



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS

Vytenis Urbonas

**IZOLIUOTOS NEUTRALĖS KABELINIO ELEKTROS TINKLO
ELEMENTŲ BŪKLĖS TYRIMAS**

Baigiamasis magistro projektas

Vadovas:

Prof. dr. Alfonsas Morkvėnas

KAUNAS, 2015

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS
ELEKTROS ENERGETIKOS SISTEMŲ KATEDRA

**IZOLIUOTOS NEUTRALĖS KABELINIO ELEKTROS TINKLO
ELEMENTŲ BŪKLĖS TYRIMAS**

Baigiamasis magistro projektas
Elektros energetikos sistemos (kodas 621H63005)

Vadovas:
Prof. dr. Alfonsas Morkvėnas

Recenzentas:

Projektą įgyvendino:
Vytenis Urbonas

KAUNAS, 2015



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS

(Fakultetas)

VYTENIS URBONAS

(Studento vardas, pavardė)

ELEKTROS ENERGETIKOS SISTEMOS, KODAS 621H63005

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

Baigiamojo projekto „Izoliuotos neutralės kabelinio elektros tinklo elementų būklės tyrimas“

AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

20 15 m. gegužės 25 d.
Kaunas

Patvirtinu, kad mano, **Vytenio Urbono**, baigiamasis projektas tema „Izoliuotos neutralės kabelinio elektros tinklo elementų būklės tyrimas“ yra parašytas visiškai savarankiškai, o visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nėra vienas dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų 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.

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

(parašas)

Urbonas, V. Izoliuotos neutralės kabelinio elektros tinklo elementų būklės tyrimas. *Elektros energijos magistro* baigiamasis projektas / Vadovas prof. d. Alfonsas Morkvėnas. Kauno technologijos universitetas, Elektros ir elektronikos fakultetas, Elektros energetikos sistemų katedra.

Kaunas, 2015. 98 psl.

SANTRAUKA

Tiriamajame darbe supažindinama su įrenginių būklės įvertinimo metodais ir ribinėmis charakteristikomis. Laboratorijoje buvo išbandytas ir išanalizuotas eksploatuotas 10 kV elektros kabelis, turintis popierinę ir sukryžminto polietileno (XLPE) izoliaciją, bei nustatyti jo defektai ir tolesnio darbo galimybės elektros tinkle normaliuoju bei avariniu režimais. Buvo išanalizuotas Vilniaus miesto pietinės dalies 10 kV kabelinio elektros tinklo transformatorių pastotės SP-54 ir prie jos prijungtų transformatorinių schemos elementų avaringumas, sudarytas gedimų medis. Buvo apskaičiuoti patikimumo rodikliai, elektros tinklui veikiant įvairiomis sujungimo konfigūracijomis. Buvo apskaičiuotos Vilniaus miesto pietinės dalies vartotojų elektros tinklų apkrovos. Buvo palygintos Vilniaus miesto pietinės dalies kabelinio elektros tinklo aprūpinimo elektra patikimumo ir pertrūkių trukmių vertės su bendrais Lietuvos patikimumo rodikliais ir leistinosiomis vertėmis. Buvo ištirta 10 kV elektros tinklo aprūpinimo elektros energija patikimumo rodiklių priklausomybė nuo tinklo sujungimo variantų, papildomų linijų bei naujų maitinimo šaltinių. Buvo apskaičiuotos tinklo elektra aprūpinamų taškų patikimumo kategorijos pagal atkūrimo laiką. Buvo pateikta rekomendacijų ir techninių sprendimo galimybių aprūpinimo elektros energija patikimumo kategorijai pakelti tinklo vartotojams. Buvo parengta kabelinio elektros tinklo elementų būklės tikrinimo ir galimų elementų gedimų bei dėl jų patirtų nuostolių tyrimo metodika.

Reikšminiai žodžiai: patikimumo rodikliai, kabelio izoliacija, būklės įvertinimo metodai, patikimumo kategorijos, tinklo sujungimo konfigūracijos.

Urbonas, V. Research on the condition of cable electrical network elements of isolated neutral. Final project of *Master of Electrical Power* / Supervisor prof. dr. Alfonsas Morkvėnas; Kaunas University of Technology, Faculty of Electrical and Electronics Engineering, Department of Electrical Power Systems.

Kaunas, 2015. 98 p.

SUMMARY

The research presents assessment methods and boundary characteristics of facility conditions. In the laboratory, an exploited 10 kV electric cable with an insulation of paper and reinforced cross-linked polyethylene (XLPE) was tested and analyzed. Moreover, its defects and possibilities for further work of electricity grid in normal and emergency modes were determined. 10 kV cable electric grid transformer substation SP-54 and emergency of transformer scheme elements attached to it in the Southern part of Vilnius city were analyzed by preparing a fault tree. Reliability indices were calculated when electricity grid worked with different engagement configurations. Consumer loads of the Southern part of Vilnius city were calculated. The comparison between the reliability of cable electricity grid power supplies and power supply interruption values of the Southern part of Vilnius city with the general reliability ratio in Lithuania and permitted values was performed. The dependence of 10 kV electricity grid power supply reliability indices on the variety of electricity interconnections, additional lines and new power supplies was investigated. Reliability categories of power supply points according to the recovery time were calculated. Recommendations and technical solutions for the increase of power supply reliability for the users of the network were provided. The research methodology for inspecting cable electricity grid elements condition and possible element failure, as well as the losses incurred was prepared.

Key words: reliability indices, cable insulation, condition assessment methods, reliability categories, grid engagement configurations.

TURINYS

SANTRUMPŲ IR ŽENKLŲ AIŠKINIMO ŽODYNAS, PAVEIKSLŲ IR LENTELIŲ SĄRAŠAS	8
ĮVADAS	11
1. ELEKTROS TINKLO ELEMENTŲ CHARAKTERISTIKA.....	13
1.1. Elektros tinklų komponentai.....	13
1.2. Elektros įrenginių būklės kontrolė.....	13
1.3. Kabelių periodinės kontrolės sistema.....	14
1.4. Kabelių izoliacijos bandymas išlyginta įtampa	17
1.5. Dalinių išlydžių charakteristika	17
1.6. Dalinių išlydžių matavimas izoliacijoje	18
2. AUKŠTOS ĮTAMPOS 10 KV ELEKTROS TINKLO KABELIO TYRIMAS	21
2.1. Būklės vertinimo metodai.....	21
2.2. Defektų charakteristikos	22
2.2.1. Tyrimas akustiniu dalinio išlydžio metodu	22
2.2.2. Tyrimas elektriniu dalinio išlydžio metodu	24
2.2.3. Tyrimas slopinamuoju dalinio išlydžio metodu	26
2.2.4. Dielektrinės reakcijos tyrimas 5 kV įrenginiu.....	29
2.2.5. Dielektrinės reakcijos tyrimas 10 kV įrenginiu.....	30
2.2.6. Dielektrinių nuostolių tyrimas keičiant dažnį	30
2.2.7. Dielektrinių nuostolių tyrimas 50 Hz dažniu	32
3. VILNIAUS MIESTO PIETINIO SKYRIAUS (VMPS) 10 KV ELEKTROS TINKLO SCHEMAS, ĮVAIRIŲ GALIMŲ KONFIGŪRACIJŲ ĮVERTINUS AUTOMATINIO REZERVO ĮVEDIMO GALIMYBES (ARĮ) PATIKIMUMO ANALIZĖ	34
3.1. Aprūpinimo elektros energija patikimumas	34
3.2. Patikimumo įvertinimo metodiniai reikalavimai.....	35
3.3. Vilniaus miesto pietinio skyriaus pastotės schemos dalies gedimo medis... 35	
3.3.1. Schemos konfigūracijos ir parametrai.....	35
3.3.2. Elektros tinklo gedimų tikimybių dažnio ir aprūpinimo elektra patikimumo skaičiavimas pagal įvairias sujungimo konfigūracijas	40
3.3.3. Aprūpinimo elektros energija patikimumo laiko išraiškos	52
4. ELEKTROS ENERGIJOS PERTRŪKIŲ ANALIZĖ IR MONITORINGAS.....	59
4.1. Pertrūkių priežastys	59
4.2. Patikimumo rodikliai Lietuvoje.....	60

4.3.	Vilniaus miesto pietinio skyriaus nurodyto tinklo patikimumo parametrai .	64
4.4.	Aprūpinimo elektros energija patikimumo kategorijos	66
4.5.	Vartotojų kategorijos pagal tiekimo atnaujinimo laiką	68
5.	VILNIAUS MIESTO PIETINIO SKYRIAUS ELEKTROS TINKLO MODERNIZAVIMAS	69
5.1.	Elektros tinklo modernizavimo būdai	69
5.2.	Papildomos linijos, einančios iš esamo transformatoriaus, patikimumo analizė.....	70
5.3.	Papildomų linijų, einančių iš naujų maitinimo transformatorių, patikimumo analizė.....	79
5.4.	Rezultatų palyginimas ir analizė	89
	IŠVADOS.....	94
	LITERATŪRA	96

PAVEIKSLŲ IR LENTELIŲ SĄRAŠAS

Paveikslų sąrašas:

1.1 pav. Elektros tinklų eksploataavimo amžius Lietuvoje

1.2 pav. Galios kabelių išlygintosios bandomosios įtampos vertės, kV

1.3 pav. Dalinių išlydžių lygio išbandant įrenginių izoliaciją 50 Hz dažnio bandomąja įtampa registravimo grafikas

1.4 pav. Dalinių išlydžių lygio išbandant įrenginių izoliaciją aukštesne įtampa (vadovaujantis standartu IEC) registravimo grafikas

2.1 pav. Tiriamojo kabelio sandaros schema ir vaizdas

2.2 pav. Akustinis metodas. Dalinių išlydžių matavimo procesas

2.3 pav. Akustinis metodas. Dalinio išlydžio matavimo vietos

2.4 pav. Akustinis metodas. Dalinio išlydžio defektai

2.5 pav. Akustinis metodas. Išlydžio nėra

2.6 pav. Elektrinis metodas. 7 kV 20 pC vainikinis išlydis

2.7 pav. Elektrinis metodas. 8 kV 32 pC vainikinis išlydis

2.8 pav. Elektrinis metodas. 13 kV 850 pC vainikinis išlydis

2.9 pav. Elektrinis metodas. 17 kV 2,4 nC dalinis išlydis

2.10 pav. Slopinamasis metodas. Išlydžiai ties 50 m ir 73 m žymomis

2.11 pav. Slopinamasis metodas. Išlydžių kabelyje skaičius

2.12 pav. Slopinamasis metodas. Dideli daliniai išlydžiai neigiamoje fazėje

2.13 pav. Slopinamasis metodas. Pasikartojantys daliniai išlydžiai teigiamoje fazėje

2.14 pav. Dielektrinės reakcijos metodas. Poliarizacijos ir depoliarizacijos srovių kreivės

2.15 pav. Dielektrinės reakcijos metodas. Poliarizacijos ir depoliarizacijos srovių kreivių etalonas

2.16 pav. Dielektrinių nuostolių metodo jungimo schema

2.17 pav. Dielektrinių nuostolių metodas. Visų Tanδ matavimų reikšmių diagrama

2.18 pav. Dielektrinių nuostolių metodas. Kabelio talpos visų matavimų reikšmių diagrama

2.19 pav. Dielektrinių nuostolių metodas. Matavimo grandinė

3.1 pav. Vilniaus miesto pietinio skyriaus tinklo SP-54 skirstyklos ir jos prijunginių schema

3.2 pav. Vilniaus miesto pietinio skyriaus tinklo SP-54 skirstyklos ir jos prijunginių gedimų

medis

3.3 pav. VMPS spindulinės konfigūracijos tinklo gedimų medis

3.4 pav. VMPS 1-osios konfigūracijos tinklo gedimų medis, kai veikia AT-1

3.5 pav. VMPS 2-osios konfigūracijos tinklo gedimų medis, kai veikia AT-1

- 3.6 pav. VMPS 3-osios konfigūracijos tinklo gedimų medis, kai veikia AT-1
- 3.7 pav. VMPS normaliuoju režimu dirbančio tinklo gedimų medis, kai veikia AT-1 ir AT-2
- 3.8 pav. VMPS 1-osios konfigūracijos tinklo gedimų medis, kai veikia AT-1 ir AT-2
- 3.9 pav. VMPS 2-osios konfigūracijos tinklo gedimų medis, kai veikia AT-1 ir AT-2
- 3.10 pav. VMPS 3-osios konfigūracijos tinklo gedimų medis, kai veikia AT-1 ir AT-2
- 4.1 pav. Patikimumo rodiklių priežastingumas (2012–2013 m.)
- 4.2 pav. Aprūpinimo elektros energija patikimumo rodikliai ES šalyse
- 4.3 pav. SAIDI faktinis rodiklis ir didžiausia nustatyta reikšmė Lietuvoje
- 4.4 pav. SAIFI faktinis rodiklis ir didžiausia nustatyta reikšmė Lietuvoje
- 4.5 pav. Leidžiamos transformatoriaus apkrovos priklausomybė nuo didžiausios apkrovos trukmės ir apkrovos grafiko užpildymo koeficiento
- 5.1 pav. VMPS 1-osios konfigūracijos tinklo gedimų medis su 1-ąja papildoma linija
- 5.2 pav. VMPS 2-osios konfigūracijos tinklo gedimų medis su 1-ąja papildoma linija
- 5.3 pav. VMPS 3-iosios konfigūracijos tinklo gedimų medis su 1-ąja papildoma linija
- 5.4 pav. VMPS 1-osios konfigūracijos tinklo gedimų medis su 2-ąja papildoma linija
- 5.5 pav. VMPS 2-osios konfigūracijos tinklo gedimų medis su 2-ąja papildoma linija
- 5.6 pav. VMPS 3-iosios konfigūracijos tinklo gedimų medis su 2-ąja papildoma linija
- 5.7 pav. VMPS 1-osios konfigūracijos tinklo gedimų medis su 3-iaja papildoma linija
- 5.8 pav. VMPS 2-osios konfigūracijos tinklo gedimų medis su 3-ąja papildoma linija
- 5.9 pav. VMPS 3-iosios konfigūracijos tinklo gedimų medis su 3-ąja papildoma linija
- 5.10 pav. VMPS 1-osios konfigūracijos tinklo gedimų medis su autotransformatoriumi AT-4
- 5.11 pav. VMPS 2-osios konfigūracijos tinklo gedimų medis su autotransformatoriumi AT-4
- 5.12 pav. VMPS 3-iosios konfigūracijos tinklo gedimų medis su autotransformatoriumi AT-4
- 5.13 pav. VMPS 1-osios konfigūracijos tinklo gedimų medis su autotransformatoriumi AT-3
- 5.14 pav. VMPS 2-osios konfigūracijos tinklo gedimų medis su autotransformatoriumi AT-3
- 5.15 pav. VMPS 3-iosios konfigūracijos tinklo gedimų medis su autotransformatoriumi AT-3
- 5.16 pav. VMPS 1-osios konfigūracijos tinklo gedimų medis su autotransformatoriumi AT-5
- 5.17 pav. VMPS 2-osios konfigūracijos tinklo gedimų medis su autotransformatoriumi AT-5
- 5.18 pav. VMPS 3-iosios konfigūracijos tinklo gedimų medis su autotransformatoriumi AT-5
- 5.19 pav. VMPS tinklo pertrūkio trukmė, kai veikia vienas maitinimo šaltinis
- 5.20 pav. VMPS tinklo pertrūkio trukmė skirtinguose taškuose, kai tinklas sujungtas įvairiais variantais ir kai veikia du maitinimo šaltiniai
- 5.21 pav. VMPS tinklo pertrūkio trukmė skirtinguose taškuose, kai tinklas sujungtas įvairiais variantais ir kai veikia trys maitinimo šaltiniai

Lentelių sąrašas

- 2.1 lentelė. Elektrinis metodas. Bandymo įtampos priklausomybė nuo talpos
- 2.2 lentelė. Dielektrinės reakcijos metodas. Bandymo rezultatai ir standartai
- 2.3 lentelė. Dielektrinių nuostolių metodas. Tan δ , talpos ir galios koeficiento visų matavimų reikšmės
- 2.4 lentelė. Dielektrinių nuostolių metodas. Matavimų duomenų, gautų keliant įtampą, lentelė
- 4.1 lentelė. Sistemos pertrūkių vidutinio dažnumo rodiklis
- 4.2 lentelė. Sistemos vidutinės pertrūkių trukmės rodiklis
- 4.3 lentelė. Faktiniai skirstomojo tinklo SAIDI ir SAIFI rodikliai
- 4.4 lentelė. Vartotojų dalis, tenkanti transformatorinėms
- 5.1 lentelė. Modernizuoto tinklo aprūpinimo elektra patikimumo rodiklių (esant papildomai 1-majai linijai ir autotransformatoriui AT-4) palyginimas su pradinio tinklo rodikliais
- 5.2 lentelė. Modernizuoto tinklo aprūpinimo elektra patikimumo rodiklių (esant papildomai 2-rajai linijai ir autotransformatoriui AT-3) palyginimas su pradinio tinklo rodikliais
- 5.3 lentelė. Modernizuoto tinklo aprūpinimo elektra patikimumo rodiklių (esant papildomai 3-čiajai linijai ir autotransformatoriui AT-5) palyginimas su pradinio tinklo rodikliais
- 5.4 lentelė. VMPS tinklo aprūpinimo elektros energija patikimumo rodiklių, gaunamų keičiantis maitinimo šaltinių skaičiui, palyginimas
- 5.5 lentelė. VMPS tinklo aprūpinimo elektros energija pertrūkio trukmės rodiklių, gaunamų keičiantis maitinimo šaltinių skaičiui, palyginimas

IVADAS

Lietuvos ir pasaulio elektros energetikos sistemų srityje elektros tinklai ir jų elementai užima vieną svarbiausių pozicijų, nes nuo elektros tinklų elementų patikimumo priklauso visos elektros sistemos darbas. Lietuvos elektros tinklai buvo suprojektuoti pagal buvusios TSRS nustatytas normas ir taisykles, kuriose atsispindėjo planinės ekonomikos nuostatos, tačiau, atkūrus nepriklausomybę, žengiant rinkos ekonomikos ir tolesnės integracijos į žemyninės Europos tinklus bei energetinės nepriklausomybės keliu, keitėsi ir keičiasi kai kurie elektros tinklų elementų projektavimo, įrengimo ir eksploatacijos kriterijai bei sąlygos.

Elektros tinklų užduotis – patikimai ir patiriant kuo mažiau nuostolių aprūpinti vartotojus kokybiška elektros energija, nes per pastarąjį dešimtmetį vartotojų keliami kokybiškumo ir patikimumo reikalavimai tiekiami elektros energijai labai išaugo. Jei vartotojui elektros energija tiekama nepatikimai, jis gali patirti reikšmingų materialinių nuostolių dėl neveikiančių ar netinkamai veikiančių įrenginių. Tuomet vartotojas gali pareikalauti, kad patirtus nuostolius kompensuotų elektros energijos tiekėjas (elektros tinklų operatorius), todėl pastarasis yra suinteresuotas tiekti Europos Sąjungos standartus atitinkančią elektros energiją. Patikimai tiekti kokybišką elektros energiją yra elektros energetikos tinklų operatorių pareiga ir atsakomybė. Tai galima užtikrinti eksploatuojant techniškai tvarkingus, ekonomiškus ir modernius elektros pastočių įrenginius, taip pat atliekant profilaktinę techninę jų priežiūrą. Šiuo metu elektros tinkluose yra dar daug nevisiškai patikimų transformatorių pastočių ir linijų, tačiau jas prižiūrinčios šalies įmonės suplanuotų remontų metu rekonstruoja pastotes ir atnaujina įrenginius arba pratęsia esamų įrenginių eksploatavimo trukmę. Šiai sričiai skiriamas didžiausias dėmesys ir daugiausi investicijų. Taigi, elektros tinklų elementų nuolatinė priežiūra ir būklės tyrimas užtikrina stabilų įrenginių darbą ir ekonomišką elektros energijos tiekimą.

Šiame darbe yra analizuojami elektros tinklo elementai, jų būklė, tinklo patikimumas, įvardijamas temos aktualumas, darbo tikslai bei uždaviniai, susiję su darbo tema.

Šio darbo tikslas – parengti kabelinio elektros tinklo elementų būklės tikrinimo ir galimų elementų gedimų bei dėl jų patirtų nuostolių tyrimo metodiką, taip pat ištirti pasirinkto Vilniaus miesto pietinio skyriaus 10 kV kabelinio tinklo dalies patikimumo rodiklių priklausomybes nuo tinklo sujungimo konfigūracijų ir sudaryti optimalią schemą.

Darbo uždaviniai:

- išanalizuoti kabelinio elektros tinklo įrenginių įvertinimo metodus ir išsiaiškinti charakteristikas;

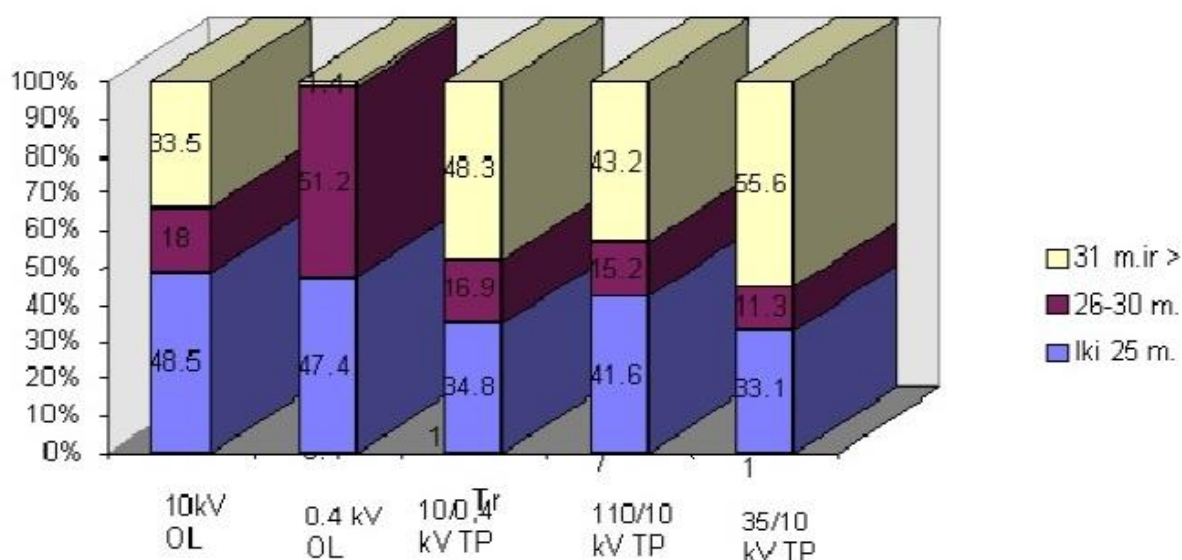
- laboratorijoje išbandyti ir ištirti apie 20 metų eksploatuotą 10 kV elektros kabelį, turintį popierinę ir sukryžminto polietileno (XLPE) izoliaciją, nustatyti jo defektus bei galimybes toliau būti naudojamam tinkle;
- sudaryti Vilniaus miesto pietinio skyriaus kabelinio elektros tinklo gedimų medį ir apskaičiuoti tinklo patikimumo rodiklius;
- palyginti Vilniaus miesto pietinio skyriaus kabelinio elektros tinklo aprūpinimo elektra patikimumą ir pertrūkių trukmes su Lietuvos bendru patikimumo rodikliais ir leistinosiomis vertėmis;
- ištirti aprūpinimo elektros energija patikimumo priklausomybę nuo tinklo sujungimo konfigūracijų, papildomų linijų bei maitinimo šaltinių prijungimo;
- parinkti optimalią tinklo aprūpinimo elektra sujungimo konfigūraciją I, II ir III kategorijų vartotojams.

1. ELEKTROS TINKLO ELEMENTŲ CHARAKTERISTIKA

1.1. Elektros tinklų komponentai

Elektros tinklai yra sudaryti iš daugybės didesnių ar mažesnių elementų, t. y. energijos generavimo įrenginių, įtampos didinimo ir mažinimo transformatorių, elektros perdavimo ir skirstymo linijų, komutavimo įrenginių (jungtuvų, skyriklių, skirtuvų), matavimo aparatūros, relinės apsaugos, komunikacijos prietaisų, valdymo elektronikos, skaitiklių ir kitų labai svarbių įrenginių, užtikrinančių tvarkingą energetikos sistemos darbą.

Tačiau kuo sudėtingesnė sistema, tuo labiau ją reikia prižiūrėti. Tad norint, kad ši sistema be pertrūkių dirbtų, būtina reguliariai atlikti būklės tyrimus-matavimus.



1.1 pav. Elektros tinklų eksploatavimo amžius Lietuvoje

1.2. Elektros įrenginių būklės kontrolė

Elektros įrenginių techninės būklės įvertinimas bei defektų prognozė yra aktualus ir gana sudėtingas uždavinys. Nuo jo sprendimo priklauso įrenginio eksploatacijos veiksmingumas ir elektros sistemos darbo patikimumas. Elektros įrenginių būklę gana dažnai lemia eksploatacijos sąlygos bei trukmė. Norint įvertinti elektros įrenginių techninę būklę bei patikimumą reikia išanalizuoti kokybinių charakteristikų pokyčius bei jų dėsningumus.

Laiku vykdoma elektros įrenginių būklės kontrolė padeda išvengti gedimų ir avarijų, sumažina jų pasekmes. Labiausiai pažeidžiami yra aukštosios įtampos įrenginiai – 330 kV įvadai, galios ir matavimo transformatoriai. Jų patikimumo lygis gerokai nukrenta ilgėjant

eksploatacijos trukmei. Išanalizavus pastarųjų 5 metų transformatorių eksploataciją, pastebėta, kad 51 proc. avarių įvyko transformatoriuose, kurie buvo naudojami 15–25 metus.

Elektros įrenginių techninė būklė gali būti įvertinta analizuojant įvairius būklę žyminčius parametrus, nustatant ir įvertinant jų pokyčius bei sudarant sistemas parametrų pokyčiams prognozuoti. Sudarius patikimą būklės įvertinimo modelį galima laiku atjungti įrenginį, nustatyti galimus defektus, nustatyti remonto poreikį ir bandymų apimtį.

Įrenginio eksploatacijos trukmės pokyčių kontrolė reikalinga darbo patikimumui užtikrinti. Daugumos pastotės aukštosios įtampos įrenginių svarbiausi parametrai, užtikrinantys patikimumą, yra izoliacija, kontaktai ir kontaktų jungtys. Įrenginių izoliacija (vidinė ir išorinė) turi būti atspari ilgalaikiai didžiausiai darbo įtampai, komutaciniams ir atmosferiniams viršįtampiams. Įrenginių vidinės izoliacijos mažesnę atsparumą lemia dalinių išlydžių intensyvumas bei lygis, senėjimas dėl šilumos poveikio ir drėgmės.

Elektros įrenginio būklė įvertinama periodiškai kontroliuojant įvairius parametrus (tgδ, R_{60} , dujų kiekį, dalinių išlydžių lygį ir pan.). Pradedamos naudoti monitoringo sistemos, kurios nuolat kontroliuoja įvairius parametrus (tgδ, dujų kiekį, temperatūrą). Visų šių metodų ir principų pagrindinis bruožas yra kontroliuoti įvairių veiksnių, turinčių įtakos įrenginiui ir jo izoliacijai (viršįtampių, perkrovų ir kt.), pasekmes ir lyginti su leistinosiomis normuotomis vertėmis. Viršįtampiai, perkrovos, trumpieji jungimai yra atsitiktiniai veiksniai, todėl periodiškai kontroliuojant parametrus ne visada galima pastebėti atsirandančius ir gilėjančius defektus. Šie veiksniai įvairiai, dažniausiai nepataisomai, pakenkia įrenginių izoliacijai, o šie defektai, veikiami darbo įtampos ar pakartotinių viršįtampių, gali tapti pavojingi ir, laiku jų nepastebėjus, sugadinti įrenginį. Naudojant šiuolaikinę techniką galima kontroliuoti ne tik įvairių veiksnių pasekmes, bet ir priežastis.

Siekiant gauti patikimos informacijos apie įrenginių būklę, be periodinės kontrolės sistemos, yra pasitelkiami specialūs metodai ir technologijos. Jie taikomi įvertinus įrenginio paskirtį ir specifiką. Įrenginių alyvinės-popierinės izoliacijos naudojimo trukmė priklauso nuo kokybės kontrolės sistemos ir taikomų diagnostikos metodų. Izoliacijos kokybės charakteristikoms nustatyti dažniausiai taikomas kompleksinių tyrimų metodas. Analizuojama izoliacijos komponentų (popieriaus sluoksnio ar alyvos) ir savybių bei požymių visuma.

1.3. Kabelių periodinė kontrolės sistema

Prieš pripažįstant kabelinę liniją tinkama naudoti trasa ir įrenginiai turi būti apžiūrėti, taip pat reikia atlikti šiuos bandymus bei matavimus:

- kabelių izoliacijos bandymai;
- kabelių apvalkalų bandymai;

- laidininko varžos matavimas;
- fazių talpos matavimas;
- galinių movų įžeminimo varžų ir metalinio ryšio tarp galinės movos ir įžemintų įrenginių matavimas;
- fazių sekos tikrinimas;
- srovių pasiskirstymo kabeliuose matavimas;
- alyvos arba kito izoliacinio skysčio charakteristikų nustatymas;
- kabelių antikorozinė apsauga.

Prieš atliekant bandymus būtina apžiūrėti visus prieinamus kabelių linijos elementus, kabelių įrenginius ir trasas. Aptikus defektų ar gedimų, jie turi būti pašalinti prieš atliekant bandymus. Bandymai ir matavimai įforminami sudarant protokolus. Kabelį galima išbandyti vardine 50 Hz dažnio įtampa. Bandymo įtampa – $1,0-1,73 U_0$. Bandymo įtampos dydis ir trukmė nustatomi pagal gamintojo reikalavimus. Kabelių linija yra laikoma atlaikiusia bandymą, jeigu jo metu izoliacija nebuvo pramušta arba galinės movos neperdegė. Jeigu kabelių linijos izoliacija buvo pramušta, būtina tą vietą ištirti ir nustatyti pramušimo priežastį.

Viršįtampių ribotuvai, kurių U_c žemesnė už bandomąją įtampą, turi būti atjungti. Atliktų bandymų ir matavimų rezultatai turi būti surašyti kabelių linijos paso skyriuje „Ekspluataciniai duomenys“.

Kabelių, paklotų, esančių tranšėjose, plastmasinių apvalkalų bandymai atliekami 10 kV išlygintąja įtampa 1 min. Kabelio apvalkalas laikomas atlaikiusiu bandymą, jei pastarojo metu jis nebuvo pramuštas. Jeigu kabelių linijos apvalkalas buvo pramuštas, būtina tą vietą ištirti ir nustatyti pramušimo priežastį.

Taip pat turi būti išmatuota kabelių gyslų varža. Vario gyslos savitoji varža (1 mm^2 skerspjūvio, 1 m ilgio, esant $20 \text{ }^\circ\text{C}$ temperatūrai) neturi viršyti $0,0179 \Omega$. Išmatuota savitoji varža nuo nurodytosios gali skirtis ne daugiau kaip 5 %.

Reikia išmatuoti ir kabelio talpą. Nustatyta savitoji talpa (1 m ilgio) nuo talpos, nurodytos kabelio gamintojo pateiktuose dokumentuose, gali skirtis ne daugiau kaip 5 %.

Būtina išmatuoti galinių movų įžeminimo ir metalinio ryšio tarp įžemintų galinių movų ir įžeminimo transformatorių pastotėse varžą. Įžeminimo varža turi būti ne didesnė kaip $0,5 \Omega$, o metalinio ryšio varža – ne didesnė kaip $0,02 \Omega$.

Kabelių linijos fazių seka nustatoma prieš eksploatuojant, taip pat eksploatacijos metu suremontavus arba keičiant movas, arba atjungus kabelio gyslas. Minėta seka nustatoma naudojant įtampos transformatorių.

Kabelių linijos srovių pasiskirstymas gyslose ir ekranuose matuojamas srovės matavimo replėmis. Srovių pasiskirstymas fazėse ir ekranuose negali skirtis daugiau kaip 10 %.

Kabėlių temperatūra matuojama, aukšto slėgio kabėlių vamzdynų antikorozinė danga tikrinama, papildymo ir automatinio galinių movų pašildymo įrenginiai išbandomi vadovaujantis gamintojo nuorodomis.

Taip pat nustatomos visų 110 kV kabėlių linijų elementų, pripildytų alyvos arba kito izoliacinio skysčio, charakteristikos pagal 110 kV įtampos kabėlių linijų eksploataavimo instrukciją.

Bandymų su alyva atliekama prieš ją naudojant, po 1 ir 3 metų naudojimo, o vėliau – kas 6 metai. Jeigu alyvos MN-4 pramušimo ir degazavimo lygis atitinka normą, o dielektrinių nuostolių kampo $\text{tg}\delta$ vertė viršija nurodytąsias bandymų normose, alyvos bandinys 100 °C temperatūroje laikomas dar 2 val., periodiškai matuojant dielektrinių nuostolių kampo $\text{tg}\delta$. Jei $\text{tg}\delta$ vertė sumažėja, alyvos bandinys 100 °C temperatūroje laikomas tol, kol dielektrinių nuostolių kampo $\text{tg}\delta$ vertė nebekinta. Ši vertė priimama kaip tikroji.

Neištirpusių dujų kiekis nustatomas naudojant 110–330 kV kabėlių linijas, pripildomas alyvos. Neištirpusių dujų kiekis gali būti ne didesnis kaip 0,1 %.

Periodinėje kontrolės sistemoje kabėlių bandymo periodiškumas priklauso nuo eksploataavimo vietos ir įtampos. 3–35 kV įtampos kabeliai bandomi taip:

- skirti svarbiausiems vartotojams – 1 kartą per 2 metus;
- esantys transformatorių pastočių ir skirstyklų teritorijoje (savųjų reikmių) – kompleksiška remontuojant pastotes, bet ne rečiau kaip 1 kartą per 8 metus;
- elektrinių kabeliai, maitinantys pagrindinių įrenginių mechanizmus (pagrindinių mechanizmų sąrašai tvirtinami technikos vadovo nustatyta tvarka), – remontuojant įrenginį, bet ne rečiau kaip 1 kartą per 4 metus;
- elektrinių kabeliai, jungiantys atskiras skirstyklas, pakloti kabėlių statiniuose ir žemėje, – kas 4 metai;
- elektrinių kabeliai, turintys jungiamųjų movų arba kurių galinės movos sumontuotos skirtingame aukštyje (aukštis skiriasi daugiau kaip 10 m), – kas 2 metai (reikalavimas netaikomas kabeliams, kurių izoliacija yra XLPE);
- avaringus kabelius rekomenduojama išbandyti 1 kartą per metus (avaringas kabelis yra toks, kuris per paskutinius 5 metus gedo 4 ir daugiau kartų);
- 110–330 kV įtampos kabeliai bandomi po 3 eksploatacijos metų, vėliau – 1 kartą per 6 metus.

Kabėlių izoliacijos varža matuojama 2 000–2 500 V megommetru. Iki 1 000 V galios kabėlių izoliacijos varža prieš eksploatuojant kabelį turi būti ne mažesnė kaip 1,0 M Ω , o eksploatuojant – ne mažesnė kaip 0,5 M Ω .

Išbandant kabelius labai žemu dažniu (LŽD) ir kintamąja įtampa, nuotėkio srovė nematuojama. 6 kV įtampos kabeliai 10 kV įtampos tinkle yra išbandomi aukštąja 30 kV išlygintąja įtampa arba LŽD – 19 kV.

1.4. Kabelių izoliacijos bandymas išlygintąja įtampa

Prijungus 50 Hz dažnio bandomąją įtampą galima nustatyti izoliacijos atsparumą bei galimus defektus, dėl kurių jos negalima toliau eksploatuoti. Tikrasis izoliacijos atsparumas bandant aukštąja bandomąja įtampa nėra nustatomas, nes būtų sugadinta izoliacija. Kad išbandyta izoliacija būtų ganėtinai atspari, bandomoji įtampa turi būti žemesnė už silpniausios izoliacijos dalies pramušimo įtampą. Eksploatacinės bandomosios įtampos dydis bei bandymo sąlygos yra standartizuoti. Bandomoji įtampa būna 50 Hz dažnio ir išlygintoji. Išbandant elektros įrenginių izoliaciją 50 Hz dažnio įtampa, iki 30 % bandomosios įtampos kėlimo greitis neribojamas, vėliau gali būti didesnis, o po 1 min. trukmės bandymo greitai mažinama iki 0 arba 30 % bandomosios įtampos.

6-35 kV įtampos kabeliai, turintys popierinę izoliaciją, bandomi išlygintąja įtampa.

Bandymo kategorija	Kabeliai popierine ir PVC izoliacija						Kabeliai gumine izoliacija		
	Vardinė kabelio įtampa, kV						Vardinė kabelio įtampa, kV		
	iki 1	6	10	20	35	110	3	6	10
P	2,5	36 (11)*	60 (19)*	—	166 (62)*	285	6	12	20
R, M	2,5	36 (11)*	60 (19)*	—	125 (62)*	285	6**	12**	20**

* Skliausteliuose nurodytos įtampos, kabelius bandant labai žemu dažniu (toliau – LŽD).

** Po techninės priežiūros izoliacijos varža matuojama 2500 V įtampos megomometru, o įtampa nebandoma.

1.2 pav. Galios kabelių išlygintosios bandomosios įtampos vertės, kV („Elektros įrenginių bandymo normos ir apimtys“, Vilnius, 2001)

1.5. Dalinių išlydžių charakteristika

Dalinių išlydžių įvyksta skystosios ir popierinės izoliacijos komplekso dujų ertmėse dėl dalinio / nepakankamo izoliacijos impregnavimo, mechaninių priemaišų arba drėgmės. Dalinių išlydžių vieta transformatoriuje gali būti ne tik izoliacinė alyva ir kietoji izoliacija, bet ir skirtingą potencialą turinčios metalinės konstrukcijos. Pagrindinės dalinių išlydžių charakteristikos yra išlydžio energija ir dalinių išlydžių impulsų dažnis. Kibirkščiavimas ir elektros lankas yra progresuojančių dalinių išlydžių pasekmė.

Elektros įrenginių eksploatacijos trukmė skaičiuojama dešimtimis metų, todėl jų patikimumas priklauso nuo izoliacijos kokybės kontrolės ir įvairiapusiškumo. Aukštosios įtampos elektros įrenginių izoliacijos dalinių išlydžių lygio kontrolės periodiškumas turėtų priklausyti nuo

izoliacijos būklės. Įmonės elektros įrenginių gamintojos pateikia dalinių išlydžių parametrus, nustatytus laboratorijos sąlygomis.

Daliniai išlydžiai, kurių įvyksta įrenginio izoliacijoje, yra apibūdinami tariamuoju krūviu, pasikartojimo dažniu (intensyvumu), vidutine srove, kvadratinio greičiu ir dalinių išlydžių galia. Tariamasis krūvis q , charakterizuojantis dalinius išlydžius, yra toks krūvis, kuris, jį prijungus prie bandomojo objekto galų, sugeneruotų tokį patį įtampos impulsą kaip ir daliniai išlydžiai. Tariamojo krūvio dydis yra svarbiausias izoliacijos kokybę žymintis parametras. Dar vienas parametras, charakterizuojantis dalinius išlydžius, yra dalinių išlydžių impulsų dažnis (intensyvumas). Tai – dalinių išlydžių impulsų skaičius per pasirinktą laiko tarpą. Be šių pagrindinių dalinius išlydžius charakterizuojančių parametru, siekiant patikimiau įvertinti dalinių išlydžių proceso atsitiktinius veiksnius, yra naudojami tokie standartizuoti integraliniai dydžiai: vidutinė iškrovos srovė, kvadratinis greitis ir išlydžių galia. Vidutinė iškrovos srovė yra tariamojo krūvio impulsų suma per tam tikrą laiko intervalą, padalyta iš laiko intervalo, per kurį buvo sudedamos dalinių išlydžių amplitudės. Kvadratinis greitis – tai per tam tikrą laiko intervalą atsirandančių dalinių išlydžių krūvių kvadratų suma, padalyta iš to laiko intervalo. Skaičiuojant izoliacijos darbo laiko išteklių, įvertinama išlydžių galia P .

Pagrindinis parametras, apibūdinantis dalinius išlydžius izoliacijoje, yra tariamasis krūvis q . Tai – dalinio išlydžio impulsas, kuris, labai trumpam įterptas tarp bandomojo objekto gnybtų tiksliai apibrėžtoje bandymo grandinėje, turėtų pateikti tą patį matavimo prietaiso rodmenį kaip ir pats dalinio išlydžio srovės impulsas. Tariamasis krūvis įprastai yra išreiškiamas piko kulonais (pC).

1.6. Dalinių išlydžių matavimas izoliacijoje

Dalinių išlydžių (neatliekant chromatografinio izoliacinės alyvos tyrimo) galima aptikti matuojant impulsą indukciniu būdu. Dalinių išlydžių gali įvykti ir sugedus įtampos reguliavimo sistemai, kurios būklę perteikia įtampos jungiklio apskritiminė diagrama ir kontaktoriaus veiklos oscilograma.

Dalinių išlydžių registracija yra dalis profilaktinių matavimų izoliacijos būklei kontroliuoti. Daliniams išlydžiams registruoti galima naudoti matavimo prietaisus, kurie matuoja akustinius ir elektrinius trikdžius, sukeltus dalinių išlydžių proceso. Leistinos paklaidos riba matuojant dalinius išlydžius yra aukštesnė negu kitų elektrinių parametru atvejais. Izoliacijos būklę žymintys dalinių išlydžių parametrai laikomi priimtinais, jeigu per metus nepasikeičia daugiau kaip keliais procentais. Viena svarbesnių tikslaus dalinių išlydžių registravimo dedamųjų yra matavimo prietaisų kalibravimas. Visapusiškai nustatyti matavimo prietaisų charakteristikas ir detalai juos kalibruoti reikia ne rečiau kaip 1 kartą per metus. Eilinio kalibravimo procedūra turi

būti atliekama prieš kiekvieną bandymą arba, jeigu nekinta matavimo diapazonas, vartotojo pasirinktais laiko intervalais.

Prieš matuojant dalinius išlydžius turi būti atitinkamai paruošiamas bandomasis objektas. Išorinis jo izoliatorių paviršius turi būti švarus ir sausas, nes drėgna ir užteršta izoliacija gali sukelti paviršinių dalinių išlydžių. Mechaninės, terminės ir elektrinės apkrovos taip pat turi įtakos dalinių išlydžių bandymams.

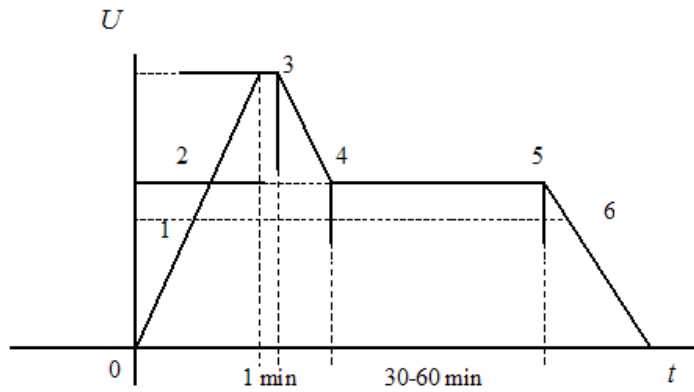
Daliniams išlydžiams matuoti yra taikomi elektriniai ir neelektriniai metodai. Elektriniai metodai leidžia išmatuoti platesnį dalinių išlydžių parametų spektrą. Matavimo principas yra grindžiamas dalinių išlydžių, vykstančių izoliacijoje, impulsų parametų registracija. Minėtiems parametrų registruoti yra naudojamos filtrų schemas. Matavimo jautrumas yra didelis. Neelektriniai metodai yra taikomi siekiant tiksliau nustatyti dalinių išlydžių vietą. Dėl nedidelio jautrumo neelektriniai metodai nėra taikomi dalinių išlydžių amplitudei matuoti. itelkiant kelis metodus galima tiksliau nustatyti tikslų dalinių išlydžių lygį ir aptikti jų vietą. Neelektriniai dalinių išlydžių aptikimo metodai įgalina kontroliuoti šalutinius parametrus.

Vadovaujantis standartu GOST (21023-75), aukštosios įtampos aparatų izoliacija dalinių išlydžių lygiui nustatyti yra išmėginama trijuose bandomosios įtampos taškuose 1 min. trukmės 50 Hz dažnio bandomąja įtampa:

- esant didžiausiai darbo įtampai U_{md} ;
- esant $1,3 U_{md}$ įtampai ($1,5 U_{md}$ – bandant 110 kV aparatų izoliaciją);
- esant bandomajai įtampai U_b .

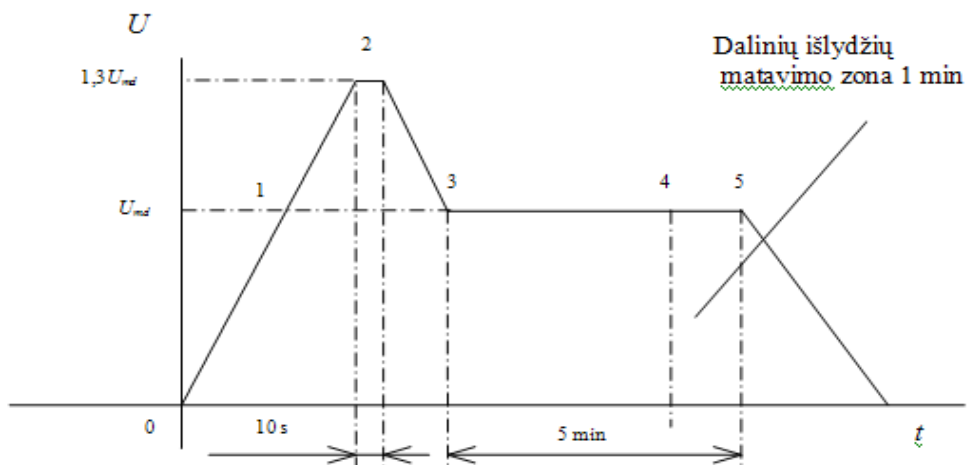
Dalinių išlydžių lygiui nustatyti bandymas atliekamas pagal 1.3 pav. pateiktą grafiką.

Dalinių išlydžių lygis pirmuose dviejuose taškuose užregistruojamas pakėlus įtampą iki bandomosios ir sumažinus bei išlaikius aukštesnę įtampą 30–60 min. Izoliaciją išbandyti aukštesne įtampa 30–60 min. (kvalifikacinių bandymų metu – 60 min.) reikalinga siekiant nustatyti dalinių išlydžių vystymosi tendencijas bei stabilizuoti procesą. Dalinių išlydžių lygis išmatuojamas taškuose 4 ir 5, bet ne mažiau kaip tris kartus, išlaikant įtampą.



1.3 pav. Dalinių išlydžių lygio išbandant įrenginių izoliaciją 50 Hz dažnio bandomąja įtampa registravimo grafikas: 1 ir 6 taškai U_{md} ; 2, 4 ir 5 taškai – 50 Hz dažnio bandomąja įtampa $1,3 U_{md}$; 3 taškas – izoliacijos bandomąja įtampa

Jeigu, išbandant įrenginių izoliaciją, buvo viršytas dalinių išlydžių leistinasis lygis, būtina išanalizuoti matavimo rezultatus ir, pašalinus galimus triukšmo šaltinius, bandymą pakartoti. Tai padarius ir gavus analogiškus rezultatus, privalu atlikti įrenginių izoliacijos profilaktinį remontą.



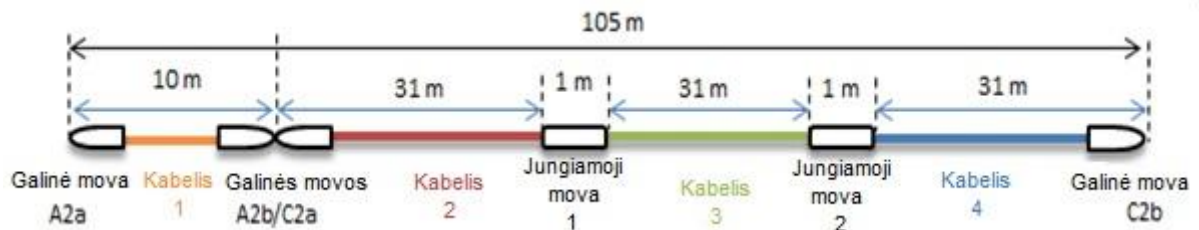
1.4 pav. Dalinių išlydžių lygio išbandant įrenginių izoliaciją aukštesne įtampa (vadovaujantis standartu IEC) registravimo grafikas: 1, 3, 4 ir 5 taškai – U_{md} ; 4 ir 5 taškų intervale išmatuojami daliniai išlydžiai; 2 taške izoliacijos bandomoji įtampa prijungiama 10-čiai sekundžių

Tikrinant izoliaciją pagal standartą IEC-16.3.2, tikrinamame įrenginyje įtampa pakeliama iki $1,3 U_{md}$ ir išlaikoma 10 sekundžių, po to sumažinama iki didžiausios įrenginio darbo įtampos ir išlaikoma 5 min. Paskutiniąją minutę išmatuojamas dalinių išlydžių lygis.

Įrenginio izoliacijos būklę galima stebėti registruojant dalinių išlydžių lygį nuo eksploatacijos pradžios. Rekomenduojamas dalinių išlydžių įrenginių izoliacijoje lygis yra iki 10 pC (vadovaujantis standartu IEC-16.3.2), kai darbo įtampa didžiausia. Įrenginio izoliacijos kokybė priklauso nuo liekamųjų tarpelių dydžio bei elektromagnetinio lauko tolygumo.

2. AUKŠTOS ĮTAMPOS 10 KV ELEKTROS TINKLO KABELIO TYRIMAS

Šiame skyriuje apžvelgiami trifazės sistemos izoliuotos neutralės aukštos įtampos 95 m ilgio kabelio APYAKMM ($U_0 = 11,5 \text{ kV}$), sujungto su 10 m ilgio kabeliu AHXAMKW, tyrimų duomenys.



2.1 pav. Tiriamojo kabelio sandaros schema ir vaizdas

2.1. Būklės vertinimo metodai

Buvo atlikti 7-ni aukštos įtampos kabelio bandymai norint išsiaiškinti jo būklę:

- dalinio išlydžio (elektriniu metodu);
- dalinio išlydžio (akustiniu metodu);
- dalinio išlydžio (slopinamuoju metodu);
- dielektrinė reakcija (5 kV įrenginiu);
- dielektrinė reakcija (10 kV įrenginiu);
- dielektriniai nuostoliai (esant skirtingiems dažniams);
- dielektriniai nuostoliai (50 Hz dažnis).

Išskiriami trys dalinių išlydžių tipai:

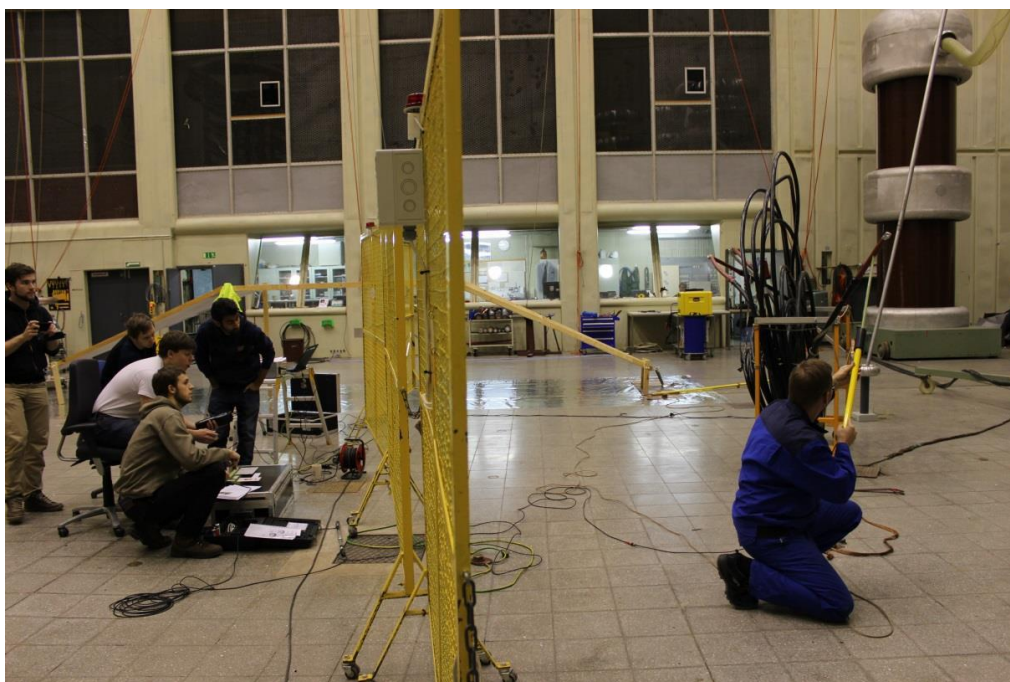
- vidiniai daliniai išlydžiai;
- paviršiaus daliniai išlydžiai;
- vainikiniai išlydžiai.

2.2. Defektų charakteristikos

Įvairių bandymų metu buvo nustatyta defektų, pagal kuriuos buvo vertinama galimybė toliau eksploatuoti kabelį.

2.2.1. Tyrimas akustiniu dalinio išlydžio metodu

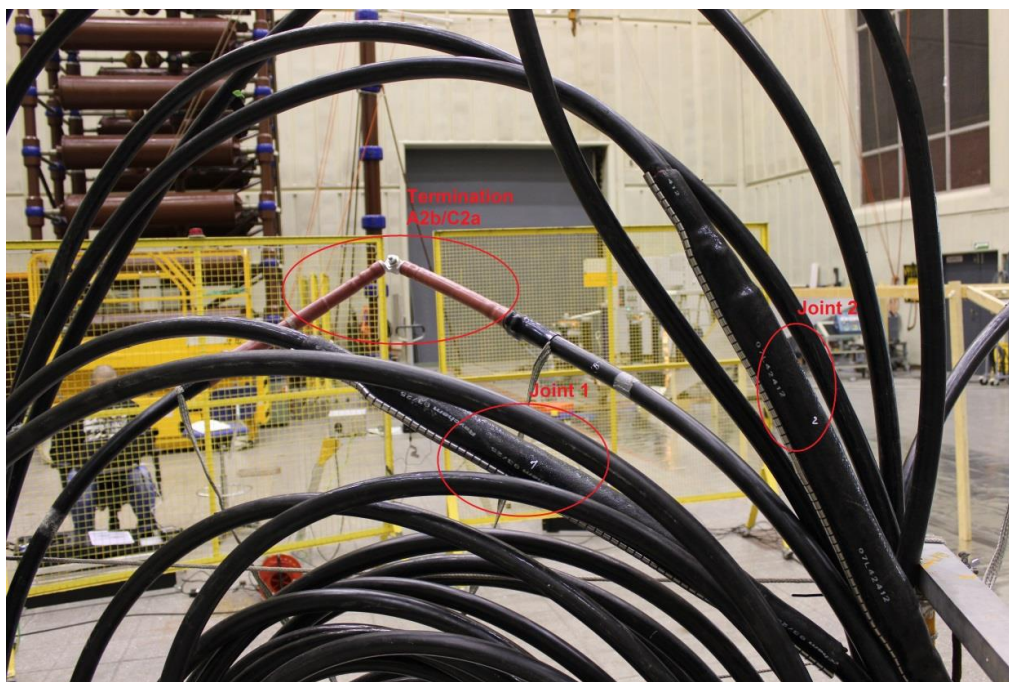
Kaip matavimo taškai buvo pasirinktos vietos, kuriuose, labiausiai tikėtina, kad įvyks dalinių išlydžių; kabelio jungiamosios ir galinės movos, nes matavimo procesas, kai norima aptikti tiksliai išlydžių vietas, užtrunka ilgai. Bandymą atliko 2 asmenys: vienas matavo skirtingas kabelio vietas, kitas užrašinėjo rezultatus ir duodavo nurodymus pirmajam pagal gautus duomenis. Matavimo procesas pavaizduotas 2.2 pav.



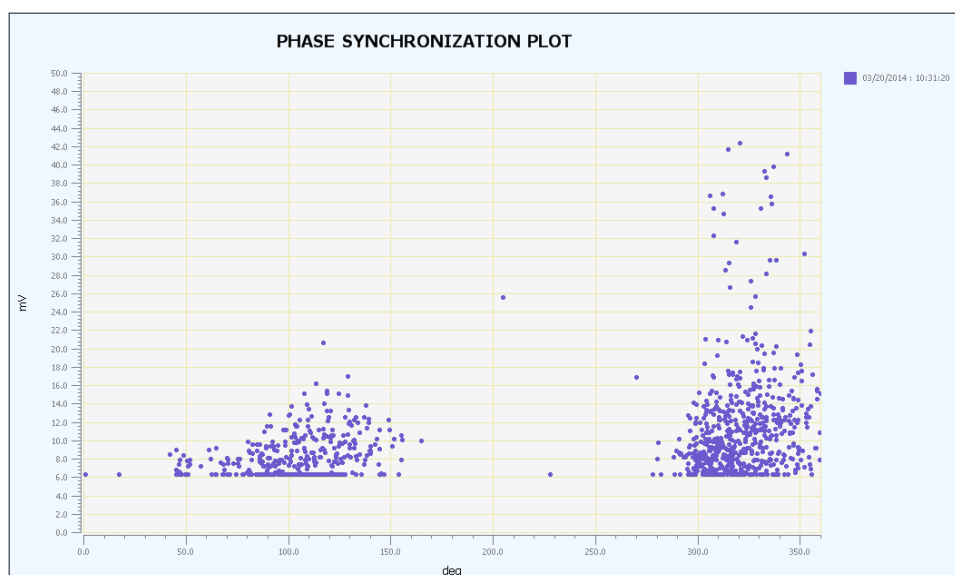
2.2 pav. Akustinis metodas. Dalinių išlydžių matavimo procesas

Nustačius aukštesnę nei nominali kabeliui eksploatuoti leistina įtampa, akustiniu dalinio išlydžio metodu buvo aptikti du išlydžio taškai abipus dviejų kabelių sujungimo vietos galinių movų. Matavimo vietas matyti 2.3 pav. 16,14 kV įtampa buvo pasirinkta pagal elektrinių dalinių išlydžių matavimo rezultatus. Pasirinktame taške įrenginio sensorius buvo slenkamas išilgai kabelio, kol sustiprėdavo garsinio prietaiso indikatoriaus signalas. Garsas gerokai viršydavo normalų triukšmo lygį. Tuomet tas taškas buvo matuojamas dar tiksliau, o gauti duomenys –

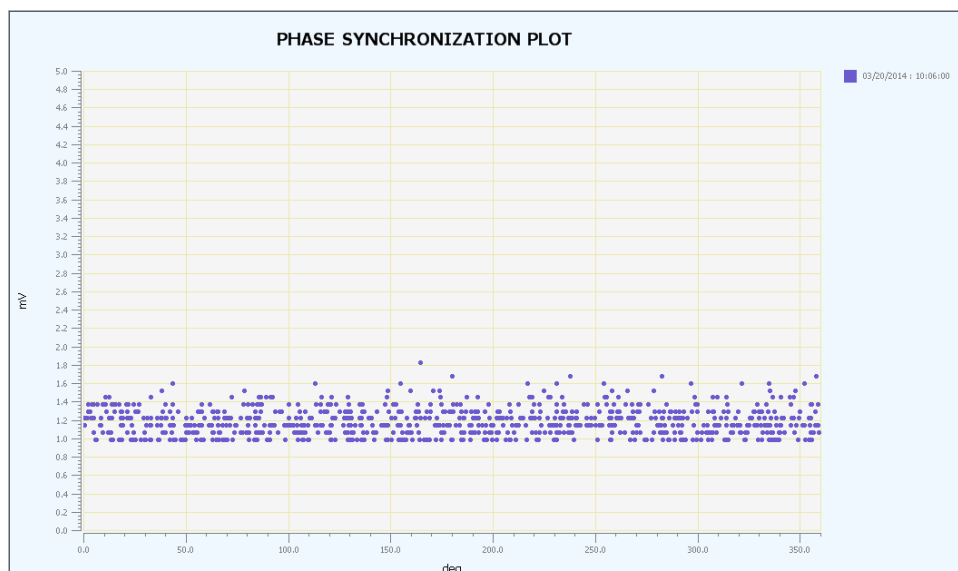
išsaugomi programine įranga „Doble DFA 100“. 2.4 pav. matyti ryškūs vidinių dalinių išlydžių taškai (lyginama su normalia kabelio būkle, neįvykus išlydžių) (2.5 pav.).



2.3 pav. Akustinis metodas. Dalinio išlydžio matavimo vietas



2.4 pav. Akustinis metodas. Dalinio išlydžio defektai



2.5 pav. Akustinis metodas. Išlydžio nėra

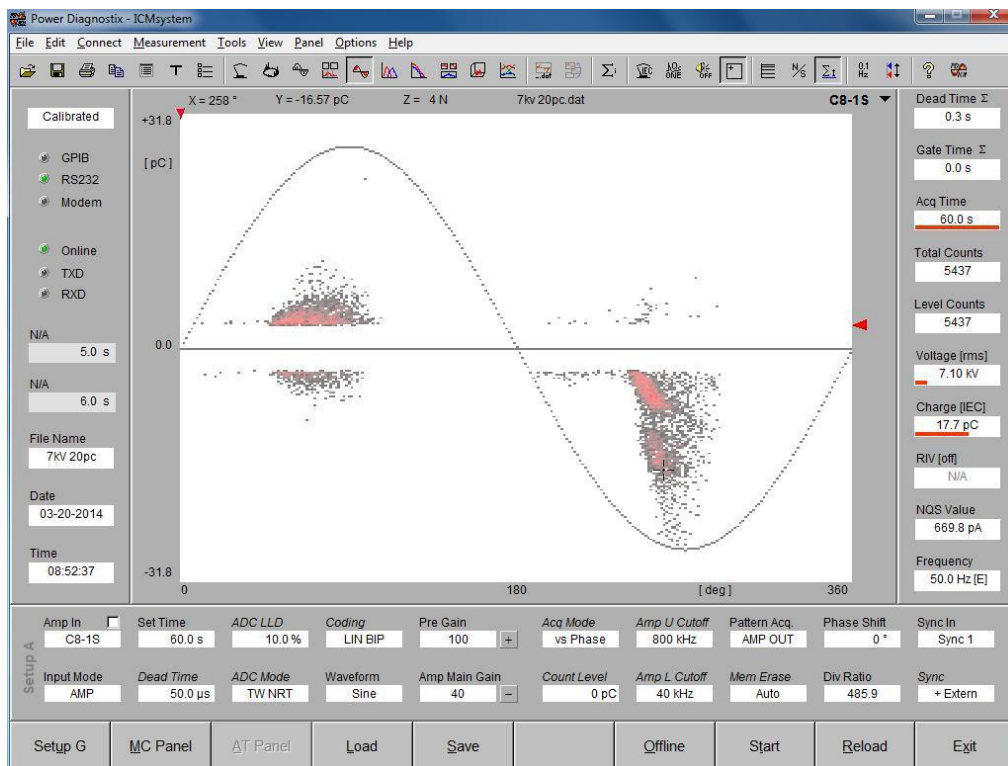
2.2.2. Tyrimas elektriniu dalinio išlydžio metodu

Ieškant dalinių išlydžių elektriniu metodu, yra matomi ir vidiniai daliniai išlydžiai, kai įtampa pakeliama iki 17 kV (2.9 pav.). Nepasiekus tokios įtampos, pastebima tik vainikinių išlydžių, kurių dažniausiai įvyksta pakraščiuose, todėl galima spręsti, jog vainikinių išlydžių paprastai būna ties jungiamosiomis movomis, sujungtomis varžtais. Tačiau jei kabelis būtų naudojamas realiomis sąlygomis, vainikinis išlydis neįvyktų, nes movos būtų sumontuotos tinkamai. Šiuo metodu neįmanoma nustatyti tikslaus taško, kuriame įvyksta dalinių išlydžių. Bandymo rezultatai taip pat leidžia teigti, kad kabelis gali atlaikyti nominalią 11,6 kV įtampą, bet ne įžemėjimus ($1,7 \times U_n = 19,8$ kV). Išlydžiai nėra kritiniai ir neviršija rekomenduojamo dalinių išlydžių lygio, nustatomo įrenginių izoliacijai, net esant aukštesnei įtampai (2.6 pav.).

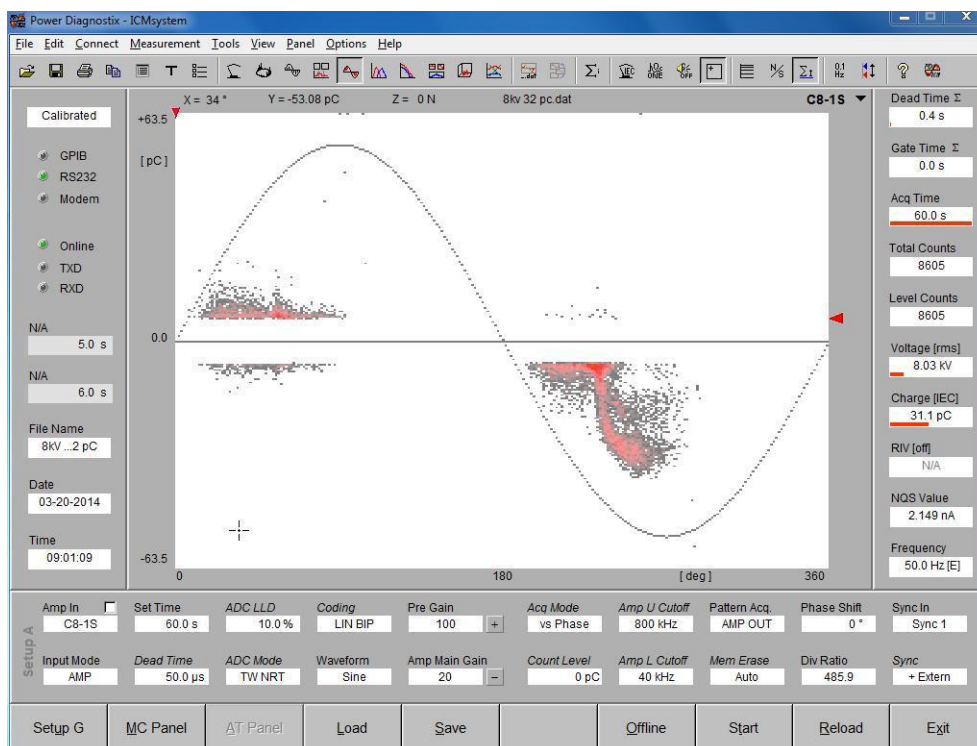
2.1 lentelė. Elektrinis metodas. Bandymo įtampos priklausomybė nuo talpos

Įtampa, kV	Talpa, pC
7,1	17,7
8,03	21,1
13,04	9,11
15,02	1430
17,14	2250
19	5400

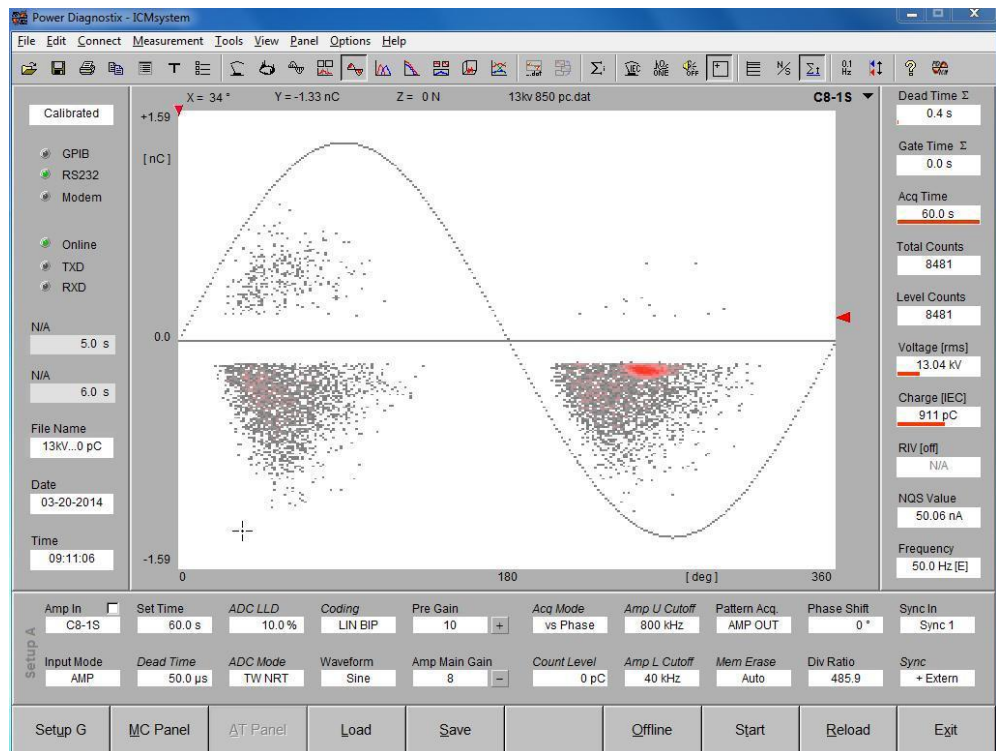
Toliau pateikiamuose paveiksluose (2.6–2.9) iliustruojama, kaip įvyksta vainikinis ir dalinis išlydis, keliant įtampą nuo 7 kV iki 20 kV.



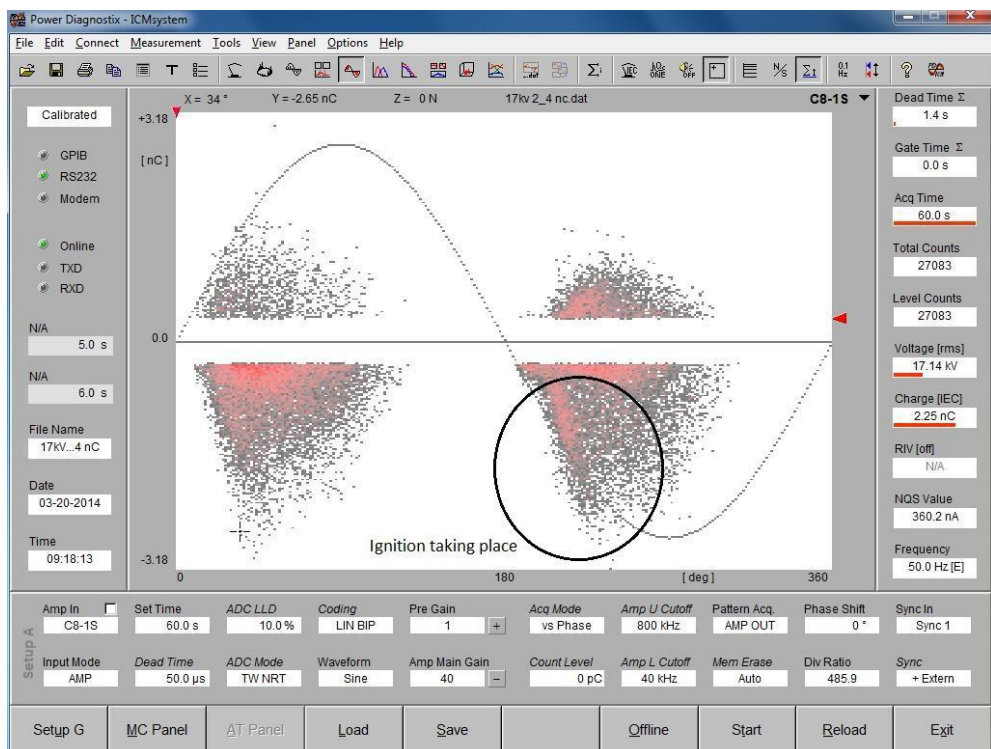
2.6 pav. Elektrinis metodas. 7 kV 20 pC vainikinis išlydis



2.7 pav. Elektrinis metodas. 8 kV 32 pC vainikinis išlydis



2.8 pav. Elektrinis metodas. 13 kV 850 pC vainikinis išlydis

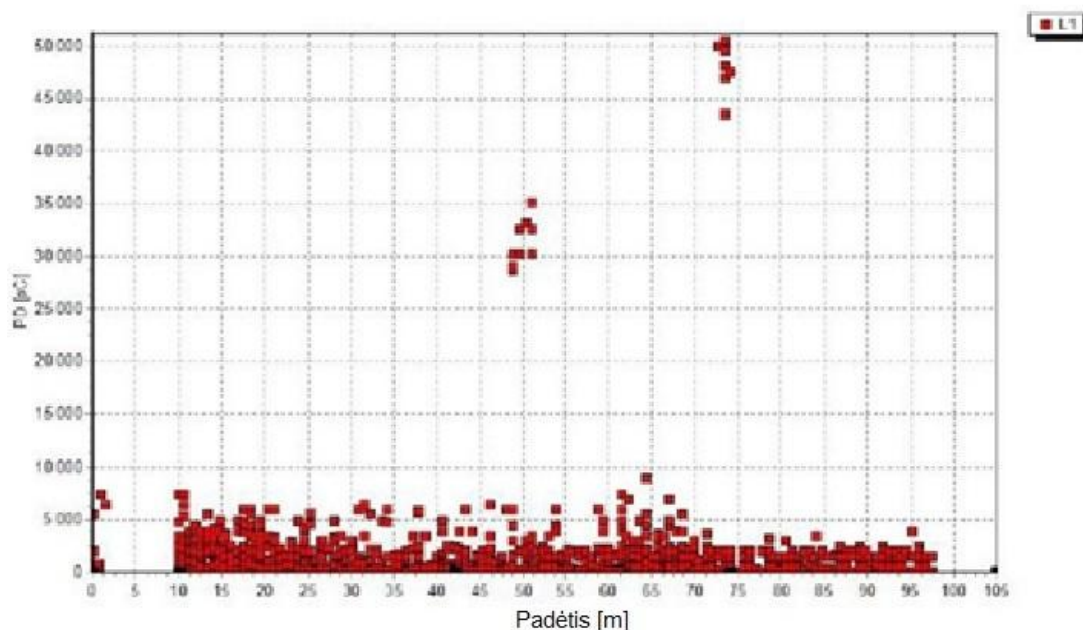


2.9 pav. Elektrinis metodas. 17 kV 2,4 nC dalinis išlydis

2.2.3. Tyrimas slopinamuoju dalinio išlydžio metodu

Dalinio išlydžio bandymas slopinamuoju metodu parodė, kad 15 kV įtampa leidžia lengvai nustatyti dalinius išlydžius. Buvo nustatyti 2 išlydžiai, įvykę apytiksliai 50 ir 73 m atstumu nuo

kabelio APYAKMM pradžios taško (2.10 pav.). 10 m ilgio izoliaciją XLPE turinčiame kabelyje AHXAMKW neaptikta jokių išlydžių.



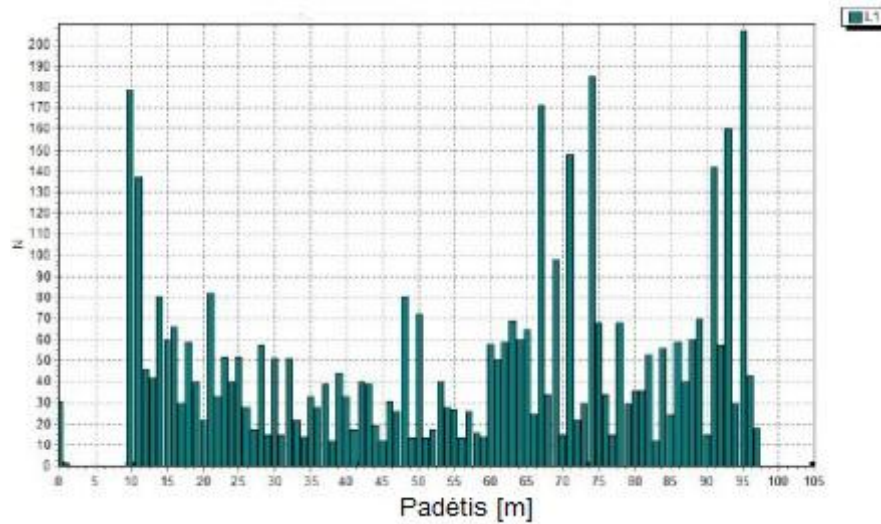
2.10 pav. Slopinamasis metodas. Išlydžiai ties 50 m ir 73 m žymomis

Popieriumi, įmirkytu alyvoje, izoliuotame kabelyje mažų dalinių išlydžių įvyksta nuolat, net kai kabelis eksploatuojamas normaliomis sąlygomis ir neturi būti laikomi turinčiais defektų. Daliniai išlydžiai tiesiogiai priklauso nuo įtampos dydžio. Įtampai neviršijant nominaliosios, išlydžiai, kurių krūvis ne didesnis kaip 2,2 nC, laikomi normaliais. Atitinkamai išlydžių, kurių krūvis neviršija 5 nC, atvejais normalia įtampa yra laikoma tokia, kuri siekia $1,7 \times U_n$. Defektų gali būti lengvai išskiriama dėl kitų išlydžių, kurių įvyksta pakėlus įtampą iki $1,8\text{--}2,0 \times U_n$. 2.11 pav. yra pastebima nedidelių išlydžių per visą kabelį.

Ties 10 m riba yra daug išlydžių, nes du skirtingi kabeliai (XLPE ir turintis alyvos-popieriaus izoliaciją) yra sujungti neizoliuojant, o kitos movos tarp alyva ir popieriumi izoliuotų kabelių yra izoliuotos.

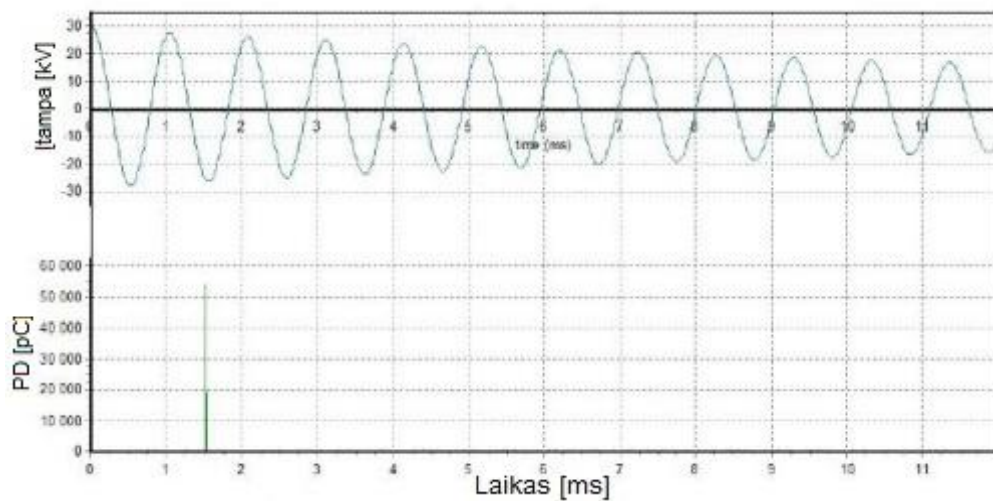
Daug išlydžių buvo pastebėta ties 65–75 m riba, kurie greičiausiai yra susiję su defektais ir mova ties 73 m žyma. Tiriamasis kabelis buvo gana trumpas bei lėmė kelis netikslumus, pasitaikiusius nustatant išlydžių vietas, todėl 2.11 pav. matomi išlydžiai yra plačiai pasklidę.

Ties 95 m žyma dalinių išlydžių įvyko esant palyginti žemai įtampai, jie kartojosi ir buvo nedideli. Taigi, net kai išlydžių daug, jie gali būti laikomi normaliais.

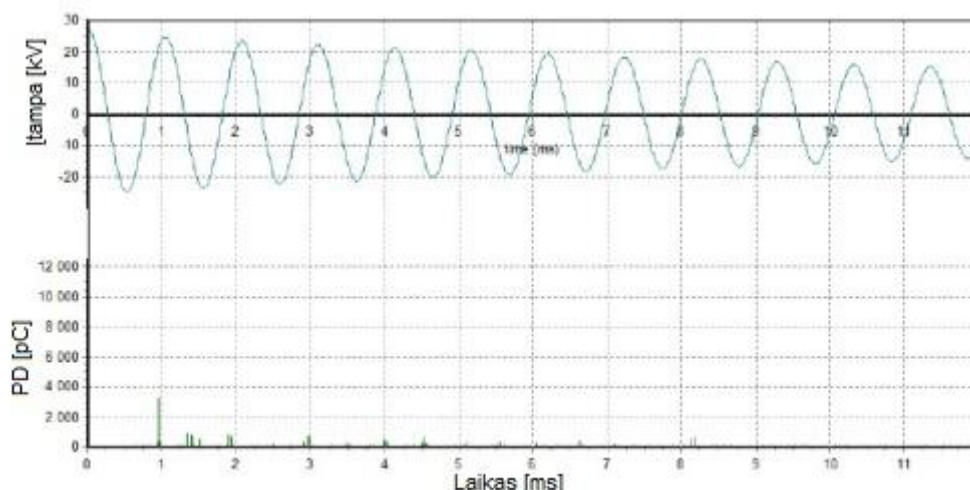


2.11 pav. Slopinamasis metodas. Išlydžių kabelyje skaičius

Visi didesni daliniai išlydžiai, susiję su defektais, įvyko neigiamoje bandymo impulso fazėje. Taip pat buvo keletas mažesnių pasikartojančių dalinių išlydžių teigiamoje fazėje. Taigi, galima padaryti išvadą, kad aptikti daliniai išlydžiai buvo neigiamieji vainikiniai išlydžiai alyvoje (2.12–2.13 pav.).



2.12 pav. Slopinamasis metodas. Dideli daliniai išlydžiai neigiamoje fazėje



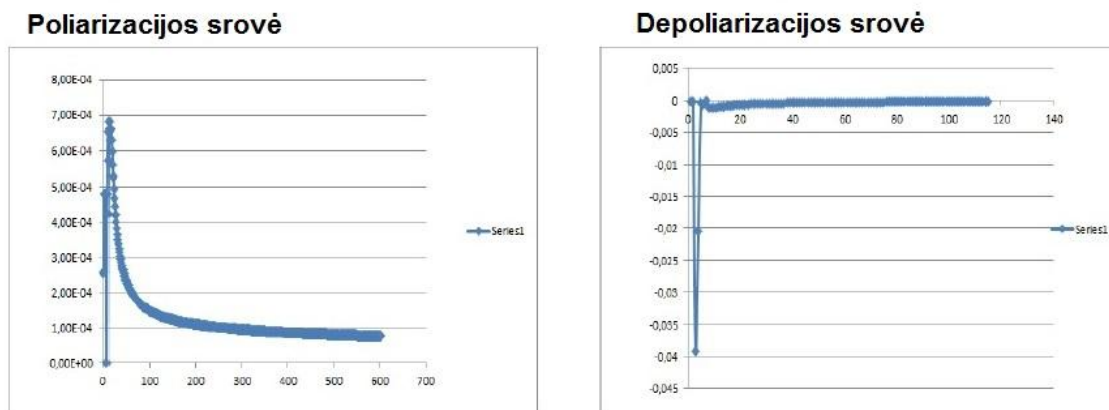
2.13 pav. Slopinamasis metodas. Pasikartojantys daliniai išlydžiai teigiamoje fazėje

2.2.4. Dielektrinės reakcijos tyrimas 5 kV įrenginiu

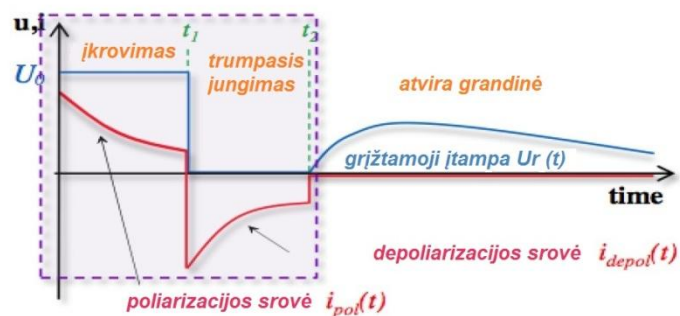
Dielektrinės reakcijos bandymo 5 kV įrenginiu „Megger S1-5010“ metu buvo nustatytas poliarizacijos rodiklis (PI), laidumo koeficientas ir išmatuotos poliarizacijos bei depoliarizacijos srovės. Poliarizacijos rodiklis (2.1 formulė), esant 1 kV įtampai, buvo 4,7, o, esant 5 kV įtampai, nukrito iki 2,64. Šis rodiklis, atsižvelgiant į izoliacijos senumą, yra ganėtinai geras, tad galima spręsti, jog kabelio drėgnis mažas.

$$PI = \frac{R_{600}}{R_{60}} = \frac{I_{P60}}{I_{P600}} \quad (2.1)$$

Laidumo koeficientas CF, esant 1 kV įtampai, buvo 1,67 ir liko beveik toks pats esant 5 kV įtampai – 1,64. Kuo ši reikšmė arčiau vieneto, tuo mažesnis laidumo pokytis per laiką, o kuo reikšmė toliau nuo vieneto, tuo didesnė mėginio drėgmė. Šiuo atveju reikšmės artimesnės 2, todėl poliarizacijos ir depoliarizacijos kreivės nepasižymi panašiomis į reikiamas tendencijomis, o rezultatai – nepatenkinami (2.14–2.15 pav.).



2.14 pav. Dielektrinės reakcijos metodas. Poliarizacijos ir depoliarizacijos srovių kreivės



2.15 pav. Dielektrinės reakcijos metodas. Poliarizacijos ir depoliarizacijos srovių kreivių etalonas

2.2.5. Dielektrinės reakcijos tyrimas 10 kV įrenginiu

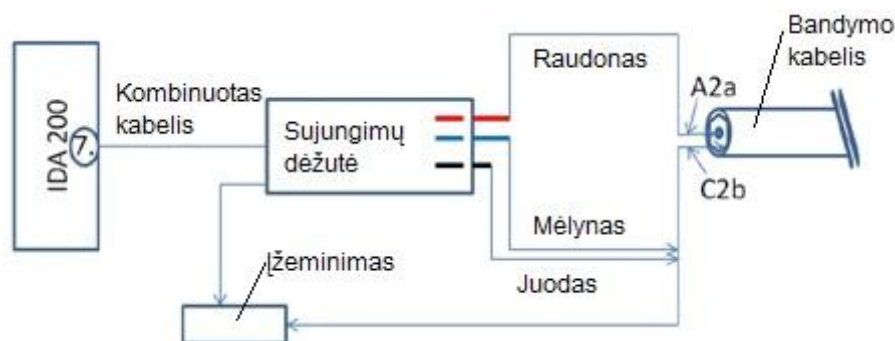
Naudojant 10 kV įrenginį „Megger S1-1068“, dielektrinės reakcijos metodu buvo nustatomas dielektrinis absorbcijos koeficientas (DAR), poliarizacijos rodiklio izoliacija (PI) ir dielektrinė iškrova (DD). Bandymai buvo atliekami esant 1 kV, 5 kV ir 10 kV įtampai. Gauti rezultatai parodė, kad reikšmės tenkina standartus IEEE 43-2000 ir IEC60085, bei patvirtino, kad kabelis yra geros būklės (2.2 lentelė.).

2.2 lentelė. Dielektrinės reakcijos metodas. Bandyimo rezultatai ir standartai

Matavimas	1kV	5kV	10kV	Leistinos reikšmės
DAR	1,6812	1,7867	1,5932	> 1
PI	4,9759	2,8189	2,1267	> 2
DD	2,6027	0,9984	0,6609	< 2

2.2.6. Dielektrinių nuostolių tyrimas keičiant dažnį

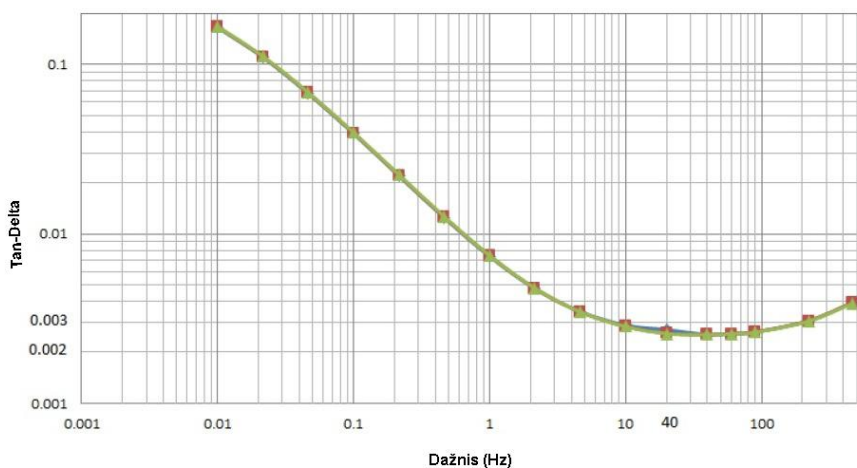
Dielektrinių nuostolių bandymo metu, keičiant įrenginio dažnį, matuojamas Tanδ (tan-delta), kabelio talpa ir galios koeficientas. Matavimų rezultatai buvo beveik identiški, Tanδ ir kabelio talpos kreivės sutapo (2.17, 2.18 pav.). Apskaičiuota kabelio drėgmė siekia 0,17 %. Tai reiškia, kad kabelio apsauga nepraleidžia vandens ir drėgmės. 2.16 pav. yra pavaizduotas matavimo schema.



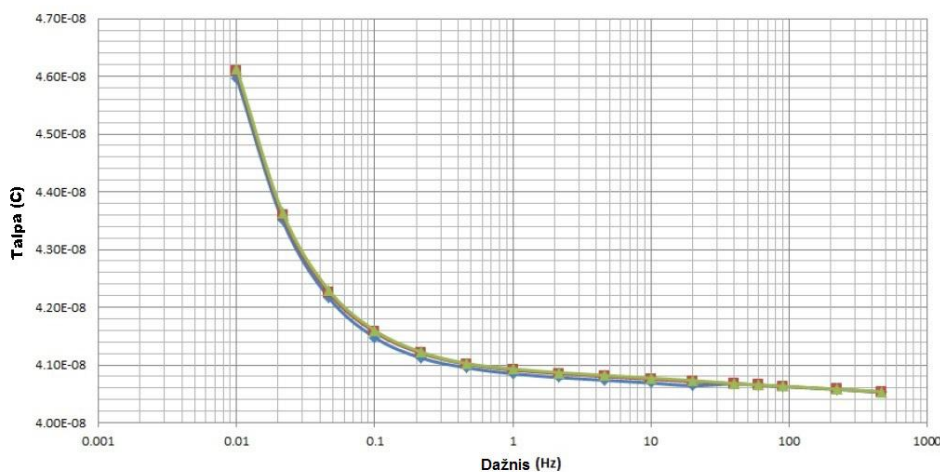
2.16 pav. Dielektrinių nuostolių metodo jungimo schema

2.3 lentelė. Dielektrinių nuostolių metodas. Tanδ, kabelio talpos ir galios koeficiento visų matavimų reikšmės

Dažnis, Hz	Tanδ	Kabelio talpumas, C	Galios koeficientas
$4,71 \times 10^{+2}$	$3,93 \times 10^{-3}$	$4,05 \times 10^{-8}$	$3,93 \times 10^{-3}$
$2,22 \times 10^{+2}$	$3,07 \times 10^{-3}$	$4,06 \times 10^{-8}$	$3,07 \times 10^{-3}$
$9,04 \times 10^{+1}$	$2,64 \times 10^{-3}$	$4,06 \times 10^{-8}$	$2,64 \times 10^{-3}$
$6,02 \times 10^{+1}$	$2,58 \times 10^{-3}$	$4,07 \times 10^{-8}$	$2,58 \times 10^{-3}$
$4,00 \times 10^{+1}$	$2,55 \times 10^{-3}$	$4,07 \times 10^{-8}$	$2,55 \times 10^{-3}$
$2,00 \times 10^{+1}$	$2,72 \times 10^{-3}$	$4,07 \times 10^{-8}$	$2,72 \times 10^{-3}$
$1,00 \times 10^{+1}$	$2,89 \times 10^{-3}$	$4,07 \times 10^{-8}$	$2,89 \times 10^{-3}$
4,64	$3,47 \times 10^{-3}$	$4,07 \times 10^{-8}$	$3,47 \times 10^{-3}$
2,16	$4,76 \times 10^{-3}$	$4,08 \times 10^{-8}$	$4,76 \times 10^{-3}$
1,00	$7,37 \times 10^{-3}$	$4,09 \times 10^{-8}$	$7,37 \times 10^{-3}$
$4,64 \times 10^{-1}$	$1,25 \times 10^{-2}$	$4,10 \times 10^{-8}$	$1,25 \times 10^{-3}$
$2,15 \times 10^{-1}$	$2,21 \times 10^{-2}$	$4,11 \times 10^{-8}$	$2,21 \times 10^{-2}$
$1,00 \times 10^{-1}$	$3,92 \times 10^{-2}$	$4,15 \times 10^{-8}$	$3,92 \times 10^{-2}$
$4,64 \times 10^{-2}$	$6,76 \times 10^{-2}$	$4,22 \times 10^{-8}$	$6,74 \times 10^{-2}$
$2,15 \times 10^{-2}$	$1,10 \times 10^{-1}$	$4,35 \times 10^{-8}$	$1,10 \times 10^{-1}$
$1,00 \times 10^{-2}$	$1,66 \times 10^{-1}$	$4,60 \times 10^{-8}$	$1,64 \times 10^{-1}$



2.17 pav. Dielektrinių nuostolių metodas. Visų Tanδ matavimų reikšmių diagrama



2.18 pav. Dielektrinių nuostolių metodas. Kabelio talpos visų matavimų reikšmių diagrama

Matavimai buvo atlikti įvairiai keičiant jungimo tvarką. Gauti rezultatai yra beveik identiški ir nepriklausomi, nepaisant mechaninių jungčių skirtumų.

Remiantis matavimais, kurie buvo atlikti įrenginiu „IDA 200“, kreivių formos ir minimalios $\tan\delta$ reikšmės ($\approx 0,00255$) leidžia teigti, kad kabelio drėgmė yra maža. Tai reiškia, kad kabelio ekranas yra atsparus vandeniui arba kabelis nėra pažeistas vandens ar drėgmės. Toliau pateikiamas kabelio drėgmės skaičiavimas.

$$\text{Drėgmės kiekis} = D + E \times \ln(\tan\delta_{\min}), \text{ kur } D = 15,297; E = 2,5327 \text{ ir } \delta_{\min} = 0,0025476$$

$$\text{Drėgmės kiekis} = 15,297 + 2,5327 \times \ln(0,0025476) = 0,1701870156 \approx \mathbf{0,170\%}$$

$\tan\delta$ ir elektrinės talpos visų trijų matavimų reikšmės pastovios. Nėra didesnių svyravimų, reikšmės 2.17 ir 2.18 pav. pavaizduotose kreivėse sutampa.

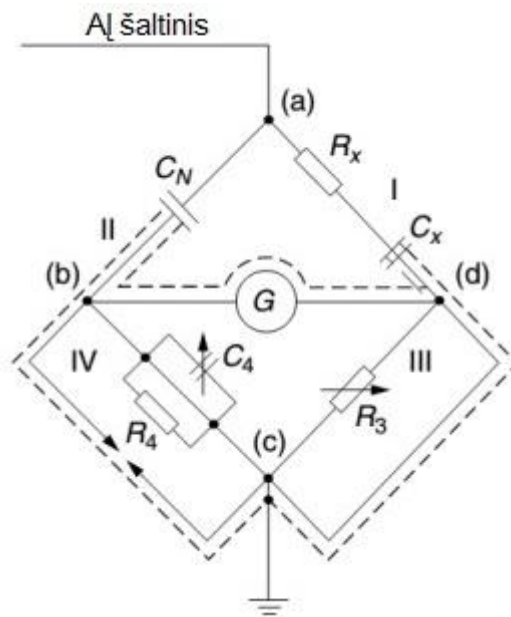
2.2.7. Dielektrinių nuostolių tyrimas 50 Hz dažniu

Dielektrinių nuostolių antrojo bandymo metu dažnis buvo pastovus (50 Hz), tačiau buvo keičiama įvesties įtampa nuo 1 kV iki 12 kV. Šiuo atveju, vadovaujantis 2.19 pav. pavaizduota grandine, buvo matuojamas kabelio nuostolių koeficientas R_x ir talpa C_x . Kiti parametrai: C_N – žinoma talpa; R_4 – žinoma varža; R_3 – keičiama varža; C_4 – keičiama talpa. R_3 ir C_4 parametrai priderinami taip, kad ommetro, prijungto tarp taškų b ir d, rodoma srovė būtų lygi 0. Taip atsitinka, kai įtampa b ir d taškuose tampa lygi. Tokiu atveju grandinės *tiltas* yra subalansuotas. Tad galima gauti tokius ryšius:

$$C_x = C_N \frac{R_4}{R_3} \quad (2.2)$$

$$R_x = R_3 \frac{C_4}{C_N} \quad (2.3)$$

Didėjant įtampai, didėja ir elektros nuostoliai dėl kabelio izoliacijos. Esant 12 kV įtampai, balansas nebuvo pasiektas dėl galimo dielektrike įvykusio dalinio išlydžio.



2.19 pav. Dielektrinių nuostolių metodas. Matavimo grandinė

2.4 lentelė. Dielektrinių nuostolių metodas. Matavimo duomenų, gautų keliant įtampą, lentelė

Įvesties įtampa (kV)	R ₄ Ω	R ₃ Ω	C ₄ μF	tanδ	C _x nF	R _x kΩ
1.00	408.17	1.0	1.0	2.44×10^{-3}	40.84	10.032
5.00	408.28	1.0	1.07	2.60×10^{-3}	40.69	10.730
10.00	408.28	1.0	1.07	2.60×10^{-3}	40.69	10.730
12.00*	408.38	1.0	1.11	2.71×10^{-3}	40.70	11.160

3. VILNIAUS MIESTO PIETINIO SKYRIAUS (VMPS) 10 KV ELEKTROS TINKLO SCHEMOS, ĮVAIRIŲ GALIMŲ KONFIGŪRACIJŲ ĮVERTINUS AUTOMATINIO REZERVO ĮVEDIMO GALIMYBES (ARĮ) PATIKIMUMO ANALIZĖ

3.1. Aprūpinimo elektros energija patikimumas

Patikimumas, vadovaujantis standartu IEEE PES, yra apibrėžiamas kaip „tikimybė, kad prietaisas ar sistema tinkamai atliks savo funkciją tam tikrą jam skirtą laikotarpį pagal nustatytas eksploatacines sąlygas“, (J. Endrenyi, “Reliability Modeling in Electric Power Systems,” John Wiley, New York, 1978).

Lietuvos energetikos įstatyme yra pažymėta, kad elektros skirstymo įmonė – operatorė yra įsipareigojusi patikimai tiekti elektros energiją visiems Lietuvos gyventojams: „Skirstomųjų tinklų operatorius privalo: ... 3) techniškai eksploatuoti, prižiūrėti, valdyti ir plėtoti skirstomuosius tinklus bei jungiamąsias linijas su kitais tinklais, užtikrindamas patikimą skirstomųjų tinklų įrenginių darbą, efektyvų ir saugų tiekimą, laikydamasis aplinkos apsaugos reikalavimų“ (LR energetikos įstatymas, 21 str., 3 dalis, 2000).

Lietuvos energetikos instituto 2006 m. pateiktoje dr. A. Klementavičiaus „Aprūpinimo elektra patikimumo lygio techninėje-ekonominėje analizėje“ teigiama, kad aprūpinimo elektra patikimumas yra labai veikiamas paskatos mažinti elektros skirstomųjų tinklų infrastruktūros išlaidas. Operatorius mažina elektros kainą, mažindamas investicijas į tinklo priežiūrą, remontą ar plėtrą. Todėl tinklo patikimumas atitinkamuose taškuose mažėja dėl elektrinių išdėstymo, nepakankamos galios, elektros tinklų pralaidumo. Kita vertus, augant operatoriaus investicijoms į tinklo priežiūrą, atitinkamai didėja ir aprūpinimo elektros energija patikimumas bei elektros kaina. Ap(si)rūpinimo elektra patikimumas gali būti vertinamas kaip vartotojo teisė gauti paslaugą ir kaip elektros tinklo veikimo charakteristika. Tad patikimumas gali būti nagrinėjamas ir prižiūrimas vadovaujantis dviem principais: pagal vartotojui suteiktos paslaugos kokybę ir pagal elektros tinklo veikimo charakteristikas.

Elektros tinklo patikimumas priklauso nuo įvairių aspektų, tokių kaip schemos sujungimo variantas, įrenginių senumas, jų techninės priežiūros kokybė, aplinkos sąlygos. Trumpėjant įrenginių eksploatacijos laikui, mažėja ir patikimumas, daugėja pertrūkių, ilgėja jų trukmė. „Patikimumo analizė – viena sudėtinių techninės analizės dalių, leidžianti kiekybiškai įvertinti energijos tiekimo sistemos patikimumo parametrus bei numatyti galimų avarių dažnį ir pasekmes, identifikuojant pavojingiausias sistemos vietas.“ (Centralizuotų šilumos tinklų patikimumo vertinimo metodika, 2008, p. 5).

3.2. Patikimumo įvertinimo metodiniai reikalavimai

Lietuvoje elektros tiekimo patikimumą reglamentuoja Valstybinės kainų ir energetikos kontrolės komisijos 2009 m. birželio 11 d. priimtas nutarimas Nr. O3-75 „Elektros energijos persiuntimo patikimumo ir paslaugų kokybės reikalavimai“, kuriame nustatomi perdavimo sistemos operatoriaus ir skirstomųjų tinklų operatorių elektros energijos persiuntimo patikimumo bei operatorių ir elektros energijos tiekėjų paslaugų, tiesiogiai susijusių su jų licencijoje ar leidime nustatyta veikla, kokybės rodikliai ir jų vertinimo tvarka.

Remiantis nutarimu, šiame darbe vartojamos tokios bendrosios sąvokos:

Elektros energijos persiuntimo patikimumas – elektros energijos persiuntimas (perdavimas ir (ar) skirstymas), apibūdinamas persiuntimo pertrūkių dažnumu ir trukme.

Elektros energijos persiuntimo iš perdavimo tinklo (į perdavimo tinklą) vieta – tai nuosavybės ribų akte nustatyta perdavimo ir skirstomųjų tinklų skiriamoji vieta.

Elektros energijos persiuntimo nutraukimo (toliau – nutraukimo) tipas – planuotas arba neplanuotas elektros energijos persiuntimo nutraukimas.

Planuotas nutraukimas – nutraukimas, apie kurį vartotojas buvo informuotas teisės aktuose arba sutartyje nustatytu laiku ir būdu.

Neplanuotas nutraukimas – 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.

Perrūkio pradžia – nutraukimo pradžios laikas, užfiksuotas automatinio arba rankiniu būdu.

Pertrūkio pabaiga – nutraukimo pabaigos laikas, užfiksuotas automatinio arba rankiniu būdu.

Pertrūkio trukmė – laikas nuo nutraukimo pradžios iki nutraukimo pabaigos.

Trumpas pertrūkis – pertrūkis, kurio trukmė ilgesnė nei tinklų automatikos įsijungimo trukmė ir trumpesnė nei 3 min.

Ilgas pertrūkis – pertrūkis, kurio trukmė lygi 3 min arba ilgesnė nei 3 min.

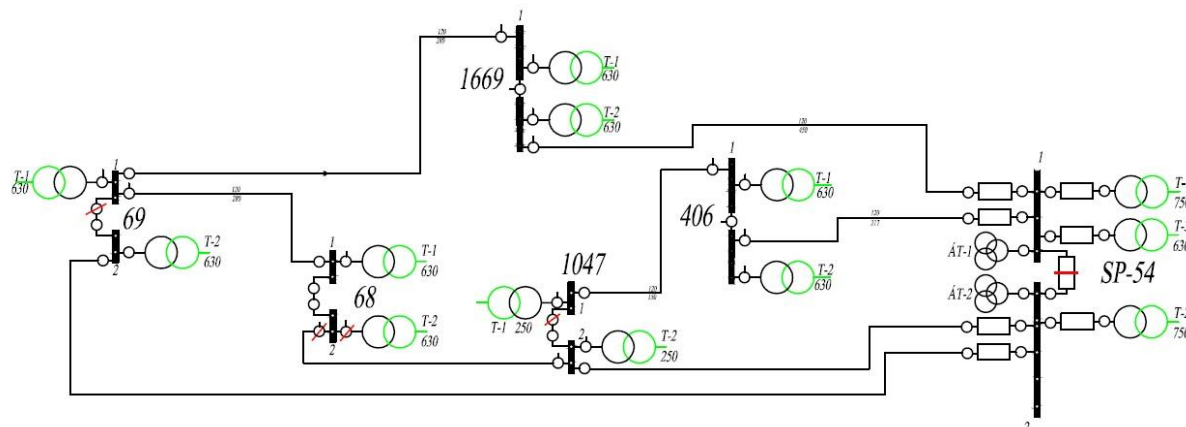
Elektros energijos persiuntimo atnaujinimo laikas – laikas, per kurį vartotojui buvo atnaujintas elektros energijos persiuntimas po nutraukimo.

3.3. Vilniaus miesto pietinio skyriaus pastotės schemos dalies gedimo medis

3.3.1. Schemos konfigūracijos ir parametrai

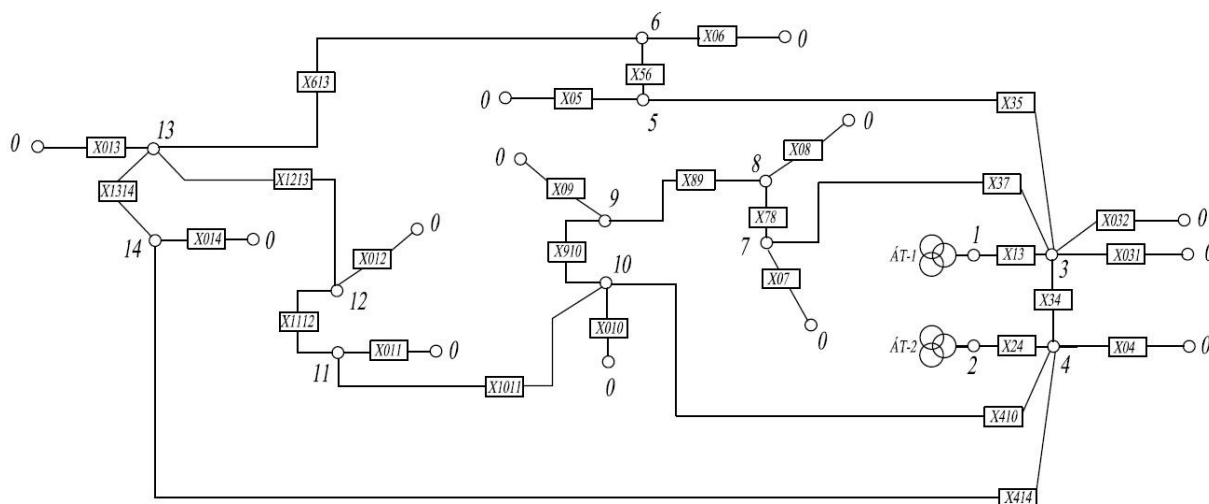
Patikimumui nustatyti yra apskaičiuojami lygiagrečiai ir nuosekliai sujungtų elementų veikimo tikimybių įverčiai. Nuosekliai sujungtų elementų veikimo tikimybės gali būti ryšio linija

tarp dviejų šynų. Šioje grandinėje gali būti komutavimo aparatas, kabelis, transformatorius ir pan. Lygiagrečias grandines sudaro elektros energijos srauto galimi alternatyvūs keliai, t. y. elektros tiekimo patikimumą didinančios šakos, kurios gali rezervuoti pagrindinę liniją.



3.1 pav. Vilniaus miesto pietinio skyriaus tinklo SP-54 skirstyklos ir jos prijunginių schema

Ekvivalentinis gedimų medis, sudarytas tik skirstyklos jungčių schemai pavaizduoti, pateikiamas 3.2 pav. Jis susideda iš mazgų ir šakų. Medžio šakose yra nurodyti nuosekliai sujungtų elementų gedimo tikimybių įverčiai.



3.2 pav. Vilniaus miesto pietinio skyriaus tinklo SP-54 skirstyklos ir jos prijunginių gedimų medis

Vilniaus miesto pietinio skyriaus tinklo SP-54 transformatorių pastotės ir prijungtų transformatorinių gedimų medžio schemas svarbiausių mazgų žymės:

- 0 – per transformatorius prijungtos apkrovos.
- 1 – trijų apvijų galios autotransformatorius AT-1.
- 2 – trijų apvijų galios autotransformatorius AT-2.
- 3 – SP-54 10 kV įtampos transformatorių pastotės I šynų sekcija.
- 4 – SP-54 10 kV įtampos transformatorių pastotės II šynų sekcija.
- 5, 6 – 1 669 transformatorinės 10 kV įtampos šynos.

- 7, 8 – 406 transformatorinės 10 kV įtampos šynos.
- 9 – 1 047 transformatorinės 10 kV įtampos I šynų sekcija.
- 10 – 1 047 transformatorinės 10 kV įtampos II šynų sekcija.
- 11 – 68 transformatorinės 10 kV įtampos II šynų sekcija.
- 12 – 68 transformatorinės 10 kV įtampos I šynų sekcija.
- 13 – 69 transformatorinės 10 kV įtampos I šynų sekcija.
- 14 – 69 transformatorinės 10 kV įtampos II šynų sekcija.

Toliau pateikiama nuosekliai sujungtų elementų šakose tarp kontroliuojamų mazgų gedimų specifikacija:

- X031, X032, X04, X05, X06, X07, X08, X09, X010, X011, X012, X013, X014 – ryšio su vartotojų elektros tinklais gedimo tikimybių įverčiai;
- X13, X24 – autotransformatorių prijungimo prie 10 kV pastotės skirstomojo punkto gedimo tikimybių įverčiai;
- X34, X56, X78, X910, X1112, X1314 – sekcijų ryšio gedimo tikimybių įverčiai: X34 – SP-54 transformatorinės pastotės sekcijų ryšys; X56 – 1 669 transformatorinės sekcijų ryšys; X78 – 406 transformatorinės sekcijų ryšys; X910 – 1 047 transformatorinės sekcijų ryšys; X1112 – 68 transformatorinės sekcijų ryšys; X1314 – 69 transformatorinės sekcijų ryšys;
- X35 – nuosekliai sujungtų elementų tarp SP-54 transformatorinės pastotės I sekcijos ir 1 669 transformatorinės šynų šakos gedimo tikimybių įverčiai;
- X37 – nuosekliai sujungtų elementų tarp SP-54 transformatorinės pastotės I sekcijos ir 406 transformatorinės šynų šakos gedimo tikimybių įverčiai;
- X410 – nuosekliai sujungtų elementų tarp SP-54 transformatorinės pastotės II sekcijos ir 1 047 transformatorinės II sekcijos šakos gedimo tikimybių įverčiai;
- X414 – nuosekliai sujungtų elementų tarp SP-54 transformatorinės pastotės II sekcijos ir 69 transformatorinės II sekcijos šakos gedimo tikimybių įverčiai;
- X613 – nuosekliai sujungtų elementų tarp 1 669 transformatorinės šynų ir 69 transformatorinės I sekcijos šakos gedimo tikimybių įverčiai;
- X89 – nuosekliai sujungtų elementų tarp 406 transformatorinės šynų ir 1047 transformatorinės I sekcijos šakos gedimo tikimybių įverčiai;
- X1011 – nuosekliai sujungtų elementų tarp 1 047 transformatorinės II sekcijos ir 68 transformatorinės II sekcijos šakos gedimo tikimybių įverčiai;
- X1213 – nuosekliai sujungtų elementų tarp 68 transformatorinės I sekcijos ir 69 transformatorinės I sekcijos šakos gedimo tikimybių įverčiai.

Žinant gedimų dažnį, galima išsiaiškinti įtampos dingimo tikimybių įverčius tam tikruose schemos taškuose. Tuomet jau galima lengvai apskaičiuoti kiekvieno taško aprūpinimo elektra patikimumą:

$$P_n = 1 - P_{fn} \quad (3.1)$$

čia P_n – aprūpinimo elektra patikimumas;

P_{fn} – tikimybė, kad dings įtampa.

Normalusis veikimo režimas nurodo stacionaraus tinklo jungčių būklę normaliomis sąlygomis, kai tinklo vartotojų patikimumas, galios srautai ir įtampos yra subalansuotos.

Normaliojo veikimo režimu veikiančiame nurodytame tinkle yra išjungti šie įrenginiai: SP-54 transformatorių pastotės sekcijos jungtuvas, 1 047 transformatorinės sekcijos skyriklis, 69 transformatorinės sekcijos skyriklis, 68 transformatorinė, linijos tarp 68 ir 1 047 transformatorių, II sekcijos skyriklis ir 68 transformatorinės II sekcijos skyriklis, nukreipiantis į transformatorių T-2. Šiuo režimu abu autotransformatoriai veikia.

Žinant iš eksploataavimo duomenų gautą gedimų dažnį, galima apskaičiuoti kiekvieno schemos taško patikimumą.

Transformatorių pastotę SP-54 ir visas kitas nurodyto tinklo transformatorines jungia aštuonios 120 mm² storio 10 kV kabelinės elektros linijos. Atstumas tarp prijunginių siekia kelis šimtus metrų.

Kabelinių linijų ilgis tarp prijunginių yra toks:

- tarp SP-54 ir 1 669 – 450 m;
- tarp SP-54 ir 406 – 217 m;
- tarp SP-54 ir 1 047 – 270 m;
- tarp SP-54 ir 69 – 510 m;
- tarp 1 669 ir 69 – 280 m;
- tarp 406 ir 1 047 – 150 m;
- tarp 1 047 ir 68 – 140 m;
- tarp 68 ir 69 – 280 m.

Turint tikslius elektros tinklo duomenis ir žinant vidutinį gedimų dažnį Lietuvos sąlygomis, galima apskaičiuoti schemos patikimumą atskiroje linijoje ir apskritai. Kiekvienoje elektros linijoje tarp transformatorinių ir transformatorių pastočių gali būti komutacinių įrenginių, kabelinių linijų, transformatorių ir pan.

Remiantis 2012 m. monitoringo ataskaita „Tiekimo saugumo Lietuvos elektros energijos rinkoje“ ir 10/0,4 kV transformatorinių gedimų statistika Lietuvoje, iš 100 transformatorių sugedo 1,84, arba vidutiniškai gedimų dažnis buvo 0,0184.

Galima teigti, kad Lietuvos sąlygomis 100 km kabelių linijai tenka 0,37 gedimo. Komutavimo aparatų gedimų dažnis, statistikos duomenimis, yra 0,046 gedimo 100-tui aparatų.

Buvo apskaičiuoti elektros linijų gedimo tikimybių įverčiai:

Tarp SP-54 ir 1 669 (linija ir 4 komutaciniai aparatai):

$$X_{35} = \frac{0,37 \times 0,45}{100} + 0,00046 \times 4 = 0,00351.$$

Tarp SP-54 ir 406 (linija ir 4 komutaciniai aparatai):

$$X_{37} = \frac{0,37 \times 0,217}{100} + 0,00046 \times 4 = 0,00264.$$

Tarp SP-54 ir 1 047 (linija ir 4 komutaciniai aparatai):

$$X_{410} = \frac{0,37 \times 0,27}{100} + 0,00046 \times 4 = 0,00284.$$

Tarp SP-54 ir 69 (linija ir 4 komutaciniai aparatai):

$$X_{414} = \frac{0,37 \times 0,51}{100} + 0,00046 \times 4 = 0,00373.$$

Tarp 1 669 ir 69 (linija ir 2 komutaciniai aparatai):

$$X_{613} = \frac{0,37 \times 0,28}{100} + 0,00046 \times 2 = 0,00196.$$

Tarp 406 ir 1 047 (linija ir 2 komutaciniai aparatai):

$$X_{89} = \frac{0,37 \times 0,15}{100} + 0,00046 \times 2 = 0,00148.$$

Tarp 1 047 ir 68 (linija ir 2 komutaciniai aparatai):

$$X_{1011} = \frac{0,37 \times 0,14}{100} + 0,00046 \times 2 = 0,00144.$$

Tarp 68 ir 69 (linija ir 2 komutaciniai aparatai):

$$X_{1213} = \frac{0,37 \times 0,28}{100} + 0,00046 \times 2 = 0,00196.$$

Buvo apskaičiuoti transformatorinių sekcijų ryšių gedimo tikimybių įverčiai:

Tarp SP-54 sekcijų (2 komutaciniai aparatai):

$$X_{34} = 0,00046 \times 2 = 0,00092.$$

Tarp 1 669 transformatorinės sekcijų (1 komutacinis aparatas):

$$X_{56} = 0,00046.$$

Tarp 406 transformatorinės sekcijų (1 komutacinis aparatas):

$$X_{78} = 0,00046.$$

Tarp 1 047 transformatorinės sekcijų (2 komutaciniai aparatai):

$$X_{910} = 0,00046 \times 2 = 0,00092.$$

Tarp 68 transformatorinės sekcijų (2 komutaciniai aparatai):

$$X_{1112} = 0,00046 \times 2 = 0,00092.$$

Tarp 69 transformatorinės sekcijų (2 komutaciniai aparatai):

$$X_{1314} = 0,00046 \times 2 = 0,00092.$$

Buvo apskaičiuoti vartotojo maitinimo šakų gedimo tikimybių įverčiai:

Iš SP-54 sekcijų (3 komutaciniai aparatai):

$$X_{031} = X_{032} = X_{04} = 0,0184 + 0,00046 \times 3 = 0,01978.$$

Iš 1 669 transformatorinės sekcijų (1 komutacinis aparatas):

$$X_{05} = X_{06} = 0,0184 + 0,00046 \times 1 = 0,01886.$$

Iš 406 transformatorinės sekcijų (1 komutacinis aparatas):

$$X_{07} = X_{08} = 0,0184 + 0,00046 \times 1 = 0,01886.$$

Tarp 1 047 transformatorinės sekcijų (1 komutacinis aparatas):

$$X_{09} = X_{010} = 0,0184 + 0,00046 \times 1 = 0,01886.$$

Tarp 68 transformatorinės sekcijų (1 komutacinis aparatas):

$$X_{011} = X_{012} = 0,0184 + 0,00046 \times 1 = 0,01886.$$

Tarp 69 transformatorinės sekcijų (1 komutacinis aparatas):

$$X_{013} = X_{014} = 0,0184 + 0,00046 \times 1 = 0,01886.$$

Iš autotransformatoriaus AT-1 (1 komutacinis aparatas):

$$X_{13} = 0,0184 + 0,00046 \times 1 = 0,01886.$$

Iš autotransformatoriaus AT-2 (1 komutacinis aparatas):

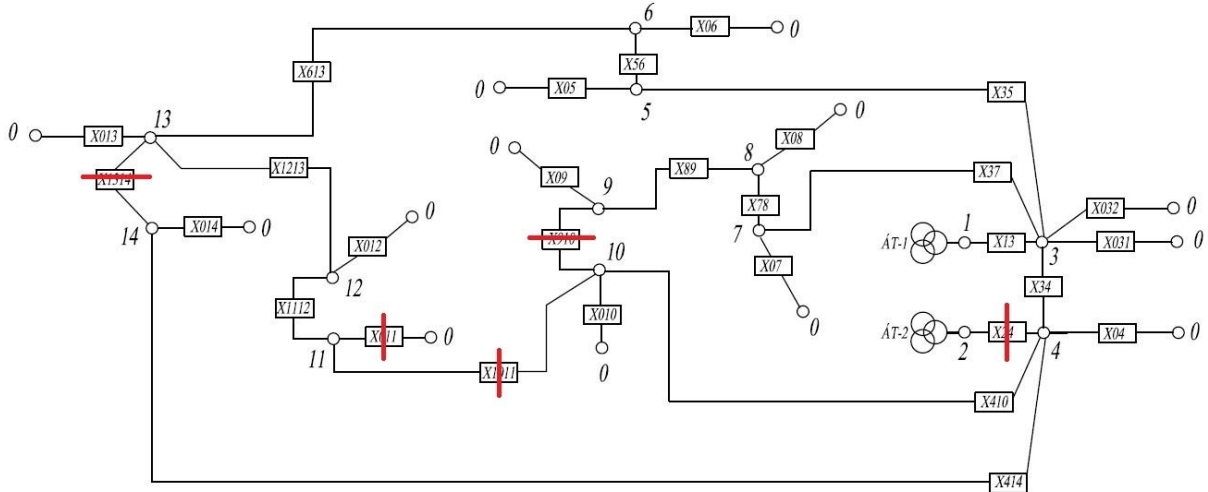
$$X_{24} = 0,0184 + 0,00046 \times 1 = 0,01886.$$

3.3.2. Elektros tinklo gedimų tikimybių įverčių, dažnio ir aprūpinimo elektra patikimumo apskaičiavimas pagal įvairias sujungimo konfigūracijas

Ijungus į darbo režimą daugiau anksčiau išvardytų nurodyto tinklo įrenginių, pasikeičia ir gedimo tikimybių įverčiai bei aprūpinimo elektra patikimumas. Taigi, įvairiomis konfigūracijomis sujungto tinklo gedimo tikimybių įverčius ir aprūpinimo elektros energija patikimumo atitinkamuose tinklo taškuose įverčius galima apskaičiuoti pagal 3.2.1–3.2.4 formules. Jos gaunamos vadovaujantis turima gedimų medžio schema.

3.3.2.1. Maitinimo šaltinis AT-1

3.3 pav. yra pateikti aprūpinimo elektros energija patikimumo įverčiai, gauti esant skirtingiems tinklo prijungimo variantams, kai veikia tik maitinimo autotransformatorius AT-1 (AT-2 išjungtas), o SP-54 transformatorinės pastotės sekcijų jungtuvai įjungtas.



3.3 pav. VMPS spindulinės konfigūracijos tinklo gedimų medis

Tikimybė, kad	Išraiška
nėra įtampos 13 taške	$X_{13} + X_{35} + X_{56} + X_{613}$
nėra įtampos 9 taške	$X_{13} + X_{37} + X_{78} + X_{89}$
nėra įtampos 10 taške	$X_{13} + X_{34} + X_{410}$
nėra įtampos 14 taške	$X_{13} + X_{34} + X_{414}$

Darome prielaidą, kad gedimo tikimybė labai maža, o aprūpinimo elektra patikimumo įvertis gana aukštas. Pažymėję $X_i = q_i$ gauname, kad, pvz., įtampos nebus 13 taške:

$$P_{f13} = q_{13} + q_{35} + q_{56} + q_{613}; \quad (3.2.1)$$

$$P_{13} = 1 - P_{f13};$$

$$P_{13} = 0,97521;$$

arba 9 taške:

$$P_{f9} = q_{13} + q_{37} + q_{78} + q_{89}; \quad (3.2.2)$$

$$P_9 = 1 - P_{f9};$$

$$P_9 = 0,97656;$$

arba 10 taške:

$$P_{f10} = q_{13} + q_{34} + q_{410}; \quad (3.2.3)$$

$$P_{10} = 1 - P_{f10};$$

$$P_{10} = 0,97738;$$

arba 14 taške:

$$P_{f14} = q_{13} + q_{34} + q_{414}; \quad (3.2.4)$$

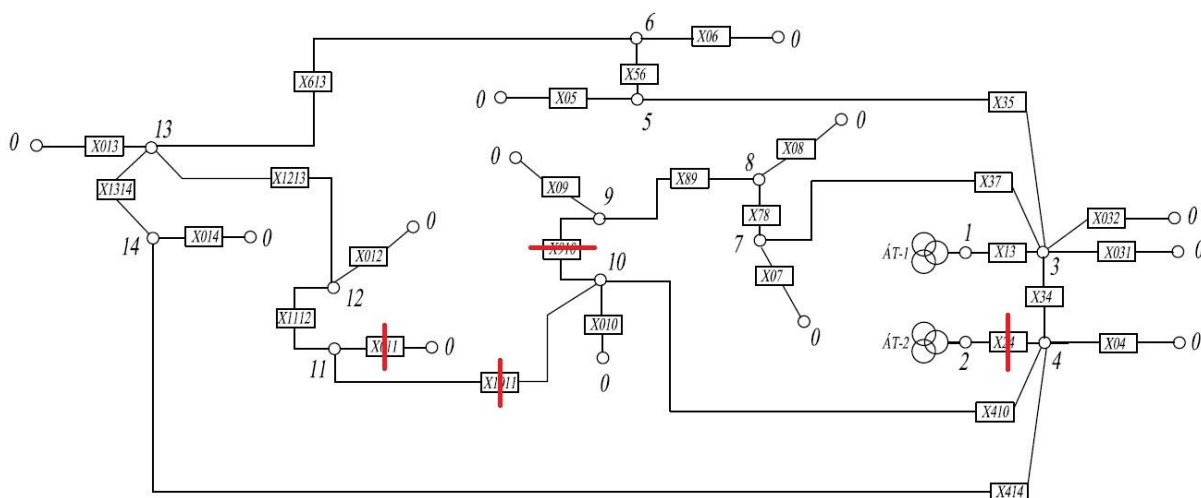
$$P_{14} = 1 - P_{f14};$$

$$P_{14} = 0,97649.$$

Čia P_n – aprūpinimo elektra patikimumas;

P_{fn} – tikimybė, kad dings įtampa.

3.4 pav. galima matyti gedimų tikimybių įverčius, gautus, kai nurodytame tinkle yra įjungtas 69 transformatorinės sekcijų skyriklis.



3.4 pav. VMPS 1-osios konfiguracijos tinklo gedimų medis, kai veikia AT-1

Tikimybė, kad	Išraiška
nėra įtampos 13 taške	$X_{13} + (X_{35} + X_{56} + X_{613}) \times (X_{34} + X_{414} + X_{1314})$
nėra įtampos 11 taške	$X_{13} + (X_{35} + X_{56} + X_{613}) \times (X_{34} + X_{414} + X_{1314}) + X_{1213} + X_{1112}$
nėra įtampos 5 taške	$X_{13} + X_{35} \times (X_{34} + X_{414} + X_{1314} + X_{613} + X_{56})$

Darome prielaidą, kad gedimo tikimybė labai maža, o aprūpinimo elektra patikimumo įvertis gana aukštas. Pažymėję $X_i = q_i$ gauname, kad, pvz., įtampas nebus 13 taške:

$$P_{f13} = q_{13} + (q_{35} + q_{56} + q_{613}) \times (q_{34} + q_{414} + q_{1314}); \quad (3.3.1)$$

$$P_{13} = 1 - P_{f13};$$

$$P_{13} = 0,98111;$$

arba 11 taške:

$$P_{f11} = q_{13} + (q_{35} + q_{56} + q_{613}) \times (q_{34} + q_{414} + q_{1314}) + q_{1213} + q_{1112}; \quad (3.3.2)$$

$$P_{11} = 1 - P_{f11};$$

$$P_{11} = 0,97823;$$

arba 5 taške:

$$P_{f5} = q_{13} + q_{35} \times (q_{34} + q_{414} + q_{1314} + q_{613} + q_{56}); \quad (3.3.3)$$

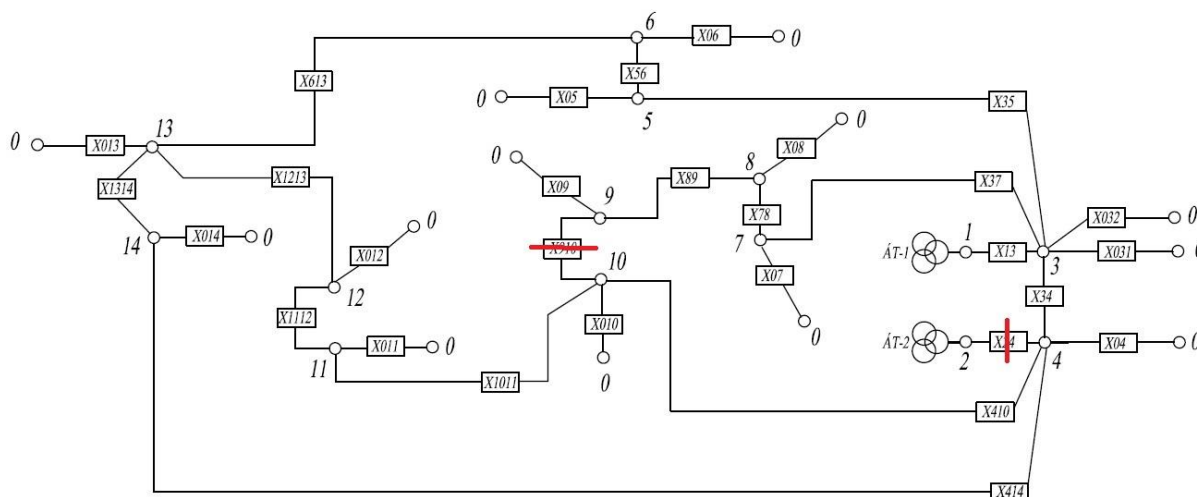
$$P_5 = 1 - P_{f5};$$

$$P_5 = 0,98111.$$

Čia P_n – aprūpinimo elektra patikimumas;

P_{fn} – tikimybė, kad dings įtampa.

3.5 pav. galima matyti gedimo tikimybių įverčius, gautus, kai nurodytame tinkle yra įjungtas 69 transformatorinės sekcijų skyriklis, 68 transformatorinė, linijos tarp 68 ir 1 047 transformatorinių bei II sekcijos skyriklis.



3.5 pav. VMPS 2-osios konfigūracijos tinklo gedimų medis, kai veikia AT-1

Tikimybē, kad	Išraiška
nēra ītampos 13 taške	$X_{13} + (X_{35} + X_{56} + X_{613}) \times (X_{34} + (X_{414} + X_{1314}) \times (X_{410} + X_{1011} + X_{1112} + X_{1213}))$
nēra ītampos 10 taške	$X_{13} + ((X_{35} + X_{56} + X_{613}) \times (X_{34} + X_{414} + X_{1314}) + X_{1213} + X_{1112} + X_{1011}) \times (X_{34} + X_{410})$
nēra ītampos 5 taške	$X_{13} + X_{35} \times (X_{34} + (X_{414} + X_{1314}) \times (X_{410} + X_{1011} + X_{1112} + X_{1213}) + X_{613} + X_{56})$

Darome prielaidā, kad gedimo tikimybē labai maža, o aprūpinimo elektra patikimumo īvertis gana aukštas. Pažymējē $X_i = q_i$ gauname, kad, pvz., ītampos nebus 13 taške:

$$P_{f13} = q_{13} + (q_{35} + q_{56} + q_{613}) \times (q_{34} + (q_{414} + q_{1314}) \times (q_{410} + q_{1011} + q_{1112} + q_{1213})) \quad (3.4.1)$$

$$P_{13} = 1 - P_{f13};$$

$$P_{13} = 0,98113;$$

arba 10 taške:

$$P_{f10} = q_{13} + ((q_{35} + q_{56} + q_{613}) \times (q_{34} + q_{414} + q_{1314}) + q_{1213} + q_{1112} + q_{1011}) \times (q_{34} + q_{410}) \quad (3.4.2)$$

$$P_{10} = 1 - P_{f10};$$

$$P_{10} = 0,98113;$$

arba 5 taške:

$$P_{f5} = q_{13} + q_{35} \times (q_{34} + (q_{414} + q_{1314}) \times (q_{410} + q_{1011} + q_{1112} + q_{1213}) + q_{613} + q_{56}) \quad (3.4.3)$$

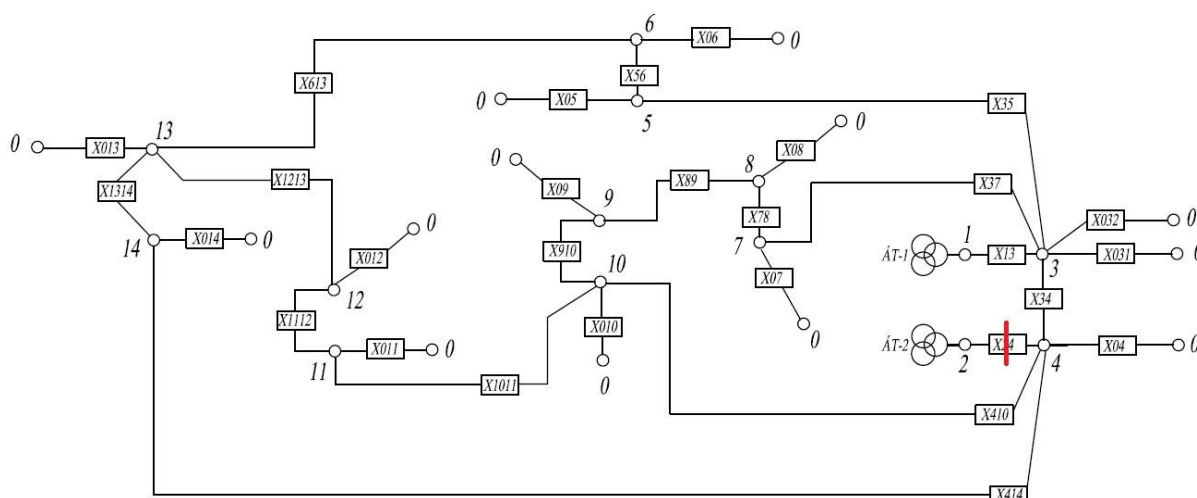
$$P_5 = 1 - P_{f5};$$

$$P_5 = 0,98113.$$

Čia P_n – aprūpinimo elektra patikimumas;

P_{fn} – tikimybē, kad dings ītampa.

3.6 pav. yra pateikti gedimo tikimybių įverčiai, gauti, kai nurodytame tinkle yra įjungtas 69 transformatorinės sekcijų skyriklis, 68 transformatorinė, linijos tarp 68 ir 1 047 transformatorinių, II sekcijos skyriklis ir 1047 transformatorinės sekcijų skyriklis



3.6 pav. VMPS 3-osios konfigūracijos tinklo gedimų medis, kai veikia AT-1

Tikimybė, kad	Išraiška
nėra įtampos 13 taške	$X_{13} + (X_{35} + X_{56} + X_{613}) \times ((X_{34} + X_{410}) \times (X_{37} + X_{78} + X_{89} + X_{910}) + X_{1011} + X_{1112} + X_{1213}) \times (X_{34} + X_{414} + X_{1314})$
nėra įtampos 10 taške	$X_{13} + ((X_{35} + X_{56} + X_{613}) \times (X_{34} + X_{414} + X_{1314}) + X_{1213} + X_{1112} + X_{1011}) \times ((X_{34} + X_{410}) \times (X_{37} + X_{78} + X_{89} + X_{910}))$
nėra įtampos 5 taške	$X_{13} + X_{35} \times ((X_{34} + X_{414} + X_{1314}) \times ((X_{34} + X_{410}) \times (X_{37} + X_{78} + X_{89} + X_{910}) + X_{1011} + X_{1112} + X_{1213}) + X_{613} + X_{56})$

Darome prielaidą, kad gedimo tikimybė labai mažos, o aprūpinimo elektra patikimumo įvertis gana aukštas. Pažymėję $X_i = q_i$ gauname, kad, pvz., įtampos nebus 13 taške:

$$P_{f13} = q_{13} + (q_{35} + q_{56} + q_{613}) \times ((q_{34} + q_{410}) \times (q_{37} + q_{78} + q_{89} + q_{910}) + q_{1011} + q_{1112} + q_{1213}) \times (q_{34} + q_{414} + q_{1314}) \quad (3.5.1)$$

$$P_{13} = 1 - P_{f13};$$

$$P_{13} = 0,98114;$$

arba 10 taške:

$$P_{f10} = q_{13} + ((q_{35} + q_{56} + q_{613}) \times (q_{34} + q_{414} + q_{1314}) + q_{1213} + q_{1112} + q_{1011}) \times ((q_{34} + q_{410}) \times (q_{37} + q_{78} + q_{89} + q_{910})) \quad (3.5.2)$$

$$P_{10} = 1 - P_{f10};$$

$$P_{10} = 0,98114;$$

arba 5 taške:

$$P_{f5} = q_{13} + q_{35} \times ((q_{34} + q_{414} + q_{1314}) \times ((q_{34} + q_{410}) \times (q_{37} + q_{78} + q_{89} + q_{910}) + q_{1011} + q_{1112} + q_{1213})) + q_{613} + q_{56} \quad (3.5.3)$$

$$P_5 = 1 - P_{f5};$$

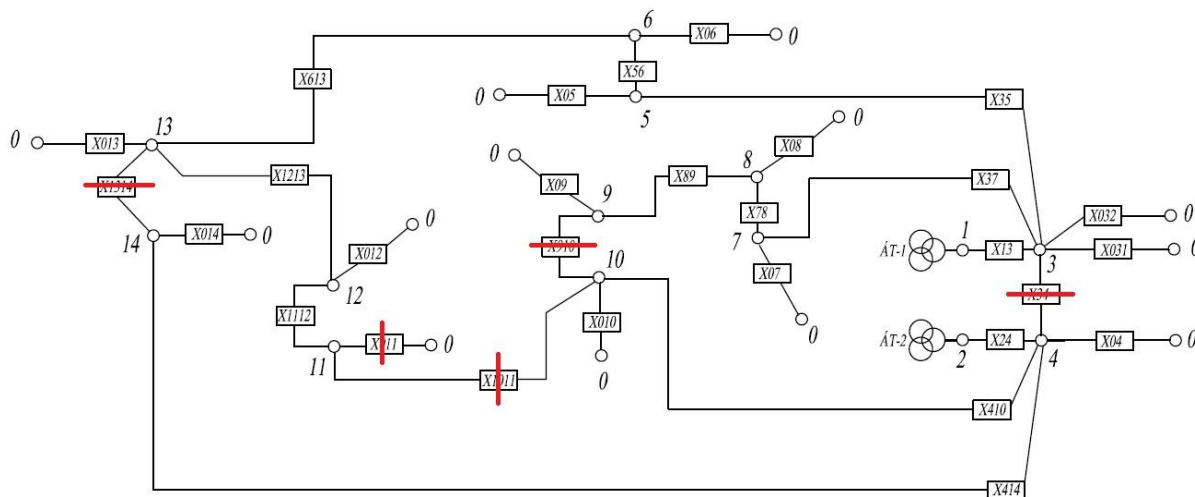
$$P_5 = 0,98113.$$

Čia P_n – aprūpinimo elektra patikimumas;

P_{fn} – tikimybė, kad dings įtampa.

3.3.2.2. MAITINIMO ŠALTINIAI AT-1 ir AT-2

3.7 pav. matyti aprūpinimo elektros energija patikimumo įverčiai, esant skirtingiems tinklo prijungimo variantams, kai veikia maitinimo autotransformatoriai AT-1 ir AT-2, o SP-54 transformatorinės pastotės sekcijų jungtuvas išjungtas. Taip pat nurodyti gedimo tikimybių įverčiai, kai tinklas dirba normaliuoju režimu.



3.7 pav. VMPS normaliuoju režimu dirbančio tinklo gedimų medis, kai veikia AT-1 ir AT-2

Tikimybė, kad	Išraiška
nėra įtampos 13 taške	X13+X35 +X56+X613
nėra įtampos 9 taške	X13+X37+X78+X89
nėra įtampos 10 taške	X24+X410
nėra įtampos 14 taške	X24+X414

Darome prielaidą, kad gedimo tikimybė labai maža, o aprūpinimo elektra patikimumo įvertis gana aukštas. Pažymėję $X_i = q_i$ gauname, kad, pvz., įtampos nebus 13 taške:

$$P_{f13} = q_{13} + q_{35} + q_{56} + q_{613}; \quad (3.6.1)$$

$$P_{13} = 1 - P_{f13};$$

$$P_{13} = 0,97521;$$

arba 9 taške:

$$P_{f9} = q_{13} + q_{37} + q_{78} + q_{89}; \quad (3.6.2)$$

$$P_9 = 1 - P_{f9};$$

$$P_9 = 0,97656;$$

arba 10 taške:

$$P_{f10} = q_{24} + q_{410}; \quad (3.6.3)$$

$$P_{10} = 1 - P_{f10};$$

$$P_{10} = 0,9783;$$

arba 14 taške:

$$P_{f14} = q_{24} + q_{414}; \quad (3.6.4)$$

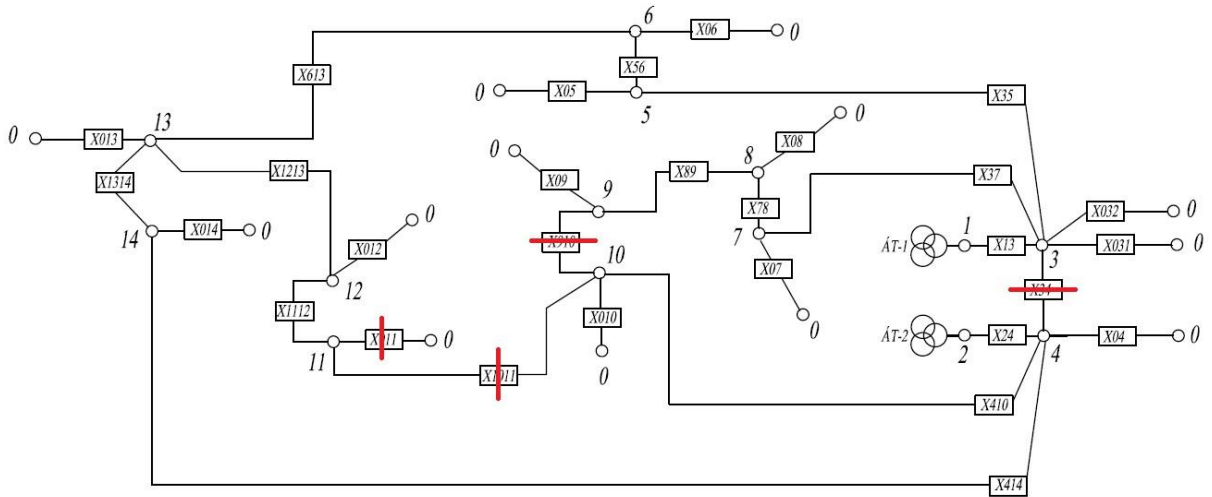
$$P_{14} = 1 - P_{f14};$$

$$P_{14} = 0,97741.$$

Čia P_n – aprūpinimo elektra patikimumas;

P_{fn} – tikimybė, kad dings įtampa.

3.8 pav. matyti gedimo tikimybių įverčiai, gauti, kai nurodytame tinkle yra įjungtas 69 transformatorinės sekcijų skyriklis.



3.8 pav. VMPS 1-osios konfigurācijas tīklo gedimū medis, kai veikia AT-1 ir AT-2

Tikimybē, kad	Išraiška
nēra ītampos 13 taške	$(X_{13}+X_{35} +X_{56}+X_{613})\times(X_{24}+X_{414}+X_{1314})$
nēra ītampos 11 taške	$(X_{13}+X_{35} +X_{56}+X_{613})\times(X_{24}+X_{414}+X_{1314})+X_{1213}+$ $+X_{1112}+X_{1011}$
nēra ītampos 5 taške	$(X_{13}+X_{35})\times(X_{24}+X_{414}+X_{1314}+X_{613}+X_{56})$

Darome prielaidā, kad gedimo tikimybē labai maža, o aprūpinimo elektra patikimumo īvertis gana aukstas. Pažymējē $X_i = q_i$ gauname, kad, pvz., ītampos nebus 13 taške:

$$P_{f13} = (q_{13} + q_{35} + q_{56} + q_{613}) \times (q_{24} + q_{414} + q_{1314}); \quad (3.7.1)$$

$$P_{13} = 1 - P_{f13};$$

$$P_{13} = 0,99942;$$

arba 11 taške:

$$P_{f11} = (q_{13} + q_{35} + q_{56} + q_{613}) \times (q_{24} + q_{414} + q_{1314}) + q_{1213} + q_{1112} + q_{1011}; \quad (3.7.2)$$

$$P_{11} = 1 - P_{f11};$$

$$P_{11} = 0,9951;$$

arba 5 taške:

$$P_{f5} = (q_{13} + q_{35}) \times (q_{24} + q_{414} + q_{1314} + q_{613} + q_{56}); \quad (3.7.3)$$

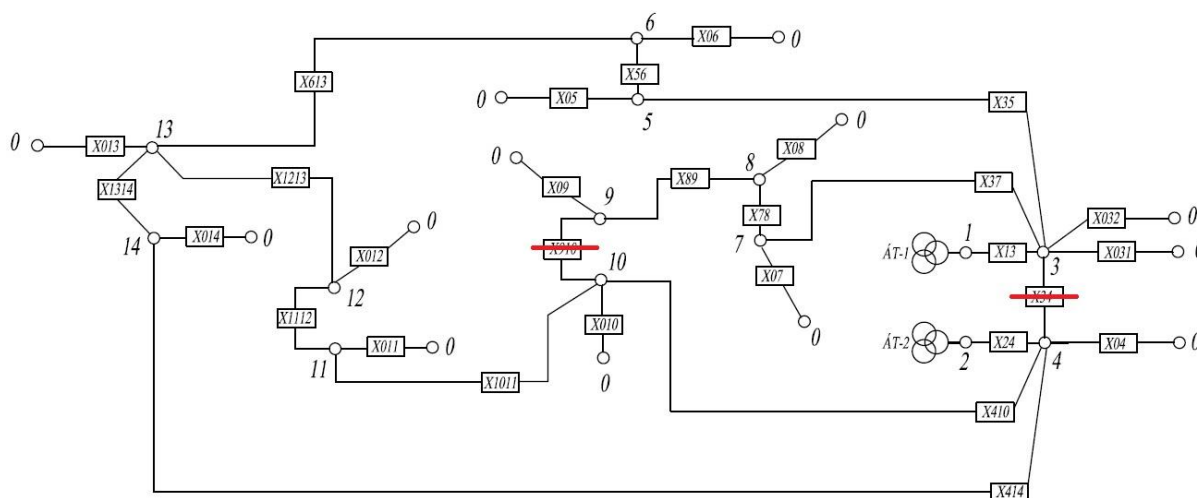
$$P_5 = 1 - P_{f5};$$

$$P_5 = 0,99942.$$

Čia P_n – aprūpinimo elektra patikimumas;

P_{fn} – tikimybė, kad dings įtampa.

Toliau 3.9 pav. matyti gedimo tikimybių įverčiai, gauti, kai nurodytame tinkle yra įjungtas 69 transformatorinės sekcijų skyriklis, 68 transformatorinė, linijos tarp 68 ir 1 047 transformatorinių bei II sekcijos skyriklis.



3.9 pav. VMPS 2-osios konfiguracijos tinklo gedimų medis, kai veikia AT-1 ir AT-2

Tikimybė, kad	Išraiška
nėra įtampos 13 taške	$(X_{13}+X_{35} +X_{56}+X_{613}) \times (X_{24}+(X_{414}+X_{1314})) \times (X_{410}+X_{1011}+X_{1112}+X_{1213})$
nėra įtampos 10 taške	$(X_{13}+X_{35} +X_{56}+X_{613}+X_{1213}+X_{1112}+X_{1011}) \times (X_{24}+X_{410} \times (X_{414}+X_{1314}+X_{1213}+ X_{1112}+X_{1011}))$
nėra įtampos 5 taške	$(X_{13}+X_{35}) \times (X_{24}+(X_{414}+X_{1314})) \times (X_{410}+X_{1011}+X_{1112}+X_{1213})+X_{613}+X_{56}$

Darome prielaidą, kad gedimo tikimybė labai mažos, o aprūpinimo elektra patikimumo įvertis gana aukštas. Pažymėję $X_i = q_i$ gauname, kad, pvz., įtampos nebus 13 taške:

$$P_{f13} = (q_{13} + q_{35} + q_{56} + q_{613}) \times (q_{24} + (q_{414} + q_{1314})) \times (q_{410} + q_{1011} + q_{1112} + q_{1213}); \quad (3.8.1)$$

$$P_{13} = 1 - P_{f13};$$

$$P_{13} = 0,99953;$$

arba 10 taške:

$$P_{f10} = (q_{13} + q_{35} + q_{56} + q_{613} + q_{1213} + q_{1112} + q_{1011}) \times (q_{24} + q_{410} \times$$

$$\times (q_{414} + q_{1314} + q_{1213} + q_{1112} + q_{1011})); \quad (3.8.2)$$

$$P_{10} = 1 - P_{f10};$$

$$P_{10} = 0,99945;$$

arba 5 taške:

$$P_{f5} = (q_{13} + q_{35}) \times (q_{24} + (q_{414} + q_{1314}) \times (q_{410} + q_{1011} + q_{1112} + q_{1213}) +$$

$$+ q_{613} + q_{56}); \quad (3.8.3)$$

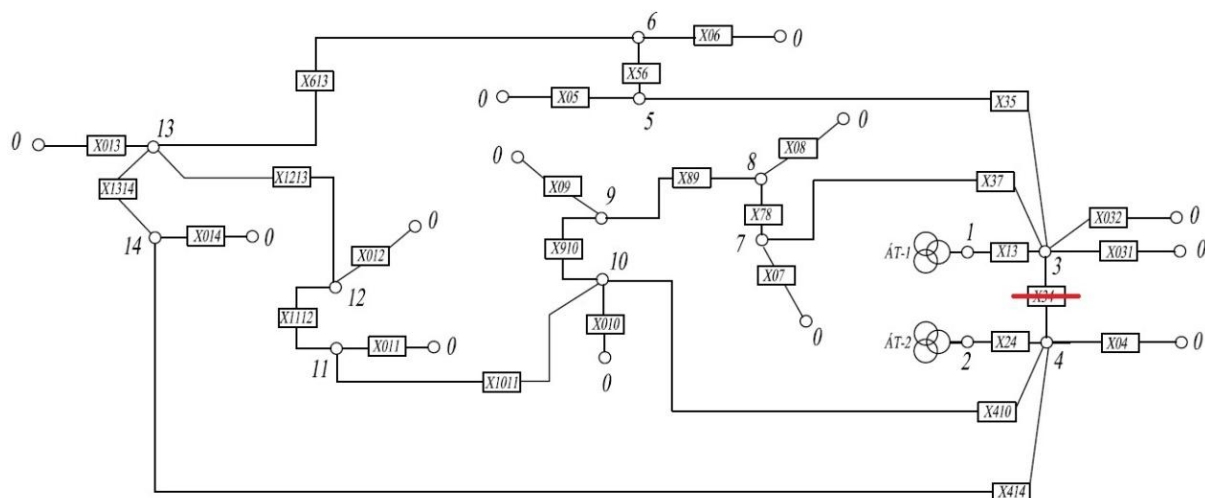
$$P_5 = 1 - P_{f5};$$

$$P_5 = 0,99952.$$

Čia P_n – aprūpinimo elektra patikimumas;

P_{fn} – tikimybė, kad dings įtampa.

3.10 pav. matyti gedimo tikimybių įverčiai, gauti, kai nurodytame tinkle yra įjungtas 69 transformatorinės sekcijų skyriklis, 68 transformatorinė, linijos tarp 68 ir 1 047 transformatorinių, II sekcijos skyriklis ir 1 047 transformatorinės sekcijų skyriklis



3.10 pav. VMPS 3-osios konfigūracijos tinklo gedimų medis, kai veikia AT-1 ir AT-2

Tikimybė, kad	Išraiška
nėra įtampos 13 taške	$(X_{13}+(X_{35} +X_{56}+X_{613})\times(X_{37}+X_{78}+X_{89}+X_{910}+X_{1011}+X_{1112}+X_{1213}))\times(X_{24}+(X_{414}+X_{1314}) \times(X_{410}+X_{1011}+X_{1112}+X_{1213}))$
nėra įtampos 10 taške	$(X_{13}+(X_{35} +X_{56}+X_{613}+X_{1213}+X_{1112}+X_{1011})\times(X_{37}+X_{78}+X_{89}+X_{910})) \times(X_{24}+(X_{414}+X_{1314}+X_{1213}+X_{1112}+X_{1011})\times X_{410})$
nėra įtampos 5 taške	$(X_{13}+X_{35}\times(X_{37} + X_{78}+X_{89}+X_{910}+X_{1011}+X_{1112}+X_{1213}+X_{613}+X_{56})) \times(X_{24}+(X_{414}+X_{1314}) \times(X_{410}+X_{1011}+X_{1112}+1213)+X_{613}+X_{56})$

Darome prielaidą, kad gedimo tikimybė labai maža, o aprūpinimo elektra patikimumo įvertis gana aukštas. Pažymėję $X_i = q_i$ gauname, kad, pvz., įtampos nebus 13 taške:

$$P_{f13} = (q_{13} + (q_{35} + q_{56} + q_{613})) \times (q_{37} + q_{78} + q_{89} + q_{910} + q_{1011} + q_{1112} + q_{1213}) \times (q_{24} + (q_{414} + q_{1314})) \times (q_{410} + q_{1011} + q_{1112} + q_{1213}); \quad (3.9.1)$$

$$P_{13} = 1 - P_{f13};$$

$$P_{13} = 0,99964;$$

arba 10 taške:

$$P_{f10} = (q_{13} + (q_{35} + q_{56} + q_{613} + q_{1213} + q_{1112} + q_{1011})) \times (q_{37} + q_{78} + q_{89} + q_{910}) \times (q_{24} + (q_{414} + q_{1314} + q_{1213} + q_{1112} + q_{1011})) \times q_{410}; \quad (3.9.2)$$

$$P_{10} = 1 - P_{f10};$$

$$P_{10} = 0,99964;$$

arba 5 taške:

$$P_{f5} = (q_{13} + q_{35} \times (q_{37} + q_{78} + q_{89} + q_{910} + q_{1011} + q_{1112} + q_{1213} + q_{613} + q_{56})) \times (q_{24} + (q_{414} + q_{1314})) \times (q_{410} + q_{1011} + q_{1112} + q_{1213}) + q_{613} + q_{56}; \quad (3.9.3)$$

$$P_5 = 1 - P_{f5};$$

$$P_5 = 0,9996.$$

Čia P_n – aprūpinimo elektra patikimumas;

P_{fn} – tikimybė, kad dings įtampa.

Apskaičiavus aprūpinimo elektra patikimumo įverčius atitinkamuose taškuose, kai tinklas dirba esant skirtingiems tinklo sujungimo variantams, galima pastebėti, kad kuo daugiau sekcijų jungtuvų įjungti ir paruošti dirbti, tuo aukštesnis taško patikimumo įvertis. Tačiau vienas iš esminių veiksnių, lemiančių didesnę aprūpinimo elektra patikimumą, yra prijungtų maitinimo šaltinių (transformatorių) skaičius, nes veikdami du atskiri transformatoriai užtikrina daug aukštesnę patikimumo įvertį.

3.3.3. Aprūpinimo elektros energija patikimumo laiko išraiškos

Anksčiau atlikti skaičiavimai parodo tinklo patikimumo lygį pagal gedimo dažnį. Išsiaiškinus juos, galima lengvai apskaičiuoti užtikrinto aprūpinimo elektros energija trukmę per metus.

3.3.3.1. MAITINIMO ŠALTINIS AT-1

Šiame skyrelyje apskaičiuojama užtikrinto aprūpinimo elektros energija trukmės procentinė dalis, esant skirtingiems tinklo prijungimo variantams, kai veikia tik maitinimo autotransformatorius AT-1, o SP-54 transformatorinės pastotės sekcijos jungtuvas įjungtas.

Aprūpinimo elektra patikimumo įvertis, kai nurodytame tinkle yra įjungti transformatorius AT-1 ir SP-54, apskaičiuojamas 3.10.1–3.10.4 formulėmis.

Įtampa tiekama 13 taškui:

$$T_{13} = 8760 \times P_{13}; \quad (3.10.1)$$

$$T_{13} \approx 8543h;$$

$$T_{13\%} \approx \frac{8543}{8760} \times 100 \approx 97,52\% ;$$

arba 9 taškui:

$$T_9 = 8760 \times P_9; \quad (3.10.2)$$

$$T_9 \approx 8555h;$$

$$T_{9\%} \approx \frac{8555}{8760} \times 100 \approx 97,66\% ;$$

arba 10 taškui:

$$T_{10} = 8760 \times P_{10}; \quad (3.10.3)$$

$$T_{10} \approx 8562h;$$

$$T_{10\%} \approx \frac{8562}{8760} \times 100 \approx 97,74\% ;$$

arba 14 taškui:

$$T_{14} = 8760 \times P_{14} ; \quad (3.10.4)$$

$$T_{14} \approx 8554h ;$$

$$T_{14\%} \approx \frac{8554}{8760} \times 100 \approx 97,65\% .$$

Čia T_n – aprūpinimo elektra patikimumo įvertis valandomis;

$T_{n\%}$ – aprūpinimo elektra patikimumo įvertis procentais.

Aprūpinimo elektra patikimumo įvertis, kai nurodytame tinkle yra įjungtas 69 transformatorių pastotės sekcijos skyriklis, apskaičiuojamas 3.11.1–3.11.3 formulėmis.

Įtampa tiekama 13 taškui:

$$T_{13} = 8760 \times P_{13} ; \quad (3.11.1)$$

$$T_{13} \approx 8595h ;$$

$$T_{13\%} \approx \frac{8595}{8760} \times 100 \approx 98,12\% ;$$

arba 11 taškui:

$$T_{11} = 8760 \times P_{11} ; \quad (3.11.2)$$

$$T_{11} \approx 8569h ;$$

$$T_{11\%} \approx \frac{8569}{8760} \times 100 \approx 97,82\% ;$$

arba 5 taškui:

$$T_5 = 8760 \times P_5 ; \quad (3.11.3)$$

$$T_5 \approx 8595h ;$$

$$T_{5\%} \approx \frac{8595}{8760} \times 100 \approx 98,12\% .$$

Čia T_n – aprūpinimo elektra patikimumo įvertis valandomis;

$T_{n\%}$ – aprūpinimo elektra patikimumo įvertis procentais.

Aprūpinimo elektra patikimumo įvertis, kai nurodytame tinkle yra įjungtas 69 transformatorių pastotės sekcijos skyriklis, 68 transformatorinė, linijos tarp 68 ir 1 047 transformatorinių bei II sekcijos skyriklis, apskaičiuojamas 3.12.1–3.12.3 formulėmis.

Įtampa tiekama 13 taškui:

$$T_{13} = 8760 \times P_{13}; \quad (3.12.1)$$

$$T_{13} \approx 8595h;$$

$$T_{13\%} \approx \frac{8595}{8760} \times 100 \approx 98,12\% ;$$

arba 10 taškui:

$$T_{10} = 8760 \times P_{10}; \quad (3.12.2)$$

$$T_{10} \approx 8595h;$$

$$T_{10\%} \approx \frac{8595}{8760} \times 100 \approx 98,12\% ;$$

arba 5 taškui:

$$T_5 = 8760 \times P_5; \quad (3.12.3)$$

$$T_5 \approx 8595h;$$

$$T_{5\%} \approx \frac{8595}{8760} \times 100 \approx 98,12\% .$$

Čia T_n – aprūpinimo elektra patikimumo įvertis valandomis;

$T_{n\%}$ – aprūpinimo elektra patikimumo įvertis procentais.

Aprūpinimo elektra patikimumo įvertis, kai nurodytame tinkle yra įjungtas 69 transformatorinės sekcijų skyriklis, 68 transformatorinė, linijos tarp 68 ir 1 047 transformatorinių, II sekcijos skyriklis ir 1 047 transformatorinės sekcijų skyriklis, apskaičiuojamas 3.13.1–3.13.3 formulėmis.

Įtampa tiekama 13 taškui:

$$\begin{aligned}T_{13} &= 8760 \times P_{13}; & (3.13.1) \\T_{13} &\approx 8595h; \\T_{13\%} &\approx \frac{8595}{8760} \times 100 \approx 98,12\% ;\end{aligned}$$

arba 10 taškui:

$$\begin{aligned}T_{10} &= 8760 \times P_{10}; & (3.13.2) \\T_{10} &\approx 8595h; \\T_{10\%} &\approx \frac{8595}{8760} \times 100 \approx 98,12\% ;\end{aligned}$$

arba 5 taškui:

$$\begin{aligned}T_5 &= 8760 \times P_5; & (3.13.3) \\T_5 &\approx 8595h; \\T_{5\%} &\approx \frac{8595}{8760} \times 100 \approx 98,12\% .\end{aligned}$$

Čia T_n – aprūpinimo elektra patikimumo įvertis valandomis;

$T_{n\%}$ – aprūpinimo elektra patikimumo įvertis procentais.

3.3.3.2. MAITINIMO ŠALTINIAI AT-1 IR AT-2

Šiame skyrelyje apskaičiuojama užtikrinto aprūpinimo elektros energija trukmės procentinė dalis, esant skirtingiems tinklo prijungimo variantams, kai veikia maitinimo autotransformatoriai AT-1 ir AT-2, o SP-54 transformatorinės pastotės sekcijos jungtuvas išjungtas.

Aprūpinimo elektra patikimumo įvertis, kai tinklas dirba normaliuoju režimu, apskaičiuojamas 3.14.1–3.14.4 formulėmis.

Įtampa tiekama 13 taškui:

$$\begin{aligned}T_{13} &= 8760 \times P_{13}; & (3.14.1) \\T_{13} &\approx 8543h;\end{aligned}$$

$$T_{13\%} \approx \frac{8543}{8760} \times 100 \approx 97,52\% ;$$

arba 9 taškui:

$$T_9 = 8760 \times P_9 ; \quad (3.14.2)$$

$$T_9 \approx 8555h ;$$

$$T_{9\%} \approx \frac{8555}{8760} \times 100 \approx 97,66\% ;$$

arba 10 taškui:

$$T_{10} = 8760 \times P_{10} ; \quad (3.14.3)$$

$$T_{10} \approx 8570h ;$$

$$T_{10\%} \approx \frac{8570}{8760} \times 100 \approx 97,83\% ;$$

arba 14 taškui:

$$T_{14} = 8760 \times P_{14} ; \quad (3.14.4)$$

$$T_{14} \approx 8562h ;$$

$$T_{14\%} \approx \frac{8562}{8760} \times 100 \approx 97,74\% .$$

Čia T_n – aprūpinimo elektra patikimumo įvertis valandomis;

$T_{n\%}$ – aprūpinimo elektra patikimumo įvertis procentais.

Aprūpinimo elektra patikimumo įvertis, kai nurodytame tinkle yra įjungtas 69 transformatorinės sekcijų skyriklis, apskaičiuojamas 3.15.1–3.15.3 formulėmis.

Įtampa tiekama 13 taškui:

$$T_{13} = 8760 \times P_{13} ; \quad (3.15.1)$$

$$T_{13} \approx 8755h ;$$

$$T_{13\%} \approx \frac{8755}{8760} \times 100 \approx 99,94\% ;$$

arba 11 taškui:

$$T_{11} = 8760 \times P_{11}; \quad (3.15.2)$$

$$T_{11} \approx 8717h;$$

$$T_{11\%} \approx \frac{8717}{8760} \times 100 \approx 99,51\% ;$$

arba 5 taškui:

$$T_5 = 8760 \times P_5; \quad (3.15.3)$$

$$T_5 \approx 8755h;$$

$$T_{5\%} \approx \frac{8755}{8760} \times 100 \approx 99,94\% .$$

Čia T_n – aprūpinimo elektra patikimumo įvertis valandomis;

$T_{n\%}$ – aprūpinimo elektra patikimumo įvertis procentais.

Aprūpinimo elektra patikimumo įvertis, kai nurodytame tinkle yra įjungtas 69 transformatorinės sekcijų skyriklis, 68 transformatorinė, linijos tarp 68 ir 1 047 transformatorinių bei II sekcijos skyriklis, apskaičiuojamas 3.16.1–3.16.3 formulėmis.

Įtampa tiekama 13 taškui:

$$T_{13} = 8760 \times P_{13}; \quad (3.16.1)$$

$$T_{13} \approx 8756h;$$

$$T_{13\%} \approx \frac{8756}{8760} \times 100 \approx 99,95\% ;$$

arba 10 taškui:

$$T_{10} = 8760 \times P_{10}; \quad (3.16.2)$$

$$T_{10} \approx 8755h;$$

$$T_{10\%} \approx \frac{8755}{8760} \times 100 \approx 99,94\% ;$$

arba 5 taškui:

$$T_5 = 8760 \times P_5; \quad (3.16.3)$$

$$T_5 \approx 8756h ;$$

$$T_{5\%} \approx \frac{8756}{8760} \times 100 \approx 99,95\% .$$

Čia T_n – aprūpinimo elektra patikimumo įvertis valandomis;

$T_{n\%}$ – aprūpinimo elektra patikimumo įvertis procentais.

Aprūpinimo elektra patikimumo įvertis, kai nurodytame tinkle yra įjungtas 69 transformatorinės sekcijų skyriklis, 68 transformatorinė, linijos tarp 68 ir 1 047 transformatorinių, II sekcijos skyriklis ir 1 047 transformatorinės sekcijų skyriklis, apskaičiuojamas 3.17.1–3.17.3 formulėmis.

Įtampa tiekama 13 taškui:

$$T_{13} = 8760 \times P_{13}; \quad (3.17.1)$$

$$T_{13} \approx 8757h ;$$

$$T_{13\%} \approx \frac{8757}{8760} \times 100 \approx 99,97\% ;$$

arba 10 taškui:

$$T_{10} = 8760 \times P_{10}; \quad (3.17.2)$$

$$T_{10} \approx 8757h ;$$

$$T_{10\%} \approx \frac{8757}{8760} \times 100 \approx 99,97\% ;$$

arba 5 taškui:

$$T_5 = 8760 \times P_5; \quad (3.17.3)$$

$$T_5 \approx 8756h ;$$

$$T_{5\%} \approx \frac{8756}{8760} \times 100 \approx 99,95\% .$$

Čia T_n – aprūpinimo elektra patikimumo įvertis valandomis;

$T_{n\%}$ – aprūpinimo elektra patikimumo įvertis procentais.

4. ELEKTROS ENERGIJOS NUTRAUKIMO ANALIZĖ IR MONITORINGAS

Kiekvienos Europos valstybės elektros sistemos tinklų operatoriai stebi tinklų būklę ir jos parametrus. Vienas iš jų yra elektros energijos pertrūkiai. Jie skirstomi į trumpus (iki 3 min.), ilgus (daugiau kaip 3 min.) ir pereinamuosius (iki 1 sek.) bei suplanuotus (kai elektros energija atjungiamą dėl remonto darbų pagal suplanuotą grafiką, prieš tai pranešus apie atjungimą vartotojams) ir nesuplanuotus (vykstančius dėl veiksmų, kurie nėra suplanuoti pagal grafiką ir apie juos nepranešta vartotojams).

4.1. Nutūkimo priežastys

Lietuvoje dažniausios elektros energijos pertrūkių priežastys yra elektros įrenginių netinkamas darbas, sisteminių parametrų staigus nukrypimas nuo normos, nenugalimų jėgų poveikis (audros, šlapdriba, operatyvinės brigados), dėl kurių fiziškai nutrūksta elektros linijos. Įrenginiai dažnai ima netinkamai veikti dėl senėjimo procesų, t. y. korozijos, alyvos taršos ir pratekėjimo, izoliatorių pažeidimų ir dulkių. Elektros perdavimo kabelinės linijos taip pat yra pažeidžiamos. Pavyzdžiui, išoriškai jos pažeidžiamos vykstant kasinėjimo darbams, o iš vidaus – vykstant daliniams išlydžiams. Taigi, visi šie procesai mažina įrenginių izoliacijos atsparumą. Jei dėl senėjimo atsiradę pažeidimai būtų ignoruojami apskaičiuojant sistemos patikimumo įvertį, tai nulemtų nepakankamą sistemos darbo rizikos įvertinimą ir neleistų jos tinkamai planuoti.

Atsiradusius elektros sistemos gedimus būtina pašalinti įrenginius taisant arba pakeičiant naujais. Vienu ar kitu atveju jie būna atjungiami nuo sistemos. Elektros energetikos operatorės Europoje yra įpareigosios mažinti vartotojams tiekiamos elektros energijos pertrūkių trukmę ir dažnį, didinant aprūpinimo elektros energija patikimumą. Todėl sistemos valdymo įmonės planuoja sistemos elementų remontus, sudarydamos planuojamų atjungimo atvejų grafikus metams. Suplanuoti atjungimo atvejai nesumažina sistemos patikimumo, nes kartu planuojami ir atsarginiai tiekimo būdai (rezervinės linijos), kuriais remonto metu būtų įjungiamas maitinimas. Retais atvejais mieste, dažniau kaimo vietovėse elektros energija perduodama viena linija. Remiantis „Elektros energijos tiekimo ir naudojimo taisyklių“ 138 straipsniu, operatorius turi teisę elektros energiją atjungti remonto laikotarpiui, apie jos tiekimo nutraukimą pranešęs vartotojams ne vėliau kaip prieš 10 kalendorinių dienų: „Vykdam planinius elektros tinklų priežiūros darbus, operatoriai apie numatomą elektros energijos persiuntimo, tiekimo nutraukimą ar apribojimą ne vėliau kaip prieš 10 kalendorinių dienų turi pranešti tiekėjams ir vartotojams (nurodyti planuojamą elektros energijos persiuntimo, tiekimo nutraukimo ar apribojimo laiką ir trukmę).“ (Elektros energijos tiekimo ir naudojimo taisyklės, 2013).

AB LESTO 2013 m. „Socialinės atsakomybės pažangos ataskaitoje“ elektros energijos nutraukimo atvejai yra skirstomi į priskiriamus operatoriaus atsakomybei, išorinio poveikio, nenugalimų jėgų (angl. *force majeure*) ir nenustatytos kilmės.

Norėdami tiksliau analizuoti, lyginti bei gerinti elektros tiekimo patikimumo rezultatus, tinklų operatoriai nusprendė fiksuoti patikimumo rodiklius, kurie lyginami su kitų Europos valstybių rodikliais, pateikiant lyginamosios analizės ataskaitą. Ataskaitą parengia Europos energetikos reguliuotojų taryba (CEER).

4.2. Patikimumo rodikliai Lietuvoje

Patikimumo rodikliai yra tokie:

- SAIDI – sistemos vidutinės pertrūkių trukmės rodiklis (angl. *System Average Interruption Duration Index*), vienetai – minutės vienam vartotojui per metus;
- SAIFI – sistemos pertrūkių vidutinio dažnumo rodiklis (angl. *System Average Interruption Frequency Index*), vienetai – pertrūkių skaičius vienam vartotojui per metus;
- AIT – vidutinis pertrūkių dažnis (angl. *Average Interruption Time*), vienetai – minutės vienam vartotojui per metus;
- ENS – nepersiuštos elektros energijos kiekis (angl. *Energy Not Supplied*), vienetai – kWh per metus.

Lietuvos elektros perdavimo sistemos operatorius reguliuotojų tarybai pateikia ENS (nepersiuštos elektros energijos kiekio) ir AIT (vidutinio pertrūkių dažnio) rodiklius. Skirstomojo tinklo operatorius reguliuotojų tarybai pateikia SAIDI (sistemos vidutinės pertrūkių trukmės) ir SAIFI (sistemos pertrūkių vidutinio dažnumo) rodiklius.

Kadangi šiame darbe yra nagrinėjamas 10 kV tinklas, buvo parinkti vidutinės įtampos (1–35 kV) tinklo parametrai.

Remiantis atnaujinta asociacijos CEER (angl. *Council of European Energy Regulators*) 2015 m. parengta lyginamosios analizės 5.2 ataskaita (CEER Benchmarking Report 5.2 on the Continuity of Electricity Supply. Data update, 2015), 2013 m. duomenimis, Lietuvos elektros energijos tiekimo statistiniai rodikliai yra tokie:

4.1 lentelė. Sistemos pertrūkių vidutinio dažnumo rodiklis

Energijos tiekimo rodikliai (SAIFI)	Pertrūk. sk./metus
Nesuplanuotas SAIFI-MV	0,79
Nesuplanuotas SAIFI (urbanizuotų teritorijų)	0,39
Nesuplanuotas SAIFI (be išimtinių įvykių)	0,97
Nesuplanuotas SAIFI (esant išimtinių įvykių)	1,43
Suplanuotas SAIFI	0,54

4.2 lentelė. Sistemos vidutinės pertrūkių trukmės rodiklis

Energijos tiekimo rodikliai (SAIDI)	Min./metus
Nesuplanuotas SAIDI-MV	56,84
Suplanuotas SAIDI	212,8
Nesuplanuotas SAIDI (be išimtinių įvykių)	72,67
Nesuplanuotas SAIDI (esant išimtinių įvykių)	153,9

Remiantis 4.1 ir 4.2 lentelių duomenimis, bendras 2013 m. SAIDI (visų įtampų lygių pertrūkiai esant išimtinių įvykių, t. y. stichijų) (4.1 formulė):

$$SAIDI_{2013} = SAIDI_{plan.} + SAIDI_{neplan.}; \quad (4.1)$$

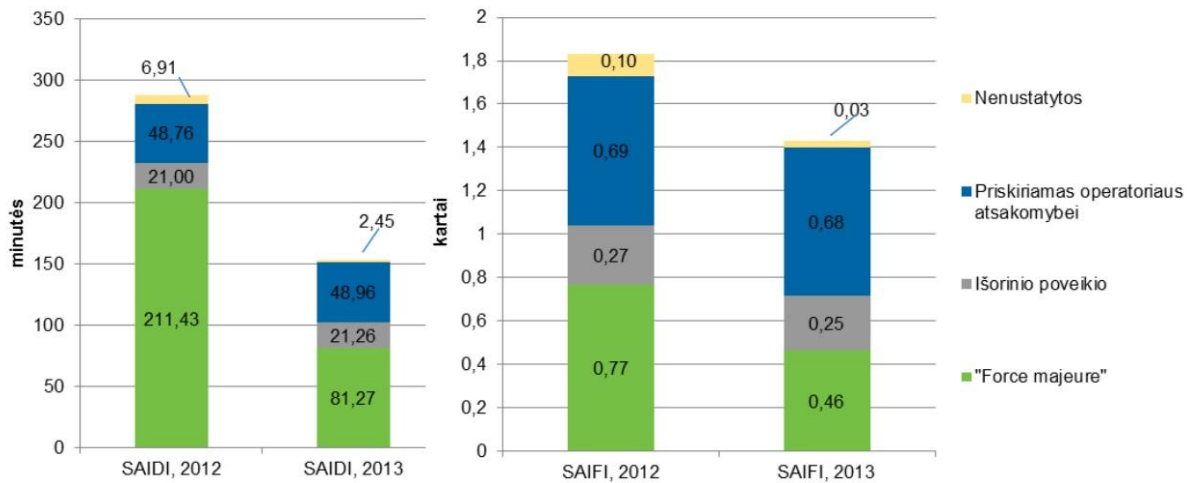
$$SAIDI_{2013} = 212,8 + 153,9 = 366,7 \text{ min./metus vartotojui.}$$

2013 m. SAIFI (visų įtampų lygių pertrūkiai esant išimtinių įvykių):

$$SAIFI_{2013} = SAIFI_{plan.} + SAIFI_{neplan.}; \quad (4.2)$$

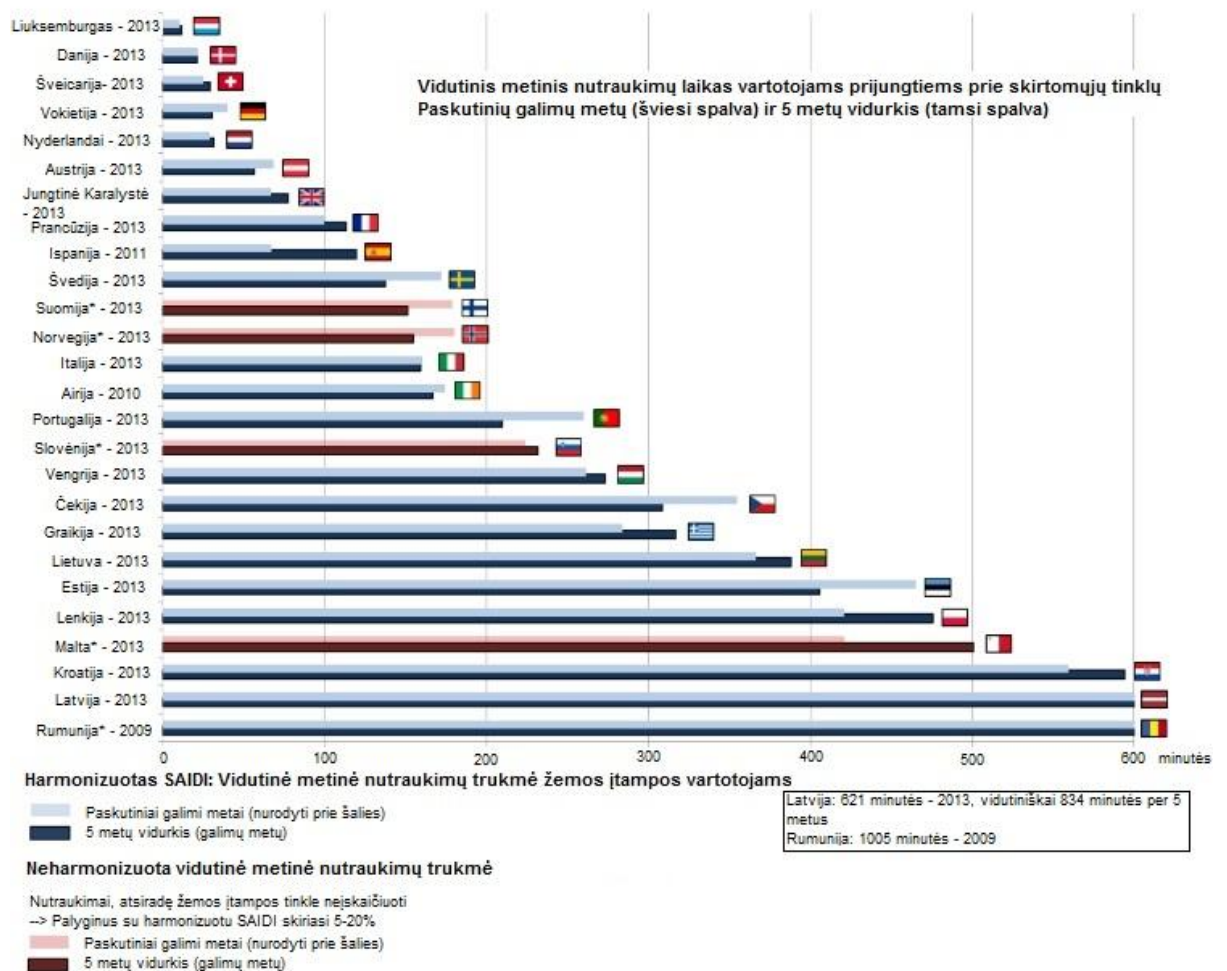
$$SAIFI_{2013} = 1,43 + 0,54 = 1,97 \text{ pertrūk./metus vartotojui.}$$

4.1 pav. yra nurodytos elektros tiekimo patikimumo įverčių dedamosios 2012 ir 2013 m., neįskaitant stichinių reiškinių poveikio (2013 metų AB LESTO Socialinės atsakomybės pažangos ataskaita, 2014).



4.1 pav. Patikimumo rodiklių priežastingumas (2012–2013 m.)

CEER ataskaitoje galima susipažinti su kitų ES šalių aprūpinimo elektros energija padėtimi (4.2 pav.).



4.2 pav. Aprūpinimo elektros energija patikimumo rodikliai ES šalyse

Skirstomojo tinklo operatorius AB LESTO, vadovaudamasis 2012 m. rugsejo 28 d. Valstybinės kainų ir energetikos kontrolės komisijos nutarimu „Dėl minimalių elektros energijos persiuntimo

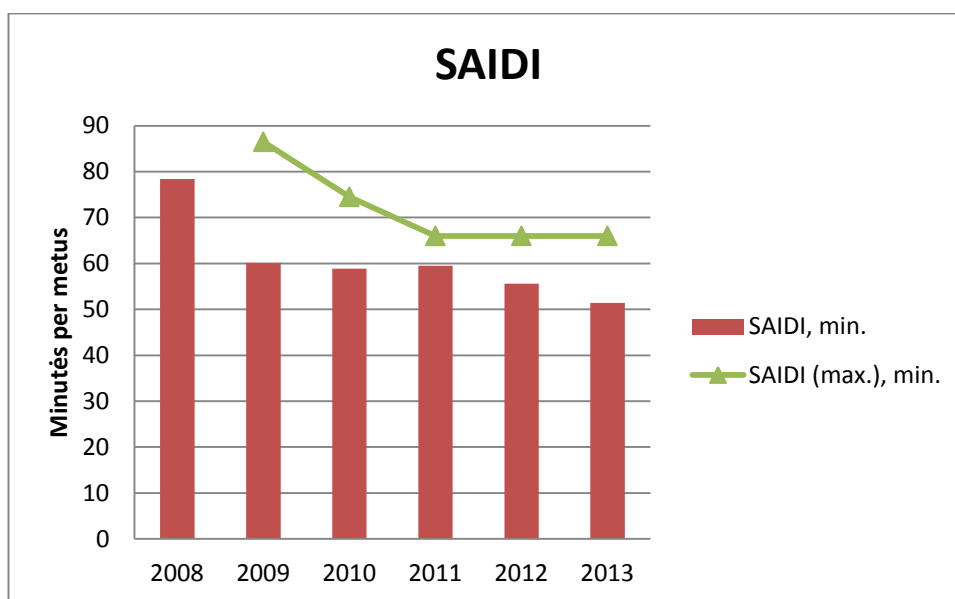
patikimumo lygių nustatymo“, privalo neviršyti minimalių elektros tiekimo patikimumo lygių, t. y. $SAIDI_{MPL} = 66$ min. ir $SAIFI_{MPL} = 0,93$ karto.

- Čia: END_{MPL} – perdavimo tinklu nepersišusto elektros energijos kiekio rodiklio minimalus lygis;
- AIT_{MPL} – perdavimo sistemos operatoriaus vidutinės pertrūkių trukmės rodiklio minimalus lygis;
- $SAIDI_{MPL}$ – sistemos vidutinės pertrūkių trukmės rodiklio minimalus lygis;
- $SAIFI_{MPL}$ – sistemos pertrūkių vidutinio dažnumo rodiklio minimalus lygis.

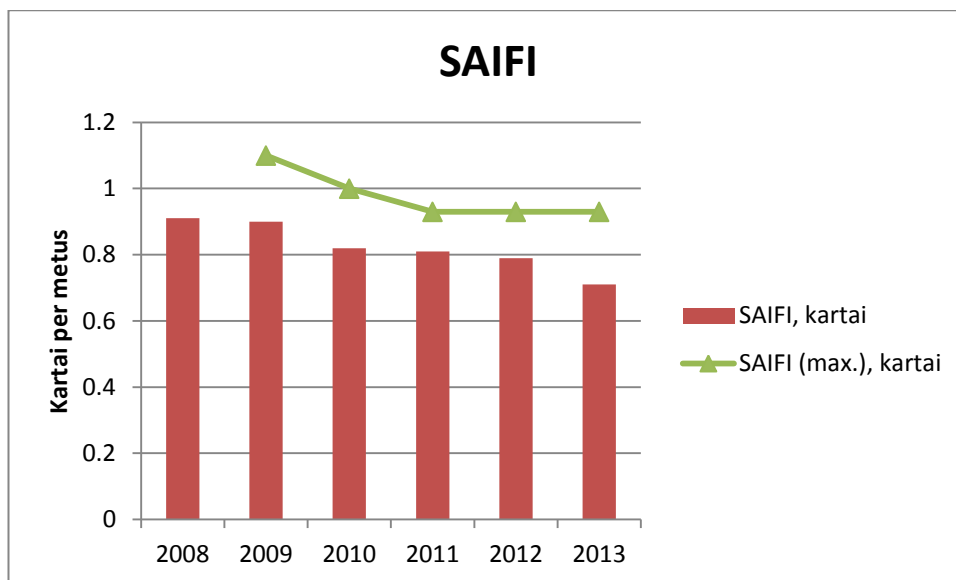
Ši nustatyta riba apskaičiuojama neįtraukiant nenugalimų jėgų (angl. *force majeure*) ir išorinio poveikio parametrų. Iš 4.1 ir 4.2 pav. diagramų matyti, kad, sudėjus stichinių reiškinių poveikį ir suplanuotus bei nesuplanuotus pertrūkius, 2013 m. Lietuvos vidutinė metinė pertrūkių trukmė buvo 366,7 min. Kadangi stichinių reiškinių poveikio neįmanoma tiksliai įvertinti, šis parametras kinta labai individualiai. Faktiniai skirstomojo tinklo SAIDI ir SAIFI rodikliai nurodyti 4.3 lentelėje. Iš 4.3 ir 4.4 pav. grafikų paaiškėja, kad 2008–2013 m. visi skirstomojo tinklo rodikliai neviršija leistinųjų ribų.

4.3 lentelė. Faktiniai skirstomojo tinklo SAIDI ir SAIFI rodikliai

Rodikliai	Metai					
	2013	2012	2011	2010	2009	2008
SAIDI, min.	51,4	55,6	59,5	58,9	60,1	78,4
$SAIDI_{MPL}$, min.	66	66	66	74,5	86,5	-
SAIFI, kartai	0,71	0,79	0,81	0,82	0,9	0,91
$SAIFI_{MPL}$, kartai	0,93	0,93	0,93	1	1,1	-



4.3 pav. SAIDI faktinis rodiklis ir didžiausia nustatyta reikšmė Lietuvoje



4.4 pav. SAIFI faktinis rodiklis ir didžiausia nustatyta reikšmė Lietuvoje

4.3. Vilniaus miesto pietinio skyriaus nurodyto tinklo patikimumo parametrai

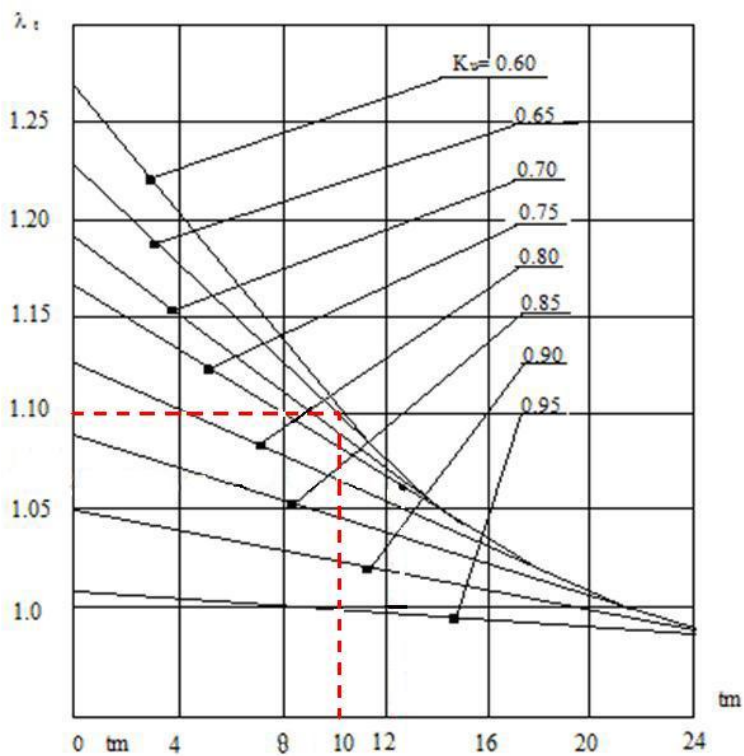
Šiame skyrelyje analizuojama Vilniaus miesto pietinio skyriaus SP-54 transformatorių pastotės ir prie jos prijungtų transformatorinių tinklo vartotojų aprūpinimo elektra vidutinės pertrūkių trukmės ir dažniai.

AB LESTO duomenimis, statistinis Lietuvos namų ūkis per mėnesį suvartoja 142 kWh elektros energijos (per metus – 1 704 kWh), o standartiškai namų ūkiui yra suteikiama 5 kW galia.

Žvelgiant į nurodytą Vilniaus miesto schemos dalį matyti, kad tinklui priklauso 750 kVA, 630 kVA ir 250 kVA vardinės galios transformatoriai, kurie keičia tinklo įtampą iš 10 kV į vartotojams reikalingą 0,4 kV įtampą. Transformatorių didžiausia apkrova gali būti 140 % jų vardinės galios, todėl visą esamą transformatoriaus galią galima paskirstyti vartotojams.

Iš Jono Šato knygoje „Įmonių elektros įrenginiai ir tinklai“ (Šatas, 2006, p. 76) pateiktos leidžiamos transformatorių apkrovos priklausomybės nuo didžiausios apkrovos trukmės ir apkrovos grafiko (4.5 pav.) galima spręsti, kad transformatoriaus vardinė galia gali būti visiškai paskirstyta vartotojams. Tačiau toliau parodyta priklausomybė riboja transformatoriaus apkrovos trukmę.

Pažymėtina, kad skaičiavimuose daroma prielaida, jog vartotojų patiriamos apkrovos nekis.



4.5 pav. Leidžiamos transformatoriaus apkrovos priklausomybė nuo didžiausios apkrovos trukmės ir apkrovos grafiko užpildymo koeficiento

Tuomet galima apskaičiuoti vartotojų dalį, kurią tenka maitinti vienam transformatoriui, kai tinklas dirba normaliuoju režimu.

4.4 lentelė. Vartotojų dalis, tenkanti transformatorinėms

TP	Transformatorius	Galia, kVA	Vartotojų sk.
SP-54	T-1, T-3	750	150
	T-2	630	126
406	T-1, T-2	630	126
1669	T-1, T-2	630	126
1047	T-1, T-2	250	50
68	T-1, T-2	630	126
69	T-1, T-2	630	126

Lentelės duomenimis, gauname, kad tinklui priklauso 1 534 vartotojai, o įdiegta galia yra 7 670 kVA.

Žinant elektros energijos tiekimo Vilniaus miestui pertrūkių dažnį, trukmę ir vartotojų, likusių be elektros energijos, skaičių, galima apskaičiuoti tinklo SAIDI ir SAIFI rodiklius (4.3 ir 4.4 formulės).

$$SAIDI = \frac{\sum U_i \times N_i}{N_T}, \quad (4.3)$$

$$SAIFI = \frac{\sum \lambda_i \times N_i}{N_T}. \quad (4.4)$$

Čia:

U_i – pertrūkio trukmė;

N_i – vartotojų, kuriems buvo nutrauktas energijos tiekimas, skaičius;

N_T – visų vartotojų skaičius;

λ_i – pertrūkio indeksas.

2013 m. Vilniuje nurodytas tinklas atsijungė 2 kartus:

- kovo 31 d. 60-čiai minučių buvo atjungta 360 vartotojų;
- rugpjūčio 28 d. 97 minutėms buvo atjungta 400 vartotojų.

Taigi, nesuplanuoti tinklo SAIDI ir SAIFI rodikliai be nenugalimų jėgų (angl. *force majeure*) ir išorinių veiksnių gali būti apskaičiuojami 4.5 ir 4.6 formulėmis.

$$SAIDI = \frac{(360 \times 60) + (400 \times 97)}{1534} = 39,37 \text{ min.}; \quad (4.5)$$

$$SAIFI = \frac{360 + 400}{1534} = 0,495 \text{ karto}. \quad (4.6)$$

Palyginti su Lietuvos nustatytais minimaliais elektros tiekimo patikimumo lygiais, nurodyto tinklo rodikliai beveik perpus žemesni. Kas antram šio tinklo vartotojui bus nutrauktas elektros energijos tiekimas vidutiniškai 40 min. per metus. Taip pat SAIDI rezultatas panašus į nesuplanuoto SAIFI urbanizuotose teritorijose, kurio patikimumo lygis siekia 0,39 karto.

4.4. Aprūpinimo elektros energija patikimumo kategorijos

Miesto elektros tinklais naudojasi įvairaus pobūdžio vartotojai, t. y. gyvenamieji namai, prekybos centrai, viešosios įstaigos, privataus verslo centrai, fabrikai. Visi jie yra klasifikuojami pagal didžiausios galios poreikį ir vartotojo svarbos klasę, t. y. koku patikimumo lygiu turi būti tiekiama elektros energija atitinkamam vartotojui. Yra išskiriami I, II ir III patikimumo kategorijos vartotojai:

- I kategorija „...užtikrinama vartotojus aprūpinant elektros energija iš dviejų arba daugiau nepriklausomų elektros energijos šaltinių atskiromis elektros linijomis ir aprūpinimas elektros energija gali būti nutrauktas laikui, kiek to reikia automatiniam

perjungimui nuo vieno nepriklausomo elektros energijos šaltinio prie kito arba pakartotiniam elektros energijos šaltinio įjungimui.“ (Elektros energijos naudojimo ir tiekimo taisyklės, 2013, 81 str. 3 punktas).

- II kategorija „...užtikrinama vartotojus aprūpinant elektros energija iš dviejų elektros energijos šaltinių atskiromis elektros linijomis. Nutrūkus elektros energijos persiuntimui, aprūpinimas elektros energija ties operatoriaus ir vartotojo elektros tinklų nuosavybės riba turi būti atkurtas nors iš vieno elektros energijos šaltinio ne vėliau kaip per 2,5 valandas. (Elektros energijos naudojimo ir tiekimo taisyklės, 2013, 81 str. 2 punktas).
- III kategorija „...užtikrinama vartotojus aprūpinant elektros energija iš vieno elektros energijos šaltinio viena elektros linija. Nutrūkus elektros energijos persiuntimui, aprūpinimas elektros energija ties operatoriaus ir vartotojo elektros tinklų nuosavybės riba turi būti atkurtas ne vėliau kaip per 24 valandas. (Elektros energijos naudojimo ir tiekimo taisyklės, 2013, 81 str. 1 punktas).

Norint patenkinti I ir II kategorijos vartotojų lūkesčius, turi būti užtikrintas elektros tiekimas kuo aukštesniu patikimumo lygiu, – tam reikalingos rezervinės linijos, jeigu sugestų vienas ar kitas linijos taškas.

Pagal Vilniaus miesto pietinės dalies schemą, tinklui dirbant normaliuoju režimu, visi vartotojai yra III kategorijos, t. y. elektros energija yra aprūpinami žemiausiu patikimumo lygiu. Tačiau, prijungus vieną ar kelias rezervines linijas, prie tų pačių taškų gali būti prijungta I arba II kategorijos vartotojų, turinčių po dvi ar tris nepriklausomas elektros linijas ir (ar) šaltinius, – taip padidinamas aprūpinimo elektra patikimumas.

Apskaičiavus įvairių minėto tinklo taškų aprūpinimo elektros energija tikimybių įverčius, kai veikia tik vienas maitinimo šaltinis (autotransformatorius AT-1) ir kai veikia du maitinimo šaltiniai (autotransformatoriai AT-1 ir AT-2), buvo nustatytas gana didelis skirtumas. Pirmuoju atveju, kai elektra tiekama iš vieno šaltinio, patikimumo įvertis buvo labai žemas (0,975–0,981), tai reiškia, kad elektros tiekimas tinklo taške būtų sutrikdytas nuo 9 930 min. (166 val.) iki 13 030 min. (217 val.) per metus. Toks tiekimo patikimumo lygis peržengia Lietuvos SAIDI rodiklį (įskaitant suplanuotus ir nesuplanuotus atjungimo atvejus), kuris yra 366,7 min./metus. Aprūpinimo elektra patikimumo įvertis antruoju atveju, kai dirba du maitinimo šaltiniai AT-1 ir AT-2, buvo gerokai aukštesnis (0,975–0,9996), tad elektros energijos pertrūkio trukmė taške būtų nuo 188 min. (3 val.) iki 13 030 min. (217 val.) per metus. Patikimumo įvertis labai pakyla, kai tašką elektros energija aprūpina 2 ar 3 linijos vienu metu arba, kitaip tariant, tinklas iš spindulinio tampa žiediniu. Atlikus skaičiavimus galima teigti, kad vartotojai elektra aprūpinami patikimiausiai, kai visi linijų jungiamieji skyrikliai yra įjungti, t. y. kai nurodytame tinkle veikia

maitinimo autotransformatoriai AT-1 ir AT-2, o SP-54 transformatorinės pastotės sekcijų jungtuvas išjungtas, įjungti 69 transformatorinės sekcijų skyriklis, 68 transformatorinė, linijos tarp 68 ir 1 047 transformatorinių, II sekcijos skyriklis ir 1047 transformatorinės sekcijų skyriklis.

4.5. Vartotojų kategorijos pagal tiekimo atnaujinimo laiką

Norėdami nustatyti vartotojo, prijungto prie vieno ar kito nurodyto tinklo taško, kategoriją, galima apskaičiuoti didžiausią laiko kiekį minutėmis, per kurį turi būti atnaujintas elektros tiekimas vartotojui.

III kategorijos vartotojui elektros tiekimas turi būti atnaujintas per 24 valandas:

$$T_{III} = 24 \times 60 = 1440 \text{ min.}, \text{ kai tikimybė } 0,99726=1440,144 \text{ min.} \quad (4.7)$$

Šiais kategorijai priklauso visi nurodyto tinklo vartotojai, kurie yra prijungti prie dviejų nepriklausomų elektros energijos šaltinių.

II kategorijos vartotojui elektros tiekimas turi būti atnaujintas per 2,5 valandos:

$$T_{II} = 2,5 \times 60 = 150 \text{ min.}, \text{ kai tikimybė } 0,99972=147,168 \text{ min.} \quad (4.8)$$

Šiais kategorijai nepriklauso nė vienas tinklo vartotojas, nes visi nurodyto tinklo vartotojai, net ir prijungti prie dviejų ar trijų nepriklausomų elektros energijos šaltinių, nepasiekia tokio patikimumo lygio.

I kategorijos vartotojui reikalingas automatinis perjungimas ir papildomas rezervinis šaltinis. Šiai kategorijai taip pat nepriklauso nė vienas tinklo vartotojas, nebent įsirengtų automatinio perjungimo ir RAA įrenginius, kurie, įvykus gedimui (trumpasis jungimas, įžemėjimas ir pan.), galėtų per sekundės dalį atjungti gedimo pažeistą liniją ir prijungti rezervinę liniją arba rezervinį maitinimo šaltinį.

Turint omenyje I ir II kategorijų vartotojus, tikėtina, kad elektros tiekimo pertrūkis pasiskirstys į kelis ilgos trukmės pertrūkius ir vartotojams galėtų būti suteikta aukštesnė kategorija, tačiau rekomenduojama didinti aprūpinimo elektros energija patikimumą prijungiant papildomą generavimo šaltinį ar maitinimo transformatorių.

Nurodytam tinklui dirbant normaliuoju režimu, būna išjungti šie įrenginiai: SP-54 transformatorinės pastotės sekcijų jungtuvas, 1 047 transformatorinės sekcijų skyriklis, 69 transformatorinės sekcijų skyriklis, 68 transformatorinė, linijos tarp 68 ir 1 047 transformatorinių, II sekcijos skyriklis ir 68 transformatorinės II sekcijos skyriklis į T-2 transformatorių. Šiuo režimu dirba abu autotransformatoriai. Iš šios jungimo schemos, kai vartotojai maitinami tik viena linija iš vieno maitinimo šaltinio, matyta, kad apskaičiuota aprūpinimo elektra tikimybė labai maža, t. y. patikimumo įvertis yra 0,975–0,978. Be abejo, paminėtina, kad į skaičiavimus nebuvo įtraukti aplinkinės Vilniaus miesto pietinio skyriaus

sistemos tinklų dalys, su kuriomis keliose vietose jungiasi nurodytasis tinklas. Todėl šalia esantys tinklai ir su jais susijungiančios linijos galėtų veikti kaip aktyviosios ar rezervinės elektros energijos perdavimo dalys ir padidinti tiekimo vartotojams patikimumą (tinklui dirbant ir normaliuoju režimu).

5. VILNIAUS MIESTO PIETINIO SKYRIAUS ELEKTROS TINKLO MODERNIZAVIMAS

5.1. Elektros tinklo modernizavimo būdai

Anstesniame skyriuje pateikti skaičiavimai parodė, kad nė vienas nurodyto tinklo vartotojas negali būti priskirtas I arba II patikimumo kategorijai. Jas pasiekti galima tik įdiegus kelis rezervo užtikrinimo patobulinimus. Vienas iš jų yra automatinis kartotinis įjungimas (AKĮ). Dauguma trumpųjų jungimų elektros tinkle įvyksta dėl gamtos ar pašalinių veiksnių (atmosferinių viršįtampių sukeltas oro izoliacijos pramušimas, laidų suartėjimas, pašalinių daiktų užmetimas ant laidų, judančių objektų prisilietimas ir pan.). Tačiau apie 70 % jų nesukelia didelių problemų (nenutraukia linijų), kurias reikėtų spręsti. Šiais atvejais suveikia automatinis kartotinis įjungimas (AKĮ). Praktika rodo, kad AKĮ yra labai patikima priemonė, didinanti tinklo patikimumą. Jei po kartotinio įjungimo linija pradeda veikti, toks įjungimas vadinamas sėkmingu. Remiantis doc. dr. Gyčio Svinkūno paskaitų konspektu „Elektros energetika“, kabelinių linijų sėkmingo AKĮ tikimybė yra 50 % (Svinkūnas, 2008, p. 83). AKĮ atliekamas vieną, du ar tris kartus, tačiau po pirmojo nesėkmingo bandymo tikimybė sėkmingai įjungti liniją antruoju ar trečiuoju bandymu labai nedidelė.

I tiekimo patikimumo kategorijai reikia įrengti papildomą atitinkamos galios generatorių bei automatinio rezervo įjungimo (ARI) įrenginių, kurie, atsijungus tinklo įtampai, per kelias sekundes dalis tai pastebi ir duoda komandą perjungti energijos tiekimą iš rezervinio šaltinio. Taip pat I kategorijai reikia turėti dvi ar tris linijas, einančias iš skirtingų maitinimo šaltinių. Nurodytame tinkle daugeliu ištirtų atvejų transformatorinės gali būti prijungtos prie dviejų ar trijų maitinimo linijų (pvz., kai tinkle visi skyrikliai įjungti, o maitinama iš dviejų autotransformatorių: 69 transformatorinės pirmosios šynų sekcijos ir 1 047 transformatorinės antrosios šynų sekcijos yra aprūpinamos trimis maitinimo linijomis).

Norint suteikti vartotojui II tiekimo patikimumo kategoriją, neužtenka esamų nurodyto tinklo patikimumo įverčių – reikia prijungti papildomą tiesioginę liniją, einančią iš esamo arba naujo transformatoriaus ar generatoriaus.

5.2. Papildomos linijos, einančios iš esamo transformatoriaus, patikimumo analizė

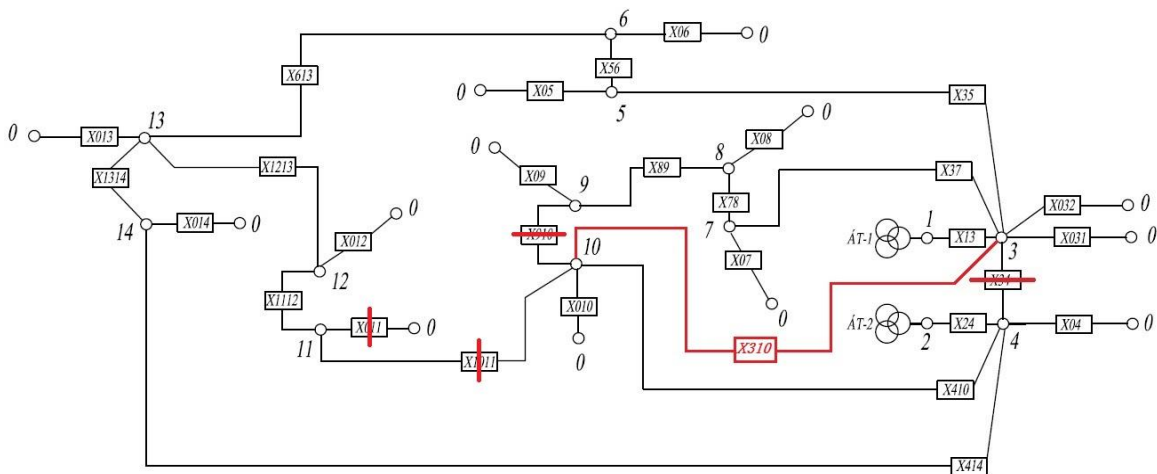
Aprūpinimo elektros energija patikimumo įvertis kinta prijungus papildomą tiesioginę liniją iš transformatorių AT-1 ar AT-2 prie atitinkamo taško. Šiame darbe buvo nustatyti trijų tinklo taškų (5, 10 ir 13) patikimumo įverčiai transformatorinių (atitinkamai 1 669, 1 047 ir 69) šynose, kai tinkle veikia abu autotransformatoriai (AT-1 ir AT-2) ir yra prijungiama papildoma linija.

1 papildoma linija

Papildoma maitinimo linija tarp SP-54 ir 1 047 (papildoma linija ir 4 komutaciniai aparatai):

$$X_{310} = \frac{0,37 \times 0,21}{100} + 0,00046 \times 4 = 0,00262. \quad (5.1)$$

Patikimumo įvertis, kai nurodytame tinkle yra įjungtas 69 transformatorinės sekcijų skyriklis, apskaičiuojamas 5.2.1–5.2.3 formulėmis.



5.1 pav. VMPS 1-osios konfigūracijos tinklo gedimų medis su 1-ąja papildoma linija

Patikimumo įvertis 13 taške:

$$P_{13} = 1 - (q_{13} + (q_{35} + q_{56} + q_{613}) \times (q_{310} + q_{410} + q_{414} + q_{1314})) \times (q_{24} + (q_{414} + q_{1314}) \times (q_{410} + q_{310} + q_{35} + q_{56} + q_{613})); \quad (5.2.1)$$

$$P_{13} = 0,99964.$$

Patikimumo įvertis 10 taške:

$$P_{10} = 1 - (q_{13} + q_{310}) \times (q_{24} + q_{410}); \quad (5.2.2)$$

$$P_{10} = 0,99953.$$

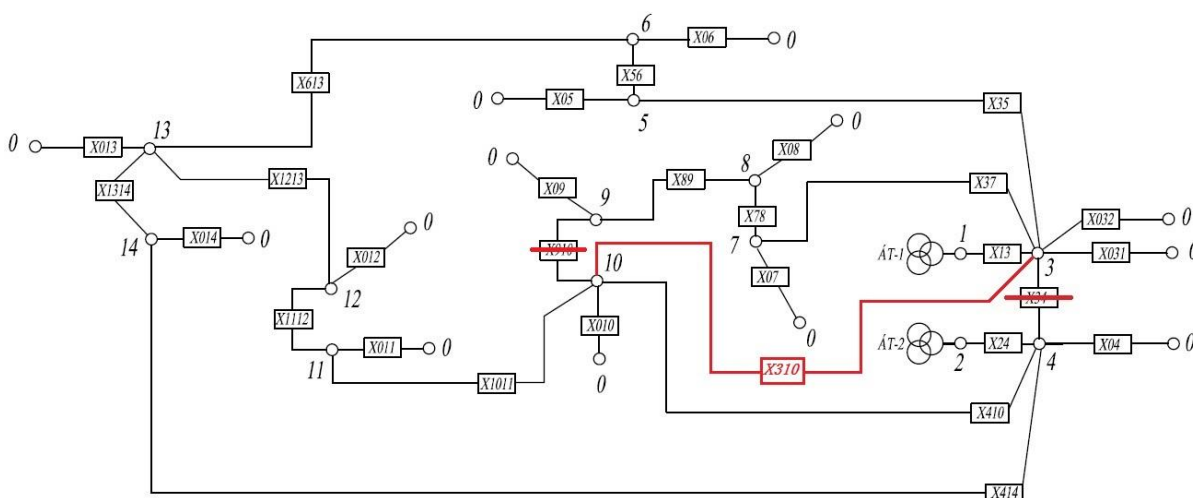
Patikimumo įvertis 5 taške:

$$P_5 = 1 - (q_{13} + q_{35} \times (q_{310} + q_{410} + q_{414} + q_{1314} + q_{613} + q_{56}) \times (q_{24} + (q_{414} + q_{1314} + q_{613} + q_{56}) \times (q_{410} + q_{310} + q_{35}))) ; (5.2.3)$$

$$P_5 = 0,99964.$$

Čia P_n – aprūpinimo elektra patikimumo įvertis.

Patikimumo įvertis, kai nurodytame tinkle yra įjungtas 69 transformatorinės sekcijų skyriklis, 68 transformatorinė, linijos tarp 68 ir 1 047 transformatorinių, II sekcijos skyriklis, apskaičiuojamas 5.3.1–5.3.3 formulėmis.



5.2 pav. VMPS 2-osios konfigūracijos tinklo gedimų medis su 1-ąja papildoma linija

Patikimumo įvertis 13 taške:

$$P_{13} = 1 - (q_{13} + (q_{35} + q_{56} + q_{613}) \times (q_{310} + q_{1011} + q_{1112} + q_{1213})) \times (q_{24} + (q_{414} + q_{1314}) \times (q_{410} + (q_{1011} + q_{1112} + q_{1213}) \times (q_{310} + q_{35} + q_{56} + q_{613}))) ; (5.3.1)$$

$$P_{13} = 0,99964.$$

Patikimumo įvertis 10 taške:

$$P_{10} = 1 - (q_{13} + (q_{35} + q_{56} + q_{613} + q_{1213} + q_{1112} + q_{1011}) \times q_{310}) \times (q_{24} + q_{410} \times (q_{414} + q_{1314} + q_{1213} + q_{1112} + q_{1011})) ; (5.3.2)$$

$$P_{10} = 0,99964.$$

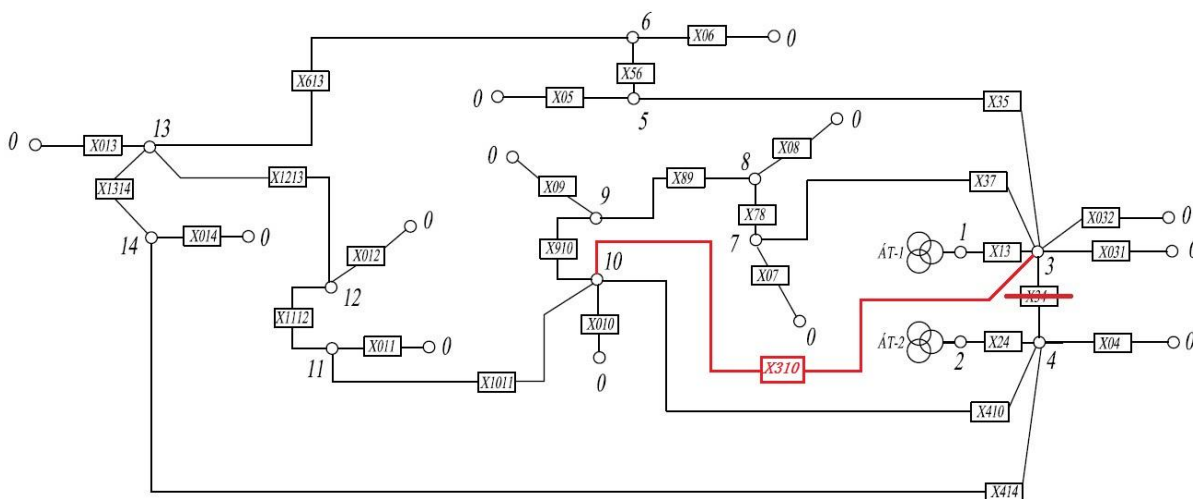
Patikimumo įvertis 5 taške:

$$P_5 = 1 - (q_{13} + q_{35} \times (q_{310} + q_{1011} + q_{1112} + q_{1213} + q_{613} + q_{56}) \times (q_{24} + (q_{414} + q_{1314}) \times (q_{410} + q_{1011} + q_{1112} + q_{1213}) + q_{613} + q_{56})) ; (5.3.3)$$

$$P_5 = 0,9996.$$

Čia P_n – aprūpinimo elektra patikimumo įvertis.

Patikimumo įvertis, kai nurodytame tinkle yra įjungtas 69 transformatorinės sekcijų skyriklis, 68 transformatorinė, linijos tarp 68 ir 1 047 transformatorinių, II sekcijos skyriklis, 1 047 transformatorinės sekcijų skyriklis, apskaičiuojamas 5.4.1–5.4.3 formulėmis.



5.3 pav. VMPS 3-iosios konfigūracijos tinklo gedimų medis su 1-ąja papildoma linija

Patikimumo įvertis 13 taške:

$$\begin{aligned}
 P_{13} = & 1 - (q_{13} + (q_{35} + q_{56} + q_{613}) \times (q_{310} \times (q_{37} + q_{78} + q_{89} + q_{910}) + q_{1011} + \\
 & + q_{1112} + q_{1213})) \times (q_{24} + (q_{414} + q_{1314}) \times (q_{410} + (q_{1011} + q_{1112} + q_{1213}) \times \\
 & \times (q_{310} \times (q_{910} + q_{89} + q_{78} + q_{37}) + q_{35} + q_{56} + q_{613}))) \\
 & P_{13} = 0,99964.
 \end{aligned}
 \quad ; (5.4.1)$$

Patikimumo įvertis 10 taške:

$$\begin{aligned}
 P_{f10} = & (q_{13} + (q_{35} + q_{56} + q_{613} + q_{1213} + q_{1112} + q_{1011}) \times (q_{37} + q_{78} + q_{89} + \\
 & + q_{910}) \times q_{310}) \times (q_{24} + (q_{414} + q_{1314} + q_{1213} + q_{1112} + q_{1011}) \times q_{410}) \\
 & P_{13} = 0,99964.
 \end{aligned}
 \quad ; (5.4.2)$$

Patikimumo įvertis 5 taške:

$$\begin{aligned}
 P_{f5} = & (q_{13} + q_{35} \times ((q_{37} + q_{78} + q_{89} + q_{910}) \times q_{310} + q_{1011} + q_{1112} + q_{1213} + \\
 & + q_{613} + q_{56})) \times (q_{24} + (q_{414} + q_{1314}) \times (q_{410} + q_{1011} + q_{1112} + q_{1213}) + \\
 & + q_{613} + q_{56}) \\
 & P_{13} = 0,9996.
 \end{aligned}
 \quad ; (5.4.3)$$

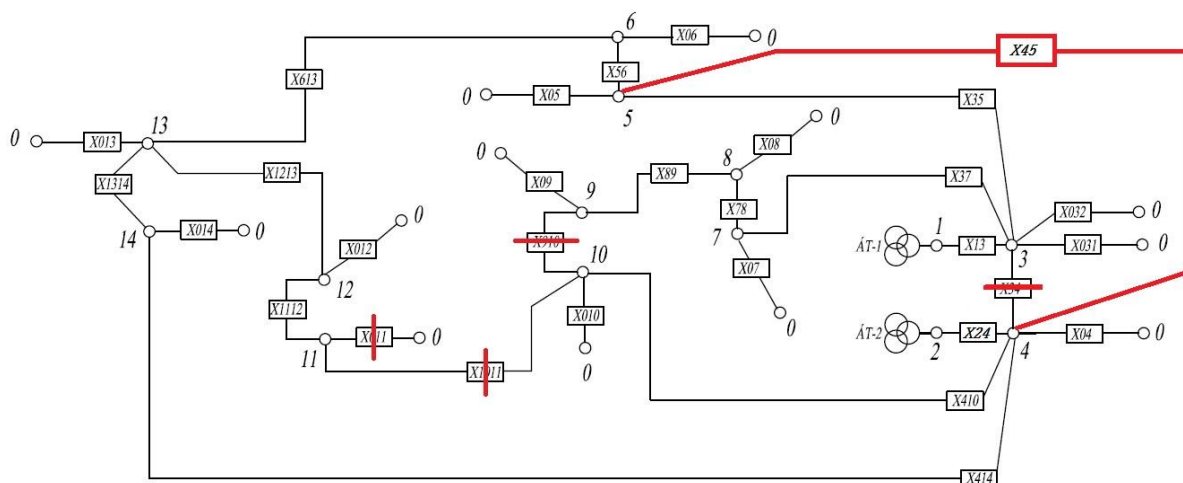
2 papildoma linija

Jau egzistuoja viena linija, einanti iš SP-54 transformatorių pastotės I sekcijos į 1 669 transformatorinę, tačiau kadangi I ir II sekcijos šiuo atveju neturi elektrinio ryšio dėl išjungto sekcijų jungtuvo, patikimumo įvertis gali pakilti, jei bus prijungtas II sekcijos transformatorius.

Papildoma linija tarp SP-54 ir 1669 (papildoma linija ir 4 komutaciniai aparatai):

$$X_{45} = \frac{0,37 \times 0,5}{100} + 0,00046 \times 4 = 0,00369. \quad (5.5)$$

Patikimumo įvertis, kai nurodytame tinkle yra įjungtas 69 transformatorinės sekcijų skyrikklis, apskaičiuojamas 5.6.1–5.6.3 formulėmis.



5.4 pav. VMPS 1-osios konfigūracijos tinklo gedimų medis su 2-ąja papildoma linija

Patikimumo įvertis 13 taške:

$$P_{13} = 1 - (q_{13} + q_{35} + q_{56} + q_{613}) \times (q_{24} + (q_{414} + q_{1314}) \times (q_{45} + q_{56} + q_{613})); \quad (5.6.1)$$

$$P_{13} = 0,99958.$$

Patikimumo įvertis 10 taške:

$$P_{10} = 1 - (q_{13} + q_{35} + q_{45} \times (q_{56} + q_{613} + q_{1314} + q_{414}) + q_{410}) \times (q_{24} + q_{410}); \quad (5.6.2)$$

$$P_{10} = 0,99945.$$

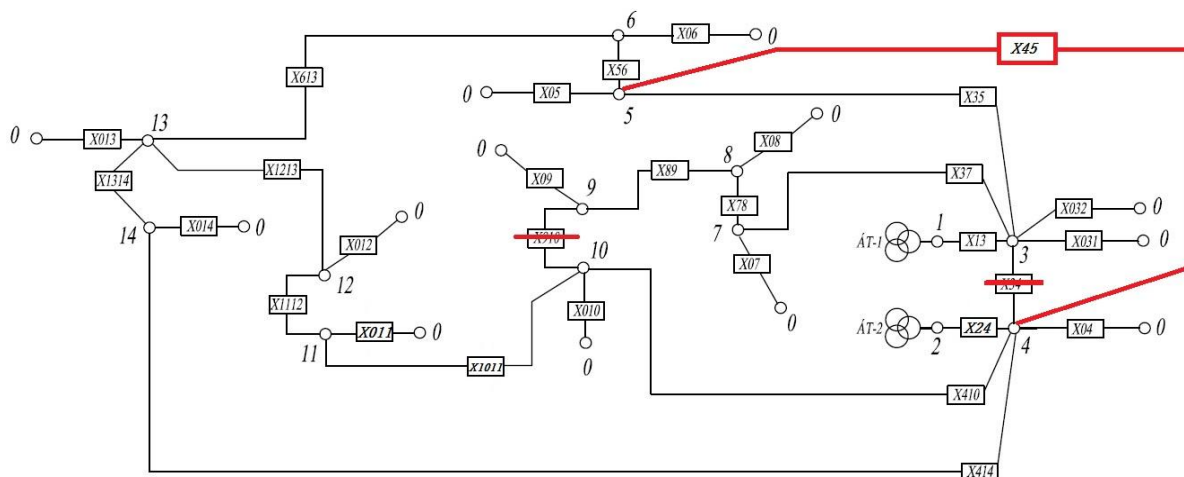
Patikimumo įvertis 5 taške:

$$P_5 = 1 - (q_{13} + q_{35}) \times (q_{24} + (q_{414} + q_{1314} + q_{613} + q_{56}) \times q_{45}); \quad (5.6.3)$$

$$P_5 = 0,99958.$$

Čia P_n – aprūpinimo elektra patikimumo įvertis.

Patikimumo įvertis, kai nurodytame tinkle yra įjungtas 69 transformatorinės sekcijų skyriklis, 68 transformatorinė, linijos tarp 68 ir 1 047 transformatorinių bei II sekcijos skyriklis, apskaičiuojamas 5.7.1–5.7.3 formulėmis.



5.5 pav. VMPS 2-osios konfiguracijos tinklo gedimų medis su 2-ąja papildoma linija

Patikimumo įvertis 13 taške:

$$P_{13} = 1 - (q_{13} + q_{35} + (q_{56} + q_{613}) \times (q_{45} + (q_{414} + q_{1314}) \times (q_{410} + q_{1011} + q_{1112} + q_{1213}))) \times (q_{24} + (q_{414} + q_{1314}) \times (q_{410} + q_{1011} + q_{1112} + q_{1213})) \times (q_{45} + q_{56} + q_{613}); \quad (5.7.1)$$

$$P_{13} = 0,99958.$$

Patikimumo įvertis 10 taške:

$$P_{10} = 1 - (q_{13} + q_{35} + (q_{56} + q_{613} + q_{1213} + q_{1112} + q_{1011}) \times (q_{45} + q_{410})) \times (q_{24} + q_{410} \times (q_{414} + q_{1314} + q_{1213} + q_{1112} + q_{1011})); \quad (5.7.2)$$

$$P_{10} = 0,99958.$$

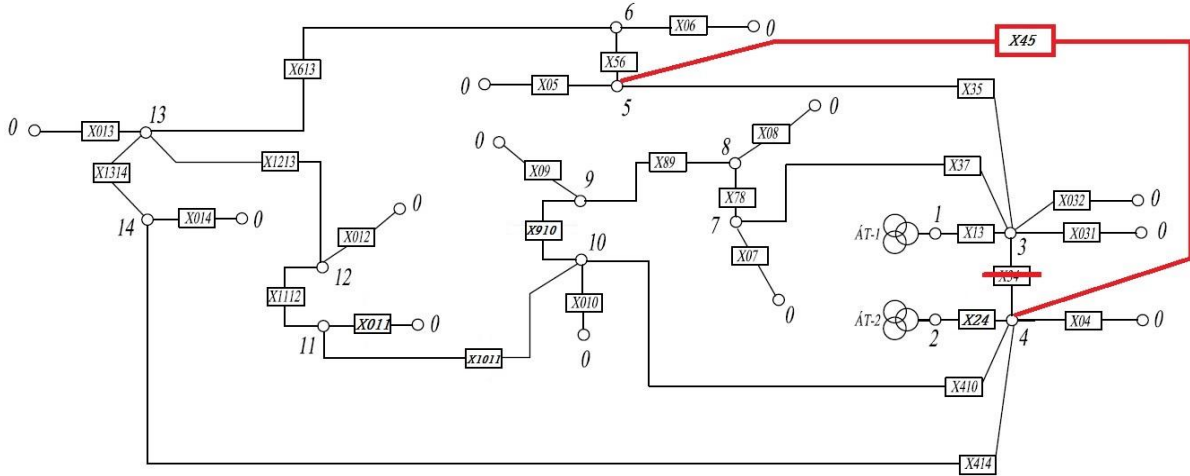
Patikimumo įvertis 5 taške:

$$P_5 = 1 - (q_{13} + q_{35}) \times (q_{24} + q_{45} \times (q_{414} + q_{1314} + q_{613} + q_{56}) \times (q_{410} + q_{1011} + q_{1112} + q_{1213} + q_{613} + q_{56})); \quad (5.7.3)$$

$$P_5 = 0,99958.$$

Čia P_n – aprūpinimo elektra patikimumo įvertis.

Patikimumo įvertis, kai nurodytame tinkle yra įjungtas 69 transformatorinės sekcijų skyriklis, 68 transformatorinė, linijos tarp 68 ir 1 047 transformatorinių, II sekcijos skyriklis ir 1 047 transformatorinės sekcijų skyriklis, apskaičiuojamas 5.8.1–5.8.3 formulėmis.



5.6 pav. VMPS 3-iosios konfigūracijos tinklo gedimų medis su 2-ąja papildoma linija

Patikimumo įvertis 13 taške:

$$P_{13} = 1 - (q_{13} + (q_{35} + (q_{56} + q_{613}) \times (q_{45} + (q_{414} + q_{1314}) \times (q_{410} + q_{1011} + q_{1112} + q_{1213})))) \times (q_{24} + (q_{45} + q_{56} + q_{613}) \times (q_{414} + q_{1314}) \times (q_{410} + q_{1011} + q_{1112} + q_{1213}))) ; \quad (5.8.1)$$

$$P_{13} = 0,99958.$$

Patikimumo įvertis 10 taške:

$$P_{f10} = (q_{13} + (q_{35} + (q_{56} + q_{613} + q_{1213} + q_{1112} + q_{1011}) \times (q_{45} + q_{410}))) \times (q_{37} + q_{78} + q_{89} + q_{910}) \times (q_{24} + (q_{414} + q_{1314} + q_{1213} + q_{1112} + q_{1011}) \times q_{410} \times (q_{45} + q_{56} + q_{613}))) ; \quad (5.8.2)$$

$$P_{13} = 0,99964.$$

Patikimumo įvertis 5 taške:

$$P_{f5} = (q_{13} + q_{35} \times (q_{37} + q_{78} + q_{89} + q_{910} + (q_{1011} + q_{1112} + q_{1213}) \times (q_{410} + q_{45}) + q_{613} + q_{56})) \times (q_{24} + ((q_{414} + q_{1314}) \times (q_{410} + q_{1011} + q_{1112} + q_{1213}) + q_{613} + q_{56}) \times q_{45}) ; \quad (5.8.3)$$

$$P_{13} = 0,99964.$$

Čia P_n – aprūpinimo elektra patikimumo įvertis.

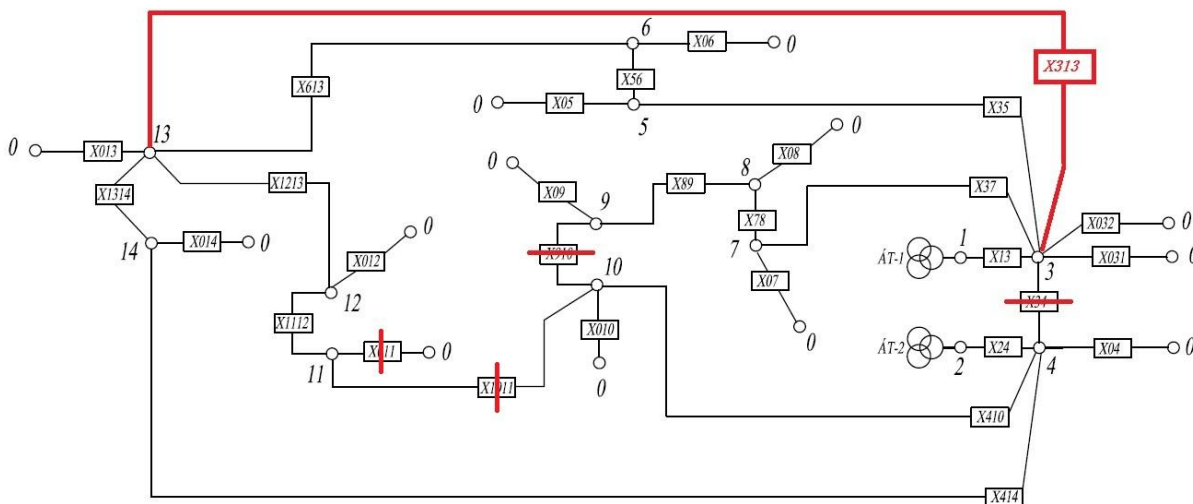
3 papildoma linija

Jau egzistuoja viena linija, einanti iš SP-54 transformatorių pastotės II sekcijos į 69 transformatorinę, tačiau kadangi I ir II sekcijos šiuo atveju neturi elektrinio ryšio dėl išjungto sekcijų jungtuvo, patikimumo įvertis gali pakilti, jei tiesiogine linija bus prijungtas I sekcijos transformatorius kaip papildomas maitinimo šaltinis.

Papildoma linija tarp SP-54 ir 69 (papildoma linija ir 4 komutaciniai aparatai):

$$X_{313} = \frac{0,37 \times 0,45}{100} + 0,00046 \times 4 = 0,00351. \quad (5.9)$$

Patikimumo įvertis, kai nurodytame tinkle yra įjungtas 69 transformatorinės sekcijų skyriklis, apskaičiuojamas 5.10.1–5.10.3 formulėmis.



5.7 pav. VMPS 1-osios konfiguracijos tinklo gedimų medis su 3-iaja papildoma linija

Patikimumo įvertis 13 taške:

$$P_{13} = 1 - (q_{13} + (q_{35} + q_{56} + q_{613}) \times q_{313}) \times (q_{24} + q_{414} + q_{1314}) ; \quad (5.10.1)$$

$$P_{13} = 0,99956.$$

Patikimumo įvertis 10 taške:

$$P_{10} = 1 - (q_{13} + (q_{35} + q_{56} + q_{613}) \times q_{313} + q_{1314} + q_{414} + q_{410}) \times (q_{24} + q_{410}) \quad ; \quad (5.10.2)$$

$$P_{10} = 0,99943.$$

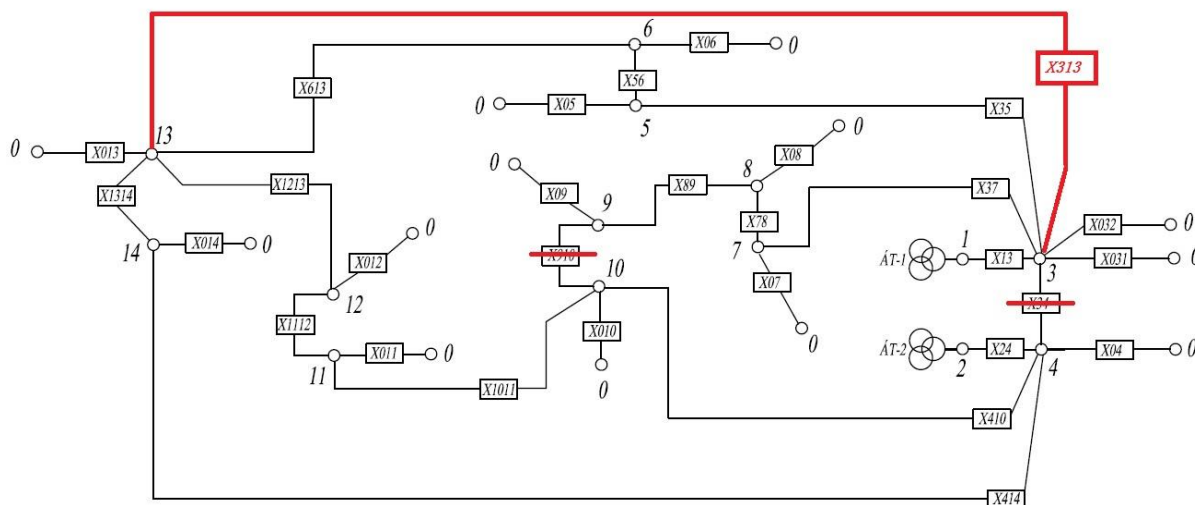
Patikimumo įvertis 5 taške:

$$P_5 = 1 - (q_{13} + q_{35} \times (q_{313} + q_{613} + q_{56})) \times (q_{24} + q_{414} + q_{1314} + (q_{613} + q_{56}) \times (q_{313} + q_{35})) \quad ; \quad (5.10.3)$$

$$P_5 = 0,99956.$$

Čia P_n – aprūpinimo elektra patikimumo įvertis.

Patikimumo įvertis, kai nurodytame tinkle yra įjungtas 69 transformatorinės sekcijų skyriklis, 68 transformatorinė, linijos tarp 68 ir 1 047 transformatorinių bei II sekcijos skyriklis, apskaičiuojamas 5.11.1–5.11.3 formulėmis.



5.8 pav. VMPS 2-osios konfiguracijos tinklo gedimų medis su 3-ąja papildoma linija

Patikimumo įvertis 13 taške:

$$P_{13} = 1 - (q_{13} + (q_{35} + q_{56} + q_{613}) \times q_{313}) \times (q_{24} + (q_{414} + q_{1314}) \times (q_{410} + q_{1011} + q_{1112} + q_{1213})) \quad ; \quad (5.11.1)$$

$$P_{13} = 0,99964.$$

Patikimumo įvertis 10 taške:

$$P_{10} = 1 - (q_{13} + (q_{35} + q_{56} + q_{613}) \times q_{313} + (q_{1213} + q_{1112} + q_{1011}) \times (q_{1314} + q_{414} + q_{410})) \times (q_{24} + q_{410} \times (q_{414} + q_{1314} + q_{1213} + q_{1112} + q_{1011})); \quad (5.11.2)$$

$$P_{10} = 0,99964.$$

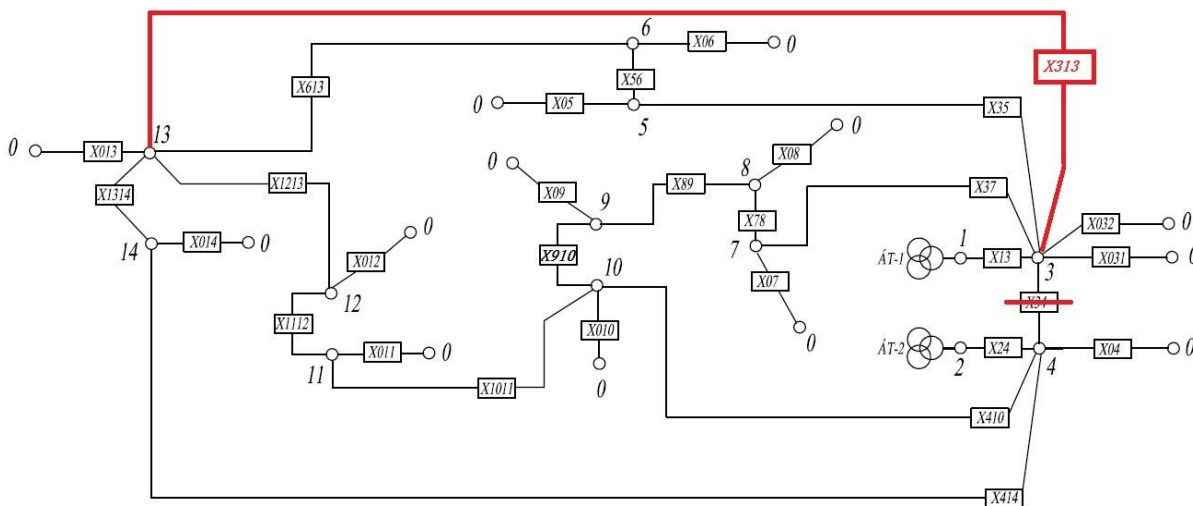
Patikimumo įvertis 5 taške:

$$P_5 = 1 - (q_{13} + q_{35} \times (q_{313} + q_{613} + q_{56})) \times (q_{24} + (q_{414} + q_{1314}) \times (q_{410} + q_{1011} + q_{1112} + q_{1213}) + (q_{613} + q_{56}) \times (q_{313} + q_{35})); \quad (5.11.3)$$

$$P_5 = 0,99964.$$

Čia P_n – aprūpinimo elektra patikimumo įvertis.

Patikimumo įvertis, kai nurodytame tinkle yra įjungtas 69 transformatorinės sekcijų skyriklis, 68 transformatorinė, linijos tarp 68 ir 1 047 transformatorinių, II sekcijos skyriklis ir 1 047 transformatorinės sekcijų skyriklis, apskaičiuojamas 5.12.1–5.12.3 formulėmis.



5.9 pav. VMPS 3-iosios konfigūracijos tinklo gedimų medis su 3-ja papildoma linija

Patikimumo įvertis 13 taške:

$$P_{13} = 1 - (q_{13} + (q_{35} + q_{56} + q_{613}) \times q_{313} \times (q_{37} + q_{78} + q_{89} + q_{910} + (q_{1011} + q_{1112} + q_{1213}) \times (q_{410} + q_{414} + q_{1314}))) \times (q_{24} + (q_{414} + q_{1314}) \times (q_{410} + q_{1011} + q_{1112} + q_{1213}) \times (q_{410} + q_{910} + q_{89} + q_{78} + q_{37} + q_{313})); \quad (5.12.1)$$

$$P_{13} = 0,99964.$$

Patikimumo įvertis 10 taške:

$$P_{f10} = (q_{13} + ((q_{35} + q_{56} + q_{613}) \times q_{313} + q_{1213} + q_{1112} + q_{1011}) \times (q_{37} + q_{78} + q_{89} + q_{910})) \times (q_{24} + (q_{414} + q_{1314} + q_{1213} + q_{1112} + q_{1011}) \times q_{410}) \quad (5.12.2)$$

$$P_{13} = 0,99964.$$

Patikimumo įvertis 5 taške:

$$P_{f5} = (q_{13} + q_{35} \times (q_{313} + q_{613} + q_{56})) \times (q_{37} + q_{78} + q_{89} + q_{910} + (q_{1011} + q_{1112} + q_{1213}) \times (q_{410} + q_{414} + q_{1314}) + q_{613} + q_{56})) \times (q_{24} + (q_{414} + q_{1314}) \times (q_{410} + q_{1011} + q_{1112} + q_{1213}) + (q_{613} + q_{56}) \times (q_{313} + q_{35})) \quad (5.12.3)$$

$$P_{13} = 0,99964.$$

Čia P_n – aprūpinimo elektra patikimumo įvertis.

5.3. Papildomų linijų, einančių iš naujų maitinimo transformatorių, patikimumų analizė

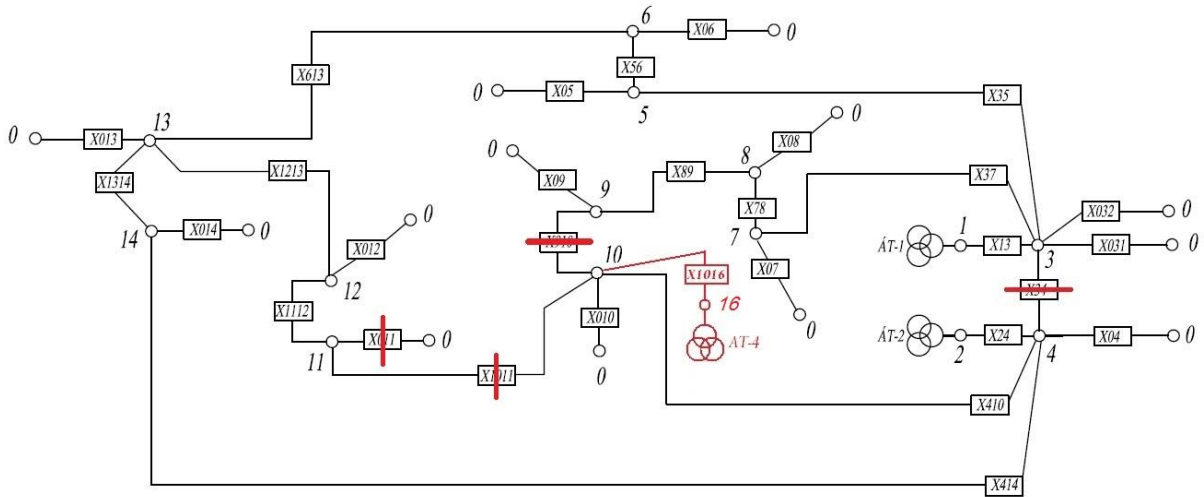
Aprūpinimo elektros energija patikimumas kinta prijungus greta esančios ar įrengtos naujos transformatorių pastotės transformatorių prie atitinkamo taško. Šiame darbe buvo nustatyti trijų taškų (5, 10 ir 13) patikimumo įverčiai transformatorinių (atitinkamai 1 669, 1 047 ir 69) šynose, kai tinkle veikia abu autotransformatoriai ir prie nurodytų taškų yra prijungiami papildomi autotransformatoriai AT-3, AT-4 ar AT-5.

Papildomas autotransformatorius AT-4

Papildomas maitinimo šaltinis yra prijungtas prie 1 047 (1 komutacinis aparatas):

$$X_{1016} = 0,0184 + 0,00046 \times 1 = 0,01886. \quad (5.13)$$

Patikimumo įvertis, kai nurodytame tinkle yra įjungtas 69 transformatorinės sekcijų skyriklis, apskaičiuojamas 5.14.1–5.14.3 formulėmis.



5.10 pav. VMPS 1-osios konfigūracijos tinklo gedimų medis su autotransformatoriumi AT-4

Patikimumo įvertis 13 taške:

$$P_{13} = 1 - (q_{13} + q_{35} + q_{56} + q_{613}) \times (q_{24} + q_{414} + q_{1314}) \times (q_{1016} + q_{410} + q_{414} + q_{1314}) ; \quad (5.14.1)$$

$$P_{13} = 0,999998.$$

Patikimumo įvertis 10 taške:

$$P_{10} = 1 - (q_{13} + q_{35} + q_{56} + q_{613} + q_{1314} + q_{414} + q_{410}) \times (q_{24} + q_{410}) \times q_{1016} ; \quad (5.14.2)$$

$$P_{10} = 0,999999.$$

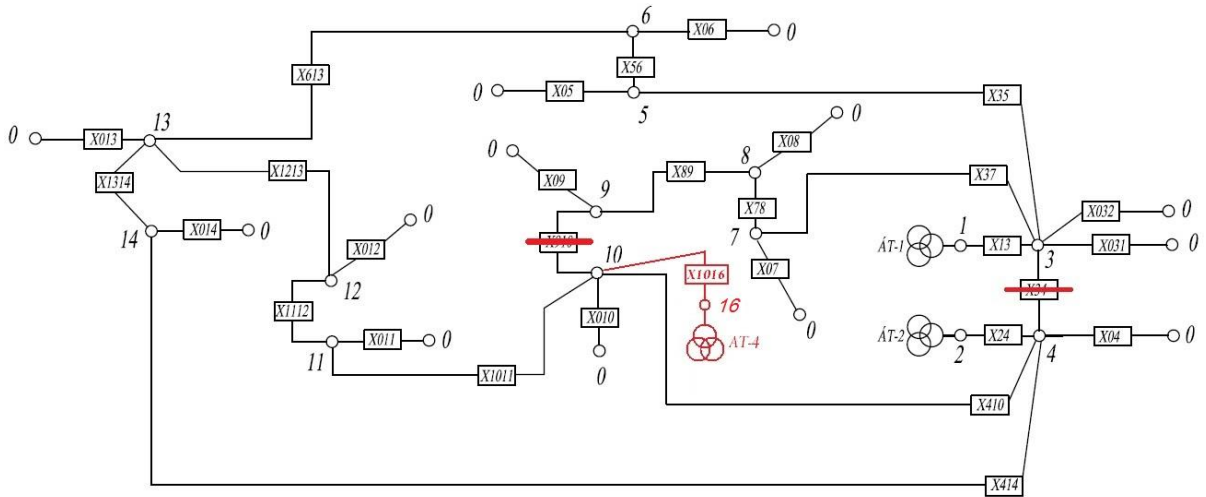
Patikimumo įvertis 5 taške:

$$P_5 = 1 - (q_{13} + q_{35}) \times (q_{24} + q_{414} + q_{1314} + q_{613} + q_{56}) \times (q_{1016} + q_{410} + q_{414} + q_{1314} + q_{613} + q_{56}) ; \quad (5.14.3)$$

$$P_5 = 0,999998.$$

Čia P_n – aprūpinimo elektra patikimumo įvertis.

Patikimumo įvertis, kai nurodytame tinkle yra įjungtas 69 transformatorinės sekcijų skyriklis, 68 transformatorinė, linijos tarp 68 ir 1 047 transformatorinių bei II sekcijos skyriklis, apskaičiuojamas 5.15.1–5.15.3 formulėmis.



5.11 pav. VMPS 2-osios konfigurācijas tīklo gedimū medis su autotransformatoriumi AT-4

Patikimumo ģvertis 13 taške:

$$P_{13} = 1 - (q_{13} + q_{35} + q_{56} + q_{613}) \times (q_{24} + (q_{414} + q_{1314}) \times (q_{410} + q_{1011} + q_{1112} + q_{1213})) \times (q_{1016} + (q_{1011} + q_{1112} + q_{1213}) \times (q_{410} + q_{414} + q_{1314})); \quad (5.15.1)$$

$$P_{13} = 0,999999.$$

Patikimumo ģvertis 10 taške:

$$P_{10} = 1 - (q_{13} + q_{35} + q_{56} + q_{613} + q_{1213} + q_{1112} + q_{1011}) \times (q_{24} + q_{410} \times (q_{414} + q_{1314} + q_{1213} + q_{1112} + q_{1011})) \times q_{1016}; \quad (5.15.2)$$

$$P_{10} = 0,999999.$$

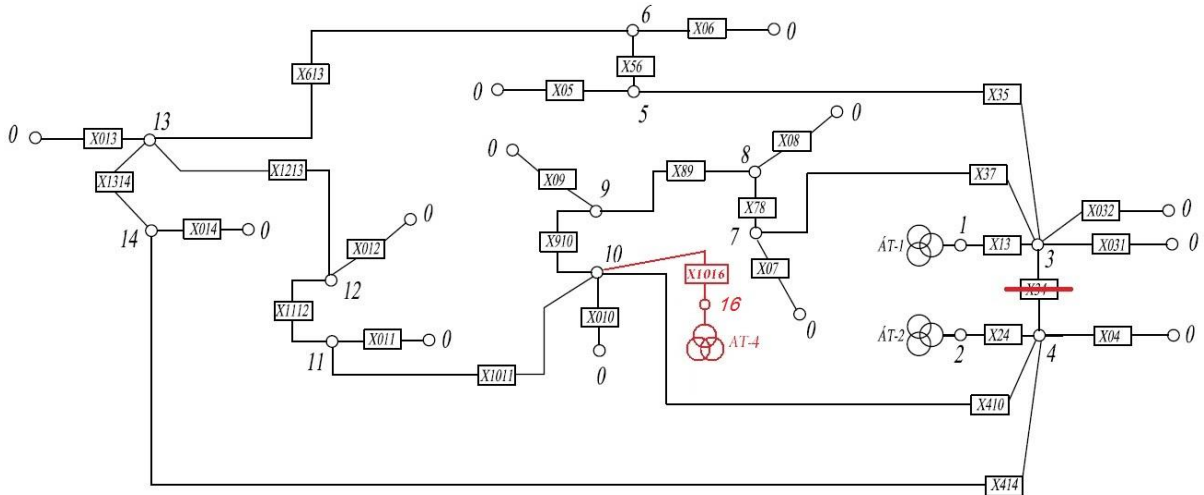
Patikimumo ģvertis 5 taške:

$$P_5 = 1 - (q_{13} + q_{35}) \times (q_{24} + (q_{414} + q_{1314}) \times (q_{410} + q_{1011} + q_{1112} + q_{1213}) + q_{613} + q_{56}) \times (q_{1016} + (q_{1011} + q_{1112} + q_{1213}) \times (q_{410} + q_{414} + q_{1314}) + q_{613} + q_{56}); \quad (5.15.3)$$

$$P_5 = 0,999999.$$

Ĉia P_n – aprūpinimo elektra patikimumo ģvertis.

Patikimumo įvertis, kai nurodytame tinkle yra įjungtas 69 transformatorinės sekcijų skyriklis, 68 transformatorinė, linijos tarp 68 ir 1 047 transformatorinių, II sekcijos skyriklis ir 1 047 transformatorinės sekcijų skyriklis, apskaičiuojamas 5.16.1–5.16.3 formulėmis.



5.12 pav. VMPS 3-iosios konfigūracijos tinklo gedimų medis su autotransformatoriumi AT-4

Patikimumo įvertis 13 taške:

$$\begin{aligned}
 P_{13} = & 1 - (q_{13} + (q_{35} + q_{56} + q_{613}) \times (q_{37} + q_{78} + q_{89} + q_{910} + q_{1011} + \\
 & + q_{1112} + q_{1213})) \times (q_{24} + (q_{414} + q_{1314}) \times (q_{410} + q_{1011} + q_{1112} + q_{1213})) \times (5.16.1) \\
 & \times (q_{1016} + (q_{1011} + q_{1112} + q_{1213}) \times (q_{410} + q_{414} + q_{1314})) \\
 & P_{13} = 0,999999.
 \end{aligned}$$

Patikimumo įvertis 10 taške:

$$\begin{aligned}
 P_{f10} = & (q_{13} + (q_{35} + q_{56} + q_{613} + q_{1213} + q_{1112} + q_{1011}) \times (q_{37} + q_{78} + \\
 & + q_{89} + q_{910})) \times (q_{24} + (q_{414} + q_{1314} + q_{1213} + q_{1112} + q_{1011}) \times \\
 & \times q_{410}) \times q_{1016} \quad (5.16.2) \\
 & P_{13} = 0,999999;
 \end{aligned}$$

Patikimumo įvertis 5 taške:

$$\begin{aligned}
 P_{f5} = & (q_{13} + q_{35} \times (q_{37} + q_{78} + q_{89} + q_{910} + q_{1011} + q_{1112} + q_{1213} + q_{613} + q_{56})) \times (q_{24} + \\
 & + (q_{414} + q_{1314}) \times (q_{410} + q_{1011} + q_{1112} + q_{1213}) + q_{613} + q_{56}) \times (q_{1016} + (q_{1011} + q_{1112} + q_{1213}) \times \\
 & \times (q_{410} + q_{414} + q_{1314}) + q_{613} + q_{56}) \quad (5.16.3) \\
 & P_{13} = 0,999999.
 \end{aligned}$$

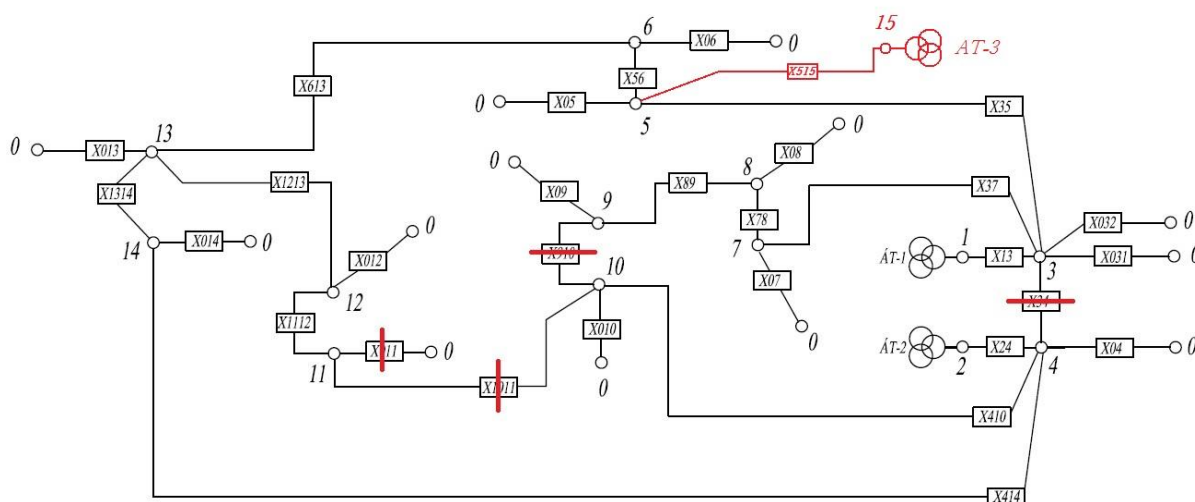
Papildomas autotransformatorius AT-3

Jau egzistuoja viena linija, einanti iš SP-54 transformatorių pastotės I sekcijos į 1 669 transformatorinę, tačiau kadangi I ir II sekcijos šiuo atveju neturi elektrinio ryšio dėl išjungto sekcijų jungtuvo, patikimumo įvertis gali pakilti, jei bus prijungtas II sekcijos transformatorius.

Papildomas maitinimo šaltinis yra prijungtas prie 1 669 (1 komutacinis aparatas):

$$X_{515} = 0,0184 + 0,00046 \times 1 = 0,01886. \quad (5.17)$$

Patikimumo įvertis, kai nurodytame tinkle yra įjungtas 69 transformatorinės sekcijų skyriklis, apskaičiuojamas 5.18.1–5.18.3 formulėmis.



5.13 pav. VMPS 1-osios konfigūracijos tinklo gedimų medis su autotransformatoriumi AT-3

Patikimumo įvertis 13 taške:

$$P_{13} = 1 - (q_{13} + q_{35} + q_{56} + q_{613}) \times (q_{24} + q_{414} + q_{1314}) \times (q_{515} + q_{56} + q_{613}); \quad (5.18.1)$$

$$P_{13} = 0,99999.$$

Patikimumo įvertis 10 taške:

$$P_{10} = 1 - (q_{13} + q_{35} + q_{56} + q_{613} + q_{1314} + q_{414} + q_{410}) \times (q_{24} + q_{410}) \times (q_{515} + q_{56} + q_{613} + q_{1314} + q_{414} + q_{410}); \quad (5.18.2)$$

$$P_{10} = 0,99998.$$

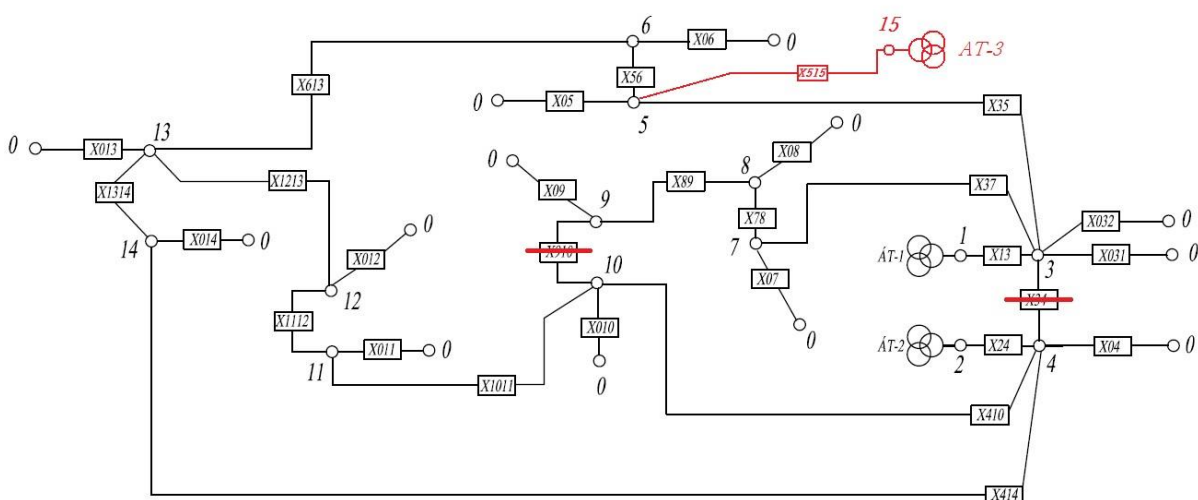
Patikimumo įvertis 5 taške:

$$P_5 = 1 - (q_{13} + q_{35}) \times (q_{24} + q_{414} + q_{1314} + q_{613} + q_{56}) \times q_{515}; \quad (5.18.3)$$

$$P_5 = 0,99999.$$

Čia P_n – aprūpinimo elektra patikimumo įvertis.

Patikimumo įvertis, kai nurodytame tinkle yra įjungtas 69 transformatorinės sekcijų skyriklis, 68 transformatorinė, linijos tarp 68 ir 1 047 transformatorinių bei II sekcijos skyriklis, apskaičiuojamas 5.19.1–5.19.3 formulėmis.



5.14 pav. VMPS 2-osios konfigūracijos tinklo gedimų medis su autotransformatoriumi AT-3

Patikimumo įvertis 13 taške:

$$P_{13} = 1 - (q_{13} + q_{35} + q_{56} + q_{613}) \times (q_{24} + (q_{414} + q_{1314})) \times (q_{410} + q_{1011} + q_{1112} + q_{1213}) \times (q_{515} + q_{56} + q_{613}); \quad (5.19.1)$$

$$P_{13} = 0,99999.$$

Patikimumo įvertis 10 taške:

$$P_{10} = 1 - (q_{13} + q_{35} + q_{56} + q_{613} + q_{1213} + q_{1112} + q_{1011}) \times (q_{24} + q_{410} \times (q_{414} + q_{1314} + q_{1213} + q_{1112} + q_{1011})) \times (q_{515} + q_{56} + q_{613} + (q_{1213} + q_{1112} + q_{1011}) \times (q_{1314} + q_{414} + q_{410})); \quad (5.19.2)$$

$$P_{10} = 0,99999.$$

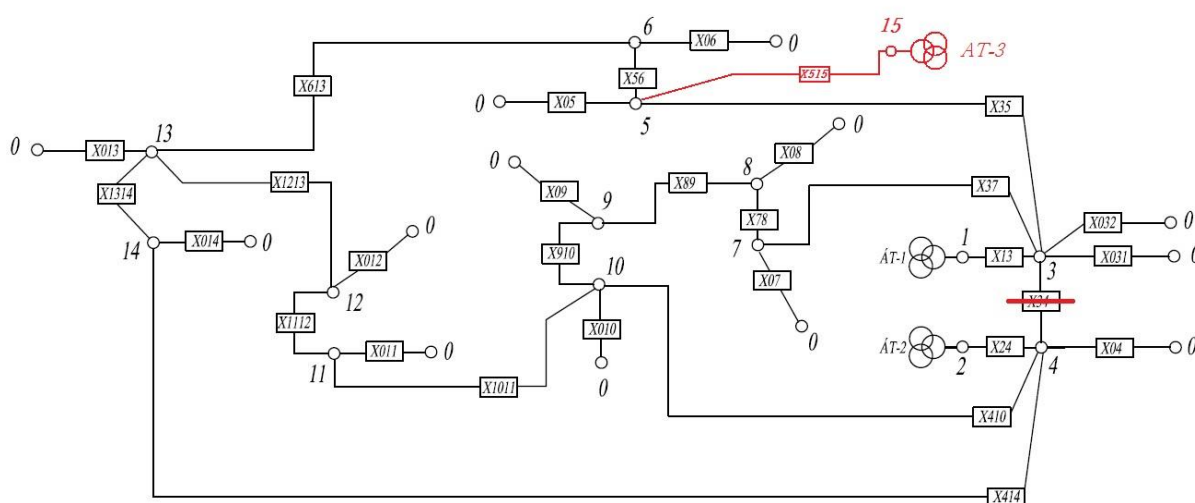
Patikimumo įvertiss 5 taške:

$$P_5 = 1 - (q_{13} + q_{35}) \times (q_{24} + (q_{414} + q_{1314}) \times (q_{410} + q_{1011} + q_{1112} + q_{1213}) + q_{613} + q_{56}) \times q_{515} ; \quad (5.19.3)$$

$$P_5 = 0,99999.$$

Čia P_n – aprūpinimo elektra patikimumas.

Patikimumo įvertis, kai nurodytame tinkle yra įjungtas 69 transformatorinės sekcijų skyriklis, 68 transformatorinė, linijos tarp 68 ir 1 047 transformatorinių, II sekcijos skyriklis ir 1 047 transformatorinės sekcijų skyriklis, apskaičiuojamas 5.20.1–5.20.3 formulėmis.



5.15 pav. VMPS 3-iosios konfigūracijos tinklo gedimų medis su autotransformatoriumi AT-3

Patikimumo įvertiss 13 taške:

$$P_{13} = 1 - (q_{13} + (q_{35} + q_{56} + q_{613}) \times (q_{37} + q_{78} + q_{89} + q_{910} + q_{1011} + q_{1112} + q_{1213})) \times (q_{24} + (q_{414} + q_{1314}) \times (q_{410} + q_{1011} + q_{1112} + q_{1213})) \times (q_{515} + (q_{56} + q_{613}) \times (q_{35} + q_{37} + q_{78} + q_{89} + q_{910} + q_{1011} + q_{1112} + q_{1213})) \quad (5.20.1)$$

$$P_{13} = 0,99999.$$

Patikimumo įvertis 10 taške:

$$P_{f10} = (q_{13} + (q_{35} + q_{56} + q_{613} + q_{1213} + q_{1112} + q_{1011}) \times (q_{37} + q_{78} + q_{89} + q_{910})) \times (q_{24} + (q_{414} + q_{1314} + q_{1213} + q_{1112} + q_{1011}) \times q_{410}) \times (q_{515} + (q_{56} + q_{613} + (q_{1213} + q_{1112} + q_{1011}) \times (q_{1314} + q_{414} + q_{410}))) \times (q_{35} + q_{37} + q_{78} + q_{89} + q_{910})) \quad (5.20.2)$$

$$P_{13} = 0,99999.$$

Patikimumo įvertis 5 taške:

$$P_{f5} = (q_{13} + q_{35} \times (q_{37} + q_{78} + q_{89} + q_{910} + (q_{1011} + q_{1112} + q_{1213} + q_{613} + q_{56}) \times (q_{410} + q_{414} + q_{1314}))) \times (q_{24} + (q_{414} + q_{1314}) \times (q_{410} + q_{1011} + q_{1112} + q_{1213}) + q_{613} + q_{56}) \times q_{515} \quad (5.20.3)$$

$$P_{13} = 0,99999.$$

Čia P_n – aprūpinimo elektra patikimumo įvertis.

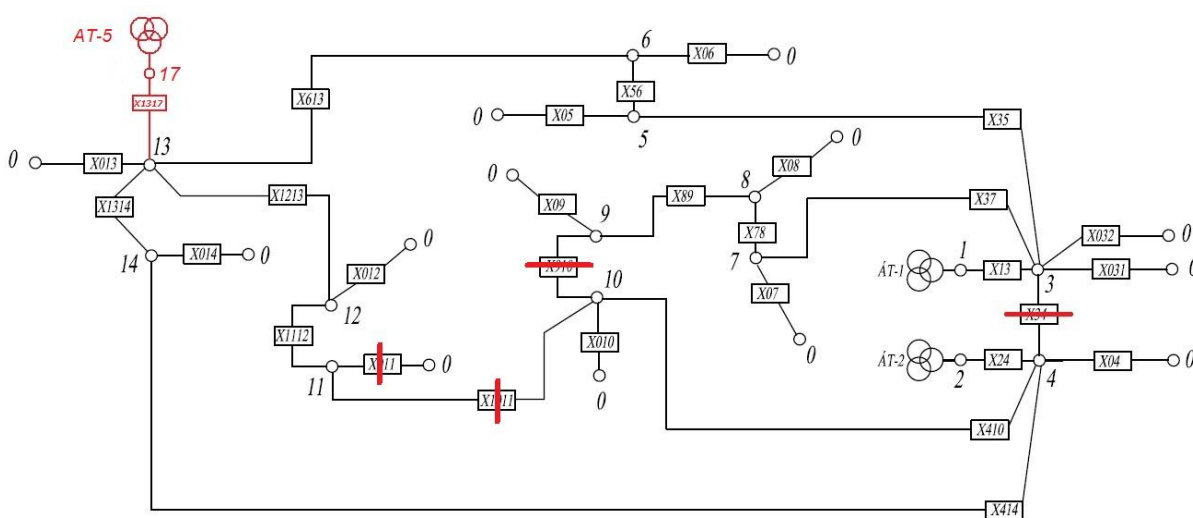
Papildomas autotransformatorius AT-5

Jau egzistuoja viena linija, einanti iš SP-54 transformatorių pastotės II sekcijos į 69 transformatorinę, tačiau kadangi I ir II sekcijos šiuo atveju neturi elektrinio ryšio dėl išjungto sekcijų jungtuvo, patikimumo įvertis gali pakilti, jei tiesiogine linija bus prijungtas I sekcijos transformatorius kaip papildomas maitinimo šaltinis.

Papildomas maitinimo šaltinis yra prijungtas prie 69 (1 komutacinis aparatas):

$$X_{1317} = 0,0184 + 0,00046 \times 1 = 0,01886. \quad (5.21)$$

Patikimumo įvertis, kai nurodytame tinkle yra įjungtas 69 transformatorinės sekcijų skyriklis, apskaičiuojamas 5.22.1–5.22.3 formulėmis.



5.16 pav. VMPS 1-osios konfigūracijos tinklo gedimų medis su autotransformatoriumi AT-5

Patikimumo įvertis 13 taške:

$$P_{13} = 1 - (q_{13} + q_{35} + q_{56} + q_{613}) \times (q_{24} + q_{414} + q_{1314}) \times q_{1317}; \quad (5.22.1)$$

$$P_{13} = 0,99999.$$

Patikimumo įvertis 10 taške:

$$P_{10} = 1 - (q_{13} + q_{35} + q_{56} + q_{613} + q_{1314} + q_{414} + q_{410}) \times (q_{24} + q_{1314} + q_{414} + q_{410}); \quad (5.22.2)$$

$$P_{10} = 0,99998.$$

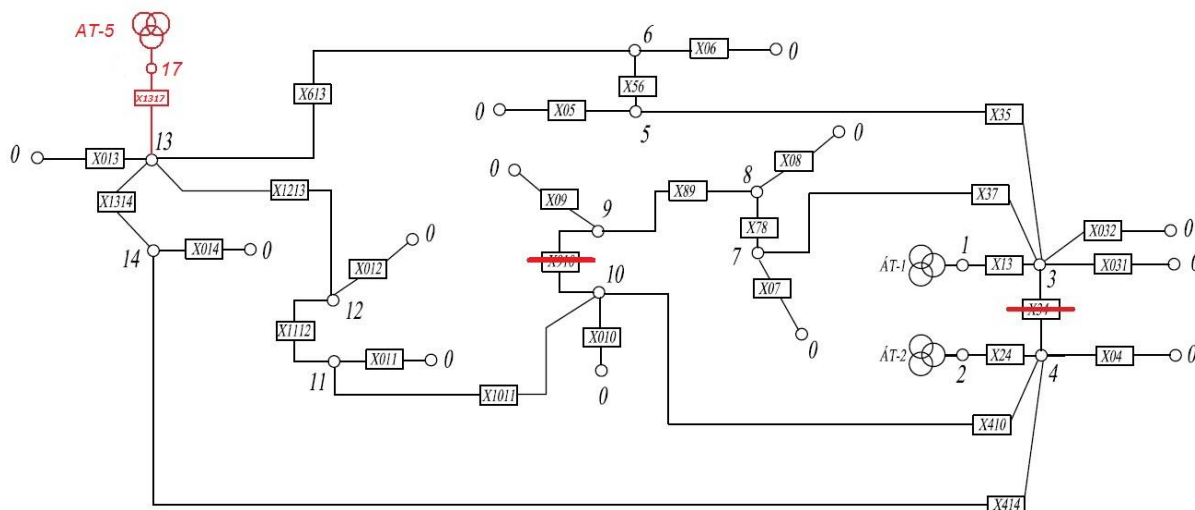
Patikimumo įvertis 5 taške:

$$P_5 = 1 - (q_{13} + q_{35}) \times (q_{24} + q_{414} + q_{1314} + q_{613} + q_{56}) \times (q_{1317} + q_{613} + q_{56}); \quad (5.22.3)$$

$$P_5 = 0,99999.$$

Čia P_n – aprūpinimo elektra patikimumo įvertis.

Patikimumo įvertis, kai nurodytame tinkle yra įjungtas 69 transformatorinės sekcijų skyriklis, 68 transformatorinė, linijos tarp 68 ir 1 047 transformatorinių bei II sekcijos skyriklis, apskaičiuojamas 5.23.1–5.23.3 formulėmis.



5.17 pav. VMPS 2-osios konfigūracijos tinklo gedimų medis su autotransformatoriumi AT-5

Patikimumo įvertis 13 taške:

$$P_{13} = 1 - (q_{13} + q_{35} + q_{56} + q_{613}) \times (q_{24} + (q_{414} + q_{1314})) \times (q_{410} + q_{1011} + q_{1112} + q_{1213}); \quad (5.23.1)$$

$$P_{13} = 0,99999.$$

Patikimumo įvertis 10 taške:

$$P_{10} = 1 - (q_{13} + q_{35} + q_{56} + q_{613} + q_{1213} + q_{1112} + q_{1011}) \times (q_{24} + q_{410} \times (q_{414} + q_{1314} + q_{1213} + q_{1112} + q_{1011})) \times (q_{1317} + (q_{1213} + q_{1112} + q_{1011}) \times (q_{1314} + q_{414} + q_{410})) \quad (5.23.2)$$

$$P_{10} = 0,99999.$$

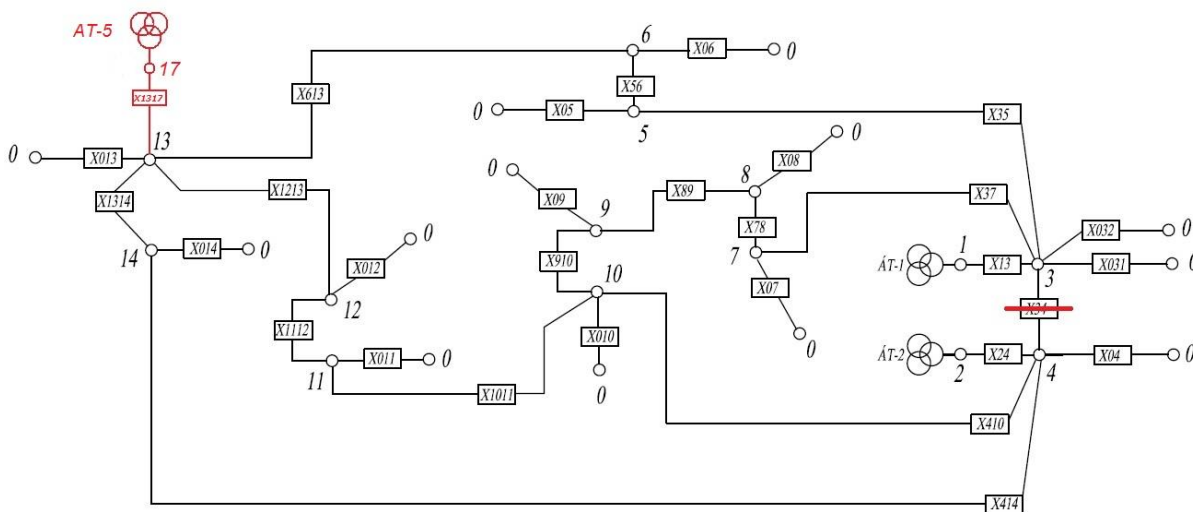
Patikimumo įvertis 5 taške:

$$P_5 = 1 - (q_{13} + q_{35}) \times (q_{24} + (q_{414} + q_{1314}) \times (q_{410} + q_{1011} + q_{1112} + q_{1213}) + q_{613} + q_{56}) \times (q_{1317} + q_{613} + q_{56}) \quad (5.23.3)$$

$$P_5 = 0,99964.$$

Čia P_n – aprūpinimo elektra patikimumo įvertis.

Patikimumo įvertis, kai nurodytame tinkle yra įjungtas 69 transformatorinės sekcijų skyriklis, 68 transformatorinė, linijos tarp 68 ir 1 047 transformatorinių, II sekcijos skyriklis ir 1 047 transformatorinės sekcijų skyriklis, apskaičiuojamas 5.24.1–5.24.3 formulėmis.



5.18 pav. VMPS 3-iosios konfigūracijos tinklo gedimų medis su autotransformatoriumi AT-5

Patikimumo įvertis 13 taške:

$$P_{13} = 1 - (q_{13} + (q_{35} + q_{56} + q_{613}) \times (q_{37} + q_{78} + q_{89} + q_{910} + q_{1011} + q_{1112} + q_{1213})) \times (q_{24} + (q_{414} + q_{1314}) \times (q_{410} + q_{1011} + q_{1112} + q_{1213})) \times q_{1317} \quad ; \quad (5.24.1)$$

$$P_{13} = 0,999999.$$

Patikimumo įvertis 10 taške:

$$P_{f10} = (q_{13} + (q_{35} + q_{56} + q_{613} + q_{1213} + q_{1112} + q_{1011}) \times (q_{37} + q_{78} + q_{89} + q_{910})) \times (q_{24} + (q_{414} + q_{1314} + q_{1213} + q_{1112} + q_{1011}) \times q_{410}) \times (q_{1317} + (q_{1213} + q_{1112} + q_{1011}) \times (q_{414} + q_{1314} + q_{410})) \quad ; \quad (5.24.2)$$

$$P_{13} = 0,999999.$$

Patikimumo įvertis 5 taške:

$$P_{f5} = (q_{13} + q_{35} \times (q_{37} + q_{78} + q_{89} + q_{910} + q_{1011} + q_{1112} + q_{1213} + q_{613} + q_{56})) \times (q_{24} + (q_{414} + q_{1314}) \times (q_{410} + q_{1011} + q_{1112} + q_{1213})) + (q_{613} + q_{56}) \times (q_{1317} + q_{613} + q_{56}) \quad ; \quad (5.24.3)$$

$$P_{13} = 0,999999.$$

Čia P_n – aprūpinimo elektra patikimumo įvertis.

5.4. Rezultatų palyginimas ir analizė

Palyginus du aprūpinimo elektros energija patikimumo padidavimo variantus (papildoma linija, einanti iš esamo autotransformatoriaus, ir prijungtas naujas maitinimo autotransformatorius) su tiekimo be papildomų linijų patikimumo įverčiais, iš 5.1–5.3 lentelėse pateiktų rezultatų matyti, kad papildoma linija, einanti iš esamo transformatoriaus, pertrūkio trukmę sumažina net iki 62 %, o papildomas maitinimo šaltinis – autotransformatorius – pertrūkio trukmę sumažina net iki 57 kartų, t. y. 4–11 min. per metus atitinkamame tinklo taške.

Rezultatai taip pat parodė, kad kuo daugiau skyriklių ir jungtuvų yra įjungta, t. y. elektros energija gali atitekti iš įvairių pusių, tuo aukštesnis yra patikimumo įvertis. Tačiau, esant 3-iajam tinklo sujungimo variantui, tiekimo patikimumas ir pertrūkio trukmė tinkle, turinčiame papildomą liniją ir neturinčiame jos, yra vienodi. Taigi galima padaryti išvadą, kad žiedinio tinklo, kuriame elektros energija gali būti perduodama visomis linijomis, visiškai pakanka atitinkamam tiekimo patikimumui užtikrinti ir papildomos linijos nereikia.

1 tinklo sujungimo variantas: yra įjungtas 69 transformatorinės sekcijų skyriklis.

2 tinklo sujungimo variantas: yra įjungtas 69 transformatorinės sekcijų skyriklis, 68 transformatorinė, linijos tarp 68 ir 1 047 transformatorinių, II sekcijos skyriklis.

3 tinklo sujungimo variantas: yra įjungtas 69 transformatorinės sekcijų skyriklis, 68 transformatorinė, linijos tarp 68 ir 1 047 transformatorinių, II sekcijos skyriklis, 1 047 transformatorinės sekcijų skyriklis.

5.1 lentelė. Modernizuoto tinklo aprūpinimo elektra patikimumo rodiklių (esant papildomai 1-ajai linijai ir autotransformatoriui AT-4) palyginimas su pradinio tinklo rodikliais

Tinklo taškas	Nurodytas tinklas, neturintis papildomų linijų		Nurodytas tinklas, turintis papildomą liniją, einančią iš SP-54 į 1047 (1-oji)		Nurodytas tinklas, turintis autotransformatorių AT-4 prie 10 taško	
	Patikimumas	Pertrūkio trukmė, min. per metus	Patikimumas	Pertrūkio trukmė, min.	Patikimumas	Pertrūkio trukmė, min. per metus
1 tinklo sujungimo variantas						
13	0,99942	306	0,99964	188	0,99998	8
10	0,9993	368	0,99953	245	0,99999	7
5	0,99942	305	0,99964	188	0,99998	9
2 tinklo sujungimo variantas						
13	0,99953	246	0,99964	187	0,99999	5
10	0,99945	289	0,99964	187	0,99999	5
5	0,99952	251	0,9996	212	0,99999	5
3 tinklo sujungimo variantas						
13	0,99964	188	0,99964	187	0,99999	4
10	0,99964	188	0,99964	187	0,99999	4
5	0,9996	212	0,9996	212	0,99999	5

5.2 lentelė. Modernizuoto tinklo aprūpinimo elektra patikimumo rodiklių (esant papildomai 2-ajai linijai ir autotransformatoriui AT-3) palyginimas su pradinio tinklo rodikliais

Tinklo taškas	Nurodytas tinklas, neturintis papildomų linijų		Nurodytas tinklas, turintis papildomą liniją, einančią iš SP-54 į 1669 (2-oji)		Nurodytas tinklas, turintis autotransformatorių AT-3 prie 5 taško	
	Patikimumas	Pertrūkio trukmė, min.	Patikimumas	Pertrūkio trukmė, min.	Patikimumas	Pertrūkio trukmė, min.
1 tinklo sujungimo variantas						
13	0,99942	306	0,99958	222	0,99999	7
10	0,9993	368	0,99945	288	0,99998	11
5	0,99942	305	0,99958	222	0,99999	6
2 tinklo sujungimo variantas						
13	0,99953	246	0,99958	222	0,99999	5
10	0,99945	289	0,99958	222	0,99999	6
5	0,99952	251	0,99958	222	0,99999	5
3 tinklo sujungimo variantas						
13	0,99964	188	0,99958	222	0,99999	4
10	0,99964	188	0,99964	187	0,99999	4
5	0,9996	212	0,99964	187	0,99999	4

5.3 lentelė. Modernizuoto tinklo aprūpinimo elektra patikimumo rodiklių (esant papildomai 3-ajai linijai ir autotransformatoriui AT-5) palyginimas su pradinio tinklo rodikliais

Tinklo taškas	Nurodytas tinklas, neturintis papildomų linijų		Nurodytas tinklas, turintis papildomą liniją, einančią iš SP-54 į 69 (3-ioji)		Nurodytas tinklas, turintis autotransformatorių AT-5 prie 13 taško	
	Patikimumas	Pertrūkio trukmė, min.	Patikimumas	Pertrūkio trukmė, min.	Patikimumas	Pertrūkio trukmė, min.
1 tinklo sujungimo variantas						
13	0,99942	306	0,99956	233	0,99999	6
10	0,9993	368	0,99943	301	0,99998	10
5	0,99942	305	0,99956	233	0,99999	6
2 tinklo sujungimo variantas						
13	0,99953	246	0,99964	187	0,99999	5
10	0,99945	289	0,99964	188	0,99999	5
5	0,99952	251	0,99964	188	0,99999	5
3 tinklo sujungimo variantas						
13	0,99964	188	0,99964	187	0,99999	4
10	0,99964	188	0,99964	187	0,99999	4
5	0,9996	212	0,99964	187	0,99999	5

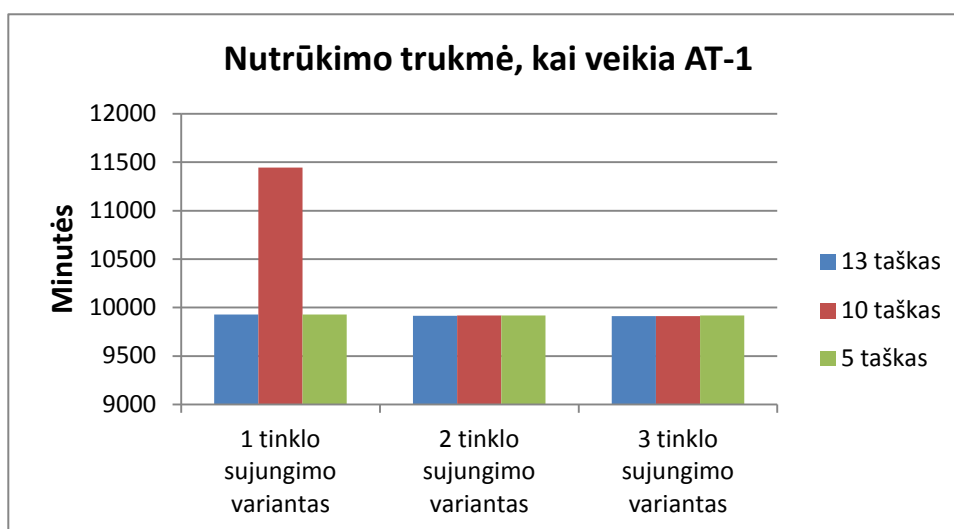
Lyginant vartotojų aprūpinimo elektra patikimumą galima pastebėti, kad, didinant nepriklausomų elektros energijos maitinimo šaltinių skaičių, mažėja pertrūkio trukmė ir kyla patikimumo įverčiai. 5.4 ir 5.5 lentelėse ir 5.19–5.21 grafikuose pateikti duomenys rodo, kaip keičiasi patikimumo įverčiai ir pertrūkių trukmė dėl gedimų atitinkamuose tinklų, sujungtų skirtingais variantais, taškuose, kai vienu metu veikia vienas, du ar trys maitinimo šaltiniai.

5.4 lentelė. VMPS tinklo aprūpinimo elektros energija patikimumo rodiklių, gaunamų keičiantis maitinimo šaltinių skaičiui, palyginimas

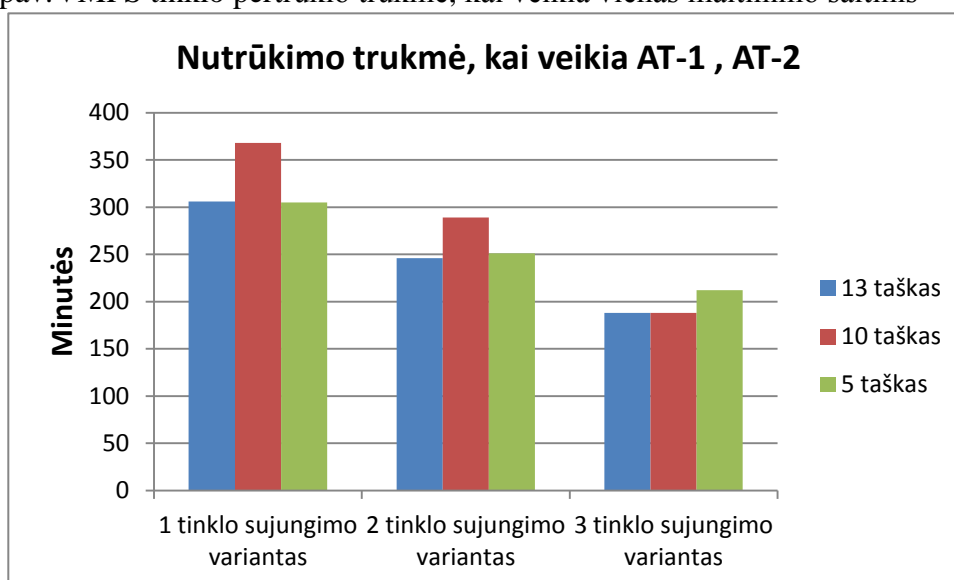
Tinklo taškas	Taškų patikimumo įverčiai pagal maitinimo šaltinius				
	AT-1	AT-1, AT-2	AT-1, AT-2, AT-3	AT-1, AT-2, AT-4	AT-1, AT-2, AT-5
1 tinklo sujungimo variantas					
13	0,98111	0,99942	0,99999	0,99998	0,99999
10	0,97823	0,9993	0,99998	0,99999	0,99998
5	0,98111	0,99942	0,99999	0,99998	0,99999
2 tinklo sujungimo variantas					
13	0,98113	0,99953	0,99999	0,99999	0,99999
10	0,98113	0,99945	0,99999	0,99999	0,99999
5	0,98113	0,99952	0,99999	0,99999	0,99999
3 tinklo sujungimo variantas					
13	0,98114	0,99964	0,99999	0,99999	0,99999
10	0,98114	0,99945	0,99999	0,99999	0,99999
5	0,98113	0,9996	0,99999	0,99999	0,99999

5.5 lentelė. VMPS tinklo aprūpinimo elektros energija pertrūkio trukmės rodiklių, gaunamų keičiantis maitinimo šaltinių skaičiui, palyginimas

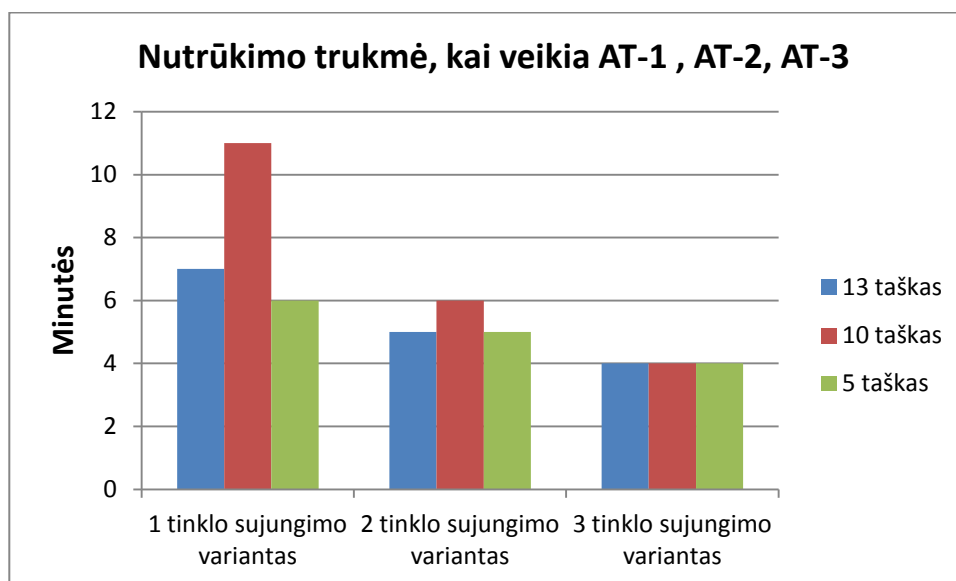
Tinklo taškas	Tiekimo pertrūkio taškuose trukmė pagal maitinimo šaltinius				
	AT-1	AT-1, AT-2	AT-1, AT-2, AT-3	AT-1, AT-2, AT-4	AT-1, AT-2, AT-5
1 tinklo sujungimo variantas					
13	9 930	306	7	8	6
10	11 444	368	11	7	10
5	9 928	305	6	9	6
2 tinklo sujungimo variantas					
13	9 916	246	5	5	5
10	9 919	289	6	5	5
5	9 919	251	5	5	5
3 tinklo sujungimo variantas					
13	9 913	188	4	4	4
10	9 913	188	4	4	4
5	9 917	212	4	5	5



5.19 pav. VMPS tinklo pertrūkio trukmė, kai veikia vienas maitinimo šaltinis



5.20 pav. VMPS tinklo pertrūkio trukmė skirtinguose taškuose, kai tinklas sujungtas įvairiais variantais ir kai veikia du maitinimo šaltiniai



5.21 pav. VMPS tinklo pertrūkio trukmė skirtinguose taškuose, kai tinklas sujungtas įvairiais variantais ir kai veikia trys maitinimo šaltiniai

Taigi, lyginant rezultatus su aprūpinimo kategorijų leistinosiomis vienkartinio pertrūkio vertėmis ir darant prielaidą, kad per metus įvyksta vienas pertrūkis, kuris trunka 5.5 lentelėje nurodytą laiko tarpą, galima teigti, jog tinklo, prie kurio yra prijungti trys maitinimo šaltiniai, vartotojai gali būti priskirti II aprūpinimo elektros energija patikimumo kategorijai. Jos vienkartinio atjungimo trukmė negali viršyti 148 min., o veikiant trimis autotransformatoriams patikimumas per metus neviršija 11 min. Šiuo atveju, skaičiuojant patikimumo įverčius, buvo daroma prielaida, kad papildomas maitinimo šaltinis ir papildoma linija, einanti iš esamo transformatoriaus, buvo prijungti prie vienos iš transformatorinių šynų ir ne tik tiekė elektros energiją to taško vartotojams, bet ir perduodavo ją kitų transformatorinių vartotojams. Tai galima būtų pavadinti rezervavimu, skirstomojo tinklo interesu. Tačiau vartotojui pageidaujant galėtų būti suteikiama ir individualaus rezervavimo paslauga ir drauge sumontuojami automatinio rezervo įjungimo (ARI) įrenginiai šalia vartotojo. Tokiu atveju kitų nurodyto tinklo taškų ir drauge vartotojų aprūpinimas elektros energija nepagerėtų, o I patikimumo kategorija būtų suteikta tik atitinkamam vartotojų prijungimo taškui ar individualiam vartotojui.

IŠVADOS

1. Buvo išanalizuoti pagrindiniai kabelių būklės vertinimo metodai, t. y. dalinių išlydžių, dielektrinės reakcijos ir nuostolių bandymai. Techninėje literatūroje buvo aptiktos matavimo ribinės vertės.
2. Laboratorijoje buvo išbandytas ir ištirtas 10 kV elektros tinklo kabelis, nustatyti defektai ir galimybės toliau jį eksploatuoti:
 - eksploatavimo sąlygomis visi bandymai rodo, kad kabelio būklė tinkama;
 - kabelis negali atlaikyti didesnės nei nominali įtampos.Be to, rekomenduojama:
 - pakeisti galines movas A2b/C2a ir 3 kabelį, kuriuose aptikta dalinių išlydžių;
 - ištaisyti defektus, dar kartą atlikti dalinių išlydžių, dielektrinės reakcijos ir nuostolių bandymų.
3. Buvo sudarytas Vilniaus miesto pietinio skyriaus schemos dalies kabelinio elektros tinklo gedimų medis ir apskaičiuoti tinklo patikimumo rodikliai (aprūpinimo elektra patikimumo įverčiai ir nutrūkimų trukmė), gauti įvairiuose tinklo taškuose. Žemiausias patikimumo lygis yra toliausiame 13-ajame taške – 0,97521. Taip pat buvo ištirtas jų pokytis esant skirtingoms tinklo sujungimo konfigūracijoms.
4. Ištyrus Vilniaus miesto pietinio skyriaus kabelinio elektros tinklo aprūpinimo elektra patikimumą ir pertrūkių trukmę buvo nustatyta, kad elektros energijos tiekimas tinklo vartotojui bus nutrūkęs vidutiniškai 40 min. per metus ir taip nutiks maždaug kas antram vartotojui. Palyginti su Lietuvos rodikliais ir jų ribinėmis reikšmėmis, rezultatai yra beveik dvigubai geresni.
5. Padarius prielaidą, kad per metus tinkle įvyksta vienas ilgas pertrūkis, buvo nustatyta, kad pagal tiekimo atnaujinimo laiką šiuo metu visi nagrinėjamo elektros tinklo vartotojai priklauso III aprūpinimo elektra patikimumo kategorijai.
6. Buvo apskaičiuotos galimybės modernizuoti tinklą prijungiant papildomų tiesioginių linijų prie atitinkamų taškų iš esamų autotransformatorių ir taip padidinant aprūpinimo elektros energija patikimumo įverčius, taip pat galimybės prijungti papildomų maitinimo šaltinių, einančių iš šalia esančių transformatorių. Palyginus šias dvi prijungimo galimybes paaiškėjo, kad papildoma linija, einanti iš esamo transformatoriaus, tiekimo pertrūkio trukmę sumažina net iki 62 %, o papildomas maitinimo šaltinis – autotransformatorius –

pertrūkio trukmę sumažina net iki 57 kartų, t. y. iki 4–11 min. per metus atitinkamame tinklo taške.

7. Vilniaus miesto pietinio skyriaus kabelinio elektros tinklo mazguose, kuriuose yra galimybė elektros energiją vartotojams tiekti trimis būdais, tiekimo patikimumo įvertį galima padidinti iki 0,99964. Palyginti su esama situacija, patikimumas padidėja 2,5 %.

LITERATŪRA

1. J. Endrenyi, "Reliability Modeling in Electric Power Systems," John Wiley, New York, 1978.
2. *2013 metų AB LESTO Socialinės atsakomybės pažangos ataskaita*. Vilnius, 2014-05-17 [žiūrėta 2015-04-16]. Prieiga per internetą: http://www.lesto.lt/stream/2098/lesto_csr_gri4_2013_lt.pdf.
3. *5-th CEER Benchmarking Report on the Quality of Electricity Supply 2011*. Council of European Energy Regulators, Brussels, 2012-04 [žiūrėta 2015-05-05]. Prieiga per internetą: http://www.ceer.eu/portal/page/portal/EER_HOME/EER_PUBLICATIONS/CEER_PAPERS/Electricity/Tab/CEER_Benchmarking_Report.pdf.
4. Baublys, J. *Aukštos įtampos elektros įrenginių izoliacinių medžiagų savybės*. Vilnius, 2007, 312 p.
5. Baublys, J.; Jankauskas, P.; Markevičius, L.; Morkvėnas, A. *Izoliacija ir viršįtampiai* Kaunas. 2008, 390 p.
6. *CEER Benchmarking Report 5.1 on the Continuity of Electricity Supply. Data update*. Council of European Energy Regulators, Brussels, 2014-02-11 [žiūrėta 2015-05-05]. Prieiga per internetą: http://www.ceer.eu/portal/page/portal/EER_HOME/EER_PUBLICATIONS/CEER_PAPERS/Electricity/Tab3/C13-EQS-57-03_BR5.1_19-Dec-2013_updated-Feb-2014.pdf.
7. *CEER Benchmarking Report 5.2 on the Continuity of Electricity Supply. Data update*. Council of European Energy Regulators, Brussels, 2015-02-12 [žiūrėta 2015-05-05]. Prieiga per internetą: http://www.ceer.eu/portal/page/portal/EER_HOME/EER_PUBLICATIONS/CEER_PAPERS/Electricity/Tab4/C14-EQS-62-03_BMR-5-2_Continuity%20of%20Supply_20150127.pdf.
8. Deksnys, R. *Elektrinės ir pastotės*. Kaunas, 1994, 127 p.
9. Deksnys, R. *Elektros įrenginiai*. Kaunas, 1993, 88 p.
10. *Dėl minimalių elektros energijos persiuntimo patikimumo lygių nustatymo*. Valstybės kainų ir energetikos kontrolės komisija, Vilnius, 2012 [žiūrėta 2015-04-25]. Prieiga per internetą: http://www.vkekk.lt/SiteAssets/Puslapiai/OldPosedziai/2012-09-27/Patikimumo%20lygiai_nutarimas.pdf#search=SAIDI.

11. *Elektros energijos persiuntimo patikimumo ir paslaugų kokybės reikalavimai*. Valstybės kainų ir energetikos kontrolės komisija. Vilnius, 2009-06-11 [žiūrėta 2015-04-23]. Prieiga per internetą: http://www.regula.lt/SiteAssets/Agnes-teises-aktai/komisijos-nutarimai/elektros%20energijos%20persiuntimo%20patikimumo%20ir%20pasl%20okok%20reikal-2009-06-11-O3-75_aktualiRedakNr_4.pdf.
12. *Elektros energijos tiekimo ir naudojimosi taisyklės*. Lietuvos Respublikos energetikos ministerija, Vilnius, 2013-12-04 [žiūrėta 2015-03-25]. Prieiga per internetą: http://www3.lrs.lt/pls/inter3/dokpaieska.showdoc_l?p_id=461609.
13. *Įsakymas dėl skaičiuojamųjų elektros apkrovų nustatymo metodikos patvirtinimo*. Lietuvos Respublikos energetikos ministras, Vilnius, 2014-12-11 [žiūrėta 2015-05-03]. Prieiga per internetą: <http://www.leso.lt/stream/2138/skaiciuojamuju%20elektros%20apkrovu%20nustatymo%20metodika.pdf>.
14. Klementavičius, A. „Aprūpinimo elektra patikimumo lygio techninė-ekonominė analizė, rekomendacijų dėl aprūpinimo elektra patikimumo teisinio reglamentavimo, įvertinant ES šalių patirtį, parengimas. Galutinė ataskaita“. Lietuvos energetikos institutas, 2006-09-30 [žiūrėta 2015-03-20]. Prieiga per internetą: http://www.lsta.lt/files/studijos/2006/6_Patikimumas.pdf.
15. Layton, L. *Electric System Reliability Indices*. 2004 [žiūrėta 2015-05-08]. Prieiga per internetą: http://www.l2eng.com/Reliability_Indices_for_Uilities.pdf.
16. *Lietuvos Respublikos elektros energijos ir gamtinių dujų rinkų metinė ataskaita Europos Komisijai*. Valstybinė kainų ir energetikos komisija, Vilnius, 2014 [žiūrėta 2015-03-18]. Prieiga per internetą: http://www.ceer.eu/portal/page/portal/EER_HOME/EER_PUBLICATIONS/NATIONAL_REPORTS/National%20Reporting%202014/NR_nl/C14_NR_Lithuania-NL.pdf.
17. Melnikas, V. *Kabeliai su XLPE izoliacija: privalumai ir trūkumai*. 2013-12-23 [žiūrėta 2015-04-15]. Prieiga per internetą: <http://lt.lt.allconstructions.com/portal/categories/46/1/0/1/article/16233/kabeliai-su-xlpe-izoliacija-privalumai-ir-trukumai>.
18. *Pažyma dėl minimalių elektros energijos persiuntimo patikimumo lygių nustatymo*. Valstybės kainų ir energetikos kontrolės komisija, Vilnius, 2012-09-20 [žiūrėta 2015-04-25]. Prieiga per internetą:

http://www.regula.lt/SiteAssets/Puslapiai/OldPosedziai/2012-09-27/Patikimumo%20lygiai_pazyma.pdf#search=SAIDI.

19. Svinkūnas, G. *Elektros energetika. Paskaitų konspektas*. Kaunas, 2008 [žiūrėta 2015-04-17]. Prieiga per internetą: http://www.leka.lt/sites/default/files/dokumentai/gytis_svinkunas_elektros_energetikos_teorija.pdf.
20. Svinkūnas, G.; Navickas, A. *Elektros energetikos pagrindai*. Kaunas, 2011, 204 p.
21. Šestakova, D.; Vaškeliienė, D. *English for Students of Electrical Engineering and Control*. Kaunas, 2010, 104 p.
22. *Tiekimo saugumas Lietuvos elektros energijos rinkoje. Monitoringo ataskaita*. Lietuvos Respublikos energetikos ministerija, Vilnius, 2012 [žiūrėta 2015-04-20]. Prieiga per internetą: <http://www.ena.lt/aktai/MONITORINGAS%202012.pdf>.