

# Proračun čelične konstrukcije prema europskim prednormama

Mehmed Čaušević, Daniel Repac

## Ključne riječi

čelične konstrukcije, eurokod, djelovanje vjetra, poredbena brzina vjetra, Reynoldsov broj, unutarnje sile, dinamička analiza

## Key words

steel structures, Eurocode, wind action, comparable wind speed, Reynolds number, internal forces, dynamic analysis

## Mots clés

constructions métalliques, Eurocode, action du vent, vitesse comparée du vent, nombre de Reynolds, forces internes, analyse dynamique

## Ключевые слова:

стальные конструкции, Еврокод, действие ветра, сравнительная скорость ветра, число Рейнольдса, внутренние силы, динамический анализ

## Schlüsselworte:

Stahlkonstruktionen, Eurocode, Windauswirkung, vergleichende Windgeschwindigkeit, Reynoldssche Zahl, innere Kräfte, dynamische Analyse

M. Čaušević, D. Repac

Prethodno priopćenje

## Proračun čelične konstrukcije prema europskim prednormama

Prikazan je proračun čeličnih rasvjetnih stupova stadiona u Širokom Brijegu, BiH. Opterećenje je izračunano prema dijelu Eurokoda 1 (EC1) za djelovanje vjetra, a konstrukcija je dimenzionirana prema EC3. Za određivanje sila vjetra upotrijebljen je prijedlog zemljovida, koji je sastavni dio Državnog dokumenta (DDP) za primjenu te prednorme u Hrvatskoj. Djelovanje je vjetra izračunano i prema važećem Pravilniku. To je dalo niže vrijednosti sila u odnosu na one prema EC3 i DDP.

M. Čaušević, D. Repac

Preliminary note

## Steel structure design based on European prestandards

The design of steel lighting posts for the stadium in Široki Brijeg, Bosnia and Herzegovina, is presented. The load is calculated according to the Eurocode 1 (EC1) for the wind load, and the structure is dimensioned according to EC3 provisions. In the determination of wind force, the designers used the map proposal that is an integral part of the national document (DDP) for the implementation of this prestandard in Croatia. The wind action was also calculated in accordance with the applicable Regulations. This has provided lower force values when compared to values based on EC3 and DDP.

M. Čaušević, D. Repac

Note préliminaire

## Calcul d'une construction en acier suivant les prénormes européennes

L'article présente le calcul des poteaux d'éclairage métalliques du stade de Širokom Brijegu, en Bosnie et Herzégovine. Pour la charge de vent on a utilisé l'Eurocode 1 (EC1), tandis que la construction a été dimensionnée selon l'EC3. Pour la détermination des forces du vent on a utilisé le projet de carte géographique qui fait partie du Document national (DDP) qui régit l'application de cette prénorme en Croatie. L'action du vent a été calculée également selon le Règlement en vigueur, et les résultats obtenus ont fourni des valeurs inférieures à celles obtenues par l'EC3 et le DDP.

M. Чаушевић, Д. Репач

Предварительное сообщение

## Расчёт стальной конструкции по европейским преднормам

В работе показан расчёт стальных осветительных столбов стадиона в Широком Бреге в БиХ. Нагрузка рассчитана по Еврокоду 1 (EC 1) для действия ветра, а размеры конструкции установлены по EC 3. Для определения сил ветра употреблено предложение карты, являющейся составной частью Государственного документа (DDP) для применения той предnormы в Хорватии. Действие ветра рассчитано и по существующим правилам. Это дало более низкие значения сил по сравнению с теми по EC 3 и DDP.

M. Čaušević, D. Repac

Vorherige Mitteilung

## Stahlkonstruktionsberechnung nach Europäischen Vornormen

Dargestellt ist die Berechnung von stählernen Beleuchtungsmästen des Stadions in Široki Brijeg, BiH. Die Belastung wurde nach dem Teil des Eurocode 1 (EC1) für die Windbelastung berechnet, und die Konstruktion nach EC3 bemessen. Für die Festlegung der Windkraft benützte man den Vorschlag für die Landkarte die ein Bestandteil des staatlichen Dokuments (DDP) für die Anwendung dieser Vornorm in Kroatien ist. Die Windauswirkung wurde nach der gültigen Vorschrift berechnet. Das ergab geringere Werte der Kräfte im Vergleich mit denen nach EC3 und DDP.

Autori: Prof. dr. sc. **Mehmed Čaušević**, dipl. ing. građ.; **Daniel Repac**, dipl. ing. građ. Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet, V. C. Emina 5, Rijeka

## 1 Proračun djelovanja vjetra na stup i reflektore prema ENV 1991-2-4

### 1.1 Djelovanje vjetra na stup

Vanjski tlak vjetra  $w_e$  djeluje na vanjske površine konstrukcije a definiran je u dijelu 5.2. ENV 1991-2-4:

$$w_e = q_{ref} c_e(z_e) c_{pe}(z_e) \quad (1)$$

Značenja oznaka u izrazu (1) objasniti će se u nastavku.

(a) Poredbeni tlak vjetra  $q_{ref}$  definiran je u dijelu 7.1. ENV 1991-2-4 (odgovara poredbenoj brzini vjetra) i određuje se iz:

$$q_{ref} = \frac{\rho v_{ref}^2}{2} \quad (2)$$

$v_{ref}$  - je poredbena brzina vjetra definirana u dijelu 7.2. ENV 1991-2-4 :

$$v_{ref} = c_{DIR} c_{TEM} c_{ALT} v_{ref,0} \quad (3)$$

gdje je

$v_{ref,0}$  - osnovna poredbena brzina vjetra

$c_{DIR} = 1.0$  - koeficijent smjera vjetra

$c_{TEM} = 1.0$  - koeficijent ovisan o godišnjem dobu

$c_{ALT} = 1.0$  - koeficijent nadmorske visine

Sva tri navedena koeficijenta definirana su u Dodatku A, ENV 1991-2-4

Osnovne poredbene brzine vjetra  $v_{ref,0}$  dane su po područjima unutar svake države koja se koristi Eurokodom. Vrijednosti  $v_{ref,0}$  jedan su od najvažnijih podataka za proračun konstrukcija na djelovanja vjetrom. Prema ENV 1991-2-4  $v_{ref,0}$  predstavlja desetominutne prosječne brzine vjetra na visini 10 metara, na terenu II. kategorije pri godišnjoj vjerojatnosti premašaja te vrijednosti od 0.02, za povratno razdoblje od 50 godina. Zemljovid raspodjele poredbene brzine vjetra koji propisuje naš Državni zavod za normizaciju i mjeriteljstvo u okviru Državnog dokumenta za primjenu (DDP), dan je (još u obliku prijedloga) na slici 1. Iz ove slike jest:

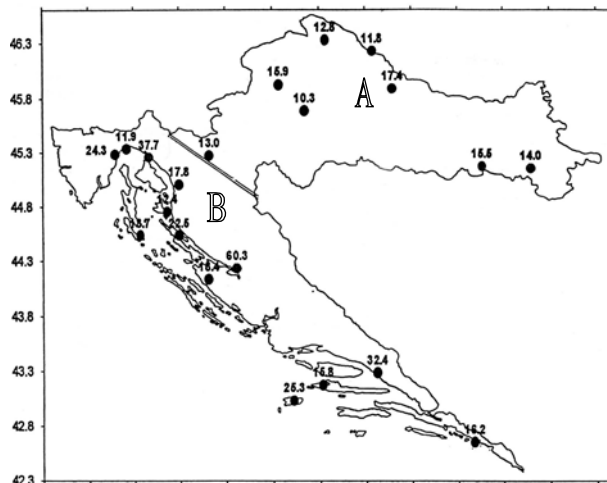
Područje A:  $v_{ref,0} = 20.00 \text{ ms}^{-1}$

Područje B:  $v_{ref,0} = 30.00 \text{ ms}^{-1}$

$\rho = 1.25 \text{ kgm}^{-3}$  - gustoća zraka koja ovisi o nadmorskoj visini, temperaturi i tlaku zraka koji se očekuje u određenom vjetrovnom području za oluje.

$$q_{ref} = 1,25 \frac{30.00^2}{2}$$

$$q_{ref} = 562.50 \text{ Nm}^{-2} = 0.563 \text{ kNm}^{-2}$$



Slika 1. Prijedlog zemljovida raspodjele osnovne poredbene brzine vjetra

(b) Koeficijent izloženosti vjetru  $c_e(z_e)$ , koji uzima u obzir učinke hrapavosti terena, topografiju i visinu iznad tla kod srednje brzine vjetra i mjere (*stupnja*) uzburkanosti (*turbulencije*), definiran je u dijelu 8.5. ENV 1991-2-4 i ima vrijednost:

$$c_e(z) = c_r^2(z) c_t^2(z) [1 + 2gI_V(z)] \quad (4)$$

gdje je:

$g$  - vršni koeficijent

$c_r(z)$  - koeficijent hrapavosti

$c_t(z)$  - topografski koeficijent

$I_V(z)$  - mjera uzburkanosti.

Koeficijent izloženosti vjetru  $c_e(z)$  u nivou temelja i na visini reflektora (slika 4.) ima ove vrijednosti:

$$c_e(0) = 0.90^2 1.00^2 [1 + 2 \cdot 3.73 \cdot 0.19]$$

$$c_e(0) = 1.95$$

$$c_e(34) = 1.38^2 1.00^2 [1 + 2 \cdot 3.73 \cdot 0.12]$$

$$c_e(34) = 3.66$$

(c) Koeficijent vanjskog tlaka  $c_{pe}(z)$  za građevine i dijelove građevina definiran je u dijelu 10. ENV 1991-2-4 i prikazan u mjerodavnim tablicama za odgovarajuće oblike građevina i opterećene plohe površina od  $1 \text{ m}^2$  i  $10 \text{ m}^2$ :

$$c_{pe} = c_{p,0} \psi \lambda \alpha \quad (5)$$

$c_{p,0}$  - koeficijent vanjskog tlaka elementa beskonačne vitkosti

$\psi_{\lambda\alpha}$  - koeficijent umanjenja s obzirom na vitkost.

Koeficijent vanjskog tlaka za kružni poprečni presjek definiran je u dijelu 10.8. ENV 1991-2-4 i ovisi o Reynoldsovu broju (slika 2.):

$$Re = \frac{b v_m(z_e)}{\nu} \quad (6)$$

gdje je:

$\nu = 15 \times 10^{-6}$  - kinematska viskoznost zraka

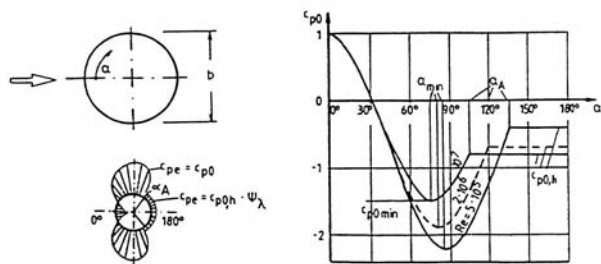
$b = 0,960$  m - za  $z = 0,00$  m

$b = 0,296$  m - za  $z = 34,00$  m

Srednja brzina vjetra za  $z = z_{equ}$  definirana je u dijelu 8.1.ENV 1991-2-4 i u ovom slučaju ima sljedeću vrijednost:

$$v_m(0) = c_r(0) c_t(0) v_{ref} = 0,90 \cdot 1,00 \cdot 30,00 = 27,00 \text{ ms}^{-1}$$

$$v_m(34) = c_r(34) c_t(34) v_{ref} = 1,38 \cdot 1,00 \cdot 30,00 = 41,40 \text{ ms}^{-1}$$



Slika 2. Raspodjela tlaka na valjku pri različitim Reynoldsovim brojevima i beskonačnoj vitkosti

Tablica 1. Tipične vrijednosti krivulja sa slike 2. (međuvrijednosti se smiju linearno interpolirati)

$Re$	$\alpha_{min}$	$C_{p,o,min}$	$\alpha_A$	$C_{p,o,h}$
$5 \times 10^5$	85	-2.2	135	-0.4
$2 \times 10^6$	80	-1.9	120	-0.7
$10^7$	75	-1.5	105	-0.8

$\alpha_{min}$  - mjesto najmanjeg tlaka

$C_{p,o,min}$  - vrijednost najmanjeg koeficijenta tlaka

$\alpha_A$  - mjesto odvajanja strujanja

$C_{p,o,h}$  - koeficijent tlaka zavjetrenog dijela valjka

$$Re(0) = \frac{0,96 \cdot 27,00}{15 \cdot 10^{-6}} = 1,73 \cdot 10^6 \rightarrow \alpha_A = 120,51^\circ \rightarrow c_{p0,h} = 0,70$$

$$Re(34) = \frac{0,296 \cdot 41,40}{15 \cdot 10^{-6}} = 0,82 \cdot 10^6 \rightarrow \alpha_A = 131,82^\circ \rightarrow c_{p0,h} = 0,46$$

$$c_{pe} = c_{p,0} \quad i \quad \psi_{\lambda\alpha} = 1,0 \quad za \quad 0^\circ \leq \alpha \leq \alpha_A$$

$$360^\circ - \alpha_A \leq \alpha \leq 360^\circ$$

$$c_{pe} = c_{p0,h} \cdot \psi_{\lambda\alpha} \quad i \quad \psi_{\lambda\alpha} = \psi_{\lambda} \quad za \quad \alpha_A \leq \alpha \leq 360^\circ - \alpha_A$$

$\Psi_{\lambda} = 0,88$  - koeficijent umanjenja s obzirom na vitkost za  $\lambda = l/b = 54,14$  i  $\varphi = 1$  (stupanj punoće)

$$c_{pe}(0) = \frac{2}{3} \cdot 1 \cdot \frac{30^\circ}{360^\circ} \cdot 2 + 0,70 \cdot \frac{59,50^\circ}{360^\circ} \cdot 2 \cdot 0,88 = 0,11 + 0,18$$

$$c_{pe}(0) = 0,29$$

$$c_{pe}(34) = \frac{2}{3} \cdot 1 \cdot \frac{30^\circ}{360^\circ} \cdot 2 + 0,46 \cdot \frac{48,18^\circ}{360^\circ} \cdot 2 \cdot 0,88 = 0,11 + 0,11$$

$$c_{pe}(34) = 0,22$$

Vanjski tlak vjetra  $w_e$  iz izraza (1) ima sljedeće vrijednosti:

- za  $h = 0,00$  m:

$$w_e'(0) = 0,563 \cdot 1,95 \cdot 0,29 = 0,32 \text{ kNm}^{-2}$$

$$w_e(0) = D(0) w_e'(0) = 0,960 \cdot 0,32 = 0,31 \text{ kNm}^{-1}$$

- za  $h = 34,00$  m :

$$w_e'(34) = 0,563 \cdot 3,66 \cdot 0,22 = 0,45 \text{ kNm}^{-2}$$

$$w_e(34) = D(34) w_e'(34) = 0,296 \cdot 0,45 = 0,13 \text{ kNm}^{-1}$$

## 1.2 Djelovanje vjetra na reflektore

Globalna sila vjetra  $F_W$  na reflektore na slici 3. određuju se prema dijelu 6.1 ENV 1991-2-4:

$$F_W = q_{ref} c_e(z) c_d c_f A_{ref} \quad (7)$$

gdje je:

$c_d$  - dinamički koeficijent čija se vrijednost određuje prema poglavlju 9.

$c_f$  - koeficijent sile prema poglavlju 10.

$A_{ref}$  - poredbena površina za  $c_f$  (općenito projicirana ploha pročelja izložena vjetru bez uzimanja u obzir površina nosača reflektora) prema poglavlju 10.

$$A_{reflektora} = n_{refl} \cdot r_{refl}^2 \cdot \pi$$

$n_{refl} = 36$  - broj reflektora

$r_{refl} = 0,295$  m - polumjer reflektora

$$A_{reflektora} = 36 \cdot 0.295^2 \pi = 9.84 \text{ m}^2$$

$$q_{ref} = 0.563 \text{ kNm}^{-2}$$

$$c_e(34) = 3.67$$

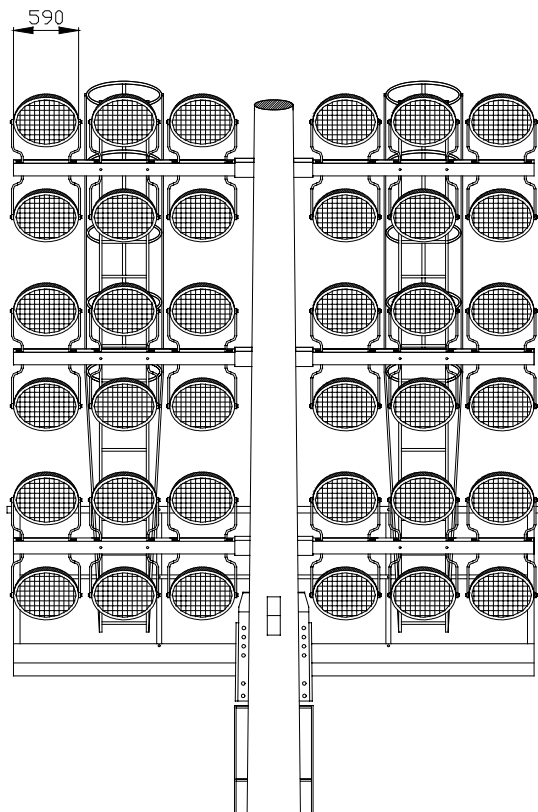
$$c_f = 2.5 \psi_\lambda \quad (8)$$

$$\psi_\lambda = 0.90 \text{ za } \lambda = 1.00 \text{ i } \varphi = \frac{9.84}{4.40 \cdot 4.40} = 0.51$$

$$c_f = 2.25$$

$$c_d = 1.20$$

$$F_w = 0,563 \cdot 3.67 \cdot 1.20 \cdot 2.25 \cdot 9.84 = 54.90 \text{ kN}$$

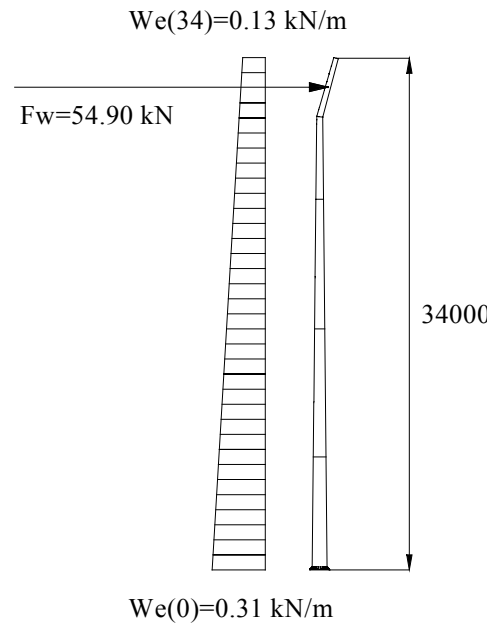


Slika 3. Dispozicija reflektora na stupu rasvjete

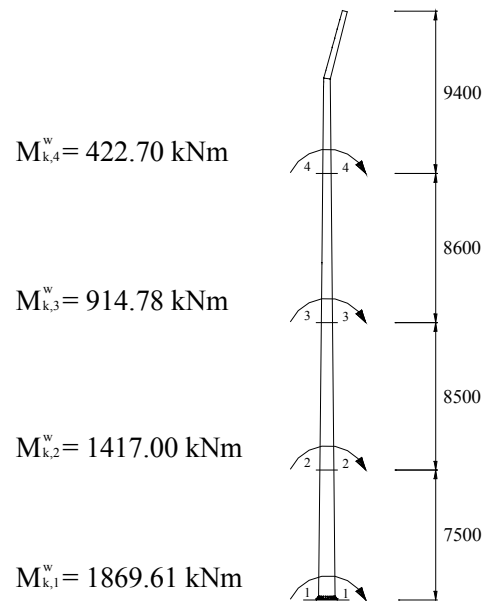
Na kraju su na slikama 4. i 5. za poredbenu brzinu vjetra  $v_{ref,0} = 30.00 \text{ ms}^{-1}$  prikazane vrijednosti djelovanja na konstrukciju i vrijednosti momenata savijanja.

Dijagram ovisnosti momenta savijanja  $M_{k,1}^w$  u poprečnom presjeku "1" o poredbenoj brzini vjetra dan je na slici 6.

U tablici 2. pokazana je ovisnost momenta savijanja u poprečnom presjeku "1" o poredbenoj brzini vjetra, pri čemu su istaknute vrijednosti momenata savijanja u poprečnom presjeku "1" za poredbenu brzinu vjetra na području Senja ( $v_{ref,0} = 37.70 \text{ ms}^{-1}$ ) i području Maslenice ( $v_{ref,0} = 60.30 \text{ ms}^{-1}$ ) prema zemljovidu na slici 1.



Slika 4. Vanjski tlak vjetra za poredbenu brzinu vjetra  $v_{ref,0} = 30.00 \text{ ms}^{-1}$



Slika 5. Momenti savijanja u presjecima 1, 2, 3, 4

Uočava se da točke dijagrama na slici 6. povezuje krivulja drugog reda, tj. tjemena parabola, čija jednadžba glasi:

$$y^2 = 2px \quad (9)$$

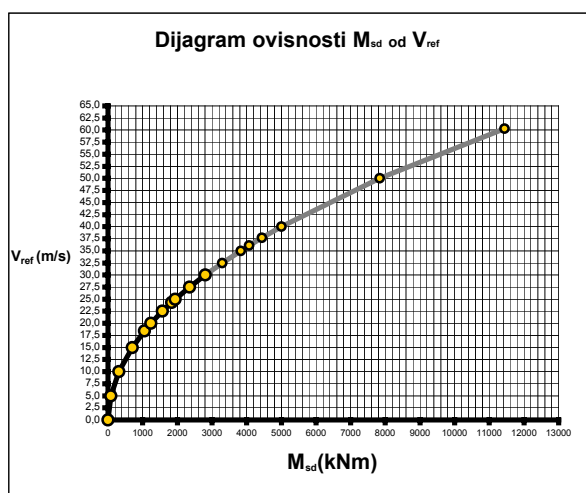
gdje je:

$$y = v_{ref} [ms^{-1}]$$

$$x = M_{sd} [kNm]$$

$p$  – parametar jednadžbe koji ima ovu vrijednost:

$$p = \frac{v_{ref}^2}{2M_{sd}} \quad (10)$$



Slika 6. Ovisnost momenta savijanja u poprečnom presjeku "1" o poredbenoj brzini vjeta

Tablica 2. Ovisnost momenta savijanja u poprečnom presjeku "1" o poredbenoj brzini vjeta

$V_{ref,0}$	$F_W$	$M_{sd}$
5,00	1,52	83,69
10,00	6,10	313,25
15,00	13,75	699,95
18,40	20,67	1051,33
<b>20,00</b>	<b>24,38</b>	<b>1240,39</b>
22,50	30,81	1568,68
24,30	36,08	1838,24
25,00	38,12	1942,38
27,50	46,12	2352,28
<b>30,00</b>	<b>54,90</b>	<b>2804,42</b>
32,50	64,35	3292,56
35,00	74,69	3827,45
36,11	79,47	4074,01
<b>37,70</b>	<b>86,58</b>	<b>4439,89</b>
40,00	97,51	5002,81
50,00	152,40	7841,18
60,30	221,63	11441,14

## 2 Dimenziranje prema reznim silama izračunanim uporabom ENV 1991-2-4

Materijal stupa je čelik kvalitete S 355 za debljinu elementa  $t \leq 40$  mm. Dimenzioniranje nosača rasvjete provedeno je za poredbenu brzinu vjeta:

$$v_{ref} = 30 \text{ ms}^{-1}$$

### 2.1 Računske vrijednosti reznih sila u poprečnom presjeku "1":

- Računska vrijednost momenta savijanja u presjeku "1":

$$M_{Sd,1} = \gamma_F M_{k,1}^W$$

$\gamma_F = 1.50$  - parcijalni koeficijent sigurnosti za djelovanje vjeta na konstrukciju

$$M_{k,1}^W = 1869.61 \text{ kNm}$$

$$M_{Sd,1} = 1.50 \cdot 1869.61 = 2804.42 \text{ kNm}$$

- Računska vrijednost poprečne sile u presjeku "1":

$$V_{Sd,1} = \gamma_F V_{k,1}^W$$

$$\gamma_F = 1.50$$

$$V_{k,1}^W = 62.38 \text{ kN}$$

$$V_{Sd,1} = 1.50 \cdot 62.38 = 93.57 \text{ kN}$$

- Računska vrijednost uzdužne sile u presjeku "1":

$$N_{Sd,1} = \gamma_F N_{G,1}$$

$\gamma_F = 1.35$  - parcijalni koeficijent sigurnosti za stalno djelovanje na konstrukciju

$$N_{G,1} = 80.00 \text{ kN}$$

$$N_{Sd,1} = 1.35 \cdot 80.000 = 108.00 \text{ kN}$$

### 2.2 Proračun minimalne debljine stijenke nosača:

Usvaja se poprečni presjek klase 3.

Rezne sile i otpornost poprečnog presjeka računaju se prema teoriji elastičnosti. otpornost poprečnog presjeka dosegnuta je kada rub presjeka dosegne granicu popuštanja.

Poprečni presjek ili neki njegov dio neće se lokalno izbočiti prije dosezanja granične nosivosti.

Za treću klasu poprečnog presjeka vrijedi:

$$\frac{D}{t} \leq 90\varepsilon^2 \text{ gdje je } \varepsilon^2 = \frac{235}{f_y} = 0.66$$

$$t \geq \frac{D}{90\varepsilon^2} = \frac{960}{90 \cdot 0.66} = 16.16 \text{ mm}$$

Usvaja se  $t = 18.00 \text{ mm}$

### 2.3 Računska otpornost poprečnog presjeka "1":

$A = 532.69 \text{ cm}^2$  - površina poprečnog presjeka "1"

$I = 591076.43 \text{ cm}^4$  - moment inercije poprečnog presjeka "1"

$W_{el} = 12314.10 \text{ cm}^3$  - elastični moment otpora poprečnog presjeka "1"

- Računska otpornost poprečnog presjeka "1" na savijanje:

$$M_{C,Rd,1} = W_{el} \frac{f_y}{\gamma_{M_0}}$$

$f_y = 35.50 \text{ kNcm}^{-2}$  - granica popuštanja čelika  
 $\gamma_{M_0} = 1.10$  - parcijalni koeficijent sigurnosti za otpornost poprečnog presjeka klasa 1., 2. i 3.

$$M_{C,Rd,1} = 12314.10 \frac{35.50}{1.10} = 3974.10 \text{ kNm}$$

$M_{C,Rd,1} \geq M_{Sd,1} = 2804.42 \text{ kNm}$  - zadovoljava

- Računska plastična otpornost poprečnog presjeka "1" na posmik:

$$V_{pl,Rd,1} = A_v \frac{f_y}{\sqrt{3} \gamma_{M_0}}$$

$$A_v = 2Dt = 2 \cdot 96 \cdot 1.8 = 345.60 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl,Rd,1} = 345.60 \frac{35.50}{\sqrt{3} \cdot 1.10} = 6439.45 \text{ kN}$$

$V_{pl,Rd,1} \geq V_{Sd,1} = 93.57 \text{ kN}$  - zadovoljava

- Računska plastična otpornost poprečnog presjeka "1" na djelovanje uzdužne sile:

$$N_{pl,Rd,1} = A \frac{f_y}{\gamma_{M_0}}$$

$$N_{pl,Rd,1} = 532.69 \frac{35.50}{1.10} = 17191.30 \text{ kN}$$

$N_{pl,Rd,1} \geq N_{Sd,1} = 108.00 \text{ kN}$  - zadovoljava

- Interakcija M-N-V za poprečni presjek "1" (poprečni presjek je treće klase):

$$V_{Sd,1} = 93.57 \text{ kN}$$

$$V_{pl,Rd,1} = 6439.45 \text{ kN}$$

Elastična interakcijska formula za  $V_{Sd} \leq 0.5 V_{Rd}$  glasi:

$$\frac{M_{y,Sd}}{M_{y,Rd}} + \frac{M_{z,Sd}}{M_{z,Rd}} \leq 1 - n$$

gdje je:  $n = \frac{N_{Sd}}{N_{Rd}} = \frac{108.00}{17191.30}$  i  $M_{z,Sd} = 0.00 \text{ kNm}$

$$\frac{2804.42}{3974.10} + 0 \leq 1 - \frac{108.00}{17191.30}$$

$0.7057 \leq 1 - 0.0063 = 0.9937$  - zadovoljava

### 3 Proračun spoja stupa s temeljem

- Računska vlačna sila na jedan vijak:

$$F_{t,Sd} = \frac{M_{Sd} - N_{Sd} \cdot d}{\sum y^2} y_{\max}$$

$$\sum y^2 = y_1^2 +$$

$$2 * [y_2^2 + y_3^2 + y_4^2 + y_5^2 + y_6^2 + y_7^2 + y_8^2 + y_9^2 + y_{10}^2 + y_{11}^2 + y_{12}^2] + y_{13}^2$$

$$\sum y^2 = 12750855.63 \text{ mm}^2$$

$$\sum y^2 = 12.75 \text{ m}^2$$

$$y_{\max} = 1162.50 \text{ mm} = 1.1625 \text{ m}$$

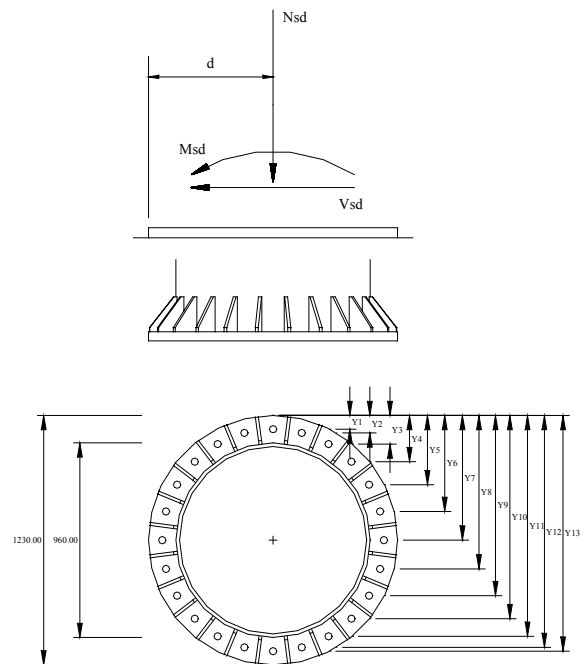
$$M_{Sd} = 2804.42 \text{ kNm}$$

$$N_{Sd} = 108.00 \text{ kN}$$

$$d = 0.615 \text{ m}$$

$$F_{t,Sd} = \frac{2804.42 - 108.00 \cdot 0.615}{12.75} \cdot 1.1625$$

$$F_{t,Sd} = 249.64 \text{ kN}$$



Slika 7. Spoj stupa s temeljem

- Računska posmična sila na jedan vijak:

Odabrani vijci:  $D = 30 \text{ mm}$  klase 8.8

Broj vijaka: 24

$$F_{v,Sd} = \frac{V_{Sd}}{n_{vijaka}} = \frac{93.57}{24}$$

$$F_{v,Sd} = 3.90 \text{ kN}$$

- Uvjet nosivosti ako istodobno djeluju  $F_{v,Sd}$  i  $F_{t,Sd}$ :

$$\frac{F_{v,Sd}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Sd}}{1.4F_{t,Rd}} \leq 1$$

$$\frac{3.90}{215.44} + \frac{249.64}{1.4 \cdot 323.12} \leq 1$$

0.57 ≤ 1 - zadovoljava

- Otpornost na vlak jednog vijka:

$$F_{t,Rd} = \frac{F_{t,Rk}}{\gamma_{Mb}} = \frac{0.9 f_{ub} A_S}{\gamma_{Mb}}$$

$f_{ub}$  - čvrstoća materijala vijka

$A_S$  - površina jezgre presjeka

$$F_{t,Rk} = 403.90 \text{ kN}$$

$\gamma_{Mb} = 1.25$  - parcijalni koeficijent sigurnosti otpornosti vijka

$$F_{t,Rd} = 323.12 \text{ kN}$$

$F_{t,Sd} \leq F_{t,Rd}$  - zadovoljava

- Otpornost na posmik jednog vijka:

$$F_{v,Rd} = \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_{Mb}} = \frac{C_1 f_{ub} A_S}{\gamma_{Mb}}$$

$C_1 = 0.6$  - za klase 4.6, 5.6 i 8.8

$$F_{v,Rk} = 269.30 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = 215.44 \text{ kN}$$

$F_{v,Sd} \leq F_{v,Rd}$  - zadovoljava.

#### 4 Proračun djelovanja i reznih sila prema sadašnjem Pravilniku [5]

Na veličinu djelovanja vjetra utječu brzina i pravac vjetra, udarno djelovanje vjetra, konfiguracija terena, zemljopisni položaj, zaštićenost objekta, oblik i dimenzije elementa odnosno konstrukcije itd. Sva navedena djelovanja obuhvaćaju se u Pravilniku samo izborom veličine osnovnog opterećenja vjetrom i koeficijentom oblika.

Osnovno opterećenje vjetrom  $q$  određuje se prema točki 1.5. Pravilnika i za nosač rasvjete u području jake bure III ima vrijednost:

$$q = 150 \text{ kpm}^{-2} = 1.47 \text{ kNm}^{-2}$$

Stvarno opterećenje vjetrom  $w$  definirano je u točki 1.6. Pravilnika i izračunava se na taj način što se odgovarajuće osnovno opterećenje vjetrom pomnoži s odgovarajućim koeficijentom oblika:

$$w = c q \left[ \text{kpm}^{-2} \right]$$

Koeficijent oblika  $c$  za cilindrične konstrukcije određuje se po točki 5.4. Pravilnika ovisno o hrapavosti površine i izduženosti konstrukcije, tj. odnosa između njene visine i promjera. Budući da nosač rasvjete nogometnog stadiona svojim karakteristikama nalik dimnjaku, odabran je koeficijent oblika za horizontalno djelovanje vjetra na dimnjake kružnog poprečnog presjeka po točki 5.46. Pravilnika:

$$c_h = 0.60$$

Znači da stvarno opterećenje vjetrom  $w$  prema točki 1.5. Pravilnika ima vrijednost:

$$w = c_h q = 0.60 \cdot 1.47 = 0.88 \text{ kNm}^{-2}$$

$$w(0) = b(0)w = 0.96 \cdot 0.88 = 0.84 \text{ kNm}^{-1}$$

$$w(34) = b(34)w = 0.296 \cdot 0.88 = 0.26 \text{ kNm}^{-1}$$

Sila vjetra na reflektore  $F_W$  iznositi će:

$$F_W = A_{\text{reflektora}} q c$$

$c = 0.80$  - za pritisak vjetra na vertikalnu površinu

$c = -0.40$  - za sisajuće djelovanje vjetra

$$F_W = 9.84 \cdot 1.47 [0.80 + 0.40] = 17.36 \text{ kN}$$

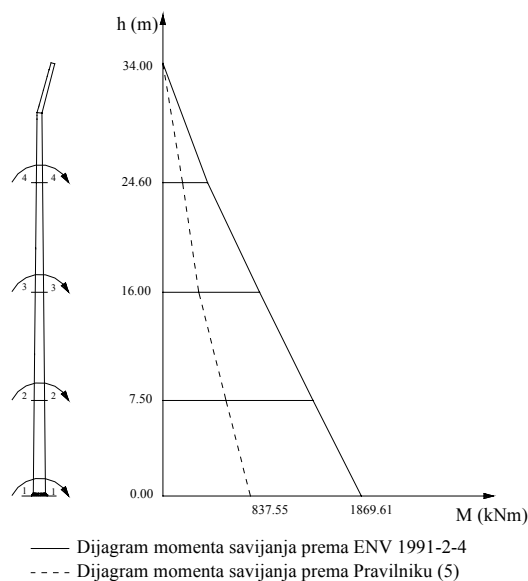
Moment savijanja u presjeku "1" ima vrijednost:

$$M_{w,1} = [w(0) - w(34)] \frac{l}{2} \frac{l}{3} + w(34) \frac{l^2}{2} + F_W 32.0 + G_{\text{reflek.}} e$$

$$M_{w,1} = 837.55 \text{ kNm}$$

Računski moment savijanja u presjeku "1":

$$M_{Sd} = \gamma_F M_{k,1}^w = 1256.33 \text{ kNm}$$



Slika 8. Usporedba vrijednosti momenata dobivenih prema ENV 1991-2-4 i sadašnjem Pravilniku

## 5 Zaključak

Prema važećem Pravilniku računski moment savijanja u presjeku 010 ima vrijednost  $M_{sd} = 1256.33 \text{ kNm}$ , a prema ENV 1991-2-4 i prijedlogu državnog dokumenta za primjenu ove europske norme za  $v_{ref,0} = 30.0 \text{ ms}^{-1}$  moment savijanja u presjeku 010 iznosi  $M_{sd} = 2804.42 \text{ kNm}$ .

ENV 1991-2-4 ovisnost vanjskog tlaka vjetra o navedenim činiocima uzima u obzir proračunom veličine poredbenog tlaka vjetra, koeficijentom izloženosti vjetru, koeficijentom vanjskog tlaka te dinamičkim koeficijentom.

Ovim je proračunom pokazano da je za navedenu konstrukciju dobro odabrana predložena vrijednost poredbene brzine vjetra  $v_{ref,0} = 30.0 \text{ ms}^{-1}$  za područje B prema prijedlogu zemljovida na slici 1.

Treba spomenuti da je osnovna poredbena brzina vjetra u Tršćanskom zaljevu (područje jake bure)  $v_{ref,0} = 31.0 \text{ ms}^{-1}$ ,

koju je propisao talijanski DDP za primjenu ENV 1991-2-4 u Italiji.

U zemljovidu na slici 1 je pokazano da su se na nekim lokacijama uz more mjerenjima dobile veće vrijednosti osnovnih poredbenih brzina vjetra  $v_{ref,0}$  od predložene vrijednosti za područje B. Za posebne lokacije na kojima djeluje snažna bura (na primjer područja Senja ili Maslenice) predloženim zemljovidom u okviru DDP dane su i posebne vrijednosti brzina vjetra, također za povratno razdoblje od 50 godina, te njih valja uporabiti za proračun konstrukcija koje će se graditi na tim lokacijama.

Konstrukcija koja je prikazana u ovom radu prema svojim karakteristikama neće izdržati brzine vjetra veće od  $130 \text{ m h}^{-1}$  ( $v_{ref,0} = 36.11 \text{ ms}^{-1}$ , tablica 2.), jer je u tom slučaju otpornost poprečnog presjeka 010 ovog stupa nedostatna ( $M_{C,Rd} < M_{sd}$ ).

## LITERATURA

- [1] Eurocode 1: *Basis of design and actions on structures*, Part 2-4: Actions on structures - Wind actions, ENV 1991-2-4.
- [2] Euronorma ENV 1991-2-4, *Osnove proračuna i djelovanja na konstrukcije*, dio 2-4: *Djelovanja na konstrukcije opterećene vjetrom*, Državni dokument za primjenu (DDP), u pripremi, Državni zavod za normizaciju i mjeriteljstvo, TO 98: *Djelovanja i potresi*.
- [3] Eurocode 3 – *Design of steel structures, Part 1-1: General rules and rules for buildings*, European Committee for Standardization, ENV 1993-1-1:1992.
- [4] SIST ENV 1991-2-4, Nacionalni dokument za uporabu v Sloveniji, siječanj 1998.
- [5] *Pravilnik o tehničkim propisima o djelovanju vjetra na nosive čelične konstrukcije*, HRN 41 od 14. listopada 1964.
- [6] Čaušević, M.: *Kombinacija opterećenja prema Eurokodu 1 i PBAB za proračun konstrukcija prema graničnom stanju nosivosti*, Zbornik radova Sabora hrvatskih graditelja, Cavtat, 2000, str. 365-373.
- [7] Cividini, B., Peroš, B., Žibrat, Z., Bajić, A., *Važnost postojanja mjerenja smjera i brzine vjetra na lokaciji građevinskog objekta – primjer Masleničkog mosta*, Četvrti opći sabor HDGK, Urednik J. Radić, pp. 369-375, Brijuni, 1998.
- [8] Androić, B.; Džeba, I.; Dujmović, D.: *Metalne konstrukcije 1*, IGH, Zagreb, 1994.
- [9] Androić, B.; Džeba, I.; Dujmović, D.: *Metalne konstrukcije 2*, IA Projektiranje, Zagreb, 1995.
- [10] Androić, B.; Džeba, I.; Dujmović, D.: *International Structural Steel Sections-Design Tables According to Eurocode 3*, Ernst & Sohn A Wiley Company, 2000.
- [11] Gould, P. L.; Abu-Sitta, S. H.: *Dynamic Response of Structures to 0*.