac{\xi}{\xi_{\max}} \right) + \frac{T_\eta}{0.00512} \left(\frac{\eta}{\eta_{\max}} \right) \right]$$

Postoje dvije moguće kombinacije i to

$$\begin{aligned} T_{z_1} &= F \cos 22.5^\circ, & T_{\eta_1} &= F \sin 22.5^\circ, \\ T_{z_2} &= F \sin 22.5^\circ, & T_{\eta_2} &= F \cos 22.5^\circ. \end{aligned}$$

tako da je

$$\begin{aligned} \sigma_1 &= \frac{hF}{D_2^3} \left[\frac{\cos 22.5^\circ}{0.01014} \left(\frac{\xi}{\xi_{\max}} \right) + \frac{\sin 22.5^\circ}{0.00512} \left(\frac{\eta}{\eta_{\max}} \right) \right] = \frac{hF}{D_2^3} \left[91.1124 \left(\frac{\xi}{\xi_{\max}} \right) + 74.7429 \left(\frac{\eta}{\eta_{\max}} \right) \right] \\ \sigma_2 &= \frac{hF}{D_2^3} \left[\frac{\sin 22.5^\circ}{0.01014} \left(\frac{\xi}{\xi_{\max}} \right) + \frac{\cos 22.5^\circ}{0.00512} \left(\frac{\eta}{\eta_{\max}} \right) \right] = \frac{hF}{D_2^3} \left[37.7400 \left(\frac{\xi}{\xi_{\max}} \right) + 180.4452 \left(\frac{\eta}{\eta_{\max}} \right) \right] \end{aligned}$$

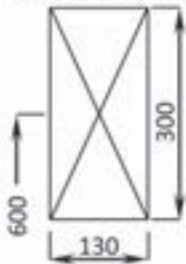
ekstremne su vrijednosti u točkama 4, 5 i 6 a između njih se naprezanje mijenja linearno, tako će biti

$$\sigma_{4,1} = 91.1124 \frac{hF}{D_2^3},$$

$$\sigma_{5,2} = 154.2802 \frac{hF}{D_2^3},$$

$$\sigma_{6,2} = 180.4452 \frac{hF}{D_2^3} = \sigma_{\max}$$

Sila F se dobiva na istovjetan način kao i u slučaju samostalne signalizacije s tim što je sada površina nešto veća. Površina panoa A će biti



$$A = 1.30 \times 3.00 = 3.90 \text{ m}^2$$

pa je za zakonom predviđen tlak vjetra od 1100 Pa sila iznosi

$$F_1 = 1100 \times 1.2 \times 3.90 = 5148 \text{ N}$$

Dok je za tlak vjetra od 2250 Pa sila ima intenzitet

$$F_2 = 2250 \times 1.2 \times 3.90 = 10530 \text{ N}$$

a maksimalne vrijednosti normalnog naprezanja će biti

$$\sigma_{\max,1} = 180.4452 \frac{hF_1}{D_2^3} = 180.4452 \times \frac{6.00 \times 5148}{0.27^3} = 283.168 \times 10^6 \text{ Pa} = 283.168 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\max,2} = 180.4452 \frac{hF_2}{D_2^3} = 180.4452 \times \frac{6.00 \times 10530}{0.27^3} = 579.207 \times 10^6 \text{ Pa} = 579.207 \text{ MPa}$$

pri čemu je dopušteno normalno naprezanje $\sigma_{\text{dop}} = 380/2.9 = 130 \text{ MPa}$ za Č0370 a posmično oko 75% - 80% toga.

Treba naglasiti da je materijal stupa nepoznat pa je birana ova vrijednost kao najnepovoljnija, za opće konstrukcijske čelike, inače, dopušteno naprezanje ne prelazi vrijednosti 180 MPa ni za kvalitetnije čelike. Jednako tako nisu uzeti u obzir ostali otpori (otpor stupa i rasvjetnih tijela).

Tokovi i posmična naprezanja od momenta uvijanja će biti

$$t_{M_t} = 106.559 \frac{T_t}{D_2} = 106.559 \frac{F \cos 22.5^\circ}{0.27} = 364.621 F$$

$$t_1 = 364.621 F_1 = 364.621 \times 5148 = 1.877 \times 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}} = 1.877 \frac{\text{MN}}{\text{m}}$$

$$\tau_1 = \frac{t_1}{\delta} = \frac{1.877}{0.005} = 375.40 \frac{\text{MN}}{\text{m}^2} = 375.40 \text{ MPa}$$

$$t_2 = 364.621 F_2 = 364.621 \times 10530 = 3.839 \times 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}} = 3.839 \frac{\text{MN}}{\text{m}}$$

$$\tau_2 = \frac{t_2}{\delta} = \frac{3.839}{0.005} = 767.80 \frac{\text{MN}}{\text{m}^2} = 767.80 \text{ MPa}$$

Kao što se vidi naprezanja daleko premašuju dopuštene vrijednosti te ovakav idejni projekt nije prikladan na teritoriju grada Mostara..

ZAKLJUČAK:

Obzirom na činjenicu da na teritoriju grada Mostara brzina vjetra često premašuje vrijednosti koje odgovaraju trećoj vjetrovnoj zoni i dostižu brzine od 60 m/s, tj. oko 216 km/h pa i više predlaže se

izvođenje urbano – turističke signalizacije pomoću samostalnih signalizacije gdje je grupirano ne više od devet (9) tabela. Radi preglednosti povoljnije je ići na manji broj tabela ali sa povećanim brojem grupa.

Stupovi bi se izvodili od cijevi vanjskog promjera 133 mm i debljine stjenke 6.3 mm ili vanjskog promjera 140 mm i debljine stjenke 5.6 mm, materijal Č0370 maksimalne visine od 3.35 m. Pri vezivanju lima panoa (aluminijski lim prema idejnom projektu – vjerojatno se mislilo na neku slitinu kao što je dural ili sl. što se i predlaže) obratiti pažnju na način vezivanja za stupove.

Postavljanje putokaza na rasvjetne stupove u obzir dolazi samo izuzetno i to po jedinačno a najbolje je izbjeći to jer bi zbog jakih udara vjetra moglo doći do rušenja same konstrukcije i ugrožavanja sigurnosti prometa i pješaka.

Predlaže se jednako tako da se biraju dimenzije tabela prvenstveno 125x25 cm².

LITERATURA

- Določek, V., Š. Bogdan 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.
- Muftić, O. i suradnici, (2002). *Osnovi ergonomoje*, 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 Company.

Examination of Possibilities for Placing Urban Tourist Signalization on Lighting Poles in the City of Mostar and Their Impact on Traffic Safety

Bogdan Šimun

Prof. dr sc., full professor at the Faculty of Mechanical Engineering and Computer Science, the University of Mostar, Bosnia and Herzegovina, simun.bogdan@sve-mo.ba

Abstract: Putting up of freestanding signalization along the carriageway just like the placing of signalization on lighting poles are anticipated under the City of Mostar urban-tourist signalization project. The City of Mostar is situated in the third wind zone where the law envisages the possibility of winds blowing at the speed of up to around $v = 42$ m/s i.e. 151 km/h, resulting in the dynamic pressure of $q = av^2/2 = 1100$ Pa, and the verification of buildings' resistance to the impact of such pressure. In reality, even higher wind speeds were measured in the city and in the surroundings which exceeded the speed of around 200 km/h i.e. 60 m/s, resulting in the dynamic pressure of $q_1 = 2250$ Pa. It is for the above reasons that an examination of resistance will be performed for both cases just like of their impact on traffic safety in the City of Mostar.

Key words: vehicle speed, signalization, wind speed, moment of inertia (inertness), moment of resistance of the cross-section surface.