

**PRORAČUN VUČNIH SILA KOD MAŠINSKOG POLAGANJA VN KABLOVA U ROV****THE CALCULATION OF TRACTION FORCES IN MACHINE LAYING
OF HV CABLES IN TRENCH**

Miladin TANASKOVIĆ

Dragoslav PERIĆ

KRATAK SADRŽAJ

Elektroenergetske mreže srednjeg i visokog napona (10 kV - 400 kV) u urbanim gradskim sredinama realizuju se elektroenergetskim kablovima koji se najčešće polažu u rov. Izgradnja kablovskih vodova u rezidencijalnim delovima gradova izrazito je složen posao, kako sa stanovišta blizine drugih infrastrukturnih i građevinskih objekata, tako i zbog imperativa efikasnog izvođenja radova. Značajno skraćanje dužine trajanja polaganja kablova postiže se mašinskim polaganjem za koje je prethodno potrebno izračunati vučne sile na svim deonicama trase. U ovom radu prikazani su izrazi za određivanje vučnih sila za karakteristične delove deonica (prava trasa u horizontalnoj i kosoj ravni, krivine u horizontalnoj i vertikalnoj ravni), kao i metodološki pristup za proračun vučnih sila kod mašinskog polaganja elektroenergetskih kablova u rov primenom korisničkog programa napisanog u radnim tabelama (spreadsheet).

Ključne reči: mašinsko polaganje elektroenergetskih kablova, rov, vučne sile pri polaganju kablova

ABSTRACT

The high voltage network (10 kV - 400 kV) in urban areas are realized with electric power cables that are usually laid in the trench. The installation of cable lines in residential parts of cities is an extremely complex job, both from the point of the proximity of other infrastructure and construction objects, and the imperative of efficient execution of works. A significant reduction in the duration of cable laying is achieved by machine laying, for which it is previously necessary to calculate the traction forces on all sections of the route. This paper presents expressions for determining the traction forces for characteristic sections of the route (straight route in the horizontal and slope plane, curves in the horizontal and vertical plane), as well as the methodological approach for calculating traction forces in machine laying of power cables in the trench by applying an user program written in spreadsheets.

Key words: mechanical laying of electric power cables, trench, traction forces when laying cables

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

1. UVOD

Mašinsko polaganje sredjenaponskih (SN) i visokonaponskih (VN) kablova u rov, pored toga što je vremenski kraće i što zahteva mnogo manji broj radnika u odnosu na ručno polaganje, ima i značajnu prednost u odnosu na ručno polaganje jer je spoljni zaštitni omotač kabla opterećen samo silom trenja [1].

Sila vučenja kod ručnog polaganja kablova uz upotrebu koturača (koje se koriste i kod mašinskog polaganja) obezbeđuje se angažovanjem potrebnog broja radnika duž trase kabla, kao i posebne grupe za vuču samog kabla [2]. Procenjeni potreban broj radnika za kablovsku deonicu dužine oko 500 m sa 7-8 krivina i sa podužnom masom kabla od oko 8 kg/m iznosi od 70 do 80 [2].

Sila vučenja se kod mašinskog polaganja kabla obezbeđuje pomoću vučne mašine (vitla) i neophodno ju je proračunati pre polaganja kabla kako bi se utvrdilo da li je dozvoljena vučna sila posmatranog kabla veća od vučne sile i potrebno je proveriti da li kapacitet vučne mašine zadovoljava [2, 3].

U ovom radu su za različite uslove na trasi kabla (prava trasa u horizontalnoj i kosoj ravni, krivine u horizontalnoj i vertikalnoj ravni) dati izrazi za proračun vučnih sila [4], podaci za koeficijente trenja, dozvoljene vučne sile i poluprečnike savijanja [1, 2, 3, 5], kao i primer proračuna za jednu od deonica na trasi hipotetičnog kablovskog voda 110 kV sa izolacijom od umreženog polietilena [6].

Primer proračuna vučnih sila kod mašinskog polaganja VN kablova u rovu urađen je primenom korisničkog programa napisanog u radnim tabelama.

2. IZRAZI ZA PRORAČUN SILA KOD MAŠINSKOG POLAGANJA KABLOVA U ROVU

U procesu projektovanja se cela trasa polaganja kablova zbog uslova na trasi i zbog definisanja potrebnih dužina kablova za isporuku na bubnjevima podeli na deonice. Mašinsko polaganje kablova u rov se za svaku deonicu realizuje tako što se bubanj sa kablom postavi na početak deonice, vučna mašina se postavi na kraj deonice i duž trase se postavi potrebna broj koturača. Pre otpočinjanja mašinskog vučenja ručno se razmota kabl sa bubnja u dužini početne sekcije na deonici (10 do 20 m) i postavi na koturače. Zatim se na provodnike kabla postavi „vučna glava“ koja se poveže sa čeličnom sajlom položenom u rovu do vučne mašine. Posle izvršenih vizuelnih provera opreme i spojeva pristupa se mašinskom polaganju kabla.

U tekstu koji sledi dati su izrazi za proračun vučnih sila kod mašinskog polaganja za VN kablove sa dielektrikom od umreženog polietilena [4] za početnu vučnu silu na deonici, kao i za različite uslove na trasi kabla (prava trasa u horizontalnoj i kosoj ravni, krivine u horizontalnoj i vertikalnoj ravni). U visokonaponskoj (110 kV) kablovskoj mreži u Srbiji pored kablova sa XLPE izolacijom postoje i kablovi sa papirnom izolacijom u uljnom kompaundu pod niskim pritiskom, ali se od 90-tih godina prošlog veka isključivo polažu kablovi sa čvrstim dielektrikom.

2.1 Početna vučna sila na deonici

Potrebna sila za pokretanje mašinskog vučenja sastoji se od dve komponente (1). Prva komponenta se sastoji od sile potrebne za razmatanje kabla sa bubnja (sila trenja u ležištu nosača bubnja) i sile potrebne da savlada moment inercije bubnja, i procenjuje se na 5% do 10% od težine bubnja sa kablom [2]. Druga komponenta je sila trenja za početnu sekciju kabla položenog na koturačama, koja je posledica pokretanja kabla iz stanja mirovanja, odnosno statičkog koeficijenta trenja.

$$F_0 = 0,1 \cdot G_B + \mu_s \cdot G' \cdot l_0, \quad (1)$$

gde je:

F_0 [N] – početna vučna sila na deonici;

G_B [N] – težina bubnja sa kablom;

G' [N/m] – težina kabla po jedinici dužine;

μ_s - koeficijent statičkog trenja za posmatranu deonicu i

l_0 [m] – dužina početnog dela prve sekcije deonice.

2.2 Sila na pravoj deonici u horizontalnoj ravni

Sila na pravoj deonici u horizontalnoj ravni (Slika 1) izračunava se iz izraza:

$$F_2 = F_1 + \mu \cdot G' \cdot l, \quad (2)$$

gde je:

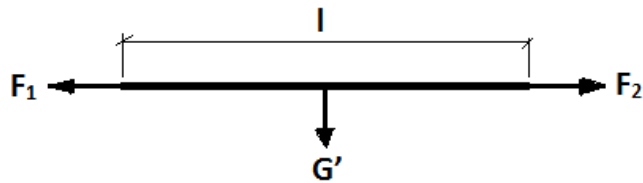
F_2 [N] – sila na kraju deonice;

F_1 [N] – sila na početku deonice;

G' [N/m] – težina kabla po jedinici dužine;

μ - koeficijent dinamičkog trenja za posmatranu deonicu i

l [m] – dužina prave deonice.



Slika 1 – Sila na pravoj deonici u horizontalnoj ravni

2.3 Sila na pravoj deonici u kosoj ravni – kabl se vuče uz strmu ravan

Sila na pravoj deonici u kosoj ravni kada se kabl vuče uz strmu ravan (Slika 2), izračunava se kao:

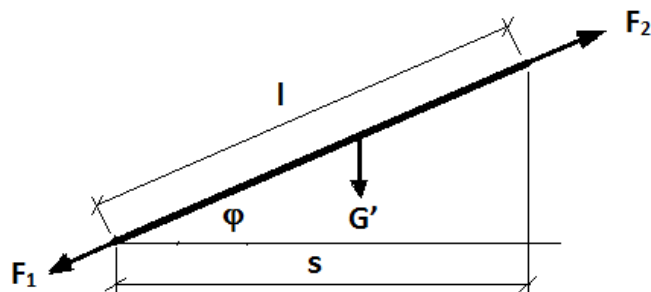
$$F_2 = F_1 + \mu \cdot G' \cdot \cos\varphi \cdot l + G' \cdot \sin\varphi \cdot l = F_1 + \mu \cdot G' \cdot s + G' \cdot s \cdot \operatorname{tg}\varphi, \quad (3)$$

gde je:

φ [°] – ugao nagiba trase u odnosu na horizontalu ($0^\circ < \varphi < 90^\circ$);

l [m] – dužina kose deonice i

s [m] – horizontalna projekcija dužine kose deonice.

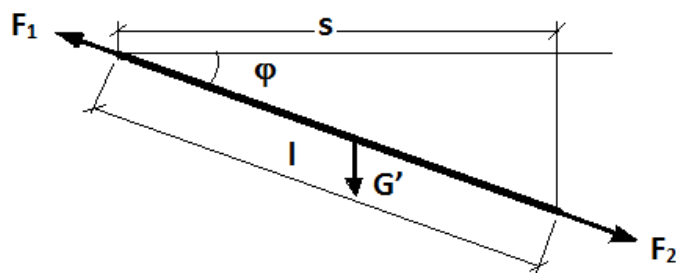


Slika 2 – Sila na pravoj deonici u kosoj ravni – kabl se vuče uz strmu ravan

2.4 Sila na pravoj deonici u kosoj ravni – kabl se vuče niz strmu ravan

Sila na pravoj deonici u kosoj ravni kada se kabl vuče niz strmu ravan (Slika 3) izračunava se iz izraza:

$$F_2 = F_1 + \mu \cdot G' \cdot \cos\varphi \cdot l - G' \cdot \sin\varphi \cdot l = F_1 + \mu \cdot G' \cdot s - G' \cdot s \cdot \operatorname{tg}\varphi, \quad (4)$$



Slika 3 – Sila na pravoj deonici u kosoj ravni – kabl se vuče niz strmu ravan

2.5 Sila na izlazu iz krivine u horizontalnoj ravni

Sila na izlazu iz krivine u horizontalnoj ravni (Slika 4), računa se prema izrazu:

$$F_2 = F_1 \cdot \cosh(\mu \cdot \alpha) + \sqrt{F_1^2 + (G' \cdot R)^2} \cdot \sinh(\mu \cdot \alpha), \quad (5)$$

gde je:

F_2 [N] – sila na izlazu iz krivine;

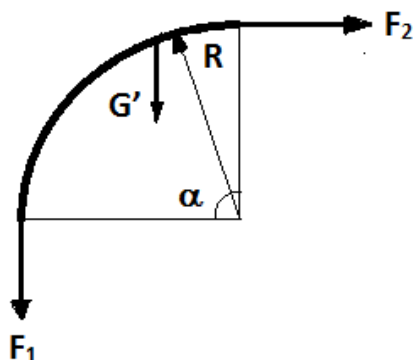
F_1 [N] – sila na ulazu u krivinu;

G' [N/m] – težina kabla po jedinici dužine;

R [m] – poluprečnik krivine;

μ - koeficijent dinamičkog trenja za posmatranu deonicu i

α – ugao između sile na ulazu i sile na izlazu iz krivine ($0 < \alpha \leq \pi$).



Slika 4 – Sila na izlazu iz krivine u horizontalnoj ravni

2.6 Sila na izlazu iz krivine u vertikalnoj ravni – kabl se vuče uz vertikalnu ravan

Sila na izlazu iz krivine u vertikalnoj ravni kada se kabl vuče uz vertikalnu ravan (Slika 5) izračunava se na sledeći način:

$$F_2 = F_1 \cdot e^{\mu \cdot \alpha} - \frac{G' \cdot R}{1 + \mu^2} \cdot [2 \cdot \mu \cdot \sin \alpha - (1 - \mu^2) \cdot (e^{\mu \cdot \alpha} - \cos \alpha)] \quad (6)$$

$$F_3 = F_2 \cdot e^{\mu \cdot \alpha} + \frac{G' \cdot R}{1 + \mu^2} \cdot [2 \cdot \mu \cdot e^{\mu \cdot \alpha} + (1 - \mu^2) \cdot (1 - e^{\mu \cdot \alpha} \cdot \cos \alpha)] \quad (7)$$

gde je:

F_3 [N] – sila na izlazu iz krivine;

F_2 [N] – sila na prelazu između konkavnog i konveksnog dela vertikalne trase;

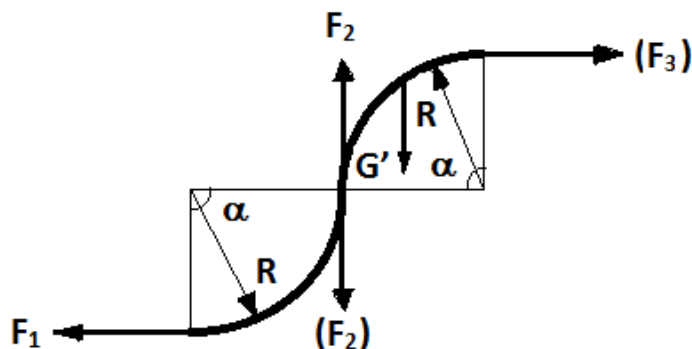
F_1 [N] – sila na ulazu u krivinu;

G' [N/m] – težina kabla po jedinici dužine;

R [m] – poluprečnik konkavnog i konveksnog dela vertikalne trase;

μ - koeficijent dinamičkog trenja za posmatranu deonicu i

α [°] – ugao konkavnog i konveksnog dela vertikalne trase ($\alpha = \pi/2$).



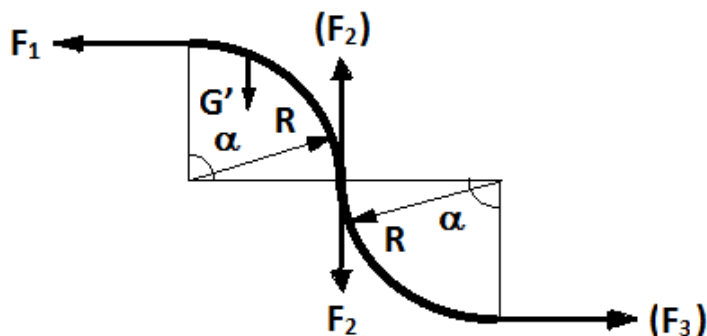
Slika 5 – Sila na izlazu iz krivine u vertikalnoj ravni – kabl se vuče uz vertikalnu ravan

2.7 Sila na izlazu iz krivine u vertikalnoj ravni – kabl se vuče niz vertikalnu ravan

Sila na izlazu iz krivine u vertikalnoj ravni kada se kabl vuče niz vertikalnu ravan (Slika 6) izračunava se na sledeći način:

$$F_2 = F_1 \cdot e^{\mu \cdot \alpha} + \frac{G' \cdot R}{1 + \mu^2} \cdot [2 \cdot \mu \cdot \sin \alpha - (1 - \mu^2) \cdot (e^{\mu \cdot \alpha} - \cos \alpha)] \quad (8)$$

$$F_3 = F_2 \cdot e^{\mu \cdot \alpha} - \frac{G' \cdot R}{1 + \mu^2} \cdot [2 \cdot \mu \cdot e^{\mu \cdot \alpha} + (1 - \mu^2) \cdot (1 - e^{\mu \cdot \alpha} \cdot \cos \alpha)] \quad (9)$$



Slika 6 – Sila na izlazu iz krivine u vertikalnoj ravni – kabl se vuče niz vertikalnu ravan

2.8 Sila pritiska između koturača i kabla u horizontalnim i vertikalnim krivinama

Sila pritiska između koturača i kabla u horizontalnim i vertikalnim krivinama (Slika 7) izračunava se prema izrazu:

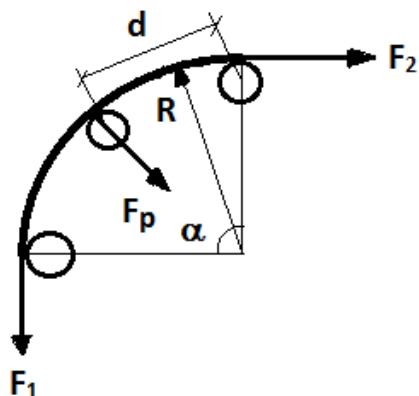
$$F_p = \frac{F_2 \cdot d}{R}, \quad (10)$$

gde je:

F_p [N] – sila pritiska između koturača i kabla;

d [m] – rastojanje između koturača;

R [m] – poluprečnik krivine.



Slika 7 – Sila pritiska između koturača i kabla u krivinama

3. DOZVOLJENA VUČNA SILA NA DEONICI

Dozvoljena vučna sila kada se za mašinsku vuču koristi „vučna glava“ [2, 3]:

$$F_d = S \cdot \sigma_{doz}, \quad (11)$$

gde je:

F_d [N] – dozvoljena vučna sila;

S [mm²] – površina poprečnog preseka elementa kabla koji se napreže pri vuči i

σ_{doz} [N/mm²] – dozvoljeno naprezanje na zatezanje materijala koji je izložen vuči.

U slučaju kada se „vučna glava“ vezuje za sve provodnike kabla S je zbir površina poprečnih preseka svih provodnika.

Za kablove sa sintetičkom izolacijom čiji je spoljašnji zaštitni plašt od polietilena (PE) pri polaganju kabla se ne koristi „kablovska čarapa“, jer se ona postavlja na spoljašnji omotač kabla.

Dozvoljeno naprezanje na zatezanje kod jednožilnih kablova sa bakarnim provodnicima prema [2, 4] iznosi 58,8 N/mm², odnosno 6 kg/mm² (58,86 N/mm²), dok u [3] dozvoljeno naprezanje na zatezanje iznosi 50 N/mm².

Dozvoljeno naprežanje na zatezanje kod jednožilnih kablova sa aluminijumskim provodnicima prema [2, 4] iznosi $24,5 \text{ N/mm}^2$, odnosno 3 kg/mm^2 ($29,43 \text{ N/mm}^2$), dok u [3] dozvoljeno naprežanje na zatezanje iznosi 30 N/mm^2 .

Vučnu silu (dozvoljeno naprežanje na zatezanje elementa kabla koji je izložen vuči) obično definiše proizvođač kabla.

Za radijalnu silu u krivinama, koja vrši pritisak na kabl, smatra se da ne sme premašiti vrednost od 2000 N po koturači [2].

4. KOEFICIJENTI STATIČKOG I DINAMIČKOG TRENJA

Koeficijent statičkog trenja je proporcionalan količniku minimalne vučne sile potrebne za pokretanje kabla i komponente težine kabla normalne na površinu vučenja, dok je koeficijent dinamičkog trenja proporcionalan količniku minimalne vučne sile potrebne da se kabl održava u kretanju i komponente težine kabla normalne na površinu vučenja. Koeficijent dinamičkog trenja je manji od statičkog i zavisi od brzine vučenja kabla i smatra se da je za opsege brzina vučenja od $0,01 \text{ m/s}$ do 7 m/s konstantan [2].

Za polaganje preko koturača koeficijent dinamičkog trenja iznosi $0,15$ [1, 2, 3], dok je u [5] vrednost za koeficijent dinamičkog trenja $0,35$.

Za smanjenje koeficijenta statičkog trenja koriste se razne vrste sredstava za podmazivanje i u tom slučaju vrednosti za ovaj koeficijent su neznatno veće od koeficijenta dinamičkog trenja (oko $0,2$) [2].

Koturače se uobičajeno postavljaju na rastojanju od oko [2]:

$$d \approx 20 \cdot D_k, \quad (12)$$

gde je:

$d [m]$ – rastojanje između koturača i

$D_k [mm]$ - spoljni prečnik kabla.

5. DOZVOLJENI POLUPREČNICI SAVIJANJA KABLOVA

Da pri polaganju kablova u krivinama ne bi došlo do oštećenja spoljnog zaštitnog plašta i izolacije zbog naprežanja na savijanje, definiše se najmanji dozvoljeni poluprečnik savijanja kabla:

$$R_{min} = 9 \cdot (D_k + d_p), \quad (13)$$

gde je:

$R_{min} [mm]$ – minimalni dozvoljeni poluprečnik savijanja kabla i

$d_p [mm]$ – prečnik provodnika.

Manji poluprečnici savijanja dozvoljeni su ako se za savijanje koriste elementi za oblikovanje šablona. U ovim slučajevima se vrednosti minimalnih dozvoljenih poluprečnika mogu smanjiti do 30 %.

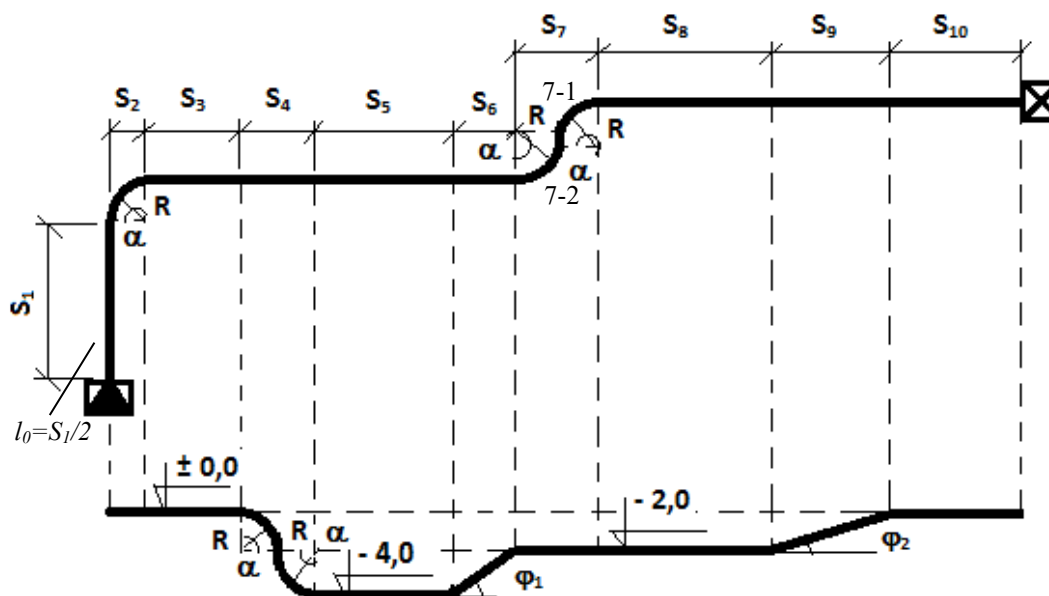
Minimalni poluprečnik savijanja kabla obično definiše proizvođač kabla.

6. PRIMER PRORAČUNA VUČNIH SILA KOD MAŠINSKOG POLAGANJA VN KABLOVA POMOĆU PROGRAMA ZA TABELARNE PRORAČUNE

Situacija i podužni profil na hipotetičnoj trasi početne deonice kablovskog voda 110 kV za koju će biti izložen primer proračuna vučnih sila kod mašinskog polaganja kablova pomoću programa za tabelarne proračune prikazani su na slici 8, sa sledećim ulaznim podacima:

- Dužina početnog dela prve sekcije deonice l_0 je 20 m .
- Usvojene vrednosti za koeficijente dinamičkog i statičkog trenja su $0,15$ i $0,2$, respektivno.
- Podaci za kabl 110 kV
 - Tip kabla: A2XS(FL)2Y 1X1000RM/95-64/110 kV Estralin HVC;
 - Materijal, presek i prečnik provodnika: aluminijum, 1000 mm^2 i $38,1 \text{ mm}$;
 - Materijal izolacije: XLPE umreženi polietilen;
 - Spoljni prečnik kabla: $94,9 \text{ mm}$;

- Podužna masa kabela: 8,9 kg/m;
- Masa bubnja sa kablom: 5500 kg;
- Minimalni poluprečnik savijanja kabela: 1,43 m i
- Maksimalna dozvoljena vučna sila: 30000 N.



Podaci za trasu kabela na deonici D1 dužine 452,96 m:

$S_1 = 40$ m; $S_2 = 2$ m; $S_3 = 157$ m; $S_4 = 4$ m; $S_5 = 55$ m;

$S_6 = 3,46$ m; $S_7 = 4$ m; $S_8 = 143$ m; $S_9 = 5,5$ m;

$S_{10} = 39$ m; $\alpha = 90^\circ$; $\varphi_1 = 30^\circ$; $\varphi_2 = 20^\circ$; $R = 2$ m.

Slika 8 – Situacija i podužni profil na početnoj deonici D1 trase kabela

Na Slici 9 prikazani su rezultati proračuna. Redovi u tabeli odgovaraju sekcijama kabela sa Slike 8, s tim da je sekcija S7 modelovana kao dve sekcije (7-1 i 7-2), a uvedena je i fiktivna sekcija 0 za modelovanje početnog dela prve sekcije. Iz rezultata se vidi da je ukupna potrebna vučna sila 2870 N, a najveća sila pritiska između koturača i kabela iznosi 1992 N, što je manje od dozvoljenih 2000 N.

Proračun za polaganje kabela XHE-49-A 185 mm² 35 kV urađen je sa odgovarajućim pratećim podacima. Ukupna potrebna vučna sila iznosi 729 N, a najveća sila između koturača i kabela je 512 N.

	A	B	D	F	G	H	I	J	K	Legenda:
	i	t_i	S_i [m]	β [°]	β [rad]	F_{iz} [N]	F_i [N]	d_i [m]	F_k [N]	A,B, ... - oznake kolona u <i>spreadsheet</i> tabeli;
5	0	1	20			586	586			5, 6, 7, ... - oznake redova/vrsta u <i>spreadsheet</i> tabeli;
6	1	2	40			612	27			i – broj sekcije (0 za početni deo prve sekcije);
7	2	5	2	90	1,57	775	163	1,53	593	t_i – tip sekcije i (prema drugom delu oznake u poglavlju 2: 2.t);
8	3	2	157			985	210		1670	S_i – dužina sekcije i ;
9	4	7	4	90	1,57	1529	544	1,53		β - relevantni uglovi sa slika u poglavlju 2 - α ili φ ;
10	5	2	55			1602	73			F_{iz} – izlazna sila sekcije (F2 ili F3);
11	6	3	3,46	30	0,52	1624	22			F_i – sila za pojedinačnu sekciju; i
12	7-1	5	2	90	1,57	2056	432	1,53	1574	
13	7-2	5	2	90	1,57	2602	546	1,53	1992	
14	8	2	143			2793	737			

15	9	3	5,5	20	0,35	2818	25			d_i – rastojanje između koturača (slika 7);
16	10	2	39			2870	52			F_p – sila pritiska između koturača i kabla (slika 7).

Slika 9 – Rezultati proračuna

Proračun je urađen pisanjem korisničkog programa u programu za unakrsna izračunavanja (*spreadsheet*). Na slici 10 prikazan je deo programskog kôda – formule upisane u ćeliju H5 sa izračunatom vrednošću **586**. Oznake u formuli: **GB**, **mi_s**, **mi_d**, **Gprim** su imenovane ćelije koje se odnose redom na veličine: G_B , μ_s , μ , G' . Ćelije u kolonama A, B, ... odnose se na veličine kao što je navedeno u legendi. Ova formula se kopira na dole u sve redove sa podacima.

Korišćena je funkcija **CHOOSE**, čiji prvi argument (**B5**) može u ovom slučaju da bude broj od 1 do 7 za 7 tipova sekcija navedenih u poglavlju 2. Ostali argumenti odgovaraju redom izrazima za navedene slučajeve. Na primer, deo formule **H4+mi_d*Gprim*(D5-IF(A5=1;D4;0))**; odgovara sili na prvoj deonici u horizontalnoj ravni iz tačke 2.2. Kopiranjem na dole, ovaj deo formule, sada u ćeliji **H6**, postaje **H5+mi_d*Gprim*(D6-IF(A6=1;D5;0))**; – pa pošto je rezultat izračunavanja funkcije **IF**: $D6-D5=40-20=20$ m, odnosno $l-l_0$, saglasno izrazima (1) i (2). Drugim rečima, ako je horizontalna sekcija istovremeno i prva sekcija, njena dužina se umanjuje za dužinu početnog dela prve sekcije, koja je već razvučena.

Pisanje ovako složene formule može da izgleda komplikovano, ali pisanjem u više redova (Alt+Enter) i postupnim pisanjem i testiranjem jednog po jednog argumenta, uz korišćenje i drugih raspoloživih tehnika, formula se može relativno lako napisati.

	=CHOOSE(B5;		
1*>>	0,1*GB+mi_s*Gprim*D5;	H4+mi_d*Gprim*(D5-IF(A5=1;D4;0));	<<2
3>>	H4+mi_d*Gprim*D5+Gprim*D5*TAN(G5);	H4+mi_d*Gprim*D5-Gprim*D5*TAN(G5);	<<4
5>>	H4*COSH(mi_d*G5)+SQRT(H4^2+(Gprim*D5)^2)*SINH(mi_d*G5);		<<5
6>>	(H4*EXP(mi_d*G5)-Gprim*D5/2/(1+mi_d^2)*(2*mi_d*SIN(G5)-(1-mi_d^2)*(EXP(mi_d*G5-COS(G5)))))*EXP(mi_d*G5)+Gprim*D5/2/(1+mi_d^2)*(2*mi_d*EXP(mi_d*G5)+(1-mi_d^2)*(EXP(mi_d*G5-COS(G5)))));		<<6
7>>	(H4*EXP(mi_d*G5)+Gprim*D5/2/(1+mi_d^2)*(2*mi_d*SIN(G5)-(1-mi_d^2)*(EXP(mi_d*G5-COS(G5)))))*EXP(mi_d*G5)-Gprim*D5/2/(1+mi_d^2)*(2*mi_d*EXP(mi_d*G5)+(1-mi_d^2)*(EXP(mi_d*G5-COS(G5)))));		<<7
*Brojevi sa strane označavaju tip sekcije i odgovarajući deo poglavlja 2.			

Slika 10 – Formula u ćeliji H5, koja se kopira na dole

7. ZAKLJUČCI

U radu je prikazan teorijski postupak i korisnički program za izračunavanje vučnih sila pri mašinskom polaganju kabla u programu za unakrsna izračunavanja (*spreadsheet*). Primer proračuna vučnih sila koji je dat u radu odnosi se na visokonaponske kablove, ali se izloženi postupak u potpunosti može primeniti i za jednožilne kablove sa sintetičkom izolacijom i drugih naznačenih napona.

Skraćenje dužine trajanja polaganja kablova, kao i smanjenje troškova polaganja, postiže se mašinskim polaganjem kablova za koje je prethodno potrebno izvršiti pripremu izračunavanjem vučnih sila na svim deonicama trase.

Smanjenje vučne sile na deonici trase kabla postiže se posebnim sredstvima za podmazivanje sa kojim se smanjuje koeficijent dinamičkog trenja između koturača i kabla.

Smanjenje sile pritiska u krivinama između koturača i kabla, ukoliko je potrebno, postiže se smanjenjem rastojanja između koturača, odnosno dodavanjem koturača.

8. LITERATURA

- [1] J. Weltgen: “Mechanical Laying of Power Cables”, Reprint from FELTEN & GUILLEAUME-Rundachau, No. 55, pages 62-73 (May 1968)

- [2] B. Lalević: "Elektroenergetski kablovi", Beograd, 1993.
- [3] D. Tasić: "Osnovi elektroenergetske kablovske tehnike", Elektronski fakultet u Nišu, 2001.
- [4] CIGRE Working Group 21.17.: "Construction, Laying and Installation Techniques for Extruded and Self Contained Fluid Filled Cable Systems", August 2001.
- [5] Southwire Company: "Power Cable Installation Guide", Carrollton, Georgia, USA.
- [6] Estralin High Voltage Cables: "Power cables and cable systems 110-220 kV, Modern solutions for power cables", Moscow, Russia.