

ANALIZA SPREMEMBE KOTA IN POVESA V ODVISNOSTI OD TEMPERATURE

Nenad Gubelj
Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo Maribor
nenad.gubelj@um.si

Matjaž Jarc
C&G d.o.o. Ljubljana
matjaz.jarc@c-g.si

Jožef Predan
Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo Maribor
jozef.predan@um.si

Viktor Lovrenčič
C&G d.o.o. Ljubljana
viktor.lovrencic@c-g.si

Bojan Banić
Prva gimnazija Varaždin
bojan.banic@vz.t-com.hr

Andrej Ivec
C&G d.o.o. Ljubljana
andrej.ivec@c-g.si

Povzetek

Analiza v članku temelji na metodi za spremljanje povesa ob izračunu horizontalne sile v vodniku na mestu vpetja po matematičnem modelu na osnovi kontinuiranih meritev temperature vodnika z OTLM napravo. Model je razvit kot računalniška aplikacija, ki zajema montažne pogoje in lastnosti vodnika, ter podaja odvisnost med povosom vodnika in horizontalno silo za posamezno temperaturo. Za kontrolo natančnosti izračuna se izvaja neodvisna primerjava med izračunanim in izmerjenim kotom z OTLM napravo, ki se tudi lahko beleži v operativnem centru. Za primerjavo med modelom in dejansko obliko verižnice vodnika je bilo potrebno opraviti optične-laserske meritve povesa vodnika na treh različnih temperaturah vodnika oz. tokovnih obremenitvah ob spremljanju ostalih meteoroloških pogojev na trasi. Na osnovi teh meritev je razvita kalibracijska krivulja, med povosom/kotom/temperaturo/natezno silo v vodniku daljnovoda v primeru normalnih obratovalnih pogojev, oz. pod delovno obremenitvijo. V primeru zaznave spremembe odstopanj od kalibracijske krivulje ob značilnih meteoroloških pogojih je možno oceniti nastop dodatnih oz. dodatnih izrednih obremenitev na opazovanem razponu. Z omenjeno aplikacijo lahko uporabniku nudimo online monitoring in nadzor nad varnim obratovanjem izbranega daljnovoda, z različnimi nivoji alarmnih stanj. V referatu bo analiziran vpliv temperature okolice kot tudi vodnika, kot deterministična primera, ki določata območje povesa vodnika.

Ključne besede: daljnovod, verižnica, poves, vremenski vplivi, model

ANALYSIS OF ANGLE'S CHANGE AND SAG'S CHANGE REGADING TO TEMPERATURE

Summary

The analysis in this paper based on method for on-line monitoring of sag supported by horizontal tensile force calculation by using developed mathematical model. Model based on assembly conditions, mechanical and physical properties of conductor. The result of model is relationship between sag, horizontal forces and temperature. The angle of conductor at the OTLM fixed point is using as control parameter which can be recorded by operator in distribution center. In order to provide the comparison between angles calculated by model and measuring angles, it is necessary to consider geometrical facts of conductor in transmission field. Only very high quality information can provide information about unusual additional mechanical loading of conductor. The developing and adopting of calibration function in mathematical is necessary for ensuring on-line monitoring of conductor with different level of alarms condition. In this paper the effect of both temperatures is going to be analyzed.

Keywords: overhead line, catenary, sag, weather influences, model

UVOD

Kakovostna oskrba z visokonapetostno električno energijo predstavlja vitalni element za zagotovitev nemotenega delovanja od velikih gospodarskih sistemov do majhnih gospodinjstev. Za prenos in razdeljevanje električne energije se uporabljajo nadzemni daljnovodi, ki so izpostavljeni zunanjim vremenskim vplivom in toplotnim tokovnim obremenitvam. Za preračun notranjih sil v vodniku, je bil na Fakulteti za strojništvo razvit matematični model, ki upošteva mehanske in fizikalne značilnosti vodnika ter z upoštevanjem lastne teži vodnika in velikosti razpona. Geometrijska oblika vodnika predstavlja izhodiščni pogoj za spremljanje obnašanja vodnika na razponu med dvema stebroma oz. v polju. Zaradi meteoroloških vplivov okolice in električnega toka na vodnik prihaja do spremembe dolžine vodnika, kar ima neposredni vpliv na poves vodnika in s tem na spremembo geometrije verižnice. Namen meritev povesa vodnika v razponu med dvema stebroma SM23 in SM24 je:

- določiti geometrijo povesa vodnika za trenutno temperaturno obremenitev vodnika,
- določiti natančnost preračuna povesa in horizontalne sile z računalniškim programom,
- na osnovi izmerjenih povesnih točk pri različnih temperaturah določiti kalibracijske parametra za računalniško aplikacijo,
- oceniti natančnost meritve kota z inklinometrom, ki je vgrajen v OTLM napravo.

Na osnovi meritve geometrije vodnika pri treh značilno različnih temperaturah in izračuna povesa pri teh temperaturah z računalniškim programom je možno kalibrirati funkcijo povesa in kota v odvisnosti od temperature vodnika ter oceniti stopnjo skladnosti meritve in preračuna. Zagotovitev skladnosti je odločilna za uvedbo funkcije ALARM ŽLED, saj kontinuirano naraščanje neskladja med izmerjenim in izračunanim kotom ob meteoroloških pogojih (temperature ozračja $-5/+3^{\circ}\text{C}$, dež in veter) so kazalec nabiranja žledu na vodnik.

I. MERITEV

V sodelovanju s podjetjem C&G d.o.o. Ljubljana je opravljena meritev geometrije povesa vodnika med stebroma SM23 in SM24 na $2 \times 110 \text{ kV}$ daljnovodu RTP Slovenj Gradec – Dravograd. Opravljene so bile tri meritve, in sicer 9. julija 2014 v času od 10:30 do 12:00 ure pri temperaturi ozračja $+17,39^{\circ}\text{C}$, 17. avgusta 2014 ob 13:40 pri temperaturi ozračja $+19,7^{\circ}\text{C}$ in 10. februarja 2015 pri temperaturi ozračja $+6,0^{\circ}\text{C}$ ter temperaturi vodnika $+13^{\circ}\text{C}$ ob 13:05. Temperatura vodnika je bila julija in avgusta pri obeh meritvah $29,5^{\circ}\text{C}$, razlika je bila le v temperaturi ozračja, in sicer za $\Delta T = +2,31^{\circ}\text{C}$. Meritev povesa je bila opravljena z merilno postajo LEICA TS30. Postavitev merilne postaje LEICA TS30 v trenutku, ko je usmerjena proti stebri 23, je prikazana na sliki 1. Ob stebri SM 23 sta na dveh vodnikih nameščeni OTLM napravi z vgrajenim merilcem kota - inklinometrom. Na stebri SM23 je postavljena vremenska postaja z napajanjem s pomočjo sončnih celic, kot je prikazano na sliki 2. Za usklajevanje meritev z LEICO, vremenskimi razmerami v trenutku meritev, tokovnimi obremenitvami daljnovoda ter meritvami z OTLM napravo (temperatura vodnika in kot naklona) je pripravljena preglednica, ki je dana v prilogi 1, kot primer za prvo meritev 9. julija 2014.



Slika 1. Postavitev merilne postaje LEICA TS30 (obkrožena rumeno sta OTLM napravi)



Slika 2. Steber SM 23 z dvema OTLM napravama (rdeče) in vremensko postajo, ki je obkrožena rumeno

Tudi pri preostalih dveh meritvah smo vrednosti na terenu vpisovali v enako oblikovani preglednici. Te vsebujejo podatke o meteoroloških pogojih, kot tudi podatke o temperaturi ozračja, tokovni obremenitvi vodnika in izmerjene povprečne vrednosti kota v času meritve.

Preglednica 1: Časovni potek meritev s podatki o meteoroloških pogojih, temperaturah in kotu

Lokacija: Daljnovid Slovenj Gradec RTP – Dravograd, Datum: 9.7.2014 začetek: 10:30, T-ozračja=+16,95°C, p=963,89,							
Številka meritve	Ura (min)	T-ozračja °C	T-vodnika °C	Tok I A	Izmerjen kot OTLM, °	Opomba	Št. točk z LEICA
1	10:30	16,95	28	197	4,59489		
2	10:43	17,11	29	202	4,26128		
3	10:57	17,11	29	194	4,54220		
4	11:00	17,00	29				
5	11:05	17,39	29,5	202	4,47196		
6	11:06	17,42	29,5	219	5,10444	Točka pred	106
7	11:07		29,5	202	4,92868	OTLM napravo	
8	11:08		29	195	5,77284	Točka za OTLM	107
9	11:09		29,5	217	5,05171		
10	11:10		29	206	4,4544		

Izvedba meritev z LEICA TS30 je potekala vzporedno z vpisovanjem vrednosti v preglednico 1 in v Excel datoteko v TS30 po naslednjih navodilih:

- zapiše se čas začetka in konca meritve,
- meritev koordinat globalnega koordinatnega sistema (Xc, Yc) in nadmorska višina H za vsaj 20 točk vzdolž vodnika, med katerimi so tudi značilne »ključne« točke,
- ključne točke definiramo in označimo kot:
 - A - prijemališče vodnika in izolatorja na stebri SM23,
 - B - prijemališče vodnika in izolatorja na stebri SM24,
 - C in D sta točki z ene in druge strani OTLM naprave in točen čas meritve teh točk.
 (V istem času izmerimo kot z OTLM napravo!)

Rezultati izmerjenih koordinat globalnega koordinatnega sistema (Xc, Yc) in nadmorska višina H posameznih točk, kot jih poda LEICA, so prikazane v preglednici 2.

Zaradi težav pri natančnosti meritve najnižje točke na mestu največjega povesa je potrebno vse izmerjene točke aproksimirati po metodi najmanjših kvadratov. Na osnovi izmerjenih koordinat globalnega koordinatnega sistema Xc, Yc in H (nadmorske višine) posamezne točke so izračunane relativne koordinate x_i in y_i s tem, da je nov koordinatni sistem postavljen neposredno pod prijemališčno točko A, v kateri je določeno $x=0$ in $y=H-H_0$, kjer je $H_0=361,751$ m (nadmorska višina temelja stebra SM23). Izračunane vrednosti za ostale točke, ki so prikazane v preglednici 2, so uporabljene za izračun aproksimacijskih parametrov parabole po metodi najmanjših kvadratov.

V bližini pritrditev OTLM naprave na vodnik, je β z LEICA na osnovi dveh izmerjenih točk C in D (v preglednici 2) oz. točk 106 in 107, izračunan kot naklona β po enačbi:

$$\operatorname{tg} \beta = - \left(\frac{13,677 - 13,638}{243,60 - 243,159} \right) \Rightarrow \beta = -a \tan \left(\frac{0,039}{0,441} \right) = -0,088 \text{ rad} = -5,028^\circ$$

Vrednost kota se bo prav tako vpisala kot vhodni podatek v računalniški aplikaciji.

Razlika med izračunano višino v točki A oz. B je posledica prenosa sile z vodnika na izolator z drugačno togostjo, kot tudi sprememba oblike vodnika zaradi povezave v sosednji razpon. Vendar so te vrednosti sprejemljivih odstopanjih, saj znašajo od nekaj mm do 80 mm za razpon dolg skoraj 250 m.

Preglednica 2: Izmerjene koordinate globalnega koordinatnega sistema merilne postaje LEICA Xc, Yc in H z navedenimi značilnimi točkami A, B, C in D

Izmerjeno z LEICA TS30							x razdalja od začetne točke	y razdalja od začetne točke
merjena točka	koordinata	koordinata	Nadmorska višina	razlika v x-smeri	razlika v y-smeri	Znač. točka	x_i , m	y_i , m
Vodnik	Xc, m	Yc, m	H, m	ΔX , m	ΔY , m			
119	827,007	941,733	376,935	0	0	A	0	15,096
120	827,768	942,228	376,847	0,761	0,495		0,907825	15,008
118	912,497	994,526	370,777	85,49	52,793		100,4771	8,938
117	932,351	1006,775	370,464	105,344	65,042		123,8056	8,625
116	937,943	1010,228	370,45	110,936	68,495		130,3778	8,611
115	947,426	1016,082	370,514	120,419	74,349		141,5221	8,675
123	954,428	1020,403	370,621	127,421	78,67		149,7501	8,782
122	958,685	1023,022	370,715	131,678	81,289		154,7482	8,876
114	966,31	1027,725	370,91	139,303	85,992		163,7069	9,071
113	978,861	1035,466	371,386	151,854	93,733		178,4531	9,547
112	982,181	1037,511	371,541	155,174	95,778		182,3524	9,702
121	982,235	1037,549	371,551	155,228	95,816		182,4183	9,712
111	999,551	1048,233	372,543	172,544	106,5		202,7651	10,704
110	1025,523	1064,254	374,641	198,516	122,521		233,2809	12,802
109	1030,829	1067,524	375,161	203,822	125,791		239,5136	13,322
108	1033,064	1068,904	375,389	206,057	127,171		242,1404	13,55
107	1033,925	1069,447	375,477	206,918	127,714	C	243,1582	13,638
106	1034,312	1069,664	375,516	207,305	127,931	D	243,6015	13,677
105	1034,566	1069,835	375,549	207,559	128,102		243,9075	13,71
104	1035,339	1070,311	375,642	208,332	128,578		244,8153	13,803
103	1037,496	1071,623	375,912	210,489	129,89		247,3399	14,073
102	1037,901	1071,891	375,97	210,894	130,158		247,8253	14,131
101	1038,271	1071,923	376,024	211,264	130,19		248,157	14,185
100	1039,451	1072,647	376,203	212,444	130,914	B	249,5414	14,364

Preglednica 3: Koordinate značilnih točk izračunane po aproksimirani paraboli za vpis v aplikacijo za 9.7.2014

Točke:	x, m	y, m	Izmerjen y, m	Razlika Δy , m
A T1	0	15,102	15,096	-0,006
T2	129,115	8,607		
B T3	247,25	14,044	14,364	+0,080
OTLM	242,25	13,594		

Meritve so bile ponovljene 17. avgusta 2014 na enaki temperaturi vodnika +29,5°C, vendar za +2,31°C višji temperaturi ozračja, kakor tudi 10. februarja 2015 na temperaturi vodnika +13,5°C in temperaturi ozračja +6,5°C. Koordinate značilnih točk, za meritev avgusta 2015 so podane v preglednici 4 medtem, ko za meritev februarja 2015 v preglednici 5.

Preglednica 4: Koordinate značilnih točk izračunane po aproksimirani paraboli za meritev 17.8.2014.

Točke:		x, m	y, m	Izmerjen y, m	Razlika Δy , m
A	T1	0,000	15,109	15,096	-0,013
	T2	129,117	8,463		
B	T3	247,250	14,026	14,365	+0,245
	OTLM	242,250	13,565		

Preglednica 5: Koordinate značilnih točk izračunane po aproksimirani paraboli za meritev 10.2.2015

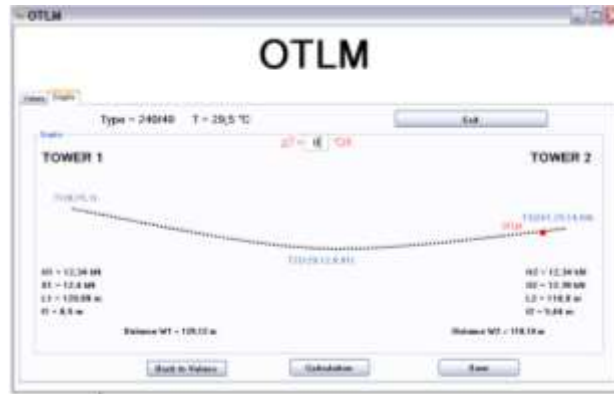
Točke:		x, m	y, m	Izmerjen y, m	Razlika Δy , m
A	T1	0,000	15,068	15,006	-0,062
	T2	129,418	8,964		
B	T3	247,363	14,034	14,114	+0,080
	OTLM	242,300	13,608		

II. IZRAČUN SIL POVESA Z MODELOM

Za izračun sil in povesa je bil razvit matematični model, ki je zasnovan kot računalniška aplikacija [2]. Izračunane vrednosti točk za vsako meritev, ki so dane v preglednicah 3 (za meritev 9. julija 2014) ter 4 (za meritev 17. avgusta 2014) in preglednico 5 za meritev 10. februarja 2015, so vnesene v računalniško aplikacijo, kot je razvidno na sliki 3 (za meritev 9. julija 2014). Po ukazu <calculation> in ob vpisu vrednosti temperature 0°C program izračuna vrednosti horizontalnih sil kot je prikazano na sliki 3 za julijsko meritev. Ob ponovnem ukazu <calculation> pri temperaturni razliki 0°C, program izračuna kot in z iteracijskim približevanjem izračuna vrednost kota na mestu vgraditve OTLM naprave, kot je prikazano na sliki 4 za meritev 9. julija 2014.



Slika 3: Vpis vhodnih podatkov za točke T₁, T₂ in T₃ na osnovi meritev 9.7.2014



Slika 4: Izračunane sile na mestu vpetja vodnika pri temperaturi meritve $T=+29,5^{\circ}$ in temperaturi ozračja $+17,39^{\circ}\text{C}$ za meritev 9.7.2014

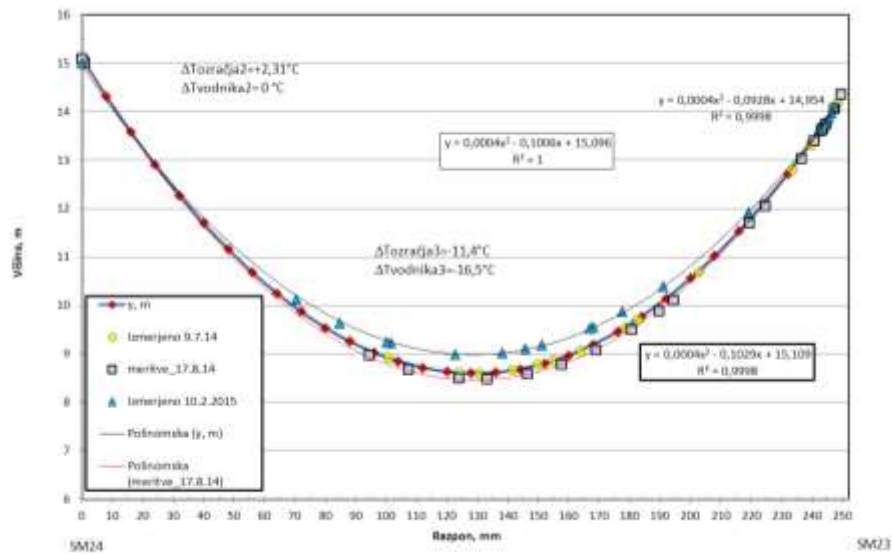


Slika 5: Izračunan kot z aplikacijo na osnovi meritev 9.7.2014

Na osnovi opravljenih meritev sta na sliki 6 grafično prikazani verižnici vodnika, ki smo jih izmerili in so podani v obliki stolpcov x_i in y_i . Aproksimacijski parametri so tokrat narejeni z Excel programom, ter po R^2 kažejo visoko stopnjo točnosti. Čeprav so meritve bile opravljene na istem vodniku, vendar na različnih temperaturah okolice, ima vsaka meritev svojo verižnico. Točke na vodniku so bile naključno izbrane. Zaradi višje temperature ozračja pri drugi meritvi je razvidna nižja povescna točka in s tem teme parabole. Manjša razlika je v območju vpetja vodnika na izolator, kar je v bližini OTLM naprave. Zaradi česar je tudi razlika v kotu majhna. Pri tretji meritvi je bila temperatura ozračja nižja, znašala je $+6^{\circ}\text{C}$ in temperatura vodnika le $+13^{\circ}\text{C}$. Torej tudi bistveno nižja kot julija in avgusta. Zaradi česar je bil povesc vodnika manjši, kot je razvidno na sliki 6. Vrednosti verižnice pri vseh treh meritvah so podane v preglednici 6.

Preglednica 6: Prikaz izmerjenih temperatur in kota v odvisnosti iz izračunanih horizontalnih sil in kota

Meritev	Temperatura		Sila H_1 , kN	Sila H_2 , kN	Položaj povesc		LEICA ° kot	MODEL ° kot	OTLM-incl. °min-°max
	ozračja	vodnika			od SM24	višina			
10. 2.15	6,0	13,0	13,23	13,24	129,42	8,96	-4,43	-4,69	3,81-4,05
9.7.14	17,39	29,5	12,34	12,34	129,12	8,61	-5,03	-5,02	4,93-5,77
17.8.14	19,7	29,5	12,06	12,06	129,12	8,48	-5,24	-5,13	4,75-4,86

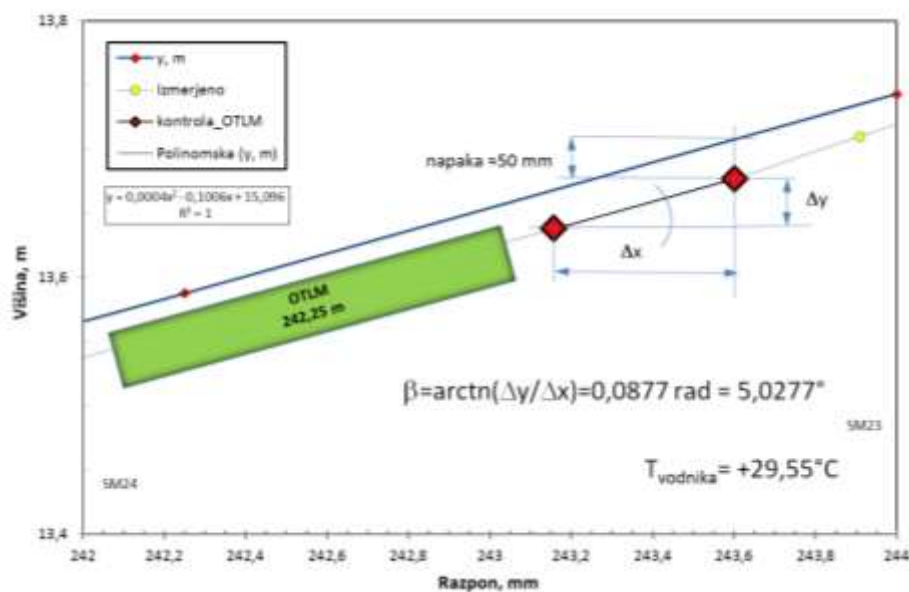


Slika 6: Primerjava med verižnicami vodnika, katere so bile izmerjene julija in avgusta 2014 ter februarja 2015

Razvidno je, da se večja razlika med izmerjenim kotom in računalniško aplikacijo pojavi pri zadnji tretji meritvi, ki je posledica spremembe geometrije verižnice vodnika. Geometrijski parametri vodnika z značilnimi geometrijskimi točkami so podani v preglednici 7.

Preglednica 7: Geometrijski parametri vodnika z značilnimi geometrijskimi točkami

datum	Meritev	L_1 , m	w_1 , m	f_1 , m	L_2 , m	w_2 , m	f_2 , m	L , m	w , m
10.2.2015	3	130,19	129,42	6,10	118,53	117,94	5,07	148,64	247,36
9.7.2014	1	129,99	129,12	6,50	118,8	118,14	5,44	248,13	247,26
17.8.2014	2	130,03	129,12	6,62	118,83	118,13	5,54	248,16	247,25



Slika 7: Prikaz izmerjenega kota z LEICA TS 30 s pomočjo točk neposredno pred OTLM napravo

Na mestu namestitve OTLM naprave, je posredno izmerjen kot β za točki, ki sta bili izmerjeni julija 2014. Iz slike 7 je razvidno, da aproksimacijska funkcija podaja napako v širini 50 mm vzporedno s potekom vodnika. Razlika med temperaturo okolice od $+2,31^{\circ}\text{C}$ prispeva večjemu povesu, in sicer za 134 mm na praktično enaki razdalji x , kar ima za posledico tudi za $0,206^{\circ}$ večji kot na mestu merjenja z OTLM napravo.

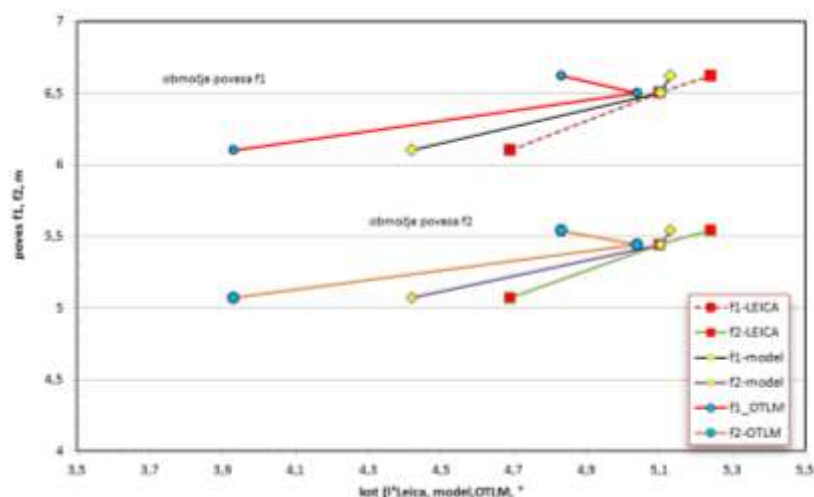
Izračun sil z aplikacijo kaže odstopanja v rangi 50 N, kar je ekvivalent teže 5 kg, pri vseh treh izmerjenih verižnicah. To je sprejemljiva relativna napaka pri iteraciji za vodnik na razponu skoraj 250 m, ob lastni teži $0,98\text{ kg/m}$. Iz izračuna je razvidno, da so odstopanja v povesu manjša od 1 mm ob debelini vodnika 24 mm.

Izračun je bil opravljen z izhodiščnimi kalibracijskimi parametri $a_1=1$ in $a_0=0$ za korelacijo LEICA-model 1:1.

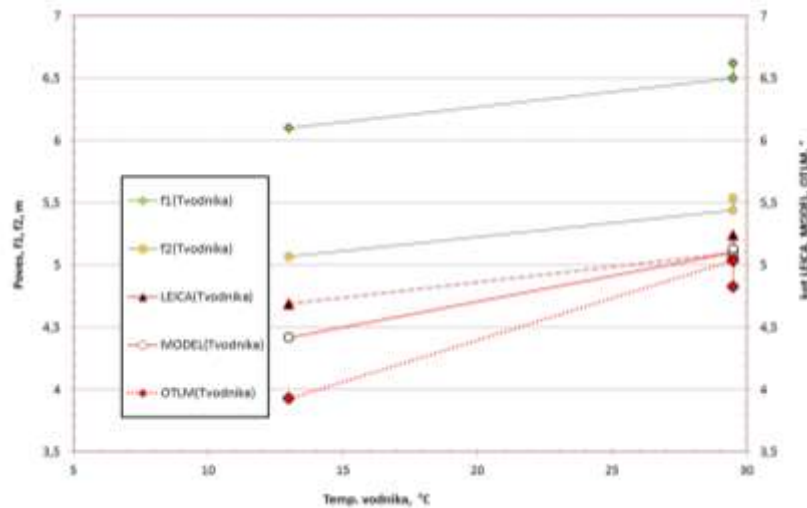
Primerjava med kotom in povosom je prikazana na sliki 8. Iz slike je razvidno, da je korelacija med izmerjenim kotom z LEICO in povosom popolnoma linearna. Izračunan kot po modelu, ki temelji na vpisu temperature in posnete verižnice kaže odstopanja pri drugi in tretji meritvi za največ $0,3^{\circ}$, zaradi česar bo potrebno določiti kalibracijske parametre med LEICO in kotom, ki je izračunan po modelu. Razlika med kotom, ki je izmerjen z LEICO in Modelom, je posledica dejanskih razmer v vodniku, bodisi spremembi togosti, staranja in materialnih karakteristik vodnika (modula, dejanskega termičnega raztezka, ...) glede na laboratorijsko obnašanje med testiranjem vzorca vodnika. Največje odstopanje kaže meritev kota z inklinometrom v OTLM napravi.

Naslednja primerjava je opravljena med temperaturo vodnika in povosoma (f_1 oz. f_2) ter temperaturo vodnika in kotom, kar je skupaj prikazano na sliki 9. Iz slike 9 je razvidno, da so vrednosti povesa f_1 in f_2 povečujejo z naraščanjem temperature, vendar pri temperaturi vodnika $+29,5^{\circ}\text{C}$ sta izmerjena dva povesa, prvi meseca julija 2014, ko je bila temperatura ozračja $+17,39^{\circ}\text{C}$ in drugi višji avgusta 2014, ko je bila temperatura ozračja $+19,7^{\circ}\text{C}$. Prav tako so vrednosti kota, ki je bil izmerjen z LEICO pri enaki temperaturi vodnika višje za avgustovsko meritev. Vrednosti kota po modelu so le za spoznanje višje pri avgustovski meritvi (ker je upoštevana nova geometrija verižnice) medtem, ko so vrednosti izmerjene z inklinometrom v OTLM napravi nižje pri $+29,5^{\circ}\text{C}$.

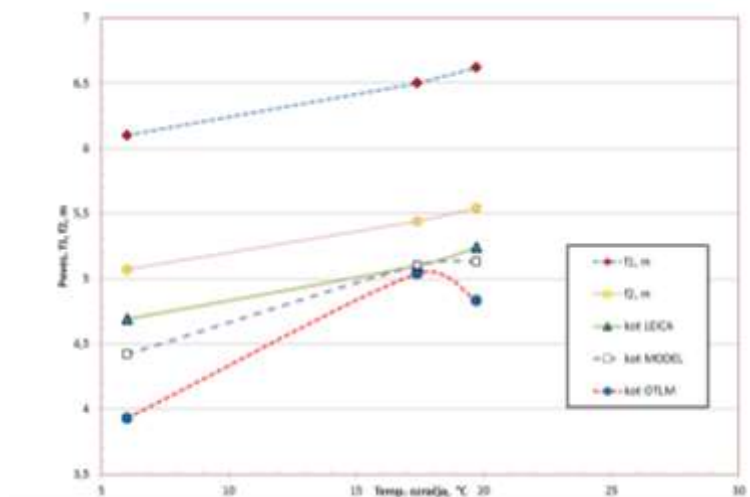
Naslednja primerjava je opravljena med temperaturo ozračja in povosoma (f_1 oz. f_2) ter temperaturo ozračja in kotom, kar je skupaj prikazano na sliki 10. Iz slike 10 je razvidno, da so vrednosti povesa f_1 in f_2 praktično proporcionalno povečujejo z naraščanjem temperature, celo naklon povečanja povesa je večji med julijsko in avgustovsko meritvijo. Prav tako izračunan kot po modelu je nekoliko večji za avgustovsko meritev, kot pa pri julijski meritvi. Ponovno pa kot izmerjen z inklinometrom v OTLM napravi kaže nižje vrednosti pri višji temperaturi ozračja, kar je lahko posledica nihanja vodnika in raztrosa merjenih vrednosti. Izmerjene vrednosti kota OTLM so podane v območju od minimalne do maksimalnih vrednosti med samimi meritvami in so prikazane v preglednici 6. Na osnovi podanih korelacij med temperaturami ozračja oz. vodnika ter povesi in koti se zastavlja vprašanje o merodajni temperaturi za preračun. V poročilu bodo določeni korelacijski parametri glede na temperaturo vodnika kot vhodni podatek v aplikaciji.



Slika 8: Odvisnost med koti in povosom vodnika



Slika 9: Odvisnost med temperaturo ozračja in povesom vodnika



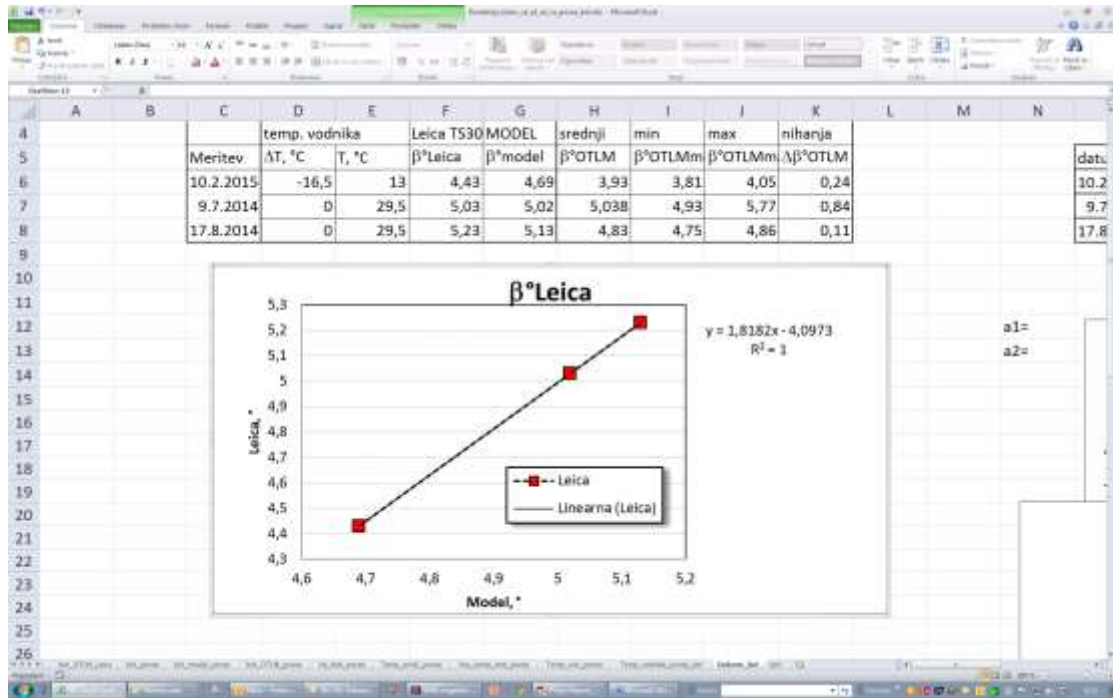
Slika 10: Odvisnost med temperaturo ozračja in povesom vodnika

Potek določitve kalibracijskih parametrov je podan na osnovi meritve verižnice z LEICO in modelom.

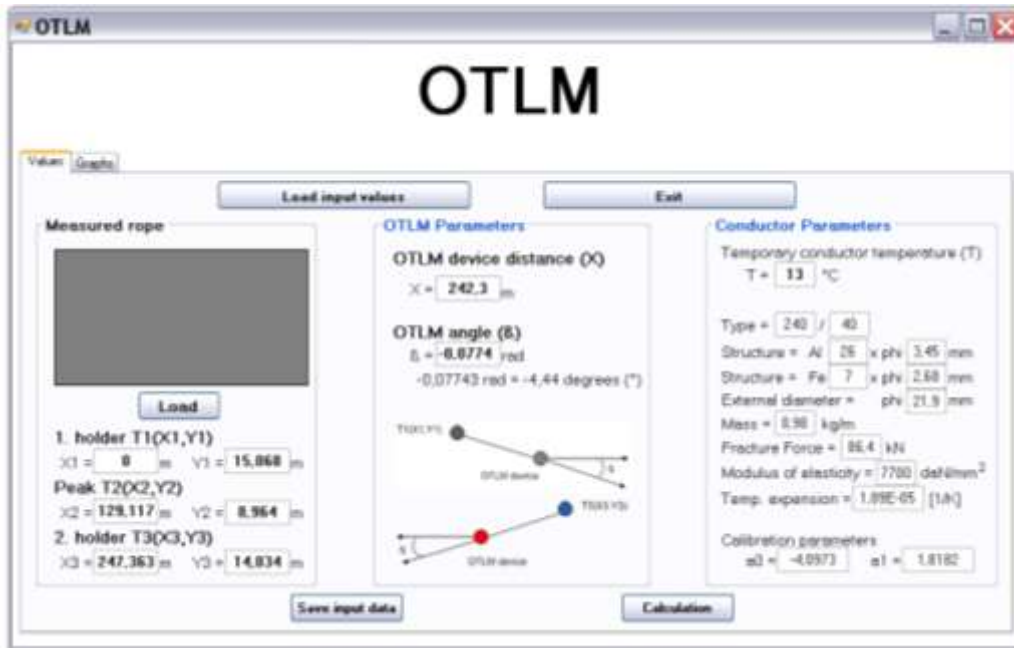
Izračunane vrednosti kota β (MODEL) ter izmerjene z LEICO vpišemo v preglednico.

Program Excel ima možnost prikaza »trend line« črte in vrednosti koeficientov, ki jih zapiše v obliki enačbe premice, to sta vrednosti a_1 in a_0 . Za dan primer sta to $a_1=1,8182$ in $a_0=-4,0973$, kot je prikazano na sliki 11.

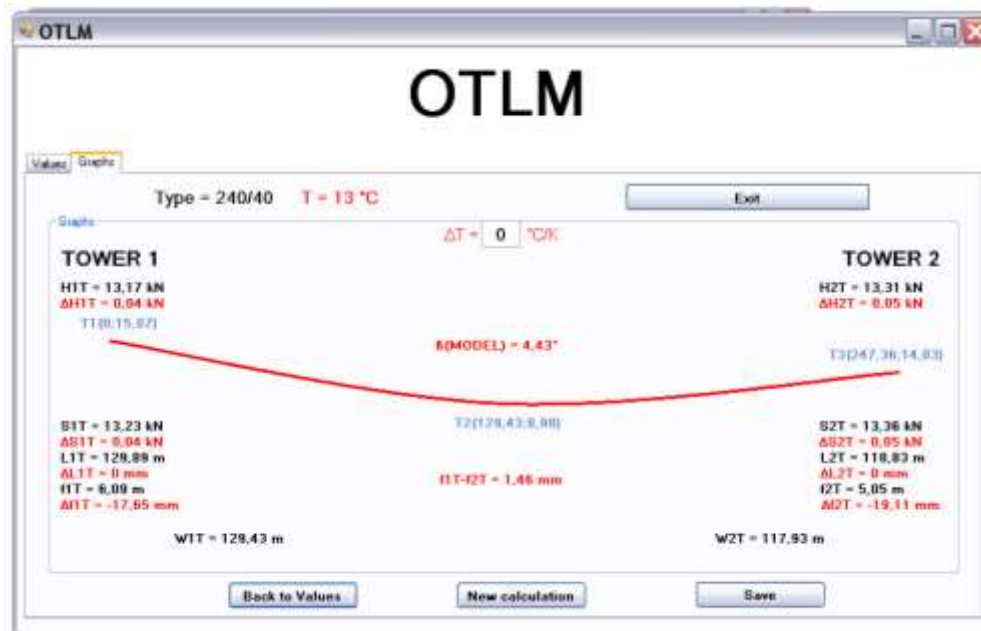
Oba koeficienta sedaj vpišemo v računalniško aplikacijo (slika 12) za vpis vhodnih podatkov za a_1 in a_0 . Izračun sedaj kontrolno ponovimo in dobimo vrednosti kota, ki ga ob upoštevanju kalibracijskih parametrov izračuna program, kot je prikazano na sliki 13.



Slika 11: Diagram v preglednici z izračunanimi parametri »trend-line« a_1 in a_0



Slika 12: Predogled aplikacije s podatki o meritvi 10.2.2015 z vpisanimi vrednostmi a_0 in a_1



Slika 13: Sedaj izračunan kot po modelu, je dejansko enak kotu izmerjenem na vodniku z LEICO

Izračunane vrednosti ležijo na »trend line« premici. Ker ni možnosti, da bi ves čas primerjali natančne meritve kota z LEICO in kota, ki ga računa model, je potrebno poiskati korelacijo med kotom, ki ga meri inklinometer v OTLM napravi in dejanskim kotom z LEICO. Primerjava med tema dvema kotoma je odvisna od natančnosti meritve inklinometra, saj LEICA predstavlja trenutek meritve cca. 30 sekund, medtem, ko meritev celotne verižnice predstavlja povprečje 1 ure. Za oceno natančnosti meritve z OTLM napravo je opravljena analiza meritve kota OTLM od temperature.

III. ZAKLJUČEK

V poročilu je predstavljen potek meritve z LEICA TS30, na osnovi katerega je določena geometrija verižnice daljnovoda na razponu med dvema stebroma. Meritev verižnice predstavlja robni-začetni pogoj za zagon računalniške aplikacije za izračun sil v vodniku in povesa pri temperaturi vodnika v času meritve. Meritev predstavlja sestavni del postopkov za vzpostavitev monitoringa daljnovoda za OTLM napravo. Rezultati so pokazali natančen potek geometrije (verižnice) vodnika pri temperaturi $T=29,5^{\circ}\text{C}$ in treh temperaturah okolice $17,39^{\circ}$, $19,7^{\circ}\text{C}$ in $+6^{\circ}\text{C}$. Že razlika v temperaturi okolice pri prvih dveh meritvah za $2,31^{\circ}\text{C}$ kaže za 134 mm večji povese vodnika v najnižji točki vodnika. Tretja meritev pri temperaturi vodnika $T=+13^{\circ}\text{C}$ in temperaturi okolice $+6^{\circ}\text{C}$ kaže manjši kot na mestu pritrditve OTLM naprave, vendar v skladu s tem manjši povese in višjo horizontalno silo v vodniku.

Pri obeh izračunih je predpostavljeno, da sta korelacijska parametra $a_0=0$ in $a_1=1$ in s tem korelacijo LEICA-model 1:1. Za boljšo natančnost je bilo potrebno opraviti kalibracijo skozi večji temperaturni interval, kar glede vremenskih pogojev v juliju in avgustu 2104 ni bilo možno. Tretja meritev je bila opravljena na temperaturi vodnika $T=+13^{\circ}\text{C}$ in kaže spremembo kota za $0,6^{\circ}$ zaradi temperaturne razlike 16°C . Na osnovi opravljenih vseh treh meritev sta določena parametra kalibracijske funkcije kota $a_1=1,8182$ in $a_0=-4,0973$ ob popolni regresiji $R^2=1$.

Poglavitno vprašanje ostaja o višini merodajne temperature za preračun povesa vodnika. Namreč razlika med temperaturo okolice in temperaturo vodnika očitno vpliva na razliko v povasih tudi če je temperatura vodnika enaka.

Na osnovi opravljene študije ugotavljamo, da je možno spremljati povese vodnika v odvisnosti od temperatur vodnika in okolice ter kontrolno primerjati izračunane vrednosti kota na mestu pritrditev OTLM naprave, kar predstavlja tudi ključni parameter za alarm žled.

REFERENCE

- [1] Pravilnik o tehničnih normativih za graditev nadzemnih elektroenergetskih vodov z nazivno napetostjo od 1 kV do 400 kV (Ur.l. SFRJ št. 65/88)
- [2] SIST EN 50341-1:2002 Nadzemni električni vodi za izmenične napetosti nad 45 kV – 1. del: Splošne zahteve – Skupna določila
- [3] SIST EN 50341-3-21:2009 Nadzemni električni vodi za izmenične napetosti nad 45 kV – 3-21. del: Nacionalna normativna določila (NNA) za Slovenijo (na podlagi SIST EN 50341-1:2002)
- [4] SIST EN 50423-1:2005 Nadzemni električni vodi za izmenične napetosti nad 1 kV do vključno 45 kV – 1. del: Splošne zahteve – Skupna določila
- [5] SIST EN 50423-3-21:2009 Nadzemni električni vodi za izmenične napetosti nad 1 kV in do vključno 45 kV – 3-21. del: Nacionalna normativna določila (NNA) za Slovenijo (na podlagi SIST EN 50423-1:2005)
- [6] V. Lovrenčič, N. Gubelj, B. Banić, A. Ivec, D. Kozjek, M. Jarc, Monitoring za posredno određivanje promjene horizontalne sile u zavisnosti od promjene temperature i nagiba nadzemnog voda dalekovoda prijenosnog sustava. V: FILIPOVIĆ-GRČIĆ, Božidar (ur.). *11. Simpozij o sustavu vođenja EES-a, Opatija, 10.-12. studenoga 2014 = 11th Symposium on Power System Management, Opatija, November 10-12, 2014*. Zagreb: Hrvatski ogranak CIGRE, 2014, str. 1-10.