

**ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS**  
**TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS**  
**ELEKTROS INŽINERIJOS KATEDRA**

**Audrius Žaluda**

**10 kV tinklo elektros energijos nuostolių tyrimas**

Magistro baigiamasis darbas

**Šiauliai, 2013**

**ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS**  
**TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS**  
**ELEKTROS INŽINERIJOS KATEDRA**

**10 kV tinklo elektros energijos nuostolių tyrimas**

Magistro baigiamasis darbas

**Autorius – Audrius Žaluda (EM-10 gr.)**

**Vadovas – lekt. dr. A. Grigaitis**

**Recenzentas – doc. dr. N. Šulčius**

**Katedros vedėjas – doc. dr. G. Valiulis**

**Šiauliai, 2013**

## **SANTRAUKA**

Audrius Žaluda. 10 kV tinklo elektros energijos nuostolių tyrimas. Magistro darbas. Vadovas  
lekt. dr. Arūnas Grigaitis. Šiaulių universitetas. Šiauliai 2013.

Šiame darbe nagrinėjama skirstomojo 10 kV tinklo komercinių nuostolių kilmė tinkle, jų atsiradimo priežastys. Apskaičiuojami 10 kV linijų nuostoliai, kurie yra nagrinėjami pagal atsiradimo pobūdį – nuostolius perdavimo linijose ir galios transformatoriuose. Apskaičiuojamas transformatorių apkrovimas, teikiami pasiūlymai kaip galėtų sumažinti technologines sąnaudas.

## **SUMMARY**

Audrius Žaluda. Investigation of Electrical Power Losses in 10 kV Power Network. Master final work / research advisor Assoc lect. dr. Arūnas Grigaitis. Šiauliai University, Technological Faculty, Electrical Engineering Department.- Šiauliai, 2013.

In this research Work analyzed the Source of Electricity Losses in 10 kV distribution Electricity Network, their causes. Calculated the Losses, the Losses according to the nature of the occurrence – Losses in transmission Lines and Power Transformers. Calculated the Load of power transformers, proposals to mitigate the technological costs.

## Turinys

<b>SANTRAUKA.....</b>	<b>3</b>
<b>SUMMARY.....</b>	<b>4</b>
<b>Lentelių sąrašas .....</b>	<b>6</b>
<b>Paveikslėlių sąrašas.....</b>	<b>7</b>
<b>ĮVADAS.....</b>	<b>8</b>
<b>1. SKIRSTOMŲJŲ ELEKTROS TINKLŲ CHARAKTERISTIKA .....</b>	<b>9</b>
<b>2. GALIOS TRANSFORMATORIAI.....</b>	<b>12</b>
<b>3. TECHNOLOGINIŲ ŠAŅAUDŲ SKAIČIAVIMAS .....</b>	<b>14</b>
3.1. Elektros šaŅaudų galios transformatoriuose skaičiavimas.....	14
3.2. Elektros šaŅaudų elektros linijose skaičiavimas.....	16
3.3. Elektros šaŅaudų galios transformatoriuose ir elektros linijose skaičiavimas procentine išraiška .....	19
<b>4. NUOSTOLIŲ SKAIČIAVIMO PROGRAMA.....</b>	<b>20</b>
<b>5. TECHNOLOGINIŲ NUOSTOLIŲ SKAIČIAVIMAS.....</b>	<b>25</b>
<b>6. TRANSFORMATORIŲ APKRAUTUMAS .....</b>	<b>29</b>
<b>7. NUOSTOLIŲ ELEKTROS TINKLUOSE ĮKAINOJIMAS .....</b>	<b>38</b>
<b>IŠVADOS .....</b>	<b>39</b>
<b>LITERATŪRA .....</b>	<b>40</b>

## **Lentelių sąrašas**

1Lentelė Galios transformatorių tuščios eigos ir trumpo jungimo galia.....	16
2Lentelė Laidininkų varžos pagal skerspjūvi.....	18
3 lentelė. 10kV linijų technologinių nuostolių skaičiavimo rezultatai .....	25
4 lentelė. 10-0,4kV transformatorių apkrautumas linijose.....	29
5 lentelė.10-0,4kV transformatorių apkrautumas pakeitus galios transformatorius.....	33
6 lentelė. Nagrinėjamo 10kV tinklo energijos nuostolių kaina, 2012 m. ....	38

## **Paveikslėlių sąrašas**

1 pav. Nuostolių skaičiavimo skaičiuoklės Excel programoje forma .....	20
2 pav. Pateiktos energijos pasidalijimas.....	27
3 pav. Technologinių sąnaudų sudėtis.....	28
4 pav. Transformatorių apkrautumas.....	32
5 pav. Transformatorių apkrautumo palyginimas prieš ir po transformatorių keitimą.....	36
6 pav. Technologinių nuostolių palyginimas prieš ir po transformatorių keitimo.....	37
7 pav. Technologinių nuostolių palyginimas prieš ir po transformatorių keitimo pagal nuostolių pobūdį.....	37

# IVADAS

Elektros energijos gamyba, perdavimas ir skirstymas sukelia technologines sąnaudas, kurios yra elektros energijos persiuntimo ekonomiškumo rodiklis. Todėl elektros energijos technologinės sąnaudos skaičiuojamos elektros tinklų darbo režimų analizei ir turi įtakos perspektyviam elektros tinklų darbo planavimui. Šių skaičiavimų tikslas yra ne tik nustatyti technologines sąnaudas, bet ir jų dedamąsias, kurios leistų įvertinti elektros tinklų darbo ekonomiškumą, numatyti priemones elektros tinklų režimų ekonomiškumui pagerinti, įvertinti komercinių nuostolių dydį ir koreguoti elektros vartotojų bei tiekėjų atsiskaitymus. Tikslus elektros energijos technologinių sąnaudų nustatymas yra svarbus skirstomųjų tinklų operatoriaus uždavinys, nes faktinių ir skaičiuojamųjų technologinių sąnaudų įvertinimas leidžia nustatyti ir minimizuoti komercinius elektros energijos nuostolius, t. y. energijos vagystes ir kita. Užsienio šalių elektros tinklų pateiktos informacijos analizė rodo, kad elektros energijos perdavimo ir skirstymo technologinės sąnaudos įvairiose šalyse skiriasi gana žymiai, pvz., Liuksemburge elektros energijos technologinės sąnaudos tesiekia 1,72%, tuo tarpu Vengrijoje ir Rumunijoje atitinkamai 12,74 ir 12,80%. Tai priklauso ne tik nuo realių technologinių sąnaudų, bet ir nuo priimtose skaičiavimo metodikos bei mokesčių sistemos. Pateikta statistika rodo, kad vidutinės elektros tinklų technologinės sąnaudos Europoje yra 6–7%.

Darbo tikslas - ištirti 10 kV tinkle atsirandančius nuostolius, iš kur jie atsiranda ir kas juos sudaro. Pateikti pasiūlymus ką reikėtų pakeisti, kad sumažintume nuostolius.

Darbo uždaviniai:

1. Apskaičiuoti esamus 10 kV skirstomojo tinklo nuostolius;
2. Išsiaiškinti kur susidaro didžiausi nuostoliai;
3. Paskaičiuoti galios transformatorių apkrautumą;
4. Kokie galimi sprendimai nuostolių sumažinimui.



## 1. SKIRSTOMŲJŲ ELEKTROS TINKLŲ CHARAKTERISTIKA

Elektros tinklų užduotis - patikimai ir ekonomiškai aprūpinti vartotojus kokybiška elektra. Lietuvos skirstomieji elektros tinklai buvo suprojektuoti ir įrengti pagal buvusios TSRS normas ir taisykles, kuriose atsispindėjo planinės ekonomikos nuostatos. Atkūrus Nepriklausomybę, pereinant prie rinkos ekonomikos ir Lietuvai integruojantis į Europą, keičiasi kai kurie skirstomųjų elektros tinklų projektavimo, įrengimo ir eksploatavimo kriterijai bei sąlygos.

Lietuvoje 10 ir 0,4 kV elektros tinklai buvo pradėti formuoti radialine schema. Didėjant vartotojų skaičiui, jų apkrovoms ir elektros tiekimo patikimumo reikalavimams, palaipsniui buvo statomos naujos linijos, skirtos ir rezervavimo tikslams. Miestuose 10 kV tinklai buvo pervedami iš radialinės schemos į žiedinę, o kai kur ir į dvispindulinę schemas, turinčias dvipusį maitinimą, be to, buvo įvedami įvairūs skersiniai rezervavimo ryšiai. Kaimo vietovėse 10 kV tinklas iš radialinės schemos palaipsniui perėjo į mišrią – magistralinės linijos, turinčios dvipusį maitinimą ir prie jos jungiamų radialinių atsišakojamųjų linijų schemą. Prie šių linijų prijungtos 10/0,4 kV transformatorinės atskirais atvejais turi ir rezervinį maitinimą iš kitos magistralinės linijos.

Panašiai elektros tinklų schemas vystėsi ir užsienio šalyse. Pavyzdžiui, Danijoje elektros tinklai pradžioje dirbo radialine schema ir, laikui bėgant, prie jų prijungiant papildomas linijas, jos tapo žiedinėmis. Kaimo tinklai pasiliko radialiniais. Vokietijoje vidutinės įtampos tinklai yra sekcijonuoti žiediniai. Suomijoje magistraliniai tinklai suprojektuoti sekcijonuoti žiediniai, dirbantys atviro žiedo schema.

Įvertinant Danijos, Suomijos ir Vokietijos elektros tinklų darbo patirtį, galima padaryti išvadą, kad ir Lietuvoje, rekonstruojant elektros tinklus patikimesniais elektros tinklų elementais, tikslinga supaprastinti dabartines elektros tinklų schemas, atsisakant daugybės esamų tarp magistralinių linijų rezervavimo ryšių, pervedant elektros tinklus į paprastą sekcijonuočių tinklų žiedinę schemą.

Elektros tinklų schemas turi užtikrinti numatytą vartotojams elektros tiekimo patikimumą, kuris yra apibrėžiamas standartais ir taisyklėmis.

Elektros tinklų apkrautumo analizės duomenimis, skirstomųjų elektros tinklų vidutinės įtampos - 10 kV elektros linijos šiandien yra mažai, tik apie 30 % apkrautos. Dalis šių linijų ir iš jų maitinamų 10/0,4 kV transformatorinių yra labai mažai, arba visiškai neapkrautos, nes iki 1990 m. buvę stambūs vartotojai šiuo metu yra nutraukę savo veiklą ir jiems pastatyti elektros tinklai tapo nebereikalingi.

Šiuo metu Lietuvoje yra naudojamos vienos pakopos – 110/10 kV arba 110/6 kV ir dviejų pakopų – 110/35/10 kV arba 110/35/6 kV įtampos skirstomųjų tinklų sistemos. Tiekti elektros energiją komunaliniams–buitiniams vartotojams miestuose ir nedidelėms bei vidutinėms įmonėms

pramonės rajonuose daugiausiai naudojama vienos pakopos 110/10 kV įtampų skirstomųjų tinklų sistema. Dviejų pakopų skirstomųjų tinklų sistema – 110/35/10 kV miestuose ir pramonės rajonuose arba 110/35/6 kV pramonės rajonuose naudojama tik tuo atveju, kai įrengiamos 35/10 kV arba 35/6 kV transformatorinės gyvenamojo arba pramonės rajono užimamoje teritorijoje. Elektros energijos tiekimui didelėms pramonės įmonėms dažniausiai naudojama vienos pakopos – 110/6 kV įtampų skirstomųjų tinklų sistema. 6 kV skirstomuosius tinklus įmonėse paprastai sąlygoja didelės galios elektros varikliai, kuriuos maitinti žema įtampa yra neekonomiška.

Tiekti elektros energiją komunaliniams–buitiniams vartotojams miesteliuose bei kaimo gyvenvietėse ir buitiniams–gamybiniais vartotojams ūkiuose, išimtinai naudojama dviejų pakopų – 110/35/10 kV skirstomųjų tinklų sistema.

Daugelyje užsienio šalių taip pat naudojamos vienos pakopos ir dviejų pakopų vidutinės įtampos skirstomųjų tinklų sistemos. Rajonuose, kur yra aukštas urbanizacijos lygis ir beveik visi gyventojai gyvena miesteliuose bei centruotose gyvenvietėse, daugumoje atvejų yra naudojama vienos pakopos vidutinės įtampos skirstomųjų tinklų sistema. Tai būdinga Vakarų Europos šalių tankiai apgyvendintiems rajonams – Vakarų Vokietijoje, Olandijoje, Danijoje, Švedijoje, Norvegijoje, Suomijoje ir kitose šalyse.

Rajonuose, kuriuose urbanizacijos lygis žemesnis, didelė dalis dirbančiųjų žemės ūkyje gyvena fermose ir vienkiemiuose, o ne gyvenvietėse. Gyvenvietės čia dažniausiai įsikūrusios tik prie administracinių savivaldos centrų ir vietinės pramonės bei kitų gyventojų užimtumą užtikrinančių objektų. Tokia vartotojų išsidėstymo struktūra būdinga Rytų Europos šalims – Lenkijai, Pabaltijo respublikoms, šiauriniams Danijos, vakariniams Vokietijos ir kai kuriems kitiems rajonams. Tokiuose regionuose daug kur naudojama dviejų pakopų skirstomųjų tinklų sistema. Vakarų šalyse vienos pakopos vidutinės įtampos skirstomiesiems tinklams naudojama 15-36 kV įtampa (Vokietijoje, Danijoje, Suomijoje – 20 kV, Lenkijoje – 15 ir 20 kV, Prancūzijoje – 24 kV). Šiuo atveju sekančiai tinklų pakopai naudojama 45–150 kV įtampa. Įtampų sistemos buvo įdiegtos ne iš karto, bet palaipsniui. Pavyzdžiui, Vokietijoje, Danijoje, Lenkijoje 15 kV įtampos tinklai buvo keičiami į 20 kV. Suomijoje iki 1960 m. buvo 10 ir 30 kV įtampos, kurios vėliau 1960 - 1970 m. buvo pakeistos į 20 kV įtampą. Vystantis kabelių technologijai, šioje šalyje 20 kV paskirstymo sistema tapo ekonomiškai ne tik kaimo vietovėse, bet ir miestuose. 10 kV įtampa liko tik stambiuose miestuose.

Pagrindiniai faktoriai, lėmę vienos arba kitos įtampos sistemos panaudojimą bei tinklo įtampą, daugeliu atvejų yra: vartotojų išsidėstymas teritorijoje (grupėmis – miesteliuose ir gyvenvietėse arba pavieniui – fermose ir vienkiemiuose), apkrovų dydis bei jų augimo tempai, šalių pramonės galimybės bei specifika ir pan.

Lietuvoje dviejų pakopų skirstomųjų tinklų įtampų sistema buvo įvesta ne todėl, kad ekonomiškai buvo pagrįstas šios sistemos pranašumas, bet todėl, kad ši įtampų sistema buvusioje Tarybų Sąjungoje buvo priimta kaip vienintelė neurbanizuotose teritorijose ir pramonė gamino įrenginius tik tokiai įtampų sistemai.

Šiuo metu lyginamosios apkrovos Lietuvos kaimo vietovėse yra 8–12 kW/km<sup>2</sup>. Palyginti su buvusiomis apkrovomis prieš 10–12 metų jos sumažėjo 1,5–2 kartus. Pagrindinė apkrovų sumažėjimo priežastis buvo stambių žemės ūkio bendrovių likvidavimas ir atsisakymas elektrą naudoti fermų šildymui ir karšto vandens ruošimui. Miestų gyvenamuosiuose rajonuose apkrovų tankis yra 3–4 MW/km<sup>2</sup>. Palyginti su iki 1990 m. buvusiomis apkrovomis jos nesumažėjo, o elektros energijos poreikiai netgi padidėjo. Tai paaiškinama padidėjusiomis elektros energijos sąnaudomis karštam vandeniui ruošti, nakties metu naudojant akumuliacinį vandens šildymą.

Vakarų Europos šalyse lyginamosios apkrovos yra daug didesnės, pvz. vidurio Vokietijos zonoje 1994 metais apkrovos perduodamos per vidurinės įtampos elektros tinklus buvo 69 kW/km<sup>2</sup>. Šiame regione 2015 metais prognozuojamos 150 kW/km<sup>2</sup> apkrovos. Beveik visose šalyse pastebima tendencija – augant apkrovoms didinti skirstomųjų tinklų įtampą. Tuose Vokietijos, Danijos ir Lenkijos rajonuose, kur iki šiol buvo naudojama 15 kV įtampa, tinklai yra pervedami į 20 kV įtampą. Kartu didinamas maitinančiųjų 110/20 kV įtampos transformatorių galingumas ir statomos naujos maitinančios transformatorinės.

Dabartinis skirstomųjų vidutinės įtampos (35 kV, 10 kV) tinklų pralaidumas Lietuvoje yra pakankamas perduoti 2–2,5 karto didesnes apkrovas. Bet didelė dalis 10 kV oro linijų, ypatingai pastatytos prieš 15–20 metų su gardelinio tipo ir SN-2a tipo gelžbetoninėmis atramomis, turi būti naujai perstatomos, o dalis linijų bus ir visai demontuotos. Daugelį tokių linijų būtų tikslinga iš vis naujai perstatyti atsižvelgiant į šiuo metu esamus ir perspektyvoje atsirandančius naujus vartotojus, tokiu būdu likviduojant nereikalingus linijų ruožus iki buvusių kolūkių gamybinių centrų arba nepagrįstai pastatytus rezervavimo sumetimais. Nereikia taip pat užmiršti, kad dauguma 10 kV tinklų maitinančių 110/10 kV, 110/35/10 kV ir 35/10 kV transformatorių buvo pastatytos prieš 25 ir daugiau metų, ir jose taip pat reikia atlikti rekonstrukcijos darbus, keičiant pasenusius įrengimus naujais.

## 2. GALIOS TRANSFORMATORIAI

Transformatoriai charakterizuojami vardiniais (nominaliais) parametrais, kuriuos nurodo gamintojai. Šie parametrai turi atitikti standartus. Pagrindiniai parametrai yra:

*Vardinė įtampa* ( $U_N$ ) yra neapkrauto transformatoriaus apvijų linijinė įtampa.

Aukštinamųjų transformatorių žemosios įtampos apvijų vardinė įtampa yra lygi generatoriaus arba to tinklo vardinei įtampai. Aukštosios įtampos apvijų vardinė įtampa yra 10 % arba 5 % didesnė už tinklo vardinę įtampą, priklausomai nuo tinklo įtampos vertės. Žeminamųjų transformatorių aukštosios įtampos vardinė įtampa yra lygi to tinklo vardinei įtampai, o žemosios įtampos apvijų vardinė įtampa yra 10 % arba 5 % didesnė už tinklo vardinę įtampą, priklausomai nuo tinklo įtampos vertės. Apkrauto transformatoriaus antrinės apvijų įtampa sumažėja dėl nuostolių transformatoriaus apvijoje.

*Vardinė srovė* ( $I_N$ ) yra transformatoriaus apvijų darbo srovė, esant vardinei galiai ir įtampai

*Vardinė galia* ( $S_N$ ) yra pilnoji transformatoriaus galia ir yra lygi:

$$S_N = \sqrt{3} \cdot U_N \cdot I_N \quad (2.1)$$

Tai tokia galia, kuria apkrautas transformatorius gali ilgai ir nepertraukiamai dirbti, esant vardinėms aušinimo ir aplinkos sąlygoms. Trijų apvijų transformatoriaus vardinė galia yra galingiausios apvijų galia. Autotransformatoriaus vardinė galia yra aukščiausios įtampos apvijų galia.

Autotransformatorius žemiausios įtampos apvija charakterizuojamas tipine galia,

$$S_T = k_T \cdot S_N \quad (2.2)$$

čia  $k_T = (U_A - U_V) / U_A$  - tipinės galios koeficientas, o  $U_A$  ir  $U_V$  - aukštoji ir vidutinė įtampos.

*Transformacijos koeficientas* ( $k$ ) yra transformatoriaus apvijų vardinių įtampų santykis. Dviejų apvijų transformatorius turi vieną tiesioginę arba atvirkštinę koeficiento vertę, o trijų apvijų - tris vertes.

*Trumpojo jungimo įtampa* ( $u_K$ ) yra transformatoriaus apvijų įtampa, kai kitos apvijų galai sujungti tarpusavyje ir apvijomis teka vardinės srovės. Ši įtampa nustatoma trumpojo jungimo bandymo metu ir charakterizuoja įtampos nuostolius apvijoje.

$$U_K = \frac{\sqrt{3} I_N Z_T}{U_N} 100 = \frac{S_N}{U_N^2} Z_T 100\% \quad (2.3)$$

čia  $Z_T$  – transformatoriaus pilnoji varža.

Priklausomai nuo transformatoriaus galios ir įtampos vertė svyruoja nuo 5 % iki 15 % vardinės įtampos.

*Kintamieji aktyviosios galios nuostoliai* ( $P_K$ ) yra aktyviosios galios nuostoliai apvijose, kai jomis teka vardinė srovė.

$$P_K = 3I_N^2 R_T = \frac{S_N^2}{U_N^2} R_T \quad (2.4)$$

čia  $R_T$  – transformatoriaus apvijų aktyvioji varža.

Vardiniai nuostoliai nustatomi trumpojo jungimo bandymo metu. Kintamieji aktyviosios nuostoliai yra nuo 0,2 % – 2 % vardinės galios.

*Tuščiosios veikos srovė* ( $I_0$ ) yra prijungto prie vardinės įtampos neapkrauto transformatoriaus apvijos srovė. Tai transformatoriaus įmagnetinimo srovė Ji nustatoma transformatoriaus tuščiosios veikos bandymo metu ir charakterizuoja nuostolius (pagrindinai reaktyviusius) pliene.

čia  $Y_T$  – transformatoriaus pilnasis laidis.

$$I_0 = \frac{U_N^2}{S_N} Y_T 100\% \quad (2.5)$$

Priklausomai nuo transformatoriaus galios ir įtampos tuščiosios eigos srovės vertė svyruoja nuo 0,3 % iki 2,5 %.

*Pastovieji aktyviosios galios nuostoliai* ( $P_0$ ) yra sūkurinių ir Fuko srovių nuostoliai pliene. Jie nustatomi tuščiosios veikos bandymo metu:

$$P_0 = U_N^2 G_T \quad (2.6);$$

čia  $G_T$  – transformatoriaus aktyvusis laidis.

Pastovieji aktyviosios galios nuostoliai sudaro nuo 0,08 % iki 0,36 % vardinės galios.

### 3. TECHNOLOGINIŲ SAŃAUDŲ SKAIČIAVIMAS

#### 3.1. Elektros sąnaudų galios transformatoriuose skaičiavimas

1. Bendrosios galios transformatorių elektros sąnaudos skaičiuojamos pagal formulę

$$\Delta W_P = \Delta W_{\text{apkr.}} + \Delta W_{\text{t.e.}}, \quad (3.1)$$

čia:  $\Delta W_{\text{apkr.}}$  – galios transformatorių apkrovos sąnaudos;

$\Delta W_{\text{t.e.}}$  – galios transformatorių tuščiosios eigos sąnaudos.

2. Galios transformatorių apkrovos sąnaudos per laikotarpį  $T_d$  skaičiuojamos pagal formulę:

$$\Delta W_{\text{apkr.}} = \frac{W_p^2 + W_Q^2}{U_v^2 \cdot T_d \cdot 10^3} K_f^2 R, \quad [\text{kWh}] \quad (3.2)$$

čia:  $W_Q$  – visa reaktyvioji energija (kVAh), pagal apskaitos prietaiso rodmenis suvartota iš elektros tinklo per laikotarpį  $T_d$ ;

$K_f$  – koeficientas, apibūdinantis apkrovos grafiko formą. Jis skaičiuojamas pagal formulę :

$$K_f^2 = \left( \frac{0,124}{K_U} + 0,876 \right)^2, \quad (3.3)$$

čia:  $K_U$  – apkrovos grafiko pilnumo koeficientas, kuris skaičiuojamas pagal formulę:

$$K_U = \frac{W_p}{P_{\text{max}} \cdot T_d}, \quad (3.4)$$

kur:  $W_p$  – visa aktyvioji energija (kWh), suvartota per laikotarpį  $T_d$  pagal apskaitos prietaiso rodmenis. Ji naudojama 3.2 ir 3.4 formulėse;

$T_d$  – vidutinis darbo valandų skaičius per mėnesį. Jis naudojamas 3.2 ir 3.4 formulėse ir jo reikšmės nustatomos taip:

$T_d = 200$  val., kai dirbama ne daugiau 8 val. per parą;

$T_d = 450$  val., kai dirbama nuo 8 iki 16 val. per parą;

$T_d = 700$  val., kai dirbama nuo 16 iki 24 val. per parą;

$T_d = 730$  val., kai dirbama nepertraukiamai.

$P_{\text{max}}$  – mėnesio maksimali pusvalandinė galia (kW) pagal apskaitos prietaiso rodmenis;

Tuo atveju, kai įrengtas apskaitos prietaisas  $P_{\text{max}}$  nefiksuoja, tai  $K_f^2$  reikšmės tokios:

$K_f^2 = 1,6$  - kai dirbama ne daugiau 8 val. per parą;

$K_f^2 = 1,4$  - kai dirbama nuo 8 iki 16 val. per parą;

$K_f^2 = 1,1$  - kai dirbama nuo 16 iki 24 val. per parą;

$K_f^2 = 1,05$  - kai dirbama nepertraukiamai .

R – elektros tinklo elemento varža, skaičiuojama pagal formulę:

$$R = \frac{\Delta P_{t.j.} \cdot U_V^2 \cdot 10^3}{S_n^2}, \quad [\Omega] \quad (3.5)$$

čia:  $\Delta P_{t.j.}$  – trumpojo jungimo sąnaudos (kW), nustatomos iš transformatoriaus paso arba transformatoriaus revizijos žiniaraščio. Tuo atveju, kai nėra transformatoriaus paso arba revizijos žiniaraščio - iš transformatorių montavimo instrukcijų arba žinynų.

$U_V$  – elektros tinklo, kur įrengtas apskaitos prietaisas, vardinė įtampa (kV). Ji naudojama 3.1 ir 3.4 formulėse ir jos reikšmės tokios :

$U_V = 35$  kV, kai apskaitos prietaisas įrengtas 35 kV tinkle;

$U_V = 10$  kV, kai apskaitos prietaisas įrengtas 10 kV tinkle;

$U_V = 6$  kV, kai apskaitos prietaisas įrengtas 6 kV tinkle;

$U_V = 0,38$  kV, kai apskaitos prietaisas įrengtas 0,38 kV tinkle.

$S_n$  – vardinė galios transformatoriaus, kuriame skaičiuojamos elektros sąnaudos, galia (kVA).

3. Galios transformatoriaus tuščiosios eigos sąnaudos skaičiuojamos pagal formulę:

$$\Delta W_{t.e.} = \Delta P_{t.e.} \cdot T_v, \quad [\text{kWh}] \quad (3.6)$$

čia:  $\Delta P_{t.e.}$  – tuščiosios eigos sąnaudos (kW), nustatomos iš transformatoriaus paso arba transformatoriaus revizijos žiniaraščio. Tuo atveju, kai nėra transformatoriaus paso arba revizijos žiniaraščio - iš transformatorių montavimo instrukcijų arba žinynų.

$T_v$  - vidutinis valandų skaičius per mėnesį. Jo reikšmė:  $T_v = 730$  val. priimant sąlygą, kad galios transformatorius dirbo nepertraukiamai.

4. Galios transformatoriaus bendrosios elektros sąnaudos per mėnesį skaičiuojamos pagal formulę:

$$\Delta W_P = \Delta W_{\text{apkr.}} + \Delta W_{t.e.}, \quad [\text{kWh}] \quad (3.7)$$

čia:  $\Delta W_{\text{apkr.}}$  – galios transformatorių apkrovos sąnaudos (kWh),

$\Delta W_{t.e.}$  – galios transformatorių tuščiosios eigos sąnaudos (kWh).

1 Lentelė. Galios transformatorių tuščios eigos ir trumpo jungimo galia.

Transformatorių pilnoji galia(kVA)	Transformatorių tuščios eigos galia (kW)	Transformatoriaus trumpo jungimo galia (kW)
4 vienf.	0,020	0,145
10 vienf.	0,050	0,278
25kVA	0,125	0,600
30kVA	0,300	0,850
40kVA	0,180	0,880
63kVA	0,265	1,280
100kVA	0,365	1,970
160kVA	0,540	2,650
180kVA	0,660	2,850
250kVA	0,780	3,700
320kVA	0,930	6,200
400kVA	1,080	5,500
560kVA	2,570	7,688
630kVA	1,680	7,600
1000kVA	2,450	12,200
1600kVA	3,650	18,000
2500kVA	5,100	25,000
4000kVA	6,700	33,500
6300kVA	9,400	46,500

### 3.2. Elektros sąnaudų elektros linijose skaičiavimas

5. Skaičiuojant elektros sąnaudas elektros linijose skaičiuojamos tik apkrovos sąnaudos ( $\Delta W_{pl}$ ).

Jos skaičiuojamos pagal formulę:

$$\Delta W_{pl} = \frac{W_p^2 + W_Q^2}{U_v^2 \cdot T_d \cdot 10^3} \cdot K_f^2 R_l, \quad [\text{kWh}] \quad (3.8)$$

čia:  $W_Q$  – visa reaktyvioji energija pagal apskaitos prietaiso rodmenis (kVArh), suvartota iš elektros tinklo per laikotarpį  $T_d$ ;

$U_v$  – elektros tinklo, kuriame skaičiuojamos sąnaudos, vardinė įtampa (kV) , kurios reikšmės tokios:

$U_v = 35$  kV, kai skaičiuojamos sąnaudos 35 kV elektros linijose;

$U_v = 10$  kV, kai skaičiuojamos sąnaudos 10 kV elektros linijose;

$U_v = 6$  kV, kai skaičiuojamos sąnaudos 6 kV elektros linijose;



$U_V = 0,38$  kV, kai skaičiuojamos sąnaudos 0,38 kV elektros linijose.

$K_f$  – koeficientas, apibūdinantis apkrovos grafiko formą. Jis skaičiuojamas pagal formulę :

$$K_f^2 = \left( \frac{0,124}{K_U} + 0,876 \right)^2, \quad (3.9)$$

čia:  $K_U$  – apkrovos grafiko pilnumo koeficientas, kuris skaičiuojamas pagal formulę :

$$K_U = \frac{W_P}{P_{\max} \cdot T_d}, \quad (3.10)$$

kur:  $W_P$  – visa aktyvioji energija (kWh), suvartota per laikotarpį  $T_d$  pagal apskaitos prietaiso rodmenis, kai apskaitos prietaisas įrengtas tos pačios įtampos įrenginiuose, kuriuose skaičiuojamos sąnaudos. Kai apskaitos prietaisas įrengtas ne tos pačios įtampos įrenginiuose (kuriuose skaičiuojamos sąnaudos), o vartotojui priklausančio galios transformatoriaus žemojoje pusėje, tai prie  $W_P$  būtina pridėti priskaičiuotas elektros sąnaudas vartotojo galios transformatoriuje.  $W_P$  naudojama 3.7 ir 3.9 formulėse.

$T_d$  – vidutinis darbo valandų skaičius per mėnesį. Jis naudojamas 3.7 ir 3.9 formulėse ir jo reikšmės tokios:

$T_d = 200$  val., kai dirbama ne daugiau 8 val. per parą;

$T_d = 450$  val., kai dirbama nuo 8 iki 16 val. per parą;

$T_d = 700$  val., kai dirbama nuo 16 iki 24 val. per parą;

$T_d = 730$  val., kai dirbama nepertraukiamai.

$P_{\max}$  – mėnesio maksimali pusvalandinė galia (kW) pagal apskaitos prietaiso rodmenis;

Tuo atveju, kai įrengtas apskaitos prietaisas  $P_{\max}$  nefiksuoja, tai  $K_f^2$  reikšmės tokios:

$K_f^2 = 1,6$  - kai dirbama ne daugiau 8 val. per parą;

$K_f^2 = 1,4$  - kai dirbama nuo 8 iki 16 val. per parą;

$K_f^2 = 1,1$  - kai dirbama nuo 16 iki 24 val. per parą;

$K_f^2 = 1,05$  - kai dirbama nepertraukiamai.

$R_l$  – elektros linijos varža ( $\Omega$ ), kuri skaičiuojama pagal formulę:

$$R_l = r_0 \cdot l, \quad (\Omega) \quad (3.11)$$

čia:  $l$  – elektros linijos ilgis kilometrais;

$r_0$  – aktyvioji 1 km linijos skaičiuotina varža ( $\Omega/\text{km}$ ), kuri priklauso nuo elektros linijos tipo, laidininkų markės ir skerspjūvio.

Skaičiuotinos oro linijų neizoliuotų varinių, aliumininių ir plieninių-aliumininių laidų ir kabelių linijų aktyviosios varžos pateikiamos pagal Elektrotechnikos žinyną (2 tomas, 1986 Energoatom) 2 lentelėje:

2Lentelė Laidininkų varžos pagal skerspjūvi.

Skerspjūvis	Variniai laidai	Aliumininiai laidai	Plieniniai-aliumininiai laidai	Kabėliai su 3 varinėmis gyslomis	Kabėliai su 3 aliumininėmis gyslomis
$\text{Mm}^2$	$r_0, \Omega/\text{km}$	$r_0, \Omega/\text{km}$	$r_0, \Omega/\text{km}$	$r_0, \Omega/\text{km}$	$r_0, \Omega/\text{km}$
4	4,6			4,5	7,85
6	3,07			3,0	4,9
10	1,82			1,79	2,94
16	1,16	1,84		1,12	1,84
25	0,73	1,16	1,175	0,716	1,17
35	0,52	0,85	0,80	0,514	0,84
50	0,37	0,59	0,60	0,359	0,589
70	0,27	0,42	0,42	0,256	0,42
95	0,19	0,31	0,31	0,189	0,31
120	0,156	0,25	0,25	0,15	0,245
150	0,124	0,20	0,20	0,12	0,196
185	0,100	0,16	0,16	0,097	0,159
240	0,078	0,12	0,12	0,075	0,125
300	0,054	0,102	0,1		
400	0,047	0,076	0,08		

### **3.3. Elektros sąnaudų galios transformatoriuose ir elektros linijose skaičiavimas procentine išraiška**

6. Kad kiekvieną mėnesį neskaičiuoti galios transformatorių apkrovos bei elektros linijose sąnaudų pagal šioje metodikoje nurodytas formules, minėtos sąnaudos suskaičiuojamos procentine išraiška nuo aktyvinės energijos (kWh) pratekėjusios per transformatorius ir elektros linijas, taip:

6.1. pagal šioje metodikoje nurodytas formules suskaičiuojamos vieno mėnesio (metinio vidurkio) galios transformatorių apkrovos ir tuščiosios eigos sąnaudos bei sąnaudos elektros linijose ir užfiksuojamos sąnaudų galios transformatoriuose ir elektros linijose skaičiavimo aktuose (1 ir 2 priedai). Naujam vartotojui galios transformatorių apkrovos ir tuščiosios eigos sąnaudos bei sąnaudos elektros linijose suskaičiuojamos pagal vartotojo pateiktą ir su tiekėju suderintą planuojamą mėnesio suvartojimą.

6.2. minėtame akte suskaičiuojama kokį procentą sudaro galios transformatorių apkrovos sąnaudos (kWh) nuo aktyvinės energijos kiekių (kWh), pratekėjusių per galios transformatorių bei užfiksuotų apskaitos prietaisų per mėnesį;

6.3. minėtame akte suskaičiuojama kokį procentą sudaro sąnaudos (kWh) elektros linijose nuo aktyvinės energijos kiekių (kWh), pratekėjusių per elektros linijas bei užfiksuotų apskaitos prietaisų per mėnesį;

6.4. už mėnesį vartotojui pateikiamose sąskaitose skaičiuojamos galios transformatorių apkrovos sąnaudos (kWh) – tai energijos kiekis paskaičiuotas pagal 6.2 punkte suskaičiuotą procentą nuo aktyvinės energijos kiekių (kWh), pratekėjusių per galios transformatorių bei užfiksuotų apskaitos prietaisų per mėnesį;

6.5. už mėnesį vartotojui pateikiamose sąskaitose skaičiuojamos sąnaudos (kWh) elektros linijose – tai energijos kiekis (kWh) paskaičiuotas pagal 6.3 punkte suskaičiuotą procentą nuo aktyvinės energijos kiekių (kWh), pratekėjusių per elektros linijas bei užfiksuotų apskaitos prietaisų per mėnesį;

6.6. už mėnesį vartotojui pateikiamose sąskaitose priskaičiuojami galios transformatorių tuščiosios eigos sąnaudos (kWh) – tai galios transformatorių tuščiosios eigos sąnaudos (kWh) suskaičiuotos minėtame akte.

7. Kiekvieniems kalendoriniams metams pasibaigus ar pasikeitus kabelio arba galios transformatoriaus techninėms charakteristikoms, aukščiau minėtų sąnaudų procentas yra perskaičiuojamas pagal praėjusio laikotarpio (metų) faktinius duomenis.

## 4. NUOSTOLIŲ SKAIČIAVIMO PROGRAMA

Skaičiuodamas nuostolius skirstomajame elektros tinkle naudojami „Galios transformatorių elektros perdavimo ir kabelinių linijų elektros nuostolių apskaičiavimo metodika“, kad palengvinčiau skaičiavimo eiga Excel programoje naudojantis metodika sudariau linijos nuostolių skaičiuoklę (1 pav.).

Pastabos	ak113		Ats AK107		ats 109		Ats 101/102			
	Trafas	Linija	Atšaka	Linija	Atšaka	Linija	Atšaka	Linija	Linija	Linija
linijos tipas		AI laidas		AI laidas		AI laidas		AI laidas	AI laidas	AI laidas
S(kVA) / mm <sup>2</sup>	25kVA	25mm <sup>2</sup>		25mm <sup>2</sup>		70mm <sup>2</sup>		70mm <sup>2</sup>	50mm <sup>2</sup>	35mm <sup>2</sup>
Ilgis km		0,521		0,192		0,139		0,108	0,132	0,747
kWh	12,441		600		2,097		68,827			
kvarh	7,465		360		1,258		44,751			
Td	730	730		200		730		730	730	730
U		10		10		10		10	10	10
Nuostolių atšakos			266,59		268,156		2111,881			
sum kWh, atvr	86817,58	74309,91	74043,3165	73309,84	73041,69	70938,67	68826,79	0	0	0
sum kWh, tie	12440,98	12822,89	13424,8032	13691,39	15792,93	16061,09	84888,16	87000,04	87006,87	87018,6
sum kvarh, atvr	53833,66	46369,07	46369,0745	46009,07	46009,07	44750,81	44750,81	0	0	0
sum kvarh, tie	7464,588	7464,588	7824,5875	7824,588	9082,853	9082,853	53833,66	53833,66	53833,66	53833,66
R		1,16		1,16		0,42		0,42	0,59	0,85
P tr.j	0,6									
P t e	0,125									
Tv	730	730	730	730	730	730	730	730	730	730
Kf2	1,05	1,05	#N/A	1,6	#N/A	1,05	#N/A	1,05	1,05	1,05
S kVA	25									
taško nuost. tiesiog.	381,91	1,914	266,59	4,431	268,156	0,286	2111,881	6,829	11,726	95,624
Suma nuostolių	3149,347	381,91	383,824	650,414	654,845	923,001	923,287	3035,168	3041,997	3053,723
Sum kwh	83,964,88									
sum kvar	53,833,66									
Sąnaudos %	3,62%									

1 pav. Nuostolių skaičiavimo skaičiuoklės Excel programoje forma

Elektros energijos sąnaudos elektros tinkluose pakankamai tiksliai gali būti apskaičiuotos žinant tinklo elementų techninius ir elektrinius parametrus ir galios bei energijos srautus bei jų apkrovos grafikus visuose tinkle elementuose, taip pat įvertinant sąnaudas antrinėse grandinėse ir elektros energijos praradimus dėl komercinės apskaitos netikslumo. Tačiau realiai elektros energijos technologinių sąnaudų skaičiavimas naudojant klasikinę išraišką yra komplikotas ir neįmanomas dėl nepakankamų skirstomųjų tinklų darbo režimų elektrinių parametrų matavimų ir energijos apskaitos, apkrovos grafikų parametrų stygiaus ir pan. Paprastai yra matuojami skirstomojo tinklo linijų pradžių režimo elektriniai parametrai ir žinomi apkrovų grafikai perdavimo ir skirstomojo tinklo sandūroje. Tik kai kurie elektros vartotojai turi šiuolaikinę energijos apskaitą. Todėl tenka naudoti apibendrintas technologinių sąnaudų skaičiavimo elektros linijose ir transformatoriuose išraiškas, įvertinančias suminius kiekvieno skirstomųjų tinklų skyriaus duomenis kaip linijų ilgius, skaičių ir varžas; transformatorių skaičių ir tipus; matavimo grandinių įrenginių skaičių ir pan.

Tikslių energijos matavimų duomenų trūkumas įvairiuose skirstomojo tinklo lygiuose yra svarbi elektros energijos technologinių sąnaudų skaičiavimo tikslumą lemianti problema, nes sudėtinga

apskaičiuoti maksimalios apkrovos trukmę, didžiausių sąnaudų laiką arba apkrovos grafiko formos koeficientą. Todėl siekiant sprendinio tenka naudoti žinomus paros apkrovos valandinius perdavimo ir skirstomojo tinklo sandūros energijos srauto grafikus. Tokiu atveju suminės technologinės energijos sąnaudos 0,4–35 kV įtampos linijose gali būti apskaičiuojamos pagal tokią apibendrintą išraišką:

$$W_{Ls} = \frac{W_P^2 + W_Q^2}{U^2 T_{maks}^2 N^2} k_A k_{nes} r_{vid} L_{\Sigma T} \tau ; \quad (1)$$

čia  $W_P$ ,  $W_Q$  – patiekta į atitinkamos įtampos linijas aktyvioji ir reaktyvioji energija;  $U$  – linijų įtampa;  $T_{maks}$  – maksimalios galios naudojimo laikas;  $N$  – linijų skaičius;  $k_A$  – apkrovų pasiskirstymo koeficientas, įvertinantis radialinio tinklo išsišakojimą ir srovės tankio nevienodumą pirmuosiuose magistralės ruožuose;  $k_{nes}$  – elektros linijos fazinių srovių nesimetrijos koeficientas;  $r_{vid}$  – vidutinė linijų vieno kilometro aktyvioji varža;  $L_{\Sigma T}$  – bendras atitinkamos įtampos linijų ilgis;  $t$  – didžiausių sąnaudų laikas.

Praktiškai gana sudėtinga nustatyti tikslias apkrovų pasiskirstymo ir fazinių srovių nesimetrijos koeficientų reikšmes. Esant normaliai elektros tinklo techninių parametrų ir jo mazgų apkrovų atitikčiai buvo rekomenduojama priimti apkrovų pasiskirstymo koeficiento reikšmę 0,26, o fazinių srovių nesimetrijos koeficiento reikšmę žemosios įtampos tinkle intervale nuo 1,05 iki 1,55 ir vidutinės įtampos – 1,0. Nustatyta, kad keičiantis egzistuojančių tinklų apkrovai ir galių srautams keičiasi ir minėti koeficientai, todėl koeficientai  $k_A$  ir  $k_{nes}$  neatitinka ankstesnėje metodikoje siūlomų reikšmių. Eksperimentiniai tyrimai Lietuvos skirstomuosiuose tinkluose leido nustatyti, kad apkrovų pasiskirstymo koeficientas  $k_A$  vidutinės įtampos tinkle gali padidėti iki 0,51 ir jo patikslinimui reikia atlikti eksperimentus kiekvienam skirstomųjų tinklų skyriui atskirai. Tokius pat apkrovų pasiskirstymo koeficiento patikslinamuosius matavimus ir skaičiavimus reikia atlikti ir žemosios įtampos tinklams. Tyrimais nustatyta, kad elektros linijų fazinių srovių nesimetrijos koeficiento  $k_{nes}$  reikšmių diapazonas gali būti nuo 1,05 iki 1,2. Siekiant tiksliau nustatyti elektros energijos technologines sąnaudas pagal pateiktą metodiką reikėtų jas atskirai skaičiuoti oro linijose ir kabeliuose, taip pat kiekviename skirstomųjų tinklų poskyryje (pramoniniame, buitiniame, žemės ūkio ir pan.).

Skaičiuojant technologines sąnaudas transformatoriuose, reikia įvertinti transformatoriaus tuščiosios veikos aktyviosios galios sąnaudas, priklausančias nuo šerdies medžiagos, sluoksniavimo tipo, izoliacijos, įtampos bei dažnio, ir apkrauto transformatoriaus aktyviosios galios sąnaudas, susidarantią transformatoriaus apvijose ( $I^2R$ ). Turint aktyviosios ir reaktyviosios energijų apskaitos

prietaisų rodmenis, bet kurio vieno 110, 35, 10 ar 6 kV galios transformatoriaus sąnaudos skaičiuojamos taikant vidutinių apkrovų metodą:

$$W_{Ts} = P_0 \cdot t_0 + P_K \frac{(W_P^2 + W_Q^2)}{S_N^2 \cdot T_d} k_f^2 ; \quad (2)$$

čia  $P_0$  – tuščiosios veikos aktyviosios galios sąnaudos;  $t_0$  – per skaičiuojamąjį periodą prie įtampos prijungto transformatoriaus valandų skaičius;  $P_K$  – trumpojo jungimo aktyviosios galios sąnaudos;  $W_P$  ir  $W_Q$  – transformuota aktyvioji energija ir reaktyvioji energija pagal apskaitos prietaiso rodmenis;  $T_d$  – apkrauto transformatoriaus veikimo laikas arba vidutinis darbo valandų skaičius per skaičiuojamąjį periodą;  $S_N$  – vardinė galios transformatoriaus galia;  $k_f$  – koeficientas, apibūdinantis apkrovos grafiko formą.

Jeigu elektros energijos apskaita vykdoma žemosios įtampos transformatoriaus pusėje, tuomet kintamųjų elektros energijos technologinių sąnaudų skaičiavimus pagal (2) išraišką reikėtų patikslinti ir skaičiuoti iteraciniu Niutono–Rafsono arba kitu metodu, siekiant įvertinti technologinių sąnaudų transformatoriuose įtaką.

Tiksliai apskaičiuoti technologines sąnaudas kiekviename 6-10/0,4 kV galios transformatoriuje yra sunku, nes skaičiavimams trūksta būtinų transformatoriumi pratekėjusių galios ir energijos srautų duomenų. Todėl galima apskaičiuoti tik vidutines technologines sąnaudas. Skaičiavimams siūloma naudoti sutartinį 6-10/0,4 kV transformatoriaus modelį, kuris apibūdinamas vidutine skaičiuojamąja elektrine apkrova  $T \cdot P$  ir vidutinėmis kintamosiomis energijos technologinėmis sąnaudomis  $P_K$ . Suminės technologinės elektros energijos sąnaudos sutartiniuose 6-10/0,4 kV galios transformatoriuose yra kintamųjų ir pastoviųjų technologinių sąnaudų suma:

$$W_{T;6-10/0,4} = \bar{P}_{K6-10} \cdot \tau_{6-10} \cdot N_{6-10} + \sum_{i=1}^{N_{6-10}} P_{0i6-10} \cdot t_{0i} ; \quad (3)$$

čia  $P_{K6-10}$  – apskaičiuotos transformatoriaus kintamosios aktyviosios galios sąnaudos;  $\tau_{6-10}$  – didžiausių galios sąnaudų laikas;  $N_{6-10}$  – 6-10/0,4 kV galios transformatorių skaičius;  $P_{0i6-10}$  –  $i$ -ojo 6-10/0,4 kV galios transformatoriaus tuščiosios veikos aktyviosios galios sąnaudos;  $t_{0i}$  – skaičiuojamuoju periodu prie įtampos prijungto  $i$ -ojo galios transformatoriaus valandų skaičius. Vidutinės kintamosios sutartinio 6-10/0,4 kV galios transformatoriaus energijos technologinės sąnaudos gali būti nustatytos [4]:

$$\bar{P}_{K6-10} = 0,05544 \cdot \bar{P}_{0/0,4}^{0,7644} = 0,05544 \left( \frac{W_{0,4}}{T \cdot N_{6-10}} \right)^{0,7644} ; \quad (4)$$

čia  $P_{10/0,4}$  – vidutinė apskaičiuota sutartinio 6-10/0,4 kV galios transformatoriaus apkrova per periodą  $t_0$ ;  $W_{0,4}$  – į 0,4 kV įtampos tinklus patiekta elektros energija;  $T$  – skaičiuojamasis laikotarpis valandomis.

Skaičiavimo tikslumas priklauso nuo (4) išraiškoje panaudotų koeficientų atitikimo skaičiuojamajai elektros tinklo situacijai.

Elektros energijos technologinės sąnaudos atsiranda ne tik elektros linijose ir transformatoriuose, bet ir kituose elementuose kaip linijų kontaktuose, komutacinių aparatų varžose, matavimo ir antrinėse grandinėse, taip pat sąnaudos neatjungtų linijų nutrūkusiuose laiduose ir linijų įžemėjusiuose laiduose. Šios sąnaudos gali siekti 10% visų sąnaudų, todėl yra svarbu nustatyti galimą jų diapazoną. 0,4 kV įtampos linijų energijos sąnaudos kontaktų ir komutacinių aparatų varžose gali būti apskaičiuotos elektros energijos skirstymo technologinės sąnaudos, visoms nuo transformatorinės išėinančioms linijoms arba visoms skyriaus elektros linijoms pagal apibendrintą išraišką:

$$W_{k.s.0,4} = \frac{W_P^2 + W_Q^2}{10^3 \cdot N_L \cdot U_N^2 \cdot T} k_f^2 k_{nez} R_{k0,4}; \quad (5)$$

čia  $W_P$ ,  $W_Q$  – aktyvioji ir reaktyvioji energija 0,4 kV linijos arba linijų pradžioje;  $N_L$  – 0,4 kV įtampos linijų skaičius;  $R_{k0,4}$  – ekvivalentinė 0,4 kV linijos kontaktų ir komutacinių aparatų varža (priimama, kad  $R_{k0,4} = 15 \text{ m}\Omega$ ).

Elektros energijos sąnaudos matavimo grandinėse susideda iš sąnaudų matavimo transformatoriuose bei apskaitos prietaisuose. Sąnaudos elektros skaitikliuose neturėtų būti vertinamos, jeigu jie prijungti prie matavimo transformatorių, nes šios sąnaudos yra įtraukiamos į matavimo transformatorių sąnaudas dėl antrinių grandinių apkrovos. Elektros energijos sąnaudos matavimo grandinėse per nagrinėjamą laikotarpį  $T$  yra:

$$W_{m.g.s} = \left( \sum_{i=1}^{N_{TV}} P_{TV} + \sum_{i=1}^{N_{TA}} P_{TA} + \sum_{i=1}^{N_{SK}} P_{SK} \right) \cdot T; \quad (6)$$

čia  $P_{TV}$ ,  $P_{TA}$ ,  $P_{SK}$  – įtampos ir srovės transformatorių bei elektros skaitiklių naudojama galia;  $N_{TV}$ ,  $N_{TA}$ ,  $N_{SK}$  – įtampos, srovės transformatorių bei skaitiklių skaičius elektros tinkluose.

Iki šiol buvo nevertinamos elektros energijos technologinės sąnaudos buitinių vartotojų tinkluose. Šias sąnaudas būtų galima įvertinti, žinant buitinių vartotojų pasiskirstymą pagal grupes, atsižvelgus į daugiabučių namų aukštų skaičių, viryklės tipą, individualius namus ir pan., bei tai grupei patiekta elektros energijos kiekį:

$$W_{b.s} = \sum_{i=1}^n \left( \frac{W_{Pi}^2 \cdot R_{ekvi}}{N_i^2} \right) \cdot \frac{k_f^2 k_{nez} k_A}{10^3 \cdot U_N^2 \cdot T}; \quad (7)$$

čia  $W_{Pi}$  – vartotojų grupei patiekta energija;  $Rekvi$  – ekvivalentinė vartotojų grupės magistralės ir kontaktinių sujungimų varža;  $N_i$  – vartotojų grupės daugiabučių namų aukštų magistralių arba individualių namų įvadų skaičius;  $n$  – buitinių vartotojų grupių skaičius.

Elektros tinklų eksploatacija rodo, kad nutrūkus žemosios įtampos linijos laidui ne visais atvejais yra atjungiamą linija, todėl atsiranda srovės nuotėkis į žemę. Elektros energijos praradimus dėl srovės nuotėkio per žemosios įtampos linijų nutrūkusius laidus siūloma skaičiuoti taip:

$$W_{lt} = I_{lt} U_{lt} t_{lt} N_{lt}; \quad (8)$$

čia  $I_{lt}$  – nutrūkusiu laidu tekanti srovė, kuri gali būti priimta komutacinio aparato vardinei srovei;  $U_{lt}$  – nutrūkusio laido įtampa;  $t_{lt}$  – vidutinė nutrūkusio laido atjungimo trukmė val.;  $N_{lt}$  – skaičiuojamojo laikotarpio nutrūkusių laidų skaičius.

Vidutinė nutrūkusio laido atjungimo trukmė gali būti nustatyta statistiškai. Izoliuotos neutralės tinkluose įžemėjimo režimai gali būti pakankamai ilgalaikiai ir elektros praradimai gali būti ženklūs. Elektros energijos praradimus dėl vidutinės įtampos linijų laidų įžemėjimo srovių siūloma įvertinti išraiška:

$$W_{iž} = I_{iž} U_{iž} t_{iž} N_{iž}; \quad (9)$$

čia  $I_{iž}$  – įžemėjimo srovė;  $U_{iž}$  – įtampa įžemėjimo metu;  $t_{iž}$  – vidutinė įžemėjimo trukmė val.;  $N_{iž}$  – skaičiuojamojo laikotarpio įžemėjimų skaičius.

Skaičiavimams galima priimti, kad 35 kV tinkle įžemėjimo srovė gali siekti 10 A, 10 kV tinkle – 20 A, 6 kV tinkle – 30 A. Vidutinė įžemėjimo trukmė gali būti nustatyta pagal įžemėjusių linijų darbo laiką.



## 5. TECHNOLOGINIŲ NUOSTOLIŲ SKAIČIAVIMAS

Naudojantis sudarytąją programą paskaičiavau 74 šiaurės regiono 10 kV linijų nuostolius. Skaičiavimai atlikti pagal 2012 metų kovo mėnesį, kada buvo didžiausi apkrovimai, rezultatai pateikti 3 lentelėje.

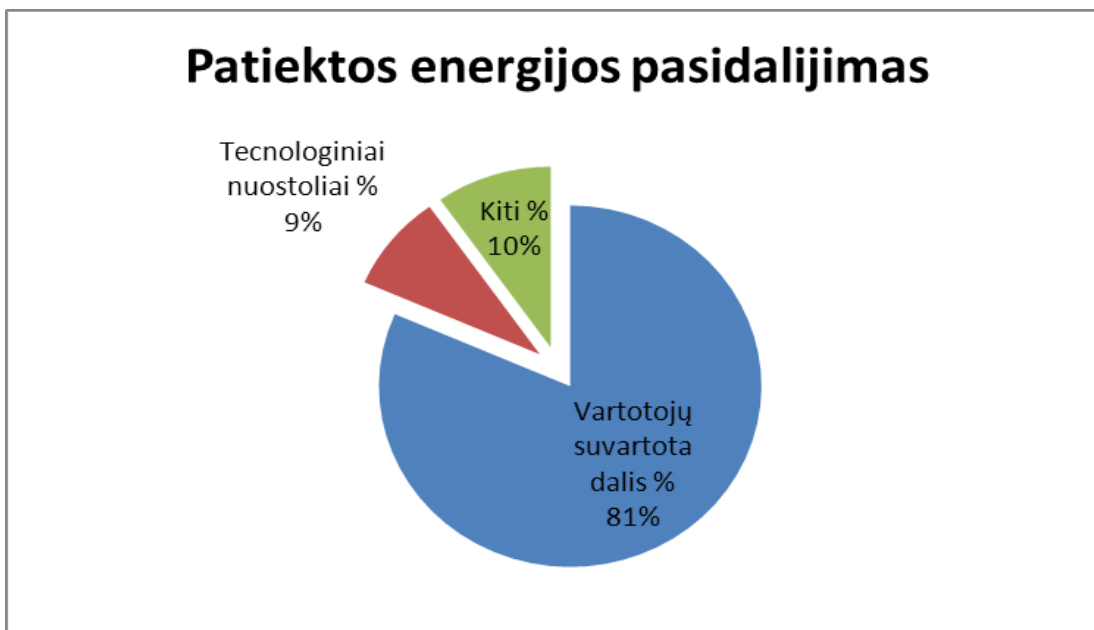
3 lentelė. 10kV linijų technologinių nuostolių skaičiavimo rezultatai

Eil. nr.	Technologinės sąnaudos kWh	Kontroli- nės apskaitos, kWh	Bendri nuostoliai, %	Technologinės sąnaudos		Lijose išsiskiriantys nuotoliai		Tr. Tuščios eigos nuostoliai		Tr. Trumpo jungimo nuostoliai	
				kWh	%	kWh	%	kWh	%	kWh	%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	126788	142848	11,24	9505	6,65	341	3,59	8679	91,31	485	5,10
2	191711	242763	21,03	8573	3,53	1042	12,15	7152	83,42	379	4,42
3	20599	31108	33,78	2559	8,23	25	0,98	2425	94,76	109	4,26
4	47552	57356	17,09	4228	7,37	94	2,22	4000	94,61	134	3,17
5	86164	99762	13,63	9020	9,04	321	3,56	8201	90,92	498	5,52
6	38721	47841	19,06	6442	13,47	152	2,36	6024	93,51	266	4,13
7	48672	57932	15,98	5793	10,00	672	11,60	4957	85,57	164	2,83
8	66012	77292	14,59	8280	10,71	1082	13,07	6955	84,00	243	2,93
9	126788	142848	11,24	9505	6,65	341	3,59	8679	91,31	485	5,10
10	191711	242763	21,03	8573	3,53	1042	12,15	7152	83,42	379	4,42
11	20599	31108	33,78	2559	8,23	25	0,98	2425	94,76	109	4,26
12	47552	57356	17,09	4228	7,37	94	2,22	4000	94,61	134	3,17
13	86164	99762	13,63	9020	9,04	321	3,56	8201	90,92	498	5,52
14	38721	47841	19,06	6442	13,47	152	2,36	6024	93,51	266	4,13
15	48672	57932	15,98	5793	10,00	672	11,60	4957	85,57	164	2,83
16	66012	77292	14,59	8280	10,71	1082	13,07	6955	84,00	243	2,93
17	126788	142848	11,24	9505	6,65	341	3,59	8679	91,31	485	5,10
18	191711	242763	21,03	8573	3,53	1042	12,15	7152	83,42	379	4,42
19	20599	31108	33,78	2559	8,23	25	0,98	2425	94,76	109	4,26
20	47552	57356	17,09	4228	7,37	94	2,22	4000	94,61	134	3,17
21	86164	99762	13,63	9020	9,04	321	3,56	8201	90,92	498	5,52
22	38721	47841	19,06	6442	13,47	152	2,36	6024	93,51	266	4,13
23	48672	57932	15,98	5793	10,00	672	11,60	4957	85,57	164	2,83
24	66012	77292	14,59	8280	10,71	1082	13,07	6955	84,00	243	2,93
25	126788	142848	11,24	9505	6,65	341	3,59	8679	91,31	485	5,10
26	191711	242763	21,03	8573	3,53	1042	12,15	7152	83,42	379	4,42
27	20599	31108	33,78	2559	8,23	25	0,98	2425	94,76	109	4,26
28	47552	57356	17,09	4228	7,37	94	2,22	4000	94,61	134	3,17
29	86164	99762	13,63	9020	9,04	321	3,56	8201	90,92	498	5,52
30	38721	47841	19,06	6442	13,47	152	2,36	6024	93,51	266	4,13

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
31	48672	57932	15,98	5793	10,00	672	11,60	4957	85,57	164	2,83
32	66012	77292	14,59	8280	10,71	1082	13,07	6955	84,00	243	2,93
33	126788	142848	11,24	9505	6,65	341	3,59	8679	91,31	485	5,10
34	191711	242763	21,03	8573	3,53	1042	12,15	7152	83,42	379	4,42
35	20599	31108	33,78	2559	8,23	25	0,98	2425	94,76	109	4,26
36	47552	57356	17,09	4228	7,37	94	2,22	4000	94,61	134	3,17
37	86164	99762	13,63	9020	9,04	321	3,56	8201	90,92	498	5,52
38	38721	47841	19,06	6442	13,47	152	2,36	6024	93,51	266	4,13
39	48672	57932	15,98	5793	10,00	672	11,60	4957	85,57	164	2,83
40	66012	77292	14,59	8280	10,71	1082	13,07	6955	84,00	243	2,93
41	126788	142848	11,24	9505	6,65	341	3,59	8679	91,31	485	5,10
42	191711	242763	21,03	8573	3,53	1042	12,15	7152	83,42	379	4,42
43	20599	31108	33,78	2559	8,23	25	0,98	2425	94,76	109	4,26
44	47552	57356	17,09	4228	7,37	94	2,22	4000	94,61	134	3,17
45	86164	99762	13,63	9020	9,04	321	3,56	8201	90,92	498	5,52
46	38721	47841	19,06	6442	13,47	152	2,36	6024	93,51	266	4,13
47	48672	57932	15,98	5793	10,00	672	11,60	4957	85,57	164	2,83
48	66012	77292	14,59	8280	10,71	1082	13,07	6955	84,00	243	2,93
49	126788	142848	11,24	9505	6,65	341	3,59	8679	91,31	485	5,10
50	191711	242763	21,03	8573	3,53	1042	12,15	7152	83,42	379	4,42
51	20599	31108	33,78	2559	8,23	25	0,98	2425	94,76	109	4,26
52	47552	57356	17,09	4228	7,37	94	2,22	4000	94,61	134	3,17
53	86164	99762	13,63	9020	9,04	321	3,56	8201	90,92	498	5,52
54	38721	47841	19,06	6442	13,47	152	2,36	6024	93,51	266	4,13
55	48672	57932	15,98	5793	10,00	672	11,60	4957	85,57	164	2,83
56	66012	77292	14,59	8280	10,71	1082	13,07	6955	84,00	243	2,93
57	126788	142848	11,24	9505	6,65	341	3,59	8679	91,31	485	5,10
58	191711	242763	21,03	8573	3,53	1042	12,15	7152	83,42	379	4,42
59	20599	31108	33,78	2559	8,23	25	0,98	2425	94,76	109	4,26
60	47552	57356	17,09	4228	7,37	94	2,22	4000	94,61	134	3,17
61	86164	99762	13,63	9020	9,04	321	3,56	8201	90,92	498	5,52
62	38721	47841	19,06	6442	13,47	152	2,36	6024	93,51	266	4,13
63	48672	57932	15,98	5793	10,00	672	11,60	4957	85,57	164	2,83
64	66012	77292	14,59	8280	10,71	1082	13,07	6955	84,00	243	2,93
65	126788	142848	11,24	9505	6,65	341	3,59	8679	91,31	485	5,10
66	191711	242763	21,03	8573	3,53	1042	12,15	7152	83,42	379	4,42
67	20599	31108	33,78	2559	8,23	25	0,98	2425	94,76	109	4,26
68	47552	57356	17,09	4228	7,37	94	2,22	4000	94,61	134	3,17
69	86164	99762	13,63	9020	9,04	321	3,56	8201	90,92	498	5,52
70	38721	47841	19,06	6442	13,47	152	2,36	6024	93,51	266	4,13
71	48672	57932	15,98	5793	10,00	672	11,60	4957	85,57	164	2,83
72	66012	77292	14,59	8280	10,71	1082	13,07	6955	84,00	243	2,93
73	38721	47841	19,06	6442	13,47	152	2,36	6024	93,51	266	4,13

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
74	48672	57932	15,98	5793	10,00	672	11,60	4957	85,57	164	2,83
75	66012	77292	14,59	8280	10,71	1082	13,07	6955	84,00	243	2,93

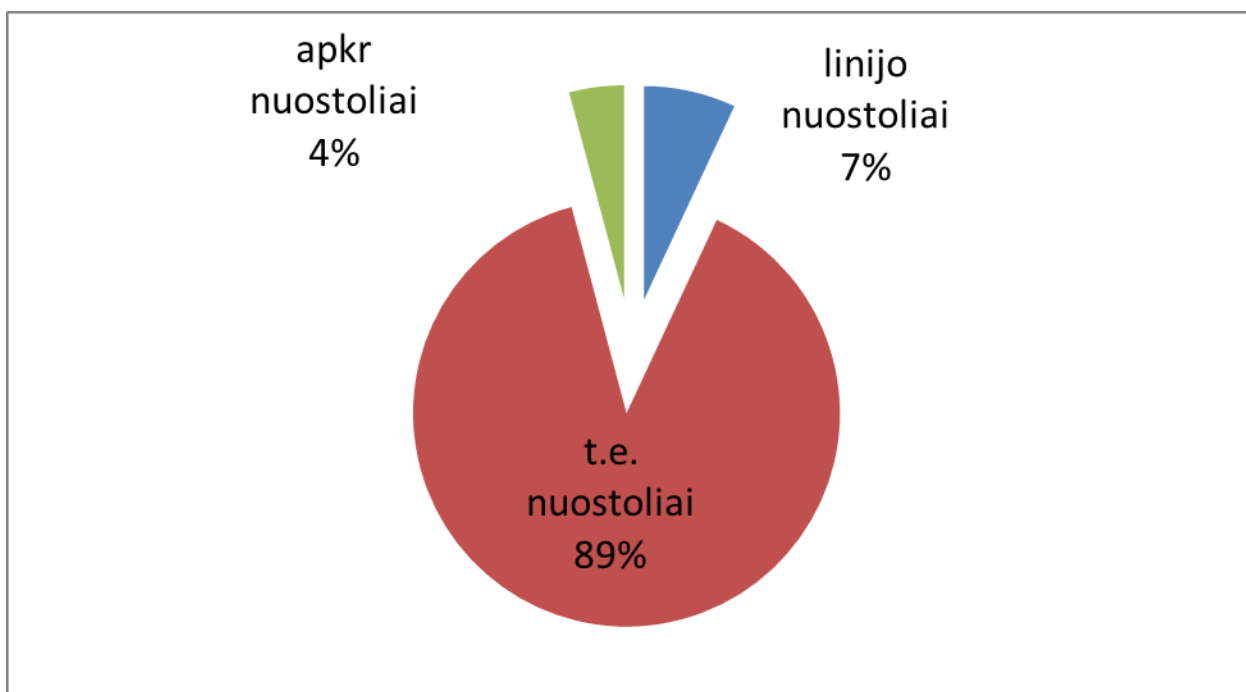
Nemažai energijos prarandama ne technologinėms reikmėms, taip pat didelė dalis yra suvartojama ne apskaitiniu būdu (vagiama) tai sudaro kai kur iki 10 %.



2 pav. Pateiktos energijos pasidalijimas

Kaip matome 2 paveiksle vartotojai suvartoja 81 % pateiktos elektros energijos, technologinėms reikmėms suvartojama 9%, o dar 10% nepaskaičiuojami, į tą dalį ieina įžemėjimai ir neteisėti veiksmai.

Kadangi į nuostolių dalį kurią sudaro „kiti“ nuostoliai įtakoti labai sunku tai toliau bus nagrinėjama kaip būtų galima sumažinti technologines sąnaudas, kad tai padarytume reikia žinoti kurioje tinklo dalyje yra didžiausi nuostoliai. Pagal atliktų skaičiavimų duomenis, kaip parodyta 3 pav., didžiausi nuostoliai susidaro transformatoriaus tuščioje eigoje net 89%, linijose 7%, apkrovos nuostoliai 4%. Linijų nuostolius galime sumažinti tik keičiant linijas su didesnio skerspjūvio laidais, bet tai padėtų labai nežymiai ir iš to naudos nelabai būtų, nes linijos jau dirba labai mažai apkrautos. Kadangi linijų nuostoliai ir taip nedideli todėl lieka išsiaiškinti kaip būtų galima sumažinti nuostolius susidarancius galios transformatoriuose.



3 pav. Technologinių sąnaudų sudėtis

## 6. TRANSFORMATORIŲ APKRAUTUMAS

Dauguma 10kv elektros linijų buvo pastatytos, tuomet, kai Lietuva buvo Tarybų sąjungos sudėtyje. Kaimo vietovėse buvo pristatyta gyvulininkystės ūkių. Miestuose vystėsi pramonė. Tuo laikotarpiu buvo daug galingų elektros energijos vartotojų, dėl kurių buvo išplėtotas elektros tinklas. Lietuvai tapus nepriklausoma valstybe, dauguma ūkių buvo uždaryti. Nebelikus galingų elektros vartotojų dauguma transformatorių tapo labai mažai apkrauti, dėl ko sumažėja transformatorių apkrovos nuostoliai, bet išliko tokie pat tuščios eigos transformatorių nuostoliai, kurie ir sudaro didžiąją technologinių nuostolių dalį, net 89%. Paskaičiavau transformatorių apkrautumą, pagal maksimalias vartotojų naudojamas galias su transformatorių galia. Bendras visų transformatorių apkrautumas yra 7,7%.

4 lentelė. 10-0,4kV transformatorių apkrautumas linijose

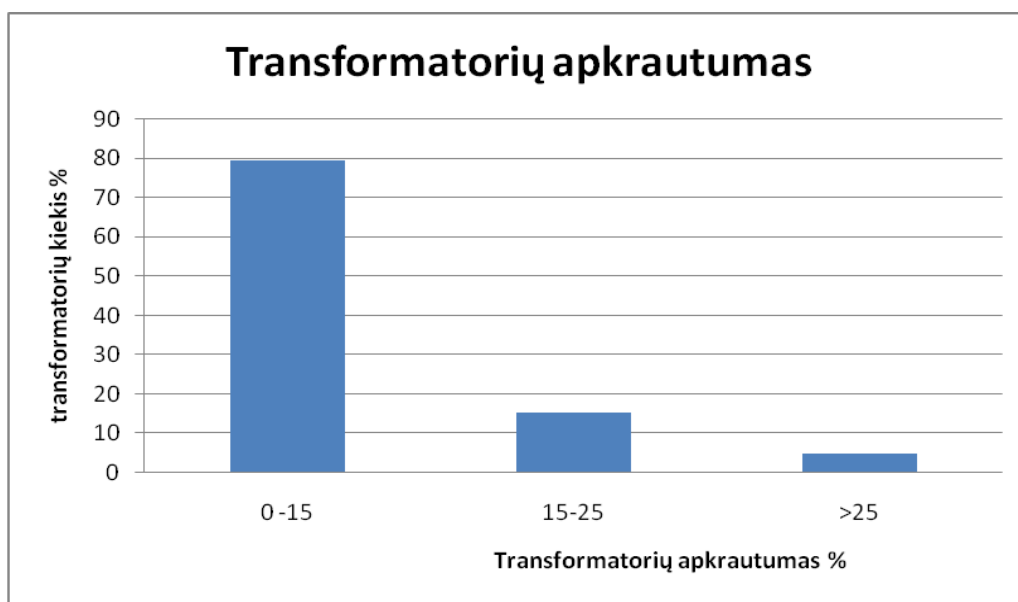
Eil. Nr.	Tr. sk. linijoje	Transformatorių suminė galia	Transformatorių skaičius pagal apkrautumą vnt.			Transformatorių skaičius kuruos būtų galima pakeisti
			<15 %	15-25 %	>25 %	
1	2	3	4	5	6	7
1	18	3.946	13	4	1	12
2	15	1.755	11	1	3	12
3	12	1.031	10	2	0	7
4	15	1.588	13	1	1	10
5	28	2.889	24	3	1	20
6	17	1.445	16	1	0	14
7	15	2.101	7	7	1	5
8	18	2.898	16	2	0	15
9	18	3.946	13	4	1	12
10	15	1.755	11	1	3	12
11	12	1.031	10	2	0	7
12	15	1.588	13	1	1	10
13	28	2.889	24	3	1	20
14	17	1.445	16	1	0	14

1	2	3	4	5	6	7
15	15	2.101	7	7	1	5
16	18	2.898	16	2	0	15
17	18	3.946	13	4	1	12
18	15	1.755	11	1	3	12
19	12	1.031	10	2	0	7
20	15	1.588	13	1	1	10
21	28	2.889	24	3	1	20
22	17	1.445	16	1	0	14
23	15	2.101	7	7	1	5
24	18	2.898	16	2	0	15
25	18	3.946	13	4	1	12
26	15	1.755	11	1	3	12
27	12	1.031	10	2	0	7
28	15	1.588	13	1	1	10
29	28	2.889	24	3	1	20
30	17	1.445	16	1	0	14
31	15	2.101	7	7	1	5
32	18	2.898	16	2	0	15
33	18	3.946	13	4	1	12
34	15	1.755	11	1	3	12
35	12	1.031	10	2	0	7
36	15	1.588	13	1	1	10
37	28	2.889	24	3	1	20
38	17	1.445	16	1	0	14
39	15	2.101	7	7	1	5

1	2	3	4	5	6	7
40	18	2.898	16	2	0	15
41	18	3.946	13	4	1	12
42	15	1.755	11	1	3	12
43	12	1.031	10	2	0	7
44	15	1.588	13	1	1	10
45	28	2.889	24	3	1	20
46	17	1.445	16	1	0	14
47	15	2.101	7	7	1	5
48	18	2.898	16	2	0	15
49	18	3.946	13	4	1	12
50	15	1.755	11	1	3	12
51	12	1.031	10	2	0	7
52	15	1.588	13	1	1	10
53	28	2.889	24	3	1	20
54	17	1.445	16	1	0	14
55	15	2.101	7	7	1	5
56	18	2.898	16	2	0	15
57	18	3.946	13	4	1	12
58	15	1.755	11	1	3	12
59	12	1.031	10	2	0	7
60	15	1.588	13	1	1	10
61	28	2.889	24	3	1	20
62	17	1.445	16	1	0	14
63	15	2.101	7	7	1	5
64	18	2.898	16	2	0	15

1	2	3	4	5	6	7
65	18	3.946	13	4	1	12
66	15	1.755	11	1	3	12
67	12	1.031	10	2	0	7
68	15	1.588	13	1	1	10
69	28	2.889	24	3	1	20
70	17	1.445	16	1	0	14
71	15	2.101	7	7	1	5
72	18	2.898	16	2	0	15
73	17	1.445	16	1	0	14
74	15	2.101	7	7	1	5
75	18	2.898	16	2	0	15
Viso:	<b>1292</b>	<b>165321</b>	<b>1029</b>	<b>199</b>	<b>64</b>	<b>889</b>

Kaip matome iš 4 lentelės ir iš 4 pav. daugiausia transformatorių yra apkrauti iki 15 %.



4 pav. Transformatorių apkrautumas



Kad padidētu transformatorių apkrovimas ir sumažētu transformatorių tuščios eigos nuostoliai reikėtų pakeisti 68,8 % transformatorių į mažesnės galios transformatorius. Pakeitus transformatorius padidės transformatorių apkrautumas duomenys pateikti 5 lentelėje.

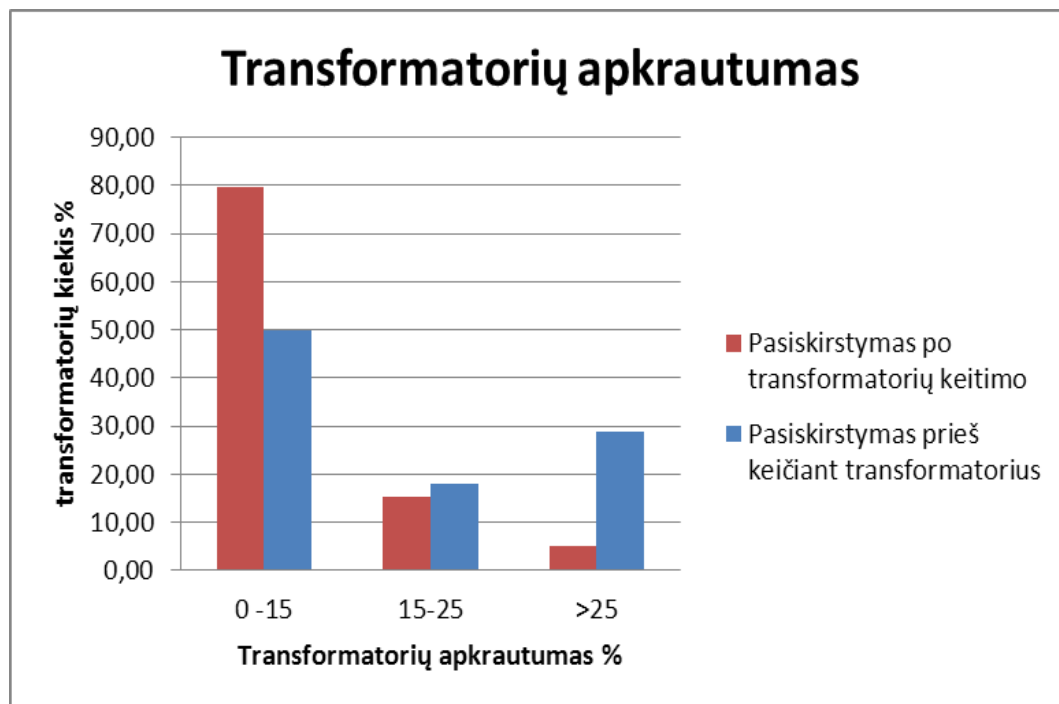
5 lentelė. 10-0,4kV transformatorių apkrautumas pakeitus galios transformatorius

Eil. Nr.	Tr. sk. linijoje	Transformatorių suminė galia	Transformatorių skaičius pagal apkrautumą vnt.			Transformatorių galios pokytis %	nuostoliai prieš	Nuostoliai po	pokytis %
			<15	15-25	>25				
1	2	3	4	5	6	9	10	11	12
1	18	1659	13	4	1	57,96	9.505	5.202	45,27
2	15	1611	11	1	3	8,21	8.573	5.808	32,26
3	12	346	10	2	0	66,44	2.559	1.318	48,51
4	15	530	13	1	1	66,62	4.228	1.954	53,79
5	28	1049	24	3	1	63,69	9.020	6.356	29,54
6	17	1055	16	1	0	26,99	6.442	4.874	24,34
7	15	1868	7	1	7	11,09	5.793	4.854	16,21
8	18	832	16	2	0	71,29	8.280	1.914	76,88
9	18	1659	13	4	1	57,96	9.505	5.202	45,27
10	15	1611	11	1	3	8,21	8.573	5.808	32,26
11	12	346	10	2	0	66,44	2.559	1.318	48,51
12	15	530	13	1	1	66,62	4.228	1.954	53,79
13	28	1049	24	3	1	63,69	9.020	6.356	29,54
14	17	1055	16	1	0	26,99	6.442	4.874	24,34
15	15	1868	7	1	7	11,09	5.793	4.854	16,21
16	18	832	16	2	0	71,29	8.280	1.914	76,88
17	18	1659	13	4	1	57,96	9.505	5.202	45,27
18	15	1611	11	1	3	8,21	8.573	5.808	32,26
19	12	346	10	2	0	66,44	2.559	1.318	48,51
20	15	530	13	1	1	66,62	4.228	1.954	53,79
21	28	1049	24	3	1	63,69	9.020	6.356	29,54

1	2	3	4	5	6	9	10	11	12
22	17	1055	16	1	0	26,99	6.442	4.874	24,34
23	15	1868	7	1	7	11,09	5.793	4.854	16,21
24	18	832	16	2	0	71,29	8.280	1.914	76,88
25	18	1659	13	4	1	57,96	9.505	5.202	45,27
26	15	1611	11	1	3	8,21	8.573	5.808	32,26
27	12	346	10	2	0	66,44	2.559	1.318	48,51
28	15	530	13	1	1	66,62	4.228	1.954	53,79
29	28	1049	24	3	1	63,69	9.020	6.356	29,54
30	17	1055	16	1	0	26,99	6.442	4.874	24,34
31	15	1868	7	1	7	11,09	5.793	4.854	16,21
32	18	832	16	2	0	71,29	8.280	1.914	76,88
33	18	1659	13	4	1	57,96	9.505	5.202	45,27
34	15	1611	11	1	3	8,21	8.573	5.808	32,26
35	12	346	10	2	0	66,44	2.559	1.318	48,51
36	15	530	13	1	1	66,62	4.228	1.954	53,79
37	28	1049	24	3	1	63,69	9.020	6.356	29,54
38	17	1055	16	1	0	26,99	6.442	4.874	24,34
39	15	1868	7	1	7	11,09	5.793	4.854	16,21
40	18	832	16	2	0	71,29	8.280	1.914	76,88
41	18	1659	13	4	1	57,96	9.505	5.202	45,27
42	15	1611	11	1	3	8,21	8.573	5.808	32,26
43	12	346	10	2	0	66,44	2.559	1.318	48,51
44	15	530	13	1	1	66,62	4.228	1.954	53,79
45	28	1049	24	3	1	63,69	9.020	6.356	29,54
46	17	1055	16	1	0	26,99	6.442	4.874	24,34
47	15	1868	7	1	7	11,09	5.793	4.854	16,21
48	18	832	16	2	0	71,29	8.280	1.914	76,88
49	18	1659	13	4	1	57,96	9.505	5.202	45,27

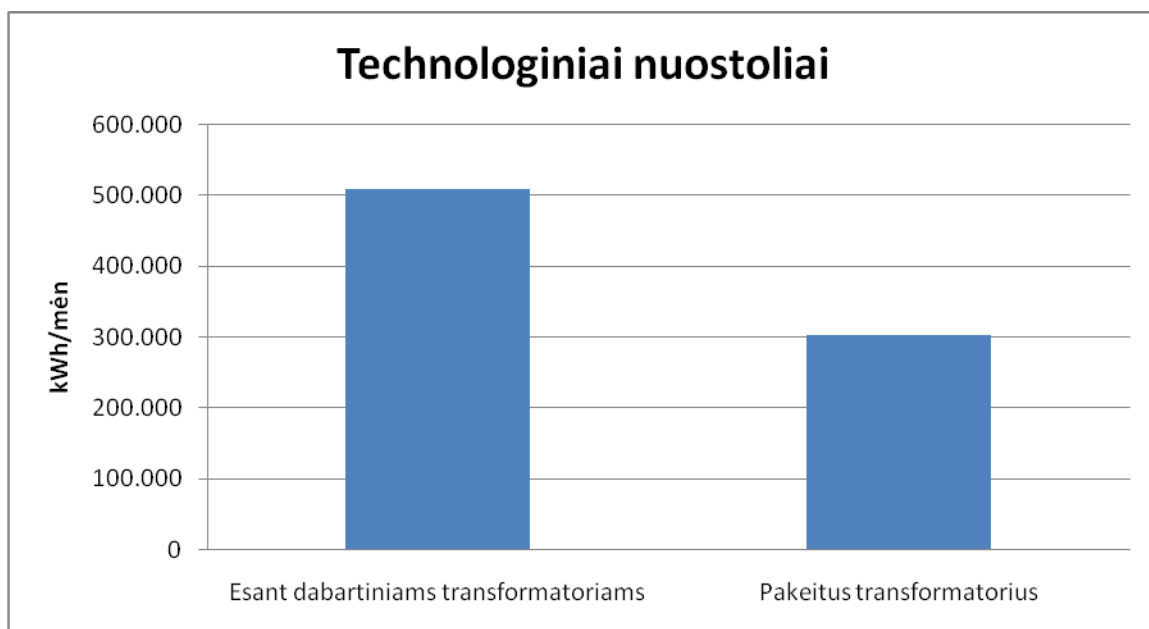
1	2	3	4	5	6	9	10	11	12
50	15	1611	11	1	3	8,21	8.573	5.808	32,26
51	12	346	10	2	0	66,44	2.559	1.318	48,51
52	15	530	13	1	1	66,62	4.228	1.954	53,79
53	28	1049	24	3	1	63,69	9.020	6.356	29,54
54	17	1055	16	1	0	26,99	6.442	4.874	24,34
55	15	1868	7	1	7	11,09	5.793	4.854	16,21
56	18	832	16	2	0	71,29	8.280	1.914	76,88
57	18	1659	13	4	1	57,96	9.505	5.202	45,27
58	15	1611	11	1	3	8,21	8.573	5.808	32,26
59	12	346	10	2	0	66,44	2.559	1.318	48,51
60	15	530	13	1	1	66,62	4.228	1.954	53,79
61	28	1049	24	3	1	63,69	9.020	6.356	29,54
62	17	1055	16	1	0	26,99	6.442	4.874	24,34
63	15	1868	7	1	7	11,09	5.793	4.854	16,21
64	18	832	16	2	0	71,29	8.280	1.914	76,88
65	18	1659	13	4	1	57,96	9.505	5.202	45,27
66	15	1611	11	1	3	8,21	8.573	5.808	32,26
67	12	346	10	2	0	66,44	2.559	1.318	48,51
68	15	530	13	1	1	66,62	4.228	1.954	53,79
69	28	1049	24	3	1	63,69	9.020	6.356	29,54
70	17	1055	16	1	0	26,99	6.442	4.874	24,34
71	15	1868	7	1	7	11,09	5.793	4.854	16,21
72	18	832	16	2	0	71,29	8.280	1.914	76,88
73	17	1055	16	1	0	26,99	6.442	4.874	24,34
74	15	1868	7	1	7	11,09	5.793	4.854	16,21
75	18	832	16	2	0	71,29	8.280	1.914	76,88
<b>Viso:</b>	<b>1292</b>	<b>84.305</b>	<b>1029</b>	<b>139</b>	<b>124</b>	<b>49</b>	<b>510.112</b>	<b>302.149</b>	<b>41</b>

Pakeitus transformatorius i optimalios galios transformatorius bendras tiriamų transformatorių apkrautumas būtų 18%.



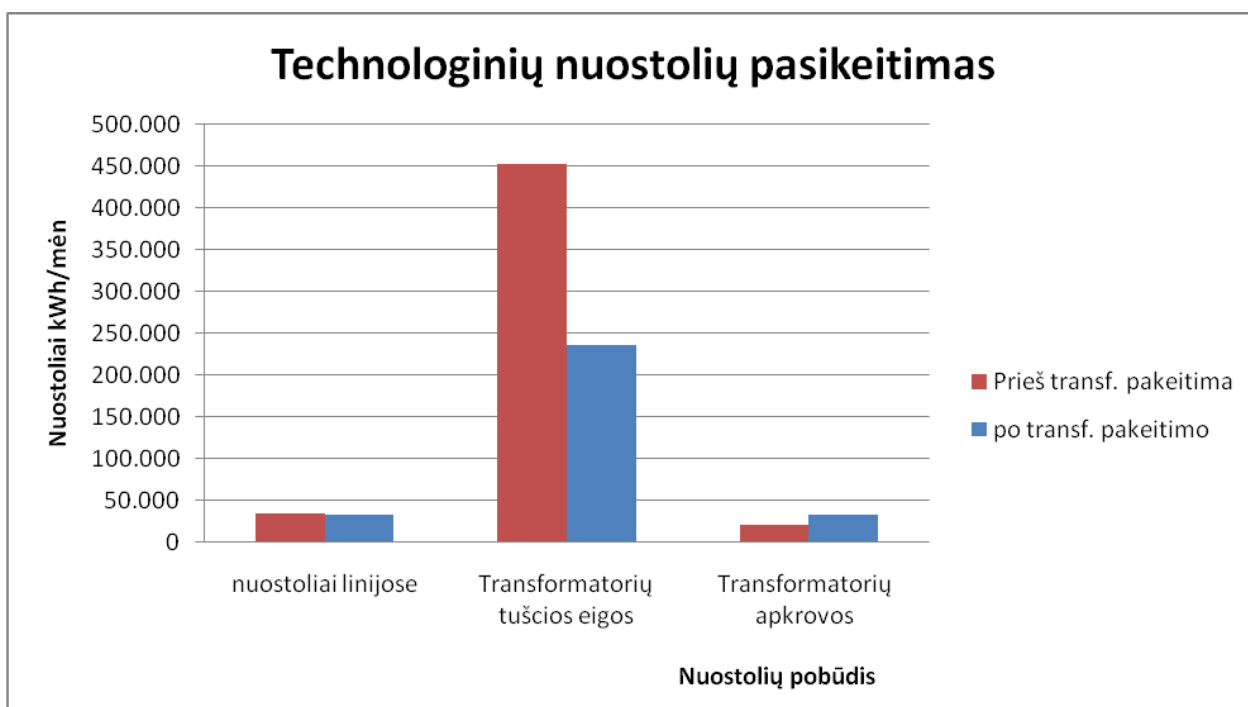
5 pav. Transformatorių apkrautumo palyginimas prieš ir po transformatorių keitimo

Su Excel sudarytąja programa perskaičiavau technologinius nuostolius. Paskaičiuoti nuostoliai nuo 510112 kWh/mėn. sumažėjo skaičiuojant su senaisiais transformatoriais iki 302249 kWh/mėn. nuostoliai sumažėjo 207863 kWh/mėn. kas sudaro 40,75%.



6 pav. Technologinių nuostolių palyginimas prieš ir po transformatorių keitimo

Technologiniai nuostoliai susideda iš trijų dalių: linijų nuostoliai, transformatorių tuščios eigos nuostoliai ir transformatorių apkrovos nuostoliai. Pakeitus neapkrautus transformatorius į optimaliai apkrautus visos nuostolių dalys pasikeičia. Linijų nuostoliai sumažėjo 2421 kWh/mėn. 6,5 %, transformatorių tuščios eigos nuostoliai sumažėjo daugiausiai 217027 kWh/ mėn. 47,86%, transformatorių apkrovos nuostoliai išaugo 11486 kWh/mėn. 54,25% (7. Pav).



7 pav. Technologinių nuostolių palyginimas prieš ir po transformatorių keitimo pagal nuostolių pobūdį.

## 7. NUOSTOLIŲ ELEKTROS TINKLUOSE ĮKAINOJIMAS

Elektros energetikos veiklos sąnaudos skirstomos pagal technologinius etapus: gamyba, tiekimas, perdavimas, įskaitant sisteminės ir viešuosius interesus atitinkančias paslaugas, ir skirstymas. Bendru atveju visiems vartotojams elektros energijos kaina susideda iš elektros energijos gamybos, tiekimo paslaugos, atitinkamai perdavimo, įskaitant sisteminės paslaugas ir viešuosius interesus atitinkančias paslaugas, ir skirstymo paslaugų, priklausomai nuo to, iš kurios įtampos tinklų vartotojas gauna elektros energiją, kainų ir skaičiuojama:

$$T_{\text{vid}(110,10,04)} = T_g + T_t + T_{110} + T_{10} + T_{04}, \quad (2.14)$$

čia  $T_{\text{vid}(110,10,04)}$  – vidutinė elektros energijos kaina vartotojams, gaunantiems elektros energiją atitinkamai iš perdavimo, skirstymo vidutinės įtampos ir skirstymo žemos įtampos tinklų, Lt/kWh;

$T_g$  – elektros energijos gamybos (pirkimo) kaina, Lt/kWh ;

$T_t$  – elektros energijos tiekimo (visuomeninio arba nepriklausomo) paslaugos kaina, Lt/kWh;

$T_{(110,10,04)}$  – atitinkamai elektros energijos perdavimo paslaugos, skirstymo paslaugos vidutinės įtampos tinklais ir skirstymo paslaugos žemos įtampos tinklais kainos, Lt/kWh.

Kadangi nagrinėjamame tinkle didžioji dalis yra buitiniai vartotojai priimsiu, kad visi vartotojai perka elektros energiją iš 0,4kV tinklo. Remiantis 2012m. elektros energijos kaina, kuri yra 0,46Lt/kWh apskaičiuosiu kiek dėl energijos nuostolių netenkama pinigų.

6 lentelė. Nagrinėjamo 10kV tinklo energijos nuostolių kaina, 2012 m.

	Nuostoliai prieš keičiant transformatorius	Nuostoliai po transformatorių keitimo
Energijos nuostoliai, kWh/mėn.	510112	302149
Nuostoliai, Lt/mėn.	234651	138988

Per vieną mėnesį sutaupytumėme 95662 Lt.

## IŠVADOS

10 kV skirstomojo tinklo nuostoliai tirtose linijose yra 17,24 %. Komerciniai nuostoliai susidarytu iš dviejų dalių, technologinės sąnaudos, kurios susidaro perdavimo linijose ir galios transformatoriuose, ir nuostoliai dėl žmonių nusikalstamų veiksmų.

Atlikus 10 kV linijų sąnaudų skaičiavimus nustatyta kad technologinės sąnaudos sudaro 9 % patiekto elektros energijos vartotojams. Technologines sąnaudas išskirsčius pagal jų atsiradimo pobūdį jos išsiskaidytu taip: linijų nuostoliai sudarytu 7 %, transformatorių apkrovos nuostoliai 4 % ir transformatorių tuščios eigos nuostoliai 89 %.

Atlikus transformatorių apkrovos skaičiavimus nustatyta, kad 79 % visų transformatorių dirba apkrauti iki 15 % , 15 % transformatorių apkrauti 15-25 % ir 5 % transformatorių dirba apkrauti virš 25 %.

Reikia pakeisti 889 galios transformatorius į mažesnės galios transformatorius. Pakeitus šiuos transformatorius technologiniai nuostoliai sumažėtų 40,75% tai yra 207863 kWh/mėn... Didžiausią įtaką nuostolių mažėjimui turi mažesnės galios transformatorių mažesni tuščios eigos nuostoliai.

## LITERATŪRA

1. The Operating Environment for Distribution Companies. Eurelectric, February 2005.  
Ref: 2004-233-0005.
2. Galios transformatorių elektros perdavimo ir kabelinių linijų elektros nuostolių apskaičiavimo metodika. Lietuvos energija . 2000-09-01.
3. Кушнарев Ф. А., Хлебников В. К. Методика экспресс-расчета потерь электроэнергии в сетях 0,4 кВ. - Электрические станции, 2002, No. 9.
4. PUKYS, Povilas; STONYŠ, Jonas; VIRBALIS, Arvydas. *Teorinė elektrotechnika*. Kaunas, 2004. 316 p.
5. M. KACMANAS. *Elektros mašinos ir transformatoriai*. Vilnius, 1969
6. [www.lesto.lt](http://www.lesto.lt)
7. A. Sabaliauskas, A. Mingailienė, D. Čikotienė. Magistro baigiamojo darbo rengimo metodiniai nurodymai. Šiauliai, 2010