Broj rada: R1-13
DOI:10.46793/CIRED2026.R1-13_163

ANALIZA POGONSKIH STANJA KABLOVSKOG VODA 35 KV NAPOJENOG SA TRANSFORMATORA T4 U TS BEOGRAD 4

ANALYSIS OF OPERATING CONDITIONS OF THE 35 KV CABLE LINE SUPPLIED BY TRANSFORMER T4 IN SS BELGRADE 4

Miloš MILOŠEVIĆ, MINS Elektro, Srbija*
Tomislav RAJIĆ, Elektrotehnički Fakultet Beograd, Srbija
Marko RISTIVOJČEVIĆ, SAEC, Srbija
Danilo ŠAKOVIĆ, SAEC, Srbija
Zoran STOJANOVIĆ, Elektrotehnički Fakultet Beograd, Srbija

KRATAK SADRŽAJ

Novi kratki kablovski vod 35 kV koji povezuje sekundar energetskog transformatora T4 110/35/10 kV, YNyn0+d5, 63 MVA sa pripadajućom ćelijom isprojektovan je, montiran i pušten u rad. Kablovski vod je izveden sa dva kabla po fazi, u ravnoj formaciji propisane međusobne udaljenosti, u skladu sa standardom. Na taj način korigovani su instalacioni koeficijenti, odnosno poboljšani su uslovi polaganja kabla i postignuta je veća strujna opteretivost kablovskog voda. Plaštovi kablova obostrano su uzemljeni u skladu sa tehničkom preporukom. Prilikom eksploatacije, kada je transformator bio značajnije opterećen, ustanovljena je pojava visokih struja u plaštovima koja je prouzrokovala porast temperature kablova uočen termovizijom. Modelovanjem kablovskog voda u odgovarajućem programskom paketu napravljena je analiza stanja kablovskog voda za slučajeve različitih geometrija polaganja kablovskog voda u cilju smanjenja struja kroz plašt. Uporedo sa svakim modelom izvršena su i realna merenja koja korespondiraju sa rezultatima modela. Promenom geometrije polaganja došlo se do željenog smanjenja struja. U ovom radu prikazan je detaljan pregled svih modela, njihova analiza, rezultati merenja i zaključci koji mogu poslužiti kao smernica za projektovanje kratkih srednjenaponskih kablovskih vodova.

Ključne reči: modelovanje, srednjenaponski kabl, transformator

ABSTRACT

A new short 35 kV cable line connecting the secondary of the power transformer T4 110/35/10 kV, YNyn0+d5, 63 MVA with the associated bay has been designed, installed and put into operation. The cable line is constructed with two cables per phase, in a flat formation with the distance in accordance with the standard. In this way, the installation coefficients have been corrected, i.e. the cable laying conditions have been improved and a higher current carrying capacity of the cable line has been achieved. The cable sheaths are grounded on both sides in accordance with the technical recommendation. During exploitation, when the transformer was significantly loaded, the occurrence of high currents in the sheaths was established, which caused an increase in the temperature of the cables, observed by thermal imaging. By modeling

* Miloš Milošević milos.milosevic@minselektro.com; Tomislav Rajić rajic@etf.rs; Marko Ristivojčević marko.ristivojcevic@saec.rs; Danilo Šaković danilo.sakovic@saec.rs; Zoran Stojanović stojanovic@etf.rs

the cable line in the software, an analysis of the condition of the cable line was made for cases of different cable line laying geometries to reduce the currents through the sheath. In parallel with each model, real measurements were performed that correspond to the model results. By changing the laying geometry, the desired current reduction was achieved. This paper presents a detailed overview of all models, their analysis, measurement results and conclusions that can serve as guidelines for the design of short medium-voltage cable lines.

Keywords: medium voltage cable, modeling, transformer

UVOD

Ovaj rad bavi se praktičnim problemom koji je nastao prilikom zamene postojećeg kablovskog voda 35 kV novim. Novi vod je isprojektovan u skladu sa projektnim zadatkom, ustaljenom praksom korišćenja standarda IEC 60502-2-2014 [1] i Tehničkom preporukom [2]. Važno je pomenuti da je navedeni standard izveden iz serija IEC 60287, konkretno IEC 60287-1 [3] i IEC 60287-2 [4].

Nakon izvršenih radova, ispitivanja i puštanja u pogon novog kablovskog voda, službe održavanja primetile su porast temperature jedne faze kabla na čitavoj njegovoj dužini, a koji je korespondirao sa trendom porasta struje opterećenja transformatora. Ciljanim merenjem struja u plaštovima faza tokom eksploatacije, ustanovljena je pojava visokih struja u plaštevima.

Originalna geometrija polaganja odabrana je tako da uzme u obzir povoljne koeficijente i uslove polaganja u skladu sa standardom, ali bez provere elektromagnetnih uticaja.

Promenom geometrije polaganja, došlo se do redukovanja struja u plaštevima faza, što je i odgovaralo digitalnom modelu kablovskog voda.

Kroz detaljno opisane faze zamene kabla daće se uvid u projektantsko rezonovanje, opis problema porasta temperature, realna merenja pre i nakon implementacije rešenja, kao i modelovanje voda sa rezultatima koji korespondiraju merenjima.

1 PROJEKTOVANJE, PRORAČUN I IZVOĐENJE RADOVA

1.1 Prvobitno stanje, projektni zadatak

Postojeći kablovski vod 35 kV koji povezuje energetski transformator T4 sa pripadajućom transformatorskom ćelijom, bio je predviđen za zamenu zbog dužine eksploatacije (više od 40 godina), kao i zbog pojave učestalog curenja ulja na kablovskim završnicama. Investitor je u skladu sa trenutnim tehnološkim trendovima predvideo novi kabl sa izolacijom od umreženog polietilena (XLPE) i suve kablovske završnice za spoljnu montažu. Na ovaj način dobija se novi i pouzdan element u sistemu čiji je dodatni benefit smanjeno održavanje, s obzirom da su završnice izvedene kao suve.

Projektni zadatak predviđao je da kablovski vod bude dimenzionisan u skladu sa snagom transformatora uz 10% nominalnog dozvoljenog preopterećenja. Zbog limitiranog prostora unutar same ćelije i drugih tehničkih ograničenja u spoljnom delu, zahtevano je da rešenje odgovara postojećem stanju, odnosno sa najviše dva kabla po fazi (Slika 1).



Slika 1 – Izgled pre adaptacije

1.2 Proračun i provera nominalne struje kabla

Struja koju kabl mora nositi u nominalnom režimu sa dodatnih 10% preotperećenja je:

$$I_{nT} = \frac{1{,}1Sn}{\sqrt{3}Un} = 1144{,}5 \text{ A} \quad (1)$$

Usled velike struje predviđena su dva kabla po fazi kako bi se optimizovao poprečni presek. Odabran je jednožilni kabl tipa XHE49-A (NA2XS(F)2Y) 20,8/36 kV 1x400/35 mm^2.

Prema [1] dozvoljena struja izabranog kabla i uslov za proveru izbora kabla:

$$I_{doz} = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot I_{Tab} \quad (2)$$

$$I_{doz} \geq I_{nT}/2 \quad (3)$$

Gde su:

- I_{tab} – naznačena strujna nosivost kabla za date uslove polaganja;
- K_1 – korekcioni faktor koji uvažava stvarnu temperaturu tla;
- K_2 – korekcioni faktor koji uvažava stvarnu dubinu polaganja;
- K_3 – korekcioni faktor koji uvažava svarnu toplotnu otpornost tla za polaganje u cev u zemlji;
- K_4 – korekcioni faktor koji uvažava vođenje više traofaznih strujnih krugova u cevi.

Prostor za polaganje kablova bio je betonski kanal koji povezuje ćeliju sa spoljnim delom postrojenja, gde kabl završava na čeličnoj konstrukciji. Sam betonski kanal unutar zgrade je prostran sa dobrom ventilacijom, tako da je projektantska ideja bila da se kabl celom dužinom podigne na razmaknuta čelična postolja i postavi u ravnu (*flat*) konfiguraciju sa propisanim razmakom između faza (razmak najmanje D_e=50 mm, usvojeno 200 mm) i na taj način osigura povoljnije koeficijente $K_{1\text{-}4}$. Ukupna dužina voda unutar zgrade nije veća od 12 m.

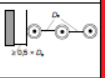
Na ovaj način dobijeno je sledeće:

- kabl se tretira kao da je položen u vazduhu što daje najpovoljnije tabelarne vrednosti u odnosu na polaganje u zemlji $I_{tab} = 769$ A (Slika 2)*;*
- $K_2 = 1$ nema korekcije faktora dubine ukopavanja;

- $K_3 = 1$ nema korekcije faktora termičke provodnosti tla;
- $K_1 = 0{,}91$ temperatura ambijenta +40˚C;
- $K_4 = 0{,}85$ grupno vođenje, prema B.21, uzeto na strani sigurnosti jer ne postoje cevi.

Konačno, kalkulisana trajno dozvoljena struja veća je od zahtevane, odnosno:

$$I_{doz} = 594{,}5\ \text{A} \geq 572{,}25\ \text{A} \tag{4}$$

Nominal area of conductor	Buried direct in the ground		In single-way ducts		In air		
	Trefoil	Flat spaced	Trefoil ducts	Flat touching ducts	Trefoil	Flat touching	Flat spaced
							
mm²	A	A	A	A	A	A	A
16	84	88	80	81	97	99	116
25	108	112	102	103	127	130	153
35	129	134	122	123	154	157	185
50	152	157	144	146	184	189	222
70	186	192	176	178	230	236	278
95	221	229	210	213	280	287	338
120	252	260	240	242	324	332	391
150	281	288	267	271	368	376	440
185	317	324	303	307	424	432	504
240	367	373	351	356	502	511	593
300	414	419	397	402	577	586	677
400	470	466	451	457	673	676	769

Slika 2 – IEC60502-2 – Tabela B.3. Odabir načina polaganja kabla prema tabelarnim vrednostima

1.3 Izvođenje radova

Stari kablovski vod je demontiran, na njegovo mesto ugrađen je novi u skladu sa Projektnom dokumentacijom. Plaštovi novog kablovskog voda uzemljeni su direktno sa obe strane voda u skladu sa [2].



Slika 3 – Izgled novog kablovskog voda nakon adaptacije

Kako bi se postigli željeni efekti hlađenja opisani u prethodnom poglavlju, korišćeni su čelični nosači na koje je kabl pričvršćen odgovarajućim neferomagnetskim obujmicama. Faze kablova vođene su paralelno, u formaciji L32-L31-L22-L21-L12-L11-REZ1-REZ2.

Nakon izvršenih naponskih ispitivanja (VLF metodom), potvrde izolovanosti električnih plaštova i provere redosleda faza, novi SN kablovski vod pušten je prvo u prazan hod tokom 24 časa, a nakon toga je i opterećen.

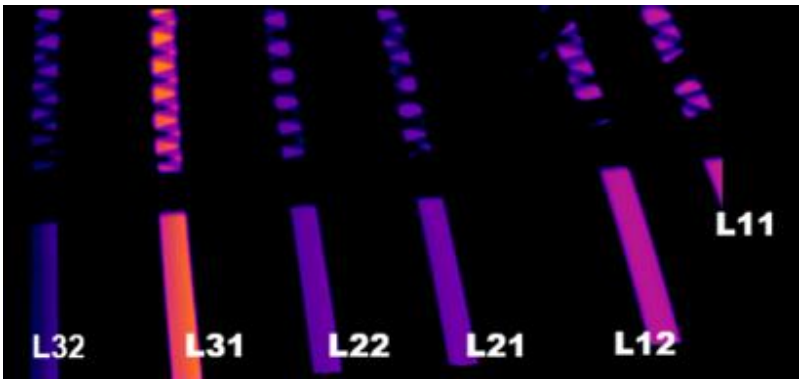


Slika 4 – Raspored kablova u kablovskom kanalu

2 POGONSKI PROBLEM I OTKLANJANJE

2.1 Opis pogonskog problema

Nakon sedam meseci eksploatacije, u mesecu februaru nadležne službe Investitora su prilikom redovnog održavanja termovizijskom kamerom uočile da se unutrašnji kabl faze L3 greje celom dužinom više nego ostali kablovi.



Slika 5 – Termovizijski snimak kablovskog voda, bez rezervnih kablova

Prema izveštajima Investitora, temepratura ambijenta bila je 8˚C, dok je temperatura kablova prema termovizijskom snimku: L32 – 14,4˚C; **L31 – 20,2˚C**; L22 – 15,5˚C; L21 – 15,5˚C; L12 – 17,4˚C; L11 – 17,4˚C.

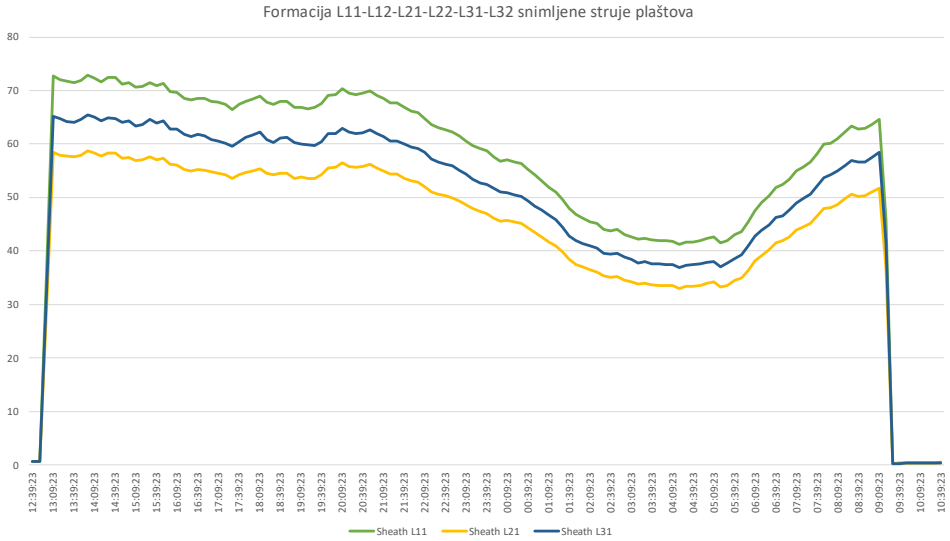
Najtopliji deo kabla nalazio se na mestu gde električni plašt izlazi ispod silikonske završnice i gde ide uz kabl. Nakon fizičkog odvajanja pletenice plašta od kabla, došlo je do delimičnog pada temperature ali je primećeno da se predmetni kabl greje celom svojom dužinom. Ista situacija primećena je i sa druge strane kablovskog voda u spoljnom delu postrojenja. Ova

pojava izazvala je sumnju da je porast temperature možda uzrokovan drugim faktorima osim potencijalno neadekvatno izvedene kablovske završnice.

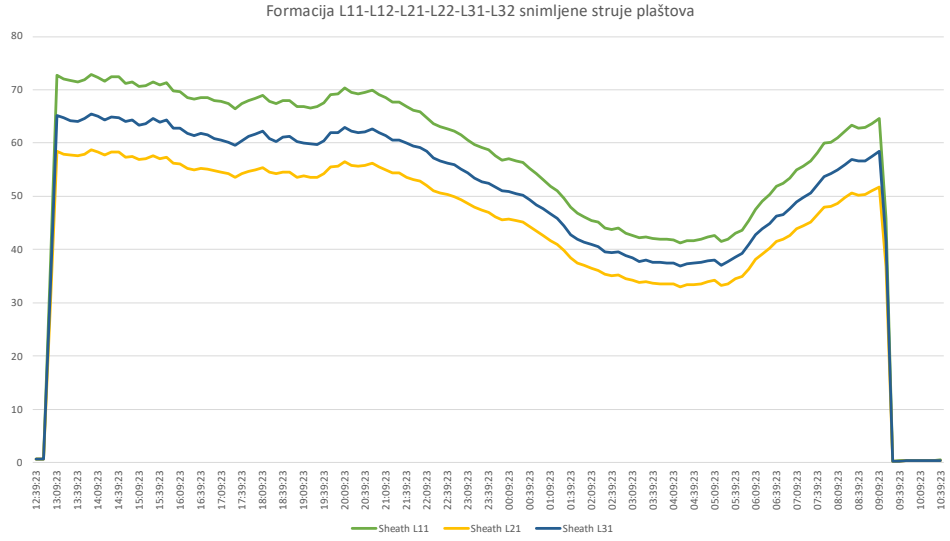
Postavljeni su merni instrumenti na plašt - obuhvatni strujni pretvarači koji su u desetominutnim intervalima snimali vrednosti struja, te su nakon 24 časa dobijeni rezultati koji su ukazivali na pojavu vrlo visokih struja plaštova sa visokim udelom u odnosu na struju opterećenja transformatora. Pod pretpostavkom da je geometrija polaganja problem, u koordinaciji sa Investitorom napravljena je nova konfiguracija polaganja kabla L11-L21-L31-L21-L22-L32 sa istim razmacima i snimljeni su pogonski parametri.

2.2 Rezultati snimanja parametara

Struje su snimane u periodu od podneva do jutra sledećeg dana u skladu sa dinamikom isključenja. Različite konfiguracije polaganja snimane su u različitim danima. (Slika 6).



(a)



(b)

Slika 6 – Snimljene struje (a) Formacija 1 (b) Formacija 2

Izvršeno je upoređivanje vrednosti opterećenja svih faza transformatora u vremenskim intervalima kada su izvršena merenja struja plaštova. (Slika 7).



Slika 7 –Snimljeni udeli struja (a) Formacija 1 (b) Formacija 2

Nakon promene konfiguracije za iste pogonske parametre dobijene su vidljivo manje struje u plaštovima uz smanjen udeo struje plašta od 15-20%. U pogonu je ostala druga konfiguracija, odnosno L11-L21-L31-L21-L22-L32. Na slici nedostaju merenja faze C1 zbog kvara na uređaju.

3 MODELOVANJE I REZULTATI

3.1 Model kabla, pretpostavke i ograničenja simulacije

Predmetni kabl modelovan je u odgovarajućem programskom paketu. Odgovarajući program i standard [3] dozvoljavaju simulacije samo određenih konfiguracija kablova za metod polaganja

u vazduhu među kojima se ne nalazi predmetni slučaj sa dva kabla po fazi. Svi navedeni slučajevi će se analizirati kao da su kablovi ukopani direktno u homogenu zemlju sa konstantnom toplotnom otpornošću od 1,5 Km/W. Temperatura ambijenta usvojena je +20˚C.

Ova pretpostavka eliminisaće postojeće ambijentalne uticaje (hlađenje usled strujanja vazduha, solarna iradijacija) i daće realnu sliku uticaja geometrije polaganja na prenosnu moć kabla. Pretpostavka je da su sve tri faze ravnomerno opterećene. Analiza se radi kao *steady-state*, odnosno nominalni konstantni pogon kada je postignuta ravnoteža svih toplotnih procesa.

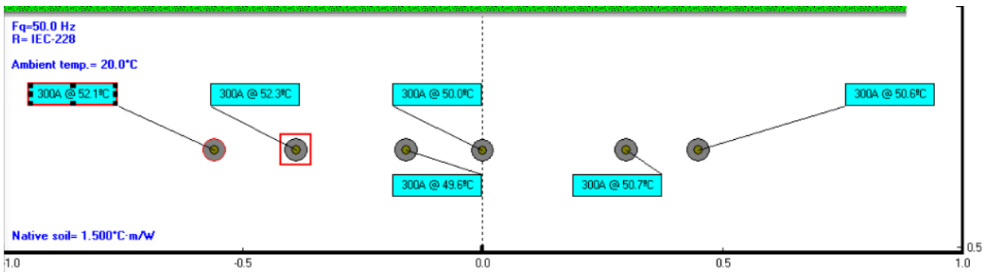
3.2 Opis metode

Pogonski parametri svakog kabla menjaju se individualno u skladu sa zadatim strujnim opterećenjem transformatora koje je dato u rasponu od 5 do 350 A, sa korakom od 25 A. Parametri od interesa koji su se nametnuli prilikom modelovanja jesu:

- indukovana cirkulaciona struja u plaštu [A];
- udeo indukovane struje plašta u odnosu na struju provodnika [%];
- temperatura na spoljašnjoj površini kabla (na koju utiču gubici u provodniku, metalnom plaštu i ambijentalna temperatura) [˚C].

3.3 Model ravne konfiguracije – L11-L12-L21-L22-L31-L32

Kabl je modelovan u odgovarajućem programskom paketu koji vrši proračun u skladu sa standardima [3] i [4]. Kablovi L31 i L32 pomereni su dalje u odnosu na L11, L12 i L21, L22 u skladu sa izvedenim stanjem (Slika 8).

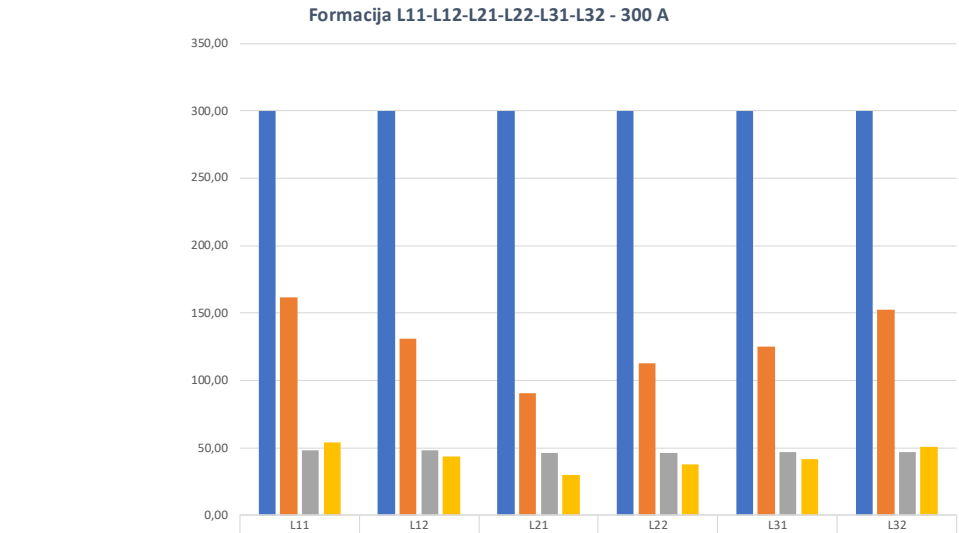


Slika 8 – Model kabla L11-L12-L21-L22-L31-L32, 300A

Prvi zaključak do koga se došlo jeste da faza L12 zaista ima veću temperaturu u odnosu na ostale, što je u određenoj meri i odgovaralo realnim merenjima.

Slika 9 daje uvid u vrednosti indukovane struje plašta u odnosu na struju opterećenja, spoljnu temperaturu kabla i udeo indukovane struje plašta u odnosu na struju opterećenja. Zaključak je da su najveće struje plašta na spoljnim kablovima (L11, L32) i iznose čak 50% ukupne struje opterećenja. Kabl L21 ima najmanju struju plašta i udeo od 30%. Ostali kablovi, shodno pozicijama, imaju delimično umanjenje struja kroz plašt.

Ovakva raspodela uslovljena je međusobnim uticajem elektromagnetskih polja različitih faza. Kako su spoljni kablovi udaljeni, nije došlo do smanjivanja rezultantnog magnetskog polja drugih faza. Faze L21 i L22 obuhvaćene su poljima koje generišu druge dve faze.



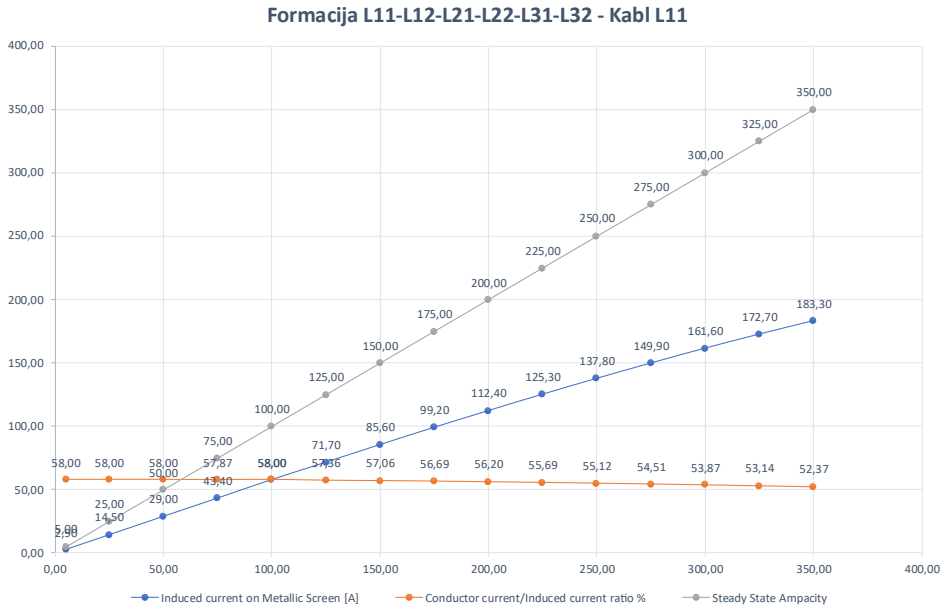
	L11	L12	L21	L22	L31	L32
Steady State Ampacity	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00
Induced current on Metallic Screen	161,60	130,80	90,20	112,40	124,80	152,20
Cable surface temperature	47,80	48,30	46,00	46,30	46,80	46,50
Conductor current/Induced current ratio	53,87	43,60	30,07	37,47	41,60	50,73

Slika 9 – Parametri, L11-L12-L21-L22-L31-L32, 300A

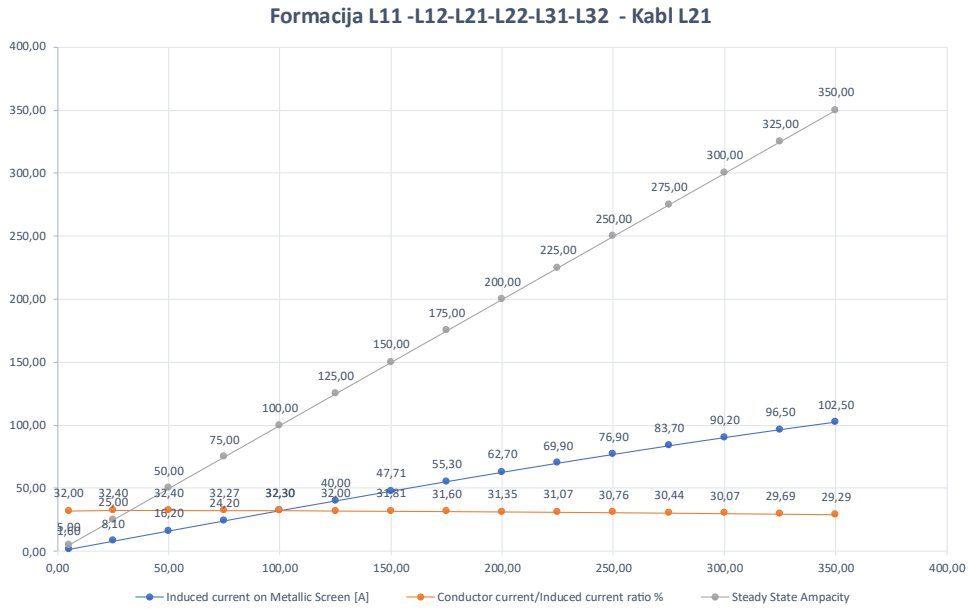
Zagrevanje kabla posledica je struje provodnika, struje plašta i ambijenta. Kabl L12 je najtopliji sa maksimalnom apsolutnom razlikom od 2,3˚C, iako njegova struja plašta nije najveća.

Gubici u plaštevima spošljanjih kablova veći su od od gubitaka u kablovima faza koje se nalaze u središnjem delu formacije. Zavisnost struje plašta od opterećenja

Izvršena je provera raspodele udela struje kroz plašt za kabl L11 (najveći udeo) i kabl L21 (najmanji udeo) u zavisnosti od opterećenja, za datu konfiguraciju (Slika 10).



(a)



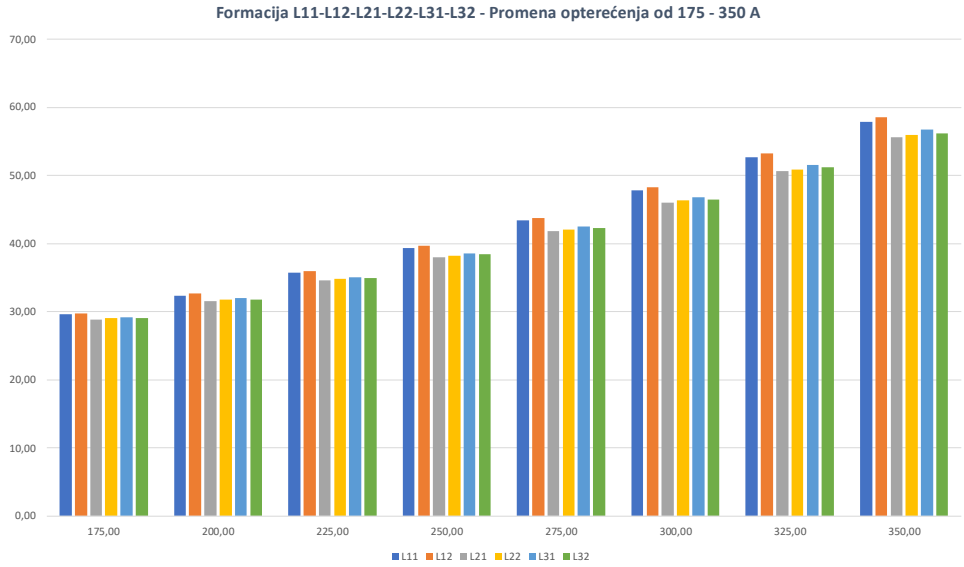
(b)

Slika 10 – Zavisnost struja kroz plašt L11-L12-L21-L22-L31-L32 (a) kabl L11, (b) kabl L21

Iz priloženog se zaključuje da udeo struje ima blagu linearnu karakteristiku smanjivanja u slučaju povećanja opterećenja, ali da se može smatrati konstantnom za realne slučajeve opterećenja predmetnog transformatora.

3.3.1 Zavisnost spoljne temperature kabla od opterećenja

Izvršena je provera raspodele temperatura kablova u zavisnosti od opterećenja (Slika 11).

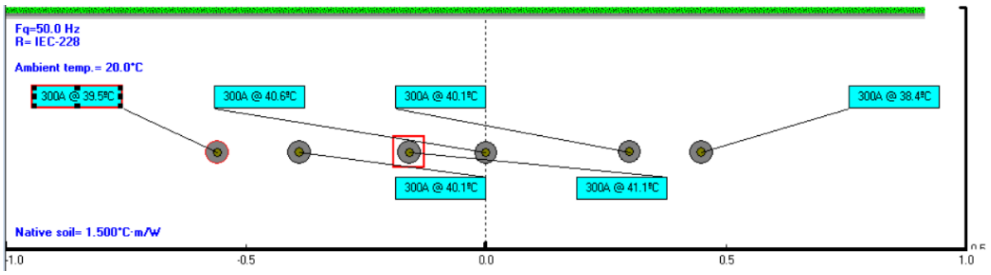


Slika 11 – Zavisnost spoljne temperature kabla L11-L12-L21-L22-L31-L32

Iz priloženog se zaključuje da je temperaturna raspodela izraženija pri većim opterećenjima sa sličnom raspodelom za različita opterećenja. Kabl L12 će konstantno biti najtopliji. Nesimetrija je uzrokovana nesimetričnom konfiguracijom.

3.4 Model ravne konfiguracije – L11-L21-L31-L12-L22-L32 nakon primene rešenja

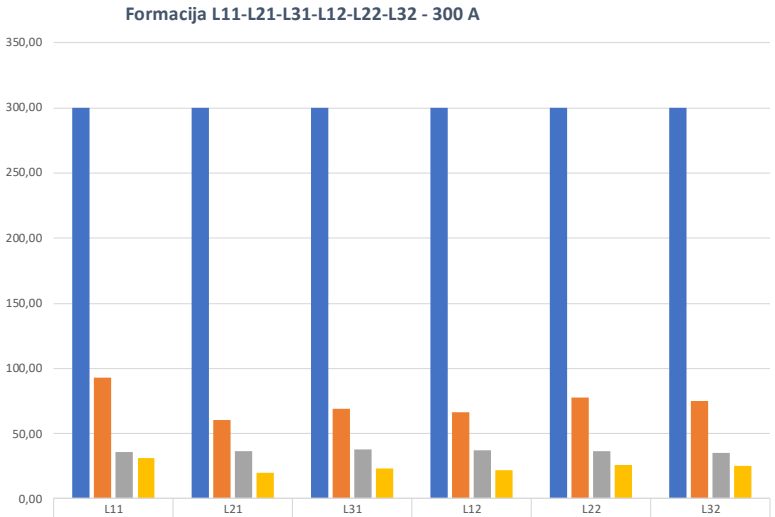
U skladu sa primenjenim rešenjem na terenu, izvršeno je modelovanje (Slika 12).



Slika 12 – Model kabla, L11-L21-L31-L12-L22-L32, 300A

Prvo što se primećuje jeste da drugačijom formacijom za iste ambijentalne uslove dobijamo drastičnu razliku između maksimalnih temperatura provodnika – oko 10˚C.

Na Slici 13 data je raspodela struja plašta, temperatura i udela struja.

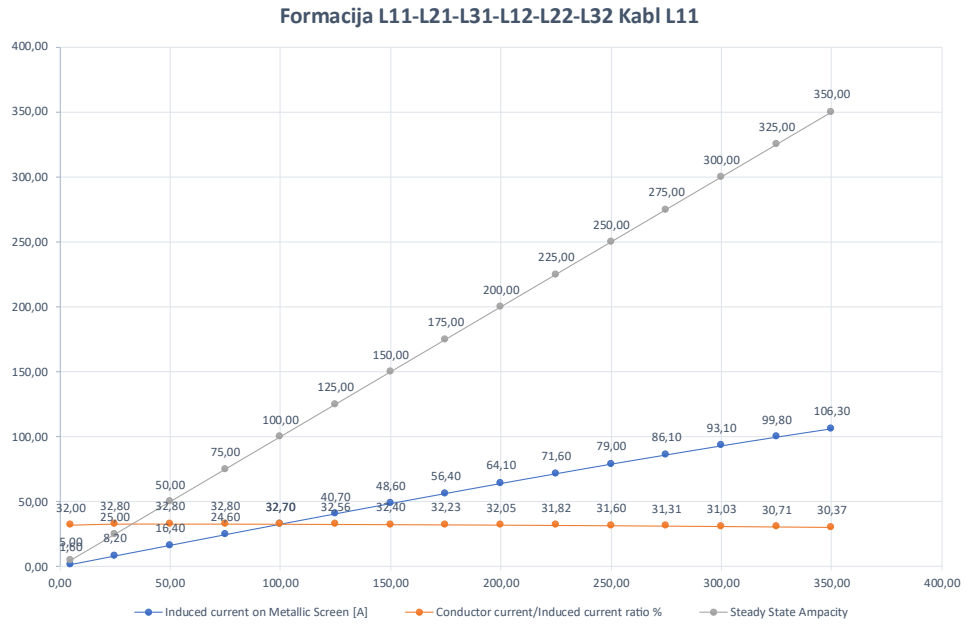


	L11	L21	L31	L12	L22	L32
Steady State Ampacity	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00
Induced current on Metallic Screen	93,10	60,20	69,00	66,30	77,90	74,70
Cable surface temperature	35,90	36,70	37,70	37,30	36,60	35,10
Conductor current/Induced current ratio	31,03	20,07	23,00	22,10	25,97	24,90

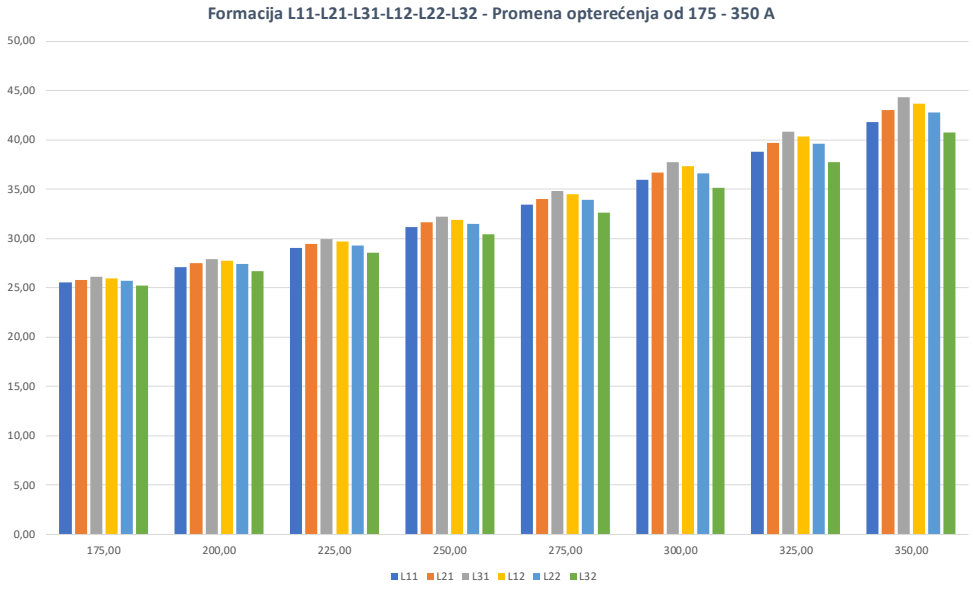
Slika 13 – Parametri L11-L21-L31-L12-L22-L32, 300A

U ovoj konfiguraciji drastično su manji udeli struja kroz plašt sa uniformnijom raspodelom. Isto se može reći i za temperature. Kabl L21 ima najmanji udeo struje zato što su mu preostale faze L11 i L31 bliže nego kablu L12 (nesimetričan položaj kablova).

3.4.1 Zavisnosti struje plašta i spoljne temperature od opterećenja



(a)



(b)

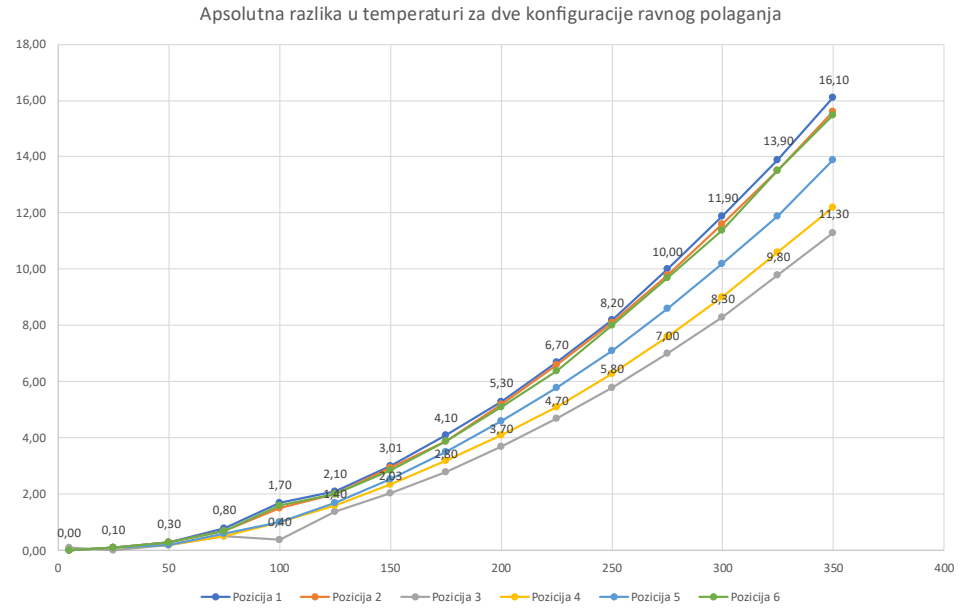
Slika 14 – Zavisnost parametara L11-L21-L31-L12-L22-L32 (a) struja plašta (b) spoljna temperatura kabla

U odnosu na prvu konfiguraciju primetno je smanjenje struja plašta odnosno udela struje u odnosu na opterećenje predmetne faze.

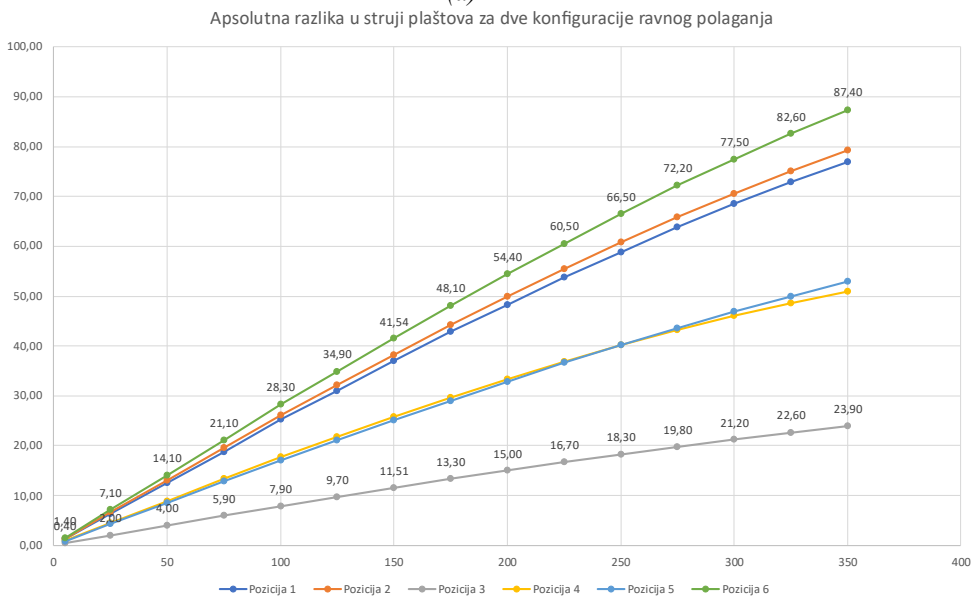
Temperaturna raspodela izraženija je pri većim opterećenjima sa sličnom raspodelom. Kabl L21 konstatno će biti najtopliji. Uniformnija raspodela struja u plaštu korespondira sa raspodelom temperature.

3.5 Poređenje dve konfiguracije

Konfiguracije su poređene prema apsolutnoj razlici temperature kabla, i prema apsolutnoj razlici struja plašta (Slika 15).



(a)

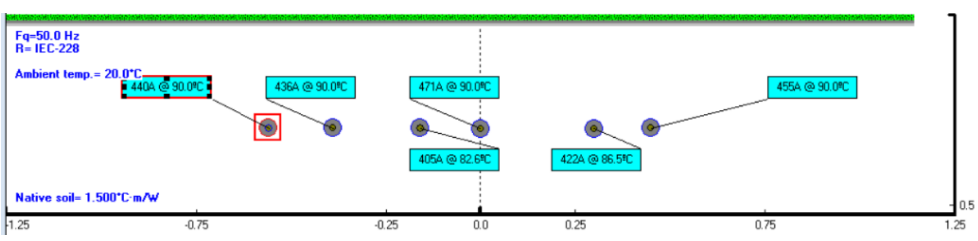


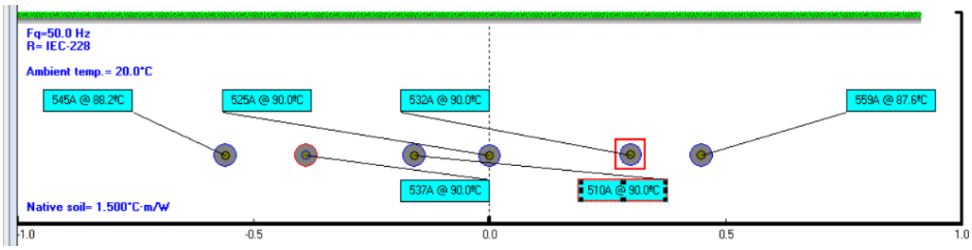
(b)

Slika 15 – Apsolutna razlika dve konfiguracije (a) temperatura (b) struja plašta

Temperaturna raspodela izraženija je pri većim opterećenjima sa sličnom raspodelom. Kabl L21 će konstatno biti najtopliji. Uniformnija raspodela struja u plaštu korespondira sa raspodelom temperature.

Izvršena je provera maksimalne prenosne moći kablova za obe konfiguracije. Prenosna moć limitirana je dozvoljenom temperaturom provodnika od 90˚C (Slika 16).





Slika 16 – Prenosna moć kablova za obe konfiguracije

Tabela I daje detaljan uvid u rezultate analize za Konfiguracije: 1 – L11-L12-L21-L22-L31-L32; 2 – L11-L21-L31-L12-L22-L32.

Tabela I – Pregled vrednosti struja po fazi prema poziciji za obe konfiguracije

Konfiguracija	Pozicija 1	Pozicija 2	Pozicija 3	Pozicija 4	Pozicija 5	Pozicija 6
1	I_{A1}= 440A	I_{A2}= 436A	I_{B1}= 405A	I_{B2}= 471A	I_{C1}= 455A	I_{C2}= 455A
2	I_{A1}= 545A	I_{B1}= 537A	I_{C1}= 510A	I_{A2}= 525A	I_{B2}= 532A	I_{C2}= 559A

Tabela II – Ukupna vrednost struje kablovskog voda

Konfiguracija	Faza A - I_{A1+} I_{A2}	Faza B - I_{B1+} I_{B2}	Faza C – I_{C1+} I_{C2}
1	876 A	876 A	910 A
2	1070 A	1069 A	1069 A

4 ZAKLJUČAK

Projektovanje kablova 35 kV u skladu sa standardom IEC 60502-2 koje se često sreće u praksi može biti problematično kada su u pitanju specifični uslovi polaganja koji mogu biti uslovljeni zahtevima sličnim kao što su oni koji su navedeni u ovom radu. Standard ne uzima u razmatranje specifične konfiguracije kabla, odnosno elektromagnetsku spregu i uticaj struja plašta.

Projektant uočava svoju grešku, s obzirom da je standard IEC 60502-2 isključivo dat za napone do 30 kV, što za predmetni kabl nije slučaj. Preporuka je da se za kablove 35 kV koriste opširniji i detaljniji standardi IEC 60287-1 i IEC 60287-2 .

U slučaju polaganja kabla u ravnoj konfiguraciji, obavezna je primena transponovanja faza jer se na taj način dobijaju povoljniji pogonski uslovi i povećan kapacitet kablovskog voda za iste pozicije kablova. Za konkretnu konfiguraciju dobija se povećanje kapaciteta od 22%.

U budućnosti treba razmotriti poređenje transponovanja ravne konfiguracije sa trolisnom (*trefoil*), kao i opciju uzemljenja plašta samo sa jedne strane kablovskog voda (*single-point bonding*) za slučajeve kratkih vodova (kao u predmetnom slučaju). Tada neće postojati struje kroz plašt, dolazi do pojave indukovanog napona na izolovanom kraju plašta u funkciji dužine voda. *Single point bonding* je najpovoljniji sa aspekta opteretivosti kablovskog voda, ali ga u praksi često korišćena Tehnička preporuka ne prepoznaje za SN kablove.

LITERATURA

[1] „IEC 60502-2 - Cables for rated voltages from 6 kV (Um = 7,2 kV) up to 30 kV (Um = 36 kV)“, 2014.
[2] „Tehnička preporuka br.3 Osnovni tehnički zahtevi za izbor i montažu kablova i kablovskog pribora u elektrodistributivnim mrežama 1kV, 10kV, 20kV, 35kV i 110kV“, V izdanje, JP EPS – Direkcija za distribuciju električne energije Beograd, Vojvode Stepe 412
[3] „IEC 60287-1 – Electric Cables Calculation of the current rating – Part 1-1: Current rating equations (100% load factor) and calculation of losses“, 2014.
[4] „IEC 60287-2 - Electric Cables Calculation of the current rating – Part 2-1: Thermal resistance – Calculation of thermal resistance“, 2014.