

**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS**  
**ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS**

**Andrius Venckus**

**GALIOS TRANSFORMATORIŲ GEDIMŲ TYRIMAS**  
**INTELEKTINIŲ METODŲ**

Baigiamasis magistro projektas

**Vadovė**

Lekt. dr. Birutė Linkevičiūtė

**KAUNAS, 2017**

**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS**  
**ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS**  
**ELEKTROS ENERGETIKOS SISTEMŲ KATEDRA**

**GALIOS TRANSFORMATORIŲ GEDIMŲ TYRIMAS**  
**INTELEKTINIŲ METODŲ**

Baigiamasis magistro projektas

**Energijos technologijos ir ekonomika (kodas 621E30004)**

**Vadovė**

\_\_\_\_\_Lekt. dr. Birutė Linkevičiūtė  
\_\_\_\_\_

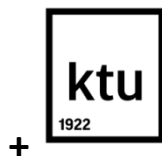
**Recenzentas**

\_\_\_\_\_Prof. dr. Adas Gelžinis  
\_\_\_\_\_

**Projektą atliko**

\_\_\_\_\_Andrius Venckus  
\_\_\_\_\_

**KAUNAS, 2017**



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS

(Fakultetas)

ANDRIUSVENCKUS

(Studento vardas, pavardė)

ENERGIJOS TECHNOLOGIJOS IR EKONOMIKA (KODAS 621E30004)

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

Baigiamojo projekto „Galios transformatorių gedimų tyrimas intelektiniu metodu“

#### AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

20 17 m. gegužės 26 d.  
Kaunas

Patvirtinu, kad mano **Andriaus Venckaus** baigiamasis projektas tema „Galios transformatorių gedimų tyrimas intelektiniu metodu“ yra parašytas visiškai savarankiškai, o 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)

Venckus Andrius. Galios transformatorių gedimų prognozavimas intelektiniu metodu. *Magistro* baigiamasis projektas / vadovė lekt. dr. Birutė Linkevičiūtė; Kauno technologijos universitetas, Elektros ir elektronikos fakultetas, Elektros energetikos sistemų katedra.

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

Reikšminiai žodžiai: galios transformatorius, gedimas, intelektiniai metodai, prognozavimas.

Kaunas, 2017. 68 p.

## **SANTRAUKA**

Galios transformatorių gedimų prognozavimas svarbus uždavinys siekiant užtikrinti patikimą elektros energijos tiekimą bei visą elektros energetikos sistemos darbą. Laiku nustatius ir pašalinus gedimų atsiradimų priežastis galima sutaupyti piniginių lėšų, laiko, žmogiškųjų išteklių. Vis dažniau gedimų prognozavimui naudojami intelektiniai metodai, kurie yra nuolatos tobulinami. Tyrimo metu analizuojama literatūra baigiamojo darbo tema, apskaičiuojamas tradicinių ištirpusių dujų analizės metodų efektyvumas nustatant galios transformatorių gedimus. Taip pat atliekamas dirbtinių neuronų tinklo metodo pritaikymo gedimų prognozavimui galimybių tyrimas, kurio metu nustatomi pagrindiniai tinklo principai ir parametrai, parašomos išvados.

Venckus Andrius. Fault Prognostication of Power Transformers Using Intellectual Method: Final project of Masters degree / supervisor assoc. prof. Birutė Linkevičiūtė. Kaunas University of Technology, Faculty of Electrical and Electronics Engineering, department of Electrical Energy Systems

Research area and field: Electrical and Electronics Engineering, Technological Sciences  
Key words: power transformer fault, intellectual methods, forecasting.

Kaunas, 2017. 68 p.

## **SUMMARY**

Power transformer fault prediction important task to ensure a reliable power supply and the entire power system. Timely identification and removal of the fault causes can save you money, time and human resources. Increasingly used to predict failures intellectual methods that are constantly evolving. The study analyzes the reading of the final thesis, calculated traditional dissolved gas analysis methods for determining the efficiency of power transformer failures. It is also carried out artificial neural network forecasting method of application failures feasibility study, which sets out the basic principles and network parameters appended conclusions.

## Turinys

SANTRAUKA .....	4
PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS.....	8
LENTELIŲ SĄRAŠAS.....	9
ĮVADAS.....	10
1. ENERGETIKOS SISTEMOS VEIKIMO UŽTIKRINIMAS .....	11
1.1.Transformatorių tikrinimas .....	11
2. TRADICINIAI GEDIMŲ NUSTATYMO METODAI.....	17
2.1.Gedimų įvertinimas analizuojant įvairius izoliacijos kokybinius rodiklius.....	17
2.1.1 Dirbtinių išlydžių dydis .....	17
2.1.2. Dielektrinių nuostolių kampas .....	17
2.1.3. Izoliacijos varžos dydis .....	17
2.1.4. Drėgmės kiekis.....	18
2.2. Gedimų vertinimas pasitelkiant termoviziją .....	18
2.3. Dviejų ar daugiau metodų sujungimas į vieną .....	18
2.4. Kalman filtro metodas.....	19
2.5. Gedimų nustatymas naudojantis garsiniais emisijos/išleidimo signalais.....	19
3. TRANSFORMATORIŲ GEDIMŲ VERTINIMAS ŽINANT IŠTIRPUSIŲ DUJŲ SUDĖTĮ. 20	
3.1. Chromatografija .....	20
3.2 Tradiciniai ištirpusių dujų analizės metodai.....	21
3.2.1. Pagrindinių dujų metodas.....	21
3.2.2. IEEE C57.104-1991 metodas.....	22
3.2.3. Rogerso metodas .....	22
3.2.4. IEC 60599:1999 metodas .....	23
3.2.5. Duvalio trikampis.....	23
3.2.6. Doernenbergo metodas.....	24
4. INTELEKTINIAI GEDIMŲ NUSTATYMO METODAI .....	25
4.1 Dirbtiniai neuronų tinklai .....	25
4.1.1. Dirbtinių neuronų tinklų sandara.....	26
4.1.2. Dirbtinių neuronų tinklų veikimo principai .....	28
4.1.3. Dirbtinių neuronų tinklų mokymasis.....	29
4.2. Neraiškios aibės.....	31
4.2.1. Neraiškios logikos sistema.....	32

4.2.2. Neapibrėžtų išvadų sistema.....	33
4.3. Genetiniu algoritmu pritaikytas bangelių tinklas .....	34
4.4. Daugialaipsnis mažiausio kvadrato pagalbinis vektoriaus mechanizmas .....	34
5. AUKŠTOS ĮTAMPOS TRANSFORMATORIŲ GEDIMŲ TYRIMAS IŠTIRPUSIŲ DUJŲ ANALIZĖS METODAIS.....	36
5.1 Pagrindinių dujų metodas.....	40
5.2. IEEE C57.104-1991 metodas .....	40
5.3. Rogerso metodas .....	40
5.4. IEC 60599:1999 metodas .....	41
5.5. Duvalio trikampis .....	41
5.6. Doernenbergo metodas.....	41
5.7. Tradicinių ištirpusių dujų analizės metodų rezultatai .....	42
6. DIRBTINIAI NEURONŲ TINKLAI .....	45
6.1. Dirbtinių neuronų tinklo kūrimas MATLAB programa.....	45
6.2. Dirbtinių neuronų tinklų pritaikymas tyrimui .....	50
IŠVADOS.....	53
LITERATŪRA.....	54
PRIEDAI.....	56
Priedas nr.1 Nustatyti gedimai naudojant pagrindinių dujų metodą .....	56
Priedas nr.2 Nustatyti gedimai naudojant IEEE C57.104-1991 metodą.....	58
Priedas nr.3 Nustatyti gedimai naudojant Rogerso metodą .....	60
Priedas nr.5 Nustatyti gedimai naudojant Duvalio metodą.....	64
Priedas nr.6 Nustatyti gedimai naudojant Doernenbergo metodą.....	66
Priedas nr.7 galios transformatorių realių patikrinimų ataskaitos.....	68

## PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

3.1 pav. Duvalio trikampis.....	23
4.1. pav. Dirbtinio neurono schema.....	25
4.2. pav. Neuroninio tinklo modelis.....	26
4.3. pav. Sąveika tarp įėjimo ir pirmojo paslėpto sluoksnio.....	27
4.4. pav. Sąveika tarp pirmojo ir antrojo paslėptų sluoksnių.....	28
4.5. pav. Sąveika tarp antrojo paslėpto ir išėjimo sluoksnių.....	28
4.6 pav. Narystės funkcijų $\mu_A(x)$ ir $\mu_B(x)$ grafikas.....	30
6.1 pav. DNT mokymas prieš tyrimą.....	45
6.2 pav. DNT mokymas po pirmo etapo.....	45
6.3 pav. DNT mokymas sigmoidinė – tiesinė neuronų perdavimo funkcija.....	46
6.4 pav. DNT mokymas sigmoidinė – sigmoidinė neuronų perdavimo funkcija.....	46
6.5 pav. DNT mokymas tiesinė – sigmoidinė neuronų perdavimo funkcija.....	47
6.6 pav. DNT mokymas kai neuronų skaičius sluoksniuose 10 – 7.....	47
6.7 pav. DNT mokymas kai neuronų skaičius sluoksniuose 10 – 5.....	48
6.8 pav. DNT mokymas kai neuronų skaičius sluoksniuose 10 – 10.....	48
6.9 pav. DNT mokymas kai ištirpusių dujų koncentracijų ribos padidintos 10 kartų.....	49
6.10.pav. Dirbtinių neuronų tinklo modelio schema.....	49



## LENTELIŲ SĄRAŠAS

3.1 lentelė. Leidžiamosios izoliacinėje alyvoje ištirpusių dujų koncentracijos.....	19
3.2 lentelė. Pagrindinių dujų metodo gedimų nustatymo duomenys.....	20
3.3 lentelė. Rogerso metodo dujų santykiai ir kodai.....	21
3.4 lentelė. Rogerso metodo galimi gedimai.....	21
3.5 lentelė. IEC 60599:1999 metodo galimi gedimai.....	22
3.6 lentelė. Duvalio metodo galimi gedimai.....	23
3.7 lentelė. Galimi gedimai pagal Doernenbergo metodą.....	23
5.1. lentelė. Pirmojo galios transformatoriaus duomenys.....	35
5.2 lentelė. 1 transformatoriaus ištirpusių dujų duomenys. Pažymėti leistinų ribų viršijimai.....	36
5.3. lentelė. Antrojo galios transformatoriaus duomenys.....	36
5.4. lentelė. 2 transformatoriaus ištirpusių dujų duomenys. Pažymėti leistinų ribų viršijimai.....	37
5.5. lentelė. Trečiojo galios transformatoriaus duomenys.....	37
5.6. lentelė. 3 transformatoriaus ištirpusių dujų duomenys. Pažymėti leistinų ribų viršijimai.....	38
5.7. lentelė. Ištirpusių dujų leistinųjų koncentracijų viršijimų duomenys.....	38
5.8 lentelė. Tradicinių IDA metodų rezultatai.....	41
5.9 lentelė. Pirmojo transformatoriaus gedimai.....	42
5.10 lentelė. Antrojo transformatoriaus gedimai.....	42
5.11 lentelė. Trečiojo transformatoriaus gedimai.....	43
6.1 lentelė. Dirbtinių neuronų tinklo parametrai.....	44
6.2 lentelė. Dirbtinių neuronų tinklo parametrai po pirmo etapo.....	45
6.3 lentelė. Dirbtinių neuronų tinklo parametrai po antro etapo.....	46
6.4 lentelė. Dirbtinių neuronų tinklo parametrai po trečio etapo.....	46
6.5 lentelė. Dirbtinių neuronų tinklo parametrai po ketvirto etapo.....	47
6.6 lentelė. Dirbtinių neuronų tinklo parametrai po penkto etapo.....	48
6.7.lentelė. Galios transformatorių duomenys reikalingi įėjimo sluoksniui.....	50
6.8. lentelė. Išėjimo sluoksnyje galimi ir gauti gedimai.....	50

## IVADAS

Energetikos sistemų formavimas prasidėjo dvidešimtojo amžiaus antrame dešimtmetyje. Nuo to laiko elektros energetikos sistema tapo gigantiška, užimančia didelę teritoriją, sudėtinga žmonių sukurta mašina, skirta aprūpinti vartotojus elektra. Viskas prasideda nuo elektros energijos gamybos ir baigiasi vartojimu. Kad vykstant procesui pagaminta elektra pasiektų vartotojus, naudojama daugybė įrenginių, jie visi atlieka savo funkcijas, be jų sistemos darbas būtų neįmanomas ar labai nepatikimas. Šiame tyrime nagrinėjami galios transformatoriai priklausantys elektros tinklų visumai, esantys pastotėse.

Sugedus svarbiems elektros sistemos elementams pažeidžiamas sistemos stabilumas ir sistema gali griūti. Tuomet nėra užtikrinamas elektros energijos tiekimo patikimumas, dažnis, įtampa. Nuostolius patiria tiek namų ūkiai, pramonė, viešasis ir privatus sektoriai, tiek gamintojai, nes sistemos darbą reikia kuo greičiau atstatyti. Siekiant užtikrinti elektros energetikos sistemos darbo reikalavimus yra atliekami sistemos ir jos dalių remontai, profilaktika, jie vykdomi pagal sudarytus grafikus. Tokie planiniai įrenginių atjungimai neturi sutrikdyti sistemos darbo. Galios transformatorių gedimų nustatymui naudojama nemažai metodų, tokių kaip: vandens kiekio nustatymo metodai, ištirpusių dujų analizės metodai, dalinių išlydžių monitoringas, izoliacijos dielektrinių nuostolių monitoringas ir kiti, tačiau šie metodai parodo gedimus tik jiems esant.

Tai priežastis kurti, ieškoti naujų, pažangesnių metodų skirtų galios transformatorių gedimų nustatymui tik jiems prasidedant. Prognozuojant besiformuojančius gedimus galima išvengti remonto bei elektros energijos tiekimo nutraukimo. Pasaulyje vis daugiau dėmesio skiriama pažangiems, didelį potencialą turintiems intelektiniams gedimų nustatymo, prognozavimo metodams. Tai dirbtinių neuronų tinklai, neraiškios aibės ir kiti.

Šio magistrinio darbo pagrindinis tikslas – pritaikyti dirbtinių neuronų tinklus galios transformatorių gedimų tyrimui.

Tyrimo uždaviniai:

1. Surinkti duomenis apie galios transformatorius, jų gedimus, priežastis;
2. Atlikti tradicinių metodų, naudojamų galios transformatorių gedimų nustatymui, analizę;
3. Sudaryti ir pritaikyti dirbtinių neuronų tinklų modelį galios transformatorių gedimų prognozei.

## 1. ENERGETIKOS SISTEMOS VEIKIMO UŽTIKRINIMAS

Užtikrinant energetikos sistemos veikimą, reikią užtikrinti atskirų jos įrenginių veikimą. Galios transformatorius yra vienas iš pagrindinių energetikos sistemos įrenginių. Tinkamas jo veikimas veikia visą sistemos darbą, todėl labai svarbu gedimus rasti jiems dar besivystant. Tai didina elektros energijos perdavimo patikimumą, sumažina neplanuotų išjungimų tikimybę, įgalina iš anksto suplanuoti transformatorių pastočių rekonstrukcijas ir(ar) jų remontus. Laiku pašalinus gedimus, galima išvengti transformatorių avarių, sumažinti aptarnaujančio personalo darbo riziką. Veikiantis transformatorius yra veikiamas įvairių išorinių ir vidinių veiksnių, kurie gali pažeisti izoliacines medžiagas ir išskirti dujinius produktus. Kad sumažintų sistemos prastovas yra sukurti specialūs įrenginiai (vadinami diferencialinėmis relėmis), tačiau jie reaguoja tik į labai didelius sistemos gedimus, reikalaujančius tuojau pat pašalinti transformatorių iš veikiančios sistemos, o tokiais atvejais negalima išvengti prastovų. Kaip jau buvo minėta, dėl elektrinių ir terminių gedimų, popieriaus izoliacijos degradacijos transformatoriaus alyvoje atsiranda dujos. Alyvoje ištirpusių dujų sudėtis priklauso nuo transformatoriuje besivystančio defekto. Dujas pagal jų kiekį ir svarbą gedimo charakteristikai sąlyginai galima suskirstyti į pagrindines, didelio arba mažo kiekio būdingosios dujos ir nebūdingosios. Pagal gautą alyvoje ištirpusių dujų sudėtį bei kiekius galima apytiksliai nustatyti besivystančio defekto kilmę ir priežastį.

Egzistuoja daug galios transformatorių tikrinimo ir gedimų klasifikavimo metodų. Vieni jų yra kokybinio, kiti – kiekybinio pobūdžio, kurie grindžiami statistikos principais. Tolesniuose skyriuose trumpai pateikiama jų apžvalga.

### 1.1. Transformatorių tikrinimas

Jėgos transformatoriai yra periodiškai tikrinami ir bandomi siekiant: užtikrinti kokybišką elektros energijos tiekimą vartotojams, išvengti gedimų, neplanuotų sistemos stabdymo darbų. Kiekvienai daliai taikomi skirtingi reikalavimai, tad skiriasi ir jų bandymai, periodiškumai.

#### 1. Alyvoje ištirpusių dujų chromatografinė analizė

Atliekama 110 kV ir aukštesnės įtampos bei savųjų reikmių blokinių transformatorių alyvos chromatografinė analizė. Transformatorių būklė įvertinama palyginus matavimo rezultatus su leistinąja dujų koncentracija alyvoje ir registruojant dujų koncentracijos kitimo greitį alyvoje.

Alyvos chromatografinės analizės atlikimo periodiškumas:

– 110 kV įtampos mažesnės kaip 60 MVA galios ir savų reikmių blokinių transformatorių – po 6 mėn., vėliau – 1 kartą per 12 mėn.

– 110 kV įtampos 60 MVA ir didesnės galios bei visų 330 kV įtampos transformatorių per pirmąsias 3 paras, įjungus į tinklą po 1, 3 ir 6 mėn., vėliau – 1 kartą per 6 mėn.

## 2. Kietosios izoliacijos sudrėkimo lygio įvertinimas

Nustatomas 110 kV ir aukštesnės įtampos 60 MVA ir didesnės galios transformatorių sudrėkimo lygis. Leistinis kietosios izoliacijos drėgmės kiekis, prieš eksploatuojant ir suremontavus – ne didesnis kaip 2 %, o eksploatuojamų transformatorių – ne didesnis kaip 4 % visos masės. Leidžiama nenustatyti kietosios izoliacijos sudrėkimo, jeigu drėgmės kiekis izoliacinėje alyvoje neviršija 10 g/t.

## 3. Izoliacijos varžos matavimas

Apvijų izoliacijos varža matuojama 2000-5000 V įtampos megommetru. Kiekvienos apvijos izoliacijos varža prieš eksploatuojant ir suremontavus, perskaičiuota pradinių duomenų bandymo temperatūroje, turi būti ne mažesnė kaip 50 % pradinės vertės. Iki 35 kV įtampos ne didesnės kaip 10 MVA galios transformatorių bei kompensacinių reaktorių izoliacijos varža turi būti ne mažesnė už nurodytąją:

Apvijos temperatūra, °C	10	20	30	40	50	60	70
$R_{60^{\circ}}$ , MΩ	450	300	200	130	90	60	40

Sausųjų transformatorių izoliacijos varža, kai +20÷30 °C apvijų temperatūra, turi būti:

iki 1000 V įtampos	ne mažesnė kaip 100 MΩ;
1 kV – 6 kV įtampos	ne mažesnė kaip 300 MΩ;
aukštesnės kaip 6 kV įtampos	ne mažesnė kaip 500 MΩ.

Eksploatuojant matuojama, kai gaunami nepatenkinami alyvos bandymų ir (arba) chromatografinės ištirpusių dujų kiekio analizės rezultatai.

Prieš eksploatavimą ir eksploatuojant izoliacijos varža matuojama pagal gamintojo schemą. Izoliacijos varža papildomai matuojama šiose izoliacijos zonose: tarp aukštosios įtampos apvijos korpuso atžvilgiu (A – K), tarp žemosios įtampos apvijos korpuso atžvilgiu (Ž – K) bei tarp aukštosios įtampos apvijos žemosios atžvilgiu (A – Ž), megommetro gnybtą „ekranas“ prijungiant prie laisvos apvijos arba bako. Eksploatuojant matuoti leidžiama vien zonose.

Ekspluatuojant izoliacijos varžos matavimo rezultatai, įvertinus kitimo dinamiką, turi būti vertinami, kartu su kitų matavimų duomenimis.

Matuojama, kai transformatorių apvijų izoliacijos temperatūra ne žemesnė kaip:

+10 °C - iki 110 kV įtampos;

+20 °C - 330 – 400 kV įtampos.

Išmatuota izoliacijos varža turi būti ne mažesnė kaip 2 MΩ, jungo sijų varža – ne mažesnė kaip 0,5 MΩ.

#### 4. Apvijų izoliacijos dielektrinių nuostolių kampo $tg\delta$ matavimas

Matuojami 110 kV ir aukštesnės įtampos galios transformatoriai. Transformatorių izoliacijos  $tg\delta$  vertė, prieš eksploatuojant bei suremontavus, perskaičiuota pradinių verčių temperatūroje, įvertinus alyvos  $tg\delta$  įtaką, gali skirtis ne daugiau kaip 50 % pradinės  $tg\delta$  vertės.

Jeigu, esant +20°C temperatūrai, išmatuota izoliacijos  $tg\delta$  vertė mažesnė kaip 1 %, izoliacijos būklė yra patenkinama ir jos lyginti su pradine verte nebūtina. Eksploatuojant  $tg\delta$  matuojamas, kai gaunami nepatenkinami rezultatai alyvos bandymų ir (arba) chromatografinės ištirpusių dujų kiekio analizės ar kompleksinių bandymų metu.

Izoliacijos  $tg\delta$  matuoti naudojamos gamintojo schemos. Izoliacijos varža papildomai matuojama zonose (A – K, Ž – K ir A – Ž), matavimo tiltelio gnybtą „ekranas“ prijungiant prie laisvos apvijos arba bako. Eksploatuojant leidžiama matuoti vien zonose.

Eksploatuojant izoliacijos  $tg\delta$  matavimo rezultatai pagal kitimo dinamiką turi būti vertinami kartu su kitų matavimų duomenimis. Iki 110 kV galios transformatorių apvijų izoliacijos  $tg\delta$  gali būti matuojamas, kai apvijų izoliacijos temperatūra ne žemesnė kaip +10 °C, o 330 kV – +20 °C.

#### 5. Apvijų popierinės izoliacijos įvertinimas

Nustatoma chromatografiniu metodu.

Leistinieji furaninių junginių kiekiai, iš jų ir furfurolo, nurodyti „ELEKTROS ĮRENGINIŲ BANDYMO NORMOS IR APIMTYS“. Furaninių junginių kiekis 110 – 330 kV transformatoriams kontroliuojamas – 1 kartą per 12 metų, o po 24 metų – 1 kartą per 4 metus.

#### *Polimerizacijos laipsnio įvertinimas*

Apvijų popierinės izoliacijos resursas yra išnaudotas, kai popieriaus polimerizacijos laipsnis sumažėja iki 250 vienetų.

## 6. Izoliacijos bandymas 50 Hz dažnio įtampa

Prieš eksploatavimą ir suremontavus nebūtina alyvinių transformatorių bandyti 50 Hz dažnio įtampa, jei nebuvo pakeistos apvijos ir jų izoliacija. Privaloma bandyti sausųjų transformatorių izoliaciją.

Kai remontuojant yra keičiamos apvijos ir izoliacija, privaloma visų tipų transformatorius bandyti 50 Hz dažnio įtampa. Bandomoji įtampa yra tokia pat kaip gamintojo. Kai remontuojant izoliacija keičiama iš dalies arba transformatorius rekonstruojamas, bandymo įtampa sudaro 0,9 gamintojo nurodytos įtampos. Bandymo trukmė – 1 min.

## 7. Apvijų ominės varžos matavimas

Matuojama visose atšakose, jeigu transformatoriaus pase nėra kitų nuorodų. Apvijos su RS tipo perjungikliais leidžiama matuoti atšakose iki reverso. Trifazių transformatorių apvijų varža išmatuota tose pačiose skirtingų fazių atšakose, esant vienodai temperatūrai, gali skirtis ne daugiau kaip 2 %. Jeigu dėl konstrukcijos ypatumų skirtumas didesnis ir tai nurodyta gamintojo techniniuose dokumentuose, reikia vadovautis leistinųjų nuokrypių normomis, nurodytomis transformatoriaus pase.

Vienfazių transformatorių apvijų varža, perskaičiuota pradinių duomenų temperatūroje, gali skirtis ne daugiau kaip 5 %. Eksploatuojant matuojama, kai transformatoriai kompleksiskai bandomi. Prieš matuojant transformatorių su įtampos reguliatoriais apvijų ominę varžą, reguliatoriumi atliekami ne mažiau kaip trys perjungimo ciklai.

## 8. Transformacijos koeficiento tikrinimas

Transformacijos koeficientas tikrinamas visose atšakų perjungiklio padėtyse. Transformacijos koeficientas, nustatytas prieš pradėdant transformatorių eksploatuoti, neturi skirtis daugiau kaip 2 %, palyginti su išmatuotuoju atitinkamose kitų fazių atšakose ir nuo pradinių duomenų, o išmatuotas remontuojant gali skirtis ne daugiau kaip 2 % palyginti su apskaičiuotais pagal atšakų įtampas.

Trifazių transformatorių apvijų jungimo grupės ir vienfazių transformatorių įvadų poliškumo tikrinimas

Apvijų jungimo grupė turi atitikti nurodytą transformatoriaus pase, o įvadų poliškumas – nurodytą transformatoriaus dangtyje.

## 9. Tuščiosios veikos nuostolių matavimas

6-10 kV transformatorių iki 1000 kVA tuščiosios veikos nuostoliai matuojami jį suremontavus, jei magnetolaidis buvo remontuojamas. Tuščiosios veikos nuostoliai matuojami didesnės kaip 1000

kVA galios transformatorių, žemosios įtampos pusėje prijungus įtampą, nurodytą gamintojo bandymų protokole (pase). Trifazių transformatorių tuščiosios veikos (TV) nuostoliai matuojami pagal gamintojo vienfazio sužadavimo schemą.

Prieš eksploatuojant ir remontuojant trifazius transformatorius, jų TV galios nuostolių skirtingose fazėse santykis neturi skirtis daugiau kaip 5 % nuo santykio, nurodyto gamintojo

bandymų protokole (pase). Prieš eksploatuojant vienfazius transformatorius, TV nuostoliai palyginti su pradiniais duomenimis gali skirtis ne daugiau kaip 10 %. Eksploatuojant matuojama kompleksiškių bandymų metu. Išmatuotos vertės palyginti su pradiniais duomenimis negali skirtis daugiau kaip 30 %.

#### 10. Transformatoriaus trumpojo jungimo varžos ( $Z_t$ ) matavimas

Matuojami 125 MVA ir didesnės galios transformatoriai. Transformatorių, kurių įtampa reguliuojama neatjungus apkrovos,  $Z_t$  turi būti matuojama pagrindinėje ir kraštinėse reguliatoriaus padėtyse.  $Z_t$  vertė, išmatuota prieš transformatoriaus eksploatavimą, pagrindinėje atšakoje neturi būti daugiau kaip 5 % didesnė už apskaičiuotąją iš transformatoriaus trumpojo jungimo įtampos ( $U_t$ ). Eksploatuojant ir remontuojant  $Z_t$  vertė daugiau kaip 3 % neturi viršyti pradinės vertės. Papildomai yra normuojamas trifazių transformatorių  $Z_t$  verčių skirtumas atskirose fazėse (vidurinėje ir kraštinėse atšakose), kuris gali būti ne didesnis kaip 3%.

Eksploatuojant  $Z_t$  vertė matuojama, kai per transformatorių pratekėjo trumpojo jungimo srovė, viršijanti 70 % skaičiuojamosios vertės, taip pat kompleksiskai bandant.

#### 11. Bako sandarumo bandymas

Bandomi visų tipų, išskyrus hermetiškuosius ir neturinčius išsiplėtimo bako, transformatorių bakų sandarumas:

iki 35 kV įtampos transformatorių – hidrauliniu slėgiu, kurį sudaro 0,6 m virš išsiplėtimo bako alyvos stulpas, išskyrus transformatorius su plokšteliniais radiatoriais ir banguotais bakais, kuriems bandyti naudojamas 0,3 m alyvos stulpo slėgis;

transformatorių su alyvos apsaugos plėvele – po lanksčiu apvalkalu sudarius 10 kPa perteklinį oro slėgį; kitų transformatorių – išsiplėtimo bako virš alyvos, sudarius azoto arba sauso oro 10 kPa perteklinį slėgį. Bandymo trukmė – ne trumpesnė kaip 3 h. Bandant transformatorių iki 110 kV alyvos temperatūra bako turi būti ne žemesnė kaip +10°C, o kitų – ne žemesnė kaip +20°C.

Jeigu išbandžius, apžiūrint transformatorių, nepastebėtas alyvos nuotėkis, transformatorius alyvai sandarus.

## 12. Aušinimo sistemų tikrinimas

Prieš eksploatavimą ir techninės priežiūros metu aušinimo sistemos tikrinamos, vadovaujantis jų eksploatavimo instrukcija, kuri yra pridedama prie transformatoriaus techninių dokumentų.

## 13. Transformatoriaus, prijungto prie tinklo įtampos, bandymas

Transformatorius įjungiamas ne trumpiau kaip 30 min. Tuo metu turi būti klausomasi ir stebima transformatoriaus būklė. Bandymo metu neturi būti požymių, kad transformatoriaus būklė yra nepatenkinama.

## 14. Rekomenduojami transformatorių papildomi matavimai

### 14.1. *Transformatorių vibracijos matavimas*

110 kV ir aukštesnės įtampos galios transformatorių vibraciją rekomenduojama išmatuoti prieš remontą (magnetolaidžio ir apvijų mechaninių darbų apimtims planuoti) ir po remonto (darbų kokybei įvertinti).

### 14.2. *Vandens kiekio galios transformatorių popieriaus izoliacijoje kontrolė*

110 kV ir aukštesnės įtampos galios transformatorių popierinės izoliacijos vandens kiekiui nustatyti gali būti naudojamas liekamosios įtampos metodas (RVM). Šis metodas gali būti taikomas turint specialią įrangą.[1]

Pirmieji trylika bandymų yra pagrindiniai, naudojami periodiškai ar kompleksinių bandymų metu. Galios transformatorių papildomi bandymai naudojami patikrinti kitų dalių remonto kokybę; izoliacijos varžos eksploatuojant matuojamos, kai gaunami nepatenkinami alyvos bandymų ir (arba) chromatografinės ištirpusių dujų kiekio analizės rezultatai. Be šių gana sudėtingų gedimų tyrimų metodų yra ir keletas paprastesnių. Gedimai randami naudojanti termoviziją, taip galima rasti paprasčiausius oksidavusius kontaktus ir pan. Kitą dalį gedimų galima nustatyti pagal garsus sklindančius iš transformatoriaus.



## 2. TRADICINIAI GEDIMŲ NUSTATYMO METODAI

### 2.1. Gedimų įvertinimas analizuojant įvairius izoliacijos kokybinius rodiklius

#### 2.1.1 Dirbtinių išlydžių dydis

Dirbtiniai išlydžiai (DI) matuojami specialiais zondais indukciniu, talpiniu ar ultragarsiniu principu netiesioginėje schemoje. Aukštos įtampos įrenginių DI lygio kontrolės periodiškumas turėtų priklausyti nuo izoliacijos būklės. Pradiniame įrenginio eksploatavimo etape pakanka DI lygį matuoti vieną kartą per metus (bet tik esant analogiškomis įrenginio eksploatavimo sąlygoms). Įrenginiams, kurių pusė eksploatacinio ištekliaus išnaudota, tikslinga dažnesnė DI parametų kontrolė. Kartu būtina užregistruoti ir tinklo bei aplinkos veiksnius, nes jie turi įtakos DI dydžiui bei matavimo tikslumui. Registruotini ne tik aplinkos (temperatūra, debesuotumas), bet ir elektriniai parametrai: elektros įrenginio apkrova, pirminė ir antrinė įtampos, vidinė darbo temperatūra. Registruojant DI galima nustatyti, kurioje darbo zonoje yra įrenginio izoliacija. Eksploataciniai kokybiškos izoliacijos DI, esant maksimaliai darbo įtampai, alyvos ir popieriaus izoliacijai yra iki 10–15 pC, kietai izoliacijai iki 50 pC. Įrenginiams, kuriuose registruojami didesni daliniai išlydžiai, rekomenduojama detalesnė izoliacijos kontrolė.[2]

#### 2.1.2. Dielektrinių nuostolių kampas

Apie izoliacijos būklę galima spręsti ir atlikus apvijų izoliacijos dielektrinių nuostolių kampo tgd matavimus. Izoliacijos tgd vertė, prieš įrenginio eksploatavimą arba suremontavus, perskaičiuota esant pradinėms verčių temperatūrai, įvertinus alyvos tgd įtaką, gali skirtis ne daugiau kaip 50% pradinės tgd vertės. Jeigu, esant +20°C temperatūrai, išmatuota izoliacijos tgd vertė mažesnė kaip 1%, izoliacijos būklė yra patenkinama. Eksploatuojant tgd matuojamas, kai gaunami nepatenkinami alyvos bandymų arba chromatografinės ištirpusių dujų analizės rezultatai. [2]

#### 2.1.3. Izoliacijos varžos dydis

Apvijų izoliacijos varža (Riz), prieš eksploatuojant ir suremontavus įrenginį, turi būti ne mažesnė kaip 50% pradinės vertės. Papildomai Riz matuojama tokiose izoliacijos zonose: tarp aukštosios įtampos apvijų korpuso atžvilgiu (A–K), tarp žemosios įtampos apvijų korpuso atžvilgiu (Ž–K) bei tarp aukštosios įtampos apvijų žemosios atžvilgiu (A–Ž). Izoliacijos varžos matavimai atliekami, kai nepatenkinami alyvos bandymų arba alyvoje ištirpusių dujų chromatografinės analizės rezultatai. Kai įtampa yra kintama, tuomet matuojamas izoliacijos talpumas (Ciz). Ciz matuojama esant dviem dažniams 2 ir 50 Hz. Jei  $(C2 / C50) > 1/3$ , tai izoliacija neleistinai drėgna. Ir kuo vienesnės C2 ir C50 reikšmės, tuo izoliacija kokybiškesnė. [2]

#### **2.1.4. Drėgmės kiekis**

Siekiant sužinoti izoliacijos drėgnį, ieškoma absorbcijos koeficiento  $K_{abs}$ . Praktiniu būdu nustatyta, jog jei  $K_{abs} > 1,3$ , tai izoliacijos drėgnumo lygis yra leistinas ir tolesnis darbas yra galimas. Jei  $K_{abs}$  mažas, tai izoliacija nebūtinai yra drėgna. To priežastis gali būti tarša arba vietinių defektų atsiradimas izoliacijoje.[2]

#### **2.2. Gedimų vertinimas pasitelkiant termoviziją**

Vienas iš paprasčiausių ir efektyviausių galios transformatorių būklės nustatymų būdų yra transformatoriaus išorės temperatūrų stebėjimas. Jei užfiksuojami nenormalūs temperatūros rodmenys, beveik visada būna įvykęs koks nors transformatoriaus gedimas. Dėl šios priežasties jau tapo įprasta stebėti karštojo taško, pagrindinio transformatoriaus bako, viršutinių ir apatinių alyvos sluoksnių temperatūras.

Žinoma, kad kai transformatoriaus temperatūra neleistinai pakyla, pradeda blogėti apvijų izoliacija, sumažėja ir izoliacinės alyvos dielektrinis atsparumas. Be to, kai transformatoriaus temperatūra pakyla, padidėja ir kietosios izoliacijos senėjimo greitis.

Atliekant termovizinę kontrolę galima aptikti pagrindinių galios transformatorių elementų gedimus, tačiau termovizinė kontrolė atliekama tik kartą per metus, o per tokį ilgą laikotarpį tarp tikrinimų gali įvykti daug pokyčių. Todėl norint geriau užtikrinti elektros tiekimo kokybę, reikia dažniau tikrinti termovizoriais.

#### **2.3. Dviejų ar daugiau metodų sujungimas į vieną**

Kadangi nei vienas gedimų nustatymo metodas negali nustatyti visų gedimų, juos reikia derinti tarpusavyje, kad vienas metodas papildytų kito metodo spragas. Norint gauti kuo geresnį rezultatą gedimų paieškose reikėtų naudoti kuo daugiau skirtingų metodų, tačiau yra gana sunku suderinti didelių jų kieki. Todėl atrenkami keletas geriausių metodų ir jie derinami tarpusavyje, kol gaunamas patenkinamas rezultatas. Pavyzdžiui: galima parinkti išsamiausią metodą, kuris grindžiamas ištirpusių dujų sudėtimi, jį derinti su metodu, kai analizuojami izoliacijos kokybės rodikliai, tuomet gautas rezultatas suteiks daugiau informacijos nei naudojant bet kuriuos kitus metodus atskirai.

## 2.4. Kalman filtro metodas

Elektrinėse naudojama temperatūros nustatymo sistema ne tik daro temperatūros matavimus bet ir ją prognozuoja. Kalmano filtras skirtas atpažinti reikiamus garsus sklindančius iš aukštos įtampos transformatorių, nustato garsų šaltinio vietą ir išanalizavęs garsų parametrus gali padėti nustatyti gedimus. Tai grįžtamasis linijinis minimalios variacijos metodas, jis naudoja rekursinę formą, remiasi išmatuota dabarties laiko verte, mes galime gauti rekursinio būsenos įvertinimo vertę esamuoju laiku. Šis filtras pagrįstas dinaminio priežastiniu modeliu, gali efektyviai susidoroti su daug dinamiškų režimų. Teorija turi nedidelį kiekį skaičiavimų, ir didelį greitį. Taigi, tai yra veiksminga algoritmas stebėti dinامينius procesus, filtras yra optimalus grįžtamųjų duomenų apdorojimas algoritmas. Po beveik 40 metų plėtros, taip pat naudojamas įvairiose srityse, įskaitant robotų navigaciją, valdymo jutiklio duomenų sintezės, karinių radarų sistemų ir raketų sekimo sistemas. [3]

## 2.5. Gedimų nustatymas naudojantis garsiniais emisijos/išleidimo signalais

Triukšmo emisijos iš transformatorių gali sklirti iš trijų tipų šaltinių:

- Iš šerdies nuo magnetrokcinio efekto, hipersintezės kilpos sluoksnių matmenų pokyčio;
- Srovė, tekanti per apviją, sukelia garsą kurį perduoda per dielektrinį skystį;
- Kiti triukšmo šaltiniai, transformatoriaus priedai, kaip ventiliatoriai ir siurbiai.

Galimos priežastys nenormalus triukšmas transformatoriuose:

- Statinės iškvosios problemos dėl slankiojančių transformatoriaus dalių, kurios turėtų būti įžemintos;
- Bako ir radiatorių rezonanso, pasikeitus šaltinio dažniui;
- Struktūriniai trūkumai, pavyzdžiui, pasikeitęs šerdies suspaudimas, flanšinės sklendės ir presai gali būti atsilaisvinę;
- Dėl įvykusio trumpojo jungimosi;
- Padaryta žala ar savaiminis poslinkis kai tokių priedų, kaip ventiliatoriai, siurbiai, radiatoriai.

### 3. TRANSFORMATORIŲ GEDIMŲ VERTINIMAS ŽINANT IŠTIRPUSIŲ DUJŲ SUDĖTĮ

Per pastaruosius kelis dešimtmečius, tyrimais nustatyta, kad ištirpusios dujos transformatorinės alyvoje yra glaudžiai susijusios su prasidedančiais gedimais. Ištirpusių dujų analizė (IDA), technika, kuri laikoma veiksminga priemonė diagnozuojant prasidedančius galios transformatorių gedimus. Svarbiausios gedimų dujos yra vandenilis ( $H_2$ ), metanas ( $CH_4$ ), acetilenas ( $C_2H_2$ ), etilenas ( $C_2H_4$ ) ir etanas ( $C_2H_6$ ), anglies oksidai CO ir  $CO_2$ . Jei nors vienu dujų koncentracija yra didesnė nei leidžiama, tuomet transformatorius turi vieną ar daugiau gedimų. Ištirpusių dujų vertinimui naudojami įvairūs metodai gedimui nustatyti. [4]

3.1 lentelė. Leidžiamosios izoliacinėje alyvoje ištirpusių dujų koncentracijos

Eil. Nr.	Įrenginys	Dujų koncentracija, ppm						
		$H_2$	$CH_4$	$C_2H_2$	$C_2H_4$	$C_2H_6$	CO	$CO_2$
1.	110–400 kV transformatoriai	100	100	10	100	50	500/600	6000(2000)/8000(4000)

1. CO – skaitiklyje pateikta vertė transformatoriams su azotine arba plėveline alyvos apsauga, vardiklyje – transformatoriams su alsuokliais;

2.  $CO_2$  – skaitiklyje pateikta vertė transformatoriams su alsuokliais, kai jų eksploatavimo trukmė mažesnė nei 10 metų, vardiklyje – didesnė nei 10 metų; skliaustuose pateikti tie patys duomenys transformatoriams su plėveline arba azotine alyvos apsauga. [1]

#### 3.1. Chromatografija

Pasitelkus chromatografiją galima atskirti, kokios dujos išsiskiria esant gedimui, jų kiekius ir koncentracijas. Žinant ištirpusių dujų sudėtį galima prognozuoti elektros įrenginių gedimų tipus. Chromatografijos metu gaunami duomenys apie galios transformatoriaus alyvos išskiriamas dujas. Tai medžiagų mišinio skirstymo į komponentus būdas, pagrįstas nevienoda komponentų sorbcija.[5] Ji naudojama tiriant iš transformatoriaus alyvos sklindančių dujų sudėtį, ir yra veiksminga, jei visos išskiriamos iš mišinio medžiagos yra visiškai atskiriamos.

Konkrečiau, galios transformatoriuose naudojama skysčių chromatografija, tai metodas, grindžiamas skysčio judria faze. Tokia chromatografija gali būti atliekama kolonelėse arba plokštumoje (plokštuminiame formate). Chromatografijos sistemos susideda iš stacionariosios ir judriosios fazių. Judriojoje fazėje būna ištirpęs tiriamasis medžiagų mišinys, kuris teka per kietą stacionariąją fazę, vadinamą sorbentu arba nešikliu.

Kolonėlinė (kolonėlių) chromatografija. Kolonėlinės chromatografijos metu stacionarioji fazė, kuri dažniausiai būna kieta, netirpi (sorbentas / nešiklis) medžiaga, yra įdedama į stiklo, plastiko ar metalinį kolonėlį, o judrioji fazė (tirpiklis, arba buferis) dėl skysčio lygių skirtumo arba stumiama siurbliu kol prateka per kolonėlį. Tokia chromatografija yra labiausiai paplitusi. [6]

### 3.2 Tradiciniai ištirpusių dujų analizės metodai

Žinant transformatoriaus alyvoje ištirpusių dujų kiekį galima nustatyti gedimus, tam nuo dvidešimtojo amžiaus naudojami ištirpusių dujų analizės metodai. Gedimų nustatymui gali būti naudojamos visos keturios ar mažiau ištirpusių dujų grupių (atmosferos dujos, anglies oksidai, angliavandeniliai, vandenilis). IDA metodais nustatomus gedimus galima suskirstyti į izoliacijos, temperatūros, išlydžių, kibirkščiavimų gedimus. Kiekvienas iš metodų skiriasi savo sudėtingumu, reikalingų duomenų kiekiu, galimais gedimais. Norint pasiekti geriausius rezultatus reikia naudoti keletą metodų iškart, turėti nemažai patirties interpretuojant ištirpusių dujų analizės duomenis.

#### 3.2.1. Pagrindinių dujų metodas

Prieš naudojantis šiuo metodu reikia apskaičiuoti kiekvienų ištirpusių dujų procentinę dalį, visų ištirpusių dujų atžvilgiu. Naudojamasi formule:

$$X\% = \frac{X \times 100}{\Sigma d} ; \quad (3.1)$$

Kur  $X\%$  - skaičiuojamų dujų procentinė dalis;  $\Sigma d$  – metode naudojamų ištirpusių dujų suma.

3.2 lentelė. Pagrindinių dujų metodo gedimų nustatymo duomenys [2]

Galimas gedimo pobūdis	Išsiskyrusių dujų santykinis kiekis%					
	CO	H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>
Dalinis išlydis (DI)	-	82	13	1	1	-
Gedimas esant žemai / aukštai temperatūrai alyvoje (Š1/Š3)	-	2	16	19	63	-
Elektros lanko išlydis (EI)	-	60	5	2	3	30
Popierinės izoliacijos gedimas (Š)	92	-	-	-	-	-

### 3.2.2. IEEE C57.104-1991 metodas

Šio metodo esmė paremta dominuojančiomis išsiskyrusiomis dujomis, kuo jų koncentracija didesnė tuo gedimas pavojingesnis. Tai vienas iš paprasčiausių metodų, bet tuo pačiu ir mažiausiai informatyvus.

1. H<sub>2</sub> – dalinis išlydis (DI);
2. CO ir C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> – perkaitimas (Š);
3. C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> ir H<sub>2</sub> – elektros lanko išlydis (EI).

### 3.2.3. Rogerso metodas

Šis metodu gali padėti nustatyti net 12 gedimų, tai padaro jį daug tikslesnį už kitus tradicinius IDA metodus, iš turimų duomenų pavyko nustatyti tik tris: Kibirškščiavimas be perdengimo (KP); Daliniai išlydžiai su slystančiąja iškrova (DI); Elektros lanko išlydis su perdengimais (EI).

3.3 lentelė. Rogerso metodo dujų santykiai ir kodai [2]

Santykio dydis	Santykio dydis ir kodas			
	<0,1	0,1–1	1–3	>3
CH <sub>4</sub> /H <sub>2</sub>	5	0	1	2
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> /CH <sub>4</sub>	0	0	1	1
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> /C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	0	0	1	2
C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> /C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	0	1	1	2

3.4 lentelė. Rogerso metodo galimi gedimai [2]

Galimi santykių kodai ir gedimai					
Gedimas	CH <sub>4</sub> /H <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> /CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> /C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> /C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	Gedimo numeris
Normalu (N)	0	0	0	0	1
Daliniai išlydžiai (DI)	5	0	0	0	2
Perkaitimas <150°C (Š)	1/2	0	0	0	3
Perkaitimas 150–200°C (Š)	1/2	1	0	0	4
Perkaitimas 200–300°C (Š)	0	1	0	0	5
Pagrindinio laidininko perkaitimas (Š)	0	0	1	0	6
Apvijų sukūrinės srovės	1	0	1	0	7
Magnetolaidžio ir bako sukūrinės srovės arba jungčių perkaitimas	1	0	2	0	8
Kibirškščiavimas be perdengimo (KP)	0	0	0	1	9

Daliniai išlydžiai su slystančiaja iškrova (DI)	5	0	0	1/2	10
Pastovus kibirkščiavimas (EI)	0	0	2	2	11
Elektros lanko išlydis su perdengimais (EI)	0	0	1/2	1/2	12

### 3.2.4. IEC 60599:1999 metodas

3.5 lentelė. IEC 60599:1999 metodo galimi gedimai [2]

Santykio dydis	Santykio dydis ir kodas			
	<0,1	0,1–1	1–3	>3
C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> /C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	0	1	1	2
CH <sub>4</sub> /H <sub>2</sub>	1	0	2	2
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> /C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	0	0	1	2
Galimas gedimas	Santykių kodai			
	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> /C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	CH <sub>4</sub> /H <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> /C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	Gedimo numeris
Nėra gedimo (N)	0	0	0	1
Dalinis išlydis mažos energijos (DIM)	0	1	0	2
Dalinis išlydis didelės energijos (DID)	1	1	0	3
Mažos energijos elektros lanko išlydis (EIM)	½	0	½	4
Didelės energijos elektros lanko išlydis (EID)	1	0	2	5
Perkaitimas (< 150°C) (Š)	0	0	1	6
Perkaitimas (150–300°C) (Š1)	0	2	0	7
Perkaitimas (300–700°C) (Š2)	0	2	1	8
Perkaitimas (>700°C) (Š3)	0	2	2	9

### 3.2.5. Duvalio trikampis

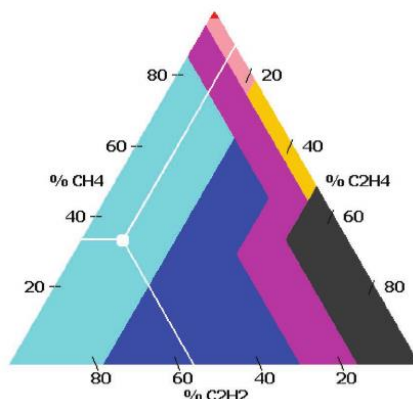
Šiuo metodu apskaičiuojama trijų dujų suma  $S = C_2H_2 + CH_4 + C_2H_4$  ir procentinė kiekvienų dujų išraiška nuo bendros jų sumos. Skaičiavimai atlikti naudojantis formule:

$$X\% = \frac{X \times 100}{\Sigma d}; \quad (3.2)$$

Kur  $X\%$  - skaičiuojamų dujų procentinė dalis;  $\Sigma d$  – metode naudojamų ištirpusių dujų suma.

Gedimo pobūdžio identifikavimui naudojama trimatė koordinatinių sistema.

Šis metodas gali padėti nustatyti 6 gedimus, iš kurių buvo nustatyti trys: Š1 – perkaitimas (temperatūra  $T < 300^{\circ}\text{C}$ ), Š2 perkaitimas (temperatūra  $300^{\circ} < T < 700^{\circ}\text{C}$ ), Š3 – perkaitimas (temperatūra  $T > 700^{\circ}\text{C}$ ). Šis metodas ypatingas tuo, jog visuose matavimuose gaunami rezultatai.



3.1 pav. Duvalio trikampis

3.6 lentelė. Duvalio metodo galimi gedimai [2]

Eilės nr.	Gedimas
1	EID – elektros lanko išlydis didelės energijos,
2	EIM – elektros lanko išlydis mažos energijos
3	DI – daliniai išlydžiai
4	Š1 – perkaitimas (temperatūra $T < 300^{\circ}\text{C}$ )
5	Š2 - perkaitimas (temperatūra $300^{\circ} < T < 700^{\circ}\text{C}$ )
6	Š3 – perkaitimas (temperatūra $T > 700^{\circ}\text{C}$ )

### 3.2.6. Doernenbergo metodas

Šis metodas paremtas išsiskiriančių dujų santykiais, jis gali padėti nustatyti šiuos gedimus: Perkaitimas (Š), Dalinis išlydis (DI), Elektros lanko išlydis (EI). Iš turimų duomenų buvo nustatytas tik antrasis viename matavime. Tai vienas pirmųjų sukurtų metodų, todėl jo panaudojimas gali netiksliai identifikuoti gedimą.

3.7 lentelė. Galimi gedimai pagal Doernenbergo metodą [2]

Gedimo pobūdis	$\text{CH}_4/\text{H}_2$	$\text{C}_2\text{H}_2/\text{C}_2\text{H}_4$	$\text{C}_2\text{H}_6/\text{C}_2\text{H}_2$	$\text{C}_2\text{H}_2/\text{CH}_4$
Perkaitimas (Š)	$>1$	$<0,75$	$<0,4$	$>0,3$
Dalinis išlydis (DI)	$<0,1$	Nedidelė vertė	$>0,4$	$<0,3$
Elektros lanko išlydis (EI)	$1-0,1$	$>0,75$	$<0,4$	$>0,3$



## 4. INTELEKTINIAI GEDIMŲ NUSTATYMO METODAI

Apibūdinimas „intelektinis“ dažniausiai yra siejamas su žmonėmis. Tačiau pastaruoju metu vis daugiau technologinių sprendimų yra taip vadinami. Intelektualumas tiesiogiai siejamas su gebėjimu savarankiškai atlikti užduotis, nustatyti priežastis ar priimti sprendimus. Sparčiai tobulėjančios technologijos ir vis griežtėjantys daugumos kasdieninių ir technologinių sričių reikalavimai leidžia ir tarsi įpareigoja, kad kuo daugiau užduočių būtų atliekamos neprikaištingai, su kuo mažesniu žmogaus įsikišimu. Gedimams nustatyti naudojami intelektiniai metodai tiksliai ir greitai veikia, dažniausiai nepalieka vietos interpretacijoms. Elektros energetikos sistema yra labai didelė ir sudėtinga, užima didelę teritoriją ir ją veikia daug nepageidaujamų, netikėtų veiksnių. Tai sukelia nemažai sunkumų, kuriuos sunku, o kartais ir neįmanoma tinkamai suformuluoti ir išspręsti determinuotais matematiniais metodais. Dėl to intelektiniai metodai vis plačiau taikomi EES projektavimo ir valdymo uždaviniams formuluoti ir spręsti, įvairių gedimų diagnozavimui, darbo optimizavimui bei saugos sistemų kūrimui. Intelektiniais metodais pagrįstos sistemos kuriamos vertinant energetikos valdymo objektų ir sistemų bei asmenų, priimančių sprendimą (projektuotojo, planuotojo, dispečerio ir pan.), dalyvavimą.

Toliau tiriant elektros energetikos valdymo uždavinius, labai svarbu pagerinti elektros energijos gamybos, perdavimo, paskirstymo ir vartojimo valdomumą. Per tam tikrą laiką norima sukurti žymiai patikimesnę ir saugesnę intelektualią EES. Tai aktuali mokslinė bei techninė problema, kurios sprendimas gali būti paremtas dirbtiniu intelektu, neraiškiomis sistemomis ir skaitmeninių valdymo, ryšio ir saugos priemonių plačiu panaudojimu elektros energetikoje. [9]

### 4.1 Dirbtiniai neuronų tinklai

1943 metais McCulloch ir Pitts pasiūlė dirbtinio neurono modelį. Neuronas gauna keletą įėjimo reikšmių (tai dirbtinių neuronų tinklų (DNT) įėjimo reikšmės arba kitų tinklo neuronų išėjimo reikšmės). Kiekviena įėjimo jungtis turi savo perdavimo koeficientą (svorį). Kiekvienas neuronas turi savo sužadavimo slenksčio reikšmę. Slenksčio sužadavimo reikšmė formuojama skaičiuojant svorinę įėjimo signalų sumą ir atimant slenksčio reikšmę. Pagal sužadavimo signalą naudojant aktyvacijos funkciją (neurono perdavimo funkciją) skaičiuojama neuronų išėjimo reikšmė. Kai naudojama šuolinė perdavimo funkcija (neurono išėjimas lygus 0, jei aktyvacijos reikšmė mažiau už 0, ir lygus 1, jei reikšmė didesnė ar lygi 0), dirbtinis neuronas veikia kaip biologinis neuronas. Neuronų svoriai gali

būti neigiami, tai reiškia, kad jungtis turi slopinantį, o ne žadinantį poveikį. Tokių slopinančių neuronų yra ir biologinėje sistemoje. Atskiri neuronai yra jungiami į neuroninį tinklą. [7]

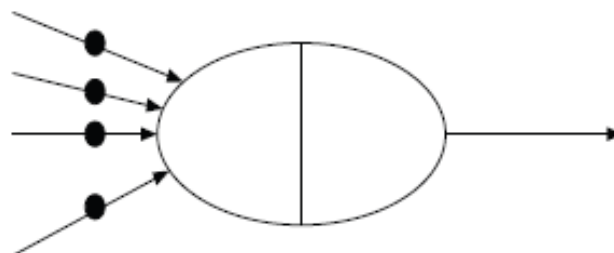
#### 4.1.1. Dirbtinių neuronų tinklų sandara

Dirbtiniai neuronų tinklai, intelektinės struktūros skirtos apdoroti informacijai, kurios sukurtos remiantis biologinės nervų sistemos analogu. Ši struktūra yra sudaryta iš daugelio tarpusavyje susijusių skaičiavimus atliekančių komponentų, kurie yra vadinamų neuronais. Galios transformatorių gedimams prognozuoti naudojamas paprastas dirbtinis neuroninis tinklas kur naudojama tiesioginio sklidimo struktūra: signalai sklinda iš įėjimų pirmyn per visus paslėptus sluoksnius ir pasiekia išėjimo neuronus, tokia struktūra yra stabili. [21]

Dirbtinių neuronų tinklas veikia kaip sudėtingos struktūros netiesinis modelis, galintis aproksimuoti bet kokią funkcinę priklausomybę tarp dviejų atskirų duomenų grupių. Neurono perdavimo funkcija išreiškiama remiantis formule ir schematiškai pavaizduotas:

$$S_n = f(\sum_{i=1}^n x_i w_{in} + b) \quad (4.1)$$

čia  $x_1-x_n$  – įėjimo reikšmės;  $w_1 - w_n$  – svorių koeficientai;  $f()$  – neurono vidinė funkcija;  $b$  – poslinkis.



4.1. pav. Dirbtinio neurono schema

Įėjimo signalai aprašomi seka  $x_1, x_2, \dots, x_n$ . Šie signalai yra tolydūs kintamieji. Kiekvienas iš įėjimų modifikuojamas naudojant „svorio“ funkciją. Apdorojimo elementas susideda iš dviejų dalių. Pirmoje tiesiog sumuojami pasverti įėjimai. Antroji dalis – tai netiesinis filtras, kitaip vadinamas aktyvuojančia funkcija, per kurią pereina suderintas signalas.[20]

Galios transformatorių gedimų prognozavimui naudojami daugiasluoksniai neuroniniai tinklų modeliai, kai neuronai yra pagal hierarchiją suskirstyti į sluoksnius, kur kiekvieno sluoksnio neuronų įėjimai yra susiję tik su ankstesnio sluoksnio neuronais.

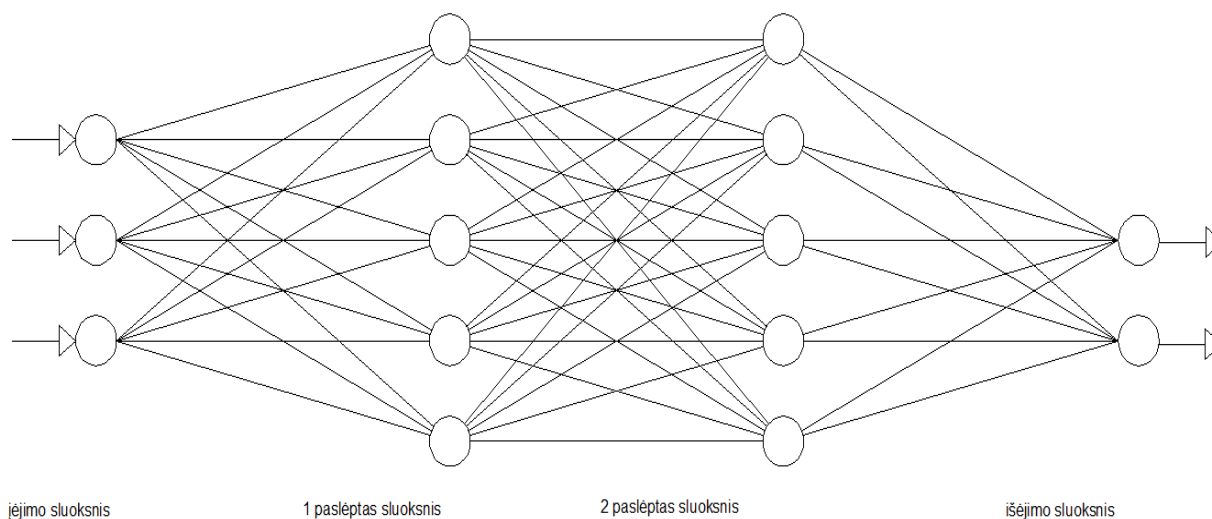
Naudojami neuroniniai tinklai yra sudaryti iš trijų sluoksnių grupių:

- Įvedimo sluoksnių;
- Paslėptų neuronų sluoksnių;
- Išvedimo sluoksnių.

Įvedimo sluoksnių neuronai yra atsakingi už duomenų įvedimą į tinklą, gedimo prognozavimui yra įvedami transformatoriaus alyvoje ištirpusių dujų kiekiai, įrenginio duomenys, papildomi duomenys. Kartais jie taip pat vykdo tam tikrą pradinį įvedimo duomenų apdorojimą, pavyzdžiui gali apskaičiuoti ištirpusių dujų kiekių santykius.

Paslėptųjų sluoksnių neuronai remdamiesi įvedimo reikšmėmis ir apmokymo metu nustatytais jungčių svoriais vykdo su uždavinio sprendimu susijusius skaičiavimus. Paslėptų neuronų sluoksnių gali būti daugiau nei vienas.

Išvedimo sluoksnyje pateikiami rezultatai, šio tyrimo atveju gedimai. Neuronų veikla priklauso nuo paslėptųjų sluoksnių neuronų išvedimo reikšmių ir su jais susijusių ryšių svorių.



4.2. pav. Neuroninio tinklo modelis

Neuroniniai tinklai pasižymi keliomis pagrindinėmis charakteristikomis:

- Adaptyvumu ir saviorganizacija – panaudodami prisitaikantį apsimokymą ir saviorganizaciją jie suteikia galingas ir efektyvias apdorojimo galimybes.
- Netiesiniu tinklo apdorojimu – jie padidina tinklo apibendrinimo laipsnį, klasifikacijos ir triukšmo pašalinimo galimybes.
- Lygiagrečiais skaičiavimais – juos sudaro daugybė skaičiavimus atliekančių tarpusavyje susietų ląstelių.

### 4.1.2. Dirbtinių neuronų tinklų veikimo principai

Neuroniniuose tinkluose skirtuose galios transformatorių gedimų prognozavimui procesai vyksta tiesioginio sklidimo principu, signalai sklinda tik viena kryptimi. T.y. tolimesnio sluoksnio neuronų išėjimai gauna informaciją tik iš prieš tai buvusių sluoksnių. Tokiuose tinkluose nėra, nei grįžtamųjų ryšių iš ankstesnių sluoksnių, nei ciklu su tame pačiame sluoksnyje esančiais neutronais.

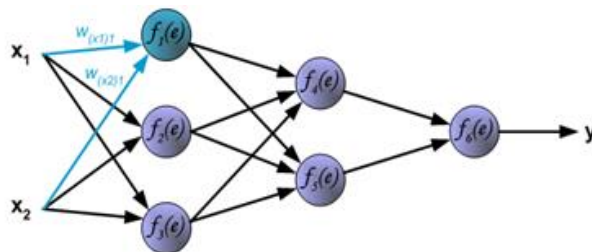
Įėjimo reikšmės patenka į įėjimo sluoksnį, vėliau paeiliui skaičiuojamos paslėptų sluoksnių neuronų išėjimo reikšmės, po to išėjimo sluoksnio neuronų išėjimo reikšmės. Kiekvienas neuronas skaičiuoja svorinę prieš tai esančio sluoksnio neuronų išėjimų sumą ir atima slenksčio reikšmės, taip gaudamas sužadinimo lygį. Pagal gautąją sužadinimo reikšmę skaičiuojama neurono perdavimo funkcijos (išėjimo) reikšmė. Išėjimo sluoksnio neuronų išėjimo reikšmės laikomos neuroninio tinklo išėjimo reikšmėmis.

[22]

Dirbtinį neuroną galima laikyti įrenginiu, kuris turi keletą įvesčių ir vieną išvestį. Neuronas veikia keliais režimais: apmokymo ir naudojimo. Apmokymo režime neuronas keičia su įvestimis susietų svorių reikšmes taip, kad būtų gauta pageidaujama išėjimo reikšmė. Naudojimo režime neuronas gražina su įėjimuose esančiomis reikšmėmis susijusią reikšmę.

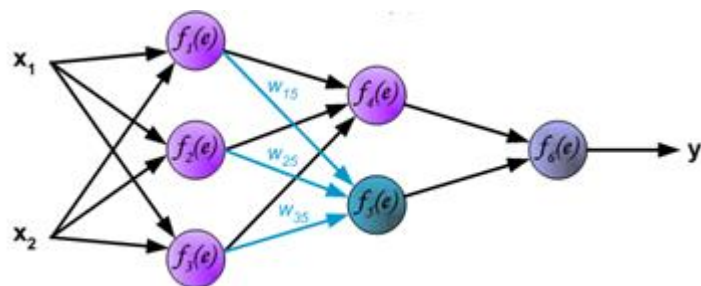
Su kiekvienu neuronu yra susieta perdavimo funkcija kuri nurodo kaip to neurono reikšmė yra perduodama kitam neuronui. Įprastai perdavimo funkcija padaugina kiekvieną iš svorių iš atitinkamų susijusių įėjimo verčių ir šias sandaugas susumavus su bazinę įėjimo verte gaunama suminė įėjimo vertė. Tada gautai suminei įėjimo vertei yra pritaikoma aktyvavimo funkcija. [21]

Toliau schematiškai pateikiama kaip dirbtiniai neuronai tarpusavyje sąveikauja tinkluose, nuo įėjimo sluoksnio iki pat išėjimo sluoksnio, kur  $x_{i..}$  - įėjimo reikšmės;  $w_{i..}$  – svorių koeficientai;  $f()$  - neurono vidinė funkcija.



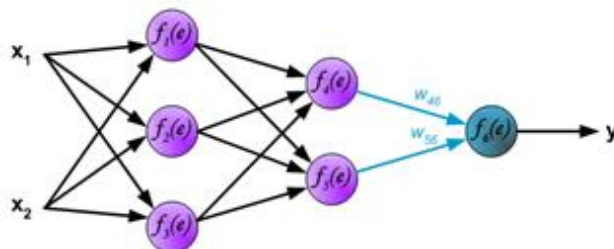
4.3. pav. Sąveika tarp įėjimo ir pirmojo paslėpto sluoksnio

$$y_1 = f_1(w_{(x1)1} + w_{(x2)1}x_2) \quad (4.2)$$



4.4. pav. Sąveika tarp pirmojo ir antrojo paslėptų sluoksnių

$$y_{15} = f_5(w_{15}y_1 + w_{25}y_2 + w_{35}y_3) \quad (4.3)$$



4.5. pav. Sąveika tarp antrojo paslėpto ir išėjimo sluoksnių

$$y = f_6(w_{46}y_4 + w_{56}y_5) \quad (4.4)$$

### 4.1.3. Dirbtinių neuronų tinklų mokymasis

Tam, kad neuroninis tinklas galėtų išspręsti uždavinius, jis turi būti apmokomas iš turimų pavyzdžių. Šie pavyzdžiai turi būti kruopščiai parenkami, nes kitaip neuroninis tinklas gali ilgai mokytis arba išvis veikti nekorektiškai. Tinklo apmokymas yra vykdomas mokymo metu keičiant tarp neuronų esančių jungčių svorius. [22]

Sukurta nemažai neuroninio tinklo mokymo būdų – jie vienas nuo kito skiriasi mokymo greičiu, reikalaujama atminties dydžiu. Neuroninio tinklo apmokymo tikslas yra minimizuoti neatitikimą tarp neuroninio tinklo pateikiamo rezultato ir to rezultato kuris turėtų gautis.

Neuroninių tinklų naudojamų galios transformatorių gedimų prognozavimui apmokymo metodai suskirstyti į dvi grupes:

- Mokymą su mokytoju;
- Mokymą be mokytojo.

Mokymo su mokytoju metu yra panaudojamas išorinis mokytojas kuris nurodo koks turėtų būti reikiamas atsakymas. T.y. įprastai tinklui apsimokyti yra pateikiami įvedimo/išvedimo duomenų rinkiniai. Tinklo svoriai koreguojami taip, kad tinklas ateityje pateiktą reikiamą atsakymą. Tarkime jei neuroninis tinklas gaus perkaitimo gedimą, o pagal pateiktus įvesties duomenis turėjo gautis dalinio išlydžio gedimas, tai svoriai koreguojami, taip kad tinklas ateityje gautų teisingą atsakymą.

Mokymasis be mokytojo yra rečiau naudojamas dėl jo prastesnių rezultatų lyginant su mokymo su mokytoju metodu. Mokantis be mokytojo dirbtinis neuroninis tinklas negauna informacijos nei apie tai, kokį gedimą jis turėjo priskirti, nei kritikos ar jo atliktas priskyrimas buvo geras ar blogas. Vietoj to mokymosi proceso metu jis remiasi vidiniais kriterijais. Šis neuroninio tinklo mokymasis būtų labiau tinkamas siekiant ne prognozuoti gedimus, tačiau jau gautus teisingus gedimus grupuoti pagal panašias savybes. Taip išmokytas tinklas būtų puiki priemonė duomenų apdorojimui bei klasifikavimui, statistikos kaupimui.

Vienas paprasčiausių mokymų yra atgalinio paklaidos skleidimo mokymo būdas, kurio viena iteracija gali būti užrašyta taip:

$$w_{k+1} = w_k - \mu \frac{dMSE}{dw_k} \quad (4.5)$$

kur  $w_k$  - svorio reikšmė prieš pakeitimą;  $w_{k+1}$  - svorio reikšmė po pakeitimo;  $dMSE/dw_k$  - paklaidos išvestinė svorio atžvilgiu,  $\mu$  - mokymo žingsnis.

Mokant tinklą, turi būti žinomos įėjimo  $x_i$  ir išėjimo  $y_i$  duomenų vektorių aibės  $(x_1, y_1), (x_2, y_2) \dots (x_n, y_n)$ .

Mokymo tikslumas apibūdinamas vidutine kvadratine paklaida:

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sqrt{(y_1 - y_{ai})^2} \quad (4.6)$$

čia  $MSE$  – vidutinė kvadratinė paklaida;  $y_i$  - i-ojo pavyzdžio išėjimo duomenys;  $y_{ai}$  - i-ojo pavyzdžio mokomo neuroninio tinklo išėjimo duomenys (gauti iš duomenų  $x_i$ );  $n$  – duomenų pavyzdžių skaičius.

Mokant svorių koeficientai keičiami taip, kad  $MSE$  mažėtų. Mokyti baigiama, kai vidutinė kvadratinė paklaida tampa mažesnė už reikiamą. Išmokytą tinklą reikia testuoti pagal

sudarytą testavimo duomenų paketą. Jeigu mokymo ir testavimo paketų ilgis  $k$  vienodas, suminė testavimo paklaidų kvadratų suma turi būti apytiksliai lygi mokymo paklaidų kvadratų sumai.

## 4.2. Neraiškios aibės

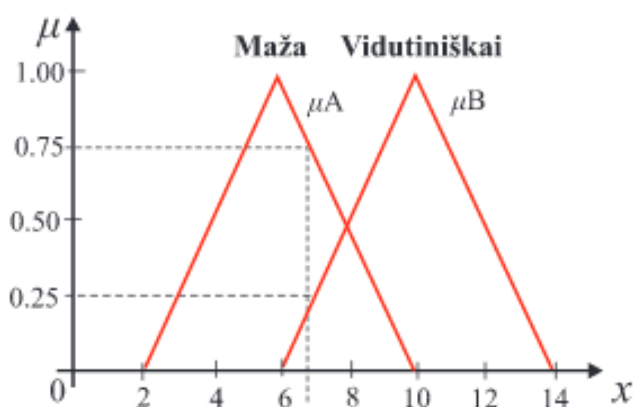
Neraiškių aibių logika pirmą kartą buvo paminėtos 1965 metais profesoriaus L. A. Zadeh. Neraiškių aibių logika, kitaip nei griežtos priklausomybės dvejetainė logika, remiasi elemento dalinės priklausomybės aibei principu (Zadeh, 1965). Neraiški aibė gali būti suprantama kaip klasikinė aibė, kurios kiekvienas elementas įvertinamas priklausymo aibei laipsniu. Tarkim, kad  $X$  yra aibė, kurioje yra  $n$  skaičius elementų  $x$ , o  $A$  yra aibės  $X$  neraiškus poaibis – neraiški aibė. Neraiški aibė  $A$  aprašoma, naudojant  $x$  bei  $\mu_A(x)$  reikšmes, taip:

$$A = \{(x, \mu_A(x))\}. \quad (4.7)$$

Išraiška  $\mu_A(x)$  yra elemento  $x$  priklausymo neraiškiai aibei funkcija, dar vadinamas narystės funkcija (ang. membership function). Narystės funkcija  $\mu_A(x)$  parodo elemento  $x$  (iš aibės  $X$ ) priklausomybės neraiškiai aibei  $A$  laipsnį. Narystės funkcijos reikšmės gali būti nuo 0 iki 1, tai yra:  $\mu_A(x) : x \rightarrow [0, 1]$ .

Aibėje  $X$  gali būti kelios neraiškios aibės (pvz.,  $A$  ir  $B$ ), o pačios neraiškios aibės gali turėti bendrų taškų. Tokiu atveju yra galimybė, jog elementas  $x$  priklausys abiem  $A$  ir  $B$  neraiškioms aibėms, su atitinkamomis narystės funkcijos kiekvienoje aibėje reikšmėmis:

$\mu_A(x)$  – aibėje  $A$  ir  $\mu_B(x)$  – aibėje  $B$ . Narystės funkcijų  $\mu_A(x)$  ir  $\mu_B(x)$  grafinis atvaizdavimas pateikiamas.



4.6 pav. Narystės funkcijų  $\mu_A(x)$  ir  $\mu_B(x)$  grafikas

Kiekviena neraiški aibė gali būti įvardijama lingvistiniu terminu („Mažai“ – aibė  $A$ , „Vidutiniškai“ – aibė  $B$ ), kuris neraiškioje logikoje vadinamas lingvistiniu kintamuoju ir naudojamas sudarant neraiškias taisykles.

Neraiškios aibės turi tik joms būdingas charakteristikas, apsprendžiančias priklausomumo funkcijų vertikalius ir horizontalius matmenis, formą:

1. Normali neraiški aibė: tai aibė, kurios priklausomumo funkcija yra lygi vienetui nors viename visų galimų reikšmių intervalo taške ir nors viename ji lygi nuliui. Jeigu priklausomumo funkcija nei viename visą galimų reikšmių intervalo taške nelygi vienetui ji yra normuojama. t.y. priklausomumo funkcijos paviršius yra praplečiamas taip, kad funkcija nors viename taške įgytų reikšmę, lygią vienetui.

2. Neraiškios aibės arba priklausomumo funkcijos aukštis: tai neraiškios aibės priklausomumo funkcijos maksimali reikšmė.

3. a riba: tai riba, žemiau kurios visos neraiškios aibės priklausomumo funkcijos reikšmės priskiriamos nuliui, ši riba veikia kaip filtras pašalinantis labai mažų svorių priklausomumo funkcijų reikšmes:

$$\mu(u) = \begin{cases} \mu(u) & \text{jeigu } \mu(u) \geq \alpha \\ 0 & \text{kitu atveju} \end{cases} \quad (4.8)$$

4. Lingvistinių reikšmių modifikavimas: tai matematiniai veiksmai kuriais neraiškių aibių priklausomumo funkcijų paviršius yra susiaurinamas, praplatinamas, ar kitaip modifikuojamas tikslu pakeisti lingvistinę kintamojo prasmę. Lingvistinių reikšmių modifikavimo paskirtis yra sustiprinti neraiškios aibės charakteristikas arba jas sušvelninti. Tai leidžia lingvistinių taisyklių formulavimui naudoti tokius teiginius kaip: „oro kanale esančio kamščio paklaida yra labai nedidele, „oro kanale esančio aukščio norimas lygis yra šiek tiek per didelis.[10]

#### 4.2.1. Neraiškios logikos sistema

Neraiškių aibių teorija, žinant ištirpusių dujų koncentracijas, leidžia kiekybiškai įvertinti kiekvieno gedimo pobūdžio tikimybę. IDA pagrindiniai diagnostiniai nežinomieji gali būti dujų normos, dujų santykio ribos (R) ar pagrindinės dujos (r). Pagrindinės dujos ( $r_1 = C_2H_2$ ,  $r_2 = H_2$ ,  $r_3 = C_2H_4$ ) ir IEC metodo dujų santykiai ( $R_1 = C_2H_2 / C_2H_4$ ,  $R_2 = CH_4 / H_2$  ir  $R_3 = C_2H_4 / C_2H_6$ ) pavaizduojami kaip neraiškių aibių vektoriai Gr ir  $GR\_Gr = [m_{žemas}(r), m_{vidutinis}(r), m_{aukštas}(r)]$ ,  $GR = [m_{nulis}(R), m_{vienas}(R), m_{du}(R)]$ ; čia  $m_{žemas}(r)$ ,  $m_{vidutinis}(r)$ ,  $m_{aukštas}(r)$  bei  $m_{nulis}(R)$ ,  $m_{vienas}(R)$ ,  $m_{du}(R)$  – neraiškių aibių rinkinių žemas, vidutinis, aukštas ir kodų nulis, vienas, du priklausomumo funkcijos, kurios sudaromos atsižvelgiant į priklausomumo funkcijos tipą ir gali būti didėjančio mD (R) arba mažėjančio mM (R) pobūdžio, arba jų derinys mV (R). Remiantis formulėmis galios transformatorių galimus gedimus įmanoma aprašyti neraiškių aibių vektoriais



$G_r(i)$  ir  $G_R(i)$  (čia  $i = 1, m$ ,  $m$  – gedimų tipų kiekis) pakeičiant loginę IR minimizacijos operacija, o loginę ARBA maksimizacijos operacija. Kiekvienas neraiškios diagnozės vektorius normalizuojamas remiantis formule:

$$G_n(i) = \frac{G(i)}{\sum_{i=1}^m G(i)}, \quad i = 1, \dots, m; \quad (4.9)$$

čia  $G(i)$  – pagrindinių dujų ( $r$ ) ir/arba IEC dujų santykių ( $R$ ) neraiškios aibės vektorius.

Neraiškios logikos samprata

Neraiški logika, apibūdinama kaip matematinių skaičiavimų formalizmas, kuris turi „intelektui“ būdingas savybes. Neraiškios logikos matematinių skaičiavimo principai geba susidoroti su neapibrėžtumu, kuris siejamas su intelektualiu mąstymu. Straipsnyje naudojama neraiškios logikos samprata apima neraiškių aibių (neraišk aibių), neraiškių taisyklių (neraišk taisyklių), hierarchinės neraiškių kintamų struktūrų (neraišk signatūros) aiškinimus. Toliau pateikiama detalesnė informacija apie kiekvieną jų atskirai.

#### 4.2.2. Neapibrėžtų išvadų sistema

Intelektualūs algoritmai naudojami interpretuoti ištirpusių dujų tyrimų rezultatus, tačiau ne visi gali patenkinti poreikius, nes tinka tik transformatoriams su vienu gedimu. Tuo atveju jei yra keletas gedimų, nustatomas tik dominuojantysis. Metodai pagrįsti specifiniais kodais vertinančiais dujų kiekius.

Nustatant keletą gedimų vienu kartu naudojamas neapibrėžtų išvadų metodas, kuris yra paruoštas naudojant MATLAB programinės įrangos Neraišk Logic Toolbox papildinį. Sugeno tipo neapibrėžtų išvadų sistema naudojama šiam metodui.

Nulio-tvarko taisyklė Sugeno modeliui pateikta žemiau; Jei įėjimas 1 –  $x$  ir įėjimas 2 –  $y$ , tai išėjimas  $z$  - konstanta

Kiekvienos taisyklės išėjimo lygis  $z$  priklauso nuo degimo stiprumo  $w_i$ .

$$w_i = IR \text{ metodas } [F1(x), F2(y)] \quad (4.10)$$

Kur  $F1(x)$  ir  $F2(y)$  yra funkcijos nariai 1 ir 2 išėjimams

Galutinis sistemos išėjimas :

$$Y = \frac{\sum_{i=1}^N w_i z_i}{\sum_{i=1}^N w_i}, \quad (4.11)$$

Y- galutinis išėjimas, N – taisyklių kiekis.

Neapibrėžtų išvadų sistema susideda iš trijų santykių R1, R2, R3, kurie dalyvauja kaip įėjimai. Vienas iš pagrindinių šio metodo trūkumų, kai dujų santykis keičiasi per kodavimo ribas, kodas ryškiai pasikeičia tarp 0, 1 ir 2. Faktas, kad dujų santykinė riba turi būti neapibrėžta. Priklausomai nuo santykių verčių kodai 0,1 ir 2 pakeičiami į neapibrėžtus kodus žemas, vidutinis, aukštas. Dėl neapibrėžtumo dujų koncentracijos matavimuose jų vertės gali skirtis nuo tikrųjų plus minus 10 proc. [11]

#### **4.3. Genetiniu algoritmu pritaikytas bangelių tinklas**

Neapibrėžtų bangelių neuronų tinklo (NBNT) struktūra remiasi neapibrėžtomis taisyklėmis, įskaitant bangelių funkcijas kaip taisyklių dalių padarinius. Siekiant pagerinti priartėjimo tikslumo ir pajėgumo funkcijas NBNT sistemoje, naudojamas efektyvus genetinis algoritmas (GA) reguliuojantis išsiplėtimą, vertimą, santykių ir dalyvių funkcijų parametrus. Iki minimumo sumažinant gautos klaidos kvadratą iš sistemos išėjimo, transformatoriaus gedimas gali būti suformuluotas pasitelkiant genetinio algoritmo formulavimą. Be to, sprendimas yra tiesiogiai gaunamas be jokių sudėtingų skaičiavimų. Suderinimo atlikimas yra pranašesnis už daugelį kitų esamų metodų. [12]

#### **4.4. Daugialaipsnis mažiausio kvadrato pagalbinis vektoriaus mechanizmas**

Daugialaipsnis mažiausio kvadrato pagalbinis vektoriaus mechanizmas ( DMK – PVM) yra pristatomas kaip standartinio pagalbinio vektoriaus mechanizmo (PVM) modifikacija. Ji leidžia spręsti problemą tiesiškai o ne kvadratinio programavimu, kas yra žymiai paprasčiau. PVM paprastumas ir perimti privalumai, tokie kaip puikus apibendrinimo gebėjimas ir unikalūs sprendimų skatinimas programose leidžia DMK- PVM naudoti diagnozuojant daugelį problemų. Reikia pažymėti kad PVM pagrįstas metodas originaliai yra sukurtas dvejetaini klasifikacijai. Tačiau problemų diagnozavimas transformatoriuose dažnai įtraukia daugialaipsnės klasifikacijos diskriminaciją. Norint išspręsti šią problemą priimami: minimalus išėjimo kodavimas, klaidų taisymo išėjimo kodavimas, vienas prieš vieną ir vienas prieš visus schemas, kad sudaryti DMK- PVM klasifikavimą. Apskritai, dar viena PVM klasifikavimo svarstoma problema, bet taip pat vienas iš pagrindinių klasifikavimų yra busimų parametrų pasirinkimas. Tai dažniausiai yra padaroma empiriškai. Plėtojant optimalų daugialaipsnį klasifikavimą MK- PVM sistemos paremtos dalelių spiečiaus optimizavimu (DSO) algoritmu. DSO originaliai sukurtas ir greitai populiarėjantis dėl sugebėjimo greitai sukurti pagrįstai gerus sprendimus

Gedimų diagnozė yra naudinga teikiant vertingą informaciją į techninės priežiūros programą ir tarnauja kaip prevencinė priežiūros strategija. Ateityje kuriant transformatoriaus stovo schemas bus naudojami DMK – PVM ir DSO. [13]

Atlikus literatūros analizę galima daryti tokias išvadas:

1. Transformatorius - svarbiausias pastotės įrenginys ir ankstyvas jo gedimo nustatymas yra būtinas norint užtikrinti patikimą elektros perdavimą ir (ar) skirstymą;

2. Sukurta daug transformatorių bandymų ir tikrinimo metodų. Chromatografinė analizė – dažniausiai taikomas metodas ir naudojama tiriant iš transformatoriaus sklindančių dujų sudėtį. Papildomai atliekamas įvairių dalių izoliacijos vertinimas (kietumas, varža, dielektriniai nuostoliai); apvijų bandymai (įtampa, varžos matavimas); aušinimo sistemos tikrinimas; relių tikrinimai; termovizija; vibracijos tikrinimas.

3. Per pastaruosius kelis dešimtmečius, daug tyrimų įrodė, kad ištirpusios dujos transformatorinės alyvoje yra glaudžiai susijusios su prasidedančiais gedimais. Ištirpusio dujų analizė (IDA), yra veiksminga priemonė naudojama prasidedančio gedimo diagnozavimui galios transformatoriams. Svarbiausi gedimų dujos yra vandenilis, metanas, acetileno, etilenas, etanas. Gavus šių dujų kiekius, santykius yra skirtingi būdai tyrimų rezultatams gauti. Tradiciniai ištirpusių dujų analizės metodai, kurie remiasi ištirpusių dujų kiekiais ir santykiais: Pagrindinių dujų; IEEE C57.104-1991; Ištirpusių dujų santykių (Rogerso, IEC 60599:1999, Duvalio, Doernenbergo), GE. Tačiau jų pagrindinis trūkumas – gedimas pastebimas jau kai yr prasidėjęs. Tad norint praktikoje tinkamai panaudoti jį, reikia turėti pakankamai praktikos ir gebėti interpretuoti gautus duomenis.

4. Pastaruoju metu galios transformatorių gedimų prognozei pradėti taikyti intelektiniai metodai, tokie kaip dirbtiniai neuronų tinklai, neraiškios aibės, neraiškios logikos sistema ir kt.

## 5. AUKŠTOS ĮTAMPOS TRANSFORMATORIŲ GEDIMŲ TYRIMAS IŠTIRPUSIŲ DUJŲ ANALIZĖS METODAIS

Galios transformatorių stebėjimas ir gedimų diagnostika visada reikalavo dėmesio visame pasaulyje. Tai tapo reikšminga priemone aptinkant prasidedantį gedimą dar ankstyvajame etape. Šie metodai remiasi alyvos kuria užpildyti transformatoriai, ištirpusių dujų kiekiais ir santykiais. Šiame skyriuje atliekamas gedimų nustatymo tyrimas naudojant tradicinius ištirpusių dujų analizės metodus :

- Pagrindinių dujų;
- IEEE C57.104-1991;
- Ištirpusių dujų santykių:
  - Rogerso;
  - IEC 60599:1999;
  - Duvalio;
  - Doernenbergo.

Tyrimui naudojami trijų autotransformatorių duomenys, realiais matavimais nustatytos ištirpusių dujų koncentracijos.

1 transformatoriaus duomenys 1999 05 13 – 2004 11 03 laikotarpio;

5.1. lentelė. Pirmojo galios transformatoriaus duomenys

Galios TR AT-1		Gamyklinis Nr.: 9647210
Tipas	OBU-125/510	Galingumas: 125 MVA
Gamintojas	PAUWELS TRAF0 BELGIUM	Įtampa: 330/110/10 kV
Pagaminimo metai	1997-01	Alyvos apsaugos būdas: Kvėpavimo filtras
Eksploatacijos pradžia	1998-03	
Alyvos tipas	Nytro 10GBN	

5.2 lentelė. 1 transformatoriaus ištirpusių dujų duomenys. Pažymėti leistinų ribų viršijimai

Ištirpusių dujų koncentracija, µl/l								
Matavimo data	H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O
1999_05_13	37.21	27.87	8.08	49.66	0.00	120.91	2947.45	1.64
1999_11_11	30.53	17.80	4.72	44.52	0.00	63.51	1722.22	3.87
2000_03_15	27.14	14.28	6.01	48.68	0.00	51.59	1407.47	3.62
2000_06_27	52.18	18.22	5.89	66.74	0.00	42.04	1417.92	6.32
2000_07_12	90.03	20.00	7.56	75.56	0.00	43.48	1325.22	11.03
2000_08_25	93.89	15.72	6.66	87.57	0.00	51.54	1556.48	6.01
2000_10_09	97.00	19.59	7.57	90.60	0.00	67.40	921.49	6.01
2000_11_10	105.57	21.35	9.38	93.00	0.00	75.30	403.55	6.09
2001_01_17	76.33	18.01	10.33	126.23	0	62.4	1084.8	0
2001_01_29	61.44	18.06	9.02	96.9	0	51.25	448.84	0
2001_03_05	58.92	17.89	9.87	100.13	0.00	64.30	583.56	5.70
2001_05_28	43.63	8.96	5.37	84.33	0.00	31.78	672.71	6.91
2001_10_23	117.4	14.56	6.31	87.75	0.00	60.41	698.05	6.72
2002_02_27	72.41	13.65	7.77	113.9	0.00	59.91	718.58	5.33
2002_04_02	118.39	15.23	7.81	115.68	0.00	72.57	1260.01	6.11
2002_05_06	102.91	17.77	8.61	126.31	0.00	91.76	1397.62	5.70
2002_12_10	135.33	6.97	4.35	69.26	0.00	41.10	328.74	5.86
2003_03_04	0.00	2.79	1.42	16.64	0.00	20.29	103.05	0.00
2003_10_06	0.00	17.23	2.88	34.15	0.00	157.23	477.48	7.69
2003_12_03	249.00	14.89	7.24	30.25	0.00	122.03	810.28	0.00
2004_04_01	182.91	17.02	13.60	40.75	0.00	147.41	1084.69	1.33
2004_08_23	0.00	32.28	8.48	82.28	0.00	287.37	1693.47	0.00
2004_10_08	40.15	26.01	7.98	72.10	0.00	245.34	1514.07	0.00
2004_11_03	45.74	26.36	9.24	80.37	0.00	253.20	1615.79	0.00

2 transformatoriaus duomenys 2000 11 10 – 2002 02 17 laikotarpio;

5.3. lentelė. Antrojo galios transformatoriaus duomenys

Galios TR AT-2	
Tipas	ANER3E-125000/330PN
Gamintojas	ABB
Pagaminimo metai	1999-07
Eksploatacijos pradžia	2000-11
Alyvos tipas	Nytro 10GBN

5.4. lentelė. 2 transformatoriaus ištirpusių dujų duomenys. Pažymėti leistinų ribų viršijimai

Matavimo data.	H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O
2000_11_10	0	0	0.12	0	0	7.16	10.26	5.85
2000_12_05	133.8	49.67	78.7	11.18	1.39	0.12	306.42	23.3
2001_01_24		403	507	86	5.3		110	
2001_01_29	553.66	183.37	250.11	39.36	2.61	7	17.45	5.11
2001_01_31	518.1	176.97	239.73	37.96	2.26	7.82	18.2	4.18
2001_02_05	436.49	172.28	237.73	38.31	1.86	8.73	26.53	4.17
2001_02_12	440.9	234.19	299.49	47.28	2.54	19.13	23.4	4.22
2001_02_20	490.32	224.51	318.7	51.96	3.1	17.35	18.65	4.21
2001_03_06	526.64	230.56	298.33	49.81	2.76	18.48	23.69	6.03
2001_03_12	497.08	197.62	284.36	47.52	2	17.56	26.41	5.72
2001_03_26	504.09	186.64	242.89	40.52	1.88	15.54	24.85	6.47
2001_04_04	479.29	201.6	265.85	44.78	1.44	18.27	27.57	4.42
2001_04_25	408.31	183.09	245.36	42.31	1.59	15.24	31.97	5.41
2001_05_07	361.51	200.49	264.68	45.57	0	16.82	61.24	6.53
2001_05_07	303.81	137.58	220.26	31.56	0	6.68	45.15	4.95
2001_05_28	243.18	129.26	170.71	28.93	0	10.83	54.45	5.81
2001_07_17	168.39	104.37	139.99	28.93	0	10.83	54.45	5.81
2001_10_23	137.69	128.26	164.31	36.19	0.52	12.77	45.17	8.01
2002_01_17	121.57	186.06	235.89	53.92	0.6	15.18	69.78	2.22
2002_02_17	149.55	178.75	224.54	51.31	0.4	16.76	43.33	4.77
2002_02_17	144.7	174.07	217.43	49.96	0.5	15.4	45.04	4.75

3 transformatoriaus duomenys 1999 09 29 – 2001 12 27 laikotarpio;

5.5. lentelė. Trečiojo galios transformatoriaus duomenys

Galios TR AT-1	
Tipas	ATDCTNG-125000/330/10
Gamintojas	Zaporože
Pagaminimo metai	1964-01
Eksplotacijos pradžia	1965-01

5.6. lentelė. 3 transformatoriaus ištirpusių dujų duomenys. Pažymėti leistinų ribų viršijimai.

Matavimo data	H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O
1999_09_29	19.08	6.14	1.51	2.56	0	264.85	2169.79	5.37
1999_11_30	16.59	5.89	1.97	2.09	0	156.11	1406.87	4.61
2000_05_10	10.91	1.6	2.12	1.89	0.21	157.78	1351.98	11.61
2001_01_29	16.98	2.83	5.2	2.64	0	210.09	732.71	6.36
2001_12_13	397.15	686.72	938.99	449.11	0.15	200.19	1511.02	9.69
2001_12_20	245.45	418.53	592.36	248.86	0.15	89.48	999.31	9.69
2001_12_27	215.84	307.78	452.71	218.89	0	86.48	889.46	9.92

Pagal 3.1 lentelę “Leidžiamosios izoliacinėje alyvoje ištirpusių dujų koncentracijos“ nustatyta kurių dujų leistinosios koncentracijų ribos viršytos. Lentelėse 5.2, 5.4, 5.6 pažymėti matavimai ir dujos, kurių koncentracijų ribos viršijo leistinąsias ribas.

Pirmajame galios transformatoriuje atlikti 24 matavimai, 7 kartus nustatytas vandenilio bei 17 kartų etano dujų leistinų koncentracijų viršijimai.

Antrajame galios transformatoriuje atliktas 21 matavimas. 20 matavimų viršyta vandenilio dujų leistinoji riba, kartais užfiksuota net penkis kartus didesnės koncentracijos nei leidžiama. 19 matavimų viršytos metano ir etileno leistinos koncentracijų ribos. 4 matavimus viršyta ir etano leistina koncentracinė riba.

Trečiajame galios transformatoriuje atlikti 7 matavimai. 3 matavimuose nustatytas vandenilio, metano, metileno ir etano leistinųjų ribų viršijimas.

Visuose galios transformatoriuose nenustatyta acetileno ar anglies oksidų leistinųjų koncentracijų ribų viršijimų.

5.7. lentelė. Ištirpusių dujų leistinųjų koncentracijų viršijimų duomenys

Galios transformatorius	Matavimų skaičius	Nustatyti dujų leistinų koncentracijų viršijimai, kartais. (procentinė dalis)						
		H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	CO	CO <sub>2</sub>
Pirmasis	24	7 (29,2)	-	-	17 (70,8)	-	-	-
Antrasis	21	20 (95,2)	19 (90,5)	19 (90,5)	4 (19)	-	-	-
Trečiasis	7	3 (42,8)	3 (42,8)	3 (42,8)	3 (42,8)	-	-	-

## 5.1 Pagrindinių dujų metodas

Pagal išsiskiriančias dujas ir jų dominavimą galima nustatyti transformatoriaus gedimus, todėl toliau pateikiami išsiskiriančių dujų ir gedimų sąryšiai.

Pagrindinių dujų metodu galima nustatyti 4 gedimus. Tyrimo rezultatai apie nustatytus transformatorių gedimus naudojant ištirpusių dujų metodą pateikti priede nr.2. Remiantis pagrindinių dujų metodu nustatyta, kad:

- Pirmajame transformatoriuje gedimų nerasta.
- Antrajame transformatoriuje galimas gedimas esant žemai temperatūrai alyvoje.
- Trečiajame transformatoriuje galimas gedimas esant žemai temperatūrai alyvoje.

## 5.2. IEEE C57.104-1991 metodas

Atliekamas tyrimas, taikant IEEE C57.104-1991 metodą pagal 3.2 skyriuje pateiktą metodo taikymo principą. Išsamesni duomenys apie nustatytus transformatorių gedimus naudojant IEEE C57.104-1991 metodą pateikti priede nr.3

Naudojantis IEEE C57.104-1991 metodu, nustatyta, kad:

- pirmajame transformatoriuje galimi dalinio išlydžio ir perkaitimo gedimai, dalinio išlydžio gedimas dominuojantis.
- Antrajame transformatoriuje galimi dalinio išlydžio, elektros lanko išlydžio ir perkaitimo gedimai, dalinio išlydžio gedimas dominuojantis.
- Trečiajame transformatoriuje gedimų nerasta.

## 5.3. Rogerso metodas

Atliekamas tyrimas, taikant Rogerso metodą pagal 3.2 skyriuje pateiktą metodo taikymo principą. Išsamesni duomenys apie nustatytus transformatorių gedimus naudojant Rogerso metodą pateikti priede nr.4

Atlikus IDA Rogerso metodu, nustatyta, kad:

- pirmajame transformatoriuje galimas kibirkščiavimo be perdengimo gedimas.
- Antrajame transformatoriuje galimas dalinių išlydžių gedimas
- Trečiajame transformatoriuje galimas kibirkščiavimo be perdengimo ir elektros lanko išlydžio gedimai. Kibirkščiavimo be perdengimo dominuojantis gedimas.



#### 5.4. IEC 60599:1999 metodas

Atliekamas tyrimas, taikant IEC 60599:1999 metodą pagal 3.2 skyriuje pateiktą metodo taikymo principą. Išsamesni duomenys apie nustatytus transformatorių gedimus naudojant IEC 60599:1999 metodą pateikti priede nr.5. Naudojantis IEC 60599:1999 metodu, nustatyta, kad:

- pirmajame transformatoriuje galimas dalinis išlydis mažos energijos gedimas.
- Antrajame transformatoriuje galimi gedimai: dalinis išlydis mažos energijos gedimas, mažos energijos elektros lanko išlydis, didelės energijos elektros lanko išlydis, perkaitimas ( $>700^{\circ}\text{C}$ ). Perkaitimo gedimas dominuojantis.
- Trečiajame transformatoriuje galimi gedimai: perkaitimas ( $<150^{\circ}\text{C}$ ), perkaitimas ( $300\text{--}700^{\circ}\text{C}$ ), perkaitimas ( $>700^{\circ}\text{C}$ ). Perkaitimo ( $300\text{--}700^{\circ}\text{C}$ ) gedimas dominuojantis.

#### 5.5. Duvalio trikampis

Atliekamas tyrimas, taikant Duvalio trikampį pagal 3.2 skyriuje pateiktą metodo taikymo principą. Išsamesni duomenys apie nustatytus transformatorių gedimus naudojant Duvalio trikampio metodą pateikti priede nr.6

- Naudojantis Duvalio trikampio metodu pirmajame transformatoriuje rasti gedimai: perkaitimas ( $T < 300^{\circ}\text{C}$ ), perkaitimas ( $300^{\circ} < T < 700^{\circ}\text{C}$ ). Perkaitimas ( $300^{\circ} < T < 700^{\circ}\text{C}$ ) gedimas dominuojantis.
- Antrajame transformatoriuje rastas perkaitimo ( $T > 700^{\circ}\text{C}$ ) gedimas.
- Trečiajame transformatoriuje rasti gedimai: perkaitimas ( $T > 700^{\circ}\text{C}$ ), perkaitimas ( $300^{\circ} < T < 700^{\circ}\text{C}$ ). Perkaitimas ( $T > 700^{\circ}\text{C}$ ) gedimas dominuojantis.

#### 5.6. Doernenbergo metodas

Atliekamas tyrimas, taikant Doernenbergo metodą pagal 3.2 skyriuje pateiktą metodo taikymo principą. Išsamesni duomenys apie nustatytus transformatorių gedimus naudojant Doernenbergo metodą pateikti priede nr.6. Naudojantis Doernenbergo metodu, nustatyta, kad:

- pirmajame transformatoriuje gedimų nerasta.
- Antrajame transformatoriuje rastas dalinių išlydžių gedimas.
- Trečiajame transformatoriuje gedimų nerasta.

## 5.7. Tradicinių ištirpusių dujų analizės metodų rezultatai

Atlikus transformatorių galimų gedimų analizę, nustatyta, kad naudojant kurį nors vieną iš tradicinių IDA metodų, yra sudėtinga nusakyti galimą įrenginio gedimą, nes dauguma metodų yra sukurti gana seniai, kai technologijos nebuvo tokios pažangios. Esami metodai nustato skirtingus gedimus, vienuose metoduose gedimai yra išskaidyti į keletą smulkesnių gedimų ir yra konkretesni. Todėl tiriant transformatorių gedimus patartina naudoti keletą skirtingų metodų. Apibendrinti tyrimo duomenys pateikti 5.8 lentelėje.

5.8 lentelė. Tradicinių IDA metodų rezultatai

Metodas	Galimų gedimų skaičius	Rastų gedimų skaičius	Matavimų skaičius kuriuose rasta gedimų
Pagrindinių dujų	4	1	5
IEEE C57.104-1991	3	3	39
Rogerso	12	3	17
IEC 60599:1999	9	7	38
Duvalio	6	3	57
Doernenbergo	3	1	1

Buvo atliktas pirmojo galios transformatoriaus realus tikrinimas, kurį sudarė išorės apžiūra, magnetolaidžio izoliacijos varžos bandymai, CO/CO<sub>2</sub> ir CH<sub>4</sub>/C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> santykių matavimai, išmatuotos ominės varžos. Transformatoriaus patikros metu pastebėti alyvos pratekėjimai per aušintuvo sklendės sandarinimą; nustatytas terminis kaitimas, kur T<300°C; rasta nepakankamai užveržta varinė smeigė, dėl kurios buvo 400 proc. skirtumas 10kV apvijoje. Šiam įrenginiui buvo paveržtas riebokšlis, prisukta atsilaisvinusi smeigė.

Atliekant antrojo galios transformatoriaus tikrinimą jį sudarė išorinė apžiūra, izoliacijų ir transformatoriaus aktyvinės dalies tikrinimai, ištirpusių dujų analizė. Atlikus ištirpusių dujų analizę nustatytas ženkliai viršytas leistinas dujų kiekis alyvoje: H<sub>2</sub> – 20,7 karto, to priežastis – neužveržtas ant izoliacinės juostos kontaktas.

Naudojant tradicinius ištirpusių dujų analizės metodus trečiajame transformatoriuje buvo nustatytas dominuojantis perkaitimo gedimas. Pagrindinių dujų metodu nustatytas perkaitimas, kur T<300°C; IEC 60599:1999 – perkaitimas, kur 300°<T<700°C; Duvalio trikampio – T>700°C. Daroma prielaida, kad gedimas yra perkaitimas, kur 300°<T<700°C. Šiam gedimui atsirasti yra keletas priežasčių: perkrova, svetimkūniai atsiradę įrenginio viduje, izoliacijos gedimai, parinkta per maža nominali galia.

Nustatyti šie dominuojantys gedimai galios transformatoriuose:

1 galios transformatorius:

- dalinis išlydis;
- perkaitimas  $300^{\circ} < T < 700^{\circ}\text{C}$ .

2 galios transformatorius:

- dalinis išlydis;
- dalinis elektros lanko išlydis.

3 galios transformatorius:

- perkaitimas  $300^{\circ} < T < 700^{\circ}\text{C}$ ;
- perkaitimas  $T > 700^{\circ}\text{C}$ ;
- popierinės izoliacijos gedimas.

5.9 lentelė. Pirmojo transformatoriaus gedimai

Eil. Nr.	IDA metodas	Nustatyti gedimai	Realūs gedimai
1.	Pagrindinių dujų	Gedimų nerasta	Alyvos pratekėjimas
2.	IEEE C57.104-1991	Dalinis išlydis	Perkaitimas $T < 300^{\circ}\text{C}$
		Perkaitimo gedimas	Atlaisvėjęs dalys
3.	Rogerso	Kibirkščiavimas be perdengimo	
4.	IEC 60599:1999	Mažos energijos dalinis išlydis	
5.	Duvalio	Perkaitimas ( $T < 300^{\circ}\text{C}$ )	
		Perkaitimas ( $300^{\circ} < T < 700^{\circ}\text{C}$ )	
6.	Doernenbergo	Gedimų nerasta	

5.10 lentelė. Antrojo transformatoriaus gedimai

Eil. Nr.	IDA metodas	Nustatyti gedimai	Realūs gedimai
1.	Pagrindinių dujų	Gedimas esant žemai temp. alyvoje	Neužveržtas kontaktas
2.	IEEE C57.104-1991	Dalinis išlydis	
		Elektros lanko išlydis	
		Perkaitimas	
3.	Rogerso	Dalinis išlydis	
4.	IEC 60599:1999	Mažos energijos dalinis išlydis	
		Mažos energijos elektros lanko išlydis	
		Didelės energijos elektros lanko išlydis	
		Perkaitimas ( $T > 700^{\circ}\text{C}$ )	
5.	Duvalio	Perkaitimas ( $T > 700^{\circ}\text{C}$ )	
6.	Doernenbergo	Dalinis išlydis	

5.11 lentelė. Trečiojo transformatoriaus gedimai

Eil. Nr.	IDA metodas	Nustatyti gedimai	Realūs gedimai
1.	Pagrindinių dujų	Gedimas esant žemai temp. alyvoje	Perkaitimas $300^{\circ} < T < 700^{\circ}C$
2.	IEEE C57.104-1991	Gedimų nerasta	
3.	Rogerso	Kibirkščiavimas be perdengimo Elektros lanko išlydis	
4.	IEC 60599:1999	Perkaitimas ( $T < 150^{\circ}C$ ), Perkaitimas ( $300 < T < 700^{\circ}C$ ) Perkaitimas ( $T > 700^{\circ}C$ )	
5.	Duvalio	Perkaitimas ( $T > 700^{\circ}C$ ) Perkaitimas ( $300^{\circ} < T < 700^{\circ}C$ )	
6.	Doernenbergo	Gedimų nerasta	

Apibendrinant tradicinius ištirpusių dujų analizės metodus ir realiai nustatytus galios transformatorių gedimus galima daryti išvadą: apjungus keletą skirtingų IDA metodų ir interpretuojant duomenis galima nustatyti daugiau gedimų, o tikslesnei prognozei atlikti reikalinga taikyti intelektinius metodus.

## 6. DIRBTINIAI NEURONŲ TINKLAI

Kadangi dirbtinių neuronų tinklai geriausiai tinka paslėptų šablonų, bei tendencijų identifikavimui, uždavinių kurie neturi žinomo algoritmo sprendimui, jie puikiai tinka galios transformatorių gedimų prognozavimui ir nustatymui. Tobulinant ir vis apmokant DNT naujais duomenimis galima sukurti priemonę, kuri tiksliai prognozuoja gedimus dar ankstyvoje stadijoje. Sukūrus tikslų DNT juo nėra sunku naudotis, užtenka įvesti galios transformatoriaus duomenis, rodiklius ir gausime rezultata- besiformuojančius gedimus.

Šių sistemų panaudojimas su tradiciniais metodais, leidžia išvengti netikėtų pavojingų gedimų ir sunkių sisteminių pasekmių, palengvina remontų planavimą bei sumažina bendrąsias pastočių įrenginių eksploatavimo išlaidas. [20]

### 6.1. Dirbtinių neuronų tinklo kūrimas MATLAB programa

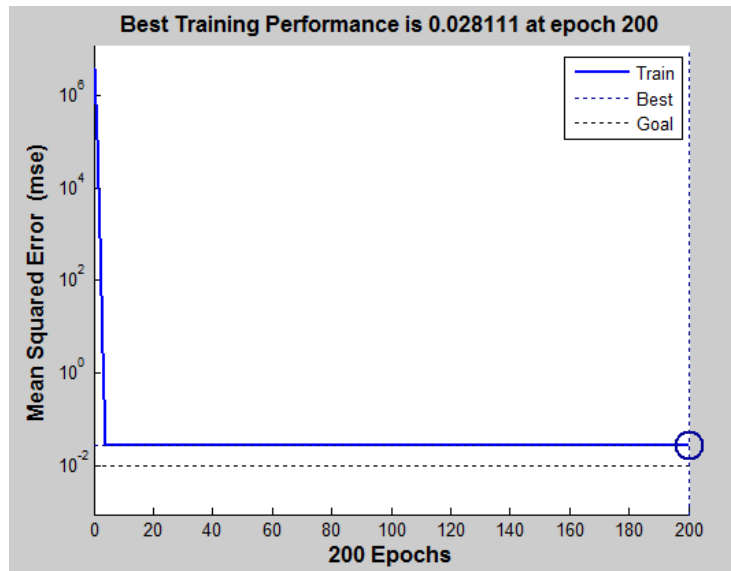
Atliekamas tyrimas naudojant MATLAB programą, siekiant sužinoti kokie dirbtinių neuronų tinklo parametrai yra tinkamiausi kuriant efektyvų tinklą, skirtą gedimų prognozavimui. Geriausių parametru paieška vyksta eksperimentiniu būdu, keičiant mokymo epochų skaičių (MES), užsiduotą vidutinę kvadratinę paklaidą (VKP), neuronų perdavimo funkcijas (NPF), vidinių neuronų sluoksnių skaičių (NSS), ištirpusių dujų koncentracijų ribas (IDKR). Siekiamas rezultatas – kuo mažesnė vidutinė kvadratinė paklaida, kuri nusako dirbtinių neuronų tinklo rezultatų tikslumą.

Tyrimas suskirstomas į penkis etapus, skaičius atitinka keičiamų parametru skaičių. Pasirenkami pradiniai parametrai: mokymo epochų skaičius 200; vidutinė kvadratinė paklaida 0,01; neuronų perdavimo funkcijos tiesinė ir tiesinė; vidinių neuronų sluoksnių skaičius 20 ir 7; ištirpusių dujų koncentracijų ribos pasirenkamos pagal 3.1 lentelę : 100 100 10 100 50 500 4000 25.

6.1 lentelė. Dirbtinių neuronų tinklo parametrai

MES	VKP	NPF	NSS	IDKR
200	0,01	Tiesinė – tiesinė	20 – 7	100 100 10 100 50 500 4000 25

Su šiais pradiniais duomenimis neuronų tinklas apsimokina iki 0,028111 vidutinės kvadratinės paklaidos, toks rezultatas netenkina nes jo reikšmė didesnė už 0,01.

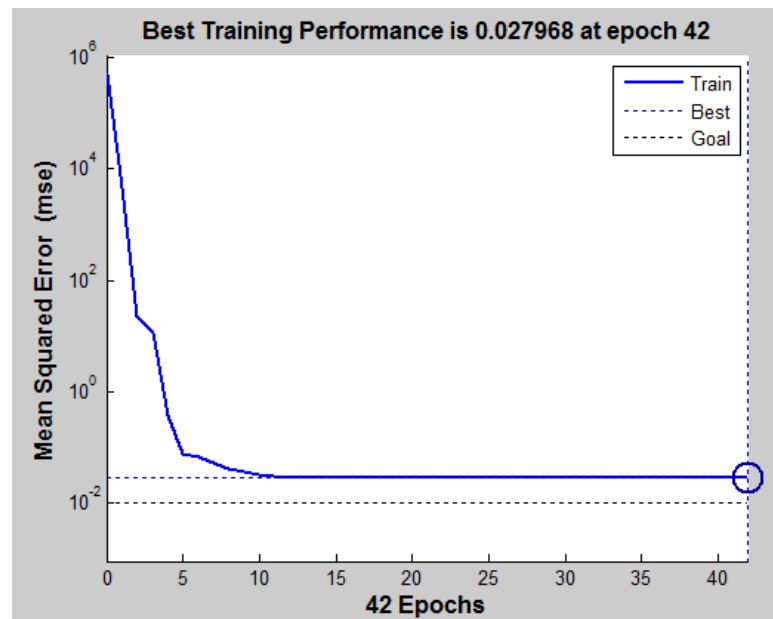


6.1 pav. DNT mokymas prieš tyrimą

1 etapas mokymo epochų skaičius. Didinant mokymo epochų skaičių rezultatas gerėja, tačiau pasiekus 950 VKP reikšmė yra 0,027968 ir toliau didinant epochų skaičių VKP reikšmė nebesikeičia.

6.2 lentelė. Dirbtinių neuronų tinklo parametrai po pirmo etapo

MES	VKP	NPF	NSS	IDKR
<b>950</b>	0,01	Tiesinė – tiesinė	20 – 7	100 100 10 100 50 500 4000 25



6.2 pav. DNT mokymas po pirmo etapo

2 etapas vidutinė kvadratinė paklaida. Sumažinus VKP reikšmę iki 0,001 rezultatai nesikeičia ir galima teigti, kad paklaidos mažinimas neįtakoja rezultatų.

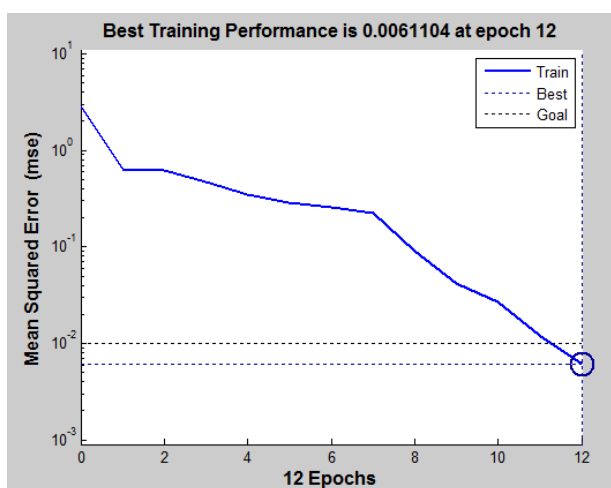
6.3 lentelė. Dirbtinių neuronų tinklo parametrai po antro etapo

MES	VKP	NPF	NSS	IDKR
950	0,01	Tiesinė – tiesinė	20 – 7	100 100 10 100 50 500 4000 25

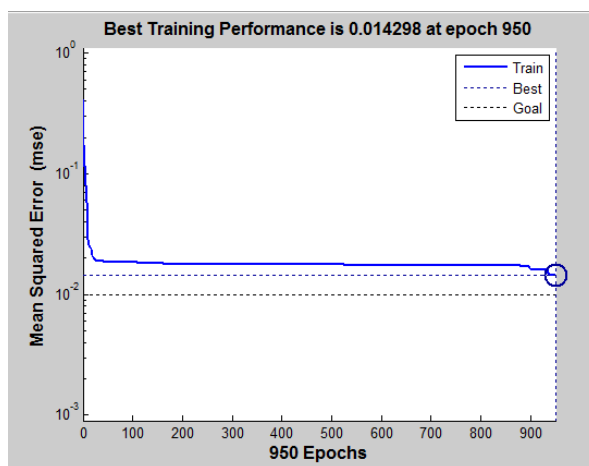
3 etapas neuronų perdavimo funkcijos. Sudaromos tokios perdavimo funkcijų variacijos: sigmoidinė-tiesinė; sigmoidinė – sigmoidinė; tiesinė – sigmoidinė. Geriausias rezultatas VKP – 0,0061104 pasiekimas su sigmoidinė – tiesinė variacija. Tyrimą su MATLAB programa būtų galima baigti šiame etape nes  $0,0061104 < 0,01$ . Vykdam kitus etapus galima išsiaiškinti kaip kiti parametrai įtakoja vidutinę kvadratinę paklaidą.

6.4 lentelė. Dirbtinių neuronų tinklo parametrai po trečio etapo

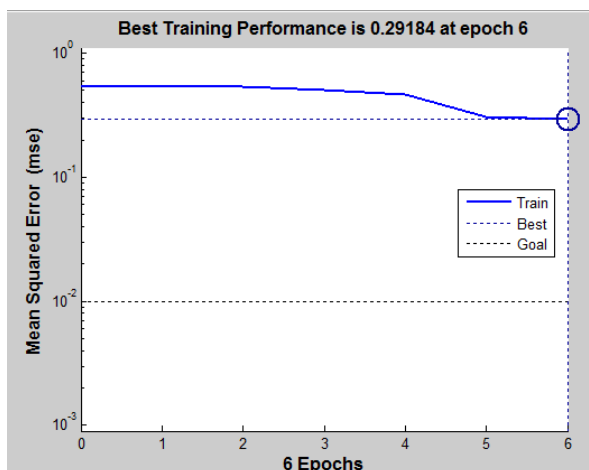
MES	VKP	NPF	NSS	IDKR
950	0,01	<b>sigmoidinė – tiesinė</b>	20 – 7	100 100 10 100 50 500 4000 25



6.3 pav. DNT mokymas sigmoidinė – tiesinė neuronų perdavimo funkcija



6.4 pav. DNT mokymas sigmoidinė – sigmoidinė neuronų perdavimo funkcija

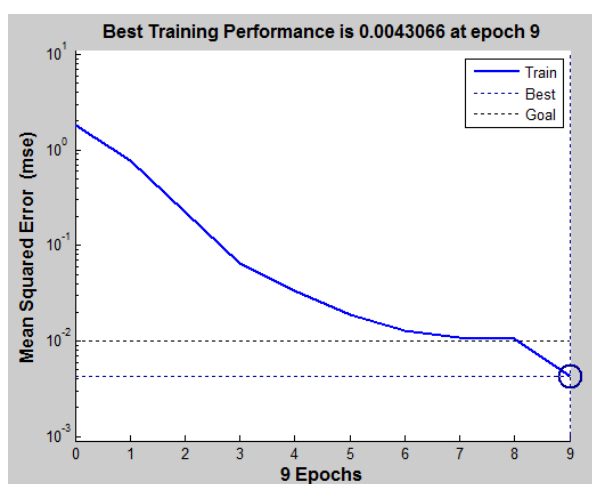


6.5 pav. DNT mokymas tiesinė – sigmoidinė neuronų perdavimo funkcija

4 etapas vidinių sluoksnių neuronų skaičius. Abiejų sluoksnių neuronų skaičių reikšmės didinamos ir mažinamos ieškant geriausios kombinacijos. Sumažinus pirmojo sluoksnio NSS reikšmę iki 10, gautas geriausias šio etapo rezultatas 0,0043066. Antrojo sluoksnio neuronų skaičiaus didinimas ar mažinimas tik blogina rezultatą.

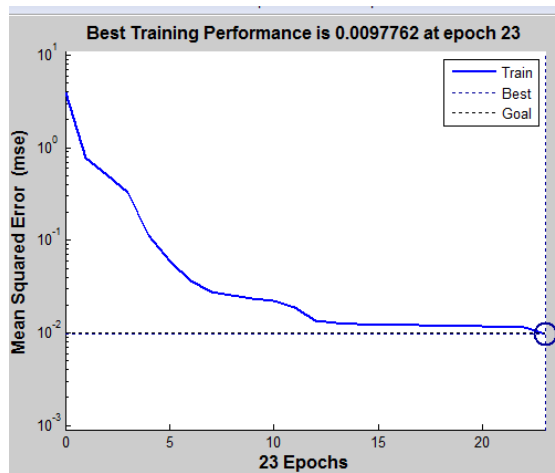
6.5 lentelė. Dirbtinių neuronų tinklo parametrai po ketvirto etapo

MES	VKP	NPF	NSS	IDKR
950	0,01	sigmoidinė – tiesinė	<b>10 – 7</b>	100 100 10 100 50 500 4000 25

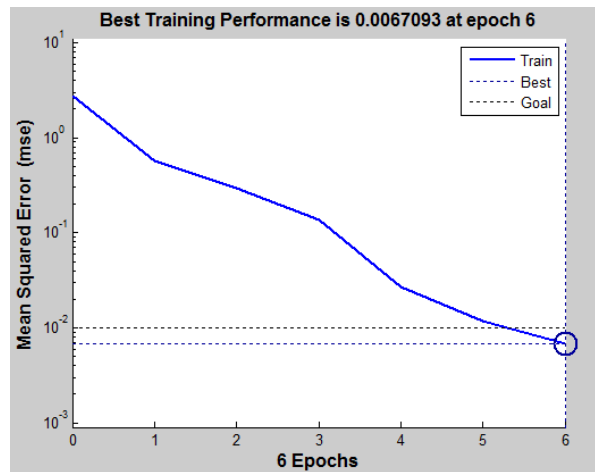


6.6 pav. DNT mokymas kai neuronų skaičius sluoksniuose 10 – 7





6.7 pav. DNT mokymas kai neuronų skaičius sluoksniuose 10 – 5

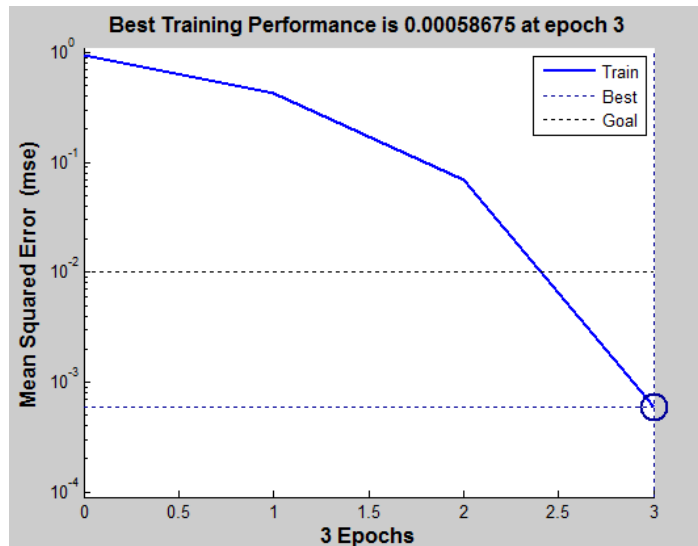


6.8 pav. DNT mokymas kai neuronų skaičius sluoksniuose 10 – 10

5 etapas įėjimo sluoksnių intervalai. Galios transformatoriui sugedus jo alyvoje gali ištirpti daug dujų ir jų leidžiama koncentracija bus viršyta keletą kartų. Tyrimui pasirenkamas tikrai retas variantas kai leidžiamosios koncentracijos viršijamos 10 kartų, tokiu atveju gaunama 0,00058675 VKP reikšmė.

6.6 lentelė. Dirbtinių neuronų tinklo parametrai po penkto etapo

MES	VKP	NPF	NSS	IDKR
950	0,01	sigmoidinė – tiesinė	10 – 7	<b>1000 1000 100 1000 500 5000 40000 250</b>

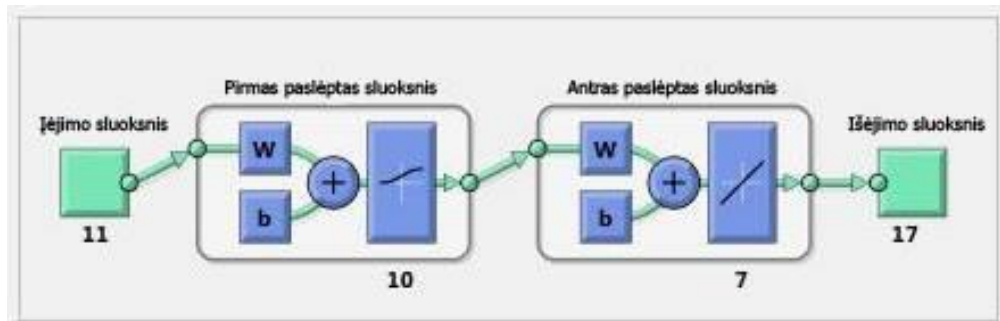


6.9 pav. DNT mokymas kai ištirpusių dujų koncentracijų ribos padidintos 10 kartų

Po penkto tyrimo etapo gauti dirbtinio tinklo parametrai yra su mažiausia vidutine kvadratine paklaida (0,00058675), tokia paklaida užtikrina gana tikslus rezultatus atliekant galios transformatorių gedimų prognozavimą.

## 6.2. Dirbtinių neuronų tinklų pritaikymas tyrimui

Galios transformatorių gedimų prognozavimo tyrimui pritaikomas dirbtinių neuronų tinklo modelis susidedantis iš įėjimo, paslėpto ir išėjimo sluoksnių. Įėjimų sluoksnyje įvedama 11 įėjimų (nurodyti lentelėje nr. 6.7) kuriuos sudaro alyvoje ištirpusių dujų koncentracijos ir kiti galios transformatoriaus duomenys. Išėjimų sluoksnyje įvedama 17 išėjimo variantų, šiuo atveju galimų gedimų (nurodyti lentelėje nr. 6.8)



6.10.pav. Dirbtinių neuronų tinklo modelio schema

6.7.lentelė. Galios transformatorių duomenys reikalingi įėjimo sluoksniui

Įėjimo sluoksnio reikšmės	Galios transformatoriaus numeris; duomenų data		
	1;(2001-03-05)	2;(2001-04-04)	3;(2001-01-29)
1. Alyvoje ištirpusių vandenilio H <sub>2</sub> dujų koncentracija;	58.92	479.29	16.98
2. Alyvoje ištirpusių acetileno C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> dujų koncentracija;	0.00	1.44	2.83
3. Alyvoje ištirpusių metano CH <sub>4</sub> dujų koncentracija;	17.89	201.6	5.2
4. Alyvoje ištirpusių etileno C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> dujų koncentracija;	9.87	265.85	2.64
5. Alyvoje ištirpusių etano C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> dujų koncentracija;	100.13	44.78	0
6. Alyvoje ištirpusių anglies oksido CO dujų koncentracija ;	64.30	18.27	210.09
7. Alyvoje ištirpusių anglies dioksido CO <sub>2</sub> dujų koncentracija;	583.56	27.57	732.71
8. Įrenginio modelis;	OBU-125/510	ANER3E-125000/330PN	ATDCTNG-125000/330/10
9. Įrenginio galingumas;	125 MVA	125 MVA	125 MVA
10. Įrenginio eksploatacijos pradžia;	1998_03	2000_11	1964-01
11. Alyvos tipas;	Nytro 10GBN	Nytro 10BN	-

Turint daugiau galios transformatorių duomenų, gautų periodinių patikrinimų metu, juos būtų galima taip pat įtraukti į prognozavimo procesą. Pagrindė reiktų dielektrinių nuostolių kampo  $\tan\alpha$ , drėgmės kiekio izoliacijoje  $K_{abs}$ , apvijos izoliacijos varžos  $R_{iz}$ , izoliacijos talpumo  $C_{iz}$ , dirbtiniai išlydžiai DI duomenų. Būtent šie duomenys patikslintų rezultatus, kadangi dauguma galios transformatorių gedimų prasideda nuo izoliacijų nusidėvėjimo ar pažeidimo.

6.8. lentelė. Išėjimo sluoksnyje galimi ir gauti gedimai

Išėjimo sluoksnio galimi rezultatai:	1-ojo galios Tr. gauti gedimai	2-ojo galios Tr. gauti gedimai	3-ojo galios Tr. gauti gedimai
1. Dalinis išlydis;		+	
2. Popierinės izoliacijos gedimas;			
3. Pagrindinio Laidininko perkaitimas;			
4. Apvijų sukūrinės srovės;			
5. Magnetolaidžio ir bako sukūrinės srovės arba jungčių perkaitimas;			

6. Kibirkščiavimas be perdengimo;			
7. Daliniai išlydžiai su slystančiaja iškrova;			
8. Pastovus kibirkščiavimas;			
9. Elektros lanko išlydis su perdengimais;			
10. Dalinis išlydis mažos energijos;			
11. Dalinis išlydis didelės energijos;			
12. Mažos energijos elektros lanko išlydis;			
13. Didelės energijos elektros lanko išlydis;			
14. Perkaitimas (< 150°C);			
15. Perkaitimas (150–300°C) ;			
16. Perkaitimas (300–700°C);	+		+
17. Perkaitimas (>700°C) .			

Norint sukurti veiksmingą dirbtinių neuronų tinklą, kuris gebėtų be didelių paklaidų prognozuoti galios transformatorių gedimus, reikia surinkti kiek įmanoma didesnę duomenų bazę su alyvoje ištirpusių dujų kiekiais, izoliacijos tyrimų rezultatais ir kitais įrenginių duomenimis. Reikėtų analizuoti kiekvieno įrenginio visų bandymų duomenis, kaip kito alyvoje ištirpusių dujų koncentracijos, kokiais tempais blogėjo izoliacijos savybės ir galiausiai koks buvo gedimas. Turint tokią duomenų bazę galima produktyviai prognozuoti gresiančius gedimus, po kiekvieno įrenginio bandymo į dirbtinių neuronų tinklo įėjimo sluoksnį įvesti galios transformatoriaus duomenis, bandymų rezultatus. Paslėptuose sluoksniuose vyktų informacijos apdorojimas, atitikmenų ieškojimas su turimais pavyzdžiais, tarkime kiekvieno tikrinimo metu galios transformatoriuje X pastebimas etano ir anglies oksido koncentracijų alyvoje augimas. Dirbtinių neuronų tinklas remdamasis duomenų baze, radęs panašumų su jau sugedusio galios transformatoriaus Y duomenimis gali prognozuoti įrenginiui X gresiančius gedimus. Kuo anksčiau būtų prognozuotas gedimas, tuo lengviau ir pigiau galima užkirsti kelią jo atsiradimui.

## IŠVADOS

- Atlikus literatūros analizę galima teigti, kad galios transformatorius yra vienas iš pagrindinių elementų užtikrinantis tinkamą elektros energijos sistemos darbą – tiekti elektros energiją vartotojams. Įranga tikrinama periodiškai ar kartu su kompleksiniais patikrinimais, ir esant reikalui remontuojama. Dažniausios gedimų priežastys tai savaiminis įrangos nusidevėjimas, prastas gamyklinis surinkimas ar montavimo klaidos. Taip pat poveikį daro ir išoriniai veiksniai, gamtos gaivalai ar vandalizmas. Gedimams pastebėti naudojama daug priemonių, nuo paprasčiausios vizualinės apžiūros iki intelektinių programų.

Apibendrinant tradicinius gedimų nustatymų metodus, diagnostika pradedama nuo elementariausių priemonių kaip termovizija ir baigiama transformatorinės alyvos analize, kurios metu naudojant chromatografiją yra nustatomos ištirpusių dujų koncentracijos.

- Tradicinių ištirpusių dujų analizės metodų tyrimui naudojami trijų autotransformatorių duomenys: alyvoje ištirpusių dujų koncentracijos, realūs gedimai, kiti techniniai duomenys. 5 skyriuje apskaičiuota kokius gedimus pagal turimas ištirpusių dujų koncentracijas, nustato tradiciniai ištirpusių dujų analizės metodai. Pirmojo galios transformatoriaus gedimą bent apytiksliai nustatė 3 iš 6 metodų (50%); antrojo 3 iš 6 metodų (50%); trečiojo 2 iš 6 metodų (33,33%).

Apjungus keletą skirtingų ištirpusių dujų analizės metodų ir interpretuojant duomenis galima nustatyti gedimus, tačiau tikslesnei prognozei atlikti reikalinga taikyti intelektinius metodus.

- Atlikus tyrimą naudojant MATLAB programą sudarytas dirbtinių neuronų tinklas. Jo įėjimų sluoksnį sudaro 11 įėjimų, pirmasis paslėptas sluoksnis turi 10 neuronų, antrasis 7, išėjimo sluoksnį sudaro 17 galimų išėjimų. Tyrimui buvo užsiduota 0.01 vidutinė kvadratinė paklaida kuri pasiekta parinkus 950 apmokymo epochų ir parinkus sigmoidinę – tiesinę neuronų perdavimo funkciją. Dar tikslesni rezultatai gauti parinkus paslėptų sluoksnių neuronų kiekius, atitinkamai 10 – 7. Taip pat rezultatą gerina 10 kartų padidintos didžiausios leistinos ištirpusių dujų koncentracijos. Pasiiekta 0,00058675 vidutinė kvadratinė paklaida.

## LITERATŪRA

1. Lietuvos respublikos energetikos ministras įsakymas dėl elektros įrenginių bandymų normų ir apimties aprašo patvirtinimo. 2016 m. spalio 26 d. Nr. 1-281. Vilnius
2. Elektros įrenginių gedimų įvertinimo ištirpusių dujų analizės metodu efektyvumo tyrimas. Birutė Linkevičiūtė, Algimantas Navickas
3. Application of Kalman filter in power plant Yiwen Xiao, a , Jiangwen Xiao, Jing Wu , Jun Li , Chun Chen
4. Algorithm for Power Transformer Diagnostics. Nitin K. Dhote, Jagdish B. Helonde
5. <http://www.zodziai.lt/reiksme&word=Chromatografija&wid=3449>
6. Chromatografijos metodai ir jų taikymas. Sofija Sasnauskienė, Regina Firantienė, Valerija Jablonskienė.
7. [http://www.technopolis.lt/lt/dirbtinisintelektas/ziniubaze/pagrindiniai\\_metodai/dirbtiniai\\_neuro\\_niniai\\_tinklai\\_dnt/](http://www.technopolis.lt/lt/dirbtinisintelektas/ziniubaze/pagrindiniai_metodai/dirbtiniai_neuro_niniai_tinklai_dnt/)
8. Intelektualus duomenų analizės metodas virtualaus komandinio darbo vertinimui Sandra Strigūnaitė, Dalia Krikščiūnienė, Vilnius
9. Neraiškių sistemų panaudojimas elektros energetikoje. Antanas Nemura, 2007
10. Keleto įėjimų keleto išėjimų sistemos valdymas neraiškios logikos reguliatoriumi. Gediminas Liaučius, Kaunas
11. Genetic Algorithm-Based Variable Translation Wavelet Neural Network and its Application. S.H. Ling. 2005 Kanada
12. Design of wavelet neural networks using the GA approach for function approximation and system identification S.T. Tzeng
13. Fault diagnosis of power transformers using multi-class least square support vector machines classifiers with particle swarm optimisation H.B. Zheng<sup>1</sup> R.J. Liao<sup>1</sup> S. Grzybowski L.J. Yang
14. Fault Diagnosis of Oil-Immersed Transformers Using Self-Organization Antibody Network and Immune Operator. Liwei Zhang
15. <https://lt.wikipedia.org/wiki/Transformatorius>
14. Dujų chromatografijos analizės metodų pritaikymas metanolio gamybos kontrolei. Daiva Gulevskaja

16. Elektrotechnikos pagrindai. Valentinas Zaveckas
17. Elektros energetika, paskaitų konspektas. Gytis Svinkūnas
- 19 [http://www.electricenergyonline.com/show\\_article.php?mag=110&article=913](http://www.electricenergyonline.com/show_article.php?mag=110&article=913)
20. Dirbtinių neuronų tinklų modeliai galios transformatorių gedimų prognozavimui  
Birutė LINKEVIČIŪTĖ, Algimantas NAVICKAS, Gytis SVINKŪNAS  
Elektros sistemų katedra, Kauno technologijos universitetas 2007
21. Neuroniniai tinklai. Šarūnas Stanskis. KAUNAS, 2013
22. Edvinas Bernotas .Finansinių ir fizinių procesų prognozavimo modelių tyrimas ir taikymas.  
Kaunas 2009

## PRIEDAI

### Priedas nr.1 Nustatyti gedimai naudojant pagrindinių dujų metoda

2.1 lentelė. Nustatyti 1 transformatoriaus gedimai naudojant pagrindinių dujų metoda

Matavimo data	Ištirpusių dujų koncentracija procentais						Gedimas
	H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	CO	
1999_05_13	15,3	11,4	3,3	20,4	0,0	49,6	
1999_11_11	19,0	11,1	2,9	27,6	0,0	39,4	
2000_03_15	18,4	9,7	4,1	33,0	0,0	34,9	
2000_06_27	28,2	9,8	3,2	36,1	0,0	22,7	
2000_07_12	38,0	8,5	3,2	31,9	0,0	18,4	
2000_08_25	36,8	6,2	2,6	34,3	0,0	20,2	
2000_10_09	34,4	6,9	2,7	32,1	0,0	23,9	
2000_11_10	34,7	7,0	3,1	30,5	0,0	24,7	
2001_01_17	26,0	6,1	3,5	43,0	0,0	21,3	
2001_01_29	26,0	7,6	3,8	40,9	0,0	21,7	
2001_03_05	23,5	7,1	3,9	39,9	0,0	25,6	
2001_05_28	25,1	5,1	3,1	48,4	0,0	18,3	
2001_10_23	41,0	5,1	2,2	30,6	0,0	21,1	
2002_02_27	27,1	5,1	2,9	42,6	0,0	22,4	
2002_04_02	35,9	4,6	2,4	35,1	0,0	22,0	
2002_05_06	29,6	5,1	2,5	36,4	0,0	26,4	
2002_12_10	52,7	2,7	1,7	26,9	0,0	16,0	
2003_03_04	0,0	6,8	3,5	40,4	0,0	49,3	
2003_10_06	0,0	8,1	1,4	16,1	0,0	74,3	
2003_12_03	58,8	3,5	1,7	7,1	0,0	28,8	
2004_04_01	45,5	4,2	3,4	10,1	0,0	36,7	
2004_08_23	0,0	7,9	2,1	20,0	0,0	70,0	
2004_10_08	10,3	6,6	2,0	18,4	0,0	62,7	
2004_11_03	11,0	6,4	2,2	19,4	0,0	61,0	



2.2 lentelė. Nustatyti 2 transformatoriaus gedimai naudojant pagrindinių dujų metoda

Matavimo data.	Ištirpusių dujų koncentracija procentais						Gedimas
	H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	CO	
2000_11_10	0,0	0,0	1,6	0,0		98,4	Š1
2000_12_05	48,7	18,1	28,6	4,1	0,5	0,0	
2001_01_24	0,0	40,2	50,6	8,6	0,5	0,0	
2001_01_29	53,4	17,7	24,1	3,8	0,3	0,7	
2001_01_31	52,7	18,0	24,4	3,9	0,2	0,8	
2001_02_05	48,7	19,2	26,6	4,3	0,2	1,0	
2001_02_12	42,3	22,4	28,7	4,5	0,2	1,8	
2001_02_20	44,3	20,3	28,8	4,7	0,3	1,6	
2001_03_06	46,7	20,5	26,5	4,4	0,2	1,6	
2001_03_12	47,5	18,9	27,2	4,5	0,2	1,7	
2001_03_26	50,8	18,8	24,5	4,1	0,2	1,6	
2001_04_04	47,4	19,9	26,3	4,4	0,1	1,8	
2001_04_25	45,6	20,4	27,4	4,7	0,2	1,7	
2001_05_07	40,7	22,6	29,8	5,1	0,0	1,9	
2001_05_07	43,4	19,7	31,5	4,5	0,0	1,0	
2001_05_28	41,7	22,2	29,3	5,0	0,0	1,9	
2001_07_17	37,2	23,1	30,9	6,4	0,0	2,4	
2001_10_23	28,7	26,7	34,2	7,5	0,1	2,7	
2002_01_17	19,8	30,3	38,5	8,8	0,1	2,5	
2002_02_17	24,1	28,8	36,1	8,3	0,1	2,7	
2002_02_17	24,0	28,9	36,1	8,3	0,1	2,6	

Š1- Gedimas esant žemai temperatūrai alyvoje

2.3 lentelė. Nustatyti 3 transformatoriaus gedimai naudojant pagrindinių dujų metoda

Matavimo data	Ištirpusių dujų koncentracija procentais						Gedimas
	H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	CO	
1999_09_29	6,5	2,1	0,5	0,9	0,0	90,0	Š1
1999_11_30	9,1	3,2	1,1	1,1	0,0	85,5	Š1
2000_05_10	6,3	0,9	1,2	1,1	0,1	90,4	Š1
2001_01_29	7,1	1,2	2,2	1,1	0,0	88,4	Š1
2001_12_13	14,9	25,7	35,1	16,8	0,0	7,5	
2001_12_20	15,4	26,2	37,1	15,6	0,0	5,6	
2001_12_27	16,8	24,0	35,3	17,1	0,0	6,7	

Š1- Gedimas esant žemai temperatūrai alyvoje

## Priedas nr.2 Nustatyti gedimai naudojant IEEE C57.104-1991\_metodą

3.1 lentelė. Nustatyti 1 transformatoriaus gedimai naudojant IEEE C57.104-1991\_metodą

Matavimo data	Ištirpusių dujų koncentracija, µl/l				Gedimas
	H <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	CO	
1999_05_13	37.21	8.08	0.00	120.91	
1999_11_11	30.53	4.72	0.00	63.51	
2000_03_15	27.14	6.01	0.00	51.59	
2000_06_27	52.18	5.89	0.00	42.04	DI
2000_07_12	90.03	7.56	0.00	43.48	DI
2000_08_25	93.89	6.66	0.00	51.54	DI
2000_10_09	97.00	7.57	0.00	67.40	DI
2000_11_10	105.57	9.38	0.00	75.30	DI
2001_01_17	76.33	10.33	0	62.4	DI
2001_01_29	61.44	9.02	0	51.25	DI
2001_03_05	58.92	9.87	0.00	64.30	
2001_05_28	43.63	5.37	0.00	31.78	DI
2001_10_23	117.4	6.31	0.00	60.41	DI
2002_02_27	72.41	7.77	0.00	59.91	DI
2002_04_02	118.39	7.81	0.00	72.57	DI
2002_05_06	102.91	8.61	0.00	91.76	DI
2002_12_10	135.33	4.35	0.00	41.10	DI
2003_03_04	0.00	1.42	0.00	20.29	DI
2003_10_06	0.00	2.88	0.00	157.23	Š
2003_12_03	249.00	7.24	0.00	122.03	DI
2004_04_01	182.91	13.60	0.00	147.41	DI
2004_08_23	0.00	8.48	0.00	287.37	Š
2004_10_08	40.15	7.98	0.00	245.34	
2004_11_03	45.74	9.24	0.00	253.20	

DI- dalinis išlydis; Š – perkaitimas.

3.2 lentelė. Nustatyti 2 transformatoriaus gedimai naudojant IEEE C57.104-1991 metoda

Matavimo data	Ištirpusių dujų koncentracija, µl/l				Gedimas
	H <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	CO	
2000_11_10	0	0.12	0	7.16	Š
2000_12_05	133.8	78.7	1.39	0.12	DI
2001_01_24		507	5.3		
2001_01_29	553.66	250.11	2.61	7	DI
2001_01_31	518.1	239.73	2.26	7.82	DI
2001_02_05	436.49	237.73	1.86	8.73	DI
2001_02_12	440.9	299.49	2.54	19.13	DI
2001_02_20	490.32	318.7	3.1	17.35	DI
2001_03_06	526.64	298.33	2.76	18.48	DI
2001_03_12	497.08	284.36	2	17.56	DI
2001_03_26	504.09	242.89	1.88	15.54	DI
2001_04_04	479.29	265.85	1.44	18.27	DI
2001_04_25	408.31	245.36	1.59	15.24	DI
2001_05_07	361.51	264.68	0	16.82	DI
2001_05_07	303.81	220.26	0	6.68	DI
2001_05_28	243.18	170.71	0	10.83	DI
2001_07_17	168.39	139.99	0	10.83	DI
2001_10_23	137.69	164.31	0.52	12.77	EI
2002_01_17	121.57	235.89	0.6	15.18	EI
2002_02_17	149.55	224.54	0.4	16.76	EI
2002_02_17	144.7	217.43	0.5	15.4	EI

DI- dalinis išlydis; Š – perkaitimas; EI – elektros lanko išlydis.

3.3 lentelė. Nustatyti 3 transformatoriaus gedimai naudojant IEEE C57.104-1991 metoda

Matavimo data	Ištirpusių dujų koncentracija, µl/l				Gedimas
	H <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	CO	
1999_09_29	19.08	1.51	0	264.85	
1999_11_30	16.59	1.97	0	156.11	
2000_05_10	10.91	2.12	0.21	157.78	
2001_01_29	16.98	5.2	0	210.09	
2001_12_13	397.15	938.99	0.15	200.19	
2001_12_20	245.45	592.36	0.15	89.48	
2001_12_27	215.84	452.71	0	86.48	

**Priedas nr.3 Nustatyti gedimai naudojant Rogerso metodą**

4.1 lentelė. Nustatyti 1 transformatoriaus gedimai naudojant Rogerso metodą

Matavimo data	CH <sub>4</sub> /H <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> /CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> /C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> /C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	Bendras kodas	Gedimas
1999_05_13	0,75	1,78	0,16	0	0101	-
1999_11_11	0,58	2,50	0,11	0	0101	-
2000_03_15	0,53	3,41	0,12	0	0101	-
2000_06_27	0,35	0,35	0,09	0	0001	KP
2000_07_12	0,22	0,22	0,10	0	0001	KP
2000_08_25	0,17	0,17	0,08	0	0001	KP
2000_10_09	0,20	0,20	0,08	0	0001	KP
2000_11_10	0,20	0,20	0,10	0	0001	KP
2001_01_17	0,24	0,24	0,08	0	0001	KP
2001_01_29	0,29	0,29	0,09	0	0001	KP
2001_03_05	0,30	0,30	0,10	0	0001	KP
2001_05_28	0,21	0,21	0,06	0	0001	KP
2001_10_23	0,12	0,12	0,07	0	0001	KP
2002_02_27	0,19	0,19	0,07	0	0001	KP
2002_04_02	0,13	0,13	0,07	0	0001	KP
2002_05_06	0,17	0,17	0,07	0	0001	KP
2002_12_10	0,05	0,05	0,06	0	5501	-
2003_03_04	0,00	0,00	0,09	0	5501	-
2003_10_06	0,00	0,00	0,08	0	5501	-
2003_12_03	0,06	0,06	0,24	0	5501	-
2004_04_01	0,09	2,39	0,33	0	5100	-
2004_08_23	0,00	2,55	0,10	0	5101	-
2004_10_08	0,65	2,77	0,11	0	0101	-
2004_11_03	0,58	3,05	0,11	0	0101	-

KP- kibirkščiavimas be perdengimo;

4.2 lentelė. Nustatyti 2 transformatoriaus gedimai naudojant Rogerso metodą

Matavimo data	CH <sub>4</sub> /H <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> /CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> /C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> /C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	Bendras kodas	Gedimas
2000_11_10	0,00	0,00	0,00	0,000	5001	DI
2000_12_05	0,37	0,23	7,04	0,018	0021	-
2001_01_24	0,00	0,21	5,90	0,010	5021	-
2001_01_29	0,33	0,21	6,35	0,010	0021	-
2001_01_31	0,34	0,21	6,32	0,009	0021	-
2001_02_05	0,39	0,22	6,21	0,008	0021	-
2001_02_12	0,53	0,20	6,33	0,008	0021	-
2001_02_20	0,46	0,23	6,13	0,010	0021	-
2001_03_06	0,44	0,22	5,99	0,009	0021	-
2001_03_12	0,40	0,24	5,98	0,007	0021	-
2001_03_26	0,37	0,22	5,99	0,008	0021	-
2001_04_04	0,42	0,22	5,94	0,005	0021	-
2001_04_25	0,45	0,23	5,80	0,006	0021	-
2001_05_07	0,55	0,23	5,81	0,000	0021	-
2001_05_07	0,45	0,23	6,98	0,000	0021	-
2001_05_28	0,53	0,22	5,90	0,000	0021	-
2001_07_17	0,62	0,28	4,84	0,000	0021	-
2001_10_23	0,93	0,28	4,54	0,003	0021	-
2002_01_17	1,53	0,29	4,37	0,003	1021	-
2002_02_17	1,20	0,29	4,38	0,002	1021	-
2002_02_17	1,20	0,29	4,35	0,002	1021	-

DI – dalinis išlydis su slystančiąja iškrova.

4.3 lentelė. Nustatyti 3 transformatoriaus gedimai naudojant Rogerso metodą

Matavimo data	CH <sub>4</sub> /H <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> /CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> /C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> /C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	Bendras kodas	Gedimas
1999_09_29	0,32	0,42	0,59	0,0000	0001	KP
1999_11_30	0,36	0,35	0,94	0,0000	0001	KP
2000_05_10	0,15	1,18	1,12	0,0991	0111	-
2001_01_29	0,17	0,93	1,97	0,0000	0011	EI
2001_12_13	1,73	0,65	3,77	0,0002	1011	-
2001_12_20	1,71	0,59	2,38	0,0003	1011	-
2001_12_27	1,43	0,71	2,07	0,0000	1011	-

KP - kibirkščiavimas be perdengimo; EI - elektros lanko išlydis su perdengimais.

#### Priedas nr.4 Nustatyti gedimai naudojant IEC 60599:1999 metodą

5.1 lentelė. Nustatyti 1 transformatoriaus gedimai naudojant IEC 60599:1999 metodą

Matavimo data	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> / C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	CH <sub>4</sub> / H <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> /C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	Bendras kodas	Gedimas
1999_05_13	0	0,75	0,16	000	N
1999_11_11	0	0,58	0,11	000	N
2000_03_15	0	0,53	0,12	000	N
2000_06_27	0	0,35	0,09	000	N
2000_07_12	0	0,22	0,10	000	N
2000_08_25	0	0,17	0,08	000	N
2000_10_09	0	0,20	0,08	000	N
2000_11_10	0	0,20	0,10	000	N
2001_01_17	0	0,24	0,08	000	N
2001_01_29	0	0,29	0,09	000	N
2001_03_05	0	0,30	0,10	000	N
2001_05_28	0	0,21	0,06	000	N
2001_10_23	0	0,12	0,07	000	N
2002_02_27	0	0,19	0,07	000	N
2002_04_02	0	0,13	0,07	000	N
2002_05_06	0	0,17	0,07	000	N
2002_12_10	0	0,05	0,06	010	DIM
2003_03_04	0	0,00	0,09	010	DIM
2003_10_06	0	0,00	0,08	010	DIM
2003_12_03	0	0,06	0,24	010	DIM
2004_04_01	0	0,09	0,33	010	DIM
2004_08_23	0	0,00	0,10	010	DIM
2004_10_08	0	0,65	0,11	000	N
2004_11_03	0	0,58	0,11	000	N

N- nėra gedimo; DIM- dalinis išlydis mažos energijos;

5.2 lentelė. Nustatyti 2 transformatoriaus gedimai naudojant IEC 60599:1999 metodą

Matavimo data	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> / C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	CH <sub>4</sub> / H <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> /C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	Bendras kodas	Gedimas
2000_11_10	0,000	0,00	0,00	010	DIM
2000_12_05	0,018	0,37	7,04	002	N
2001_01_24	0,010	0,00	5,90	112	N
2001_01_29	0,010	0,33	6,35	102	EIM/EID
2001_01_31	0,009	0,34	6,32	002	N
2001_02_05	0,008	0,39	6,21	002	N
2001_02_12	0,008	0,53	6,33	002	N
2001_02_20	0,010	0,46	6,13	102	EIM/EID
2001_03_06	0,009	0,44	5,99	002	N
2001_03_12	0,007	0,40	5,98	002	N
2001_03_26	0,008	0,37	5,99	002	N
2001_04_04	0,005	0,42	5,94	002	N
2001_04_25	0,006	0,45	5,80	002	N
2001_05_07	0,000	0,55	5,81	002	N
2001_05_07	0,000	0,45	6,98	002	N
2001_05_28	0,000	0,53	5,90	002	N
2001_07_17	0,000	0,62	4,84	002	N
2001_10_23	0,003	0,93	4,54	002	N
2002_01_17	0,003	1,53	4,37	022	Š3
2002_02_17	0,002	1,20	4,38	022	Š3
2002_02_17	0,002	1,20	4,35	022	Š3

N- nėra gedimo; DIM- dalinis išlydis mažos energijos; EIM - mažos energijos elektros lanko išlydis; EID - didelės energijos elektros lanko išlydis; Š3 - perkaitimas (>700°C).

5.3 lentelė. Nustatyti 3 transformatoriaus gedimai naudojant IEC 60599:1999 metodą

Matavimo data	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> / C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	CH <sub>4</sub> / H <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> /C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	Bendras kodas	Gedimas
1999_09_29	0,0000	0,32	0,59	000	N
1999_11_30	0,0000	0,36	0,94	000	N
2000_05_10	0,0991	0,15	1,12	001	Š
2001_01_29	0,0000	0,17	1,97	001	Š
2001_12_13	0,0002	1,73	3,77	022	Š3
2001_12_20	0,0003	1,71	2,38	021	Š2
2001_12_27	0,0000	1,43	2,07	021	Š2

N- nėra gedimo; Š - perkaitimas (< 150°C); Š2 - Perkaitimas (300–700°C); Š3 - perkaitimas (>700°C).

## Priedas nr.5 Nustatyti gedimai naudojant Duvalio metodą

6.1 lentelė. Nustatyti 1 transformatoriaus gedimai naudojant Duvalio metodą

Matavimo data	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> proc.	CH <sub>4</sub> proc.	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> proc.	Gedimas
1999_05_13	0	77,5	22,5	Š2
1999_11_11	0	79,0	21,0	Š2
2000_03_15	0	70,4	29,6	Š2
2000_06_27	0	75,6	24,4	Š2
2000_07_12	0	72,6	27,4	Š2
2000_08_25	0	70,2	29,8	Š2
2000_10_09	0	72,1	27,9	Š2
2000_11_10	0	69,5	30,5	Š2
2001_01_17	0	63,5	36,5	Š2
2001_01_29	0	66,7	33,3	Š2
2001_03_05	0	64,4	35,6	Š2
2001_05_28	0	62,5	37,5	Š2
2001_10_23	0	69,8	30,2	Š2
2002_02_27	0	63,7	36,3	Š2
2002_04_02	0	66,1	33,9	Š2
2002_05_06	0	67,4	32,6	Š2
2002_12_10	0	61,6	38,4	Š2
2003_03_04	0	66,3	33,7	Š2
2003_10_06	0	85,7	14,3	Š1
2003_12_03	0	67,3	32,7	Š2
2004_04_01	0	55,6	44,4	Š2
2004_08_23	0	79,2	20,8	Š2
2004_10_08	0	76,5	23,5	Š2
2004_11_03	0	74,0	26,0	Š2

Š1 – perkaitimas (temperatūra  $T < 300^{\circ}\text{C}$ ); Š2 - perkaitimas (temperatūra  $300^{\circ} < T < 700^{\circ}\text{C}$ ).



6.2 lentelė. Nustatyti 2 transformatoriaus gedimai naudojant Duvalio metodą

Matavimo data	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> proc.	CH <sub>4</sub> proc.	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> proc.	Gedimas
2000_11_10	0	0	100	Š3
2000_12_05	1,1	38,3	60,7	Š3
2001_01_24	0,6	44,0	55,4	Š3
2001_01_29	0,6	42,0	57,4	Š3
2001_01_31	0,5	42,2	57,2	Š3
2001_02_05	0,5	41,8	57,7	Š3
2001_02_12	0,5	43,7	55,9	Š3
2001_02_20	0,6	41,1	58,3	Š3
2001_03_06	0,5	43,4	56,1	Š3
2001_03_12	0,4	40,8	58,8	Š3
2001_03_26	0,4	43,3	56,3	Š3
2001_04_04	0,3	43,0	56,7	Š3
2001_04_25	0,4	42,6	57,1	Š3
2001_05_07	0,0	43,1	56,9	Š3
2001_05_07	0,0	38,4	61,6	Š3
2001_05_28	0,0	43,1	56,9	Š3
2001_07_17	0,0	42,7	57,3	Š3
2001_10_23	0,2	43,8	56,1	Š3
2002_01_17	0,1	44,0	55,8	Š3
2002_02_17	0,1	44,3	55,6	Š3
2002_02_17	0,1	44,4	55,5	Š3

Š3 – perkaitimas (temperatūra  $T > 700^{\circ}\text{C}$ ).

6.3 lentelė. Nustatyti 3 transformatoriaus gedimai naudojant Duvalio metodą

Matavimo data	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> proc.	CH <sub>4</sub> proc.	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> proc.	Gedimas
1999_09_29	0,0	80,3	19,7	Š2
1999_11_30	0,0	74,9	25,1	Š2
2000_05_10	5,3	40,7	53,9	Š3
2001_01_29	0,0	35,2	64,8	Š3
2001_12_13	0,0	42,2	57,8	Š3
2001_12_20	0,0	41,4	58,6	Š3
2001_12_27	0,0	40,5	59,5	Š3

Š2 - perkaitimas (temperatūra  $300^{\circ} < T < 700^{\circ}\text{C}$ ); Š3 – perkaitimas (temperatūra  $T > 700^{\circ}\text{C}$ )

## Priedas nr.6 Nustatyti gedimai naudojant Doernenbergo metodą

7.1 lentelė. Nustatyti 1 transformatoriaus gedimai naudojant Doernenbergo metodą

Matavimo data	CH <sub>4</sub> /H <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> /C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> /C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> /CH <sub>4</sub>	Gedimas
1999_05_13	0,75	0	0	0	
1999_11_11	0,58	0	0	0	
2000_03_15	0,53	0	0	0	
2000_06_27	0,35	0	0	0	
2000_07_12	0,22	0	0	0	
2000_08_25	0,17	0	0	0	
2000_10_09	0,20	0	0	0	
2000_11_10	0,20	0	0	0	
2001_01_17	0,24	0	0	0	
2001_01_29	0,29	0	0	0	
2001_03_05	0,30	0	0	0	
2001_10_23	0,12	0	0	0	
2002_02_27	0,19	0	0	0	
2002_04_02	0,13	0	0	0	
2002_05_06	0,17	0	0	0	
2002_12_10	0,05	0	0	0	
2003_03_04	0,00	0	0	0	
2003_10_06	0,00	0	0	0	
2003_12_03	0,06	0	0	0	
2004_04_01	0,09	0	0	0	
2004_08_23	0,00	0	0	0	
2004_10_08	0,65	0	0	0	
2004_11_03	0,58	0	0	0	

7.2 lentelė. Nustatyti 2 transformatoriaus gedimai naudojant Doernenbergo metodą

Matavimo data	CH <sub>4</sub> /H <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> /C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> /C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> /CH <sub>4</sub>	Gedimas
2000_11_10	0,00	0,000	0,00	0,00	
2000_12_05	0,37	0,018	8,04	0,02	
2001_01_24	0,00	0,010	16,23	0,01	DI
2001_01_29	0,33	0,010	15,08	0,01	
2001_01_31	0,34	0,009	16,80	0,01	
2001_02_05	0,39	0,008	20,60	0,01	
2001_02_12	0,53	0,008	18,61	0,01	
2001_02_20	0,46	0,010	16,76	0,01	
2001_03_06	0,44	0,009	18,05	0,01	
2001_03_12	0,40	0,007	23,76	0,01	
2001_03_26	0,37	0,008	21,55	0,01	
2001_04_04	0,42	0,005	31,10	0,01	
2001_04_25	0,45	0,006	26,61	0,01	
2001_05_07	0,55	0,000	0,00	0,00	
2001_05_07	0,45	0,000	0,00	0,00	
2001_05_28	0,53	0,000	0,00	0,00	
2001_07_17	0,62	0,000	0,00	0,00	
2001_10_23	0,93	0,003	69,60	0,00	
2002_01_17	1,53	0,003	89,87	0,00	
2002_02_17	1,20	0,002	128,28	0,00	
2002_02_17	1,20	0,002	99,92	0,00	

7.3 lentelė. Nustatyti 3 transformatoriaus gedimai naudojant Doernenbergo metodą

Matavimo data	CH <sub>4</sub> /H <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> /C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> /C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> /CH <sub>4</sub>	Gedimas
1999_09_29	0,32	0,0000	0,00	0,0000	
1999_11_30	0,36	0,0000	0,00	0,0000	
2000_05_10	0,15	0,0991	9,00	1,0000	
2001_01_29	0,17	0,0000	0,00	0,0000	
2001_12_13	1,73	0,0002	2994,07	1,0000	
2001_12_20	1,71	0,0003	1659,07	1,0000	
2001_12_27	1,43	0,0000	0,00	0,0000	

DI- dalinis išlydis.

## Priedas nr.7 galios transformatorių realių patikrinimų ataskaitos

Pirmasis galios transformatorius

### 8.1 Pirmojo galios transformatoriaus duomenys

Įmonė	Perd. tinklo Kauno sk.	
Montavimo vieta	330 kV pastotė Kaunas	
Galios TR AT-1	Gamiklinis Nr.:9647210	
Tipas	OBU-125/510	Galingumas: 125 MVA
Gamintojas	PAUWELS TRAF0 BELGIUM	Įtampa: 330/110/10 kV
Pagamin. metai	1997_01	
Ekspl. pradžia	1998_03	Alyvos apsaugos būdas: Kvėpavimo filtras
Alyvos tipas	Nytro 10GBN	

Remiantis ištirpusių dujų analize, buvo nuspręsta TR remontuoti, pašalinti defektus.

Defektai:

Pašalinti pastebėti alyvos pratekėjimai per aušintuvo sklendės sandarinimą-paveržiant riebokšlį, LV įtampos bako pusės siūlė kampe, kuri atsirado dėl įtempimų transportavimo metu fazėje A prie 330 kV įvado nuorinimo vamzdyno pajungimo (kuriam galbūt reikalinga papildoma atrama) bei prie įvado IS alyvos išleidimo kamščio-apvirinant pratekėjimo vietas.

Dujų atsiradimo priežastis:

H stabilizacija-nėra potencialaus dalinio išlydžio; CO/CO<sub>2</sub>>3- nėra popieriaus anglėjimo; Metano ir etano santykis pagal IEC 60599 standarto lentelę nurodo, kad terminis kaitimas kur T<300C. Tam kad nustatyti galimus taškinis perkaitinimus buvo atliktas termovizinis TR patikrinimas. Rasta aukšta bako temperatūra, kuri tiri nedidelį perkirtį nuo viršaus į apačią. Išmatuotos ominės varžos. Pirminis matavimas parodė 400 proc. skirtumą 10kV apvijoje. Buvo demontuoti 10kV įvadai ir rasta kad varinė smeigė nepakankamai užveržta.

Patikrinta magnetolaidžio izoliacijos varža. Viskas tvarkoje.

Iki tol aušinimo sistema nedirbo. Gamintojai pranešė kad forsutas aušinimas turi dirbti visą laiką, kai: TR įjungtas į tinklą; Apvijų temperatūra yra aukščiau sutarto lygio. Pauwels konstruktoriai numatė punktyrine linija išorines valdymo grandines, tačiau KET atstovai pranešė, kad papildoma informacija nebuvo pateikta ir neįtraukta į instrukciją apie jų panaudojimą. Taip pat KET inžinieriai klausė ar normalu, kad žemiau +85C (temperatūros indikatorius įjungimo taškas) TR dirba be aušintuvų. Pauwels inžinierius nurodė, jog forsutas aušinimas įsijungia tik nuo temp.

Rekomendacijos aušintuvui:

Vienas aušintuvas sujungtas su 330 kV jungtuvo kontaktais; antras aušintuvas sujungtas su temp. indikatoriumi.

## Antrasis galios transformatorius

### 8.2 Antrojo galios transformatoriaus duomenys

Įmonė	Perd.tinklo Kauno sk.
Montavimo vieta	330 kV pastotė Kaunas
Galios TR AT-2	
Tipas	ANER3E-125000/330PN
Gamintojas	ABB
Pagamin. metai	1999_07
Ekspl. pradžia	2000_11
Alyvos tipas	Nyro 10BN

Transformatorius buvo išvestas į remontą remiantis transformatoriaus alyvos chromatografinės analizės bandymais, nes ženkliai viršytas leistinas dujų kiekis alyvoje: H<sub>2</sub> – 20,7 karto, CH<sub>4</sub> - , C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> - , C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> - . Pirmos apžiūros metu buvo nustatyta, jog galima dujų išsiskyrimo alyvoje priežastis – neužverštas ant izoliacinės juostos kontaktas. Antros apžiūros metu buvo pakeista perjungiklio izoliacinė juosta su kontaktais.

Atliktas transformatoriaus alyvos džiovinimas vakuuminiu būdu, AT-2 papildytas 500 kg. šviežia transformatoriaus alyva, pakeistas atkirtos vožtuvas nauju.

Remiantis 2003\_04\_01 programa atlikta transformatoriaus aktyvinės dalies apžiūra:

Patikrinta:

1. izoliacija
2. transformatoriaus aktyvinė dalis
- 2.1 transformatoriaus perjungėjas