

Činitele ovplyvňujúce rezistanciu vodičov vonkajších silových vedení

¹Anastázia MARGITOVÁ, ²Michal KOLCUN

^{1,2} Department of Electric Power Engineering, Faculty of Electrical Engineering and Informatics, Technical University of Košice, Slovak Republic

¹anastazia.margitova@tuke.sk, ²michal.kolcun@tuke.sk

Abstrakt — Vonkajšie silové vedenie je zariadenie na prenos a rozvod elektrickej energie postavené nad zemou mimo budov. V prípade vonkajších vedení rôznych napäťových hladín je možné uvažovať s pozdĺžnymi parametrami (rezistencia a indukčnosť) a priečnymi parametrami (zvod a kapacita). Tento článok sa zaoberá skúmaním činného odporu (resp. rezistancie) vodičov vonkajších vedení. Praktická časť skúma vplyv typu vodičov, skinefektu, krútenia lán, priehybu vodičov a taktiež teploty na rezistanciu vonkajších vedení.

Kľúčové slová — vonkajšie silové vedenie, rezistencia, skinefekt, krútenie lán, priehyb vodiča, teplotná závislosť odporu

I. ÚVOD

Rezistencia, resp. činný odpor je striedavý, resp. jednosmerný elektrický odpor vodičov a spotrebičov, v ktorých nevzniká ani elektromagnetické, ani elektrostatické pole, takže prúd ostáva vo fáze so svojim napätím [1]. Rezistencia je konštanta pre neferomagnetické materiály a funkcia prúdu pre feromagnetické materiály (napríklad oceľové laná) [2]. Veľkosť rezistencie ovplyvňujú mnohé činitele. Pri výpočtoch sa zvyčajne uvažuje s týmito vplyvmi: materiál a čistota vodiča, teplota, skinefekt, krútenie lán, priehyb atď.

Pri ustálenom jednosmernom prúde platí pre odpor vodiča pri teplote 20 °C o priereze S a rezistivite ρ_{20} (pri 20 °C, rešpektuje materiál a čistotu vodiča) na jednotku dĺžky vzťah [3]:

$$R_{20\text{DC}} = \frac{\rho_{20}}{S} \quad (\Omega\text{m}^{-1}; \Omega\text{m}, \text{m}^2). \quad (1)$$

II. VODIČE PRE VONKAJŠIE VEDENIA

Vodiče sú najdôležitejšou časťou vedení. Okrem pracovných vodičov (fázové a neutrálne), ktoré tvoria živú časť vedenia, sa pre vonkajšie silové vedenia používajú taktiež vodiče ako uzemňovacie laná a vodiče na uzemnenie stožiarov [4].

Voľba vodičov je dôležitá, pretože neurčuje len cenu vedenia, ale aj konštrukciu stožiarov, montáž vedení a ich prevádzkovú bezpečnosť. Požiadavky na vodiče sú veľmi rozmanité a často protichodné. Okrem dobrej elektrickej vodivosti sa berie do úvahy tiež ich mechanická pevnosť, mali by byť dostatočne odolné voči chemickým a poveternostným vplyvom a pod [1].

Z hľadiska konštrukcie sa pre vonkajšie vedenia používajú drôty alebo laná, prípadne špeciálne vodiče (zväzkové vodiče). Vodiče sa vyhotovujú z medi, bronzu, ocele, hliníka a zliatin hliníka [1].

Vo všeobecnosti je výhodnejšie používanie lán ako drôtov. Drôty sú málo ohybné, používajú sa pre vedenia nízkeho napätia. Laná sú ohybnejšie a bezpečnejšie v prevádzke. Ich veľkou výhodou je, že pri poruche jedného drôtu v lane zväčša nedochádza k znehodnoteniu celého lana [5]. Laná sú zvyčajne konštruované ako jednomateriálové (Al, Cu, Fe) alebo dvojmateriálové (AlFe, AlCuFe, CuFe), ktoré spájajú dobré mechanické vlastnosti ocele (duše) s dobrými elektrickými vlastnosťami druhého kovu (plášťa), napr. hliníka a ocele pri lane AlFe.

Meď má najlepšiu vodivosť, je odolná voči chemickým a atmosférickým vplyvom, má dobrú mechanickú pevnosť, používa sa na drôty aj laná [6]. Hliník je v porovnaní s meďou lacnejší, má malú mechanickú pevnosť, väčší teplotný súčiniteľ dĺžkovej rozťažnosti, väčšiu rezistivitu, používa sa na výrobu lán a závesných káblov. Oceľ má veľkú mechanickú pevnosť, proti korózii sa chráni pozinkovaním. Pre fázové vodiče sa používa iba pre najväčšie rozpätia a križovatky [2], [4].

III. VPLYV TEPLoty NA REZISTANCIU VONKAJŠÍCH VEDENÍ

Teplotnú závislosť rezistancie je možné podľa klasickej elektrónovej teórie vysvetliť tým, že so stúpaním teploty vzrastá amplitúda tepelných kmitov kryštálovej mriežky, čím vzrastá pravdepodobnosť zrážky voľných elektrónov s iónmi mriežky. Zmenšovanie strednej voľnej dráhy elektrónov má z makroskopického hľadiska za následok, že rezistencia sa s teplotou zväčšuje [1].

Pre činiteľ zväčšenia rezistancie vplyvom teploty platí vzťah [2]:

$$k_1 = 1 + \alpha \Delta \vartheta + \beta \Delta \vartheta^2 = 1 + \alpha(\vartheta - \vartheta_{20}) + \beta(\vartheta - \vartheta_{20})^2 \quad (-), \quad (2)$$

kde

α je teplotný súčiniteľ odporu (K^{-1}),

β je teplotný súčiniteľ odporu pre vyššie prevádzkové teploty (K^{-2}),

$\Delta \vartheta$ je teplotný rozdiel (K),

ϑ je prevádzková teplota (K),

ϑ_{20} je referenčná teplota, $\vartheta_{20} = 20^\circ C$ (K).

V [2] sa uvádza, že koeficient β je možné zanedbať do $100^\circ C$ u hliníkových vodičov a AlFe lán, do $50^\circ C$ v prípade oceľových vodičov.

IV. VPLYV SKINEFEKTU NA REZISTANCIU VONKAJŠÍCH VEDENÍ

Skinefekt (povrchový jav) predstavuje nerovnomerné rozdelenie striedavého prúdu po priereze vodiča. Prejavuje sa vyššou koncentráciou elektrického prúdu na povrchu vodiča v porovnaní s jeho ostatnými časťami. Dôsledkom je zväčšenie rezistancie v porovnaní s odporom pre jednosmerný prúd. Povrchový jav je závislý od frekvencie, materiálu a konštrukcie vodiča, v prípade feromagnetických materiálov aj od permeability [2].

Činiteľ potrebný na určenie koeficientu skinefektu sa vypočíta ako [2]:

$$\lambda = \sqrt{\frac{\mu f}{2R_{20DC}}} = \sqrt{\frac{\mu_0 \mu_r f}{2R_{20DC}}} \quad (-), \quad (3)$$

kde

μ je permeabilita (Hm^{-1}),

μ_0 je permeabilita vákua (Hm^{-1}), $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} Hm^{-1}$,

μ_r je relatívna permeabilita ($-$),

f je frekvencia (Hz).

Pre vodič kruhového prierezu z jedného neferomagnetického materiálu (meď alebo hliník) platí [2]:

$$k_2 = 1 + \frac{\lambda^4}{12} - \frac{\lambda^8}{180} + \frac{\lambda^{12}}{2442} \quad (-) \quad \lambda \leq 1,2, \quad (4)$$

$$k_2 = 0,25 + 0,708\lambda + \frac{0,06625}{\lambda} \quad (-) \quad \lambda > 1,2. \quad (5)$$

Oceľ sa radí medzi feromagnetické látky, t.j. jej permeabilita nie je konštantná, je funkciou prúdu. Z teoretických úvah vyplývajú pre činiteľ zväčšenia rezistancie tieto vzťahy [2]:

$$k_2 = 1 + 0,85\lambda^2 - 0,3\lambda^3 + 0,05\lambda^4 \quad (-) \quad \lambda \leq 2, \quad (6)$$

$$k_2 = 1,4\lambda \quad (-) \quad \lambda > 2. \quad (7)$$

Čo sa týka kombinovaných AlFe lán, všeobecná rovnica pre výpočet koeficientu skinefektu má tvar [2]:

$$k_2 = 1 + 0,375 \cdot 10^{-13} \left[\frac{(r_2 - r_1)f}{r_2 R_{20DC}} \right]^2 \quad (-), \quad (8)$$

kde

r_2 je vonkajší polomer Al vrstvy lana (m),

r_1 je vnútorný polomer Al vrstvy lana (m).

V. VPLYV PRIEHYBU NA REZISTANCIU VONKAJŠÍCH VEDENÍ

Vonkajšie vedenie prechádza prostredím, ktoré svojimi vlastnosťami silne ovplyvňuje vyhotovenie vedenia. Ku klimatickým javom, ktoré najviac vplyvajú na priehyb a mechanické namáhanie vodiča patria teplota, námraza a vietor [4].

Teplota je jedným z najdôležitejších činiteľov pri mechanickom výpočte vedení. Ak sa teplota zväčšuje, vodič sa predlžuje, a tým sa zväčšuje priehyb a znižuje mechanické namáhanie. Námraza predstavuje vrstvu zo zmesi kryštalického a amorfného ľadu, ktorá spôsobuje prídavné zaťaženie vodičov a ostatných častí vonkajších vedení (stožiare, izolátory). Námraza môže zapríčiniť pretrhnutie vodičov, izolátorových reťazcov a polámanie stožiarov. Okrem toho pri odpadnutí námrazy vplyvom zvýšenia teploty alebo pôsobením vetra môže nastať tzv. vyšvihnutie vodičov. Okrem teploty a námrazy pôsobí na vodič vietor. Vplyvom vetra sa vodiče vychýľujú na stranu zo zvislej polohy, prípadne sa stožiar prehne [4].

Priehyb vodiča je vzdialenosť medzi spojnicou závesných bodov a vodičom. Na Obr. 1 je znázornený priehyb f vodiča v strede rozpätia a medzi dvoma závesnými bodmi. Pre priehyb vodiča zaťaženého námrazou f_z platí rovnica [6]:

$$f_z = \frac{a^2 \gamma z}{8 \sigma_{\text{dov}}} \quad (\text{m}), \quad (9)$$

kde

a je rozpätie, vodorovná vzdialenosť medzi dvoma závesnými bodmi (m), Obr. 1,

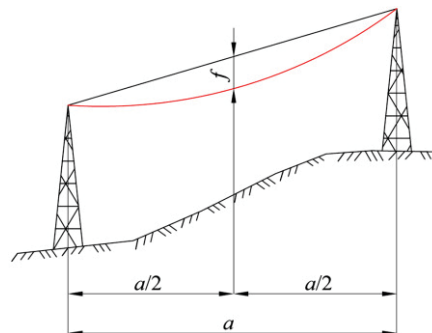
γ je merná tiaž vodiča (Nm^{-3}),

σ_{dov} je maximálne dovolené mechanické namáhanie vodiča (Nm^{-2}),

z je preťaženie vodiča námrazou (-).

Výsledný vzťah pre výpočet koeficientu priehybu s uvažovaním námrazy má tvar [6]:

$$k_3 = 1 + f_z \frac{\gamma z}{3 \sigma_{\text{dov}}} \quad (-). \quad (10)$$



Obr. 1 Rozpätie stožiarov a priehyb vodiča.

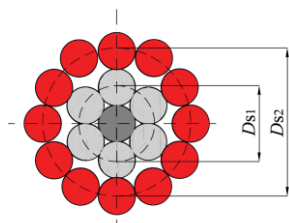
VI. VPLYV KRÚTENIA LÁN NA REZISTANCIU VONKAJŠÍCH VEDENÍ

Krútenie lán spôsobuje zväčšenie rezistancie oproti plnému vodiču rovnakej dĺžky z rovnakého materiálu. Prúd sa rozdelí na čiastkové vodiče tvoriace lano a sleduje ich cestu skrutkovicou. Jednotlivé vodiče sa pokrývajú slabou vrstvou oxidu a nečistôt, ktoré vytvoria medzi nimi izoláciu [3].

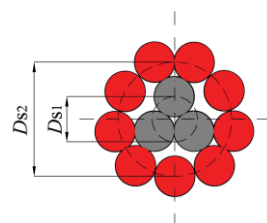
V prípade medených alebo hliníkových lán je najčastejšia konštrukcia v podobe tzv. šestkovej sústavy s rovnakými priermi drôtov. Ide o osový drôt a okolo neho drôty v ďalších n vrstvách. Celkový počet prameňov v lane N podľa šestkovej sústavy vyjadruje rovnica [7]:

$$N = 1 + 3n(n + 1) \quad (-). \quad (11)$$

Kombinované AlFe láná sa zvyčajne vyhotovujú v šestkovom alebo aj inom prevedení, prierez drôtov môže byť odlišný pre plášť a dušu, prípadne odlišný pre jednotlivé vrstvy. Sú tvorené buď jedným sústredným lanom, alebo tromi sústrednými lanami [1]. Vyrábajú sa v štyroch pomeroch hliníka ku oceli: 3:1, 4:1, 6:1, 8:1. Na Obr. 2 a Obr. 3 je zobrazené principiálne usporiadanie drôtov v AlFe lane s jedným (šestkové prevedenie) a tromi sústrednými vodičmi (sivá farba predstavuje oceľové jadro lana - dušu a červená farba hliníkový plášť - elektrovodivá časť lana, D_s vyjadruje stredný priemer vrstvy).

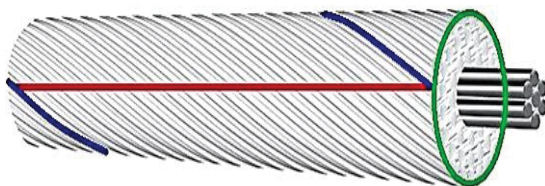


Obr. 2 Usporiadanie drôtov v AlFe lane s jedným sústredným drôtom a dvoma vrstvami.



Obr. 3 Usporiadanie drôtov v AlFe lane s troma sústrednými drôtmi a jednou vrstvou.

Na Obr. 4 je znázornené krútenie drôtov vonkajšej vrstvy štvorvrstvého lana (modrá farba - dĺžka stočeného drôtu $l + \Delta l$) na dĺžke jedného závitú skrutkovice l (červená farba). Zelená farba naznačuje kružnicu o strednom priemere vrstvy D_s . Toto priestorové zobrazenie je možné preniesť do roviny (Obr. 5) a určiť koeficient krútenia lán vonkajšej vrstvy.



Obr. 4 Priestorové zobrazenie krútenia vodičov v lane.



Obr. 5 Rovinné zobrazenie krútenia vodičov v lane.

Podľa [8] je možné uvažovať dĺžku skrutu l (vzdialenosť medzi dvoma susednými závitmi) AlFe lán rovnú 18,5-násobku priemeru lana pre Fe vrstvy, 13-násobku priemeru lana pre vnútorné Al vrstvy a 11,5-násobku priemeru lana pre vonkajšiu Al vrstvu. Čo sa týka prostých (medených alebo hliníkových) lán, dá sa pracovať s hodnotou rovnou 13-násobku priemeru lana pre vnútorné vrstvy a 11,5-násobku priemeru lana pre vonkajšiu vrstvu.

Koeficient zákrutu spôsobujúci nárast rezistancie lana sa počíta pre každú vrstvu n zvlášť a je odvodený z Obr. 4 a Obr. 5. Uvažuje sa dĺžka lana rovná dĺžke jedného závitú skrutkovice:

$$kk_n = \frac{l + \Delta l}{l} = \sqrt{\frac{l^2 + (\pi D_{sn})^2}{l^2}} \quad (-). \quad (12)$$

Výsledný koeficient krútenia lán je možné určiť z celkovej rezistancie lana $R_{20kl} (\Omega m^{-1})$, v ktorej je zahrnutý vplyv stáčania jednotlivých drôtov. Tá sa získa zjednodušením paralelného zapojenia rezistancií jednotlivých vrstiev lana. Koeficient krútenia vodičov v lane je daný:

$$k_4 = \frac{R_{20kl}}{R_{20DC}} \quad (-). \quad (13)$$

Finálnu rezistanciu R_{AC} vzťahnutú na jednotku dĺžky jeden meter, ktorá v sebe zahŕňa vplyv teploty, skinefektu, priebyhu vodičov a krútenia lán je možné určiť ako:

$$R_{AC} = k_1 k_2 k_3 k_4 R_{20DC} (\Omega m^{-1}; -, -, -, -, \Omega m^{-1}). \quad (14)$$

VII. SKÚMANIE VPLYVU TEPLoty, SKINEFektu A KRÚTENIA LÁN NA REZISTANCIU VONKAJŠÍCH VEDENÍ

Táto kapitola obsahuje skúmanie a hodnotenie vplyvu teploty, skinefektu a krútenia lán na rezistanciu vodičov vonkajších vedení. Zvýšenie rezistancie vodičov v dôsledku prehybu nie je riešené. Touto problematikou sa zaoberá mechanika vonkajších silových vedení [6].

V tabuľke I je skúmaný účinok teploty na rezistanciu vodičov z medi, ocele a hliníka pri prevádzkových teplotách 20 °C, 30 °C a 40 °C. Z rovnice (2) a taktiež Tabuľky I vyplýva, že nárast teploty spôsobuje zvýšenie rezistancie vodičov. Okrem teploty závisí teplotný koeficient zmeny rezistancie taktiež od materiálu vodiča, ktorý je charakterizovaný materiálými konštantami α a β . Podľa Tabuľky I medi prislúchajú najnižšie koeficienty zvýšenia odporu vplyvom nárastu teploty, nasleduje hliník a po ňom oceľ, ktorej teplotné koeficienty nadobúdajú najvyššie hodnoty zo skúmaných materiálov. Tieto skutočnosti súvisia s materiálými konštantami α a β daných materiálov ($\alpha_{Cu} < \alpha_{Al} < \alpha_{Fe}$ a $\beta_{Cu} < \beta_{Al} < \beta_{Fe}$). V prípade teploty 20 °C je teplotný koeficient zmeny rezistancie rovný jednej. Teplota 20 °C je považovaná za referenčnú hodnotu, teda parametre vodičov sú vzťahnuté na podmienky pri tejto teplote.

Tabuľka I
 Teplotné činitele zmeny rezistancie pre rôzne materiály vodičov a rôzne prevádzkové teploty

Materiál vodiča		meď (Cu)	hliník (Al)	oceľ (Fe)
Koeficient teploty k_1 (–)	20 °C	1,0000	1,0000	1,0000
	30 °C	1,0393	1,0401	1,0459
	40 °C	1,0788	1,0804	1,0936

V Tabuľke II sú uvedené parametre štyroch rôznych AlFe lán, na ktorých je v tomto článku skúmaný vplyv skinefektu a krútenia vodičov. Zo starého označenia 50 AlFe 6, 185 AlFe 3, 240 AlFe 6 a 450 AlFe 8 vyplýva, že ide o laná s rôznym prierezom (menovitý prierez hliníka 50 mm², 185 mm², 240 mm² a 450 mm²) a taktiež rôznym pomerom množstva hliníka k oceli (3:1, 6:1 a 8:1). Novšie označenie AlFe lán uvádza pomer prierezu hliníka k oceli (AlFe 50/8, AlFe 180/59, AlFe 240/39 a AlFe 450/52). Tabuľka II obsahuje počet hliníkových a oceľových drôtov, z ktorých sa skladá dané AlFe lano a tiež počet vrstiev, v ktorých sú drôty uložené. Čo sa týka lana 50 AlFe 6, ide o vodič vyhotovený podľa šestkovej sústavy, tvorený jedným oceľovým sústredným drôtom a iba jednou vrstvou zloženou zo šiestich hliníkových vodičov. Laná AlFe 180/59 a AlFe 450/52 sa skladajú z troch osových oceľových vodičov, pričom zvyšné pramene sú uložené v 3 a 4 vrstvách. Pre lano 240 AlFe 6 je konštrukcia nasledovná: 1 (sústredný oceľový vodič) + 6 (prvá oceľová vrstva) + 10 (druhá hliníková vrstva) + 16 (tretia hliníková vrstva), spolu 33 drôtov. Priemer všetkých čiastkových vodičov v lanách 50 AlFe 6 a 185 AlFe 3 je rovnaký.

Tabuľka II
 Parametre rôznych typov AlFe lán

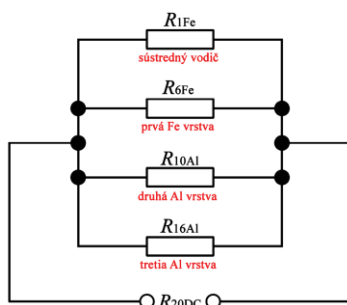
Označenie lana	50 AlFe 6 (AlFe 50/8)	185 AlFe 3 (AlFe 180/59)	240 AlFe 6 (AlFe 240/39)	450 AlFe 8 (AlFe 450/52)
Počet hliníkových drôtov n_{Al} (–)	6	15 + 21	10 + 16	12 + 18 + 24
Priemer jedného hliníkového drôtu d_{Al} (mm)	3,20	2,50	3,45	3,25
Počet oceľových drôtov n_{Fe} (–)	1	3 + 9	1 + 6	3 + 9
Priemer jedného oceľového drôtu d_{Fe} (mm)	3,20	2,50	2,65	2,36
Počet vrstiev n (–)	1	3	3	4
Celkový priemer lana d (mm)	9,60	20,39	21,75	29,31
Prierez hliníkového plášťa S_{Al} (mm ²)	48,3	176,7	243,0	448,0
Prierez oceľovej duše S_{Fe} (mm ²)	8,0	58,9	38,6	52,5
Jednosmerný odpor pri 20 °C R_{20DC} (Ω/km)	0,5946	0,1593	0,1181	0,0646

V Tabuľke III sú zobrazené koeficienty skinefektu pre vyššie spomenuté štyri typy AlFe lán. Z výsledkov a vzťahu (8) pre výpočet koeficientu vyplýva, že vplyv skinefektu na rezistanciu vodičov vonkajších vedení je nepriamo úmerný ich rezistancii. Zo základnej rovnice (1) pre výpočet rezistancie pri jednosmernom prúde je zrejmé, že čím väčší je prierez lana, tým väčšia je striedavá rezistencia vodiča. Pre lano 50 AlFe 6 je koeficient skinefektu len 1,0001, zatiaľ čo pre lano 450 AlFe 8 s najväčším prierezom zo skúmaných lán až 1,0099. Na zmenu rezistancie AlFe lán v dôsledku skinefektu vplyva taktiež hrúbka hliníkovej vrstvy lana, ktorá je zahrnutá vo výpočte a ktorou tečie prevažná časť striedavého prúdu. Oceľová duša slúži na zvýšenie mechanickej pevnosti lana a prenášanie mechanického namáhania.

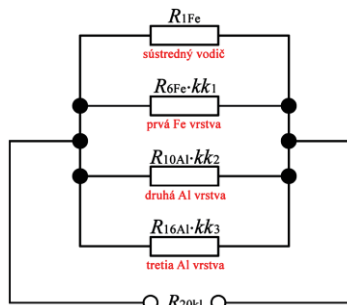
Tabuľka III
 Činitele zmeny rezistancie v dôsledku skinefektu pre rôzne typy AlFe lán

Označenie lana	50 AlFe 6 (AlFe 50/8)	185 AlFe 3 (AlFe 180/59)	240 AlFe 6 (AlFe 240/39)	450 AlFe 8 (AlFe 450/52)
Koeficient skinefektu k_2 (–)	1,0001	1,0009	1,0027	1,0099

Tabuľka IV definuje problematiku krútenia jednotlivých drôtov v kombinovaných AlFe lanách. Koeficient krútenia vodičov je pre každú vrstvu (oceľovú aj hliníkovú) určený zvlášť. V prípade troch sústredných vodičov (laná 185 AlFe 3 a 450 AlFe 8) dochádza taktiež vplyvom ich stáčania k nárastu rezistancie oproti vodiču plného prierezu. Výsledný koeficient krútenia prameňov v lane je definovaný ako pomer celkovej rezistancie lana na jednotku dĺžky jeden kilometer s uvažovaním krútenia drôtov a rezistancie bez uvažovania krútenia jednotlivých vodičov v lane. Schematické znázornenie rezistancií jednotlivých vrstiev bez a s vplyvom krútenia vodičov pre lano 240 AlFe 6 je na Obr. 6 a Obr. 7. Výpočet jednosmernej rezistancie lana pri 20 °C bez uvažovania vplyvu krútenia vodičov vychádza z predpokladu, že drôty tvoriace lano sú od seba odizolované, a teda predstavujú N vodičov zapojených paralelne. Rezistencia lana 240 AlFe 6 je rozdelená na rezistanciu osového vodiča a rezistancie jednotlivých vrstiev (Obr. 6), kde sa v prípade uvažovania predĺženia vodičov v dôsledku krútenia drôtov zohľadňujú koeficienty krútenia pre jednotlivé vrstvy (Obr. 7).



Obr. 6 Schematické zobrazenie rezistencie lana 240 AlFe 6 bez vplyvu krútenia vodičov.



Obr. 7 Schematické zobrazenie rezistencie lana 240 AlFe 6 s vplyvom krútenia vodičov.

Z porovnania vypočítanej rezistencie skúmaných typov lán (Tabuľka IV) s rezistenciou udanou výrobcom (Tabuľka II) je zjavné, že ich hodnoty sú porovnateľné. Čo sa týka katalógovej hodnoty rezistencie, je vyššia ako vypočítaná pre každý typ riešeného AlFe lana. Z toho vyplýva, že výrobca lán udáva rezistenciu aj s uvažovaním predĺženia vodičov vplyvom ich stáčania a berie do úvahy ďalšie faktory ako napríklad nedokonalosť splietania a použitých čiastkových vodičov, nečistoty a pod.

Výsledné koeficienty stáčania vodičov pre riešené laná sú porovnateľné (po zaokrúhlení na dve desatinné miesta 1,02). Čiastkové koeficienty pre jednotlivé vrstvy narastajú so vzdialenosťou od sústredného vodiča, resp. troch sústredných vodičov. Teda, vodiče sú stáčané najviac vo vonkajšej vrstve, najmenej v prvej vrstve alebo v nulte vrstve (krútenie troch stredových vodičov).

Tabuľka IV
 Činitele zmeny rezistencie v dôsledku krútenia vodičov pre rôzne typy AlFe lán

Označenie lana	50 AlFe 6 (AlFe 50/8)	185 AlFe 3 (AlFe 180/59)	240 AlFe 6 (AlFe 240/39)	450 AlFe 8 (AlFe 450/52)
Výsledný koeficient krútenia lán k_4 (–)	1,0159	1,0199	1,0184	1,0180
Koeficient krútenia lán pre tri sústredné vodiče kk_0 (–)	–	1,0003	–	1,0001
Koeficient krútenia lán pre prvú vrstvu kk_1 (–)	1,0164	1,0022	1,0009	1,0009
Koeficient krútenia lán pre druhú vrstvu kk_2 (–)	–	1,0116	1,0080	1,0058
Koeficient krútenia lán pre tretiu vrstvu kk_3 (–)	–	1,0283	1,0261	1,0129
Koeficient krútenia lán pre štvrtú vrstvu kk_4 (–)	–	–	–	1,0291
Vypočítaný jednosmerný odpor pri 20 °C bez vplyvu krútenia vodičov R_{20DC} (Ω/km)	0,5698	0,1503	0,1133	0,0620
Vypočítaný jednosmerný odpor pri 20 °C s vplyvom krútenia vodičov R_{20kl} (Ω/km)	0,5788	0,1533	0,1154	0,0631

VIII. ZÁVER

V tomto článku bol skúmaný vplyv teploty, skin efektu a krútenia vodičov na štyroch typoch bežne používaných AlFe lán. Z výsledkov vyplýva, že prevádzková teplota podstatne vplyva na zmenu rezistencie vodičov vonkajších vedení, preto sa jej vplyv zahrňa do výpočtov. V prípade skin efektu pre skúmané lano s najväčším prierezom (okolo 500 mm²) sa jeho rezistencia zvýši len o 1 %. Čo sa týka zvýšenia rezistencie vplyvom stáčania jednotlivých vodičov v lane, po zaokrúhlení je pre každý typ skúmaného lana výsledný koeficient rovný 1,02. Skin efekt a krútenie vodičov nepodstatne ovplyvňuje rezistenciu vodičov (lán), a preto je možné tieto vplyvy pri bežných výpočtoch zanedbať.

POĎAKOVANIE

Túto prácu podporila Vedecká grantová agentúra Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu Slovenskej republiky a Slovenskej akadémie vied grantom VEGA č. 1/0372/18.

LITERATÚRA

- [1] A. Margitová, *Výpočet elektrických parametrov silových vedení*. Bachelor thesis. Košice: Technická univerzita v Košiciach, FEI, 2015.
- [2] M. Hodinka, Š. Fecko, and F. Němeček, *Přenos a rozvod elektrické energie*, Praha: Nakladatelství technické literatury, 1989.
- [3] L. Reiss, K. Malý, Z. Pavlíček, and F. Němeček, *Teoretická elektroenergetika I*, 2nd ed., Bratislava: Alfa, 1997.
- [4] J. Harangozo, *Vonkajšie vedenia*. Study material. Prešov: SPŠE, 2008.
- [5] Š. Fecko, J. Žiaran, and L. Varga, *Elektrické siete - Vonkajšie silové vedenia*, Bratislava: Edičné stredisko SVŠT, 1990.
- [6] A. Otčenášová, *Mechanika vonkajších silových vedení*, Žilina: Vydavateľstvo Žilinskej univerzity, 2010.
- [7] K. Horák, *Výpočet elektrických sítí*, Praha: Nakladatelství technické literatury, 1980.
- [8] STN EN 50182:2001, *Vodiče na vonkajšie vedenia. Vodiče z koncentricky zlanovaných kruhových vodičov*.