

# Elektropārvades līniju apslēptās jaudas rezerves noteikšana

Svetlana Berjozkina<sup>1</sup>, Edvīns Vanzovičs<sup>2</sup>, Antans Sauhats<sup>3</sup>, <sup>1-3</sup>Rīgas Tehniskā universitāte

**Kopsavilkums.** Pastāv dažādi risinājumi, kas ļauj uzlabot esošo gaisvadu līniju efektivitāti, viens no tiem – palielino ierobežoto līnijas caurlaides spēju. Esošo elektropārvades līniju jaudas rezerve ir aktuāls jautājums, kuru jāizskata, ņemot vērā dažādus aspektus. Raksts atspoguļo esošo gaisvadu līniju mehānisko un termisko ierobežojumu salīdzinošo analīzi, kas balstās uz konkrētiem aprēķinu piemēriem saskaņā ar izvēlētajām varianta pamatprasībām. Pieļaujamās vada temperatūras un maksimālās slodzes strāvas aprēķina metodika ir detalizēti aprakstīta šajā darbā. Pētījuma galvenais mērķis ir atrast papildus jaudas rezervi, izmantojot precīzus matemātiskus modeļus. Simulācijas balstās uz konkrētu Latvijas energosistēmas gaisvadu līnijas modeli. Iegūtie rezultāti ir atspoguļoti rakstā.

**Atslēgas vārdi:** elektropārvades līnija, parametru noteikšana, slodzes strāva, vada silšanas temperatūra.

## I. IEVADS

Liels procents no visām elektropārvades līnijām, kuras šobrīd atrodas ekspluatācijā, celtas, izmantojot tradicionālos tēraudalumīnija vadus (AS). Šāda tipa vadu darba mūžs prognozēts ap 40 gadu, saglabājot nepieciešamo izturību, un veicot minimālu apkopi. Taču lielākā daļa līniju joprojām ir ekspluatācijā, tātad jau 40 līdz 60 gadus [1].

Sakarā ar atjaunojamo enerģijas resursu lielo ietekmi, kas paredzēta Eiropas enerģijas elektroapgādē nākotnes ilgtspējīgas enerģijas sistēmā, kā arī ar jaunu apakšstaciju celtniecību, piemēram, vēja elektrostaciju, pieprasījums paplašināt elektropārvades tīklu gan no valsts, gan no starptautiskām perspektīvām pieaug [2]. Tādēļ viens no risinājumiem, lai uzlabotu elektroenerģijas apgādi, būtu jaunu gaisvadu līniju celtniecība. Tomēr jaunas elektropārvades līnijas būvniecība ir sarežģīts process, kas prasa ievērot daudzus aspektus. Piemēram, liels iedzīvotāju blīvums, intensīva zemes izmantošana, vides aizsardzības likumi, kuri bieži vien mainās, it īpaši pēdējā laikā, un, protams, ekonomiskās problēmas. Līdz ar to ierobežoto jaudu palielināšana, izmantojot esošās infrastruktūras, noved pie jaunu tehnoloģiju pielāgošanas esošajās pārvades sistēmās.

Ir vairāki ieteikumi, kas ļautu palielināt esošo līniju caurlaides spēju, piemēram, tradicionālā tipa vadu aizvietošana ar augsttemperatūras vadiem [3], [4]; esošo vadu aizstāšana ar lielāka šķērsriezuma vadiem, esošo balsta konstrukciju izmaiņa vai paaugstināta balsta izmantošana [5]; gaisvadu līniju pārbūve uz augstāku nominālo spriegumu;

garenkompensācijas un šķērskompensācijas lietošana [6]; pieļaujamās slodzes strāvas palielināšana.

Literatūras avoti [7, 8] detalizēti izklāsta metodoloģiju, kas ļauj aprēķināt līnijas slodzes strāvas, balstoties uz siltuma bilances koncepciju – siltuma pieauguma daudzums ir vienāds ar siltuma zudumiem. Abas metodes ņem vērā laika apstākļus, piemēram, vēja ātrumu, virzienu, apkārtējās vides temperatūru un saules radiāciju. Tomēr šajā gadījumā maksimālā vada temperatūra tiek pieņemta jau kā zināmais lielums. Tādējādi, pamatojoties uz šo nosacījumu, nosaka pieļaujamo slodzes strāvu.

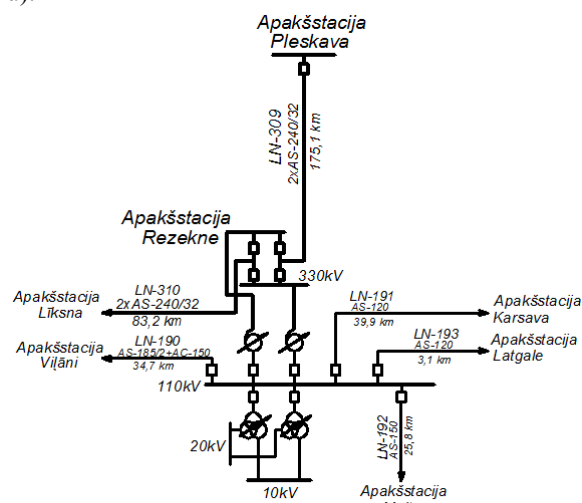
Savukārt šajā rakstā papildus tiek ņemta vērā elektropārvades līnijas termisko un mehānisko raksturlielumu atkarība no vada pieļaujamās temperatūras, ievērojot apkārtējās vides apstākļus.

Rakstā apskatīta termisko un mehānisko ierobežojumu ietekme uz esošo gaisvadu līnijas slodzes strāvu, lai noteiktu līnijas apslēpto slodzes strāvas rezervi. Proti, vada temperatūras ietekme uz pieļaujamo slodzes strāvu, ievērojot normatīvo attālumu līdz zemei. Atspoguļotā aprēķinu metode palīdz novērtēt iespējamo papildus gabarītu, izskatot konkrēto elektropārvades līniju, lai noteiktu apslēpto jaudas rezervi, tajā pašā laikā tas uzlabo maksimālās slodzes strāvas noteikšanas precizitāti.

## II. GAISVADU LĪNIJAS TRASES PAMATNOSACĪJUMI

### A. Esošās elektropārvades līnijas trase

Lai veiktu nepieciešamo pētījumu, izraudzīta Latvijā esošā 330 kV gaisvadu līnija Pleskava-Rēzekne jeb LN 309 (sk. 1. attēlu).



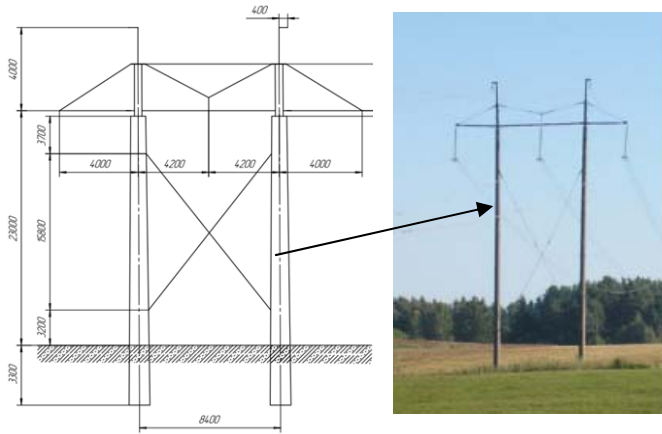
1. att. Esošās gaisvadu līnijas LN-309 elektriskā shēma.

2012 / 30

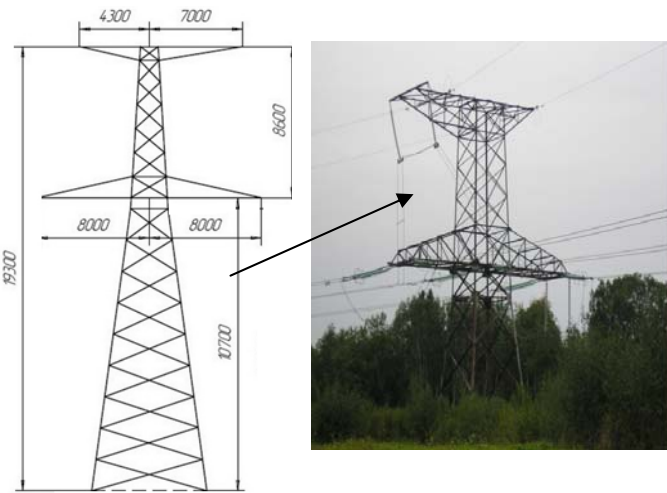
Šī līnija tika uzcelta 1985.gadā, lai palielinātu 330 kV starsistēmas tranzīta caurlaides spēju starp Latviju un Igauniju no starptautiskās perspektīvas, kā arī palielinātu pārvades elektrofīkla drošumu un uzlabotu valsts dienvidaustrumu daļu no valsts perspektīvas.

**B. Esošo balstu un vadu sākotnējie dati**

Elektropārvades līnija LN-309 tika izvēlēta, jo nokare starp balstu Nr. 419 un Nr. 420 pārsniedza pieļaujamo gabarītu līdz zemei. Balsts Nr. 419 ir starpbalsts PB 330-3 (sk. 2. attēlu), savukārt balsts Nr. 420 ir unificētais enkurbalsts U 330-3 (sk. 3. attēlu). Šie balsti paredzēti, lai piekārtu divus vadus fāzē.



2. att. Esošais PB 330-3 starpbalsts.



3. att. Esošais U 330-3 enkurbalsts.

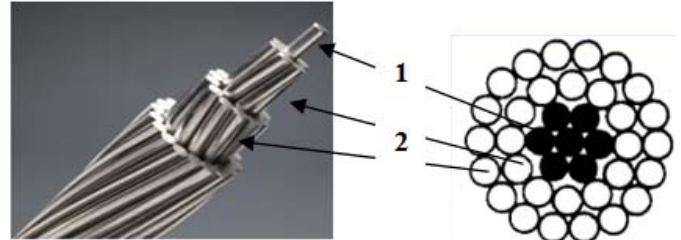
Esošo balstu aprēķina sākotnējie nosacījumi ir redzami 1. tabulā.

1. TABULA  
BALSTA APRĒĶINA SĀKUMA NOSACĪJUMI

Apzīmējums	Balstu īpašības	Mērvienība	PB 330-3	U 330-3
$C$	I apledošanas rajons – apledošanas biezums	mm	10	10
$Q$	III vēja rajons – vēja spiediens	kg/mm <sup>2</sup>	50	40

$h$	Virtenes piekāršanas augstums pie apakšējās traversas	m	22.9	19.3
$\lambda$	Piekarvirtenes garums	m	3.2	0
$h_b$	Balsta augstums	m	27	19.3
$L_{tr}$	Vidējās traversas izvirzījums	m	8,3	8,0
$M$	Balsta masa ar cinku	kg	6392	6134
$\sigma_{max}$	Vada pieļaujamais mehāniskais spriegums pie maksimālās slodzes	kg/mm <sup>2</sup>	11.3	13.2
$\sigma_{-}$	Vada pieļaujamais mehāniskais spriegums pie minimālās temperatūras	kg/mm <sup>2</sup>	10.0	10.8
$\sigma_{eks}$	Vada pieļaujamais mehāniskais spriegums vidējos ekspluatācijas apstākļos	kg/mm <sup>2</sup>	8.1	8.4
$C_z$	Gabarīts līdz zemei pie $t = +35^{\circ}C$	m	8.0	8.0

Tēraudalumīnija vads (AS) ir plaši pielietots elektropārvades līnijās jomā, jo tas ir samērā drošs un ar salīdzinoši zemām izmaksām. Tas sastāv no tērauda serdena un alumīnija stieplēm, AS vada šķērsgriezums ir redzams 4. attēlā.



4. att. AS vada šķērsgriezums: 1 – tērauda serdenis; 2 – alumīnija stieples

Aplūkosim konkrētas līnijas silšanas slodzi. Vada slodzes strāvas robežnosacījumi, ieskaitot maksimāli pieļaujamo vada temperatūru, ir definēti saskaņā ar esošajiem standartiem. Tā rezultātā 70°C ir pieņemti kā AS vada pieļaujamās temperatūras limitējošā robeža saskaņā ar tās termiskajiem un mehāniskajiem ierobežojumiem [9]. Bet dažās citās valstīs, maksimāli pieļaujamā vada temperatūra tradicionālā AS tipa vadam pieņemta ar augstākām limita robežām, piemēram, ASV un Japānā tā ir 90°C, Francijā - 85°C, Indonēzijā - 75 °C [10].

Esošā tēraudalumīnija vada tehniskie parametri ir atspoguļoti 2. tabulā.

Balstoties uz esošo līnijas modeli, kā arī konkrētiem izejas nosacījumiem, kas tika iepriekš detalizēti aprakstīti, vairāki simulācijas uzdevumi bija izvirzīti, lai noteiktu ierosinātās metodes jēgu, izmantojot matemātisko formulējumu.

2. TABULA  
VADA APRĒKINA SĀKUMA NOSACĪJUMI

Apzīmējums	Vadu fizikālās īpašības	Mērvienība	AS-240/32
$d$	Vada diametrs	mm	21.6
$S$	Vada šķērsgrūzums	mm <sup>2</sup>	275.7
$E$	Vada elastības modulis	kg/mm <sup>2</sup>	7700
$\alpha$	Lineārās izplešanās koeficients	1/°C	19.8·10 <sup>-6</sup>
$p_1$	Vada garumslodze	kg/m	0.921
$\gamma_1$	Vada reducētā īpatnējā slodze	kg/m·mm <sup>2</sup>	3.34·10 <sup>3</sup>
$p_4$	Garumslodze no maksimālā vēja	kg/m	0.808
$p_3$	Garumslodze no vada svara un apledojuma svara	kg/m	1.82
$\sigma_{gr}$	Graujošais mehāniskais spriegums	kg/mm <sup>2</sup>	28
$N$	Vadu skaits fāzē	pcs	2

### III. METODES MATEMĀTISKAIS FORMULĒJUMS

#### A. Vada pieļaujamās temperatūras noteikšana

Kā zināms, elektropārvades līnijas maksimālās slodzes strāvas termiskais pamatnosacījums ir apzīmēts ar diviem svarīgiem nosacījumiem:

1) saglabāt pieļaujamās vertikālās attālumus starp vadu un zemi, starp vadu un šķērsojamiem objektiem;

2) nepārsniegt vadam pieļaujamo temperatūru, līdz kurai tiek saglabāti vada mehāniskie un elektriskie parametri.

Kas attiecas uz pieļaujamo vada temperatūru, būtiski ir daži aspekti, pirmkārt, termiskie ierobežojumi ņem vērā vada fizikālās īpašības ar noteiktu faktisko vada temperatūru saskaņā ar īpašiem klimatiskajiem apstākļiem, otrkārt, mehāniskie ierobežojumi, kas ņem vērā vada nokari un "gabarītu" starp vadu un zemi. Šajā gadījumā attālums starp vadu un šķērsojamiem objektiem nav ievērots.

Pamatojoties uz labi zināmo siltuma bilances vienādojumu, kas izsaka koncepciju, ka absorbētai un izkliedētai siltuma enerģijai jāatrodas bilances stāvoklī, dotās izteiksmes (1) - (5) ļauj noteikt pieļaujamo vada temperatūru, ievērojot īpašus gaisvadu līnijas apstākļus [11].

Šajā pētījumā nepieciešams noteikt vada temperatūru, kas ir pieļaujama pēc attāluma saglabāšanas nosacījuma ( $H_{norm} - \Delta H_{pielz}$ ) starp vadu un zemi laiduma vidū zemākajā punktā, tad temperatūru var aprēķināt šādi:

$$t_{piel} = t_v + \frac{\Delta H}{\alpha} \left[ \frac{\gamma_1 l^4}{8Ef \left[ f(l^2 - 4a^2) + l^2 \Delta H \right]} + \frac{8}{3} \cdot \frac{2(l^2 - 4a^2)f + l^2 \Delta H}{(l^2 - 4a^2)^2} \cos \psi \right], \quad (1)$$

$$\text{kur} \quad \Delta H = H - (H_{norm} - \Delta H_{pielz}). \quad (2)$$

Šeit ir slīpais laidums, tas nozīmē, ka vada piekares punkti atrodas dažādos augstumos, un laidums ir ierobežots ar starpbalstu un enkurbalstu.

Vienādojumā (1) un (2) pieņemti šādi lielumu apzīmējumi:

1)  $t_v$  – vada temperatūra, °C;

2)  $l$  – laiduma garums, m;

3)  $E$  – vada elastības modulis, kg/mm<sup>2</sup>;

4)  $\alpha$  – vada termiskais izplešanās koeficients, 1/°C;

5)  $\gamma_1$  – vada īpatnējā slodze, kg/m·mm<sup>2</sup>;

6)  $f$  – izmērītā nokare laiduma vidū, m;

7)  $a$  – attālums laidumā no vada nokares zemākā punkta līdz laiduma vidum, m;

8)  $\psi$  – vadu piekares punktus savienojošās iedomātās līnijas slīpuma pret horizontu leņķis, °;

9)  $\Delta H$  – starpība starp izmērīto un normēto gabarītu attālumu, ievērojot tā pieļaujamo samazināšanu par  $\Delta H_{pielz}$ , kas garantē atļautā augstuma mehānismu un transporta drošību, tiem pārvietojoties zem līnijas vadiem, m;

10)  $H$  – vertikālais attālums starp vadu un zemi laiduma vidū, ko nomēra pie temperatūras  $t_v$ , m;

11)  $H_{norm}$  – normētais attālums starp vadu un zemi, m [12];

12)  $\Delta H_{pielz}$  – pieļaujamais attāluma samazinājums starp vadu un zemi, m.

Turklāt pieļaujamais attāluma samazinājums starp vadu un zemi –  $\Delta H_{pielz}$  pieņemts:

- 110-150 kV gaisvadu līnijām –  $\Delta H_{pielz} = 0.5$  m;
- 220-330 kV gaisvadu līnijām –  $\Delta H_{pielz} = 1.0$  m.

Protams, eksistē arī citas izteiksmes, kas ļauj noteikt vada temperatūru, kas ir pieļaujama pēc attāluma saglabāšanas nosacījuma ( $H_{norm} - \Delta H_{pielz}$ ) starp vadu un zemi laiduma vidū atkarībā no balsta tipa, kas ierobežo apskatāmo laidumu; cita pieeja, kas apraksta vada temperatūras noteikšanu, nozīmē ievērot attāluma saglabāšanas nosacījumu ( $H_{norm} - \Delta H_{pielz}$ ) starp vadu un šķērsojamo objektu jebkura laiduma punktā, tāpat ir atkarīga no balsta tipa. Visi minētie gadījumi paredzēti aprēķiniem, kad balsti atrodas vienā līmenī, proti, vadu piekāršanas punkti ir vienādā augstumā [13], [14].

Kā arī nepieciešams ievērot dažas svarīgas rekomendācijas vada pieļaujamās temperatūras noteikšanai:

1) Lai pēc iespējas precīzāk varētu noteikt vada silšanas temperatūru konkrētā laidumā, jānomēra:

- a) laiduma garums;
- b) vada nokare;
- c) vada piekares punktu augstumu starpība;
- d) attālums starp vadu un zemi vai starp vadu un šķērsojamo objektu;
- e) attālums laidumā no tuvākā balsta līdz šķērsojamajam objektam;
- f) slodzes strāva mērījumu laikā;
- g) apkārtējās vides gaisa temperatūra;
- h) vēja ātrums un virziens;
- i) vada temperatūra.

2) Jānorāda vada marka, vada vecums, jānovērtē vada „melnuma pakāpe”. 3) Lai izslēgtu vēja un saules radiācijas ietekmi, iepriekšminētos mērījumus ieteicams veikt bezvējā, mākoņainā laikā, no rīta vai vakarā.

4) Ja mērījumus veic atslēgtai līnijai, vada temperatūra jāpieņem vienāda ar gaisa temperatūru.

5) Ja strāvas blīvums mērījumu laikā ir vienāds ar  $1 \text{ A/mm}^2$  vai nedaudz mazāks, vada temperatūra jāpieņem par  $5^\circ\text{C}$  lielāka nekā gaisa temperatūra. Savukārt, ja strāvas blīvums ir lielāks par  $1 \text{ A/mm}^2$ , tad vada temperatūra jānosaka pēc vada siltuma bilances, tas nozīmē, ka aprēķina izdalīto siltuma daudzumu vadā un siltuma daudzumu, ko vads atdod apkārtējai videi, tad ar iterācijas metodi atrod vada temperatūru, pie kuras izdalītais siltums vienāds ar aizvadīto siltumu, pēc tam nosaka vada un apkārtējās gaisa temperatūras starpību.

Darbu var atvieglot, ja, veicot GL mērījumus dabā, vada temperatūru mēra, izmantojot iekārtas spriegumaktīva vada temperatūras mērīšanai (piemēram, termovīzijas iekārtas).

6) Pēc iegūtajiem vada pieļaujamās temperatūras aprēķina rezultātiem, ievērojot attāluma saglabāšanas nosacījumu ( $H_{\text{norm}} - \Delta H_{\text{pieļ. z}}$ ) starp vadu un zemi vai ( $H_{\text{norm}} - \Delta H_{\text{pieļ. o}}$ ) starp vadu un šķērsojamo objektu, nosaka vismazāko vada pieļaujamo temperatūru (ne lielāka par  $+90^\circ\text{C}$ ). Izejot no vada pieļaujamās temperatūras, izdara pieļaujamo strāvu aprēķinu dažādiem vides apstākļiem (dažādām gaisa temperatūrām kombinācijā ar dažādiem vēja ātrumiem un vēja virzieniem).

7) Ja vertikālie attālumi no vada līdz zemei vai no vada līdz šķērsojamajiem objektiem ir pārāk mazi, un būtiska gaisvadu līnijas pieļaujamās strāvas palielināšana minimālo gabarītu dēļ nav iespējama, tad jāizstrādā tehniskie pasākumi vertikālo attālumu palielināšanai, jānovērtē to lietderība, un jārealizē, ja iegūstams pozitīvs efekts.

#### B. Vada pieļaujamās slodzes strāvas noteikšana

Kad vada pieļaujamā temperatūra ir noteikta, nākamais solis ir vada pieļaujamās slodzes strāvas noteikšana.

Pieļaujamās slodzes strāvas vienkāršotai noteikšanai ņem vērā noteiktus meteoroloģiskos apstākļus, piemēram, apkārtējās vides temperatūru, vēja ātrumu, vēja virzienu, saules radiāciju; termiskos ierobežojumus - šajā gadījumā tie ir vada maksimālā temperatūra; kā arī mehāniskos ierobežojumus, piemēram, attālumu starp vadu un zemi, vada nokari un nosaka pēc šādas formulas:

$$I = \sqrt{\frac{(\lambda_{\text{st}} + \lambda_{\text{konv}}) \cdot \Delta t}{R_t}}, \quad (3)$$

kur 1)  $\lambda_{\text{st}}$  – koeficients siltuma apmaiņai izstarošanas ceļā,  $\text{W/m} \cdot ^\circ\text{C}$ ;

2)  $\lambda_{\text{konv}}$  – koeficients siltuma apmaiņai konvekcijas ceļā,  $\text{W/m} \cdot ^\circ\text{C}$ ;

3)  $\Delta t$  – vada un gaisa temperatūru starpība,  $^\circ\text{C}$ ;

4)  $R_t$  – vada pretestība pie temperatūras  $t$ ,  $\Omega/\text{m}$ ;

5)  $I$  – slodzes strāva vadā pie vada un gaisa temperatūru starpības ( $\Delta t$ ), A.

Maksimālā vada temperatūra un slodzes strāvas pētījumu uzdevumi ņemti saskaņā ar piedāvātās metodikas iepriekš izklāstītajiem matemātiskajiem principiem.

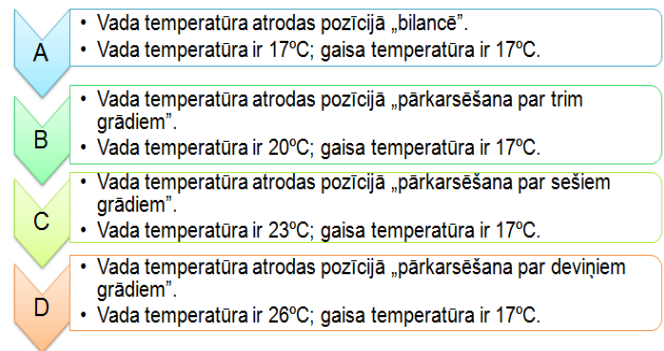
## IV. PĒTĪJUMA REZULTĀTI

### A. Vada pieļaujamās temperatūras iegūtie rezultāti

Kā norādīts, darbā tiks izvērtēta esošā LN-309 gaisvadu līnija, visi tās tehniskie un elektriskie parametri, kas nepieciešami analīzei, ņemti saskaņā ar dotās elektropārvades līnijas izejas datiem.

Vada temperatūru var noteikt, izmantojot divus dažādus paņēmienus, pirmais, lietojot speciālu termovīzijas iekārtu, piemēram, kā norādīts un izanalizēts literatūrā [13] vai temperatūras sensorus, kas pārsvarā izmantojami dinamiskajās slodzes uzraudzības sistēmās [15], otrs, kas visbiežāk izmantojams, ir matemātiskais aprēķins. Savukārt sākotnējie vides apstākļi tika mērīti.

Šajā darbā vadu novērtē pēc četriem dažādiem nosacījumiem – „A”, „B”, „C” un „D”, kas balstās uz siltuma bilances vienādojuma koncepciju (sk. 5. attēlu).



5. att. Pētījuma koncepcija.

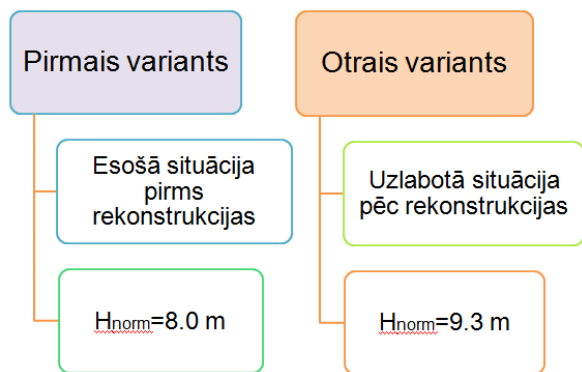
Citiem vārdiem sakot, variants „A” rāda, ka absorbētā siltuma daudzums vadā ir vienāds ar izkliedētā siltuma daudzumu vadā; variants „B” rāda, ka vada temperatūra par trim grādiem lielāka salīdzinājumā ar gaisa temperatūru; variants „C” – par sešiem grādiem lielāka salīdzinājumā ar gaisa temperatūru; un „D” – par deviņiem grādiem salīdzinājumā ar gaisa temperatūru.

Pieņemts, ka vadam eksistē dabīgā konvekcija – vēja ātrums ir  $2 \text{ m/s}$ , un tas ir vērsts perpendikulāri vada asij.

Tā kā raksta galvenais mērķis ir noteikt konkrētās gaisvadu līnijas (posms starp balstiem Nr. 419 un Nr.420) jaudas rezervi, izskatīsim divus variantus (sk. 6. attēlu).

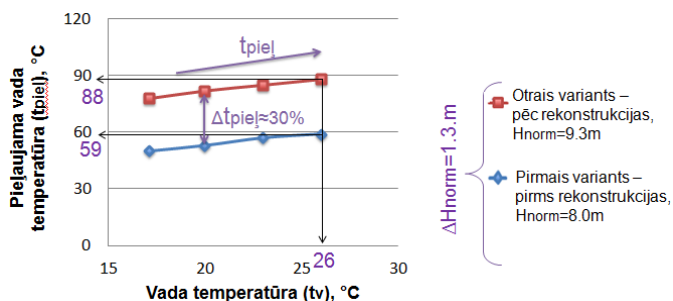
Pirmais variants iepazīstina ar reālo situāciju pirms rekonstrukcijas, kad pastāv konkrēta problēma – eksistē mehāniskais ierobežojums, proti, neliels gabarīts starp vadu un zemi tikai  $8,0 \text{ m}$ , kas ir vienāds ar pieļaujamo standarta gabarītu. Tieši tāpēc, lai atrisinātu problēmu, tika nolemts paaugstināt enkurbalsta augstumu.

Otrs variants izsaka rezultātu jau pēc rekonstrukcijas, kad gabarīts starp vadu un zemi palielinās un līdz  $9,3 \text{ m}$  zemākajā punktā laiduma vidū.



6. att. Pētījuma koncepcija.

Vada pieļaujamo temperatūru nosaka, balstoties uz diviem aplūkotajiem variantiem un ievērojot „A”, „B”, „C” un „D” apstākļus (sk. 7. attēlu).



7. att. Vada pieļaujams temperatūras atkarībā no termiskā ierobežojuma – vada temperatūras un mehāniskā ierobežojuma – gabarīta.

Analizējot iegūtos rezultātus, var secināt, ka pieļaujamai vada temperatūrai piemīt pieauguma tendence līdz ar vada temperatūras palielināšanos, tas redzams abos variantos. Pie tam pieļaujamā vada temperatūra svārstās no 50°C līdz 88°C, kas nozīmē, ka 70°C (temperatūra, kas ir standarta lielums) izskatāmajai līnijai nav termisks ierobežojums.

Turklāt pirmajam variantam, kas ir vissliktākais, pieļaujamās vada temperatūras vērtības ir mazākas, salīdzinot ar otro variantu, kas ir labvēlīgs, jo šajā gadījumā ir lielāks gabarīts starp vadu un zemi. Līdz ar to mehāniskā ierobežojuma ietekme otrajā gadījumā ir neliela.

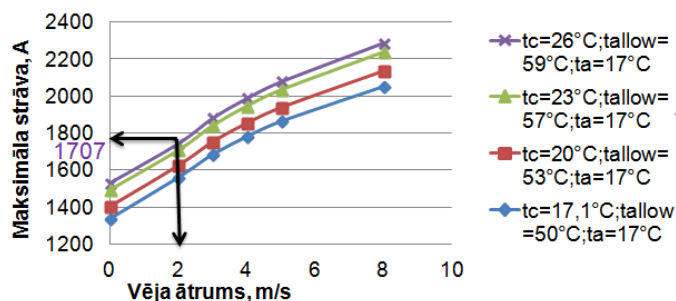
#### B. Vada maksimālās slodzes strāvas iegūtie rezultāti

Zinot pieļaujamo vada temperatūru, var noteikt līnijas jaudas rezervi, kas iekļauj starpību starp diviem pārbaudītajiem variantiem, šajā gadījumā tas ir mehāniskais ierobežojums – gabarīts starp vadu un zemi.

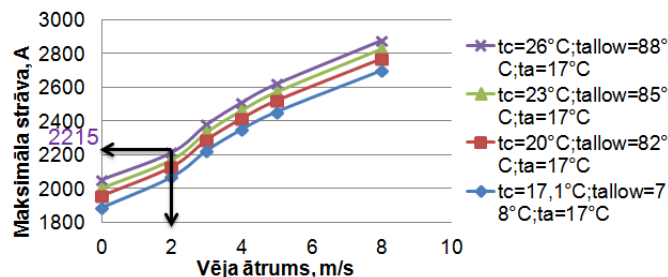
Pirmā variantā rezultāti ir atspoguļoti 8. attēlā, kas norāda maksimālās slodzes strāvas atkarību no termiskā ierobežojuma – vada temperatūras, pieļaujamas vada temperatūras, mehāniskā ierobežojuma un klimatiskajiem apstākļiem – vēja ātruma, vēja virziena, apkārtējās gaisa temperatūras, saules radiācijas (saules radiācijas absorbcijas koeficients pieņemts 0,6).

Otrā variantā rezultāti ir atspoguļoti 9. attēlā, kas parāda, maksimālās slodzes strāvas atkarību no tiem pašiem termiskajiem, mehāniskajiem ierobežojumiem, kā arī

klimatiskajiem apstākļiem, bet ar augstāku gabarītu starp vadu un zemi – 1,3 m. Dotā gabarīta rezerve ļauj palielināt maksimālo slodzes strāvu gaisvadu līnijā, ņemot vērā termisko ierobežojumu un noteiktus meteoroloģiskos apstākļus. Patiešām, elektrolīnijas jaudas rezerve palielinājās, palielinoties gabarītam starp vadu un zemi.



8. att. Pirmā variantā vada maksimālā slodzes strāva, balstoties uz pamatnosacījumiem.



9. att. Otrā variantā vada maksimālā slodzes strāva, balstoties uz pamatnosacījumiem.

Piemēram, pirmajā variantā, ja vada temperatūra pieņemta 26°C, vēja ātrums 2 m/s, gaisa temperatūra ir 17°C, tātad aplūkojam variantu „D”, tad maksimālā slodzes strāva ir 1707A, savukārt otrajā variantā, pēc rekonstrukcijas, pie tādiem pašiem nosacījumiem, slodzes strāva palielinās līdz pat 2215A.

Analizējot maksimālās slodzes strāvas starpību, var secināt, ka otrais variants konstatē jaudas rezerves esamību konkrētā pārvades līnijā, kas balstās uz četriem pārbaudītajiem nosacījumiem un klimata apstākļiem, kas ļauj izmantot aptuveni 30% vairāk jaudas, nepaslīknot novērotās elektrolīnijas elektriskos parametrus.

#### V. SECINĀJUMI

Pieļaujamās vada temperatūras un maksimālās slodzes noteikšanas piedāvātā metode uzlabo vienu no iespējamajiem risinājumiem, kas ļauj atklāt apslēpto jaudas rezervi esošās pārvades līnijās, ņemot vērā gan termiskos, gan mehāniskos ierobežojumus, kā arī klimatiskos nosacījumus. Tā rezultātā starpība vai papildus rezerve tika noteikta, palielinot gabarītu starp vadu un zemi, tādējādi ļaujot atrast papildus esošās jeb projektējamās līnijas caurlaides spēju. Līdz ar to gaisvadu līnijas maksimālā slodzes strāva tiek ievērojami palielināta, izmantojot precīzu pieļaujamā vada temperatūras noteikšanas metodiku.

Izskatītā metode nodrošina jaunas iespējas viedā tīkla integrēšanai esošajā tīklā. Risinot izvirzīto problēmu, pētījumu rezultāti apstiprināja aplūkotā matemātiskā formulējuma korektumu, tādējādi samazinot kopējās investīcijas līnijas modernizācijā, kas dod ekonomisku efektu.

## PATEICĪBA

Šis darbs izstrādāts ar Eiropas Sociālā fonda atbalstu projektā «Atbalsts RTU doktora studiju īstenošanai».

## LITERATŪRAS SARAKSTS

- [1] Dale A. Douglass, *Practical application of High-Temperature Low-Sag (HTLS) Transmission Conductors*. New Haven, Connecticut: 2004, p. 53.
- [2] Ozge Ozdemir, Karina C. Veum, Jeroen de Joode, Gianluigi Migliavacca, Andrea Grassi, Alessandro Zani, *The impact of Large-scale Renewable Integration on Europe's Energy corridors*, in *Proc. of IEEE PowerTech Conference*, June 19-23, 2012, Trondheim, Norway, pp. 1-8.
- [3] Svetlana Berjokina, Antans Sauhats, Vladimirs Bargels, Edvins Vanzovichs, *The Technical and Economic Efficiency of Using Conductors with Composite Core in the Transmission Grid*, in *Proc. of 9th International Conference on the European Energy Market*, May 10-12, 2012, Florence, Italy, pp. 1-6.
- [4] Svetlana Berjokina, Vladimirs Bargels, Antans Sauhats, Edvins Vanzovichs, *A Comparative assessment of Conductors with Composite Core*, in *Proc. of 52nd Annual International conference of RTU*, October 14, 2011, Riga, Latvia, pp. 1-6.
- [5] Dan Lawry & Bernie Fitzgerald, "Finding Hidden Capacity in Transmission Lines", *North American Windpower*, April 2007 issue, pp. 1-4.
- [6] E. Rosolowski, J. Izykowski, P. Pierz, M. M. Saha, P. Balcerek, M. Fulczyk, *Optimization of distance protection algorithm for series-compensated transmission line*, in *Proc. of IEEE PowerTech Conference*, June 19-23, 2012, Trondheim, Norway, pp. 1-7.
- [7] Mathematical Model for evaluation of Conductor Temperature in the Steady (or Quasi-Steady) State (Normal Operation), CIGRE, ELECTRA No. 144, Oct. 1992, pp. 109-115.
- [8] IEEE standard for Calculation of the Current-Temperature Relationship of Bare Overhead Conductors, IEEE Std. 738-2006 (revision of IEEE Std 738-1993).
- [9] Electrical Code. Moscow: Gosenergonadzor, 2000, pp.213-281 [in Russian language].
- [10] LIJIA REN, XIUCHEN JIANG, GEHAO SHENG, WU BO, "Design and calculation method for Dynamic Increasing Transmission Line

Capacity", WSEAS Transactions on Circuits and Systems, vol. 7, issue 5, May 2008, pp. 348-357.

- [11] The method of calculation of limit loads for current conditions of the heating wires to the existing power lines. MT 34-70-037-87. Moscow: Soyuztehergo, 1987, pp. 3-35 [in Russian language].
- [12] Latvijas standarts LVS EN 50341-3:2002 "Gaisvadu elektrolīnijas maiņspriegumam, kas pārsniedz 45 kV. 3. daļa: Nacionālo normatīvu teksti".
- [13] Svetlana Beryozkina, Antans Sauhats, Edvins Vanzovichs, *Climate Conditions Impact on the Permissible Load Current of the Transmission Line*, in *Proc. of IEEE PowerTech Conference*, June 19-23, 2012, Trondheim, Norway, pp. 1-6.
- [14] S. Berjokina, A. Sauhats, E. Vanzovichs, *Modeling of the Load Current of the Transmission Line*, in *Proc. of 10th International Conference on Environment and Electrical Engineering*, May 8-11, 2011, Roma, Italy, pp. 911-914.
- [15] I. Albizu, E. Fernandez, A. J. Mazon, J. Bengoechea, and E. Torres, *Hardware and software architecture for overhead line rating*, in *Proc. of IEEE PowerTech Conference*, June 19-23, 2012, Trondheim, Norway, pp. 1-6.



Svetlana Berjokina received B.Sc., M.Sc. in Power Engineering from Riga Technical University, Riga, Latvia in 2008 and 2010 respectively. Now she continues studying as PhD student in RTU and works as an engineer at joint stock company „Siltumelektroprojekts”.

E-mail: [svetlana.berjokina@gmail.com](mailto:svetlana.berjokina@gmail.com)



Edvins Vanzovichs received diploma engineer degree from Riga Technical University in 1969, PhD degree from Belarus University of Technology in 1987, Dr.Sc.Eng. degree from Riga Technical University in 1992. Professor of Department of Energy Supply in Riga Technical University, faculty of Power and Electrical Engineering. E-mail: [vanzovic@eef.rtu.lv](mailto:vanzovic@eef.rtu.lv)



Antans Sauhats received Dipl. Eng., Cand.Techn.Sc., and Dr.hab.sc.eng. degrees from Riga Technical University (former Riga Polytechnic Institute) in 1970, 1976, and 1991 respectively. Since 1991 he is Professor at Electric Power Systems. Since 1996 he is the Director of the Power Engineering Institute of Riga Technical University, and the Director of an joint stock company „Siltumelektroprojekts”.

E-mail: [sauhats@eef.rtu.lv](mailto:sauhats@eef.rtu.lv)

#### Svetlana Berjokina, Edvins Vanzovichs, Antans Sauhats. Finding the capacity reserve in Transmission Lines.

The great impact of renewable energy sources, which are expected to dominate in the energy supply in a future as well as the need of the construction of new substations becomes an actual topic in last years, resulting in a significant problem – there is a limited throughput capacity of the transmission systems. Consequently, new electrical connections and an existing power grid expansion will be required both from a national and international perspective. There are several solutions for increasing the capacity of existing lines, for example, replacement of the traditional type conductor (ACSR) with the High-Temperature Low Sag (HTLS) conductor; replacing the existing conductors by ones with a larger cross-section; rebuilding of the overhead line for a higher nominal voltage; using the installation of series and shunt compensations; new line construction. However, an economically justified way would be to use existing infrastructure as far as possible led to the accommodation of new technologies into the existing overhead power line systems.

Paper provides a methodology, which analyzes the mechanical and thermal limitations of transmission line based on the selected climate conditions with the main purpose – to determine the hidden capacity reserve of an examined transmission line. Therefore, the possible additional clearance was determined based on the presented conductor temperature and load current calculation algorithms, which help to evaluate the specific transmission line capacity reserve, while improving the accuracy of the mathematical model.

The study is based on a specific Latvian power overhead line model, which is an important energy object both from a national and international perspective. Based on the selected line route, two estimation variants will be discussed – before and after the reconstruction of a power line. Thus, based on the proposed variants a comparative analysis of a conductor temperature and maximum load current results of an overhead line was obtained. The obtained calculation results are presented in detail in a graphic form.

#### Светлана Берёзкина, Эдвинс Ванзовичс, Антанс Саухатс. Обнаружение скрытых резервов мощности в линиях электропередач.

В последние годы актуальным становится вопрос, связанный с существенным влиянием возобновляемых источников энергии на энергоснабжение в будущем, а также необходимость строительства новых подстанций, в результате чего возникает существенная проблема – недостаточная пропускная способность существующих систем электропередачи. Следовательно, потребуются новые электрические соединения и расширение существующей энергосистемы как с точки зрения государственных, так и международных перспектив. Существует множество решений, которые позволяют увеличить ограниченную пропускную способность существующих воздушных линий, например, замена традиционного типа провода на высокотемпературный провод, замена существующего провода на провод с большим сечением, реконструкция воздушной линии на более высокое

номинальное напряжение, инсталляция поперечной и продольной компенсации, строительство новой линии. Тем не менее, более экономически рациональным способом было бы использование существующей инфраструктуры, внедряя в неё новые технологии.

Статья рассматривает метод анализа механических и термических ограничений линий электропередач при выбранных климатических условиях с главной целью – определить скрытые резервы мощности линии. Поэтому, основываясь на предложенные алгоритмы расчета допустимой температуры провода и максимального тока нагрузки, можно определить возможный дополнительный габарит, который поможет оценить резервы мощности для конкретной линии электропередач, а также повысить точность математической модели.

Исследование основано на конкретной модели воздушной линии Латвийской системы, которая является важным энергетическим объектом как с государственной, так и с международной точки зрения. На основе выбранной трассы линии, были рассмотрены два варианта расчета – до и после реконструкции линии. Таким образом, основываясь на два выше изложенных варианта был проведен сравнительный анализ воздушной линии по полученным результатам допустимой температуры провода и максимальному току нагрузки. Полученные результаты расчетов более детально показаны в виде графиков.