

ПРОЈЕКТОВАЊЕ РЕШЕТКАСТИХ СТУБОВА ЗА ВИСОКОНАПОНСКЕ ВОДОВЕ ПРЕМА EN 50341

Ђорђе Ђуричић¹
 Душко Лучић²
 Драгослав Арсовић³

УДК: 621.315.66:624.04

DOI: 10.14415/konferencijaGFS2014.038

Резиме: На примеру решеткастог далеководног стуба извршена је анализа дејства ветра на елементе стуба према важећем европском стандарду "EN 50341: Overhead electrical lines exceeding AC 45 kV" са одговарајућим националним анексом. Дејство ветра је анализирано према општем и емпиријском принципу прорачуна. За емпиријски принцип прорачуна коришћен је национални анекс Немачке. Упоредном анализом покушано је боље сагледати утицај одабраног приступа прорачуну на резултате прорачуна, а све у циљу одабира исправне и применљиве методологије прорачуна у будућем Националном анексу у Црној Гори.

Кључне речи: Надземни електроенергетски водови, Решеткасте конструкције, Еврокодрави, ветар

1. ОПИС АНАЛИЗИРАНОГ СТУБА

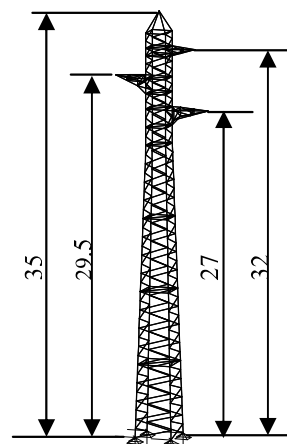
Висина стуба је 35 м. Конзолни препусти за качење проводника се постављају на $h=27$ м, $h=29,5$ м, и $h=32$ м.

Стуб је квадратне основе 2.5×2.5 м са линеарним смањењем димензија на 1.38×1.38 м на висини од 24 м. Конструкција стуба је од округлих цевастих профила у завареној изради.

Параметри стуба потребни за прорачун:

$VR(II)=v_{b(0)}=27.6$ m/s – Фундаментална вредност основне брзине ветра за II категорију тла

II категорија тла; $k_T=0.19$; $z_0=0.05$; Табела 4.2.1 EN 50341



Слика 1. Профил стуба

¹ Дипл.инж.грађ, сарадник, Висока пословно-техничка школа струковних студија, Трг Светог Саве 34, Ужице, Србија, e-mail: djordje.djuricic@vpts.edu.rs; e-mail: dragoslav.arsovic@vpts.edu.rs

² Др, редовни професор, Универзитет Црне Горе, Грађевински факултет у Подгорици, Цетињски пут бб, Подгорица, Црна Гора, e-mail: dlucic@ac.me

³ Дипл.инж.грађ, сарадник, Висока пословно-техничка школа струковних студија, Трг Светог Саве 34, Ужице, Србија e-mail: dragoslav.arsovic@vpts.edu.rs

2. ПРОРАЧУН ДЕЈСТВА ВЕТРА ПРЕМА EN 50341 -1-1 ТАЧКА 4.2 ОПШТИ ПРИСТУП [3]

2.1 Оптерећење ветром на елементе далековода EN 50341- 1-1 тачка 4.2.2.3

Вредност силе Q_{wx} услед хоризонталног дејства ветра, управно на било који елемент линије, је

$$Q_{wx} = q_h \cdot G_q \cdot G_x \cdot C_x \cdot A \quad (1)$$

где су:

q_h -динамички притисак ветра

G_q -фактор одговора на удар

G_x -фактор резонанце конструкције

C_x -фактор отпора у зависности од облика елемента

A -површина елемента на коју делује ветар пројектована на раван која је нормална на правац ветра

Динамички притисак ветра q_h је дефинисан у тачки 4.2.2.2 EN 50341 -1-1 и одређује се према

$$q_h = 1/2 \rho \cdot V_h^2 \quad (2)$$

где је ρ густина ваздуха, једнака 1.225 kg/m^3 на 15° C и при атмосферском притиску од 1013 hPa .

Брзина ветра V_h на произвољној висини h изнад тла дефинисана је у норми EN 50341- 1-1 тачка 4.2.2.1.6. и износи

$$V_h = k_T \cdot \ln(z/z_0) \cdot V_{R(II)} \quad (3)$$

Брзина ветра V_h по висини стуба је дата у табели 1.

Табела 1. Вредност брзине ветра V_h и вредност динамичког притиска ветра $q_h(z)$ по висини стуба

z (m)	6	12	18	24	27	29.5	32	35
$\ln(z/z_0)$	4.79	5.48	5.89	6.17	6.29	6.38	6.46	6.55
V_h (m/s)	27.60	28.74	30.87	32.38	32.99	33.46	33.88	34.35
$q_h(z)$ (kN/m ²)	0.47	0.51	0.58	0.64	0.67	0.69	0.70	0.72

2.2 Оптерећење од ветра на проводнике

$$Q_{wc} = q_h \cdot G_q \cdot G_c \cdot C_c \cdot d \cdot \frac{L_1 + L_2}{2} \cdot \cos^2 \phi \quad (4)$$

где су

q_h -динамички притисак ветра

G_q -фактор одговора на удар

$$G_q = k_g^2 = (1 + 2.28 / \ln(h/z_0))^2 \quad (5)$$

G_c - фактор распона дат у табели 4.2.5 у зависности од средњег распона вода

C_c -коэффициент облика . За кружне пресеке $C_c = 1,0$.

За $L_1=L_2=330\text{m}$ (распон између стубова) ; $G_c=0.82$; $C_c=1.0$; $d=0.0219\text{ m}$ -пречник проводника (Al/\check{C} 240/40 mm^2) ; $\phi=0^\circ$ (упадни угао дејства ветра) . Вредности фактора одговора на удар G_q и силе на стубу од дејства ветра на проводнике је дата у табели 2.

Табела 2. Вредности фактора одговора на удар G_q и силе на стубу Q_{wc} од дејства ветра на проводнике

z (m)	6	12	18	24	27	29.5	32	35
G_q	2.05	2.01	1.93	1.88	1.86	1.84	1.83	1.82
Q_{wc} (kN)					7.13	7.26	7.40	

3. ПРОРАЧУН ДЕЈСТВА ВЕТРА ПРЕМА EN 50341 ТАЧКА 4.3 ЕМПИРИЈСКИ ПРИСТУП [4]

3.1 Оптерећење од ветра на проводнике

Притисак ветра на проводнике се одређује на њиховој висини од терена и износи

$$Q_{wc} = q_c \cdot G_c \cdot C_c \cdot d \cdot L \cdot \cos^2 \phi \quad (6)$$

q_c је динамички притисак ветра

G_c је фактор распона ; $G_c = 1,0$ за дужине распона до 200 м ; $G_c = 0,6 + 80 / L$ за $L > 200\text{ m}$.

C_c је аеродинамички фактор који зависи од облика и врсте површине која је изложена ветру .

За анализирани стуб коришћен је национални анекс Немачке где је примењен емпиријски приступ прорачуну дејстава на елементе вода. Према тачки 4.3.2 DE.2 Оптерећење ветром на проводнике је дато као

$$Q_{wc} = q \cdot G_{xc} \cdot C_{xc} \cdot d \cdot L \cdot \cos^2 \vartheta \quad (7)$$

где је

G_{xc} -коэффициент који зависи од распона L и динамичког понашања проводника.

$G_{xc}=0.45$ за $L \leq 200\text{ m}$; $G_{xc}=0.45+60/L$ за $L > 200\text{ m}$

C_{xc} - коэффициент облика проводника према табели 4.3.2/DE.1. $C_{xc}=1$ за проводнике

где је $d > 15.8\text{ mm}$

ϑ - Угао између правца ветра и управног правца на проводник. У анализираном случају $\vartheta=0$

Притисак ветра је $q = q_0 + 3h$ (N/m^2), где је $q_0=1050 N/m^2$ за II зону ветра са референтном брзином ветра од $v=27,6 m/s$.

Вредности у табели 3. представљају ударни притисак ветра на стуб по висини стуба и силе од оптерећења ветром на проводнике које се преносе на стуб за вредности $G_{xc}=0.63$ и $C_{xc}=1$ према Националном анексу Немачке.

Табела 3. Вредност сила на стубу услед дејства ветра на проводнике

z (m)	6	12	18	24	27	29.5	32	35
q_x (kN/m^2)	1.07	1.09	1.10	1.12	1.13	1.14	1.15	1.16
Q_{wc} (kN)					4.94	4.97	5.00	

4. ПРИТИСАК ВЕТРА НА РЕШЕТКАСТ СТУБОВЕ ПРЕМА EN 50341-1-1 ТАЧКА 4.2.2.4.3 - ОПШТИ ПРИСТУП - [3]

Сила ветра која делује у тежишту једног сегмента решеткастог стуба правоугаоног облика је:

$$Q_{wt} = q_h \cdot G_q \cdot G_t \cdot (1 + 0.2 \cdot \sin^2 2\phi) \cdot (C_{t1} \cdot A_{t1} \cdot \cos^2 \phi + C_{t2} \cdot A_{t2} \cdot \sin^2 \phi) \quad (8)$$

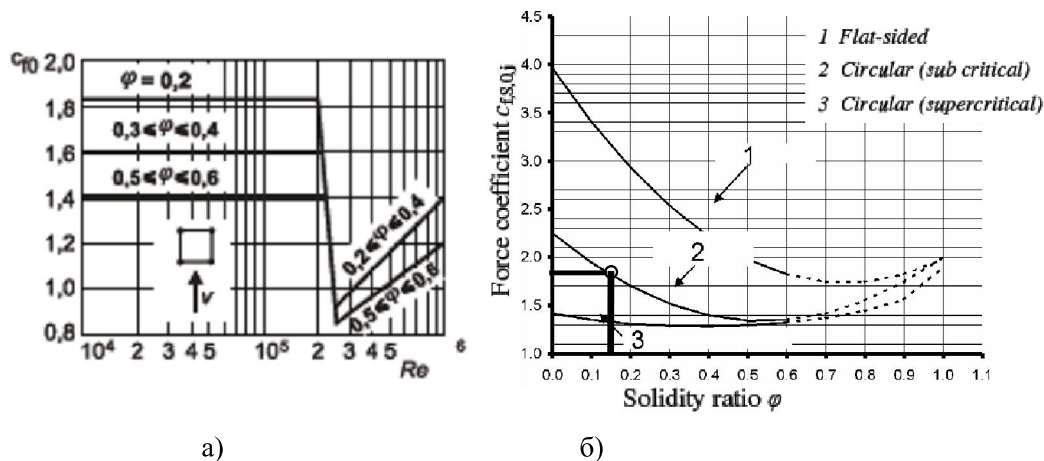
где су q_h и G_q дефинисани раније

G_t је фактор распона. За решеткасте стубове испод 60 м препоручује се $G_t=1.05$.

C_t је коефицијент облика за решеткасте стубове за ветар управан на сегмент. Коефицијенти облика C_t је дат у односу на коефицијент пуноће ϕ ($\phi=0,15$) у EN 1993 -3-1 Слика 2б, или за вредности Re -Рејнолдсовог броја према EN 1991-1-4 Слика 2а. За ветар управно на једну страну стуба ($\phi=0^\circ$) израз (8) прелази у

$$Q_{wt} = q_h \cdot G_q \cdot G_t \cdot C_{t1} \cdot A \quad (9)$$

За $\phi=0.15$, са слике 2б, читамо $C_{t1}=1.82$, док је усвојено $G_t=1.05$



Слика 2. Коефицијент силе ветра према а) EN 1991 -1-4 тачка 7.11 [1]
б) EN1993 3-1 тачка В.2.2.2. [2]

Притисак ветра на стуб по висини стуба дат је у табели 5.

Табела 5. Притисак ветра по висини стуба за општи приступ

z (m)	6	12	18	24	27	29.5	32	35
q _{wT} (kN/m ²)	1.83	1.94	2.15	2.31	2.37	2.41	2.46	2.51

5. ПРИТИСАК ВЕТРА НА СТУБУ -ЕМПИРИЈСКИ ПРИСТУП- [4]

Према Националном анексу Немачке вредност компоненти оптерећења у правцу управном на трасу вода је:

$$Q_{wx} = q \cdot (1 + 0.2 \cdot \sin^2 2\phi) \cdot (C_{xT1} \cdot A_{T1} \cdot \cos^2 \phi + C_{xT2} \cdot A_{T2} \cdot \sin^2 \phi) \cdot \cos \phi \quad (10)$$

за $\phi=0$ (ветар управно на трасу вода) та вредност је:

$$Q_{wx} = q_x \cdot C_x \cdot A_T \quad (11)$$

где је

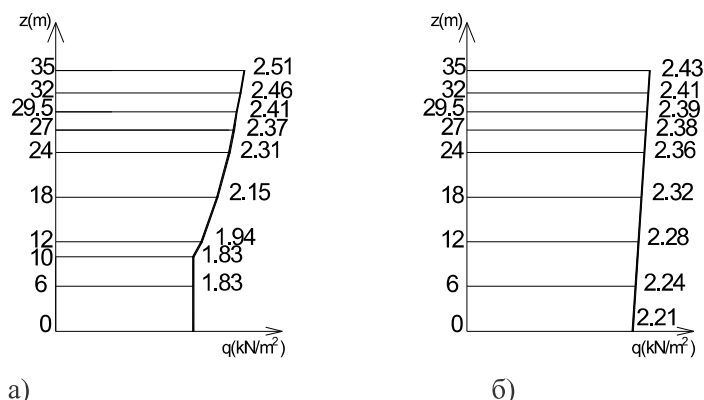
C_x – коефицијенти отпора изложене стране; $C_x=2.1$ слика 4.3.2/DE.3

Вредност оптерећења од ветра по висини стуба дата је у табели 5.

Табела 5. Вредност притиска ветра по висини стуба према Националном анексу Немачке

z (m)	6	12	18	24	27	29.5	32	35
q _x (kN/m ²)	1.07	1.09	1.10	1.12	1.13	1.14	1.15	1.16
C _x	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10
q _{wx} (kN/m ²)	2.24	2.28	2.32	2.36	2.38	2.39	2.41	2.43

На слици 3 дате су вредности оптерећења од ветра по висини стуба за анализирани принципе прорачуна дејства ветра



Слика 3. Притисак ветра по висини стуба према EN 50341

а) Општи принцип б) Емпиријски принцип (Национални анекс Немачке)

6. ЗАКЉУЧАК

У EN 50341 дата су два приступа прорачуну оптерећења на далеководне стубове. Општи приступ је прецизнији, али захтева познавање низа параметара као што су: категорија терена, разред поузданости и др. Емпиријски приступ је једноставнији и приближнији садашњем начину прорачуна оптерећења од ветра. Сама вредност утицаја по висини стуба је слична за оба принципа прорачуна.

Утицаји на проводнике доста зависе од фактора распона G_c . Према стандарду за општи принцип $G_c=0,82$. Према предложеном обрасцу за емпиријски приступ $G_c=0,84$, а према начину одређивања у националном анексу Немачке $G_c=0,63$. Усвајањем одређеног принципа прорачуна у Националном анексу треба пажљиво одредити и вредност поменутог параметра.

Упоредне анализе различитих приступа прорачуну дају одређене показатеље који су од користи за исправну имплементацију европских прописа у домаћу регулативу, а све у циљу одабира исправне и применљиве методологије прорачуна у будућем Националном анексу у Црној Гори.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] EN 1991-1-4: Eurocode 1: Actions on structures - Part 1-4: General actions - Wind actions.
- [2] EN 1993-3-1: Eurocode 3 - Design of steel structures - Part 3-1: Towers, masts and chimneys - Towers and masts
- [3] BS EN 50341-1:2001: Overhead electrical lines exceeding AC 45 kV - Part 1: General requirements - Common specifications.
- [4] BS EN 50341-1:2001: Overhead electrical lines exceeding AC 45 kV - Part 3: Set of National Normative Aspects.

DESIGN LATTICE TOWERS FOR HIGH-VOLTAGE OVERHEAD LINES ACCORDING TO EN 50341

Summary: An example of lattice towers has been used for a comparative analysis of the effect of wind on the elements of the towers according to the relevant European standard EN 50341: Overhead electrical lines exceeding AC 45 kV, with the appropriate National Annex. The effect of wind is analyzed according to the general principles and empirical calculations. For empirical principles of calculation the National annex of Germany was used. Comparative analysis attempted a better idea of the impact of the chosen calculation approach to the calculation results, with the aim of choosing the correct and applicable methodology for calculating the future National annex in Montenegro.

Keywords: Overhead electrical lines, Lattice structures, Eurocodes, Wind.