

ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS  
TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS  
ELEKTROS INŽINERIJOS KATEDRA

Lukas Zavadzkis

SKIRSTOMŲJŲ TINKLŲ GALIOS NUOSTOLIŲ SKAIČIAVIMO  
METODŲ PALYGINIMAS

Magistro darbas

**Vadovas**

doc. dr. Z. Turauskas

ŠIAULIAI, 2005

ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS  
TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS  
ELEKTROS INŽINERIJOS KATEDRA

**TVIRTINU**

Katedros vedėjas

\_\_\_\_\_ doc. dr. T. Šimkevičius

2005 06

SKIRSTOMŲJŲ TINKLŲ GALIOS NUOSTOLIŲ SKAIČIAVIMO  
METODŲ PALYGINIMAS

Magistro darbas

**Vadovas**

\_\_\_\_\_ doc. dr. Z. Turauskas

2005 06

**Atliko**

EM3 gr. stud.

**Recenzentas**

\_\_\_\_\_ doc. dr. T. Šimkevičius

2005 06

\_\_\_\_\_ L. Zavadzkis

2005 06 06

ŠIAULIAI, 2005

## SUMMARY

**L. Zavadzkis. Comparison of calculation methods  
for distribution network power losses. Master thesis.  
Supervisor – associated prof. Z. Turauskas. ŠU. Šiauliai. 2005.**

Calculation methods of electric power loss in 10 kV distribution network were analyzed in this study. It was examined what influence to power loss calculations has the cable resistance dependency on temperature and cable load. Voltage losses dependency on step-down transformer load, active and reactive power coefficients  $\cos\phi$  and  $\sin\phi$  was also an object of this research. It was intended to analyze comparative power loss dependences for various cross-section 10 kV cables too. Electric power loss calculations according to average load current are made for the real distribution network. Calculation results are summarized and presented in tables and diagrams.

## TURINYS

ĮVADAS .....	5
1. Skirstomųjų elektros tinklų charakteristika .....	6
2. Galios nuostolių ir technologinių sąnaudų apžvalga .....	9
3. Varžos parametrų kitimo įtaka galios nuostolių skaičiavimų tikslumui .....	14
4. Technologinių sąnaudų skaičiavimo ir matavimo metodų apžvalga.....	29
4.1 Galios nuostolių skaičiavimas pagal įtampos nuostolius .....	29
4.2 Elektros energijos nuostolių skaičiavimas pagal AB „Lietuvos energija“ metodiką .....	35
4.3 Energijos nuostolių skaičiavimas pagal tipinę metodiką.....	38
5. Santykinių galios nuostolių kabeliuose skaičiavimas.....	40
6. Galios bei elektros energijos nuostolių skaičiavimas pagal vidutinę apkrovos srovę.....	56
IŠVADOS.....	67
LITERATŪRA .....	68

## IVADAS

Pagrindinis energetinės sistemos funkcionavimo rodiklis yra jos darbo ekonominis efektyvumas. Galima analizuoti daugelį ekonominio efektyvumo energetinėje sistemoje aspektų. Tai ir optimali energijos generacija elektrinėse, optimalus galių pasiskirstymas elektros perdavimo sistemoje, tai ir techninės priemonės nuostolių mažinimui, energetinės sistemos atnaujinimas bei daugelis kitų veiksmingų būdų, kaip užtikrinti energetinės sistemos darbo ekonominį efektyvumą, taikymas. Ekonominėje analizėje labai svarbu kuo tiksliau nustatyti nuostolius elektros perdavimo sistemoje. Tik įsisavinus ir įsigilinus į nuostolių poveikį ekonominiam sistemos darbui, galima nustatyti ir priimti sprendimus ekonominio efektyvumo didinimo srityje [1].

Šiuo metu energetikoje keliami vis didesni reikalavimai sistemos galios nuostolių nustatymui. Kyla sunkumai dėl apskaitos duomenų tikslumo ir patikimumo. Bet kokie galios nuostolių matavimai sukelia galimybę atsirasti reikšmingoms paklaidoms, susietoms su netiesioginiais galios nuostolių matavimais. Dėl to negali būti pasiektas reikalingas rodmenų tikslumas. Šią susidariusią problemą reikia spręsti.

Nors panašiomis temomis yra atlikta daug darbų, tačiau galios bei elektros energijos nuostolių skaičiavimo ir mažinimo priemonės yra aktuali tema ir šiomis dienomis.

Tiriamąjį darbo tikslas – analizuoti 10 kV skirstomojo tinklo galios bei elektros energijos nuostolių skaičiavimo metodus bei nustatyti optimaliausią variantą.

Nagrinėjant galios bei elektros energijos nuostolių skaičiavimo metodus, siekiama išsiaiškinti ir analizuoti:

- kokią įtaką galios nuostolių skaičiavimui turi kabelių varžos priklausomybė nuo temperatūros bei kabelių apkrovos;
- įtampos nuostolių priklausomybę nuo žeminančiojo transformatoriaus apkrovos ir nuo aktyvios bei reaktyvios galios koeficientų  $\cos \varphi$  ir  $\sin \varphi$ ;
- įvairių skerspjuvių 10 kV kabelių santykinę galios nuostolių priklausomybes;
- elektros energijos nuostolių skaičiavimą pagal vidutinę apkrovos srovę realiame skirstomajame tinkle.

Skaičiavimų rezultatai apibendrinami ir pateikiami lentelėse bei grafikuose.

## 1. SKIRSTOMŪJŲ 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.

2001 m. užbaigta Lietuvos elektros energetikos ūkio reforma. Nuo 2002 m. sausio 1 d. pradėjo veikti naujai įsteigtos akcinės bendrovės: „Lietuvos elektrinė“, „Mažeikių elektrinė“, „Rytų skirstomieji tinklai“ ([www.rst.lt](http://www.rst.lt)), „Vakarų skirstomieji tinklai“ ([www.vest.lt](http://www.vest.lt)), veiklą tęsia akcinė bendrovė „Lietuvos energija“ ([www.lpc.lt](http://www.lpc.lt)).

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 sekcijonuotų 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 centruose 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 elektra 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 transformatorinių 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 tinklą maitinančių 110/10 kV, 110/35/10 kV ir 35/10 kV transformatorinių buvo pastatytos prieš 25 ir daugiau metų, ir jose taip pat reikia atlikti rekonstrukcijos darbus, keičiant pasenusius įrengimus naujais.



## 2. GALIOS NUOSTOLIŲ IR TECHNOLOGINIŲ SĄNAUDŲ APŽVALGA

Kuro ir energetinių išteklių racionalaus panaudojimo problemos šiuo metu yra vienos iš aktualiausių. Technologinių sąnaudų elektros tinkluose mažinimas yra svarbi dedamoji taupant elektros energiją. Elektros energija yra vienintelė iš produkcijos rūšių, kurios transportavimui sunaudojama tam tikra dalis pačios produkcijos. Vienas iš elektros energijos skirstymo uždavinių yra optimalus elektros energijos sąnaudų nustatymas. Vien tik žemas galios nuostolių lygis negali nusakyti energetikos sistemos efektyvumo. Todėl elektros energijos technologinių sąnaudų mažinimas turi būti techniškai ir finansiškai pagrįstas, o ne savitiksliis uždavinys [2].

Energetikoje kyla vis didesni reikalavimai nustatant sistemos galios nuostolius. Kyla sunkumai apskaitoje ir kontrolėje dėl apskaitos rodmenų tikslumo ir patikimumo, nes jie yra nepakankami.

Bet koks galios nuostolių matavimas sukelia galimybę atsirasti reikšmingoms paklaidoms, susijusioms su netiesioginiu galios nuostolių matavimu. Dėl to negali būti pasiektas reikalingas rodmenų tikslumas. Be to, tikslumą įtakoja ir per mažas apskaitos prietaisų skaičius elektros energijos tiekimo sistemoje. Vadinasi, yra būtini dideli kapitaliniai įdėjimai didinant apskaitos prietaisų skaičių. O kai kuriais atvejais prietaisų įrengimas yra ypač apsunkintas dėl apskaitos prietaisų gabaritų.

Elektros energijos galios nuostolių skaičiavimas pagal klasikinės išraiškas yra apsunkintas dėl informacijos trūkumo, nes skirstomuosiuose tinkluose duomenys fiksuojami tik pagrindiniuose tinklo mazguose.

Šiuo metu faktiniai aktyviosios galios nuotoliai linijoje nustatomi kaip skirtumai pakankamai artimų reikšmių, t. y. apskaitos prietaisų parodymų skirtumas tarp linijos pradžios ir linijos galo. Pilnutiniai faktiniai nuostoliai susideda iš techninių (apibendrintų fizikiniais procesais, vykstančiais elektros tinklo grandinėse perduodant elektros energiją) ir komercinių dedamųjų. Komerciniai nuostoliai susideda iš: apskaitos prietaisų matavimų paklaidos, pavogtos elektros energijos, nevienalaikio rodmenų nuskaitymo [4].

Leistini elektros energijos praradimai dėl komercinės apskaitos netikslumų ir paklaidų yra nustatomi pagal matavimo prietaisų, tai yra matavimo transformatorių tikslumo klases bei įtampos kritimą antrinėje įtampos matavimo transformatoriaus grandinėje, kurie neturi viršyti pusės įtampos transformatoriaus tikslumo klasės [2].

Leistingosios įtampos transformatorių matavimo paklaidos sutampa su jų tikslumo klase, nes tinklo įtampa artima vardinei, o srovės transformatorių ir energijos skaitiklių tikslumo klasės priklauso nuo jų apkrovos. Mažų srovių atveju būtina vertinti ir srovės transformatorių antrinės srovės kampo pasikeitimą.

Leistinieji elektros energijos praradimai procentais dėl matavimo paklaidų rodmenų didėjimo ir mažėjimo kryptimis konkrečiam objektui (transformatorinei pastotei, elektros tinklui ir pan.) apskaičiuojamos pagal tokias išraiškas:

$$W_{p.metr}^+ = \sqrt{\sum_{i=1}^{k_g} \delta_{+i}^2 \cdot \frac{d_{gi}^2}{n_{gi}} \cdot (1 + \gamma_{gi}^2) + \sum_{i=1}^{k_p} \delta_{+i}^2 \cdot \frac{d_{pi}^2}{n_{pi}} \cdot (1 + \gamma_{pi}^2)} ; \quad (2.1)$$

$$W_{p.metr}^- = -W_{p.metr}^+ - \sum_{i=1}^k \delta_{si} d_{psi} + 0,5 \cdot \left( \sum_{i=1}^{n_g} \delta_{TVi} \cdot d_i - \sum_{i=1}^{n_p} \delta_{TVi} \cdot d_i \right); \quad (2.2)$$

čia:  $d_{gi}$ ,  $d_{pi}$  – suminis santykinis gaunamos ir patiekiamos elektros energijos srautas, užfiksuotas  $i$ -tosios grupės skaitikliais;  $n_{gi}$ ,  $n_{pi}$  – gaunamą ir patiekiamą energiją fiksuojančių skaitiklių skaičius;  $\delta_+$ ,  $\delta_-$  – leistinos matavimo grandinės (įtampos transformatorius, srovės transformatorius ir skaitiklis) paklaidos parodymų didėjimo ir mažėjimo kryptimi;  $\delta_{si}$  – kai kurių skaitiklių sisteminė matavimo paklaida rodmenų mažėjimo kryptimi, kuri ypač būdinga senstant indukciniais vienfaziams ir trifaziams skaitikliams;  $\gamma_{gi}$ ,  $\gamma_{pi}$  – gaunamos ir patiekiamos energijos skaitiklių parodymų išsibarstymo koeficientai.

Šie praradimai gali būti nustatyta eksperimentiškai, atsižvelgiant į skaitiklių apkrovos dydį ir trukmę. Remiantis eksperimentiniais duomenimis su 95 % tikimybe, galima teigti, kad vienfazių skaitiklių paklaida prie 10 % apkrovos bus intervale nuo -2,5 iki -12,9 %, o prie 100 % apkrovos nuo +0,5 iki -3,1 %. Trifazių skaitiklių paklaida prie 10 % apkrovos bus intervale nuo +0,7 iki -3,7 %, o prie 100 % apkrovos – nuo +0,9 iki -1,1 % [2].

Faktiniai elektros energijos nuostoliai Rusijos elektros tinkluose (tarp paduotos elektros energijos į tinklą ir suvartotos) sudaro 13,1 %. Apie 27 % šių nuostolių sudaro komerciniai ir atitinkamai 73 % – techniniai. Įvairių Rusijos regioninių elektros energijos tiekimo kompanijų faktinių nuostolių analizė parodė, kad nuostolių ribos yra nuo 6 iki 30 %.

Pagal tarptautinius ekspertus faktiniai elektros energijos perdavimo nuostoliai neturi viršyti 4–5 %. Šitokios ribos yra JAV, Suomijoje, Vokietijoje. Maksimali leistina nuostolių reikšmė (fizikos požiūriu) energijos perdavimo linijose gali siekti 10 %. Kaip tik tokios eilės energijos nuostoliai yra Šveicarijoje, Danijoje, Švedijoje, Norvegijoje, Čekijoje, Slovakijoje.

10 % ribos viršijimas liudija, kad didžiulę įtaka faktiniams nuostoliams turi komercinių nuostolių dedamoji. Be Rusijos Federacijos tokio lygio nuostolius patiria Lotynų Amerikos šalys (Brazilija, Argentina), o taip pat keletas rytų Europos valstybių (Lenkija, Vengrija, Serbija) ir NVS šalys. Būtinai energijos nuostolių mažinimas (nors iki 10 %) yra akivaizdus.

Apibendrinant Rusijos patirtį įdiegiant priemones dėl elektros energijos nuostolių mažinimo parodė, kad apčiuopiamą efektą duoda tik tos priemonės, kurios reikalauja didelių investicijų, o reikalaujančios mažų investicijų – realiai leidžia tik neviršyti esamų nuostolių.

Tai liudija kitų šalių patirtis. Pavyzdžiui, Vokietijoje dešimties metų laikotarpyje (1990 - 2000 m.) elektros energijos kompanijos kasmet investuodavo į elektros tinklų rekonstrukciją ir modernizaciją nuo 2,5 iki 4 milijardų eurų. Taip buvo pasiekta, kad 2000 m. energijos nuostoliai buvo sumažinti iki 4,3 % (1990 m. energijos nuostoliai vakarų Vokietijoje buvo 4,7 %, o rytų – 8,2 %).

Lietuvos skirstomųjų tinklų elektros energijos nuostoliai procentais nuo suvartotos energijos pateikiami 2.1 lentelėje [2].

Atskiruose Lietuvos regionuose 2004 metų elektros energijos perdavimo nuostoliai pasiskirsto taip: Šiaulių – 8,9 %; Kauno – 14,36 %; Vilniaus – 13,12 % [5].

Iš 2.3 ir 2.4 formulių akivaizdu, kad galios nuostoliai yra sudedamoji elektros energijos sąnaudų dalis:

$$W_n = \sum_{i=1}^n P_{ni} \cdot t_i ; \quad (2.3)$$

$$P_n = I^2 \cdot R_l ; \quad (2.4)$$

čia:  $W_n$  – elektros energijos nuostoliai,  $kWh$ ;  $P_{ni}$  – galios nuostoliai per  $i$  – ajį intervalą,  $kW$ ;  $t_i$  –  $i$  – ojo intervalo laikas,  $h$ ;  $I$  – srovė,  $A$ ;  $R_l$  – linijos varža,  $\Omega$ .

Toliu būdu, žinant galios nuostolius galima skaičiuoti elektros energijos nuostolius (technologines sąnaudas).

## 2004 m. Lietuvos elektros energijos nuostoliai

<b>Energijos nuostoliai</b>	<b>%</b>
Pastovūs energijos nuostoliai 110/10 kV transformatoriuose	0,53
Kintantys energijos nuostoliai 110/10 kV transformatoriuose	0,09
Pastovūs energijos nuostoliai 110/35/10 kV transformatoriuose	0,40
Kintantys energijos nuostoliai 110/35/10 kV transformatoriuose	0,06
Pastovūs energijos nuostoliai 35/10 kV transformatoriuose	0,24
Kintantys energijos nuostoliai 35/10 kV transformatoriuose	0,04
Energijos nuostoliai savųjų reikmių įrenginiuose	0,07
Energijos nuostoliai 35 kV linijose ir kabeliuose	0,07
Energijos nuostoliai 6-10 kV linijose ir kabeliuose	0,54
Energijos praradimai 6-10 kV linijose dėl įžemėjimų	0,02
<b>Energijos nuostoliai vidutinės įtampos tinkluose</b>	<b>2,06</b>
Pastovūs energijos nuostoliai 6-10/0,4 kV transformatoriuose	2,58
Kintantys energijos nuostoliai 6-10/0,4 kV transformatoriuose	1,06
Energijos nuostoliai 0,4 kV linijose ir kabeliuose	1,35
Energijos nuostoliai 0,4 kV kontaktuose	0,10
Energijos nuostoliai buitinių vartotojų tinkluose	0,01
Energijos nuostoliai matavimo grandinėse	0,50
Energijos praradimai 0,4 kV linijose dėl trūkusių laidų	0,005
<b>Energijos nuostoliai žemos įtampos tinkluose</b>	<b>5,60</b>
<b>Vidutiniai suminiai energijos nuostoliai</b>	<b>7,66</b>
Elektros energijos praradimai dėl matavimo paklaidų (-)	0,60
Elektros energijos praradimai dėl matavimo paklaidų (+)	3,50
<b>Maksimaliūs metiniai energijos nuostoliai</b>	<b>12,08</b>

10 kV skirstomojo tinklo energijos nuostolių palyginimui pateikiami Akmenės miesto atskirų linijų elektros energijos nuostoliai procentais nuo suvartotos energijos 2.2 lentelėje [5].

## Metiniai elektros energijos nuostoliai

<b>Linija</b>	<b>Energijos nuostoliai</b>	<b>%</b>
AK-1	Energijos nuostoliai 10 kV linijoje	0,224
	Tuščios veikos energijos nuostoliai 10/35 kV transformatoriuje	2,574
	Trumpo jungimo energijos nuostoliai 10/35 kV transformatoriuje	0,409
	Vidutiniai suminiai energijos nuostoliai	3,207
AK-2	Energijos nuostoliai 10 kV linijoje	1,355
	Tuščios veikos energijos nuostoliai 10/35 kV transformatoriuje	2,748
	Trumpo jungimo energijos nuostoliai 10/35 kV transformatoriuje	0,375
	Vidutiniai suminiai energijos nuostoliai	4,478
AK-3	Energijos nuostoliai 10 kV linijoje	0,167
	Tuščios veikos energijos nuostoliai 10/35 kV transformatoriuje	16,244
	Trumpo jungimo energijos nuostoliai 10/35 kV transformatoriuje	0,061
	Vidutiniai suminiai energijos nuostoliai	16,473
AK-4	Energijos nuostoliai 10 kV linijoje	0,005
	Tuščios veikos energijos nuostoliai 10/35 kV transformatoriuje	58,475
	Trumpo jungimo energijos nuostoliai 10/35 kV transformatoriuje	0,011
	Vidutiniai suminiai energijos nuostoliai	58,491

### 3. VARŽOS PARAMETRŲ KITIMO ĮTAKA GALIOS NUOTOLIŲ SKAIČIAVIMŲ TIKSLUMUI

Šiuo metu literatūroje pateiktoje galios nuostolių skaičiavimo metodikoje nėra įvertinama kabelių varžos priklausomybė nuo temperatūros, kuri keičiasi kintant kabelio apkrovai. Todėl buvo siekiama išsiaiškinti, kokią įtaką galios nuostolių skaičiavimams turi kabelių varžos priklausomybė nuo kabelio apkrovos.

Skaičiavimai buvo atliekami vienai fazei ir 1 m ilgio aliumininiam bei variniam kabeliui paklotam žemėje.

Kabelio varžos priklausomybė nuo temperatūros randama pagal šią išraišką:

$$R_k = \frac{\rho \cdot (1 + \alpha \cdot (\tau_g - \tau_0)) \cdot l}{S_s}; \quad (3.1)$$

čia:  $R_k$  – kabelio varža,  $\Omega$ ;  $\rho$  – savitoji elektrinė varža,  $\Omega \cdot m$ ;  $\alpha$  – temperatūrinis varžos koeficientas,  $K^{-1}$ ;  $\tau_g$  – kabelio temperatūra,  $^{\circ}C$ ;  $\tau_0$  – savitosios elektrinės varžos temperatūra ( $20^{\circ}C$ ),  $^{\circ}C$ ;  $S_s$  – kabelio skerspjūvio plotas,  $m^2$ ;  $l$  – kabelio ilgis ( $l=1m$ ),  $m$ .

Galios nuostoliai vienai fazei apskaičiuojami naudojant šią formulę:

$$P_n = I^2 \cdot R_k; \quad (3.2)$$

čia:  $P_n$  – vienos fazės galios nuostoliai,  $W$ ;  $I$  – srovė,  $A$ .

Šiluminio laidumo koeficiento radimui panaudojama Niutono formulė:

$$P_n = k_l \cdot S \cdot (\tau_g - \tau_0'); \quad (3.3)$$

čia:  $k_l$  – šiluminio laidumo koeficientas,  $W/m^2 \cdot ^{\circ}C$ ;  $S$  – kabelio šoninis paviršiaus plotas,  $m^2$ ;  $\tau_0'$  – žemės temperatūra,  $^{\circ}C$ .

Panaudojus 3.1, 3.2 ir 3.3 formules gaunama ši išraiška:

$$k_l = \frac{I^2 \cdot \rho \cdot (1 + \alpha \cdot (\tau_g - \tau_0)) \cdot l}{S_s \cdot S \cdot (\tau_g - \tau_0')}$$

(3.4)

Skaičiuojant  $k_l$  priimama  $\tau_g=60\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\tau_0=20\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\tau_0'=15\text{ }^\circ\text{C}$  ir vardinę kabelio srovę.

Koeficientas  $k_l$  priimamas *const.* Pagal išraišką, kuri gaunama iš 3.1, 3.2 ir 3.3 formulių, randamos kabelio temperatūros prie įvairių apkrovų:

$$\tau_g = \frac{I^2 \cdot \rho \cdot (1 - 20 \cdot \alpha) + 15k_l \cdot S \cdot S_s}{k_l \cdot S \cdot S_s - I^2 \cdot \alpha \cdot \rho} \quad (4.5)$$

Eksperimentinių skaičiavimų rezultatai aliumininiam kabeliui pateikiami 3.1 lentelėje, variniam – 3.2 lentelėje.

3.1 lentelė

Skaičiavimo rezultatai aliumininiam kabeliui

S, mm <sup>2</sup>	I <sub>v</sub> , A	0,75I <sub>v</sub> , A	0,5I <sub>v</sub> , A	0,25I <sub>v</sub> , A	τ <sub>v</sub> , °C	τ <sub>0,75v</sub> , °C	τ <sub>0,5v</sub> , °C	τ <sub>0,25v</sub> , °C	P <sub>n</sub> , W	k <sub>l</sub> , W/m <sup>2</sup> ·°C	R <sub>k</sub> , Ω
240	355	266,25	177,5	88,75	60	38,209	24,737	17,355	15,491	6,268	1,229x10 <sup>-4</sup>
185	310	232,5	155	77,5	60	38,209	24,737	17,355	15,324	7,063	1,595x10 <sup>-4</sup>
150	275	206,25	137,5	68,75	60	38,209	24,737	17,355	14,873	7,613	1,967x10 <sup>-4</sup>
120	240	180	120	60	60	38,209	24,737	17,355	14,16	8,103	2,458x10 <sup>-4</sup>
95	205	153,75	102,5	51,25	60	38,209	24,737	17,355	13,05	8,393	3,105x10 <sup>-4</sup>

3.2 lentelė

Skaičiavimo rezultatai variniam kabeliui

S, mm <sup>2</sup>	I <sub>v</sub> , A	0,75I <sub>v</sub> , A	0,5I <sub>v</sub> , A	0,25I <sub>v</sub> , A	τ <sub>v</sub> , °C	τ <sub>0,75v</sub> , °C	τ <sub>0,5v</sub> , °C	τ <sub>0,25v</sub> , °C	P <sub>n</sub> , W	k <sub>l</sub> , W/m <sup>2</sup> ·°C	R <sub>k</sub> , Ω
240	460	345	230	115	60	38,297	24,797	17,373	16,533	6,69	7,813x10 <sup>-5</sup>
185	400	300	200	100	60	38,297	24,797	17,373	16,218	7,475	1,014x10 <sup>-4</sup>
150	355	266,25	177,5	88,75	60	38,297	24,797	17,373	15,755	8,064	1,25x10 <sup>-4</sup>
120	310	232,5	155	77,5	60	38,297	24,797	17,373	15,017	8,594	1,563x10 <sup>-4</sup>
95	265	198,75	132,5	66,25	60	38,297	24,797	17,373	13,862	8,915	1,974x10 <sup>-4</sup>

Panaudojus 3.1 ir 3.2 formules gaunama galios nuostolių išraiška, kurioje įvertinta kabelio temperatūra ir apkrova:

$$P_n = \frac{I^2 \cdot \rho \cdot (1 + \alpha \cdot (\tau_g - \tau_0)) \cdot l}{S_s}. \quad (3.6)$$

Eksperimentiniai skaičiavimai atliekami:

- kai kabelio temperatūra priklauso nuo apkrovos;
- kai kabelio temperatūra pastovi, o apkrova kinta.

Gauti duomenys aliumininiam kabeliui pateikiami 3.3 lentelėje, variniam – 3.4 lentelėje.



Aliuminio kabelio temperatūros priklausomybė nuo apkrovos

	$S=240, m^2; I_V=355, A$		$S=185, m^2; I_V=310, A$		$S=150, m^2; I_V=275, A$		$S=120, m^2; I_V=240, A$		$S=95, m^2; I_V=205, A$	
$I/I_V$	$\tau,$ $^{\circ}C$	$P_n,$ $W$	$\tau,$ $^{\circ}C$	$P_n,$ $W$	$\tau,$ $^{\circ}C$	$P_n,$ $W$	$\tau,$ $^{\circ}C$	$P_n,$ $W$	$\tau,$ $^{\circ}C$	$P_n,$ $W$
1	60	15,491	60	15,324	60	14,783	60	14,16	60	13,05
0,75	38,209	7,989	38,209	7,903	38,209	7,671	38,209	7,303	38,209	6,731
0,5	24,737	3,352	24,737	3,316	24,737	3,218	24,737	3,064	24,737	2,824
0,25	17,355	0,811	17,355	0,802	17,355	0,778	17,355	0,741	17,355	0,683
$I/I_V$	$\tau=const,$ $^{\circ}C$	$P_n,$ $W$	$\tau=const,$ $^{\circ}C$	$P_n,$ $W$	$\tau=const,$ $^{\circ}C$	$P_n,$ $W$	$\tau=const,$ $^{\circ}C$	$P_n,$ $W$	$\tau=const,$ $^{\circ}C$	$P_n,$ $W$
0,75	60	8,713	60	8,62	60	8,366	60	7,965	60	7,341
0,5	60	3,873	60	3,831	60	3,718	60	3,54	60	3,262
0,25	60	0,968	60	0,958	60	0,93	60	0,885	60	0,816

Varinio kabelio temperatūros priklausomybė nuo apkrovos

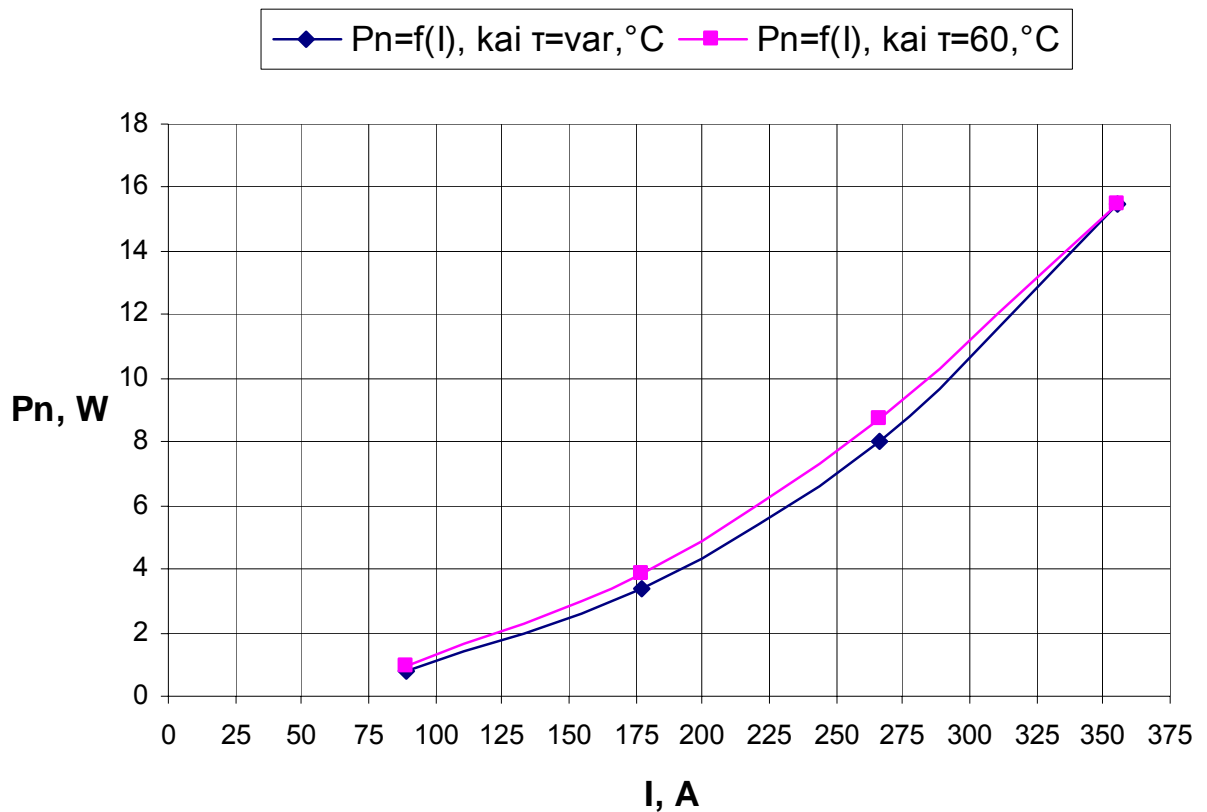
	<b>S=240, m<sup>2</sup>; I<sub>V</sub>=460, A</b>		<b>S=185, m<sup>2</sup>; I<sub>V</sub>=400, A</b>		<b>S=150, m<sup>2</sup>; I<sub>V</sub>=355, A</b>		<b>S=120, m<sup>2</sup>; I<sub>V</sub>=310, A</b>		<b>S=95, m<sup>2</sup>; I<sub>V</sub>=265, A</b>	
<b>I/I<sub>V</sub></b>	<b>τ,</b> <b>°C</b>	<b>P<sub>n</sub>,</b> <b>W</b>	<b>τ,</b> <b>°C</b>	<b>P<sub>n</sub>,</b> <b>W</b>	<b>τ,</b> <b>°C</b>	<b>P<sub>n</sub>,</b> <b>W</b>	<b>τ,</b> <b>°C</b>	<b>P<sub>n</sub>,</b> <b>W</b>	<b>τ,</b> <b>°C</b>	<b>P<sub>n</sub>,</b> <b>W</b>
<b>1</b>	60	16,533	60	16,218	60	15,755	60	15,017	60	13,862
<b>0,75</b>	38,297	8,559	38,297	8,396	38,297	8,156	38,297	7,775	38,297	7,176
<b>0,5</b>	24,797	3,599	24,797	3,531	24,797	3,43	24,797	3,269	24,797	3,018
<b>0,25</b>	17,373	0,872	17,373	0,855	17,373	0,831	17,373	0,792	17,373	0,731
<b>I/I<sub>V</sub></b>	<b>τ=const,</b> <b>°C</b>	<b>P<sub>n</sub>,</b> <b>W</b>	<b>τ=const,</b> <b>°C</b>	<b>P<sub>n</sub>,</b> <b>W</b>	<b>τ=const,</b> <b>°C</b>	<b>P<sub>n</sub>,</b> <b>W</b>	<b>τ=const,</b> <b>°C</b>	<b>P<sub>n</sub>,</b> <b>W</b>	<b>τ=const,</b> <b>°C</b>	<b>P<sub>n</sub>,</b> <b>W</b>
<b>0,75</b>	60	9,3	60	9,123	60	8,862	60	8,447	60	7,797
<b>0,5</b>	60	4,133	60	4,054	60	3,939	60	3,754	60	3,465
<b>0,25</b>	60	1,033	60	1,014	60	0,985	60	0,939	60	0,866

Skaičiavimo rezultatai pateikiami 3.5 – 3.14 lentelėse. Pagal skaičiavimo rezultatus galios nuostolių priklausomybė nuo srovės,  $P_n=f(I)$ , vaizduojama grafiškai (žr. 3.1 – 3.10 paveikslus).

3.5 lentelė

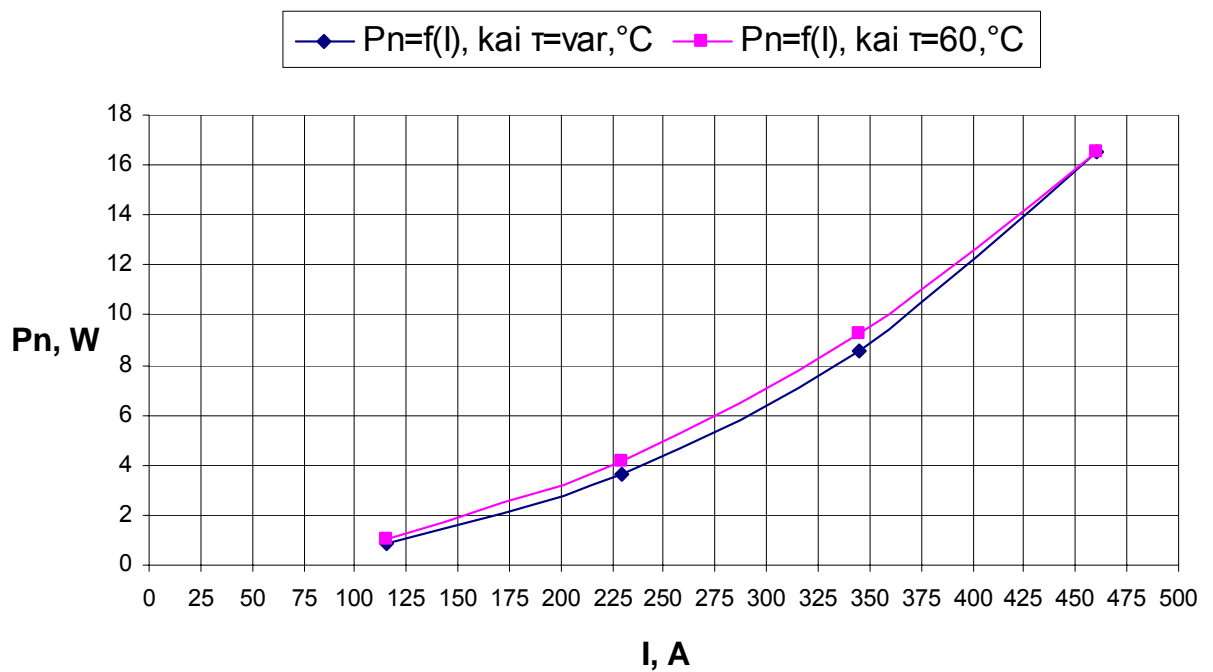
10 kV 240 mm<sup>2</sup> aliumininis kabelis

$I_V, A$	355	266,25	177,5	88,75
$I_V, \%$	100	75	50	25
$P_n, W$ (kai $\tau=60, ^\circ C$ )	15,491	8,713	3,873	0,968
$P_n, W$ (kai $\tau=var, ^\circ C$ )	15,491	7,989	3,352	0,811
$\Delta P, \%$	0	8,3	13,45	16,21

3.1 pav. 10 kV 240 mm<sup>2</sup> aliumininio kabelio  $P_n=f(I)$  priklausomybė

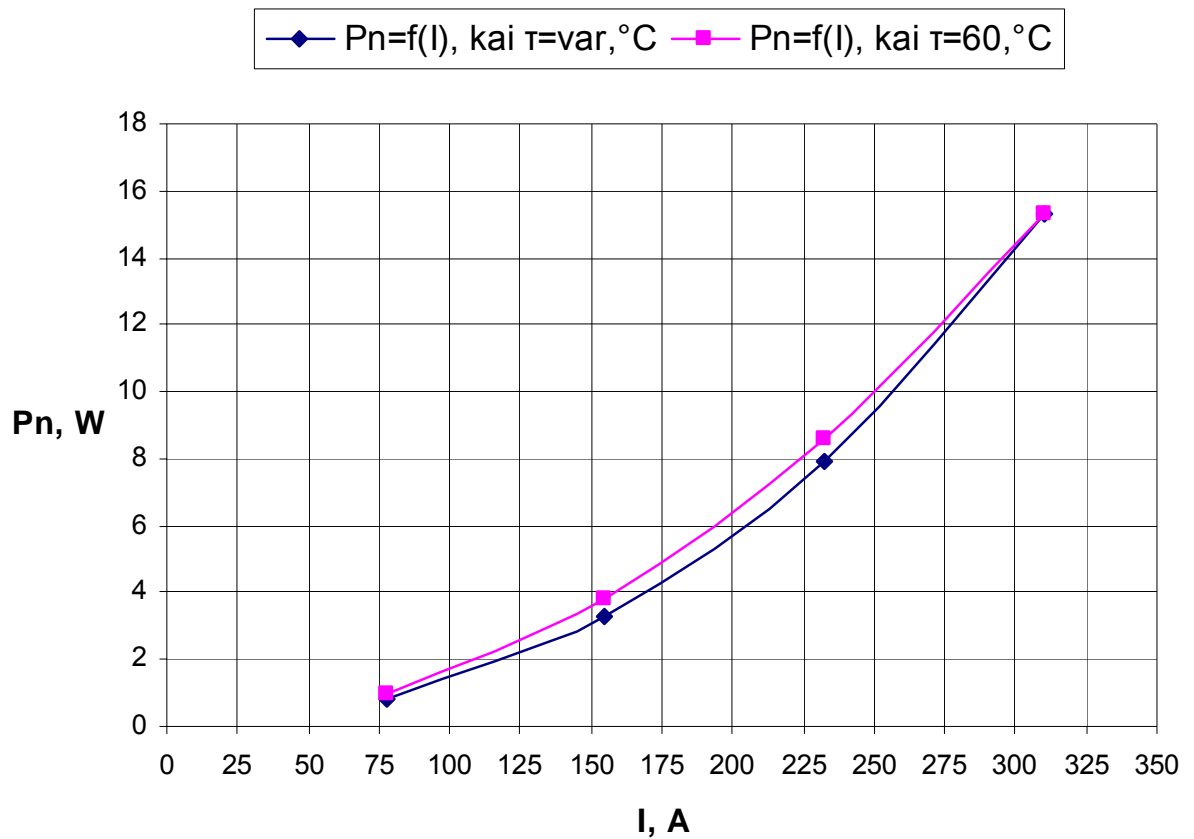
10 kV 240 mm<sup>2</sup> varinis kabelis

$I_V, A$	460	345	230	115
$I_V, \%$	100%	75%	50%	25%
$P_n, W$ (kai $\tau=60, ^\circ C$ )	16,533	9,3	4,133	1,033
$P_n, W$ (kai $\tau=var, ^\circ C$ )	16,533	8,559	3,599	0,872
$\Delta P, \%$	0	7,97	12,92	15,58

3.2 pav. 10 kV 240 mm<sup>2</sup> varinio kabelio  $P_n=f(I)$  priklausomybė

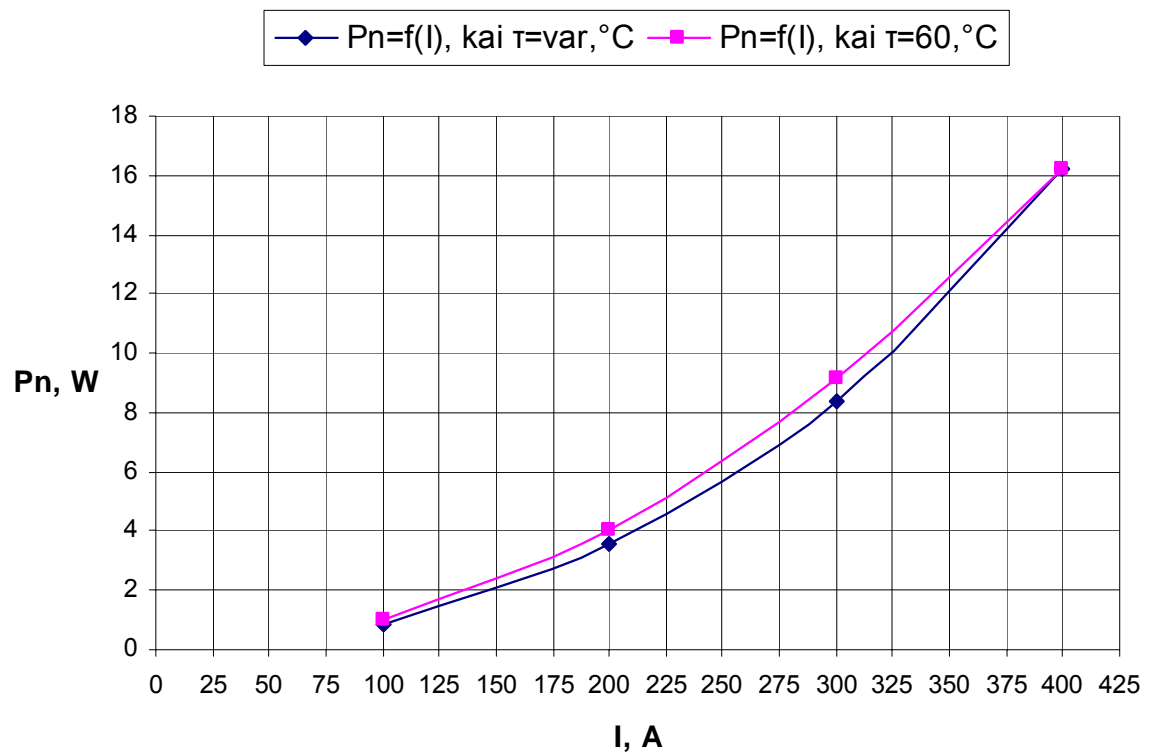
10 kV 185 mm<sup>2</sup> aliumininis kabelis

$I_V, A$	310	232,5	155	77,5
$I_V, \%$	100%	75%	50%	25%
$P_n, W$ (kai $\tau=60, ^\circ C$ )	15,324	8,62	3,831	0,958
$P_n, W$ (kai $\tau=var, ^\circ C$ )	15,324	7,903	3,316	0,802
$\Delta P, \%$	0	8,31	13,44	16,28

3.3 pav. 10 kV 185 mm<sup>2</sup> aliumininio kabelio  $P_n=f(I)$  priklausomybė

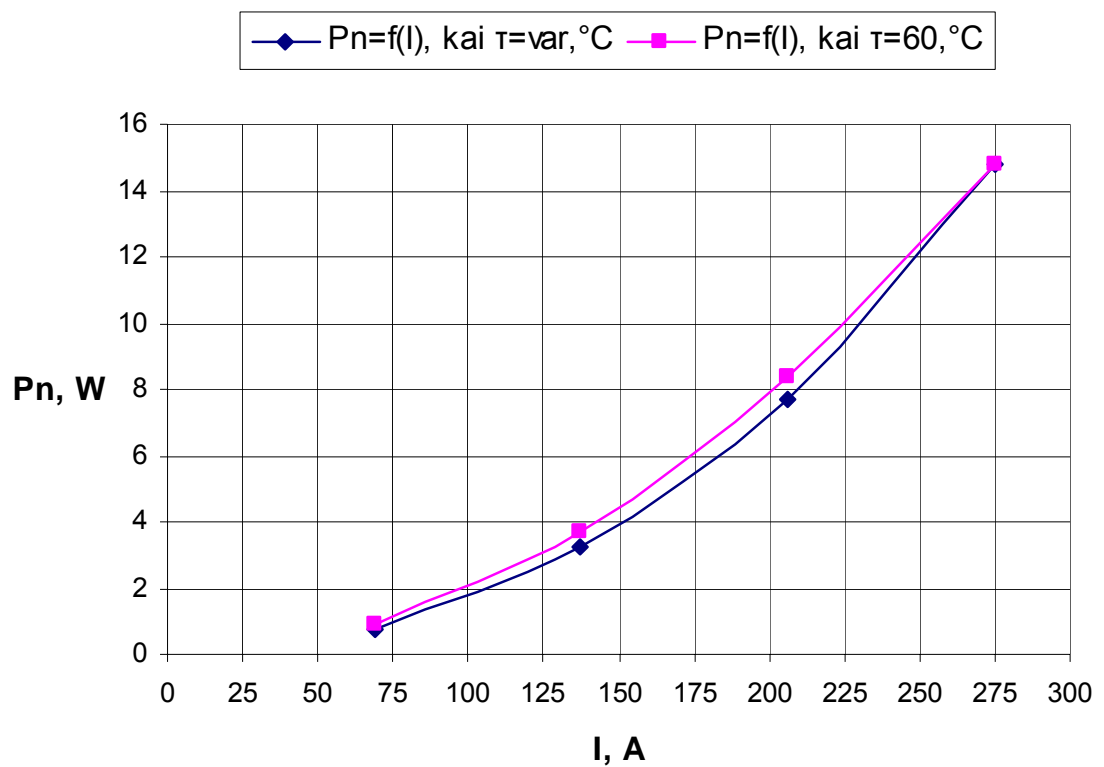
10 kV 185 mm<sup>2</sup> varinis kabelis

$I_V, A$	400	300	200	100
$I_V, \%$	100%	75%	50%	25%
$P_n, W$ (kai $\tau=60, ^\circ C$ )	16,218	9,123	4,054	1,014
$P_n, W$ (kai $\tau=var, ^\circ C$ )	16,218	8,396	3,531	0,855
$\Delta P, \%$	0	7,96	12,9	15,68

3.4 pav. 10 kV 185 mm<sup>2</sup> varinio kabelio  $P_n=f(I)$  priklausomybė

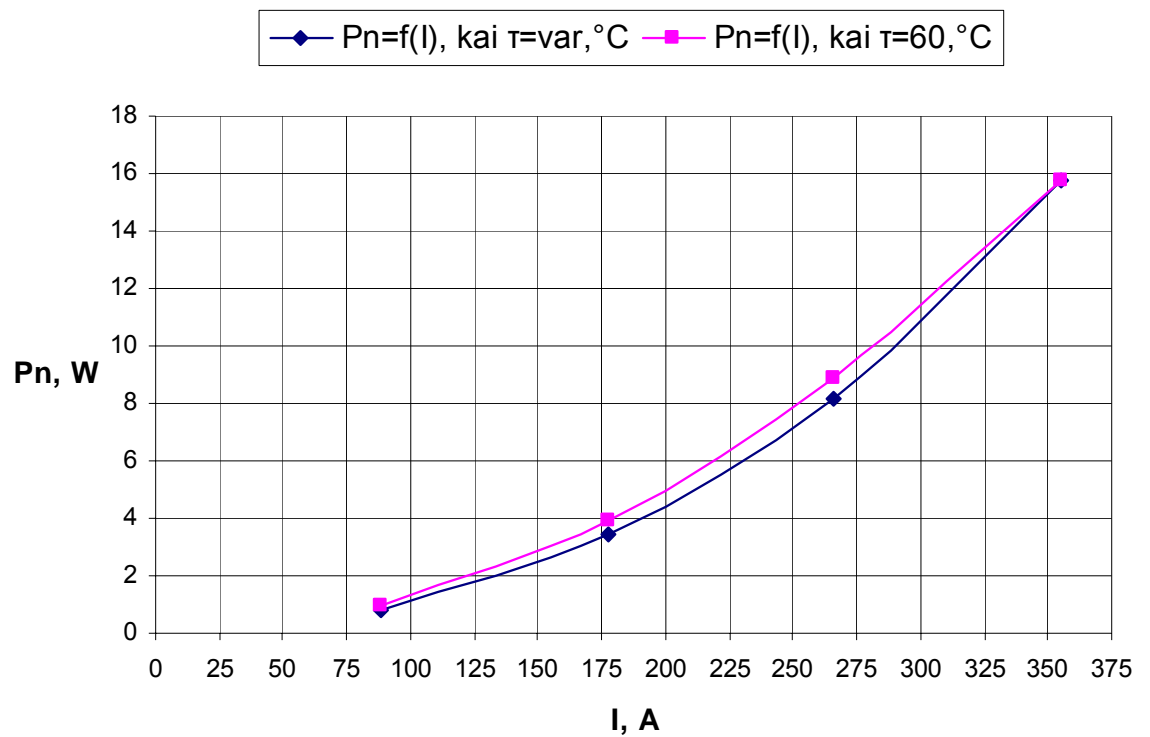
10 kV 150 mm<sup>2</sup> aliumininis kabelis

$I_V, A$	275	206,25	137,5	68,75
$I_V, \%$	100%	75%	50%	25%
$P_n, W$ (kai $\tau=60, ^\circ C$ )	14,783	8,366	3,718	0,93
$P_n, W$ (kai $\tau=var, ^\circ C$ )	14,783	7,671	3,218	0,778
$\Delta P, \%$	0	8,3	13,45	16,34

3.5 pav. 10 kV 150 mm<sup>2</sup> aliumininio kabelio  $P_n=f(I)$  priklausomybė

10 kV 150 mm<sup>2</sup> varinis kabelis

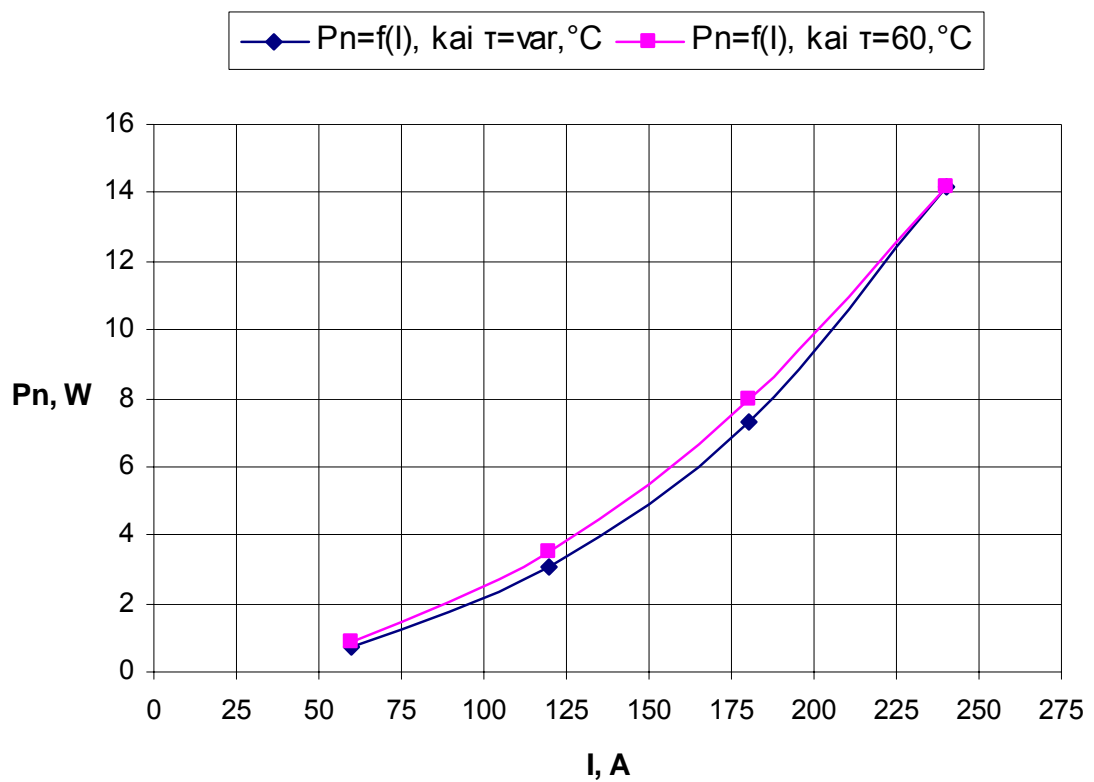
$I_V, A$	355	266,25	177,5	88,75
$I_V, \%$	100%	75%	50%	25%
$P_n, W$ (kai $\tau=60, ^\circ C$ )	15,755	8,862	3,939	0,985
$P_n, W$ (kai $\tau=var, ^\circ C$ )	15,755	8,156	3,43	0,831
$\Delta P, \%$	0	7,97	12,92	15,63

3.6 pav. 10 kV 150 mm<sup>2</sup> varinio kabelio  $P_n=f(I)$  priklausomybė



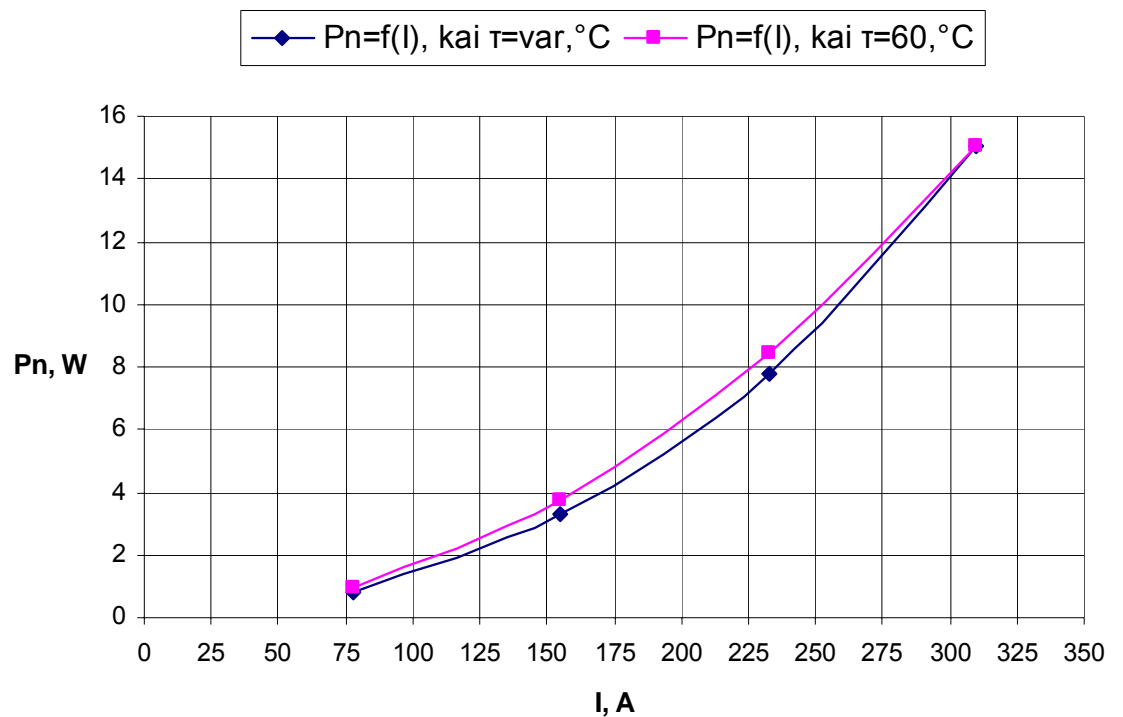
10 kV 120 mm<sup>2</sup> aliumininis kabelis

$I_V, A$	240	180	120	60
$I_V, \%$	100%	75%	50%	25%
$P_n, W$ (kai $\tau=60, ^\circ C$ )	14,16	7,965	3,54	0,885
$P_n, W$ (kai $\tau=var, ^\circ C$ )	14,16	7,303	3,064	0,741
$\Delta P, \%$	0	8,31	13,44	16,27

3.7 pav. 10 kV 120 mm<sup>2</sup> aliumininio kabelio  $P_n=f(I)$  priklausomybė

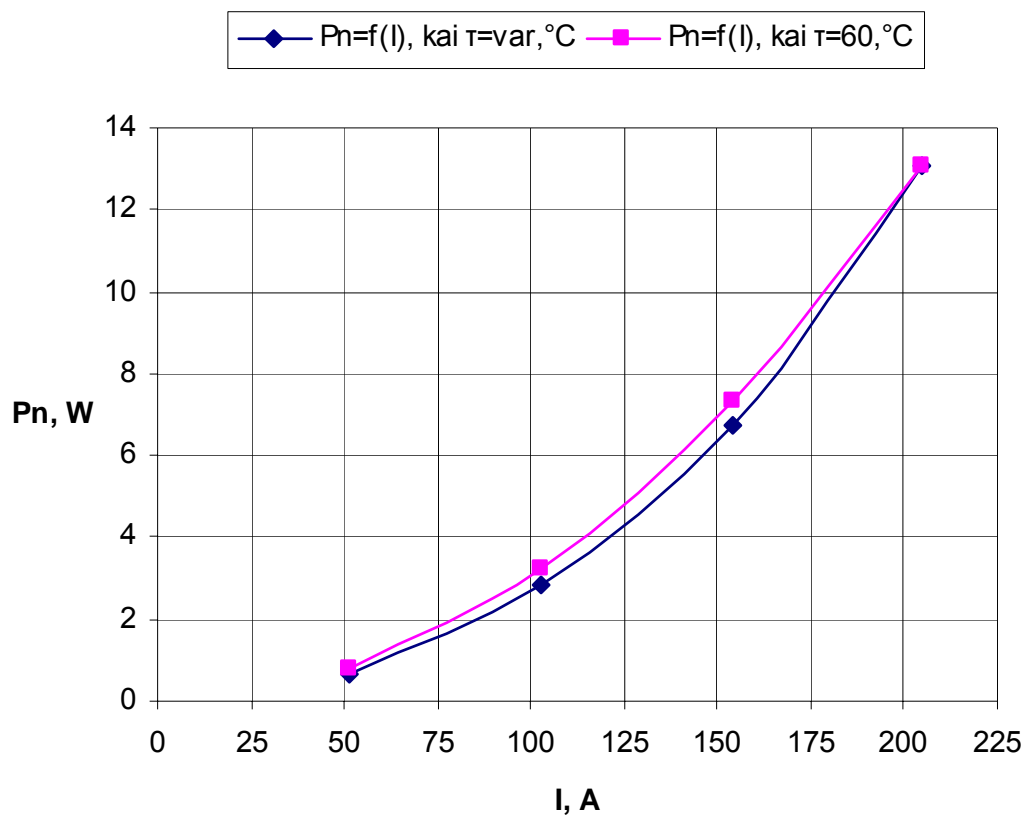
10 kV 120 mm<sup>2</sup> varinis kabelis

$I_V, A$	310	232,5	155	77,5
$I_V, \%$	100%	75%	50%	25%
$P_n, W$ (kai $\tau=60, ^\circ C$ )	15,017	8,447	3,754	0,939
$P_n, W$ (kai $\tau=var, ^\circ C$ )	15,017	7,775	3,269	0,792
$\Delta P, \%$	0	7,95	12,92	15,65

3.8 pav. 10 kV 120 mm<sup>2</sup> varinio kabelio  $P_n=f(I)$  priklausomybė

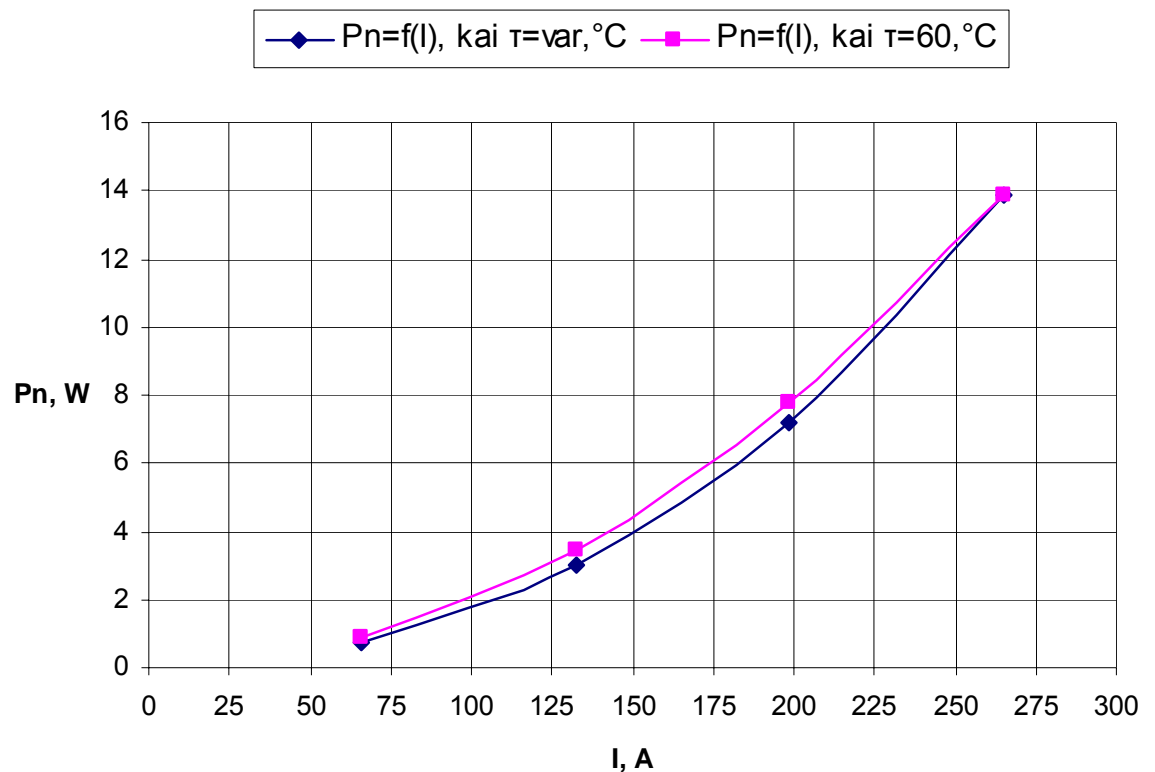
10 kV 95 mm<sup>2</sup> aliumininis kabelis

$I_V, A$	205	153,75	102,5	51,25
$I_V, \%$	100%	75%	50%	25%
$P_n, W$ (kai $\tau=60, ^\circ C$ )	13,05	7,341	3,262	0,816
$P_n, W$ (kai $\tau=var, ^\circ C$ )	13,05	6,731	2,824	0,683
$\Delta P, \%$	0	8,3	13,42	16,29

3.9 pav. 10 kV 95 mm<sup>2</sup> aliumininio kabelio  $P_n=f(I)$  priklausomybė

10 kV 95 mm<sup>2</sup> varinis kabelis

$I_V, A$	265	198,75	132,5	66,25
$I_V, \%$	100%	75%	50%	25%
$P_n, W$ (kai $\tau=60, ^\circ C$ )	13,862	7,797	3,465	0,866
$P_n, W$ (kai $\tau=var, ^\circ C$ )	13,862	7,176	3,018	0,731
$\Delta P, \%$	0	7,96	12,9	15,59

3.10 pav. 10 kV 95 mm<sup>2</sup> varinio kabelio  $P_n=f(I)$  priklausomybė

Taigi, iš atliktų eksperimentinių skaičiavimų galima teigti, kad:

- kabelio temperatūra, priklausomai nuo apkrovos, kinta ženkliai (nuo vardinės iki aplinkos);
- kabelių varža temperatūrai didėjant aliumininiam kabeliui didėja – 16,3 %, o variniam – 15,6 %;
- galios nuostolių skaičiavimo rezultatų skirtumai, įvertinus kabelio temperatūrų pokytį, sudaro iki 16,34 %.

## **4. TECHNOLOGINIŲ SĄNAUDŲ SKAIČIAVIMO IR MATAVIMO METODŲ APŽVALGA**

Bet kuris skaičiavimo metodas, naudojamas energijos nuostolių skaičiavimui, įgalina apskaičiuoti nuostolius su tam tikra paklaida. Šios paklaidos sąlygojamos tiems skaičiavimo metodams skirtomis išlygomis.

Kalbant apie energijos nuostolių skaičiavimų paklaidas, joms prigijo metodinių paklaidų pavadinimas. Konkrečiam skaičiavimo metodui pastarąją paklaidą negalima sumažinti kitais būdais, tik panaudojant kitus skaičiavimo metodus.

Papildomos paklaidos atsiranda dėl tame ar kitame metode naudojamos informacijos tikslumo ir yra vadinama informacine paklaida.

Taip pat skaičiavimo tikslumas priklauso nuo turimo duomenų kiekio. Tad, kuo mažiau turima duomenų, tuo paprastesnis skaičiavimo metodas naudosimas ir gaunama didesnė metodinė paklaida. Tuo pačiu gausimas platesnis intervalas, į kurį gali patekti faktiniai nuostoliai. Neapibrėžtumo intervalo nustatymas ne tik įgalina tiksliai nustatyti faktinę technologinių sąnaudų vertę turint pilną ir išsamią informaciją ir duomenis, bet ir pagerinti nuostolių mažinimo organizacines priemones ir padidinti su tuo susijusių sprendimų motyvaciją.

Nuostolių skaičiavimas leidžia nustatyti problematiškiausias elektros tinklo vietas, kuriose elektros energijos nuostolių mažinimo priemonių įdiegimas duoda didžiausią ekonominį efektą, patiriant kuo mažesnes sąnaudas [6].

Toliau bus apžvelgiama keletas galios bei energijos nuostolių skaičiavimo metodų.

### **4.1 Galios nuostolių skaičiavimas pagal įtampos nuostolius**

Šiame poskyryje analizuojamos elektros tinklų pagrindinių parametru pokyčių ribos, taip pat aiškinamasi šių parametru priklausomybė nuo žeminančiojo transformatoriaus apkrovos bei galios koeficientu.

Nagrinėjamas realus 10 kV skirstimasis įtampos tinklas. Esamos tinklo pagrindinės charakteristikos pateiktos 4.1 lentelėje.

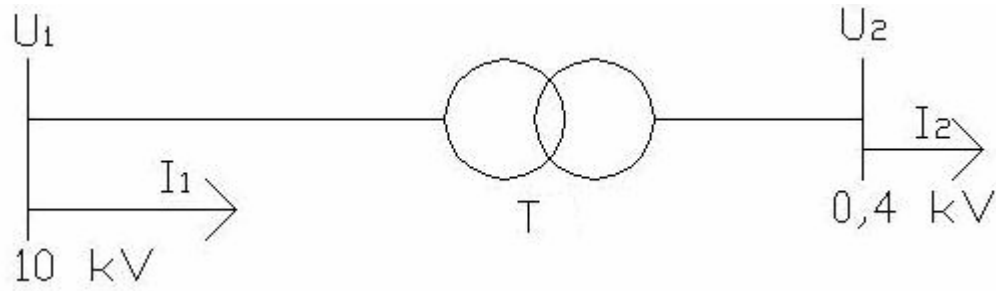
## 10 kV tinklo charakteristikos

Kabelio skerspjūvis, mm <sup>2</sup>	Srovė, A	Kabelio ilgis, m	Transformatoriaus tipas
95	205	1160	TM-400
95	205	183	TM-400
95	205	250	TM-400
120	240	645	TM-400
120	240	720	TM-630
120	240	600	TM-160
70	145	260	TM-160
120	240	255	TM-300
95	205	270	TM-300
95	177	430	TM-315
95	177	770	TM-315
120	240	780	TM-250
95	205	620	TM-250
95	205	122	TM-250
95	177	510	TM-100
95	205	250	TM-250
120	240	420	TM-250
95	205	155	TM-250
95	177	210	TM-250
95	177	220	TM-400

Tyrinėjama įtampos nuostolių priklausomybė nuo žeminančiojo transformatoriaus apkrovos ir nuo aktyvios bei reaktyvios galios koeficientų  $\cos \varphi$  ir  $\sin \varphi$ . Pirmuoju tyrimu pasirinktai linijai atliekami šie eksperimentiniai skaičiavimai:

- kai transformatoriaus apkrova kinta nuo 100 % iki 50 %, o  $\cos \varphi = 0,9$ ;
- kai transformatoriaus apkrova 100 %, o  $\cos \varphi$  kinta nuo 0,9 iki 0,6;
- kai transformatoriaus apkrova 50 %, o  $\cos \varphi = 0,6$ .

Pirmajam tyrimui naudojama 4.1 paveiksle pavaizduota schema.



4.1 pav. Elektros tinklo schema

Įtampos nuostoliai randami pagal šias formulių išraiškas:

$$\Delta U = \frac{P \cdot R + Q \cdot X}{U_l} = \frac{S}{U_l} \cdot (R \cdot \cos \varphi + X \cdot \sin \varphi) = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U_f} (R \cdot \cos \varphi + X \cdot \sin \varphi); \quad (4.1)$$

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I_t \cdot (R \cdot \cos \varphi + X \cdot \sin \varphi); \quad (4.2)$$

$$I_t = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U_l}; \quad (4.3)$$

$$U_f = \frac{U_l}{\sqrt{3}}; \quad (4.4)$$

čia:  $\Delta U$  – įtampos nuostoliai,  $V$ ;  $P$  – linijos aktyvi galia,  $W$ ;  $R$  – linijos aktyvi varža,  $\Omega$ ;  $Q$  – linijos reaktyvi galia,  $Var$ ;  $X$  – linijos reaktyvi varža,  $\Omega$ ;  $U_l$  – linijinė įtampa,  $V$ ;  $S$  – pilnutinė galia,  $VA$ ;  $\cos \varphi$  – aktyvios galios koeficientas;  $\sin \varphi$  – reaktyvios galios koeficientas;  $U_f$  – fazinė įtampa,  $V$ ;  $I_t$  – transformatoriaus pirminė srovė,  $A$ .

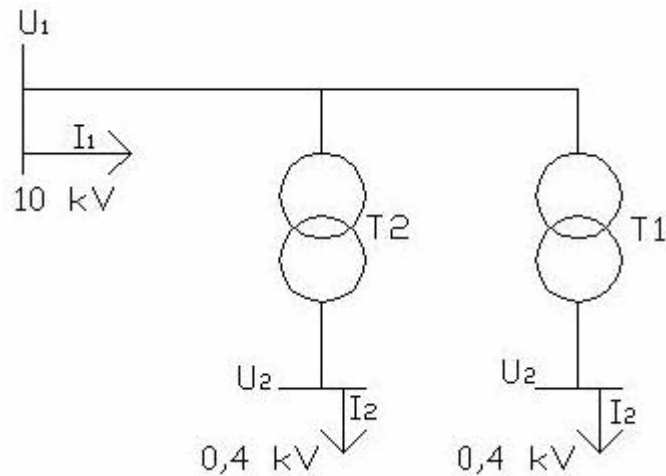
Skaičiavimo rezultatai pateikiami 4.2 lentelėje. Pilni skaičiavimų duomenys ir rezultatai pateikiami 1 priede.

## Pirmojo skaičiavimo rezultatai

Nr.	F <sub>k</sub> ,mm <sup>2</sup>	S, kVA	ΔU, V	Nr.	F <sub>k</sub> ,mm <sup>2</sup>	S, kVA	ΔU, V	Nr.	F <sub>k</sub> ,mm <sup>2</sup>	S, kVA	ΔU, V
1.	95	400	15,558	6.	120	160	2,56	11.	95	315	8,133
	95	360	14,002		120	144	2,304		95	283,5	7,319
	95	320	12,446		120	128	2,048		95	252	6,506
	95	280	10,891		120	112	1,792		95	220,5	5,693
	95	240	9,335		120	96	1,536		95	189	4,88
	95	200	7,779		120	80	1,28		95	157,5	4,066
	95	400	14,941		120	160	2,435		95	315	7,81
	95	400	14,017		120	160	2,265		95	315	7,327
	95	400	12,992		120	160	2,081		95	315	6,791
	95	200	6,496	120	80	1,041	95	157,5	3,396		
2.	95	400	2,454	7.	70	160	1,873	12.	120	250	5,2
	95	360	2,209		70	144	1,686		120	225	4,68
	95	320	1,964		70	128	1,499		120	200	4,16
	95	280	1,718		70	112	1,311		120	175	3,64
	95	240	1,473		70	96	1,124		120	150	3,12
	95	200	1,227		70	80	0,937		120	125	2,6
	95	400	2,357		70	160	1,774		120	250	4,945
	95	400	2,214		70	160	1,644		120	250	4,601
	95	400	2,05		70	160	1,505		120	250	4,228
	95	200	1,025	70	80	0,753	120	125	2,114		
3.	95	400	3,353	8.	120	300	2,04	13.	95	250	5,197
	95	360	3,017		120	270	1,836		95	225	4,677
	95	320	2,682		120	240	1,632		95	200	4,158
	95	280	2,34		120	210	1,428		95	175	3,638
	95	240	2,012		120	180	1,224		95	150	3,118
	95	200	1,676		120	150	1,02		95	125	2,599
	95	400	3,22		120	300	1,94		95	250	4,991
	95	400	3,021		120	300	1,805		95	250	4,683
	95	400	2,8		120	300	1,659		95	250	4,34
	95	200	1,4	120	150	0,829	95	125	2,17		
4.	120	400	6,88	9.	95	300	2,716	14.	95	250	1,023
	120	360	6,192		95	270	2,444		95	225	0,92
	120	320	5,504		95	240	2,173		95	200	0,818
	120	280	4,816		95	210	1,901		95	175	0,716
	120	240	4,128		95	180	1,63		95	150	0,614
	120	200	3,44		95	150	1,358		95	125	0,511
	120	400	6,543		95	300	2,608		95	250	0,982
	120	400	6,088		95	300	2,447		95	250	0,921
	120	400	5,593		95	300	2,268		95	250	0,854
	120	200	2,797	95	150	1,134	95	125	0,427		
5.	120	630	12,097	10.	95	315	4,542	15.	95	100	1,71
	120	567	10,887		95	283,5	4,087		95	90	1,539
	120	504	9,677		95	252	3,633		95	80	1,368
	120	441	8,468		95	220,5	3,179		95	70	1,197
	120	378	7,258		95	189	2,725		95	60	1,026
	120	315	6,048		95	157,5	2,271		95	50	0,855
	120	630	11,503		95	315	4,361		95	100	1,642
	120	630	10,703		95	315	4,092		95	100	1,541
	120	630	9,834		95	315	3,793		95	100	1,428
	120	315	4,917	95	157,5	1,896	95	50	0,714		



Antruoju eksperimentiniu skaičiavimu tyrinėjama sudėtingesnė schema, kuri pateikiama 4.2 paveiksle.



4.2 pav. Elektros tinklo schema su dviem transformatoriais

Pagal šią schemą atliekami eksperimentiniai skaičiavimai ir tyrinėjama įtampos nuostolių priklausomybė nuo transformatorių T1 ir T2 galių  $S_1$  ir  $S_2$  bei įtampos nuostolių priklausomybė nuo galios koeficientų.

Eksperimentiniai skaičiavimai atliekami keičiant šiuos parametrus:

- kai transformatoriaus T1 apkrova  $S_1$  kinta nuo 100 % iki 50 %, transformatoriaus T2 apkrova  $S_2 = 100\%$ , o  $\cos \varphi_{1-2} = 0,9$ ;
- kai transformatoriaus T1 apkrova  $S_1 = 100\%$ , transformatoriaus T2 apkrova  $S_2$  kinta nuo 100 % iki 50 %, o  $\cos \varphi_{1-2} = 0,9$ ;
- kai transformatorių T1 ir T2 apkrovos  $S_1$  ir  $S_2 = 100\%$ , o  $\cos \varphi_1 = 0,9$ ,  $\cos \varphi_2 = 0,8; 0,7$ ;
- kai transformatorių T1 ir T2 apkrovos  $S_1$  ir  $S_2 = 100\%$ , o  $\cos \varphi_1 = 0,8; 0,7$ ,  $\cos \varphi_2 = 0,9$ ;
- kai transformatoriaus T1 apkrova  $S_1 = 70\%$ , transformatoriaus T2 apkrova  $S_2 = 100\%$ ,  $\cos \varphi_1 = 0,9$ ;  $\cos \varphi_2 = 0,8; 0,7$ ;
- kai transformatoriaus T1 apkrova  $S_1 = 100\%$ , transformatoriaus T2 apkrova  $S_2 = 70\%$ ,  $\cos \varphi_1 = 0,8; 0,7$ ;  $\cos \varphi_2 = 0,9$ ;

- kai transformatoriaus T1 apkrova  $S_1 = 50\%$ , transformatoriaus T2 apkrova  $S_2 = 90\%$ ,  $\cos \varphi_1 = 0,9$ ;  $\cos \varphi_2 = 0,8; 0,7$ ;
- kai transformatoriaus T1 apkrova  $S_1 = 90\%$ , transformatoriaus T2 apkrova  $S_2 = 50\%$ ,  $\cos \varphi_1 = 0,8; 0,7$ ;  $\cos \varphi_2 = 0,9$ ;

Įtampos nuostoliai randami pagal šią formulę:

$$\Delta U = \left( \frac{S_1 + S_2}{\sqrt{3} \cdot U_f} \cdot (R_2 \cdot \cos \varphi_2 + X_2 \cdot \sin \varphi_2) \right) + \left( \frac{S_1}{\sqrt{3} \cdot U_f} \cdot (R_1 \cdot \cos \varphi_1 + X_1 \cdot \sin \varphi_1) \right). \quad (4.5)$$

Antrojo skaičiavimo rezultatai pateikiami 4.3 lentelėje. Pilni skaičiavimų duomenys ir rezultatai pateikiami 2 priede.

4.3 lentelė

Antrojo skaičiavimo rezultatai

$F_{k1}, \text{mm}^2$	$F_{k2}, \text{mm}^2$	$S_1, \text{kVA}$	$S_2, \text{kVA}$	$\Delta U$
95	95	250	250	11,694
95	95	225	250	11,044
95	95	200	250	10,394
95	95	175	250	9,745
95	95	150	250	9,095
95	95	125	250	8,445
95	95	250	225	11,174
95	95	250	200	10,654
95	95	250	175	10,134
95	95	250	150	9,615
95	95	250	125	9,095
95	95	250	250	11,281
95	95	250	250	10,664
95	95	250	250	11,642
95	95	250	250	11,565
95	95	175	250	9,394
95	95	175	250	8,87
95	95	250	175	10,083
95	95	250	175	10,006
95	95	125	225	7,637
95	95	125	225	7,205
95	95	225	125	8,399
95	95	225	125	8,33

Atlikus eksperimentinius skaičiavimus pagal 4.1 ir 4.2 paveiksluose pavaizduotas schemas, varijuojant jų parametrais (transformatoriaus pilnutinėmis galiomis ir galios koeficientais) gaunami įtampos nuostoliai, esant realiai apkrovai linijoje, yra iki 15,5 V ir tai sudaro 0,26 %.

Nagrinėjant galios nuostolių skaičiavimą pagal įtampos nuostolius pastebėta, kad norint gauti priimtina (iki 10 %) skaičiavimų tikslumą, reikia ypatingai tikslių matavimo rezultatų. Todėl būtina reikia įvertinti prietaiso, kuris bus naudojamas įtampos matavimui tiriamo tinklo galuose galios nuostolių nustatymui pagal įtampos nuostolius, tikslumo klasę  $\Delta U_{ptk}$ .

$$\Delta U_{ptk} = \frac{\delta \Delta U \cdot \Delta U \cdot U_v}{2U_{sk}}; \quad (4.6)$$

čia:  $\Delta U_{ptk}$  – prietaiso tikslumo klasė;  $\delta \Delta U$  – įtampos nuostolių matavimo paklaida, %;  $\Delta U$  – santykiniai įtampos nuostoliai;  $U_v$  – vardinė įtampa, V;  $U_{sk}$  – prietaiso skalės dydis.

Matuojant 10 % tikslumu įtampos nuostolius, kurių laukiama reikšmė apkrovai 3 %, pagal formulę (4.6) voltmetro tikslumo klasė neturi viršyti 0,1.

Vadinasi, kad tyrinėto tinklo įtampos nuostolius išmatuoti 10 % tikslumu reikia prietaiso, kurio tikslumo klasė neturi viršyti 0,01.

## 4.2 Elektros energijos nuostolių skaičiavimas pagal AB „Lietuvos energija“ metodiką

Ši galios transformatorių, elektros perdavimo ir kabelinių linijų elektros nuostolių apskaičiavimo metodika taikoma ūkio subjektams apskaičiuojant nuostolius kiekvieną mėnesį jiems nuosavybės teise priklausančiuose galios transformatoriuose bei elektros perdavimo ir kabelinėse linijose tuo atveju, kai elektros apskaitos įrengimo vieta nesutampa su elektros tinklo nuosavybės riba [9].

Ši metodika patvirtinta 2000-09-01 dieną, o parengta pagal 1970 – 1986 m. elektros energijos nuostolių transformatoriuose ir elektros perdavimo linijose skaičiavimo instrukcijas, patvirtintas „Gosenergonadzor“ ir „Elektrotechnikos žinyną“ (2 tomas, 1986 Energoatom) [9].

Šia metodika privalo vadovautis AB „Lietuvos energija“, AB „Rytų skirstomieji tinklai“, AB „Vakarų skirstomieji tinklai“ tuo atveju, kai elektros apskaitos įrengimo vieta nesutampa su elektros tinklo nuosavybės riba ir nesutampančiai tinklo daliai būtina apskaičiuoti elektros nuostolius ūkio subjektams priklausančiuose galios transformatoriuose bei elektros perdavimo ir kabelinėse linijose.

Elektros perdavimo linijų ir kabelinių linijų elektros energijos nuostoliai apskaičiuojami pagal formulę:

$$\Delta W_{pl} = \frac{W_p^2 + W_Q^2}{U_v^2 \cdot T_d \cdot 10^3} \cdot K_f^2 \cdot R_l; \quad (4.7)$$

čia:  $\Delta W_{pl}$  – elektros energijos nuostoliai,  $kWh$ ;  $W_p$  – aktyvioji energija,  $kWh$ , suvartota per laikotarpį  $T_d$  pagal apskaitos prietaiso rodmenis, kai apskaitos prietaisas įrengtas elektros tinkle, kuriame skaičiuojami elektros perdavimo linijos ar kabelio nuostoliai. Kai apskaitos prietaisas įrengtas ne tame pačiame elektros tinkle (kuriame skaičiuojami elektros perdavimo linijos ar kabelio nuostoliai), o vartotojui priklausančio galios transformatoriaus žemoje pusėje, tai prie  $W_p$  būtina pridėti priskaičiuotus elektros nuostolius vartotojo galios transformatoriuje;  $W_Q$  – reaktyvioji energija,  $kVarh$ , suvartota per laikotarpį  $T_d$  pagal apskaitos prietaiso rodmenis;  $U_v$  – elektros tinklo vardinė įtampa,  $kV$ ;  $T_d$  – vidutinis darbo valandų skaičius per mėnesį,  $h$ ;  $K_f$  – koeficientas, apibūdinantis apkrovos grafiko formą;  $R_l$  – elektros perdavimo linijos (kabelio) varža,  $\Omega$ .

$T_d$  reikšmės tokios:

$T_d=200$  val., kai dirbama 1 pamaina;

$T_d=450$  val., kai dirbama 2 pamainomis;

$T_d=700$  val., kai dirbama 3 pamainomis;

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

$K_f$  – koeficientas apskaičiuojamas pagal 4.8 formulę.

$$K_f^2 = \left( \frac{0,124}{K_U} + 0,876 \right)^2; \quad (4.8)$$

čia:  $K_U$  – apkrovos grafiko pilnumo koeficientas.

$K_U$  – koeficientas apskaičiuojamas pagal 4.9 formulę.

$$K_U = \frac{W_p}{P_{\max} \cdot T_d}; \quad (4.9)$$

čia:  $P_{\max}$  – mėnesio maksimali galia,  $kW$ , pagal apskaitos prietaiso rodmenis.

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

$K_f^2 = 1,6$  – kai dirbama 1 pamaina;

$K_f^2 = 1,4$  – kai dirbama 2 pamainomis;

$K_f^2 = 1,1$  – kai dirbama 3 pamainomis;

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

$R_l$  – Elektros perdavimo linijos (kabelio) varža apskaičiuojamas pagal 4.10 formulę.

$$R_l = r_0 \cdot l; \quad (4.10)$$

čia:  $l$  – elektros perdavimo linijos (kabelio) ilgis,  $km$ ;  $r_0$  – aktyvioji 1 km linijos skaičiuotina varža,  $\Omega/km$ .

Elektros energijos  $W_p$  ir  $W_Q$  reikšmių paklaidą sudaro skaitiklio ir matavimo transformatorių paklaidos. Skaitiklio, srovės transformatoriaus ir įtampos transformatoriaus bendros apskaitos paklaidos skaičiavimui patogiau naudoti 4.4 lentelę [6]. Leistinieji elektros energijos praradimai procentais konkrečiam objektui, dėl matavimo paklaidų rodmenų, apskaičiuojami pagal 2.1 ir 2.2 formules.

Be to, naudojant šią metodiką, elektros energijos nuostolių skaičiavimui, atsiranda papildoma skaičiavimo paklaida, jei apskaitos prietaisas nefiksuoja  $P_{max}$  vertės. Be  $P_{max}$  vertės negalima apskaičiuoti tikslaus tiriamo tinklo apkrovos grafiko formos koeficiento  $K_f$ .  $K_f$  koeficientas parenkamas apytikslis.

## Matavimo sistemų leistinos paklaidos

Tikslumo klasės			Paklaida
Srovės transformatoriai	Įtampos transformatoriai	Elektros skaitikliai	$\delta_+$ , %
0,2	0,5	0,5	0,51
0,5	0,5	0,5	0,67
0,5	0,5	1,0	0,88
0,5	0,5	2,0	1,46
0,5	1,0	1,0	1,06
0,5	1,0	2,0	1,57
0,5	2,0	2,0	1,95
1,0	1,0	1,0	1,38
1,0	1,0	2,0	1,62
1,0	2,0	2,0	2,15
1,0	-	2,0	2,76
2,0	-	2,0	1,68
-	-	2,0	2,0
-	-	3,0	3,0

### 4.3 Energijos nuostolių skaičiavimas pagal tipinę metodiką

Suminės technologinės energijos sąnaudos visose skyriaus 6 kV ir 35 kV įtampos linijose yra skaičiuojamos kaip ir 10 kV linijose pagal tokią išraišką:

$$W_{Ls10} = \frac{W_{P10}^2 + W_{Q10}^2}{U_N^2 \cdot T_{maks}^2 \cdot N_{10}^2} \cdot k_A \cdot r_{vid10} \cdot L_{10} \cdot \tau_{10} \cdot 10^{-3}; \quad (4.11)$$

čia:  $W_{P10}$ ,  $W_{Q10}$  – pratekėjusi per linijas aktyvioji ir reaktyvioji energija;  $N_{10}$  – linijų skaičius;  $U_N$  – linijų įtampa;  $k_A$  – apkrovų pasiskirstymą, linijų atsišakojimą ir srovės tankio nevienodumą įvertinantis koeficientas;  $r_{vid10}$  – vidutinė 10 kV linijos vieno kilometro aktyvioji

varža;  $L_{10}$  – bendras 10 kV linijų ilgis;  $T_{maks}$  – maksimalios galios naudojimo laikas valandomis;  $\tau_{10}$  - didžiausių sąnaudų laikas.

Esant šiandieninei apkrovai ir matavimo sistemai apkrovų pasiskirstymo koeficientą konkrečiam tinklui reikėtų apskaičiuoti atskirai. Remiantis eksperimentiniais skaičiavimais elektros tinkluose siūloma naudoti padidintą šio koeficiento reikšmę  $k_A=0,51$ .

Elektros energijos technologinės sąnaudos 0,4 kV tinkluose skaičiuojamos pagal šią išraišką:

$$W_{Ls0,4} = \frac{W_{P0,4}^2 + W_{Q0,4}^2}{U_N^2 \cdot T_{maks}^2 \cdot N_{0,4}^2} \cdot k_A \cdot r_{vid0,4} \cdot L_{0,4} \cdot \tau_{0,4} \cdot 10^{-3}; \quad (4.12)$$

čia:  $k_{nes}$  – elektros linijos fazinių srovių nesimetriją įvertinantis koeficientas;  $k_A$  – apkrovų pasiskirstymą, linijų atsišakojimą ir srovės tankio nevienodumą pirmuosiuose magistralės ruožuose įvertinantis koeficientas.

Skaičiuojant sumines technologines energijos sąnaudas pagal 4.11 ir 4.12 formules, iškyla problema dėl informacijos trūkumo, apskaičiuojant  $k_A$  koeficiento reikšmę. Naudojant siūlomą padidintą  $k_A$  koeficiento reikšmę ( $k_A=0,51$ ) atsiranda papildoma skaičiavimo (informacinė) paklaida, kuri įtakoja skaičiavimo rezultatų tikslumui. Pastarąją paklaidą negalima sumažinti kitais būdais, kaip tik kito skaičiavimo metodo panaudojimas.

## 5. SANTYKINIŲ GALIOS NUOSTOLIŲ KABELIUOSE SKAIČIAVIMAS

Santykinių galios nuostolių kabeliuose skaičiavimu buvo siekiama išsiaiškinti įvairių skerspjūvių 10 kV kabelių galios nuostolių priklausomybę nuo jų ilgio.

Santykiniai galios nuostoliai kabeliuose vienai fazei buvo apskaičiuojami pagal formulę:

$$P_n^* = \frac{P_n}{S_a} \cdot 100\% = \frac{I_f^2 \cdot R_l}{U_f \cdot I_f} \cdot 100\% = \frac{I_f}{U_f} \cdot r_0 \cdot l \cdot 100\%; \quad (5.1)$$

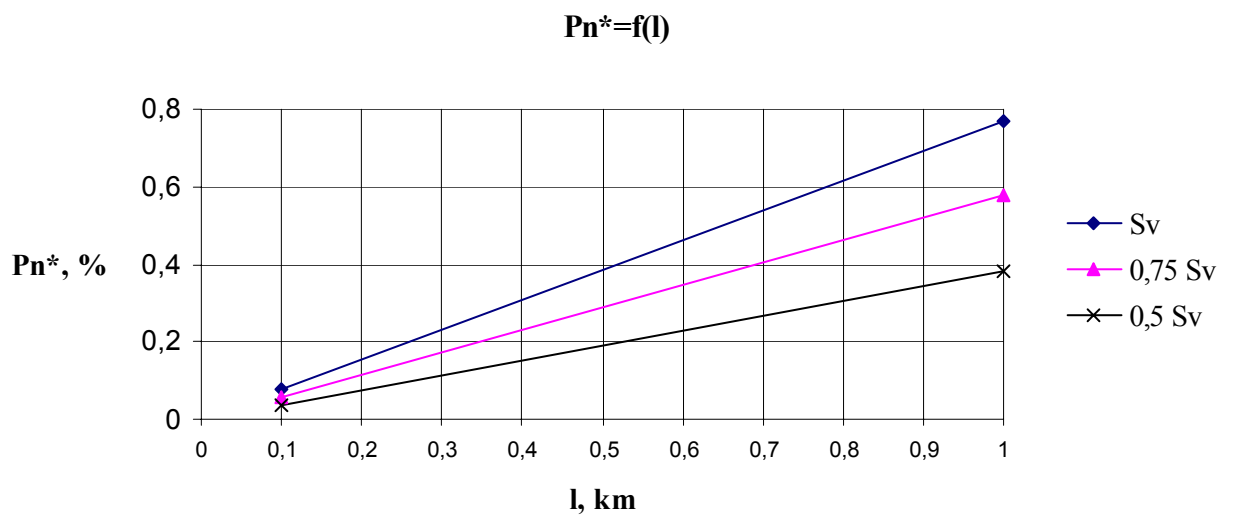
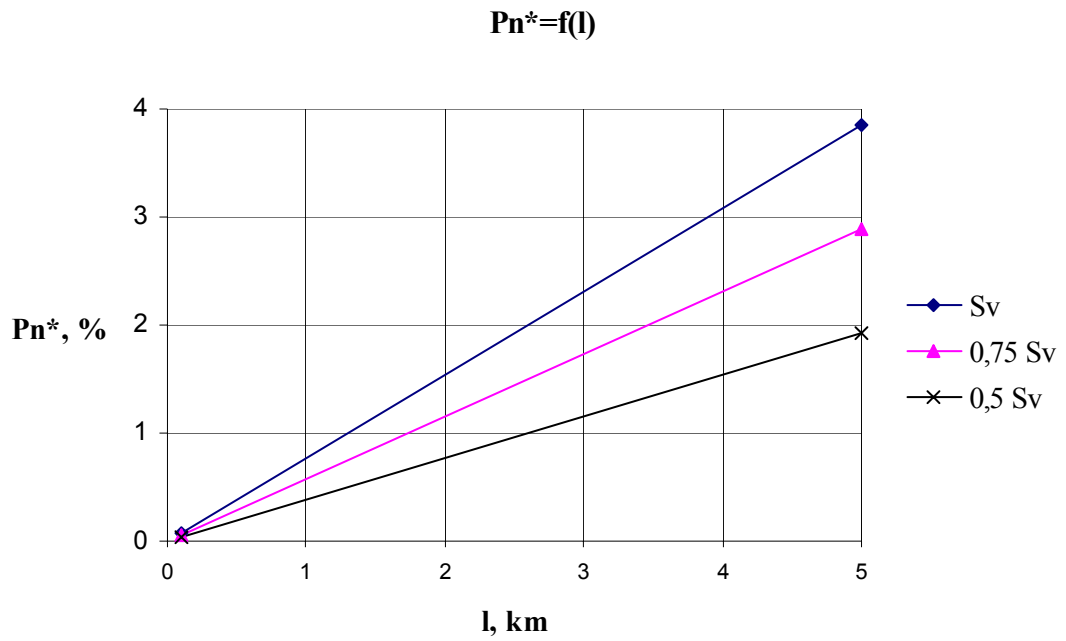
čia:  $P_n$  – vienos fazės galios nuostoliai,  $W$ ;  $S_a$  – pilnutinė vienos fazės apkrovos galia,  $VA$ ;  $I_f$  – fazinė srovė,  $A$ ;  $U_f$  – fazinė įtampa,  $V$ ;  $R_l$  – linijos varža,  $\Omega$ ;  $r_0$  – santykinė varža,  $\Omega/km$ ;  $l$  – linijos ilgis,  $km$ .

Pagal skaičiavimo rezultatus santykinių galios nuostolių kabeliuose priklausomybė nuo kabelių ilgio  $P_n^* = f(l)$ , vaizduojama grafiškai (žr. 5.1 – 5.14 paveikslus).

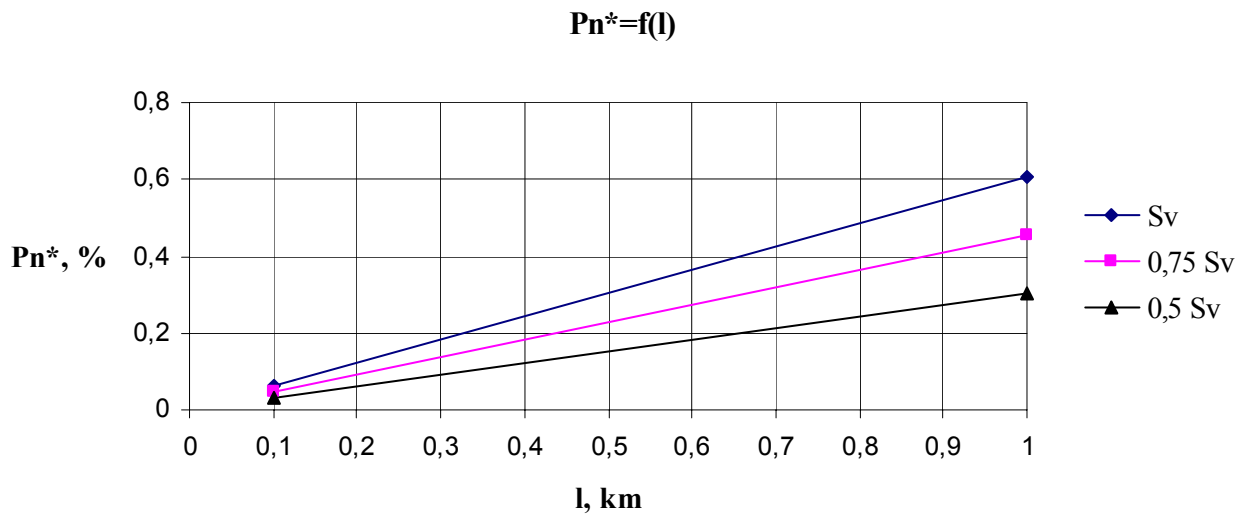
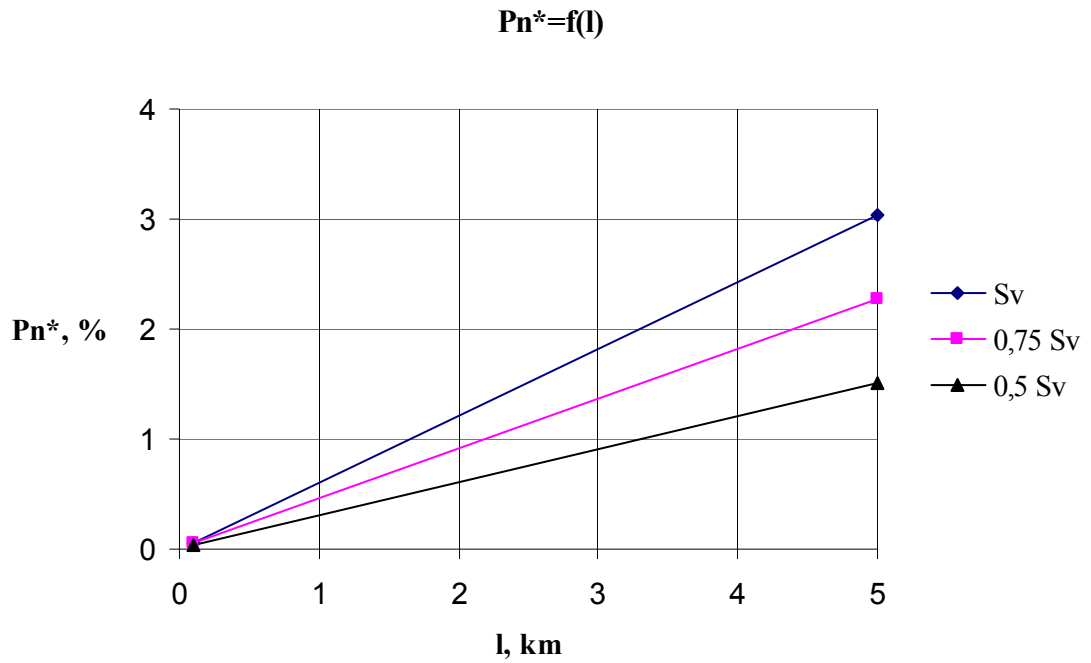
Naudojantis grafikais (žr. 5.1 – 5.15 paveikslus) nesunkiai galima apskaičiuoti kabelio galios  $P_n$  ( $W/km$ ) nuostolius pagal 5.2 formulę:

$$P_n = \frac{P_n^* \cdot S_a}{100}. \quad (5.2)$$

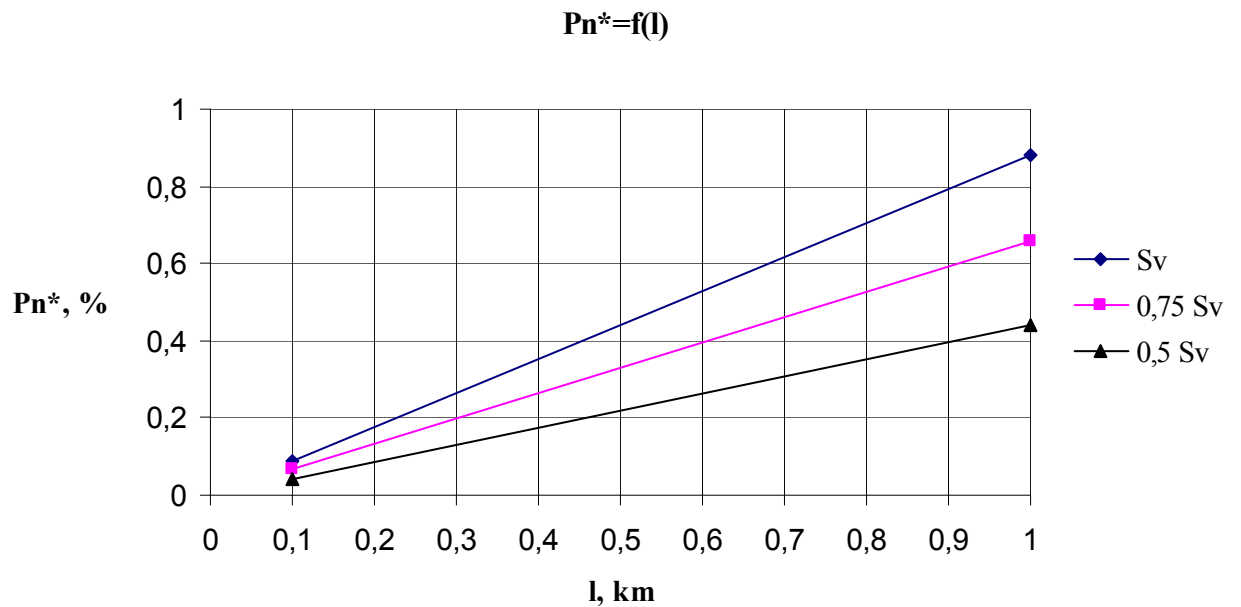
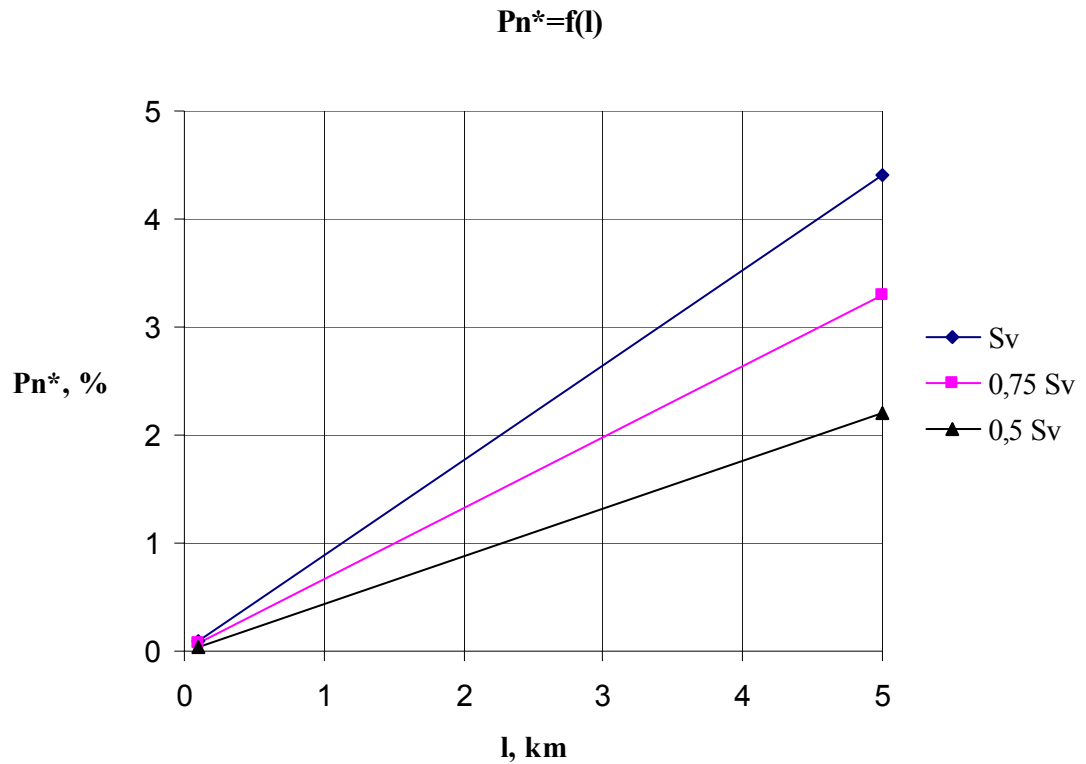




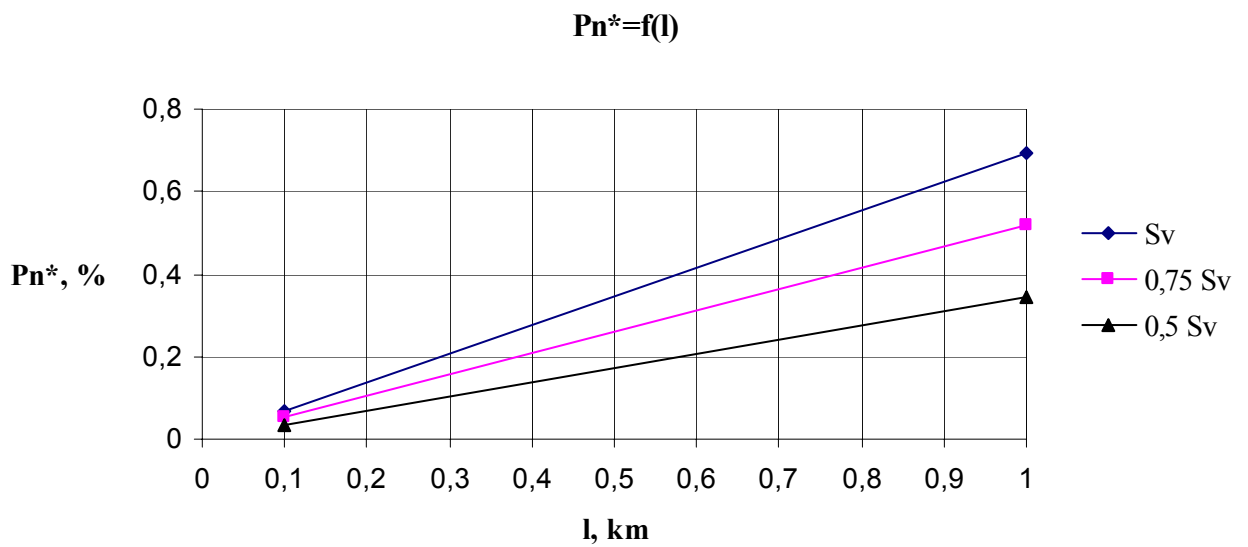
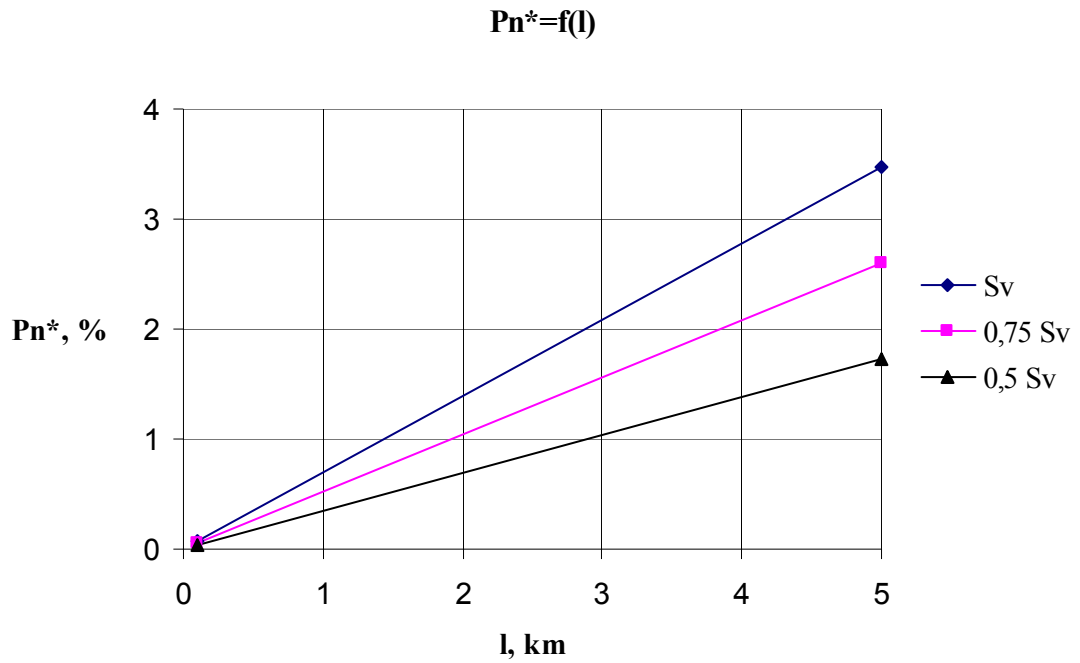
5.1 pav. 10 kV 240 mm<sup>2</sup> aliumininio kabelio  $P_n^* = f(l)$  priklausomybė



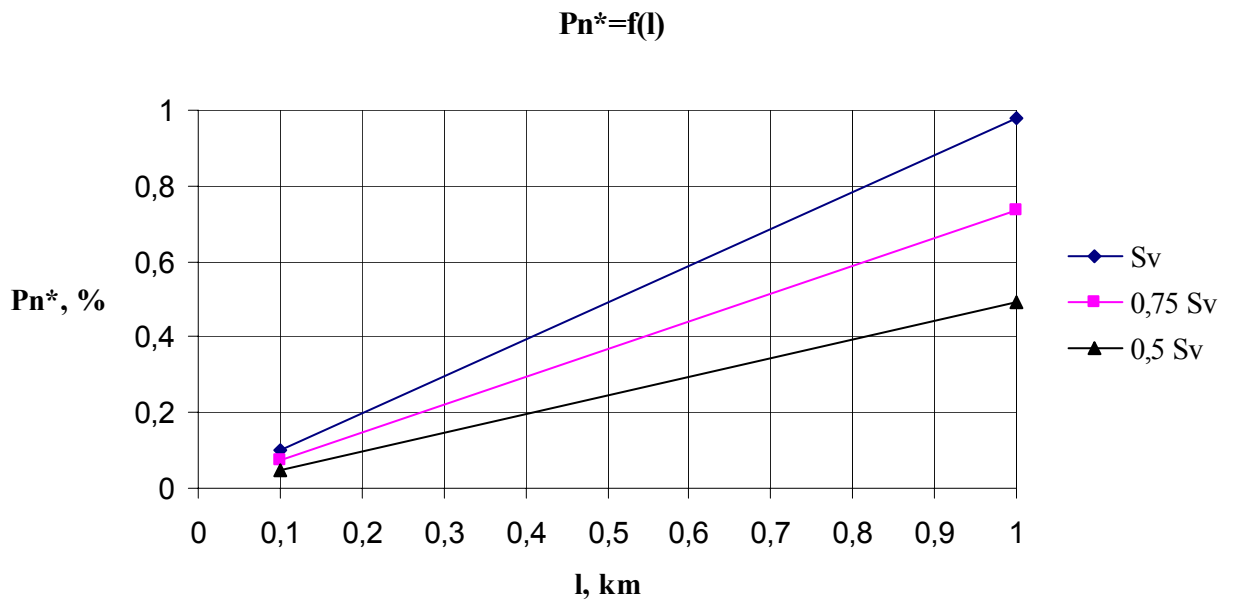
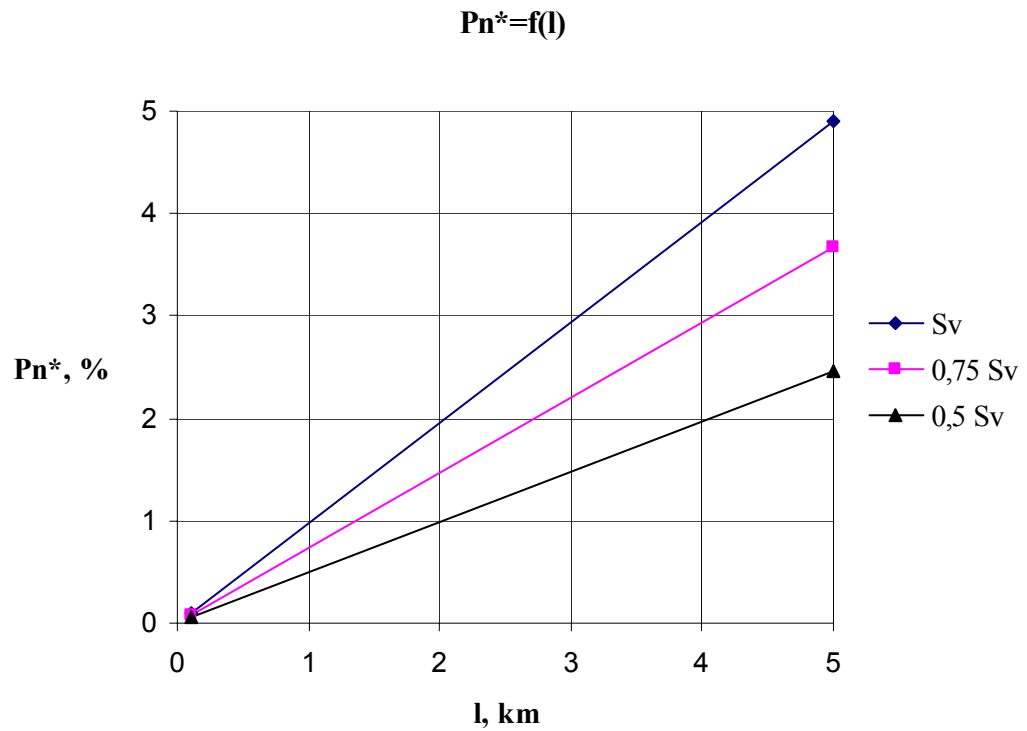
5.2 pav. 10 kV 240 mm<sup>2</sup> varinio kabelio  $P_n^* = f(l)$  priklausomybė



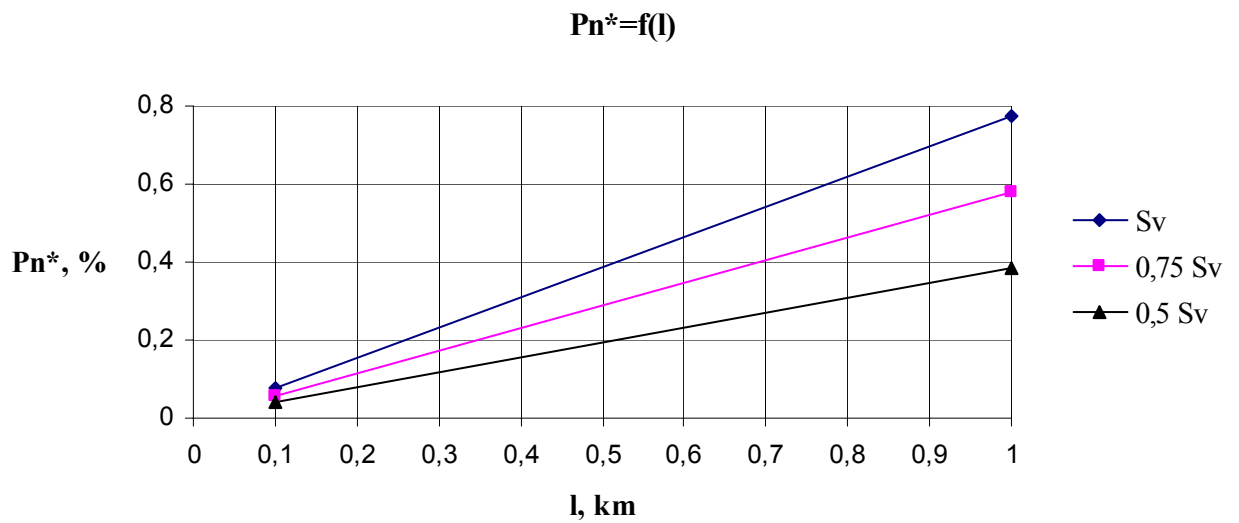
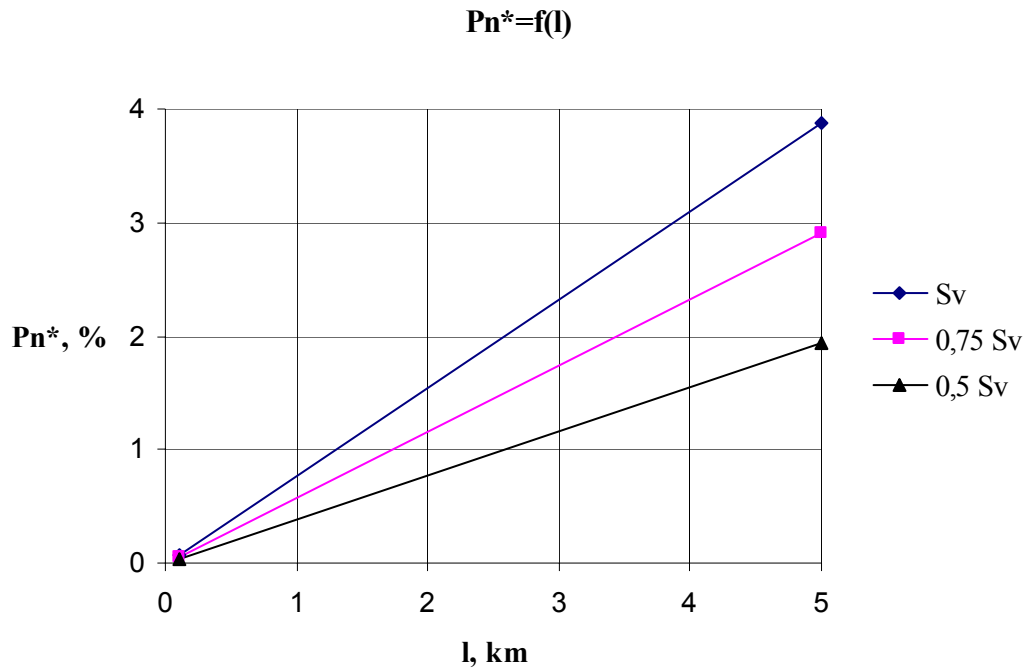
5.3 pav. 10 kV 185 mm<sup>2</sup> aliumininio kabelio  $P_n^* = f(l)$  priklausomybė



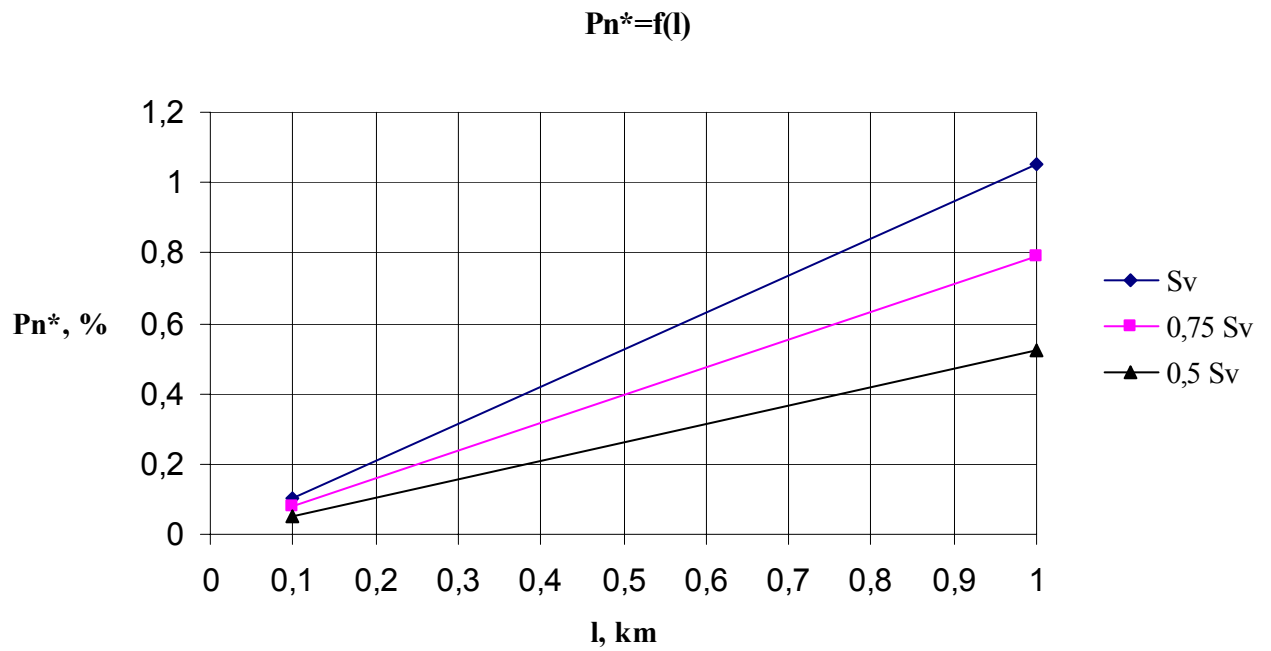
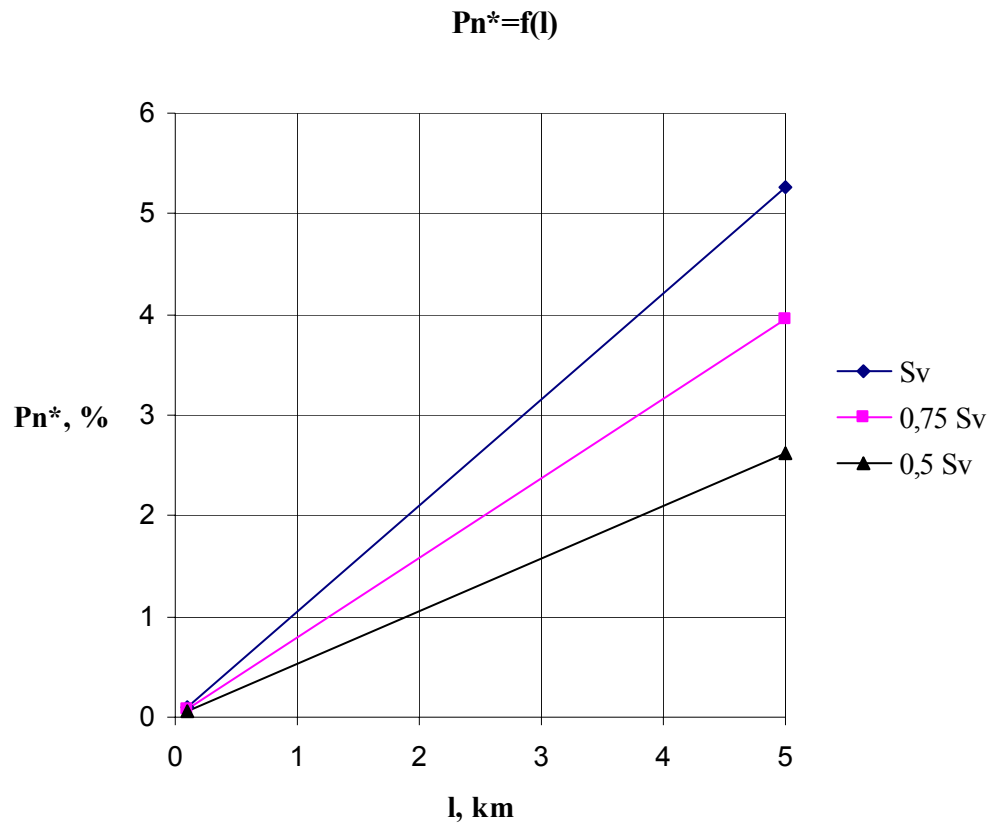
5.4 pav. 10 kV 185 mm<sup>2</sup> varinio kabelio  $P_n^* = f(l)$  priklausomybė



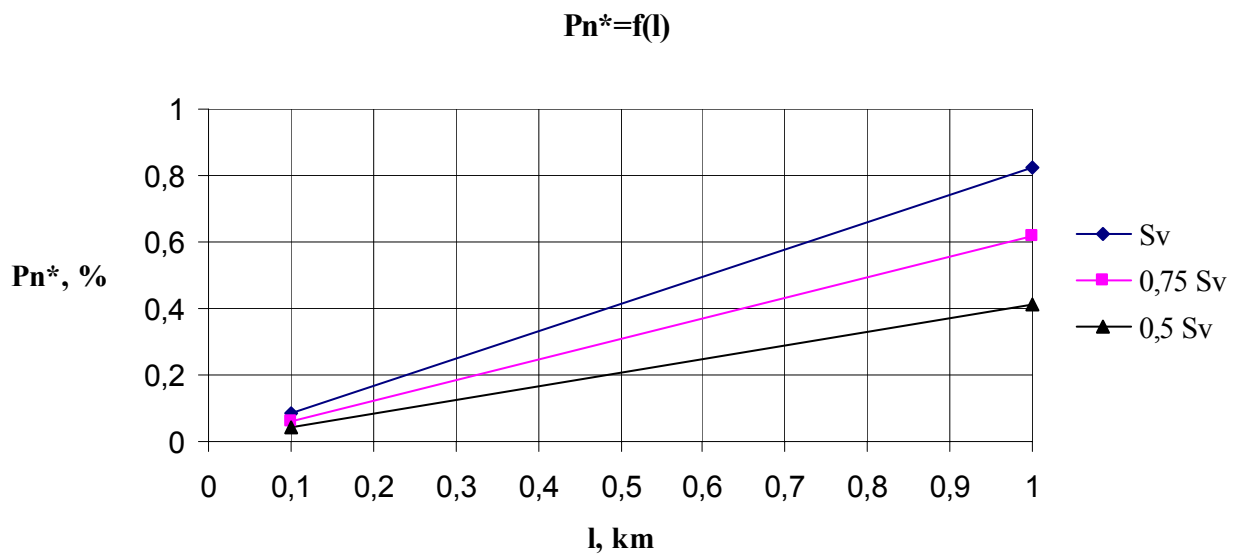
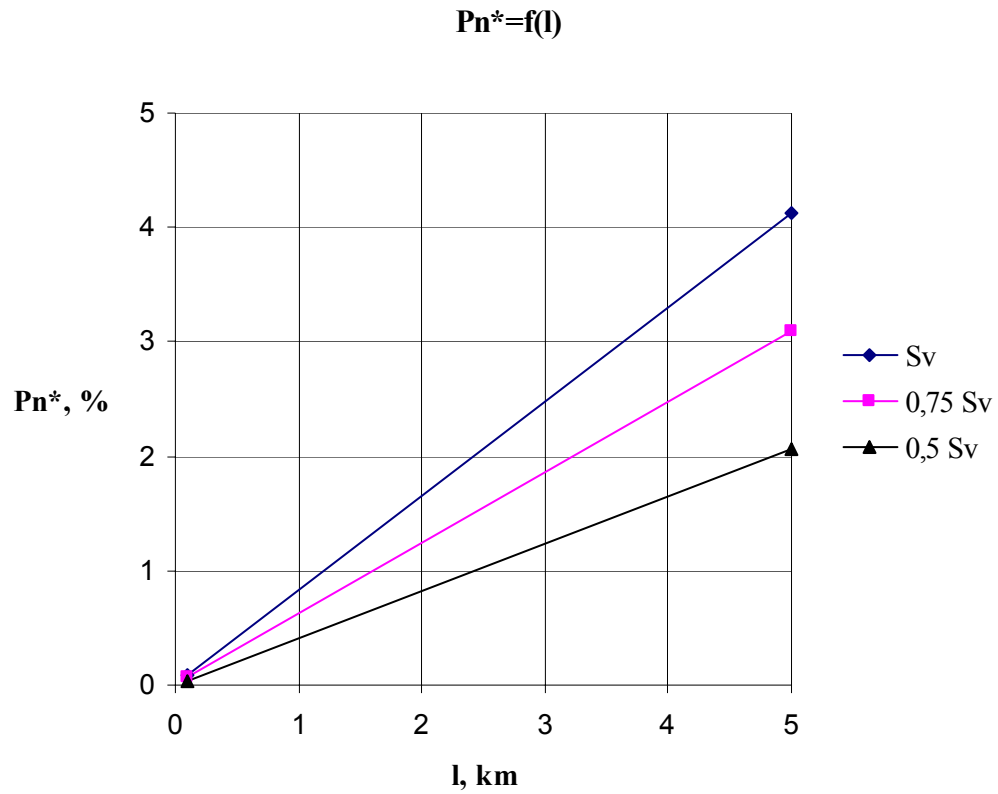
5.5 pav. 10 kV 150 mm<sup>2</sup> aliumininio kabelio  $P_n^* = f(l)$  priklausomybė



5.6 pav. 10 kV 150 mm<sup>2</sup> varinio kabelio  $P_n^* = f(l)$  priklausomybė

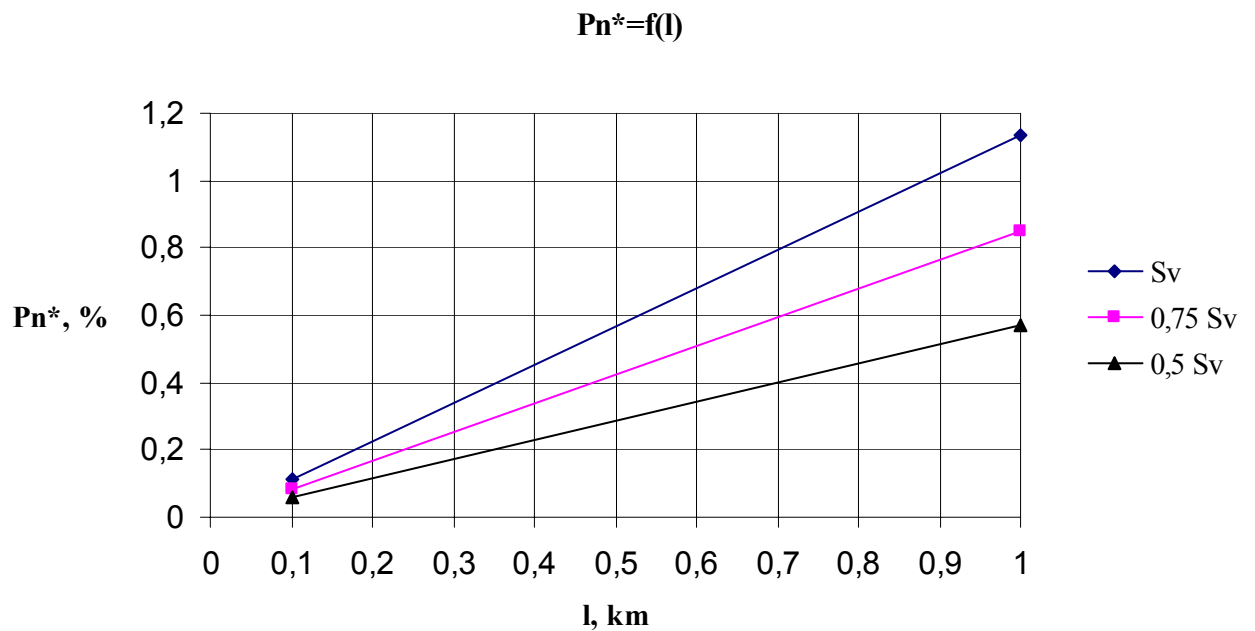
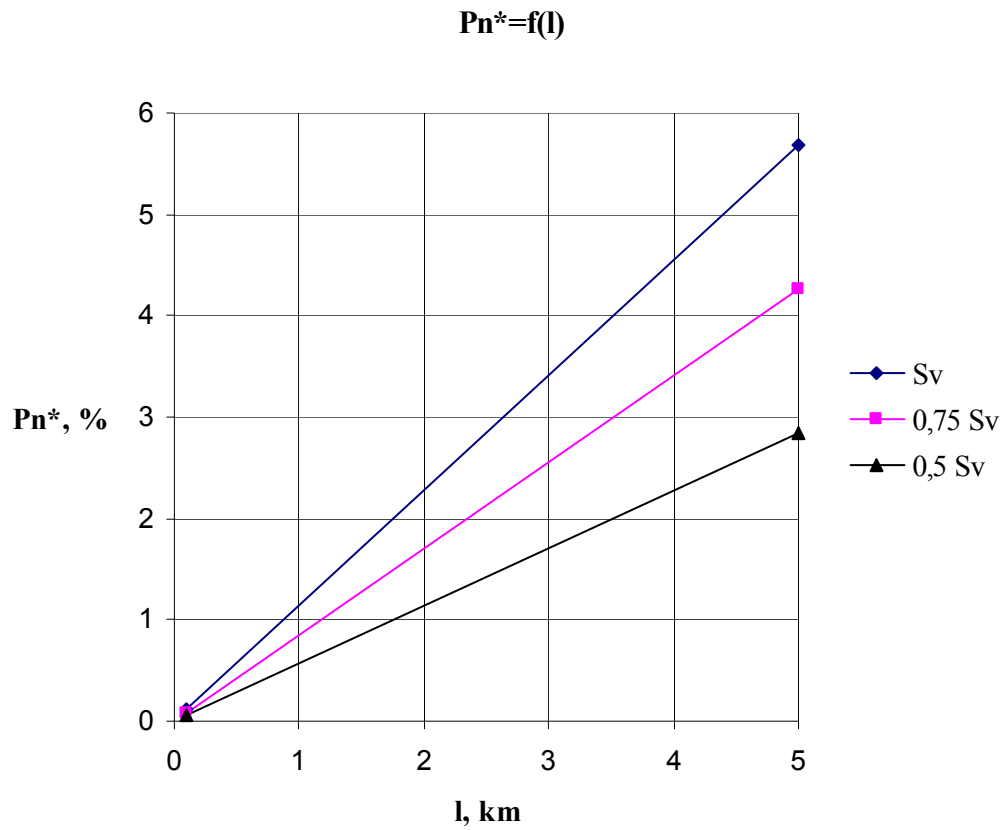


5.7 pav. 10 kV 120 mm<sup>2</sup> alumininio kabelio  $P_n^* = f(l)$  priklausomybė

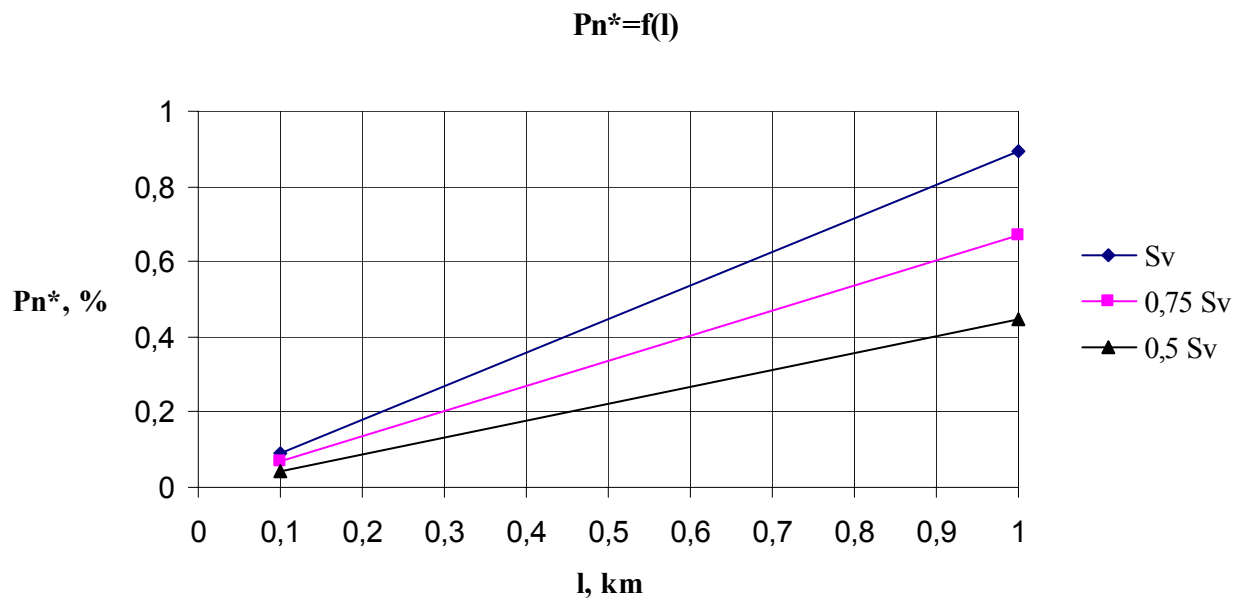
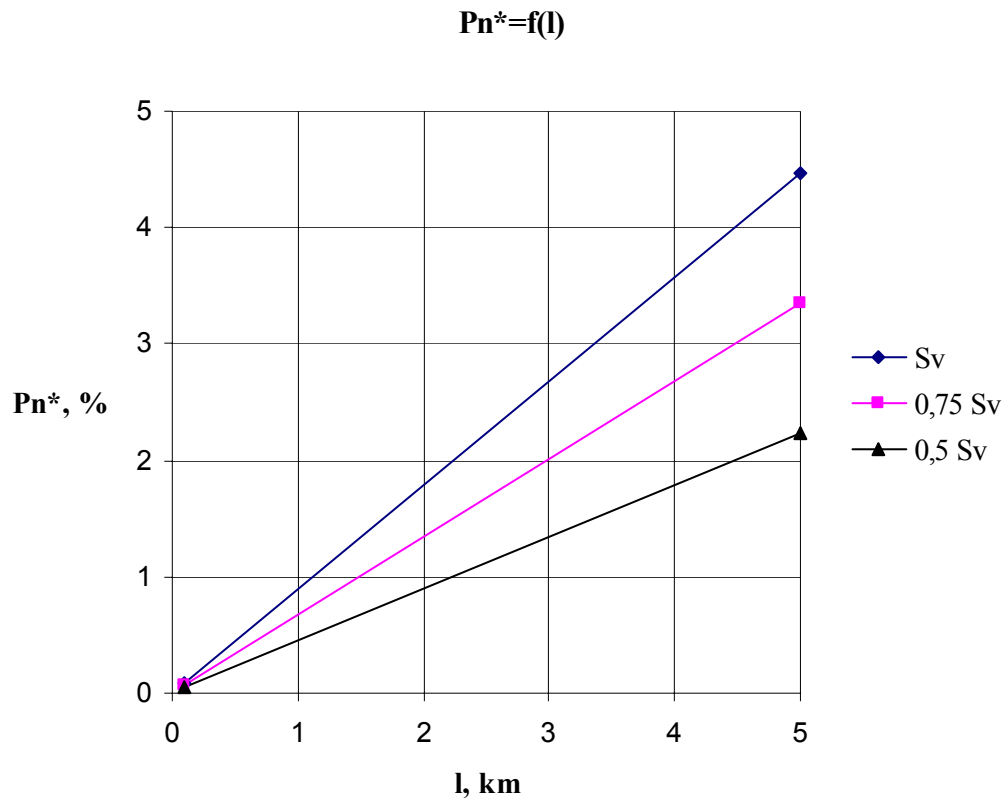


5.8 pav. 10 kV 120 mm<sup>2</sup> varinio kabelio  $P_n^* = f(l)$  priklausomybė

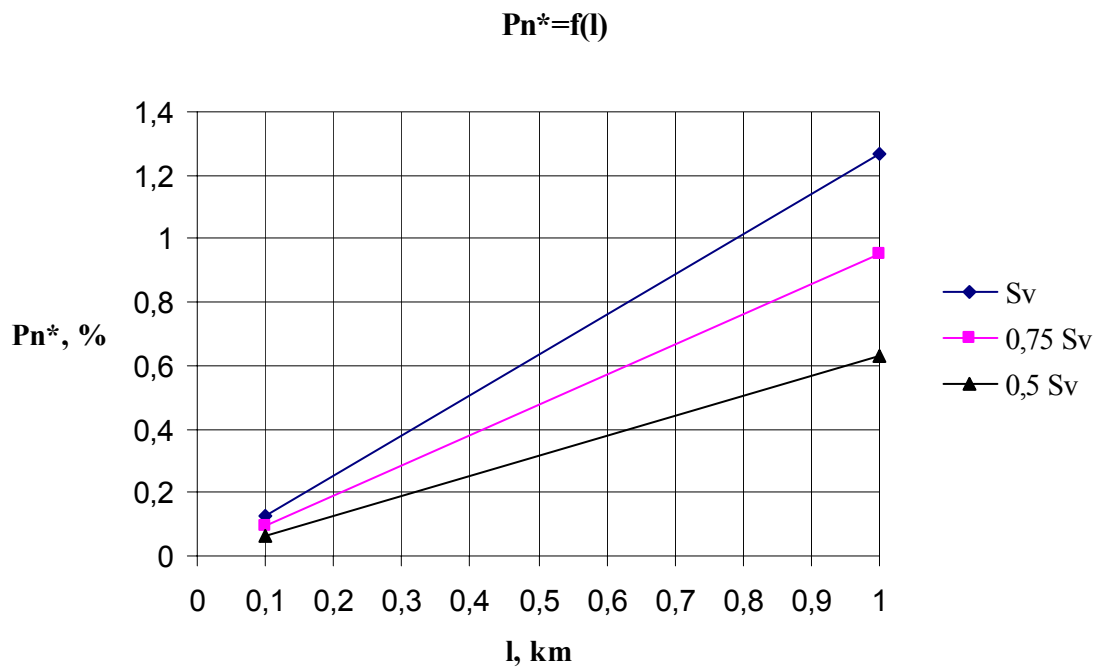
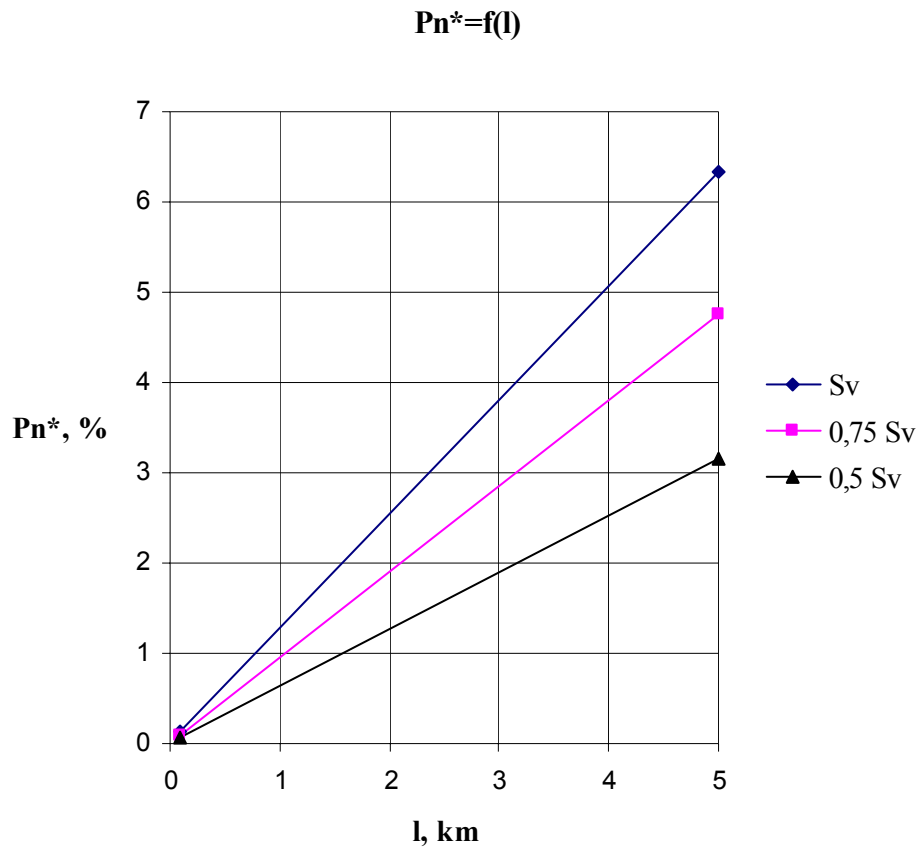




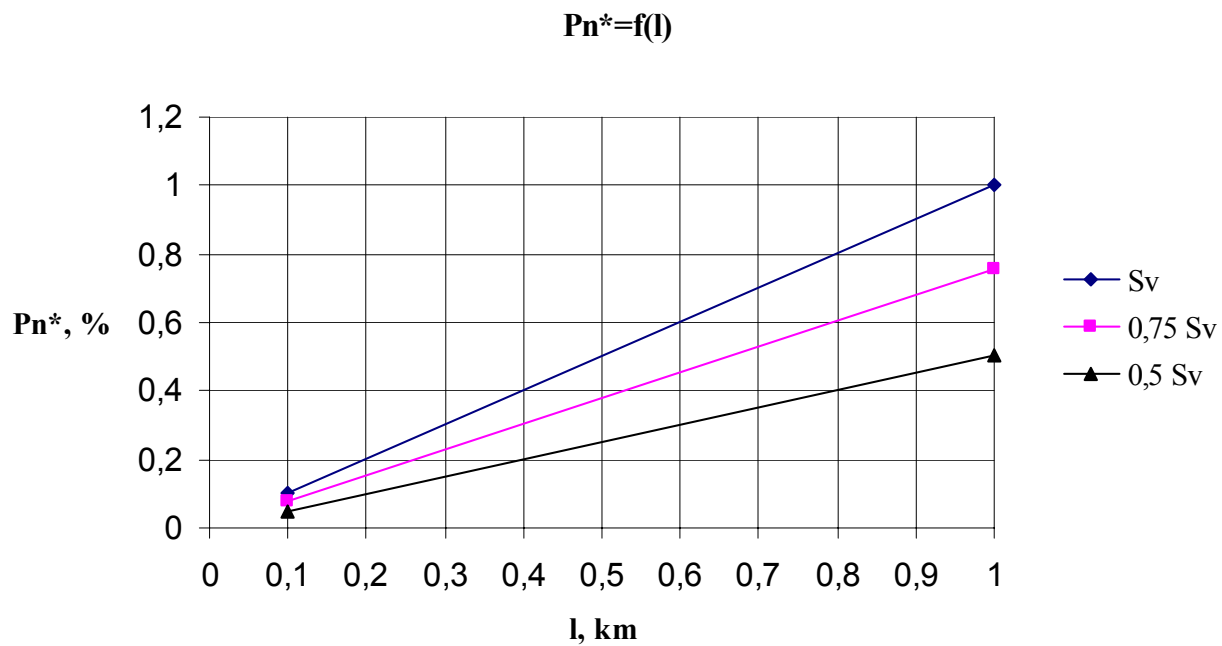
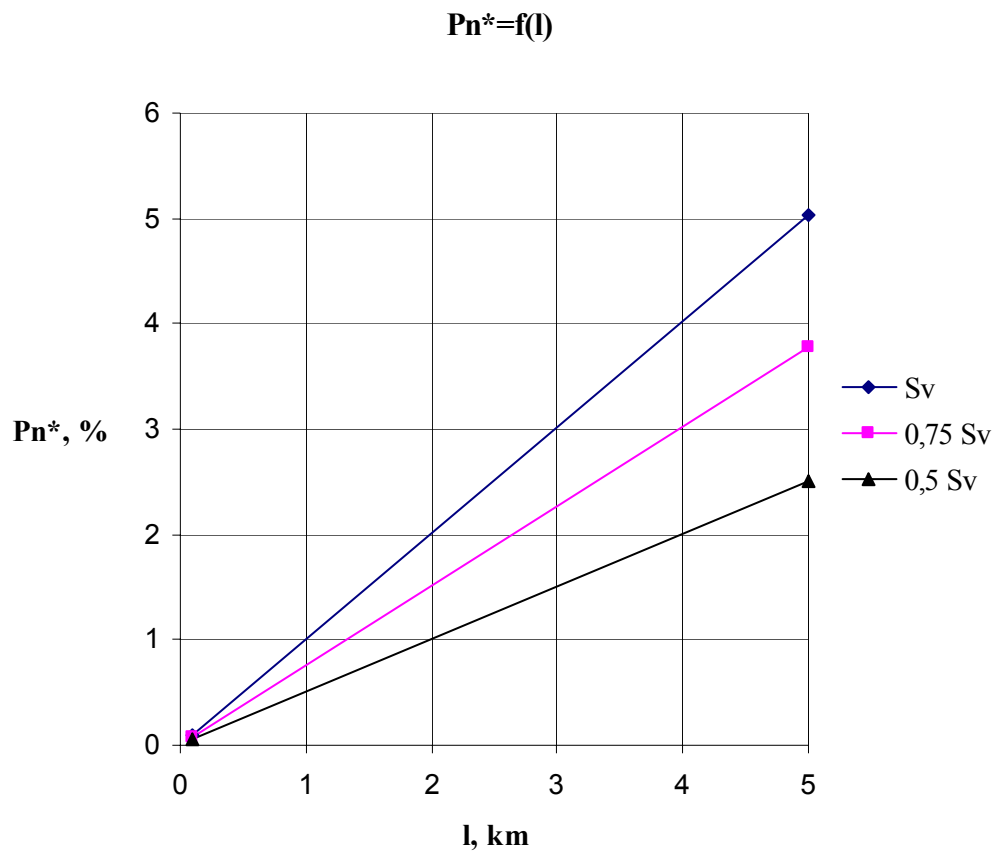
5.9 pav. 10 kV 95 mm<sup>2</sup> aliumininio kabelio  $P_n^* = f(l)$  priklausomybė



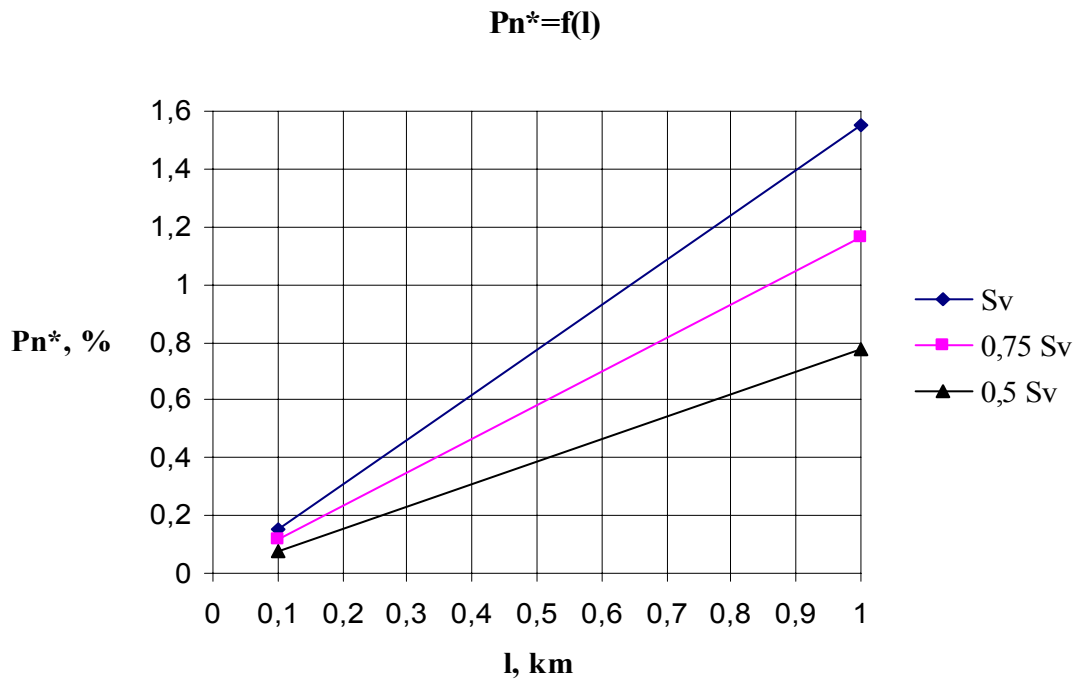
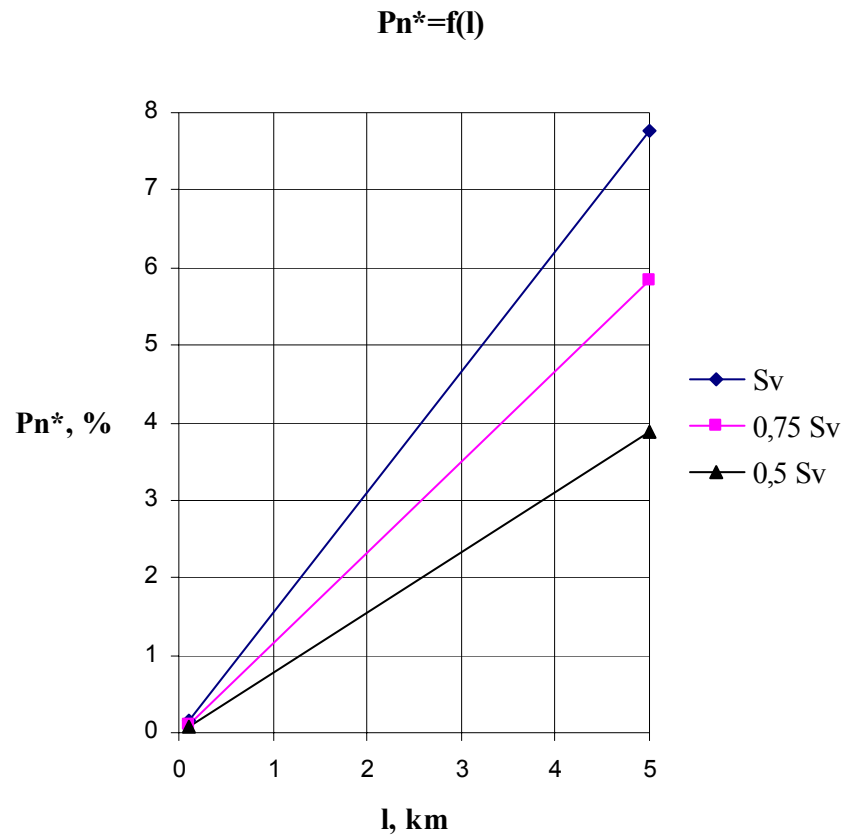
5.10 pav. 10 kV 95 mm<sup>2</sup> varinio kabelio  $P_n^* = f(l)$  priklausomybė



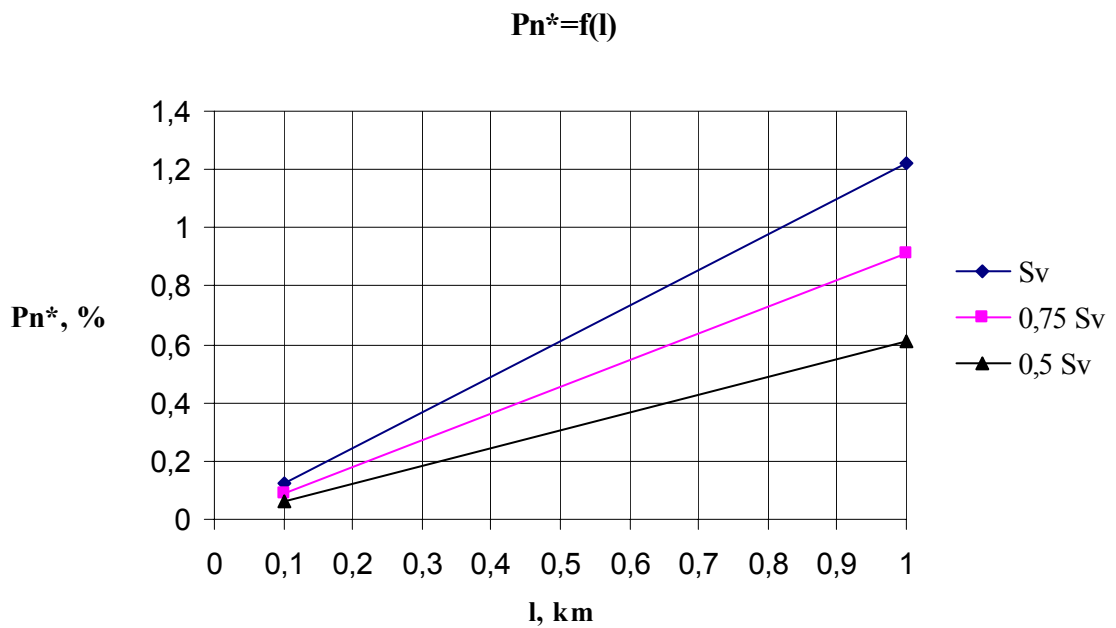
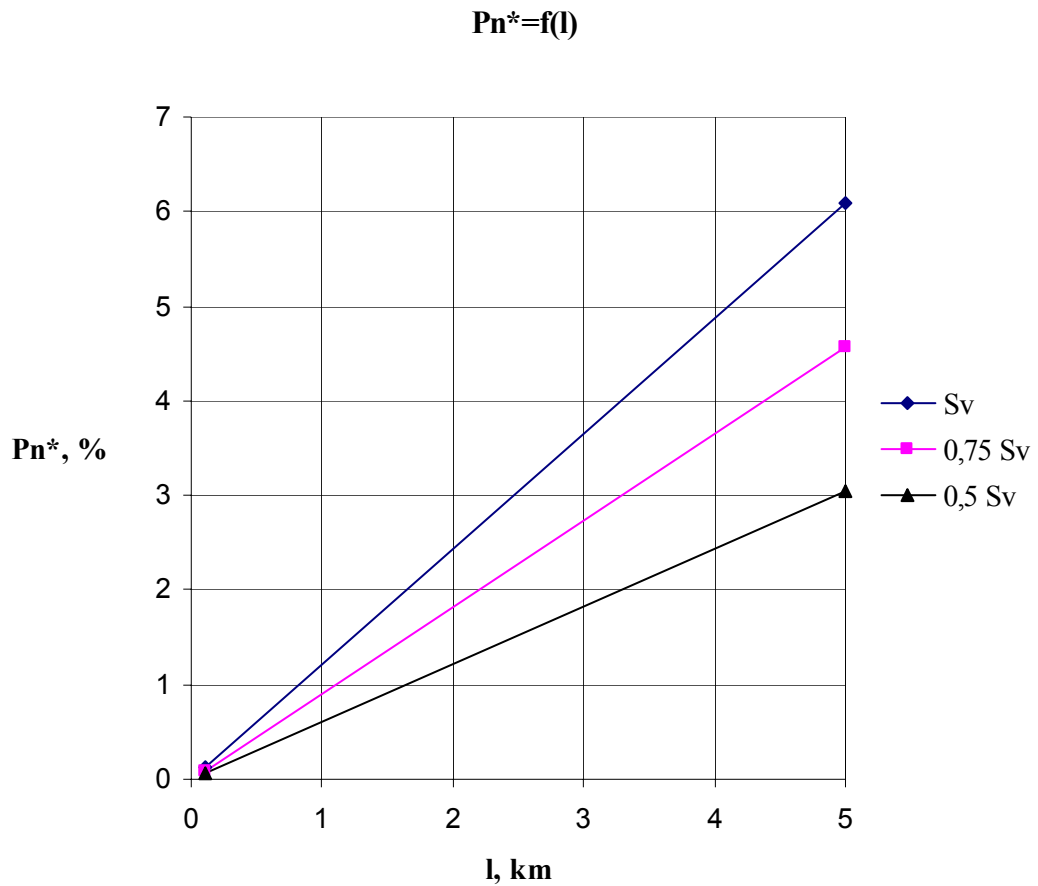
5.11 pav. 10 kV 70 mm<sup>2</sup> aliumininio kabelio  $P_n^* = f(l)$  priklausomybė



5.12 pav. 10 kV 70 mm<sup>2</sup> varinio kabelio  $P_n^* = f(l)$  priklausomybė



5.13 pav. 10 kV 50 mm<sup>2</sup> aliumininio kabelio  $P_n^* = f(l)$  priklausomybė



5.14 pav 10 kV 50 mm<sup>2</sup> varinio kabelio  $P_n^* = f(l)$  priklausomybė

Iš pateiktų grafikų matoma tiesioginė galios nuostolių priklausomybė nuo kabelio ilgio bei apkrovų. Esant vardinei kabelių apkrovai ir mažėjant kabelių skerspjūviui, santykiniai galios nuotoliai didėja.

Tos pačios galios aliumininių ir varinių kabelių santykiniai galios nuostoliai yra vienodi.

Duoti grafikai leidžia apytiksliai įvertinti galios nuostolių dydį, parenkant kabelio ilgį bei apkrovą. 3 – 4 prieduose pateiktuose grafikuose galima palyginti įvairių skerspjūvių 10 kV kabelių santykinių galios nuostolių priklausomybę nuo ilgio esant vardinei kabelių apkrovai.

Taip pat galima teigti, kad 2.1 lentelėje nurodyti 6-10 kV kabelių energijos nuostoliai yra trumpų linijų, kurių ilgis esant vardinei apkrovai yra apie 0,4 – 0,65 km.

## 6. GALIOS BEI ELEKTROS ENERGIJOS NUOSTOLIŲ SKAIČIAVIMAS PAGAL VIDUTINĘ APKROVOS SROVĘ

Skaičiuojant elektros energijos nuostolius pagal vidutinių apkrovų metodiką yra būtinas apkrovos grafiko formos koeficientas.

Elektros tinklo vidutinė srovė yra lengvai nustatoma pagal elektroninių skaitiklių rodmenis, kurie yra registruojami. Vidutinės kvadratinės srovės  $I_{sk}$  vertės skirtumas, pagal kurią yra skaičiuojami elektros energijos nuostoliai, nuo vidutinės srovės  $I_{vid}$  vertės, įvertinamas yra apkrovos grafiko formos koeficientu  $K_f$  [7].

$$I_{sk} = K_f \cdot I_{vid}; \quad (6.1)$$

čia:  $I_{sk}$  – vidutinė kvadratinė srovė, A;  $K_f$  – apkrovos grafiko formos koeficientas;  $I_{vid}$  – vidutinė srovė, A.

Pagrindiniai apkrovos grafikų parametrai yra šie:

- $P_{max}$  – maksimali apkrovos galia;
- $P_{min}$  – minimali apkrovos galia;
- $P_{vid}$  – vidutinė apkrovos galia;
- $P_{vid.kvad.}$  – vidutinė kvadratinė apkrovos galia.

Pagrindinis parametras, charakterizuojantis apkrovos grafiką, yra apkrovos grafiko formos koeficientas. Bet kokio tinklo grafiko formos koeficiento dydis gali būti apskaičiuojamas pakankamai tiksliai pagal aktyvios energijos skaitiklio rodmenis [7]:

$$K_f = \sqrt{m} \cdot \frac{\sqrt{\sum (W_p)^2}}{W_p} = \frac{P_{vid.kvad.}}{P_{vid}}; \quad (6.2)$$

čia:  $m$  – intervalų skaičius, priklausantis nuo skaitiklio režimo ( $m=24$  – valandinis,  $m=48$  – pusvalandinis);  $W_p$  – pratekėjusi per liniją aktyvioji energija, kW;  $P_{vid.kvad.}$  – vidutinė kvadratinė galia, kW;  $P_{vid}$  – vidutinė galia, kW.

Vidutinė galia apskaičiuojama pagal formulę:



$$P_{vid} = \frac{\sum_{i=1}^m P_i}{m} = \frac{\sum_{i=1}^m P_i \cdot T_i}{T_{\Sigma}}; \quad (6.3)$$

čia:  $P_i$  – vidutinė galia per  $i$  – ajį intervalą,  $kW$ ;  $T_i$  –  $i$  – ojo intervalo laikas,  $h$ ;  $T_{\Sigma}$  – suminis intervalų laikas,  $h$ .

Vidutinė kvadratinė galia apskaičiuojama pagal formulę:

$$P_{vid.kvad.} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m P_i^2}{m}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m P_i^2 \cdot T_i^2}{T_{\Sigma}}}. \quad (6.4)$$

Kai laiko intervalai yra vienodo dydžio, tai skaičiuojama pagal pirmąją formulės dalį, kai skirtingi – pagal antrąją [8].

Pilnutinė galia apskaičiuojama pagal formulę:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}; \quad (6.5)$$

čia:  $P$  – linijos aktyvi galia,  $W$ ;  $Q$  – linijos reaktyvi galia,  $Var$ .

Elektros energijos nuostoliai linijoje apskaičiuojami pagal formulę:

$$\Delta W = 3 \cdot K_f^2 \cdot I_{vid}^2 \cdot R_{ekv} \cdot T_d; \quad (6.6)$$

čia:  $R_{ekv}$  – linijos ekvivalentinė aktyvioji varža,  $\Omega$ ;  $T_d$  – vidutinis darbo valandų skaičius,  $h$ .

Vidutinė linijos srovė apskaičiuojama pagal formules:

$$I_{vid} = \frac{\sqrt{W_P^2 + W_Q^2}}{\sqrt{3} \cdot U_l \cdot T_d}; \quad (6.7)$$

arba

$$I_{vid} = \frac{W_p}{\sqrt{3} \cdot U_l \cdot T_d \cdot \cos \varphi_{vid}}; \quad (6.8)$$

čia:  $W_Q$  – pratekėjusi per liniją reaktyvioji energija,  $kW$ ;  $U_1$  – linijinė įtampa,  $kV$ ;  $\cos \varphi_{vid}$  – vidutinis aktyvios galios koeficientas.

Toliau atliekami galios nuostolių skaičiavimai realiame tinkle. Tinklo pagrindinės charakteristikos pateikiamos 6.1 lentelėje.

6.1 lentelė

Tiriamąo 10 kV tinklo charakteristikos

Kabelio skerspjūvis, $mm^2$	Srovė, A	Kabelio ilgis, km
50	140	0,325

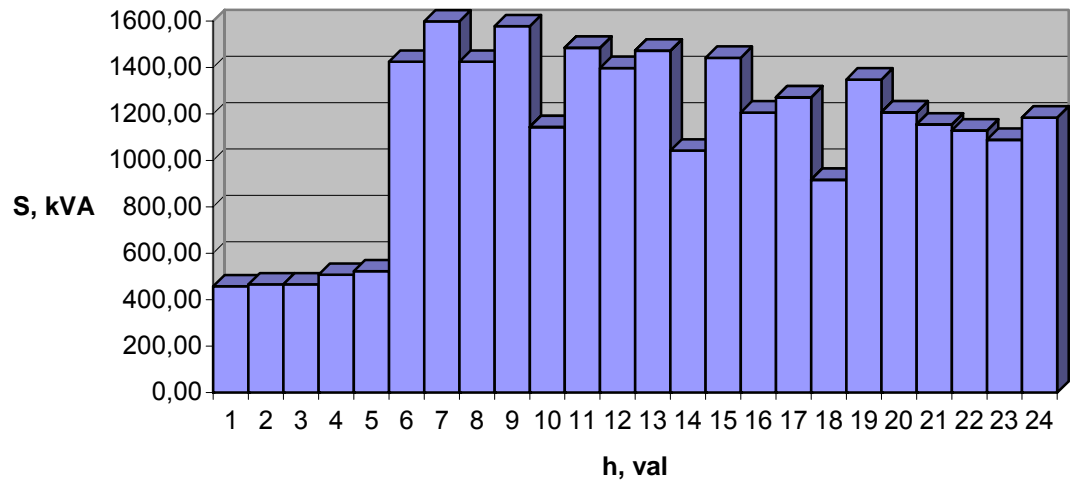
Matavimai atlikti pasinaudojant elektros linijos pradžioje esančių apskaitos prietaisų vidutinių galių parodymais: 2004 m. birželio 7 – 20 dienomis ir 2004 gruodžio 6 – 19 dienomis. Išsamiau nagrinėjami vasaros sezono darbo (2004-06-07) ir poilsio (2004-06-13), bei žiemos sezono darbo (2004-12-06) ir poilsio (2004-12-12) parų apkrovų grafikai. Pastarųjų parų apkrovos bei srovių grafikai pavaizduoti 6.1 – 6.8 paveiksluose, duomenys pateikti 6.2 – 6.3 lentelėse.

2004 metų 10 kV linijos vasaros sezono parų apkrovos grafikas

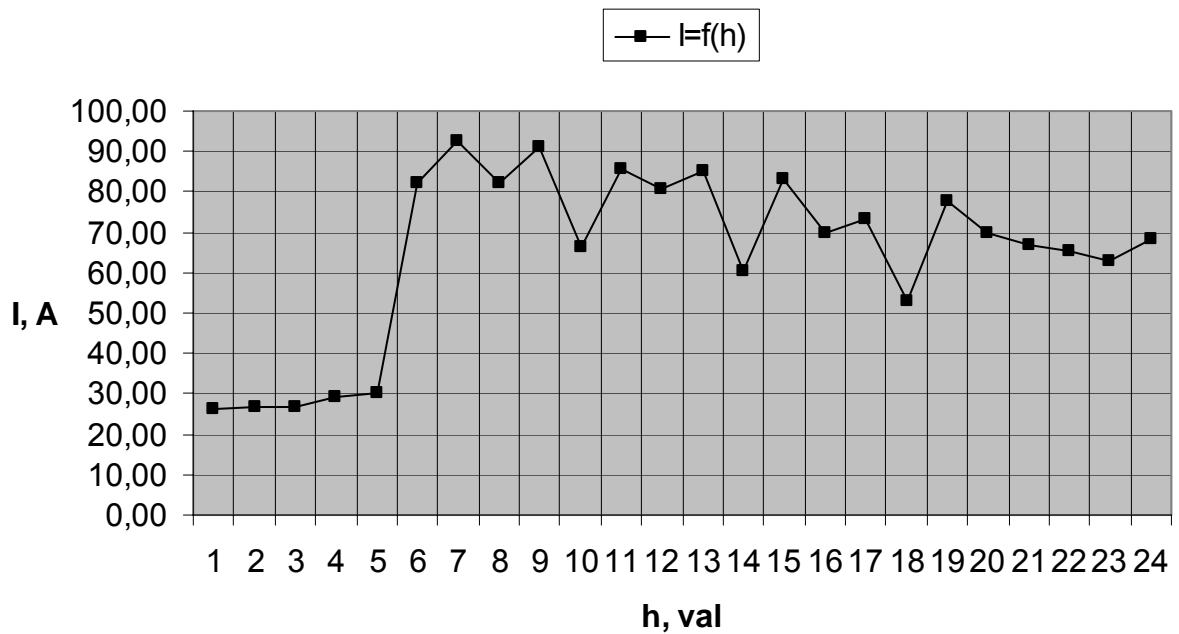
Data	S, kW											
2004.06.07	457,49	465,48	465,91	507,25	522,02	1425,16	1598,64	1424,81	1578,24	1143,35	1485,00	1397,74
2004.06.08	886,23	1152,22	1153,43	1048,51	828,55	1350,19	1565,21	1424,32	1473,24	1100,70	1531,99	1363,19
2004.06.09	888,00	1246,55	1254,59	1101,89	843,48	1337,70	1489,92	1319,09	1469,35	1084,86	1492,41	1359,35
2004.06.10	861,91	1236,15	1206,85	1058,46	784,86	1392,75	1508,98	1359,84	1510,25	1020,27	1455,25	1379,35
2004.06.11	911,70	1293,70	1289,93	1191,49	884,04	1455,23	1546,95	1422,93	1523,15	1095,10	1557,03	1471,87
2004.06.12	904,39	1256,87	1265,59	1150,16	797,17	493,43	1277,85	1361,06	1180,47	1415,90	1287,67	475,77
2004.06.13	450,89	471,75	441,84	436,47	444,03	461,11	450,77	435,76	411,63	414,53	438,89	458,24
2004.06.14	458,40	469,25	453,26	424,62	453,60	1312,99	1456,42	1390,20	1422,56	1051,20	1480,69	1377,18
2004.06.15	937,20	1232,30	1268,37	1124,29	873,09	1342,28	1476,04	1341,56	1497,29	1067,21	1366,53	1296,11
2004.06.16	892,65	1162,92	1172,98	1094,13	866,77	1451,37	1541,02	1340,62	1531,50	1076,86	1548,59	1371,52
2004.06.17	901,36	1122,64	1156,10	1075,51	837,01	1417,67	1495,40	1287,26	1424,45	1074,94	1370,49	1279,89
2004.06.18	898,96	1170,60	1182,89	1071,62	842,15	1474,20	1516,57	1362,95	1449,06	985,59	1458,12	1370,52
2004.06.19	880,49	1201,40	1198,69	1068,52	758,58	478,56	1205,89	1242,35	1123,62	1259,90	1175,36	485,79
2004.06.20	424,94	403,61	429,56	422,39	429,67	428,08	417,23	438,98	451,68	443,07	426,09	426,46
Laikas, val	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2004.06.07	1472,84	1041,83	1441,94	1206,01	1271,42	915,90	1347,89	1206,45	1154,10	1127,76	1087,66	1184,55
2004.06.08	1573,36	1490,06	1602,40	1302,27	1479,19	1017,11	1323,37	1224,19	1271,90	1179,69	1109,97	1216,37
2004.06.09	1523,60	1386,99	1327,37	1249,86	1413,37	952,55	1260,65	1159,00	1240,13	1227,02	1122,93	1198,19
2004.06.10	1547,34	1425,12	1557,75	1290,13	1433,09	957,79	1266,07	1164,84	1233,18	1181,25	1156,34	1308,14
2004.06.11	1619,06	1397,76	1462,93	1313,94	1424,48	991,67	1419,84	1233,24	1241,83	1158,74	1090,62	1209,40
2004.06.12	456,08	422,71	471,01	455,75	434,68	438,81	437,29	446,27	446,14	416,24	431,20	438,61
2004.06.13	446,35	448,04	441,71	446,46	457,04	432,48	419,20	420,57	444,12	457,60	447,65	448,06
2004.06.14	1481,31	1263,19	1397,38	1202,17	1408,34	979,73	1412,08	1223,46	1328,67	1209,52	1120,66	1296,06
2004.06.15	1478,09	1311,01	1384,83	1221,62	1372,12	992,23	1395,77	1234,13	1249,37	1121,30	1075,85	1182,90
2004.06.16	1523,37	1307,86	1405,48	1216,48	1328,95	981,16	1395,15	1237,22	1253,05	1147,60	1097,64	1228,75
2004.06.17	1489,03	1315,95	1419,48	1212,96	1309,82	918,49	1379,26	1263,17	1321,47	1163,44	1041,84	1174,82
2004.06.18	1490,16	1332,32	1385,11	1214,85	1382,03	928,24	1248,52	1140,27	1244,31	1158,59	1133,21	1222,05
2004.06.19	445,27	436,03	426,10	420,99	412,86	428,27	414,71	413,08	405,67	429,74	448,91	446,64
2004.06.20	431,93	453,39	448,57	436,68	417,35	443,58	449,66	429,24	420,55	424,96	439,59	454,91
Laikas, val	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24

2004 metų 10 kV linijos žiemos sezono parų apkrovos grafikas

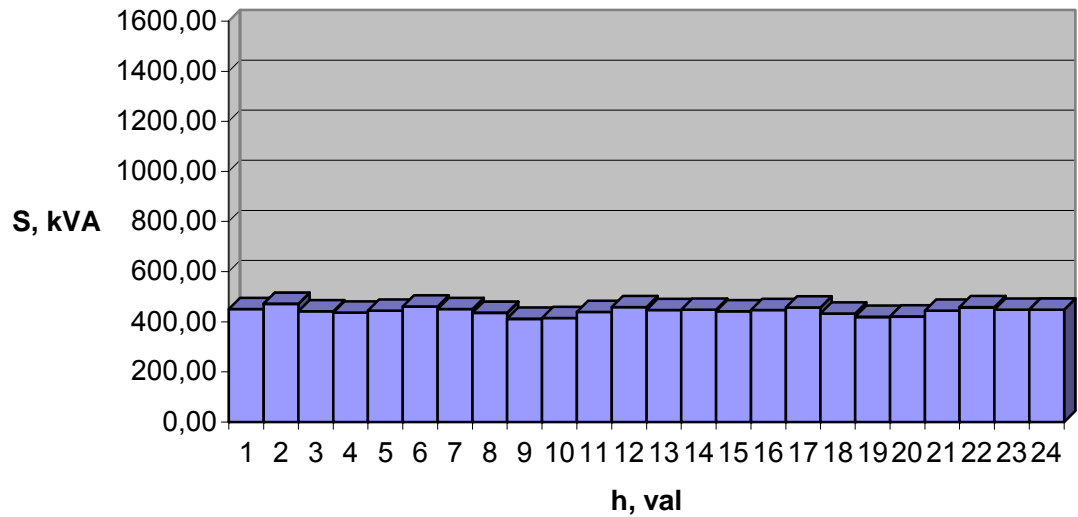
Diena	S, kW											
2004.12.06	1018,27	854,18	984,47	1017,58	889,95	731,42	1328,32	1497,62	1451,44	1594,98	1191,54	1508,59
2004.12.07	853,14	729,68	867,64	869,96	809,33	682,44	1225,30	1411,11	1271,03	1385,07	1069,36	1383,96
2004.12.08	989,00	792,78	977,52	1009,22	894,47	727,28	1193,03	1359,65	1445,32	1535,98	1116,96	1476,29
2004.12.09	880,15	735,96	834,11	903,90	881,18	741,27	1292,19	1439,31	1457,16	1496,33	1177,54	1497,09
2004.12.10	888,55	775,01	958,71	964,95	926,11	808,77	675,12	1299,57	1417,33	1287,74	1423,61	1169,40
2004.12.11	525,02	541,84	574,55	535,65	525,74	500,89	512,43	583,94	549,10	571,40	593,90	551,06
2004.12.12	491,80	492,19	495,57	522,71	494,74	547,71	1300,07	1463,15	1427,90	1490,16	1177,13	1495,26
2004.12.13	817,03	699,87	845,17	861,09	836,34	694,32	1309,54	1437,08	1372,59	1552,70	1202,77	1540,15
2004.12.14	928,59	736,14	828,58	833,70	779,17	724,65	1272,41	1459,24	1429,80	1481,86	1216,51	1493,51
2004.12.15	919,53	775,98	881,23	889,72	831,32	715,11	1325,09	1480,74	1394,65	1502,68	1166,75	1491,60
2004.12.16	938,31	776,93	939,71	919,07	832,19	699,31	1280,21	1461,72	1424,93	1513,09	1135,00	1466,08
2004.12.17	854,62	718,95	816,45	851,66	775,62	673,58	630,98	1285,22	1379,53	1284,62	1378,04	1195,31
2004.12.18	521,31	513,82	537,97	535,67	558,58	514,79	501,65	575,01	563,07	539,09	541,82	513,78
2004.12.19	103,58	105,08	103,58	99,00	106,66	100,58	94,50	94,66	97,58	94,58	90,08	91,58
Laikas, val	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2004.12.06	1453,59	1573,69	1358,00	1465,25	1266,15	1376,10	1037,39	1228,49	1156,82	1274,57	848,60	823,34
2004.12.07	1368,83	1451,46	1296,58	1446,51	1258,68	1357,62	1046,37	1244,67	1204,32	1245,53	1028,81	918,42
2004.12.08	1396,16	1543,63	1387,15	1441,82	1269,95	1367,10	1084,87	1335,92	1256,25	1281,53	912,46	849,39
2004.12.09	1364,36	1504,74	1451,68	1479,54	1267,47	1402,31	1054,30	1335,82	1212,16	1254,17	927,51	857,42
2004.12.10	1374,83	1264,01	1239,03	1321,97	1254,79	872,64	577,23	593,59	580,73	560,11	515,36	518,63
2004.12.11	605,04	551,17	543,67	534,39	541,73	526,58	488,71	514,54	491,74	502,53	543,44	504,55
2004.12.12	1410,19	1524,03	1360,86	1531,93	1365,70	1396,38	1116,75	1360,43	1316,04	1348,54	868,89	830,25
2004.12.13	1418,95	1561,85	1562,81	1589,57	1328,15	1405,85	1026,45	1318,77	1252,13	1352,32	818,91	820,43
2004.12.14	1349,49	1516,09	1467,54	1611,43	1399,19	1405,93	1086,46	1482,74	1381,05	1302,33	963,79	864,45
2004.12.15	1401,94	1437,56	1385,40	1562,85	1358,54	1388,92	1076,22	1402,45	1244,78	1339,26	916,36	868,95
2004.12.16	1395,82	1497,00	1412,70	1473,66	1269,36	1395,46	1084,94	1403,16	1288,89	1331,48	957,77	848,69
2004.12.17	1244,07	1085,86	1062,14	1111,17	988,78	779,06	577,84	624,10	572,78	574,03	532,45	537,26
2004.12.18	528,92	501,11	537,25	524,49	527,80	513,90	513,13	537,82	522,15	497,23	503,84	492,81
2004.12.19	94,58	93,16	100,50	100,58	103,58	105,16	106,50	109,58	102,08	99,00	100,66	97,66
Laikas, val	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24



6.1 pav. 2004 metų 10 kV vasaros sezono darbo dienos (2004-06-07) apkrovos grafikas  $S=f(h)$

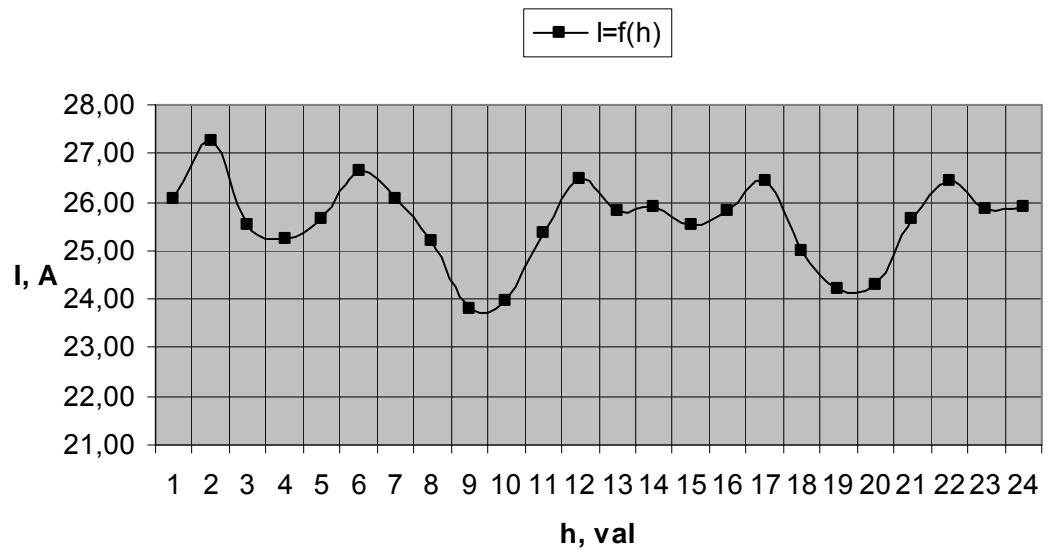


6.2 pav. 2004 metų 10 kV vasaros sezono darbo dienos (2004-06-07) srovių grafikas  $I=f(h)$



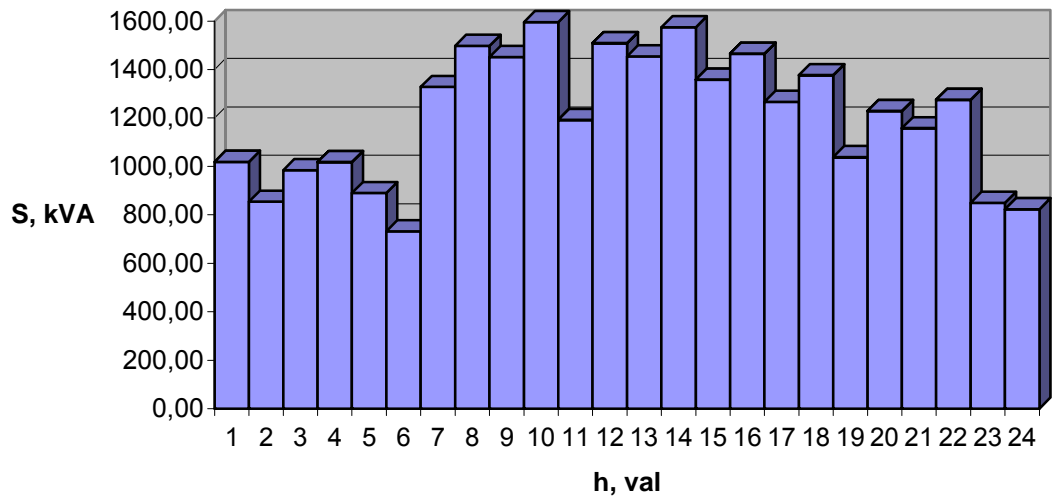
6.3 pav. 2004 metų 10 kV vasaros sezono nedarbo dienos (2004-06-13) apkrovos grafikas

$$S=f(h)$$

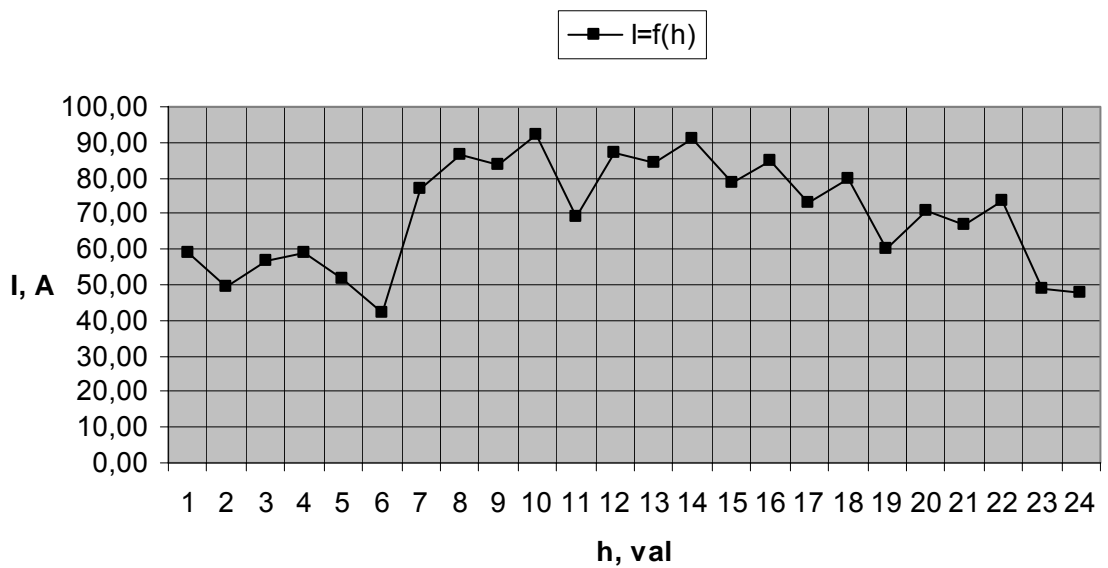


6.4 pav. 2004 metų 10 kV vasaros sezono darbo nedienos (2004-06-13) srovių grafikas

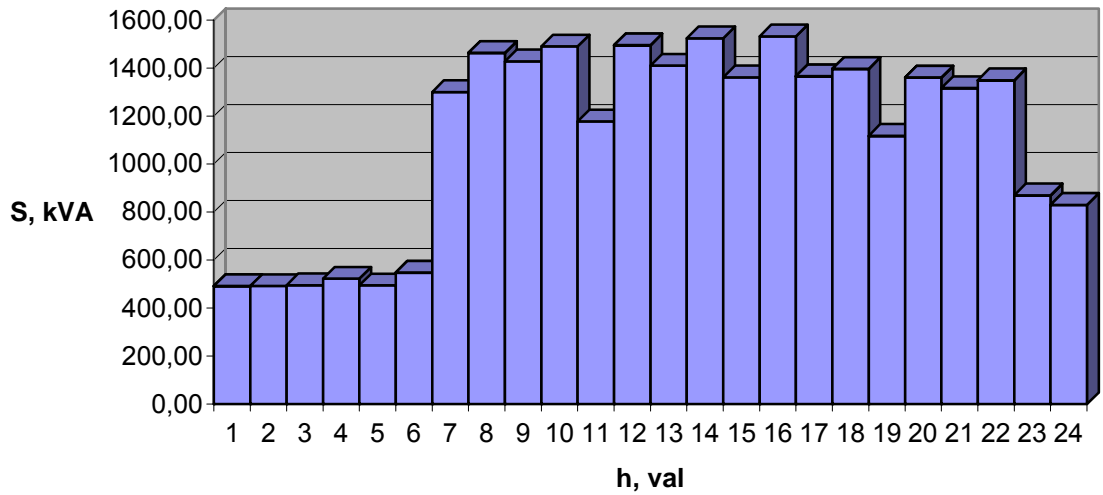
$$I=f(h)$$



6.5 pav. 2004 metų 10 kV žiemos sezono darbo dienos (2004-12-06) apkrovos grafikas  $S=f(h)$

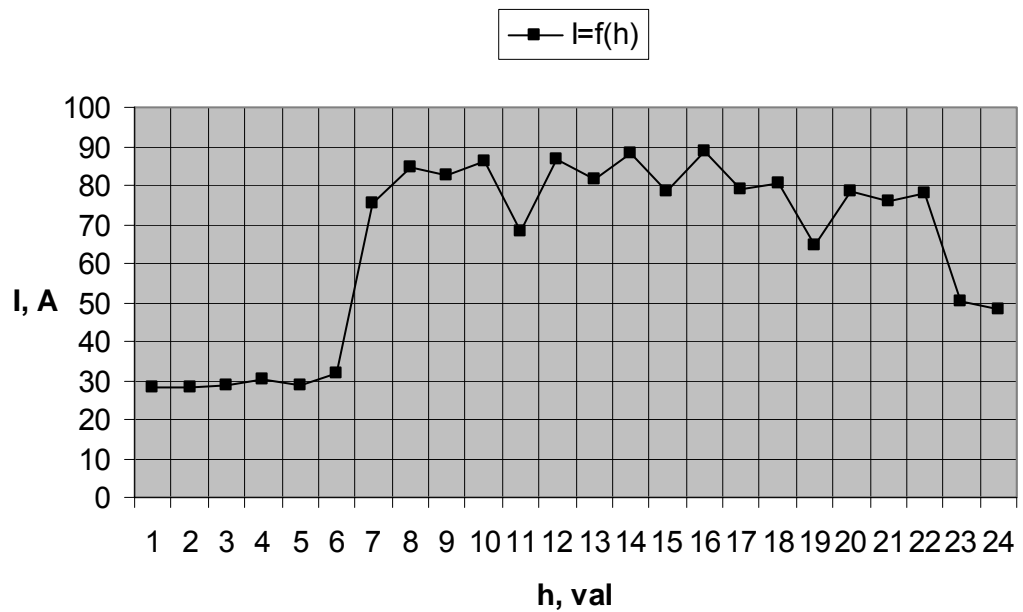


6.6 pav. 2004 metų 10 kV žiemos sezono darbo dienos (2004-12-06) srovių grafikas  $I=f(h)$



6.7 pav. 2004 metų 10 kV žiemos sezono nedarbo dienos (2004-12-12) apkrovos grafikas

$$S=f(h)$$



6.8 pav. 2004 metų 10 kV žiemos sezono nedarbo dienos (2004-12-12) srovių grafikas

$$I=f(h)$$



10 kV elektros tinklo energijos nuostoliai linijoje yra apskaičiuojami pagal 6.6 formulę. Apkrovos grafiko formos koeficientas apskaičiuojamas remiantis 6.2 formule. Vidutinė linijos srovė randama pagal 6.7 formulę.

Vasaros sezonas darbo diena (2004-06-07):

$$\Delta W = 3 \cdot 1,046^2 \cdot 64,54^2 \cdot 0,208 \cdot 24 = 68,25 \text{ [kWh]}.$$

Vasaros sezonas poilsio diena (2004-06-13):

$$\Delta W = 3 \cdot 1,001^2 \cdot 25,56^2 \cdot 0,208 \cdot 24 = 9,80 \text{ [kWh]}.$$

Žiemos sezonas darbo diena (2004-12-06):

$$\Delta W = 3 \cdot 1,057^2 \cdot 65,88^2 \cdot 0,208 \cdot 24 = 72,62 \text{ [kWh]}.$$

Žiemos sezonas poilsio diena (2004-12-12):

$$\Delta W = 3 \cdot 1,001^2 \cdot 29,17^2 \cdot 0,208 \cdot 24 = 12,77 \text{ [kWh]}.$$

Elektros energijos nuostolių skaičiavimų pagal vidutinę apkrovos srovę patikrinimui energijos nuostoliai skaičiuojami taikant AB „Lietuvos energija“ metodiką. Elektros energijos nuostoliai linijoje yra skaičiuojami pagal 4.2.1 formulę. Apkrovos grafiko formos koeficientas apskaičiuojamas remiantis 4.2.2 formule. Apkrovos grafiko pilnumo koeficientas randamas iš 4.2.3 formulės.

Vasaros sezonas darbo diena (2004-06-07):

$$\Delta W_{pl} = \frac{25273,62^2 + 9003,8^2}{10^2 \cdot 24 \cdot 10^3} \cdot 1,096 \cdot 0,208 = 68,37 \text{ [kWh]}.$$

Vasaros sezonas poilsio diena (2004-06-13):

$$\Delta W_{pl} = \frac{10580,68^2 + 952,42^2}{10^2 \cdot 24 \cdot 10^3} \cdot 1,017 \cdot 0,208 = 9,95 \text{ [kWh]}.$$

Žiemos sezonas darbo diena (2004-12-06):

$$\Delta W_{pl} = \frac{26842,8^2 + 5422,3^2}{10^2 \cdot 24 \cdot 10^3} \cdot 1,101 \cdot 0,208 = 71,56 \text{ [kWh]}.$$

Žiemos sezonas poilsio diena (2004-12-12):

$$\Delta W_{pl} = \frac{11948,48^2 + 2067,22^2}{10^2 \cdot 24 \cdot 10^3} \cdot 1,021 \cdot 0,208 = 13,01 \text{ [kWh]}.$$

Lyginant energijos nuostolių skaičiavimus pagal vidutinę apkrovos srovę ir AB „Lietuvos energija“ metodiką, gautos nežymios paklaidos (nuo 0,12 iki 1,06 kWh). Vadinas, energijos nuostolių skaičiavimai pagal vidutinę apkrovos srovę yra teisingi.

Toliau skaičiuojami paros elektros energijos nuostoliai procentais nuo atiduotos į skirstomąjį 10 kV elektros tinklą energijos pagal formulę:

$$\Delta W_{\%} = \frac{\Delta W_p}{W_p} \cdot 100\% ; \quad (6.9)$$

čia:  $\Delta W_p$  – aktyvieji elektros energijos nuostoliai per parą,  $kW$ ;  $W_p$  – suvartota aktyvioji elektros energija per parą,  $kW$ .

Vasaros sezonas darbo diena (2004-06-07):

$$\Delta W_{\%} = \frac{68,25}{25273,62} \cdot 100 = 0,27 \%$$

Vasaros sezonas poilsio diena (2004-06-13):

$$\Delta W_{\%} = \frac{9,8}{10580,68} \cdot 100 = 0,09 \%$$

Žiemos sezonas darbo diena (2004-12-06):

$$\Delta W_{\%} = \frac{72,62}{26842,80} \cdot 100 = 0,27 \%$$

Žiemos sezonas poilsio diena (2004-12-12):

$$\Delta W_{\%} = \frac{12,77}{11948,48} \cdot 100 = 0,11 \%$$

Analizuojant pastaruosius skaičiavimus, galima teigti, kad nagrinėjamas tinklas darbo dienomis yra apkrautas tik apie 54 % , o poilsio dienomis apie 18 – 22 %.

## IŠVADOS

1. Galios nuostoliai yra sudedamoji elektros energijos sąnaudų dalis. Tokiu būdu žinant galios nuostolius galima skaičiuoti elektros energijos nuostolius (technologines sąnaudas).
2. Atlikus kabelių varžos priklausomybės nuo kabelio apkrovos daromą įtaką galios nuostolių skaičiavimams, pastebėta, kad:
  - kabelio temperatūra priklausomai nuo apkrovos kinta ženkliai (nuo vardinės iki aplinkos);
  - kabelių varža temperatūrai didėjant aliumininiam kabeliui didėja – 16,3 %, o variniam – 15,6 %;
  - galios nuostolių skaičiavimo rezultatų skirtumai įvertinus kabelio temperatūrų pokytį sudaro iki 16,34 %.
3. Atlikus įtampos nuostolių priklausomybės nuo žeminančiojo transformatoriaus apkrovos ir nuo aktyvios bei reaktyvios galios koeficientų  $\cos \varphi$  ir  $\sin \varphi$  eksperimentinius skaičiavimus gaunami įtampos nuostoliai, esant realiai apkrovai linijoje, yra iki 15,5 V ir tai sudaro 0,26 %.
4. Nagrinėjant galios nuostolių skaičiavimą pagal įtampos nuostolius, pastebėta, kad norint gauti priimtina (iki 10 %) skaičiavimų tikslumą, reikia ypatingai tikslų įtampos matavimo rezultatų. Matuojant 10 % tikslumu įtampos nuostolius, kurių laukiama reikšmė 3 %, voltmetro tikslumo klasė neturi viršyti 0,1.
5. Atlikus santykinų galios nuostolių kabeliuose skaičiavimus išsiaiškinta, kad mažėjant kabelių skerspjūviui, santykiniai galios nuostoliai didėja; tos pačios galios aliumininų ir varinių kabelių santykiniai galios nuostoliai yra vienodi.

## LITERATŪRA

1. <http://www.elektroklubas.lt>
2. Elektros energetika ir technologijos. Konferencijos pranešimų medžiaga. Kauno technologijos universitetas, 2004.
3. Конюхова Е. А. Определение потерь мощности по потерям напряжения в электрических сетях промпредприятий. Москва, 2003.
4. Конюхова Е. А. Электроснабжение объектов. Москва, 2001.
5. <http://www.vest.lt>
6. Алиев И.И. Электротехнический справочник. Москва, 2000.
7. Федоров А.А. Основы Электроснабжения промышленных предприятий. Москва, 1972.
8. Казанцева В. Н. Потери электроэнергии в электрических сетях энергосистем. Москва, 1983.
9. Galios transformatorių, elektros perdavimo ir kabelinių linijų elektros nuostolių apskaičiavimo metodika. AB „Lietuvos energija“, 2000.
10. Чунихин А. А. Электрические аппараты. Москва, 1988.
11. Буль Б. К., Буткевич Г. В., Годжелло А. Г. и др. Основы теории электрических аппаратов. Москва, 1970.
12. Deksnys R., Grėbikas P., Rutkauskas M. ir kt. Elektros įrenginių įrengimo taisyklės. Vilnius, 2001.
13. Железко Ю. С. Выбор мероприятий по снижению потерь электроэнергии в электрических сетях. Москва, 1989.
14. <http://www.rst.lt>
15. <http://www.lpc.lt>
16. Pukys P. Teorinė elektrotechnika. I dalis. Kaunas, 2000.
17. Masiokas S. Elektrotechnika. Vilnius, 1989.
18. Ramonas Z., Petronis V., Čikotienė D. Technologijos fakulteto studijų darbų parengimo tvarka. Šiauliai, 2004.

# PRIEDAI

Įtampos nuostolių priklausomybės nuo žeminančiojo transformatoriaus apkrovos ir nuo galios koeficientų skaičiavimo rezultatai

Nr.	$F_k, \text{mm}^2$	S, kVA	L, km	$r_0, \Omega/\text{km}$	$x_0, \Omega/\text{km}$	$\cos\varphi$	$\sin\varphi$	$I_b, \text{A}$	$\Delta U$
1.	95	400	1,16	0,32	0,11	0,9	0,43	23,094	15,558
	95	360	1,16	0,32	0,11	0,9	0,43	20,785	14,002
	95	320	1,16	0,32	0,11	0,9	0,43	18,475	12,446
	95	280	1,16	0,32	0,11	0,9	0,43	16,116	10,891
	95	240	1,16	0,32	0,11	0,9	0,43	13,856	9,335
	95	200	1,16	0,32	0,11	0,9	0,43	11,547	7,779
	95	400	1,16	0,32	0,11	0,8	0,6	23,094	14,941
	95	400	1,16	0,32	0,11	0,7	0,71	23,094	14,017
	95	400	1,16	0,32	0,11	0,6	0,8	23,094	12,992
	95	200	1,16	0,32	0,11	0,6	0,8	11,547	6,496
2.	95	400	0,183	0,32	0,11	0,9	0,43	23,094	2,454
	95	360	0,183	0,32	0,11	0,9	0,43	20,785	2,209
	95	320	0,183	0,32	0,11	0,9	0,43	18,475	1,964
	95	280	0,183	0,32	0,11	0,9	0,43	16,116	1,718
	95	240	0,183	0,32	0,11	0,9	0,43	13,856	1,473
	95	200	0,183	0,32	0,11	0,9	0,43	11,547	1,227
	95	400	0,183	0,32	0,11	0,8	0,6	23,094	2,357
	95	400	0,183	0,32	0,11	0,7	0,71	23,094	2,214
	95	400	0,183	0,32	0,11	0,6	0,8	23,094	2,05
95	200	0,183	0,32	0,11	0,6	0,8	11,547	1,025	
3.	95	400	0,25	0,32	0,11	0,9	0,43	23,094	3,353
	95	360	0,25	0,32	0,11	0,9	0,43	20,785	3,017
	95	320	0,25	0,32	0,11	0,9	0,43	18,475	2,682
	95	280	0,25	0,32	0,11	0,9	0,43	16,116	2,34
	95	240	0,25	0,32	0,11	0,9	0,43	13,856	2,012
	95	200	0,25	0,32	0,11	0,9	0,43	11,547	1,676
	95	400	0,25	0,32	0,11	0,8	0,6	23,094	3,22
	95	400	0,25	0,32	0,11	0,7	0,71	23,094	3,021
	95	400	0,25	0,32	0,11	0,6	0,8	23,094	2,8
95	200	0,25	0,32	0,11	0,6	0,8	11,547	1,4	
4.	120	400	0,645	0,26	0,076	0,9	0,43	23,094	6,88
	120	360	0,645	0,26	0,076	0,9	0,43	20,785	6,192
	120	320	0,645	0,26	0,076	0,9	0,43	18,475	5,504
	120	280	0,645	0,26	0,076	0,9	0,43	16,166	4,816
	120	240	0,645	0,26	0,076	0,9	0,43	13,856	4,128
	120	200	0,645	0,26	0,076	0,9	0,43	11,547	3,44
	120	400	0,645	0,26	0,076	0,8	0,6	23,094	6,543
	120	400	0,645	0,26	0,076	0,7	0,71	23,094	6,088
	120	400	0,645	0,26	0,076	0,6	0,8	23,094	5,593
120	200	0,645	0,26	0,076	0,6	0,8	11,547	2,797	
5.	120	630	0,72	0,26	0,076	0,9	0,43	36,373	12,097
	120	567	0,72	0,26	0,076	0,9	0,43	32,736	10,887
	120	504	0,72	0,26	0,076	0,9	0,43	29,098	9,677
	120	441	0,72	0,26	0,076	0,9	0,43	25,461	8,468
	120	378	0,72	0,26	0,076	0,9	0,43	21,824	7,258
	120	315	0,72	0,26	0,076	0,9	0,43	18,187	6,048
	120	630	0,72	0,26	0,076	0,8	0,6	36,373	11,503
	120	630	0,72	0,26	0,076	0,7	0,71	36,373	10,703
	120	630	0,72	0,26	0,076	0,6	0,8	36,373	9,834
	120	315	0,72	0,26	0,076	0,6	0,8	18,187	4,917

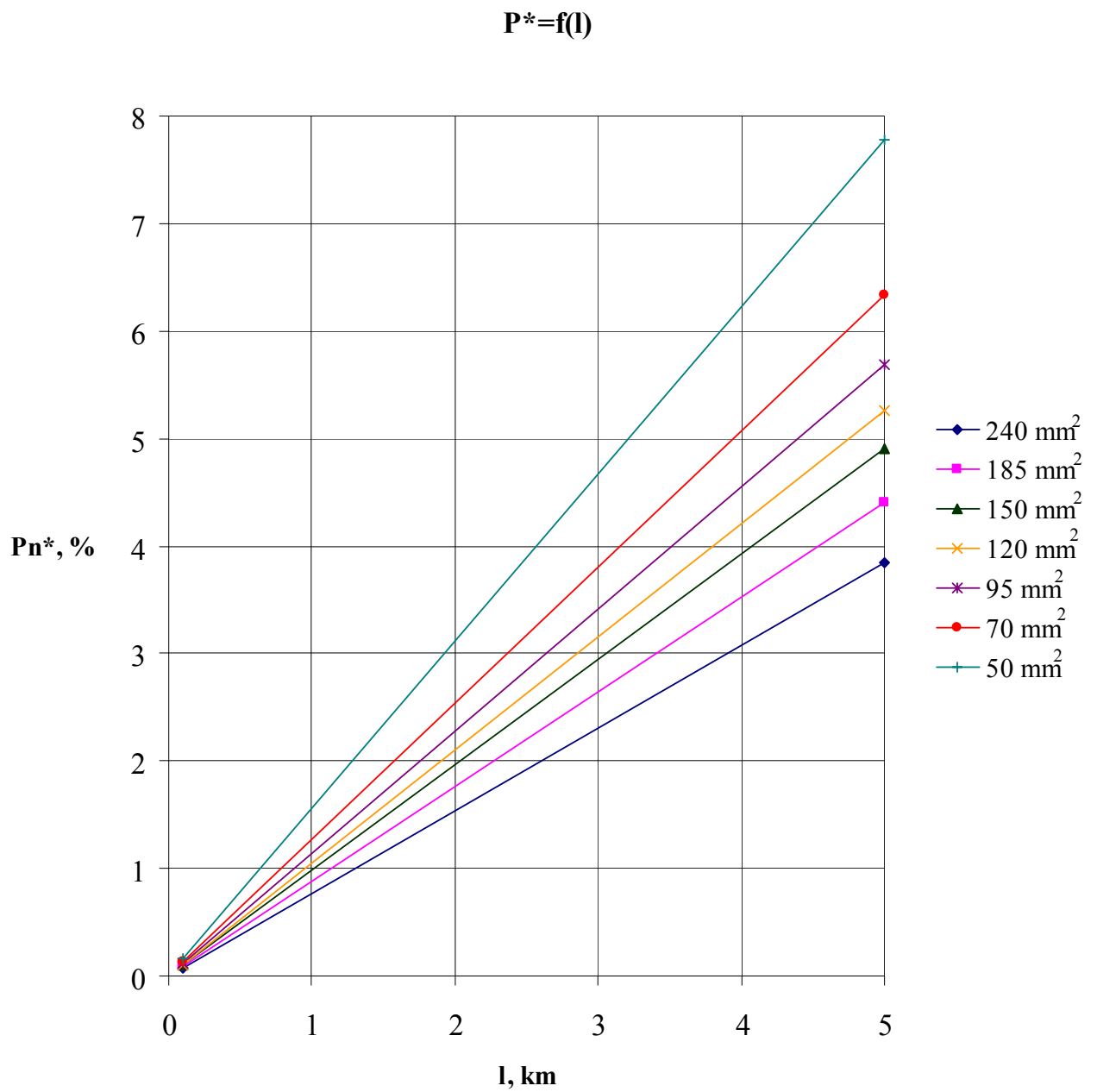
Nr.	$F_k, \text{mm}^2$	$S, \text{kVA}$	$L, \text{km}$	$r_0, \Omega/\text{km}$	$x_0, \Omega/\text{km}$	$\cos\varphi$	$\sin\varphi$	$I_b, \text{A}$	$\Delta U$
6.	120	160	0,6	0,26	0,076	0,9	0,43	9,238	2,56
	120	144	0,6	0,26	0,076	0,9	0,43	8,314	2,304
	120	128	0,6	0,26	0,076	0,9	0,43	7,39	2,048
	120	112	0,6	0,26	0,076	0,9	0,43	6,466	1,792
	120	96	0,6	0,26	0,076	0,9	0,43	5,543	1,536
	120	80	0,6	0,26	0,076	0,9	0,43	4,619	1,28
	120	160	0,6	0,26	0,076	0,8	0,6	9,238	2,435
	120	160	0,6	0,26	0,076	0,7	0,71	9,238	2,265
	120	160	0,6	0,26	0,076	0,6	0,8	9,238	2,081
120	80	0,6	0,26	0,076	0,6	0,8	4,619	1,041	
7.	70	160	0,26	0,443	0,12	0,9	0,43	9,238	1,873
	70	144	0,26	0,443	0,12	0,9	0,43	8,314	1,686
	70	128	0,26	0,443	0,12	0,9	0,43	7,39	1,499
	70	112	0,26	0,443	0,12	0,9	0,43	6,466	1,311
	70	96	0,26	0,443	0,12	0,9	0,43	5,543	1,124
	70	80	0,26	0,443	0,12	0,9	0,43	4,619	0,937
	70	160	0,26	0,443	0,12	0,8	0,6	9,238	1,774
	70	160	0,26	0,443	0,12	0,7	0,71	9,238	1,644
	70	160	0,26	0,443	0,12	0,6	0,8	9,238	1,505
70	80	0,26	0,443	0,12	0,6	0,8	4,619	0,753	
8.	120	300	0,255	0,26	0,076	0,9	0,43	17,321	2,04
	120	270	0,255	0,26	0,076	0,9	0,43	15,588	1,836
	120	240	0,255	0,26	0,076	0,9	0,43	13,856	1,632
	120	210	0,255	0,26	0,076	0,9	0,43	12,124	1,428
	120	180	0,255	0,26	0,076	0,9	0,43	10,392	1,224
	120	150	0,255	0,26	0,076	0,9	0,43	8,66	1,02
	120	300	0,255	0,26	0,076	0,8	0,6	17,321	1,94
	120	300	0,255	0,26	0,076	0,7	0,71	17,321	1,805
	120	300	0,255	0,26	0,076	0,6	0,8	17,321	1,659
	120	150	0,255	0,26	0,076	0,6	0,8	8,66	0,829
9.	95	300	0,27	0,32	0,11	0,9	0,43	17,321	2,716
	95	270	0,27	0,32	0,11	0,9	0,43	15,588	2,444
	95	240	0,27	0,32	0,11	0,9	0,43	13,856	2,173
	95	210	0,27	0,32	0,11	0,9	0,43	12,124	1,901
	95	180	0,27	0,32	0,11	0,9	0,43	10,392	1,63
	95	150	0,27	0,32	0,11	0,9	0,43	8,66	1,358
	95	300	0,27	0,32	0,11	0,8	0,6	17,321	2,608
	95	300	0,27	0,32	0,11	0,7	0,71	17,321	2,447
	95	300	0,27	0,32	0,11	0,6	0,8	17,321	2,268
95	150	0,27	0,32	0,11	0,6	0,8	8,66	1,134	
10.	95	315	0,43	0,32	0,11	0,9	0,43	18,187	4,542
	95	283,5	0,43	0,32	0,11	0,9	0,43	16,368	4,087
	95	252	0,43	0,32	0,11	0,9	0,43	14,549	3,633
	95	220,5	0,43	0,32	0,11	0,9	0,43	12,731	3,179
	95	189	0,43	0,32	0,11	0,9	0,43	10,912	2,725
	95	157,5	0,43	0,32	0,11	0,9	0,43	9,093	2,271
	95	315	0,43	0,32	0,11	0,8	0,6	18,187	4,361
	95	315	0,43	0,32	0,11	0,7	0,71	18,187	4,092
	95	315	0,43	0,32	0,11	0,6	0,8	18,187	3,793
95	157,5	0,43	0,32	0,11	0,6	0,8	9,093	1,896	

Nr.	$F_k, \text{mm}^2$	$S, \text{kVA}$	$L, \text{km}$	$r_0, \Omega/\text{km}$	$x_0, \Omega/\text{km}$	$\cos\varphi$	$\sin\varphi$	$I_0, \text{A}$	$\Delta U$
11.	95	315	0,77	0,32	0,11	0,9	0,43	18,187	8,133
	95	283,5	0,77	0,32	0,11	0,9	0,43	16,368	7,319
	95	252	0,77	0,32	0,11	0,9	0,43	14,549	6,506
	95	220,5	0,77	0,32	0,11	0,9	0,43	12,731	5,693
	95	189	0,77	0,32	0,11	0,9	0,43	10,912	4,88
	95	157,5	0,77	0,32	0,11	0,9	0,43	9,093	4,066
	95	315	0,77	0,32	0,11	0,8	0,6	18,187	7,81
	95	315	0,77	0,32	0,11	0,7	0,71	18,187	7,327
	95	315	0,77	0,32	0,11	0,6	0,8	18,187	6,791
12.	120	250	0,78	0,26	0,076	0,9	0,43	14,434	5,2
	120	225	0,78	0,26	0,076	0,9	0,43	12,99	4,68
	120	200	0,78	0,26	0,076	0,9	0,43	11,547	4,16
	120	175	0,78	0,26	0,076	0,9	0,43	10,104	3,64
	120	150	0,78	0,26	0,076	0,9	0,43	8,66	3,12
	120	125	0,78	0,26	0,076	0,9	0,43	7,217	2,6
	120	250	0,78	0,26	0,076	0,8	0,6	14,434	4,945
	120	250	0,78	0,26	0,076	0,7	0,71	14,434	4,601
	120	250	0,78	0,26	0,076	0,6	0,8	14,434	4,228
13.	95	250	0,62	0,32	0,11	0,9	0,43	14,434	5,197
	95	225	0,62	0,32	0,11	0,9	0,43	12,99	4,677
	95	200	0,62	0,32	0,11	0,9	0,43	11,547	4,158
	95	175	0,62	0,32	0,11	0,9	0,43	10,104	3,638
	95	150	0,62	0,32	0,11	0,9	0,43	8,66	3,118
	95	125	0,62	0,32	0,11	0,9	0,43	7,217	2,599
	95	250	0,62	0,32	0,11	0,8	0,6	14,434	4,991
	95	250	0,62	0,32	0,11	0,7	0,71	14,434	4,683
	95	250	0,62	0,32	0,11	0,6	0,8	14,434	4,34
14.	95	250	0,122	0,32	0,11	0,9	0,43	14,434	1,023
	95	225	0,122	0,32	0,11	0,9	0,43	12,99	0,92
	95	200	0,122	0,32	0,11	0,9	0,43	11,547	0,818
	95	175	0,122	0,32	0,11	0,9	0,43	10,104	0,716
	95	150	0,122	0,32	0,11	0,9	0,43	8,66	0,614
	95	125	0,122	0,32	0,11	0,9	0,43	7,217	0,511
	95	250	0,122	0,32	0,11	0,8	0,6	14,434	0,982
	95	250	0,122	0,32	0,11	0,7	0,71	14,434	0,921
	95	250	0,122	0,32	0,11	0,6	0,8	14,434	0,854
15.	95	100	0,51	0,32	0,11	0,9	0,43	5,774	1,71
	95	90	0,51	0,32	0,11	0,9	0,43	5,196	1,539
	95	80	0,51	0,32	0,11	0,9	0,43	4,619	1,368
	95	70	0,51	0,32	0,11	0,9	0,43	4,041	1,197
	95	60	0,51	0,32	0,11	0,9	0,43	3,464	1,026
	95	50	0,51	0,32	0,11	0,9	0,43	2,887	0,855
	95	100	0,51	0,32	0,11	0,8	0,6	5,774	1,642
	95	100	0,51	0,32	0,11	0,7	0,71	5,774	1,541
	95	100	0,51	0,32	0,11	0,6	0,8	5,774	1,428
95	50	0,51	0,32	0,11	0,6	0,8	2,887	0,714	

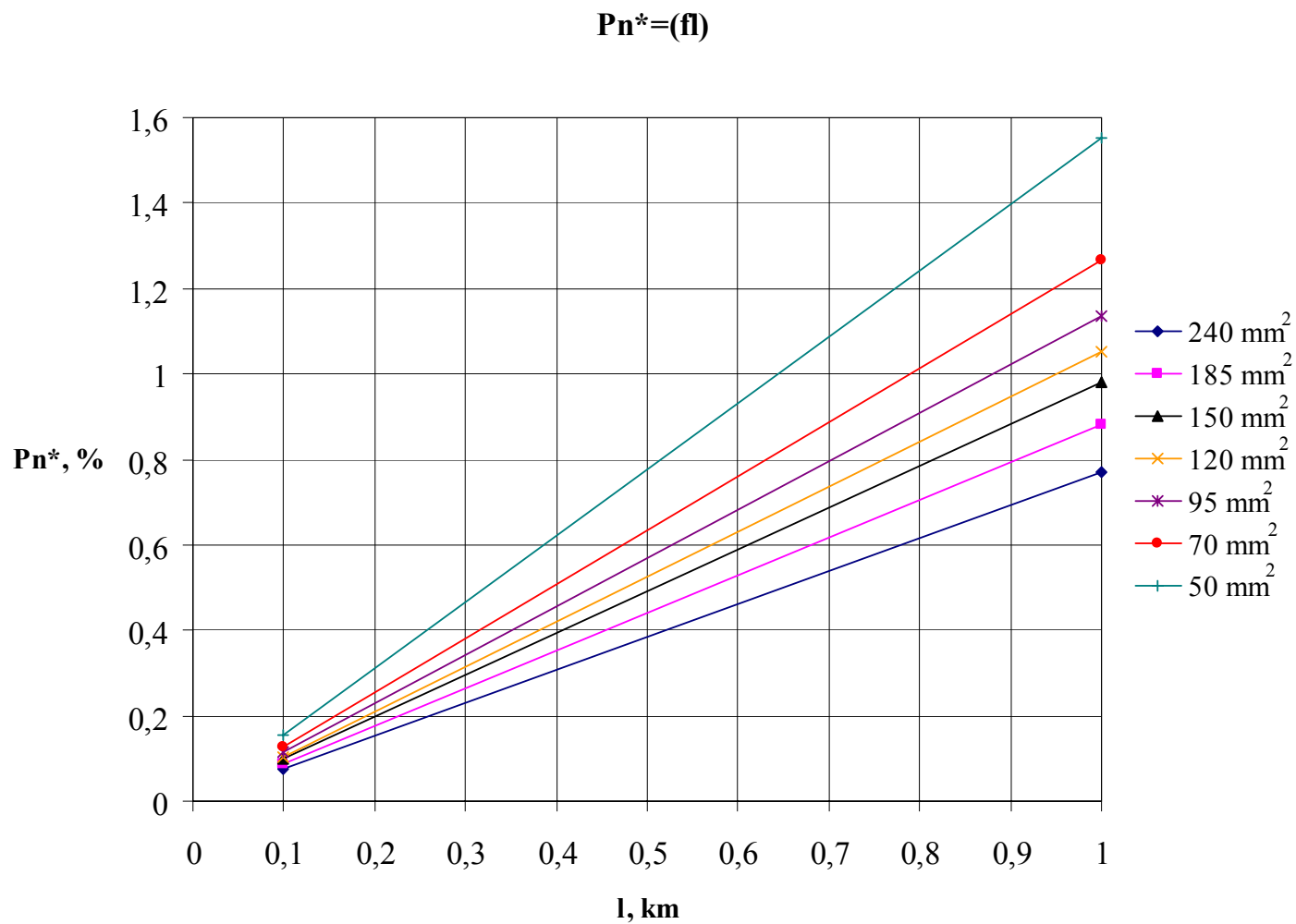


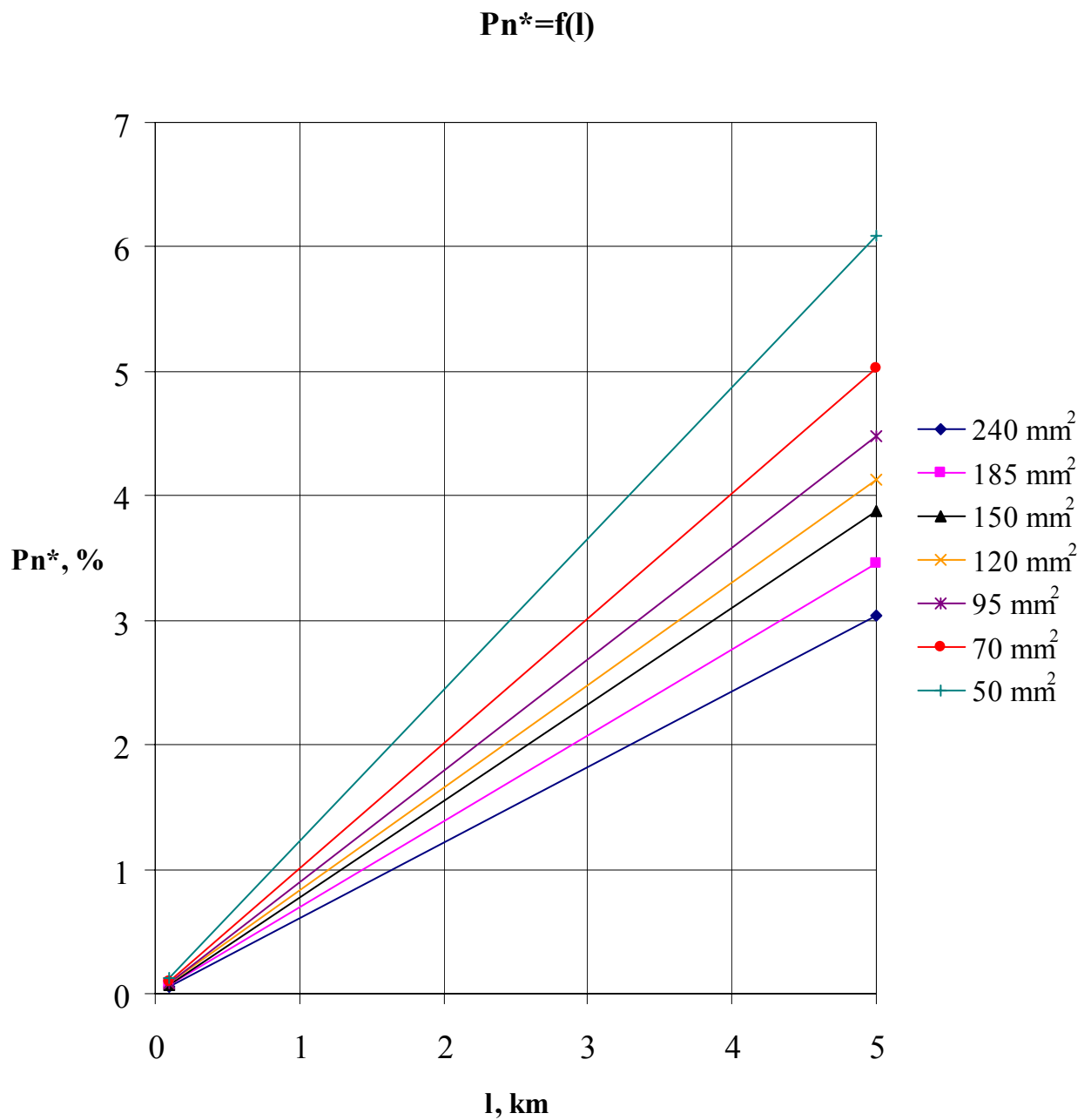
Įtampos nuostolių priklausomybės nuo transformatorių T1 ir T2 galių  $S_1$  ir  $S_2$  bei įtampos nuostolių priklausomybės nuo galios koeficientų

$F_{k1}, \text{mm}^2$	$F_{k2}, \text{mm}^2$	$S_1, \text{kVA}$	$S_2, \text{kVA}$	$L_1, \text{km}$	$L_2, \text{km}$	$r_{01}, \Omega/\text{km}$	$r_{02}, \Omega/\text{km}$	$x_{01}, \Omega/\text{km}$	$x_{02}, \Omega/\text{km}$	$\cos\varphi_1$	$\cos\varphi_2$	$\sin\varphi_1$	$\sin\varphi_2$	$I_{t1}, \text{A}$	$I_{t2}, \text{A}$	$\Delta U'$
95	95	250	250	0,155	0,62	0,32	0,32	0,11	0,11	0,9	0,9	0,43	0,43	14,434	14,434	11,694
95	95	225	250	0,155	0,62	0,32	0,32	0,11	0,11	0,9	0,9	0,43	0,43	12,99	14,434	11,044
95	95	200	250	0,155	0,62	0,32	0,32	0,11	0,11	0,9	0,9	0,43	0,43	11,547	14,434	10,394
95	95	175	250	0,155	0,62	0,32	0,32	0,11	0,11	0,9	0,9	0,43	0,43	10,104	14,434	9,745
95	95	150	250	0,155	0,62	0,32	0,32	0,11	0,11	0,9	0,9	0,43	0,43	8,66	14,434	9,095
95	95	125	250	0,155	0,62	0,32	0,32	0,11	0,11	0,9	0,9	0,43	0,43	7,217	14,434	8,445
95	95	250	225	0,155	0,62	0,32	0,32	0,11	0,11	0,9	0,9	0,43	0,43	14,434	12,99	11,174
95	95	250	200	0,155	0,62	0,32	0,32	0,11	0,11	0,9	0,9	0,43	0,43	14,434	11,547	10,654
95	95	250	175	0,155	0,62	0,32	0,32	0,11	0,11	0,9	0,9	0,43	0,43	14,434	10,104	10,134
95	95	250	150	0,155	0,62	0,32	0,32	0,11	0,11	0,9	0,9	0,43	0,43	14,434	8,66	9,615
95	95	250	125	0,155	0,62	0,32	0,32	0,11	0,11	0,9	0,9	0,43	0,43	14,434	7,217	9,095
95	95	250	250	0,155	0,62	0,32	0,32	0,11	0,11	0,9	0,8	0,43	0,6	14,434	14,434	11,281
95	95	250	250	0,155	0,62	0,32	0,32	0,11	0,11	0,9	0,7	0,43	0,71	14,434	14,434	10,664
95	95	250	250	0,155	0,62	0,32	0,32	0,11	0,11	0,8	0,9	0,6	0,43	14,434	14,434	11,642
95	95	250	250	0,155	0,62	0,32	0,32	0,11	0,11	0,7	0,9	0,71	0,43	14,434	14,434	11,565
95	95	175	250	0,155	0,62	0,32	0,32	0,11	0,11	0,9	0,8	0,43	0,6	10,104	14,434	9,394
95	95	175	250	0,155	0,62	0,32	0,32	0,11	0,11	0,9	0,7	0,43	0,71	10,104	14,434	8,87
95	95	250	175	0,155	0,62	0,32	0,32	0,11	0,11	0,8	0,9	0,6	0,43	14,434	10,104	10,083
95	95	250	175	0,155	0,62	0,32	0,32	0,11	0,11	0,7	0,9	0,71	0,43	14,434	10,104	10,006
95	95	125	225	0,155	0,62	0,32	0,32	0,11	0,11	0,9	0,8	0,43	0,6	7,217	12,99	7,637
95	95	125	225	0,155	0,62	0,32	0,32	0,11	0,11	0,9	0,7	0,43	0,71	7,217	12,99	7,205
95	95	225	125	0,155	0,62	0,32	0,32	0,11	0,11	0,8	0,9	0,6	0,43	12,99	7,217	8,399
95	95	225	125	0,155	0,62	0,32	0,32	0,11	0,11	0,7	0,9	0,71	0,43	12,99	7,217	8,33

10 kV aliumininių kabelių  $P_n^* = f(l)$  priklausomybės

10 kV aliumininių kabelių  $P_n^* = f(l)$  priklausomybės



10 kV varinių kabelių  $P_n^* = f(l)$  priklausomybės

10 kV varinių kabelių  $P_n^* = f(l)$  priklausomybės

