



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

**Domas Palevičius**

**GALIOS TRANSFORMATORIŲ IZOLIACINĖS ALYVOS  
KOKYBĖS CHARAKTERISTIKŲ TYRIMAS IR DEFEKTŲ  
ANALIZĖ**

Magistro projektas

**Vadovas**

Prof. dr. Alfonsas Morkvėnas

**KAUNAS, 2015**

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

**GALIOS TRANSFORMATORIŲ IZOLIACINĖS ALYVOS  
KOKYBĖS CHARAKTERISTIKŲ TYRIMAS IR DEFEKTŲ  
ANALIZĖ**

Magistro projektas  
**Elektros energetikos sistemos (621H63005)**

**Vadovas**

Prof. dr. Alfonsas Morkvėnas

**Recenzentė**

dr. Renata Miliūnė

**Projektą atliko**

Domas Palevičius

**KAUNAS, 2015**



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS

(Fakultetas)

Domas Palevičius

(Studento vardas, pavardė)

Elektros energetikos sistemos, 621H63005

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

Baigiamojo projekto

„Galios transformatorių izoliacinės alyvos kokybės charakteristikų tyrimas ir defektų analizė“

### AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

20 15 m. gegužės 25 d.  
Kaunas

Patvirtinu, kad mano **Domas Palevičiaus** baigiamasis projektas tema „Galios transformatorių izoliacinės alyvos kokybės charakteristikų tyrimas ir defektų analizė“ yra parašytas visiškai savarankiškai, o visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

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

\_\_\_\_\_  
(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

\_\_\_\_\_  
(parašas)

Palevičius, Domas. Galios transformatorių izoliacinės alyvos kokybės charakteristikų tyrimas ir defektų analizė. *Magistro* baigiamasis projektas / vadovas prof. dr. Alfonsas Morkvėnas; Kauno technologijos universitetas, Elektros ir elektronikos fakultetas, Elektros energetikos sistemų katedra.

Kaunas, 2015. 47 psl.

## SANTRAUKA

*Magistro baigiamojo projekto uždutis – ištirti 330/110/10 kV Jonavos AT-2, Kruonio AT-1 autotransformatorių ir 110/35/10 kV Kruonio T-1 ir T-2 galios transformatorių izoliacinės alyvos charakteristikų duomenis eksploataavimo laikotarpi, išanalizuoti alyvos cheminius parametrus, nustatyti veiksnių poveikio svarbą defektų pobūdžiui įvertinti ir palyginti tarpusavyje gautus analizės duomenis.*

*Galios transformatorių būklės įvertinimas bei defektų prognozė yra svarbus ir gana sudėtingas uždavinys. Nuo šio uždavinio sprendimo priklauso ne tik saugus įrenginio darbas bei patikimumas, bet ir visos elektros sistemos darbas. Laiku atliekama galios transformatorių alyvos izoliacijos kontrolė ženkliai padeda išvengti gedimų bei avarių ir sumažina jų pasekmes. Statistiškai labiausiai pažeidžiami būtent ir yra galios transformatoriai. Jų patikimumas žymiai pablogėja didėjant eksploatacijos trukmei. Atlikta transformatorių avarių, įvykusių per paskutinius 10 metų, analizė rodo, kad daugiausia – 51% avarių įvyko transformatoriuose, kurių eksploatacijos amžius yra 20–30 metų.*

*Baigiamojo darbo metu, tiriami izoliacinės alyvos pokyčiai skirtingų tipų ir galingumų transformatoriuose (apimant 15–20 metų laikotarpį), pateikiami tyrimo metu gauti duomenys. Taip pat didelis dėmesys yra skiriamas izoliacinės alyvos defektų analizei, jos senėjimo diagnostikai ir galimų gedimų prognozei, panaudojant imitacinių modelių tyrimų metodiką ir šiuolaikinę matavimo bei skaičiavimo techniką.*

Palevičius, Domas. Research on Power Transformers' Insulating Oil Quality Characteristics and Defects' Analysis. Final project of *master degree* / supervisor prof. dr. Alfonsas Morkvėnas; Kaunas University of Technology, Faculty of Electrical and Electronics Engineering, Department of Electrical Power Systems

Kaunas, 2015. 47 pg.

## SUMMARY

*The aims of the Master's thesis project are to investigate the data of the characteristics of insulating oil of 30/110/10 kV autotransformers AT-2 (Jonava), AT-1 (Kruonis) and 110/35/10 kV power transformers T-1 and T-2 (Kruonis) during their maintenance period; to analyze the chemical parameters of oil; to determine the importance of the factors for assessing the nature of the defects; and to compare the data of analyses.*

*The assessment of the condition of power transformers and prognosis of the defects is an important and quite challenging task, which affects the safety and reliability of the work of various devices and the entire electrical system. A constant and regular control of insulating oil of power transformers significantly reduces the damages and breakdowns and their consequences. Statistically, the power transformers are the most damageable appliance. The reliability of power transformers considerably decreases due to the period of their exploitation. The research data reveals that during the last 10 years the majority (51 percent) of breakdowns have affected the power transformers which are 20-30 years old.*

*The Master's thesis project investigates the changes of insulating oil within the power transformers of different type and output during the period of 15-20 years and provides the findings of the research. An important consideration is paid to the analysis of the defects of insulating oil, its diagnostics of aging and prognosis of possible faults by using the stimulation model methodology and the newest measuring and computing techniques.*

# TURINYS

PAVEIKSLĖLIŲ SĄRAŠAS .....	7
LENTELIŲ SĄRAŠAS.....	8
SANTRUMPŲ IR ŽENKLŲ AIŠKINIMO ŽODYNAS.....	9
ĮVADAS.....	10
1. ELEKTROS ĮRENGINIŲ KOKYBĖS KONTROLĖS IR DEFEKTŲ IDENTIFIKAVIMO METODŲ APŽVALGA .....	11
1.1. Elektros įrenginių techninės būklės charakteristikų įvertinimo struktūra.....	11
1.2. Kombinuotosios izoliacijos resurso mažėjimo priežastys ir kokybės charakteristikų tyrimo aktualumas .....	12
1.3. Defektų požymiai ir priežastys .....	13
2. IZOLIACINĖS ALYVOS CHARAKTERISTIKŲ KITIMO DĖSNINGUMŲ ANALIZĖ.....	17
2.1. Autotransformatorių izoliacinėje alyvoje ištirpusių dujų chromatografinė analizė .....	17
2.2. Galios transformatorių izoliacinėje alyvoje ištirpusių dujų chromatografinė analizė.....	20
3. DEFEKTŲ DIAGNOSTIKA PAGAL IZOLIACINĖJE ALYVOJE IŠTIRPUSIŲ DUJŲ CHROMATOGRAFINĖS ANALIZĖS REZULTATUS .....	23
3.1. Transformatorių eksploatavimo būklės diagnostikos pagal IDA rezultatus.....	23
3.2. Atsirandančio defekto pobūdžio ir charakterio nustatymas pagal dujų porų koncentracijos santykį .....	23
3.2.1. Autotransformatoriaus eksploatavimo būklės diagnostika .....	25
3.2.2. Galios transformatoriaus eksploatavimo būklės diagnostika.....	26
3.3. Transformatorių tyrimo analizės palyginimas.....	28
3.3.1. Autotransformatorių izoliacinėje alyvoje išsiskyrusių dujų kiekių detalizacija .....	29
3.3.2. Galios transformatorių izoliacinėje alyvoje išsiskyrusių dujų kiekių detalizacija.....	32
3.4. Dujų koncentracijos kitimo greičio analizė.....	34
3.5. Izoliacinėje alyvoje ištirpusių dujų tyrimo analizės apibendrinimas .....	44
IŠVADOS IR PASIŪLYMAI.....	46
INFORMACIJOS ŠALTINIŲ SĄRAŠAS .....	47
PRIEDAI.....	48
Priedas 1. Elektrinio charakterio defektų grafikai .....	48
Priedas 2. Defektų charakterio nustatymas transformatoriuje pagal dujų porų koncentracijos santykį .....	50

## PAVEIKSLĖLIŲ SĄRAŠAS

1.2 pav.	Kombinuotosios alyvos popieriaus izoliacijos kokybės charakteristikų blogėjimas .....	13
2.1.1 pav.	Kruonio HAE AT-1 ištirpusių dujų koncentracijų priartėjimas prie ribinių normų .....	18
2.1.2 pav.	Jonavos TP AT-2 ištirpusių dujų koncentracijų priartėjimas prie ribinių normų .....	19
2.2.1 pav.	Kruonio HAE T-1 ištirpusių dujų koncentracijų priartėjimas prie ribinių normų .....	20
2.2.2 pav.	Kruonio HAE T-2 ištirpusių dujų koncentracijų priartėjimas prie ribinių normų .....	22
3.2.1.1 pav.	Terminio charakterio defekto grafikas .....	25
3.2.2.1 pav.	Terminio charakterio defekto grafikas .....	27
3.3.1.1 pav.	Kruonio HAE AT-1 ir Jonavos TP AT-2 autotransformatorių (H <sub>2</sub> ) vandenilio kitimo kreivės.....	29
3.3.1.2 pav.	Kruonio HAE AT-1 ir Jonavos TP AT-2 autotransformatorių (C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> ) acetileno kitimo kreivės.....	29
3.3.1.3 pav.	Kruonio HAE AT-1 ir Jonavos TP AT-2 autotransformatorių (CH <sub>4</sub> ) metano kitimo kreivės.....	29
3.3.1.4 pav.	Kruonio HAE AT-1 ir Jonavos TP AT-2 autotransformatorių (C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> ) etano kitimo kreivės.....	30
3.3.1.5 pav.	Kruonio HAE AT-1 ir Jonavos TP AT-2 autotransformatorių (C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> ) etileno kitimo kreivės.....	30
3.3.1.6 pav.	Kruonio HAE AT-1 ir Jonavos TP AT-2 autotransformatorių (CO) anglies monoksido kitimo kreivės.....	30
3.3.1.7 pav.	Kruonio HAE AT-1 ir Jonavos TP AT-2 autotransformatorių (CO <sub>2</sub> ) anglies dioksido kitimo kreivės.....	31
3.3.2.1 pav.	Kruonio HAE T-1 ir T-2 transformatorių (H <sub>2</sub> ) vandenilio kitimo kreivės .....	32
3.3.2.2 pav.	Kruonio HAE T-1 ir T-2 transformatorių (CH <sub>4</sub> ) metano kitimo kreivės.....	32
3.3.2.3 pav.	Kruonio HAE T-1 ir T-2 transformatorių (C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> ) etano kitimo kreivės.....	32
3.3.2.4 pav.	Kruonio HAE T-1 ir T-2 transformatorių (C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> ) etileno kitimo kreivės .....	33
3.3.2.5 pav.	Kruonio HAE T-1 ir T-2 transformatorių (CO) anglies monoksido kitimo kreivės.....	33
3.3.2.6 pav.	Kruonio HAE T-1 ir T-2 transformatorių (CO <sub>2</sub> ) anglies dioksido kitimo kreivės.....	33

## LENTELIŲ SĄRAŠAS

1.3.1 lentelė. Galimi transformatorių defektai ir juos atitinkančios dujos .....	14
1.3.2 lentelė. Dujų sudėtis ir galimos jų atsiradimo transformatoriuje priežastys .....	15
2.1.1 lentelė. Kruonio HAE AT-1 (1996–2014 m.) chromatografinės analizės duomenys .....	17
2.1.2 lentelė. Jonavos TP AT-2 (1997-2013m.) chromatografinės analizės duomenys.....	18
2.2.1 lentelė. Kruonio T-1 (2000–2014 m.) chromatografinės analizės duomenys .....	20
2.2.2 lentelė. Kruonio HAE T-2 (1996–2013 m.) chromatografinės analizės duomenys.....	21
3.4.1 lentelė. Kruonio HAE AT-1 dujų koncentracijų kitimo greitis.....	43
3.4.2 lentelė. Jonavos TP AT-2 dujų koncentracijos kitimo greitis .....	43
3.4.3 lentelė. Kruonio TP T-1 dujų koncentracijų kitimo greitis .....	43
3.4.4 lentelė. Kruonio TP T-2 dujų koncentracijų kitimo greitis .....	44
3.5.1 lentelė. Transformatorių izoliacinėje alyvoje ištirpusių dujų analizės vidurkiai .....	44



## SANTRUMPŲ IR ŽENKLŲ AIŠKINIMO ŽODYNAS

$A_i$  – chromatografu išmatuota  $i$ -tųjų dujų koncentracijos reikšmė

$A_{ribi}$  – ribinė  $i$ -tųjų dujų koncentracija.

$A_{i0}$  – pradinė alyvoje ištirpusių dujų koncentraciją.

$ppm$  – 1 milijoninė dalis;  $1 ppm = 0,0001\%$  tūrio;  $1 ppm = 1\mu l/l$ .

IDA – ištirpusių dujų analizė.

$d_1$  – pradinių metų dujų koncentracija ( $ppm$ );

$d_2$  – paskutinių metų dujų koncentracija ( $ppm$ );

$n$  – metų skaičius;

$x$  – dujų koncentracijos pokytus kas metus (%);

$y$  – dujų koncentracijos pokytis kas metus ( $ppm$ );

## IVADAS

Galios transformatorių būklės įvertinimas bei defektų prognozė yra svarbus ir gana sudėtingas uždavinys. Nuo šio uždavinio sprendimo priklauso ne tik saugus įrenginio darbas bei patikimumas, bet ir visos elektros sistemos darbas. Dažniausiai visų elektros įrenginių būklę, iš esmės lemia izoliacijos kokybė. Norint tiksliau įvertinti galios transformatorių būklę išanalizuoti atsiradusius defektus, reikia ištirti izoliacijoje vykstančius procesus, nustatyti šių procesų įtakojančius veiksnius, izoliacijos būklės charakteristikas, ir jų kitimo dėsningumus. Analizuojant procesų pokyčius įrenginių izoliacijoje galima prognozuoti izoliacijos senėjimo greitį, defektų raidą bei jų šalinimo laiką.

Izoliacijos defektai sudaro 52% visų gedimų. Todėl ypač svarbu tiksli transformatorių alyvos izoliacijos senėjimo diagnostika ir galimų gedimų prognozė, panaudojant imitacinių modelių tyrimų metodiką ir šiuolaikinę matavimo bei skaičiavimo techniką.

Lietuvos energetikos sistemoje daugelio eksploatuojamų elektros įrenginių izoliacija yra susidėvėjusi ir kelia didelį pavojų sistemos darbui. Lietuvai ypač svarbu ir aktualu priimti techniškai pagrįstus sprendimus apie galimą transformatorių tolesnį darbą. Šiame baigiamajame darbe analizuojami ne tik izoliacinės alyvos charakteristikos ir jų defektai, tačiau ir apie 15-os metų eksploatavimo laikotarpio surinkta iš skirtingų galios ir autotransformatorių chromatografinė analizė. Gauti rezultatų duomenys buvo susisteminti, analizuojami jų pokyčiai ir palyginami tarpusavyje.

**Darbo tikslas** – ištirti galios transformatorių izoliacinės alyvos kokybės charakteristikas ir izoliacinės alyvos charakteristikų pokyčio ryšį su defektais.

### **Darbo uždaviniai:**

- Išanalizuoti izoliacinės alyvos cheminius parametrus.
- Nustatyti veiksnių poveikio svarbą defektų pobūdžiui įvertinti.
- Ištirti skirtingų galios/autotransformatorių izoliacinės alyvos charakteristikos duomenis.
- Atlikti dujų koncentracijos kitimo greičių analizę
- Palyginti alyvoje ištirpusių dujų chromatografinės analizės rezultatus.

# 1. ELEKTROS ĮRENGINIŲ KOKYBĖS KONTROLĖS IR DEFEKTŲ IDENTIFIKAVIMO METODŲ APŽVALGA

Elektros įrenginys suprojektuojamas ir pagaminamas taip, kad patikimai veiktų visą numatytą eksploataavimo laiką, dirbant jam vardinėmis sąlygomis. Energetikos sistemoje dirbantis įrenginys yra veikiamas įvairių kintančių išorinių (aplinkos sąlygos, žaibo viršįtampiai ir pan.) bei vidinių (perkrovimo srovė, vibracija, įtampos svyravimai, viršįtampiai ir kt.) veiksnių. Patikimo elektros įrenginio darbo įvertinimui turi būti naudojama kokybės kontrolės sistema.

Pagrindinės daugumos energetikos sistemos įrenginių sudėtinės dalys yra srovėlaidis, izoliacija ir magnetolaidis. Priklausomai nuo įrenginių izoliacija gali būti vieno arba dviejų komponentų. Dažniausiai pastaroji susideda iš kietosios dalies ir skystosios, pvz. izoliacinės alyvos.

Kokybinėms charakteristikoms nustatyti yra naudojami eksperimentiniai analizės metodai. Elektros įrenginių kokybei įvertinti naudojama periodiškai kontroliuojamų įrenginių būklę apibūdinančių charakteristikų sistema arba pastovi vienos ar kelių charakteristikų kontrolės (monitoringo) sistema.

## 1.1. Elektros įrenginių techninės būklės charakteristikų įvertinimo struktūra

Elektros įrenginių techninės būklės įvertinimui ir galimų defektų prognozavimui yra taikomi įvairūs kontrolės metodai. Didžioji jų dalis registruoja dėl defektų atsirandančius dalinius išlydžius, vibraciją, ultragarsą ir pan. arba kontroliuoja įvairius dėl defektų susidariusius išsiskyrusių dujų kiekį, tg̃ pokytį, vandens kiekį, rūgštingumą ir kt.

Įrenginio kokybės įvertinimo charakteristika (darbo resurso kitimo kontrolė) yra reikalinga darbo patikimumui užtikrinti. Aukštosios įtampos transformatorinių pastočių įrenginių patikimumas labiausiai priklauso nuo izoliacijos kokybės. Įrenginių vidinė ir išorinė izoliacija turi būti atspari ilgalaikiai maksimaliai darbo įtampai, komutaciniams ir atmosferiniams viršįtampiams. Įrenginių vidinės izoliacijos dielektrinio atsparumo mažėjimą lemia dalinių išlydžių intensyvumas bei jų lygis, senėjimas dėl šiluminio poveikio ir drėgmės. Eksploatuojamų įrenginių patikimumui padidinti turi būti nuolat kontroliuojami įrenginius veikiantys veiksniai bei įrenginių elementų techninė būklė.

Elektros įrenginių kokybei įvertinti naudojamas izoliacijos būklę apibūdinančių charakteristikų periodinės kontrolės metodas, kai periodiškai registruojama kompleksas charakteristikų. Periodinė įrenginių kontrolės sistema dažniausiai įvertina tik ribines normatyvines charakteristikas, kurias viršijus įrenginys turi būti keičiamas arba remontuojamas.

Periodiška įrenginių kokybės ir patikimumo charakteristikų kontrolės sistema yra gana paprasta bei efektyvi. Pagal šią sistemą kontroliuojamos inertiškos charakteristikos, kurių kitimo procesas lėtas,

tokios kaip dielektrinių nuostolių  $tg\delta$ , izoliacijos varža  $R_{15}$  ir  $R_{60}$  (talpa ir dinamiškos, kai dėl staigaus įtampos ar srovės pokyčio atsiranda įvairių bloginančių izoliacijos kokybę produktų, tai išsiskiriančios įvairios dujos, nuosėdos ir kt.

Dabar naudojama periodinė elektros įrenginių būklės kontrolės sistema apima daug kontroliuojamų charakteristikų. Norint nustatyti būtinas kontroliuoti charakteristikas bei kontroliuojamų charakteristikų seką; buvo sudaryta duomenų atrankos sistema, kadangi pavieniais įprastiniais diagnozavimo metodais aptinkamas vienos ar kitos rūšies defektas, tačiau sunku lokalizuoti gedimo vietą ir įvertinti jo sudėtingumą. Be to dauguma elektros įrenginius eksploatuojančių organizacijų atsisako planinių remontų ir jų būtinumą, sudėtingumą bei apimtis nustato pasirinkdami kompleksinę diagnostiką arba monitoringo sistemas.

Transformatorių pastotėse didžiausią saugios eksploatacijos rizikos laipsnį turintys įrenginiai yra 110–330 kV įtampos galios ir srovės transformatoriai. Remiantis Kauno įmonės „Kauno energetikos remontas“ laboratorijos atliktų tyrimų duomenimis, įrenginių techninę būklę efektyviausiai įvertina kompleksinė galios ir srovės transformatorių diagnostika, atliekant įprastinius, naujus ir alternatyvius matavimus bei bandymus dirbant įrenginiui įvairiais režimais.

## **1.2. Kombinuotosios izoliacijos resurso mažėjimo priežastys ir kokybės charakteristikų tyrimo aktualumas**

Alyvos popieriaus izoliacijos kokybės charakteristikų tyrimo aktualumo įvertinimas parodo svarbiausius parametrus, kurie leidžia nustatyti kokybę ir resurso mažėjimo priežastis.

Kombinuotosios izoliacijos resurso analizės tikslas – atskleisti veiksnius, kurie trumpina įrenginių eksploatacijos trukmę ir parodyti parametrus, kurių tyrimai pagerintų izoliacijos resurso nustatymą.

Siekiant įvertinti izoliacijos gamybos kokybę ir atitikimą standartų keliamiems reikalavimams, pirmiausiai galios transformatorių, matavimo transformatorių, kondensatorių ir įvadų alyvos popieriaus izoliacijos kokybės tyrimai atliekami gamykloje (gamykliniai bandymai). Prieš pradėdant eksploatuoti, izoliacijos kokybės tyrimai parodo, ar įrenginiai tinkamai transportuoti ir sumontuoti. Prieš ir po remonto izoliacijos kokybės tyrimai parodo remonto darbų kokybę ir įtaką izoliacijai.

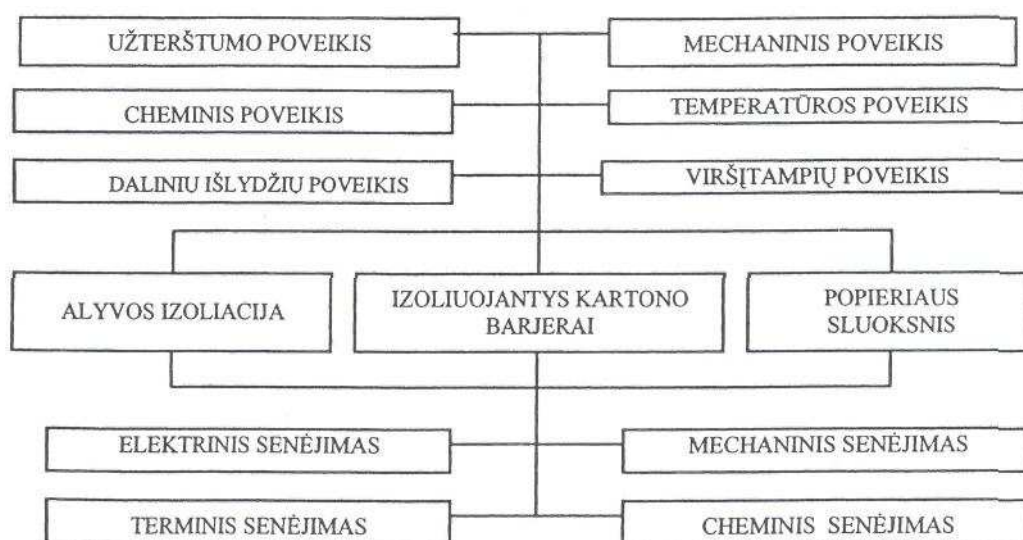
Alyvos popieriaus izoliacijos kokybės charakteristikų kaita priklauso nuo daugelio veiksnių ir techninių eksploatavimo sąlygų. Pagrindinės transformatorių izoliacijos senėjimo ir kokybės blogėjimo priežastys nurodytos 1.2 pav. Kokybės charakteristikos pablogėja dėl izoliacijos senėjimo ir jos užteršimo. Alyvos popieriaus izoliacijos senėjimas – tai procesas, kai bėgant laikui popieriaus sluoksniai, barjerai ir alyva pakeičia savo fizinę arba cheminę sudėtį. Popieriaus sluoksnyje ir barjeruose vyksta celiuliozės polimerizacijos procesai.

Izoliacijos užterštumas – izoliacijos savybių kitimas dėl jos užteršimo priemaišomis ar sudrėkimo.

Transformatorių izoliacija senėja dėl: užterštumo poveikio, cheminio poveikio, dalinių išlydžių poveikio, mechaninio poveikio, temperatūros poveikio, atmosferinių ir komutacinių viršįtampių poveikio.

Užterštumo poveikį sukelia drėgmė, oras, indikatorinio silikagelio grūdėliai ir įvairios nuosėdos, patekę į popieriaus sluoksnį, barjerus ir alyvos izoliaciją.

Daliniai išlydžiai ardo izoliaciją. Jie atsiranda dėl izoliacijos kokybės pablogėjimo, netolygaus elektromagnetinio lauko pasiskirstymo izoliacijoje, izoliacijos struktūros nevientisumo ir izoliacijos komponentų užterštumo.



1.2 pav. Kombinuotosios alyvos popieriaus izoliacijos kokybės charakteristikų blogėjimas

### 1.3. Defektų požymiai ir priežastys

Galios transformatoriuose ir taip pat kituose elektros įrenginiuose defektų pobūdis ir jų poveikio pasekmės (dujos, vanduo ir nuosėdos ir pan.) gali būti įvairūs. Veikiančiam transformatoriui monitoringo pagrindu gali būti nustatyti šie defektinės būklės požymiai:

1. Dujų, vandens atsiradimas izoliacinėje alyvoje.
2. Anomaliniai (bendri arba lokaliniai) temperatūros padidėjimai.
3. Izoliacijos pablogėjimas.
4. Anomaliniai magnetinių laukų padidėjimai.

Dujos alyvoje atsiranda dėl elektrinių ir terminių veiksnių, popieriaus izoliacijos senėjimo. Dujų kiekį įrenginių izoliacinėje alyvoje galima nustatyti chromatografu. Chromatografinės analizės metodu nustatomos šių dujų koncentracijos izoliacinėje alyvoje: vandenilis ( $H_2$ ), acetilenas ( $C_2H_2$ ), metanas

(CH<sub>4</sub>), etilenas (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>), etanas (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>), anglies oksidas (CO), anglies dioksidas (CO<sub>2</sub>), azotas (N<sub>2</sub>) ir deguonis (O<sub>2</sub>). Vienokių ar kitokių dujų aptikimas izoliacinėje alyvoje yra kriterijus galimam defektui identifikuoti. 1.3.1 lentelėje parodyti defektai ir jų poveikyje susidariusios dujos.

Dujų koncentracija alyvoje nustatoma chromatografiniu būdu. Pagrindinės ir charakteringos dujos nustatomos apskaičiuojant alyvoje ištirpusių dujų lyginamąsias koncentracijas pagal formulę:

$$a_i = \frac{A_i}{A_{ribi}} \quad (1.1)$$

čia:  $A_i$  – chromatografu išmatuota  $i$ -tųjų dujų koncentracijos reikšmė,

$A_{ribi}$  – ribinė  $i$ -tųjų dujų koncentracija

1.3.1 lentelė. Galimi transformatorių defektai ir juos atitinkančios dujos

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

Pagal apskaičiuotas lyginamąsias koncentracijas dujos skirstomos į:

- pagrindines, kurių lyginamoji koncentracija didžiausia ( $a_{i.maks}$ ). CO<sub>2</sub> dujos bus pagrindinėmis, jeigu  $a_{CO2} > 1$ .
- didelio kiekio charakteringosios dujos –  $\alpha_i \geq 1$
- mažo kiekio charakteringosios dujos –  $0,1 \leq \alpha_i < 1$ .
- necharakteringosios dujos –  $\alpha_i < 0,1$ .

Atlikus transformatoriui kapitalinį remontą arba prieš įjungiant į tinklą naują transformatorių būtina nustatyti ir įvertinti pradinę alyvoje ištirpusių dujų koncentraciją  $A_{i0}$ . Ši dujų koncentracija vėliau naudojama chromatografijos rezultatų įvertinimui eksploatacijos metu bei nustatant įrenginio darbo sąlygas pagal pokytį nuo įjungimo į tinklą pradžios. pritaikant

Alyvoje ištirpusių dujų sudėtis priklauso nuo transformatoriuje besivystančio defekto. Dujas, pagal jų kiekį ir svarbą gedimo charakteristikai sąlyginai dar galima suskirstyti į pagrindines, įvairaus kiekio charakteringas ir necharakteringas. Pagal gautą alyvoje ištirpusių dujų sudėtį bei jų kiekį galima apytiksliai nustatyti besivystančio defekto prigimtį ir priežastį (1.3.2 lentelė), o pritaikius sudarytą

metodą pagal pokyčio dydį nustatyti defekto didėjimo greitį ir prognozuoti laiką iki galimos avarijos bei numatyti dažnesnę charakteristikų kontrolę.

Nustačius defekto pobūdį ir kitimo greitį, defektą galima aptikti termovizoriumi.

Termovizinis transformatoriaus bako tyrimas leidžia aptikti šiuos defektus:

- Transformatoriaus bako vietinius įkaitimus;
- Transformatoriaus bako sandūros varžtų įkaitimus;
- Vidinių kontaktinių sujungimų įkaitimus;
- Izoliacijos defektus;
- Aušinimo sistemos defektus.

Vietinių transformatoriaus bako įkaitimų galimos priežastys:

- Sklaidos srautai dėl konstrukcinių trūkumų;
- Minimalius temperatūrų skirtumus tarp įvadų/išvadų;
- Vidinių įkaitimų temperatūros pernešimas alyvos srautu ant transformatoriaus bako sienos.

A

1.3.2 lentelė. Dujų sudėtis ir galimos jų atsiradimo transformatoriuje priežastys

Alyvoje ištirpusių dujų sudėtis ir kiekis	Galimos dujų atsiradimo priežastys
1. CO <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> ir CO CO <sub>2</sub> – pagrindinės dujos CO – bet kokio kiekio charakteringosios dujos	Transformatorius perkrautas; Didelė alyvos drėgmė; Popieriaus izoliacija paveikta termiškai
2. H <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> – pagrindinės dujos CH <sub>4</sub> – mažo kiekio charakteringosios dujos	Daliniai išlydžiai transformatorinėje alyvoje.
3. H <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> , C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> , CO <sub>2</sub> H <sub>2</sub> ir C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> – pagrindinės dujos CH <sub>4</sub> ir C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> – didelio kiekio charakteringosios dujos CO <sub>2</sub> – charakteringos dujos	Alyvos skaidimasi sukelti didelės energijos lankinė iškrova.
4. H <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> , CO <sub>2</sub> H <sub>2</sub> – pagrindinės dujos CH <sub>4</sub> ir C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> – didelio kiekio charakteringosios dujos CO <sub>2</sub> – charakteringos dujos	Aukštos temperatūros alyvos perkaitimas.
5. H <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> , C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> , C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> , CO ir CO <sub>2</sub> H <sub>2</sub> ir C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> – pagrindinės dujos CH <sub>4</sub> ir C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> – didelio kiekio charakteringosios dujos CO – mažo kiekio charakteringosios dujos C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> – necharakteringosios dujos	Popieriaus izoliaciją palietęs aukštos temperatūros lanko susidarymas.
6. C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> , CH <sub>4</sub> , CO <sub>2</sub> , CO ir H <sub>2</sub> CO <sub>2</sub> ir C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> – pagrindinės dujos CH <sub>4</sub> – mažo kiekio charakteringosios dujos CO – bet kokio kiekio charakteringosios dujos H <sub>2</sub> – necharakteringosios dujos	Popieriaus izoliacija paveikta termiškai įkaitimo vietos temperatūra iki 300 °C

Termovizinis transformatoriaus bako tyrimas atliekamas iš visų bako pusių. Jeigu, atliekant transformatoriaus bako termovizinį tyrimą, nustatomas vietinis bako įkaitimas, kurio temperatūra  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$  didesnė už transformatoriaus viršutinės dalies temperatūrą, tai galima tvirtinti, kad priežastis yra vidinis terminis defektas. Transformatoriaus bako sandūros varžto įkaitimas bus defektinis, jei varžto įkaitimo temperatūra viršys bako sienelės temperatūrą  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Atliekant įrenginių termovizinį tyrimą reikia lyginti porceliano ir viršutinės dalies temperatūras. Taip galima aptikti vidinius izoliacijos ir kontaktinių sujungimų defektus. Jeigu vienos fazės galios transformatoriaus viršutinės korpuso dalies temperatūra yra  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$  didesnė už kitų fazių įrenginių temperatūrą, tai galios transformatoriuje yra vidinis kontaktinių sujungimų defektas. Jeigu vienos fazės transformatoriaus porceliano temperatūra yra  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$  didesnė už kitų fazių, tai šios fazės transformatoriuje yra vidinis izoliacijos defektas.

Chromatografinės ir termovizinės diagnostikos rezultatus galima suskirstyti į tris grupes.

**Pirmajai grupei** priskiriami atvejai, kada termovizinio tyrimo pagalba pasiseka aptikti ryškius lokalinius įkaitimus ant transformatoriaus korpuso. Tokios rūšies defektai atsiranda dėl smeigių izoliacijos pažeidimų, terminio defekto popieriaus izoliacijoje, įžeminimo šynų nutrūkimo, nekokybiškų kontaktinių sujungimų, magnetinių srautų šuntų ir kitų defektų, kurių šiluminiai nuostoliai susiprojektuoja į transformatoriaus bako sienas.

**Antrajai grupei** priskiriami atvejai, kada ištirpusių dujų koncentracijos transformatorinėje alyvoje rodo aukštos temperatūros (apie  $700^{\circ}\text{C}$ ) terminį defektą, tačiau ant transformatoriaus paviršiaus nepavyksta aptikti lokalinio įkaitimo. Tai galima paaiškinti tuo, kad defekto šilumos nuostoliai nesusiprojektavo ant transformatoriaus sienelės arba yra giluminis defektas toks kaip magnetolaidžio plokštelių pažeidimas arba terminis izoliacijos defektas giliai apvijose. Šių defektų vietą galima aptikti akustinio arba ultragarsinio zondavimo pagalba.

**Trečiai grupei** priskiriami transformatoriaus terminiai defektai, kuriuos sąlygoja jo konstrukciniai ypatumai. Jie eksploatacijai nepavojingi. Šiuos defektus dažnai sukelia magnetiniai srautai, kuriuos galima aptikti termografiniu tyrimu ir magnetinio lauko iškraipymų zondavimu.



## 2. IZOLIACINĖS ALYVOS CHARAKTERISTIKŲ KITIMO DĖSNINGUMŲ ANALIZĖ

Naudojama periodinė įrenginių būklės charakteristikų kontrolės sistema registruoja daug įvairių matmenų. Eksploatuojamų galios ir autotransformatorių techninė būklė yra periodiškai tikrinama. Pagrindinės galios ir autotransformatorių izoliacinės alyvos charakteristikos, kurios registruojamos eksploataciniame žurnale yra chromatografinė analizė. Šiuo metodu nustatomos šių dujų koncentracijos izoliacinėje alyvoje: 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 ( $N_2$ ) ir deguonis ( $O_2$ ). Išanalizuoti Kruonio HAE AT-1 ir Jonavos AT-2 bei Kruonio T-1 ir T-2 ~15-os metų dujų koncentracijos alyvoje duomenys ir palyginti tarpusavyje.

Elektros įrenginio registruojamų kokybės charakteristikų kitimo dinamika leidžia numatyti lėtai besikeičiančių eksploatacijoje dujų charakteristikų dėšningumus. Pagal šių charakteristikų kitimo dėšningumus galima įvertinti įrenginio darbo trukmę iki remonto t. y. iki to laiko kol kokybinė charakteristika priartės prie normuotos vertės.

### 2.1. Autotransformatorių izoliacinėje alyvoje ištirpusių dujų chromatografinė analizė

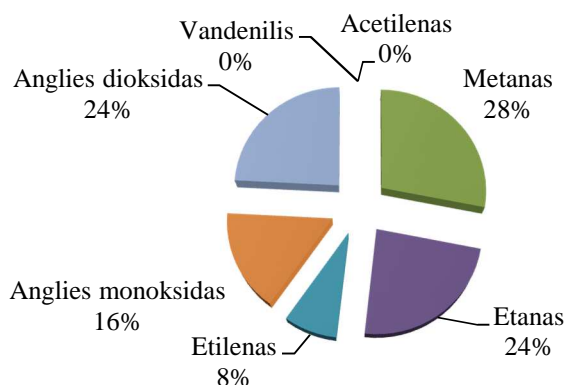
2.1.1 lentelė. Kruonio HAE AT-1 (1996–2014 m.) chromatografinės analizės duomenys

330/110/10 kV							
Kruonio HAE AT-1 autotransformatoriaus ištirpusių dujų koncentracija, ppm							
	$H_2$	$C_2H_2$	$CH_4$	$C_2H_6$	$C_2H_4$	CO	$CO_2$
	Vandenilis	Acetilenas	Metanas	Etanas	Etilenas	Anglies monoksidas	Anglies dioksidas
Metai	≤100	≤10	≤100	≤50	≤60	≤500	≤2000
1996*	0,00	0,00	12,00	0,00	0,59	0,00	990,00
1997	0,00	0,00	18,00	0,15	0,11	450,00	940,00
2000	0,00	2,00	22,00	0,80	0,60	370,00	510,00
2001	0,00	0,00	24,00	0,70	0,00	250,00	830,00
2002	0,00	0,00	29,00	0,71	1,12	220,00	1100,00
2003**	0,00	0,00	0,00	0,00	0,63	0,00	16,00
2004	0,00	0,00	0,67	0,56	0,74	6,00	37,00
2005	0,00	0,00	0,74	0,38	0,47	7,00	47,00
2006	0,00	0,00	1,18	0,41	0,47	7,00	57,00
2007	0,00	0,00	1,28	0,51	0,51	13,00	70,00
2008	0,00	0,00	1,46	0,60	0,48	8,00	80,00
2009	0,00	0,00	1,84	0,79	0,50	9,00	74,00

330/110/10 kV							
Kruonio HAE AT-1 autotransformatoriaus ištirpusių dujų koncentracija, ppm							
	H <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	CO	CO <sub>2</sub>
	Vandenilis	Acetilenas	Metanas	Etanas	Etilenas	Anglies monoksidas	Anglies dioksidas
<b>Metai</b>	<b>≤100</b>	<b>≤10</b>	<b>≤100</b>	<b>≤50</b>	<b>≤60</b>	<b>≤500</b>	<b>≤2000</b>
2010	0,00	0,00	7,48	1,01	0,57	10,00	82,00
2013	0,00	0,00	18,38	8,29	4,45	80,58	663,91
2014*	0,00	0,00	41,11	17,40	7,00	117,45	709,00
Pokytis %	0,00	0,00	41,11	34,80	11,67	23,49	35,45
Vidurkis	0,00	0,13	11,94	2,15	1,22	103,20	413,73

\*\* – atliktas alyvos regeneravimas    ■ – pirminių ir paskutinių metų duomenys

(1996–2014 m.)  
Kruonio HAE AT-1 autotransformatoriaus ištirpusių dujų koncentracijų priartėjimas prie ribinių normų, %



2.1.1 pav. Kruonio HAE AT-1 ištirpusių dujų koncentracijų priartėjimas prie ribinių normų

Susisteminius ir išanalizavus 1996–2014 m. Kruonio HAE AT-1 chromatografinės analizės tyrimo rezultatus pastebima, kad (CH<sub>4</sub>) metanas, (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>) etanas ir (CO<sub>2</sub>) anglies dioksidas sudaro apie 76% visų alyvoje išsiskiriančių dujų dalį ir yra arčiausiai ribinių normų priartėjimo, tuo tarpu (H<sub>2</sub>) vandenilio ir (C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>) acetileno apie pastaruosius metus pokyčių nepastebima.

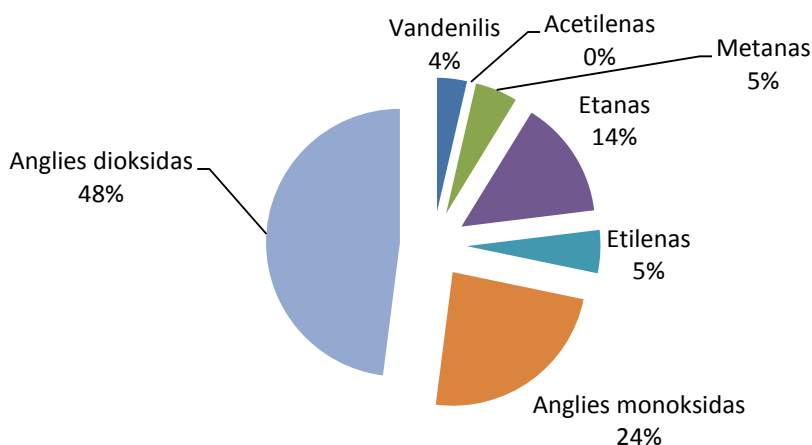
2.1.2 lentelė. Jonavos TP AT-2 (1997-2013m.) chromatografinės analizės duomenys

330/110/10 kV							
Jonavos TP AT-2 autotransformatoriaus ištirpusių dujų koncentracija, ppm							
	H <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	CO	CO <sub>2</sub>
	Vandenilis	Acetilenas	Metanas	Etanas	Etilenas	Anglies monoksidas	Anglies dioksidas
<b>Metai</b>	<b>≤100</b>	<b>≤10</b>	<b>≤100</b>	<b>≤50</b>	<b>≤60</b>	<b>≤500</b>	<b>≤2000</b>
1997*	2,60	0,00	1,80	1,70	22,00	71,00	496,00
1998	2,80	0,00	1,90	1,75	23,60	74,00	501,00
1999**	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11,00

330/110/10 kV							
Jonavos TP AT-2 autotransformatoriaus ištirpusių dujų koncentracija, ppm							
	H <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	CO	CO <sub>2</sub>
	Vandenilis	Acetilenas	Metanas	Etanas	Etilenas	Anglies monoksidas	Anglies dioksidas
Metai	≤100	≤10	≤100	≤50	≤60	≤500	≤2000
2000	6,50	0,00	32,70	15,10	39,30	13,00	104,00
2001**	0,00	0,00	3,60	2,10	5,10	0,00	11,00
2002**	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12,00
2003**	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,00
2004	0,00	0,00	4,70	1,69	10,69	12,00	98,00
2005	0,00	0,00	5,80	2,59	15,29	18,00	382,00
2006	0,00	0,00	5,49	2,29	15,46	25,30	574,00
2007	0,00	0,00	6,90	3,48	12,27	31,80	748,00
2008	0,00	0,00	12,78	0,00	20,29	60,20	1015,00
2009**	0,00	0,00	0,54	0,32	0,33	14,00	91,00
2010	2,25	0,00	5,60	1,38	2,37	59,70	518,00
2011	5,84	0,00	7,92	9,45	4,89	134,87	918,00
2012	7,63	0,00	10,30	15,31	7,41	201,47	1495,28
2013*	8,75	0,00	12,56	17,40	7,64	289,46	2335,24
Pokytis %	8,75	0,00	12,56	34,80	12,73	57,89	116,76
Vidurkis	2,14	0,00	6,62	4,39	10,98	59,11	548,03

\*\* – atliktas alyvos regeneravimas    \* – pirminių ir paskutinių metų duomenys.

(1997–2013 m.)  
Jonavos TP AT-2 autotransformatoriaus ištirpusių dujų koncentracijų priartėjimas prie ribinių normų, %



2.1.2 pav. Jonavos TP AT-2 ištirpusių dujų koncentracijų priartėjimas prie ribinių normų

Susisteminius ir išanalizavus 1997–2013 m. Jonavos AT-2 chromatografinės analizės tyrimo rezultatus pastebima, kad (CO) anglies monoksidas ir (CO<sub>2</sub>) anglies dioksidas sudaro apie 72% visų alyvoje išsiskiriančių dujų dalį ir yra arčiausiai ribinių normų priartėjimo, tuo tarpu kaip ir Kruonio HAE AT-1 (H<sub>2</sub>) vandenilio ir (C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>) acetileno apie pastaruosius metus pokyčiai mažai pastebimi.

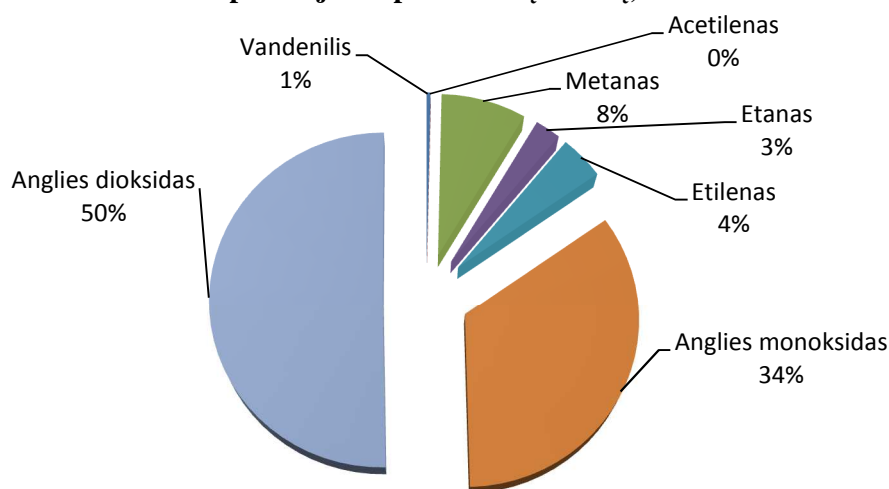
## 2.2. Galios transformatorių izoliacinėje alyvoje ištirpusių dujų chromatografinė analizė

2.2.1 lentelė. Kruonio T-1 (2000–2014 m.) chromatografinės analizės duomenys

110/35/10 kV							
Kruonio HAE T-1 galios transformatoriaus ištirpusių dujų koncentracija, ppm							
	H <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	CO	CO <sub>2</sub>
	Vandenilis	Acetilenas	Metanas	Etanas	Etilenas	Anglies monoksidas	Anglies dioksidas
Metai	≤100	≤10	≤100	≤50	≤60	≤500	≤2000
2000*	0,00	0,00	1,80	0,00	0,00	23,00	77,00
2001	0,00	0,00	2,20	0,60	0,80	24,00	108,00
2002	0,00	0,00	2,30	0,70	0,80	24,00	155,00
2003	0,00	0,00	3,04	0,86	0,93	42,00	197,00
2004	0,00	0,00	2,89	0,87	0,88	40,00	178,00
2005	0,00	0,00	3,22	0,97	0,93	45,00	182,00
2006	0,00	0,00	4,35	1,19	1,29	43,00	231,00
2007	0,00	0,00	3,67	1,05	1,02	48,00	228,00
2008	0,00	0,00	3,55	1,13	1,09	52,00	273,00
2009	0,00	0,00	5,80	2,50	1,18	110,00	1380,00
2010	0,00	0,00	10,90	3,00	4,40	210,00	2160,00
2011	2,64	0,00	10,80	1,44	2,00	333,40	1727,00
2012	2,19	0,00	10,39	1,01	1,86	235,18	1044,90
2013	0,00	0,00	20,27	0,00	8,27	450,00	2602,28
2014*	0,00	0,00	22,37	1,00	8,43	572,00	2678,00
Pokytis %	0,32	0,00	7,17	2,18	3,76	30,02	44,07
Vidurkis	0,32	0,00	7,17	1,09	2,26	150,11	881,41

\*\* – atliktas alyvos regeneravimas    ■ – pirminių ir paskutinių metų duomenys

(2000–2014 m.)  
Kruonio HAE T-1 galios transformatoriaus ištirpusių dujų koncentracijų priartėjimas prie ribinių normų, %



2.2.1 pav. Kruonio HAE T-1 ištirpusių dujų koncentracijų priartėjimas prie ribinių normų

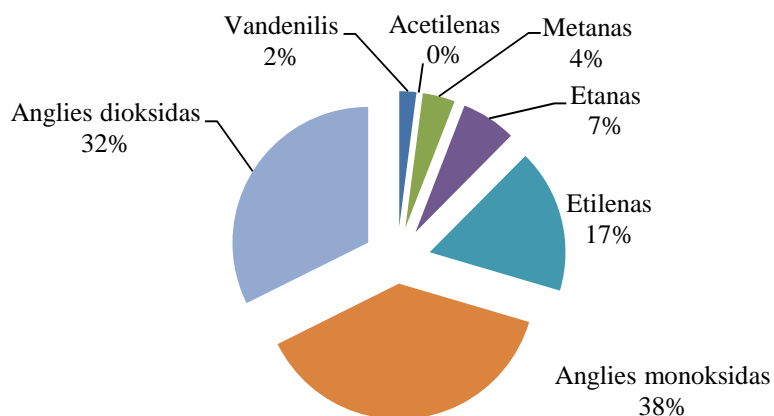
Susisteminius ir išanalizavus 2000–2014 m. Kruonio HAE T-1 chromatografinės analizės tyrimo rezultatus pastebima, kad (CO<sub>2</sub>) anglies dioksidas sudaro apie pusę, t.y 50% visų alyvoje išsiskiriančių dujų dalį ir yra arčiausiai ribinių normų priartėjimo, tuo tarpu kaip ir prieš tai nagrinėtuose autotransformatoriuose (H<sub>2</sub>) vandenilio ir (C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>) acetileno pastebimi tik labai nežymūs padidėjimai.

2.2.2 lentelė. Kruonio HAE T-2 (1996–2013 m.) chromatografinės analizės duomenys

110/35/10 kV							
Kruonio HAE T-2 galios transformatoriaus ištirpusių dujų koncentracija, ppm							
	H <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	CO	CO <sub>2</sub>
	Vandenilis	Acetilenas	Metanas	Etanas	Etilenas	Anglies monoksidas	Anglies dioksidas
Metai	≤100	≤10	≤100	≤50	≤60	≤500	≤2000
1996*	0,00	0,00	3,40	0,62	0,00	0,00	266,00
1997	0,00	0,00	5,20	1,50	1,10	206,00	430,00
1998	0,00	0,00	5,70	1,10	0,00	191,00	526,00
1999**	0,00	0,00	0,50	0,80	0,00	0,00	36,00
2000	0,00	0,00	1,70	1,10	0,00	1,10	26,00
2001	0,00	0,00	2,10	1,20	0,00	44,00	132,00
2002	0,00	0,00	2,62	1,35	0,00	71,00	251,00
2003	0,00	0,00	2,69	1,33	0,00	81,00	322,00
2004	0,00	0,00	3,78	1,58	0,00	93,00	351,00
2005**	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,00	18,00
2006	0,00	0,00	0,42	0,16	0,27	22,00	63,00
2007	0,00	0,00	0,70	0,21	0,54	34,00	100,00
2008	0,00	0,00	0,91	0,31	0,80	55,00	180,00
2009	0,00	0,00	1,26	0,35	1,15	70,00	263,00
2010	0,00	0,00	1,60	0,47	1,39	81,00	316,00
2011	1,14	0,00	2,98	2,20	7,60	142,40	904,00
2012	2,58	0,00	4,47	3,75	13,08	248,97	1037,20
2013*	3,61	0,00	6,73	5,70	18,00	333,20	1132,00
Pokytis %	3,61	0,00	6,73	11,40	30,00	66,64	56,60
Vidurkis	0,41	0,00	2,60	1,32	2,44	93,20	352,96

\*\* – atliktas alyvos regeneravimas      ■ – pirminių ir paskutinių metų duomenys

(1996–2013 m.)  
**Kruonio HAE T-2 galios transformatoriaus ištirpusių dujų koncentracijų priartėjimas prie ribinių normų, %**



2.2.2 pav. Kruonio HAE T-2 ištirpusių dujų koncentracijų priartėjimas prie ribinių normų

Susisteminius ir išanalizavus 1996–2013 m. Kruonio HAE T-2 chromatografinės analizės tyrimo rezultatus pastebima, kad (CO) anglies monoksidas ir (CO<sub>2</sub>) anglies dioksidas sudaro apie 70% visų alyvoje išsiskiriančių dujų dalį ir yra arčiausiai ribinių normų priartėjimo, tuo tarpu (H<sub>2</sub>) vandenilio ir (C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>) acetileno pastebimi tik labai nežymūs padidėjimai.

### 3. DEFEKTŲ DIAGNOSTIKA PAGAL IZOLIACINĖJE ALYVOJE IŠTIRPUSIŲ DUJŲ CHROMATOGRAFINĖS ANALIZĖS REZULTATUS

#### 3.1. Transformatorių eksploataavimo būklės diagnostikos pagal IDA rezultatus

IDA metodu galima nustatyti dvi defektų grupes.

**1 grupė** – laidžių srovei sujungimų ir konstrukcijos elementų perkaitimai.

Pagrindinės dujos:  $C_2H_4$  – įkaitus alyvai ir alyva įmirkytai popierinei izoliacijai esant daugiau nei  $600^{\circ}C$  arba  $C_2H_2$  – alyvos perkaitimas, sukeltas lankinės iškvovos.

Charakteringos dujos abiem atvejais yra  $H_2$ ,  $CH_4$  ir  $C_2H_6$ .

Laidžių srovei sujungimų perkaitimą galima nustatyti pagal atšakų perjungiklio kontaktų įkaitimą ir išdegimą; elektrostatinio ekrano tvirtinimo sustiprėjimą ir tos vietos kaitimą; elektrostatinio ekrano nutrūkimą; žemosios įtampos išvadų kompensatorių varžų susilpnėjimą; žemosios įtampos išvado ir pervadinio izoliatoriaus smeigės kontaktinio sujungimo susilpnėjimą ir kaitimą; apvijos elementų litavimo įtrūkumą; apvijos lygiagrečių ir elementinių laidininkų trumpąjį jungimą ir kt.

Magnetolaidžio konstrukcijos metalinių elementų perkaitimą galima nustatyti pagal elektrotechninio plieno lakštų nepatenkinamą izoliaciją; veržiamųjų smeigių arba antdėklų, magnetolaidžio jungo izoliacijos pažeidimą susidarant uždaramam kontūrai; bendrąjį įkaitimą ir neleistinus vietinius kaitimus dėl magnetinių laukų sklaidos magnetolaidžio junge, bandažuose, presuojamuosiuose žieduose ir varžtuose; neteisingą magnetolaidžio įžeminimą; amortizatorių ir reaktoriaus padėklo smeigių presuojamų varžtų ir žiedų izoliacijos pažeidimą.

**2 grupė** – Elektriniai išlydžiai alyvoje.

Elektriniai išlydžiai alyvoje gali būti didelės ir mažos galios. Dalinių išlydžių pagrindinės dujos yra  $H_2$ , charakteringos dujos mažu kiekiu –  $CH_4$  ir  $C_2H_2$ .

Kibirkštinių ir lankinių iškvovų pagrindinės dujos yra  $H_2$  arba  $C_2H_2$ ; charakteringos dujos įvairiu kiekiu –  $CH_4$  ir  $C_2H_4$ .

$CO$  ir  $CO_2$  ribinių koncentracijų viršijimas gali rodyti greitėjantį kietosios izoliacijos senėjimą ir/arba jos sudrėkimą. Perkaitus kietajai izoliacijai, pagrindinės dujos yra anglies dioksidas.

#### 3.2. Atsirandančio defekto pobūdžio ir charakterio nustatymas pagal dujų porų koncentracijos santykį

Transformatoriuose atsirandančių defektų pobūdis ir charakteris nustatomas pagal šių dujų koncentracijos santykius:  $H_2$ ,  $CH_4$ ,  $C_2H_2$ ,  $C_2H_4$  ir  $C_2H_6$ .

Transformatoriuose atsirandančių defektų pobūdį (terminis arba elektrinis) galima apytikriai nustatyti pagal 4 dujų (H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> ir C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>) porų koncentracijos santykį.

Išlydžių prognozavimo sąlygos:

$$\frac{C_2H_2}{C_2H_4} \geq 0,1 \text{ ir } \frac{CH_4}{H_2} \leq 0,5 \quad (3.1)$$

Perkaitimo prognozavimo sąlygos:

$$\frac{C_2H_2}{C_2H_4} < 0,1 \text{ ir } \frac{CH_4}{H_2} > 0,5 \quad (3.2)$$

Jeigu šiuo atveju koncentracija CO <500 ppm, tai prognozuojamas alyvos perkaitimas, o jeigu koncentracija CO >500 ppm - kietosios izoliacijos perkaitimas.

Perkaitimo ir išlydžių prognozavimo sąlygos:

$$\frac{C_2H_2}{C_2H_4} \geq 0,1 \text{ ir } \frac{CH_4}{H_2} > 0,5 \quad (3.3)$$

arba

$$\frac{C_2H_2}{C_2H_4} < 0,1 \text{ ir } \frac{CH_4}{H_2} \leq 0,5 \quad (3.4)$$

Transformatoriuose atsirandančių defektų charakteris nustatomas pagal penkių dujų porų koncentracijos santykį arba grafiškai (2 priedas).

CO<sub>2</sub>/CO santykis papildomai patikslina defektų pateiktų 2 priede charakterį:

jeigu nepažeista kietoji izoliacija, tai:

$$5 \leq \frac{CO_2}{CO} \leq 13. \quad (3.5)$$

jeigu pažeista kietoji izoliacija, tai:

$$\frac{CO_2}{CO} < 5 \text{ arba } \frac{CO_2}{CO} > 13. \quad (3.6)$$



Interpretuojant gautas CO<sub>2</sub>/CO santykių vertes reikia įvertinti eksploataavimo veiksmų poveikį.

Reikia turėti omenyje, kad CO<sub>2</sub> ir CO sudaro transformatorių izoliacinėje alyvoje esant normaliai darbinei temperatūrai ir vykstant normaliam izoliacijos senėjimui.

Šiam skaičiavimo metodui buvo pasirinkti du iš keturių analizuojamų transformatorių t. y. Jonavos TP AT-2 autotransformatorius ir Kruonio HAE T-1 galios transformatorius. Būtent per šių transformatorių eksploataavimo laikotarpį (2013–2014 m) buvo viršytos anglies dioksido ribinės vertės.

### 3.2.1. Autotransformatoriaus eksploataavimo būklės diagnostika

Jonavos TP ATDCTN-200000/330 AT-2 autotransformatoriaus 2013 m. kontrolinės analizės metu buvo nustatytos šios dujų koncentracijos (ppm):

H<sub>2</sub> = 8,75 ppm; C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> = 0 ppm; CH<sub>4</sub> = 12,56 ppm; C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> = 17,40 ppm;

C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> = 7,64 ppm; CO = 289,64 ppm; CO<sub>2</sub> = 2335,24 ppm;

1. Nustatome kiekvienų dujų santykinę koncentraciją ( $a_i$ ):

$$a_{H_2} = \frac{8,75}{100} = 0,0875; a_{CH_4} = \frac{12,56}{100} = 0,1256; a_{C_2H_2} = 0;$$

$$a_{C_2H_4} = \frac{7,64}{60} = 0,127; a_{C_2H_6} = \frac{17,40}{50} = 0,348.$$

2. Nustatome pagrindines dujas iš gautų santykinų koncentracijų:

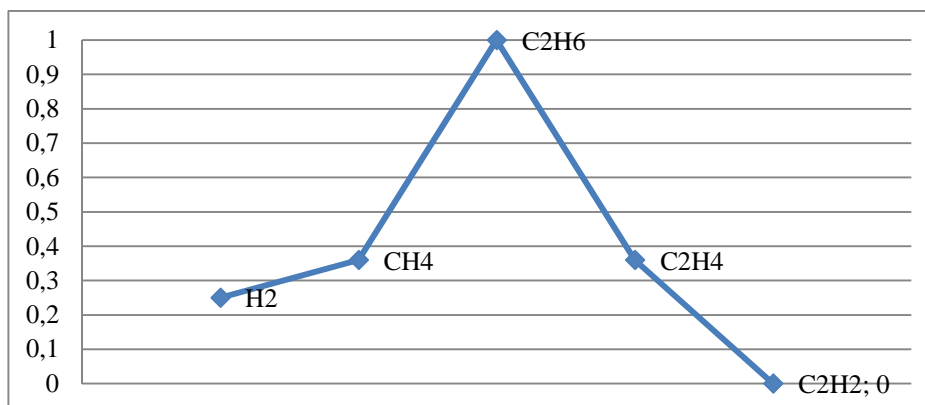
$0,348 = a_{C_2H_6} > a_{C_2H_4} > a_{CH_4} > a_{H_2} > a_{C_2H_2}$  – pagrindinės dujos, etanas.

3. Kiekvienoms dujoms nustatome atkarpų dydžius Y ašyje:

C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> = 1; H<sub>2</sub> = 0,0875/0,348 = 0,25; C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> = 0,127/0,348 = 0,36;

C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> = 0; CH<sub>4</sub> = 0,1256/0,348 = 0,36.

4. Braižome grafiką:



3.2.1.1 pav. Terminio charakterio defekto grafikas

5. Pagal pagrindines dujas  $C_2H_6$  surandame grafiką (1 priedo 3.7 pav.) panašų į 3.2.1.1 pav. nubrėžtąjį grafiką. Palygindami juos darome išvadą – transformatoriuje prognozuojamas terminio charakterio defektas vidinių temperatūrų intervale (300–700°C).

6. Norėdami nustatyti, ar defektas pažeidė kietąją izoliaciją nustatome  $CO_2/CO$  koncentracijų santykį:

$$\frac{CO_2}{CO} = \frac{2335,24}{289,64} = 8,1 < 13. \quad (3.7)$$

Kadangi santykis neviršija metodinių normų nustatytų kiekių, tai reiškia, kad defektas nepažeidė kietosios izoliacijos.

7. Diagnozei patikrinti nustatome prognozuojamą transformatoriaus defektą pagal dujų porų koncentracijos santykį.

Apskaičiuojame dujų koncentracijų santykio vertes:

$$\frac{C_2H_2}{C_2H_4} = \frac{0}{7,64} = 0 < 0,1, \quad (3.8)$$

$$\frac{CH_4}{H_2} = \frac{12,56}{8,75} = 1,43 > 1, \quad (3.9)$$

$$\frac{C_2H_4}{C_2H_6} = \frac{7,64}{17,40} = 0,44 < 3, \quad (3.10)$$

$$\frac{CO_2}{CO} = \frac{2335,24}{289,64} = 8,1. \quad (3.11)$$

Pagal gautus duomenis prognozuojamas terminio charakterio defektas vidinių temperatūrų (300–700°C) intervale.

Kadangi  $CO_2/CO = 2335,24/289,64 = 8,1 < 13$ , darome išvadą, kad defektas nepažeidė kietosios izoliacijos ir jis priskiriamas 1-ajai defektų grupei.

### 3.2.2. Galios transformatoriaus eksploataavimo būklės diagnostika

Kruonio HAE TDC-250000/330 T-1 galios transformatoriaus 2014 m. kontrolinės analizės metu buvo nustatytos šios dujų koncentracijos (ppm):

$H_2 = 0$  ppm;  $C_2H_2 = 0$  ppm;  $CH_4 = 22,37$  ppm;  $C_2H_6 = 1$  ppm;

$C_2H_4 = 8,43$  ppm;  $CO = 572$  ppm;  $CO_2 = 2678$  ppm;

1. Nustatome kiekvienų dujų santykinę koncentraciją ( $a_i$ ):

$$a_{H_2} = \frac{0}{100} = 0; a_{CH_4} = \frac{22,37}{100} = 0,224; a_{C_2H_2} = 0; a_{C_2H_4} = \frac{8,43}{60} = 0,141; a_{C_2H_6} = \frac{1}{50} = 0,002;$$

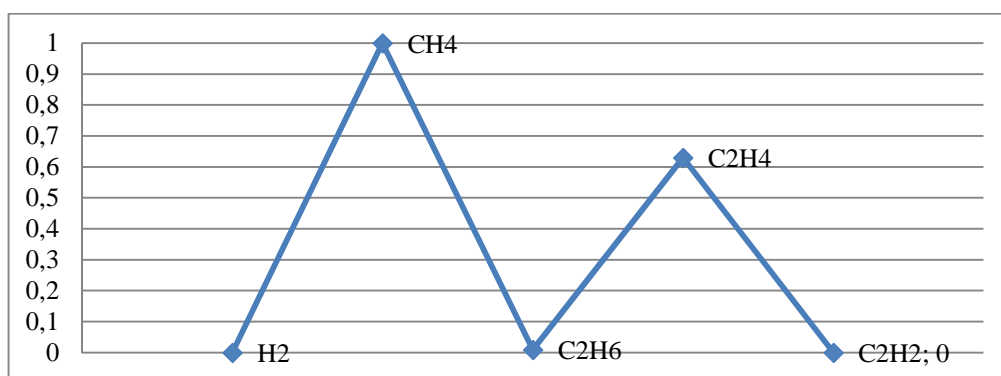
2. Nustatome pagrindines dujas iš gautų santykinų koncentracijų:

$$0,224 = a_{C_2H_4} > a_{C_2H_6} > a_{H_2} > a_{C_2H_2} - \text{pagrindinės dujos, metanas.}$$

3. Kiekvienoms dujoms nustatome atkarpų dydžius Y ašyje:

$$CH_4 = 1; H_2 = 0; C_2H_4 = 0,141/0,224 = 0,63; C_2H_2 = 0; C_2H_6 = 0,002/0,224 = 0,009.$$

4. Braižome grafiką:



3.2.2.1 pav. Terminio charakterio defekto grafikas

5. Pagal pagrindines dujas CH<sub>4</sub> surandame grafiką (1 priedo 3.7 pav.) panašų į 3.2.2.1 pav. nubrėžtąjį grafiką. Palygindami juos darome išvadą – transformatoriuje prognozuojamas terminio charakterio defektas vidinių temperatūrų intervale (300–700°C).

6. Norėdami nustatyti, ar defektas pažeidė kietąją izoliaciją, nustatome CO<sub>2</sub>/CO koncentracijų santykį:

$$\frac{CO_2}{CO} = \frac{2678}{572} = 4,6 < 5. \quad (3.12)$$

Kadangi santykis viršija metodinių normų nustatytų kiekių, tai reiškia, kad defektas galėjo pažeisti kietąją izoliaciją.

7. Diagnozei patikrinti nustatome prognozuojamą transformatoriaus defektą pagal dujų porų koncentracijos santykį.

Apskaičiuojame dujų koncentracijų santykio vertes:

$$\frac{C_2H_2}{C_2H_4} = \frac{0}{8,43} = 0 < 0,1, \quad (3.13)$$

$$\frac{C_2H_4}{C_2H_6} = \frac{8,43}{1} = 8,43 > 3, \quad (3.14)$$

$$\frac{CO_2}{CO} = \frac{2678}{572} = 4,6. \quad (3.15)$$

Pagal gautus duomenis prognozuojamas terminio charakterio defektas vidinių temperatūrų (300–700°C) intervale.

Kadangi  $CO_2/CO = 2678/572 = 4,6 < 5$ , darome išvadą, kad defektas pažeidė kietąją izoliaciją. Rekomenduojama pakartotinai atlikti chromatografinę analizę, kad nustatyti tikslų galimo defekto atsiradimą.

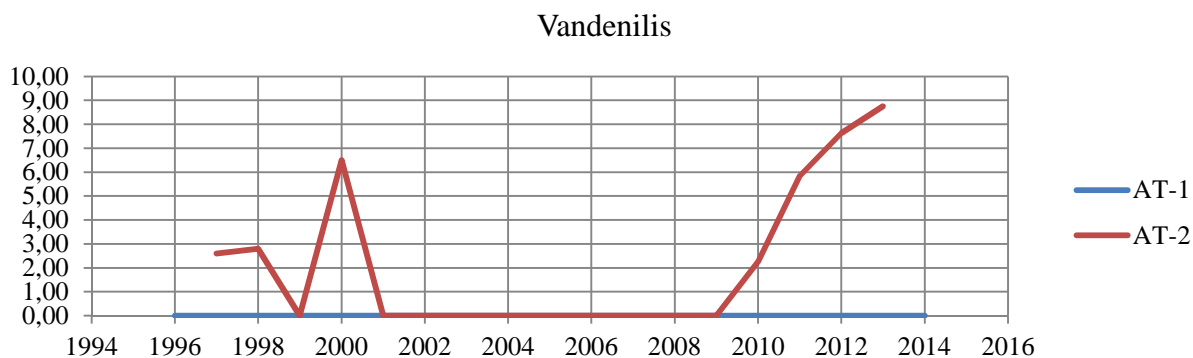
### 3.3. Transformatorių tyrimo analizės palyginimas

Izoliacinės alyvos chromatografinė dujų analizei buvo pasirinkti Kruonio HAE AT-1 ir Jonavos AT-2 autotransformatoriai bei Kruonio HAE T-1 ir T-2, kurie yra eksploatuojami apytiksliai vienodą laiką, tačiau prie skirtingų įtampų ir galingumų

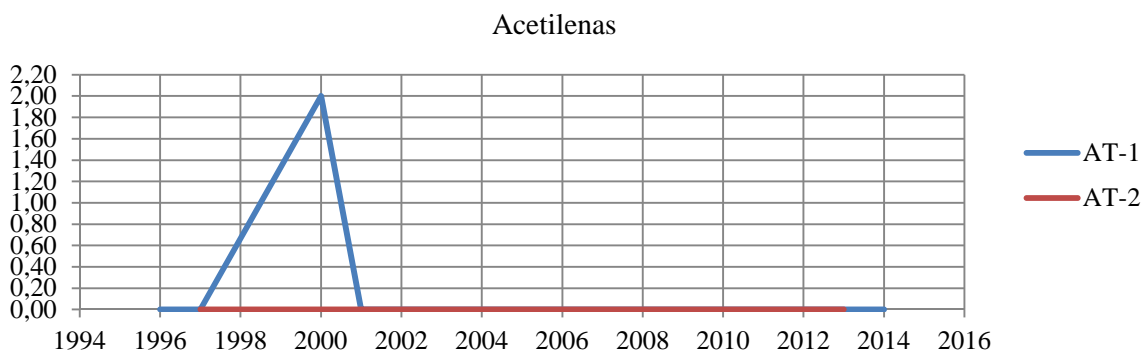
Šie analizuojami matavimo rezultatai buvo atliekami tuo pačiu dujų chromatografinės analizės matavimo prietaisu, todėl yra sumažinama gautų rezultatų paklaida bei taip padidinamas jo tikslumas. Tačiau užtikrinant tyrimą ir siekiant pilnai ištirti galios ir autotransformatorių alyvos pokyčius eksploatacijos metu būtina ištirti bent keliasdešimt tokio pat tipo įrenginius .

Šių charakteristikų išankstinė kitimo prognozė leidžia planuoti ir nustatyti profilaktinio remonto būtinumą. Izoliacijos būklės kitimo prognozė leidžia laiku atlikti profilaktinį remontą ir tuo padidinti įrenginio patikimumą bei sumažinti avarinių, tai yra neplanuotų atjungimų skaičių. Kadangi kiekvienos dujos charakterizuoja tam tikrus defektų atsiradimo požymius, šie duomenys taip pat leistų labiau suprasti sistemos sukeliančias bėdas bei leistu parinkti patikimesnius transformatorius.

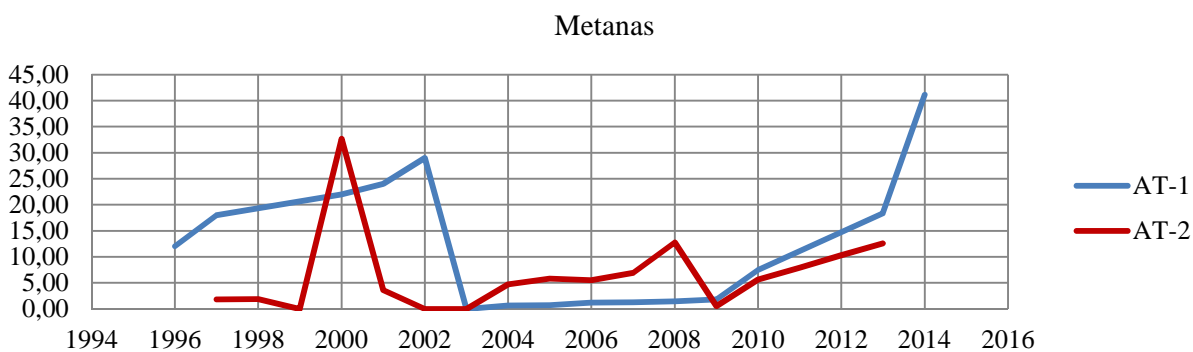
### 3.3.1. Autotransformatorių izoliacinėje alyvoje išsiskyrusių dujų kiekių detalizacija



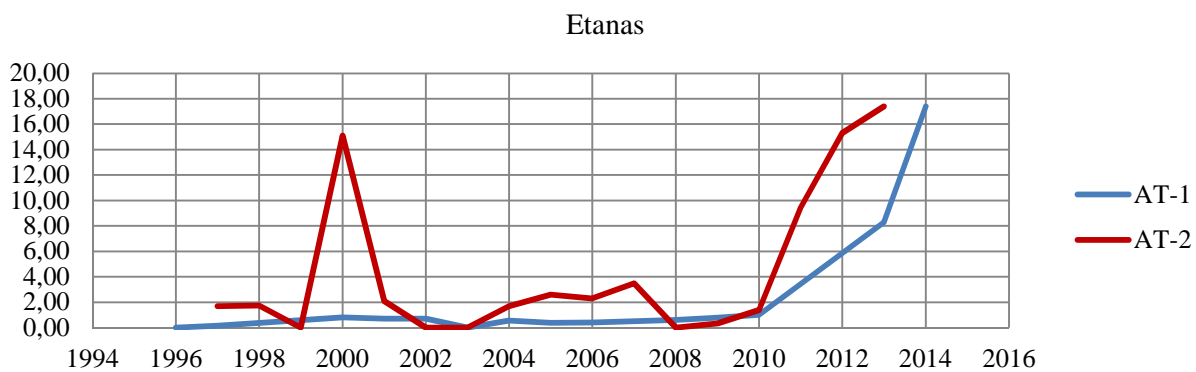
3.3.1.1 pav. Kruonio HAE AT-1 ir Jonavos TP AT-2 autotransformatorių (H<sub>2</sub>) vandenilio kitimo kreivės



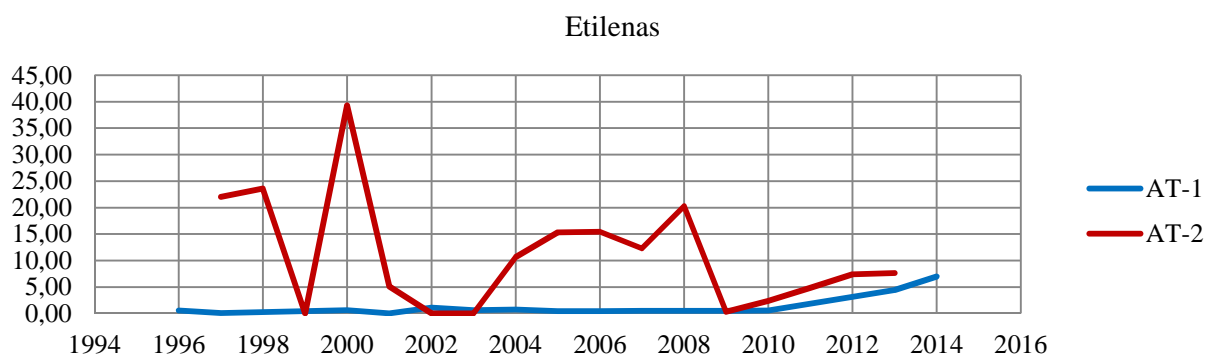
3.3.1.2 pav. Kruonio HAE AT-1 ir Jonavos TP AT-2 autotransformatorių (C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>) acetileno kitimo kreivės



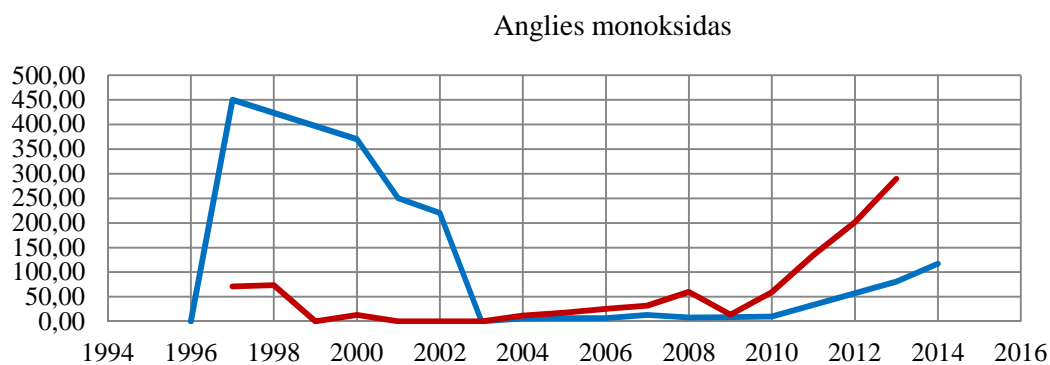
3.3.1.3 pav. Kruonio HAE AT-1 ir Jonavos TP AT-2 autotransformatorių (CH<sub>4</sub>) metano kitimo kreivės



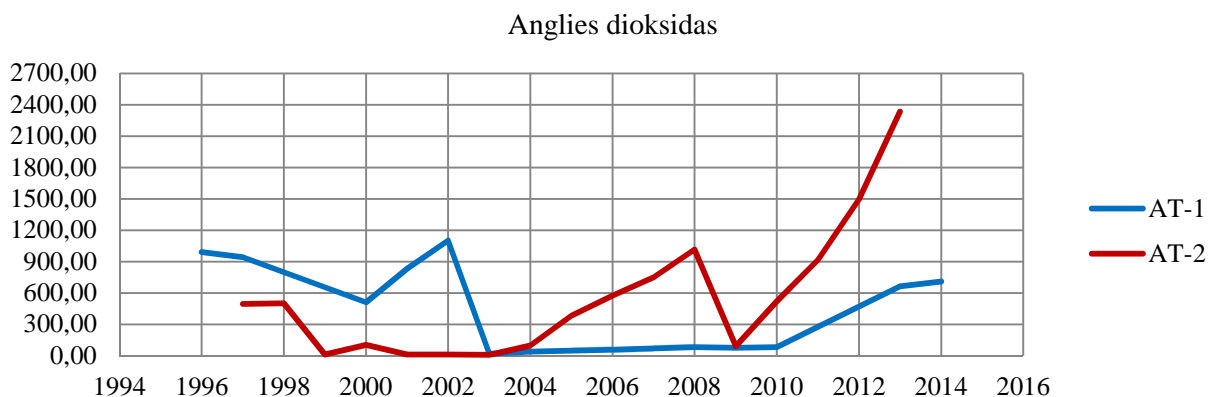
3.3.1.4 pav. Kruonio HAE AT-1 ir Jonavos TP AT-2 autotransformatorių (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>) etano kitimo kreivės



3.3.1.5 pav. Kruonio HAE AT-1 ir Jonavos TP AT-2 autotransformatorių (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>) etileno kitimo kreivės



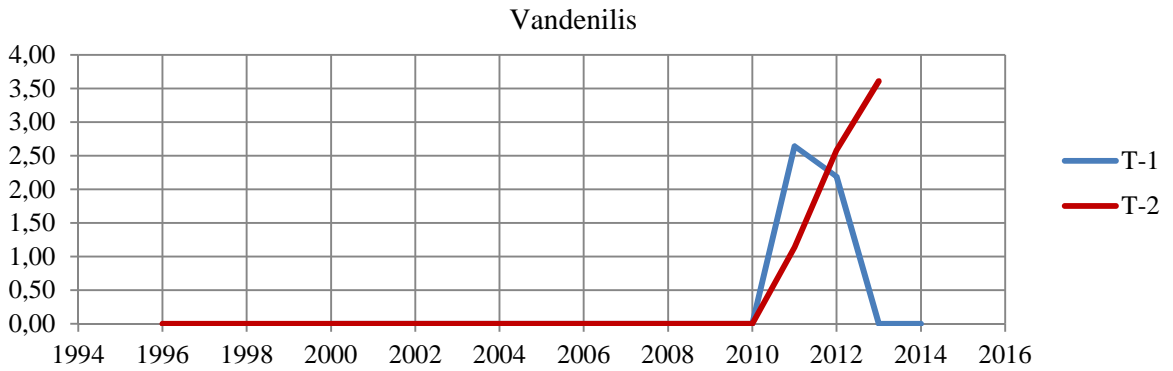
3.3.1.6 pav. Kruonio HAE AT-1 ir Jonavos TP AT-2 autotransformatorių (CO) anglies monoksido kitimo kreivės



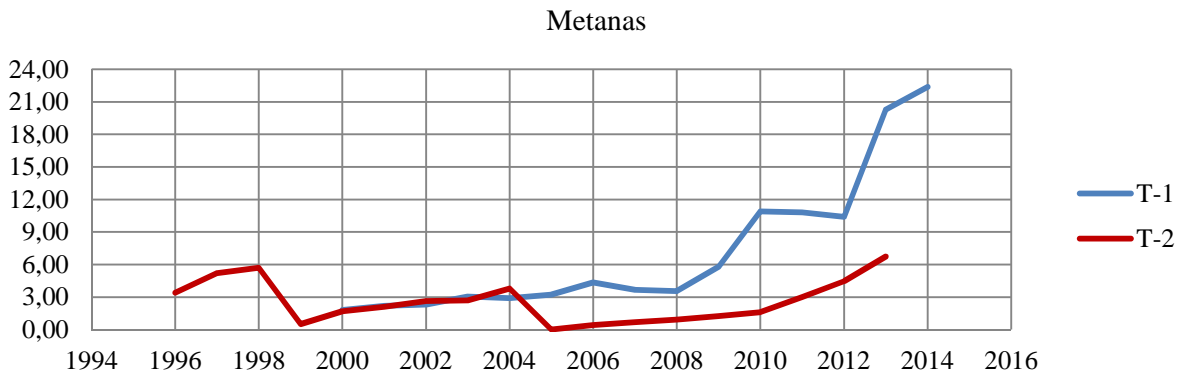
3.3.1.7 pav. Kruonio HAE AT-1 ir Jonavos TP AT-2 autotransformatorių (CO<sub>2</sub>) anglies dioksido kitimo kreivės

Iš autotransformatorių dujų koncentracijos izoliacinėje alyvoje per ~15-os metų eksploatacijos laikotarpį yra pastebima, kad skirtingų dujų padidėjimo dėsningumai vyrauja viso eksploatacinio laikotarpio metu. Kruonio HAE AT-1 autotransformatoriaus acetileno (3.3.1.1 pav.) pokyčiai pastebimi tik labai nežymūs ir tik kartą 2000m. kontrolinio paėmimo metu todėl šie nuokrypiai galėjo atsirasti tiek dėl žmoniškųjų faktorių, tiek dėl chromatografijos prietaiso kalibravimo neatitikimų. Vandenilio (3.3.1.2 pav.) pokyčiai Kruonio HAE AT-1 nepastebimi, tačiau žvelgiant į Jonavos TP AT-2, neatsižvelgiant į atliktus alyvos regeneravimus remontiniu laikotarpiu, progresijos pokyčiai pastebimi, tačiau nežymūs. Peržvelgus metano bei etano surinktos analizės duomenis ir kreives (3.3.1.3 pav. ir 3.3.1.4 pav.) tiek AT-1, tiek AT-2 matomi aiškūs progresiniai kilimai: AT-2 šios dujos sudaro apie 19% tuo tarpu AT-1 net 52% visų išsiskyrusių dujų dalį. Žvelgiant į AT-1 etileno dujas (3.3.1.5 pav.) jų koncentracija išliko pastovi iki 2010 m., vėliau progresiškai pradėjo didėti. Tuo tarpu AT-2 etileno dujų svyravimai pastebimi viso eksploataavimo laikotarpiu ir yra sunkiai nuspėjami, kadangi Jonavos TP AT-2 autotransformatorius buvo dažnai remontuojamas, o alyva regeneruojama. Peržvelgus paskutiniųjų dujų – anglies dioksido ir monoksido (3.3.1.6 pav. ir 3.3.1.7 pav.) – progresija taip pat pastebima, nes šios dujos AT-1 sudaro 40%, o AT-2 net 72% visų išsiskyrusiųjų dujų dalį. Taip pat būtina pastebėti, jog Jonavos TP AT-2 anglies dioksido kiekis 2013 m. duomenimis viršija leistina normą, kuri siekia 2335,25 ppm. Atlikus skaičiavimus, kurie pateikti ankstesniame skyriuje, (žr. 3.2.1) yra prognozuojama terminio charakterio defektas vidinių temperatūrų intervale (300–700°C).

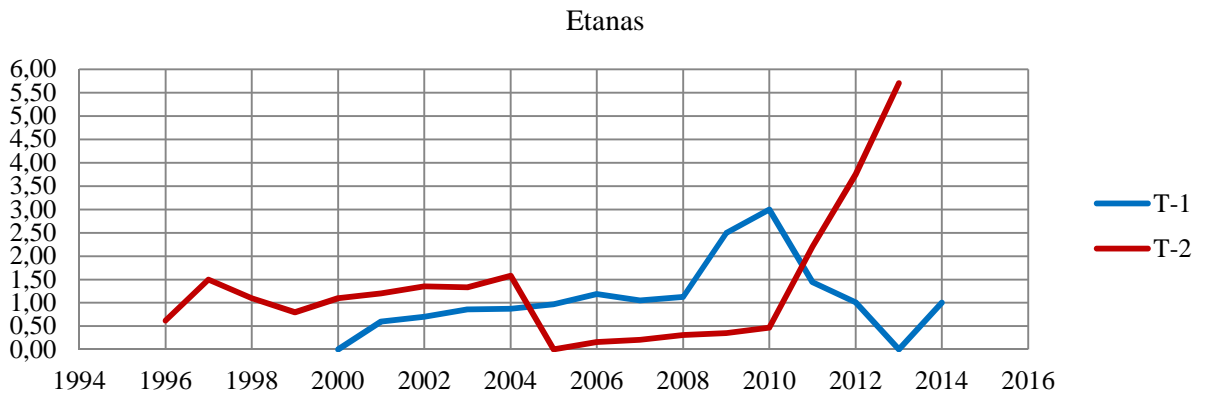
### 3.3.2. Galios transformatorių izoliacinėje alyvoje išsiskyrusių dujų kiekių detalizacija



3.3.2.1 pav. Kruonio HAE T-1 ir T-2 transformatorių (H<sub>2</sub>) vandenilio kitimo kreivės

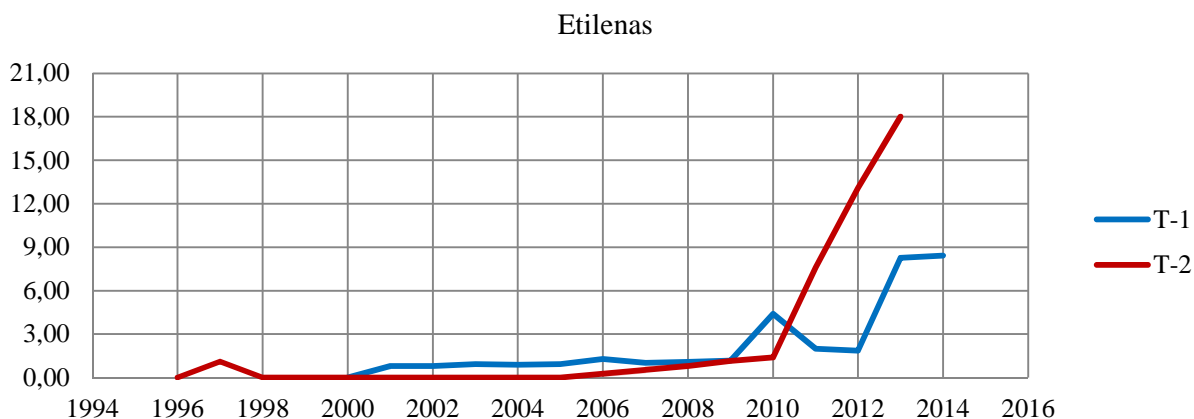


3.3.2.2 pav. Kruonio HAE T-1 ir T-2 transformatorių (CH<sub>4</sub>) metano kitimo kreivės

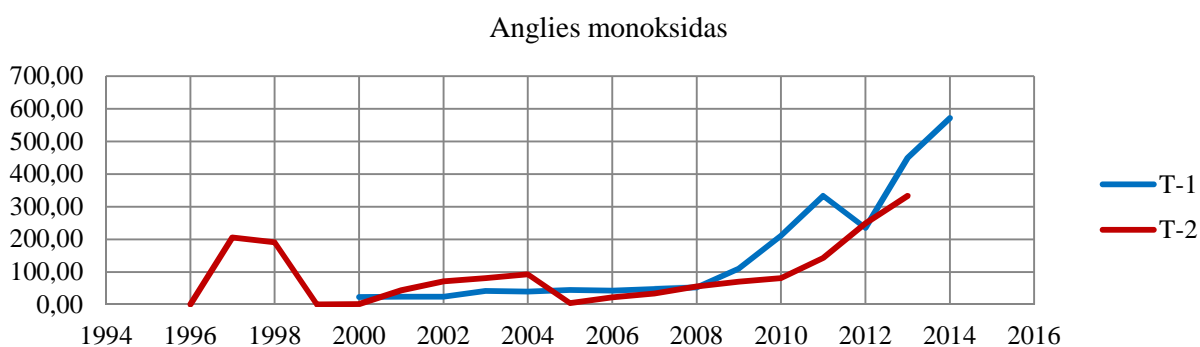


3.3.2.3 pav. Kruonio HAE T-1 ir T-2 transformatorių (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>) etano kitimo kreivės

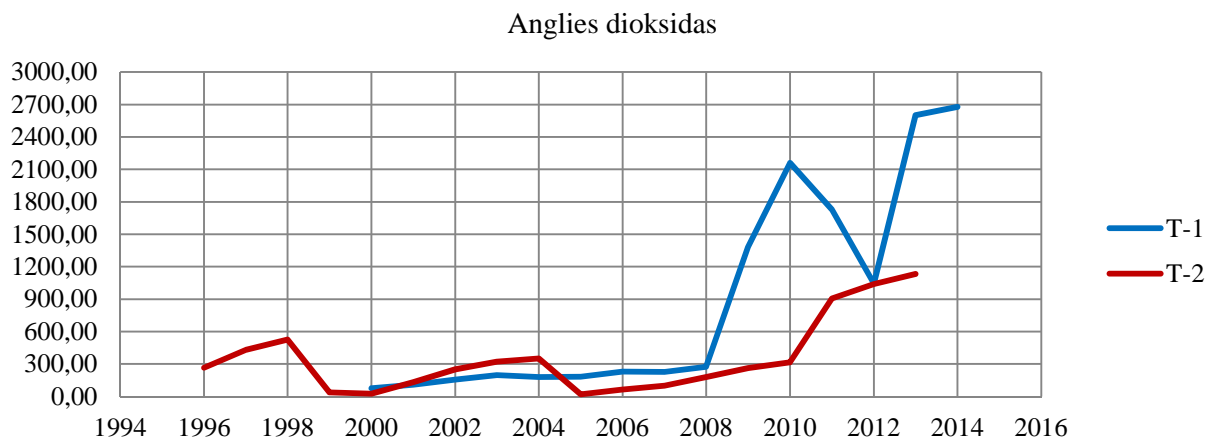




3.3.2.4 pav. Kruonio HAE T-1 ir T-2 transformatorių (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>) etileno kitimo kreivės



3.3.2.5 pav. Kruonio HAE T-1 ir T-2 transformatorių (CO) anglies monoksido kitimo kreivės



3.3.2.6 pav. Kruonio HAE T-1 ir T-2 transformatorių (CO<sub>2</sub>) anglies dioksido kitimo kreivės

Galios transformatorių skirtingų dujų padidėjimo dėsninumas taip pat vyrauja viso eksploatacinio laikotarpio metu. Galios transformatoriuose acetileno pokyčių per visą eksploatacavimo laikotarpį nepastebėta tiek žvelgiant į T-1 tiek T-2 analizės duomenis. Vandenilio (3.3.2.1 pav.) pokyčiai pastebimi tik nuo 2010 m. Tai reiškia, kad 15 metų laikotarpį šių dujų kiekis išliko pastovus. Metano (3.3.2.2 pav.) progresija pastebima nuo pirmų eksploatacijos stebėjimo metų abiejuose galios

transformatoriuose. Šis progresijos skaičius sparčiausiai pradėjo didėti 2008–2010 m. laikotarpiu. Žvelgiant į etano pokyčių kreivę (3.3.2.3 pav.), T-2 progresijos kreivė išlikus panaši kaip metano, o lūžio taškas taip pat išlieka apie 2008–2010 metus. Tuo tarpu etileno dujos (3.3.2.4 pav.) išliko mažai progresuojančios iki 2009 m., apie 2010–2012 metus pastebimi sparčiai progresuojantis šių dujų išsiskyrimas alyvoje. Anglies dioksido ir monoksido (3.3.2.5 pav. ir 3.3.2.6 pav.) progresija taip pat pastebima kaip ir prieš tai nagrinėtuose autotransformatoriuose šios dujos T-2 sudaro 70%, o T-1 net 80% visų išsiskyrusiųjų dujų dalį. Taip pat būtina pastebėti jog Kruonio HAE T-1 anglies dioksido kiekis 2013 m. duomenimis viršija leistina normą, kuri siekia 2602,28 ppm, o 2014 metais – 2678,00 ppm, anglies monoksido 2014 m. – 572 ppm, atlikus skaičiavimus, kurie pateikti 3.2.2 poskyryje yra prognozuojama terminio charakterio defektas vidinių temperatūrų intervale (300–700°C). Atlikus papildomus skaičiavimus darome prielaidą, kad atsiradęs defektas taip pat galėjo pažeisti ir kietąją izoliaciją.

### 3.4. Dujų koncentracijos kitimo greičio analizė

Remiantis surinktos analizės duomenimis apskaičiuojamos galios ir autotransformatorių dujų koncentracijos kitimo greičiai eksploatavimo laikotarpiu.

Dujų koncentracijos kitimas apskaičiuojamas įsivertinant pradinių ir paskutinių metų duomenis:

$$x = \frac{d_1 \cdot 100\%}{d_2 \cdot n} - \text{dujų koncentracijos pokytis kas metus (\%);} \quad (3.16)$$

$$y = \frac{x}{100} \cdot d_1 - \text{dujų koncentracijos pokytis kas metus (ppm).} \quad (3.17)$$

čia:  $d_1$  – pradinių metų dujų koncentracija, (ppm);

$d_2$  – paskutinių metų dujų koncentracija, (ppm);

$n$  – metų skaičius;

$x$  – dujų koncentracijos pokytis kas metus (%);

$y$  – dujų koncentracijos pokytis kas metus (ppm).

*Kruonio HAE AT-1 (2.1.1 lentelė) (vandenilis, acetilenas – nevertinamas):*

1. Apskaičiuojama **metano** dujų koncentracija (1996–1997 m.; 2000–2002 m.):

$$x = \frac{d_1 \cdot 100\%}{d_2 \cdot n} = \frac{12 \cdot 100\%}{29 \cdot 5} = 48\%; \quad (3.18)$$

$$y = \frac{x}{100} \cdot d_1 = \frac{48}{100} \cdot 12 = 5,76 \text{ ppm} . \quad (3.19)$$

2. Apskaičiuojama **metano** dujų koncentracija (2004–2014 m.):

$$x = \frac{d_1 \cdot 100\%}{d_2 \cdot n} = \frac{41 \cdot 100\%}{0,67 \cdot 9} = 679\% ; \quad (3.20)$$

$$y = \frac{x}{100} \cdot d_1 = \frac{679}{100} \cdot 0,67 = 4,50 \text{ ppm} . \quad (3.21)$$

3. Apskaičiuojama **etano** dujų koncentracija (1997 m.; 2000–2002 m.):

$$x = \frac{d_1 \cdot 100\%}{d_2 \cdot n} = \frac{0,71 \cdot 100\%}{0,15 \cdot 4} = 118\% ; \quad (3.22)$$

$$y = \frac{x}{100} \cdot d_1 = \frac{118}{100} \cdot 0,15 = 0,1775 \text{ ppm} . \quad (3.23)$$

4. Apskaičiuojama **etano** dujų koncentracija (2004–2014 m.):

$$x = \frac{d_1 \cdot 100\%}{d_2 \cdot n} = \frac{41 \cdot 100\%}{0,67 \cdot 9} = 679\% ; \quad (3.24)$$

$$y = \frac{x}{100} \cdot d_1 = \frac{679}{100} \cdot 0,67 = 4,50 \text{ ppm} . \quad (3.25)$$

5. Apskaičiuojama **etileno** dujų koncentracija (1996–1997 m.; 2000–2002 m.):

$$x = \frac{d_1 \cdot 100\%}{d_2 \cdot n} = \frac{1,12 \cdot 100\%}{0,59 \cdot 5} = 37\% ; \quad (3.26)$$

$$y = \frac{x}{100} \cdot d_1 = \frac{37}{100} \cdot 0,59 = 0,224 \text{ ppm} . \quad (3.27)$$

6. Apskaičiuojama **etileno** dujų koncentracija (2004–2014 m.):

$$x = \frac{d_1 \cdot 100\%}{d_2 \cdot n} = \frac{7 \cdot 100\%}{0,74 \cdot 9} = 105\% ; \quad (3.28)$$

$$y = \frac{x}{100} \cdot d_1 = \frac{105}{100} \cdot 0,74 = 0,772 \text{ ppm} . \quad (3.29)$$

7. Apskaičiuojama **anglies monoksido** dujų koncentracija (2004–2014 m.):  
1996–1997 m. ir 2000–2002 metų duomenys nevertinami

$$x = \frac{d_1 \cdot 100\%}{d_2 \cdot n} = \frac{117,45 \cdot 100\%}{6 \cdot 9} = 217,5\% ; \quad (3.30)$$

$$y = \frac{x}{100} \cdot d_1 = \frac{217,5}{100} \cdot 6 = 13,05 \text{ ppm} . \quad (3.31)$$

8. Apskaičiuojama **anglies dioksido** dujų koncentracija (1996–1997 m.; 2000–2002 m.):

$$x = \frac{d_1 \cdot 100\%}{d_2 \cdot n} = \frac{1100 \cdot 100\%}{990 \cdot 5} = 22\% ; \quad (3.32)$$

$$y = \frac{x}{100} \cdot d_1 = \frac{22}{100} \cdot 990 = 220 \text{ ppm} . \quad (3.33)$$

9. Apskaičiuojama **anglies dioksido** dujų koncentracija (2004–2014 m.):

$$x = \frac{d_1 \cdot 100\%}{d_2 \cdot n} = \frac{709 \cdot 100\%}{37 \cdot 9} = 212\% ; \quad (3.34)$$

$$y = \frac{x}{100} \cdot d_1 = \frac{212}{100} \cdot 37 = 78 \text{ ppm} . \quad (3.35)$$

*Jonavos TP AT-2 (2.1.2 lentelė)(acetilenas – nevertinamas):*

1. Apskaičiuojama **vandenilio** dujų koncentracija (2010–2013 m.):

$$x = \frac{d_1 \cdot 100\%}{d_2 \cdot n} = \frac{8,75 \cdot 100\%}{2,25 \cdot 4} = 97\% ; \quad (3.36)$$

$$y = \frac{x}{100} \cdot d_1 = \frac{97}{100} \cdot 2,25 = 2,187 \text{ ppm} . \quad (3.37)$$

2. Apskaičiuojama **metano** dujų koncentracija (2004–2008 m., po alyvos regeneravimo):

$$x = \frac{d_1 \cdot 100\%}{d_2 \cdot n} = \frac{12,78 \cdot 100\%}{4,78 \cdot 5} = 54\% ; \quad (3.38)$$

$$y = \frac{x}{100} \cdot d_1 = \frac{54}{100} \cdot 12,78 = 2,556 \text{ ppm} . \quad (3.39)$$

3. Apskaičiuojama **metano** dujų koncentracija (2010–2013 m., po alyvos regeneravimo):

$$x = \frac{d_1 \cdot 100\%}{d_2 \cdot n} = \frac{12,56 \cdot 100\%}{5,6 \cdot 4} = 56\% ; \quad (3.40)$$

$$y = \frac{x}{100} \cdot d_1 = \frac{56}{100} \cdot 5,6 = 3,14 \text{ ppm} . \quad (3.41)$$

4. Apskaičiuojama **etano** dujų koncentracija (2004–2007 m., po alyvos regeneravimo):

$$x = \frac{d_1 \cdot 100\%}{d_2 \cdot n} = \frac{3,48 \cdot 100\%}{1,69 \cdot 4} = 51\% ; \quad (3.42)$$

$$y = \frac{x}{100} \cdot d_1 = \frac{51}{100} \cdot 1,69 = 0,87 \text{ ppm} . \quad (3.43)$$

5. Apskaičiuojama **etano** dujų koncentracija (2010–2013 m., po alyvos regeneravimo):

$$x = \frac{d_1 \cdot 100\%}{d_2 \cdot n} = \frac{17,40 \cdot 100\%}{1,38 \cdot 4} = 315\% ; \quad (3.44)$$

$$y = \frac{x}{100} \cdot d_1 = \frac{315}{100} \cdot 1,38 = 4,35 \text{ ppm} . \quad (3.45)$$

6. Apskaičiuojama **etileno** dujų koncentracija (2004–2008 m., po alyvos regeneravimo):

$$x = \frac{d_1 \cdot 100\%}{d_2 \cdot n} = \frac{20,29 \cdot 100\%}{10,69 \cdot 5} = 38\% ; \quad (3.46)$$

$$y = \frac{x}{100} \cdot d_1 = \frac{38}{100} \cdot 10,69 = 4,058 \text{ ppm} . \quad (3.47)$$

7. Apskaičiuojama **etileno** dujų koncentracija (2010–2013 m., po alyvos regeneravimo):

$$x = \frac{d_1 \cdot 100\%}{d_2 \cdot n} = \frac{7,64 \cdot 100\%}{2,37 \cdot 4} = 80\% ; \quad (3.48)$$

$$y = \frac{x}{100} \cdot d_1 = \frac{80}{100} \cdot 2,37 = 1,896 \text{ ppm} . \quad (3.49)$$

8. Apskaičiuojama **anglies monoksido** dujų koncentracija (2004–2008 m., po alyvos regeneravimo):

$$x = \frac{d_1 \cdot 100\%}{d_2 \cdot n} = \frac{60 \cdot 100\%}{12 \cdot 5} = 100\% ; \quad (3.50)$$

$$y = \frac{x}{100} \cdot d_1 = \frac{100}{100} \cdot 12 = 12 \text{ ppm} . \quad (3.51)$$

9. Apskaičiuojama **anglies monoksido** dujų koncentracija (2010–2013 m., po alyvos regeneravimo):

$$x = \frac{d_1 \cdot 100\%}{d_2 \cdot n} = \frac{289,46 \cdot 100\%}{59,7 \cdot 4} = 121\% ; \quad (3.52)$$

$$y = \frac{x}{100} \cdot d_1 = \frac{121}{100} \cdot 59,7 = 72 \text{ ppm} . \quad (3.53)$$

10. Apskaičiuojama **anglies dioksido** dujų koncentracija (2004–2008 m., po alyvos regeneravimo):

$$x = \frac{d_1 \cdot 100\%}{d_2 \cdot n} = \frac{1015 \cdot 100\%}{98 \cdot 5} = 207\% ; \quad (3.54)$$

$$y = \frac{x}{100} \cdot d_1 = \frac{207}{100} \cdot 98 = 203 \text{ ppm} . \quad (3.55)$$

11. Apskaičiuojama **anglies dioksido** dujų koncentracija (2010–2013 m., po alyvos regeneravimo):

$$x = \frac{d_1 \cdot 100\%}{d_2 \cdot n} = \frac{2335,24 \cdot 100\%}{518 \cdot 4} = 112\% ; \quad (3.56)$$

$$y = \frac{x}{100} \cdot d_1 = \frac{112}{100} \cdot 518 = 580,16 \text{ ppm} . \quad (3.57)$$

*Kruonio HAE T-1 (2.2.1 lentelė) (vandenilis, acetilenas ir etanas – nevertinami):*

1. Apskaičiuojama **metano** dujų koncentracija (2000–2009 m.):

$$x = \frac{d_1 \cdot 100\%}{d_2 \cdot n} = \frac{5,8 \cdot 100\%}{1,8 \cdot 10} = 32\% ; \quad (3.58)$$

$$y = \frac{x}{100} \cdot d_1 = \frac{32}{100} \cdot 1,8 = 0,58 \text{ ppm} . \quad (3.59)$$

2. Apskaičiuojama **metano** dujų koncentracija (2009–2014 m.):

$$x = \frac{d_1 \cdot 100\%}{d_2 \cdot n} = \frac{22,37 \cdot 100\%}{5,8 \cdot 5} = 64\% ; \quad (3.60)$$

$$y = \frac{x}{100} \cdot d_1 = \frac{64}{100} \cdot 5,8 = 3,712 \text{ ppm} . \quad (3.61)$$

3. Apskaičiuojama **etileno** dujų koncentracija (2000–2009 m.):

$$x = \frac{d_1 \cdot 100\%}{d_2 \cdot n} = \frac{1,18 \cdot 100\%}{0,8 \cdot 10} = 16\% ; \quad (3.62)$$

$$y = \frac{x}{100} \cdot d_1 = \frac{16}{100} \cdot 0,8 = 0,128 \text{ ppm} . \quad (3.63)$$

4. Apskaičiuojama **etileno** dujų koncentracija (2009–2014 m.):

$$x = \frac{d_1 \cdot 100\%}{d_2 \cdot n} = \frac{8,43 \cdot 100\%}{1,18 \cdot 5} = 119\% ; \quad (3.64)$$

$$y = \frac{x}{100} \cdot d_1 = \frac{119}{100} \cdot 1,18 = 1,4 \text{ ppm} . \quad (3.65)$$

5. Apskaičiuojama **anglies monoksido** dujų koncentracija (2000-2009m.):

$$x = \frac{d_1 \cdot 100\%}{d_2 \cdot n} = \frac{100 \cdot 100\%}{23 \cdot 10} = 47,8\% ; \quad (3.66)$$

$$y = \frac{x}{100} \cdot d_1 = \frac{47,8}{100} \cdot 23 = 10 \text{ ppm} . \quad (3.67)$$

6. Apskaičiuojama **anglies monoksido** dujų koncentracija (2009–2014 m.):

$$x = \frac{d_1 \cdot 100\%}{d_2 \cdot n} = \frac{572 \cdot 100\%}{110 \cdot 5} = 87\% ; \quad (3.68)$$

$$y = \frac{x}{100} \cdot d_1 = \frac{87}{100} \cdot 110 = 95,7 \text{ ppm} . \quad (3.69)$$

7. Apskaičiuojama **anglies dioksido** dujų koncentracija (2000–2009 m.):

$$x = \frac{d_1 \cdot 100\%}{d_2 \cdot n} = \frac{1380 \cdot 100\%}{77 \cdot 10} = 179\% ; \quad (3.70)$$

$$y = \frac{x}{100} \cdot d_1 = \frac{197}{100} \cdot 77 = 137,83 \text{ ppm} . \quad (3.71)$$

8. Apskaičiuojama **anglies dioksido** dujų koncentracija (2009–2014 m.):

$$x = \frac{d_1 \cdot 100\%}{d_2 \cdot n} = \frac{2678 \cdot 100\%}{1380 \cdot 5} = 32\% ; \quad (3.72)$$

$$y = \frac{x}{100} \cdot d_1 = \frac{32}{100} \cdot 1380 = 441,6 \text{ ppm} . \quad (3.73)$$

*Kruonio HAE T-2 (2.2.2 lentelė) (vandenilis, acetilenas – nevertinami):*

1. Apskaičiuojama **metano** dujų koncentracija (1996–1998 m.):

$$x = \frac{d_1 \cdot 100\%}{d_2 \cdot n} = \frac{5,7 \cdot 100\%}{3,4 \cdot 3} = 55,8\% ; \quad (3.74)$$

$$y = \frac{x}{100} \cdot d_1 = \frac{55,8}{100} \cdot 3,4 = 1,9 \text{ ppm} . \quad (3.75)$$

2. Apskaičiuojama **metano** dujų koncentracija (2000–2004 m., po alyvos regeneravimo):

$$x = \frac{d_1 \cdot 100\%}{d_2 \cdot n} = \frac{3,78 \cdot 100\%}{1,7 \cdot 5} = 44,47\% ; \quad (3.76)$$



$$y = \frac{x}{100} \cdot d_1 = \frac{44,47}{100} \cdot 1,7 = 0,756 \text{ ppm} . \quad (3.77)$$

3. Apskaičiuojama **metano** dujų koncentracija (2006–2013 m., po alyvos regeneravimo):

$$x = \frac{d_1 \cdot 100\%}{d_2 \cdot n} = \frac{6,73 \cdot 100\%}{0,42 \cdot 8} = 189\% ; \quad (3.78)$$

$$y = \frac{x}{100} \cdot d_1 = \frac{189}{100} \cdot 0,42 = 0,796 \text{ ppm} . \quad (3.79)$$

4. Apskaičiuojama **etano** dujų koncentracija (1996–1998 m.):

$$x = \frac{d_1 \cdot 100\%}{d_2 \cdot n} = \frac{1,10 \cdot 100\%}{0,62 \cdot 3} = 19,7\% ; \quad (3.80)$$

$$y = \frac{x}{100} \cdot d_1 = \frac{19,7}{100} \cdot 0,62 = 0,122 \text{ ppm} . \quad (3.81)$$

5. Apskaičiuojama **etano** dujų koncentracija (2000–2004 m., po alyvos regeneravimo):

$$x = \frac{d_1 \cdot 100\%}{d_2 \cdot n} = \frac{1,58 \cdot 100\%}{1,10 \cdot 5} = 28,7\% ; \quad (3.82)$$

$$y = \frac{x}{100} \cdot d_1 = \frac{28,7}{100} \cdot 1,10 = 0,316 \text{ ppm} . \quad (3.83)$$

6. Apskaičiuojama **etano** dujų koncentracija (2006–2013 m., po alyvos regeneravimo):

$$x = \frac{d_1 \cdot 100\%}{d_2 \cdot n} = \frac{5,7 \cdot 100\%}{0,16 \cdot 8} = 445\% ; \quad (3.84)$$

$$y = \frac{x}{100} \cdot d_1 = \frac{445}{100} \cdot 0,16 = 0,712 \text{ ppm} . \quad (3.85)$$

7. Apskaičiuojama **etilenas** dujų koncentracija (2006–2013 m., po alyvos regeneravimo):

*Iki 2005 m. nebuvo pastebimi pokyčiai, todėl skaičiavimai atliekami nuo 2006 m.*

$$x = \frac{d_1 \cdot 100\%}{d_2 \cdot n} = \frac{18 \cdot 100\%}{0,27 \cdot 8} = 833\% ; \quad (3.86)$$

$$y = \frac{x}{100} \cdot d_1 = \frac{833}{100} \cdot 0,27 = 2,25 \text{ ppm} . \quad (3.87)$$

8. Apskaičiuojama **anglies monoksido** dujų koncentracija (2000–2004 m., po alyvos regeneravimo):

$$x = \frac{d_1 \cdot 100\%}{d_2 \cdot n} = \frac{93 \cdot 100\%}{1,10 \cdot 5} = 1690\% ; \quad (3.88)$$

$$y = \frac{x}{100} \cdot d_1 = \frac{1690}{100} \cdot 1,10 = 18,6 \text{ ppm} . \quad (3.89)$$

9. Apskaičiuojama **anglies monoksido** dujų koncentracija (2006–2013 m., po alyvos regeneravimo):

$$x = \frac{d_1 \cdot 100\%}{d_2 \cdot n} = \frac{333,20 \cdot 100\%}{22 \cdot 8} = 183\% ; \quad (3.90)$$

$$y = \frac{x}{100} \cdot d_1 = \frac{183}{100} \cdot 22 = 41,65 \text{ ppm} . \quad (3.91)$$

10. Apskaičiuojama **anglies dioksido** dujų koncentracija (2000–2004 m., po alyvos regeneravimo):

$$x = \frac{d_1 \cdot 100\%}{d_2 \cdot n} = \frac{351 \cdot 100\%}{26 \cdot 5} = 270\% ; \quad (3.92)$$

$$y = \frac{x}{100} \cdot d_1 = \frac{270}{100} \cdot 26 = 70 \text{ ppm} . \quad (3.93)$$

11. Apskaičiuojama **anglies dioksido** dujų koncentracija (2006–2013 m., po alyvos regeneravimo):

$$x = \frac{d_1 \cdot 100\%}{d_2 \cdot n} = \frac{1132 \cdot 100\%}{63 \cdot 8} = 224\% ; \quad (3.94)$$

$$y = \frac{x}{100} \cdot d_1 = \frac{224}{100} \cdot 63 = 141,5 \text{ ppm} . \quad (3.95)$$

Atlikus skaičiavimus ir susisteminius visus gautus skaičiavimo rezultatus pateikiamos galutinės galios ir autotransformatorių suminės lentelės.

3.4.1 lentelė. Kruonio HAE AT-1 dujų koncentracijų kitimo greitis

		Kruonio HAE AT-1 dujų koncentracijų kitimo greitis						
		H <sub>2</sub> (≤100)	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> (≤10)	CH <sub>4</sub> (≤100)	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> (≤50)	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> (≤60)	CO (≤500)	CO <sub>2</sub> (≤2000)
Metai	Kitimo pokytis kas metus	Vandenilis	Acetilenas	Metanas	Etanas	Etilenas	Anglies monoksidas	Anglies dioksidas
1996-1997; 2000-2002	%	-	-	48	118	37	-	22
	ppm	-	-	5,8	0,1775	0,224	-	220
2004-2014	%	-	-	679	345	105	217,5	212
	ppm	-	-	4,5	1,93	0,772	13,05	78

■ – pradinių eksploatacijos metų duomenys   ■ – paskutiniųjų eksploatacinių metų duomenys  
□ – nevertinami duomenys

3.4.2 lentelė. Jonavos TP AT-2 dujų koncentracijos kitimo greitis

		Jonavos TP AT-2 dujų koncentracijų kitimo greitis						
		H <sub>2</sub> (≤100)	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> (≤10)	CH <sub>4</sub> (≤100)	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> (≤50)	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> (≤60)	CO (≤500)	CO <sub>2</sub> (≤2000)
Metai	Kitimo pokytis kas metus	Vandenilis	Acetilenas	Metanas	Etanas	Etilenas	Anglies monoksidas	Anglies dioksidas
2004-2008	%	-	-	54	51	37,96	100	207
	ppm	-	-	2,556	0,87	4,058	12	203
2010-2013	%	97	-	56	315	80	121	112
	ppm	2,187	-	3,14	4,35	1,896	72	580,16

■ – pradinių eksploatacijos metų duomenys   ■ – paskutiniųjų eksploatacinių metų duomenys  
□ – nevertinami duomenys

3.4.3 lentelė. Kruonio TP T-1 dujų koncentracijų kitimo greitis

		Kruonio HAE T-1 dujų koncentracijų kitimo greitis						
		H <sub>2</sub> (≤100)	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> (≤10)	CH <sub>4</sub> (≤100)	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> (≤50)	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> (≤60)	CO (≤500)	CO <sub>2</sub> (≤2000)
Metai	Kitimo pokytis kas metus	Vandenilis	Acetilenas	Metanas	Etanas	Etilenas	Anglies monoksidas	Anglies dioksidas
2000-2009	%	-	-	32	-	16	47,8	179
	ppm	-	-	0,6	-	0,128	10	137,83
2009-2014	%	-	-	64	-	119	87	32
	ppm	-	-	3,712	-	1,4	95,7	441,6

■ – pradinių eksploatacijos metų duomenys   ■ – paskutiniųjų eksploatacinių metų duomenys  
□ – nevertinami duomenys

3.4.4 lentelė. Kruonio TP T-2 dujų koncentracijų kitimo greitis

		Kruonio HAE T-2 dujų koncentracijų kitimo greitis						
		H <sub>2</sub> (≤100)	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> (≤10)	CH <sub>4</sub> (≤100)	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> (≤50)	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> (≤60)	CO (≤500)	CO <sub>2</sub> (≤2000)
Metai	Kitimo pokytis kas metus	Vandenilis	Acetilenas	Metanas	Etanas	Etilenas	Anglies monoksidas	Anglies dioksidas
1996-1998	%	-	-	55,8	19,7	-	-	-
	ppm	-	-	1,9	0,122	-	-	-
2000-2004	%	-	-	44,47	28,7	-	1690	270
	ppm	-	-	0,756	0,3157	-	18,6	70
2006-2013	%	-	-	189	445	833	183	224
	ppm	-	-	0,796	0,712	2,25	41,65	141,5

■ – pradinių eksploatacijos metų duomenys    ■ – paskutiniųjų eksploatacinių metų duomenys  
 □ – nevertinami duomenys

Remiantis galutinių rezultatų suvestinėmis priename išvados, jog transformatorių dujų koncentracijų kitimo greitis didėja proporcingai metams. Pastebima, jog kertiniai metai, kada dujų koncentracija pradeda didėti sparčiausiai, vyrauja apie 2005–2010 metus.

### 3.5. Izoliacinėje alyvoje ištirpusių dujų tyrimo analizės apibendrinimas

Siekiant ištirti kelių skirtingų transformatorių darbą ir jų pokyčius vykstančius izoliacinėje alyvoje buvo suvedami bendri duomenys ir išvedamas vidurkis (žr. į 3.5.1 lentelę). Galios ir autotransformatorių gauti duomenys palyginami tarpusavyje ir išvedama bendra išvada.

3.5.1 lentelė. Transformatorių izoliacinėje alyvoje ištirpusių dujų analizės vidurkiai

Transformatorių izoliacinėje alyvoje ištirpusių dujų analizės vidurkiai							
	H <sub>2</sub> (≤100)	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> (≤10)	CH <sub>4</sub> (≤100)	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> (≤50)	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> (≤60)	CO (≤500)	CO <sub>2</sub> (≤2000)
	Vandenilis	Acetilenas	Metanas	Etanas	Etilenas	Anglies monoksidas	Anglies dioksidas
Kruonio HAE AT-1	0	0,13	11,94	2,15	1,22	103,2	413,73
Jonavos TP AT-2	2,14	0	6,62	4,39	10,98	59,11	548,03
Bendras vidurkis	1,07	0,065	9,28	3,27	6,1	81,155	480,88
Kruonio HAE T-1	0,32	0	7,17	1,09	2,26	150,11	881,41
Kruonio HAE T-1	0,41	0	2,6	1,32	2,44	93,2	352,96
Bendras vidurkis	0,365	0	4,885	1,205	2,35	121,655	617,185
Procentai (%)	293,15	0,0	189,97	271,37	259,57	149,90	128,34
Padidėjimas kartais	2,9	0,0	1,9	2,7	2,6	1,5	1,3

■ – autotransformatorių dujų kiekių skirtumas lyginant su galios transformatoriais  
 ■ – galios transformatorių dujų kiekių skirtumas lyginant su autotransformatoriais

Apibendrinant baigiamojo darbo tyrimų ir analizės duomenis nustatyta, kad galios ir autotransformatorių izoliacinės alyvos senėjimo progresija laiko atžvilgiu yra labai panašios. Tačiau pastebėta jog pagrindinių išskiriamų dujų koncentracijos kiekiai (vandenilio, acetileno, metano, etano ir etileno) autotransformatoriuose lyginant su galios transformatoriais yra net 2,5 karto didesni, o sulyginus anglies monoksido ir dioksido dujų kiekių koncentracija pastebima apie 1,4 karto didesnę padidėjimą galios transformatoriuose nei autotransformatoriuose. Remiantis tuo, kad sulyginus izoliacinės alyvos kiekius su aktyvine dalimi esančia transformatoriuje, kurios nemažą dalį sudaro kietoji izoliacija, galime daryti prielaidą, kad tai yra realybę atitinkantys rezultatai.

## IŠVADOS IR PASIŪLYMAI

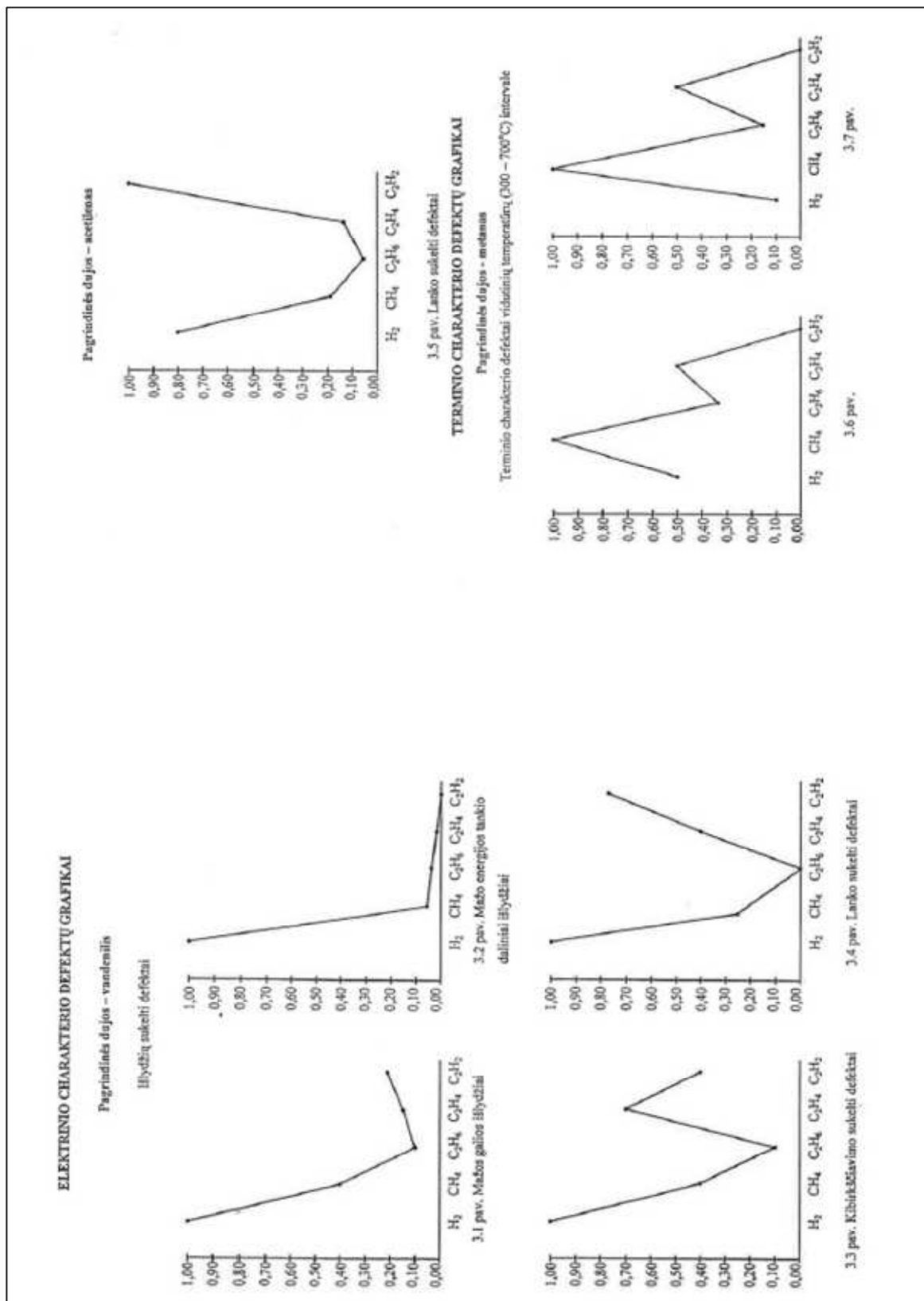
1. Eksploatuojamo įrenginio avaringumo įvertinimui pakanka kontroliuoti izoliacinės alyvos charakteristikas.
2. Alyvos kokybės charakteristikų kitimo dinamika leidžia numatyti lėtai besikeičiančių eksploatacijoje dujų charakteristikų dėsninumus.
3. Transformatorių izoliacinės alyvos dujų koncentracijos kitimo greitis tiesiogiai proporcingas eksploataavimo laikotarpiui.
4. Autotransformatoriai lyginant su galios transformatoriais turi didesnę dujų koncentracijos priartėjimą prie ribinių verčių rizikos grupę.

## INFORMACIJOS ŠALTINIŲ SĄRAŠAS

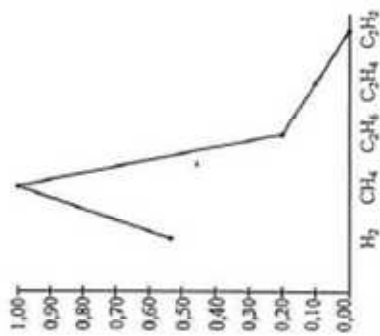
1. Elektros įrengimų bandymų normos ir apimtys. Vilnius, 2001.
2. 35–330 kV galios transformatorių būklės kompleksinio tyrimo programa. AB „Lietuvos energija“, Vilnius, 1999.
3. DIRŽIENĖ, R. Bandymų protokolų ir išvadų registracijos žurnalas (alyvos chromatografinė analizė). UAB „Kauno energetikos remontas“, Kaunas, 1996–2014.
4. Galios transformatoriuose ir įvaduose atsirandančių defektų diagnostikos (pagal izoliacinėje alyvoje ištirpusių dujų chromatografinės analizės rezultatus) metodiniai nurodymai. AB „Lietuvos energija“, Vilnius, 2002.
5. ČEPONIS, Ž., DEKSNYS, R., NAVICKAS, A. Aukštos įtampos įrenginių su alyvos ir popieriaus izoliacija kokybės charakteristikų nustatymas // Elektrotechnika: Mokslo darbai.-Kaunas: Technologija, 1998.

# PRIEDAI

## Priedas 1. Elektrinio charakterio defektų grafikai



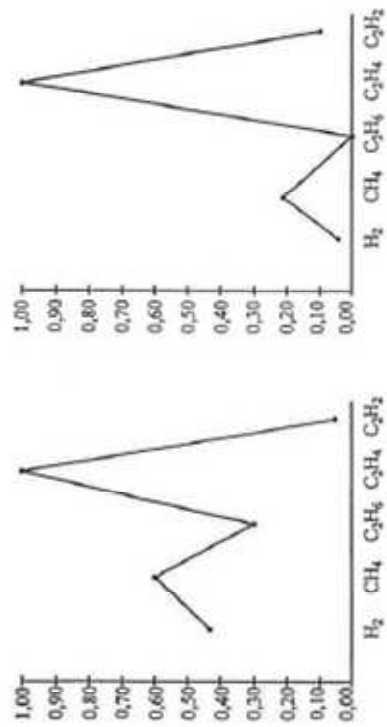




3.8 pav. Terminio charakterio defektai, besikeičiantys į dalinius išlydžius

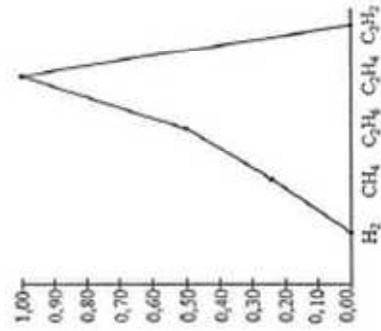
**Pagrindinės dujos – etilenas**

Aukštos temperatūros (> 700°C) terminio charakterio defektai

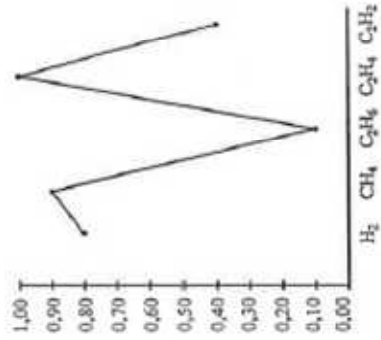


3.9 pav.

3.10 pav.



3.11 pav.



3.12 pav. Perkaitimas (>700°C), besikeičiantis į ianą

**Priedas 2. Defektų charakterio nustatymas transformatoriuje  
pagal dujų porų koncentracijos santykį**

3 lentelė. Defektų charakterio nustatymas transformatoriuje pagal dujų porų koncentracijos santykį.

Eil. nr.	Prognozuojamo defekto charakteris	Būdingas dujų porų koncentracijos santykis			Tipiniai pasireišimai
		$\frac{C_1H_4}{C_2H_2}$	$\frac{CH_4}{H_2}$	$\frac{C_1H_4}{C_2H_2}, \frac{C_1H_4}{C_2H_4}$	
1.	Normalu	< 0,1	0,1 – 1	≤ 1	Normalus senėjimas.
2.	Mazo energijos tankio daliniai išlydžiai	< 0,1	< 0,1	≤ 1	Išlydžiai pripildytose dujomis ertmėse, susidariusiose ne visai įmirkytose arba drėgnoje izoliacijoje.
3.	Didelio energijos tankio daliniai išlydžiai	0,1 – 3	< 0,1	≤ 1	Taip pat kaip ir šios lentelės 2 eil., bet patiekta pėdinta, arba pramula kintanti izoliacija.
4.	Mazos galios išlydžiai	> 0,1	0,1 – 1	1 – 3	Nepertraukiamas kibirkščiavimas alyvoje tarp skirtingų potencialų arba pildymo potencialo sujungimų, Alyvos prarusimas tarp kietųjų medžiagų.
5.	Didelės galios išlydžiai	0,1 – 3	0,1 – 1	≥ 3	Laukiniai išlydžiai, kibirkščiavimas; alyvos prarusimas tarp spygių arba rėlių arba tarp rėlių į žemę.
6.	Žemos temperatūros (< 150°C) terminis defektas	< 0,1	0,1 – 1	1 – 3	Izoizoto laidininko perkaitimas.
7.	Terminis defektas žemų temperatūrų	< 0,1	≥ 1	< 1	Sėdus vietinis perkaitimas dėl smūzo koncentracijos. "Karšto taško"

	Intervale (150 – 300°C)			temperatūros kilimas.	
8.	Terminis defektas vidutinių temperatūrų intervale (300 – 700°C)	< 0,1	≥ 1	1 – 3	Taip pat kaip ir šios lentelės 7 eil., bet toliau kylant "karšto taško" temperatūrai.
9.	Aukštos temperatūros (> 700°C) terminis defektas	< 0,1	≥ 1	≥ 3	"Karšto taškas" serdyje; vario perkaitimas dėl sukurtinių srovėlių, blogų kontaktų; cirkuliuojančios srovės serdyje arba bakė.