

**Kauno technologijos universitetas**

Elektros ir elektronikos fakultetas

# **Sekcionavimo punktų nuotolinių valdymo sistemų įtakos skirstomojo tinklo patikimumui tyrimas**

Baigiamasis magistro projektas

---

**Robertas Radavičius**

Projekto autorius

**Doc. Robertas Lukočius**

Vadovas

---

**Kaunas, 2020**



**Kauno technologijos universitetas**

Elektros ir elektronikos fakultetas

# **Sekcionavimo punktų nuotolinių valdymo sistemų įtakos skirstomojo tinklo patikimumui tyrimas**

Baigiamasis magistro projektas

Elektros energetikos inžinerija (6211EX010)

---

**Robertas Radavičius**

Projekto autorius

**Doc. Robertas Lukočius**

Vadovas

**Lekt. Vytautas Sučila**

Recenzentas

---

**Kaunas, 2020**



**Kauno technologijos universitetas**

Elektros ir elektronikos fakultetas

Robertas Radavičius

## **Sekcionavimo punktų nuotolinių valdymo sistemų įtakos skirstomojo tinklo patikimumui tyrimas**

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad mano, Roberto Radavičiaus, baigiamasis projektas tema „Sekcionavimo punktų nuotolinių valdymo sistemų įtakos skirstomojo tinklo patikimumui tyrimas“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena 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)

Radavičius, Robertas. Sekcionavimo punktų nuotolinių valdymo sistemų įtakos skirstomojo tinklui patikimumas tyrimas. Magistro baigiamasis projektas / vadovas doc. Robertas Lukočius; Kauno technologijos universitetas, Elektros ir elektronikos fakultetas.

Studijų kryptis ir sritis (studijų krypčių grupė): Elektros inžinerija, Inžinerijos mokslai.

Reikšminiai žodžiai: OLJ, SAIDI, SAIFI, patikimumas.

Kaunas, 2020. 54 p.

### **Santrauka**

Šiame baigiamajame magistriniame darbe apžvelgtos nuotolinio elektros tinklo schemos sekcionavimo įtaisų valdymo charakteristikos. Apžvelgti ir aprašyti elektros skirstomajame tinkle galintys susidaryti trikdžiai. Apžvelgti kokie pagrindiniai patikimumo rodikliai naudojami skirstomajame elektros tinkle. Naudojant loginių patikimumo lygčių sudarymo metodą apskaičiuotos 10kV linijos iš Radviliškio TP L-TR67 gedimo tikimybės ir atkūrimo laikai. Apskaičiuoti patikimumo rodikliai kuomet vietoj OLJ naudojami OLS, bei sumontuojamas papildomas OLJ. Apskaičiuotas OLJ atsiperkamumas.

Radavičius, Robertas. Evaluation of Influence of Remote Control Recloser on Reliability of Distribution Networks. Master's Final Degree Project / supervisor doc. Robertas Lukočius; Faculty of Electrical and Electronics Engineering, Kaunas University of Technology.

Study field and area (study field group): Power engineering, Engineering Sciences.

Keywords: OLJ, SAIDI, SAIFI, reliability.

Kaunas, 2020. 54.

### **Summary**

In this master's thesis, the control characteristics of remote network scheme sectioning devices are reviewed. Possible disturbances in the electricity distribution network are reviewed and described. An overview of the main reliability indicators used in the distribution network. Using the method of logical reliability equations, the failure probabilities and recovery times of the 10 kV line from Radviliškis TP L-TR67 were calculated. Reliability indicators were calculated when OLS was used instead of OLJ, and additional OLJ was installed. OLJ payback was calculated.

## Turinys

<b>Lentelių sąrašas .....</b>	<b>7</b>
<b>Paveikslų sąrašas .....</b>	<b>8</b>
<b>Santrumpų ir terminų sąrašas .....</b>	<b>9</b>
<b>Įvadas.....</b>	<b>10</b>
<b>1. Nuotolinio elektros tinklo schemos sekcionavimo įtaisų valdymo charakteristikų analizė .....</b>	<b>11</b>
1.1. Oro linijos jungtuvas .....	12
1.1.1. OLJ struktūra ir funkcijos.....	14
1.1.2. OLJ valdymo spinta.....	15
1.1.3. Apsaugų koordinavimas .....	16
1.2. Atkabiklis .....	18
<b>2. Trikdžių skirstomajame elektros tinkle apibendrinimas .....</b>	<b>21</b>
2.1. Gedimų intensyvumo modelis.....	22
2.2. Skirstomojo tinklo gedimų klasifikavimas.....	22
2.2.1. Transformatorinių ir skirstomųjų punktų gedimai .....	22
2.2.2. Oro linijų gedimai.....	23
2.2.3. Kabelinių linijų gedimai .....	23
2.3. Skirstomojo tinklo patikimumo reikalavimai .....	24
<b>3. Skirstomojo elektros tinklo patikimumo rodiklių analizė.....</b>	<b>26</b>
3.1. Tinklo patikimumas ir stabilumas .....	26
3.2. Vartotojų aprūpinimo elektra patikimumo kategorijos .....	27
3.3. Elektros sistemų patikimumo apskaičiavimo metodai .....	28
3.3.1. Loginės schemos .....	28
<b>4. Skirstomojo elektros tinklo schemos elementų patikimumo tyrimas.....</b>	<b>30</b>
4.1. Loginių patikimumo lygčių sudarymas .....	31
4.2. Elektros apkrovų mazgų (vartotojų) patikimumo rodiklių apskaičiavimas.....	33
4.4. Papildomo OLJ įdiegimas .....	37
4.5. Finansinis OLJ įdiegimo įvertinimas.....	41
<b>Išvados .....</b>	<b>45</b>
<b>Literatūra .....</b>	<b>46</b>
<b>Priedai.....</b>	<b>49</b>
1 priedas. Radviliškio skyriaus 10 kV tinklo operatyvinė normalių sujungimų schema .....	50
2 priedas. Radviliškio skyriaus 10 kV tinklo struktūrinės elementų patikimumo schemos.....	51
3 priedas. Radviliškio skyriaus 10 kV tinklo OLJ įdiegimo vietų schema.....	54

## Lentelių sąrašas

<b>2.1 lentelė.</b> Gedimai 100 km linijų 2012-2018 m., vnt. [22].....	21
<b>2.2 lentelė.</b> Transformatorių gedimai 100 transformatorinių 2012-2018 m., vnt. [22].....	23
<b>4.1 lentelė.</b> Elementų patikimumo charakteristikos [23] .....	30
<b>4.2 lentelė.</b> Elektros linijų gedimo intensyvumas .....	31
<b>4.3 lentelė.</b> Atkūrimo trukmės skaičiavimai naudojant OLS, kai gedimas įvyksta ST Rd-502.....	34
<b>4.4 lentelė.</b> Atkūrimo trukmės skaičiavimai naudojant OLJ, kai gedimas įvyksta ST Rd-502 .....	35
<b>4.5 lentelė.</b> Linijų avarinių išjungimų dažnis, trukmė ir tikimybė, kai naudojami OLS.....	36
<b>4.6 lentelė.</b> Linijų avarinių išjungimų dažnis, trukmė ir tikimybė, kai naudojami OLJ .....	36
<b>4.7 lentelė.</b> Linijos L-TR67 SAIFI rodiklio priklausomybė nuo OLJ įdiegimo vietos.....	38
<b>4.8 lentelė.</b> Elektros linijų avarinių išjungimų dažnis, trukmė ir tikimybė, kai įdiegiamas OLJ Rd-16 .....	40
<b>4.9 lentelė.</b> Atskirų sektorių pasiskirstymas pagal vartotojų skaičių ir suvartojamą galią .....	41
<b>4.10 lentelė.</b> Atskirų sektorių ENS skaičiavimų rezultatai .....	41
<b>4.11 lentelė.</b> Atskirų sektorių prarastos apkrovos įverčiai (2017 m.) [31].....	42
<b>4.12 lentelė.</b> Metinės pajamos gaunamos po OLJ Rd-16 įdiegimo .....	42
<b>4.13 lentelė.</b> Dabartinė grynoji vertė po OLJ Rd-16 įdiegimo.....	43

## Paveikslų sąrašas

<b>1.1 pav.</b> OLJ ant skirstomojo tinklo oro linijų [7] .....	12
<b>1.2 pav.</b> Tipinė OLJ veikimo seka [7].....	12
<b>1.3 pav.</b> Diegiamų OLJ tinklo segmentai [8] .....	13
<b>1.4 pav.</b> OLJ naudojamas rezervavimui [8] .....	13
<b>1.5 pav.</b> Principinė OLJ montavimo schema [9].....	14
<b>1.6 pav.</b> OLJ valdymo spinta [3].....	16
<b>1.7 pav.</b> Apsaugos elementų išdėstymas spindulinėje skirstomojo tinklo linijoje [12] .....	16
<b>1.8 pav.</b> Jungtuvo, OLJ ir saugiklio koordinavimas [13].....	17
<b>1.9 pav.</b> Atkabiklio principinė schema [18].....	18
<b>1.10 pav.</b> Atkabiklio konstrukcija, kai a) atkabiklis įjungtas; b) atkabiklis išjungtas [18, 19].....	19
<b>1.11 pav.</b> Atkabiklis 10 kV elektros skirstomajame tinkle [8].....	20
<b>2.1 pav.</b> Esama ESO skirstomojo tinklo situacija [5].....	21
<b>2.2 pav.</b> Tipinė gedimų intensyvumo kitimo kreivė [24].....	22
<b>2.3 pav.</b> Vidutinė neplanuotų elektros energijos persiuntimo skirstomajame tinkle nutraukimų trukmė (SAIDI), min./vartotojui [22] .....	24
<b>2.4 pav.</b> Vidutinis elektros energijos skirstomajame tinkle nutraukimų skaičius vartotojui (SAIFI), kartai/vartotojui [22].....	25
<b>3.1 pav.</b> Pagrindinės loginės schemas: a – nuoseklusis sujungimas, b – lygiagretusis sujungimas, c – nuosekliai lygiagretus sujungimas [23] .....	28
<b>4.1 pav.</b> Tinklo struktūrinė elementų patikimumo schema naudojant OLS.....	31
<b>4.2 pav.</b> Tinklo struktūrinė elementų patikimumo schema naudojant OLJ .....	32
<b>4.3 pav.</b> Linijos L-TR67 SAIFI rodiklio priklausomybė nuo OLJ įdiegimo vietos.....	39
<b>4.4 pav.</b> Grynosios dabartinės vertės pokytis per metus .....	44



## Santrumpų ir terminų sąrašas

AEI – atsinaujinantys energijos ištekliai  
AKI – automatinis kartotinis įjungimas  
AVSI – automatinio valdymo sekcionavimo įrenginys  
CAIDI – vartotojų vidutinis nutraukimo trukmės rodiklis (angl. *customer average interruption duration index*)  
ENS – Nepateikta elektros energija (angl. *energy not supplied*)  
ESO – AB „Energijos skirstymo operatorius“  
KL – kabelinė linija  
KT – kompleksinė transformatorinė  
MAIFI – vidutinis elektros energijos persiuntimo trumpų nutraukimų dažnumo rodiklis (angl. *momentary average interruption frequency index*)  
MSA – maksimali srovės apsauga  
MT – modulinė transformatorinė  
NV – nuotolinis valdymas  
OB – operatyvinė brigada  
OL – oro linija  
OLJ – oro linijos jungtuvas (angl. recloser)  
OLS – oro linijos skyriklis  
RAA – relinė apsauga ir automatika  
SAIDI – sistemos ilgų elektros energijos skirstymo nutraukimų vidutinės trukmės rodiklis (angl. *system average interruption duration index*)  
SAIFI – sistemos ilgų elektros energijos skirstymo nutraukimų vidutinio dažnumo rodiklis (angl. *system average interruption frequency index*)  
ST – stulpinė transformatorinė  
STO – skirstomųjų tinklų operatorius  
TP – transformatorių pastotė  
TR – mūrinė transformatorinė  
VERT – Valstybinė energetikos reguliavimo taryba  
VJ – vakuuminis jungtuvas

## Įvadas

Elektros skirstomuosiuose tinkluose kasdien įvyksta gedimai, kurie turi įtakos elektros energijos persiuntimo kokybės rodikliams SAIDI, SAIFI. Šiuo atveju ypatingas dėmesys turėtų būti skiriamas 10 kV skirstomiesiems elektros tinklams, nes juose įvykus gedimui atsijungia didelis skaičius vartotojų. Elektros paslaugas teikiančioms įmonėms yra svarbu: klientų pasitenkinimo lygio padidinimas, paslaugų patikimumo gerinimas ir kuo mažesnės su tuo susijusios išlaidos [1]. Kaip alternatyva gali būti OL įrengiami automatinio valdymo sekcionavimo įrenginiai. Tinkamose vietose sumontavus AVSĮ galima izoliuoti įvykusį gedimą, taip nenutraukiant elektros tiekimo tose vietose, kurios nėra paveiktos gedimo ir dėl to gali būti pagerintas elektros skirstymo sistemos patikimumas.

Prieš diegiant naujas technologijas svarbu atkreipti dėmesį į užsienio šalis, kur jau yra naudojamos šios technologijos. Svarbu įvertinti jų patikimumą, technines charakteristikas, ekonominius kaštus, daromą įtaką elektros skirstomiesiems tinklams bei tai, kokią naudą padeda pasiekti šios technologijos.

Diegiamos automatizavimo sistemos padeda greičiau atstatyti elektros persiuntimą vartotojams po įvykusio gedimo, sumažina masinių vartotojų išjungimo pavojų ir sumažina patiriamą žalą dėl energijos tiekimo nutraukimo ir tai savo ruožtu padidina energetinį saugumą elektros tinklo stabilumo požiūriu. Greitesnis gedimų pašalinimas leidžia sutrumpinti tinklo „prastovas“, sumažina ESO nuostolius dėl nepateiktos elektros energijos ir kompensacines išmokas tinklo naudotojams [2].

**Darbo tikslas** – ištirti skirstomojo elektros tinklo modernizavimo efektyvumą ir patikimumą diegiant optimalaus nuotolinio valdymo išmaniąsias technologijas.

### **Darbo uždaviniai:**

1. išanalizuoti nuotolinio elektros tinklo schemas sekcionavimo įtaisų valdymo charakteristikas;
2. apibendrinti trikdžius skirstomajame elektros tinkle;
3. išanalizuoti skirstomojo elektros tinklo patikimumo rodiklius;
4. sudaryti skirstomojo elektros tinklo su nuotolinio valdymo sekcionavimo punktais patikimumo modelį;
5. atlikti skirstomojo elektros tinklo schemas elementų patikimumo tyrimą.

## 1. Nuotolinio elektros tinklo schemos sekcionavimo įtaisų valdymo charakteristikų analizė

Šiandien visame pasaulyje elektros energijos įmonės reikalauja vis sudėtingesnės įrangos, kad atitiktų jų tinklų automatizavimo ir valdymo reikalavimus ir užtikrintų nuolatinį ir patikimą elektros energijos tiekimą vartotojams. Komutaciniuose įrenginiuose, sumontuotose ant oro linijų turi būti integruota ryšio galimybė, kuri leistų gauti duomenis ir valdyti įrenginius nuotoliniu būdu. Taip pat turėtų būti užtikrintas komutacinių įrenginių ilgaamžiškumas esant mažoms priežiūros sąnaudoms [3].

Automatinis decentralizuotas skirstomojo tinklo valdymas nenormaliame režime yra vienas iš veiksmingų metodų didinant tinklo struktūrinį patikimumą. Ši technologija grindžiama tinklo sekcionavimu nenormalaus incidento atveju. Automatinio valdymo sekcionavimo įrenginių (AVSI) taikymas padidina skirstomojo tinklo struktūrinį patikimumą lokalizuojant maitinimo šaltinio atjungimą gedimų atveju ir išlaikant didelį vartotojų skaičių, kuriems nebuvo nutrūkęs elektros perdavimas po gedimo. Poveikio dydis priklauso nuo elektros tinklo schemos ypatumų, klientų skaičiaus, AVSI skaičiaus bei jų įrengimo vietos [4].

Nuotoliniu būdu valdomas tinklas pasižymi jame įdiegtais automatizavimo elementais, kurie sudaro galimybę [5]:

- Per nuotolį realiu laiku stebėti tinklo elementų būseną ir lokalizuoti gedimų vietas,
- Per nuotolį įjungti/išjungti įrenginį, keisti jo parametrus ar režimus,
- Užprogramuoti atskirus elementus automatiškai atlikti perjungimus ir reaguoti į kitas netipines situacijas.

Kurdama nuotoliniu būdu valdomą tinklą, ESO yra numačiusi diegti įvairius elektros tinklo automatizavimo sprendimus. Čia pateikiamos numatomos pagrindinės priemonės tinklo modernizavimui. Elektros tinkle šios priemonės yra:

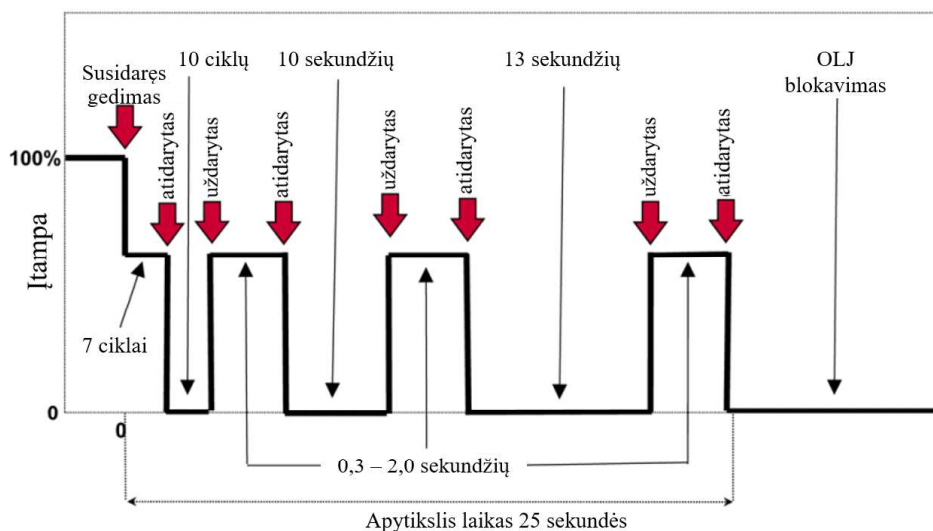
- **Per nuotolį dispečerio valdomos įrangos diegimas.** Nuotolinio valdymo įrangą numatoma diegti rekonstruojamose ir naujose 10/0,4 kV transformatorinėse bei 10 kV skirstomuosiuose punktuose. 10 kV oro linijose bus diegiami jungtuvai, skirti per nuotolį įjungti/išjungti energijos tiekimą gedimo atveju ir taip sumažinti gedimo paveiktų klientų skaičių.
- **Tinklo darbo stebėsenos įrangos diegimas.** Diegiami trumpojo jungimo indikatoriai su signalų perdavimui į dispečerinio valdymo sistemą, kurie padeda pagreitinti gedimo vietas nustatymą. Transformatorių pastotėse numatoma diegti skaitmeninę relinę apsaugą, kuri leis ESO dispečeriams realiu laiku matyti tinklo parametrus (įtampas, sroves, dažnį) bei tiksliai nustatyti gedimo vietą elektros tinkle.
- **Save gydančio tinklo (gedimų metu veikiančio be dispečerio įsitraukimo) įrangos diegimas.** Planuojama diegti komutavimo aparatus pasirinktuose tinklo segmentuose, kurie patys, be dispečerio įsikišimo, nustatytų pažeistą tinklo ruožą ir jį atjungtų (izoliuotų). Taip pat planuojama diegti automatinę galios ir įtampos reguliavimo įrangą naujai prijungiamiesiems AEI gamintojams [5].

## 1.1. Oro linijos jungtuvas

OLJ yra grandinės išjungiklis kartu su oro linijų apsaugos sistema ir suprojektuotas taip, kad įvykus gedimui jis atjungtų liniją. Tačiau, jeigu gedimas pasišalintų, jis vėl ją įjungtų. Jei gedimas vis dar yra linijoje, tai tuomet OLJ po nustatyto skaičiaus veiksmų išsijungia, taip izoliuodamas avaringą ruožą, kuriame yra gedimas [6]. Šie įtaisai gali būti vienfaziai arba trifaziai, su vienos arba trijų fazių išjungimo galimybe. Su išmanaus tinklo koncepcijos atsiradimu ir noru pagerinti skirstomųjų tinklų patikimumą, tokie prietaisai kaip OLJ įgijo didelę reikšmę [7]. 1.1 pav. vaizduojamas OLJ sumontuotas ant skirstomojo tinklo oro linijų. 1.2 pav. parodyta tipinė prietaiso veikimo seka.



1.1 pav. OLJ ant skirstomojo tinklo oro linijų [7]



1.2 pav. Tipinė OLJ veikimo seka [7]

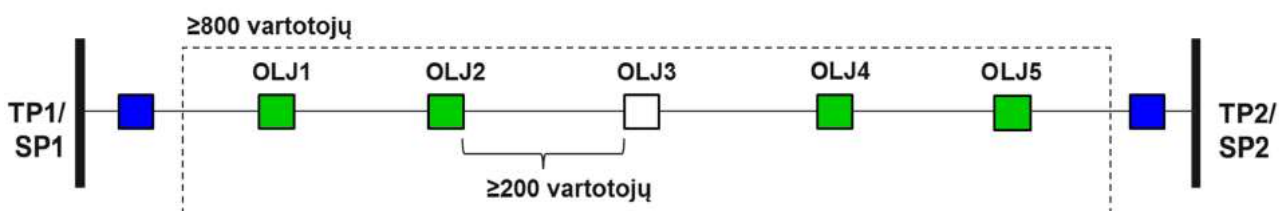
OLJ yra programuojami taip, kad veiktų konkrečiu sekos atveju, kuris priklauso nuo OLJ tipo ir skirstomojo tinklo koordinavimo reikalavimų. Jei skirstomajame tinkle staiga įvyksta gedimas, tuomet OLJ nutraukia jį, paprastai OLJ būna užprogramuotas iš naujo įjungti pažeistą fazę per 10 – 12 ciklų. Jei gedimas yra trumpalaikis, tai ši operacija paprastai pašalina gedimą ir elektros tiekimas linijoje yra visiškai atkuriamas. Jei gedimas nepašalinamas, tuomet OLJ atlieka antrą operaciją po 10 s ir jei ši operacija nesėkminga, tuomet trečiasis bandymas atliekamas po 13 s. Po trečiojo

bandymo OLJ įjungia blokavimo režimą ir tada linija yra visam laikui išjungiamą, tuomet techninės priežiūros personalas išsiunčiamas į vietą tam, kad galėtų pašalinti gedimą [7].

OLJ veikimo laiko ir srovės kreivės paprastai apima tris kreives, viena jų suformuojama greičiausiai, kitos dvi uždelsiamos. Nauji OLJ įtaisai turi mikroprocesorinį valdymą, kuris padeda operatoriui sudaryti bet kurią kreivę, atitinkančią fazinių ir linijinių gedimų koordinavimo reikalavimus [6].

Sinchronizavimas su kitais apsaugos įtaisais yra reikšmingas siekiant užtikrinti, kad kilus gedimui būtų atjungta minimali grandinės dalis tam, kad vartotojams nebūtų nutraukiamas elektros tiekimas. Paprastai laiko funkcija ir OLJ veikimo eiga yra parenkama prieš eksploatuojant prietaisą [6].

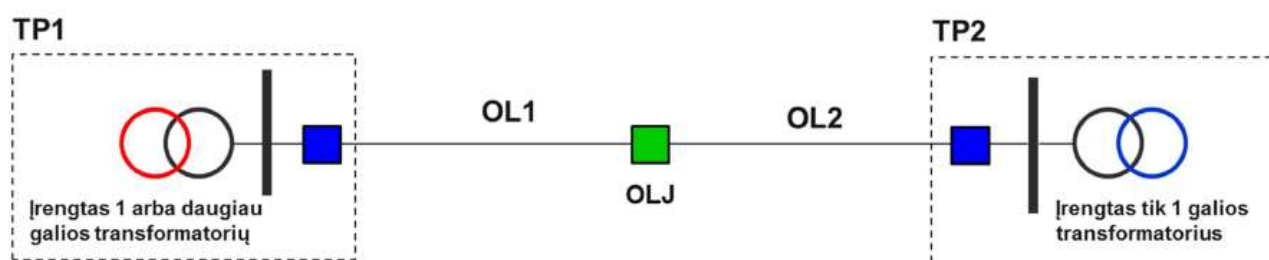
OLJ įrengiamas siekiant padidinti elektros skirstomojo tinklo patikimumą bei valdomumą. OLJ diegiami tuose tinklo segmentuose, kuriuose vartotojų skaičius didesnis nei 800. Jei vartotojų skaičius mažesnis, būtina atlikti detalius skaičiavimus bei nustatyti, ar tikslinga statyti oro linijos jungtuvus pasirinktame tinklo segmente. OLJ atskiriamuose OL segmentuose turi būti ne mažiau kaip 200 vartotojų [8].



1.3 pav. Diegiamų OLJ tinklo segmentai [8]

Save gydančiame elektros tinkle valdomas oro linijos jungtuvas diegiamas tuose tinklo segmentuose, kuriuose suminis linijų ilgis didesnis nei 70 km ir vartotojų skaičius didesnis nei 4000 bei maitinimas užtikrinamas iš ne mažiau kaip dviejų pastočių.

10kV elektros linijoje 1 OLJ įrengiamas tais atvejais, kuomet TP, kurioje įrengtas vienas galios transformatorius, patikimumo užtikrinimui reikalingas rezervavimas iš kitos TP [8].



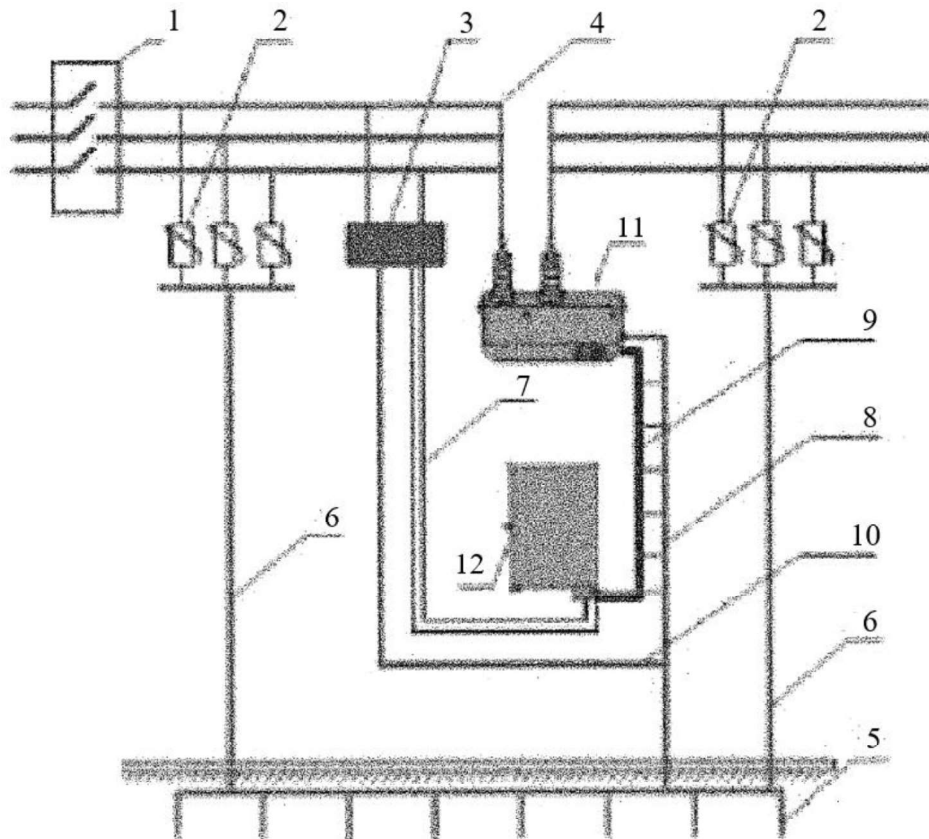
1.4 pav. OLJ naudojamas rezervavimui [8]

Taikant automatinio valdymo sekcionavimo įrenginius OLJ – žymiai padidėja regioninių tinklų skirstomojo tinklo elektros energijos tiekimo patikimumas. OLJ išdėstymo optimizavimo procedūros ir algoritmai siekiant padidinti tinklo struktūrinį patikimumą, kad būtų sukurtas skirstomasis tinklas, kuris prisitaiko prie apkrovos dydžio ir pobūdžio pokyčių, užtikrina automatinį tinklo konfigūravimą, įskaitant ir nelaimingus atsitikimus, optimizuoja galios centrų paskirstymo pajėgumą ir yra pakankamai pigi tinklo modernizavimo alternatyva [4].

OLJ įdiegimas yra naudingas dar ir tuo, kad, pvz., kai OLJ yra linijos viduryje ir įvyksta gedimas prieš OLJ, tai tuomet gedimas ieškomas linijos pradžioje, o kai gedimas įvyksta už OLJ, jis atsijungia linijos dalį, esančią už jo, ir tada gedimas ieškomas linijos gale. Abiem atvejais sutrumpinamas gedimo paieškos laikas.

### 1.1.1. OLJ struktūra ir funkcijos

OLJ įrengiamas su savų reikmių įtampos transformatoriumi 10kV/0,23kV OLJ maitinimui ir viršįtampių ribotuvais. Savų reikmių įtampos transformatorius sumontuotas iš maitinančios linijos pusės tam, kad OLJ turėtų maitinimą tuomet, kai jis yra atjungtas.



1.5 pav. Principinė OLJ montavimo schema [9]

1. Linijinis skyriklis
2. Viršįtampių ribotuvas
3. Savų reikmių įtampos transformatorius
4. Komutacinio modulio prijungimas
5. Atramos įžeminimo kontūras
6. Viršįtampių ribotuvas įžeminimo kontūras
7. Valdymo spintos maitinimo kabelis
8. Komutacinio modulio ir valdymo spintos įžeminimo kontūras
9. Valdymo ir kontrolės kabelis
10. Savų reikmių įtampos transformatoriaus įžeminimo kontūras
11. Komutacinis modulis su vakuuminio jungtuvu
12. Valdymo spinta

Sekcionavimo įrenginys susideda iš komutacinio modulio su vakuuminio jungtuvu, srovės ir įtampos Rogovskio daviklių, valdymo ir apsaugų terminalo, komutacinio modulio bei valdymo ir apsaugų terminalo jungiamojo kabelio [9].

Vakuuminio jungtuvo mechanizmą valdo trys atskiros magnetinės pavaros, po vieną pavarą per polių. Šios magnetinės pavaros mechaniniu būdu blokuojamos, kad būtų užtikrintas tinkamas trijų fazių veikimas. Įrenginys būna užfiksuojamas išjungtoje padėtyje magnetiniu fiksatoriumi. Kiekvienoje magnetinėje pavaroje naudojama viena ritė, kuri naudojama tiek išjungimo, tiek įjungimo operacijoms [3]. RAA apsaugoms ir matavimams yra naudojami VJ komutaciniame modulyje įmontuoti Rogovskio srovės ir talpuminiai įtampos jutikliai, veikiantys plačiame matavimų diapazone [9]. Rogovskio ritės naudojimas kartu su šiuolaikinės skirstymo sistemos apsauginiais įtaisais sudaro pagrindinę apsaugą nuo išaugusios srovės. Šie pirminės srovės jutikliai atlieka labai tikslūs matavimus. Rogovskio ritėse atliekami srovių matavimai įvykusio gedimo metu gali sukelti  $\pm 2\%$  matavimo tikslumo paklaidą ir ši paklaida yra mažesnė lyginant su kitais jungtuvuose ar OLJ naudojamais srovės matavimo prietaisais [10].

Sekcionavimo įrenginio nuotoliniam valdymui iš DMS sistemos per VPN tinklą naudojamas GPRS ryšys. Duomenų mainams naudojami IEC 60870-5-101/104 protokolai.

Radio ryšio įrangos nepertraukiamą darbą užtikrina sekcionavimo įrangos maitinimo šaltinis. Duomenys tarp GPRS modemo ir sekcionavimo įrenginio valdymo modulio perduodami per RS232 sąsają [9].

### **1.1.2. OLJ valdymo spinta**

Visos valdymo, relinės apsaugos ir automatikos funkcijos, valdymo ir indikacijos prietaisai, paprastų ir avarinių įvykių su išmatuotais parametrais ir laiko žyme fiksavimas, nepertraukiamo operatyvinio valdymo modulis yra integruoti valdymo ir apsaugų terminale RC/TEL-01E.

Valdymo ir apsaugų terminalas atlieka srovės, įtampos, galios ir dažnio matavimus, skaičiuoja jungtuvo resursą, turi integruotas sutrikimų ir įvykių registratoriaus funkcijas. Valdymo ir apsaugų terminale yra integruotos apsaugos: trijų pakopų kryptinės maksimalios srovės apsauga, apsauga nuo įžemėjimo su priklausoma arba nepriklausoma laiko charakteristika, minimalios įtampos apsauga, 3 katų AKĮ suveikus fazių MSA ir įžemėjimo MSA.

Nepertraukiamą įrenginio maitinimą užtikrina apsaugų bei valdymo spintoje įmontuota akumuliatorių baterija. Kintamos srovės 230V maitinimas užtikrinamas panaudojant savų reikmių 10kV/0,23kV sausą lauko tipo įtampos transformatorių, montuojamą toje pačioje atramoje ir užtikrinantį akumuliatorių baterijos užkrovimą, ryšių ir RAA įrenginių maitinimą. Yra numatytas automatinis valdymo ir apsaugų terminalo išsijungimas, kai akumuliatorių baterija išsikrauna žemiau leistino lygio.

Apsaugai nuo vandalizmo ir nesankcionuoto priėjimo prie įrangos numatyta valdymo ir apsaugos sustiprintos konstrukcijos spinta su patikimu užraktu, valdymo kabelis iš spintos einantis į komutacinį įrenginį apsaugotas lanksčia cinkuota plieno žarna, numatytas slaptažodis priėjimui prie valdymo ir apsaugų parametrų nustatymo.

Valdymo ir apsaugų terminalo varstomos panelės priekyje įrengtas keturių eilučių LCD displejus, šviesos diodai ir valdymo mygtukai 1.6 pav. [9].



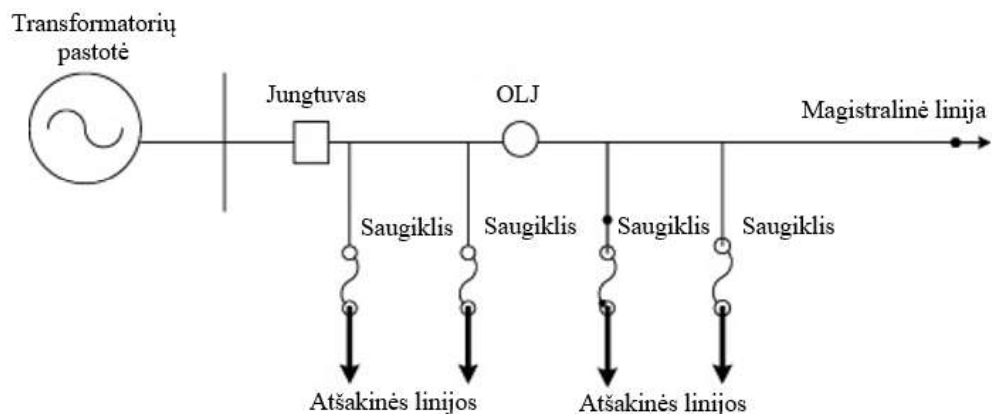
1.6 pav. OLJ valdymo spinta [3]

OLJ valdymo spintos dalys [3]:

1. LCD displejus
2. Kištukinis lizdas
3. Durų padėties mygtukas
4. Durų laikiklis
5. RTU tvirtinimo plokštė
6. Įėjimų / išėjimų modulis
7. Valdymo ir apsaugų terminalas
8. Akumulatoriaus jungiklis
9. Antikondensacinis modulis
10. Baterija
11. Kištukinio lizdo maitinimas
12. DIN bėgelis

### 1.1.3. Apsaugų koordinavimas

Pagrindiniai apsaugos elementai skirstymo sistemose yra jungtuvai, OLJ ir saugikliai. Jungtuvai yra naudojami visos linijos apsaugai. Jungtuvas dedamas magistralinės linijos pradžioje ir naudojamas kaip bendra atsarginė saugiklio ir OLJ apsauga, kai abu nesuveikia. OLJ naudojamas magistralinės linijos viduryje, kad apsaugotų jas nuo trumpalaikių ar ilgalaikių gedimų. Saugikliai montuojami ant atšakinių linijų ir yra skirti šių linijų apsaugai [11]. 1.7 pav. pavaizduotas paminėtų apsaugos įtaisų išdėstymas spindulinio skirstomojo tinklo linijoje [12].



1.7 pav. Apsaugos elementų išdėstymas spindulinėje skirstomojo tinklo linijoje [12]



Jungtuvuose ir OLJ paprastai yra sumontuotos relės su uždelsto laiko charakteristikomis reaguojant į padidėjusias sroves ir gali būti išreikštos šia lygtimi [11]:

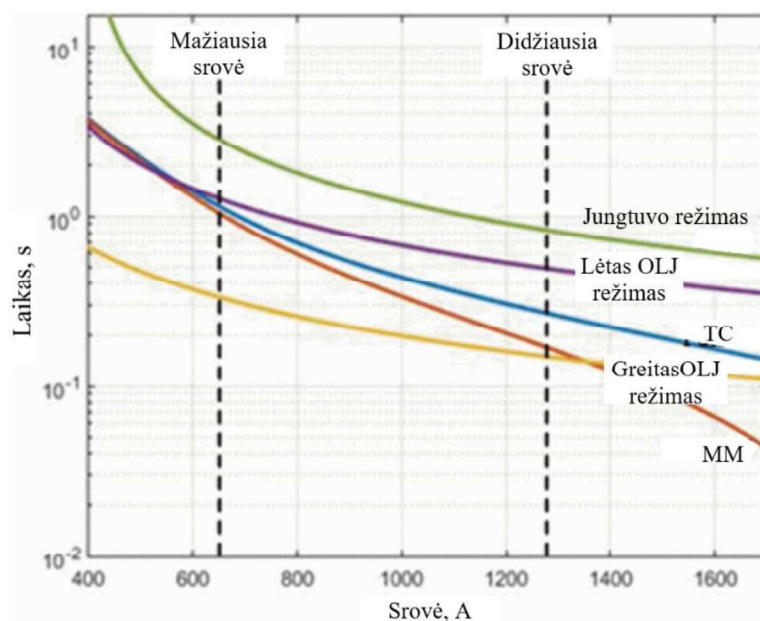
$$t(I) = TMS \left[ \frac{A}{M^P - 1} \right] + B; \quad (1.1)$$

čia TMS – nustatyta laiko vertė;  
 t – prietaiso suveikimo laikas;  
 I – gedimo srovė;  
 M –  $I/I_p$  santykis ( $I_p$  srovė nuo kurios suveikia įrenginio relė);  
 A, B, P – konstantos.

Saugiklio uždelsto laiko charakteristika įvykus trumpajam jungimui yra panaši į jungtuvo ir OLJ charakteristikas. Nepaisant to, saugiklių charakteristikas galima apibūdinti atsižvelgiant į saugiklių greitojo lydymosi (MM) ir lėtojo lydymosi (TC) sąlygas. Saugiklių lygtis [11]:

$$\log(t) = a \log(I) + b; \quad (1.2)$$

čia t – veikimo laikas;  
 I – gedimo srovė;  
 a ir b – nustatytos saugiklių konstantos.



1.8 pav. Jungtuvo, OLJ ir saugiklio koordinavimas [13]

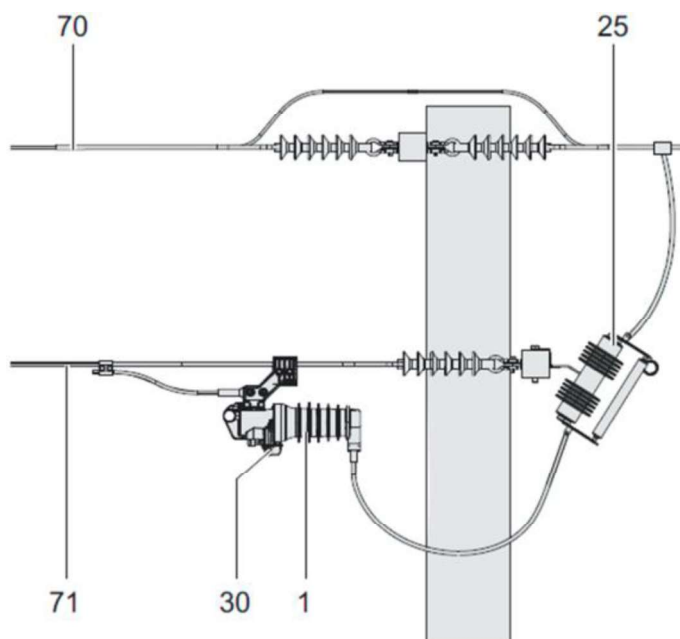
Apsauginių prietaisų koordinavimas parodytas 1.8 pav. OLJ ir saugiklių koordinavimas apsaugos sistemoje yra nustatytas siekiant apsaugoti saugiklių lydukus nuo perdegimo. Apsaugos proceso seka yra tokia: įvykus gedimui atšakinėje linijoje OLJ pirmiausia veikia pagal greito suveikimo kreivę, kad pašalintų gedimą, grandinė nutraukiama iš anksto nustatytam laikotarpiui, o po to OLJ automatiškai vėl įjungia grandinę. Jei gedimas pašalinamas (trumpalaikis gedimas), tuomet OLJ laiko elektros grandinę įjungtą ir tinklas grįžta į normalias sąlygas, tačiau jei gedimas vis dar egzistuoja (ilgalaikis gedimas), tuomet perdega saugiklio lydukas tam, kad pašalintų gedimą. Jeigu saugiklio lydukas neperdega (klaidingas veikimas), tuomet OLJ veikia pagal lėto suveikimo kreivę kaip atsarginė apsauga tam, kad išjungtų linijos dalį, kurioje yra įvykęs gedimas [14]. Jeigu

nesuveikia nei saugiklis nei OLJ, tuomet suveikia jungtuvas kaip bendra atsarginė apsauga [11]. Suderinimas tarp OLJ ir saugiklio galios tik tuo atveju, jei gedimo srovė bus tarp mažiausios ir didžiausios linijos gedimo srovės 1.8 pav. Taip yra todėl, kad OLJ greitojo suveikimo charakteristikos kreivė yra žemiau nei saugiklio greitojo lydymosi charakteristikos kreivė (MM), o OLJ lėto suveikimo charakteristikos kreivė yra aukščiau nei saugiklio lėtojo lydymosi charakteristikos kreivė (TC) [15].

JAV yra įprasta, kad saugikliai yra naudojami atšakinėse skirstomojo tinklo oro linijose. O Suomijoje ir daugelyje kitų Europos šalių, saugikliai yra naudojami transformatorinėse (ši praktika įvairiose šalyse gali skirtis) [16].

## 1.2. Atkabiklis

Šis vienfazis autonominis įrenginys (nereikalingas papildomas maitinimas) yra valdomas elektroniniu būdu. Jis įrengtas nuosekliai su saugikliu (1.9 pav.), kad apsaugotų saugiklį nuo trumpalaikių gedimų. Įvykus trumpalaikiam gedimui atkabiklis aptinka, išsijungia ir pašalina gedimą tik per pusę ciklo, tai yra jis išjungia atšakinę liniją prieš sudegant saugikliui. Po to jis automatiškai užsidaro po nustatyto laiko [17].

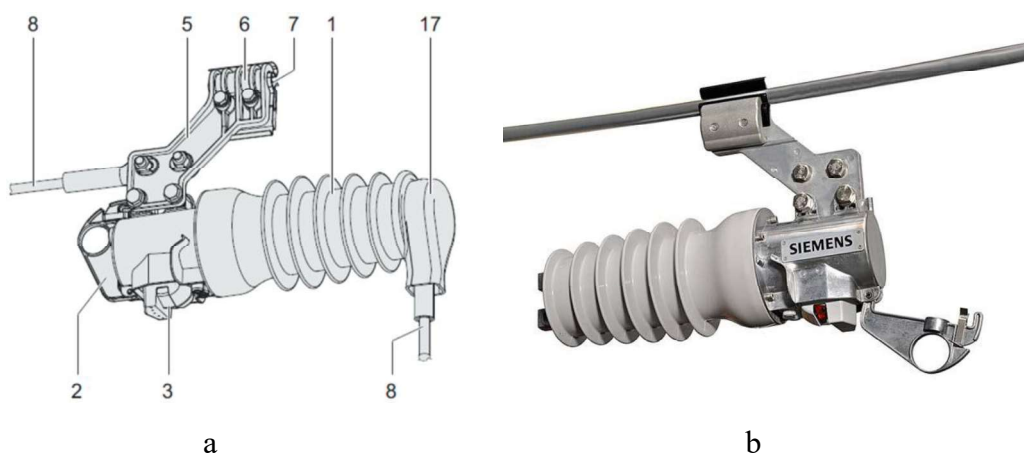


1.9 pav. Atkabiklio principinė schema [18]

- 1. Atkabiklis
- 25. Saugiklio laikiklis su saugikliu arba lydzioji jungtis
- 30. Ryšio modulis
- 70. Magistralinė linija
- 71. Atšakinė linija

Jeigu gedimas būna trumpalaikis, tuomet tik atšakinės linijos klientai patiria trumpalaikį elektros nutraukimą. Jei gedimas yra ilgalaikis, tai po pakartotinio atkabiklio įjungimo gedimo srovė vėl teka ir tuomet saugiklis perdega, kad pašalintų gedimą. Tuomet atkabiklio išorinė svirtis nusileidžia žemyn į horizontalę padėtį, tokiu būdu operatyvinė brigada informuojama apie linijos atšakoje

įvykusį gedimą ir tai, kad linija už atkabiklio yra be įtampos. Šiuo atveju maitinimo netenka tik klientai esantys atšakinėje linijoje, kurioje įvyko gedimas [17].



**1.10 pav.** Atkabiklio konstrukcija, kai a) atkabiklis įjungtas; b) atkabiklis išjungtas [18, 19]

1. Atkabiklis
2. Išorinė svirtis
3. Būsenos indikatorius
5. Linijos suspaudiklio komplektas
6. Linijos suspaudiklis
7. Izoliuojanti mova
8. Jungiamasis kabelis
17. Apsauga nuo paukščių

Atkabiklis būna įjungtas, kai jo išorinė svirtis (2) yra viršutinėje padėtyje, kaip parodyta (1.10 pav. a). Tuomet būsenos indikatorius (3) šviečia raudonai. Kai norima vykdyti darbus už atkabiklio, tai tuomet jis išjungiamas operatyvine lazda nulenkiant išorinę svirtį į horizontalią padėtį (1.10 pav. b).. Tuomet būsenos indikatorius šviečia žaliai [18].

Šiame prietaise yra sumontuota elektronika su atmintimi, kurioje yra įvykių istorija, įskaitant informaciją apie gedimo charakteristikas. Prie atkabiklio gali būti prijungtas trumpo nuotolio belaidžio ryšio modulis, kuris suteikia galimybę prisijungti prie atkabiklio iš kompiuterio. Tai leidžia operatoriui peržiūrėti tiesioginius duomenis apie įrenginio būseną, įskaitant paskutinio gedimo laiką, tipą ir dydį. Įvykių žurnalai iš atkabiklių gali būti atkurti ir išanalizuoti tam, kad būtų galima nustatyti, kokios yra blogiausios atšakinių linijų charakteristikos ir tai leidžia tinklo operatoriui imtis ekonomiškai efektyvių veiksmų.

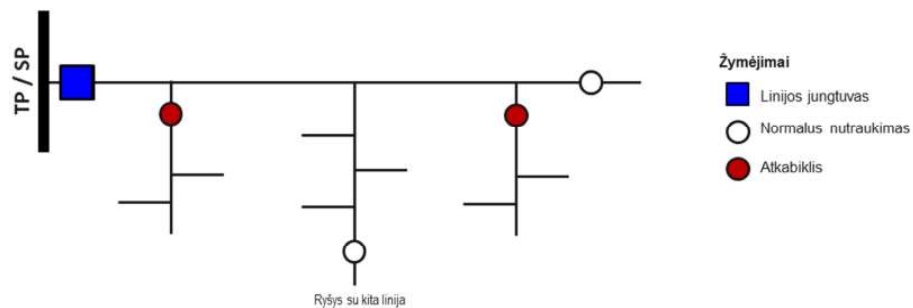
Naudojant trumpąsias radijo bangas, atkabikliai prijungti prie skirtingų fazių gali bendrauti ir dirbti kaip komanda, kad pagerintų tinklo veikimą. Tam, kad būtų išvengta trifazių įrenginių pažeidimų, atkabiklyje gali būti įjungtas trijų fazių blokavimas, pavyzdžiui įvykus gedimui vienoje fazėje.

Prie atkabiklio gali būti prijungtas nuotolinio valdymo blokas, kuris leidžia jį integruoti į SCADA sistemą, per kurią galima prisijungti nuotoliniu būdu prie atkabiklio ir stebėti jo duomenis. Tai apima įspėjimus apie įvykusius gedimus ir tinklo patikimumo duomenų rinkimą.

Ši technologija yra pakankamai pigi alternatyva ir yra greitai ir paprastai įdiegiama, taupant elektros tinklams skirtą eksploatacijos biudžetą. Atsipirkimas gali būti pasiektas vos per metus, atsižvelgiant į gedimų dažnumą ir tinklo patikimumą [17].

10kV atkabiklis įrengiamas 10kV OL atšakoje, neturinčioje ryšio su kita OL, atsižvelgiant į [8]:

- atjungiamų vartotojų skaičių visoje linijoje įvykus gedimui atšakoje;
- įvykusių gedimų skaičių per paskutinius metus;
- teritorijos, kurioje įrengta atšakinė linija, miškingumą;
- atkabikliai įrengiami linijų atšakose ir magistralėse neturinčiose ryšio su kitomis linijomis;
- linijoje ar jos dalyje, kurioje įrengiamas atkabiklis turi būti minimali apkrovos srovė užtikrinanti įrenginio funkcionalumą (angl. minimum line current for operation)  $I \geq 0,15$  A..



**1.11 pav.** Atkabiklis 10 kV elektros skirstomajame tinkle [8]

## 2. Trikdžių skirstomajame elektros tinkle apibendrinimas

Skirstymo sistema yra svarbi grandis tarp perdavimo sistemos ir klientų. Keletas publikacijų nurodo, kad daugiau nei 80% visų trikdžių, turinčių įtakos klientams, įvyksta skirstymo sistemoje. Daugumos skirstomųjų tinklų schemos yra spindulinės, todėl jos yra jautrios įvykusiems trikdžiams. Esant tokiai tinklo schemai, net vienas gedimas gali paveikti daugelį klientų. Todėl elektros skirstymo sistemoje patiriamų trikdžių sumažinimas yra svarbus uždavinys [20].

Elektros sistemose gana dažnai atsiranda gedimai arba nenormalūs darbo režimai. Gedimai iššaukia žymų srovės padidėjimą, kuris yra lydimas įtampos sumažėjimo. Padidėjusi srovė išskiria didelį kiekį šilumos, kuri sukelia pavojingą elektros laidų ir aparatų įšilimą. Nenormalių darbo režimų pasėkoje gali būti atjungta įtampa. Įtampos ir dažnio kitimai gali pakenkti elektros imtuvams [21].

Gedimų atsiradimui daugiausia įtakos turi atmosferinės oro sąlygos. Vėjas, smarkus lietus, drėgmė, apledėjimas ir kt. Šie reiškiniai sutrikdo elektros sistemos stabilumą ir patikimumą [6].

Remiantis Lietuvos hidrometeorologijos tarnybos informacija, per pastaruosius 30 metų Lietuvoje buvo 190 stichinių reiškinių arba vidutiniškai 6-7 audros, stipraus vėjo, krušos atvejai per metus. Hidrometeorologai prognozuoja, kad keičiantis klimatui Lietuvoje augs labai stipraus vėjo, smarkaus lietaus ir audros atvejų, kuriam esamas ESO elektros tinklas yra ypač neatsparus: virstantys medžiai, sniegas ir apledėjimas nutraukia laidus, o užkritisios šakos sukelia trumpus jungimus [5].



2.1 pav. Esama ESO skirstomojo tinklo situacija [5]

STO skirstomuosiuose tinkluose 2018 m. bendras oro linijų bei kabelių linijų gedimų skaičius didėjo dėl gamtos reiškinių bei kabelinio tinklo senėjimo, kurie didžiąja dalimi turėjo įtakos augimui.

2.1 lentelė. Gedimai 100 km linijų 2012-2018 m., vnt. [22]

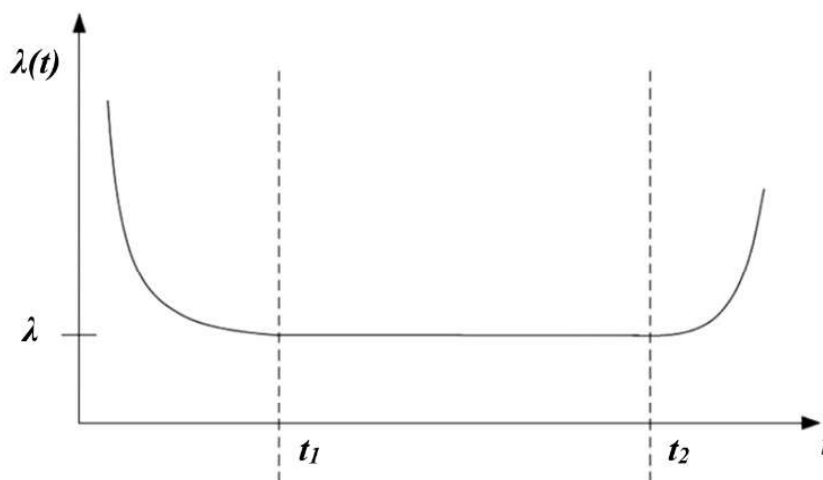
Rodiklis	2012 m.	2013 m.	2014 m.	2015 m.	2016 m.	2017 m.	2018 m.
10 kV oro ir kabelių linijos	4,2	4,2	2,9	2,4	2,6	3	3,2

Personalo klaidos taip pat lemia elektros gedimus. Žmogiška klaida gali kelti pavojų sistemą tvarkančio personalo gyvybei. Tokių problemų gali kilti dėl netinkamo prietaiso esamos būklės įvertinimo ar prastos priežiūros [6].

## 2.1. Gedimų intensyvumo modelis

Gedimų intensyvumas dažnai klasifikuojamas pagal polinkį didėti, mažėti arba būti pastoviam laiko atžvilgiu. Daugumos elementų gedimų intensyvumas apibūdinamas dviem arba trimis kitimo tendencijomis. Daugeliui techninių įrenginių būdinga intensyvumo kreivė, parodyta 2.2 paveiksle.

Šioje kreivėje galima skirti tris periodus. Pirmajame ( $0 < t < t_1$ ) gedimų intensyvumas smarkiai mažėja. Tai įsidirbimo periodas, kurio metu šalinami projektavimo, gamybos bei montavimo defektai. Antrasis ( $t_1 > t > t_2$ ) – normalios eksploatacijos periodas, kai vyrauja pastovūs gana mažo intensyvumo gedimai. Trečiasis ( $t > t_2$ ) – senėjimo arba susidėvėjimo periodas. Šiuo metu gedimai susiję su negrįžtamaisiais fizikiniais ir cheminiais procesais izoliacijoje, mechaninių mazgų susidėvėjimu, metalinių dalių korozija ir pan. Be to, gedimų srautai gali sustiprėti ir pasidaryti nestacionarūs dėl specifinių darbo sąlygų. [23].



2.2 pav. Tipinė gedimų intensyvumo kitimo kreivė [24]

## 2.2. Skirstomojo tinklo gedimų klasifikavimas

### 2.2.1. Transformatorinių ir skirstomųjų punktų gedimai

Pagrindinė skirstomųjų punktų gedimų priežastis – įrenginių ir jų izoliacijos senėjimas. 10 kV skirstomuosiuose punktuose silpniausia vieta – 10 kV alyviniai jungtuvai ir jų pavaros, relinės apsaugos ir automatikos gedimai bei gedimai antrinėse grandinėse [22].

Transformatorinėse gedimai gali atsirasti dėl: galios skyriklio (įžeminimo peilio ar jo elementų gedimo, mechaninio pažeidimo, pavaros ar kontaktų gedimo), kontakto nebuvimo, oksidacijos, jungties gedimo, blogo gnybto, nesandarumų ar nešvarumų, pašalinių daiktų ant transformatorinės, pašalinių asmenų poveikio, pažeistų ar įskilusių izoliatorių, pažeistų ar įskilusių saugiklių, pažeistų iškroviklių ar viršytampių ribotuvų, RAA gedimų, transformatoriaus gedimo, medžiagų pakitimo dėl amžiaus, skyriklio ar jungtuvo gedimo, šynų gedimo, gyvūnų ar paukščių poveikio.

Pagal STO pateiktą informaciją didžiąją dalį gedimų sudarė gedimai įvykę seno tipo Šiaulių bei Minsko transformatorinėse, kurios yra nudėvėtos bei technologiškai pasenusios. KT tipo transformatorinių gedimai sudaro 32 % visų transformatorinių gedimų [22].

**2.2 lentelė.** Transformatorių gedimai 100 transformatorinių 2012-2018 m., vnt. [22]

Rodiklis	2012 m.	2013 m.	2014 m.	2015 m.	2016 m.	2017 m.	2018 m.
10 kV įtampos elektros įrenginiai	6,2	4,8	0,9	1,9	2,3	2,5	2,5

### 2.2.2. Oro linijų gedimai

OL gedimai gali atsirasti dėl: nutrūkusių jungčių, įsvirusių ar pertemtų laidų, gnybtų gedimo, blogo kontakto, oksidacijos, ryšelio gedimo, susipynusių laidų, į laidus įaugusių krūmų ar medžių šakų, nulaužtų atramų ar paramščių, pašalinių daiktų ant OL laidų, pašalinių daiktų ant OLS/OLJ, pašalinių asmenų poveikio, nutrauktų ar pažeistų OL laidų, ant OL laidų užgriuvusių medžių, suskilusių ar sutrupėjusių izoliatorių, pažeistų iškroviklių ar viršįtampių ribotuvų, ištrupėjusių, avarinės būklės ar įžemėjimo srovės pažeistų atramų, gyvūnų ar paukščių poveikio, įvorės trūkimo nusimovusių izoliatorių, OLS nefunkcionavimo (peilių, pavaros ar rankenos, izoliatorių, šleifų, iškroviklių ar kitų elementų gedimo), užkritisios šakos, RAA gedimų, sulaužytų ar sulankstytų traversų, perkūnijos poveikio.

Senstant oro linijoms didėja laidų, izoliatorių ir atramų defektų skaičius. Vidutinis OL amžiaus resursas 30 metų [23]. 0,4 kV, 10 kV ir 35 kV oro linijų silpniausios vietos - miškingose vietovėse dėl apšalo, vėjų ir stichinių reiškinių virsdami medžiai nutraukia laidus, nusidėvėję izoliatoriai ir traversos, susidėvėjusios srovinių dalių jungtys [22].

### 2.2.3. Kabelinių linijų gedimai

KL gedimai gali atsirasti dėl: iškaitusio prijungimo kontakto, mechaninio pažeidimo montavimo metu, izoliacijos pažeidimo, pašalinių asmenų padarytos žalos (nukasimo), medžiagų pakitimo dėl amžiaus, KL pažeidimo bandant. Daug KL gedimų atsiranda jungiamosiose ir galinėse KL movose, kuriose gedimai gali susidaryti dėl gamyklinio broko, mechaninio pažeidimo, montavimo broko, pažeidimo bandant ar elektros išlydžių [25].

Maitinimo kabeliai ir jų priedai eksploatacijos metu nuolat patiria elektrinį, šiluminį, mechaninį ir aplinkos poveikį. Dėl šių veiksnių, prasto kabelių sumontavimo ir nepriežiūros, dažnai atvejais pablogėja kabelių izoliacinės savybės ar atsiranda defektų, dėl kurių gali susidaryti gedimai KL. Gedimus KL (pagal 2.2 pav.) galima suskirstyti į tris periodus: įsidirbimo periodas (0-5 metai); normalios eksploatacijos periodas (5-25 metai); senėjimo arba susidėvėjimo periodas (>25 metai). Įsidirbimo periodu gedimai paprastai atsiranda dėl gamyklinio broko, defektų, susijusių su prastu sumontavimu ir pašalinių asmenų padarytos žalos. Normalios eksploatacijos periodu gedimai atsiranda rečiau, šiuo atveju jie gali atsirasti dėl pašalinių asmenų padarytos žalos, medžiagų susidėvėjimo, aplinkos poveikio ir kitų priežasčių. Bėgant laikui KL dielektrinės savybės prastėja, prasideda drėgmės prasiskverbimas į izoliaciją ir nuo to ji pradeda irti. Padidėjęs gedimų skaičius po ilgo KL eksploataavimo įvardijamas kaip senėjimo periodas, kurio sparta priklauso nuo daugelio veiksnių, tokių kaip įtampos, šiluminio poveikio, priežiūros, sistemos amžiaus, kabelių paklojimo technologijos ir aplinkos [26].

Analizuojant gedimus kabelių linijose nustatyta, kad didžioji dalis gedimų įvyko nusidėvėjusiuose 10 kV įtampos kabeliuose su alyvine izoliacija [22].

### 2.3. Skirstomojo tinklo patikimumo reikalavimai

Elektros energijos persiuntimo patikimumas skirstomaisiais tinklais yra vertinamas dviem rodikliais: SAIDI ir SAIFI.

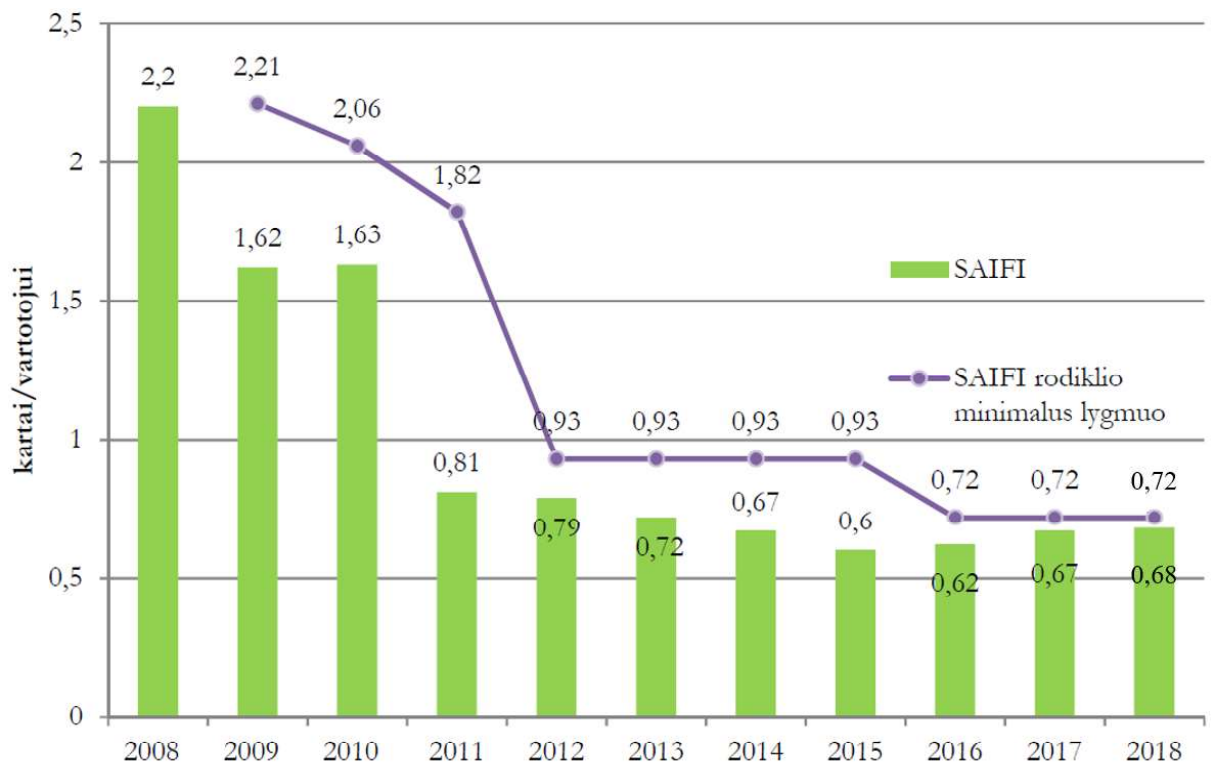
VERT nustatyti patikimumo rodikliai skirstomojo tinklo operatorių įpareigoja užtikrinti, kad techninė paslaugų kokybė būtų geresnė arba lygi minimaliems reikalavimams: vartotojui elektros energijos vidutinė nutraukimo trukmė neturėtų būti ilgesnė nei 52,12 min. Per metus ir vartotojui tenkantis vidutinis nutraukimų skaičius neturėtų būti didesnis nei 0,72 karto per metus (išskyrus nutraukimus dėl „Force majeure“ (nenugalima jėga) ir išorinio poveikio priežasčių) tik ilgiems ir neplanuotiems nutraukimams [22].



**2.3 pav.** Vidutinė neplanuotų elektros energijos persiuntimo skirstomajame tinkle nutraukimų trukmė (SAIDI), min./vartotojui [22]

2018 m. faktinis SAIDI rodiklis siekė 42,00 min./vartotojui, t. y. neviršijo minimalaus lygmens, iš jų vidutinė neplanuotų elektros energijos persiuntimo skirstomajame tinkle nutraukimų trukmė dėl nenustatytų priežasčių buvo 1,52 min., dėl operatoriui priskiriamos atsakomybės – 40,48 min.





**2.4 pav.** Vidutinis elektros energijos skirstomajame tinkle nutraukimų skaičius vartotojui (SAIFI), kartai/vartotojui [22]

2018 m. faktinis SAIFI rodiklis siekė 0,68 karto/vartotojui, t. y. neviršijo minimalaus lygmens (VERT nustatytas minimalus rodiklio lygmuo – 0,72 karto/vartotojui), iš jų vidutinis elektros energijos skirstomajame tinkle nutraukimų skaičius vartotojui dėl nenustatytų priežasčių siekė 0,03 kartų/vartotojui, dėl operatoriui priskiriamos atsakomybės – 0,65 karto/vartotojui [22].

### 3. Skirstomojo elektros tinklo patikimumo rodiklių analizė

Įvairūs rodikliai patikimumo teorijoje pradėti vartoti, pirmiausiai siekiant palengvinti patikimumo skaičiavimus ir prognozes, taip pat kad būtų galima spręsti taikomojo pobūdžio uždavinius. Visus rodiklius galima suskirstyti į šias keturias kategorijas:

- **tikimybinis**, pavyzdžiui: gedimo tikimybė, atkūrimo tikimybė, darbo parengties tikimybė, apkrovos netekimo tikimybė;
- **dažninis**, pavyzdžiui: vidutinis gedimų skaičius per laiko vienetą, elektros vartotojų atjungimo dažnis;
- **vidutinės trukmės**, pavyzdžiui: vidutinis išdirbis iki pirmo gedimo, vidutinis išdirbis tarp gedimų;
- **numatomuosius**, pavyzdžiui: vidutinis dėl avarijos elektros energetikos sistemoje nepatiktos elektros energijos kiekis per laiko vienetą, numatomas metinis dienų, kuriomis būna avarijų, skaičius [23].

#### 3.1. Tinklo patikimumas ir stabilumas

Šiuolaikinė elektros skirstymo sistema yra sudėtinga techninė sistema. Priimant sprendimus dėl tokios sistemos kontrolės svarbu įvertinti funkcinę kokybę, įskaitant patikimumą ir stabilumą.

Skirstomojo elektros tinklo patikimumas – tai sistemos savybė bėgant laikui išlaikyti parametrus, apibūdinančius sistemos gebėjimą atlikti pagrindinę funkciją – perduoti reikiamo dydžio ir kokybės elektros energiją. Skirstomojo elektros tinklo stabilumas – tai sistemos savybė išlaikyti normalų darbo režimą, esant technologiniams sutrikimams (ypač elektros tiekimo linijų ir elektros įrangos gedimams).

Skirstomojo elektros tinklo patikimumas ir stabilumas yra svarbūs veiksniai, kurie pasireiškia tuo, kad sugedus vienam ar net keliems elementams, nepažeistoje tinklo dalyje yra išlaikomas energijos srautas.

Projektavimo procese skirstomieji tinklai turi aiškią struktūrą, kuri statybos metu užtikrina reikiamą patikimumą ir stabilumą. Tačiau įrangos senėjimas, naujų klientų prijungimas, nuolatinis apkrovos augimas ir neišvengiami pokyčiai tinkle šiomis sąlygomis blogina pradinę struktūrą ir dėl to pablogina tinklo veikimo patikimumą [4].

Kadangi elektros energijos skirstymo sistema labiausiai įtakoja elektros tiekimo nutraukimą vartotojui, dėl to šiandienos elektros energijos rinkoje didelis dėmesys skiriamas skirstymo sistemos patikimumo gerinimui. Patikimumo didinimui visuomet reikalingos papildomos išlaidos, todėl patikimumo gerinimo metodai turi būti priimti, atsižvelgiant į išlaidas, susijusias su procesu [27]. Palyginti su generavimo ir perdavimo sistemomis, skirstymo sistemų įrenginiai yra nebrangūs. Santykinai nedidelėmis investicijomis galima gauti reikšmingą tinklo patikimumo padidėjimą. Dėl šios priežasties sumontuojama vis daugiau apsaugos įtaisų ir vis daugiau investuojama į tinklų patikimumo didinimą [28].

Patikimumo įvertinimo tikslas yra gauti sistemos patikimumo charakteristikas po bet kokios įrangos ar tinklo schemos pakeitimo, pavyzdžiui, apskaičiuojant patikimumo rodiklius. Yra keli rodikliai, kuriuos galima naudoti skirstomojo tinklo patikimumui įvertinti. Įvykus ilgalaikiam elektros

energijos nutraukimui skirstomajame elektros tinkle rekomenduojama remtis elektros ir elektronikos inžinerijos standartu 1366, kuriame rekomenduojami tokie rodikliai kaip [20]:

- *SAIDI* (angl. *system average interruption duration index*) – sistemos ilgų elektros energijos skirstymo nutraukimų vidutinės trukmės rodiklis (nutraukimų vidutinė trukmė vienam vartotojui per ataskaitinį laikotarpį).
- *SAIFI* (angl. *system average interruption frequency index*) – sistemos ilgų elektros energijos skirstymo nutraukimų vidutinio dažnumo rodiklis (nutraukimų vienam vartotojui skaičius per ataskaitinį laikotarpį).
- *MAIFI* (angl. *momentary average interruption frequency index*) – vidutinis elektros energijos persiuntimo trumpų nutraukimų dažnumo rodiklis.
- *CAIDI* (angl. *customer average interruption duration index*) – vartotojų vidutinis nutraukimo trukmės rodiklis (nutraukimų vidutinė trukmė vienam atjungtam vartotojui (vienam nutraukimui) per ataskaitinį laikotarpį) [21, 25].

Vis dėlto geriausiai žinomi skirstomojo tinklo patikimumo rodikliais yra *SAIFI* ir *SAIDI*. Matematiškai jie gali būti išreikšti [20]:

$$SAIFI = \frac{\text{visų elektros nutraukimų skaičius}}{\text{visų vartotojų skaičius}} = \frac{\sum_i f_{Ai} N_i}{\sum_i N_i}; \quad (3.1)$$

čia  $f_{Ai}$  – i-ojo mazgo avarinių išjungimų dažnis,  
 $N_i$  – i-ojo mazgo vartotojų skaičius.

$$SAIDI = \frac{\text{visų elektros nutraukimų trukmių suma}}{\text{visų vartotojų skaičius}} = \frac{\sum_i T_{Ai} N_i}{\sum_i N_i}; \quad (3.2)$$

čia  $T_{Ai}$  – i-ojo mazgo maitinimo atkūrimo trukmė [23].

### 3.2. Vartotojų aprūpinimo elektra patikimumo kategorijos

Vadovaujantis Lietuvos Respublikos energetikos ministro 2010 m. vasario 11 d. įsakymu Nr. 1-38 „Dėl elektros energijos tiekimo ir naudojimo taisyklių patvirtinimo“ patvirtintomis Elektros energijos tiekimo ir naudojimo taisyklėmis, elektros energijos persiuntimo patikimumas ir aprūpinimo elektros energija atkūrimo trukmė (toliau – patikimumo kategorija) iki operatoriaus ir vartotojo elektros tinklų nuosavybės ribos nustatomas vartotojo ir operatoriaus sudarytoje elektros energijos persiuntimo paslaugos sutartyje. Šiose taisyklėse nustatomos trys patikimumo kategorijos:

- Trečia (III) patikimumo 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.
- Antra (II) patikimumo 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.
- Pirma (I) elektros energijos patikimumo 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 [22].

Pirmai kategorijai priskiriami vartotojai, dėl kurių, nutrūkus elektros tiekimui, kyla grėsmė žmonių gyvybei, patiriama didelių materialinių nuostolių, sutrinka sudėtingi technologiniai procesai. Antrai kategorijai priskiriami vartotojai, dėl kurių, nutrūkus elektros tiekimui, patiriama produkcijos gamybos nuostolių, susidaro masinės darbuotojų mechanizmų ir transporto prastovos, neišvengiama didelės gyventojų dalies normalios veiklos sutrikimų. Trečiai kategorijai priskiriami visi kiti elektros vartotojai.

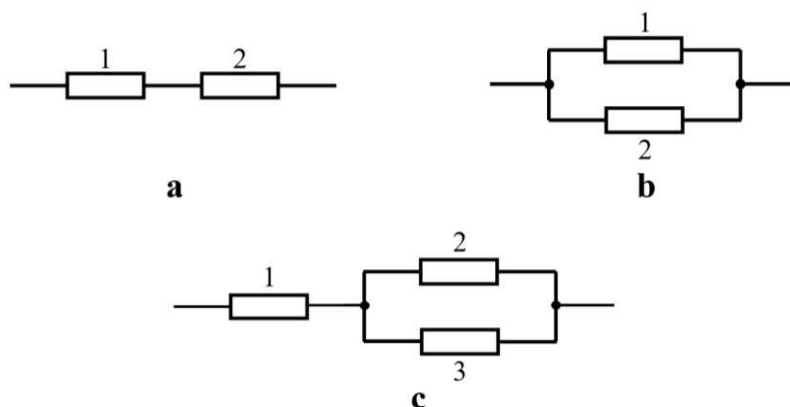
Į anksčiau paminėtus patikimumo užtikrinimo reikalavimus būtina atsižvelgti ne tik projektuojant elektros tinklus bei organizuojant jų eksploataciją, bet ir prognozuojant jų patikimumo užtikrinimo lygį ir nustatant atitinkamas technines priemones. Šie reikalavimai įvairiose šalyse gali būti skirtingi [23].

### 3.3. Elektros sistemų patikimumo apskaičiavimo metodai

Sistema susideda iš daugelio atitinkamai sujungtų elementų, kurie kartais turi įtakos tarpusavio veikimui. Sistemos patikimumą lemia jos konfigūracija ir elementų patikimumas. Sistemos patikimumas gali būti įvertintas įvairiais rodikliais, tačiau dažniausiai apskaičiuoja sistemos atitinkamos būklės tikimybę, vidutinę trukmę ir dažnis. Pasirenkant patikimumo rodiklių apskaičiavimo metodą, dažniausiai reikia atsižvelgti į sistemos apimtį ir struktūrą, elementų tarpusavio ryšį ir galimybę juos suremontuoti, elementų gedimo rūšį, eksploataavimo sąlygas ir aplinkos įtaką [23].

#### 3.3.1. Loginės schemos

Daugelio sistemų patikimumą galima apskaičiuoti, naudojantis loginėmis schemomis. Šių schemų blokai (stačiakampiai) vaizduoja veikiančius elementus, o norint pavaizduoti gedimą, iš schemos pašalinamas atitinkamas blokas. Jeigu, pašalinus blokus, nutrūksta ryšys tarp įėjimo ir išėjimo taškų, vadinasi, sugedusi visa sistema [23].



**3.1 pav.** Pagrindinės loginės schemos: a – nuoseklusis sujungimas, b – lygiagretusis sujungimas, c – nuosekliai lygiagretus sujungimas [23]

Nagrinėjant nuosekliai lygiagrečias struktūras pažymimas  $x_i$  įvykis, kad elementas veikia, o  $\bar{x}_i$  – priešingas įvykis. Analogiškai pažymimas  $s$  įvykis, kad sistema veikia, o  $\bar{s}$  – priešingas įvykis.

Žinant  $x_i$  ir  $\bar{x}_i$ , galima rasti  $s$  arba  $\bar{s}$ . Tam naudojamos loginės operacijos IR ir ARBA (loginis žymėjimas atitinkamai  $\cap$  ir  $\cup$ ) [23].

Elementai bus sujungti nuosekliai (logine prasme) tada, kai, sugedus vienam iš jų, sugenda visa sistema. Kai elementai 1 ir 2 sujungti nuosekliai (3.1 pav., a),

$$s = x_1 \cap x_2, \quad \bar{s} = \bar{x}_1 \cup \bar{x}_2. \quad (3.3)$$

Elementai bus sujungti lygiagrečiai (logine prasme) tada, kai sistema veiks tol, kol bus nesugedęs nors vienas elementas. Kai elementai 1 ir 2 sujungti lygiagrečiai (3.1 pav., b),

$$s = x_1 \cup x_2, \quad \bar{s} = \bar{x}_1 \cap \bar{x}_2. \quad (3.4)$$

Nuosekliai lygiagreti struktūra (3.1 pav., c) aprašoma tokiomis loginėmis išraiškomis [23]:

$$s = x_1 \cap (x_2 \cup x_3) \quad \text{arba} \quad \bar{s} = \bar{x}_1 \cup (\bar{x}_2 \cap \bar{x}_3). \quad (3.5)$$

#### 4. Skirstomojo elektros tinklo schemos elementų patikimumo tyrimas

Tiriamajam projektui pasirinkta Radviliškio skyriaus 10 kV tinklo operatyvinė normaliųjų sujungimų schema, linija L-TR67 (1 priedas).

Linijos duomenys:

1. Bendras elektros vartotojų skaičius – 1527 vart.
2. Transformatorinių skaičius – 47
3. ST – 25  
KT – 10  
MT – 6  
TR – 6
4. Bendras linijos ilgis – 54,391 km  
OL ilgis – 47,165 km  
KL ilgis – 7,226 km
5. Linijoje įdiegti 2 OLJ – OLJ Rd-460, OLJ Rd-560
6. Linijoje nuo L-TR67 iki OLJ yra  $N_A = 354$  vartotojai, jų bendra galia  $A_A = 69,6$  kW;  
Linijoje už OLS Rd-460 yra  $N_B = 312$  vartotojų, jų bendra galia  $A_B = 101,54$  kW;  
Linijoje už OLS Rd-460 yra  $N_C = 861$  vartotojas, jų bendra galia  $A_C = 328,86$  kW.

Elektros linijų, skyriklių, transformatorinių ir relinės apsaugos patikimumo charakteristikos (gedimų intensyvumas  $\lambda$ ) pateiktos 4.1 lentelėje.

4.1 lentelė. Elementų patikimumo charakteristikos [23]

Elementai	$\lambda$ , 1/m
Oro linijos	8 (100 km)
Kabelinės linijos	5 (100 km)
Relinės apsaugos	0,11
OLS	0,015
KT	0,014
ST	0,012
MT	0,012
TR	0,012

Elektros linijų gedimų intensyvumas apskaičiuojamas atsižvelgiant į linijų ilgį ir santykinį jų gedimo intensyvumą  $\lambda$ . Linijos L-TR67 suminis visų oro linijų gedimų intensyvumas apskaičiuojamas taip:

$$\lambda_{L-TR67 OL} = OL_{47,165} \cdot \lambda_{OL} = \frac{47,165 \cdot 8}{100} = 3,773 \text{ 1/m.}$$

Linijos L-TR67 suminis visų kabelinių linijų gedimų intensyvumas apskaičiuojamas taip:

$$\lambda_{L-TR67 KL} = KL_{7,226} \cdot \lambda_{KL} = \frac{7,226 \cdot 5}{100} = 0,361 \text{ 1/m.}$$

Visų elektros linijų gedimų intensyvumo apskaičiavimo rezultatai pateikti 4.2 lentelėje.

#### 4.2 lentelė. Elektros linijų gedimo intensyvumas

Elektros linija	OL ilgis, km	OL gedimų intensyvumas, 1/m	KL ilgis, km	KL gedimų intensyvumas, 1/m
L-TR67	47,165	3,773	7,226	0,361
L-TR67 iki OLJ	2,653	0,212	2,053	0,103
L-TR67 iki OLJ ir linija už OLJ Rd-460	5,743	0,459	5,083	0,254
L-TR67 iki OLJ ir linija už OLJ Rd-560	44,075	3,526	4,196	0,210
Linija už OLJ Rd-460	3,09	0,247	3,03	0,152
Linija už OLJ Rd-560	41,422	3,314	2,143	0,107

#### 4.1. Loginių patikimumo lygčių sudarymas

Loginių patikimumo lygčių sudarymui naudojamos Radviliškio skyriaus 10 kV tinklo struktūrinės elementų patikimumo schemos, kurios pateiktos 2 priede.

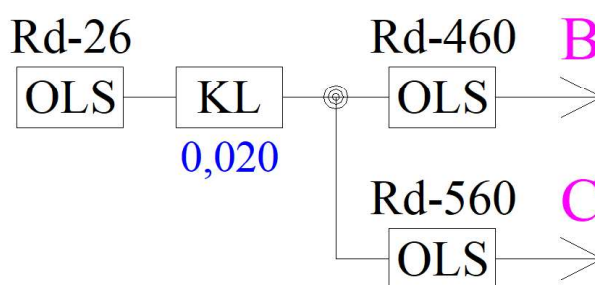
Sudarant patikimumo lygtis vartojami tokie žymėjimai:

$S_{INi}$  – ilgalaikis elektros tiekimo  $i$  – ajam apkrovos mazgui nutraukimas, kai elektros tinklas dirba normaliuoju režimu;

$S_{INavi}$  - ilgalaikis elektros tiekimo  $i$  – ajam apkrovos mazgui nutraukimas dėl avarijos plėtotės, kai elektros tinklas dirba normaliuoju režimu [23].

#### Patikimumo skaičiavimai kuomet vietoj OLJ Rd-460 ir OLJ Rd-560 naudojami OLS Rd-460 ir OLS Rd-560

Nagrinėjamu atveju vietoje OLJ naudojami OLS 4.1 pav. (2 priedas)



4.1 pav. Tinklo struktūrinė elementų patikimumo schema naudojant OLS

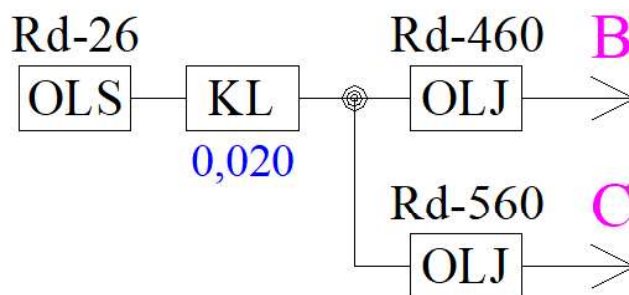
#### Linijos L-TR67 loginė patikimumo lygtis kai naudojami OLS

Elektros tinklas maitinamas iš Radviliškio TP linija L-TR67. Elektros tinklui dirbant normaliuoju režimu (visi komutaciniai aparatai įjungti), linija L-TR67 ilgą laiką (kol bus atkurtas pažeistas elementas) neteks maitinimo tada, kai gedimas įvyks tinklo elementuose, nuo kurių išsijungia TP esantis jungtuvas L-TR67. Patikimumo loginė lygtis bus tokia:

$$S_{IN1OLS} = 64OLS \cup OL_{47,165} \cup KL_{7,226} \cup 25ST \cup 10KT \cup 6MT \cup 6TR.$$

## Patikimumo skaičiavimai kuomet naudojami OLJ Rd-460 ir OLJ Rd-560

Schema kuomet naudojami OLJ pavaizduota 4.2 pav. (2 priedas)



4.2 pav. Tinklo struktūrinė elementų patikimumo schema naudojant OLJ

### Linijos L-TR67 iki OLJ loginės patikimumo lygtys

Šiuo atveju skirtumas yra tas, kad linijai L-TR67 netekti maitinimo yra mažesnė tikimybė, dėl naudojamų OLJ, nes atsimeta už jų esančių elementų avarinių išjungimų dažnis. Patikimumo loginė lygtis bus tokia:

$$S_{IN1OLJ} = 12OLS \cup OL_{2,653} \cup KL_{2,053} \cup 4ST \cup 3KT \cup MT.$$

Kada linijoje naudojami OLJ tuomet papildomai įvertinamas jungtuvų klaidingas suveikimas (nesuveikimas). Pavyzdžiui OLJ turi suveikti tuomet, kai gedimas įvyksta už jo, bet jeigu OLJ nesuveikia, tuomet suveikia TP esantis jungtuvas L-TR67 kaip atsarginė apsauga ir tuomet išjungiamą visa linija. Patikimumo loginė lygtis bus tokia:

$$S_{INav1OLJ} = [(6OLS \cup OL_{3,09} \cup KL_{3,03} \cup ST \cup KT \cup 3MT \cup TR) \cap \cap RaOLJ - 460] \cup \{44OLS \cup OL_{41,422} \cup KL_{2,143} \cup 20ST \cup 6KT \cup \cup 2MT \cup 5TR) \cap RaOLJ - 560\}.$$

### Linijos už OLJ Rd-460 loginės patikimumo lygtys

Linija už OLJ Rd-460 neteks maitinimo tada, kai gedimas įvyks tinklo elementuose, nuo kurių atsijungia OLJ Rd-460 arba TP esantis jungtuvas L-TR67. Patikimumo loginė lygtis bus tokia:

$$S_{IN2OLJ} = 18OLS \cup OL_{5,743} \cup KL_{5,083} \cup 5ST \cup 4KT \cup 4MT \cup TR.$$

Tuomet kai nesuveikia OLJ Rd-560, tuomet suveikia TP esantis jungtuvas L-TR67 ir tuomet atsijungia visa linija. Šiuo atveju loginė patikimumo lygtis bus tokia:

$$S_{INav2OLJ \text{ Rd-560}} = (44OLS \cup OL_{41,422} \cup KL_{2,143} \cup 20ST \cup 6KT \cup \cup 2MT \cup 5TR) \cap RaOLJ - 560.$$

### Linijos už OLJ Rd-560 loginės patikimumo lygtys

Linija už OLJ Rd-560 neteks maitinimo tada, kai gedimas įvyks tinklo elementuose, nuo kurių atsijungia OLJ Rd-560 arba TP esantis jungtuvas L-TR67. Loginė patikimumo lygtis bus tokia:

$$S_{IN3OLJ} = 56OLS \cup OL_{44,075} \cup KL_{4,196} \cup 24ST \cup 9KT \cup 3MT \cup 5TR.$$



Tuomet kai nesuveikia OLJ Rd-460, tuomet suveikia TP esantis jungtuvas L-TR67 ir tuomet atsijungia visa linija. Šiuo atveju loginė patikimumo lygtis bus tokia:

$$S_{INav3OLJ Rd-460} = (6OLS \cup OL_{3,09} \cup KL_{3,03} \cup ST \cup KT \cup \cup 3MT \cup TR) \cap RaOLJ - 460.$$

#### 4.2. Elektros apkrovų mazgų (vartotojų) patikimumo rodiklių apskaičiavimas

Tikslinga apskaičiuoti atstojamųjų elementų gedimo dažnį (intensyvumą) ir išjungimo (atkūrimo) trukmę. Atstojamojo k-ojo elemento gedimų dažnis  $f_k$  ir atkūrimo trukmė  $T_{ak}$  apskaičiuojama, žinant elementų gedimo intensyvumą  $\lambda_i$  ir atkūrimo trukmę  $T_{ai}$ .

Kai atstojamasis elementas sudarytas iš nuosekliai sujungtų elementų, jo patikimumo rodikliai apskaičiuojami pagal tokias formules:

$$f_k = \sum_i \lambda_i; \quad (4.1)$$

$$T_{ak} = \frac{\sum_i \lambda_i \cdot T_{ai}}{\sum_i \lambda_i}. \quad (4.2)$$

Kai atstojamasis elementas sudarytas iš dviejų skirtingų lygiagrečiai sujungtų elementų, jo patikimumo rodikliai apskaičiuojami pagal šias formules [23]:

$$f_k = \lambda_1 \cdot \lambda_2 (T_{a1} + T_{a2}) / 8760; \quad (4.3)$$

$$T_{ak} = \frac{T_{a1} \cdot T_{a2}}{T_{a1} + T_{a2}}. \quad (4.4)$$

Paprastai nepriklausomai nuo elektros tinklo darbo režimo, apkrovos mazgo avarinio išjungimo tikimybė apskaičiuojama taip:

$$P_{Ai} = \frac{f_k \cdot T_{ak}}{8760}; \quad (4.5)$$

Norint apskaičiuoti gedimo atkūrimo trukmę naudojami šie keturi etapai [29]:

1. Randama gedimo vieta ir išvedamas avaringas ruožas.
2. Iš TP atstatomas elektros tiekimas vartotojams kurie nėra gedimo zonoje.
3. Sujungus normaliai atjungtą skyriklių, per kitas linijas, atstatomas elektros tiekimas vartotojams kurie nėra gedimo zonoje.
4. Pašalinamas gedimas ir atstatomas elektros tiekimas.

Naudojantis Radviliškio skyriaus 10 kV tinklo operatyvine normalių sujungimų schema (1 priedas) sudaromi gedimų šalinimo scenarijai įvykus gedimui. Skaičiavimai atlikti laikant, kad vieno perjungimo skyrikliu trukmė yra 1min (0,02 h), o jungtuvai perjungiami momentaliai. Pagal istorinius duomenis priimama, kad transformatorinių, OL, OLS tvarkymo trukmė išvedus avaringą ruožą ir nustačius gedimo vietą užtrunka 1 h [23, 29].

### Atkūrimo trukmės skaičiavimai, kai naudojami OLS gedimui įvykus ST Rd-502

Įvykus gedimui Radviliškio TP išsijungia VJ L-TR67. VJ bandomas įjungti NV, įjungimas nesėkmingas. Paveikė indikatoriai atr. nr. 6700/13, 6700/29. Iškviečiama OB, jei duodama komanda OLS Rd-560 atjungti. Duodama būtent tokia komanda, nes prie šio OLS yra OLS Rd-26 ir OLS Rd-460, tad jei nepasiteisintų OLS Rd-560 atjungimas, tada būtų atjungiami paminėti OLS. Priimama, kad OB vyksta į vietą 20 min (0,33 h). OB atjungia OLS Rd-560, po to praneša dispečeriui apie įvykdyta operaciją. Dispečeris NV paduoda komandą įjungti VJ – įjungimas sėkmingas. OB duodama komanda TR Rd-101 LGS L-OLS Rd-462 įjungti, įjungžiama po 4 min (0,07 h). OB duodama komanda OLS Rd-460 atjungti, atjungžiama po 4 min. VJ L-TR67 išjungžiamas, po to OB duodama komanda OLS Rd-560 sujungti. OB pranešus apie įvykdymą, OB duodama komanda OLS Rd-562 atjungti. Po to paduodama komanda įjungti VJ – įjungimas sėkmingas. VJ L-TR67 išjungžiamas, po to OB duodama komanda OLS Rd-562 sujungti. OB duodama komanda TR Rd-503 LGS L-OLS Rd-562 išjungti, išjungžiama po 7 min (0,12 h). Paduodama komanda įjungti VJ – įjungimas nesėkmingas. OB duodama komanda OLS Rd-562 atjungti, atjungžiama po 7 min, po to NV įjungžiamas VJ. OB duodama komanda OLS Rd-565 sujungti, sujungžiama po 8 min (0,13 h). Po šios operacijos užsimaitina vartotojai iš TR Rd-503 ir už jos esančių transformatorinių. Išvestas avaringas ruožas tarp OLS Rd-562 ir TR Rd-503, OB duodama komanda atlikti šio ruožo apžiūrą. Atsižvelgus į OL ilgį, joje esančių transformatorinių ir OLS skaičių priimama, kad OL apžiūra užtrunka 46 min (0,77 h). Atlikus apžiūrą ir radus gedimo vietą OB informuoja, kad rastas gedimas ST Rd-502. OB duodama komanda OLS Rd-502 atjungti. Po to OB duodama komanda OLS Rd-562 sujungti, užtrunka 3 min (0,05 h), po šios operacijos elektros tiekimas atkuriamas ST Rd-515. OB brigadai duodama komanda sutvarkyti ST Rd-502 esantį gedimą ir baigus darbus įjungti įtampą. OB po 1 h. praneša apie sutvarkymą ir atstatytą elektros tiekimą.

#### 4.3 lentelė. Atkūrimo trukmės skaičiavimai naudojant OLS, kai gedimas įvyksta ST Rd-502

Elektros linija	Vartotojų skaičius $N_i$ , vnt.	Dalies vartotojų atkūrimo trukmė $T_{dai}$ , h	Atkūrimo trukmė $T_{ai}$ , h
L-TR67 iki OLS Rd-460, OLS Rd-560	354	-	0,68
Linija už OLS Rd-460	312	-	0,35
Linija už OLS Rd-560	770	0,82	0,85
	82	0,95	
	2	1,80	
	7	2,80	

### Atkūrimo trukmės skaičiavimai, kai naudojami OLJ gedimui įvykus ST Rd-502

Įvykus gedimui išsijungia OLJ Rd-560. OLJ bandomas įjungti NV, įjungimas nesėkmingas. Iškviečiama OB, jei duodama komanda OLS Rd-562 atjungti. Priimama, kad OB vyksta į vietą 24 min (0,40 h). OB atjungia OLS Rd-562, po to praneša dispečeriui apie įvykdyta operaciją. Dispečeris NV paduoda komandą įjungti OLJ – įjungimas sėkmingas. OLJ išjungžiamas, po to OB duodama komanda OLS Rd-562 sujungti. Po to OB duodama komanda TR Rd-503 LGS L-OLS Rd-562 išjungti. Apie išjungimą informuojamas dispečeris ir tada NV duodama komanda įjungti OLJ – įjungimas nesėkmingas. OB duodama komanda OLS Rd-562 atjungti, atjungžiama po 7 min,

po to NV įjungiamas OLJ. OB duodama komanda OLS Rd-565 sujungti, sujungiama po 8 min. Po šios operacijos užsimaitina vartotojai iš TR Rd-503 ir už jos esančių transformatorinių. Išvestas avaringas ruožas tarp OLS Rd-562 ir TR Rd-503, OB duodama komanda atlikti šio ruožo apžiūrą. OL apžiūra užtrunka 46 min. Atlikus apžiūrą ir radus gedimo vietą OB informuoja, kad rastas gedimas ST Rd-502. OB duodama komanda OLS Rd-502 atjungti. Po to OB duodama komanda OLS Rd-562 sujungti, užtrunka 3 min., po šios operacijos elektros tiekimas atkuriamas ST Rd-515. OB brigadai duodama komanda sutvarkyti ST Rd-502 esantį gedimą ir baigus darbus įjungti įtampą. OB po 1 h. praneša apie sutvarkymą ir atstatytą elektros tiekimą.

#### 4.4 lentelė. Atkūrimo trukmės skaičiavimai naudojant OLJ, kai gedimas įvyksta ST Rd-502

Elektros linija	Vartotojų skaičius $N_i$ , vnt.	Dalies vartotojų atkūrimo trukmė $T_{dai}$ , h	Atkūrimo trukmė $T_{ai}$ , h
Linija už OLJ Rd-560	770	0,65	0,68
	82	0,78	
	2	1,63	
	7	2,63	

Apibendrinant ST Rd-502 įvykusį gedimą matyti, kad naudojant OLS dėl šio gedimo elektros tiekimas yra nutraukiamas visai elektros linijai L-TR67 iš Radviliškio TP. Atliekant perjungimus visų pirma užmaitinama linija už OLS Rd-460, šiuo atveju maitinimas atkuriamas 312 vartotojų per 0,35 h. Po to išvedus avaringą ruožą TP įjungiamas VJ ir maitinimas per 0,68 h atstatomas 354 vartotojams esantiems linijos pradžioje ir per 0,82 h už OLS Rd-560 esantiems 770 vartotojų. Linijos pradžioje esantiems vartotojams atkūrimo trukmė yra mažesnė, nes jiems dalį laiko, kol buvo vykdomi operatyviniai perjungimai, elektros tiekimas buvo atkurtas. Po to 82 vartotojams kurie nėra avaringame ruože elektros tiekimas atkuriamas per 0,95 h. Atliekama OL apžiūra ir radus gedimo vietą atliekami perjungimai ir elektros tiekimas atkuriamas 2 vartotojams per 1,80 h. Po to vykstama į gedimo vietą ir ten sutvarkomas gedimas, šiuo atveju 7 vartotojams elektros tiekimas atkuriamas per 2,80 h. Tuomet kai naudojami OLJ įvykus gedimui ST Rd-502 išsijungia OLJ Rd-560 ir taip išsaugomas elektros tiekimas tame ruože kuris nebuvo paveiktas gedimo. Tad šiuo atveju elektros tiekimas išlieka nenutrauktas 666 vartotojams iš L-TR67 ir už OLJ Rd-460 esančioms linijoms. Naudojant OLJ sumažėja atkūrimo trukmės laikas, nes šiuo atveju išsijungtus OLJ Rd-560 OB siunčiama gedimo vietos paieška už jo ir taip sumažinamas gedimo paieškos ir operatyvinių perjungimų laikas. Kaip matyti iš 4.3 ir 4.4 lentelių linijos už OLS (OLJ) Rd-560 su OLS atkūrimo laikas  $T_{ai}=0,85$  h, o su OLJ  $T_{ai}=0,68$  h.

$$T_{ai} = \frac{\sum_i T_{dai} \cdot N_i}{\sum_i N_i}. \quad (4.6)$$

Pagal ST Rd-502 įvykusio gedimo šalinimo pavyzdį atkūrimo trukmė apskaičiuojama ir su kitais gedimais. Visų elektros linijos ruožų patikimumo rodiklių skaičiavimo rezultatai pateikti 4.5 ir 4.6 lentelėse.

**4.5 lentelė.** Linijų avarinių išjungimų dažnis, trukmė ir tikimybė, kai naudojami OLS

Elektros linija	Loginė patikimumo lygtis	Avarinių išjungimų dažnis, m <sup>-1</sup>	Atkūrimo trukmė, h	Avarinio išjungimo tikimybė
L-TR67 iki OLS Rd-460 ir OLS Rd-560	S <sub>IN1OLS</sub>	5,6785	0,794	5·10 <sup>-4</sup>
Linija už OLS Rd-460			0,475	3·10 <sup>-4</sup>
Linija už OLS Rd-560			0,978	6·10 <sup>-4</sup>

Tuomet kai naudojami OLS avarinių išjungimų dažnis ar tai būtų linijos pradžia, ar tai būtų linijos pabaiga laikoma vienoda, nes nuo gedimo įvykusio linijos pradžioje atsijungia visa linija ir analogiškai atsijungia visa linija nuo gedimo linijos pabaigoje.

**4.6 lentelė.** Linijų avarinių išjungimų dažnis, trukmė ir tikimybė, kai naudojami OLJ

Elektros linija	Loginė patikimumo lygtis	Avarinių išjungimų dažnis, m <sup>-1</sup>	Atkūrimo trukmė, h	Avarinio išjungimo tikimybė
L-TR67 iki OLJ	S <sub>IN1OLJ</sub>	0,59689	0,957581	7·10 <sup>-5</sup>
	S <sub>INav1OLJ</sub>	9·10 <sup>-5</sup>	0,283612	3·10 <sup>-9</sup>
	<b>S<sub>ΣN1</sub></b>	<b>0,59697</b>	<b>0,957483</b>	<b>7·10<sup>-5</sup></b>
Linija už OLJ Rd-460	S <sub>IN2OLJ</sub>	1,15959	0,758058	1·10 <sup>-4</sup>
	S <sub>INav2OLJ</sub>	8·10 <sup>-5</sup>	0,28234	3·10 <sup>-9</sup>
	<b>S<sub>ΣN2</sub></b>	<b>1,159667</b>	<b>0,758026</b>	<b>1·10<sup>-4</sup></b>
Linija už OLJ Rd-560	S <sub>IN3OLJ</sub>	5,0858	0,896636	5·10 <sup>-4</sup>
	S <sub>INav3OLJ</sub>	1·10 <sup>-5</sup>	0,292852	4·10 <sup>-10</sup>
	<b>S<sub>ΣN3</sub></b>	<b>5,08581</b>	<b>0,896635</b>	<b>5·10<sup>-4</sup></b>

Įdiegus OLJ avarinių išjungimų dažnis sumažėja, didžiausias avarinių išjungimų dažnio sumažėjimas pasireiškia linijos pradžioje, ruože nuo L-TR67 VJ iki OLJ. Šiuo atveju avarinių išjungimų dažnis sumažėja nuo 5,6785 m<sup>-1</sup> iki 0,59697 m<sup>-1</sup>. Šios linijos beveik neįtakoja gedimai galintys atsirasti už OLJ Rd-460 ir OLJ Rd-560, jie daro įtaką tik tada kai gedimas įvyksta už OLJ ir šis nesuveikia, bet kaip matyti iš 4.6 lentelės rezultatų įvykio tikimybė, kad gedimas įvyks už OLJ ir šis nesuveiks yra labai maža. Linijoje už OLJ Rd-460 avarinių išjungimų dažnis taip pat sumažėja, nes jos atsijungimo beveik neįtakoja linijoje už OLJ Rd-560 įvykstantys gedimai. Šios linijos avarinių išjungimų dažnis kuomet vietoje OLS naudojami OLJ sumažėja nuo 5,6785 m<sup>-1</sup> iki 1,159667 m<sup>-1</sup>. Linijos už OLJ Rd-560 avarinių išjungimų dažnis yra didžiausias, nes ši linija yra ilgiausia, joje daugiausiai komutacinių aparatų ir transformatorinių. Visgi šios linijos avarinių išjungimų dažnis įdiegus OLJ sumažėja, nes beveik atsimeta avarinių išjungimų dažnis įvykstanti už OLJ Rd-460. Linijos už OLJ Rd-560 avarinių išjungimų dažnis kuomet vietoje OLS naudojami OLJ sumažėja nuo 5,6785 m<sup>-1</sup> iki 5,08581 m<sup>-1</sup>. Tiek linijos už OLJ Rd-460, tiek ir linijos už OLJ Rd-560 avarinių išjungimų dažniui turi įtakos gedimas linijos ruože nuo L-TR67 VJ iki OLJ, nes išsijungus VJ L-TR67 išjungia ir linijos esančios už OLJ, todėl vertinant linijų už OLJ avarinių išjungimų dažnį prie jų prisumuojama linijos ruožo nuo L-TR67 VJ iki OLJ avarinių išjungimų dažnis.

## Apibendrinti linijos L-TR67 patikimumo rodikliai

Apibendrinti linijos L-TR67 patikimumo rodikliai apskaičiuojami pagal (3.1, 3.2) formules žinant apkrovų elektros vartotojų skaičių  $N_i$ , avarinių išjungimo dažnį  $f_{Ai}$  ir maitinimo atkūrimo trukmę  $T_{Ai}$  [23].

Apibendrinti elektros tinklo patikimumo rodikliai, kuomet naudojami OLS, kai elektros tinklas dirba normaliu režimu, yra tokie:

$$SAIFI_{OLS} = \frac{5,6785 \cdot (354 + 312 + 861)}{354 + 312 + 861} =$$
$$= 5,6785 \text{ karto per metus vienam vartotojui};$$

$$SAIDI_{OLS} = \frac{0,794 \cdot 354 + 0,475 \cdot 312 + 0,978 \cdot 861}{354 + 312 + 861} =$$
$$= 0,834 \text{ valandos vienam vartotojui}.$$

Apibendrinti elektros tinklo patikimumo rodikliai, kuomet naudojami OLJ kai elektros tinklas dirba normaliu režimu, yra tokie:

$$SAIFI_{OLJ} = \frac{0,597 \cdot 354 + 1,16 \cdot 312 + 5,086 \cdot 861}{354 + 312 + 861} =$$
$$= 3,243 \text{ karto per metus vienam vartotojui};$$

$$SAIDI_{OLJ} = \frac{0,957 \cdot 354 + 0,758 \cdot 312 + 0,87 \cdot 861}{354 + 312 + 861} =$$
$$= 0,882 \text{ valandos vienam vartotojui}.$$

Palyginus SAIFI rodiklius kuomet vietoje OLS naudojami OLJ matyti, kad jie sumažėja nuo 5,6785 iki 3,243 atjungimų per metus vienam vartotojui. Palyginus SAIDI rodiklius kuomet vietoje OLS naudojami OLJ matyti, kad šis rodiklis padidėja nuo 0,834 iki 0,882 valandų vienam vartotojui. Šis rodiklis padidėja dėl to, kad gęsta mažesnis kiekis vartotojų. Kai naudojami OLS tuomet gęsta visa linija ir išsivedamas avaringas ruožas. Po to tas ruožas kuris nėra paveiktas gedimo ir kuriame yra didelis vartotojų skaičius yra greitai atstatomas. Dėl elektros atkūrimo šiame ruože pagerėja bendras SAIDI rodiklis naudojant OLS.

### 4.4. Papildomo OLJ įdiegimas

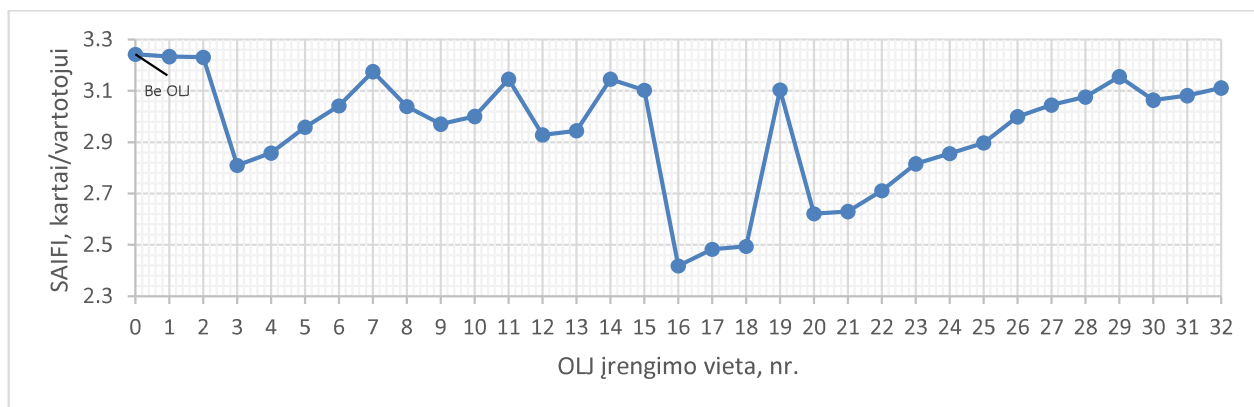
Atlikti 10 kV spindulinio skirstomojo tinklo iš Radviliškio TP linijos L-TR67 patikimumo skaičiavimai rodo, kad vietoj OLS Rd-460 ir OLS Rd-560 įdiegus OLJ Rd-460 ir OLJ Rd-560 linijos L-TR67 patikimumo rodikliai pagerėja. Gauti rezultatai rodo, kad po OLJ įdiegimo didžiausia avarinių išjungimų dažnis išlieka ruože už OLJ Rd-560. Šiame ruože yra 861 vartotojas, bendras linijos ilgis 43,565 km, todėl šiame linijos ruože būtų tikslinga įdiegti OLJ, nes „ESO“ pateiktoje elektros skirstomojo tinklo technologinės plėtros strategijoje rašoma, kad OLJ diegiami tuose tinklo segmentuose, kuriuose vartotojų skaičius yra didesnis nei 800 [8].

Prieš diegiant OLJ reikia atsižvelgti į tai, kad prieš jį elektros tiekimas išliks, o už jo elektros tiekimas bus nutrauktas [30]. Laikoma, kad OLJ gali būti įrengiami bet kurios skirstomojo tinklo šakos pradžioje [27].

Vadovaujanti Radviliškio skyriaus 10 kV tinklo OLJ įdiegimo vietų schema (3 priedas) apskaičiuojama kaip pasikeistų 10 kV skirstomojo tinklo linijos L-TR67 SAIFI rodiklis, jei už OLS Rd-560 būtų įdiegtas dar vienas OLJ. Skaičiavimo rezultatai pateikti 4.7 lentelėje, o 4.3 pav. jie vaizduojami grafiškai.

**4.7 lentelė.** Linijos L-TR67 SAIFI rodiklio priklausomybė nuo OLJ įdiegimo vietos

<b>OLJ įdiegimo vieta</b>	<b>SAIFI rodiklis</b>
Be OLJ	3,242937092
1	3,234622633
2	3,23212148
3	2,809780576
4	2,858212692
5	2,958615652
6	3,041806221
7	3,175612796
8	3,039880969
9	2,971221807
10	3,000299686
11	3,145604741
12	2,928168788
13	2,944834931
14	3,145464086
15	3,103602449
16	2,418271997
17	2,483547099
18	2,494607348
19	3,104818428
20	2,622076608
21	2,630624217
22	2,711207033
23	2,816281952
24	2,856410386
25	2,897385815
26	2,999534656
27	3,045112338
28	3,077310373
29	3,15555446
30	3,064600589
31	3,081311316
32	3,111509718



4.3 pav. Linijos L-TR67 SAIFI rodiklio priklausomybė nuo OLJ įdiegimo vietos

Kaip matyti iš 4.3 pav. geriausias SAIFI rodiklis gaunamas tuomet, kai OLJ yra įdiegiamas 16 taške. Naudojantis loginėmis patikimumo lygtimis perskaičiuojami patikimumo rodikliai tuomet, kai už OLJ Rd-560 yra įdiegiamas dar vienas OLJ, jis įvardijamas kaip OLJ Rd-16.

### Patikimumo skaičiavimai kuomet įdiegiamas OLJ Rd-16

#### Linijos L-TR67 iki OLJ loginės patikimumo lygtys

Šios linijos patikimumo lygtis išlieka tokia pati kaip ir tuomet, kai naudojami tik OLJ Rd-460 ir OLJ Rd-560. Patikimumo loginė lygtis bus tokia:

$$S_{IN1OLJ} = 12OLS \cup OL_{2,653} \cup KL_{2,053} \cup 4ST \cup 3KT \cup MT.$$

Kada linijoje naudojami OLJ tuomet papildomai įvertinamas jungtuvų klaidingas suveikimas (nesuveikimas). Šiuo atveju sumažėja linijos už OLJ Rd-560 avarinių išjungimų dažnis, todėl patikimumo loginė lygtis bus tokia:

$$S_{INav1OLJ} = [(6OLS \cup OL_{3,09} \cup KL_{3,03} \cup ST \cup KT \cup 3MT \cup TR) \cap \cap RaOLJ - 460] \cup \{22OLS \cup OL_{22,037} \cup KL_{1,803} \cup 8ST \cup 5KT \cup \cup 2MT \cup 2TR) \cap RaOLJ - 560\}.$$

#### Linijos už OLJ Rd-460 loginės patikimumo lygtys

Šios linijos patikimumo lygtis išlieka tokia pati kaip ir tuomet kai naudojami tik OLJ Rd-460 ir OLJ Rd-560. Patikimumo loginė lygtis bus tokia:

$$S_{IN2OLJ} = 18OLS \cup OL_{5,743} \cup KL_{5,083} \cup 5ST \cup 4KT \cup 4MT \cup TR.$$

Tuomet kai nesuveikia OLJ Rd-560, tuomet suveikia TP esantis jungtuvas L-TR67 ir tuomet atsijungia visa linija. Šiuo atveju loginė patikimumo lygtis bus tokia:

$$S_{INav2OLJ Rd-560} = (22OLS \cup OL_{22,037} \cup KL_{1,803} \cup 8ST \cup 5KT \cup \cup 2MT \cup 2TR) \cap RaOLJ - 560.$$

#### Linijos už OLJ Rd-560 loginės patikimumo lygtys

Linija už OLJ Rd-560 neteks maitinimo tada, kai gedimas įvyks tinklo elementuose, nuo kurių atsijungia OLJ Rd-560 arba TP esantis jungtuvas L-TR67. Loginė patikimumo lygtis bus tokia:

$$S_{IN3OLJ} = 34OLS \cup OL_{24,69} \cup KL_{3,856} 12ST \cup 8KT \cup 3MT \cup 2TR.$$

Tuomet, kai nesuveikia OLJ Rd-460, tuomet suveikia TP esantis jungtuvas L-TR67 ir tuomet atsijungia visa linija, o kai nesuveikia OLJ Rd-16 tuomet atsijungia OLJ Rd-560. Šiuo atveju loginė patikimumo lygtis bus tokia:

$$S_{INav3OLJ} = [(6OLS \cup OL_{3,09} \cup KL_{3,03} \cup ST \cup KT \cup 3MT \cup TR) \cap \cap RaOLJ - 460] \cup \{22OLS \cup OL_{22,038} \cup KL_{2,393} \cup 12ST \cup KT \cup \cup 3TR) \cap RaOLJ - 16\}.$$

### Linijos už OLJ Rd-16 loginės patikimumo lygtys

Linija už OLJ Rd-16 neteks maitinimo tada, kai gedimas įvyks tinklo elementuose, nuo kurių atsijungia OLJ Rd-16, TP esantis jungtuvas L-TR67 arba OLJ Rd-560. Loginė patikimumo lygtis bus tokia:

$$S_{IN4OLJ} = 56OLS \cup OL_{44,075} \cup KL_{4,196} \cup 24ST \cup 9KT \cup 3MT \cup 5TR.$$

Tuomet kai nesuveikia OLJ Rd-460, tuomet suveikia TP esantis jungtuvas L-TR67 ir tuomet atsijungia visa linija. Šiuo atveju loginė patikimumo lygtis bus tokia:

$$S_{INav4OLJ \text{ Rd-16}} = (6OLS \cup OL_{3,09} \cup KL_{3,03} \cup ST \cup KT \cup \cup 3MT \cup TR) \cap RaOLJ - 460.$$

### 4.8 lentelė. Elektros linijų avarinių išjungimų dažnis, trukmė ir tikimybė, kai įdiegiamas OLJ Rd-16

Elektros linija	Loginė patikimumo lygtis	Avarinių išjungimų dažnis, m <sup>-1</sup>	Atkūrimo trukmė, h	Avarinio išjungimo tikimybė
L-TR67 iki OLJ	$S_{IN1OLJ}$	0,59689	0,957581	$7 \cdot 10^{-5}$
	$S_{INav1OLJ}$	$5 \cdot 10^{-5}$	0,2871	$2 \cdot 10^{-9}$
	$S_{\Sigma N1}$	<b>0,59694</b>	<b>0,9575</b>	<b><math>7 \cdot 10^{-5}</math></b>
Linija už OLJ Rd-460	$S_{IN2OLJ}$	1,15959	0,758058	$1 \cdot 10^{-4}$
	$S_{INav2OLJ}$	$4 \cdot 10^{-5}$	0,28566	$1 \cdot 10^{-9}$
	$S_{\Sigma N2}$	<b>1,15963</b>	<b>0,75804</b>	<b><math>1 \cdot 10^{-4}</math></b>
Linija už OLJ Rd-560	$S_{IN3OLJ}$	2,994	0,884	$3 \cdot 10^{-4}$
	$S_{INav3OLJ}$	$7 \cdot 10^{-5}$	0,327	$3 \cdot 10^{-9}$
	$S_{\Sigma N3}$	<b>2,994</b>	<b>0,884</b>	<b><math>3 \cdot 10^{-4}</math></b>
Linija už OLJ Rd-16	$S_{IN4OLJ}$	5,0858	0,7699	$4 \cdot 10^{-4}$
	$S_{INav4OLJ}$	$1 \cdot 10^{-5}$	0,29285	$4 \cdot 10^{-10}$
	$S_{\Sigma N4}$	<b>5,0858</b>	<b>0,7699</b>	<b><math>4 \cdot 10^{-4}</math></b>

Apibendrinti elektros tinklo patikimumo rodikliai, kuomet įdiegiamas OLJ Rd-16, kai elektros tinklas dirba normaliu režimu, yra tokie:

$$SAIFI_{OLJ \text{ Rd-16}} = \frac{0,597 \cdot 354 + 1,16 \cdot 312 + 2,99 \cdot 602 + 5,086 \cdot 259}{354 + 312 + 602 + 259} = 2,418 \text{ karto per metus vienam vartotojui};$$



$$SAIDI_{OLJ\ Rd-16} = \frac{0,957 \cdot 354 + 0,758 \cdot 312 + 0,884 \cdot 602 + 0,7699 \cdot 259}{354 + 312 + 602 + 259} = 0,856 \text{ valandos vienam vartotojui.}$$

#### 4.5. Finansinis OLJ įdiegimo įvertinimas

Vertinama esamos 10 kV skirstomojo tinklo iš Radviliškio TP linijos L-TR67 su jau joje esančiais jungtuvais OLJ Rd-460 ir OLJ Rd-560 tuomet, kai linijoje nėra įdiegta daugiau OLJ. Ir tuomet, kai už OLJ Rd-560 įdiegtas OLJ Rd-16.

Atliekant finansinį įvertinimą išskiriami šie vartotojų sektoriai: namų ūkiai, pramonė, žemės ūkis, paslaugos ir transportas. Vartotojų pasiskirstymo ir suvartojamos elektros energijos duomenys pateikti 4.9 lentelėje.

**4.9 lentelė.** Atskirų sektorių pasiskirstymas pagal vartotojų skaičių ir suvartojamą galią

Sektoriai	Nuo OLJ Rd-560 iki OLJ Rd-16		Už OLJ Rd-16	
	Vartotojų skaičius	Galia, kW	Vartotojų skaičius	Galia, kW
Namų ūkiai	578	94,8	220	67,53
Pramonė	3	14,21	3	8
Žemės ūkis	8	29,45	22	52,52
Paslaugos ir transportas	13	25,98	14	36,38

Svarbus dalykas vertinant tai, ar įdiegtas OLJ finansiškai atsipirks, yra dėl įvykusių gedimų nepateikta elektros energija ir už jos nepateikimą prarandamos pajamos. Žinant elektros linijos gedimų intensyvumą, atkūrimo trukmę ir vidutinę prie jos prijungtų vartotojų apkrovą galima apskaičiuoti, kiek elektros energijos bus nepateikta įvykus gedimams. Nepateikta elektros energija išreiškiama 4.7 formule.

$$ENS = \sum f_k T_{ak} A_{ivid} \quad (4.7)$$

čia  $A_{ivid}$  – i-ojo mazgo vidutinė apkrova.

Pagal šią formulę apskaičiuojama nepateikta elektros energija kuomet už OLJ Rd-560 nėra OLJ ir tada, kada jis įrengiamas:

$$ENS_{be\ OLJ\ namų\ ūkiuose} = 5,086 \cdot 0,87 \cdot (94,8 + 67,53) = 718,27 \text{ kWh/m;}$$

$$ENS_{su\ OLJ\ Rd-16\ namų\ ūkiuose} = 2,99 \cdot 0,884 \cdot 94,8 + 5,086 \cdot 0,7699 \cdot 67,53 = 515 \text{ kWh/m;}$$

$$ENS_{skirtumas\ namų\ ūkiuose} = 718,27 - 515 = 203,27 \text{ kWh/m.}$$

ENS skaičiavimų rezultatai pateikti 4.10 lentelėje.

**4.10 lentelė.** Atskirų sektorių ENS skaičiavimų rezultatai

Sektoriai	ENS be OLJ Rd-16, kWh/m	ENS su OLJ Rd-16, kWh/m	Skirtumas, kWh/m
Namų ūkiai	718,27	515	203,27
Pramonė	98,26	68,88	29,38
Žemės ūkis	362,68	283,48	79,2
Paslaugos ir transportas	275,94	211,13	64,81

Kaip matyti iš ENS skaičiavimų rezultatų lentelės po OLJ Rd-16 įdiegimo ENS vertė akivaizdžiai sumažėja visuose sektoriuose. Skaičiavimai atlikti neįvertinus iki OLJ Rd-560 įvykstančių vartotojų atsijungimo, nes šių vartotojų atsijungimas neįtakoja ENS skirtumo tuomet, kai papildomai įdiegiamas OLJ Rd-16.

Tolimesniems skaičiavimams įvertinama prarastos apkrovos vertė (angl. VoLL – Value of Lost Load). Prarastos apkrovos vertei apskaičiuoti reikalingus bendrojo vidaus produkto ir elektros energijos suvartojimo dydžius, atskiroms vartotojų grupėms (pramonei, žemės ūkiui, paslaugoms ir transportui), pateikia Lietuvos statistikos departamentas. Energijos nutraukimo namų ūkiams kainai nustatyti reikia įvertinti naudą, kurią tiesiogiai ar netiesiogiai sukuria ši vartotojų grupė. Literatūroje prarastos apkrovos vertę namų ūkiams siūloma įvertinti, atsižvelgiant į šalies gyventojų skaičių, dirbančiųjų skaičių, darbo ir laisvalaikio veiklų valandas, darbo užmokestį ir elektros energijos suvartojimą namų ūkiuose. Atskirų sektorių prarastos apkrovos įverčiai ir apskaičiuota apibendrinta prarastos apkrovos vertė pagal 2017 m. duomenis pateikti 4.11 lentelėje. [31].

**4.11 lentelė.** Atskirų sektorių prarastos apkrovos įverčiai (2017 m.) [31]

Sektoriai	BVP, mln. €	Galutinis elektros energijos suvartojimas, GWh	Prarastos apkrovos vertė, €/kWh
Namų ūkiai		2837,6	7,49
Pramonė	7714,5	3496,6	2,21
Žemės ūkis	981,5	204,7	4,79
Paslaugos ir transportas	21588,2	3381,6	6,38

Žinant ENS skirtumą ir prarastos apkrovos vertę galima apskaičiuoti kokios pajamos bus gaunamos po OLJ Rd-16 įdiegimo. Pajamos apskaičiuojamos pagal 4.8 formulę. Skaičiavimo rezultatai pateikti 4.12 lentelėje.

$$P = ENS \cdot Voll \quad (4.8)$$

**4.12 lentelė.** Metinės pajamos gaunamos po OLJ Rd-16 įdiegimo

Sektoriai	Pajamos, €/m
Namų ūkiai	1522,52
Pramonė	64,93
Žemės ūkis	379,39
Paslaugos ir transportas	413,48
Viso	2380,32

Apskaičiuojamas pinigų srautas kiekvieniems projekto metams, kuris lygus pajamų ir išlaidų skirtumui:

$$CF = P - I \quad (4.9)$$

čia  $CF$  – pinigų srautas,  
 $P$  – pajamos,  
 $I$  – išlaidos.

Dabartinė grynoji vertė apskaičiuojama diskontuojant visus iš investicinio projekto numatomus gauti pinigų srautus. Dabartinės grynoji vertė apskaičiuojama taip:

$$PV = -K + \sum_{t=0}^T \frac{CF_t}{(1+i)^t} \quad (4.10)$$

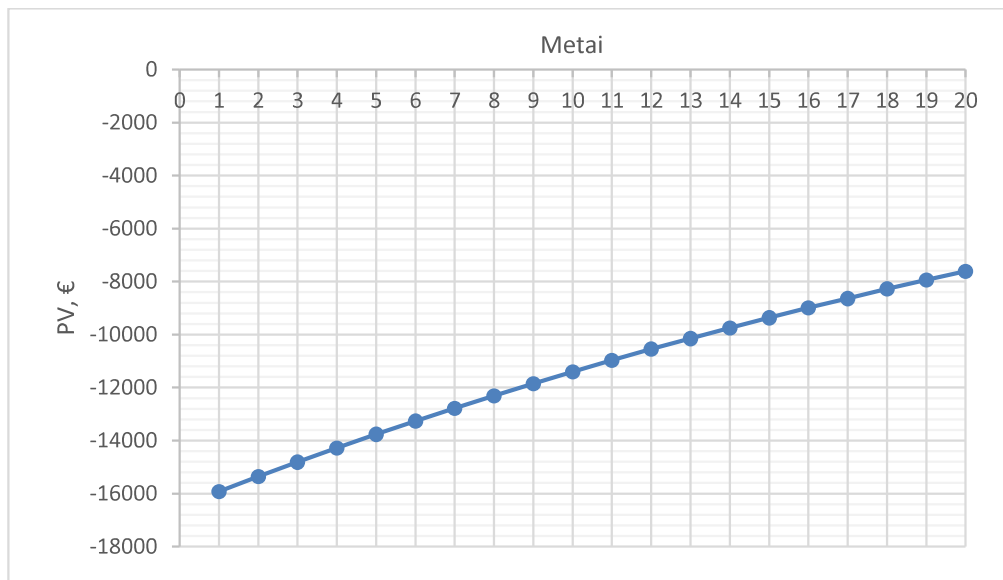
čia  $K$  – pradinės investicijos,  
 $CF_t$  – pinigų srautas laiko momentu  $t$ ,  
 $i$  – diskonto norma,  
 $T$  – naudojimo trukmė metais.

OLJ įrengimo kaina yra 16500 €, priežiūros kaina 1800 €/m [27], o įrenginio eksploatacinis laikotarpis 20 metų [32]. OLJ įdiegimo kaina pirmaisiais metais būtų 18300 € ir po to kiekvienais sekančiais metais įrenginio priežiūros kaina siektų 1800 €/m. Diskonto norma priimama 3%. Skaičiavimai pateikti 4.13 lentelėje.

**4.13 lentelė.** Dabartinė grynoji vertė po OLJ Rd-16 įdiegimo

Metai	Pinigų srautas, €	Diskontuotas pinigų srautas, €	Dabartinė grynoji vertė PV, €
1	15919.68	-15919.68	-15919.7
2	580.32	563.42	-15356.3
3	580.32	547.01	-14809.2
4	580.32	531.08	-14278.2
5	580.32	515.61	-13762.6
6	580.32	500.59	-13262
7	580.32	486.01	-12775.9
8	580.32	471.86	-12304.1
9	580.32	458.11	-11846
10	580.32	444.77	-11401.2
11	580.32	431.82	-10969.4
12	580.32	419.24	-10550.2
13	580.32	407.03	-10143.1
14	580.32	395.17	-9747.95
15	580.32	383.66	-9364.29
16	580.32	372.49	-8991.8
17	580.32	361.64	-8630.16
18	580.32	351.11	-8279.05
19	580.32	340.88	-7938.17
20	580.32	330.95	-7607.22

4.4 pav. parodytas PV vertės kilimas per 20 metų, matyti kad PV vertė per visą OLJ eksploatacinį laiką būna neigiama, kadangi  $PV < 0$ , todėl OLJ įdiegimas linijoje L-TR67 per visą jo eksploatacinį laikotarpį finansiškai neatsiperka.



**4.4 pav.** Grynosios dabartinės vertės pokytis per metus

## Išvados

1. Kuomet vietoje OLS Rd-460 ir OLS Rd-560 naudojami OLJ Rd-460 ir OLJ Rd-560 tuomet avarinių išjungimų dažnis sumažėja. Didžiausias avarinių išjungimų dažnio sumažėjimas pasireiškia linijos pradžioje, ruože nuo L-TR67 VJ iki OLJ. Šiuo atveju avarinių išjungimų dažnis sumažėja nuo  $5,6785 \text{ m}^{-1}$  iki  $0,59697 \text{ m}^{-1}$ . Linijose už OLJ avarinių išjungimų dažniai taip pat sumažėja, nes jų atsijungimo beveik neįtakoja tos linijos kuri yra už OLJ gedimai. Linijos už OLJ Rd-460 avarinių išjungimų dažnis sumažėja nuo  $5,6785 \text{ m}^{-1}$  iki  $1,159667 \text{ m}^{-1}$ . Linijos už OLJ Rd-560 avarinių išjungimų dažnis sumažėja nuo  $5,6785 \text{ m}^{-1}$  iki  $5,08581 \text{ m}^{-1}$ . Palyginus SAIFI rodiklius kuomet vietoje OLS naudojami OLJ matyti, kad jie sumažėja nuo  $5,6785$  iki  $3,243$  atjungimų per metus vienam vartotojui. Palyginus SAIDI rodiklius kuomet vietoje OLS naudojami OLJ matyti, kad šis rodiklis padidėja nuo  $0,834$  iki  $0,882$  valandų vienam vartotojui.
2. Atlikti SAIFI skaičiavimai ir rasta geriausia vieta, kurioje galėtų būti įrengtas OLJ linijoje už OLJ Rd-560 tam, kad būtų pasiekti optimalūs patikimumo rodikliai. Pasirinktas 16 linijos taškas, kuris yra ties šios linijos viduriu.
3. Už OLJ Rd-560 įdiegus OLJ Rd-16 patikimumo rodikliai linijose už L-TR67 VJ ir OLJ Rd-460 nepasikeičia, rodiklius tik šiek tiek pakoreguoja OLJ nesuveikimo galimybė. Po OLJ Rd-16 įdiegimo SAIFI rodikliai sumažėja nuo  $3,243$  iki  $2,418$  atjungimų per metus vienam vartotojui. Palyginus SAIDI rodiklius po OLJ Rd-16 įdiegimo rodikliai sumažėja nuo  $0,882$  iki  $0,856$  valandų vienam vartotojui.
4. Įvertinus OLJ Rd-16 finansinį atsiperkamumą, per jo visą eksploatacinį laiką, gauta aukščiausia PV vertė lygi  $-7607.22 \text{ €}$ . Kadangi visą OLJ eksploatacinį laiką PV vertė yra neigiama, todėl OLJ Rd-16 įdiegimas linijoje L-TR67 finansiškai neatsiperka.

## Literatūra

1. ALAM, A., V. PANT, and B. DAS. Switch and Recloser Placement in Distribution System Considering Uncertainties in Loads, Failure Rates and Repair Rates. *Science Direct*. [interaktyvus]. 2016 [žiūrėta 2019-12-08]. ISBN 0378-7796. Prieiga per: doi: 10.1016/j.epsr.2016.05.012.
2. RADZIUKYNAS, V., A. KLEMENTAVIČIUS, Išmaniojo elektros tinklo plėtra. [interaktyvus]. 2016, Energetika, 62.4. [žiūrėta 2019-04-09]. Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.6001/energetika.v62i4.3397>
3. REC15\_AL / REC25\_AL. REC SERIES AUTOMATIC CIRCUIT RECLOSER [interaktyvus]. 2016 [žiūrėta 2019-06-16]. Prieiga per: <https://www.tavrida.com/upload/iblock/b7c/Rec%20Series%20Automatic%20Circuit%20Recloser%20Broch.pdf>
4. ANDRIKEEVA, S., A. GEL'FAND, M. DUBONOS, V. VAROVLYANSKII, R. PSHENICHNIKOVA and G. TOLMACHEV. Usage Optimization of Automatic Points of Sectionalizing to Increase Grid Reliability and Electricity Service. *Power Technology and Engineering* [interaktyvus]. 2017, vol. 50, no. 5. pp. 556-559 [žiūrėta 2019-03-18]. ISSN 1570-145X. Prieiga per: [https://link-springer-com.ezproxy.ktu.edu/article/10.1007/s10749-017-0750-y#Bib\\_1](https://link-springer-com.ezproxy.ktu.edu/article/10.1007/s10749-017-0750-y#Bib_1)
5. AB ENERGIJOS SKIRSTYMO OPERATORIUS. 2018-2027 metų investicijų planas [interaktyvus]. 2018 [žiūrėta 2019-03-29]. Prieiga per: <https://cns.omxgroup.com/cds/DisclosureAttachmentServlet?showInline=true&messageAttachmentId=686022>
6. HAIDER, R. and C. KIM. Protection of DERs., *Science Direct*. [interaktyvus]. 2016 [žiūrėta 2019-06-14]. ISBN 9780-128032121. Prieiga per: doi: 10.1016/B978-0-12-803212-1.00007-6.
7. AGAMLOH, E. B., S. PEELE and J. GRAPPE. Induction Motor Single-Phasing Performance Under Distribution Feeder Recloser Operations. *IEEE Xplore Transactions on Industry Applications*, [interaktyvus]. 2014, vol. 50, no. 2. pp. 1568-1576 [žiūrėta 2019-03-17]. ISSN 1939-9367. Prieiga per: doi: 10.1109/TIA.2013.2279188.
8. AB ENERGIJOS SKIRSTYMO OPERATORIUS. Elektros skirstomojo tinklo technologinės plėtros strategija [interaktyvus]. 2016 [žiūrėta 2019-03-20] Prieiga per: <http://www.eso.lt/stream/26171/strategija%202016.pdf>
9. AB LESTO. Klaipėdos regiono 10 kV oro linijų sektionavimo įrenginių (reclozer) operatyvinio eksploatavimo instrukcija. Klaipėda, 2014.
10. MEISINGER, M. and E. H. CAMM. Improved Distribution System Overcurrent Protection using Tolerance-Based Time-Current Coordination. *IEEE Xplore*. [interaktyvus]. 2019 [žiūrėta 2019-12-30]. Prieiga per: doi: 10.1109/GTDAsia.2019.8715996.
11. ELBASET A. A., E. A. EL-ZAHAB, A. A. E. MOHAMED and M. A. M. HASSAN. The Penetration Level of Optimizing DG in Distribution Systems Considering Technical Impacts and Protection Coordination. *IEEE Xplore*. [interaktyvus]. 2018 [žiūrėta 2020-01-18]. Prieiga per: doi: 10.1109/MEPCON.2018.8635263
12. ELMITWALLY, A., E. GOUDA and S. ELADAWY. Restoring Recloser-Fuse Coordination by Optimal Fault Current Limiters Planning in DG-Integrated Distribution Systems. *Science Direct* [interaktyvus]. 2016 [žiūrėta 2019-12-09]. ISBN 0142-0615. Prieiga per: doi: 10.1016/j.ijepes.2015.11.021.

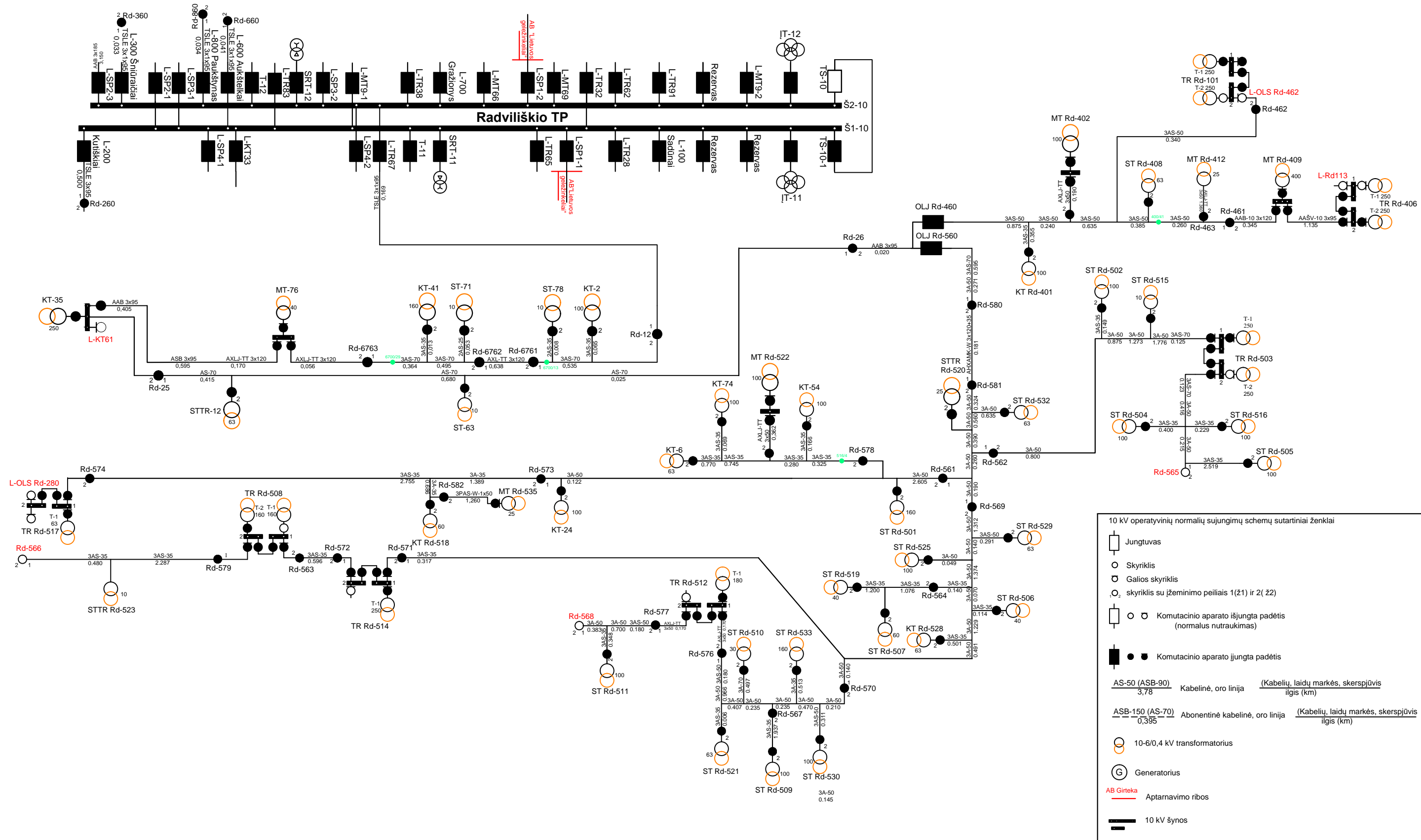
13. KHALIFA, L. S., M. A. ELSADD, R. A. ABD EL-AAL and S. M. EL-MAKKAWY. Enhancing Recloser-Fuse Coordination using Distributed Agents in Deregulated Distribution Systems. *IEEE Xplore*. [interaktyvus]. 2018 [žiūrėta 2020-03-08]. Prieiga per: doi: 10.1109/MEPCON.2018.8635116.
14. ARAFA, A., M.M. ALY and S. KAMEL. Impact of Distributed Generation on Recloser-Fuse Coordination of Radial Distribution Networks. *IEEE Xplore* [interaktyvus]. 2019 [žiūrėta 2019-12-09]. Prieiga per: doi: 10.1109/ITCE.2019.8646557.
15. WAFI, J., et al. Applicability Analysis of Proactive Recloser-Fuse Scheme for Wind Distributed Generation into Modern Distribution Network. *IEEE Xplore*. [interaktyvus]. 2018. [žiūrėta 2019-12-09]. ISBN 2378-3451. Prieiga per: doi: 10.1109/IREC.2018.8362500.
16. MEMON, A. A. and K. A. KAUHANIEMI, Critical Review of AC Microgrid Protection Issues and Available Solutions. *Science Direct*. [interaktyvus]. 2015 [žiūrėta 2019-12-30]. ISBN 0378-7796. Prieiga per: doi: 10.1016/j.epsr.2015.07.006.
17. WATSON, Brett, Dirk, SCHEERER and Benjamin, GISCHKE. *Siemens FuseSaver New half-cycle circuit breaker for rural smart grids to minimize operating costs of feeder and spur lines: Technical report*. [interaktyvus]. [žiūrėta 2019-06-19]. Prieiga per: <https://studylib.net/doc/18869553/siemens-fusesaver-new-half-cycle-circuit-breaker-for-rural>
18. SIEMENS. *Fusesaver, Medium-voltage circuit breaker instruction manual* [interaktyvus]. 2017 [žiūrėta 2019-06-20]. Prieiga per: [https://w3.usa.siemens.com/us/internet-dms/btlv/powerdistributioncomm/powerdistribution/docs\\_mv/fusesaver/ansi\\_mv\\_fusesaver\\_im\\_en.pdf](https://w3.usa.siemens.com/us/internet-dms/btlv/powerdistributioncomm/powerdistribution/docs_mv/fusesaver/ansi_mv_fusesaver_im_en.pdf)
19. SIEMENS. *Fusesaver Automation At The Fuse* [interaktyvus]. 2016 [žiūrėta 2019-06-21]. Prieiga per: <https://tnelectric.org/wp-content/uploads/2016/08/fusesaver-overview.pdf>
20. POMBO, A.V., J. MURTA-PINA, and V.F. PIRES, Multiobjective Planning of Distribution Networks Incorporating Switches and Protective Devices using a Memetic Optimization. *Science Direct* [interaktyvus]. 2015 [žiūrėta 2019-08-22]. ISBN 0951-8320. Prieiga per: doi: 10.1016/j.ress.2014.11.016.
21. TURAUSKAS, Zigmantas. *Elektros tinklo relinė apsauga*. [interaktyvus]. Šiauliai, 2008 [žiūrėta 2019-03-17]. Prieiga per: [http://talpykla.elaba.lt/elaba-fedora/objects/elaba:1833270/datastreams/ATTACHMENT\\_1833273/content](http://talpykla.elaba.lt/elaba-fedora/objects/elaba:1833270/datastreams/ATTACHMENT_1833273/content)
22. VALSTYBINĖ ENERGETIKOS REGULIAVIMO TARNYBA. *Lietuvos elektros energetikos sistemos patikimumo įvertinimo ataskaita už 2018 metus* [interaktyvus]. Vilnius, 2019 [žiūrėta 2019-12-08]. Prieiga per: [https://www.regula.lt/SiteAssets/elektra/LEESP%20ataskaita\\_2018.pdf](https://www.regula.lt/SiteAssets/elektra/LEESP%20ataskaita_2018.pdf)
23. NAVICKAS, A. *Elektros energetikos sistemų patikimumas: Vadovėlis*. 2-oji patais. ir papild. laida. Kaunas: Technologija, 2013. ISBN 9786090207895.
24. IGBA, J., K. ALEMZADEH, C. DURUGBO and K. HENNINGSEN. Performance Assessment of Wind Turbine Gearboxes using in-Service Data: Current Approaches and Future Trends. *Science Direct*. [interaktyvus]. 2015 [žiūrėta 2020-01-14]. ISBN 1364-0321. Prieiga per: doi: 10.1016/j.rser.2015.04.139.
25. KULKARNI, S., et al. Waveform Characteristics of Underground Cable Failures. *IEEE Xplore*. [interaktyvus]. 2010 [žiūrėta 2020-01-08]. Prieiga per: doi: 10.1109/PES.2010.5590158

26. TANG, Z., et al. Comparison of the Weibull and the Crow-AMSAA Model in Prediction of Early Cable Joint Failures. *IEEE Transactions on Power Delivery*. [interaktyvus]. 2015, vol. 30, no. 6. pp. 2410-2418 [žiūrėta 2020-01-07]. Prieiga per: doi: 10.1109/TPWRD.2015.2404926.
27. RAY, S., S. BHATTACHARJEE and A. BHATTACHARYA. Optimal Allocation of Remote Control Switches in Radial Distribution Network for Reliability Improvement. *Science Direct* [interaktyvus]. 2018 [žiūrėta 2019-06-09]. ISBN 2090-4479. Prieiga per: doi: 10.1016/j.asej.2016.01.001.
28. ENAYATI, A. and T. H. ORTMAYER,. A Novel Approach to Provide Relay Coordination in Distribution Power Systems with Multiple Reclosers. *IEEE Xplore*. [interaktyvus]. 2015 [žiūrėta 2019-12-29]. Prieiga per: doi: 10.1109/NAPS.2015.7335121.
29. TENG, J. H. and L. CHAN-NAN. Feeder-switch relocation for customer interruption cost minimization. *IEEE Transactions on Power Delivery*. [interaktyvus]. 2002 vol. 17, no. 1, pp. 254-259 [žiūrėta 2020-03-22]. Prieiga per: doi: 10.1109/61.974215.
30. SULTAN, H. S., J. ANSARI, A. ALAM, S. KHAN, M. SARWAR and M. ZAID. Reliability Improvement of a Radial Distribution System with Recloser Placement. *IEEE Xplore*. [interaktyvus]. 2019, pp. 736-741. [žiūrėta 2020-03-03]. ISBN: 978-93-5351-098-5. Prieiga per: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8940588>
31. Gudžius, S., A. Morkvėnas, A. Jonaitis, J. Vaičys. *Lietuvos elektros energetikos sistemos adekvatumo vertinimas tikimybinu metodu 2019-2030 m.* Ataskaitos santrauka [interaktyvus]. Kaunas, 2018. [žiūrėta 2020-06-16]. Prieiga per: [https://enmin.lrv.lt/uploads/enmin/documents/files/LEES\\_adekvatumo\\_vertinimo\\_santrauka.pdf](https://enmin.lrv.lt/uploads/enmin/documents/files/LEES_adekvatumo_vertinimo_santrauka.pdf)
32. Zeinalzadeh, A., A. Estebarsari and A. Bahmanyar, Multi-Objective Optimal Placement of Recloser and Sectionalizer in Electricity Distribution Feeders. *IEEE Xplore*. [interaktyvus]. 2019, pp. 1-4. [žiūrėta 2020-03-09]. Prieiga per: doi: 10.1109/EEEIC.2019.8783430.



## **Priedai**

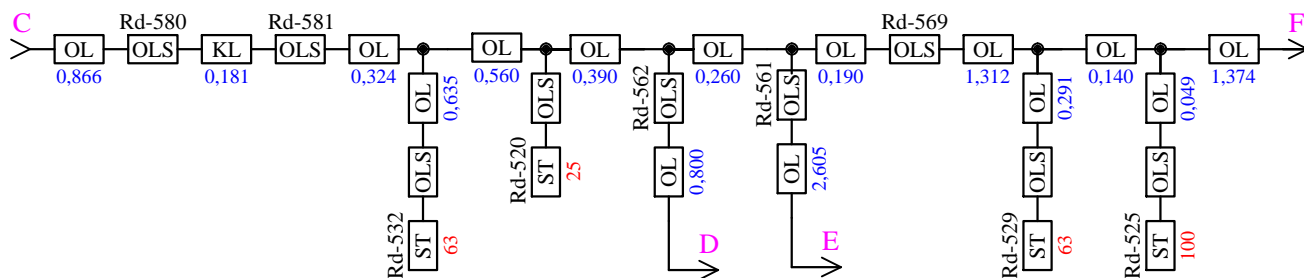
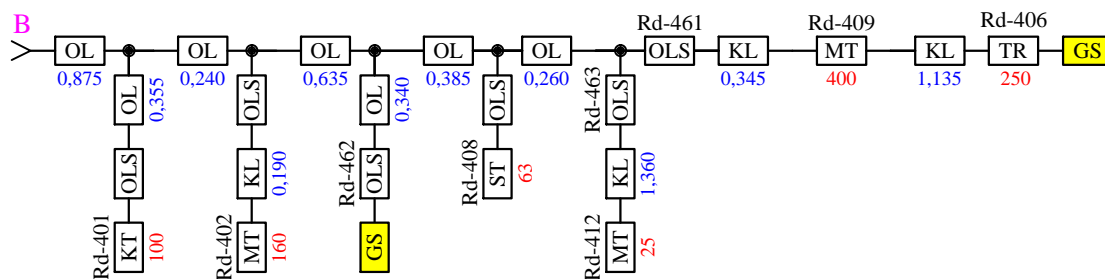
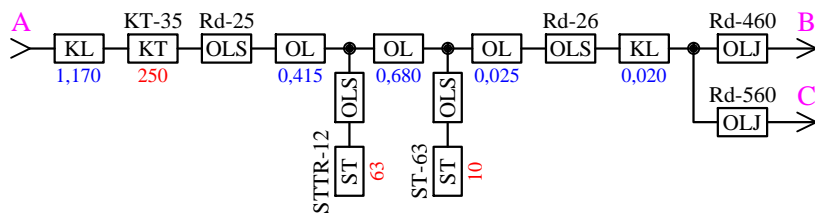
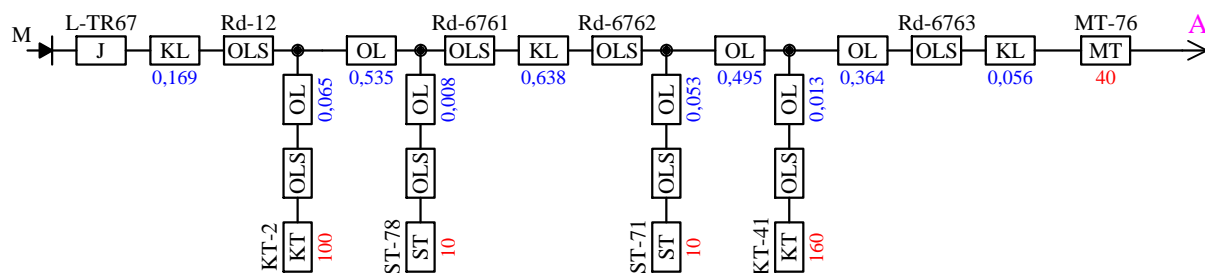
1. Radviliškio skyriaus 10 kV tinklo operatyvinė normalių sujungimų schema
2. Radviliškio skyriaus 10 kV tinklo struktūrinės elementų patikimumo schemos
3. Radviliškio skyriaus 10 kV tinklo OLJ įdiegimo vietų schema



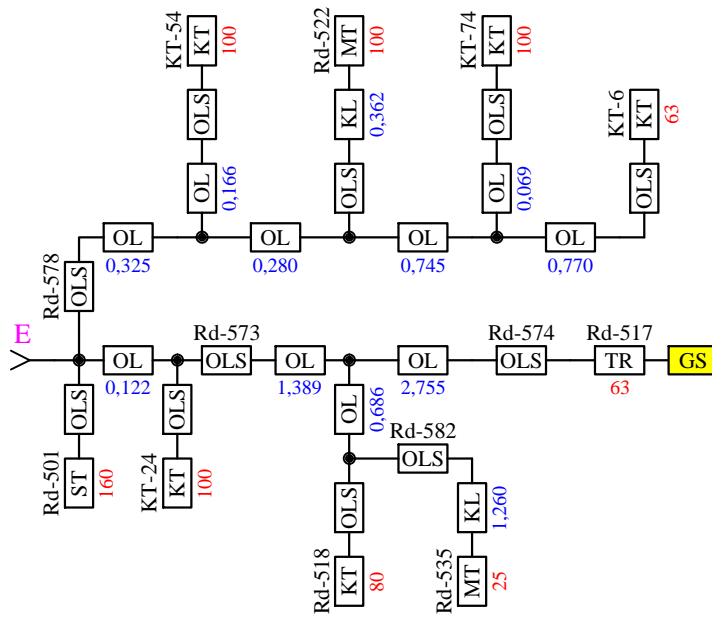
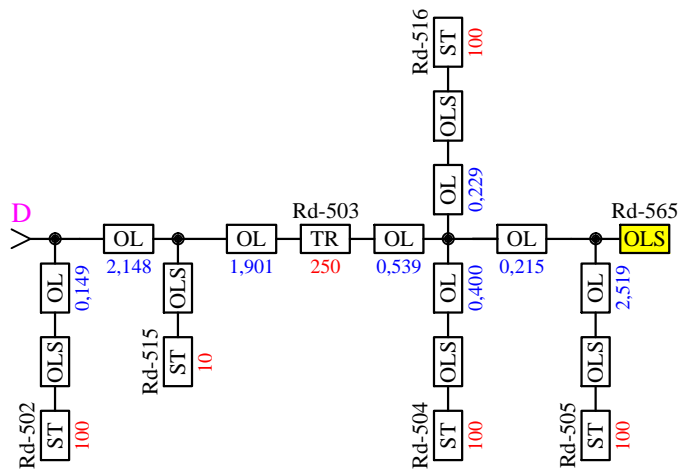
10 kV operatyvinių normalių sujungimų schemų sutartiniai ženklai

- Jungtuvas
- Skyriklis
- Galios skyriklis
- skyriklis su žeminimo peiliais 1(ž1) ir 2(ž2)
- Komutacinio aparato išjungta padėtis (normalus nutraukimas)
- Komutacinio aparato įjungta padėtis
- AS-50 (ASB-90) Kabelinė, oro linija (Kabelių, laidų markės, skerspjūvis ilgis (km))
- ASB-150 (AS-70) Abonentinė kabelinė, oro linija (Kabelių, laidų markės, skerspjūvis ilgis (km))
- 10-6/0,4 kV transformatorius
- Generatorius
- AB Girtaka Aptarnavimo ribos
- 10 kV šynos

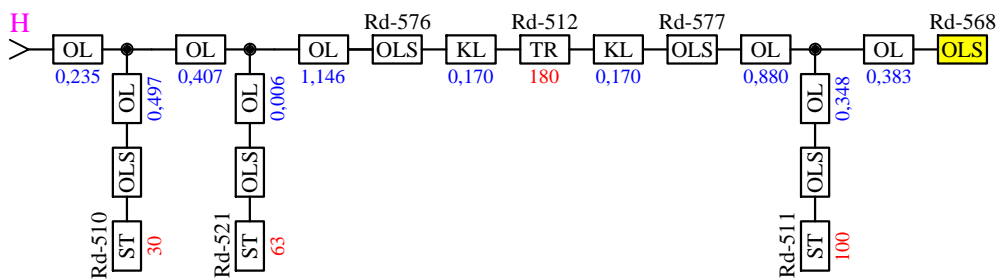
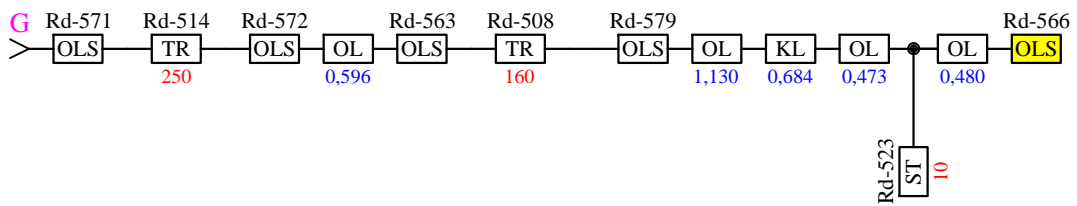
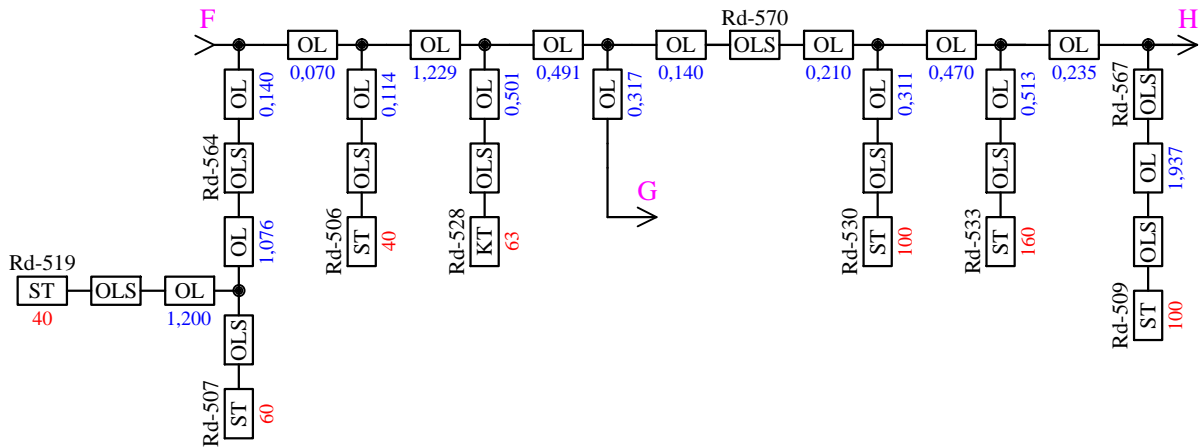
Atsakinga žinyba KTU	Konsultantas R. Lukočius	Dokumento tipas	Dokumento statusas Rengiamasis			
Savininkas	Rengė R. Radavičius	Antraštė	Laida A			
Elektros energetikos sistemų katedra	Tvirtino R. Lukočius	Radviliškio skyriaus 10 kV tinklo operatyvinė normalių sujungimų schema				



Atsakinga žinyba KTU	Konsultantas R. Lukočius	Dokumento tipas		Dokumento statusas Rengiamasis	
Savininkas Elektros energetikos sistemų katedra	Rengė R. Radavičius	Antraštė		Laida A	
	Tvirtino R. Lukočius	Radviliškio skyriaus 10 kV tinklo struktūrinė elementų patikimumo schema			
		Data	2020-01-19	Kalba	Lt
		Lapas	1		



Atsakinga žinyba KTU	Konsultantas R. Lukočius	Dokumento tipas		Dokumento statusas Rengiamasis	
Savininkas Elektros energetikos sistemų katedra	Rengė R. Radavičius	Antraštė Radviliškio skyriaus 10 kV tinklo struktūrinė elementų patikimumo schema		Laida A	Data 2020-01-19
	Tvirtino R. Lukočius			Kalba Lt	Lapas 2



Atsakinga žinyba KTU	Konsultantas R. Lukočius	Dokumento tipas		Dokumento statusas Rengiamasis	
Savininkas Elektros energetikos sistemų katedra	Rengė R. Radavičius	Antraštė Radviliškio skyriaus 10 kV tinklo struktūrinė elementų patikimumo schema		Laida A	Data 2020-01-19
	Tvirtino R. Lukočius	Kalba Lt	Lapas 3		

