

ANALIZA I PRORAČUN ČELIČNOG DIMNJAKA VISINE H=40m PO EC-KODU I PREMA SRPS STANDARDU

Miroslav T. Bešević¹
Aleksandar Landović²
Aleksandar Prokić³
Dragana Tabaković⁴
Aniko Tešanović⁵

UDK: 24.042.41:692.71

DOI: 10.14415/zbornikGFS27.01

Rezime: U ovom radu se daje analiza uticaja od opterećenja prema Evrokodu odnosno SRPS standardu. Konstrukcija koja se analizira je čelični dimnjak visine H=40m kružnog konstantnog preseka prečnika D=1834mm za gornji deo stuba visine 33m i dela stuba promenljivog poprečnog preseka dimenzije na koti temelja D=2234mm. Za ovakve čelične konstrukcije dominantno je opterećenje od vetra. U analizi opterećenja su detaljno obrađene osnovne brzine vetra prema SRPS U.C7.110, odnosno na brzine vetra prema Evrokodu I za lokaciju Prahovo. Proračun modela za uticaje sopstvene težine, stalan teret i uticaje od vetra sproveden je prema teoriji drugog reda za prethodno formirane kombinacije opterećenja. U kombinacije su ušla opterećenja bez parcijalnih koeficijenata. Sprovedeno je dimenzionisanje segmenata dimnjaka različitih debljina po visini stuba, na nosivost poprečnih preseka plašta, na izbočavanje usled normalnih napona, na izbočavanje usled tangencijalnog napona i sprovedena je kontrola izbočavanje usled smičućeg napona.

Ključne reči: opterećenja, dejstva vetra, proračun, dimenzionisanja, standardi.

1. UVOD

Dimnjak je projektovan kao slobodno stojeći stub od čelika. Ankerovan je u armiranobetonski temelj sa 2x8 M 36 ankeri. Sastoji se od pet montažnih delova koji se spajaju zavrtnjima zbog lakše montaže. Donji deo je promenljivog poprečnog preseka dužine 7.50m, drugi segment je 7.50m konstantnog je poprečnog preseka, a treći i četvrti segment je dužine 8.50m, dok je peti najviši segment dužine 8.00m. Od drugog segmenta pa do kraja dimnjak je konstantnog poprečnog preseka. Dimnjak je sa duplim plaštom. Unutrašnji plašt je prečnika $\Phi=2334\text{mm}$ od lima debljine 5mm. Spoljni plašt je

¹ Dr. Miroslav T. Bešević, dipl. inž. građ., Građevinski fakultet Subotica, Kozaračka 2a, tel: 554-300, e-mail: miroslav.besevic@gmail.com

² mr. Aleksandar Landović, dipl. inž. građ., e-mail: landovic1@gmail.com

³ Dr Aleksandar Prokić, dipl. inž. građ., e-mail: aprokic@eunet.rs

⁴ Dragana Tabaković, dipl. inž. građ., e-mail: draganatabakovic@gmail.com

⁵ mr. Aniko Tešanović, dipl. inž. građ., e-mail: misan.dag@gmail.com

promenljivog prečnika do visine 7.50 m i to $\Phi=2334\text{mm}$ pri dnu do $\Phi=1834\text{mm}$. Od visine 7.50m do vrha prečnik je konstantan $\Phi=1834\text{mm}$. Debljine limova su promenljive od 6,8 do 10m pri dnu dimnjaka. Limovi se međusobno spajaju sučeonim šavovima kvaliteta I(prima). Dimnjak je projektovan na uticaje vetra prema SRPS standardima za lokaciju, a kompletan proračun je sproveden prema EC-kodu, dok na seizmičke uticaje nije računat ,jer seizmički uticaji nisu merodavni za stabilnost dimnjaka.

2. MATERIJAL ZA IZRADU DIMNJAKA

Svi limovi i profili su od čelika kvaliteta S235(Č.0361) JUS C.BO.500. Ankeri su $\Phi 36$ mm su takođe od istog čelika, obavezno sa duplim navrtkama. Zavrtnji prirubničkih spojeva su od čelika S420N/NL, obavezno sa duplim navrtkama. Šavovi su kvaliteta I(prima). Zaštitu dimnjaka izvesti prema Pravilniku o tehničkim merama i uslovima za zaštitu čeličnih konstrukcija od korozije, Sl.list SFRJ br.32/70, a za industrijsku zonu. Montažu dimnjaka raditi prema Pravilniku o tehničkim merama i uslovima za montažu čeličnih konstrukcija, Sl.list SFRJ br.35/70. Voditi računa o tačnom postavljanju ankerskih nosača i ankera i tačnom centrisanju-odnosno postavljanja prvog elementa koji se vezuje za temelj. Vertikalnost dimnjaka kontrolisati posle montaže svakog elementa. Izradu i kontrolu čelične konstrukcije dimnjaka vršiti u saglasnosti sa propisima za noseće čelične konstrukcije, Službeni list SFRJ br 26/1988.

3. STATIČKI PRORAČUN

- lokacija: Prahovo
- visina dimnjaka: 40.0 m

Proračunavanje osnovne brzine vetra prema SRPS U.C7.110 na brzinu vetra prema Evrokodu 1 za lokaciju Prahovo SRPS U.C7.110,

Najbliže metereološke stanice: Negotin - $v_{m,50,10}^B = 19 \text{ m/s}$ ($t = 3600 \text{ s} = 1 \text{ h}$)

- mereno 10 m iznad terena, za klasu hrapavosti terena B

3.1 DEJSTVA VETRA prema 1(EN 1991-1-4:2005) Evrokod

- osrednjavanje vetra vrši se na $t = 600 \text{ s} = 10 \text{ min} = V_b$
- mereno 10 m iznad terena, za kategoriju terena II(odgovara kategorija terena B)

$$k_t^B = 1,6509 \cdot t_a^{(-0,0645)} = 1,6509 \cdot 600^{-0,0645} = 1,09277$$

$$k_t = \frac{v_{m,ta,10}}{v_{m,50,10(3600s)}} \rightarrow v_{m,600,10} = 1,09277 \cdot v_{m,50,10(3600s)}^B = V_b$$

Negotin: $V_b = 1,09277 \cdot 19,0 = 20,763 \text{ m/s}$

3.1.1. Analiza opterećenja

- Stalno opterećenje

- sopstvena težina (uzima se automatski kroz program)
- opterećenje od unutrašnje obloge (unutrašnji plašt)
- jednakopodeljeno opterećenje od unutrašnjeg plašta

unutrašnji plašt: $\delta = 5,0 \text{ mm}$

Segment I i II $\rightarrow g_1 = 0,0315 \cdot 78,5 = 2,47 \text{ kN/m'}$

Segment III $\rightarrow g_3 = 0,0295 \cdot 78,5 = 2,32 \text{ kN/m'}$

Segment VI $\rightarrow g_4 = 0,0256 \cdot 78,5 = 2,01 \text{ kN/m'}$

3.1.2. Opterećenje vetrom (EN 1991-1-4)

kategorija terena	II
parametri terena	$z_0 = 0.05 \text{ m}$
	$z_{\min} = 2 \text{ m}$
	$z_{\max} = 200 \text{ m}$
	$z_{0,II} = 0.05 \text{ m}$
koeficijent terena	$k_r = 0.19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0.07} = 0.19 \cdot \left(\frac{0.05}{0.05}\right)^{0.07} = 0.19$
koeficijent topografije	$C_{0(z)} = 1.0$
koeficijent turbulencije	$k_I = 1.0$
gustina vazduha	$\rho = 1.25 \text{ kg/m}^3$
koeficijent pravca	$C_{\text{dir}} = 1.0$
koeficijent sezonskog delovanja	$C_{\text{season}} = 1.0$

Dejstvo vetra na stub

osnovna brzina vetra	$V_b = C_{\text{dir}} \cdot C_{\text{season}} \cdot V_{b,0} = 1 \cdot 1 \cdot V_{b,0} = V_{b,0}$ $V_b = 1 \cdot 1 \cdot 20,763 = 20.763 \text{ m/s}$
srednja brzina vetra na visini z iznad terena	$V_{m(z)} = C_{r(z)} \cdot C_{0(z)} \cdot V_b = 20.763$
koeficijent hrapavosti	$C_{r(z)} = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) = 0.19 \cdot \ln\left(\frac{z}{0.05}\right)$
intenzitet turbulencije	$I_{v(z)} = \frac{k_I}{C_{0(z)} \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} = \frac{1.0}{1.0 \cdot \ln\left(\frac{z}{0.05}\right)} = \frac{1.0}{\ln\left(\frac{z}{0.05}\right)}$
udarni pritisak vetra	$q_{p(z)} = \left(1 + 7 \cdot I_{v(z)}\right) \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_{m(z)}^2 \cdot 10^{-3} =$ $= \left(1 + 7 \cdot I_{v(z)}\right) \cdot V_{m(z)}^2 \cdot 0.625 \cdot 10^{-3}$

Tabela 1. Određivanje uarnog pritiska vetra

Visina iznad terena z [m]	koeficijent hrapavosti $C_{r(z)} = 0.19 \cdot \ln(z/0.05)$ za $1.0 \text{ m} \leq z \leq 200 \text{ m}$	srednja brzina vetra $v_{m(z)} = C_{r(z)} \cdot C_{0(z)} \cdot V_b$ [m/s]	intenzitet turbulencije $I_{v(z)} = 1/(z/0.05)$	udarni pritisak vetra $q_{p(z)}$ [kN/m ²]
2.00	0.701	14.553	0.271	0.384
7.50	0.952	19.767	0.200	0.585
9.00	0.987	20.486	0.193	0.616
10.25	1.011	20.999	0.188	0.638
11.50	1.033	21.453	0.184	0.658
15.00	1.084	22.501	0.175	0.705
23.50	1.169	24.272	0.163	0.787
32.00	1.228	25.490	0.155	0.846
40.00	1.270	26.371	0.150	0.890

Određivanje sila vetra koje deluju na konstrukciju

pritisak vetra na površine na visini z

$$f_w = C_s \cdot C_d \cdot C_f \cdot q_{p(z)} \quad [\text{kN} / \text{m}^2]$$

ANEKS B

koeficijent konstrukcije

$$C_s \cdot C_d = \frac{1 + 2 \cdot k_p \cdot I_{v(z_s)} \cdot \sqrt{B^2 + R^2}}{1 + 7 \cdot I_{v(z_s)}}$$

referentna visina

$$h = z_1 = 40,0 \text{ m}$$

$$z_s = 0.6 \cdot h \geq z_{\min} \quad (\text{slika 6.1- slučaj a})$$

$$z_s = 0.6 \cdot 40,0 = 24,0 \text{ m}$$

$$I_{v(z_s)} = \frac{1}{\ln\left(\frac{24,0}{0.05}\right)} = 0.162$$

širina konstrukcije

$$b = 1,834 \text{ m}$$

visina konstrukcije

$$h = 40,0 \text{ m}$$

mera dužine

turbulentne

$$z_t = 200 \text{ m}$$

$$L_t = 300 \text{ m}$$

$$\alpha = 0.67 + 0.05 \cdot \ln(z_0) = 0.67 + 0.05 \cdot \ln(0.05) = 0.5202$$

$$L_{(z_s)} = L_t \cdot \left(\frac{z_s}{z_t}\right)^\alpha = 300 \cdot \left(\frac{24}{200}\right)^{0.5202} = 99,57 \text{ m}$$

$$V_{m(z_s)} = 0.19 \cdot \ln\left(\frac{24}{0.05}\right) \cdot 20,763 = 24,355 \text{ m/s}$$

koeficijent izvornog dejstva

$$B^2 = \frac{1}{1 + 0.9 \cdot \left(\frac{b+h}{L_{(z_s)}}\right)^{0.63}} = \frac{1}{1 + 0.9 \cdot \left(\frac{1,834 + 40,0}{99,57}\right)^{0.63}} = 0.$$

koeficijent rezonantnog odgovora	$R^2 = \frac{\pi^2}{2 \cdot \delta} \cdot S_{L(z_s, n_1, x)} \cdot R_{h(\eta h)} \cdot R_{b(\eta b)}$
Logaritamski dekrement prigušenja konstrukcije (aneks F.5)	$\delta = \delta_s + \delta_a + \delta_d$
frekvencija slobodnih neprigušenih oscilacija konstrukcije za I ton oscilovanja	$n_1 = 1,219 \text{ Hz}$
ekvivalentna masa po jedinici dužine za I ton oscilacija	$m_e = \int_0^1 m(z) \cdot \Phi_{1(z)}^2 dz / \int_0^1 \Phi_{1(z)}^2 dz$

Napomena: Za konzolnu konstrukciju sa promenjivom raspodelom mase, masa m_e može da bude aproksimirana vrednošću $m_e = m_{\text{pros}}$ na gornjoj trećini visine konstrukcije [kg / m']

Masa u gornjoj trećini visine:

unutrašnji plašt	$g = 1,85 \text{ kN/m'}$ $G = 185 \cdot 13,333 = 2466,667 \text{ kg}$
------------------	--

$$m_{1/3} = 7.85 \cdot \left[\left(\frac{183,4^2 \pi}{4} - \frac{181^2 \pi}{4} \right) \cdot 1333,33 \right] \cdot 10^{-3} = 7189,32 \text{ kg}$$

$$m_e = \frac{2466,67 + 7189,32}{13,33} = 724,2 \text{ kg/m'}$$

$\delta_s = 0.012$ (Tabela F.2 – neobloženi čelični dimnjaci bez spoljašnje termičke izolacije)

$$\delta_a = C_f \cdot \rho \cdot b \cdot \frac{V_{m(zs)}}{2 \cdot n_1 \cdot m_e} = 0.611 \cdot 1.25 \cdot 1.834 \cdot \frac{24.355}{2 \cdot 1.219 \cdot 724.2} = 0.01932$$

koeficijent sile	$C_f = C_{f,0} \cdot \psi_\lambda = 0.6699 \cdot 0.9125 = 0.611$
koeficijent sile za cilindar bez strujanja vetra na slobodnom kraju	$C_{f,0} = 0.6699$ (slika 7.28)
ekvivalentna površinska hrapavost	$k = 0.05$ (tabela 7.13)
koeficijent za cilindar	$\frac{k}{b} = \frac{0.05}{1834} = 2,726 \cdot 10^{-5}$
kinematička viskoznost vazduha	$\nu = 15 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$
udarna brzina vetra na visini Z_e	$V_{(ze)} = \sqrt{\frac{2 \cdot q_{p(ze)}}{\rho}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 0.89}{1.25 \cdot 10^{-3}}} = 37,736 \text{ m/s}$ $q_{p(ze)} = 0.89 \text{ kN/m}^2$

Rejnoldsov broj	$R_e = \frac{b \cdot V_{(ze)}}{v} = \frac{1,834 \cdot 37,736}{15 \cdot 10^{-6}} = 4,614 \cdot 10^6$
efektivna vitkost za $l > 50$ m (tabela 7.16, slika 4)	$\lambda = 0,7 \cdot \frac{1}{b} = 0,7 \cdot \frac{40,0}{1,834} = 15,27$ ili $\lambda = 70$ - merodavno
koeficijent ispunjenosti (za pune konstrukcije)	$\varphi = 1,0$
koeficijent uticaja kraja	$\psi_\lambda = 0,9125$
specijalni uređaji za prigušenje – nema	$\delta_d = 0$
logaritamski dekrement prigušenja konstrukcije	$\delta = \delta_s + \delta_a + \delta_d = 0,01932 + 0,012 + 0 = 0,03$

bezdimezionalna funkcija gustine spektralne energije S_L	$S_{L(z,n)} = \frac{6,8 \cdot f_{L(z,n)}}{(1 + 10,2 \cdot f_{L(z,n)})^{5/3}} = \frac{6,8 \cdot 4,984}{(1 + 10,2 \cdot 4,984)^{5/3}} = 0,04703$
	$f_{L(z,n)} = \frac{n_1 \cdot L_{(zs)}}{V_{m(zs)}} = \frac{1,219 \cdot 99,57}{24,355} = 4,984$
funkcije aerodinamičkog pristupa za osnovni ton oscilacije	$R_h = \frac{1}{\eta_h} - \frac{1}{2 \cdot \eta_h^2} \cdot (1 - e^{-2 \cdot \eta_h}) = \frac{1}{9,21} - \frac{1}{2 \cdot 9,21^2} \cdot (1 - e^{-2 \cdot 9,21}) = 0$ $\eta_h = \frac{4,6 \cdot h}{L_{(zs)}} \cdot f_{L(zs, n_1, x)} = \frac{4,6 \cdot 40,0}{99,57} \cdot 4,984 = 9,21$ $R_b = \frac{1}{\eta_b} - \frac{1}{2 \cdot \eta_b^2} \cdot (1 - e^{-2 \cdot \eta_b}) = \frac{1}{0,1318} - \frac{1}{2 \cdot 0,1318^2} \cdot (1 - e^{-2 \cdot 0,1318}) =$ $\eta_b = \frac{4,6 \cdot b}{L_{(zs)}} \cdot f_{L(zs, n_1, x)} = \frac{4,6 \cdot 3,075}{182,49} \cdot 1,7 = 0,1318$
koeficijent rezonantnog odgovora	$R^2 = \frac{\pi^2}{2 \cdot \delta} \cdot S_{L(zs, n_1, x)} \cdot R_{h(\eta_h)} \cdot R_{b(\eta_b)}$ $R^2 = \frac{\pi^2}{2 \cdot 0,031} \cdot 0,04703 \cdot 0,0968 \cdot 0,7692 = 0,5574$

Udarni koeficijent (Aneks B)

$$k_p = \sqrt{2 \cdot \ln(v \cdot T)} + \frac{0,6}{\sqrt{2 \cdot \ln(v \cdot T)}} \geq 3$$

period oscilovanja	$T = 10 \text{ min} = 600 \text{ s}$
učestalost prekoračenja	$v = n_1 \cdot \sqrt{\frac{R^2}{B^2 + R^2}} = 0.22 \cdot \sqrt{\frac{0,5574}{0,6574 + 0,5574}} = 0.8257$
udarni koeficijent	$k_p = \sqrt{2 \cdot \ln(0.8257 \cdot 600)} + \frac{0,6}{\sqrt{2 \cdot \ln(0.8257 \cdot 600)}} = 3.693 > 3$
koeficijent konstrukcije	$C_s \cdot C_d = \frac{1 + 2 \cdot 3.693 \cdot 0.162 \cdot \sqrt{0,5674 + 0,5574}}{1 + 7 \cdot 0.162} = 1,087$

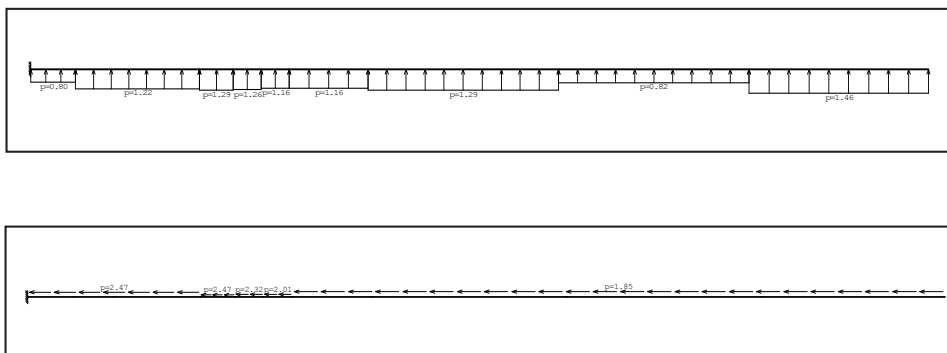
Opterećenje vetrom koje deluje na dimnjak, pomnoženo sa parcijalnim koeficijentom PLF je opterećenje na dimnjak koje se daje:

- a) po m' dimnjaka za proračun globalnih presečnih sila i utvrđivanje nosivosti i stabilnosti stuba (kao svedeno linijsko opterećenje)

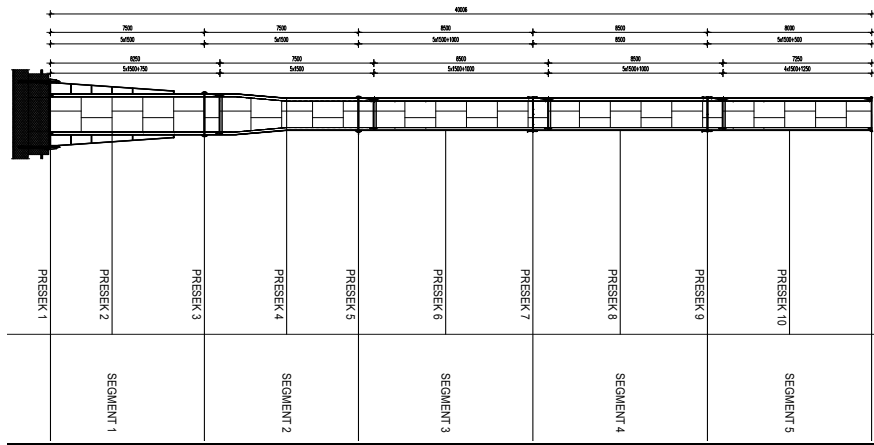
$$f_w = C_s \cdot C_d \cdot C_f \cdot q_{p(z)} \cdot b_{\text{ros}} \quad [\text{kN} / \text{m}']$$

- b) po m² površine preseka dimnjaka sa raspodelom po obimu preseka prema 7.9.1 za proračun izbočavanja plašta stuba

$$f_w = C_s \cdot C_d \cdot C_f \cdot q_{p(z)} \quad [\text{kN} / \text{m}^2]$$



Slika 1. Opterećenje od vetrom i težine unutrašnjeg prstena



Slika 2 Geometrija dimnjaka

Visina stuba od - do [m]	$C_s \cdot C_d$	C_f	$q_{p(z)}$ [kN/m ²]	pr.širina $b_{pr.}$ [m]	Lin. opt. $1.35 \cdot f_w$ [kN/m']
0.0 - 2.0	1.087	0.611	0.384	2.334	0.804
2.0 - 7.5	1.087	0.611	0.585	2.334	1.224
7.50 - 9.00	1.087	0.611	0.616	2.334	1.289
9.00 - 10.25	1.087	0.611	0.638	2.210	1.264
10.2 - 11.50	1.087	0.611	0.658	1.960	1.156
11.50 - 15.00	1.087	0.611	0.705	1.834	1.159
15.00 - 23.50	1.087	0.611	0.787	1.834	1.294
23.50 - 32.00	1.087	0.611	0.846	1.083	0.822
32.00 - 40.00	1.087	0.611	0.890	1.834	1.464

Maksimalno površinsko opterećenje pritiska po obimu stuba, bez uvedenog koeficijenta sigurnosti

$$f_w = C_s \cdot C_d \cdot C_{pe} \cdot q_{pz} \quad [\text{kN/m}^2]$$

$$\text{za } \alpha = 0^\circ \quad C_{pe} = \psi_{\lambda\alpha} \cdot C_{p0} = 1.0 \cdot C_{p0} = +1.0$$

Pošto je dimnjak otvoren sa gornje strane, pri dnu ima revizioni otvor, koeficijent unutrašnjeg pritiska je $C_{pi} = -0.6$.

$$f_{w,\max} = 1.087 \cdot 0.384 = 0.4174 \text{ kN/m}^2$$

Opterećenje usled dejstva odvajanja vrtloga

Istovremeno sa opterećenjem od vetra deluje i opterećenje F_w usled dejstva odvajanja vrtloga. Ovo opterećenje deluje upravno na pravac dejstva vetra (Aneks E).

$$F_{w(s)} = m_{(s)} \cdot (2\pi \cdot n_{iy})^2 \cdot \varphi_{iy(s)} \cdot y_{F\max} \cdot 10^{-3} = 724.2 \cdot (2\pi \cdot 1.219)^2 \cdot 1 \cdot 0.303 \cdot 10^{-5} = 0.129 \text{ kN/m'}$$

$$y_{F\max} = b \cdot \left(\frac{1}{s_t^2} \cdot \frac{1}{s_c} \cdot K \cdot K_w \cdot c_{lat} \right) = 1.8 \cdot \left(\frac{1}{0.18^2} \cdot \frac{1}{4.29} \cdot 0.13 \cdot 0.6 \cdot 0.3 \right) = 0.303 \text{ m}$$

$$s_t = 0.18 \text{ (tabela E.1)}$$

$$s_c = \frac{2 \cdot \delta_s \cdot m_{i,c}}{\rho \cdot b^2} = \frac{2 \cdot 0.012 \cdot 724.2}{1.25 \cdot 1.8^2} = 4.29$$

$$K = 0.13 \text{ const. (Tabela E.5)}$$

$$L_j = \frac{40}{3} = 13.33 \text{ m}$$

$$\frac{L_j}{b} = \frac{13.33}{1.8} = 7.41 \text{ m}$$

$$\lambda = \frac{1}{b} = \frac{40}{1.8} = 22.2$$

$$K_w = 3 \cdot \frac{L_j}{b} \cdot \left[1 - \frac{L_j}{b} + \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{L_j}{b} \right)^2 \right] \leq 0.6$$

$$K_w = 3 \cdot \frac{7.41}{22.2} \cdot \left[1 - \frac{7.41}{22.2} + \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{7.41}{22.2} \right)^2 \right] = 0.704 > 0.6 \rightarrow K_w = 0.6$$

$$C_{lat} = 0.3$$

pomnoženo sa koeficijentom sigurnosti

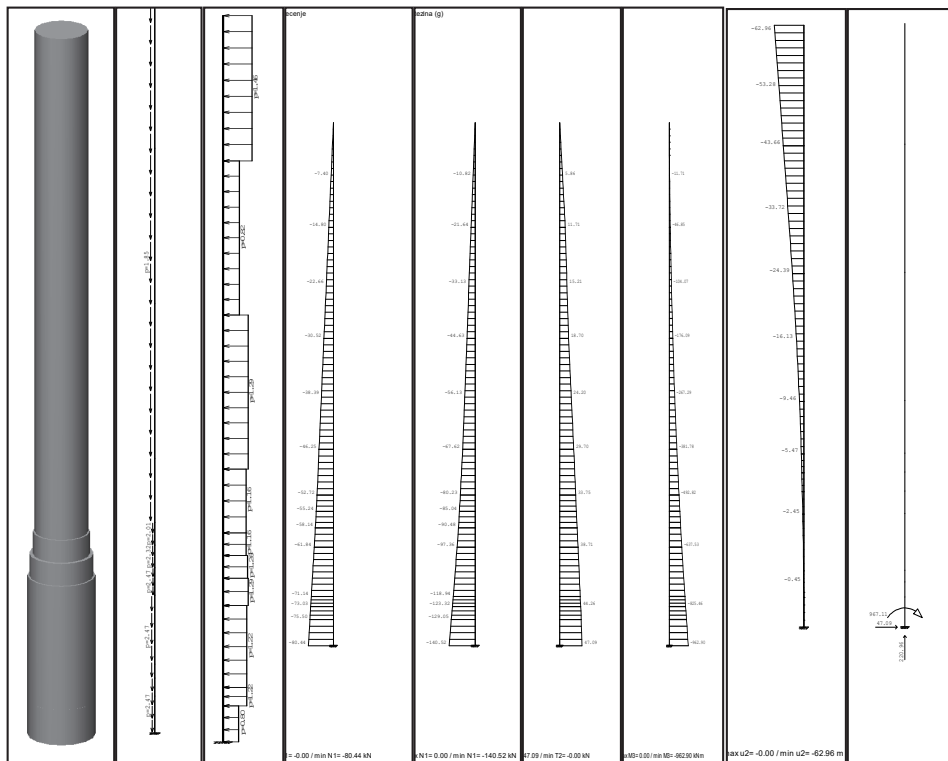
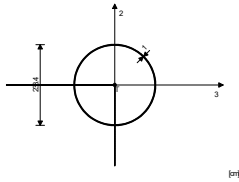
$$1.35 \cdot 0.129 = 0.174 \text{ kN/m'}$$

3.1.3. Proračunski model

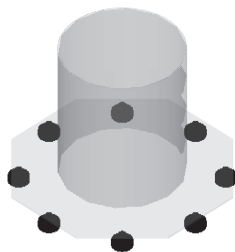
Proračun modela za uticaje sopstvene težine, stalan teret i uticaje od vetra sproveden je prema teoriji drugog reda, za prethodno formirane kombinacije uticaja. U kombinacije su ušla opterećenja bez parcijalnih koeficijenata.

Ulazni podaci – Konstrukcija i uticaji

No	Naziv materijala	E[kN/m ²]	μ	γ [kN/m ³]	α [1/C]	Em[kN/m ²]	μ m
Set: 1	Presek: D=233.4/1, Fiktivna ekscentričnost						
	Mat.	A1	A2	A3	I1	I2	I3
	1 - Celik	7.301e-2	3.666e-2	3.666e-2	9.858e-2	4.929e-2	4.929e-2



Slika 3. Izgled dimnjaka, opterećenje od vetra, uticaji (M, T, N) i deformacije dimnjaka



Slika 4. Uticaji u ankerima

Ankeri (reakcije – sile u ankerima se odnose na par anкера)

$$Z_{\max} = 85.935 \text{ kN}$$

$$H_{\max} = 169.05 \text{ kN}$$

Pretpostavljaju se ankeri 16 M36 od čelika S 420N/NL sa duplim navrtkama.

Zatezanje:

$$F_j \approx 0,8 \cdot \frac{R^2 \pi}{4} = 0,8 \cdot \frac{3,6^2 \pi}{4} = 8,14 \text{ cm}^2 \quad \sigma = \frac{85.935}{2 \cdot 8,14} = 5.29 \text{ kN/cm}^2$$

Smicanje:

$$N_{\tau 1} = \frac{3,6^2 \pi}{4} \cdot 1,1 = 111,966 \text{ kN}$$

$$\frac{Q}{n} = \frac{169.05}{2} = 84.525 \text{ kN} < 111,966 \text{ kN}$$

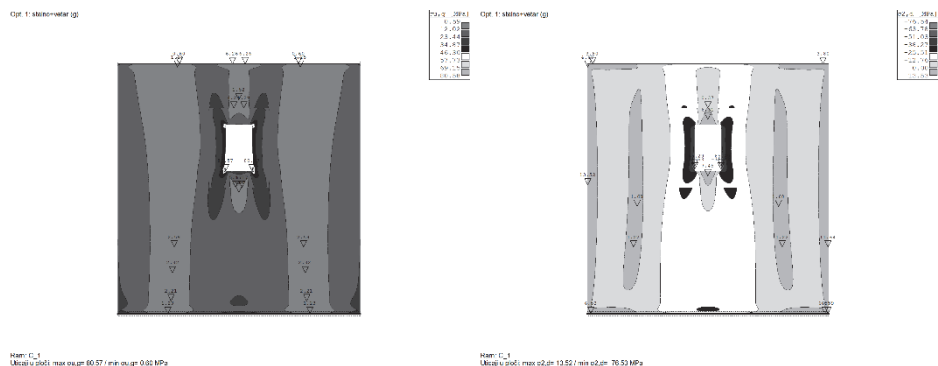
Odgovaraju ankeri **16 M36**.

3.1.4. Stanje napona sa dodatim ojačanjem zone oko otvora



Slika 5. Izgled modela sa otvorom

Ojačanje otvora izvršeno je dodavanjem krutog prstena debljine 12 mm, po celom obimu otvora u zoni od 500 mm. Stanje napona sa dodatim ojačanjem zone oko otvora je dato na sledećoj slici br.6.



Slika 6 stanje napona oko otvora

U tabeli br.5 su dati uticaji usled tangencijalnih napona u prvom segmentu dimnjaka proračunatog kao prostorni model.

Tabela br. 5 -IZBOČAVANJE USLED TANGENCIJALNOG NAPONA

Element konstrukcije			Pres.1	Pres .2	Pres .3	Pres .4	Pres .5	Pres .6	Pres .7	Pres .8	Pres .9	Pres .10
Poluprečnik	r	[mm]	1167	1167	1167	917	917	917	917	917	917	917
Debljina lima	tj	[mm]	10	10	8	8	6	6	6	6	6	6
Dužina segmenta	lj	[mm]	3000	4500	4000	3500	4250	4250	4250	4250	4000	4000
Karakteristike materijala	fy k	[MPa]	235	235	235	235	235	235	235	235	235	235
Modul elastičnosti	E	[MPa]	210000	210000	210000	210000	210000	210000	210000	210000	210000	210000
Parcijalni koef.	γ_{M1}	-	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Kritičan tangencijalni napon												
lj × tj		[mm ²]	30000	45000	32000	28000	25500	25500	25500	25500	24000	24000
lc / lb / la =		[mm]	7500		7500		8500		8500		8000	
k =			1		1		1		1		1	
l _{eff} =		[mm]	7500.0		7500.0		8500.0		8500.0		8000.0	
ω _{eff} =			69.4		77.6		114.6		114.6		107.9	
λ ₉₀ =	0.4	1.63 r/t=	190.2	190.2	237.8	186.8	249.1	249.1	249.1	249.1	249.1	249.1
β=	0.6	σ _{θ,Rc} r,eff =	23.85		17.06		11.03		11.03		11.72	

$\eta =$	1.0	$\sigma_{\theta, Rc}$ $r_{s1} =$	[MPa]	23.85	23.8 5	29.8 1	29.8 1	39.7 4	39.7 4	39.7 4	39.7 4	39.7 4	
$\alpha_{\theta} =$	0.500	$\omega_j =$		27.771	41.6 56	41.3 98	40.8 64	57.2 97	57.2 97	57.2 97	57.2 97	53.9 26	53.9 26
		$\lambda_{\theta} =$		3.139	3.13 9	2.80 8	2.80 8	2.43 2	2.43 2	2.43 2	2.43 2	2.43 2	2.43 2
		$\lambda_{\theta p} = \sqrt{\alpha/(1-\beta)} =$		1.118	1.11 8	1.11 8	1.11 8	1.11 8	1.11 8	1.11 8	1.11 8	1.11 8	1.11 8
		$\chi_{\theta} =$		0.067	0.05 1	0.05 1	0.06 3	0.06 3	0.08 5	0.08 5	0.08 5	0.08 5	0.08 5
		$\sigma_{\theta, Rd} = \chi_{\theta} f_{yk} =$	[MPa]	15.67	11.92	11.9 2	14.9 0	14.9 0	19.8 7	19.8 7	19.8 7	19.8 7	19.8 7
Pritisak vetra na ljušku	$1.35q_{w, max}$		[N/mm ²]	1.00E-03	1.00 E-03	1.00 E-03	1.00 E-03	1.00 E-03	1.00 E-03	1.00 E-03	1.00 E-03	1.00 E-03	1.00 E-03
Uslovi oslanjanja	C_{θ}	1.0		1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
$0.65 < kw < 1.0$	k	0.5	w	54	0.54 6	0.53 7	0.53 5	0.53 5	0.53 5	0.53 5	0.53 7	0.53 7	0.52 5
$q_{eq} = kw \times q_{w, max}$			[N/mm ²]	0.0007	0.00 07	0.00 07	0.00 07	0.00 07	0.00 07	0.00 07	0.00 07	0.00 07	0.00 07
Unutrašnji pritisak	$1.35 q_s$		[N/mm ²]	1.00E-03	1.00 E-03	1.00 E-03	1.00 E-03	1.00 E-03	1.00 E-03	1.00 E-03	1.00 E-03	1.00 E-03	1.00 E-03
$\sigma_{\theta, Ed} = (q_{eq} + q_s)/(r/t)$			[MPa]	0.193	0.19 3	0.24 1	0.18 9	0.25 2	0.25 2	0.25 2	0.25 2	0.25 2	0.25 2
$\sigma_{\theta, Ed} / (\sigma_{\theta, Rk} / \gamma_{M1}) < 1.0$				0.008	0.00 8	0.00 8	0.00 6	0.00 6	0.00 6	0.00 6	0.00 6	0.00 6	0.00 6
				OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK

LITERATURA

- [1] M.Bešević, A.Tešanović, D. Kukaras, "Moguće posledice od opterećenja usled naleta vetra na primeru objekta centra oblasne kontrole letenja u beogradu" Zbornik radova građevinskog fakultera broj 22, str. 129-138 (2013) ISSN 0352 – 6852.
- [2] M.Bešević, A.Tešanović, "Optimalno projektovanje čeličnih konstrukcija skladišta sa aspekta utroška čelika" Zbornik građevinskog fakulteta 21 (2012). ISSN 0352 – 6852
- [3] M.Bešević, "Viseće staklene fasade i stakleni nosači kao noseća konstrukcija" Zbornik radova Građevinskog fakulteta u Subotici, br 20/2011- str.101-113.
- [4] M.Bešević, "Savremene aluminijumske koinstrukcije - fasade " Građevinski kalendar-2013(Srbija) ISSN 0352 – 6852.
- [5] M.Bešević, Idejni građevinski projekat čelične konstrukcije stuba vetrogeneratora za VETROPARK „KOVAČICA“, 2013 godine. ISSN 0352 – 6852.
- [6] Nestorović Ž., Trifković M., Bešević T. M., "On the possibilities of geodetic measurements utilization in construction dimensions control" Building Materials and structures 1-vol 56 (2013) 1(51-62). ISSN 0352 – 6852.
- [7] M.Bešević, A.Tešanović, D. Kukaras, A. Landović. Calculation and design of steel bearing structure for wind turbine, Zbornik radova Građevinskog fakultera broj 26, str. 99-118 (2014), DOI:10.14415, UDK 624.042.41/046, ISSN 0352 – 6852.

ANALYSIS AND DESIGN OF 40 m HIGH STEEL CHIMNEY ACCORDING TO EUROCODE AND SRPS STANDARDS

Summary: *This paper presents structural analysis according to Eurocode and SRPS standards. Analysed construction is 40 m high steel chimney, made of 33 m long upper circular cross-section segment of constant diameter $D=1834$ mm and bottom variable circular cross-section segment of $D=2234$ mm on the foundation level. Wind loads are dominant loads for this kind of structures. In analyzing workload basic wind speed is thoroughly treated according to SRPS U.C7.110, and respectively wind speed is treated according to Eurocode 1 for the location of Prahovo. Design of model for the effects of its own weight, a constant load and wind load was conducted according to the second order theory for pre-formed load combinations. The load combinations do not contain partial load safety factors. Design of chimney shaft segments are carried out for different thickness by height of the pillar, for bearing capacity of cross-section, buckling due normal stress, buckling due tangential stress and buckling control is carried out due shear stress.*

Keywords: *loads, wind effects, calculation, design, standards.*