



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS

Giedrė Petravičiūtė

**SKAITINIO INTELEKTO PANAUDOJIMO GALIOS
TRANSFORMATORIŲ BŪKLĖS ĮVERTINIMUI TYRIMAS**

Baigiamasis magistro projektas

Vadovas

Prof. dr. Saulius Gudžius

KAUNAS, 2018

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS
ELEKTROS ENERGETIKOS SISTEMŲ KATEDRA

**SKAITINIO INTELEKTO PANAUDOJIMO GALIOS
TRANSFORMATORIŲ BŪKLĖS ĮVERTINIMUI TYRIMAS**

Baigiamasis magistro projektas
Elektros energetikos sistemos (kodas 621H63005)

Vadovas

Prof. dr. Saulius Gudžius
2018-05-29

Recenzentas

Prof. dr. Alfonsas Morkvėnas
2018-05-29

Projektą atliko

Giedrė Petravičiūtė
2018-05-29

KAUNAS, 2018



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
Elektros ir elektronikos fakultetas

(Fakultetas)

Giedrė Petravičiūtė

(Studento vardas, pavardė)

Elektros energetikos sistemos 621H63005

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

Baigiamojo projekto „Skaitinio intelekto panaudojimo galios transformatorių būklės įvertinimui tyrimas“

AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

20 18 m. gegužės 29 d.
Kaunas

Patvirtinu, kad mano **Giedrės Petravičiūtės** baigiamasis projektas tema „Skaitinio intelekto panaudojimo galios transformatorių būklės įvertinimui tyrimas“ 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.

(vardas, pavardė)

(parašas)

Petravičiūtė, Giedrė. Skaitinio intelekto panaudojimo galios transformatorių būklės įvertinimui tyrimas. Magistro baigiamasis projektas / vadovas prof. dr. Saulius Gudžius; Kauno technologijos universitetas, Elektros ir elektronikos fakultetas, Elektros energetikos sistemų katedra.

Mokslo kryptis ir sritis: Elektros energetikos sistemos, Technologiniai mokslai

Reikšminiai žodžiai: *neuronas, neuroniniai tinklai, transformatorius, elektros sistema.*

Kaunas, 2018. 58 psl.

SANTRAUKA

Projektas – baigiamasis magistro darbas. Projekto tikslas – ištirti galios transformatorių gedimų tipus ir priežastis. Nustatyti kokią įtaką elektros įrangai turi dujų koncentracijų kitimas bei įrangos šilimas. Teorinėje dalyje išnagrinėtos skirtingų transformatoriaus gedimų priežastys bei jų įtaka transformatorinių darbo pokyčiams ir užteršimui. Išanalizuoti neuroninių tinklų sąvoka, panaudojimo galimybės bei mokymo būdai. Aptartas ištirpusių dujų koncentracijos metodo tyrimas bei skirtingų galios transformatorių duomenys ir jų kitimo tendencijos. Tyrimų metu gauti duomenys atvaizduoti grafiškai ir detalai aprašyti. Atliktas neuroninio tinklo mokymo bei gautų rezultatų apibendrinimas.

Petraviciute, Giedre. Research of Use of Computational Intelligence for Condition Assessment of Power Transformers. Final project of Master's degree / supervisor prof. dr. Saulius Gudžius; Kaunas University of Technology, Faculty of Electrical and Electronics Engineering, department of Electrical Power Systems.

Research area and field: Electrical Power Systems, Technological Sciences

Key words: *neuron, neural networks, transformer, electrical system.*

Kaunas, 2018. 58 p.

SUMMARY

Project - master thesis. The purpose of the project is to analyse the types and causes of power transformer failures. Determination of the gas concentration changes and construction warming affection to the electrical equipment. The theoretical part deals with different causes of transformer failure and their influence on transformer normal work and vitiation. Analysis of the concept of neural networks, possibilities of use and network teaching methods. Research of dissolved gas analysis and the data collected from different power transformers made, tendencies discussed. The data obtained during the analysis is shown graphically and in detail. A summary of the network training and the obtained results was performed.

TURINYS

IVADAS	9
1. NEURONINIAI TINKLAI	10
1.1. Neuroninių tinklų sąvoka	10
1.2. Funkcijos aproksimavimas	11
1.3. Gradientinis nusileidimas	12
1.4. Neuroninių tinklų architektūra.....	13
1.5. Levenberg – Marquardt mokymas.....	16
2. ELEKTROS ĮRENGINIŲ PATIKROS METODAI	17
2.1. Galios transformatorių gedimai	17
2.2. Ištirpusių dujų analizė.....	19
3. GALIOS TRANSFORMATORIŲ DUOMENŲ ANALIZĖ	20
3.1. Transformatorių dujų koncentracijų kitimas	21
3.2. Dujų koncentracijų duomenų aproksimacijos	38
3.3. Duomenų klasterizacija	41
4. GALIOS TRANSFORMATORIŲ ANALIZĖ NEURONINIAIS TINKLAIS	44
IŠVADOS	56
LITERATŪRA	57
1 PRIEDAS. Neuroninio tinklo mokymo kodas.	
2 PRIEDAS. Defekto atpažinimo kodas	
3 PRIEDAS. Aproksimacijos kodas	
4 PRIEDAS. Klasterizacijos kodas	

PAVEIKSLĖLIŲ SĄRAŠAS

1 pav. Biologinis neuronas [2].....	10
2 pav. Duomenų taškai bei duomenų aproksimacija	11
3 pav. Neuroninių tinklų architektūros pavyzdys	14
4 pav. Neuronio tinklo aktyviojo mazgo schema [6].....	15
5 pav. Sigmoidės funkcija ir jos išvestinė [6].....	16
6 pav. Galios transformatoriaus 1 duomenų kitimas duomenų kaupimo laikotarpiu.....	23
7 pav. Galios transformatoriaus 2 duomenų kitimas duomenų kaupimo laikotarpiu.....	23
8 pav. Galios transformatoriaus 3 duomenų kitimas duomenų kaupimo laikotarpiu.....	24
9 pav. Galios transformatoriaus 4 duomenų kitimas duomenų kaupimo laikotarpiu.....	24
10 pav. Galios transformatoriaus 5 duomenų kitimas duomenų kaupimo laikotarpiu.....	25
11 pav. Galios transformatoriaus 6 duomenų kitimas duomenų kaupimo laikotarpiu.....	27
12 pav. Galios transformatoriaus 7 duomenų kitimas duomenų kaupimo laikotarpiu.....	27
13 pav. Galios transformatoriaus 8 duomenų kitimas duomenų kaupimo laikotarpiu.....	28
14 pav. Galios transformatoriaus 9 duomenų kitimas duomenų kaupimo laikotarpiu.....	29
15 pav. Galios transformatoriaus 10 duomenų kitimas duomenų kaupimo laikotarpiu.....	29
16 pav. Galios transformatoriaus 11 duomenų kitimas duomenų kaupimo laikotarpiu.....	30
17 pav. Galios transformatoriaus 12 duomenų kitimas duomenų kaupimo laikotarpiu.....	30
18 pav. Galios transformatoriaus 13 duomenų kitimas duomenų kaupimo laikotarpiu.....	31
19 pav. Galios transformatoriaus 14 duomenų kitimas duomenų kaupimo laikotarpiu.....	32
20 pav. Galios transformatoriaus 15 duomenų kitimas duomenų kaupimo laikotarpiu.....	33
21 pav. Galios transformatoriaus 16 duomenų kitimas duomenų kaupimo laikotarpiu.....	33
22 pav. Galios transformatoriaus 17 duomenų kitimas duomenų kaupimo laikotarpiu.....	34
23 pav. Galios transformatoriaus 18 duomenų kitimas duomenų kaupimo laikotarpiu.....	35
24 pav. Galios transformatoriaus 19 duomenų kitimas duomenų kaupimo laikotarpiu.....	35
25 pav. Galios transformatoriaus 20 duomenų kitimas duomenų kaupimo laikotarpiu.....	36
26 pav. Galios transformatoriaus 21 duomenų kitimas duomenų kaupimo laikotarpiu.....	37
27 pav. Galios transformatoriaus 22 duomenų kitimas duomenų kaupimo laikotarpiu.....	38
28 pav. Transformatoriaus 6 vandenilio koncentracijų aproksimacija	39
29 pav. Transformatoriaus 6 vandenilio koncentracijų išsibarstymas	39
30 pav. Transformatoriaus 6 visų dujų koncentracijų aproksimacija	40
31 pav. Transformatoriaus 6 visų dujų koncentracijų išsibarstymas	40
32 pav. Dvimatis H ₂ , CO, CO ₂ dujų koncentracijų klasterizacijos grafikas	41
33 pav. Trimatis H ₂ , CO, CO ₂ dujų koncentracijų klasterizacijos grafikas	42
34 pav. Dvimatis transformatorių 5 ir 6 k – vidurkių H ₂ , CO, CO ₂ klasterizacijos grafikas.....	43
35 pav. Trimatis k – vidurkių visų duomenų klasterizacijos grafikas	43
36 pav. Neuroninio tinklo schema.....	45
37 pav. Neuroninio tinklo darbas	46
38 pav. Klaidos histograma	46
39 pav. Regresija	47
40 pav. Mokymas	48

LENTELIŲ SĄRAŠAS

1 lentelė. Transformatorių defektų tipai bei atitinkamos dujos [10].....	20
2 lentelė. Dujų susidarymo galios transformatoriuose priežastys ir sudėtis [12].....	21
3 lentelė. Transformatoriaus 1 duomenys.....	22
4 lentelė. Transformatoriaus 2 duomenys.....	23
5 lentelė. Transformatoriaus 3 duomenys.....	23
6 lentelė. Transformatoriaus 4 duomenys.....	24
7 lentelė. Transformatoriaus 5 duomenys.....	24
8 lentelė. Transformatoriaus 6 duomenys.....	26
9 lentelė. Transformatoriaus 7 duomenys.....	27
10 lentelė. Transformatoriaus 8 duomenys.....	28
11 lentelė. Transformatoriaus 9 duomenys.....	28
12 lentelė. Transformatoriaus 10 duomenys.....	29
13 lentelė. Transformatoriaus 11 duomenys.....	29
14 lentelė. Transformatoriaus 12 duomenys.....	30
15 lentelė. Transformatoriaus 13 duomenys.....	31
16 lentelė. Transformatoriaus 14 duomenys.....	31
17 lentelė. Transformatoriaus 15 duomenys.....	32
18 lentelė. Transformatoriaus 16 duomenys.....	33
19 lentelė. Transformatoriaus 17 duomenys.....	33
20 lentelė. Transformatoriaus 18 duomenys.....	34
21 lentelė. Transformatoriaus 19 duomenys.....	35
22 lentelė. Transformatoriaus 20 duomenys.....	36
23 lentelė. Transformatoriaus 21 duomenys.....	36
24 lentelė. Transformatoriaus 22 duomenys.....	37
25 lentelė. Ištirpusių dujų koncentracijų ribos [7]	44
26 lentelė. Matlab gautų duomenų palyginimo su standartais pavyzdys	49
27 lentelė. Normaliai veikiančių galios transformatorių duomenys	49
28 lentelė. Galios transformatorių su koronos, lanko defektu duomenys	50
29 lentelė. Galios transformatorių su kibirkščiavimo defektu duomenys.....	51
30 lentelė. Galios transformatorių su elektrinio lanko defektu duomenys	52
31 lentelė. Perkaitusių galios transformatorių duomenys.....	52
32 lentelė. Stipriai perkaitusių galios transformatorių duomenys	53
33 lentelė. Galios transformatorių su ekstremaliu koronos, lanko defektu duomenys	54
34 lentelė. Galios transformatorių su ekstremalaus elektrinio lanko defektu duomenys.....	54
35 lentelė. Stipriai perkaitusių galios transformatorių duomenys	54

IVADAS

Kasdien didėjant elektros įrenginių skaičiui elektros tinklo patikimumo poreikis auga. Vis daugiau vartotojų naudoja atsinaujinančius elektros šaltinius, o tai lemia sunkumus prognozuojant kasdienį elektros gamybos poreikį bei būtinybę užtikrinti stabilų ir patikimą sistemos darbą.

Didelės dalies elektros tinkle įvykstančių atsijungimų pagrindinės priežastys trumpalaikiai trikdžiai ar įrangos klaidos. Daugiau nei pusė šiuo metu Lietuvoje veikiančių galios transformatorių jau viršija ar netrukus viršys savo gyvavimo trukmę [1].

Neuroninių tinklų mokymas naudojamas elektros energetikos tinklų atsijungimų bei tiekimo sutrikimų nustatymui. Neuroninių tinklų technologijos tobulėja kasdien, tad energetikoje jų poreikis taip pat auga. Teorinėje dalyje išnagrinėjami neuroninių tinklų mokymas ir architektūra bei elektros įrenginių patikros metodai. Praktinėje darbo dalyje bus išnagrinėti skirtingų galios transformatorių duomenys bei sudarytas neuroninio tinklo modelis siekiant nustatyti įrenginių defektų defektus priklausomai nuo ištirpusių dujų koncentracijų.

Šio darbo tikslas – išnagrinėti galimus skaitinio intelekto panaudojimo galimybes galios transformatorių gedimų identifikavimui ir jų priežasčių nustatymui.

Pagrindiniai darbo uždaviniai:

- išsiaiškinti neuroninių tinklų sąvoką bei panaudojimo energetikoje galimybes;
- išnagrinėti elektros energetikos sistemos įrenginių patikros metodus;
- įsigilinti į pagrindines transformatorių gedimus ir iširti galimybę nustatyti jų priežastis panaudojant skaitinį intelektą;
- apmokyti neuroninį tinklą nustatyti galios transformatorių gedimų kilmę ir tipus;
- pateikti rekomendacijas apie skaitinio intelekto panaudojimo galimybes gedimo priežasčių nustatymui.

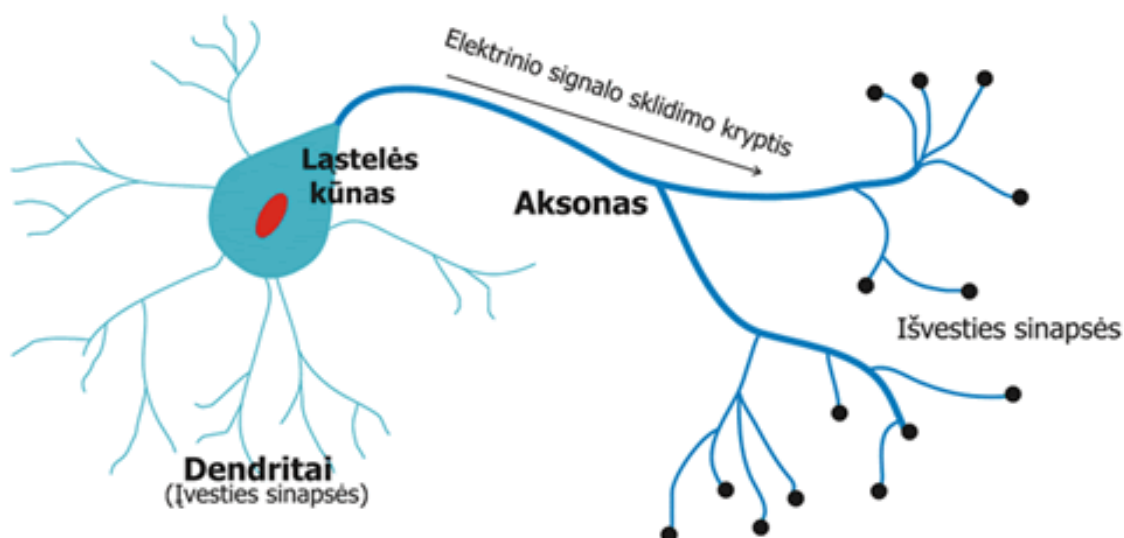
1. NEURONINIAI TINKLAI

1.1. Neuroninių tinklų sąvoka

Žmonių nervų sistema – be galo sudėtingas ir kompleksiškas neuronų tinklas. Kiekvieną neuroną sudaro:

- ląstelės branduolys;
- aksonas;
- didelis skaičius dendritų.

Signalų priėmimui iš kitų neuronų skirti dendritai. Aksonai dažniausiai vaizduojami kaip ilgi vamzdeliai su atšakomis. Tarp išsišakojusių aksono galų bei dendritų esantys nedideli tarpai – vadinami sinapsėmis. Remiantis realaus neurono pavyzdžiu buvo sukurti dirbtiniai neuronai. Realaus biologinio neurono pavyzdys nurodomas paveikslėlyje 1. [2]



1 pav. Biologinis neuronas [2]

Neuroniniai tinklai, taip pat vadinami dirbtinėmis neuroninėmis sistemomis – tai tinklo mokymo sistema dalinai atkartojanti galvos smegenyse esančius neuronus bei jų funkcijas. Neuroninis tinklas yra informacijos arba signalų apdorojimo sistema, sudaryta iš daugybės paprastų apdorojimo elementų, vadinamų dirbtiniais neuronais arba paprastais mazgais, kurie yra tarpusavyje sujungiami tiesioginiais ryšiais, vadinamais jungtimis, ir kurie bendradarbiauja, kad galėtų atlikti lygiagrečiai paskirstytus procesus, siekiant išspręsti pageidaujamus skaičiavimus ar kitas užduotis. [3]

Dirbtiniai neuroniniai tinklai yra plačiai pripažinti kaip technologija, siūlanti alternatyvų būdą spręsti sudėtingas ir prastai apibrėžtas problemas. Sistema apmokoma iš pavyzdžių

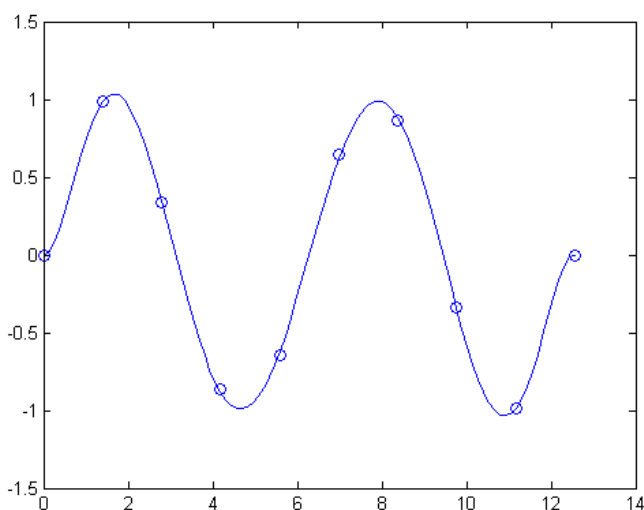
aibės ir yra patikima, kadangi sugeba apdoroti triukšmingus ir neišsamius duomenis, o taip pat, sugeba susidoroti su nelinejinėmis problemomis bei mokymo metu gali greitai prognozuoti ir apibendrinti turimą informaciją. Vienas iš pagrindinių neuroninių tinklų pranašumų yra jų galimybė prisitaikyti prie kintančių aplinkos sąlygų keičiant dirbtinių neuronų jungčių struktūrą bei stiprumą.

Neuroninių tinklų panaudojimo sritys labai plačios. Jie gali būti pritaikomi: kontrolei, robotų apmokymui, modelio atpažinimui, prognozavimui, medicinai, energetikos sistemoms, gamybai bei optimizavimui, signalų apdorojimui ir net socialinių / psichologinių mokslų tyrimams atlikti. Energetikoje neuroniniai tinklai itin naudingi sistemos modeliavimui atlikti, naudojant kompleksinį atvaizdavimą ir sistemos identifikavimą. [4]

1.2. Funkcijos aproksimavimas

Vienasluksniai neuronai tinkami spręsti nesudėtingoms uždavimams. Didinant neuroninių tinklų sluoksnių skaičių, tinklas sudėtingėja ir plečiasi. Reikalingas neuronų skaičius kinta priklausomai nuo tinklo sudėtingumo. Atlikus tyrimus, nustatyta, kad turint net ir dviejų sluoksnių tinklą, galima aproksimuoti įvairias tolydines funkcijas. Norint palengvinti tinklo darbą, didinamas sluoksnių skaičius, tai atlikus reikalingas neuronų bei svorių skaičius sumažėja.

Neuroniniai tinklai gali būti taikomi aproksimavimo uždaviniams spręsti. Pagrindiniu uždavinio tikslu laikomas funkcijos, pakankamai tiksliai aproksimuojančios duotus duomenų taškus, radimas. Naudojantis Matlab programiniu paketu nubraižytas aproksimuojančios funkcijos pavyzdys, gautas grafikas pavaizduotas paveikslėlyje 2.



2 pav. Duomenų taškai bei duomenų aproksimacija

Paveikslėlyje rutuliukais pažymėti duomenų taškai. Aproximuojanti funkcija išryškina duotuosiuose duomenyse esančius dėsningumus bei panašumus, tačiau nėra identiška su kiekviena duomenų taškų verte. Galima nustatyti, aproksimuojančios funkcijos tikslumą duomenų atžvilgiu. Funkcijos bei taškų neatitikimus galima įvertinti remiantis klaidos funkcija.

Egzistuoja keletas būdų aproksimuojančios funkcijos sudarymui. Duomenis aproksimuoti galima naudojantis polinomu. Mažinant klaidos funkciją, polinomas pritaikomas N duomenų taškų. Polinamai nusakomi eile. Formulėje 1 pateikiamas M – tosios eilės polinomo pavyzdys.

$$y(x) = \omega_0 + \omega_1 x + \omega_2 x^2 \dots + \omega_M x^M = \sum_{j=0}^M \omega_j x^j \quad (1)$$

čia ω – polinomo koeficientas; x^j išraiškoje j – žymi laipsnį, kuriuo keliamas x . Funkciją aprašytą formule 1 laikome netiesiniu atvaizdavimu, kur x laikomas įėjimu, y išėjimu. Parametrais $\omega_0 \dots \omega_M$ nusakoma tiksli šios funkcijos forma ir yra analogiški neuroniniam tinkle esantiems svoriams.

Suminės kvadratinės paklaidos minimizavimui, naudojamos tam tikros parametru parinkimo procedūros. Suminė kvadratinė paklaida apskaičiuojama remiantis formule 2.

$$E = \frac{1}{2} \sum_{n=1}^N \{y(x^n; w) - t^n\}^2 \quad (2)$$

čia x^n – n – tasis duomenų taškas ($n = 1, \dots, N$); t^n norima išėjimo vertė šiam taškui, w – optimali svorių vertė, kuriai esant funkcijos E vertė mažiausia. [6]

1.3. Gradientinis nusileidimas

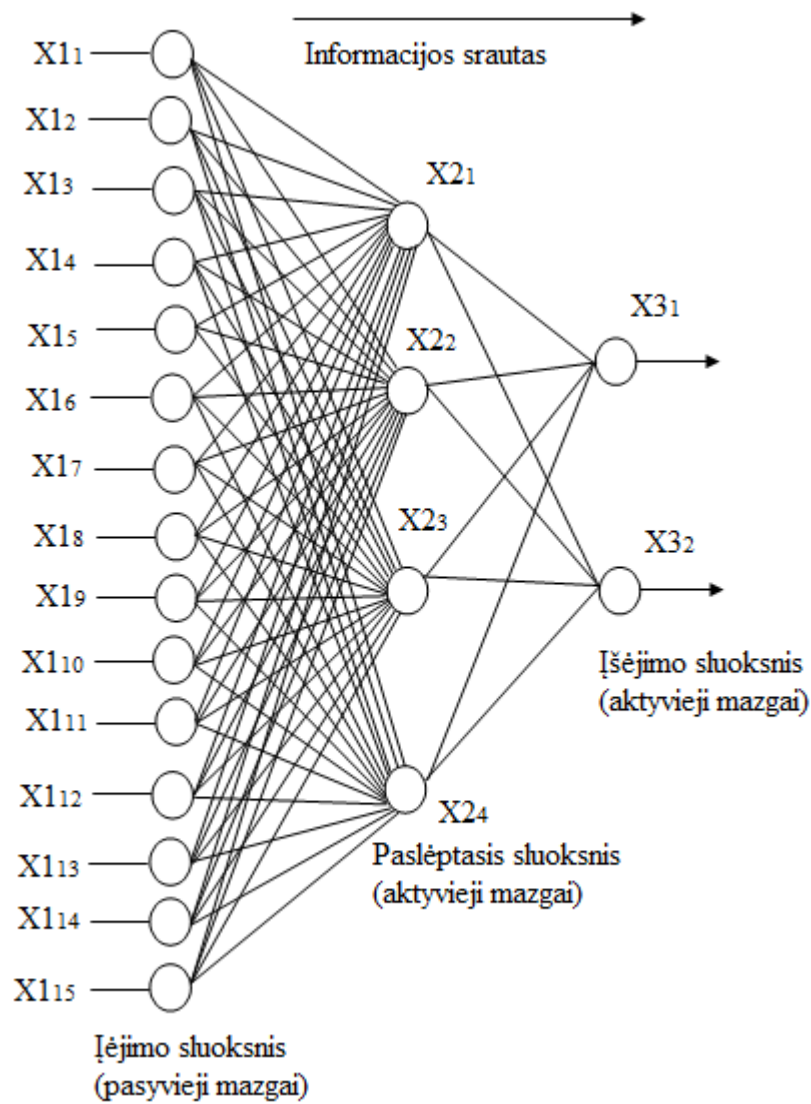
Gradientinis nusileidimas – tai kartotinis minimizavimo metodas. Klaidos funkcijos gradientas rodo greičiausio klaidos funkcijos augimo kryptį, antigradientas priešingai, naudojamas minimumui atrasti. Tiesinei funkcijos aproksimacijai rasti naudojamo funkcijos pirmosios išvestinės. Aproksimacija yra pakankamai tiksli nedidelėje srityje, priklausančioje taškui kur buvo apskaičiuotos išvestinės. Žingsnis, daromas antigradiento kryptimi, turi būti neilgas, siekiant išlaikyti aproksimacijos tikslumą. Antrųjų funkcijų išvestinių duomenys nusakantys funkcijos kaitą, taip pat, patikimi tik aplinkoje priklausančioje taškui, kuriame yra apskaičiuotos. Praktikoje naudojantis šiais duomenimis galima atlikti funkcijos kitimo pobūdžio prognozę. Ilgo žingsnio minimumo kryptimi nustatymui galima naudotis antrosiomis funkcijos išvestinėmis. [7]

1.4. Neuroninių tinklų architektūra

Dirbtinių neuroninių tinklų architektūra – apibrėžia neuronų išdėstymo bei sąveikos vienas kito atžvilgiu pobūdį. Išdėstymas struktūrizuojamas keičiant neuronų sinaptines jungtis. Sinapsės perduoda elektrocheminius signalus ir gali būti įvairių stiprumų. Neuronas gali būti sužadintas, jei kiti sužadinti neuronai perduoda pakankamą skaičių reikiamo stiprumo signalų. Toliau vyksta grandininė reakcija – naujai sužadintas neuronas išilgai aksonu perduoda elektrocheminį impulsą taip sužadindamas kitus neuronus. Bendram dendritais perduotam signalui viršijus tam tikrą lygį – sužadinimo slenkstį – neuronas sužadinamas.

Šiuo metu neuronų mokymas remiasi prielaida, kad mokymo procesai vyksta kintant jungčių efektyvumui. Priklausomai nuo sinapsių signalų perdavimo efektyvumo, kinta neurono tikimybė būti sužadintu bei priimamų signalų stiprumas. [5]

Laikui bėgant įvairių šalių mokslininkai ištyrė daugybę skirtingų neuroninių tinklų struktūrų. Kai kurios iš jų sudarytos imituojant tai, ką biologai mato per mikroskopą, kitos grindžiamos matematine nagrinėjamos problemos analize. Dažniausiai pasikartojanti neuroninių tinklų architektūra struktūra pavaizduota paveikslėlyje 3.



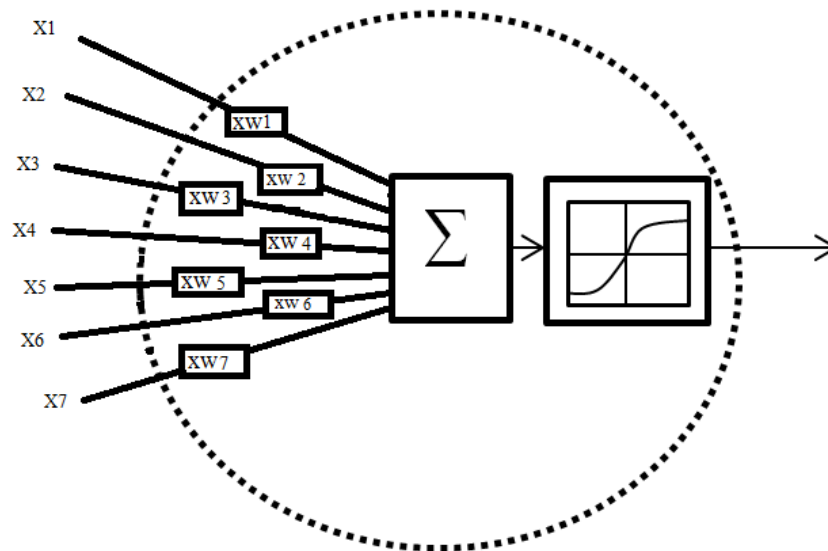
3 pav. Neuroninių tinklų architektūros pavyzdys

Šis neuroninis tinklas sudarytas iš trijų sluoksnių vadinamų įėjimo sluoksniu, paslėptuoju sluoksniu bei išėjimo sluoksniu. Kiekvienas sluoksnis susideda iš vieno ar daugiau mazgų, kurie brėžinyje pavaizduojami kaip maži apskritimai. Linijos tarp mazgų nurodo informacijos srautą iš vieno mazgo į kitą. Pavaizduotame neuroniniame tinkle informacijos srautai keliauja nuo įėjimo link išėjimo (t. y. iš kairės į dešinę). Neuroniniai tinklai gali būti sudėtingesni – turintys daugiau jungčių, tokių kaip grįžtamasis ryšys.

Įėjimo sluoksnyje esantys mazgai vadinami pasyviais, tai reiškia, kad jie nekeičia duomenų. Kiekvienam įėjime esančiam mazgui priskiriama viena nekintanti reikšmė, kuri išdalinama išėjimams. Paslėptojo ir išėjimo sluoksnių mazgai vadinami aktyviaisiais, galinčiais keisti signalus. Neuroninių tinklų veikimą lemia svoriai, esantys paslėptajame ir išėjimo mazguose.

Kiekviena reikšmė iš įėjimo sluoksnių yra nukopijuojama ir siunčiama į visus paslėptus mazgus. Tai vadinama visiškai tarpusavyje sujungta struktūra. Kaip pavaizduota

paveikslėlyje 3, vertės, įvedamos į paslėptą mazgą, dauginamos iš svorių, kurie nustatomi iš anksto nustatytų skaičių, išsaugotų programoje. Svertiniai išėjimai pridedami norint sukurti vieną numerį. Brėžiniuose tai vaizduojama simboliu Σ . Prieš palikdamas mazgą, šis skaičius perduodamas nelinejine matematine funkcija, vadinama sigmoide. Tai "S" formos kreivė, ribojanti mazgo išėjimą. Sigmoidės įėjimas yra vertė tarp $-\infty$ ir $+\infty$, o jo išėjimas gali būti tik 0 arba 1 [6].



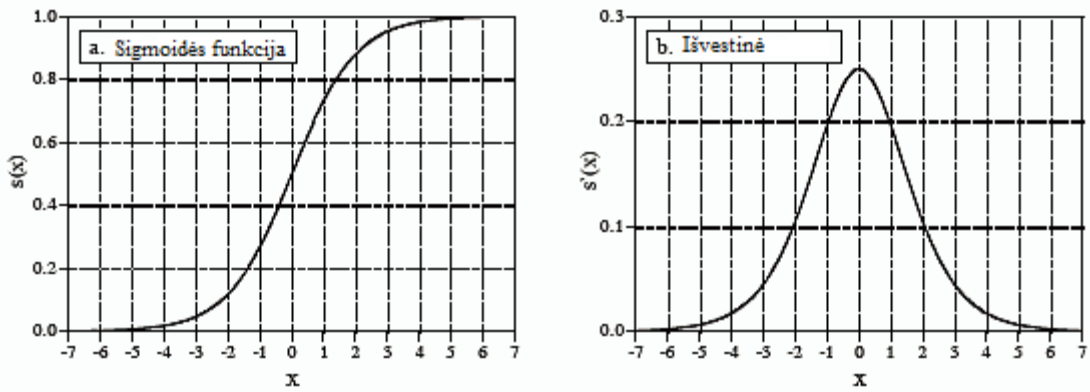
4 pav. Neuronio tinklo aktyviojo mazgo schema [6]

Paveikslėlyje 3 pavaizduoti paslėptajame sluoksnyje esantys išėjimai pažymėti kintamaisiais: X_{21} , X_{22} , X_{23} ir X_{24} . Kiekviena iš šių verčių yra padauginama ir taikoma kitam sluoksniui. Aktyvieji išėjimo sluoksnio mazgai apjungia ir modifikuoja duomenis, taip kad gautų dvi išėjimo vertes – X_{31} ir X_{32} .

Neuroniniai tinklai gali turėti bet kokių sluoksnių skaičių ir bet kokių skaičių mazgų viename sluoksnyje. Dažniausiai naudojamos trislusksnės struktūros turinčios ne daugiau kaip kelis šimtus įėjimo mazgų. Paslėptas sluoksnis paprastai sudaro apie 10% įėjimo sluoksnio dydžio. Atliekant tikslinę nustatymą išėjimo sluoksniui užtenka vieno mazgo. Šio mazgo išėjimas yra slenkstinis, siekiant pateikti teigiamą arba neigiamą užduoties buvimo arba nebuvimo išėjimo duomenyse indikaciją.

Kitais svoriais produkcija gali klasifikuoti objektus kaip metalus ar nemetalus, biologinius ar nebiologinius, priešus ar sąjungininkus... Nėra algoritmų, jokių taisyklių ar procedūrų; tik santykis tarp įvesties ir išvesties, diktuojamos pagal pasirinktų svorsčių reikšmes.

Tiksli sigmoidės forma nėra svarbi, svarbus tik lygus perėjimas. Paprastasis slenkstis atiduoda vieneto vertę, kai $x > 0$ ir nulio vertę, kai $x < 0$. Sigmoidė atlieka tą pačią įprastą slenkstinę funkciją, bet taip pat gali būti ir diferencijuojama kaip pavaizduota paveikslėlyje 5.



5 pav. Sigmoidės funkcija ir jos išvestinė [6]

Nors išvestinė nėra naudojama srauto diagramoms, ji būtina, siekiant rasti tinkamus naudoti svorius. Formulės sigmoidei ir jos išvestinei naudoti pavaizduotos, atitinkamai 3 ir 4 formulėse:

$$s(x) = \frac{1}{1+e^{-x}} \quad (3)$$

$$s'(x) = s(x)[1 - s(x)] \quad (4)$$

čia x – kintamasis; $s(x)$ – sigmoidė; $s'(x)$ – sigmoidės išvestinės funkcija.

Jei sigmoidžių nebūtų, trys sluoksniai būtų suskaidomi į du sluoksnius. Kitaip tariant, paslėptą ir išėjimo sluoksnių sumos ir svoriai galėtų apsisungti į vieną sluoksnį ir liktų tik dviejų sluoksnių tinklas.

1.5. Levenberg – Marquardt mokymas

Neuroninių tinklų mokymui naudojantis Matlab programiniu paketu naudojamas Levenbergo-Marquardto metodas. Tai standartinis būdas sprendžiant nelinejas mažiausių kvadratų uždutis. Mažiausių kvadratų problemos atsiranda, norint aproksimuoti parametrizuotas funkcijas su išmatuotų duomenų rinkiniu, minimizuojan kvadratinių klaidų tarp duomenų taškų ir funkcijos sumą. Jei aproksimacijos funkcija nėra linijinė, mažiausių kvadratų problema yra nelinejinė. Netiesiniai mažiausių kvadratų metodai iteraciniu būdu sumažina klaidų tarp funkcijos ir išmatuotų duomenų taškų kvadratų sumą per parametrų reikšmių atnaujinimų seką. Levenberg-Marquardt kreivės aproksimavimo metodas yra dviejų minimizavimo metodų – gradientinio nusileidimo metodo ir Gausso-Niutono metodo derinys.

Gradientinio nusileidimo metodo atveju, kvadratinių klaidų suma sumažinama, atnaujinant parametrus staigaus nusileidimo kryptimi. Gausso-Niutono metodu kvadratinių klaidų suma sumažinama, darant prielaidą, kad mažiausių kvadratų funkcija yra lokaliai kvadratiška, ir randant kvadrato minimumą. Levenberg-Marquardt metodas veikia kaip

gradientinio nusileidimo metodas, kai parametrai yra labai nutolę nuo optimalios vertės ir veikia kaip Gausso-Niutono metodas, kai parametrai yra artimi optimalioms vertėms. [7]

2. ELEKTROS ĮRENGINIŲ PATIKROS METODAI

Visai elektros energetikos sistemos įrangai atliekama periodinė patikra, kurios metu tikrinama įrenginių mechaninė bei elektrinė būklė. Elektros energijos sistemų įrangos patikimumas yra glaudžiai susijęs su naujais įvairių vartotojų naudojamais prietaisais, kurie yra itin jautrūs įtampos kokybei bei svyravimams. Dėl resursų ir naujų technologijų trūkumo šiuo metu prietaisams vykdoma kontrolė yra nepakankama. Prietaisai naudojami per ilgai, o tai lemia didesnius nuostolius, mažesnę tikslumą bei grėsmę kitai įrangai ir net visam energetikos sistemos patikimumui.

Periodiškai atliekant elektros įrenginių įvertinimą, gedimų prognozė atliekama efektyviau. Remiantis ankstesne patirtimi, remonto veiksmai bei įrangos pakeitimas gali būti planuojami iš anksto, taip pagerinant patikimą elektros energijos sistemos valdymą. Transformatorius yra vienas iš pagrindinių energetikos sistemos įrenginių, todėl itin didelis dėmesys skiriamas jo būklei įvertinimui. Galios transformatorių būklės vertinimo būdai kasmet tobulinami ir atnaujinami. Dažniausiai gendančiais transformatorių elementais laikomi:

- izoliacija;
- apvijos bei magnetinės grandinės;
- elektrinės dalys bei įtampos reguliavimo dalis.

Izoliacijos defektai sudaro apie pusę visų su galios transformatoriais susijusių trikdžių. Izoliacijos charakteristikos sudaromos remiantis gautais patikrų duomenimis. Išmatuotos elektros įrangos būklės parametrų ribinės vertės lyginamos su tarptautiniuose standartuose nurodytais leidžiamaisiais parametrais. Toks matavimų rezultatų palyginimas su leistinomis ribinėmis vertėmis leidžia įvertinti kritinius vieno ar keleto parametrų lygius. Matematiškai analizuojant gautus duomenis bei atliekant įrenginių kokybės prognozė, įmanoma nustatyti kokybines charakteristikas bei jų pobūdį ir numatyti galimus trikdžius.

2.1. Galios transformatorių gedimai

Pagrindiniai galios transformatorių defektai, kurie gali būti nustatyti stebėjimo prietaisais skirstomi:

- dujų atsiradimas izoliacinėje alyvoje;
- iš normos ribų išeinantys temperatūrų padidėjimai;
- ultragarso arba garso diapazonuose atsirandantys akustiniai signalai;

- iš normos ribų išeinantys magnetinių laukų padidėjimai.

Kiekvienas iš šių nukrypimų turi tam tikras priežastis bei pasekmes elektros įrangai. Pavyzdžiui, dujų atsiradimą gali lemti izoliacijos pažeidimai ar senėjimas, taip pat, elektriniai ar terminiai veiksniai. Norint išvengti dujų kaupimosi alyvoje reikėtų atlikti bent kasmetinius transformatorių alyvos patikrinimus, gautus duomenis registruoti bei lyginti pokyčius [8].

Alyva galios transformatoriuose atlieka keletą funkcijų – suteikia izoliaciją, vėsinimą, padeda gesinti vidinį lanką, todėl būtina stebėti temperatūros pokyčius joje. Temperatūrų padidėjimams tirti atliekami šiluminiai tyrimai, kurių metu nustatoma ar apvijų bei transformatorinės alyvos reali temperatūra atitinka numatytas normas. Temperatūriniai tyrimai taip pat atliekami siekiant nustatyti perkaitusias galios transformatorių dalis. Be to, temperatūrų pakilimas, nustatytas šiluminio bandymo metu, gali būti naudojamas transformatoriaus apkrovų pajėgumams skaičiuoti. Taikant šiluminio laidumo tyrimus galima nustatyti šias temperatūras [8]:

- aplinkos temperatūra;
- aukščiausia alyvos temperatūra;
- žemiausia alyvos temperatūra;
- aukščiausia apvijų temperatūra (jei sumontuoti optinio pluošto jutikliai).

Įrangos priežiūra gali būti skirstoma į planinę, ne planinę bei įrangos būkle grįstą. Būkle grįstos įrenginių priežiūros metu stebima faktinė įrangos būklė, siekiant, nustatyti techninės priežiūros poreikį bei tipą. Techninė priežiūra turėtų būti atliekama tik tada, kai tam tikri rodikliai rodo suprastėjusią įrangos veikimo kokybę ar būsimo gedimo požymius. Būkle grįstos įrenginių priežiūros metu atliekami tyrimai [9]:

- vibracijų analizė – besisukanti įranga, tokia kaip kompresoriai, siurbliai, varikliai, turi tam tikrą vibracijos lygį. Jei jie įrenginių veikia prastėja arba išsiderina, vibracijos padidėja;
- infraraudonųjų spindulių termografija – infraraudonųjų spindulių kameros gali būti naudojamos aukštos temperatūros sąlygoms nustatyti veikiančioje įrangoje, termografinė transformatoriaus bako analizė atliekama iš visų pusių, nustačius, kad vietinis bako įkaitimas 1°C didesnis už tiriamo transformatoriaus išorinės dalies temperatūrą, daroma prielaida, kad egzistuoja vidinis terminis pažeidimas ar defektas;
- ultragarsinis tyrimas – naudojamas įrangos viduje esančių defektų, įtrūkimų nustatymui (rotoriaus veleno defektai ir pan.);
- dalinio išlydžio analizė – naudojama stebėti išlydžius generatoriaus ir variklio statoriaus apvijų izoliacijoje;

- alyvos dalelių skaitiklis – naudojamas stebinti turbinos tepalo alyvos ir transformatoriaus alyvos švarumą;
- videoskopas – naudojamas vizualizuoti vidinę mažo skersmens vamzdžio būklę ir sunkiai pasiekiamas įrangos dalis;
- dielektrinio atsparumo įtampa – naudojama transformatoriaus alyvos dielektriniam atsparumui nustatyti;
- ištirpusių dujų analizė – naudojamas ištirpusių dujų stebėjimui transformatoriaus izoliacinėje terpėje.

Kadangi transformatorius yra kritinis bei itin brangus elektros energetikos sistemos įrenginys, jo stebėjimas yra būtinas, o neplanuoti gedimai gali neigiamai paveikti sistemą.

2.2. Ištirpusių dujų analizė

Chromatografas – prietaisas dujų kiekio nustatymui įrangos izoliacinėje alyvoje. Atliekant chromatografinę analizę ištiriama įvairių dujų koncentracijos. Dažniausiai tikrinamų dujų tipai:

- vandenilis (H_2);
- acetilenas (C_2H_2);
- metanas (CH_4);
- etilenas (C_2H_4);
- etanas (C_2H_6);
- anglies oksidas (CO);
- anglies dioksidas (CO_2);
- azotas (N_2);
- deguonis (O_2).

Ištirpusių dujų analizė – vienas paprasčiausių bei lengviausiai pritaikomų sprendimų galios transformatorių alyvos būklei nustatyti. Šios analizės dėka galima nustatyti būsimus gedimus dar ankstyvoje stadijoje ir suplanuoti remonto darbus išvengiant nepataisomos žalos.

Dujos alyvoje visada atsiranda dėl elektrinių izoliacinių medžiagų pažeidimų, kuriuos sukelia gedimai ar cheminės reakcijos įrangoje. Vienas iš dujų pavyzdžių, kurie gali susikaupti alyvoje ir ją neigiamai įtakoti – vandenilis (H_2). Temperatūrai pakilus virš $150^{\circ}C$, tačiau nepasiekus $250^{\circ}C$ įvyksta dalinė jonizacija ir vandenilio koncentracija ženkliai išauga. Šių procesų pagrindinės priežastys gali būti – daliniai išlydžiai, šiluminiai gedimai, galios perkrovos, rūdys, cinkuotos detalės, nerūdijantis plienas, saulė ir t. t. Remiantis nustatytu

alyvoje susikaupusių dujų tipu galima nuspėti koks defektas, tai lemia. Lentelėje 1, apibūdinama defektų bei dujų tipai.

1 lentelė. Transformatorių defektų tipai bei atitinkamos dujos [10]

Transformatoriaus defektas	Alyvoje ištirpusios dujos
Daliniai išlydžiai, kibirkščiavimas ir elektrinis lankas	H ₂
Kibirkščiavimas, elektrinis lankas ir įkaitimas virš 700°C	C ₂ H ₂
Terminis alyvos ir popieriaus izoliacijos įkaitimas žemoje temperatūroje	CH ₄
Terminis alyvos ir popieriaus izoliacijos įkaitimas iki 300°C	C ₂ H ₆
Terminis alyvos ir popieriaus izoliacijos įkaitimas virš 300°C	C ₂ H ₄
Popieriaus izoliacijos irimas	CO, CO ₂

Pagrindinių bei charakteringųjų dujų nustatymui, apskaičiuojamos alyvoje ištirpusių dujų lyginamosios koncentracijos. Skaičiavimai atliekami naudojantis formule [10]:

$$a_i = \frac{A_i}{A_{rib.i}}; \quad (5)$$

čia A_i – i – ūjų dujų koncentracijos reikšmė išmatuota chromatografu; $A_{rib.i}$ – i – ūjų dujų ribinė koncentracija.

Remiantis skaičiavimų duomenimis ir kiekiu bei svarba gedimo charakteristikai, dujos gali būti skirstomos į:

- pagrindines, kai gautoji lyginamosios koncentracijos reikšmė didžiausia ($a_{i.maks}$). Dujos CO₂ priskiriamos pagrindinėms, kai $a_{CO_2} > 1$;
- didelio kiekio charakteringąsias dujas, kai $a_i \geq 1$;
- mažo kiekio charakteringąsias dujas, kai $0,1 \leq a_i < 1$;
- necharakteringąsias dujas, kai $a_i < 0,1$.

Norint tiksliai stebėti dujų pokyčius būtina tikrinti ir žymėti pradinę dujų koncentraciją alyvoje A_{i0} po kiekvieno kapitalinio remonto bei jungiant naują įrenginį į tinklą.

3. GALIOS TRANSFORMATORIŲ DUOMENŲ ANALIZĖ

Atlikus transformatorių gedimo įvertinimo metodų ir priemonių apžvalgą, išskirti pagrindiniai galios transformatorių gedimų tipai bei sugrupuoti kokybės ir patikimumo rodikliai, siekiant sukaupti didžiausią galimą kiekį informacijos ir tinkamai suplanuoti įrangos techninę priežiūrą. Tiriamų transformatorių pagrindiniai gedimų tipai buvo šie:

- dalinis išlydis, kibirkščiavimas bei lanko išlydis izoliacinėje alyvoje;
- išlydis kietojoje izoliacijoje;
- izoliacijos šilimas bei priešlaikinis senėjimas;
- konstrukcinių medžiagų šilimas;

- apvijų išsikraipymai;
- transformatorinės alyvos bei kietosios izoliacijos drėkimas;
- paviršių išsikraipymai;
- izoliacijos senėjimas;
- izoliacijos bei mechaninės dalies jungčių susilpnėjimas;
- magnetinės grandinės ir apvijų slėgis, transformatoriaus bako vibracijos;
- aušinimo sistemos ventiliatorių sutrikimai ir siurblių vibracijos.

Remiantis atlikta analize ir grupavimu, galima daryti tokias išvadas: galimų transformatorių gedimų nustatymui pakanka turėti transformatoriaus alyvos kokybės charakteristikas. Didžiausią duomenų kiekį galima surinkti analizuojant izoliacinės alyvos būklę su ištirpusių dujų koncentracijomis, todėl galios transformatoriaus patikimumo modelis turėtų būti sukurtas remiantis šiomis charakteristikomis. Svarbiausiomis charakteristikomis, laikomi tie požymiai, kurie artimiausiai susiję su galios transformatorių veikos sutrikimais. Pagrindinėmis galios transformatorių kokybinėmis charakteristikomis laikomos: alyvos pliūpsnio temperatūra, ištirpusių dujų koncentracijos alyvoje kitimas, vandens koncentracija alyvoje, alyvos rūgštingumas, dielektrinių nuostolių kampas. Galios transformatorių avaringumo bei techninės būklės įvertinimui, atliekamas izoliacijos charakteristikų tyrimas. Nustatinėjant techninę galios transformatorių vidinės izoliacijos ir kitų dalių būklę, nėra būtina įrenginį atjungti nuo darbinės įtampos. [11]

3.1. Transformatorių dujų koncentracijų kitimas

Ištirpusių dujų kiekio bei sudėties kitimas priklauso nuo gedimo ar defekto įtakojančio galios transformatorius. Dujas suskirsčius į pagrindines, charakteringąsias bei necharakteringąsias ir ištyrus jų koncentracijas galima atlikti apytikslę defektų prigimties ir priežasties prognozę. Lentelėje 2 aprašytos dujų sudėtys bei jų susidarymo (koncentracijų padidėjimo) priežastys [12].

2 lentelė. Dujų susidarymo galios transformatoriuose priežastys ir sudėtis [12]

Alyvoje ištirpusių dujų sudėtis ir kiekis	Galimos dujų susidarymo priežastys
CO ₂ , CO ₂ ir CO CO ₂ – pagrindinės dujos CO – bet kokio kiekio charakteringosios dujos	Transformatorius perkrautas Didelė alyvos drėgmė Popieriaus izoliacija paveikta termiškai
H ₂ , CH ₄ H ₂ – pagrindinės dujos CH ₄ – mažo kiekio charakteringosios dujos	Daliniai išlydžiai transformatorinėje alyvoje

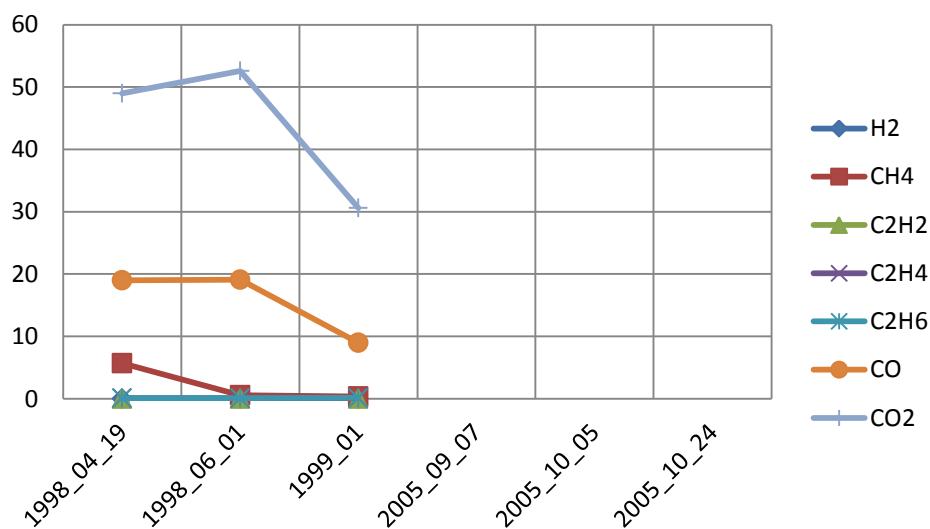
H ₂ , CH ₄ , C ₂ H ₂ , C ₂ H ₄ , CO ₂ H ₂ ir C ₂ H ₂ – pagrindinės dujos CH ₄ ir C ₂ H ₄ – didelio kiekio charakteringosios dujos CO ₂ – charakteringos dujos	Alyvos skaidymąsi sukiantį didelės energijos lankinė išškova
H ₂ , CH ₄ , C ₂ H ₄ , CO ₂ H ₂ – pagrindinės dujos CH ₄ ir C ₂ H ₄ – didelio kiekio charakteringosios dujos CO ₂ – charakteringos dujos	Aukštos temperatūros alyvos perkaitimas
H ₂ , CH ₄ , C ₂ H ₂ , C ₂ H ₄ , C ₂ H ₆ , CO ir CO ₂ H ₂ ir C ₂ H ₂ – pagrindinės dujos CH ₄ ir C ₂ H ₄ – didelio kiekio charakteringosios dujos CO – mažo kiekio charakteringosios dujos C ₂ H ₆ – necharakteringosios dujos	Popieriaus izoliaciją palietęs aukštos temperatūros lanko susidarymas
C ₂ H ₆ , CH ₄ , CO ₂ , CO ir H ₂ CO ₂ ir C ₂ H ₆ – pagrindinės dujos CH ₄ – mažo kiekio charakteringosios dujos CO – bet kokio kiekio charakteringosios dujos H ₂ – necharakteringosios dujos	Popieriaus izoliacija paveikta termiškai įkaitimo vietos temperatūra iki 300 °C

Galios transformatorių tyrimui surinkti realių chromatografinių tyrimų duomenys. Tam tikrus laiko tarpus buvo tiriami 22 skirtingi galios transformatoriai. Paveikslėliuose 6 – 27 pavaizduoti kiekvieno galios transformatoriaus dujų (H₂, CH₄, C₂H₂, C₂H₄, C₂H₆, CO, CO₂) koncentracijų kitimai laikui bėgant.

Išnagrinėjus transformatorių 1, 2, 3, 4 duomenis ir pagal juos nubraižytus grafikus (pav. 6-9) bei remiantis teorijoje aprašytu dujų koncentracijų tyrimu, matyti, kad transformatoriai dirba normaliai. Dujų koncentracijos nėra ženkliai padidėjusios, o staigių kritimų taip pat nėra.

3 lentelė. Transformatoriaus 1 duomenys

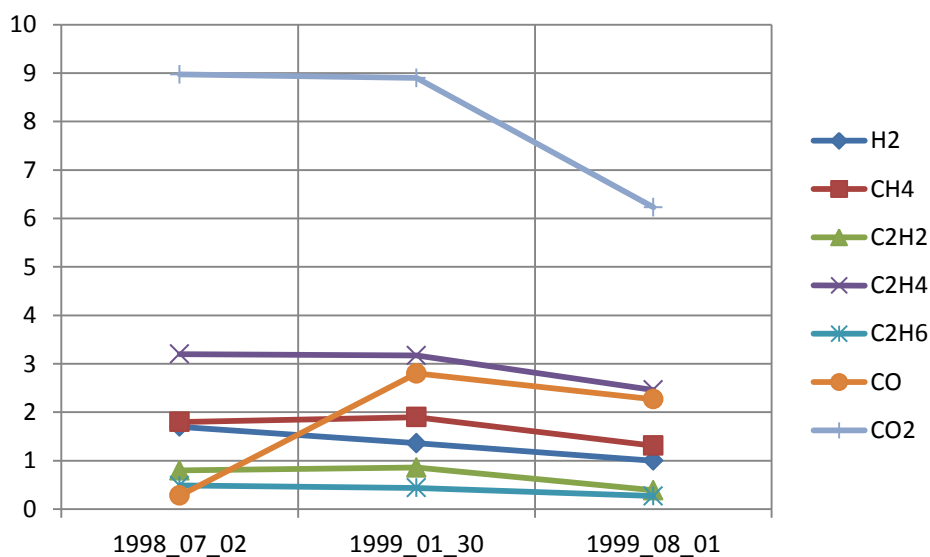
Alyvoje ištirpusių dujų chromatografinė analizė	H ₂	CH ₄	C ₂ H ₂	C ₂ H ₄	C ₂ H ₆	CO	CO ₂
1998_04_19	0	5,7	0	0,097	0,11	19	49
1998_06_01	0	0,56	0	0,094	0,1	19,1	52,6
1999_01	0	0,36	0	0,11	0,12	9	30,6



6 pav. Galios transformatoriaus 1 duomenų kitimas duomenų kaupimo laikotarpiu

4 lentelė. Transformatoriaus 2 duomenys

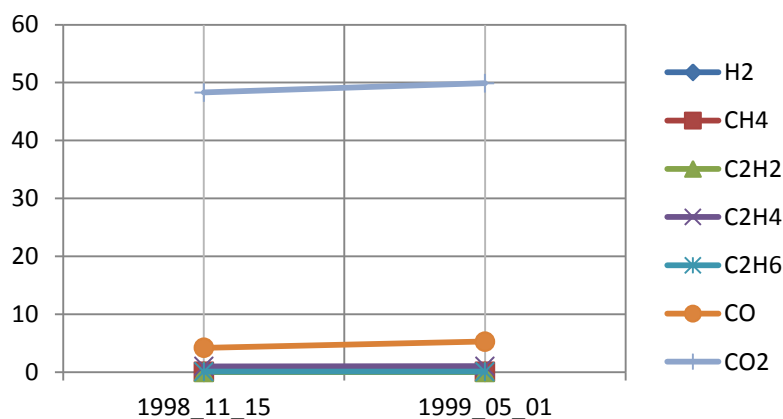
Alyvoje ištirpusių dujų chromatografinė analizė	H2	CH4	C2H2	C2H4	C2H6	CO	CO2
1998_07_02	1,7	1,8	0,8	3,2	0,49	0,28	8,97
1999_01_30	1,36	1,9	0,86	3,17	0,44	2,8	8,9
1999_08_01	1	1,31	0,39	2,46	0,27	2,27	6,23



7 pav. Galios transformatoriaus 2 duomenų kitimas duomenų kaupimo laikotarpiu

5 lentelė. Transformatoriaus 3 duomenys

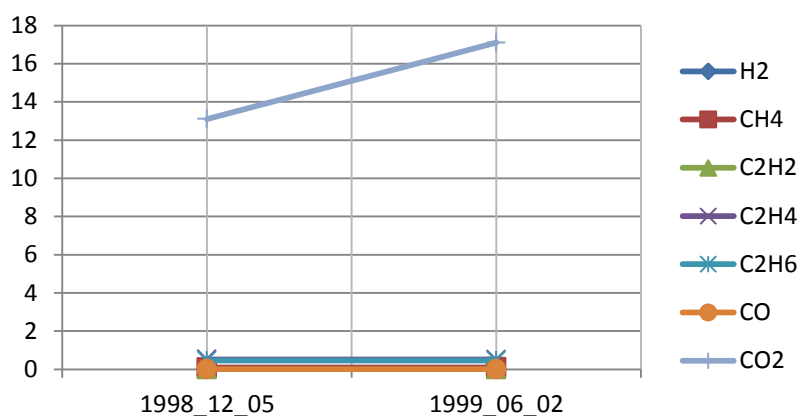
Alyvoje ištirpusių dujų chromatografinė analizė	H2	CH4	C2H2	C2H4	C2H6	CO	CO2
1998_11_15	0	0,08	0	0,99	0,08	4,2	48,3
1999_05_01	0	0,1	0	1,02	0,08	5,3	49,9



8 pav. Galios transformatoriaus 3 duomenų kitimas duomenų kaupimo laikotarpiu

6 lentelė. Transformatoriaus 4 duomenys

Alyvoje ištirpusių dujų chromatografinė analizė	H2	CH4	C2H2	C2H4	C2H6	CO	CO2
1998_12_05	0	0,09	0	0,52	0,46	0	13,1
1999_06_02	0	0,1	0	0,51	0,46	0	17,1



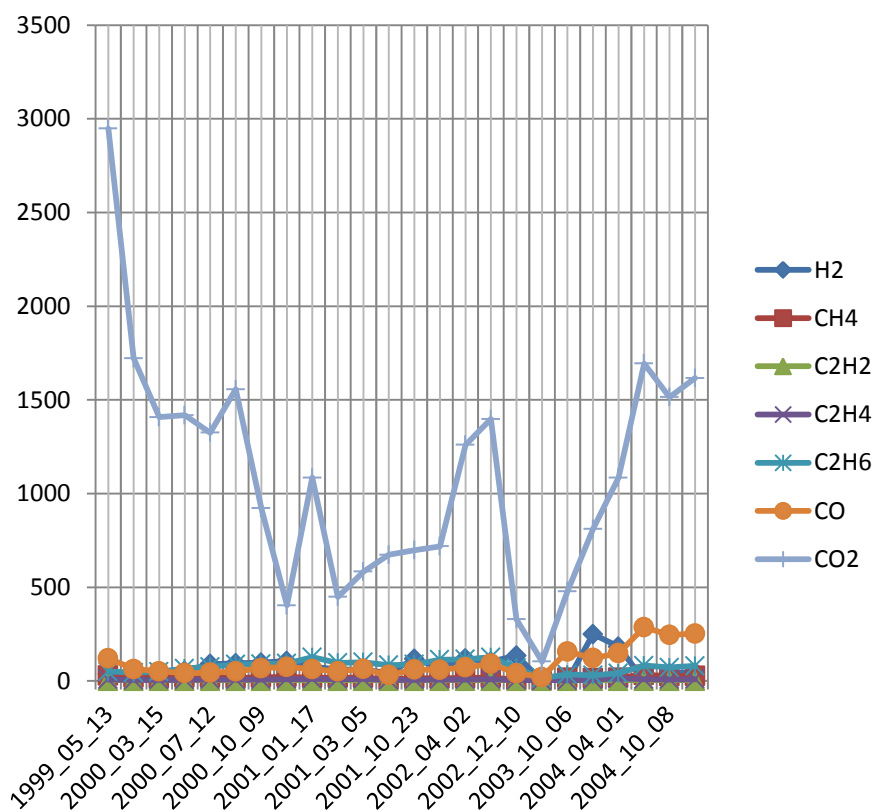
9 pav. Galios transformatoriaus 4 duomenų kitimas duomenų kaupimo laikotarpiu

Paveikslėlyje 10 akivaizdžiai matomas ryškus dujų koncentracijos kritimas 2003 metais, kurį lemia atliktas galios transformatoriaus 5 remontas, tačiau po remonto dujų kiekis ir vėl didėja, todėl galime daryti prielaidą, kad transformatorius turi tam tikrą defektą. Kadangi dujose susidariusi didžiausia CO₂ dujų koncentracija, daroma išvada, kad transformatorius 5 yra perkaitęs.

7 lentelė. Transformatoriaus 5 duomenys

Alyvoje ištirpusių dujų chromatografinė analizė	H2	CH4	C2H2	C2H4	C2H6	CO	CO2
1999_05_13	37,21	27,87	0	8,08	49,66	120,91	2947,45
1999_11_11	30,53	17,8	0	4,72	44,52	63,51	1722,22

2000_03_15	27,14	14,28	0	6,01	48,68	51,59	1407,47
2000_06_27	52,18	18,22	0	5,89	66,74	42,04	1417,92
2000_07_12	90,03	20	0	7,56	75,56	43,48	1325,22
2000_08_25	93,89	15,72	0	6,66	87,57	51,54	1556,48
2000_10_09	97	19,59	0	7,57	90,6	67,4	921,49
2000_11_10	105,57	21,35	0	9,38	93	75,3	403,55
2001_01_17	76,33	18,01	0	10,33	126,23	62,4	1084,8
2001_01_29	61,44	18,06	0	9,02	96,9	51,25	448,84
2001_03_05	58,92	17,89	0	9,87	100,13	64,3	583,56
2001_05_28	43,63	8,96	0	5,37	84,33	31,78	672,71
2001_10_23	117,4	14,56	0	6,31	87,75	60,41	698,05
2002_02_27	72,41	13,65	0	7,77	113,9	59,91	718,58
2002_04_02	118,39	15,23	0	7,81	115,68	72,57	1260,01
2002_05_06	102,91	17,77	0	8,61	126,31	91,76	1397,62
2002_12_10	135,33	6,97	0	4,35	69,26	41,1	328,74
2003_03_04	0	2,79	0	1,42	16,64	20,29	103,05
2003_10_06	0	17,23	0	2,88	34,15	157,23	477,48
2003_12_03	249	14,89	0	7,24	30,25	122,03	810,28
2004_04_01	182,91	17,02	0	13,6	40,75	147,41	1084,69
2004_08_23	0	32,28	0	8,48	82,28	287,37	1693,47
2004_10_08	40,15	26,01	0	7,98	72,1	245,34	1514,07
2004_11_03	45,74	26,36	0	9,24	80,37	253,2	1615,79



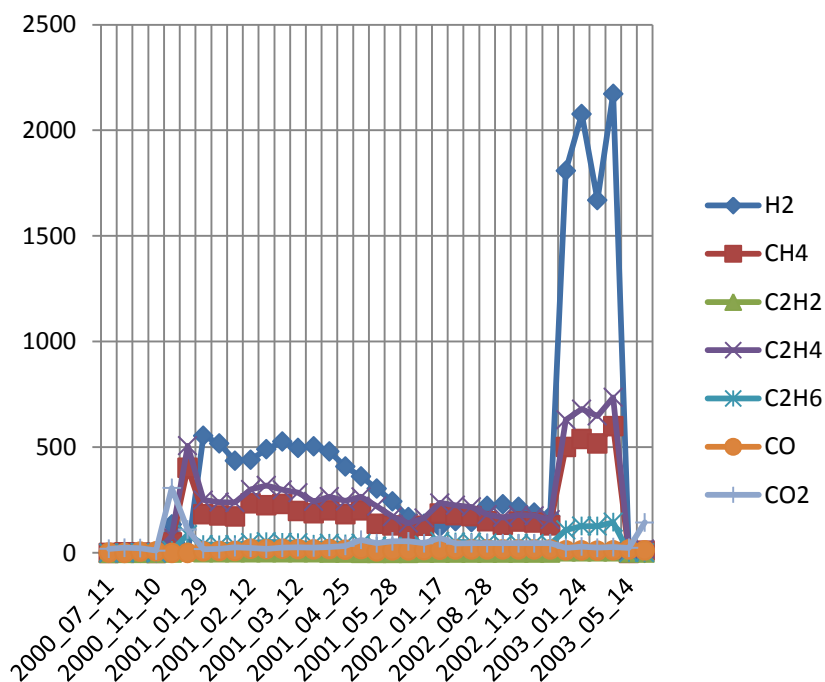
10 pav. Galios transformatoriaus 5 duomenų kitimas duomenų kaupimo laikotarpiu

Transformatoriaus 6 alyvoje, matosi staigus H₂ dujų koncentracijų augimas, per vieną mėnesį koncentracija padidėjo nuo 172,92, kuris taip pat laikomas viršijančiu normalaus

darbo ribas, iki 1809,47. Kadangi daugumos dujų koncentracijos taip pat ženkliai viršija limitus, daroma prielaida, kad transformatoriaus defektas – aukštos temperatūros alyvos perkaitimas.

8 lentelė. Transformatoriaus 6 duomenys

Alyvoje ištirpusių dujų chromatografinė analizė	H2	CH4	C2H2	C2H4	C2H6	CO	CO2
2000_07_11	0	0	0	0	0	0,83	18,35
2000_07_20	0	2,57	0	0	0	0	23,83
2000_10_09	0	0,91	0	1,8	0,74	5,86	22,03
2000_11_10	0	0	0	0,12	0	7,16	10,26
2000_12_05	133,8	49,67	1,39	78,7	11,18	0,12	306,42
2001_01_24	0	403	5,3	507	86	0	110
2001_01_29	553,66	183,37	2,61	250,11	39,36	7	17,45
2001_01_31	518,1	176,97	2,26	239,73	37,96	7,82	18,2
2001_02_05	436,49	172,28	1,86	237,73	38,31	8,73	26,53
2001_02_12	440,9	234,19	2,54	299,49	47,28	19,13	23,4
2001_02_20	490,32	224,51	3,1	318,7	51,96	17,35	18,65
2001_03_06	526,64	230,56	2,76	298,33	49,52	18,48	23,69
2001_03_12	497,08	197,62	2	284,36	47,52	17,56	26,41
2001_03_26	504,09	186,64	1,88	242,89	40,52	15,54	24,85
2001_04_04	479,29	201,6	1,44	265,85	44,78	18,27	27,57
2001_04_25	408,31	183,09	1,59	245,36	42,31	15,24	31,97
2001_05_07	361,51	200,49	0	264,68	45,57	16,82	61,24
2001_05_07	303,81	137,58	0	220,26	31,56	6,68	45,15
2001_05_28	243,18	129,26	0	170,71	28,93	10,83	54,45
2001_07_17	168,39	104,37	0	139,99	28,93	10,83	54,45
2001_10_23	137,69	128,26	0,52	164,31	36,19	12,77	45,17
2002_01_17	121,57	186,06	0,6	235,89	53,92	15,18	69,78
2002_02_17	149,55	178,75	0,4	224,54	51,31	16,76	43,33
2002_02_17	144,7	174,07	0,5	217,43	49,96	15,4	45,04
2002_08_28	222,03	148,73	0,5	181,82	46,91	15,4	45,04
2002_09_09	229,79	132,34	0,5	167,18	39,11	15,4	45,04
2002_10_02	218,29	147,74	0,5	178,94	43,03	15,4	45,04
2002_11_05	190,74	143,64	0,5	175,92	43,11	15,4	45,04
2002_12_05	172,92	130,14	0,5	156,36	38,78	15,4	45,04
2003_01_13	1809,47	500,43	6,65	629,16	108,42	11,89	23,27
2003_01_24	2076,5	539,24	7,02	680,24	126,05	11,92	29,41
2003_01_31	1669,85	517,58	6,81	647,8	125,97	10,7	24,37
2003_02_07	2173,4	599,47	7,26	735,31	144,42	11,18	26,78
2003_05_14	0	0	0,25	6,39	1,04	15,46	22,93
2004_03_30	0	9,34	0,62	16,84	1,51	11,8	143,76

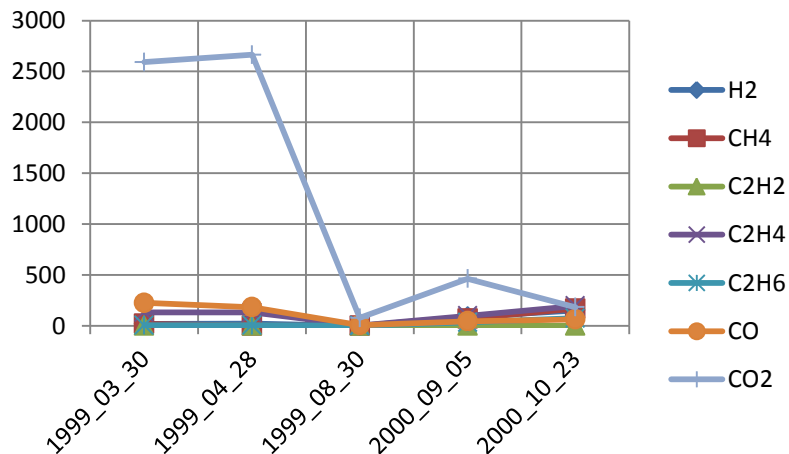


11 pav. Galios transformatoriaus 6 duomenų kitimas duomenų kaupimo laikotarpiu

Galios transformatoriuose 7 ir 8 padidėję H_2 , CH_4 , C_2H_4 ir C_2H_6 kiekiai gali būti dėl transformatorinės alyvos išilimo, kadangi koncentracijų šuoliai nėra staigūs, rimtesnių defektų galimybė atmetama, o galios transformatoriai turi būti periodiškai stebimi.

9 lentelė. Transformatoriaus 7 duomenys

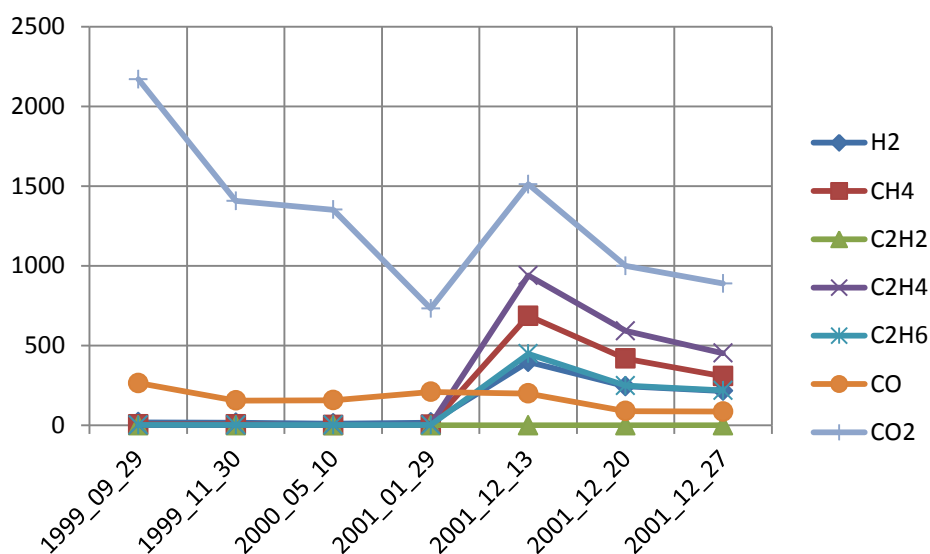
Alyvoje ištirpusių dujų chromatografinė analizė	H_2	CH_4	C_2H_2	C_2H_4	C_2H_6	CO	CO_2
1999_03_30	18,49	19,56	0	133,22	5,73	224,51	2592,11
1999_04_28	21,22	2,17	0	130,44	5,67	182,89	2664,31
1999_08_30	0	0,41	0	1,44	0	6,52	77,17
2000_09_05	88,66	70,12	0	97,87	33,58	43,89	462,26
2000_10_23	151,19	168,87	0	196,07	74,06	62,8	182,32



12 pav. Galios transformatoriaus 7 duomenų kitimas duomenų kaupimo laikotarpiu

10 lentelė. Transformatoriaus 8 duomenys

Alyvoje ištirpusių dujų chromatografinė analizė	H2	CH4	C2H2	C2H4	C2H6	CO	CO2
1999_09_29	19,08	6,14	0	1,51	2,56	264,85	2169,79
1999_11_30	16,59	5,89	0	1,97	2,09	156,11	1406,87
2000_05_10	10,91	1,6	0,21	2,12	1,89	157,78	1351,98
2001_01_29	16,98	2,83	0	5,2	2,64	210,09	732,71
2001_12_13	397,15	686,72	0,15	938,99	449,11	200,19	1511,02
2001_12_20	245,45	418,53	0,15	592,36	248,86	89,48	999,31
2001_12_27	215,84	307,78	0	452,71	218,89	86,48	889,46

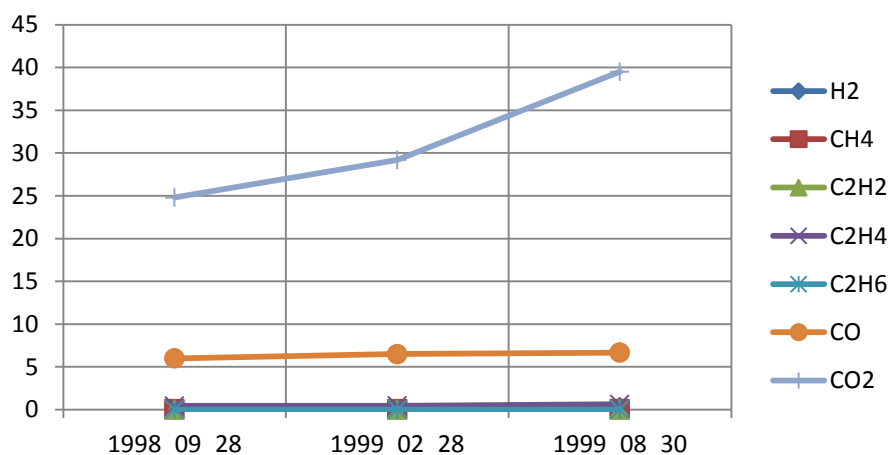


13 pav. Galios transformatoriaus 8 duomenų kitimas duomenų kaupimo laikotarpiu

9, 10, 11 transformatoriai dirba normaliai, 10 – tame transformatoriuje šiek tiek padidėjęs CO₂ dujų kiekis, kuris gali būti atsiradęs dėl nežymių defektų, tokių kaip popieriaus izoliacijos pažeidimai ir nedideli temperatūrų pakilimai.

11 lentelė. Transformatoriaus 9 duomenys

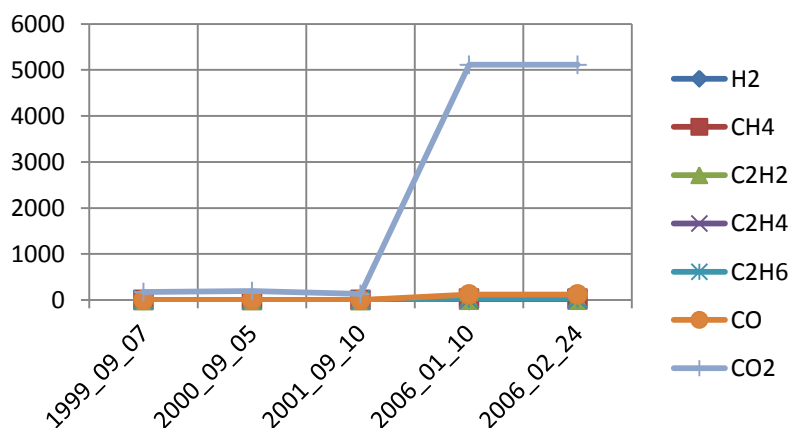
Alyvoje ištirpusių dujų chromatografinė analizė	H2	CH4	C2H2	C2H4	C2H6	CO	CO2
1998_09_28	0	0,065	0	0,43	0	6	24,8
1999_02_28	0,065	0,07	0	0,45	0	6,5	29,2
1999_08_30	0,28	0,063	0	0,63	0	6,67	39,5



14 pav. Galios transformatoriaus 9 duomenų kitimas duomenų kaupimo laikotarpiu

12 lentelė. Transformatoriaus 10 duomenys

Alyvoje ištirpusių dujų chromatografinė analizė	H ₂	CH ₄	C ₂ H ₂	C ₂ H ₄	C ₂ H ₆	CO	CO ₂
1999_09_07	0,35	0,91	0	0,38	1,62	1,1	173,4
2000_09_05	0,36	0,97	0	0,41	1,76	1,5	193,2
2001_09_10	0,34	0,97	0	0,39	1,69	2,8	130,2
2006_01_10	0	31	4,95	16,8	28,8	120	5110
2006_02_24	0,1	31	4,95	16,8	28,8	120	5110

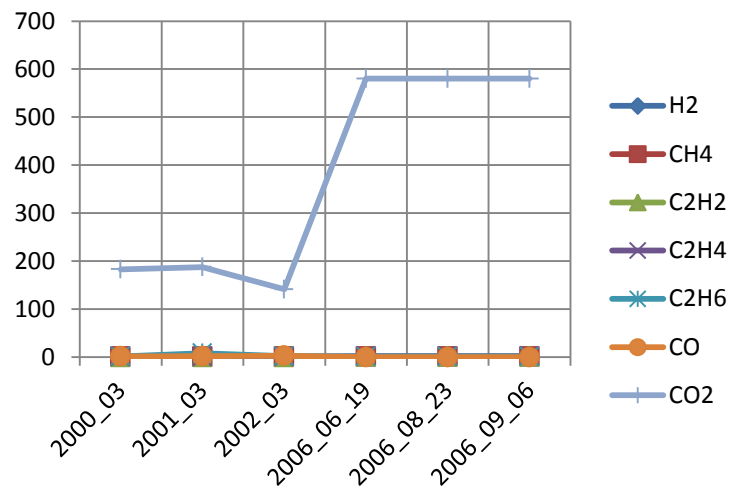


15 pav. Galios transformatoriaus 10 duomenų kitimas duomenų kaupimo laikotarpiu

13 lentelė. Transformatoriaus 11 duomenys

Alyvoje ištirpusių dujų chromatografinė analizė	H ₂	CH ₄	C ₂ H ₂	C ₂ H ₄	C ₂ H ₆	CO	CO ₂
2000_03	0,4	0,97	0	0,4	1,7	1,4	182,9
2001_03	0,39	0,95	0	0,42	8,3	1,8	187,6
2002_03	0,37	0,97	0	0,41	1,75	3	141,3
2006_06_19	0	1	0,84	2,2	1,2	0	580
2006_08_23	0	1	0,84	2,2	1,2	0	580

2006_09_06	0	1	0,84	2,2	1,2	0	580
------------	---	---	------	-----	-----	---	-----

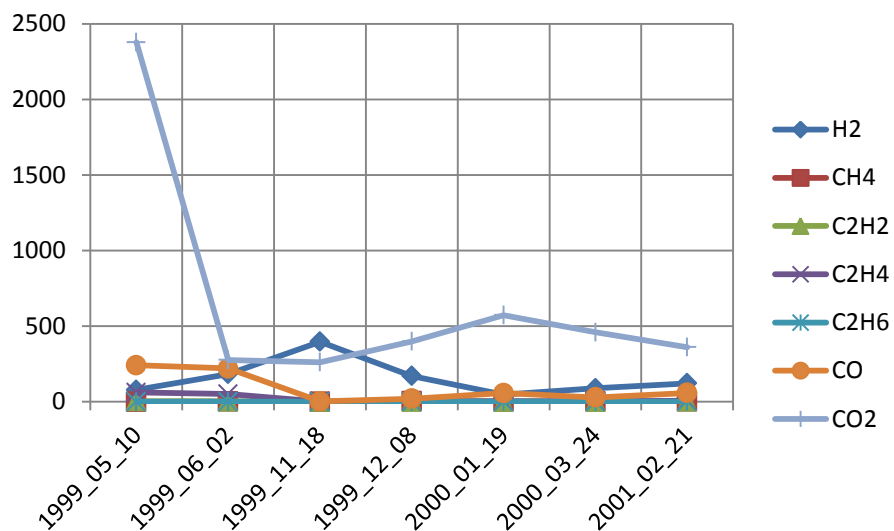


16 pav. Galios transformatoriaus 11 duomenų kitimas duomenų kaupimo laikotarpiu

Išnagrinėjus 12 ir 13 transformavimo įrenginių duomenis, galima daryti išvadą, kad transformatoriuose gali būti susidaręs elektros lankas arba perkaitimas.

14 lentelė. Transformatoriaus 12 duomenys

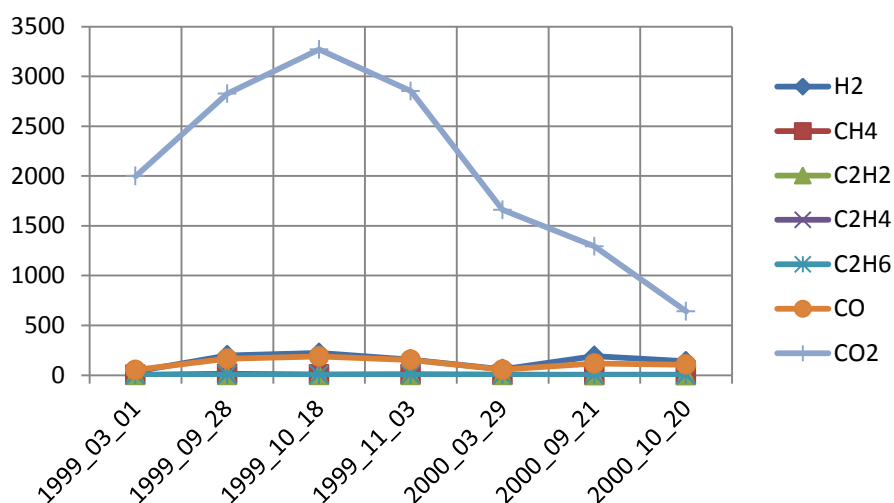
Alyvoje ištirpusių dujų chromatografinė analizė	H2	CH4	C2H2	C2H4	C2H6	CO	CO2
1999_05_10	78,89	0	2,92	61,51	0,65	241,57	2377,74
1999_06_02	183,04	0,88	2,5	50,86	0	220,08	276,52
1999_11_18	396,75	0,37	0	0,97	0	2,23	261,19
1999_12_08	170,14	2,86	0	2,34	0,23	20,72	399,5
2000_01_19	48,32	2,21	0	3,69	0,45	57,11	572,68
2000_03_24	88,73	0,78	0	2,73	0,36	28,31	459,95
2001_02_21	122	0,84	1,04	6,57	0,74	57,91	360,86



17 pav. Galios transformatoriaus 12 duomenų kitimas duomenų kaupimo laikotarpiu

15 lentelė. Transformatoriaus 13 duomenys

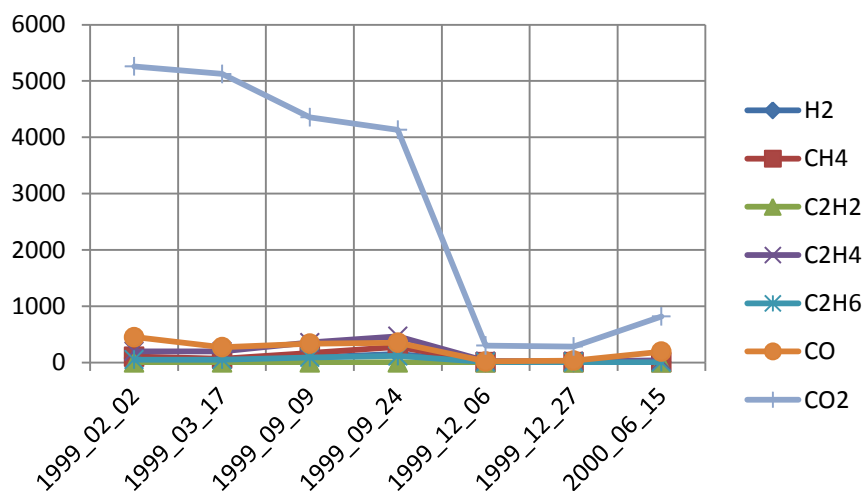
Alyvoje ištirpusių dujų chromatografinė analizė	H2	CH4	C2H2	C2H4	C2H6	CO	CO2
1999_03_01	37,97	2,31	0	4,69	3,1	52,48	1997,83
1999_09_28	199,73	14,72	1,12	5,51	4,24	165,83	2825,46
1999_10_18	222,6	6,41	0,92	5,97	4,11	188,49	3269,43
1999_11_03	156,62	8,99	0,12	5,84	4,01	154,59	2852,23
2000_03_29	60,55	4,41	0,88	4,66	3,31	55,57	1660,21
2000_09_21	192,84	1,97	0,88	4,58	3,31	116,44	1292,44
2000_10_20	138,85	1,65	0,65	5,25	3,24	104,99	640,07



18 pav. Galios transformatoriaus 13 duomenų kitimas duomenų kaupimo laikotarpiu

16 lentelė. Transformatoriaus 14 duomenys

Alyvoje ištirpusių dujų chromatografinė analizė	H2	CH4	C2H2	C2H4	C2H6	CO	CO2
1999_02_02	77,18	104,52	0	196,78	51,17	451,3	5259,27
1999_03_17	62,54	67,2	0	196,02	48,99	271,73	5125,59
1999_09_09	88,64	167	0	355,45	89,61	333,99	4355,38
1999_09_24	152,24	277,48	0,79	465,39	115,44	351,11	4131,95
1999_12_06	3,87	6,15	0	23,57	6,53	18,97	298,99
1999_12_27	5,02	7,44	0	21,29	5,23	31,84	284,21
2000_06_15	9,3	3,51	0	34,9	4,99	190,88	817,06

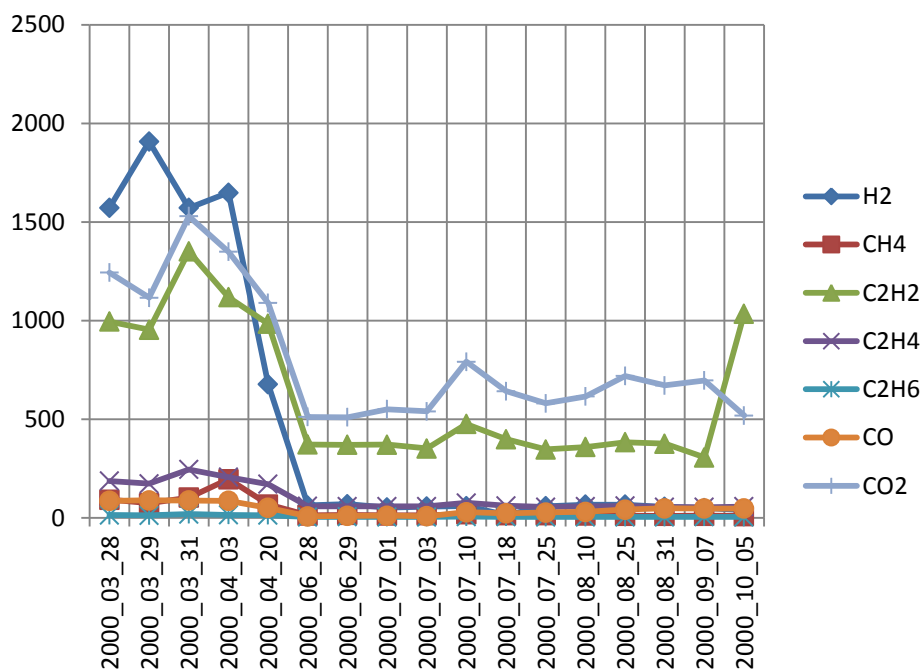


19 pav. Galios transformatoriaus 14 duomenų kitimas duomenų kaupimo laikotarpiu

Galios transformatorius 15 akivaizdžiai turi rimtą defektą ar net keletą jų. Daugumos dujų koncentracijos ženkliai padidėjusios, gali daliniai išlydziai alyvoje, kibirkščiavimas, elektros lanko atsiradimas ir staigus temperatūrų šuolis. Po transformatoriaus remonto, C₂H₂ dujų koncentracijos lieka per aukštos, todėl transformatorius turi būti toliau stebimas, siekiant išvengti perkaitimo.

17 lentelė. Transformatoriaus 15 duomenys

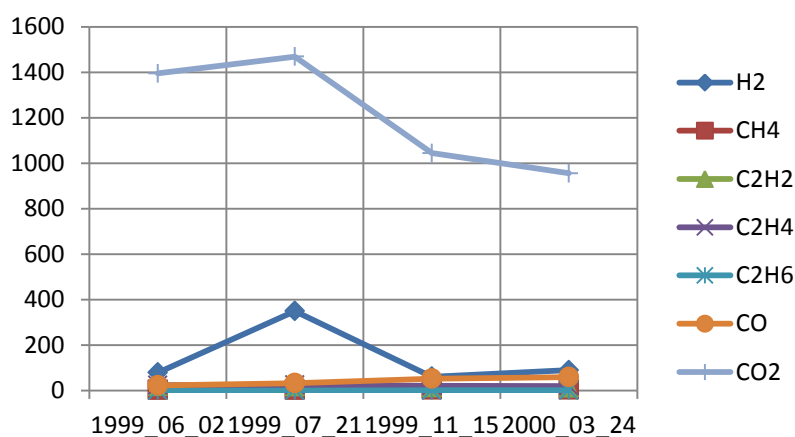
Alyvoje ištirpusių dujų chromatografinė analizė	H2	CH4	C2H2	C2H4	C2H6	CO	CO2
2000_03_28	1572	92,46	995,4	187,2	14,4	86,7	1243,7
2000_03_29	1907,25	74,62	953,64	173,68	13,04	88,78	1116,19
2000_03_31	1571,32	102,88	1351,07	246,04	19,11	88,14	1529,13
2000_04_03	1648,94	196,4	1119	207	15,53	86,43	1349,39
2000_04_20	677,48	68,13	983,95	171,05	13,96	51,21	1089,75
2000_06_28	63,45	12,88	372,29	59	4,96	7,63	511,81
2000_06_29	69,46	15,33	370,38	58,68	5,31	10,8	510,14
2000_07_01	52,37	12,86	371,34	58,44	4,8	11,19	551,02
2000_07_03	57,78	13,68	352,08	58,49	5,05	9,15	540,01
2000_07_10	60,1	18,48	476,15	76,42	6,6	28,94	791,5
2000_07_18	15,04	13,35	398,78	61,28	5,92	23,31	642,27
2000_07_25	59,3	13,92	347,54	55,36	5,14	27,3	580,7
2000_08_10	67,46	12,04	359,32	58,17	5,04	30,5	615,69
2000_08_25	67,07	11,17	383,29	61,16	5,13	42,25	719,7
2000_08_31	55,97	10,38	376,1	54,78	4,84	48,98	672,07
2000_09_07	50,05	11,37	306,71	54,45	5,51	47,79	696,58
2000_10_05	39,19	9,89	1035,366	57,19	4,64	48,02	519,52



20 pav. Galios transformatoriaus 15 duomenų kitimas duomenų kaupimo laikotarpiu

18 lentelė. Transformatoriaus 16 duomenys

Alyvoje ištirpusių dujų chromatografinė analizė	H2	CH4	C2H2	C2H4	C2H6	CO	CO2
1999_06_02	78,87	3,05	20,28	23,06	0	22,31	1394,66
1999_07_21	349,17	2,82	18,62	23,73	0	32,37	1468,48
1999_11_15	60,51	5,18	14,86	20,26	0,76	52,24	1044,41
2000_03_24	89,67	4,49	13,04	19,8	0,65	59,02	955,35

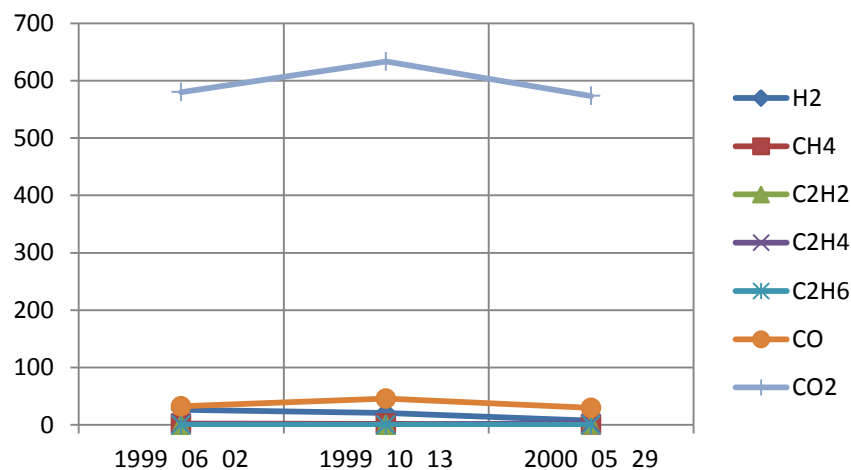


21 pav. Galios transformatoriaus 16 duomenų kitimas duomenų kaupimo laikotarpiu

19 lentelė. Transformatoriaus 17 duomenys

Alyvoje ištirpusių dujų chromatografinė analizė	H2	CH4	C2H2	C2H4	C2H6	CO	CO2
1999_06_02	26,57	2,33	0	1,41	0	32,39	579,83

1999_10_13	20,97	2,02	0	0,79	0	45,83	633,19
2000_05_29	7,39	0,32	1,32	2,87	0	29,74	573,38

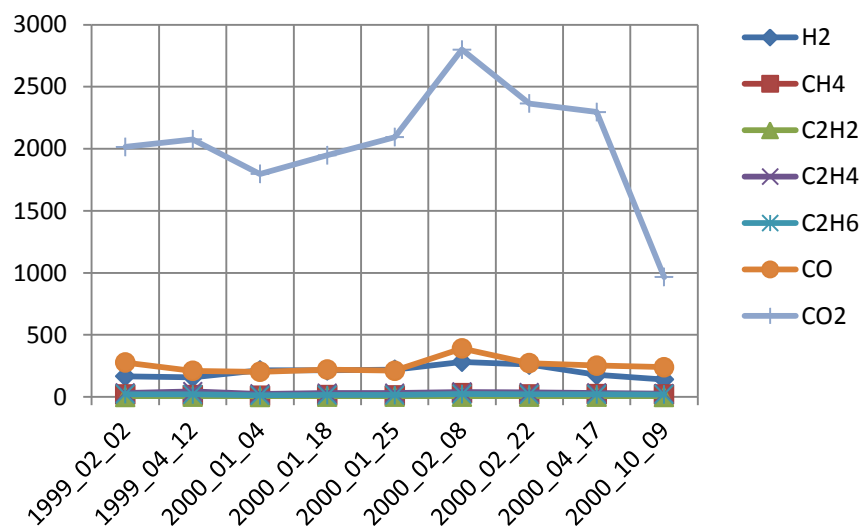


22 pav. Galios transformatoriaus 17 duomenų kitimas duomenų kaupimo laikotarpiu

Kadangi transformatoriuje 18 nusistovėjęs H₂ dujų koncentracijų pakilimas, įrenginyje greičiausiai atsirado elektros lankas ir kibirkščiavimas, todėl būtina įrangos patikra bei remontas.

20 lentelė. Transformatoriaus 18 duomenys

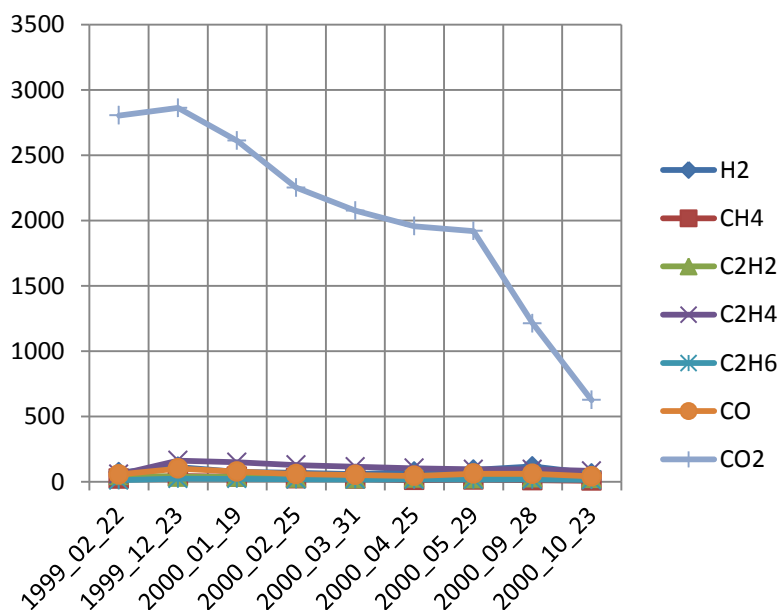
Alyvoje ištirpusių dujų chromatografinė analizė	H2	CH4	C2H2	C2H4	C2H6	CO	CO2
1999_02_02	165,62	19,82	0	31,27	20,99	276,77	2015,2
1999_04_12	157,87	14,18	0,41	42,71	20,53	209,41	2076,14
2000_01_04	214,08	9,06	0	24,46	12,89	201,83	1796,43
2000_01_18	213,86	13,19	0,3	30,3	14,84	219,51	1947,24
2000_01_25	218,36	11,4	0,46	30,08	14,68	210,44	2093,86
2000_02_08	281,47	29,8	0,47	39,69	22,29	390,54	2799,06
2000_02_22	260,47	18,87	0,61	34,86	19,68	272,17	2364,48
2000_04_17	177,71	22,15	0,87	31,9	19,58	252,33	2296,65
2000_10_09	140,02	19,53	0	27	18,51	238,95	966,39



23 pav. Galios transformatoriaus 18 duomenų kitimas duomenų kaupimo laikotarpiu

21 lentelė. Transformatoriaus 19 duomenys

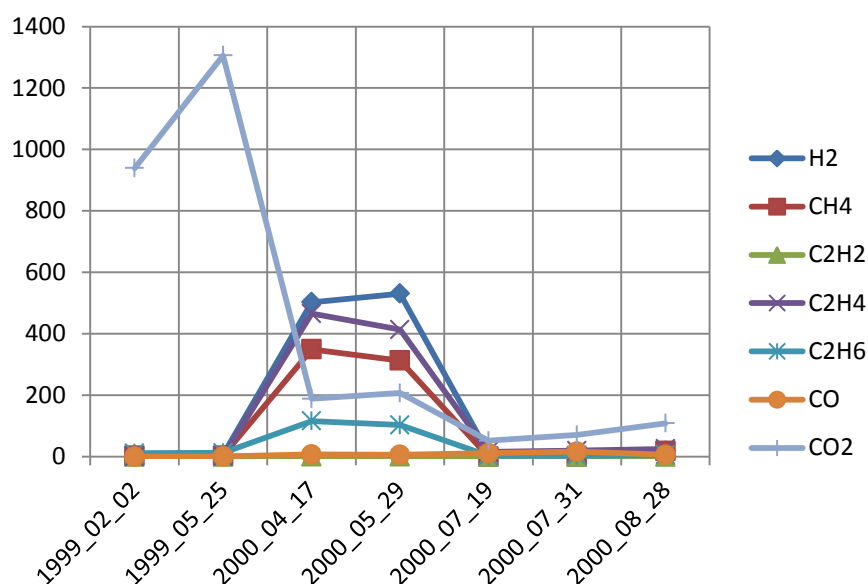
Alyvoje ištirpusių dujų chromatografinė analizė	H2	CH4	C2H2	C2H4	C2H6	CO	CO2
1999_02_22	71,99	24,77	50,53	57,55	12,25	56,89	2803,25
1999_12_23	114,23	44,41	39,65	163,04	24,61	102,11	2861,8
2000_01_19	77,67	38,81	38,08	149,09	23,14	78,5	2609,71
2000_02_25	68,78	27,22	31,51	129,18	20,1	58,88	2251,22
2000_03_31	58,96	23,7	27,5	114,94	18,51	53,28	2075,22
2000_04_25	77,26	13,78	32,26	103,86	16,91	45,26	1956,04
2000_05_29	91,46	16,71	26,11	95,92	16,94	62,61	1919,52
2000_09_28	117,21	12,19	34,07	96,08	16,62	61,02	1213,01
2000_10_23	63,23	8,44	27,97	82,87	14,55	41,46	626,12



24 pav. Galios transformatoriaus 19 duomenų kitimas duomenų kaupimo laikotarpiu

22 lentelė. Transformatoriaus 20 duomenys

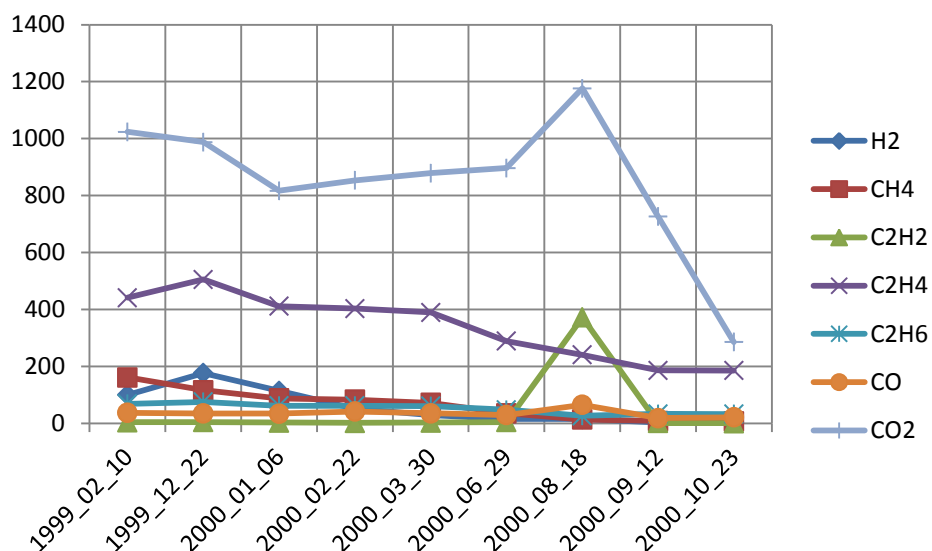
Alyvoje ištirpusių dujų chromatografinė analizė	H2	CH4	C2H2	C2H4	C2H6	CO	CO2
1999_02_02	6,44	3,02	0	0,2	11,47	0	939,39
1999_05_25	6,23	2,97	0	0,73	12,69	0,79	1305,74
2000_04_17	502,85	349,55	0,58	465,89	116,24	7,09	188,34
2000_05_29	530,63	312,93	0,48	413,63	103,1	6,45	207,34
2000_07_19	11,56	0	0	16,26	3,38	11,24	52,04
2000_07_31	15,6	0	0	19,55	3,74	16,74	71,03
2000_08_28	18,93	17,99	0	25,28	5,5	6,04	108,62



25 pav. Galios transformatoriaus 20 duomenų kitimas duomenų kaupimo laikotarpiu

23 lentelė. Transformatoriaus 21 duomenys

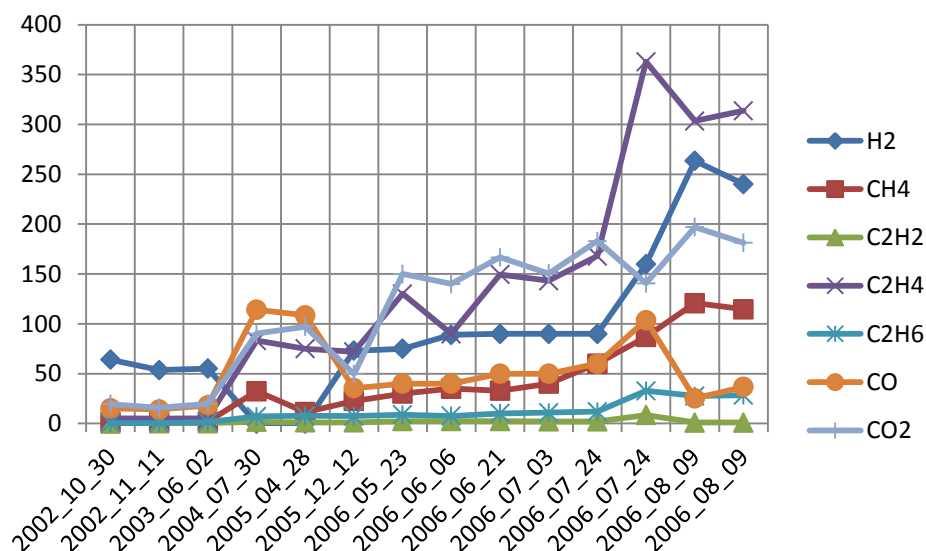
Alyvoje ištirpusių dujų chromatografinė analizė	H2	CH4	C2H2	C2H4	C2H6	CO	CO2
1999_02_10	100,66	161,75	4,75	441,7	69,05	37,7	1023,8
1999_12_22	176,97	117,06	5,06	506,03	75,87	35,47	988,13
2000_01_06	114,75	88,39	3,56	411,86	62,2	34,76	817,01
2000_02_22	52,62	83,87	2,4	403,77	62,69	42,34	853,79
2000_03_30	29,95	72,74	3,5	389,97	61,33	36,04	878,94
2000_06_29	16,58	36,16	5,34	289,64	48,36	29,67	897,06
2000_08_18	15,75	14,16	372,79	241,36	27,08	66,05	1176,72
2000_09_12	4,08	9,34	1,68	186,89	34	19,43	726,99
2000_10_23	5,57	8,21	1,19	186,34	33,42	22,08	285,94



26 pav. Galios transformatoriaus 21 duomenų kitimas duomenų kaupimo laikotarpiu

24 lentelė. Transformatoriaus 22 duomenys

Alyvoje ištirpusių dujų chromatografinė analizė	H2	CH4	C2H2	C2H4	C2H6	CO	CO2
2002_10_30	64,03	1,54	0	5,28	0,55	15,35	19,45
2002_11_11	53,68	1,64	0,23	4,8	0,44	14,18	15,78
2003_06_02	55,16	1,72	0,37	5,22	1,4	18,09	19,72
2004_07_30	0	32,44	1,73	83,12	7,12	114,11	90,18
2005_04_28	0	11,36	1,21	75	7,66	108,63	97,19
2005_12_12	73,02	22,62	1,12	72	7,38	35,45	49,66
2006_05_23	75	30	2,4	130	8,9	40	149,9
2006_06_06	89	35	2,4	90	7,5	40	140
2006_06_21	90	33	2,5	149,5	10,2	50	166,6
2006_07_03	90	40	2,1	143,2	10,9	50	150,5
2006_07_24	90	60	2,1	168	11,86	60	183
2006_07_24	159,82	86,92	8,54	362,86	32,7	103,7	140,7
2006_08_09	263,48	120,77	1	303,39	27,59	25,22	196,95
2006_08_09	240,12	114,7	1	313,71	28,45	36,79	181,32



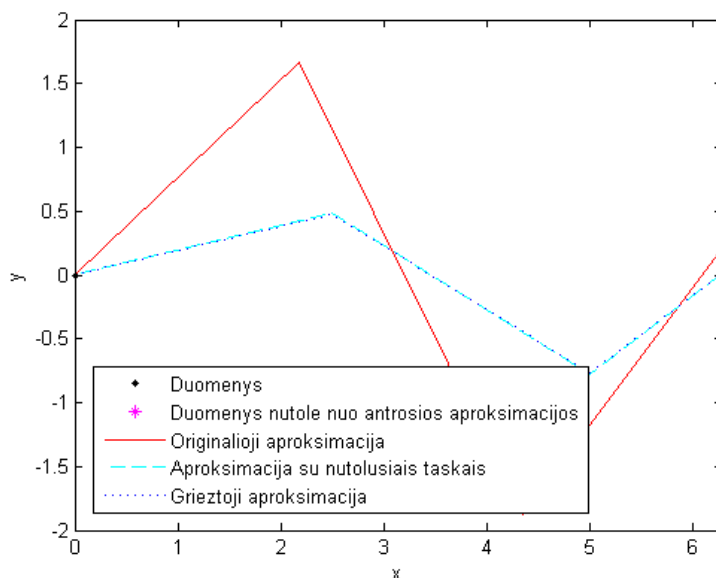
27 pav. Galios transformatoriaus 22 duomenų kitimas duomenų kaupimo laikotarpiu

Tyrimo laikotarpiu daugiausia surinkta galios transformatorių 5 ir 6 duomenų. Didžiausias H₂ dujų koncentracijų pakilimas pastebėtas transformatoriuje 6, maksimali reikšmė buvo 2173,4, vandenilio dujų kiekio padidėjimas vienas iš pavojingiausių defektų, kadangi jis gali būti sukeltas elektros lanko bei dalinių išlydžių. Keletas įrenginių visą tyrimo laikotarpį išliko normaliai veikiantys (1, 2, 9 transformatoriai). Daugelis transformatorių (7, 19, 21) ilgą laiką veikė perkaite, tai gali lemti rimtesnes elektros energetikos sistemos problemas ateityje, kadangi izoliacija nėra pritaikyta pastoviai dirbti per didelėje temperatūroje, taip pat greitėja senėjimo procesas ir mažėja elektrinis atsparumas.

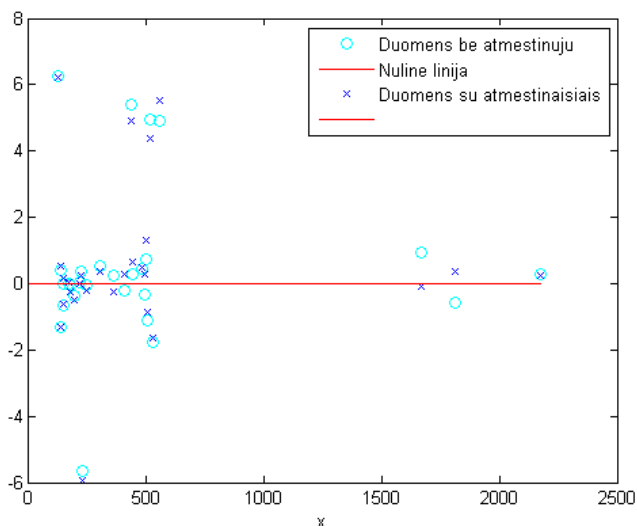
3.2. Dujų koncentracijų duomenų aproksimacijos

Gilesniai analizei buvo pasirinktas 6 galios transformatorius, kadangi jo duomenų buvo sukaupta daugiausia. Remiantis mažiausios suminės klaidos ir aproksimacijos teorija bei naudojantis Matlab programiniu paketu braižomi duomenų grafikai.

Žemiau pavaizduotas grafikas lygina originaliąją linijinę aproksimaciją (original fit) ir griežtąją aproksimaciją (robust fit) naudojant kvadratinius svorius. Griežtoji aproksimacija atitinka didžiąją dalį duomenų, ir nėra stipriai paveikiamas atmestinių duomenų (outliers). Atmestinieji duomenys – tai duomenys neįprastai toli nutolę nuo kitų duomenų.



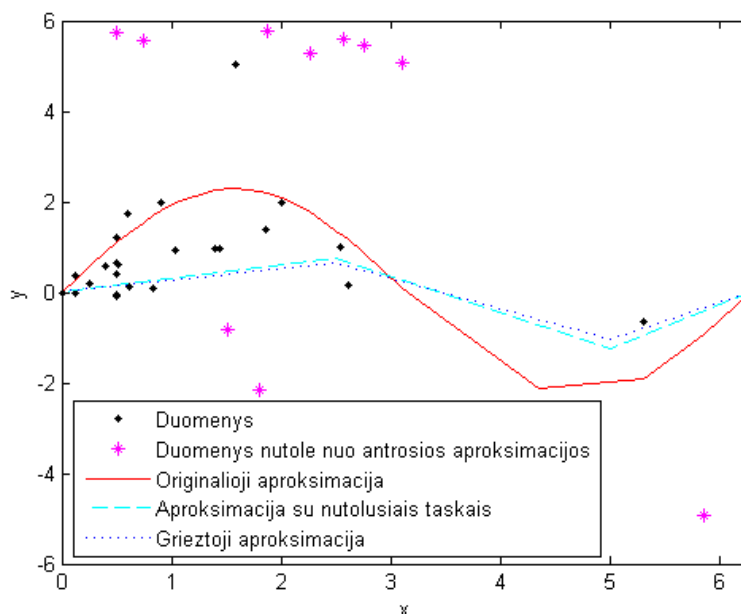
28 pav. Transformatoriaus 6 vandenilio koncentracijų aproksimacija



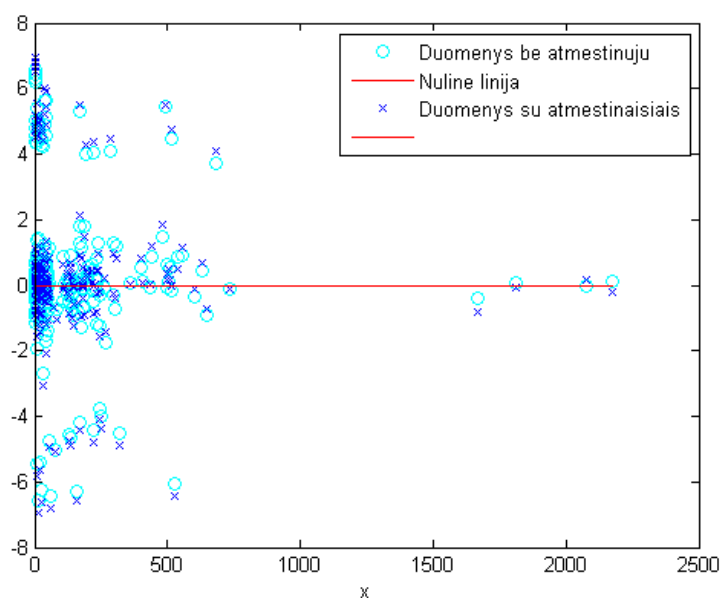
29 pav. Transformatoriaus 6 vandenilio koncentracijų išsibarstymas

Nepaisant to, kad pasirinktas transformatorius turėjęs daugiausiai užfiksuotų duomenų, dauguma koncentracijų taip išsibarsčiusios, kad jas sunku pastebėti ir paveikslėlyje 28, atvaizduojančiame H_2 dujų koncentracijų aproksimaciją. Nagrinėjant paveikslėlį 29, galima apytiskliai nustatyti, kurias reikšmes įgavus ir koks procentas duomenų pakankamai nutolęs nuo nulinės linijos, kad jį būtų galima laikyti transformatoriaus gedimu. Remiantis IEEE standartu (lentelė 25), matosi, jog dauguma duomenų viršija leistinas ribas, todėl būtina transformatoriaus 6 patikra, kadangi yra galima elektros lanko grėsmė.

Palyginimui ištirtos ir visų transformatoriaus 6 dujų koncentracijos. Paveikslėlyje 30 pavaizduota visų duomenų aproksimacija, o paveikslėlyje 31 – duomenų išsibarstymas.



30 pav. Transformatoriaus 6 visų dujų koncentracijų aproksimacija



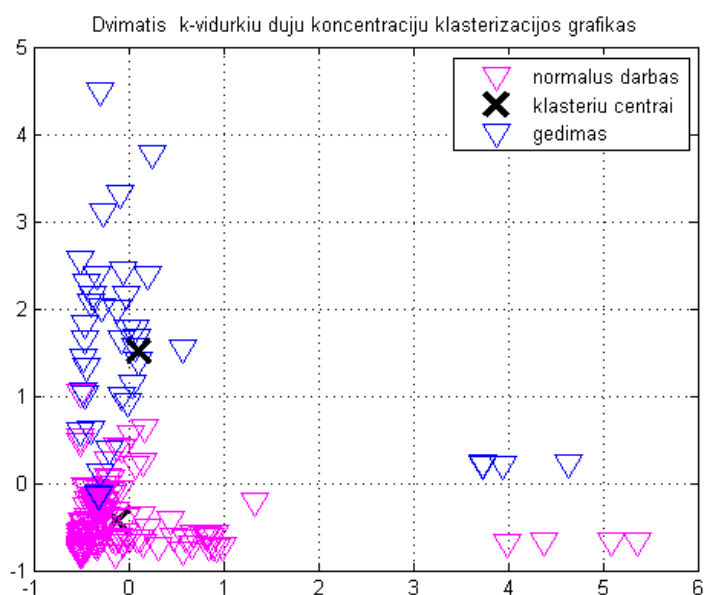
31 pav. Transformatoriaus 6 visų dujų koncentracijų išsibarstymas

Išanalizavus gautus grafikus, matosi, kad visų dujų aproksimacija atrodo vaizdingiau, labiau matosi neįprastai nutolę taškai, bet norint susidaryti tikslesnias išvadas būtina naudotis ir lentelėmis 8 ir 25. Duomenys neįprastai nutolę nuo aproksimacijos funkcijų turi didžiausią tikimybę rodyti įrangos gedimus, tačiau žinant, kad CO ir CO₂ leidžiami dujų kiekiai gerokai didesni nei kitų dujų, visad būtina pirma patikrinti ir atmesti jų koncentracijas. Tiriamo 6 galios transformatoriaus anglies monoksido ir dioksido koncentracijos normos ribose, tačiau kaip matyti didelis kiekis dujų pasiskirstę už normalaus transformatoriaus darbo ribų, taigi tolesnis tyrimas būtinas.

3.3. Duomenų klasterizacija

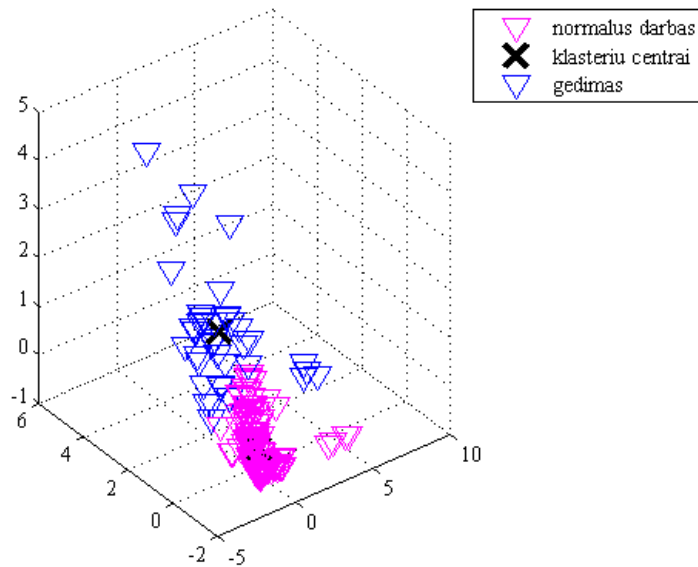
Klasterizacija – tai duomenų skirstymas į klasterius, panašių objektų grupes. Tyrimo metu naudojamas k-vidurkių metodas bei duomenų kartografavimas, siekiant sumažinti pavienių duomenų išsimėtymą. Klasterinės analizės tikslas - suskirstyti objektus taip, kad skirtumai klasterių viduje būtų kuo mažesni, o tarp klasterių - kuo didesni. Klasterių skaičius parenkamas pagal klases, naudojami visi sukaupti duomenys ir požymiai.

Naudojant MATLAB programinę paketą atliekama H₂, CO bei CO₂ dujų koncentracijų klasterizacija. Šios dujos pasirinktos kaip pavyzdys siekiant nustatyti, kuri duotųjų transformatorių dalis galimai dirba perkaitę. Paveikslėliuose 32 ir 33 pateikiami dvimatės ir trimatės koordinatinių sistemų klasterizacijos grafikai.



32 pav. Dvimatis H₂, CO, CO₂ dujų koncentracijų klasterizacijos grafikas

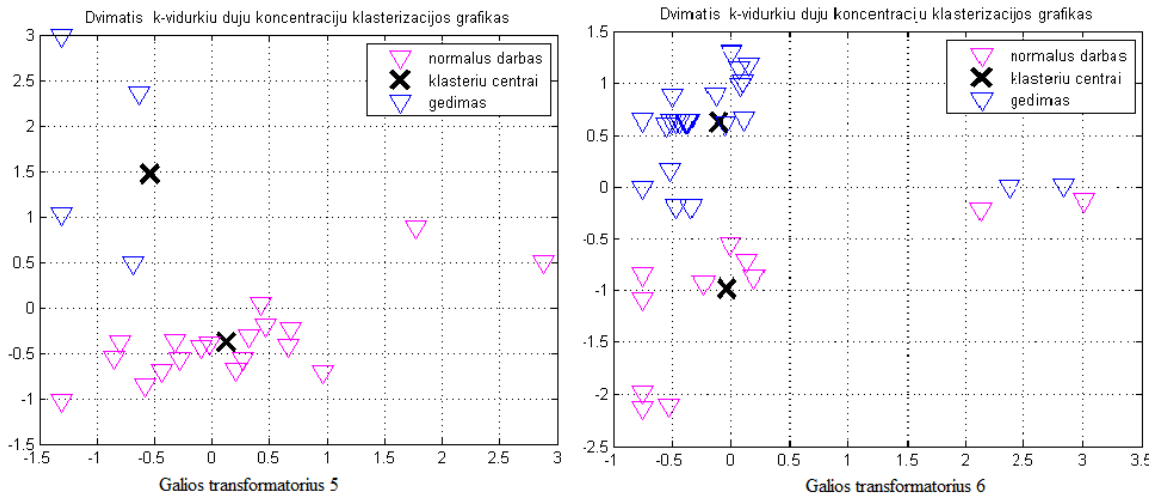
Trimatis k-vidurkiu duju koncentraciju klasterizacijos grafikas



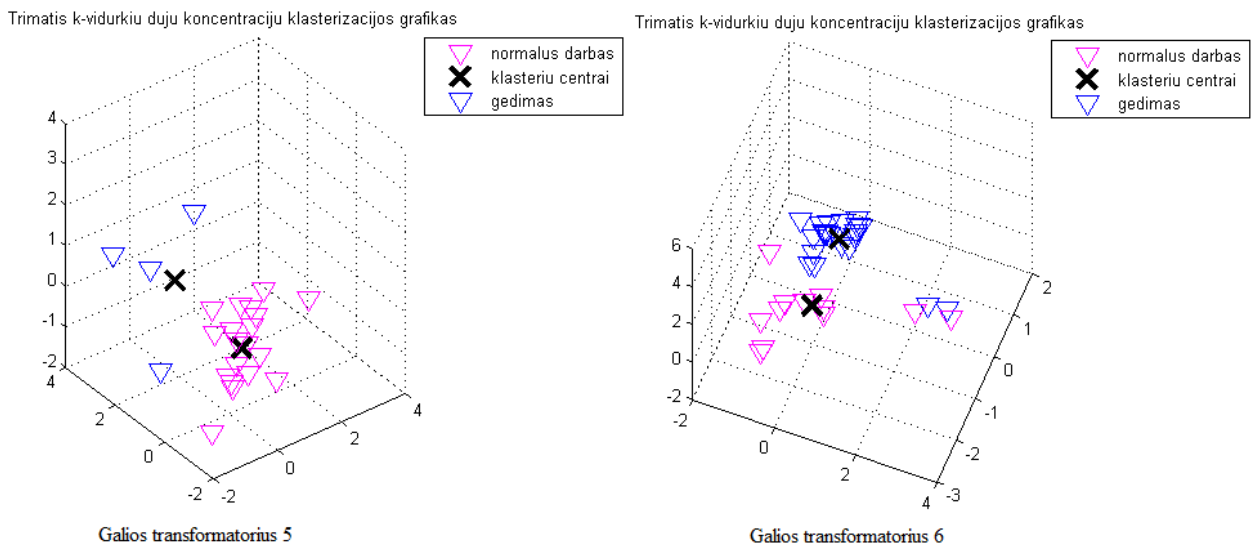
33 pav. Trimatis H₂, CO, CO₂ dujų koncentracijų klasterizacijos grafikas

Skaičiavimo metu buvo atlikta 14 iteracijų, po kurių duomenų išsidėstymas tapo pakankamai aiškus. Iš grafikų galima teigti, kad klasės dėl didelio duomenų išsibarstymo pasiskirstė ne itin gerai, tačiau statistiniai duomenų centrai matosi. Abiejuose klasteriuose atsirado gana daug triukšmų, pavienių išsibarsčiusių duomenų, o taip pat nemažai duomenų persidengia. Klasterizavimo rezultatai nėra pakankamai aiškūs, kadangi sunkoka nustatyti, kuriam transformatoriui, kurios dujos priklauso, o ir pasirinktos dujos dauguma atvejų pasirenkamos kaip necharakteringosios. Vienas iš k – vidurkių klasterizacijos minusų, kad klasterių skaičių reikia pasirinkti iš anksto, taip sumažinant skaičiavimų tkslumą. Nerekomenduotina rinktis visų duomenų klasterizacijos, kadangi gauti atsakymai per daug susipynę ir sunku daryti išvadas, kuriuos įrenginius reikėtų remontuoti ir kokia galima defekto priežastis.

Palyginimui atliekama 5 ir 6 galios transformatorių duomenų dvimatės bei trimatės H₂, CO ir CO₂ dujų koncentracijų klasterizacijos, gauti grafikai pavaizduoti paveikslėliuose 34 – 35.



34 pav. Dvimatis transformatorių 5 ir 6 k – vidurkių H₂, CO, CO₂ klasterizacijos grafikas



35 pav. Trimatis k – vidurkių visų duomenų klasterizacijos grafikas

6 galios transformatoriaus dujų koncentracijų klasterizacija mažiau išsibarsčiusi, tačiau jos maksimumai mažesni, todėl tikimybė, kad jis perkaitęs mažesnė nei 5 transformatoriaus. Abu įrenginiai turi triukšmų, todėl remiantis lentele 2 būtina patikrinti ar šios nutolusios koncentracijos nepriklauso H₂ dujoms, kurių pakanka daug mažesnio kiekio, kad transformatorius jau būtų laikomas nepatikimu ar nenaudotinu.

Naudojantis šiuo metodu galima ištirti įvairius dujų kombinacijų variantus. Svarbu tinkamai pasirinkti tiriamus duomenis, o gautus duomenis suderinti teoriniais tikslais. Taip pat būtina įsigilinti ar dujos charakteringosios ar antraeilės, nes nuo to priklauso defekto kilmė.

4. GALIOS TRANSFORMATORIŲ ANALIZĖ NEURONINIAIS TINKLAIS

Pirmiausia remiantis standartu ANSI/ IEEE C57.104 nustatytos dujų koncentracijų ribos, kurias peržengus patartina remontuoti arba būtina atjungti veikiančią galios transformatorių. Koncentracijoms peržengus normaliujų limitų ribą, rekomenduojama paskirti artimą transformatoriaus darbo įvertinimą ar remontą. Jei vertės pasiekia veiksmo limitų ribas transformatorius turi būti atjungtas nuo darbo ir reikia atlikti patikrą, kurios metu būtų nustatoma ar įrenginys dar tinkamas naudojimui. Limitai pateikti 25 lentelėje.

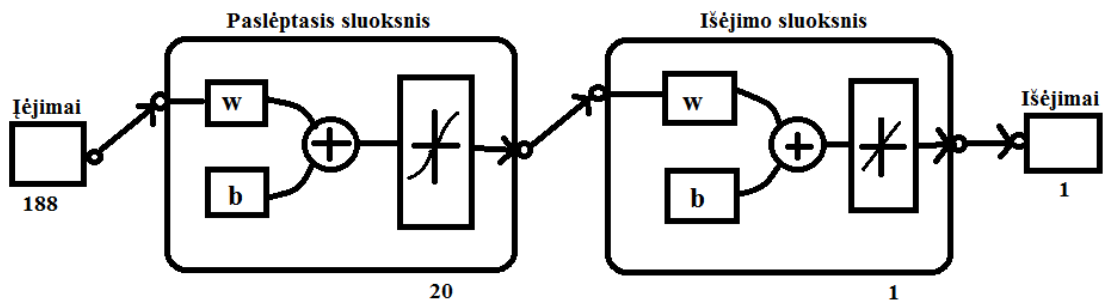
25 lentelė. Ištirpusių dujų koncentracijų ribos [7]

Dujų aprašymas		Normalūs limitai (<)	Veiksmo limitai (>)	Galimas defekto tipas
Vandenilis	H ₂	100	1800	korona, lankas
Metanas	CH ₄	120	1000	kibirkščiavimas
Acetilenas	C ₂ H ₂	1	35	lankas
Etilenas	C ₂ H ₄	50	200	stiprus perkaitimas
Etanas	C ₂ H ₆	65	150	perkaitimas
Anglies monoksidas	CO	350	1400	stiprus perkaitimas
Anglies dioksidas	CO ₂	2500	10000	stiprus perkaitimas

Dviejų sluoksnių duomenų perdavimo tinklas su sigmoidiniais paslėptaisiais neuronais ir linijiniais išėjimo neuronais (Fitnet), tinka daugiasluoksniu kartografavimo uždaviniams spręsti, kai pasirenkamas pakankamas neuronų skaičius paslėptajame sluoksnyje, o priskiriami duomenys pastovūs.

Funkcinis pritaikymas - tai procesas, skirtas neuroniniam tinklui mokyti turint įėjimų komplektą, siekiant sukurti atitinkamą tikslinių išėjimų rinkinį. Kai neuroninis tinklas apdoroja duomenims, jis sudaro įėjimų ir išėjimų santykio apibendrinimą ir gali būti naudojamas generuoti išėjimus tiems įėjimams, kurie nebuvo apmokyti.

Tyrimas atliekamas matlab programiniu paketu. Tinklas apmokomas Levenberg-Marquardt gražinimo algoritmu (trainlm). Jei nėra pakankamai atminties, pasirenkamas masinis konjugacijos gradiento gražinimo (trainscg) mokymas. Neuroninio tinklo schema pavaizduota paveikslėlyje 36.



36 pav. Neuroninio tinklo schema

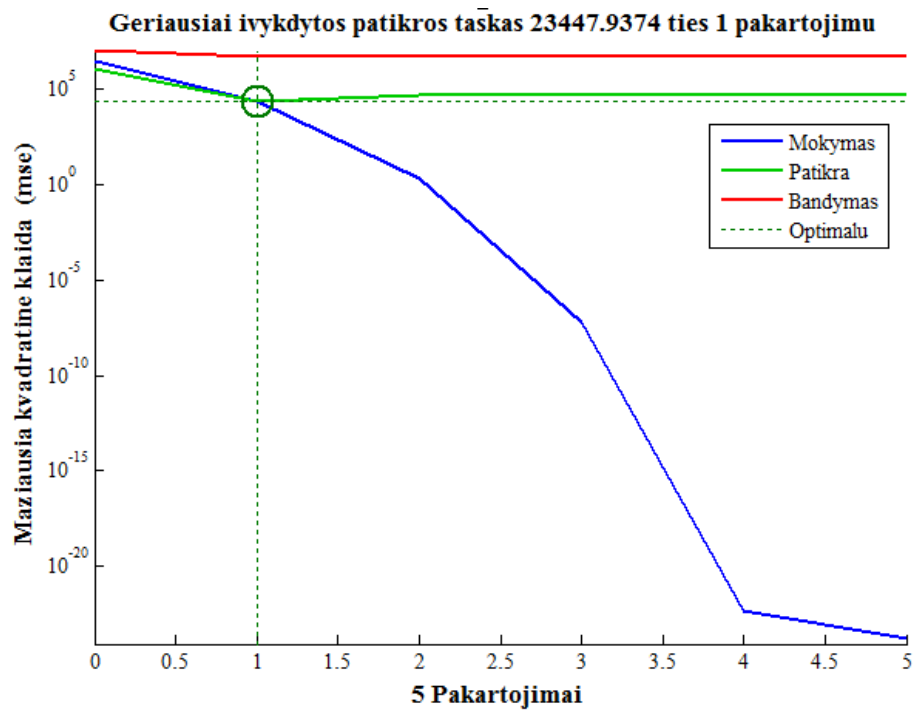
čia w – optimalios svorių vertės, kurioms esant funkcijos vertė mažiausia, b – slenkstis.

Analizei pasirinkti 22 transformatorių skirtingų dujų koncentracijų duomenys, kurie priskiriami neuroninio tinklo įėjimų matricai. Sudarytos įėjimo duomenų matricos matmenys $[188 \times 7]$, 7 skirtingi bandiniai priklausantys 188 elementams (galios transformatorių dujų koncentracijos laikui bėgant). Remiantis 25 lentele sudaryta išėjimo duomenų matrica kurios matmenys $[1 \times 7]$.

Patikros (validation) ir tyrimo (test) duomenų rinkiniams parenkami po 15% pradinių duomenų. Įėjimo ir tiksliniai (target) vektoriai bus atsitiktinai suskirstomi į tris grupes taip:

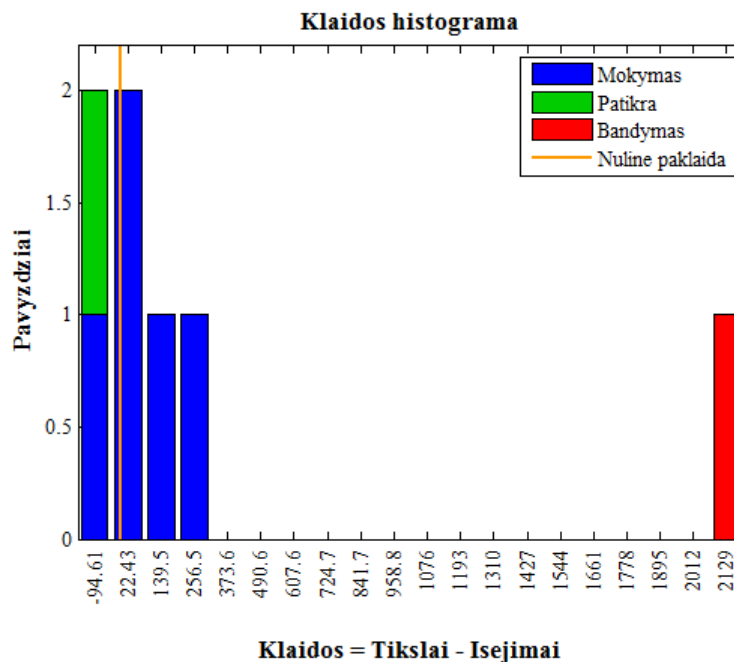
- 70% bus naudojami mokymui;
- 15% bus naudojama siekiant patikrinti, kad tinklas yra apibendrinantis ir sustabdyti mokymą prieš perjungiant;
- paskutiniai 15% bus naudojami kaip visiškai nepriklausomas tinklo apibendrinimų tyrimas.

Tyrimo pradžioje remiantis teorija (10 % įėjimo duomenų) pasirenkami 20 paslėptojo sluoksnio neuronų, kurie gali būti keičiami po tinklo mokymo jei tinklas veikia ne pakankamai gerai. Naudojant Matlab programiniu paketu tinklas pirmiausiai apmokomas. Apmokymui naudojama mažiausios kvadratinės paklaidos teorija, kurios metu lyginami išėjimų ir tikslinių bandinių skirtumai. Taip pat ištiriama duomenų regresija, kuri nustato koreliacijos tarp išėjimų ir tikslinių bandinių lygį. Regresijai įgavus vertę 1 ryšys glaudus, 0 – atsitiktinis ryšys. Atlikus tinklo mokymą iš naujo pasirenkami transformatoriaus duomenys. Pirmo tyrimo metu pasirenkami normalūs darbo limitai iš lentelės 25. Neuroninio tinklo darbui įvertinti naudojamas darbo grafikas, kuris pavaizduotas paveikslėlyje 37.



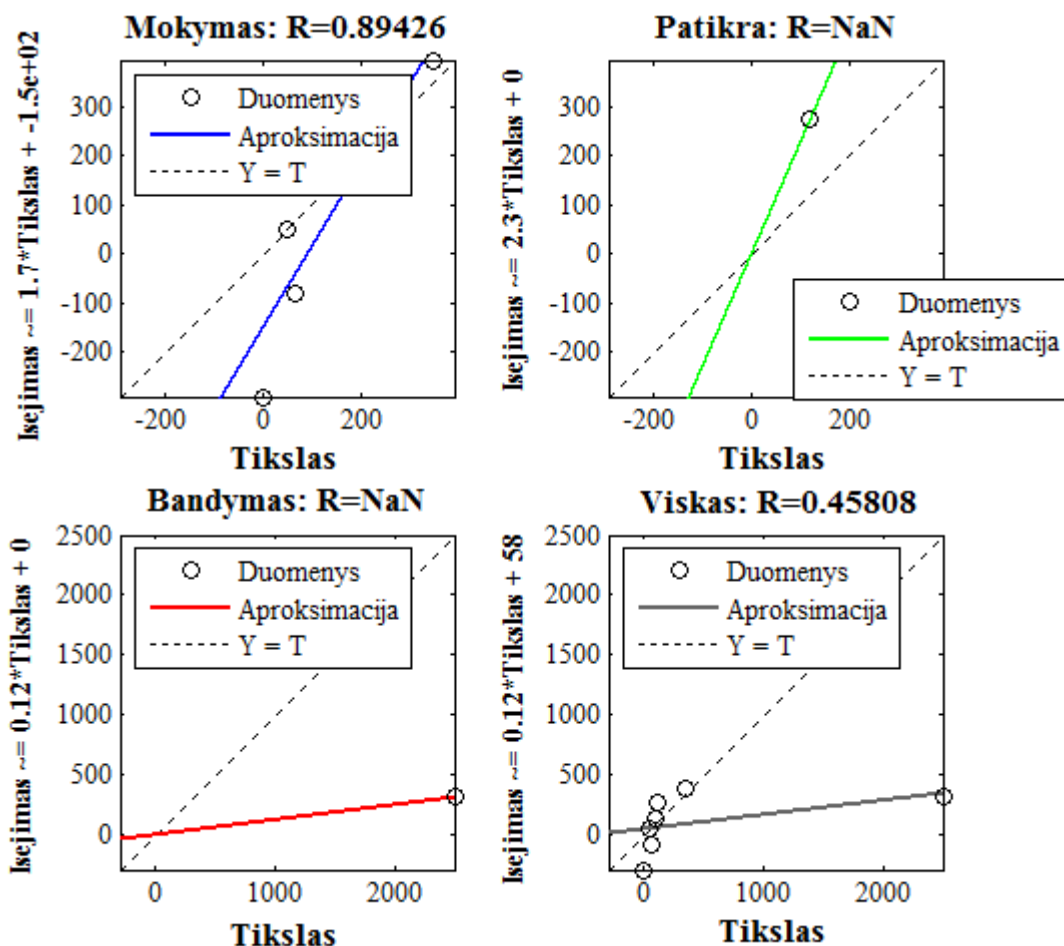
37 pav. Neuroninio tinklo darbas

Atradus geriausiai įvykdytos patikros tašką, tinklo mokymas sustoja. Iš paveikslėlio 37 matosi, kad tinklui reikėjo 1 pakartojimų iki tol kol buvo pasiektas optimalus taškas, o mažiausia kvadratinė paklaida jame siekė 23447,9374. Mokymo sluoksnio mažiausia kvadratinė paklaida ties 5 pakartojimu pasiekė beveik nulį, vadinasi tinklas buvo apmokytas teisingai. Patikros bei bandymų sluoksniai šiame taške kito ne itin daug, todėl galime daryti išvadą, kad įėjimo sluoksniai išsibarstę plačiai.



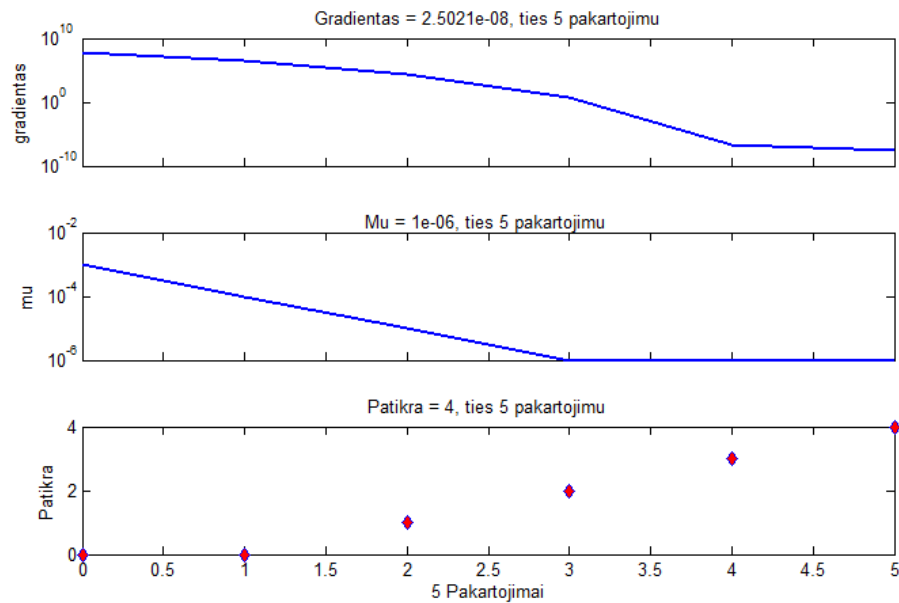
38 pav. Klaidos histograma

Paveikslėlyje 38 pavaizduota neuroninio tinklo mokymo klaidos histograma, priklausanti nuo mokymo pradžioje užbrėžtų tikslų bei išėjimo verčių. Mokymo ir patikros klaidos nedidelės ir išsidėsčiusios gana netoli nuo nulinės tiesės, tačiau bandymo duomenys nutolusios, tai gali lemti įvairios priežastys tokios kaip per didelis duomenų išsibarstymas jėjimuose, nepakankamas skaičius paslėptojo sluoksnio neuronų ar atsitiktinai parinktų dujų tipas, kurio duomenys gali būti nutolę nuo likusių duomenų (pavyzdžiui C_2H_2 ar CO_2).



39 pav. Regresija

Paveikslėlyje 39 pavaizduotos duomenų regresijos mokymo, patikros bei bandymo grupėse. Daugiausia duomenų matosi mokymo skyriuje, kadangi šiai grupei jų buvo priskirta daugiausia apmokant neuroninį tinklą. Iš brėžinio taip pat galima nustatyti, dujų priskyrimą vienai iš jų. Mokymo grupėje išnagrinėtos H_2 , C_2H_2 , C_2H_4 , C_2H_6 bei CO dujos, patikros grupei priskirtos CH_4 dujos, o bandymų grupei priklauso CO_2 dujų koncentracijos. Kiekvieną kartą apmokant neuroninį tinklą dujų tipai pasirenkami atsitiktinai, todėl tiriant tinklą keletą kartų, gaunami skirtingi rezultatai. Susumavus visus duomenis matyti, kad CO_2 dujos stipriai nutolusios nuo kitų taigi kiekvieno tyrimo metu būtina pasitikrinti ar koncentracija nepriklauso šioms dujoms, kadangi ir standartuose leistini jų limitai didesni už kitų.



40 pav. Mokymas

Gradientinis nusileidimas naudojamas funkcijų optimizacijai atlikti, kadangi turimų duomenų išsibarstymas labai platus, MU vertė naudojama neuronų atnaujinimo proceso (back propagation) svoriams kontroliuoti tinklo mokymo metu. Mokymui pasiekus maksimalų MU, reiškia, kad papildomas tinklo mokymas nepagerins apmokymo proceso [14].

Antroje tyrimo dalyje naudojantis sąlygos funkcijomis (if, elseif ir pan.) tinklas buvo apmokytas uždavus dviejų rūšių dujų koncentracijų etalonus (normalūs limitai ir veiksmo limitai) atpažinti didžiausius tam tikrų dujų kiekius ir pagal tai priskirti defektų pobūdžius. Visų pirma, dujų koncentracijos buvo suskirstytos į priklausančias:

- normaliai veikiančiam transformatoriui,
- transformatorių su korona ar lanku, kai padidėjęs kiekis H₂ dujų,
- transformatorių su kibirkščiavimu alyvoje, kai padidėjęs kiekis CH₄ dujų,
- transformatorių su degančiu elektros lanku alyvoje, kai padidėjęs kiekis C₂H₂ dujų,
- stipriai perkaitusių transformatorių, kai padidėjęs kiekis C₂H₄ dujų,
- perkaitusių transformatorių, kai padidėjęs kiekis C₂H₆ dujų,
- stipriai perkaitusių transformatorių, kai padidėjęs kiekis CO dujų,
- stipriai perkaitusių transformatorių, kai padidėjęs kiekis CO₂ dujų.

Gavus atsakymus charakteringųjų dujų nustatymui duomenys buvo lyginami su lentelėse 2 ir 25 užfiksuotais dydžiais bei duomenų registravimo datomis. Kadangi, tinklas buvo apmokytas atrasti didžiausią dujų koncentraciją ir pagal ją parinkti defektą, gauti atsakymai

turėjo būti patikrinti dar kartą, o jei dujos su didžiausiomis koncentracijomis buvo ne charakteringosios, defektą pakeisti. Įvairių matlab programiniu paketu gautų defektų palyginimai su standartais pavaizduoti lentelėje 26.

26 lentelė. Matlab gautų duomenų palyginimo su standartais pavyzdys

Transformatoriaus numeris	6	10	17
H ₂ koncentracija	149,55	0	349,17
CH ₄ koncentracija	178,75	31	2,82
C ₂ H ₂ koncentracija	0,4	4,95	18,62
C ₂ H ₄ koncentracija	224,54	16,8	23,73
C ₂ H ₆ koncentracija	51,31	28,8	0
CO koncentracija	16,76	120	32,37
CO ₂ koncentracija	43,33	5110	1468,48
Tikrinimo data	2002_02_17	2006_01_10	1999_07_21
Defektas pagal matlab	Stiprus perkaitimas	Stiprus perkaitimas	Korona , lankas
Defektas pagal standartus ir matlab	Korona lankas (kibirkščiavimas)	Elektrinis lankas	Elektrinis lankas

Didžiausią duomenų iškraipymą lėmė CO₂ dujų koncentracijos, kurios įvykus tam tikriems defektams iškyla drastiškai, o leistinos jų ribos daugiau nei 10 kartų didesnės už kitų tiriamų dujų koncentracijų ribas. Pagal lentelės 26 duomenų palyginimo pavyzdį patikrinti visi duomenys, gauti rezultatai sugrupuoti ir surašyti lentelėse 27-32.

27 lentelė. Normaliai veikiančių galios transformatorių duomenys

Transformatoriaus nr.	Tikrinimo data	Defektas
1	1998_04_19	Normaliai veikiantis
1	1998_06_01	Normaliai veikiantis
1	1999_01	Normaliai veikiantis
2	1998_07_02	Normaliai veikiantis
2	1999_01_30	Normaliai veikiantis
2	1999_08_01	Normaliai veikiantis
3	1998_11_15	Normaliai veikiantis
3	1999_05_01	Normaliai veikiantis
4	1998_12_05	Normaliai veikiantis
4	1999_06_02	Normaliai veikiantis
5	1999_11_11	Normaliai veikiantis
5	2000_03_15	Normaliai veikiantis
5	2003_03_04	Normaliai veikiantis
5	2003_10_06	Normaliai veikiantis
6	2000_07_11	Normaliai veikiantis
6	2000_07_20	Normaliai veikiantis
6	2000_10_09	Normaliai veikiantis
6	2000_11_10	Normaliai veikiantis
6	2003_05_14	Normaliai veikiantis
6	2004_03_30	Normaliai veikiantis
7	1999_08_30	Normaliai veikiantis

8	1999_09_29	Normaliai veikiantis
8	1999_11_30	Normaliai veikiantis
8	2000_05_10	Normaliai veikiantis
8	2001_01_29	Normaliai veikiantis
9	1998_09_28	Normaliai veikiantis
9	1999_02_28	Normaliai veikiantis
9	1999_08_30	Normaliai veikiantis
10	1999_09_07	Normaliai veikiantis
10	2000_09_05	Normaliai veikiantis
10	2001_09_10	Normaliai veikiantis
11	2000_03	Normaliai veikiantis
11	2001_03	Normaliai veikiantis
11	2002_03	Normaliai veikiantis
11	2006_06_19	Normaliai veikiantis
11	2006_08_23	Normaliai veikiantis
11	2006_09_06	Normaliai veikiantis
13	2000_01_19	Normaliai veikiantis
13	2000_03_24	Normaliai veikiantis
14	1999_03_01	Normaliai veikiantis
14	2000_03_29	Normaliai veikiantis
15	1999_12_06	Normaliai veikiantis
15	1999_12_27	Normaliai veikiantis
15	2000_06_15	Normaliai veikiantis
18	1999_06_02	Normaliai veikiantis
18	1999_10_13	Normaliai veikiantis
21	1999_02_02	Normaliai veikiantis
21	1999_05_25	Normaliai veikiantis
21	2000_07_19	Normaliai veikiantis
21	2000_07_31	Normaliai veikiantis
21	2000_08_28	Normaliai veikiantis
23	2002_10_30	Normaliai veikiantis
23	2002_11_11	Normaliai veikiantis
23	2003_06_02	Normaliai veikiantis

28 lentelė. Galios transformatorių su koronos, lanko defektu duomenys

Transformatoriaus nr.	Tikrinimo data	Defektas
5	2000_11_10	Korona, lankas
5	2001_10_23	Korona, lankas
5	2002_05_06	Korona, lankas
5	2002_12_10	Korona, lankas
5	2003_12_03	Korona, lankas
5	2004_04_01	Korona, lankas
6	2000_12_05	Korona, lankas
6	2001_01_29	Korona, lankas
6	2001_01_31	Korona, lankas
6	2001_02_05	Korona, lankas
6	2001_02_12	Korona, lankas
6	2001_02_20	Korona, lankas
6	2001_03_06	Korona, lankas
6	2001_03_12	Korona, lankas
6	2001_03_26	Korona, lankas

6	2001_04_04	Korona, lankas
6	2001_04_25	Korona, lankas
6	2001_05_07	Korona, lankas
6	2001_05_07	Korona, lankas
6	2001_05_28	Korona, lankas
6	2001_07_17	Korona, lankas
6	2001_10_23	Korona, lankas
6	2002_02_17	Korona, lankas
6	2002_08_28	Korona, lankas
6	2002_09_09	Korona, lankas
6	2002_10_02	Korona, lankas
6	2002_11_05	Korona, lankas
6	2002_12_05	Korona, lankas
6	2003_01_13	Korona, lankas
6	2003_01_24	Korona, lankas
6	2003_01_31	Korona, lankas
6	2003_02_07	Korona, lankas
13	1999_06_02	Korona, lankas
13	1999_11_18	Korona, lankas
13	1999_12_08	Korona, lankas
13	2001_02_21	Korona, lankas
14	1999_09_28	Korona, lankas
14	1999_10_18	Korona, lankas
14	1999_11_03	Korona, lankas
14	2000_09_21	Korona, lankas
14	2000_10_20	Korona, lankas
16	2000_03_28	Korona, lankas
16	2000_03_29	Korona, lankas
16	2000_03_31	Korona, lankas
16	2000_04_03	Korona, lankas
16	2000_04_20	Korona, lankas
19	1999_02_02	Korona, lankas
19	1999_04_12	Korona, lankas
19	2000_01_04	Korona, lankas
19	2000_01_18	Korona, lankas
19	2000_01_25	Korona, lankas
19	2000_02_08	Korona, lankas
19	2000_02_22	Korona, lankas
19	2000_04_17	Korona, lankas
19	2000_10_09	Korona, lankas
21	2000_04_17	Korona, lankas
21	2000_05_29	Korona, lankas
23	2006_07_24	Korona, lankas
23	2006_08_09	Korona, lankas
23	2006_08_09	Korona, lankas

29 lentelė. Galios transformatorių su kibirkščiavimo defektu duomenys

Transformatoriaus nr.	Tikrinimo data	Defektas
6	2001_01_24	Kibirksčiavimas
6	2002_01_17	Kibirksčiavimas
6	2002_02_17	Kibirksčiavimas

7	2000_10_23	Kibirksčiavimas
---	------------	-----------------

30 lentelė. Galios transformatorių su elektrinio lanko defektu duomenys

Transformatoriaus nr.	Tikrinimo data	Defektas
10	2006_01_10	Elektrinis lankas
10	2006_02_24	Elektrinis lankas
13	1999_05_10	Elektrinis lankas
16	2000_06_28	Elektrinis lankas
16	2000_06_29	Elektrinis lankas
16	2000_07_01	Elektrinis lankas
16	2000_07_03	Elektrinis lankas
16	2000_07_10	Elektrinis lankas
16	2000_07_18	Elektrinis lankas
16	2000_07_25	Elektrinis lankas
16	2000_08_10	Elektrinis lankas
16	2000_08_25	Elektrinis lankas
16	2000_08_31	Elektrinis lankas
16	2000_09_07	Elektrinis lankas
16	2000_10_05	Elektrinis lankas
17	1999_06_02	Elektrinis lankas
17	1999_07_21	Elektrinis lankas
17	1999_11_15	Elektrinis lankas
17	2000_03_24	Elektrinis lankas
18	2000_05_29	Elektrinis lankas
20	1999_02_22	Elektrinis lankas
20	1999_12_23	Elektrinis lankas
20	2000_01_19	Elektrinis lankas
20	2000_02_25	Elektrinis lankas
20	2000_03_31	Elektrinis lankas
20	2000_04_25	Elektrinis lankas
20	2000_05_29	Elektrinis lankas
20	2000_09_28	Elektrinis lankas
20	2000_10_23	Elektrinis lankas
22	2000_08_18	Elektrinis lankas
23	2004_07_30	Elektrinis lankas
23	2005_04_28	Elektrinis lankas
23	2005_12_12	Elektrinis lankas
23	2006_05_23	Elektrinis lankas
23	2006_06_06	Elektrinis lankas

31 lentelė. Perkaitusių galios transformatorių duomenys

Transformatoriaus nr.	Tikrinimo data	Defektas
5	2000_06_27	Perkaitimas
5	2000_07_12	Perkaitimas
5	2000_08_25	Perkaitimas
5	2000_10_09	Perkaitimas
5	2001_01_17	Perkaitimas
5	2001_01_29	Perkaitimas
5	2001_03_05	Perkaitimas
5	2001_05_28	Perkaitimas
5	2002_02_27	Perkaitimas

5	2002_04_02	Perkaitimas
5	2004_08_23	Perkaitimas
5	2004_10_08	Perkaitimas
5	2004_11_03	Perkaitimas
7	1999_04_28	Perkaitimas

32 lentelė. Stipriai perkaitusių galios transformatorių duomenys

Transformatoriaus nr.	Tikrinimo data	Defektas
5	1999_05_13	Stiprus perkaitimas
7	1999_03_30	Stiprus perkaitimas
7	2000_09_05	Stiprus perkaitimas
8	2001_12_13	Stiprus perkaitimas
8	2001_12_20	Stiprus perkaitimas
8	2001_12_27	Stiprus perkaitimas
15	1999_02_02	Stiprus perkaitimas
15	1999_03_17	Stiprus perkaitimas
15	1999_09_09	Stiprus perkaitimas
15	1999_09_24	Stiprus perkaitimas
22	1999_02_10	Stiprus perkaitimas
22	1999_12_22	Stiprus perkaitimas
22	2000_01_06	Stiprus perkaitimas
22	2000_02_22	Stiprus perkaitimas
22	2000_03_30	Stiprus perkaitimas
22	2000_06_29	Stiprus perkaitimas
22	2000_09_12	Stiprus perkaitimas
22	2000_10_23	Stiprus perkaitimas
23	2006_06_21	Stiprus perkaitimas
23	2006_07_03	Stiprus perkaitimas
23	2006_07_24	Stiprus perkaitimas

Atlikus defekto atpažinimo tyrimą, galima greičiau užkirsti kelią tolimesniam defektų plitimui ir transformatoriaus gedimui. Išanalizavus gautus duomenis matyti, kad daugiausia sukaupta normaliai veikiančių (54x7, lentelė 26) bei transformatorių su korona ar lanku dujų duomenų (60x7, lentelė 27), vadinasi dažniausi dujų koncentracijų padidėjimai priklauso vandeniliui.

Iš 31 matyti, kad transformatorius 5 beveik visą eksploatacijos laiką dirbo perkrautas, todėl būtina suplanuoti jo patikrą, kadangi galimas ne tik C₂H₆ dujų padidėjimas, bet ir izoliacijos senėjimas, alyvos užteršimas ar kitų defektų atsiradimas, kurie sutrumpina transformatoriaus tinkamo darbo laiką.

Sunkiausia nustatyti elektrinio lanko atsiradimą, remiantis C₂H₂ dujų koncentracijomis, nes jų koncentracijų kiekiai sąlyginai maži, todėl dažniausiai likusių dujų koncentracijos užgožia acetileno padidėjimus.

Mažiausiai nustatyta kibirkščiavimo atvejų, tai gali reikšti, kad kibirkščiavimas atsiranda kaip antrinis defektas po elektrinio lanko, stipraus perkaitimo ar koronos, tačiau jų koncentracijos viršija normas mažiau nei kitų 6 dujų.

Visi šie nustatyti dydžiai bei defektai priklauso normaliems limitams, tai reiškia kad jiems atsiradus būtina suplanuoti įrenginių patikrą, tačiau jie neturi būti atjungta nuo darbo, kadangi nėra grėsmės tinklui.

Remiantis atitinkamais skaičiavimais nustatytos veiksmo ribos, kuriuos pasiekus būtina atjungti transformatorių nuo tinklo ir atlikti nuodugnią jų patikrą bei galimybę jį nauoti toliau. Gauti duomenys surašyti į lenteles 33-35.

33 lentelė. Galios transformatorių su ekstremaliu koronos, lanko defektu duomenys

Transformatoriaus nr.	Tikrinimo data	Defektas
6	2003_01_24	Korona, lankas
6	2003_02_07	Korona, lankas
6	2003_01_13	Korona, lankas
16	2000_03_29	Korona, lankas

34 lentelė. Galios transformatorių su ekstremalaus elektrinio lanko defektu duomenys

Transformatoriaus nr.	Tikrinimo data	Defektas
16	2000_04_03	Elektrinis lankas
16	2000_10_05	Elektrinis lankas
16	2000_03_28	Elektrinis lankas
16	2000_04_20	Elektrinis lankas
16	2000_07_10	Elektrinis lankas
16	2000_07_18	Elektrinis lankas
16	2000_08_25	Elektrinis lankas
16	2000_08_31	Elektrinis lankas
16	2000_06_28	Elektrinis lankas
16	2000_07_01	Elektrinis lankas
16	2000_06_29	Elektrinis lankas
16	2000_08_10	Elektrinis lankas
16	2000_07_03	Elektrinis lankas
16	2000_07_25	Elektrinis lankas
16	2000_09_07	Elektrinis lankas
20	1999_02_22	Elektrinis lankas
20	1999_12_23	Elektrinis lankas
20	2000_01_19	Elektrinis lankas
22	2000_08_18	Elektrinis lankas
16	2000_04_03	Elektrinis lankas

35 lentelė. Stipriai perkaitusių galios transformatorių duomenys

Transformatoriaus nr.	Tikrinimo data	Defektas
6	2003_01_31	Stiprus perkaitimas
6	2001_01_24	Stiprus perkaitimas
6	2001_02_20	Stiprus perkaitimas
6	2001_02_12	Stiprus perkaitimas
6	2001_03_06	Stiprus perkaitimas
6	2001_03_12	Stiprus perkaitimas
6	2001_04_04	Stiprus perkaitimas
6	2001_05_07	Stiprus perkaitimas
6	2001_01_29	Stiprus perkaitimas
6	2001_04_25	Stiprus perkaitimas

6	2001_03_26	Stiprus perkaitimas
6	2001_01_31	Stiprus perkaitimas
6	2001_02_05	Stiprus perkaitimas
6	2002_01_17	Stiprus perkaitimas
6	2002_02_17	Stiprus perkaitimas
6	2001_05_07	Stiprus perkaitimas
6	2002_02_17	Stiprus perkaitimas
8	2001_12_13	Stiprus perkaitimas
8	2001_12_20	Stiprus perkaitimas
8	2001_12_27	Stiprus perkaitimas
15	1999_09_24	Stiprus perkaitimas
15	1999_09_09	Stiprus perkaitimas
21	2000_04_17	Stiprus perkaitimas
21	2000_05_29	Stiprus perkaitimas
22	1999_12_22	Stiprus perkaitimas
22	1999_02_10	Stiprus perkaitimas
22	2000_01_06	Stiprus perkaitimas
22	2000_02_22	Stiprus perkaitimas
22	2000_03_30	Stiprus perkaitimas
22	2000_06_29	Stiprus perkaitimas
23	2006_07_24	Stiprus perkaitimas
23	2006_08_09	Stiprus perkaitimas
23	2006_08_09	Stiprus perkaitimas

Atlikus tyrimą matyti, kad tarp tirtų transformatorių nepasitaikė atvejų, kai buvo ekstremaliai viršytas CH₄, CO ir CO₂ dujų kiekiai. Dauguma iš ištirtų duomenų buvo persipynę, t. y., atitiko du ar net tris veiksmo limitus, o tai gali reikšti, kad transformatorius neatitiko saugos normų jau, kurį laiką. Visi šie transformatoriai turi neatidėliotinai būti atjungti nuo darbo, siekiant užkirsti rimtus elektros energetikos mikrotinklo pažeidimus.

Daugiausiai nustatyta stipraus perkaitimo atvejų dėl C₂H₄ dujų kiekių padidėjimo. Keletas transformatorių (6, 16) turi labai daug duomenų viršijančių maksimalius neteisingo transformatorių darbo limitus, tai reiškia, kad transformatoriai eksploatuojami neteisingai, remontas nėra atliekamas laiku, o tai mažina sistemos stabilumą bei didina nuostolius.

Naudojantis ištirpusių dujų tyrimo metodu būtų galima nustatyti dujų gedimų ribines vertes, patikimiau planuoti remonto darbus ir realybėje patikrinti ar standartai nurodyti teisingai. Tiksliam tyrimui būtina reguliariai kaupti skirtingų įrenginių duomenis, atsižvelgiant į sezoniškumą, aplinką, kurioje eksploatuojama, apkrovą bei duomenų priešistorę. Taip pat patartina išanalizuoti ir kitus galimus defektus tokius kaip izoliacijos suprastėjimas, apvijų būklė, prietaiso amžius.

IŠVADOS

1. Dėl lengvo pritaikymo neuroniniai tinklai gali būti naudojami prognozavimo, klasifikavimo bei duomenų valdymo uždaviniuose. Dažniausiai atliekant funkcijų optimizavimo problemas panaudojamos aproksimacijos, gradientinio nusileidimo bei duomenų klasterizacijos metodai.
2. Transformatorių gedimai vieni dažniausiai pasitaikančių elektros energetikos sistemos trikdžių. Termografija, chromatografinė analizė, ištirpusių dujų koncentracijos bei kiti tyrimai atliekami siekiant užkirsti avarijas. Sukauptų duomenų analizei pasirenkamas ištirpusių dujų koncentracijų metodas.
3. Ištirpusių H_2 , CH_4 , C_2H_2 , C_2H_4 , C_2H_6 , CO , CO_2 dujų koncentracijos leidžia prognozuoti galios transformatorių defektus tokius kaip, elektros išlydžiai, perkrova, temperatūrų pakilimai virš normų, lanko susidarymas. Dažniausiai transformatorių gedimai atsiranda izoliacijoje, apvijose arba alyvoje.
4. Praktinėje dalyje neuroninis tinklas buvo apmokytas išanalizuoti turimų galios transformatorių duomenis bei išskirti tam tikras defektų ir ištirpusių dujų tendencijas. Tinklas apmokytas atliekant 6 pakartojimus, įėjimams priskirta duomenų matrica, kurios matmenys $[188 \times 7]$, t. y., 188 matavimai priklausantys 22 galios transformatoriams ir 7 skirtingos dujų rūšys. Išėjimams buvo priskirtos dvi skirtingos tikslinės matricos, kurios priklausė normaliems darbo limitams arba veiksmo limitams, kai transformatorius turi būti privalomai remontuojamas.
5. Neuroniniai tinklai gali būti naudojami defektų nustatymui, tačiau surinktų duomenų turi būti labai daug arba jie turi būti sugrupuoti pagal kitimą laike, atskirus transformatorius arba konkrečias dujas, norint tiksliai išanalizuoti gautus rezultatus. Tiriamuoju atveju buvo atlikta keletas skirtingų duomenų apjungimo būdų, tačiau dauguma atvejų duomenų buvo nepakankama tiksliais rezultatams gauti.
6. Iš gautų rezultatų matyti, kad vien apmokyti neuroninį tinklą nepakanka, būtina gautus rezultatus lyginti su standartais siekiant tiksliai nustatyti defektų ir dujų koncentracijų konvergenciją. Tai lemia kai kurių dujų limitų nutolimas nuo kitų, kaip pavyzdžiui CO_2 dujų normalaus darbo limitas 2500, o C_2H_2 tik 1.

LITERATŪRA

1. DEKSNYS, Rimantas; MORKVĖNAS, Alfonsas; MARKEVIČIUS, Linas; GUDŽIUS, Saulius; SUČILA, Vytautas. *Galios transformatorių būklės kitimo prognozė*. Kaunas, 2000.
2. MAKŪNAITĖ, Rūta. *Neuroniniai tinklai* [interaktyvus]. Lietuva, 2006. [žiūrėta 2018 m. balandžio 24 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.elektronika.lt/teorija/kompiuterija/4342/neuroniniai-tinklai/>
3. IEEE Press. *Advanced Solutions in Power Systems. HVDC, FACTS, and Artificial Intelligence*. USA, 2016.
4. KALOGIROU, S. A. *Applications of artificial neural networks in energy systems A review* [interaktyvus]. Cyprus, 1998. [žiūrėta 2018 m. balandžio 17 d.]. Prieiga per internetą: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890499000126#!>
5. VERIKAS, Antanas; GELŽINIS, Adas. *NEURONINIAI TINKLAI IR NEURONINIAI SKAIČIAVIMAI*. Kaunas, 2008.
6. SMITH, Steven W. *The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing* [interaktyvus]. California, 1999. [žiūrėta 2018 m. gegužės 6 d.]. Prieiga per internetą: https://users.dimi.uniud.it/~antonio.dangelo/MMS/materials/Guide_to_Digital_Signal_Process.pdf
7. GAVIN, Henri P. *The Levenberg-Marquardt method for nonlinear least squares curve-fitting problems* [interaktyvus]. Duke, 2017. [žiūrėta 2018 m. gegužės 24 d.]. Prieiga per internetą: <http://people.duke.edu/~hpgavin/ce281/lm.pdf>
8. HAMRICK, Lynn. *Dissolved Gas Analysis for Transformers* [interaktyvus]. JAV, 2009. [žiūrėta 2018 m. gegužės 15 d.]. Prieiga per internetą: https://www.netaworld.org/sites/default/files/public/neta-journals/NWwtr09_Hamrick.pdf
9. SUSAN, Dejan. *POWER TRANSFORMERS* [interaktyvus]. Norway. [žiūrėta 2018 m. gegužės 21 d.]. Prieiga per internetą: http://www.ifea.no/wp-content/uploads/2012/02/D_Susa.pdf
10. ESCOPETE JR, Inigo V. *DISSOLVED GAS ANALYSIS IN TRANSFORMER MAINTENANCE* [interaktyvus]. Philippines. [žiūrėta 2018 m. gegužės 21 d.]. Prieiga per internetą:

http://iiee.org.ph/wp-content/uploads/2015/12/MR_40th_IIEE_DGA_Presentation_IVEJR_Nov2015_Final_2.pdf

11. ŠIMOLIŪNAS, Aleksandras; KELIAUSKAS, L; MORKVĖNAS, Alfonsas. *Izoliacinės alyvos vartojimo metodiniai nurodymai*. Vilnius, 2000.
12. LINKEVIČIŪTĖ, Birutė. *ELECTRIC POWER SYSTEMS EQUIPMENTS QUALITY AND RELIABILITY RESEARCH USING COMBINED ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS AND FUZZY SETS MODELS: Summary of Doctoral Dissertation*. Kaunas, 2008.
13. ČEPONIS, Žydrūnas. *Aukštosios įtampos įrenginių izoliacijos kokybės charakteristikų tyrimas ir defektų prognozė*. Kaunas, 2003.
14. MathWorks. Simplified Gradient Descent Optimization [interaktyvus]. USA, 2012 [žiūrėta 2018 m. gegužės 22 d.]. Prieiga per internetą: <https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/35535-simplified-gradient-descent-optimization?focused=5223288&tab=function>
15. MathWorks. Documentation [interaktyvus]. USA, 2018 [žiūrėta 2018 m. gegužės 22 d.]. Prieiga per internetą: <https://www.mathworks.com/help/nnet/ref/regression.html>

PRIEDAI

1 PRIEDAS

```
p = load('D3Naujas.txt');

%           [  H2  CH4 C2H2 C2H4 C2H6  CO  CO2  ]
konc_etalonas_DNT=[ 100 120 1 50 65 350 2500 ]' ;
vertinamos_dujos =[ 1 1 1 1 1 1 1 ] ;
% Eiluteje auksciau reikia nurodyti, kurie parametrai bus naudojami:
% 1 - naudojama, 0 - nenaudojama.

kurios_dujos_virsija = find(vertinamos_dujos==1);
vertinamos_dujos_sk = length(kurios_dujos_virsija);

gedimas=[];
% H2
% CH4
% C2H2
% C2H4
% C2H6s
% CO
% CO2

for i=1:NN
    kas_virsija(:,i) = p(:,i)>=konc_etalonas_DNT;
end

t=kas_virsija(kurios_dujos_virsija,:);

pak=0.01; %uzsiduodama paklaida

%neuro tinklo sukurimas

% eiluciu skaicius:
eil_sk_p=size(p); eil_sk_p=eil_sk_p(1);

ribos= repmat([0 1000],eil_sk_p,1);

NEUR_SK = 20; % neuronu skaicius

    net=newff(ribos, [NEUR_SK vertinamos_dujos_sk], {'logsig' 'purelin'},
'trainlm');

    N_apmokinimui = [1:NN];
    N_testavimui = 188; % matavimo numeris, nuo 1 iki 188

    net.trainParam.epochs=200; %nustatomas 200 apmokymo ciklu skaicius
    net.trainParam.goal=pak; %mokymo tikslas(min vidutine kvadratine
paklaida)
    net.trainParam.show=100; %rezultata tikrina po kiekvieno apmokymo
(ciklo)

[net,tr00,Y00,E00,Pf00,Af00]=train(net,p(:,N_apmokinimui),t(:,N_apmokinimui))
;

    k=sim(net,p(:,N_testavimui));

k_gedimo = round(k);
```

```

nuliukai = zeros(7,1);
nuliukai(find(k==max(k))) = 1; % gedimu numeriai. Laikome, kad gedima nusako
labiausiai virsijancios dujos.
if nuliukai(1)==1
    gedimas=cellstr('Dalinis islydis, elektrinis lankas');
    greitis=Vsnt_greitai(1,N_testavimui-1);
elseif nuliukai(2)==1
    gedimas=cellstr('Perkaitimas');
    greitis=Vsnt_greitai(2,N_testavimui-1);
elseif nuliukai(3)==1
    gedimas=cellstr('Elektrinis gedimas');
    greitis=Vsnt_greitai(3,N_testavimui-1);
elseif nuliukai(4)==1
    if k_gedimo(5)==1
        gedimas=cellstr('Stiprus Perkaitimas');
        if strcmp(Vsnt_greitai(4,N_testavimui-1),'G') ||
strcmp(Vsnt_greitai(5,N_testavimui-1),'G')
            greitis='G';
        else
            greitis='L';
        end
    else
        gedimas=cellstr('Stiprus Perkaitimas');
        greitis=Vsnt_greitai(4,N_testavimui-1);
    end
elseif nuliukai(5)==1
    gedimas=cellstr('Stiprus Perkaitimas');
    greitis=Vsnt_greitai(5,N_testavimui-1);
elseif nuliukai(6)==1
    gedimas=cellstr('Kietosios izoliacijos senejimas');
    if strcmp(Vsnt_greitai(6,N_testavimui-1),'G') ||
strcmp(Vsnt_greitai(7,N_testavimui-1),'G')
        greitis='G';
    else
        greitis='L';
    end
elseif nuliukai(7)==1
    gedimas=cellstr('Kietosios izoliacijos senejimas');
    if strcmp(Vsnt_greitai(6,N_testavimui-1),'G') ||
strcmp(Vsnt_greitai(7,N_testavimui-1),'G')
        greitis='G';
    else
        greitis='L';
    end
else
    gedimas=cellstr('Normaliai veikiantis');
end

% H2    1
% CH4   2
% C2H2  3
% C2H4  4
% C2H6  5
% CO    6
% CO2   7
% H2O   8
% KOH
% T
% tgD

% ----- D N T   M E T O D A S -----
% PROGRAMOS PABAIGA

```

2 PRIEDAS

```
% Solve an Input-Output Fitting problem with a Neural Network
% Script generated by NFTOOL
% Created Tue May 29 01:21:06 EEST 2018
%
% This script assumes these variables are defined:
%
%   inputs - input data.
%   targets - target data.

inputs = inputs;
targets = targets;

% Create a Fitting Network
hiddenLayerSize = 20;
net = fitnet(hiddenLayerSize);

% Setup Division of Data for Training, Validation, Testing
net.divideParam.trainRatio = 70/100;
net.divideParam.valRatio = 15/100;
net.divideParam.testRatio = 15/100;

% Train the Network
[net,tr] = train(net,inputs,targets);

% Test the Network
outputs = net(inputs);
errors = gsubtract(targets,outputs);
performance = perform(net,targets,outputs)

% View the Network
view(net)

% Plots
% Uncomment these lines to enable various plots.
%figure, plotperform(tr)
%figure, plottrainstate(tr)
%figure, plotfit(net,inputs,targets)
%figure, plotregression(targets,outputs)
%figure, ploterrhist(errors)
```

3 PRIEDAS

```
xdata = load('Vandenilis_5_trafas.txt');
y0 = sin(xdata);

% Response-dependent Gaussian noise
gnoise = y0.*randn(size(y0));

% Salt-and-pepper noise
spnoise = zeros(size(y0));
p = randperm(length(y0));
sppoints = p(1:round(length(p)/5));
spnoise(sppoints) = 5*sign(y0(sppoints));

ydata = y0 + gnoise + spnoise;

f = fittype('a*sin(b*x)');
[fit1,gof,fitinfo] = fit(xdata,ydata,f,'StartPoint',[1 1]);

residuals = fitinfo.residuals;

I = abs( residuals ) > 1.5 * std( residuals );
outliers = excludedata(xdata,ydata,'indices',I);
fit2 = fit(xdata,ydata,f,'StartPoint',[1 1],...
           'Exclude',outliers);

fit3 = fit(xdata,ydata,f,'StartPoint',[1 1],'Robust','on');

plot(fit1,'r-',xdata,ydata,'k.',outliers,'m*')
hold on
plot(fit2,'c--')
plot(fit3,'b:')
xlim([0 2*pi])
legend( 'Duomenys', 'Duomenys nutole nuo antrosios aproksimacijos',
        'Originalioji aproksimacija',...
        'Aproksimacija su nutolusiais taskais', 'Grieztoji aproksimacija' )
hold off

figure
plot(fit2,xdata,ydata,'co','residuals')
hold on
plot(fit3,xdata,ydata,'bx','residuals')
hold off
```

4 PRIEDAS

```
xy=load('D3Naujas.txt');

x=xy(:, :);
y=xy(:, end);
nx=size(x,1);

% klasiu skaicius
klaskai=max(y);

klasteriu_skaicius=2;

x=mapstd(x)';
x=x(:, [1 6 7]); %uziduodamos visos eilutes ir trys nurodyti stulpeliai.
%apsiziureti sitas, ar gerai veikia. Jos darbe nereikia, reikia naudoti visus
%stulpeius). uzsikomentuoti sia eilute.

%doc cluster analysis
[indeksai,centrai]=kmeans(x,klasteriu_skaicius);
[centrai,priklausomybe_centruui] = fcm(x,klasteriu_skaicius);
[maksimumai,indeksai]=max(priklausomybe_centruui);
%SOM
figure(13);clf
figure(3);clf
 spalva='mcbgykrp'; % Pasirenkamos klasiu
atvaizdavimo spalvos % Pasirenkami klasiu atvaizdavimo
zenklai='ov*'; % Pasirenkami klasiu atvaizdavimo
zenklai
for i=1:klasteriu_skaicius;
    figure(3)
    plot(x(indeksai==i,1),x(indeksai==i,2),[ spalva(i) 'v'],'MarkerSize',12)
    hold on

plot3(centrai(:,1),centrai(:,2),centrai(:,3),'kx','MarkerSize',15,'LineWidth'
,3)
    grid on
    title('Dvimatis k-vidurkiu duju koncentraciju klasterizacijos grafikas')
    legend('normalus darbas','klasteriu centrai','gedimas') % Legenda

    figure(13)
    plot3(x(indeksai==i,1),x(indeksai==i,2),x(indeksai==i,3),[ spalva(i)
'v'],'MarkerSize',12)
    hold on

plot3(centrai(:,1),centrai(:,2),centrai(:,3),'kx','MarkerSize',15,'LineWidth'
,3)
    grid on
    title('Trimatis k-vidurkiu duju koncentraciju klasterizacijos grafikas')
    legend('normalus darbas','klasteriu centrai','gedimas') % Legenda
end

return

hold on
plot(x(idx==2,1),x(idx==2,2),'b.','MarkerSize',12)
plot(c(:,1),c(:,2),'kx',...
'MarkerSize',15,'LineWidth',3)
legend('Cluster 1','Cluster 2','Centroids',...
'Location','NW')
```