



KORISNIČKI PROGRAM ZA DIMENZIONISANJE BETONSKIH STUBOVA ELEKTRODISTRIBUTIVNIH VODOVA

USER PROGRAM FOR DIMENSIONING CONCRETE POLES OF POWER DISTRIBUTION LINES

Dragoslav PERIĆ, Akademija tehničkih strukovnih studija Beograd, Odsek PIN, Požarevac

KRATAK SADRŽAJ

Betonski stub elektrodistributivnih vodova prihvata jedan ili više vodova srednjeg ili niskog napona sa neizolovanim provodnicima ili samonosivim kablovskim snopovima uključujući i kućne priključke, kao i telekomunikacione vodove. Stablo stuba se dimenzioniše prema horizontalnim silama na stub koje potiču od sila zatezanja provodnika i od pritiska vetra na stub i na provodnike. Temelj stuba se dimenzioniše prema izabranom stubu i prema karakteristikama tla na mestu ugradnje. U radu je prikazan korisnički program za dimenzionisanje standardizovanih betonskih stabala i temelja stubova sačinjen u programu za tabelarne proračune (spreadsheet). Program omogućava korisniku alfanumeričko zadavanje ulaznih parametara, brz proračun i proveru više varijanti rešenja. Program automatski: prikuplja potrebne podatke iz tabela, generiše grafički prikaze i kompletan izveštaj za tehničku (projektantsku) dokumentaciju. Pomenuti grafički prikazi se odnose na uglove i raspone vodova koje stub nosi, kao i na vektore sila zatezanja koje deluju na stub.

Ključne reči: betonski stub, dimenzionisanje, elektrodistributivni vodovi, spreadsheet, temelj

ABSTRACT

The concrete pole of power distribution lines holds one or more medium or low voltage lines with uninsulated conductors or aerial bundle conductor (ABC) including house connections as well as telecommunication lines. The pole is dimensioned according to the horizontal forces on the pole that originate from the tensile forces of the conductors and from the wind pressure on the pole and on the conductors. The foundation of the pole is dimensioned according to the chosen pole and the characteristics of the soil at the installation site. The paper presents a user program for sizing standardized concrete poles and pole foundations made in the spreadsheet program. The program allows the user to alphanumerically set input parameters, fast calculation and check of several variants of the solution. The program automatically: collects the necessary data from the tables, generates graphical representations and a complete report for technical (design) documentation. The mentioned graphical representations refer to the angles and spans of the lines that the pole carries, as well as to the vectors of tensile forces acting on the pole.

Key words: concrete pole, dimensioning, foundation, power distribution lines, spreadsheet

Kontakt informacije o autoru: dragoslav.peric@gmail.com

1. UVOD

Armirano-betonski stub elektrodistributivnih vodova može da prihvata jedan ili više vodova srednjeg ili niskog napona, kao i telekomunikacione vodove. Energetski vodovi mogu da budu sa odvojenim neizolovanim provodnicima faza, ili sa samonosivim kablovskim snopom (SKS). To znači da jedan stub može da prihvata više vodova, ali i da vodovima može da povezuje dva ili više susednih stubova. Stablo stuba se dimenzioniše prema horizontalnim silama na stub koje potiču od sila zatezanja provodnika i od pritiska vetra na stub i na provodnike [1]. U [1] je razmatran samo slučaj kada stub ima samo dva susedna stuba sa kojima je povezan, a korisnički program opisan u ovom radu obuhvata opšti slučaj.

Propisima za nadzemne vodove utvrđeni su slučajevi normalnog opterećenja koji treba da budu ispunjeni pri proračunu horizontalnih sila za izbor naznačene sile stabla stuba. Temelj stuba se dimenzioniše prema izabranom stubu i prema karakteristikama tla na mestu ugradnje.

Korisnički program napisan je u programu za tabelarne proračune, prema principima izrade inženjerskih proračuna datim u [2]. Program omogućava korisniku alfanumeričko zadavanje ulaznih parametara, brz proračun i proveru više varijanti rešenja, a generišu se i prostorni prikazi provodnika i sila. Korisnički program ima dve celine, koje se odnose na stabla stubova i temelje. Postupak proračuna i sâm korisnički program biće opisani kroz prikaz odeljaka programa.

2. DIMENZIONISANJE STABLA STUBA

Dimenzionisanje stabla stuba sprovodi se proverom da li odabrano standardizovano stablo stuba može da izdrži horizontalne sile koje deluju na njega. Osnovne veličine stabla stuba su: naznačene dužina stabla stuba i naznačena sila stabla stuba. Opterećenje stabla zavisi od njegove uloge (noseći ili zatezni) i sila usled vetra i sila zatezanja provodnika. Osnovni rezultat je da li razmatrani stub zadovoljava uslove za ulogu koja mu je namenjena.

Postupak dimenzionisanja stabla stuba biće ilustrovan kroz prikaz odeljaka korisničkog programa (izveštaja kao dela projektne dokumentacije i, istovremeno, maske za unos podataka). Dimenzionisanje stabla stuba sprovodi se kroz proveru da li određeni stub zadovoljava tražene uslove; ukoliko ih ne zadovoljava korisnik može lako da proveriti da li ih drugačiji stub zadovoljava.

2.1 Organizacija ulaznih podataka

Unos podatka ima dve celine koje se odnose na:

- podatke za stub i zajedničke podatke za sve vodove (Slika 1),
- podatke za sve vodove koji se nalaze na stubu (Slika 2).

Svi nazivi veličina, oznake, navodi tabela izvora podataka usklađeni su sa literaturom [1].

Dubina ukopavanja stuba (t_u) na Slici 1 automatski se izračunava kao preporučena dubina iz [1], a korisnik može da unese i drugu vrednost; ista vrednost mora da bude uneta i pri izboru temelja stuba.

A	B	C	D	E
12	Ulazni podaci za stub i zajednički podaci za vodove			
13	Oznaka stuba			C22
14	Vrsta stuba (N - noseći, Z - zatezni)	Vrsta_st		Z
15	Naznačena dužina stabla stuba	L_n	m	12
16	Jednostruki ili dvostruki stub (1 ili 2)	N_{st}		1
17	Naznačena sila JEDNOG stabla stuba	F_{n1}	daN	2000
18	Koeficijent dejstva pritiska vetra na provodnike	k_{wp}		1
19	Koeficijent dejstva pritiska vetra na stub (2x za dvostruki)	k_{wst}		0,70
20	Pritisak vetra po jedinici površine stuba	p_w	daN/m ²	60
21	Dubina ukopavanja stuba	t_u	m	2,20
22	Prečnik stuba na dnu - Tabela 2.3 [1]	D	m	0,50
23	Prečnik stuba na vrhu - Tabela 2.3 [1]	d	m	0,26
24	Uticao kućnih priključaka (KP): 0, 40 ili 80, Primer 2.4 [1]	F_{kp}	daN	80

Slika 1 – Ulazni podaci za stub

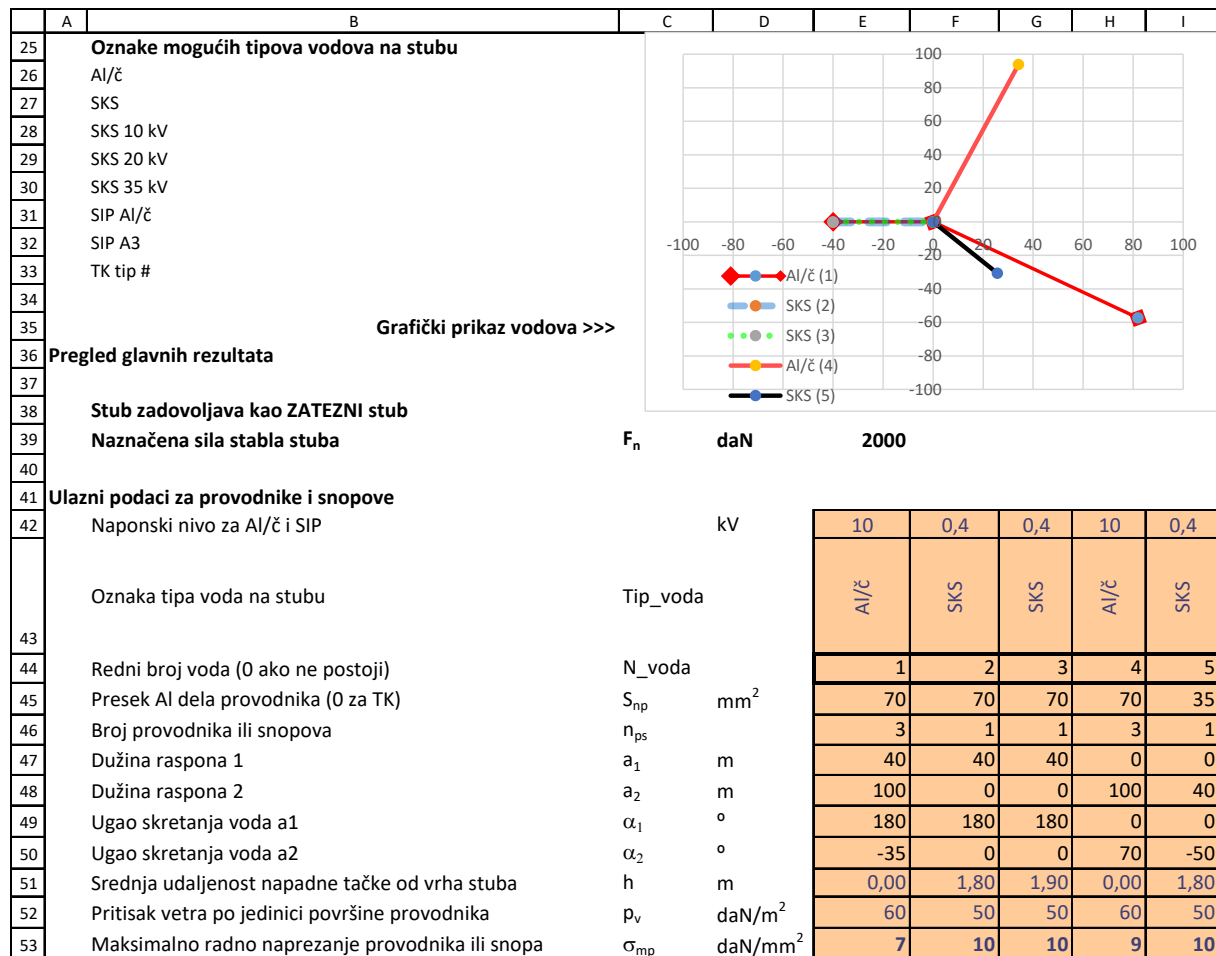
Stub koji se dimenzioniše može da prihvata više vodova (u ovom programu do pet vodova). Svaki vod može da povezuje razmatrani stub sa jednim ili sa dva susedna stuba; u prvom slučaju razmatrani stub je krajnji stub voda.

Oznake mogućih tipova vodova prikazane su na Slici 2 (gore levo). Ove oznake se unose u red 46 (kolone E do I) i na osnovu njih se automatski upisuju njihove karakteristike iz odgovarajućih tabela. I ostale karakteristike vodova unose se u opseg E42:I53.

Kako bi se izbegle greške u unosu podataka o rasponima i uglovima skretanja trase vodova, automatski se generiše grafički prikaz (gornji desni ugao na Slici 2). Razmatrani stub se postavlja u koordinatni početak. U

prikazanom slučaju vod Al/č (1) povezuje levi stub sa razmatranim stubom, a potom trasa skreće za -35 stepeni. SKS vodovi 2 i 3 povezuju levi stub sa razmatranim stubom i na njemu se završavaju.

Najzad, na centru prostora za unos podataka (redovi 36-39) dat je i rezultat provere da li izabrani stub zadovoljava, što korisniku omogućava brz uvid u moguća rešenja.



Slika 2 – Ulazni podaci za stub, grafički prikaz vodova i pregled glavnih rezultata

2.2 Proračun sila usled vetra

Uticaj vetra obuhvata se preko sila svedenih na vrh stuba (Slika 3):

- ukupne sile vetra na sve provodnike (ili snopove),
- sile vetra na nadzemni deo stabla stuba,
- sila kojom se obuhvata uticaj kućnih priključaka, koja deluje kolinearno silama usled vetra [1].

Slika 3 prikazuje postupak i rezultate proračuna sila usled vetra.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
54	Sila vetra na provodnike								
55		Dužina srednjeg raspona - "vetrovni raspon" $(a_1+a_2)/2$	a_{sr}	m	70	20	20	50	20
56		Spoljašnji prečnik provodnika - tabele Prilog: 1 - 9 [1]	d_{ps}	mm	11,7	37,5	37,5	11,7	33,5
57		Sila od pritiska vetra na provodnike voda - 2.4 [1]	F_{wvp}	daN	147	38	38	105	34
58		$F_{wvp}=n_{ps} \cdot p_v \cdot a_{sr} \cdot d_{ps} / 1000$							
59		Koeficijent svođenja na sile na vrh stuba $(L_n-h)/L_n$	k_h		1,00	0,85	0,84	1,00	0,85
60		Vršna sila priiska vetra na provodnike	F_{rwp}	m	147	32	32	105	28
61	Sile vetra na stub								
62		Prečnik stuba na nivou tla $D - (D-d)/L_n \cdot t_u$	D_1	m	0,46				
63		Visina dela stuba iznad zemlje $h_w=L_n-t_u$	h_w	m	9,8				
64		Vršna sila od pritiska vetra na stub - (2.9) [1]	F_{rwst}	daN	82				
65		$F_{rwst}=1/L_n \cdot k_{wst} \cdot p_w \cdot [d \cdot h_w \cdot (h_w/2+t_u) + (D_1-d)/2 \cdot h_w \cdot (h_w/3+t_u)]$							
66		Ukupna sila vetra na stub i sve provodnike + uticaj KP	F_{rw}	daN	506				
67		$F_{rw}=\Sigma(F_{rwp})+F_{rwst}+F_{(w)kp}$							

Slika 3 – Proračun sila vetra na provodnike i na stub

2.3 Proračun sila usled zatezanja provodnika

Sile usled zatezanja provodnika od značaja za dimenzionisanje stabla stuba su:

- rezultantna sila zatezanja svih provodnika i
- maksimalna sila zatezanja provodnika pri kritičnom kidanju nekih od provodnika.

Za izradu korisničkog programa korišćen je nešto opštiji model nego u [1]. Svaki provodnik ili snop vezan za razmatrani stub i jedan od susednih stubova deluje silom zatezanja u pravcu provodnika i smeru od stuba (vidi grafički prikaz na Slici 1). Svaka pojedinačna sila izračunava se u redu 70 sa Slike 4. U daljem toku proračuna svaka od ovih sila razlaže se na svoju X i Y komponentu, formiraju se algebarski zbrojevi X i Y komponenti na osnovu kojih se na kraju određuje i rezultantna sila zatezanja koja deluje na vrh stuba, kao i njen ugao (redovi 77 i 78).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
68	Sile usled zatezanja provodnika svedene na vrh stuba								
69		Ukupni noseći presek provodnika (užeta) ili snopa	S_u		81,3	54,6	54,6	81,3	54,6
70		Sila zatezanja provodnika: $F_{zpi}=n_{ps} \cdot \sigma_{mp1} \cdot S_u \cdot k_h$	F_{zpi}	daN	1707	464	460	2195	464
71		<i>Komponente sila u II i III kvadrantu (! - sila u $F_{zpi,max}$)</i>			!	!	!		
72		X componenta sile zatezanja provodnika LEVO	F_{zpiXL}		-1707	-464	-460	0	0
73		Y componenta sile zatezanja provodnika LEVO	F_{zpiYL}		0	0	0	0	0
74		<i>Komponente sila u I i IV kvadrantu (! - sila u $F_{zpi,max}$)</i>						!	
75		X componenta sile zatezanja provodnika DESNO	F_{zpiXD}		1399	0	0	751	298
76		Y componenta sile zatezanja provodnika DESNO	F_{zpiYD}		-979	0	0	2063	-356
77		Rezultantna sila zatezanja provodnika	F_{rz}	daN	751				
78		Ugao rezultantne sile zatezanja provodnika	β_{rz}	°	104				
79									
80		Maks. sila zatezanja pri kritičnim uslovima + uticaj KP	$F_{zpi,max}$	daN	2791				
81		Ugao maksimalne sile zatezanja	$\beta_{zpi,max}$	°	132				

Slika 4 –Sile usled zatezanja provodnika svedene na vrh stuba

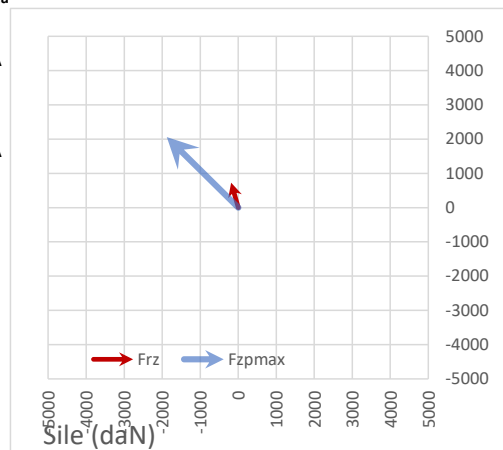
Pri kidanju nekih vodova (razmatra se kidanje sva tri fazna provodnika odjednom za Al/č ili SIP vodove ili kidanje snopa SKS i TK vodova) dolazi do neravnoteže i ukupna sila koja deluje na stub može da bude veća od pomenute rezultante sile zatezanja. Ovakva maksimalna sila zatezanja pri kritičnim uslovima kidanja vodova dobija se pretraživanjem svih kombinacija kidanja vodova u posebnom delu korisničkog programa. Maksimalna sila zatezanja i njen ugao dati su u redovima 80 i 81 (Slika 4), a delovi vodova koji učestvuju u formiranju ove sile (koji nisu prekinuti) označeni su znakom uzvičnika u redovima 71 i 74.

2.4 Slučajevi za proveru i rezultati

Propisima za nadzemne vodove [1] utvrđeni su slučajevi normalnog opterećenja koji treba da budu ispunjeni pri proračunu horizontalnih sila za izbor naznačene sile stabla stuba. Sile za ove slučajeve (Slika 5) izračunavaju se na osnovu do sada izračunatih karakterističnih sila. Naznačena sila stabla nosećih stubova treba da bude veća od sila u slučajevima 1.a i 1.b; za zatezne stubove su merodavni slučajevi 1.a i 2.a.

Slika 5 daje i grafički prikaz rezultante sile zatezanja svih provodnika i maksimalne sile zatezanja pri kritičnim uslovima kidanja provodnika.

	A	B	C	D	E	F	G	H
82		Slučajevi za proveru						
83		1.a: $F_{r1a}=F_{rz}$	F_{r1a}	daN		751		
84		1.b: $F_{r1b}=2/3 * F_{rz} + F_{rw}$	F_{r1b}	daN		1007		
85		2.a: $F_{r2a}=2/3 * F_{zpm} + F_{kp}$	F_{r2a}	daN		1941		
86								
87		Stub zadovoljava kao NOSEĆI stub (1a i 1b)	DA					
88		2000 = Fn >= MAX(Fr1a;Fr1b) = 1007						
89								
90		Stub zadovoljava kao ZATEZNI stub (1a i 2a)	DA					
91		2000 = Fn >= MAX(Fr1a;Fr2a) = 1941						
92								
93								
94		Grafički prikaz F_{rz} i F_{zpm} >>>						
95								
96								
97								
98								
99								
100								



Slika 5 – Slučajevi za proveru i rezultati

3. DIMENZIONISANJE TEMELJA STUBA

Poseban deo korisničkog programa (fajl) sačinjen je za izbor standardizovanog temelja stuba. Za izradu programa primenjen je postupak [1] zasnovan na korišćenju tabelarnih podataka o dozvoljenim momentima temelja.

Ulazni podaci za proračun su naznačena dužina i sila stabla stuba i vrsta tla. Dodatne informacije o karakteristikama tla, korisnik unosi kroz usvajanje nosivosti tla i konstante C (Slika 6).

Postupak proračuna, uključujući i način korišćenja tabele sa podacima za prizmatični temelj dat je na Slici 7.

Pored prizmatičnog temelja, korisnički program istovremeno izabira i valjkasti temelj i prizmatični temelj za dvostruki stub. Ukoliko neki tip temelja ne zadovoljava tehnički ili ekonomski, program ispisuje odgovarajuću informaciju. Na Slici 8 prikazani su izvodi iz izveštaja za izbor valjkastog i prizmatičnog temelja za dvostruki stub, sa ulaznim podacima kao za prizmatični temelj sa Slike 6.

Ulazni podaci		
Naznačena dužina stabla stuba	L_n	12 m
Naznačena sila stabla stuba	F_n	2.000 daN
Vrsta tla	VrstaTla	E2
srednje čvrst lapor		
Proračun		
Minimalni moment temelja u dnu stabla stuba (Tabela 2.1)	$F_n L_n$	24.000 daNm
Preporučena dubina ukopavanja temelja	t	2,2 m
Maksimalna nosivost tla (Tabela 2.2)	N_{tmax}	4
Usvojena nosivost tla	N_t	4
ako nema dodatnih okolnosti ili podataka, usvaja se N_{tmax}		
Minimalna vrednost konstante C	C_{min}	13
Maksimalna vrednost konstante C	C_{max}	16
Konstanta C - usvojeno	C	15 daN/cm ²
za vlažno i manje nabijeno tlo na 2 m dubine usvajaju se niže vrednosti za konst. C		
za suvo i jače nabijeno tlo na 2 m dubine usvajaju se veće vrednosti za konst. C		
ako nema dodatnih okolnosti ili podataka, usvaja se srednja vrednost od C_{min} i C_{max}		

Slika 6 – Ulazni podaci za izbor temelja stuba

PRIZMATIČNI TEMELJ			
Prema tabeli iz Priloga 10, kolona tabele iz koje se uzima dozvoljeni moment temelja prema mogućim vrednostima za konstantu tla C: 3, 5, 6, 8, 10, 12 i 14			
Prema nosivosti tla N_t (kolona sa manjom ili jednakom vrednošću)			12
Prema konstanti tla tla C (kolona sa manjom ili jednakom vrednošću)			14
Usvojena (manja) vrednost za kolonu prema C	C_{tab}		12
Merodavni deo tabele Priloga 10	M_d [daNm]	b[m]	Tip
	1	33.472	0,8 PT17
	2	38.181	0,9 PT18
	3	48.077	1,1 PT19
	4	53.293	1,2 PT20
Dozvoljeni moment temelja	M_d	33.472 daNm	
Zadovoljen kriterijum iz izraza (2.1)	33472 = Md >= FnLn = 24000		DA
Tip odabranog temelja			PT17
Dužina kvadratne osnove temelja	b	0,8 m	
Dimenzije temelja t x b x b	2,2x0,8x0,8 m x m x m		

Slika 7 – Izbor prizmatičnog temelja

VALJKASTI TEMELJ		
Dozvoljeni moment temelja	M_{dVT}	33472 daNm
Zadovoljen kriterijum iz izraza (2.1)	33472 = MdVT >= FnLn = 24000	
Tip odabranog temelja	VT20	
Prečnik valjkaste osnove temelja	D	0,9 m
Dimenzije temelja	2,2 x ϕ0,9 m x m	
PRIZMATIČNI TEMELJ ZA DVA STABLA STUBA		
Postoji racionalniji prizmatični temelj za jedno stablo stuba!		
Prema tabeli iz Priloga 12 - prizmatični temelj za dva stuba nije primenljiv za $L_n < 15$ m		

Slika 8 – Izvodi iz izveštaja za izbor valjkastog i prizmatičnog temelja za dvostruki stub

4. ZAKLJUČAK

U radu je kroz primer prikazan korisnički program za dimenzionisanje standardizovanih betonskih stabala i temelja stubova sačinjen u programu za tabelarne proračune (spreadsheet). Program omogućava korisniku

alfanumeričko zadavanje ulaznih parametara, brz proračun i proveru više varijanti rešenja; može se koristiti za projektovanje novih vodova i za proveru da li se na postojeći stub može dodati novi vod. Program automatski prikuplja potrebne podatke iz tabela, generiše grafički prikaze i kompletan izveštaj za tehničku (projektantsku) dokumentaciju. Pomenuti grafički prikazi se odnose na uglove i raspone vodova koje stub nosi, kao i na vektore karakterističnih sila zatezanja koje deluju na stub.

5. LITERATURA

- [1] Bojković T, Tanasković M. i Perić D, 2009, "Distribucija električne energije – rešeni primeri", Akademska misao, Beograd
- [2] Tanasković M, Perić M, 2021, "Proračun strujnog opterećenja nadzemnih vodova sa Al/č provodnicima za potrebe projektovanja", Savetovanje CIREC Srbija, Vrnjačka Banja