



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS

Marius Deveikis

SKIRSTOMŲJŲ ELEKTROS TINKLŲ PATIKIMUMO
RODIKLIŲ ĮVERTINIMAS

Baigiamasis magistro projektas

Vadovas
prof. dr. Saulius Gudžius

KAUNAS, 2017

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS
ELEKTROS ENERGETIKOS SISTEMŲ KATEDRA

**SKIRSTOMŲJŲ ELEKTROS TINKLŲ PATIKIMUMO
RODIKLIŲ ĮVERTINIMAS**

Baigiamasis magistro projektas

Elektros energetikos inžinerija (kodas 621H63003)

Vadovas

prof. dr. Saulius Gudžius

2017 05 28

Recenzentas

prof. dr. Alfonsas Morkvėnas

2017 05 31

Projektą atliko

Marius Deveikis

2017 05 26

KAUNAS, 2017



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS

Marius Deveikis

Elektros energetikos inžinerija (kodas 621H63003)

Baigiamojo projekto „Skirstomųjų elektros tinklų patikimumo rodiklių
įvertinimas“

AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

2017 m. gegužės mėn. 26 d.

Kaunas

Patvirtinu, kad mano **Mariaus Deveikio** baigiamasis darbas tema „Skirstomųjų elektros tinklų patikimumo rodiklių įvertinimas“ yra parašytas visiškai savarankiškai, o visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena darbo dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymu nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

Aš suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo faktui, man bus taikomos nuobaudos, remiantis Kauno technologijos universitete galiojančia tvarka.

(studento vardas ir pavardė)

(parašas)

Deveikis Marius. Skirstomųjų elektros tinklų patikimumo rodiklių įvertinimas / vadovas prof. dr. Saulius Gudžius; Kauno technologijos universitetas, Elektros ir elektronikos fakultetas, Elektros energetikos sistemų katedra.

Mokslo kryptis ir sritis: Elektros ir elektronikos inžinerija, Technologiniai mokslai.

Reikšminiai žodžiai: Skirstomųjų elektros tinklų patikimumo rodiklių įvertinimas.

Kaunas, 2017. 53 p.

SANTRAUKA

Šiame darbe apžvelgiama skirstomojo elektros tinklo patikimumo rodikliai bei jų nauda elektros tinklo patikimumui įvertinti. Pasirinktas darbo objektas – Lietuvos regionų skirstomasis elektros tinklas. Darbe atlikta gedimų, nutraukimų apžvalga, viršįtampių įtaka skirstomajam elektros tinklui, išnagrinėti Lietuvoje naudojami patikimumo rodikliai bei jų atliekamos funkcijos, patikimumo reguliavimo būdai. Atliktas patikimumo rodiklių efektyvumo įvertinimas bei ekonominiai skaičiavimai.

Deveikis Marius. Evaluation of Reliability Characteristics of Electrical Distribution Networks Master's thesis / supervisor assoc. prof. dr. Saulius Gudžius: Electrical and Electronics Faculty, Department of electric power system.

Research area and field: Electrical and Electronic Engineering, Technology Sciences.

Key words: Evaluation of Reliability Characteristics of Electrical Distribution Networks
Kaunas, 2017. 53 p.

SUMMARY

The thesis provides an overview of the reliability indices of electricity distribution network and their benefits to evaluate the reliability of electricity network. The selected subject of the thesis is Lithuanian regional electricity distribution network. The thesis gives an overview of failures and interruptions, the influence of surges on the electricity distribution network, and analyses the reliability indices used in Lithuania as well as their functions and reliability control methods. The thesis includes the evaluation of the efficiency of reliability indices as well as the economic calculations.

TURINYS

LENTELIŲ SĄRAŠAS	7
PAVEIKSLĖLIŲ SĄRAŠAS	8
TERMINOLOGIJA.....	10
ĮVADAS	12
1. GEDIMAI SKIRSTOMAJAME ELEKTROS TINKLE.....	14
1.1 Viršįtampiai	14
1.1.1 Linijų ir pastočių apsaugos priemonės bei charakteristikos nuo viršįtampių	16
1.2 Nutraukimų vertinimas.....	17
1.3 Skirstomojo elektros tinklo gedimų analizė	20
2. GEDIMAI 0,4 - 10 KV ELEKTROS SKIRSTOMAJAME TINKLE	24
3. SKIRSTOMOJO ELEKTROS TINKLO PATIKIMUMO ĮVERTINIMAS.....	34
3.1 Patikimumo rodikliai.....	35
3.2 Linijų patikimumas	37
3.3 Pastočių patikimumo įvertinimas.....	39
3.4 Patikimumo reguliavimo būdai.....	40
4. PATIKIMUMO RODIKLIŲ EKONOMINIO ĮVERTINIMO SKAIČIAVIMAS.....	43
IŠVADOS	51
LITERATŪRA.....	52

LENTELIŲ SĄRAŠAS

1. lentelė Leistini viršįtampių lygiai	15
2. lentelė Ilgų neplanuotų nutraukimų reguliavimo sistemos požymiai Europos Sąjungos šalyse	18
3 Lentelė. Atsijungimų priežastys Lietuvoje.....	21
4. lentelė Ilgi elektros energijos nutraukimai (gedimų skaičius/100 km/ metus).....	22
5. lentelė Lietuvoje įvykusių gedimų skaičius oro linijose (gedimų sk./ 100 km/ metus)....	22
6. lentelė Lietuvoje gedimų skaičius oro linijose	23
7 lentelė. Gedimų kiekis 0,4 – 10 kV elektros tinkle.....	24
8 lentelė. ES šalyse labiausiai paplitę tinklo vidutinio vartotojo patikimumo rodikliai	35
9. lentelė Suomijos elektros skirstomojo tinklo apkrovos pagal zonas.....	43
10. lentelė. Skaičiavimų duomenys	49
11. lentelė. Kai maitinimo rezervo punktas yra A zonoje:	50
12. lentelė. Kai maitinimo rezervo punktas yra B zonoje:	50
13. lentelė. Kai maitinimo rezervo punktas yra C zonoje:	50

PAVEIKSLĖLIŲ SĄRAŠAS

1 pav. Lietuvos teritorijos suskirstymas pagal perkūnijos trukmę	14
2 pav. Vartotojo aprūpinimo elektra nutraukimo požymiai.....	19
3 pav. Planiniai ir neplaniniai elektros energijos nutraukimai vartotojams, vidutinė	20
nutraukimo trukmė per 2009m. iki įskaitant 2013m.	20
4 pav. Lietuvos skirstomojo tinklo gedimų kiekis 0,4 – 10 kV elektros tinkle	24
5 pav. Transformatorinių gedimų kiekis pagal regionus 2015-2016m.....	25
6 pav. Gedimų kiekis 100 vnt. transformatorinių pagal regionus 2015-2016 m.	25
7 pav. Gedimų kiekis pagal transformatorinės tipą 2015-2016m.	26
8 pav. Gedimai stacionariuosiuose transformatorinėse 2016 pagal įrenginius.....	26
9 pav. Gedimai KT Šiaulių tipo transformatorinėse 2016m. pagal įrenginius	27
10 pav. Gedimai KT Minsko tipo transformatorinėse 2016m. pagal įrenginius	27
11 pav. Gedimai modulinėse transformatorinėse 2016m. pagal įrenginius.....	28
12 pav. Gedimai stulpinėse transformatorinėse 2016m. pagal įrenginius	28
13 pav. Gedimų kiekis transformatorinėse 2016m. pagal įrenginius	28
14 pav. 10kV kabelinių linijų gedimų kiekis 100 km pagal regionus 2014-2016m.	29
15 pav. Gedimų kiekis 10 kV kabelių linijoje pagal požymį 2016m.	29
16 pav. 0,4 kV kabelinių linijų gedimų kiekis pagal regionus 2014-2016.....	30
17 pav. Gedimų kiekis 0,4 kV kabelių linijoje pagal požymį 2016m.	30
18 pav. 10 kV Oro linijų gedimų kiekis pagal regionus 2014-2016m.	31
19 pav. Gedimų kiekis 10 kV oro linijoje pagal požymį 2016m.	31
20 pav. 0,4 kV Oro linijų gedimų kiekis pagal regionus 2015-2016m.	32
21 pav. Gedimų kiekis 0,4 kV oro linijose pagal požymį 2016m.	32
22 pav. Virštampių skirsnio tankis (fv), izoliacijos elektrinio atsparumo	38
skirsnio funkcija (Fu) ir jų sandauga (s)	38
23 pav. Trijų perjungimo būsenų modelis	39
24 pav. Europos Sąjungoje taikomi reguliuotojų patikimumo būdai	41

25 pav. Elektros skirstomasis tinklo modelis.....	44
26 pav. Elektros skirstomojo tinklo modelis, zonų suskirstymas	45
27 pav. Elektros skirstomasis tinklas, A ir B vietų atsijungimų tyrimas.....	46
28 pav. Elektros skirstomasis tinklas, kai skyriklis jungiamas B vietoje	48
29 pav. Elektros skirstomasis tinklas su nuotoliniu maitinimo rezervu	49

TERMINOLOGIJA

ACCI (angl. *Average Customer Curtailment Index*) vidutinis klientų apribojimo rodiklis

AEP – aprūpinimas elektra patikimumas

AIT - (angl. *Average Interruption Time*) vidutinis nutraukimo laikas

ASAI – (angl. *Average Service Availability Index*) vidutinis patikimumo (nepatikimo) elektros tiekimo rodiklis (tikimybė)

ASIDI – (angl. *Average System Interruption Duration Index*) vidutinis sistemos nutraukimų trukmės rodiklis

ASIFI – (angl. *Average System Interruption Frequency Index*) vidutinis sistemos nutraukimų dažnio rodiklis

CAIDI – (angl. *Customer Average Interruption Duration Index*) vartotojų vidutinis nutraukimo trukmės rodiklis

CAIFI – (angl. *Customer Average Interruption Frequency Index*) – vartotojų vidutinis elektros tiekimo nutraukimo dažnio rodiklis

CEER - (angl. *Council of European Energy Regulators*) Europos energetikos reguliuotojų taryba

CEMIn – (angl. *Customer Experiencing Multiple Interruptions*) vartotojas, kuris yra patyręs bent kelis trumpalaikius nutraukimus, rodiklis

CEMSMIn – (angl. *Customer Experiencing Multiple Sustained and Momentary Interruptions*) - vartotojai, patyrę trumpalaikius ir ilgalaikius nutraukimus

CTAIDI – (angl. *Customer Total Average Interruption Duration Index*) visų klientų vidutinės nutraukimo trukmės rodiklis

EETNT – Elektros energijos tiekimo ir naudojimo taisyklės

EĪIT - Elektros įrengių įrengimo taisyklės

END – (angl. *Energy not delivered*) nepateikta elektros energija

ENS – (angl. *Average Energy Not Supplied*) nepateiktos elektros energijos vidurkis

KL – kabelių linija

LOLP – (angl. *Loss of Load Probability*) – apkrovos praradimo tikimybė

MAIFET (angl. *Momentary Average Interruption Events Exceeding*) vidutinis trumpalaikis nutraukimo įvykis, viršijantis nustatytąją ribą.

MAIFETx – (angl. *Momentary Average Interruption Frequency Exceeding Threshold*) trumpalaikis vidutinis nutraukimų dažnis, viršijantis nustatytą ribą

MAIFI – (angl. *Momentary Average Interruption Frequency Index*) momentinis vidutinis neplanuotų ilgalaikių nutraukimų dažnio rodiklis

MAIFIE - (angl. *Momentary Event Average Interruption Frequency Index*) trumpalaikis vidutinis trumpų nutraukimų dažnio rodiklis

OL – oro linija

SAIDET – (angl. *System Average Interruption Duration Exceeding Threshold*) sistemos vidutinė nutraukimų trukmė, viršijanti ribinę vertę.

SAIDETx – (angl. *System Average Interruption Duration Exceeding Threshold*) vidutinė sistemos nutraukimo trukmė, viršijanti nustatytą ribą

SAIDI – (angl. *System Average Interruption Duration Index*) sistemos vidutinės nutraukimų trukmės rodiklis

SAIFETx – (angl. *System Average Interruption Frequency Exceeding Threshold*) vidutinė sistemos nutraukimo dažnis, viršijantis nustatytą ribą

SAIFI – (angl. *System Average Interruption Frequency Index*) sistemos vidutinis nutraukimų dažnio rodiklis

SARFIx – (angl. *System Average RMS Variation Frequency Index*) sistemos vidutinis RMS svyravimų dažnio rodiklis

SIARFIx – (angl. *System Instantaneous Average RMS Variation Frequency Index*) sistemos vidutinis momentinis RMS nukrypimo dažnio rodiklis

SMARFIx – (angl. *System Momentary Average RMS Variation Frequency Index*) sistemos vidutinis momentinis RMS svyravimų dažnio rodiklis

STARFIx – (angl. *System Temporary Average RMS Variation Frequency Index*) sistemos laikinas vidutinis RMS svyravimų dažnio rodiklis

VKEKK – Valstybinė kainų ir energetikos kontrolės komisija

IVADAS

Temos aktualumas. Elektros energijos vartotojai tampa vis labiau priklauso nuo patikimo ir pastovaus elektros energijos tiekimo. Elektros energijos vartojimo mastas, priklausantis nuo daugelio veiksnių, yra vienas pagrindinių valstybės ekonominio ir socialinio išsivystymo rodiklių. Elektros energijos tiekimo patikimumą lemia elektros įrenginių darbas ir elektros perdavimo linijų būklė. Pastarųjų veikimo patikimumas priklauso nuo izoliacijos būklės, tarnavimo laiko, išorinių veiksnių, gedimų skaičiaus ir t.t..

Didžiausios avarijos elektros sistemoje įvyksta, kai elektros gamybos ar perdavimo galimybės nėra pakankamos patenkinti to meto suminę elektros paklausą. Žvelgiant į tai iš kitos pusės, nei elektros paklausa, nei generatorių ar perdavimo tinklų galimybės negali būti tiksliai prognozuojamos. Elektrinių, tiek elektros tinklų darbą gali sutrikdyti nenuspėjami įvykiai t.y. žaibai, įrenginių gedimai, ir pan., todėl atsijungus elektros generatoriui ar elektros linijai generavimo ar perdavimo galia gali staigiai ir neprognozuotai sumažėti.

Norint įvertinti sistemos patikimumą, dažniausiai reikia nustatyti, kaip dažnai ir kuriam laikui vartotojas gali netekti elektros energijos bei kokia tokio įvykio tikimybė. Žinant, kad energetikos sistema yra sudėtingas junginys, kurio, dažniausiai, patikimumą lemia atskirų sistemos dalių tarpusavio techniniai ir ekonominiai ryšiai. Patikimumo rodiklių dydžiai nustato, kokia galia turi būti įrengta sistemoje ir kaip ši turi būti eksploatuojama, kad darbas būtų patikimas.

Problema. Patikimumo problema Lietuvai tikrai yra labai aktuali, kaip nurodyta Nacionalinėje energetikos strategijoje, didžioji tinklų įrenginių dalis yra 25 – 30 metų amžiaus ir jai pakeisti yra reikalingos didelės lėšos, nors šiuo metu ir didelė dalis įrenginių jau yra keičiami naujais.

Elektros energijos tiekimo sutrikimai, yra viena iš didžiausių šiandieninių problemų. Atsijungimai, elektros tinklo pertrūkiai, gali padaryti didelę žalą elektros energijos vartotojams, gaminamai produkcijai, ar net klientų įrangai. Todėl esamų generuojančių galingumų, pastočių ir kitų įrenginių gerinimas, reguliariai tikrinant, prižiūrint ir laiku keičiant susidėvėjusius elementus tinkamais, gali padėti išvengti neplanuotų atsijungimų.

Net po elektros energijos avarijos elektrinėms generuojant pakanka galingumą, įtampa ir srovė kai kuriose elektros linijose gali tapti neleistina. Tuo atveju elektros linijas turi atjungti šiai funkcijai skirti įrenginiai, šie trukdžiai gali pažeisti elektros sistemos stabilumą. Norint išvengti, šių padarinių elektros sistemos projektuojamos ir jų darbas planuojamas taip, kad bet kada atsijungus bet kuriam vienam (ar daugiau) svarbiausiems elektros sistemos elementams, sistema neprarastų gyvybingumo ir galėtų toliau efektyviai dirbti.

Tinkamas reagavimas į sistemos trukdžius ir greitas sistemos atstatymas gali būti labai svarbus minimizuojant sistemos avarijos žalą vartotojui/klientui. Patikimumą lemia elektros

sistemos galimybė išvengti elektros tiekimo nutraukimo, jai to nepavyksta išvengti stengiamasi po sutrikimų tęsti elektros energijos tiekimą vartotojams taip, kad jie nepajautų tinklo gedimo pasekmių.

Darbo tikslas – išanalizuoti skirstomųjų elektros tinklų patikimumo rodiklius bei juos įtakančius veiksnius. Atlikti patikimumo rodiklių ekonominio įvertinimo skaičiavimus.

Darbo uždaviniai:

1. Išanalizuoti skirstomojo elektros tinklo gedimus ir pagrindinius veiksnius įtakančius elektros tinklo patikimumą;
2. Apžvelgti patikimumo rodiklius, rodiklių taikymą Lietuvos skirstomiesiems elektros tinklams;
3. Atlikti planinių ir neplaninių atsijungimų ekonominių kaštų įvertinimą.

Darbo objektas. Lietuvos elektros skirstomasis tinklas, Lietuvos regionai.

Tyrimo metodas. Mokslinės literatūros analizė. Praktiniai tyrimai atliekami naudojant pirminių ir antrinių duomenų lyginamosios, statistinių duomenų tekstinės, grafinės analizės metodus. Atliekant tyrimus naudojami lietuvių ir užsienio autorių moksliniai darbai, statistinė informacija.

Darbo struktūra. Magistro baigiamasis darbas susideda iš įvado, keturių skyrių ir pagrindinių išvadų, literatūros sąrašo. Darbą sudaro 53 puslapiai, 29 paveikslai ir 13 lentelių.

1. GEDIMAI SKIRSTOMAJAME ELEKTROS TINKLE

Elektros energetikos sistema tai elektros įrenginių, skirtų elektrai gaminti, perduoti ir skirstyti visuma. Pagaminta elektra per skirstomuosius ir komutavimo įrenginius patenka į aukštosios įtampos elektros tinklą ir paskirstoma visoje šalyje.

Remiantis literatūra [1] skirstomieji elektros tinklai tai visuma elektrinių tinklų taip pat vartotojų, susijusių su nepertraukiama elektros gamyba, perdavimu, paskirstymu ir naudojimu. Elektros tinklų pagrindinis uždavinys – patikimai ir ekonomiškai aprūpinti vartotojus kokybiška elektros energija.

Tiek profesiniame, tiek privačiame gyvenime žmogus tampa vis labiau priklausomas nuo elektronikos prietaisų. Duomenų tinklai įmonėse, pagalbinaisiai įrenginiai ligoninėse kurie yra gyvybiškai svarbūs ir reikalauja ypatingos apsaugos „jautriems“ duomenų archyvams tokiems įrenginiams reikia saugiai funkcionuojančių perdavimo tinklų. Šiandien didelė problema yra viršįtampiai, kurių atsiradimo priežastis yra tolimos žaibo iškvos arba netvarkinga, pasenusi elektros instaliacija, tinkle veikiančios galingi elektros prietaisai.

1.1 Viršįtampiai

Remiantis literatūra [2] atmosferos išlydis, yra įvardijamas kaip vienas iš pavojingiausių reiškinų elektros įrenginiams bei jų izoliacijai. Objektų pažeidimų intensyvumas priklauso nuo perkūnijos trukmės, t.y. nuo žaibavimo valandų skaičiaus per metus. „Lietuvos energijos“ duomenimis yra nustatyta, jog įvairiuose Lietuvos rajonuose žaibuoja vidutiniškai nuo 24 iki 50 valandų per metus. Lietuvos teritorijos suskirstymas pagal perkūnijos trukmę pavaizduotas pav. 1.



1 pav. Lietuvos teritorijos suskirstymas pagal perkūnijos trukmę [1]

Žaibas – yra vienas iš pavojingiausių ir pagrindinių atsijungimų sukėlėjų, vidutinės įtampos skirstomajame tinkle. Žaibai sukelia neigiamus padarinius: elektros linijose sukelia

viršįtampius, sugadina instaliaciją, sukelia įvairius elektros tiekimo trikdžius. Lietuvoje kasmet dėl žaibų patiriami tūkstančiai eurų nuostolių. Žaibas pataikęs į objektą šiam padaro tiesioginę arba netiesioginę įtaką [3]. Žaibavimo metu tiek elektros perdavimo, tiek ryšių oro linijose susidaro viršįtampiai.

Viršįtampiu vadinamas bet koks įtampos padidėjimas virš aukščiausios leistinosios tinklo įtampos. Susiformavę viršįtampiai elektros tinkle gali iki kelių kartų viršyti aukščiausią leistinąją įtampą ir elektros įrenginių izoliaciją veikti įvairų laiko tarpą. Poveikio trukmė elektros įrenginių izoliacijai labai priklauso nuo viršįtampius sukėlusių trikdžių pobūdžio. Viršįtampiai atsirandantys elektros grandinėse yra skirstomi į tris tipus t.y. vidinius, atmosferinius ir statinius.

- Vidiniai viršįtampiai, dar vadinami komutaciniais, atsiranda įjungiant ir išjungiant didelės galios elektros vartotojus, ypač induktyvinio ar talpinio pobūdžio.
- Atmosferiniai – atsiranda kai žaibo išlydis pataiko į maitinamą elektros tinklą arba šalia jo.
- Statiniai – kyla susikaupus skirtingiems elektros krūviams, elektrostatinių iškrovų metu.

Šiuolaikiniai elektros vartotojai turi daugybę naudojamų elektroninių prietaisų kurie yra jautrus net menkiausiems viršįtampiams (kompiuteriai, televizijos ir radijo imtuvai, vaizdo aparatūra, matavimo prietaisai, diagnostikos aparatūra, valdymo ir apsaugos sistemos). Trumpalaikių viršįtampių nuostoliai pasireiškia ne tik nuostoliais, bet ir sugadintais elektroniniais prietaisais, dažnai sunaikinama įrenginyje buvusi svarbi informacija.

Viršįtampiai elektros tinkle, susiformavę dėl įvairių išorinių ir vidinių trikdžių, gali viršyti pastotėse esančių elektros įrenginių gamintojų garantuotas bandomąsias įtampas. Izoliacijos lygis ir ribotuvai reikalingi atlaikyti viršįtampius, žvelgiant į tai kompleksiskai, izoliacijos bei viršįtampių lygis turi didelę įtaką elektros perdavimo sistemos kainai ir patikimumui.

Leidžiami viršįtampių lygiai, kuriems izoliacija gali būti atspari, net pasikartojant keliems pereinamojo vyksmo periodams, įvairių įtampų elektros tinkluose pateikiami 1. lentelėje.

1. lentelė Leistini viršįtampių lygiai

Nominalioji įtampa, kV	Kiek kartų viršįtampis gali būti didesnis nei nominalioji įtampa
10	4
35	3,5
110	3
220	3
330	2,7
500	2,5
750	2,1

Veikiant įvairiems viršįtampiams bei drėgmei mažėja elektros įrenginių izoliacijos elektrinis atsparumas. Veikiant apkrovai, elektros įrenginių izoliacijoje kaupiasi drėgmė.

Drėgmės kiekis izoliacijoje priklauso nuo elektros įrenginio konstrukcijos ir eksploataavimo sąlygų. Dalinių išlydžių lygis priklauso nuo veikiančios įtampos dydžio ir lemia izoliacijos naudojimo trukmę.

1.1.1 Linijų ir pastočių apsaugos priemonės bei charakteristikos nuo viršįtampių

Elektros įrenginių apsaugai nuo viršįtampių priemonės gali būti skirstomos pagal veikimo principą tai yra į tolygiai ribojančias viršįtampių lygį ir šuoliškai.

Remiantis literatūra [1] visų įtampų skirstomuosiuose tinkluose apsaugai nuo viršįtampių plačiai naudojami ribotuvai. Viršįtampių ribotuvų darbo režimas yra paprastas, normalaus darbo režimo metu per ribotuvą srovė praktiškai neteka, tik atsiradus elektros tinkle viršįtampiams srovė didėja tolygiai. Ribotuvai viršįtampius pažemina net apie 20-35% ir tuo pačiu, padidina apsaugos efektyvumą.

Prenkant viršįtampių ribotuvus, pagal laukiamų maksimalių viršįtampių parametrus, svarbų nustatyti kokios bus pagrindinės, viršįtampių ribotuvo veikimo patikimumą garantuojančios, charakteristikos. Viršįtampių ribotuvai turi būti parinkti ir išdėstyti taip, kad garantuotų patikimą pastotės įrenginių apsauga bei jų veikimą. Svarbiausia viršįtampio techninė savybė yra ilgalaikę leistinoji veikimo įtampa. Tikslesnį viršįtampių ribotuvo charakteristikos parinkimą lemia daugelis veiksnių, tai būtų jungimo viršįtampių lygis, rezonansinių viršįtampių trukmė, viršįtampių įrengimo vieta skirstykloje bei elektros tinkle. Nustatant viršįtampių ribotuvų darbo sąlygas ir parenkant jų vietas būtina atlikti reikiamus pereinamųjų procesų sukeltų žaibo išlydžio bei įvairių komutacijų metu skaičiavimus ir jų analizę. Parenkant viršįtampių ribotuvų parametrus viršįtampių lygio ir ribotuvo sroviniai parametrai nustatomi modeliuojant įvairius režimus.

Kabelių ir kitų elektros įrenginių vidinės izoliacijos atsparumo mažėjimą lemia dalinių išlydžių intensyvumas, kuris priklauso nuo elektros įrenginių veikiančių viršįtampių lygio, elektros įrenginių izoliacijos įšilimo temperatūros bei drėgmės. Tai veiksniai į kuriuos būtina atsižvelgti norint užtikrinti aukštosios įtampos įrenginio kokybę ir patikimą darbą sistemoje.

Didele įtaką elektros įrenginių izoliacijos darbui turi darbo sąlygos, viršįtampių dažnis, perkrovos ir pan. Ilgametė elektros įrenginių darbo ir atsiradusių defektų, taip pat gedimų analizė gali duoti tik apibendrintas vidutines patikimumo charakteristikas. Elektros sistemoje visi elektros įrenginiai, neatsižvelgiant į jų darbo sąlygas yra bandomi nustatytais bandomosiomis įtampomis ir nustatytu periodiškumu.

Apibendrinant apsaugos sistemų su ribotuvais efektyvumą, kurį lemia linijų apsaugos nuo žaibo efektyvumas, tinklo elektromagnetinės savybės, ribotuvų tinkle išdėstymas, ribotuvų kokybė bei jų apsauginės charakteristikos.

1.2 Nutraukimų vertinimas

Remiantis [1] Valstybės kainų ir Energetikos kontrolės komisijos nutarime elektros energijos nutraukimas apibrėžiamas kaip – planuotų arba neplanuotų elektros energijos persiuntimo nutraukimas.

Planuotas nutraukimas įvardijamas kaip nutraukimas, apie kurį vartotojas buvo informuotas teisės aktuose arba sutartyje nustatytu laiku ar būdu. O neplanuotas nutraukimas – apie kurį vartotojas nebuvo informuotas arba buvo informuotas vėliau nei teisės aktuose ar sutartyje nustatytu laiku, išskyrus atvejus, kai tai buvo padaryta siekiant užtikrinti visuomenės interesus [1].

Nutrūkus elektros energijos tiekimui, kiekvieno nutraukimo atveju turi būti nustatoma nutraukimo priežastis. Patikimumo standartai yra reikalingi elektros sistemų planavimui ir remiasi įvairiomis taisyklėmis ir praktiniais duomenimis. Planuojant elektros sistemos darbą, patikimumas gali būti apibendrintas trimis rodikliais:

- 1) apkrovos praradimo tikimybe;
- 2) sistemos gyvybingumu;
- 3) nustatyto galios rezervo užtikrinimu.

Toliau nagrinėjamiems patikimumo rodikliams, pagrindiniai išėties duomenys įvardijami nutraukimai, tiksliau – jų požymiai. Siekiama nutraukimus matuoti ir registruoti pagal vienodus požymius [4]. Nutraukimų požymiai yra skirstomi pagal:

- tipą (planuotas, neplanuotas);
- trukmę (ilgas, > 3 min, trumpas < 3 min, pereinamasis, < 1 s);
- objektą (vartotojas, transformatorius);
- įtampą (žema, vidutinė, aukšta).

Norint užtikrinti patikimą elektros sistemos darbą, reikia kiekvieno nutraukimo atvejį registruoti, kaip nurodyta Valstybės kainų ir Energetikos kontrolės komisijos nutarime [1]:

1. nurodyti tinklo, kuriame įvyko nutraukimas, įtampą;
2. nutraukimo vietą;
3. nutraukimo nustatymo būdas (automatinis/rankinis);
4. nutraukimo priežastis;
5. nutraukimo pradžios ir pabaigos laikas ir data;
6. elektros energijos persiuntimo atstatymo požymis (pilnas/dalinis);
7. nutraukimo trukmė;
8. nutraukimo tipas (planuotas/neplanuotas);
9. vartotojų skaičius, kurių elektros įrenginiai buvo atjungti, kai nustatyta I, II ar III aprūpinimo elektra patikimumo kategorija ir jie yra mieste;

10. vartotojų skaičius, kurių elektros įrenginiai buvo atjungti, kai nustatyta I, II ar III aprūpinimo elektra patikimumo kategorija ir jie yra ne mieste.

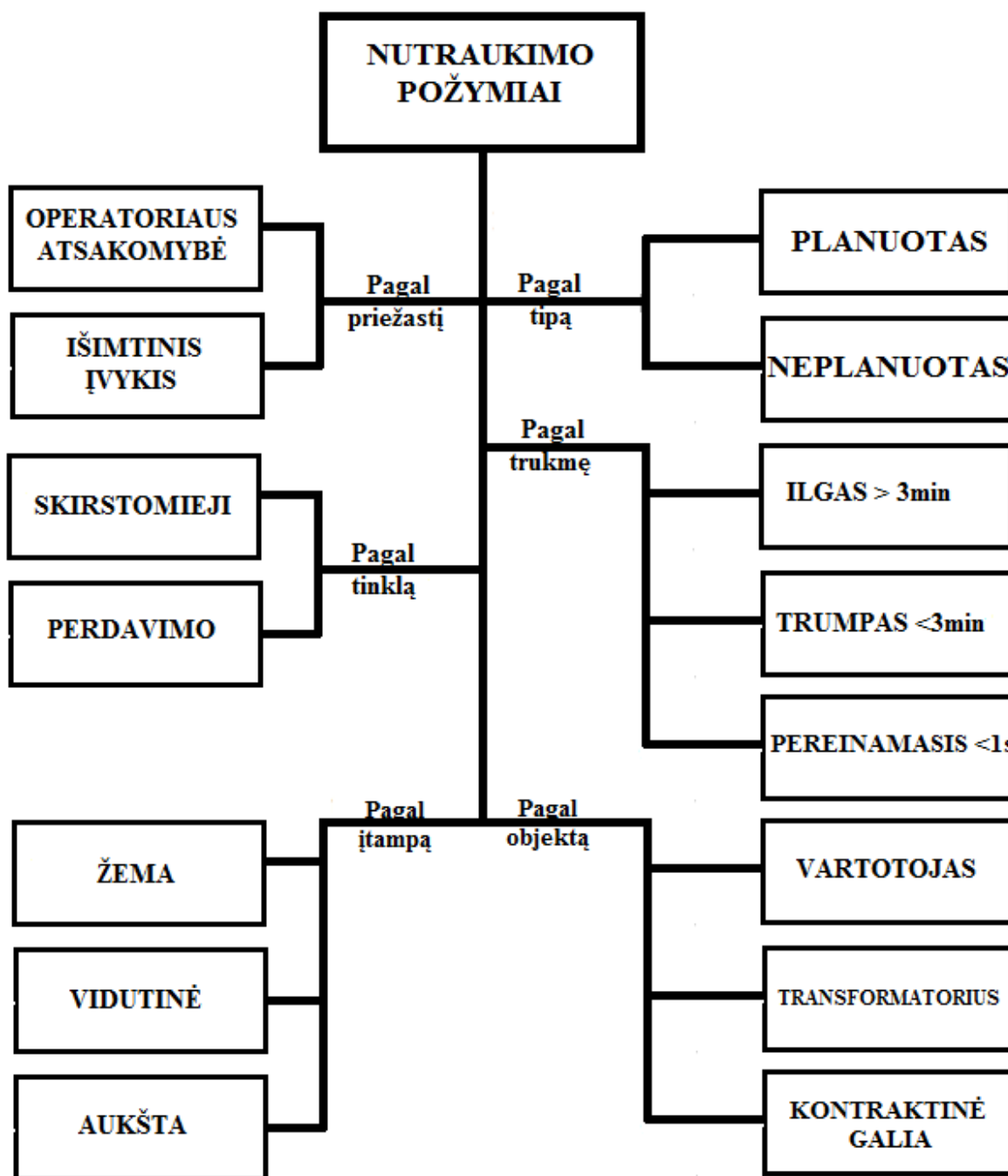
Svarbiausiu nutraukimu yra laikomas ilgas ir neplanuotas nutraukimas. Ilgų neplanuotų nutraukimų reguliavimo sistema atskirose šalyse pateikiama 2 lentelėje pagal 6 požymius.

2. lentelė Ilgų neplanuotų nutraukimų reguliavimo sistemos požymiai Europos Sąjungos šalyse [4]

Šalis	Taisyklės nutraukimams registruoti	Nutraukimų klasifikavimas pagal priežastis	Nenugalimos jėgos apibrėžimas	Auditai	Nenutraukimų normatyvai	Ekonominio skatinimo schema
Belgija	-	+	+	-	+	-
Čekija	+	+	+	-	+	-
Italija	+	+	+	+	+	+
Lietuva	-	+	+	-	+	-
Portugalija	+	+	+	+	+	+
Latvija	-	-	-	-	-	-
Vengrija	+	+	+	+	+	+

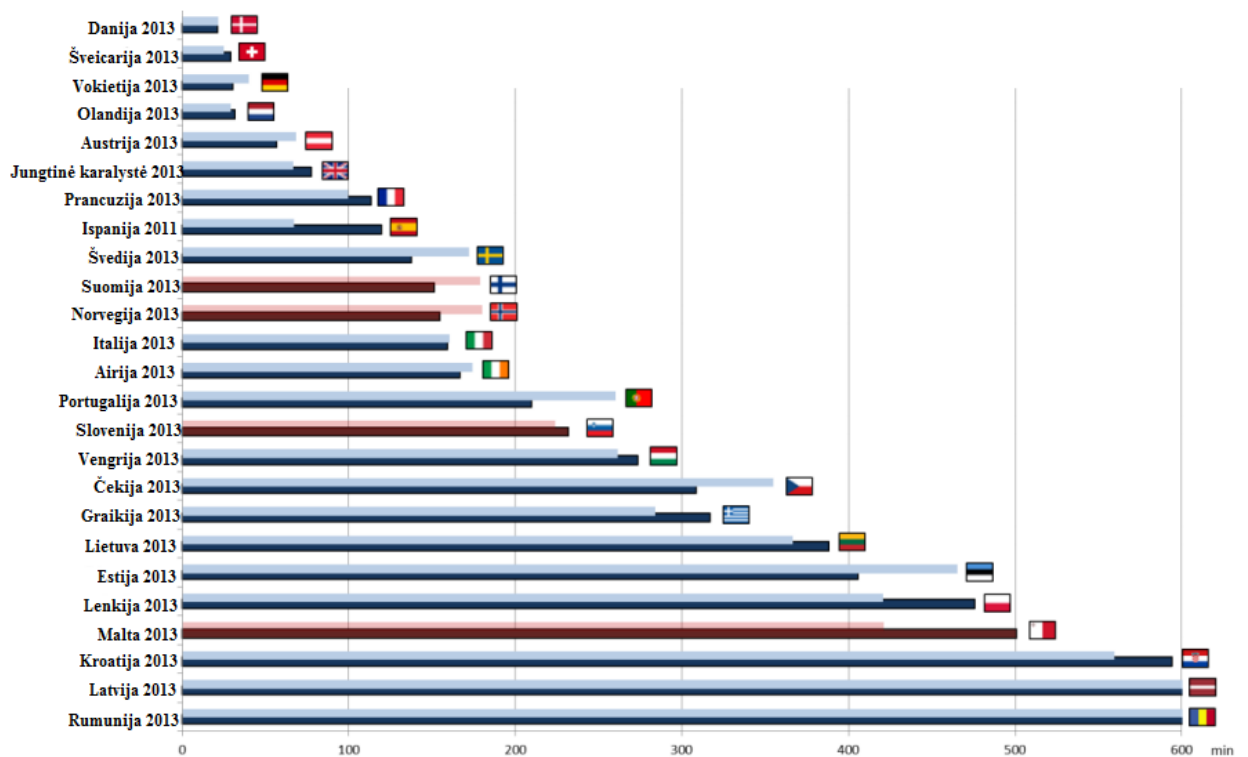
Pagal duomenis, matome, kad reguliavimo sistemos atskirose šalyse yra nevienodos, ir geriausiai nustatytos yra Italijoje, Vengrijoje, Portugalijoje (naudojami visi sistemos 6 požymiai), blogiausiai – Latvijoje (sistema nėra sutvarkyta).

Patikimumo rodiklių išėities duomenys yra nutraukimai, tiksliau – jų požymiai. Europoje siekiama nutraukimus matuoti ir registruoti pagal vienodus požymius [4] pateikiama.



2 pav. Vartotojo aprūpinimo elektra nutraukimo požymiai

Planiniai ir neplaniniai elektros energijos nutraukimai vartotojams. Šalys yra reitinguojamos pagal 5 metų vidutinę metinių nutraukimų laiką nuo 2009m. iki įskaitant 2013m.[5] pateikiamos 3 pav.



3 pav. Planiniai ir neplaniniai elektros energijos nutraukimai vartotojams, vidutinė nutraukimo trukmė per 2009m. iki įskaitant 2013m. [5]

Remiantis 3 paveikslėlio duomenimis, matome, kad Rumunijoje planiniai ir neplaniniai elektros energijos nutraukimai vartotojams yra patys didžiausi, tuo tarpu Danijoje, Vokietijoje, Olandijoje pasižymi – mažiausiu nutraukimų vidurkiu. Lietuva tarp šių šalių yra 19 iš 25.

1.3 Skirstomojo elektros tinklo gedimų analizė

Gedimų dažnis, pagal statistinius duomenis Lietuvoje, skirstomas pagal ilguosius (ilgiau nei 3 minutes) ir trumpuosius nutraukimus, kuriuos sukelia: vėjas ir audros (30%), žaibai (7%), sniegas ir ledas (6%), kitos priežastys, susijusios su gamtos padariniais (3%), gyvūnai (4%). Tuo tarpu iš AB „ESO“ gautais Lietuvos regionų duomenimis ir remiantis [6] šaltiniu, Lietuvoje priskiriami pagrindiniai veiksniai, dėl kurių įvyksta gedimai:

- vėjas ir audros;
- žaibavimas ir jo sukelti viršįtampiai;
- sniegas ir ledas;
- gyvūnai;
- kiti gamtos reiškiniai;

- techniniai gedimai;
- mechaniniai gedimai;
- nežinomos kilmės gedimai.

Remiantis [1] šaltinio nutarimu, Lietuvos skirstomiesiems tinklams priskiriamos šios pažeidimų priežastys:

- „*Force majeure*“ (nenugalima jėga): stichiniai gamtos reiškiniai (potvyniai, perkūnijos, apšalas, audros, ir pan.), gaisrai, sistemos priešavarinės automatikos poveikis, klimato pokyčiai, dėl kurių buvo viršyti leistinieji techniniai normatyvai;
- Išorinio poveikio priežastys: pažeidimai, kurie įvyko dėl vartotojų kaltės, sutrikimai, avarijos, gedimai kito operatoriaus tinkluose, dėl kurių padarytas pažeidimas;
- Operatoriaus klaidos.

Remiantis literatūra [7] duomenimis, didžiausią įtaką elektros skirstomojo tinklo, atsijungimams turi:

- netvarkingas tinklo suprojektavimas;
- nusidėvėjimas;
- įrengimas;
- netinkamos operacinės sąlygos;
- oro sąlygos;
- išoriniai aplinkos trikdžiai.

Atsijungimų priežastys Lietuvoje pateikiamos 3 lentelėje.

3 Lentelė. Atsijungimų priežastys Lietuvoje

Atsijungimų priežastis	Įvykių skaičius Lietuvoje per 2016 m., %	Atstatymo laikas, %	
		Greitas	Su užtrukimais
Žaibas	25	30	23
Vėjas ir audros	37	15	27
Ledas ir sniegas	15	6	17
Gyvūnai	8	14	11
Kitos, nežinomi	7	10	10
Mechaniniai gedimai	5	21	7
Žmogiškasis faktorius	3	4	5

Remiantis [6] šaltinio duomenimis, yra padaryti skaičiavimai linijoms, kabeliams, kurie yra labiausiai pažeidžiami tam tikrų, gedimus sukeliančių, veiksnių. (žr. 4 lentelė).

4. lentelė Ilgi elektros energijos nutraukimai (gedimų skaičius/100 km/ metus)

Gedimai	Neizoliuotas laidas	Izoliuotas laidas	Oro kabelis	Požeminis kabelis
Gamtos reiškiniai	3,86	0,31	0,09	0,08
Vėjas ir audros	2,72	0,23	0,09	0,01
Sniegas ir ledas	0,38	0,07	0,07	0,00
Žaibas	0,21	0,03	0,06	0,05
Kiti oro poveikiai	0,20	0,01	0,03	0,03
Gyvūnai	0,12	0,01	0,00	0,33
Techniniai	0,44	0,04	0,11	0,3
Mechaniniai	0,32	0,03	0,09	0,35
Klaidos	0,12	0,03	0,01	0,11
Kiti sukėlimai	0,61	0,04	0,02	0,36
Visuomeninis netinkamas elgesys	0,22	0,01	0,01	0,21
Nežinomi	0,46	0,03	0,04	0,13

Pagal 4 lentelėje pateiktus duomenis, galima teigti, kad mažiausiai elektros energijos nutraukimų yra kur naudojamas oro kabelis. Tokį patikimumą lemia laidų, atramų, izoliatorių kokybė bei specifinės jų savybės. Darbo sąlygos: ilgis, žaibo viršįtampiai, apledėjimas, aplinkos užterštumas, amžiaus resursas (vidutinis OL amžiaus resursas yra ~30 metų).

5. lentelė Lietuvoje įvykusių gedimų skaičius oro linijose (gedimų sk./ 100 km/ metus)

Gedimų sukėlėjai	Miškas	Kelio vietovės	Atvira vieta
Vėjas ir audros	3,3	1,65	-
Sniegas ir ledas	1,8-4,1	0,4-0,95	0,4-0,98
Tiesioginiai viršįtampiai	0,1-0,2	0,1-0,2	1,6-3,2
Gyvūnai	0,16	0,16	0,16
Techninės	0,2-0,54	0,1-0,58	0,2
Kita	0,3-0,74	0,2-0,94	0,3
Kartu	5,86-9,04	2,61-4,48	2,66-4,84
Vidurkis	7,45	3,54	3,75

Iš duomenų (žr. 5 lentelė [7]) matome, kad daugiausia avarių, gedimų įvyksta miško vietovėse.

Priežasčių pasiskirstymas žiemą yra apie 60 proc. atjungimų dėl vėjų ir apledėjimų, vasarą apie 90 proc. – dėl žaibų. Atliktos analizės metu [9] OL gauti tokie (žr. 6 lentelė) vidutiniai metiniai rodikliai:

6. lentelė Lietuvoje gedimų skaičius oro linijose

Gedimai	Įvykių skaičius per metus, %
Pašaliniai veiksniai	34
Vėjas ir apledėjimas	18
Eksploatacijos defektai	9
Montažo defektai	5
Konstrukcijos defektai	3
Kitos priežastis	3
Nenumatytos priežastis	28

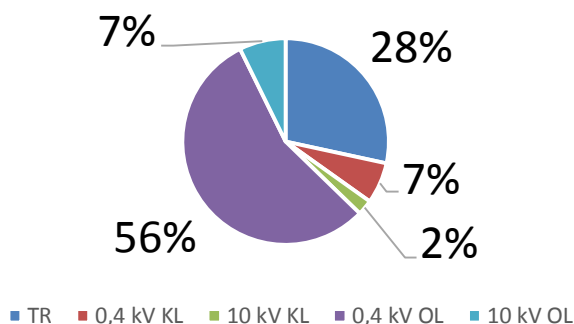
Siekiant kokybiško ir ekonomiško bei patikimo elektros įrenginių darbo, labai svarbu yra stebėti tinklą, jo eksploataavimo, tarnavimo laiką, numatant galimus gedimus bei siekiant jų išvengimo.

2. GEDIMAI 0,4 - 10 KV ELEKTROS SKIRSTOMAJAME TINKLE

Dėl nepakankamo transformatorių pastočių, skirstomųjų punktų bei transformatorinių automatizavimo dispečerinės darbuotojai neturi galimybės visų komutacinių aparatų valdyti iš dispečerinių centrų. Didžioji dalis perjungimų vykdomi operatyvinei brigadai nuvykus į objektą. Šiuose objektuose, kuriuose valdymo sistema nėra įdiegta, tinklą valdantis dispečeris apie gedimus ir atsijungimus elektros tinkluose dažniausiai sužino iš vartotojų, kuomet jiems nutrūksta elektros energijos tiekimas. Lietuvos regionų gedimų kiekis pateikiamas 7 lentelėje.

7 lentelė. Gedimų kiekis 0,4 – 10 kV elektros tinkle

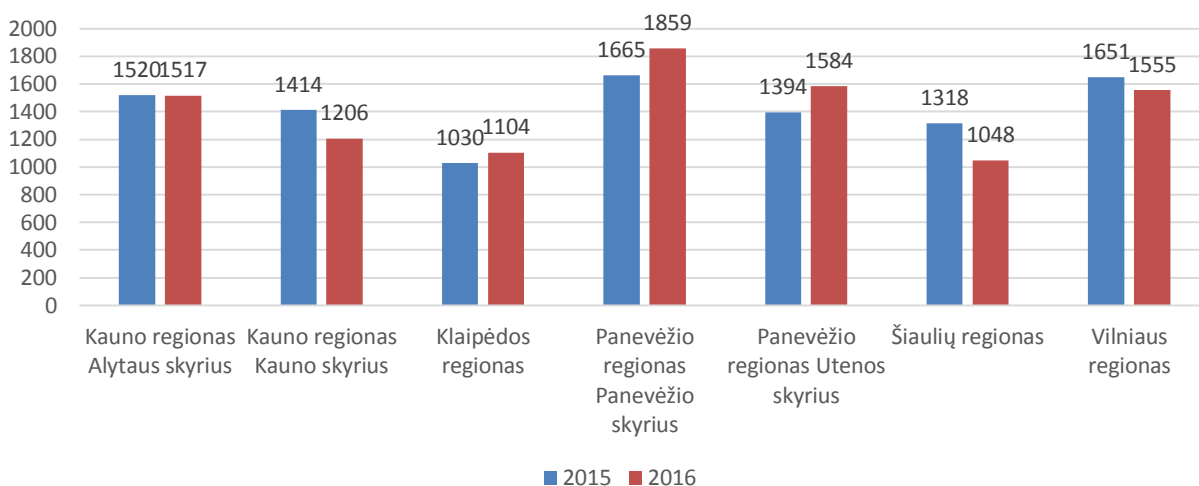
TR	9873
0,4 kV KL	2245
10 kV KL	837
0,4 kV OL	19292
10 kV OL	2531



4 pav. Lietuvos skirstomojo tinklo gedimų kiekis 0,4 – 10 kV elektros tinkle

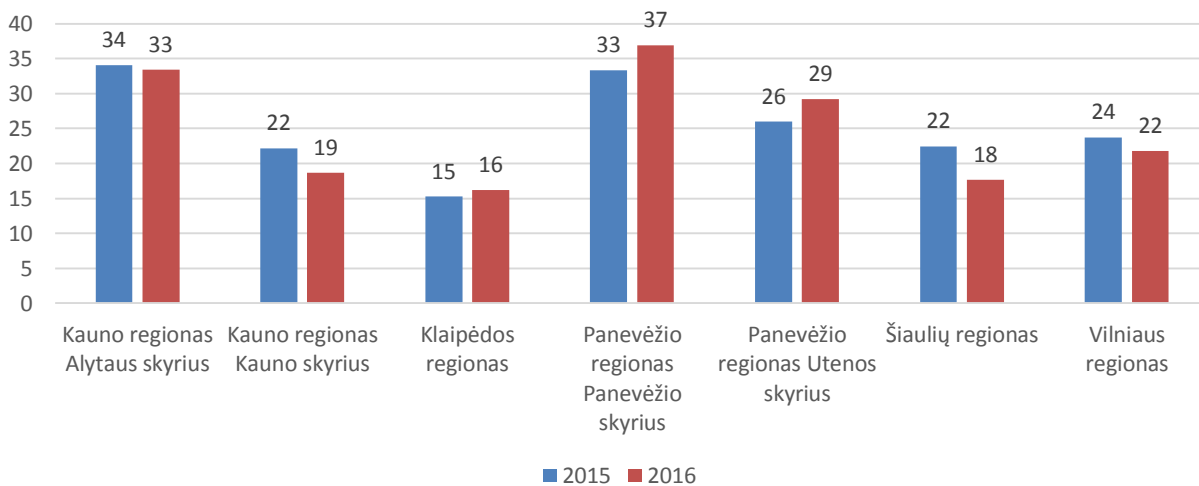
Kaip matome iš 4 pav. duomenų daugiausiai gedimų skirstomajame elektros tinkle 2015-2016m. laikotarpyje buvo 0,4 kV oro linijose, transformatorinėse, po lygiai gedimų 0,4 kV kabelinėse linijose ir 10 kV oro linijose, mažiausiai buvo užfiksuota gedimų 10kV kabelinėse linijose.

6–10/0,4 kV transformatorinės 2015m.-2016m. bendras alyvos iš transformatorinių vagysčių skaičius sumažėjo lyginant su 2013-2014 m., tačiau didelis galios transformatorių gedimų skaičius susidaro dėl pašalinių asmenų poveikio tai būtent ir būtų dėl minėtos alyvos iš galios transformatorių vagysčių. Transformatorių gedimų kiekis pagal regionus pateiktas 5 paveikslėlyje.



5 pav. Transformatorinių gedimų kiekis pagal regionus 2015-2016m.

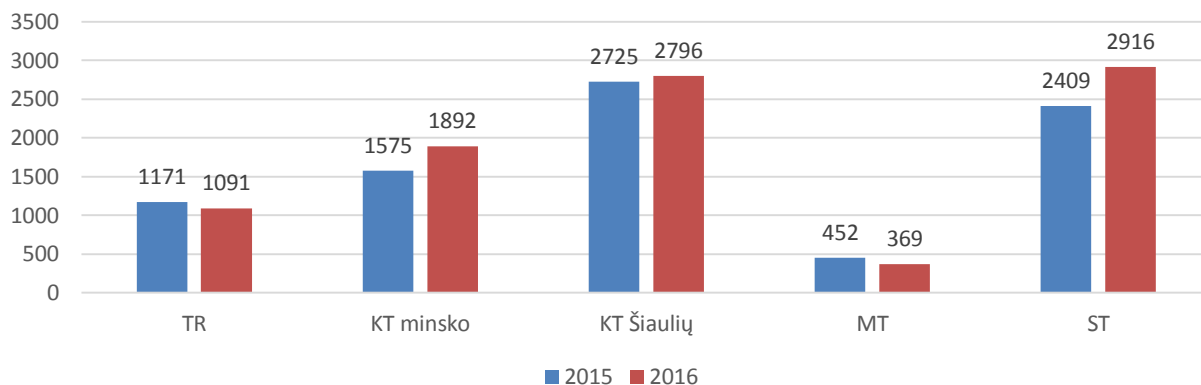
AB „ESO“ skirstomieji tinklai 2014 m. dėl alyvos iš transformatorinių vagysčių patyrė 179 tūkst. EUR nuostolių 2013 m. – 211 tūkst. EUR. Pavogta 2014 m. – 79 tonos alyvos, sugadinta 80 galios transformatorių. Vienas iš būdų sumažinti vagysčių kiekį galėtų būti apsauginių priemonių įrengimas. Didžioji dalis gedimų 6 - 10/0,4 kV transformatorinėse įvyksta seno tipo komplektinėse transformatorinėse, kurios turi būti jau keičiamos į naujas, modulines arba stulpines transformatorines. 6 paveikslėlyje matome gedimų kiekį 100vnt. transformatorių pagal regionų pasiskirstymą.



6 pav. Gedimų kiekis 100 vnt. transformatorinių pagal regionus 2015-2016 m.

Iš 6 paveikslėlio duomenų matome, kad iš 100 vnt. transformatorių 2015-2016m. gedimai pasiskirstę panašiai.

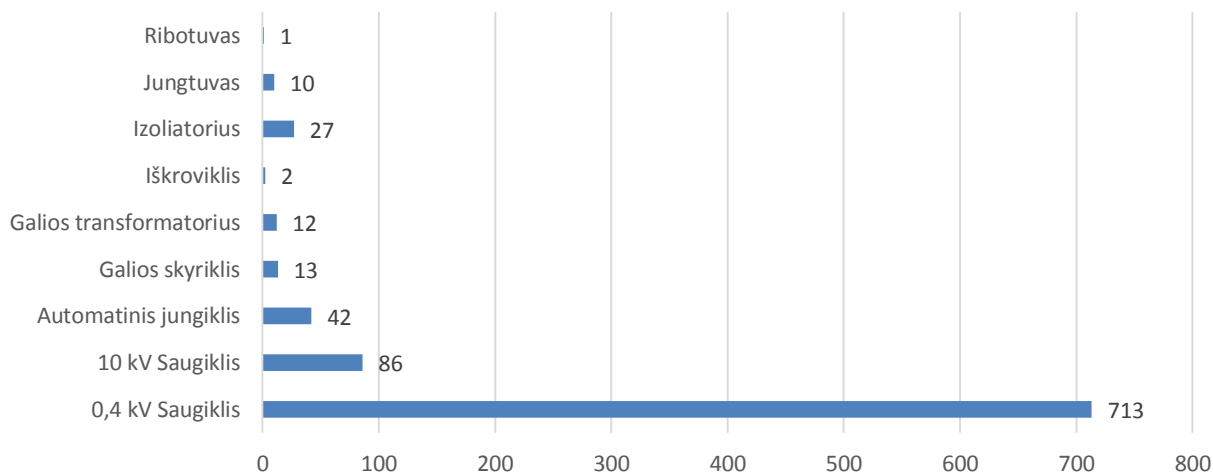
Šiuo metu yra įvairių tipų, didžiū bei specifikacijų transformatorinių pastočių. Kadangi transformatorinės pastotės dirba ne idealiomis sąlygomis t.y. karštis, šaltis, audros, lietus, dulkės ir t.t. dėl šių priežasčių elektros pastotės turi tendencija gesti. Sekančiuose paveikslėliuose apžvelgsime, būtent dėl kokių dažniausiai elektros įrenginių gedimų sutrinka elektros energijos tiekimas vartotojams.



7 pav. Gedimų kiekis pagal transformatorinės tipą 2015-2016m.

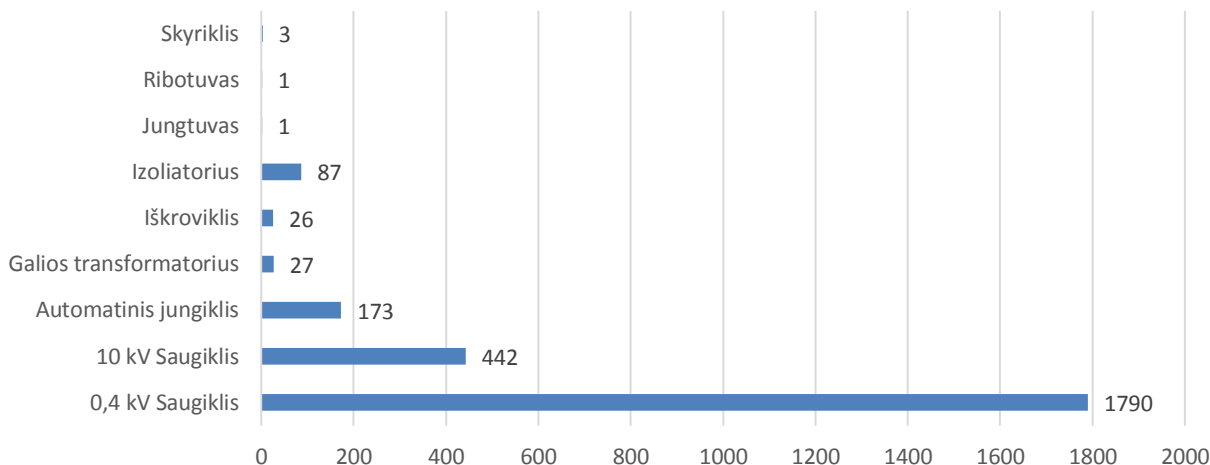
Iš pateiktų 7 paveikslėlio duomenų matome, kad daugiausiai gedimų įvyksta KT Šiaulių tipo transformatorinėse pastotėse, mažiausia gedimų nustatoma modulinėje transformatorinėje.

Dažniausiai gendančių elektros skirstomųjų tinklų įrenginiai bei jų komponentai pagal transformatorinės pastotes tipą apžvelgiami sekančiuose paveikslėliuose.



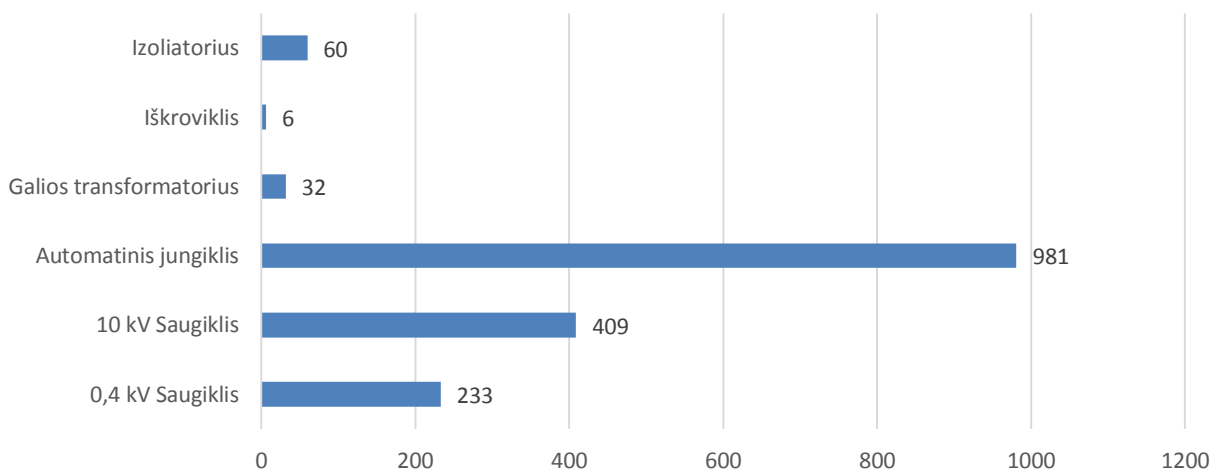
8 pav. Gedimai stacionariuosiuose transformatorinėse 2016 pagal įrenginius

Iš 8 paveikslėlio duomenų, galime teigti, kad stacionariuosiuose transformatorinėse daugiausiai gedimų įvyksta dėl 0,4 kV ir 10 kV saugiklių gedimų, kitas daugiausiai elektros trikdžių sukeliantis įrenginys būtų automatiniai elektros jungikliai, mažiausiai gedimų įvyksta dėl ribotuvų, iškvėriklių kaltės.



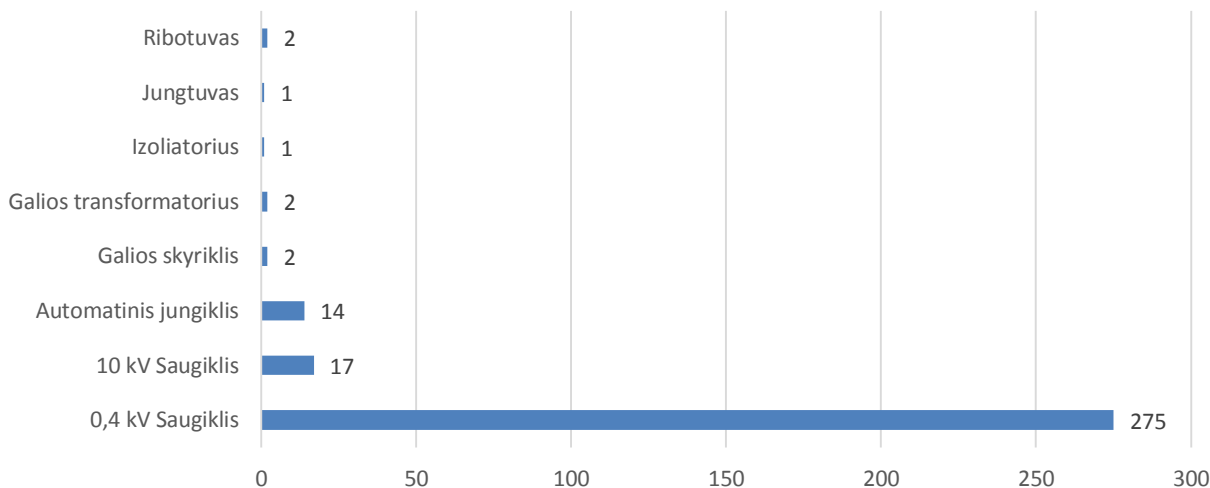
9 pav. Gedimai KT Šiaulių tipo transformatorinėse 2016m. pagal įrenginius

Iš 9 paveikslėlio duomenų, matoma, kad KT Šiaulių tipo transformatorinėse daugiausiai gedimų įvyksta taip pat, dėl 0,4-10 kV saugiklių gedimų, mažiausiai įvyksta dėl ribotuvų, jungtuvų ir skyriklio gedimų.



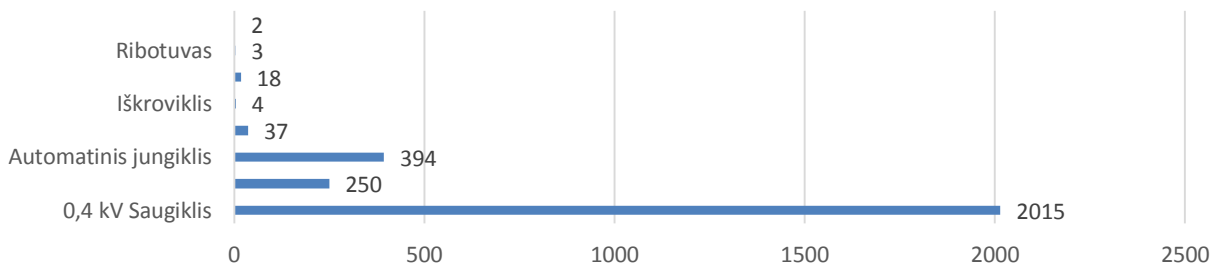
10 pav. Gedimai KT Minsko tipo transformatorinėse 2016m. pagal įrenginius

Remiantis 10 paveikslėlio duomenimis, matome, kad KT Minsko tipo transformatorinėse daugiausiai gedimų įvyksta, dėl automatinių jungiklių ir 10 kV saugiklių gedimų, mažiausiai įvyksta dėl elektros iškroviklių.



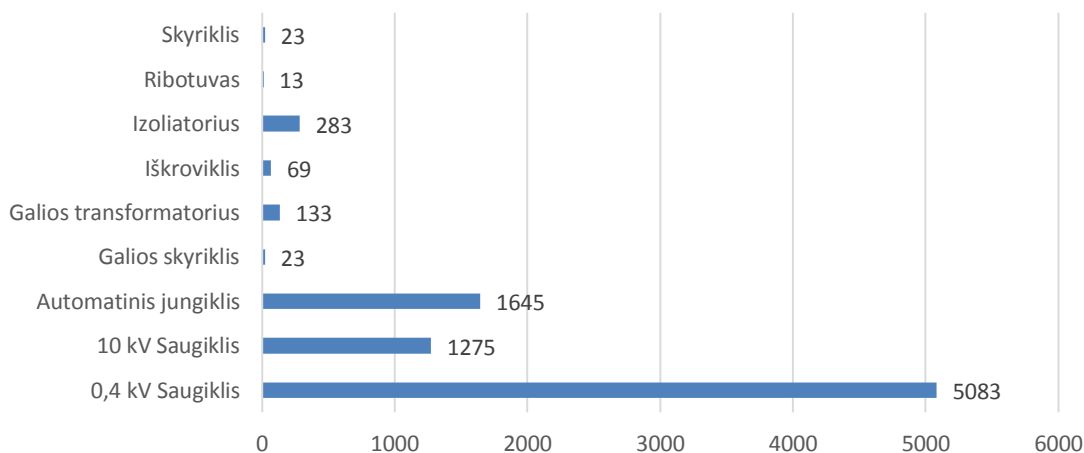
11 pav. Gedimai modulinėse transformatorinėse 2016m. pagal įrenginius

Remiantis 11 paveikslėlio duomenimis, matome, kad modulinėse transformatorinėse daugiausiai gedimų įvyksta, dėl 0,4 kV saugiklių gedimų.



12 pav. Gedimai stulpinėse transformatorinėse 2016m. pagal įrenginius

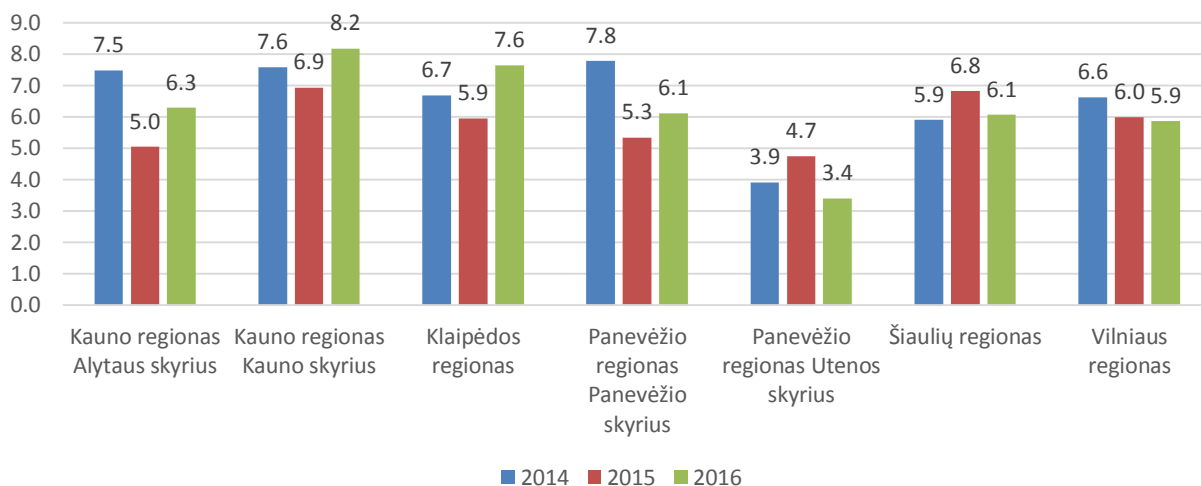
Remiantis 12 paveikslėlio duomenimis, matome, kad modulinėse transformatorinėse daugiausiai gedimų įvyksta, dėl 0,4 kV saugiklių ir automatinių jungiklių gedimų.



13 pav. Gedimų kiekis transformatorinėse 2016m. pagal įrenginius

Apžvelgiant 13 paveikslėlio duomenimis, daroma išvada, kad dažniausias gedimas transformatorinėje pastotėse įvyksta, dėl 0,4-10 kV saugiklių ir automatinųjų jungiklių gedimų, mažiausiai gedimų yra fiksuojama ribotuve.

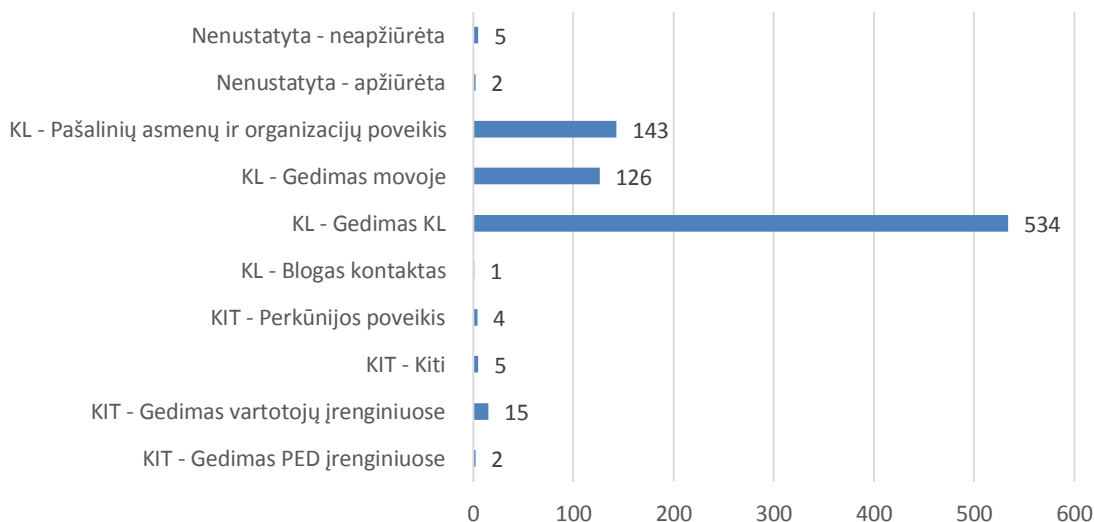
0,4 – 10 kV Kabelinių linijų gedimai. Elektros tinklai turi užtikrinti patikimą elektros vartotojų maitinimą, įvertinant vartotojams reikalingą galią. Tai padaryti galima turint tvarkinga ir gerai subalansuota skirstomąjį elektros tinklą, bei kokybiškas ir patikimas perdavimo linijas.



14 pav. 10kV kabelinių linijų gedimų kiekis 100 km pagal regionus 2014-2016m.

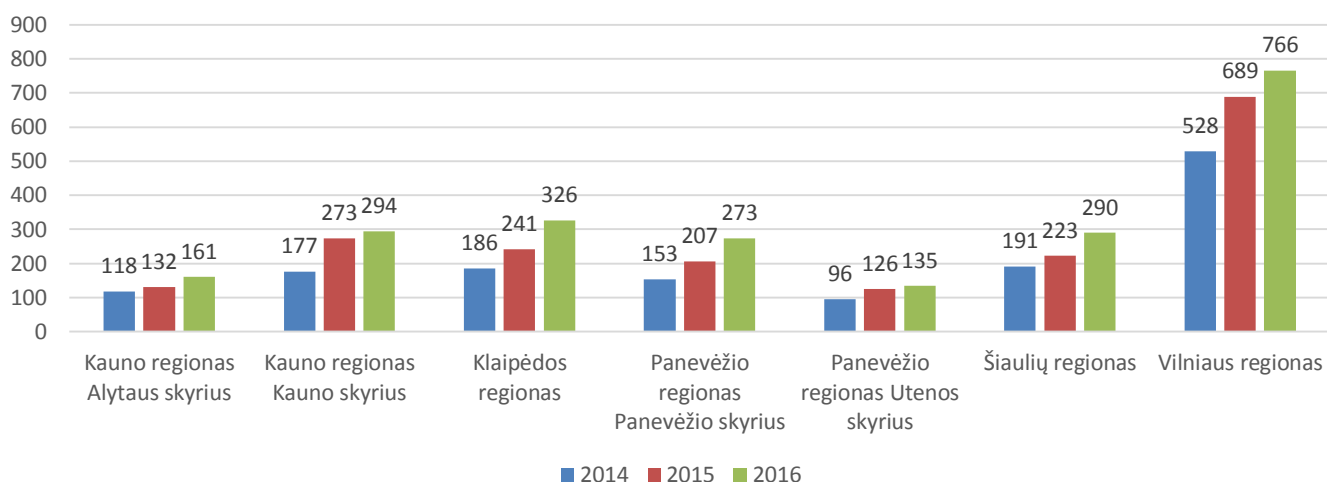
Remiantis 14 paveikslėlio duomenimis matome, kad daugiausiai 10 kV kabelinių linijų gedimų įvyksta Kauno ir Klaipėdos regionuose, mažiausiai kabelių gedimų 100 km užfiksuojama Panevėžio regione.

Dažniausiai gendančių 10 kV kabelinių linijų vietos apžvelgiamos 15 paveikslėlyje.



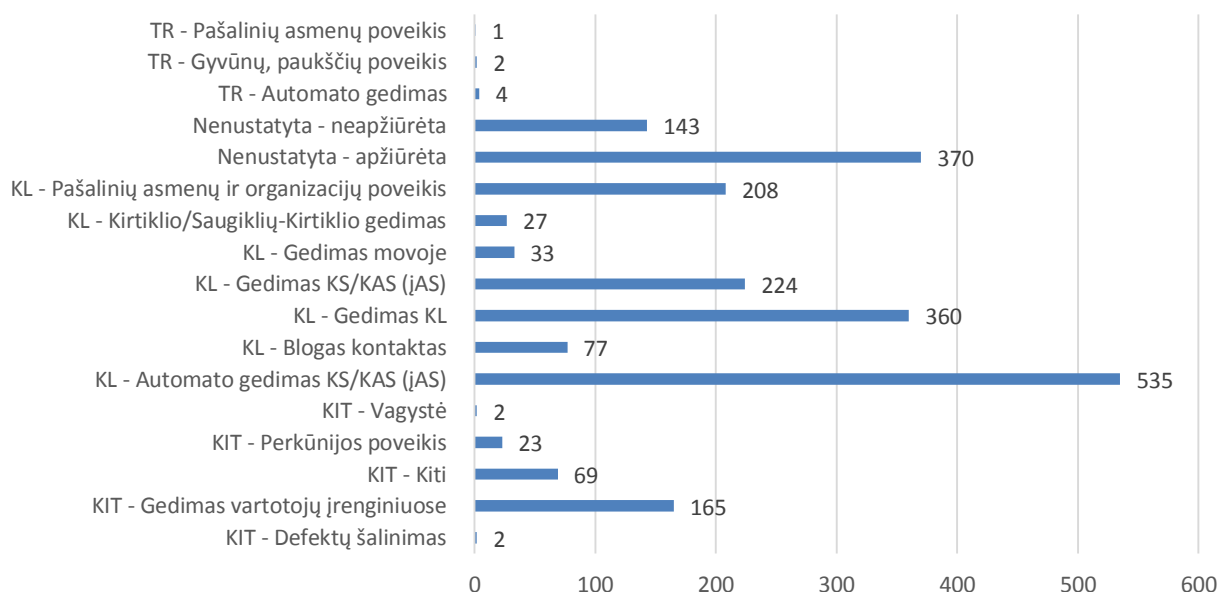
15 pav. Gedimų kiekis 10 kV kabelių linijoje pagal požymį 2016m.

Apžvelgiant 15 paveikslėlio duomenimis, matome, kad dažniausi gedimai 10 kV kabelinėje linijoje įvyksta kabelyje arba movoje.



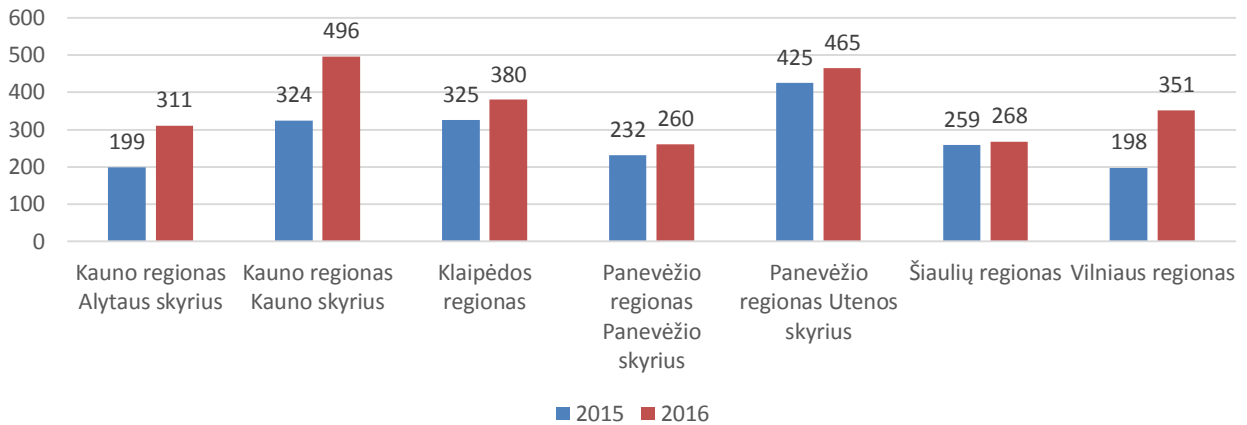
16 pav. 0,4 kV kabelinių linijų gedimų kiekis pagal regionus 2014-2016

Remiantis 16 paveikslėlio duomenimis matome, kad daugiausiai 0,4 kV kabelinių linijų gedimų įvyksta Vilniaus regione, o mažiausiai kabelių gedimų nustatoma Panevėžio regione. Pagal šiuos duomenis negalime teigti, kad Vilniuje lyginant su kitais regionais yra blogiausia situacija eksploatuojant 0,4kV kabelines linijas, todėl, kad Vilniaus rajone yra didesnis 0,4 kV kabelinių linijų ilgis nei prieš tai minėtame Panevėžyje.



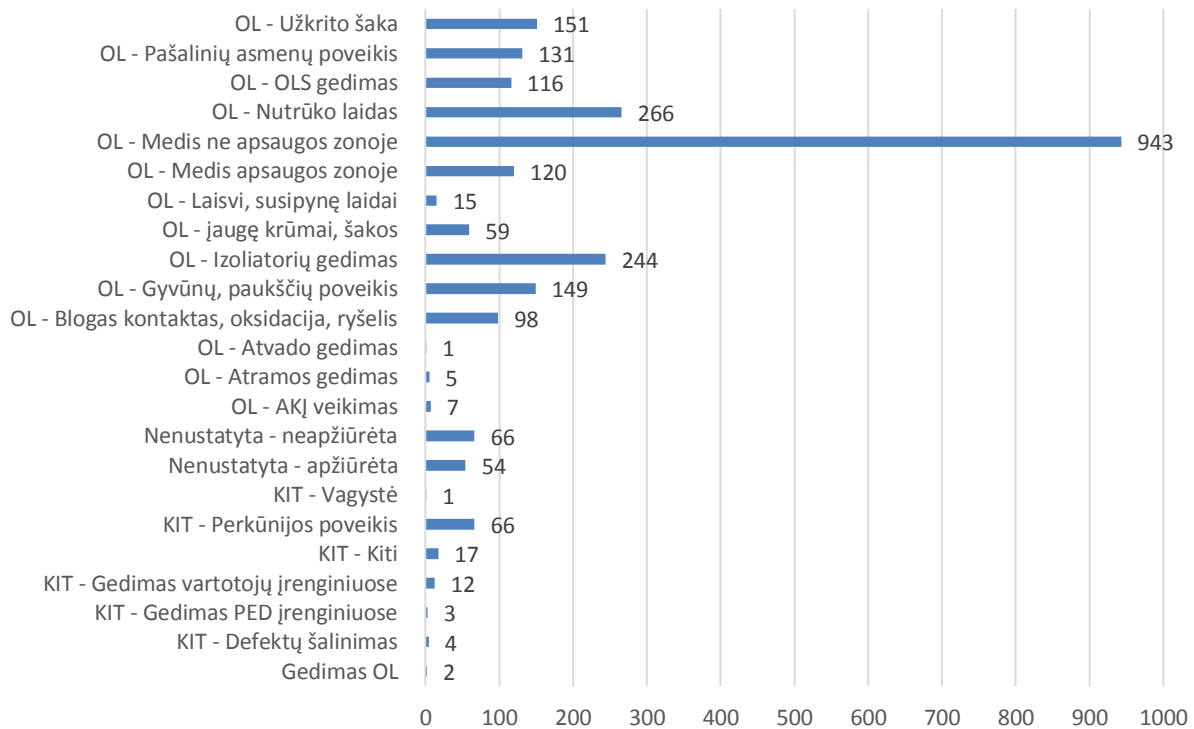
17 pav. Gedimų kiekis 0,4 kV kabelių linijoje pagal požymį 2016m.

Apžvelgiant 17 paveikslėlio duomenimis, galime teigti, kad vienas iš dažniausi pasitaikančių gedimų 0,4 kV kabelinėje linijoje įvyksta dėl automato gedimo ir pašalinių asmenų ar organizacijų poveikio.



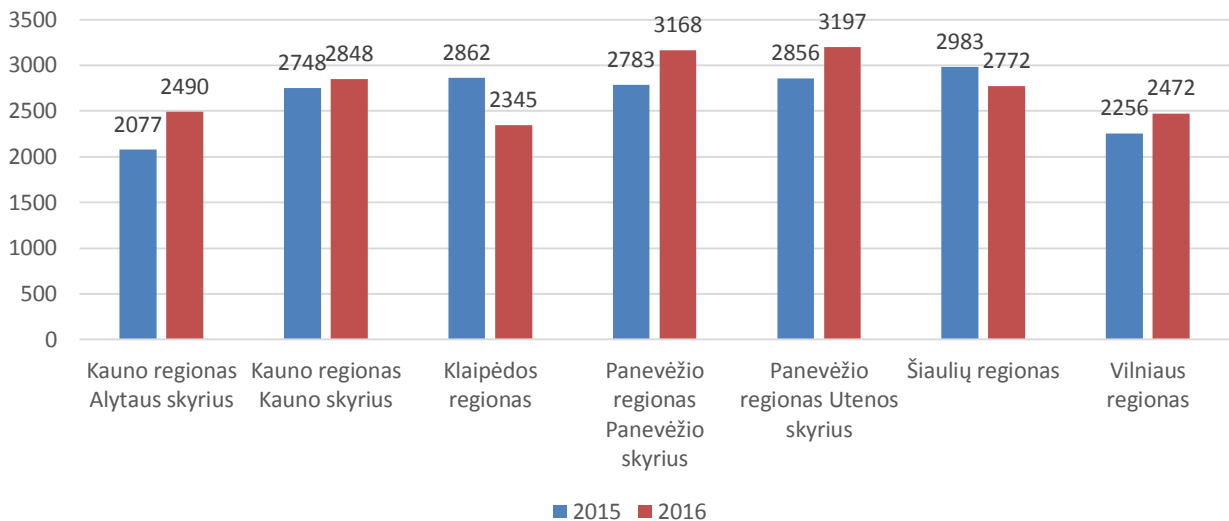
18 pav. 10 kV Oro linijų gedimų kiekis pagal regionus 2014-2016m.

Išanalizavus 18 paveikslėlį matome, kad daugiausiai gedimų 10 kV oro linijose, nustatoma Panevėžio ir Kauno regionuose. Matome, kad Vilniuje ar Kaune lyginant 2015 ir 2016m. gedimų skaičius oro linijose ženkliai augo.



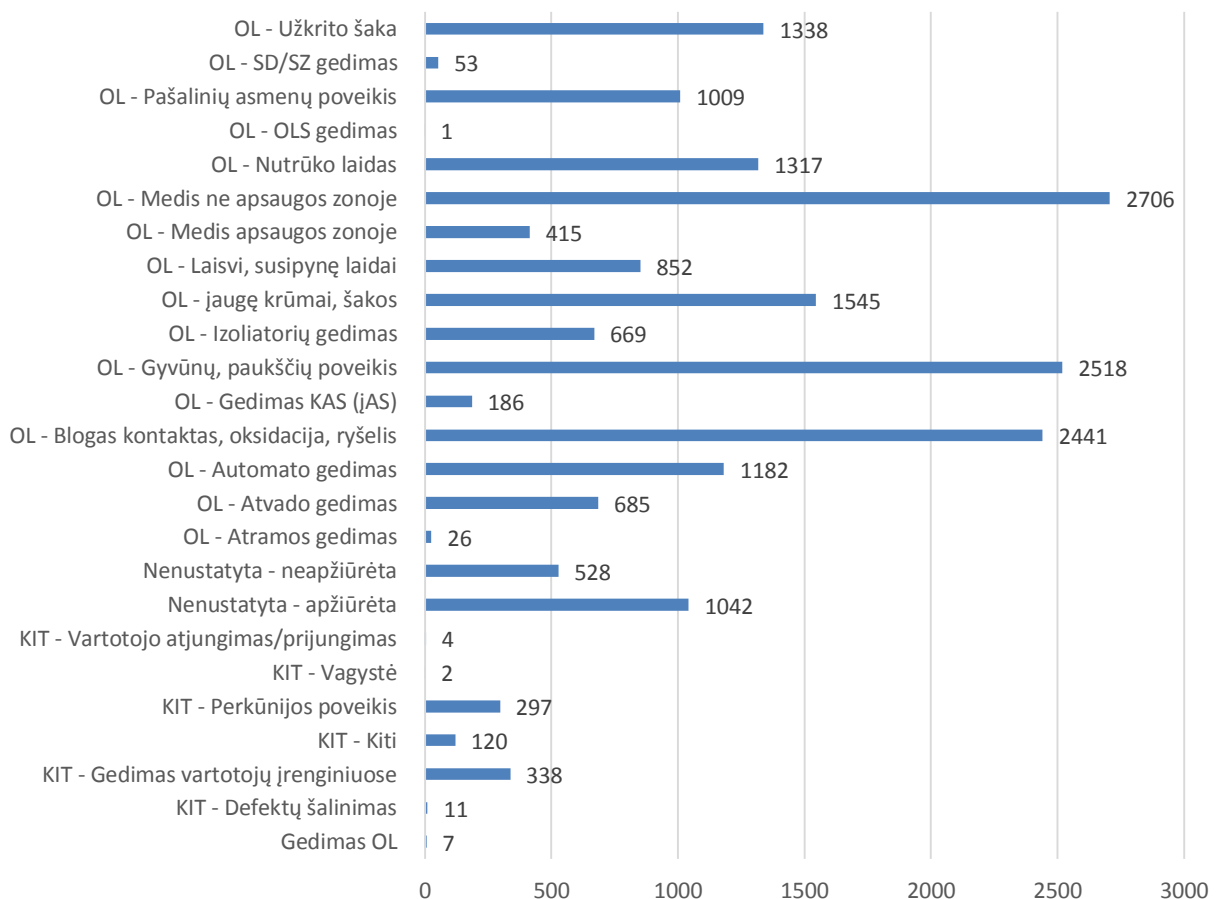
19 pav. Gedimų kiekis 10 kV oro linijoje pagal požymį 2016m.

Apžvelgus 19 paveikslėlio duomenis daroma išvada, kad daugiausiai gedimų 10 kV oro linijose, nustatoma dėl medžių kurie nėra apsaugos zonose.



20 pav. 0,4 kV Oro linijų gedimų kiekis pagal regionus 2015-2016m.

Remiantis 20 paveikslėlio duomenimis matome, kad 0,4 kV oro linijose gedimai po visus regionus pasiskirstė vienodai.



21 pav. Gedimų kiekis 0,4 kV oro linijose pagal požymį 2016m.

Apžvelgus 21 paveikslėlio duomenis daroma išvada, kad daugiausiai gedimų 0,4 kV oro linijose, nustatoma dėl medžių kurie nėra apsaugos zonose, gyvūnų poveikio, oksidacijos ar blogo kontakto.

Išanalizavus gedimų statistikos duomenis (žr. **4-21 pav.**) daroma išvada, kad daugiausiai skirstomojo elektros tinklo gedimų įvyksta dėl stichinių avarijų, tokiu kaip audros, didelis vėjas, snigas ir t.t. dėl prieš tai išvardintų reiškinių dažniausiai ir sutrinka elektros energijos tiekimas.

Remiantis gedimų statistikos duomenimis matome, kad iš transformatorinių pastočių labiausiai nepatikimos yra būtent stulpinės ir KT Šiaulių tipo transformatorinės pastotės, priešingai nei stulbinėse ir KT Šiaulių tipo transformatorinėse gedimu daug mažiau užfiksuojama modulinėje transformatorinėje. Siekiant kokybiško, bei ekonomiško skirstomojo tinklo, svarbu stebėti tinklą, jo parametrus, tarnavimo laiką, numatyti galimus gedimus ir siekti jų išvengimo

Norint turėti patikimą skirstomųjų elektros tinklų darbo kokybę, energijos paskirstymo patikimumą, tai galima pasiekti tik nuosekliai stebint tinklo pokyčius, fiksuojant įvykius, ir numatomas galimybes išvengti gedimų bei kuo greičiau reaguoti į gedimų šalinimą.

3. SKIRSTOMOJO ELEKTROS TINKLO PATIKIMUMO ĮVERTINIMAS

Patikimumas laikomas kaip kompleksinė savybė, tai savybė kuri priklausomą nuo objekto paskirties ir eksploatacijos sąlygų. Patikimumas – objekto savybė tam tikrą laiką atlikti savo funkcijas ir išlaikyti nustatytų eksploatacinių rodiklių leidžiamas vertes, atitinkančias tam tikrus naudojimo rezultatus ir techninio aptarnavimo, taisymo, laikymo ir gabenimo sąlygas [8].

Šiomis dienomis energijos yra vartojama vis daugiau, o ir elektros energetikos sistemos struktūra darosi vis sudėtingesnė, vartotojai reikalauja vis didesnio elektros energijos tiekimo patikimumo. Šiuo metu svarbiausi elektros vartotojai yra aukštų technologijų įmonės, kurioms elektrą nutraukti galima ne ilgiau kaip dvi ar tris valandas per metus.

Vartotojai pagal elektros aprūpinimo patikimumo lygį skirstomi į šias kategorijas [9]:

1 kategorija – vartotojai, dėl kurių nutrūkus elektros tiekimui, kyla grėsmė žmonių gyvybei, kai yra patiriama didelių materialinių nuostolių, arba sutrinka sudėtingi technologiniai procesai.

2 kategorija – vartotojai, dėl kurių, nutrūkus elektros tiekimui, patiriama produkcijos gamybos nuostolių, susidaro masinės darbuotojų mechanizmų ir transporto prastovos.

3 kategorija – visi kiti elektros vartotojai.

Elektros tinklas turi būti toks, kad:

1 kategorijos elektros vartotojai būtų aprūpinti elektra iš dviejų atskirų nepriklausomų šaltinių, ir elektros tiekimas jiems gali būti nutraukiamas tik rezervinio maitinimo automatinio įjungimo laiku;

2 kategorijos elektros vartotojus aprūpinti elektra rekomenduojama iš dviejų šaltinių;

3 kategorijos vartotojams leidžia tiekti elektrą iš vieno šaltinio, jeigu yra galimybė per 24 valandas atlikti pažeistų tinklo elementų remontą arba juos pakeisti naujais [8].

Trečios kategorijos vartotojams aprūpinimas elektros energija turi būti atkurtas per 24 valandas (išskyrus atvejus, kai objektyviai reikalingas ilgesnis laikas gedimui, sutrikimui ar avarijai pašalinti, ar atliekamas remontas).

Antros aprūpinimo elektra patikimumo kategorijos elektros energija paprastai turi būti ne ilgesnis nei 6 valandos, jeigu sutartis nenustato kitokio laikotarpio.

Pirmajai kategorijai elektros energija turi būti atstatyta ne per ilgesnį laiką kaip 2,5 valandos.

3.1 Patikimumo rodikliai

Patikimumo rodikliai skirstomi į dvi grupes: tinklo vidutinio vartotojo rodiklius ir atskiro vartotojo rodiklius.

Tinklo vidutinio vartotojo rodikliai yra statistiniai rodikliai, būdingi kiekvienam tinklo vartotojui ar visam skirstomajam tinklui. Jie neparodo atskiro konkretaus vartotojo aprūpinimo būklės.

Europos sąjungos šalys pasirinko tinklo vidutinio vartotojo rodiklių sistemą, kurios pagrindą iš 5 rodiklių sudaro amerikietiški patikimumo rodikliai. Šių rodiklių sąrašas pateiktas 8 lentelėje.

8 lentelė. ES šalyse labiausiai paplitę tinklo vidutinio vartotojo patikimumo rodikliai

Eil. Nr.	Rodiklio sutrumpinimas	Pavadinimas		Alternatyvus pavadinimas
		Lietuviškas	Angliškas	
1.	SAIDI	Sistemos vidutinės nutraukimų trukmės rodiklis. Parodo, kiek vidutiniškai laiko per ataskaitinį laikotarpį elektros energija nebuvo persiunčiama vienam vartotojui.	System Average Interruption Duration Index	Vartotojo nutraukimų minutės per metus Customer Minutes Lost per customer per year (CMLs)
2.	SAIFI	Sistemos nutraukimų vidutinio dažnumo rodiklis. Parodo, kiek vidutiniškai kartų per ataskaitinį laikotarpį elektros energija nebuvo persiunčiama vienam vartotojui.	System Average Interruption Frequency Index	Vartotojo nutraukimų skaičius per metus Customer Interruptions per 100 customers per year (CIs)
3.	MAIFI	Vidutinis elektros energijos persiuntimo trumpų nutraukimų dažnumo rodiklis. Parodo, kiek vidutiniškai kartų per ataskaitinį laikotarpį energijos persiuntimas buvo nutrauktas dėl trumpo nutraukimo.	Momentary Average Interruption Frequency Index	
4.	ENS	Nepersiųstos elektros energijos kiekis. Parodo dėl nutraukimų perdavimo tinklu nepersiųstos energijos kiekį per ataskaitinį laikotarpį.	Energy Not Supplied	END <i>Energy not delivered</i>
5.	AIT	Vidutinis nutraukimo laikas. Parodo vidutinę nutraukimų trukmę per ataskaitinį laikotarpį.	Average Interruption Time	

Pagrindiniai elektros tinklų patikimumo rodikliai yra elektros tinklo gedimų, dėl kurių nutrūksta elektros tiekimas vartotojui, dažnis f_{GS} , vidutinė trukmė T_{asvid} ir tikimybė Q_s . Šie rodikliai yra atitinkamų atsitiktinių dydžių vidurkiai arba kiti jų pasiskirstymo funkcijas apibūdinantys parametrai.

Pagrindiniai rodikliai apibūdina elektros tinklo funkcionavimą ir reakciją į jų elementų gedimus. Dažniausiai papildomi rodikliai padeda nustatyti avarijos didį. Minėti rodikliai apskaičiuojami tam tikram laikotarpiui, pavyzdžiui, metams.

Patikimumo rodiklius galima suskirstyti į šias kategorijas [8]:

- Tikimybinis;
- Dažninis;
- Vidutinės trukmės;
- Numatomoisius.

SAIFI (angl. *system average interruption frequency index*) - sistemos vidutinis elektros tiekimo nutraukimo dažnio rodiklis (nutraukimų vienam vartotojui skaičius):

$$SAIFI = \frac{\text{visų elektros nutraukimų skaičius}}{\text{visų vartotojų skaičius}} = \frac{\sum f_i N_i}{\sum N_i}, \quad (3.1)$$

Čia: f_i - i-ojo mazgo maitinimo nutraukimų skaičius,

N_i - i-ojo mazgo vartotojų skaičius.

CAIFI (angl. *customer average interruption index*) - vartotojų vidutinis elektros tiekimo nutraukimo dažnio rodiklis (nutraukimų skaičius vienam maitinimo netekusiame vartotojui):

$$CAIFI = \frac{\text{visų elektros nutraukimų skaičius}}{\text{maitinimo netekusių vartotojų skaičius}} = \frac{\sum f_i N_i}{\sum N_{avi}}, \quad (3.2)$$

Čia: N_{avi} - i-ojo mazgo, atjungto avarijos metu, vartotojų skaičius.

SAIDI (angl. *system average interruption index*) - sistemos vidutinės nutraukimo trukmės rodiklis (nutraukimų vidutinė trukmė vienam vartotojui):

$$SAIDI = \frac{\text{visų elektros nutraukimų trukmių suma}}{\text{visų vartotojų skaičius}} = \frac{\sum T_{ai} N_i}{\sum N_i}, \quad (3.3)$$

čia T_{ai} - i-tojo mazgo vartotojų atjungimo trukmė.

Indeksai kaip SAIDI, SAIFI ir kiti duoda platų sistemos patikimumo matavimą. Į šiuos indeksus įeina vidutinis avarijų dažnis, λ (tikėtinas skaičius avarijų/metus); tikėtinas prastovos laikas, $r(h)$; kasmetinis negalimumas, $U(h/m)$ ir tikėtinas energijos nebuvimas, E (kWh/prastovą arba kWh/metus), tai sulaiko energijos sistemos apkrovų paklausą, kurios negali būti pristatytos toms apkrovoms. Šie galimi duomenys gali būti pritaikyti istoriniams duomenims arba unikalių faktorių studijavimui tam tikroje vietovėje, kaip oro efektai, sendinantys infrastruktūrą arba duomenys tinkamai įvertinantys komponento gyvavimo laiką.

CAIDI (angl. *customer average interruption duration index*) - vartotojų vidutinis nutraukimo trukmės rodiklis (nutraukimų vidutinė trukmė vienam atjungtam vartotojui, t. y. vienam nutraukimui):

$$CAIDI = \frac{\text{visų elektros nutraukimų suma}}{\text{visų elektros nutraukimų skaičius}} = \frac{\sum T_{ai} N_i}{\sum f_i N_i}, \quad (3.4)$$

ASAI (ASAI) (ASUI) (angl. *Average service availability (unavailbity) index*) – vidutinis patikimumo (nepatikimumo) elektros tiekimo rodiklis (tikimybė):

$$ASAI = \frac{\text{var totojų darbo be elektros nutraukimų trukmė}}{\text{var totojų darbo visus metus trukmė}} = \frac{\sum N_i \cdot 8760 - \sum T_{ai} N_i}{\sum N_i \cdot 8760}, \quad (3.5)$$

Anksčiau paminėti rodikliai ((3.1)-(3.5)) formulės daugiausiai atspindi elektros tiekimo vartotojams skirstomaisiais tinklais patikimumą.

Perdavimo tinklo patikimumas papildomai apibūdinamas neperduotos elektros energijos kiekiu ΔW_t ir vidutiniu neperduotu elektros energijos kiekiu vienam vartotojui ΔW_{svid} (pastotei, gamyklai ir pan.):

$$\Delta W_s = \sum A_{ivid} f_i T_{ai}, \quad (3.6)$$

$$\Delta W_s = \frac{\sum A_{ivid} f_i T_{ai}}{\sum N_i}, \quad (3.7)$$

čia A_{ivid} – i-ojo mazgo vidutinė apkrova. Dažniausiai naudojami SAIFI, SAIDI, ASAI, ir ΔW_s rodikliai.

3.2 Linijų patikimumas

Skirstomojo elektros tinklo oro linijų patikimumą lemia laidų, atramų, izoliatorių kokybė bei specifinės savybės bei darbo sąlygos: ilgis, žaibo sukelti viršįtampiai, apledėjimas, aplinkos veiksniai, medžių griuvimas ir t.t..

Didžioji dalis Lietuvos skirstomojo tinklo įrenginių ir linijų yra eksploatuojami kelis ar net daugiau dešimtmečių. Linijos izoliacijos funkcionavimo iki sugedimo laiko yra atsitiktinis ir priklausomas nuo izoliacijos elektrinio atsparumo, atsitiktinio charakterio, nuo aplinkos faktorių (aplinkos temperatūros, slėgio, drėgmės, radiacijos, mechaninių trikdžių ir pan.) įtakos bei viršįtampių atsitiktinių dydžių. Linijos funkcionavimo laikas nuo įrengimo arba eilinio remonto iki gedimo, po kurio tektų papildomai liniją remontuoti, pasiskirsto eksponentiniu statistiniu dėsnio kurio skirsnio funkcija turi išraišką:

$$F_T(t) = 1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right); \quad (3.8)$$

čia: T ir τ - atsitiktinis ir vidutinis funkcionavimo laikas;

τ - nepriklausomas funkcijos argumentas (pavyzdžiui, vieneri metai).

Patikimumo dydis p yra tikimybė įvykio, kad faktinis funkcionavimo laikas bus didesnis už nustatytą (sutartą) dydį t :

$$p = 1 - q = (T > t) = 1 - F_T(t); \quad (3.9)$$

čia: q - raide pažymėtas nepatikimumo dydis.

Linijos izoliaciją gali paveikti arba visiškai sugadinti atsitiktinai elektros tinkle atsiradę vidiniai ar žaibo išlydžio viršįtampiai. Šio įvykio, reikalaujančio mažiausiai tik remonto, tikimybę galima įvertinti viršįtampių ir izoliacijos elektrinio atsparumo skirsnių koreliacija:

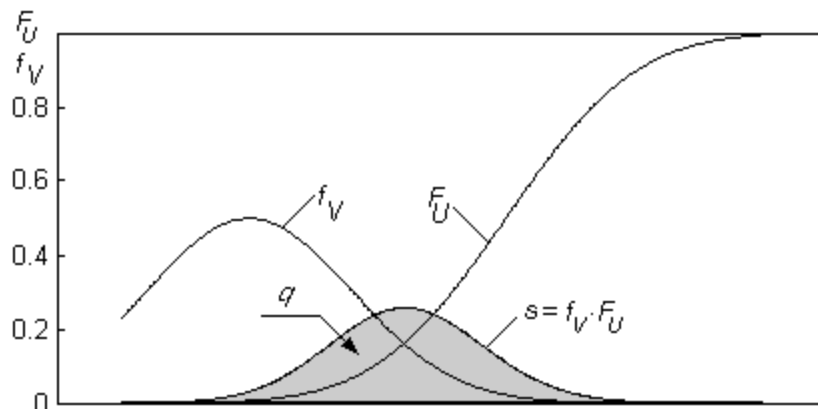
$$q = \int_{\max(V)}^{\min(V)} f_V(u) F_U(u) du; \quad (3.10)$$

čia: f_V ir F_U - viršįtampių skirsnio tankis ir izoliacijos elektrinio atsparumo tokiai viršįtampių rūšiai skirsnio funkcija;

q - izoliacijos nepatikimumas esant tokiems viršįtampiams, arba tikimybė atsitiktinio įvykio ($V > U$), kad viršįtampis yra amplitudė didesnis už elektrinio atsparumo ribą;

$\min(V)$ ir $\max(V)$ - mažiausia ir didžiausia galimų viršįtampių tinkle reikšmė.

Nepatikimumas yra F_V ir F_U funkcijų sandaugos produktas (V ir U koreliacija), $s = f_V F_U$ kreive apribotas plotas.



22 pav. Viršįtampių skirsnio tankis (f_V), izoliacijos elektrinio atsparumo skirsnio funkcija (F_U) ir jų sandauga (s) [8]

Norint įvertinti, kaip pakinta izoliacijos patikimumas pasikeitus aplinkos sąlygoms ar viršįtampių lygiui, reikia nustatyti ne tik izoliacijos elektrinio atsparumo pasikeitimą, bet ir viršįtampių reikšmių išsibarstymą.

Oro linijų intensyvumui taip pat turi eksploatacijos trukmė. Remiantis [8] šaltinio pateikta informacija, oro linijų gedimų intensyvumo priklausomybė nuo eksploatacijos trukmės aprašo Veibulo skirstinys:

$$\lambda_L = \lambda_{L0}(0,0t)^{aL-1}. \quad (3.11)$$

čia: λ_{L0} - stacionarioji gedimų intensyvumo vertė, apskaičiuota dešimčiai OL eksploatacijos metų;

a_L - pasiskirstymo formos parametras.

Oro linijų gedimų intensyvumo λ_L priklausomybės nuo eksploatacijos trukmės, statistikos analizė parodė, kad pirmiausiai dešimt metų eksploatacijos metų λ_L mažėja, o vėliau stabilizuojasi.

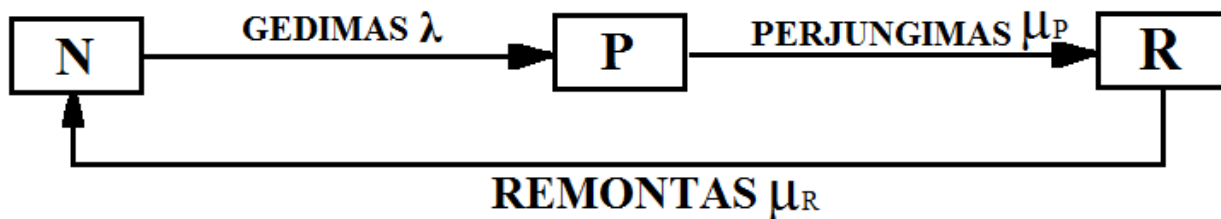
Vidutinės (6 kV ir 10kV) įtampos oro linijoje pažeidžiamos daug dažniau. Kabelinių linijų patikimumui didelę įtaką turi kabelių paklojimo būdas.

Šiuo metu plačiausiai naudojamos kabelinės linijos 10 kV įtampos tinkluose. Kabelinės linijos genda rečiau, bet joms pataisyti reikia daug daugiau laiko.

3.3 Pastočių patikimumo įvertinimas

Patikimumo charakteristikoms apskaičiuoti paprastai taikomi analitiniai metodai, pagrįsti loginių patikimumų schemų analize.

Apskaičiuojant pastočių ir su jomis susietų elektros tinklų patikimumo rodiklius, būtina atsižvelgti į schemos perjungimų po elementų gedimo procesą [8].



23 pav. Trijų perjungimo būsenų modelis

Šis modelis gali būti normalaus darbo N, perjungimo P ir remonto R būsenų. Vidutinė perjungimų trukmė apskaičiuojama:

$$T_p = 1/\mu_p; \quad (3.12)$$

Vidutinė avarinio remonto trukmė apskaičiuojama:

$$T_R = 1/\mu_R; \quad (3.13)$$

Būsenų tikimybės:

$$P_p = \lambda T_p P_N; P_R = \lambda T_R P_N; P_N = [1 + \lambda(T_R + T_p)]^{-1}; \quad (3.14)$$

čia: λ – jungtuvo gedimų intensyvumas.

Sugedus jungtuvui, kuris turėjo atjungti trumpąjį jungimą sukėlusią grandinę, reikia išjungti dar ir šalia esančius jungtuvus.

Patikimumas nustatomas remiantis šiais dydžiais [8]:

- Pagrindinės įrangos pažeidimų vidutinio skaičiaus suma $-\lambda_\Sigma$

- Vidutiniu vartotojų (apkrovos) atjungimų dažniu – f_{avid} ;
- Vidutine vartotojų maitinimo atkūrimo trukme - T_{avid} ;
- Vidutine tranzito atkūrimo trukme - T_{Tvid} ;
- Avarinės prastovos tikimybe arba santykinė planinio maitinimo nutraukimo trukme - Q_{av} .

Apskaičiuojant pastočių patikimumo rodiklius, reikia nagrinėti gana sudėtingas, nuolat besikeičiančias sistemas, susidedančias iš didelio skaičiaus jungtuvų, skyriklių, šynų ir generatorių, bei elektros linijų. Skaičiavimo metu reikia numatyti normalaus darbo, planinių ir avarinių remontų būsenas, operatyviųjų perjungimų įtaką avarijų likvidavimo trukmei [8].

3.4 Patikimumo reguliavimo būdai

Europoje, daugumoje šalių, elektros energijos kainos reguliuojamos viršutinių kainos ribų metodu. Šis metodas, skatina tinklų operatorius mažinti skirstymo išlaidas. Tačiau šiame metode slypi pavojus – šis metodas sukuria klaidingą paskatą mažinti šias išlaidas aprūpinimo patikimumo sąskaita. Todėl yra pavojus, jog operatorius sumažins dėmesį skirstomųjų tinklų infrastruktūrai ir patikimumas sumažės dėl nepakankamų investicinių ir eksploatacinių išlaidų skirstomiesiems tinklams.

Pagrindinis reguliavimo tikslas – neleisti, kad tinklų operatorius sumažintų dėmesį skirstomųjų elektros tinklų infrastruktūros plėtrai ir priežiūrai ir dėl viso to blogėtu elektros patikimumas.

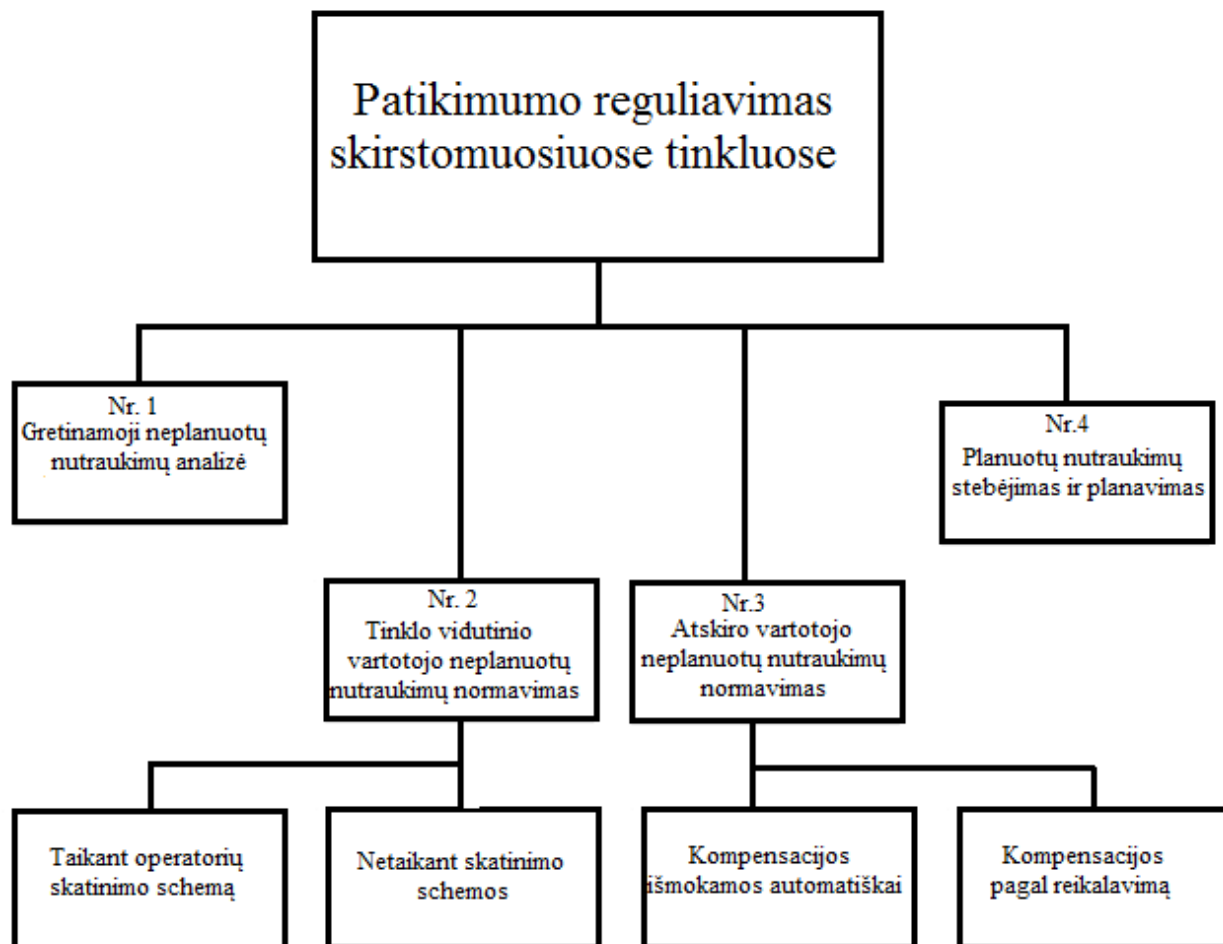
Energijos kodo tinklapiio [10] duomenimis nuo 2010 m. sausio mėn. 1 d. Lietuvoje pradėjo veikti laisva elektros energijos rinka. AB „ESO“ [10] išskiria pagrindinius elektros rinkos liberalizavimo tikslus:

- Sudaryti vartotojams galimybę laisvai pasirinkti elektros energijos tiekėją bei pagal individualius poreikius užsitikrinti elektros energijos tiekimą už skaidrią, lengvai ir aiškiai palyginamą kainą.
- Sukurti efektyvumą skatinančią konkurencinę aplinką tarp elektros energijos gamintojų, importuotojų ir tiekėjų.

Elektros rinkos liberalizavimas neturėtų pabloginti elektros sistemos ir tinklų darbo patikimumo bei vartotojo aprūpinimo elektra patikimumo. 2010 susiformavus laisvai elektros rinkai, pradėjo veikti elektros energijos birža, valdoma UAB „BaltPool“, kurioje elektros energija perkama ir parduodama pagal Skandinavijos elektros biržos „NordPool“ modelį. Elektros energijos rinkos liberalizavimu siekiama sukurti efektyviai veikiančią ir konkurencingą Baltijos šalių elektros rinką, sudarančią sąlygas vartotojams pasirinkti mažiausią kainą ir geriausias paslaugas teikiančius nepriklausomus elektros energijos tiekėjus [12].

Atsižvelgiant į nustatytus minimalius elektros energijos tiekimo patikimumo ir paslaugų kokybės rodiklius, taikomi ne tik baudos, bet ir skatinimo koeficientai, siekiant investicijų panaudojimo kokybės reikalavimams užtikrinti [13].

Skirstomuosiuose elektros tinkluose galima išskirti keturis pagrindinius aprūpinimo elektra patikimumo reguliavimo būdus (žr. 24 pav.):



24 pav. Europos Sąjungoje taikomi reguliuotojų patikimumo būdai

Reguliavimo būdai:

1) Paprastas patikimumo būklės stebėjimo būdas, kuris nenumato jokių įpareigojimų operatoriams, bet verčia juos kiekybiškai įvertinti patikimumo būklę ir paskelbti patikimumo rodiklius visuomenei. Šis būdas veiksmingas tuo, kad paskelbti rodikliai sugretinami:

- pamečiui ir paaiškėja bendra patikimumo tendencija;
- sugretinami su kitų operatorių rodikliais (šalyje ir tarp šalių).

2) Šio būdo esmė: operatoriui nustatomi tinklo vidutinio vartotojo nutraukimų normatyvai, dažniausiai SAIDI ir SAIFI tipo. Normatyvų vykdymas gali būti:

- tik stebimas, tačiau operatorius gali būti teisiškai įvertintas kaip dirbantis nekokybiškai, jeigu pažeidžia normatyvus;

- susietas su ekonominio skatinimo schema, kuri vadinama paskatų ir nuobaudų schema. Pagal tokią schemą operatoriui didinamas ar mažinamas pelno dydis.

3) Operatoriui nustatomi atskiro vartotojo nutraukimų normatyvai, dažniausiai nutraukimų trukmės ir skaičiai. Pažeidęs normatyvą, operatorius išmoka vartotojui kompensaciją.

4) Apima 1-3 būdų požymius. Daugumoje šalių taikomi 2 arba 3 reguliavimo būdai iš 4 pateiktų.

4. PATIKIMUMO RODIKLIŲ EKONOMINIO ĮVERTINIMO SKAIČIAVIMAS

Elektros tinklų sistemos operatorius siekia užtikrinti elektros energetikos sistemos patikimą darbą, naudojimąsi tinklais ir vartotojų aptarnavimo kokybę. Visa tai užtikrindamas siekia didinti efektyvumą ir pelną, bei mažinti sąnaudas. Tačiau neišvengiami yra elektros tinklų gedimai, trumpi jungimai. Įvykusį gedimą siekiama kuo skubiau pašalinti, kad elektros vartotojai neliktų be elektros. Tam diegiamos naujos technologijos, nuolat tobulinama veikla. Elektros tiekimo nutraukimai būna planuoti ir neplanuoti. Planuotas nutraukimas - apie kurį vartotojas buvo informuotas teisės aktuose ar sutartyje nustatytu laiku. Neplanuotas nutraukimas - apie kurį vartotojas nebuvo informuotas arba informuotas vėliau nei teisės aktuose ar sutartyje nustatytu laiku. Šioje ekonominio įvertinimo dalyje apskaičiuojama: vidutinis gedimų skaičius, prastovos laikas, nepateiktos elektros energijos ir galios išlaidos. Šios dalies tikslas – atlikti planinių ir neplaninių atsijungimų ekonominių kaštų įvertinimą. Duomenys gauti iš AB „ESO“ ir yra taikomi Lietuvos skirstomajame elektros tinkle.

Šios analizės metu bus lyginami keli variantai: kai yra įrengiami skyrikliai tam tikrose skirstomojo elektros tinklo zonose, kiek yra sutaupoma; antrasis variantas – kai įrengiamas nuotolinio sekcionavimo įrenginys.

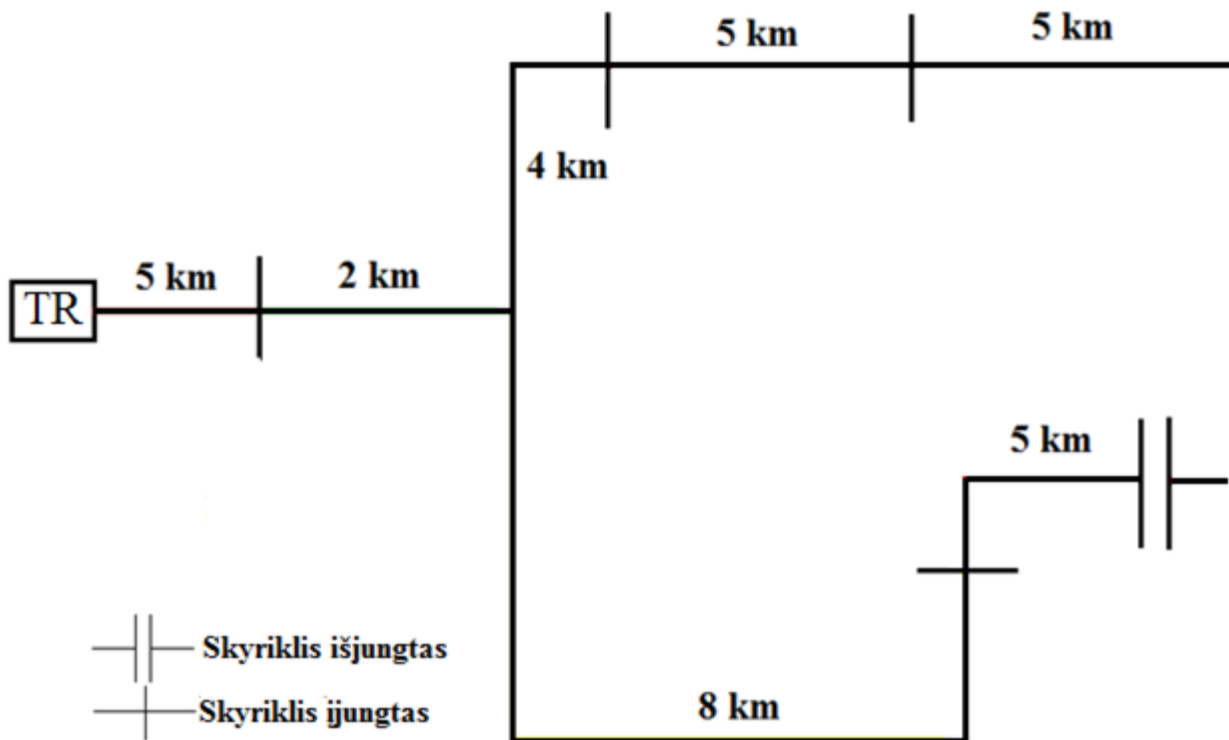
Priimama, jog gedimų dažnis yra pastovus įvykis visoje elektros linijoje. Taip pat yra priimama, kad gedimo metu, klientai patiria elektros energijos nutraukimus iki remonto laiko pabaigos arba kitais atvejais iki perjungimo nuo kito maitinimo šaltinio. Apskaičiavimai turi būti atliekami naudojant vidutines apkrovas tam tikrose zonose. Priimamos elektros skirstomojo tinklo vidutinės apkrovos paskirstytose zonose:

9. lentelė Elektros skirstomojo tinklo apkrovos pagal zonas

Sritis/zona	P, kW
1	160
2	200
3	100
4	60
5	100

Skaičiavimų metu siekiama įgyvendinti šiuos uždavinius:

- Apskaičiuoti vidutinį gedimų skaičių elektros skirstomajame tinkle;
- Apskaičiuoti vidutinį metinį gedimų prastovos laiką skirstomajame elektros tinkle;
- Apskaičiuoti ir įvertinti nepateiktos elektros energijos ir galios išlaidas, kurios įvyko dėl gedimų elektros skirstomajame tinkle.



25 pav. Elektros skirstomasis tinklo modelis

Duomenys skaičiavimams:

Ilgalaikių nutraukimų dažnis 0,05 1/km/metus;

Perjungimo laikas $t_1=1$ h;

Atstatymo laikas $t_2=3$ h;

Planiniai atjungimai 0,05 1/km/metus, trukmė $t_3=1$ h;

Nutraukimų kaina 0,5 €/kW ir 2,5€/kWh;

Planinių atjungimų kaina 1€/kWh;

Elektros skirstomojo tinklo modelio linijų ilgis sudaro 34 km.

Vidutinis atsijungimų skaičius, įvykęs dėl gedimų, yra apskaičiuojamas pagal formulę:

$$\lambda_j = \lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_i + \dots + \lambda_n = \sum_{i \in I} \lambda_i ; \quad (4.1)$$

čia: λ_i - gedimų dažnis mazge i ;

I – nustatytas mazgas, kuriame įvyko prastovos dėl gedimų, duotajame taške j .

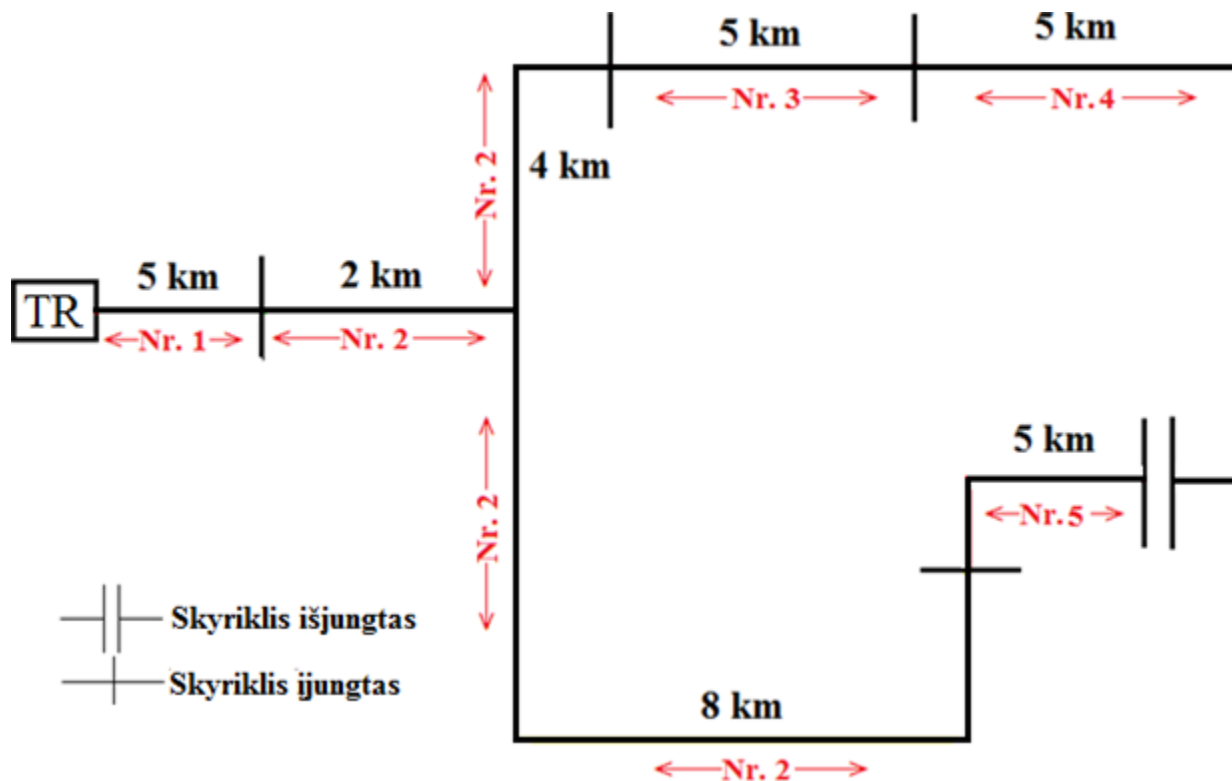
$$0,05 \frac{1}{\text{km}} * 34\text{km} = 1.4 \text{ 1/metus}; \quad (4.2)$$

Kasmetinė vidutinių atjungimų trukmė, įvykus gedimams, skirtingose elektros skirstomojo tinklo zonose, apskaičiuojama pagal formulę:

$$U_j = \sum_{i \in I} (\lambda_i * t_j); \quad (4.3)$$

čia: U_j – numatytas vidutinis atsijungimų laikas;

t_{ij} – atjungimų laikas, duotame taške j , įvykus i gedimui.



26 pav. Elektros skirstomojo tinklo modelis, zonų suskirstymas

Skaičiavimai pateikiami sekančiais:

1. $0.05 \frac{1}{\text{km}} * 5 \text{ km} * 3 \text{ h} + 0.05 \frac{1}{\text{km}} * 29 \text{ km} * 1 \text{ h} = 2,20 \text{ h}$
2. $0.05 * 14 * 3 + 0.05 * 20 * 1 = 3,10 \text{ h};$
3. $0.05 * 19 * 3 + 0.05 * 15 * 1 = 3,60 \text{ h};$
4. $0.05 * 24 * 3 + 0.05 * 10 * 1 = 4,10 \text{ h};$
5. $0.05 * 5 * 3 + 0.05 * 29 * 1 = 2,20 \text{ h};$

Matoma, kad 4-oje zonoje įvykę gedimai bus atstatomi ilgiausiai.

Atsijungimų išlaidos, kurios atsirado dėl įvykusių gedimų, elektros skirstomajame tinkle, apskaičiuojami pagal sekančią pateiktą formulę:

$$C_j = \sum_{i \in I} \lambda_i * \{a_j(t_{ij}) + b_j(t_{ij}) * t_{ij}\} * P_j; \quad (4.4)$$

čia: C_j – nutrauktos galios kaina P_j ir nepateikta elektros energija mazge j ;

$a_j(t_{ij})$ – nepateiktos galios vieneto kaina (paklausa kW);

$b_j(t_{ij})$ – nepateiktos energijos vieneto kaina (paklausa kWh);

t_{ij} – atjungimo laikas, duotame mazge j , įvykus tam tikram i gedimui.

Skaičiavimai pateikiami sekančiais:

1. $0.05 \frac{1}{\text{km}} * 5 \text{ km} * 160 \text{ kW} + \left(0.5 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} + 2.5 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} * 3 \text{ h} \right) + \frac{0.05 \frac{1}{\text{km}}}{\text{metus}} * 29 \text{ km} * 160 \text{ kW} * \left(0.5 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} + \frac{2.5 \text{€}}{\text{kWh}} * 1 \text{ h} \right) = 1016 \text{ €/metus};$
2. $0.05 * 14 \text{ km} * 200 \text{ kW} + (0.5 + 2.5 * 3 \text{ h}) + 0.05 * 20 \text{ km} * 200 \text{ kW} * (0.5 + 2.5 * 1 \text{ h} = 1720 \text{ €/metus};$
3. $0.05 * 19 \text{ km} * 100 \text{ kW} + (0.5 + 2.5 * 3 \text{ h}) + 0.05 * 15 \text{ km} * 100 \text{ kW} * (0.5 + 2.5 * 1 \text{ h} = 985 \text{ €/metus};$
4. $0.05 * 24 \text{ km} * 60 \text{ kW} + (0.5 + 2.5 * 3 \text{ h}) + 0.05 * 10 \text{ km} * 60 \text{ kW} * (0.5 + 2.5 * 1 \text{ h} = 666 \text{ €/metus};$
5. $0.05 * 5 \text{ km} * 100 \text{ kW} + (0.5 + 2.5 * 3 \text{ h}) + 0.05 * 29 \text{ km} * 100 \text{ kW} * (0.5 + 2.5 * 1 \text{ h} = 635 \text{ €/metus};$

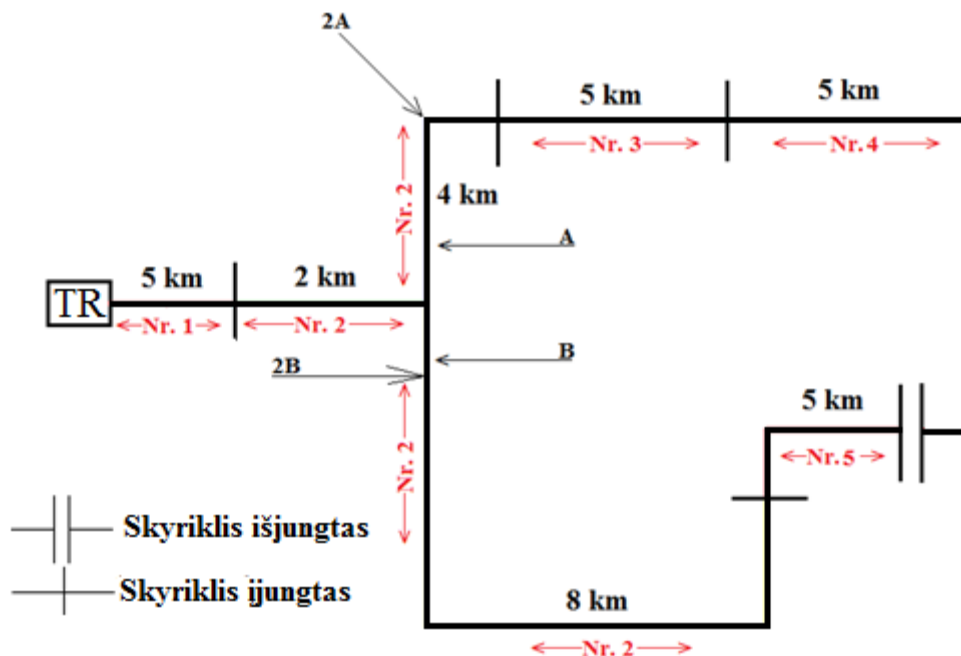
Iš viso: 5022€/metus.

Remiantis gautais rezultatais – matome, kad antroje zonoje atsijungimų išlaidos yra didžiausios, šios išlaidos priklauso ir nuo esamos galios tinkle.

Sekantis skaičiavimai yra atlikti, kai atsijungimai įvyksta **A** arba **B** vietose. Pirmasis nagrinėjamas variantas yra tuomet, kai atsijungimas įvyksta **A** vietoje.

Skyriklis A vietoje

Nagrinėjame variante įtaką atsijungimų kainai turi tik 2 zona (žr. 26 pav.).



27 pav. Elektros skirstomasis tinklas, A ir B vietų atsijungimų tyrimas

Ilgalaikiai atsijungimai

Be skyriklio:

2: 1720 €/metus.

Skyriklis įrengiamas A vietoje:

$$2A: 0,05 \cdot 14 \cdot 100 \cdot (0,5 + 2,5 \cdot 3) + 0,05 \cdot 20 \cdot 100 \cdot (0,5 + 2,5 \cdot 1) = 860 \text{ €/metus};$$

$$2B: 0,05 \cdot 10 \cdot 100 \cdot (0,5 + 2,5 \cdot 3) + 0,05 \cdot 24 \cdot 100 \cdot (0,5 + 2,5 \cdot 1) = 760 \text{ €/metus};$$

Iš viso: 1620 €/metus.

Planiniai atjungimai

Be skyriklio:

$$2: \frac{0,05 \frac{1}{km}}{metus} * 14km * 200 * \frac{1\text{€}}{kWh} * 1h = 140 \text{ €/metus};$$

Skyriklis A vietoje:

$$2A: 0,05 \frac{\frac{1}{km}}{metus} * 14km * 100kW * \frac{1\text{€}}{kWh} * 1h = 70 \text{ €/metus}$$

$$2B: 0,05 \frac{\frac{1}{km}}{metus} * 10km * 100kW * \frac{1\text{€}}{kWh} * 1h = 50 \text{ €/metus}$$

Iš viso: 120 €/metus.

Sutaupoma:

Ilgalaikiai gedimai: 1720-1620= 100 €/metus;

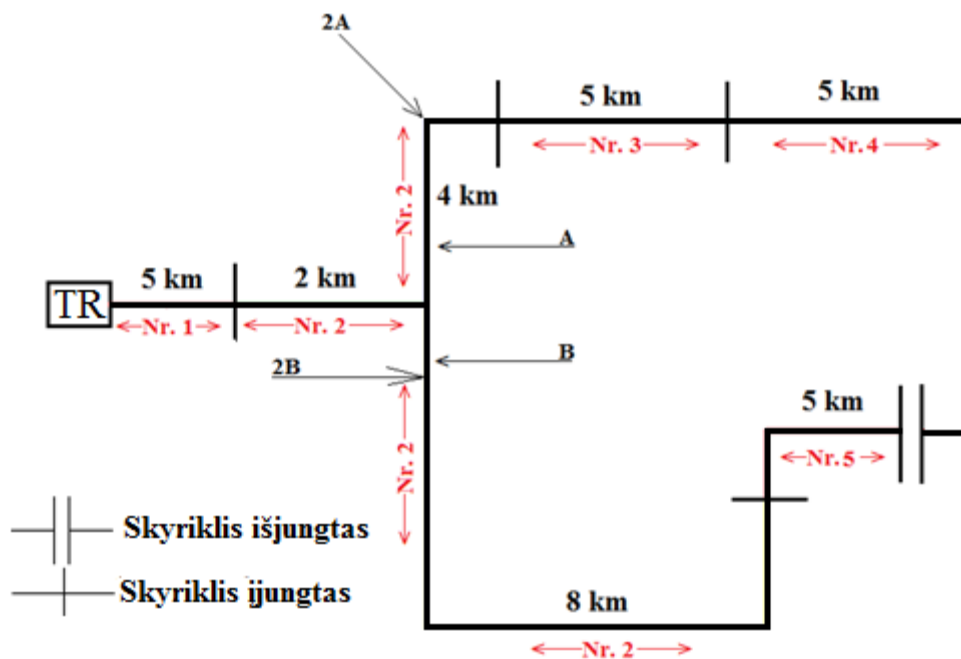
Planiniai atsijungimai: 70 – 50 = 20 €/metus;

Suma: 60 €/metus.

Apskaičiavus duomenis galima teigti, kad įrengus skyriklį A vietoje, tai būtų nuostolingas sprendimas, todėl, kad skyriklio įrengimas šioje vietoje kainuotų daug brangiau, nei jo atsiperkamoji laiko vertė. Šis pasirinktas variantas nėra tinkamas investicijoms į tinklo patikimumo didinimą.

Skyriklis B vietoje

Skaičiuojamas antrasis variantas: kai skyriklis bus **B** vietoje. Šiuo atveju 2, 3, 4 zonos turės įtakos atsijungimų kainai. Veikiamos zonos parodytos 27 paveiksle.



28 pav. Elektros skirstomasis tinklas, kai skyriklis jungiamas B vietoje

Ilgalaikiai nutraukimai:

Be skyriklio:

2: 1720 €/metus;

3: 985 €/metus;

4: 666 €/metus;

Iš viso: 3371 €/metus.

Skyriklis B vietoje:

$$2A: 0,05 * 6 * 100 + (0,5 + 2,5 * 3h) + 0,05 * 28 * 100 * (0,5 + 2,5 * 1h = 660 \text{ €/metus};$$

$$2B: 0,05 * 8 * 100 + (0,5 + 2,5 * 3h) + 0,05 * 26 * 100 * (0,5 + 2,5 * 1h = 710 \text{ €/metus};$$

$$3: 0,05 * 11 * 100 * (0,5 + 2,5 * 3) + 0,05 * 23 * 100 * (0,5 + 2,5 * 1) = 785 \text{ €/metus};$$

$$4: 0,05 * 16 * 60 * (0,5 + 2,5 * 3) + 0,05 * 18 * 60 * (0,5 + 2,5 * 1) = 546 \text{ €/metus};$$

Iš viso: 2701 €/metus.

Planuoti atjungimai

Be skyriklio:

2: 140 €/metus;

$$3: 0,05 \frac{1}{\text{metus}} * 19 \text{ km} * 100 \text{ kW} * \frac{1 \text{ €}}{\text{kWh}} * 1 \text{ h} = 95 \text{ €/metus};$$

$$4: 0,05 \frac{1}{\text{metus}} * 24 \text{ km} * 60 \text{ kW} * \frac{1 \text{ €}}{\text{kWh}} * 1 \text{ h} = 72 \text{ €/metus};$$

Iš viso: 307 €/metus.

Skyriklis prijungtas B vietoje:

$$2A: 0,05 \frac{1}{\text{km}} \frac{1}{\text{metus}} * 6\text{km} * 100\text{kW} * \frac{1\text{€}}{\text{kWh}} = 30 \text{ €/metus};$$

$$2B: 0,05 \frac{1}{\text{km}} \frac{1}{\text{metus}} * 11\text{km} * 100\text{kW} * \frac{1\text{€}}{\text{kWh}} = 55 \text{ €/metus};$$

$$3: 0,05 \frac{1}{\text{km}} \frac{1}{\text{metus}} * 11\text{km} * 100\text{kW} * \frac{1\text{€}}{\text{kWh}} = 55 \text{ €/metus};$$

$$4: 0,05 \frac{1}{\text{km}} \frac{1}{\text{metus}} * 16\text{km} * 60\text{kW} * \frac{1\text{€}}{\text{kWh}} = 48 \text{ €/metus};$$

Iš viso: 188 €/metus.

Sutaupymas:

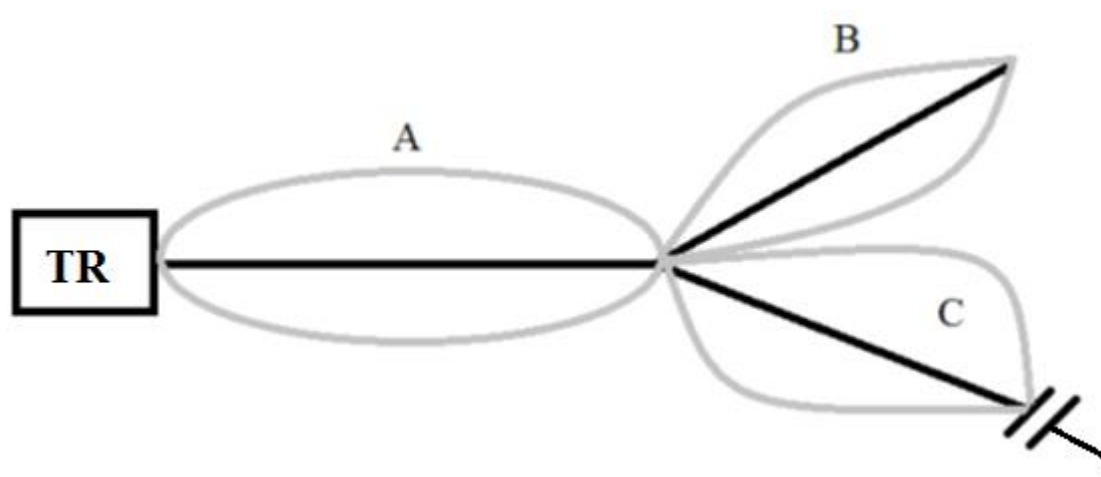
Ilgalaikiai nutraukimai: $3371 - 2701 = 670 \text{ €/metus};$

Planiniai nutraukimai: $307 - 188 = 119 \text{ €/metus};$

Iš viso: 489 €/metus.

Šiuo atveju sutaupymas, įdiegiant skyriklį vietoje „B“ yra naudingas, todėl, kad būtų sutaupoma finansiškai. Taip pat skyriklis šioje vietoje yra siūlomas ir dėl atsiperkamumo. Todėl šiuo atveju pasirinkamas antrasis variantas, kai skyriklis yra įmontuojamas į B (žr. 28 pav.) vietą.

Taip pat apskaičiuojami kaštai, jeigu šiame tinkle bus įdiegiamas nuotolinis sekcionavimo įrenginys.



29 pav. Elektros skirstomasis tinklas su nuotoliniu maitinimo rezervu

Analizuojamas nuotolinio sekcionavimo įrenginio pastatymas A, B ir C zonose, pasirinktinai, įvertinus kaštus.

10. lentelė. Skaičiavimų duomenys

Linijos zona	Ilgis, km	Galia, kW
A	7	160
B	14	260
C	13	200

Gedimų dažnis – 0,05 1/km/ metus;

Nepatiktos galios ir elektros energijos išlaidos: 0,5€/kW+2,5€/kWh

11. lentelė. Kai maitinimo rezervo punktas yra A zonoje:

Zona	Gedimo įtaka, val.	Sutaupoma, €/metus
A	-	-
B	2-0,7=1.3	$(0.05*13)*260*1.3*2.5=549,25$
C	1.3	$(0.05*13)*200*1,3*2.5=422,5$

12. lentelė. Kai maitinimo rezervo punktas yra B zonoje:

Zona	Gedimo įtaka, val.	Sutaupoma, €/metus
A	2-1,4=0.6	$(0.05*6)*160*0.6*2.5=72$
B	-	-
C	0.6	$(0.05*6)*200*0.6*2.5=90$

13. lentelė. Kai maitinimo rezervo punktas yra C zonoje:

Zona	Gedimo įtaka, val.	Sutaupoma, €/metus
A	2-1,3=0.7	$(0.05*7)*160*0.7*2.5=98$
B	0,7	$(0.05*7)*200*0.7*2.5=122,5$
C	-	-

Iš viso sutaupoma: 1354,25 €/metus.

Taigi, daroma prielaida, kad įrengti nuotolinio sekcionavimo įrenginius visose zonose – padidinamas elektros paskirstymo patikimumo lygis, taip pat sumažės elektros nutraukimo išlaidos ir kiekvienais metais bus sutaupoma beveik po 1350 eurų. Didelę įtaką turi sutrumpėjęs tinklo atstatymo, įvykus gedimui, į normalų sistemos režimą, laikas. Kai elektros tinklas yra su nuotolinio sekcionavimo įrenginiu, taisymo laikas ir prastovų sąnaudos mažėja.

Šis bandymas buvo atliktas su mažo modelio skirstomuoju elektros tinklu, o sutaupymo kaina yra ženkli. Tad galima teigti, kad investicijos į tinklą, bei sistemos kokybės gerinimą – išlaikant pagrindinius prioritetus tai būtent užtikrinant nepertraukiamą elektros tiekimą vartotojams, siekiant, kad išlaidos atitiktų kokybę.

Taigi, apibendrinant visus variantus galima teigti, kad elektros tinklo sistemų modernizavimas ir nuolatinis tobulinimas leidžia greičiau atstatyti elektros sistemą į normalų darbo režimą po avarinio sistemos sutrikdymo, o tai sumažina elektros energijos nutraukimo trukmę ir nepatiktos elektros energijos galios išlaidas.

IŠVADOS

1. Išanalizuoti pagrindiniai skirstomojo elektros tinklo veiksniai, įtakojančios elektros tiekimo patikimumą: žaibai (25%), vėjas ir audros (37%), ledas ir sniegas (15%), gyvūnai (8%), mechaniniai (5%). Išsiaiškinta, kad pavojingiausiais gedimais ir didžiausią įtaką elektros tinklo patikimumui turi viršįtampių sukelti elektros tiekimo nutraukimai.

2. Apžvelgus 0,4-10 kV Lietuvos skirstomojo elektros tinklo gedimus galime teigti, kad dažniausiai mažėjančius patikimumo rodiklius nulemiantys gedimai įvyksta 0,4 kV oro linijose (56%) arba stacionariosiose transformatorinėse (28%). Kitas elektros tinklo patikimumą įtakojančias veiksnys, įrenginio gedimas, išanalizavus pateiktus duomenis, darome išvadą, kad daugiausiai skirstomojo elektros tinklo sutrikimų sukeliantis įrenginys 0,4-10 kV saugiklis, dėl kurių kaltės 2016m. skirstomojo elektros tinklo darbas buvo sutrikes net 6358 kartus.

3. Atliktas ekonominis planinių ir neplaninių nutraukimų įvertinimas. Įvertinus gautus rezultatus matome, kad esant tinklui be skyriklių sistemos atstatymui į normalų darbo režimą reikėtų 3678 €/metus, o įdiegus skyriklius „A ir B“ taškuose – 2889 €/metus. Atsižvelgiant į dvejų skirtingų tinklų konfigūracijoms atliktus ekonominius skaičiavimus, galime teigti, kad sistema su įrengtais skyrikliais būtų ekonomiškesnė ir kasmet sutaupytų 789€.

4. Apskaičiavus nuotolinio sekcionavimo tinkle įdiegto atsiperkamumą, galime teigti, kad kasmet planuotų ir neplanuotų atsijungimų išlaidos sumažėtų 1354,2 €. Atlikus ekonominius skaičiavimus įsitikinta, jog skirstomojo elektros tinklo struktūros optimizavimas ir nuotolinių būdu valdomų komutacinių aparatų įrengimas leistų sumažinti nepateiktos elektros energijos ir galios kiekius, sutrumpintų elektros energijos atstatymo laiką, kartu padidinant tinklo patikimumą.

LITERATŪRA

1. Svinkūnas G., Navickas A. (2011). *Elektros energetikos pagrindai*. Mokomoji knyga. Kaunas: Technologija.
2. Lietuvos Respublikos elektros energijos ir gamtinių dujų rinkų metinė ataskaita Europos Komisijai (2009). Vilnius: Valstybinė kainų ir energetikos kontrolės komisija.
3. Baublys J., Jankauskas P., Markevičius L., Morkvėnas A., (2008). *Izoliacija ir Viršįtampiai*. Kaunas: Kauno technologijos universitetas. (245 psl., 307 psl., 309 psl.)
4. Klementavičius A. (2006). *Aprūpinimo elektra patikimumo lygio techninė – ekonominė analizė, rekomendacijų dėl aprūpinimo elektra patikimumo teisinio reglamentavimo, įvertinant ES šalių patirtį, parengimas*. Galutinė ataskaita. Vilnius: Lietuvos energetikos institutas.
5. Tinklapyje: file:///C:/Users/Admin/Downloads/C14EQS6203_BMR52_Continuity%20of%20Supply_20150127.pdf
6. Lehtonen M. (2008). *Faults rates of different types of Medium Voltage power lines*. Finland: Aalto University.
7. Haghifam M. – R. (2009). *Failure rate Modeling: A Non – Parametric Data Mining Approach to MV Network Field Data*. IEEE. Iran, Teheran: Islamic Arad University.
8. Navickas A. (2007). *Elektros energetikos sistemų patikimumas*. Kaunas: Technologija.
9. Baliukonis V., Bancevičius V., Bukauskas J., Danilevičius J., Deksnys R., Grėblikas P., Kalinauskas A., Kesiūnas V., Kuznecovas P., Kriščiukaitis D., Maculevičius V., Nargėlas A., Razma A., Rutkauskas M., Ruzgys B. (2007). *Elektros įrenginių įrengimo taisyklės*. Vilnius.
10. Baršauskienė V., Mačerskienė I.(2010) . Studijų darbų parengimo tvarka. Kaunas: „Technologija“ leidykla.
11. Augutis J., Krikštolaitis R., Nevardauskas E. V., Šulga D. (2003). *Avarinių būvių elektros tinkluose rizikos įvertinimo ir valdymo metodologija*. Kaunas: Technologija.
12. AB „Lesto“ apie elektros rinkos liberalizavimą. Peržiūrėta 2012, balandžio 16, AB „Lesto“ tinklapyje: <http://www.lesto.lt/lt/verslui/elektros-rinka-ir-liberalizavimas/1046>.
13. Lietuvos Respublikos elektros energijos ir gamtinių dujų rinkų metinė ataskaita Europos komisijai. (2011). Vilnius: Valstybinė kainų ir energetikos kontrolės komisija.
14. Tinklapyje: http://www.regula.lt/SiteAssets/naujienumedziaga/2015_rugpjutis/LEES_ataskaita_uz_2014_metus.pdf
15. Bačauskas A. (2010). *Apie Elektros energetikos sistemų technologijas be formulių*. Vilnius: „Lietuvos energija“
16. Tiekimo saugumas Lietuvos elektros energijos rinkoje. Monitoringo ataskaita. 2011). Vilnius: Lietuvos Respublikos energetikos institutas.

17. Gohen T. (2008). *Electric Power Distribution System Engineering*. Second edition. Florida: University of West Florida Pensacola.
18. Rezai A., Akhavan R. (2009). *Dept of Electric engineering*. Teheran, Iran: Islamic Azad University.
19. Gonen T. (2008). *Electric power Distribution System Engineering*. Second edition. United States of America.
20. Richard Brown E. (2009). *Electric Power Distribution Reliability*. Second edition. United States of America.
21. James Momoh A. (2008). *Electric Power Distribution, Automation, Protections, and control*. United States of America.
22. Lee Willis H. (2007). *Power Distribution Planning Reference Book*. Second edition. New York.
23. Energijos kodas. Nepriklausomas elektros tiekėjas. Peržiūrėta 2012, balandžio 26, Nepriklausomo elektros tiekėjo tinklapyje: <http://www.energijoskodas.lt>
24. Baršauskienė V., Mačerskienė I.(2010) . Studijų darbų parengimo tvarka. Kaunas: „Technologija“ leidykla.
25. Nacionalinė Mokslo Programa „Ateities energetika“. (2010) Vilnius: Lietuvos Respublikos švietimo ir mokslo ministerija.
26. Baublys J., Gudžius S., Jankauskas P., Markevičius L., Morkvėnas A. (2006), *Žaibas, apsauga nuo žaibo*. Monografija. Vilnius.
27. Baliukonis V., Bancevičius V., Bukauskas J., Danilevičius J., Deksnys R., Grėblikas P., Kalinauskas A., Kesiūnas V., Kuznecovas P., Kriščiukaitis D., Maculevičius V., Nargėlas A., Razma A., Rutkauskas M., Ruzgys B. (2007). *Elektros įrenginių įrengimo taisyklės*. Vilnius.
28. Valstybinės kainų ir Energetikos kontrolės komisijos nutarimas (2009). *Dėl elektros energijos persiuntimo patikimumo ir paslaugų kokybės reikalavimų*. Vilnius. Peržiūrėta 2012, sausio 14, adresu: <http://www.regula.lt>
29. 5TH CEER benchmarking report on the quality of electricity supply 2011. (2012). Brussels: Council of European Energy Regulators.