



Kauno technologijos universitetas

Elektros ir elektronikos fakultetas

Aukštos įtampos galios transformatorių kompleksinių bandymų struktūros

Baigiamasis magistro projektas

Benediktas Daukšas

Projekto autorius

Lekt. Kęstutis Jasiūnas

Vadovas

Kaunas, 2022



Kauno technologijos universitetas

Elektros ir elektronikos fakultetas

Aukštos įtampos galios transformatorių kompleksinių bandymų struktūros

Baigiamasis magistro projektas

Elektros energetikos inžinerija (6211EX010)

Benediktas Daukšas

Projekto autorius

Lekt. Kęstutis Jasiūnas

Vadovas

Doc. Povilas Marčiulionis

Recenzentas

Kaunas, 2022



Kauno technologijos universitetas

Elektros ir elektronikos fakultetas

Benediktas Daukšas

Aukštos įtampos galios transformatorių kompleksinių bandymų struktūros

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad:

1. baigiamąjį projektą parengiau savarankiškai ir sąžiningai, nepažeisdama(s) kitų asmenų autoriaus ar kitų teisių, laikydamasi(s) Lietuvos Respublikos autorių teisių ir gretutinių teisių įstatymo nuostatų, Kauno technologijos universiteto (toliau – Universitetas) intelektinės nuosavybės valdymo ir perdavimo nuostatų bei Universiteto akademinės etikos kodekse nustatytų etikos reikalavimų;
2. baigiamajame projekte visi pateikti duomenys ir tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti teisėtai, nei viena šio projekto dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar elektroninių šaltinių, visos baigiamojo projekto tekste pateiktos citatos ir nuorodos yra nurodytos literatūros sąrašė;
3. įstatymų nenumatytų piniginių sumų už baigiamąjį projektą ar jo dalis niekam nesu mokėjęs
4. suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo ar kitų asmenų teisių pažeidimo faktui, man bus taikomos akademinės nuobaudos pagal Universitete galiojančią tvarką ir būsiu pašalinta(s) iš Universiteto, o baigiamasis projektas gali būti pateiktas Akademinės etikos ir procedūrų kontrolieriaus tarnybai nagrinėjant galimą akademinės etikos pažeidimą.

Benediktas Daukšas

Patvirtinta elektroniniu būdu

Daušas, Benediktas. Aukštos įtampos galios transformatorių kompleksinių bandymų struktūros. Magistro baigiamasis projektas / vadovas lekt. Kęstutis Jasiūnas; Elektros ir elektronikos fakultetas, Kauno technologijos universitetas.

Studijų kryptis ir sritis (studijų krypčių grupė): studijų kryptis – elektros inžinerija, studijų krypčių grupė – inžinerijos mokslai.

Reikšminiai žodžiai: Galios transformatorius, izoliacinė alyva, apvijos, drėgmė, daliniai išlydžiai, transformatorių pastotė, eksploatacinis laikotarpis, gedimai.

Kaunas, 2022. 51 psl. + priedai 8 psl.

Santrauka

Šiame baigiamajame projekte aprašyti esami aukštos įtampos galios transformatorių diagnostikos ir bandymų metodai remiantis AB „Litgrid“ perdavimo tinklo įrenginių bandymų reglamentu bei išdėstyti kokie yra keliami reikalavimai bandymams vadovaujantis „Elektros įrenginių bandymų normomis ir apimtimis“ ir kitais Lietuvos energetikos sistemoje naudojamais dokumentais.

Tolimesnėje šio darbo dalyje atlikta galios transformatorių esamos būklės monitoringo duomenų analizė per visą įrenginio eksploatacinį laikotarpį pagal tam tikrus kriterijus, sudaryti priklausomybiniai grafikai, atlikti skaičiavimai kaip potencialiai gali keistis stebėjimo sistemos rezultatai ateityje, pateiktos išvados ir pastebėjimai.

Žvelgiant į naujas technologijas, taikomas energetikos srityje, atliktas eksperimentinio pobūdžio tyrimas naudojant specialią dalinių išlydžių aptikimo įrangą vėjo jėgainių parkui priklausančioje transformatorių pastotėje. Tyrimo rezultatai pateikti šiame darbe atvaizduoti grafiškai naudojant reikiamą programinį paketą.

Daukšas, Benediktas. Complex Testing Structures of High Voltage Power Transformers. Master's Final Degree Project / Supervisor lect. dr. Kęstutis Jasiūnas; Faculty of Electrical and Electronics Engineering, Kaunas University of Technology.

Study field and area (study field group): Electrical engineering, engineering science.

Keywords: Power transformer, insulating oil, windings, humidity, partial discharges, transformer substation, service life, malfunctions.

Kaunas, 2022. 51 pages + 8 pages of attachments.

Summary

This final project describes the existing diagnostics and testing methods for high voltage power transformers based on the AB „Litgrid“ transmission network equipment testing regulations and sets out the requirements for testing in accordance with the “Testing Standards and Volumes of Electrical Equipment” and other documents used in the Lithuanian energy system.

In the further part of this work, the analysis of the current condition monitoring data of power transformers during the whole operation period of the device according to certain criteria is performed, dependency graphs are made, calculations are performed on how the results of the monitoring system may change in the future, conclusions and observations are presented.

In view of the new technologies used in the field of energy, an experimental study has been carried out using special partial discharge detection equipment at a transformer substation belonging to a wind turbine farm. The results of the research are presented in this work graphically using the required software package.

Santrumpų ir terminų sąrašas

Santrumpos:

AT – autotransformatorius;

GT – galios transformatorius;

TJ – trumpasis jungimas;

Terminai:

Temperatūros perviršis – skirtumas tarp išmatuotos įšilimo ir aplinkos temperatūros.

Perteklinė temperatūra – skirtumas tarp išmatuotos kaistančio mazgo ir analogiško mazgo kitose fazėse.

Ppm (angl. parts per million) – cheminės medžiagos arba teršalo masė vandens tūrio vienetu arba atvirkščiai. Gali būti išreiškiama ir miligramais litre (mg/l).

Turinys

Lentelių sąrašas	8
Paveikslų sąrašas	9
Įvadas.....	10
1. Galios transformatorių (autotransformatorių) diagnostikos metodai	11
1.1. Termoviziniai patikrinimai	11
1.2. Alyvoje ištirpusių dujų chromatografinė analizė	13
1.4. Apvijų izoliacijos dielektrinių nuostolių kampo tgδ ir talpumo verčių matavimai	15
1.5. Trumpojo jungimo (TJ) varžos matavimai	16
1.6. Įmagnetinimo charakteristikų nustatymas	16
1.7. Alyvos kokybinių rodiklių nustatymas.....	16
1.8. Galios transformatorių diagnostikos ir bandymų periodiškumas	17
1.9. Apžvalgos apibendrinimas	18
2. Izoliacinės alyvos monitoringo sistemos rezultatų analizė.....	19
2.1. Situacijos apžvalga	19
2.2. Pradinių skaičiavimų rezultatai	20
2.3. Bendri skaičiavimai grafiniam rezultatų atvaizdavimui	21
2.4. Turimų rezultatų grafinis perteikimas ir jų analizė	23
2.5. Šiaulių AT – 1 monitoringo sistemos rezultatų analizė.....	24
2.6. Jurbarko AT – 1 monitoringo sistemos rezultatų analizė	31
2.7. Jonavos AT – 1 monitoringo sistemos rezultatų analizė	36
2.8. Bendri pastebėjimai	42
3. Galios transformatoriaus bandymas dėl galimų dalinių išlydžių	43
3.1. Bandymų sąlygos.....	43
3.2. Eksperimento rezultatai	44
3.3. Eksperimento apibendrinimas	49
Išvados	50
Literatūros sąrašas	51
Priedai.....	52
1 priedas. Transformatorių monitoringo duomenų vidurkinimo rezultatai (1–4 įrenginiai)	53
2 priedas. Transformatorių monitoringo duomenų vidurkinimo rezultatai (5–8 įrenginiai)	54
3 priedas. Transformatorių monitoringo duomenų vidurkinimo rezultatai (9–12 įrenginiai)	55
4 priedas. Priklausomybiniai grafikai	56

Lentelių sąrašas

1 lentelė. Ištirpusių dujų izoliacinėje alyvoje leistinos normos.....	12
2 lentelė. Padidėjusio dujų kiekio sukeliama defektai	13
3 lentelė. Defekto įvertinimas naudojant IEEE C57,104-1999 metodą.....	13
4 lentelė. Defekto įvertinimas naudojant Rodžerso metodą.....	14
5 lentelė. Izoliacijos varžos perskaičiavimo koeficiento reikšmės.....	14
6 lentelė. Dielektrinių nuostolių kampo matavimo rezultatų normos	15
7 lentelė. Izoliacinės alyvos kokybinių rodiklių normos.....	17
8 lentelė. Galios transformatorių bandymų ir diagnostikos atlikimo periodiškumas.....	18
9 lentelė. Šiaulių AT – 1 vidurkinimo skaičiavimų rezultatai 2017m.	21
10 lentelė. Viso laikotarpio įrenginių vidurkiai.....	21
11 lentelė. Atstojamųjų kreivių sudarymo rezultatai.....	23
12 lentelė. Izoliacinės alyvos būklės vertinimo normos.....	24
13 lentelė. Šiaulių AT – 1 gamykliniai įrenginio duomenys.....	24
14 lentelė. Tiriamų įrenginių prognozuojamų drėgmės kiekių reikšmės	29
15 lentelė. Jurbarko AT – 1 gamykliniai įrenginio duomenys	31
16 lentelė. Jonavos AT – 1 gamykliniai įrenginio duomenys	36
17 lentelė. Eksperimento atlikimo sąlygos.....	43
18 lentelė. Defekto pobūdis pagal dažnį.....	45

Paveikslų sąrašas

1 pav. Galios transformatorių diagnostikos struktūrinė schema.....	11
2 pav. Galios transformatoriaus įvadų termografinė nuotrauka	13
3 pav. Diuvalio trikampio diagrama	14
4 pav. GE metodo koordinačių sistema	14
5 pav. Monitoringo sistemos duomenų paros eigoje grafikas	20
6 pav. Monitoringo sistemos duomenų kitimas paros eigoje	20
7 pav. Šiaulių AT – 1 alyvos drėgmės kiekio priklausomybė nuo laiko	25
8 pav. Šiaulių AT – 1 apvijų drėgmės kiekio priklausomybė nuo laiko	27
9 pav. Šiaulių AT – 1 prognozuojamos alyvos drėgmės kiekio reikšmės	30
10 pav. Šiaulių AT – 1 prognozuojamos apvijų drėgmės kiekio reikšmės	30
11 pav. Jurbarko AT – 1 alyvos drėgmės kiekio priklausomybė nuo laiko	31
12 pav. Jurbarko AT – 1 apvijų drėgmės kiekio priklausomybė nuo laiko.....	33
13 pav. Jurbarko AT – 1 prognozuojamos alyvos drėgmės kiekio reikšmės	35
14 pav. Jurbarko AT – 1 prognozuojamos apvijų drėgmės kiekio reikšmės.....	36
15 pav. Jonavos AT – 1 alyvos drėgmės kiekio priklausomybė nuo laiko	37
16 pav. Jonavos AT – 1 apvijų drėgmės kiekio priklausomybė nuo laiko.....	39
17 pav. Jonavos AT – 1 prognozuojami alyvos drėgmės kiekio kitimai.....	41
18 pav. Jonavos AT – 1 prognozuojami apvijų drėgmės kiekio kitimai	41
19 pav. Realus tiriamojo transformatoriaus vaizdas iš kelių pusių	44
20 pav. Matavimo rezultatai naudojant jutiklį (galinė korpuso pusė)	45
21 pav. Matavimo rezultatai naudojant anteną (galinė korpuso pusė)	46
22 pav. Matavimo rezultatai naudojant jutiklį (korpuso pusė nuo pavaros spintos)	46
23 pav. Matavimo rezultatai naudojant anteną (korpuso pusė nuo pavaros spintos)	47
24 pav. Matavimo rezultatai naudojant jutiklį (aukštos įtampos įvadų pusė)	47
25 pav. Matavimo rezultatai naudojant anteną (aukštos įtampos įvadų pusė)	48
26 pav. Matavimo rezultatai naudojant jutiklį (žemos įtampos įvadų pusė).....	48
27 pav. Matavimo rezultatai naudojant anteną (žemos įtampos įvadų pusė)	49

Įvadas

Galios transformatorius – vienas svarbiausių pastotės aukštos įtampos elektros įrenginių, skirtas perduoti sistemos elektros energiją iš vienos įtampos į kitą įtampą. Įprastai galios transformatoriai susideda iš magnetolaidžio, aukštesnės ir žemesnės įtampos apvijų, aukštesnės ir žemesnės įtampos įvadų, pavaros mechanizmų spintos bei alyvos bako (jei transformatorius aušinamas oru, tada šio bako nebūna) [1]. Autotransformatoriai nuo galios transformatorių skiriasi tuo, jog juose pirminė ir antrinė apvijos turi bendrą dalį, t.y. sujungtos nuosekliai elektriškai. Elektros energijos perdavimas iš vienos sistemos į kitą vykdomas per nuosekliai sujungtus laidininkus. [1]

Galios transformatoriai nėra idealūs įrenginiai, todėl kaip ir kitiems elektros pastotės įrenginiams, taip ir galios transformatoriams keliami tam tikri reikalavimai kaip jie turi būti eksploatuojami, prižiūrimi bei testuojami, jei norima, jog pastarieji kokybiškai savo darbą atliktų kaip įmanoma ilgiau, nes juos pakeisti reikia daug laiko. Paprastai jie naudojami ilgesnį laikotarpį ir sunkiai pašalinami iš eksploatacijos dėl elektros sistemos patikimumo apribojimų. [7]

Todėl šiame darbe bus pateikti šiuo metu taikomi galios transformatorių diagnostikos metodai, bet daugiau dėmesio bus skiriama izoliacinės alyvos monitoringo sistemos duomenų analizė bei eksperimentui dėl dalinių išlydžių, kuris buvo atliktas vėjo jėgainių parkui priklausančioje pastotėje.

Temos aktualumas – Galios transformatorių priežiūra ir bandymai yra labai svarbūs norint užtikrinti tinkamą jų veikimą pastotėse ir užbėgti už akių potencialiems defektų atsiradimams bei gedimams.

Problema – Galios transformatoriai turi nustatytą tarnavimo laiką bei techninės priežiūros periodiškumą, todėl bus siekiama išsiaiškinti kaip išlaikyti gerą darbinę būklę kaip įmanoma ilgiau.

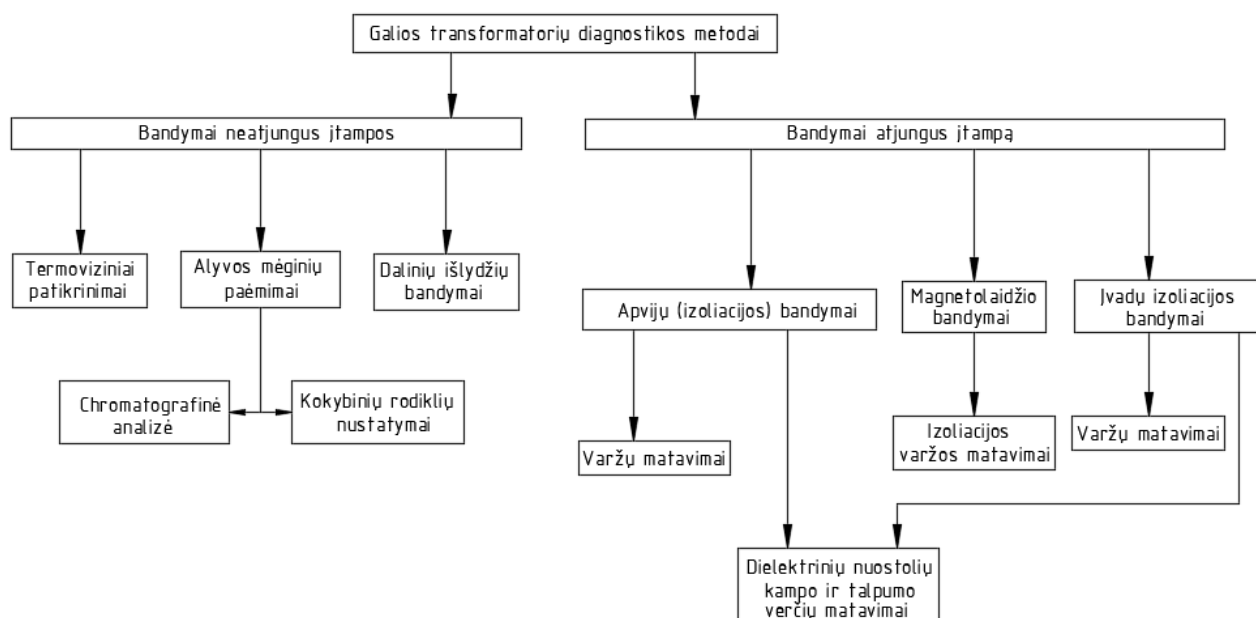
Darbo tikslas – Įvairių aukštos įtampos galios transformatorių diagnostikos ir bandymų metodų apžvalga bei jų rezultatų analizė.

Uždaviniai:

1. Apžvelgti šiuo metu naudojamus galios transformatorių izoliacijos diagnostikos ir bandymų metodus.
2. Atlikti įrenginių alyvos ir apvijų drėgmės duomenų susistemavimo skaičiavimus, sudaryti priklausomybinius grafikus nuo laiko esamai situacijai.
3. Apskaičiuoti standartinius nuokrypius nuo vidutinių reikšmių kreivių bei įvertinti drėgmės kitimo įtaką įrenginiams.
4. Suformuoti prognozuojamų reikšmių kitimų grafikus iki 2024 m.
5. Išnagrinėti dalinių išlydžių eksperimento rezultatus.

1. Galios transformatorių (autotransformatorių) diagnostikos metodai

Galios transformatorius (toliau – GT) yra sudėtingas, bet svarbus pastotės įrenginys. Netinkamai prižiūrimas šis įrenginys gali ženkliai sutrumpinti savo eksploatacinį laikotarpį ir taip sukelti rimtų elektros energijos perdavimo bei ekonominių problemų. Todėl labai svarbu periodiškai stebėti šio įrenginio būklę bei atlikti reikiamus bandymus bei diagnostiką. Nors pastarųjų metodų yra ganėtinai nemažai tokiems įrenginiams testuoti, tačiau šiame darbe bus daugiau akcentuojami izoliacijos būklės nustatymo bei jiems artimi bandymai. Žemiau esančiame 1 pav. pateikta galios (auto) transformatorių diagnostikos struktūrinė schema.



1 pav. Galios transformatorių diagnostikos struktūrinė schema

Daugumos galios transformatorių pagrindinė izoliacija yra popierinė ir alyvinė. Transformatoriuose izoliacinė alyva atlieka gyvybiškai svarbų vaidmenį izoliuojant ir vėsinant. Iš esmės yra nedaug mechanizmų, kurie veikiami izoliacijos degradacijos dėl senėjimo, aukštos temperatūros ir cheminių reakcijų. Transformatoriaus gedimai gali turėti didelį poveikį saugumui, energijos tiekimo patikimumui ir sąnaudoms. Dėl aukštesnės darbinės temperatūros GT popierinės/alyvos izoliacijos sistemos degradavimas lemia kai kurių izoliacijos charakteristikų kitimą, todėl trumpėja likęs galios transformatoriaus tarnavimo laikas [11].

Iš schemos matoma, jog diagnostikos metodai skirstomi į bandymus atjungus įtampą ir bandymus, kuriems įtampos atjungimas nereikalingas. Termovizinės apžiūros ir dalinių išlydžių bandymai yra santykinai naujos technologijos, ypač dalinių išlydžių matavimai, nes jie Lietuvoje dar nėra reglamentuoti jokiais norminiais aktais. Tolimesnėje darbo dalyje detaliau aprašyti diagnostikos metodai ir bandymai.

1.1. Termoviziniai patikrinimai

Termografinis tyrimas remiasi kietų ir skystų kūnų sugebėjimu spinduliuoti infraraudonuosius spindulius. Infraraudonojo spinduliavimo intensyvumas yra proporcingas kūno paviršiaus temperatūrai. Termovizorius šį spinduliavimą performuoja į elektrinius signalus ir ekrane pateikia

matuojamo paviršiaus temperatūrų vaizdą. Įrenginys sufokusuoja vaizdą, tada vykdo stebimo objekto temperatūros matavimą ir yra padaroma termonuotrauka, kuri išsaugoma vidinėje termovizoriaus atmintyje arba atminties korteleje.

Elektros įrenginių ir srovėlaidžių įšilimo dėl darbo sąlygų ir konstrukcijos būklė įvertinama temperatūros normomis (temperatūros paviršiu, pertekline temperatūra, defekto koeficientu, temperatūros kitimu laike, keičiantis apkrovai), lyginant išmatuotą temperatūrą fazės aplinkoje bei tarp gretimų fazių su akivaizdžiai gerais elementais ar kitais tokio paties tipo įrenginiais ir pan.

Bendrieji reikalavimai, keliami termovizinei įrangai:

Elektros įrenginių ir oro linijų termovizinei kontrolei turi būti naudojami termovizoriai, kurių skiriamoji geba ne mažesnė kaip:

- 0,1°C, kai yra +30 °C aplinkos temperatūra;
- Rekomenduojamas spektrinis diapazonas 8-12 μm.

Aptinkamų defektų lygiai, kurie nustatomi įvertinant kontaktų ir kontaktinių verčių būklę:

- Pradinis defekto lygis – esant perteklinei temperatūrai 5 – 10 °C. Tokio lygio defektą reikia kontroliuoti (stebėti kas 6 mėn.) ir per planinį remontą pašalinti;
- Pavojingas defekto lygis – esant perteklinei temperatūrai 10 – 30 °C. Jį būtina pašalinti artimiausio įrenginio remonto metu;
- Avarinis defekto lygis – esant perteklinei temperatūrai >30 °C. Šio tipo defektą svarbu pašalinti kuo skubiau.

Prieš kiekvieną galios transformatoriaus termovizinį patikrinimą reikia surašyti šiuos duomenis:

- Dispečerinis pavadinimas;
- Tipas, gamyklinis numeris, pagaminimo metai;
- Nominali galia;
- Aplinkos oro sąlygos (temperatūra, vėjo greitis, drėgmė);
- Esama įrenginio apkrova patikrinimo metu (aktyvioji ir reaktyvioji galios).

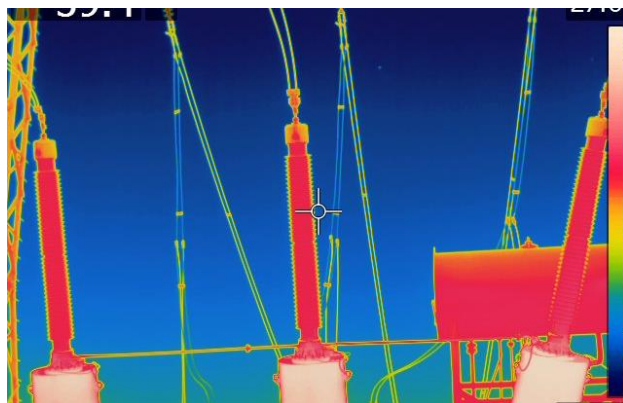
Termovizinio patikrinimo metu termovizoriumi fiksuojami tokie įrenginio mazgai:

- Įrenginio korpusas (po 1 nuotrauką iš kiekvienos korpuso pusės);
- Alyvos plėtimosi bakas;
- Termosifoniniai filtrai (jeigu tokie yra);
- Įvadai (po 1 nuotrauką iš aukštos ir žemos įtampos pusių);
- Aukštinimo blokai (ventiliatoriai) ir alyvos siurbiai;
- Valdymo spintos.

Termografinės įvadų nuotraukos pavyzdys pateikiamas 2 pav.

Šitas metodas yra gana patogus, nes nereikalauja daug įrangos, saugus jį atliekančiam personalui, tačiau yra priklausomas nuo aplinkos sąlygų, t.y. negalima daryti nuotraukų saulėtą dieną, nes tada bus fiksuojami atspindžiai ir nesimatys tikrosios įrenginio mazgų temperatūros.

Svarbu žinoti, jog darant įvadų termografines nuotraukas perteklinė temperatūra negali viršyti 0,5 °C. Kitu atveju fiksuojamas defektas.



2 pav. Galios transformatoriaus įvadų termografinė nuotrauka

1.2. Alyvoje ištirpusių dujų chromatografinė analizė

Dujos, kurios susidaro dėl potencialių gedimų elektros įrenginiuose, įprastai atsiranda dėl alyvos ir kitų izoliacinių medžiagų (popieriaus) savybių blogėjimo. Dujų generavimo židiniui nustatyti chromatografiniu būdu alyvos mėginiai imami iš transformatoriaus ir jo bako vienu metu, kai eksploataavimo sąlygos vienodos. Paimti mėginiai įstatomi į chromatografą ir atliekama analizė. Pagal tokios analizės būdu gautus rezultatus galima įvertinti svarbiausias kokybines charakteristikas, suteikiančias daugiausiai informacijos apie įrenginio būklę. Ištirpusių dujų kiekis gali keistis priklausomai nuo defekto atsiradimo ir sudėtingumo lygio. Žemiau pateiktoje 1 lentelėje surašytos leistinos ištirpusių dujų kiekio izoliacinėje alyvoje normos:

1 lentelė. Ištirpusių dujų izoliacinėje alyvoje leistinos normos

Įrenginys	Ištirpusių dujų izoliacinėje alyvoje ribinės vertės, µl/l						
	H ₂	CH ₄	CO	CO ₂	C ₂ H ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₂
110-330 kV transformatoriai	100	100	500	6000	100	50	10

Toliau išvardinti metodai, kuriais nustatomi išsiskiriantys tam tikrų dujų kiekiai bei potencialūs defektai [4]:

- 1) **Pagrindinių dujų (angl. Key Gas) metodas** – pagrindinis metodas, naudojamas konkrečių defektų tipų nustatymui. Gedimą indikuoja norminių reikšmių viršijimas, kurios pateiktos 2 lentelėje [4].

2 lentelė. Padidėjusio dujų kiekio sukeliami defektai.

Galimas defektas	Išsiskyrusių dujų santykinis kiekis, %					
	CO	H ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₄	C ₂ H ₂
Daliniai išlydžiai		82	13	1	1	
Gedimas esant aukštai/žemai temperatūrai		2	16	19	63	
Elektros lanko išlydis		60	5	2	3	30
Popierinės izoliacijos defektas	92					

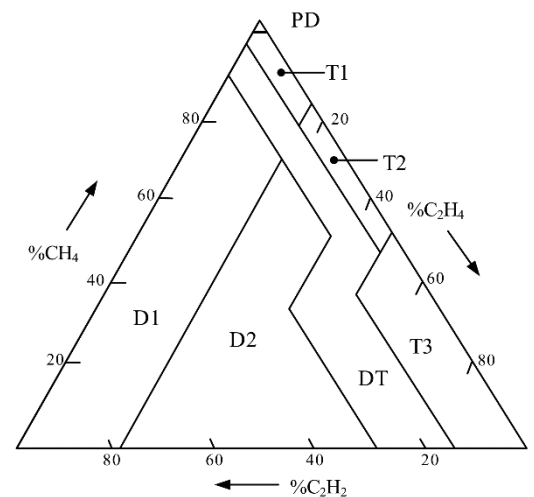
- 2) **IEEE C57.104 – 1999 metodas.** Šio metodo esmė yra įvertinti transformatoriaus izoliacijos būklę, priklausomai nuo to, kokių dujų yra daugiausiai, o gedimo pavojingumas nustatomas pagal esamų dujų koncentracijos padidėjimą. Žemiau esančioje 3 lentelėje pateikti galimi defektai atsižvelgiant į tai, kokios dujos yra vyraujančios:

3 lentelė. Defekto įvertinimas naudojant IEEE C57,104-1999 metodą.

Dujos	Defekto pobūdis
Vandenilis (H ₂)	Dalinis išlydis
Anglies monoksidas (CO), etilenas (C ₂ H ₄)	Perkaitimas (šiluminis defektas)
Acetilenas (C ₂ H ₂), vandenilis (H ₂)	Elektros lankas

- 3) **Diuvalio trikampio metodas** – naudojant šį metodą apskaičiuojama 3 dujų (CH₄, C₂H₂ ir C₂H₄) suma ir atvaizduojama 2 pav. esančioje diagramoje, iš kurios nustatomas potencialus defektas. Turint tam tikras kiekvienių dujų procentines vertes brėžiamos tiesės, lygiagrečios kiekvienai trikampio diagramos kraštinei. Gautas susikirtimo taškas tam tikroje zonoje nurodo, koks galimas defektas yra aptiktas. Žemiau pateiktos gedimų zonos:

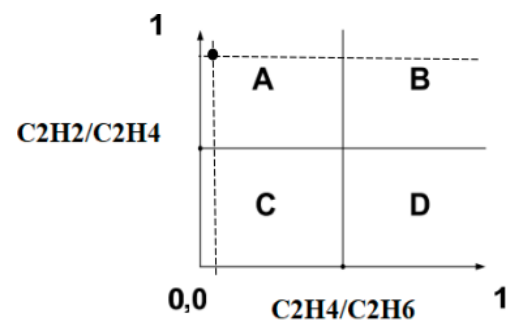
- PD – galimi daliniai išlydžiai;
- T1, T2 ir T3 – gedimai dėl per aukštos/žemos temperatūros;
- D1 ir D2 – elektrinio pobūdžio gedimai;
- DT – elektrinio ir šiluminio tipo defektai [4];



3 pav. Diuvalio trikampio diagrama

- 4) **GE metodas** – Naudojami 2 alyvoje ištirpusių dujų santykiai: C₂H₂/C₂H₄ ir C₂H₄/C₂H₆ bei koordinacių sistema, kuria remiantis nustatomi tokie defekto pobūdžiai:

- A – nenusakoma;
- B – elektrinis pažeidimas;
- C – terminis pažeidimas (žemos temperatūros);
- D – terminis pažeidimas (aukštos temperatūros).



4 pav. GE metodo koordinacių sistema

Gedimo nustatymo metodai yra gana plačiai taikomi periodiškai kontroliuojant kokybės charakteristikas, kai nustatytos vertės viršija ribines normas. Tačiau šie metodas neįvertina charakteristikų kitimo greičio todėl elektros įrenginių izoliacijos išnaudotą resursą įvertinti yra gana sudėtinga [4].

- 5) **Rodžerso metodas** – šis metodas paremtas 4 ištirpusių dujų santykiais: CH₄/H₂, C₂H₆/CH₄, C₂H₄/C₂H₆ ir C₂H₂/C₂H₄. Apskaičiavus šių dujų santykius gaunamos reikšmės, pagal kurias nustatomas galimas defektas (4 lentelė).

4 lentelė. Defekto įvertinimas naudojant Rodžerso metodą.

Galimas defektas	Santykių reikšmės			
	CH ₄ /H ₂	C ₂ H ₆ /CH ₄	C ₂ H ₂ /C ₂ H ₆	C ₂ H ₂ /C ₂ H ₄
Nėra defektų	0	0	0	0
Daliniai išlydžiai	5	0	0	0
Perkaitimas <150 °C	0,5	0	0	0
Perkaitimas 150-200 °C	0,5	1	0	0
Perkaitimas 200-300 °C	0	1	0	0
Apvijų sukūrinės srovės	1	0	1	0
Elektros lankas	0	0	0,5	0,5

1.3. Apvijų izoliacijos varžų matavimai

Pagal “Elektros įrenginių bandymų normas ir apimtis” 159 punktą galios transformatorių apvijų izoliacijos matuojama 2,5 kV įtampa naudojant megommetrą. Atliekant matavimus izoliacijos varža fiksuojama po 15 sekundžių (R₁₅) ir po 1 minutės (R₆₀). Atlikus matavimus izoliacijos varža turi būti perskaiciuojama prie 20 °C, tai reiškia, jog jei matavimai vyko prie kitokios aplinkos temperatūros nei 20 °C, tai tokiu atveju atliekami perskaiciavimai pagal tokią formulę [3]:

$$R_{20} = R_{išmatuota} \cdot K, \quad (1.3.1)$$

Čia:

R₂₀ – perskaiciuota izoliacijos varža prie 20 °C, MΩ;

K – izoliacijos varžos koeficientas, parenkamas iš 5 lentelės, atsižvelgiant į aplinkos temperatūra matavimų metu.

Tiek išmatavus, tiek perskaiciavus, izoliacijos varža turi būti didesnė nei 300 MΩ.

5 lentelė. Izoliacijos varžos perskaiciavimo koeficiento reikšmės.

Aplinkos temperatūra, °C	Perskaiciavimo koef.	Aplinkos temperatūra, °C	Perskaiciavimo koef.	Aplinkos temperatūra, °C	Perskaiciavimo koef.
5	0,58	13	0,79	21	1,03
6	0,60	14	0,82	22	1,07
7	0,64	15	0,85	23	1,10
8	0,67	16	0,87	24	1,14
9	0,69	17	0,90	25	1,18
10	0,72	18	0,93	26	1,22
11	0,74	19	0,97	27	1,27
12	0,76	20	1	28	1,32

1.4. Apvijų izoliacijos dielektrinių nuostolių kampo tgδ ir talpumo verčių matavimai

Izoliacijos, esančios eksploatacijoje dielektrinių nuostolių kampo tgδ gali būti kontroliuojamas keliais metodais: tiesioginiai matavimai įrenginio izoliacijoje, arba skirtingų įrenginių izoliacinių (iš kurių, vieno įrenginio žinoma charakteristika gali būti etalonų) charakteristikų sulyginimo metodas. Metodas yra pagrįstas vienodo tipo įrenginių izoliacinių charakteristikų sulyginimo principu yra pakankamai tikslus, nes nustatomas tik parametų skirtumas. Reguliariai matuojant šiuos parametrus galima stebėti pakitimus ir kontroliuoti bendrąją izoliacijos būklę bei laiku pastebėti, kurių įrenginių

izoliacijos būklė žymiai pakito. 6 lentelėje pateiktos Leistinos dielektrinių nuostolių kampo tgδ normos prieš eksploataciją ir eksploatacijos metu.

Svarbu paminėti, jog šiems matavimams naudojama 10 kV bandymo įtampa. Būtų klaidinga apie transformatoriaus izoliacijos būklę spręsti tik iš dielektrinių nuostolių kampo tgδ ir talpos C matavimo rezultatų. Izoliacijos būklės įvertinimas daromas tik išanalizavus visus duomenis, gautus atliekant skirtingus matavimus [4].

6 lentelė. Dielektrinių nuostolių kampo matavimo rezultatų normos.

Galios transformatoriaus vardinė įtampa, kV	Leistinos izoliacijos dielektrinių nuostolių kampo tgδ reikšmės, %	
	Prieš eksploataciją	Eksploatacijos metu
110	≤ 0,6	≤ 1
330		≤ 0,7

1.5. Trumpojo jungimo (TJ) varžos matavimai

Vienas esminių reikalavimų atliekant trumpojo jungimo matavimus – jie taikomi 125 MVA ir galingesniems transformatoriams. Kitaip tariant, matuojamos tik 330 kV galios (auto) transformatorių varžos. Bet yra ir išimtis. Žemesnės nei 125 MVA galios transformatoriams toks bandymas atliekamas tik tuo atveju, jeigu kyla įtarimas dėl įrenginio izoliacijos pažeidimo įvykus TJ galios transformatoriaus 110 arba 10 kV prijunginiuose. TJ varža žymima Z_t .

Norint atlikti trumpojo jungimo varžos matavimus galios transformatoriaus atšakų perjungklis turi būti kraštinėse padėtyse. TJ varžų matavimų rezultatų skirtumai tarp fazių neturėtų būti > 3 % [4].

1.6. Įmagnetinimo charakteristikų nustatymas

Įmagnetinimo charakteristika nustatoma vienoje antrinių apvijų iki prisisotinimo didinant įtampą, bet ne daugiau kaip iki 1800 V. Jeigu apvijoje esama atšakų, nustatoma darbinės atšakos charakteristika. Eksploatuojant charakteristika gali būti sudaryta trijuose kontroliniuose taškuose. Nustatyta charakteristika lyginama su tipine įmagnetinimo charakteristika arba su tinkamo naudoti tokio pat tipo transformatoriaus charakteristika. Išmatuotų verčių skirtumas, palyginti su gamyklos nurodytomis arba su tokio pat tipo, tinkamo naudoti srovės transformatoriaus, gali būti ne didesnis kaip 10%.

1.7. Alyvos kokybinių rodiklių nustatymas

Eksploatuojant izoliacinę alyvą, atliekama trumpoji alyvos analizė. Prireikus (be trumposios analizės) atliekami ir kiti alyvos bandymai (kompleksinė alyvos analizė). Izoliacinės alyvos analizės metu nustatomi rodikliai:

- **Pramušimo įtampa** – izoliacinės alyvos parametras, nusakantis jos kokybę. Pramušimo įtampos bandymas atliekamas kelis kartus;
- **Rūgštingumas** – alyvos rūgštingumas susidaro dėl rūgščių oksidacijos produktų susidarymo. Rūgštys ir kiti oksidacijos produktai, kartu su vandeniu ir kietais teršalais gali paveikti dielektriką;

- **Bendras vaizdas ir spalva** – nustatoma skleidžiamoje šviesoje ir išreiškiama skaitine verte, pagrįsta palyginimu su spalvų standartų serija. Tai nėra kritiška savybė, tačiau ji gali būti naudinga lyginamajam vertinimui. Sparčiai didėjanti arba ryški spalva skaičius gali būti alyvos skilimo arba užteršimo požymis;
- **Pliūpsnio temperatūra** – tai mažiausia temperatūra, iki kurios reikia pašildyti produktą (alyvą), kad standartinėmis sąlygomis iš jo išsiskyrę garai akimirksniu užsiliepsnotų ;
- **Mechaninių priemaišų kiekis**;
- **Vandens kiekis** - jis alyvoje stipriai pablogina alyvos izoliacines savybes ir jis laikomas viena pavojingiausių alyvos priemaišų;
- **Dielektrinių nuostolių kampo tangentas (tgδ)** – nuo jo priklauso aktyvioji galia, prarandama dielektrike, kuri veikia kintamoji įtampa [8].

Remiantis „Izoliacinės alyvos vartojimo metodiniais nurodymais“ žemiau pateiktos alyvos kokybinių rodiklių normos (7 lentelė) [10].

7 lentelė. Izoliacinės alyvos kokybinių rodiklių normos.

Izoliacinės alyvos kokybės rodiklis	Leistinos normos	
	110 kV	330 kV
Pliūpsnio temperatūra, °C	≥125	
Dielektrinių nuostolių kampo tgδ, esant 90 °C, %	15	10
Rūgštingumas, mgKOH/g	0,25	
Mech. priemaišos, % (g/t)	iki 0,0015 (15)	
Pramušimo įtampa, kV	35	45

Alyvai senstant, keičiasi jos cheminė sudėtis ir priemaišų kiekis, ji rūgštėja, susidaro įvairios organinės rūgštys ir nuosėdos. Alyvos rūgštingumas keičia jos izoliacines savybes, todėl reikia kontroliuoti rūgštingumo skaičių. Izoliacinės alyvos senėjimo procesai mažina visos izoliacijos patikimumą. Alyvos rūgštingumas neigiamai veikia ir kietąją izoliaciją, mažina jos mechaninį atsparumą, o susidariusios nuosėdos didina dielektrinius nuostolius. Drėgmė, susikaupusi alyvoje, paspartina kietosios izoliacijos irimą [10].

1.8. Galios transformatorių diagnostikos ir bandymų periodiškumas

Kaip ir visi transformatorių pastotės įrenginiai, taip ir galios transformatoriai turi tam tikrų bandymų atlikimo periodiškumą. Žemiau esančioje 8 lentelėje pavaizduota, kaip dažnai atliekami vieni ar kiti bandymai ir testavimai [3].

8 lentelė. Galios transformatorių bandymų ir diagnostikos atlikimo periodiškumas [3].

Patikrinimo pavadinimas		Periodiškumas
Termovizinė apžiūra		kas 1 metai
Alyvos kokybės rodiklių nustatymas	Pramušimo įtampa	kas 2 metai
	Rūgštingumas	
	Vandens kiekis	
	Mech. priemaišų kiekis, spalva	
Alyvoje ištirpusių dujų chromatografinė analizė		kas 6 mėn.
Trumpojo jungimo varžos matavimas		kas 4 metai
Tuščiosios veikos srovės ir galios nuostolių matavimas		
Apvijų varžų matavimai		
Apvijų izoliacijos varžų matavimai		kas 2 metai
Apvijų izoliacijos dielektrinių nuostolių kampo tgδ verčių matavimai		
Magnetolaidžio izoliacijos varžos matavimas		
Atšakų perjungiklio kontaktų perjungimo sekos kontrolė (apskritiminės diagramos sudarymas)		kas 4 metai
Aušinimo sistemos variklių guolių būklės ir statorių apvijų izoliacijos varžos matavimai		kas 2 metai
Atšakų perjungiklio pavarų maitinimo, valdymo, apsaugos grandinių izoliacijos varžos matavimai		
Įvadų izoliacijos varžų ir dielektrinių nuostolių kampo tgδ verčių matavimai		

Galima daryti prielaidą, jog dauguma bandymų ir matavimų atliekami kas 2 ar 4 metus, išskyrus termovizinę įrenginių (šiuo atveju – galios transformatorių) apžiūra, kai įrenginio būklė termovizoriumi stebima kasmet. Taip pat alyvos mėginiai chromatografinėi analizei atlikti mėginiai imami 2 kartus per metus. Alyvos būklę reikia pakartotinai tikrinti ir prireikus paimti, kad būtų išvengta greito transformatoriaus gedimo.

1.9. Apžvalgos apibendrinimas

Pasak statistikos, izoliacijos pažeidimai sudaro beveik 80 % visų galimų gedimų galios transformatoriuose [16]. Laiku neatlikus izoliacijos bandymų iš pradžių gal ir nieko neatsitiks, bet jei ir toliau bus uždelsta, tai tokiu atveju nebus pastebėti ir nepašalinti svarbūs gedimai. Dalis apžvelgtų metodų nėra labai sudėtingi ar reikalaujantys ypatingai brangios matavimų įrangos, kaip, pavyzdžiui, apvijų varžų matavimai, kuomet užtenka megaohmetru pamatuoti ir jau galima spręsti apie esamą izoliacijos būklę. Todėl nereikėtų numoti ranka į šio tipo bandymus ir atlikti numatytu periodiškumu, nes kitu atveju tai gali kainuoti didžiulius pinigus, nes GT dalys yra nepigios ir jų pakeitimas gali sukelti visokiausių nepatogumų.

2. Izoliacinės alyvos monitoringo sistemos rezultatų analizė

Alyvos kokybės stebėjimas ir palaikymas yra labai svarbūs norint užtikrinti patikimą alyvos funkcionavimą elektros įrenginiuose. Todėl šioje darbo dalyje analizuojama dabartinė 330 kV galios transformatorių izoliacinės alyvos bei popierinės izoliacijos būklė.

Vanduo, kad ir nedideliais kiekiais, bet yra kenksmingas skystis elektros įrenginiuose, nes dažniausiai subėga į svarbiausius įrenginio funkcionavimo mazgus. Jis pagreitina izoliacinės alyvos ir popierinės izoliacijos irimą. Popieriaus, skirtingai nei alyvos, būklės negalima atstatyti į pradinę, t.y., jeigu kartais ir pavyktų popierių išdžiovinti, tai jis jau bus praradęs savo izoliacines ir mechaninio atsparumo savybes [9].

Potencialūs vandens atsiradimo alyvoje šaltiniai :

1. Per indikatorinio silikagelio alsuoklį (sausas silikagelis visada yra mėlynos spalvos);
2. Esant nutekėjimui į valdymo įrangą (pvz.: blogos tarpinės, sutrūkinėjusi izoliacija) [9].

Transformatoriuje visas vandens kiekis pasiskirsto tarp popieriaus ir alyvos taip, kad didžiąją vandens dalį sugeria popierinė izoliacija. Pavyzdžiui, maži temperatūros pokyčiai gali ženkliai pakeisti ištirpusio vandens kiekį alyvoje, bet gali tik šiek tiek pakeisti vandens kiekį popieriuje [9]. Todėl labai svarbu nuolatos stebėti kokia yra izoliacijos būklė tam tikru laiko momentu, jei norima tinkamai toliau eksploatuoti įrenginį.

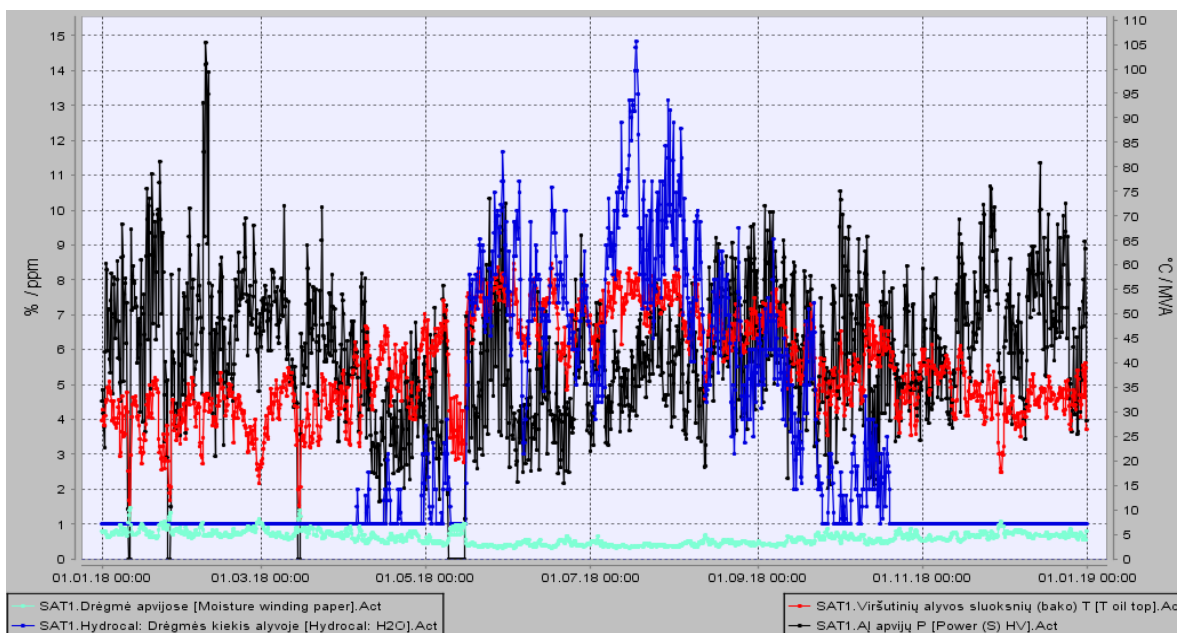
2.1. Situacijos apžvalga

Naudojant pažangią monitoringo sistemą buvo stebima 12 Lietuvos energetikos sistemoje naudojamų autotransformatorių izoliacinės alyvos būklė. Žemiau išvardinti tiriami įrenginiai:

- 1) Jonavos AT – 1;
- 2) Jonavos AT – 2;
- 3) Jurbarko AT – 1;
- 4) Jurbarko AT – 2;
- 5) Šiaulių AT – 1;
- 6) Šiaulių AT – 2;
- 7) Kauno AT – 1;
- 8) Klaipėdos AT – 1;
- 9) Klaipėdos AT – 2;
- 10) Panevėžio AT – 1;
- 11) Panevėžio AT – 2;
- 12) Telšių AT – 1;

Duomenys sistemoje buvo fiksuojami pasirinktinai, kas 3-6 valandas, todėl paros eigoje buvo galima pamatyti 3 šių parametų reikšmes (5 pav.):

- Drėgmės kiekio alyvoje, ppm;
- Drėgmės kiekio apvijose (popierinėje izoliacijoje), %;
- Esamos apkrovos, MVA;
- Alyvos temperatūros, °C;



5 pav. Monitoringo sistemos rezultatų paros eigoje grafikas

Iš šio turimo monitoringo sistemos grafiko paros eigoje matosi, jog duomenų yra ganėtinai nemažai ir sunku daryti kokias nors išvadas, nes pokyčiai praktiškai nepastebimi. Todėl iš pradžių nuspręsta atlikti duomenų vidurkinimo skaičiavimus savaitės bėgyje, t.y., imti 1 vidutinę reikšmę kiekvienoje savaitėje ties pasirinktu parametru. Tokiu atveju gaunamos ~ 52 reikšmės kiekvienais metais. Bet tada buvo susidurta su problema, jog kiekvienas AT stebimas 3 – 6 metus, todėl tapo sudėtinga visa tai atvaizduoti grafiškai ir pokyčiai nors ir tapo matomi, bet labai minimalūs, jog būtų galima susidaryti tam tikrą nuomonę apie vieną ar kitą įrenginį. Todėl buvo galutinai nuspręsta atlikti skaičiavimus mėnesio eigoje, t.y. imti 1 vidutinę to mėnesio reikšmę ties pasirinktu parametru.

2.2. Pradinių skaičiavimų rezultatai

Norint objektyviai vertinti monitoringo sistemos duomenis iš pradžių atliekami vidurkinimo skaičiavimai visiems AT. Žemiau esančiame 6 pav. parodyta, kaip atrodo pradiniai monitoringo sistemos duomenys:

	SAT1.Drėgmė apvijose [Moisture winding paper].Act		SAT1.Hydrocal: Drėgmės kiekis alyvoje [Hydrocal: H2O].Act		SAT1.Viršutinių alyvos sluoksnių (bako) T [T oil top].Act		SAT1.A) apvijų P [Power (S) HV).Act
2017-04-01 00:00:00,013	0,410392	2017-04-01 00:00:00,013	5	2017-04-01 00:00:00,013	50,439622	2017-04-01 00:00:00,013	25,765663
2017-04-01 06:00:00,003	0,510905	2017-04-01 06:00:00,003	5,333333	2017-04-01 06:00:00,003	43,057299	2017-04-01 06:00:00,003	29,810747
2017-04-01 12:00:00,007	0,470856	2017-04-01 12:00:00,007	6,5	2017-04-01 12:00:00,007	46,795219	2017-04-01 12:00:00,007	28,689003
2017-04-01 18:00:00,013	0,422872	2017-04-01 18:00:00,013	8	2017-04-01 18:00:00,013	50,37687	2017-04-01 18:00:00,013	30,901907
2017-04-02 00:00:00,010	0,361461	2017-04-02 00:00:00,010	9	2017-04-02 00:00:00,010	54,587368	2017-04-02 00:00:00,010	23,398427
2017-04-02 06:00:00,010	0,341759	2017-04-02 06:00:00,010	9	2017-04-02 06:00:00,010	58,123636	2017-04-02 06:00:00,010	29,486517
2017-04-02 12:00:00,010	0,305313	2017-04-02 12:00:00,010	9,5	2017-04-02 12:00:00,010	60,69863	2017-04-02 12:00:00,010	31,867284
2017-04-02 18:00:00,007	0,333327	2017-04-02 18:00:00,007	11	2017-04-02 18:00:00,007	57,083809	2017-04-02 18:00:00,007	34,441324
2017-04-03 00:00:00,010	0,321664	2017-04-03 00:00:00,010	10,833333	2017-04-03 00:00:00,010	58,219685	2017-04-03 00:00:00,010	20,991238
2017-04-03 06:00:00,007	0,362311	2017-04-03 06:00:00,007	9,833333	2017-04-03 06:00:00,007	54,588433	2017-04-03 06:00:00,007	42,343611
2017-04-03 12:00:00,000	0,397851	2017-04-03 12:00:00,000	8,5	2017-04-03 12:00:00,000	52,081008	2017-04-03 12:00:00,000	47,16219
2017-04-03 18:00:00,013	0,46768	2017-04-03 18:00:00,013	7,166667	2017-04-03 18:00:00,010	46,524064	2017-04-03 18:00:00,013	42,363748
2017-04-04 00:00:00,010	0,431237	2017-04-04 00:00:00,010	6	2017-04-04 00:00:00,010	48,476087	2017-04-04 00:00:00,010	26,036187
2017-04-04 06:00:00,013	0,427296	2017-04-04 06:00:00,013	5	2017-04-04 06:00:00,013	47,47318	2017-04-04 06:00:00,013	45,976512
2017-04-04 12:00:00,007	0,425338	2017-04-04 12:00:00,007	5	2017-04-04 12:00:00,007	50,995526	2017-04-04 12:00:00,007	46,983594
2017-04-04 18:00:00,003	0,398352	2017-04-04 18:00:00,003	5	2017-04-04 18:00:00,003	53,049275	2017-04-04 18:00:00,003	41,734972
2017-04-05 00:00:00,010	0,42688	2017-04-05 00:00:00,010	5	2017-04-05 00:00:00,010	48,322857	2017-04-05 00:00:00,010	26,441952
2017-04-05 06:00:00,003	0,513183	2017-04-05 06:00:00,003	5,333333	2017-04-05 06:00:00,003	42,953097	2017-04-05 06:00:00,003	43,131645
2017-04-05 12:00:00,003	0,571737	2017-04-05 12:00:00,003	5,166667	2017-04-05 12:00:00,003	39,587085	2017-04-05 12:00:00,003	45,55803

6 pav. Monitoringo sistemos duomenų kitimas paros eigoje

Turimi duomenys sutraukiami taip, jog būtų 1 vidutinė reikšmė mėnesio eigoje. Skaičiavimai atlikti naudojantis „MS Excel“ programa. Pavyzdys pateiktas 9 lentelėje.

9 lentelė. Šiaulių AT – 1 vidurkinimo skaičiavimų rezultatai 2017m.

2017 m.				
Data (mėnesis)	Drėgmės kiekis alyvoje, ppm	Drėgmės kiekis apvijose, %	Viršutinių alyvos sluoksnių (bako) temp., °C	AĮ apvijų galia, MVA
1	1,38	0,68	34,21	42,49
2	1,38	0,63	36,28	42,32
3	2,78	0,54	41,27	36,61
4	4,07	0,52	43,23	40,03
5	7,62	0,41	51,57	63,53
6	4,90	0,61	39,57	32,07
7	4,12	0,53	42,49	37,38
8	4,68	0,51	43,61	40,98
9	3,10	0,55	40,96	38,36
10	1,31	0,66	34,39	33,11
11	1,02	0,84	27,79	27,07
12	1,00	0,79	28,73	47,09

Priklausomai nuo įrenginio, AT būklės stebėjimo laikotarpis svyruoja nuo 3 iki 6 metų, todėl tokių lentelių su vidurkinimo rezultatais yra gana daug, turint omenyje, jog iš viso yra 12 įrenginių duomenys. Todėl visų 12 AT vidutinių reikšmių rezultatai pateikti 1 – 3 prieduose.

2.3. Bendri skaičiavimai grafiniam rezultatų atvaizdavimui

Norint gauti suminius visų 12 AT vidurkius iš pradžių reikia apskaičiuoti kiekvieno AT bendrą vidurį per visą jo būklės stebėjimo laikotarpį. Kaip jau minėta anksčiau, dėl nemažo duomenų kiekio skaičiavimuose, žemiau esančioje 10 lentelėje pateikti galutiniai kiekvieno įrenginio bendri vidurkiai.

10 lentelė. Viso laikotarpio įrenginių vidurkiai

Įrenginys	Jonavos AT-1	Jonavos AT-2	Jurbarko AT-1	Jurbarko AT-2	Kauno AT-1	Klaipėdos AT-1
Drėgmės kiekio apvijose vidurkis, %	0,78	0,55	0,78	0,78	0,63	0,73
Drėgmės kiekio alyvoje vidurkis, ppm	6,03	1,46	4,62	4,62	3,20	5,88
Įrenginys	Klaipėdos AT-2	Panevėžio AT-1	Panevėžio AT-2	Šiaulių AT-1	Šiaulių AT-2	Telšių AT-1
Drėgmės kiekio apvijose vidurkis, %	0,63	0,62	0,60	0,67	0,63	0,51
Drėgmės kiekio alyvoje vidurkis, ppm	1,29	13,26	2,74	4,63	1,74	2,03

Čia:

AD – drėgmės kiekis apvijose (popierinėje izoliacijoje), %;

DKA – drėgmės kiekis izoliacinėje alyvoje, ppm;

Apskaičiuojami visų 12 AT suminiai vidurkiai:

Apvijų drėgmės:

$$\Sigma_{ADvid} = \frac{AD_{Jon1} + AD_{Jon2} + AD_{Jur1} + \dots + AD_{Tel1}}{12} = \frac{0,78 + 0,55 + 0,78 + \dots + 0,51}{12} \approx 0,66 \% ; \quad (2.3.1.)$$

Izoliacinės alyvos drėgmės:

$$\Sigma_{DKAvid} = \frac{DKA_{Jon1} + DKA_{Jon2} + DKA_{Jur1} + \dots + DKA_{Tel1}}{12} = \frac{6,03 + 1,46 + 4,62 + \dots + 2,03}{12} \approx 4,29 \text{ ppm} ; \quad (2.3.2.)$$

Priklausomybiniuose grafikuose šie vidurkiai bus pažymėti raudona spalva.

Toliau skaičiuojami duomenys apvijų (popieriaus) drėgmės ir izoliacinės alyvos drėgmės atstojamosioms kreivėms sudaryti:

Apvijų (popieriaus) drėgmės kiekio atstojamoji:

Šiai kreivei sudaryti buvo skaičiuojami visų 12 AT apvijų drėgmės vidurkiai tam tikru laiko momentu. Pvz.: imamos visos 2018 metų visų AT apvijų drėgmės reikšmės balandžio mėnesį ir iš jų išvedamas aritmetinis vidurkis:

$$X_{ADvid(18-04)} = \frac{AD_{Jon1(18-04)} + AD_{Jon2(18-04)} + AD_{Jur1(18-04)} + \dots + AD_{Tel1(18-04)}}{12} = \frac{0,74 + 0,51 + 0,70 + \dots + 0,56}{12} \approx 0,63 \% ; \quad (2.3.3.)$$

Analogiški veiksmai atliekami ir su kitų metų ir mėnesių reikšmėmis.

Izoliacinės alyvos drėgmės kiekio atstojamoji:

Tokiais pačiais principais sudaroma ir alyvos drėgmės kiekio atstojamoji kreivė. Pvz.: imamos visos 2020 metų visų AT apvijų drėgmės reikšmės birželio mėnesį ir iš jų išvedamas aritmetinis vidurkis:

$$X_{DKAvid(20-06)} = \frac{DKA_{Jon1(20-06)} + DKA_{Jon2(20-06)} + DKA_{Jur1(20-06)} + \dots + DKA_{Tel1(20-06)}}{12} = \frac{9,96 + 2,92 + 5,90 + \dots + 2}{12} \approx 6,37 \text{ ppm} ; \quad (2.3.4.)$$

Analogiški veiksmai atliekami ir su kitų metų ir mėnesių reikšmėmis.

Abi šios priklausomybinės kreivės grafikuose bus žymimos punktyrine mėlyna linija.

Visi šių skaičiavimų rezultatai pateikti 11 lentelėje.

11 lentelė. Atstojamųjų kreivių sudarymo rezultatai

2016 m.												
Mėnesis	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Apvijų drėgmės vidurkis, %				0,57	0,60	0,52	0,49	0,50	0,50	0,55	0,59	0,60
Alyvos drėgmės, ppm				2,33	2,38	2,95	3,81	3,58	2,75	2,04	1,30	1,31
2017 m.												
Mėnesis	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Apvijų drėgmės vidurkis, %	0,73	0,67	0,61	0,63	0,63	0,66	0,57	0,56	0,59	0,66	0,69	0,71
Alyvos drėgmės, ppm	2,07	2,03	2,18	2,48	2,71	2,35	2,25	2,28	1,89	1,63	1,61	1,60
2018 m.												
Mėnesis	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Apvijų drėgmės vidurkis, %	0,95	0,78	0,70	0,63	0,58	0,76	0,73	0,55	0,59	0,64	0,85	0,67
Alyvos drėgmės, ppm	1,82	1,53	1,54	1,62	2,09	2,37	2,97	2,65	2,16	1,70	1,89	2,00
2019 m.												
Mėnesis	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Apvijų drėgmės vidurkis, %	0,72	0,69	0,71	0,70	0,67	0,60	0,59	0,61	0,71	0,69	0,69	0,77
Alyvos drėgmės, ppm	2,81	3,04	3,09	2,97	3,31	4,02	3,20	3,08	3,26	3,20	3,19	3,47
2020 m.												
Mėnesis	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Apvijų drėgmės vidurkis, %	0,78	0,80	0,71	0,72	0,81	0,69	0,75	0,69	0,75	0,67	0,70	0,80
Alyvos drėgmės, ppm	3,74	3,74	3,81	4,24	4,61	6,37	7,91	7,76	7,31	6,72	6,87	6,63
2021 m.												
Mėnesis	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Apvijų drėgmės vidurkis, %	0,73	0,69	0,79	0,72	0,63	0,51	0,48	0,58	0,63	0,59		
Alyvos drėgmės, ppm	6,71	6,80	7,06	6,67	6,62	7,21	8,38	7,57	6,79	6,63		

2.4. Turimų rezultatų grafinis perteikimas ir jų analizė

Nors šiame tyrime dalyvauja 12 autotransformatorių, bet nuspręsta analizuoti ne visus įrenginius, nes tarp kai kurių AT skaičiavimų rezultatų tam tikrą laiką galima pastebėti, jog reikšmės nesikeičia metus, kartais ir daugiau. Taip gali atsitikti, jei monitoringo sistemos analizatoriaus blokas yra sugedęs ir jį ne visada galima greitai pakeisti į naują, nes tam reikia atjungti AT, o galios transformatoriai atjungiami tik per planinius atjungimus.

Todėl tolimesnėje šio darbo dalyje nuspręsta nagrinėti šiuos įrenginius:

- Šiaulių AT – 1;
- Jurbarko AT – 1;
- Jonavos AT – 1;

Norint atlikti tam tikrus pasirinktų parametrų vertinimus, reikia žinoti leistinas normas. Remiantis AB Litgrid „Perdavimo tinklo įrenginių bandymų reglamentu“ [3] 12 lentelėje pateiktos leistinos vandens kiekio izoliacinėje alyvoje normos.

12 lentelė. Izoliacinės alyvos būklės vertinimo normos.

Izoliacinės alyvos kokybės rodiklis	Įrenginio vardinė įtampa ir alyvos būklės gradacija					
	110 kV			330 kV		
	Gera	Patenkinama	Bloga	Gera	Patenkinama	Bloga
Vandens kiekis, mg/l (ppm)	< 20	20-30	> 30	< 15	15-20	> 20

Kadangi bus nagrinėjami AT, tai toliau orientuojamasi į 330 kV įrenginių normas.

Taip pat iš tarptautinio standarto IEC 60422 [5] randamas leistinos popierinės apvijų izoliacijos drėgmės intervalas. Pasak šio šaltinio, esant gerai apvijų izoliacijos būklei šis intervalas svyruoja tarp 0,5 – 1 %.

Tolimesnėse įrenginių analizėse bus vertinami šių parametrų kitimai bėgant laikui:

- Drėgmės kiekis alyvoje, ppm;
- Drėgmės kiekis apvijose (popierinėje izoliacijoje), %;
- Esama įrenginio apkrovos, MVA;

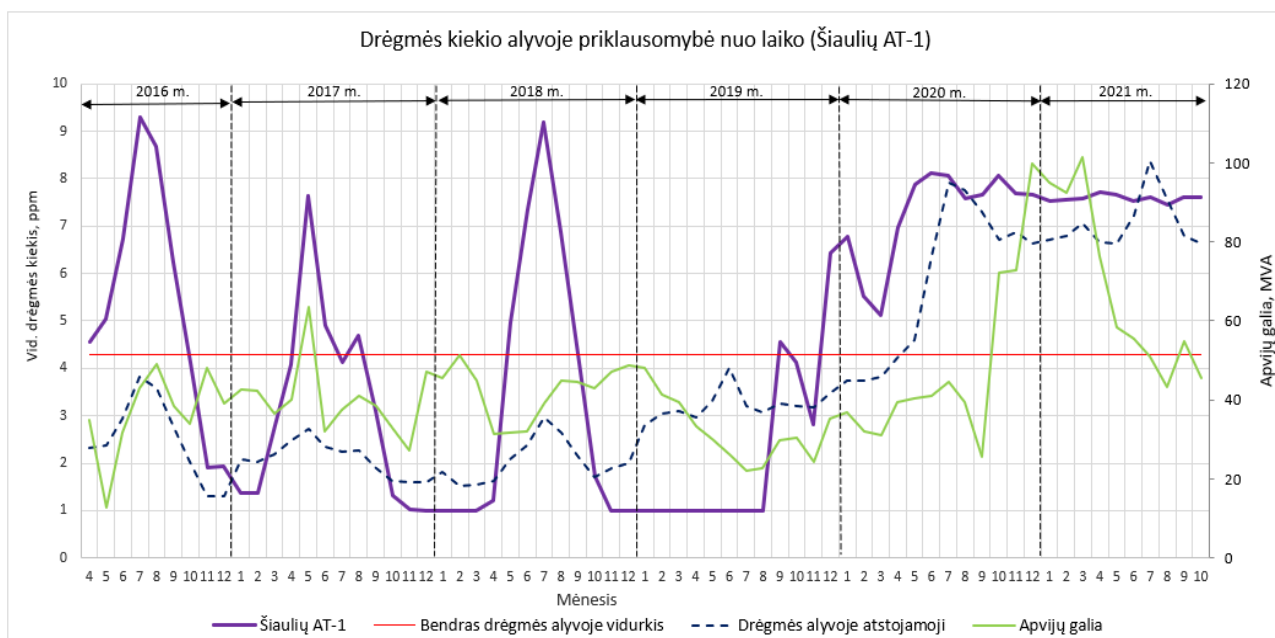
2.5. Šiaulių AT – 1 monitoringo sistemos rezultatų analizė

Žemiau esančioje 13 lentelėje pateikti Šiaulių AT – 1 gamykliniai duomenys. Šie duomenys gali padėti optimaliau vertinti turimus rezultatus.

13 lentelė. Šiaulių AT – 1 gamykliniai įrenginio duomenys.

Gamykliniai įrenginio duomenys	
Pastotė, skirstykla	Šiaulių TP
Dispečerinis pavadinimas	AT-1
Įrenginio tipas (markė)	ATDCTN-250000/330/110-74Y1
Gamyklinis Nr.	110602
Pagaminimo metai	2020
Gamintojas	ASTOR, Turkija

7 pav. grafiškai pateikti nagrinėjamo aukštos įtampos įrenginio pasirinktų parametrų pokyčiai nuo laiko.



7 pav. Šiaulių AT – 1 alyvos drėgmės kiekio priklausomybė nuo laiko

Violetine spalva grafike pažymėtas drėgmės kiekio kitimas laike, raudona – suminis visų AT vidurkis, mėlyna punktyrine – atstojamoji drėgmės kiekio alyvoje kreivė, o žalia – apkrovos pokyčiai bėgant laikui.

Kiekvienis stebimo laikotarpio metai grafike atskirti punktyrinėmis juodomis linijomis.

Pagrindiniai pastebėjimai:

Didžiausi drėgmės kiekiai užfiksuoti:

- 2016 m. liepą (9,30 ppm)
- 2017 m. gegužę (7,62 ppm)
- 2018 m. liepos mėnesį (9,19 ppm);

Mažiausi drėgmės alyvoje kieki matomi:

- 2016 m. gruodį (1,93 ppm);
- 2017 m. spalį (1,72 ppm);
- 2018 m. balandį (1,22 ppm);

Toliau randami didžiausi ir mažiausi nuokrypiai nuo atstojamosios kreivės. Imami vizualiai didžiausias ir mažiausias reikšmes turintys drėgmės kiekio alyvoje taškai:

Čia $DKA_{Max/Min}$ – didžiausios/mažiausios drėgmės kiekio alyvoje reikšmės tam tikru laikotarpiu.

$$DKA_{Max(18-07)} = 9,19 \text{ ppm};$$

$$DKA_{Min(19-11)} = 2,82 \text{ ppm};$$

$$DKA_{Max(17-05)} = 7,62 \text{ ppm};$$

$$DKA_{Min(18-10)} = 1,72 \text{ ppm};$$

$$DKA_{Max(16-07)} = 9,30 \text{ ppm};$$

$$DKA_{Min(20-07)} = 8,06 \text{ ppm};$$

Atstojamosios kreivės reikšmės reikiamuose taškuose (11 lentelė):

$$AK_{(18-07)} = 2,97 \text{ ppm}; \quad AK_{(19-11)} = 3,19 \text{ ppm};$$

$$AK_{(17-05)} = 2,71 \text{ ppm}; \quad AK_{(18-10)} = 1,70 \text{ ppm};$$

$$AK_{(16-07)} = 3,81 \text{ ppm}; \quad AK_{(20-07)} = 7,91 \text{ ppm};$$

Didžiausi nuokrypiai nuo atstojamosios kreivės:

Čia $\sigma_{Max/Min}$ – standartinio nuokrypio didžiausia/mažiausia reikšmė.

$$\sigma_{Max(18-07)} = |DKA_{Max(18-07)} - AK_{(18-07)}| = |9,19 - 2,97| = 6,22 \text{ ppm}; \quad (2.5.1.)$$

$$\sigma_{Max(17-05)} = |DKA_{Max(17-05)} - AK_{(17-05)}| = |7,62 - 2,71| = 4,91 \text{ ppm}; \quad (2.5.2.)$$

$$\sigma_{Max(16-07)} = |DKA_{Max(16-07)} - AK_{(16-07)}| = |9,30 - 3,81| = 5,49 \text{ ppm}; \quad (2.5.3.)$$

Išvada: Didžiausias nuokrypis pastebimas 2018 m. 07 mėn.

Mažiausi nuokrypiai nuo atstojamosios kreivės:

$$\sigma_{Min(19-11)} = |DKA_{Max(19-11)} - AK_{(19-11)}| = |2,82 - 3,19| = 0,37 \text{ ppm}; \quad (2.5.4.)$$

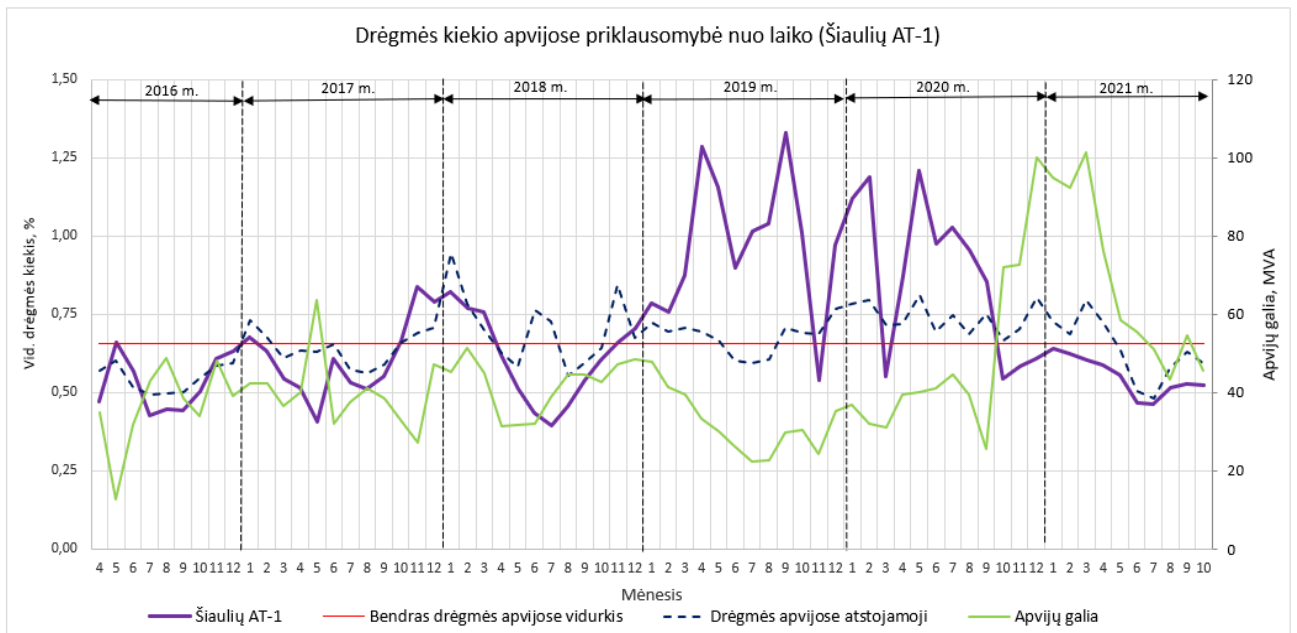
$$\sigma_{Min(18-10)} = |DKA_{Max(18-10)} - AK_{(18-10)}| = |1,72 - 1,70| = 0,02 \text{ ppm}; \quad (2.5.5.)$$

$$\sigma_{Min(20-07)} = |DKA_{Max(20-07)} - AK_{(20-07)}| = |8,06 - 7,91| = 0,17 \text{ ppm}; \quad (2.5.6.)$$

Išvada: Mažiausias nuokrypis pastebimas 2018 m. 10 mėn.

Laikotarpiai, kuomet drėgmės kiekio alyvoje reikšmės yra ~1 gali reikšti, jog yra galimas monitoringo sistemos alyvos būklės daviklio gedimas, kurį pakeisti užtrunka, o AT atjungti galima tik per planinius atjungimus. Taip pat daroma prielaida, jog didėjant apkrovai didėja ir drėgmės kiekis alyvoje.

Vykdomi analogiški veiksmai ir su drėgmės kiekio apvijose (popieriuje) grafiku (8 pav.).



8 pav. Šiaulių AT – 1 apvijų drėgmės kiekio priklausomybė nuo laiko

Spalvinis grafiko žymėjimas yra toks pats kaip ir drėgmės kiekio alyvoje priklausomybiniame grafike (7 pav.).

Pagrindiniai pastebėjimai:

Didžiausi drėgmės kiekiai užfiksuoti:

- 2020 m. 02 mėn. (1,19 %);
- 2019 m. 04 mėn. (1,28 %);
- 2020 m. 05 mėn. (1,21 %);

Mažiausi drėgmės alyvoje kiekiai matomi:

- 2016 m. 07 mėn. (0,43 %);
- 2017 m. 07 mėn. (0,53 %);
- 2021 m. 08 mėn. (0,51 %);

Toliau skaičiuojami didžiausi ir mažiausi nuokrypiai nuo atstojamosios kreivės. Imami vizualiai didžiausias ir mažiausias reikšmes turintys drėgmės kiekio apvijose taškai:

Drėgmės kiekio alyvoje reikšmės reikiamuose taškuose (1 priedas):

Čia $AD_{Max/Min}$ – didžiausios/mažiausios drėgmės kiekio alyvoje reikšmės tam tikru laikotarpiu.

$$AD_{Max(19-04)} = 1,28 \% ; \quad AD_{Min(17-05)} = 0,41 \% ;$$

$$AD_{Max(19-09)} = 1,33 \% ; \quad AD_{Min(17-01)} = 0,68 \% ;$$

$$AD_{Max(20-05)} = 1,21 \% ; \quad AD_{Min(21-07)} = 0,46 \% ;$$

Atstojamosios kreivės reikšmės reikiamuose taškuose (11 lentelė):

$$AK_{(19-04)} = 0,70 \% ; \quad AK_{(17-05)} = 0,63 \% ;$$

$$AK_{(19-09)} = 0,71 \% ; \quad AK_{(17-01)} = 0,73 \% ;$$

$$AK_{(20-05)} = 0,81 \% ; \quad AK_{(21-07)} = 0,48 \% ;$$

Didžiausi nuokrypiai nuo atstojamosios kreivės:

$$\sigma_{Max(19-04)} = |AD_{Max(19-04)} - AK_{(19-04)}| = |1,28 - 0,70| = 0,58 \% ; \quad (2.5.7.)$$

$$\sigma_{Max(19-09)} = |AD_{Max(19-09)} - AK_{(19-09)}| = |1,33 - 0,71| = 0,62 \% ; \quad (2.5.8.)$$

$$\sigma_{Max(20-05)} = |AD_{Max(20-05)} - AK_{(20-05)}| = |1,21 - 0,81| = 0,40 \% ; \quad (2.5.9.)$$

Išvada: Didžiausias nuokrypis pastebimas 2019 m. 09 mėn.

Mažiausi nuokrypiai nuo atstojamosios kreivės:

$$\sigma_{Min(17-05)} = |AD_{Min(17-05)} - AK_{(17-05)}| = |0,41 - 0,63| = 0,20 \% ; \quad (2.5.10.)$$

$$\sigma_{Min(17-01)} = |AD_{Min(17-01)} - AK_{(17-01)}| = |0,68 - 0,73| = 0,05 \% ; \quad (2.5.11.)$$

$$\sigma_{Min(21-07)} = |AD_{Min(21-07)} - AK_{(21-08)}| = |0,46 - 0,48| = 0,02 \% ; \quad (2.5.12.)$$

Išvada: Mažiausias nuokrypis pastebimas 2021 m. 07 mėn.

Remiantis tarptautiniu standartu IEC 60422 [5], gera apvijų izoliacijos būklė yra tada, kai apvijų drėgmės kiekis yra 0,5 – 1 %. Šiuo atveju iš grafiko (8 pav.) gaunama, jog laikotarpiai 2019 m. 04 – 08 mėn. bei 2020 m. 02 ir 05 mėn. apvijų drėgmės reikšmės užfiksuotos >1 %. Galima teigti, jog rastas per didelis drėgmės kiekis apvijose, tačiau nuo 2020 m. 09 mėn. buvo imtasi veiksmų drėgmei sumažinti.

Jei norima išsiaiškinti kiek dar AT apvijų izoliacija ir alyva gali tarnauti pakankamai geromis sąlygomis, tai bus sudaromi prognozuojami galimi drėgmės kiekio kitimai iki 2024 metų, t.y. iki artimiausios įrenginio techninės priežiūros atlikimo datos.

Visi prognozuojami kitimai buvo atliekami naudojant programoje MS Excel funkciją „FORECAST“. Prognozės sudaromos naudojant tendencingo kitimo kreivę (angl. – trendline), artimiausią esamam duomenų pokyčiui. Ši kreivė parenkama automatiškai. 14 lentelėje pateikiami visų nagrinėjamų AT prognozuojamos drėgmės reikšmės.

Oranžine spalva pažymėti langeliai, kuriuose esančios reikšmės viršija 330 kV GT leistinas drėgmės normas.

14 lentelė. Tiriamų įrenginių prognozuojamų drėgmės kiekių reikšmės.

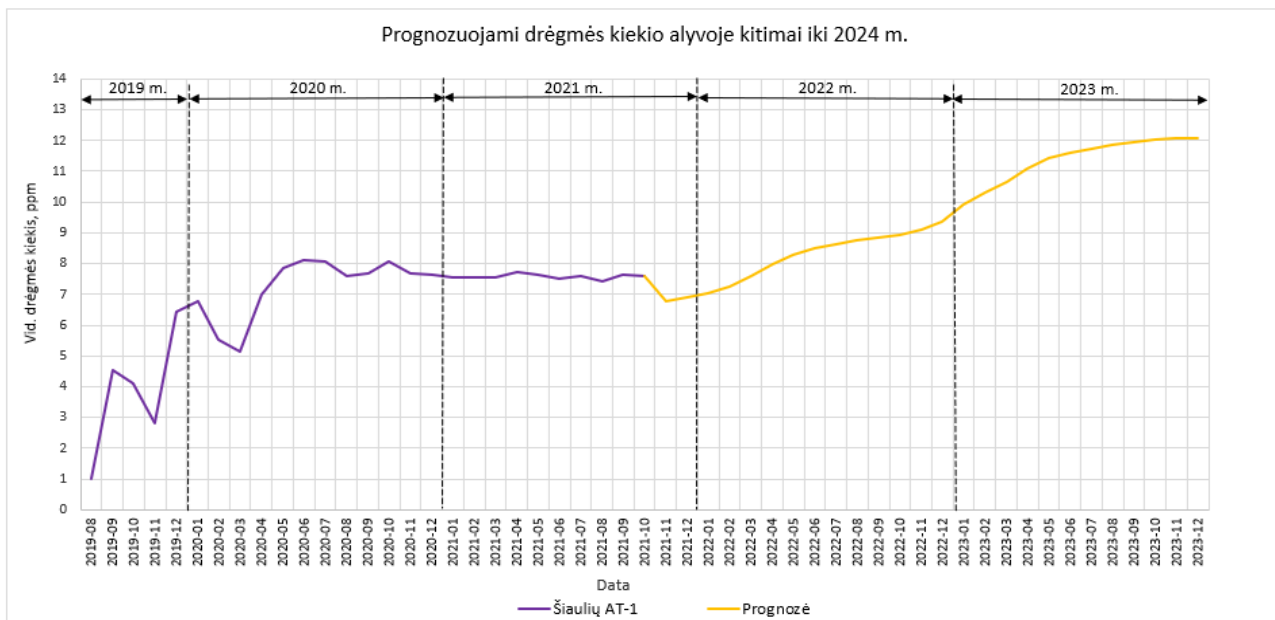
Data	Įrenginys					
	Šiaulių AT-1		Jurbarko AT-1		Jonavos AT-1	
	Drėgmė alyvoje, ppm	Drėgmė apvijose, %	Drėgmė alyvoje, ppm	Drėgmė apvijose, %	Drėgmė alyvoje, ppm	Drėgmė apvijose, %
2021-11	6,77	0,808	8,75	0,842	15,41	0,718
2021-12	6,89	0,807	9,11	0,855	12,74	0,720
2022-01	7,04	0,811	9,38	0,876	10,09	0,720
2022-02	7,27	0,813	9,66	0,885	11,53	0,701
2022-03	7,61	0,809	9,94	0,888	14,76	0,697
2022-04	7,97	0,804	10,27	0,889	18,05	0,684
2022-05	8,26	0,797	10,63	0,889	18,97	0,675
2022-06	8,49	0,792	11,20	0,884	19,81	0,659
2022-07	8,62	0,791	11,75	0,876	19,79	0,640
2022-08	8,76	0,790	12,25	0,868	19,65	0,622
2022-09	8,86	0,792	12,67	0,865	18,11	0,611
2022-10	8,95	0,790	13,07	0,864	16,90	0,602
2022-11	9,12	0,783	13,47	0,865	14,90	0,596
2022-12	9,38	0,772	13,85	0,868	11,96	0,596
2023-01	9,91	0,751	14,22	0,869	12,46	0,598
2023-02	10,30	0,741	14,56	0,866	15,20	0,592
2023-03	10,65	0,724	14,85	0,856	16,37	0,685
2023-04	11,09	0,701	15,23	0,833	13,52	0,657
2023-05	11,42	0,699	16,00	0,768	10,10	0,717
2023-06	11,60	0,714	16,50	0,702	11,36	0,724
2023-07	11,74	0,725	16,93	0,750	14,43	0,637
2023-08	11,86	0,785	17,70	0,590	14,96	0,599
2023-09	11,96	0,755	18,32	0,710	13,71	0,606
2023-10	12,03	0,786	18,77	0,820	13,21	0,645
2023-11	12,06	0,794	18,94	0,740	12,53	0,657
2023-12	12,08	0,783	19,50	0,760	13,09	0,702

Kadangi šiame darbe nagrinėjami keli įrenginiai, tai iškart atliekami visų AT prognozuojami drėgmės kitimai iki 2024 m. Jonavos AT – 1 ir Jurbarko AT – 2 prognozuojamos reikšmės bus panaudotos pastarųjų nagrinėjime.

Reikia paminėti, jog čia yra tik prognozės, tai nereiškia, jog jos yra visiškai tikslios ir taip su alyvos ir apvijų drėgme bus 2022 – 2023 m. MS Excel programa neatsižvelgia į tokius faktorius kaip aplinkos temperatūra ar krituliai, todėl jos yra preliminarios ir pati programa jas sudaro atsižvelgdama į tai kaip duomenys kito visą stebėjimo laikotarpį.

9 ir 10 pav. pateiktame grafike galima matyti, kaip potencialiai keisis atitinkamai drėgmės kiekis alyvoje ir apvijose Šiaulių AT – 1.

Šiaulių AT – 1 drėgmės kiekio alyvoje prognozės:



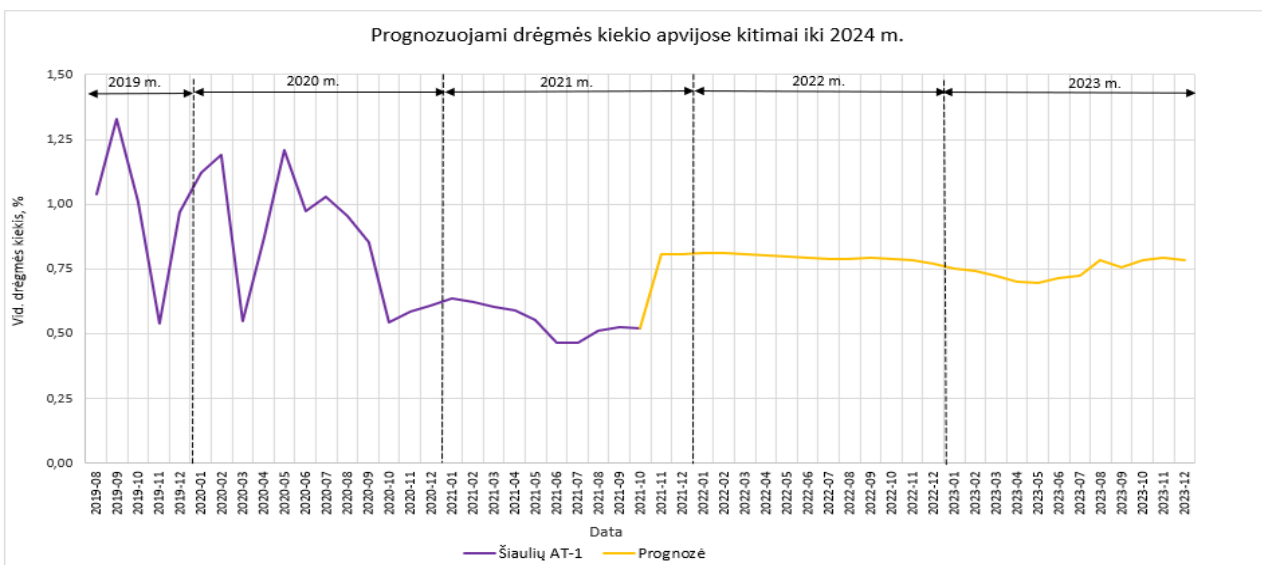
9 pav. Šiaulių AT – 1 prognozuojamos alyvos drėgmės kiekio reikšmės

Iš šio grafiko galima matyti, jog nuo prognozuojamo laikotarpio pradžios (2021 m. 10 mėn.) pirmus porą mėnesių reikšmės minimaliai sumažėjo, o vėliau prasideda laipsniškas kilimas. Prognozių reikšmių kitimo kreivės eiga turi logaritminės kreivės požymių, todėl apskaičiuojant jos reikšmes buvo naudota ši formulė:

$$y = 33,712 \cdot \ln(x) - 36,02; \quad (2.5.13.)$$

Nors reikšmės ir didėja, tačiau ties 2023 m. 09 mėn. padala jos nusistovi ir neperžengia leistinų normų (15 ppm). Tai reiškia, kad iki 2024 m. nenusimato, jog atsirastų poreikis izoliacinę alyvą džiovinti ar pakeisti nauja. Tikslesnėms prognozėms pravartų būtų atlikti ir chromatografinę analizę

Drėgmės kiekio apvijose prognozės:



10 pav. Šiaulių AT – 1 prognozuojamos apvijų drėgmės kiekio reikšmės

Šiame grafike pastebima, jog nuo prognozuojamo laikotarpio pradžios (2021 m. 10 mėn.) pirmus porą mėnesių reikšmės pakilo iki ~ 0,72 %, o šiek tiek vėliau situacija stabilizuojausi ir reikšmės išlaiko intervalą 0,7 – 0,8 %. Prognozinį reikšmių kitimo kreivės eiga laikui bėgant kinta beveik tiesiškai, todėl kreivės suformavimui buvo naudota ši formulė:

$$y = 1,1 \cdot e(x) + 1,3716 \quad (2.5.14.)$$

Šiuo atveju priimama, jog kintamojo e reikšmė yra ~ 2,71.

Nors 2019 – 2020 metais apvijų drėgmės reikšmės kito dažnai, nes galimai šis AT buvo atjungtas nuo tinklo ir atliekama techninė priežiūra siekiant pašalinti padidėjusį drėgmės kiekį apvijose. Vertinant prognozuojamus pokyčius nepastebima, jog iki 2024 m. kiltų rimtesnių problemų dėl apvijų drėgmės.

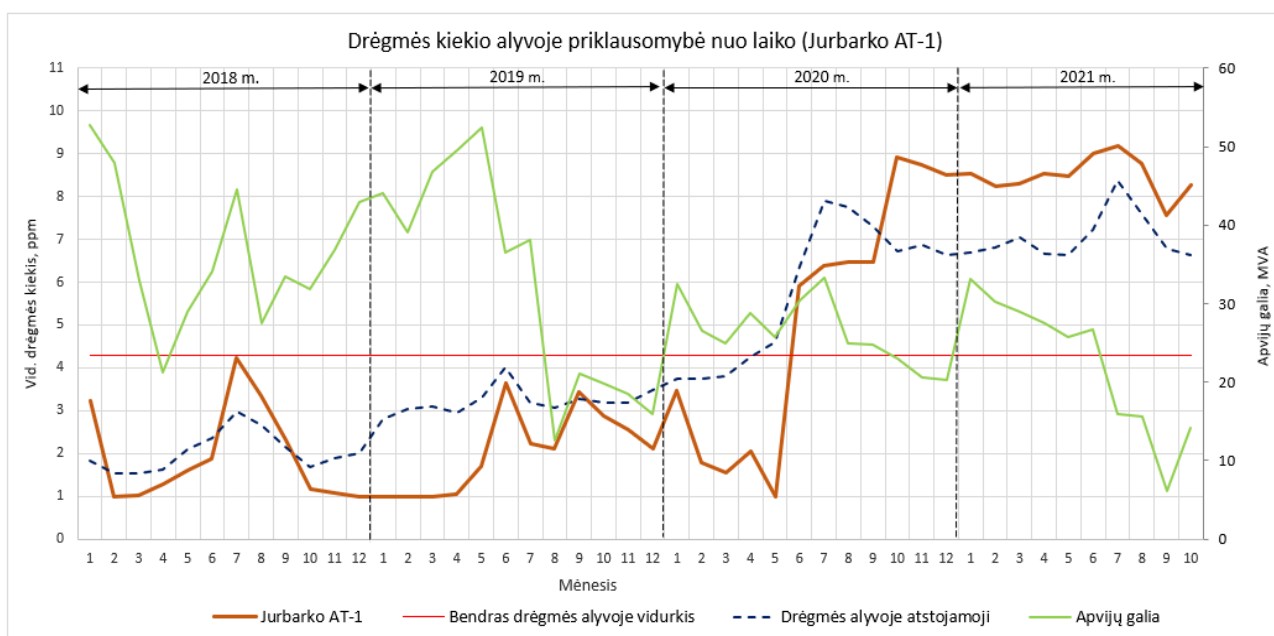
2.6. Jurbarko AT – 1 monitoringo sistemos rezultatų analizė

Žemiau esančioje 15 lentelėje pateikti Jurbarko AT – 1 gamykliniai duomenys. Šie duomenys gali praversti norint objektyviau vertinti turimus rezultatus.

15 lentelė. Jurbarko AT – 1 gamykliniai įrenginio duomenys.

Gamykliniai įrenginio duomenys	
Pastotė, skirstykla	Jurbarko TP
Dispečerinis pavadinimas	AT-1
Įrenginio tipas (markė)	ATDCTN-125000/330/PO-Y1
Gamyklinis Nr.	145469
Pagaminimo metai	1991
Gamintojas	ZTZ, Ukraina

11 pav. grafiškai pateikti nagrinėjamo aukštos įtampos įrenginio pasirinktų parametru pokyčiai nuo laiko.



11 pav. Jurbarko AT – 1 alyvos drėgmės priklausomybė nuo laiko

Rusva spalva grafike pažymėtas drėgmės kiekio kitimas laike, raudona – suminis visų AT vidurkis, mėlyna punktyrine – atstojamoji drėgmės kiekio alyvoje kreivė, o žalia – apkrovos pokyčiai bėgant laikui.

Pagrindiniai pastebėjimai:

Didžiausi drėgmės kiekiai užfiksuoti:

- 2020 m. 07 mėn. (8,90 ppm)
- 2021 m. 06 mėn. (9,02 ppm)
- 2021 m. 07 mėn. (9,19 ppm);

Mažiausi drėgmės alyvoje kieki matomi:

- 2018 m. 09 mėn. (1,18 ppm);
- 2019 m. 05 mėn. (1,69 ppm);
- 2018 m. 04 mėn. (1,30 ppm);

Toliau skaičiuojami didžiausi ir mažiausi nuokrypiai nuo atstojamosios kreivės. Iš grafiko (11 pav.) imami vizualiai didžiausias ir mažiausias reikšmes turintys drėgmės kiekio apvijose taškai:

Drėgmės kiekio alyvoje reikšmės reikiamuose taškuose (1 priedas):

Čia: $DKA_{Max/Min}$ – didžiausios/mažiausios drėgmės kiekio alyvoje reikšmės tam tikru laikotarpiu.

$$DKA_{Max(19-04)} = 1,06 \text{ ppm}; \quad DKA_{Min(20-01)} = 8,54 \text{ ppm};$$

$$DKA_{Max(20-10)} = 8,90 \text{ ppm}; \quad DKA_{Min(19-06)} = 3,63 \text{ ppm};$$

$$DKA_{Max(21-05)} = 8,47 \text{ ppm}; \quad DKA_{Min(20-06)} = 5,90 \text{ ppm};$$

Atstojamosios kreivės reikšmės reikiamuose taškuose (11 lentelė):

$$AK_{(19-04)} = 2,97 \text{ ppm}; \quad AK_{(20-01)} = 6,71 \text{ ppm};$$

$$AK_{(20-10)} = 6,72 \text{ ppm}; \quad AK_{(19-06)} = 4,02 \text{ ppm};$$

$$AK_{(21-05)} = 6,62 \text{ ppm}; \quad AK_{(20-06)} = 6,37 \text{ ppm};$$

Didžiausi nuokrypiai nuo atstojamosios kreivės:

Čia $\sigma_{Max/Min}$ – standartinio nuokrypio didžiausia/mažiausia reikšmė.

$$\sigma_{Max(19-04)} = |DKA_{Max(19-04)} - AK_{(19-04)}| = |1,06 - 2,97| = 1,91 \text{ ppm}; \quad (2.6.1.)$$

$$\sigma_{Max(20-10)} = |DKA_{Max(17-05)} - AK_{(17-05)}| = |8,90 - 6,72| = 2,18 \text{ ppm}; \quad (2.6.2.)$$

$$\sigma_{Max(21-05)} = |DKA_{Max(21-05)} - AK_{(21-05)}| = |8,47 - 6,62| = 2,25 \text{ ppm}; \quad (2.6.3.)$$

Išvada: Didžiausias nuokrypis pastebimas 2021 m. 05 mėn.

Mažiausi nuokrypiai nuo atstojamosios kreivės:

$$\sigma_{Min(20-01)} = |DKA_{Min(20-01)} - AK_{(20-01)}| = |8,54 - 6,71| = 1,83 \text{ ppm}; \quad (2.6.4.)$$

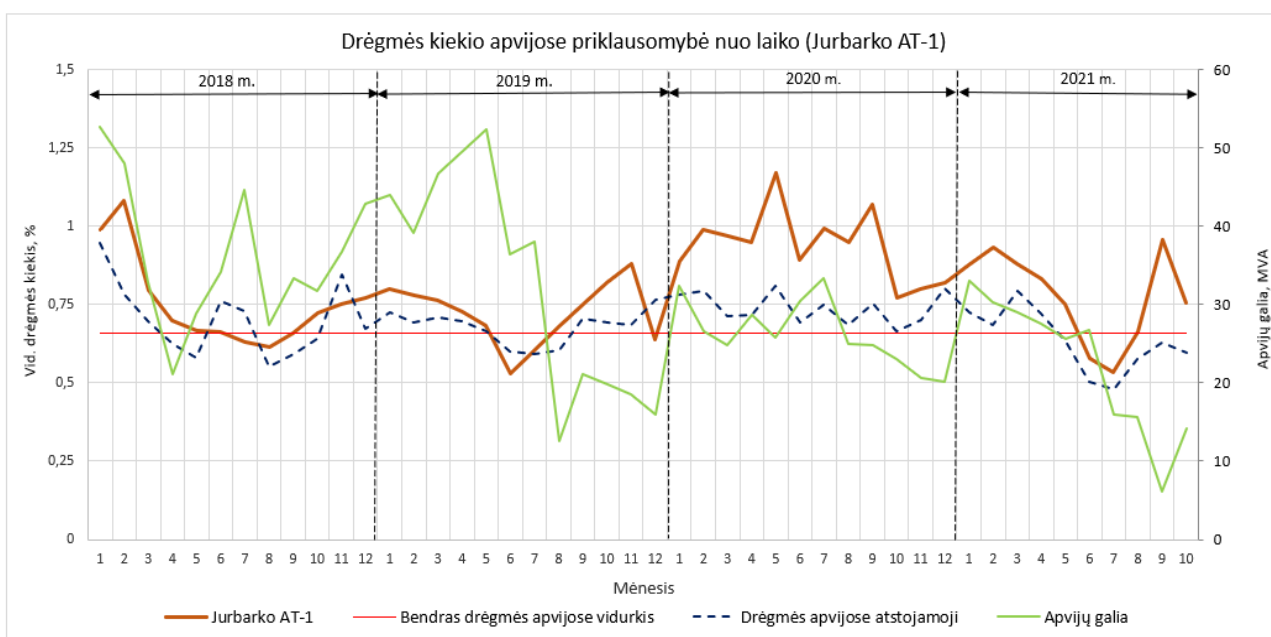
$$\sigma_{Min(19-06)} = |DKA_{Min(19-06)} - AK_{(19-06)}| = |3,63 - 4,02| = 0,39 \text{ ppm}; \quad (2.6.5.)$$

$$\sigma_{Min(20-06)} = |DKA_{Min(20-06)} - AK_{(20-06)}| = |5,90 - 6,37| = 0,47 \text{ ppm}; \quad (2.6.6.)$$

Išvada: Mažiausias nuokrypis pastebimas 2019 m. 06 mėn.

Kaip ir ankstesniame alyvos drėgmės kiekio grafike (7 pav.), taip ir šiame galima matyti, jog didėjant apkrovai mažėja alyvos drėgmės kiekis. Taip pat praktiškai nėra laikotarpių, kurie rodytų alyvos drėgmės kiekio daviklio gedimą. Toks matomas tik nuo 2018 m. 12 mėn. iki 2019 m. 04 mėn. Didesnė tikimybė, jog tuo metu buvo atliekama techninė priežiūra.

Atliekami analogiški veiksmai ir su drėgmės kiekio apvijose (popieriuje) grafiku (12 pav.)



12 pav. Jurbarko AT – 1 apvijų drėgmės kiekio priklausomybė nuo laiko

Spalvinis grafiko žymėjimas yra toks pats kaip ir drėgmės kiekio alyvoje priklausomybiniame grafike (9 pav.).

Pagrindiniai pastebėjimai:

Didžiausi drėgmės kiekiai užfiksuoti:

- 2020 m. 09 mėn. (1,07 %);
- 2020 m. 05 mėn. (1,17 %);
- 2018 m. 02 mėn. (1,08 %);

Mažiausi drėgmės alyvoje kiekiai matomi:

- 2018 m. 08 mėn. (0,61 %);

- 2019 m. 06 mėn. (0,53 %);
- 2018 m. 07 mėn. (0,63 %);

Toliau skaičiuojami didžiausi ir mažiausi nuokrypiai nuo atstojamosios kreivės. Iš grafiko (10 pav.) imami vizualiai didžiausias ir mažiausias reikšmes turintys drėgmės kiekio apvijose taškai:

Drėgmės kiekio apvijose reikšmės reikiamuose taškuose (1 priedas):

Čia $AD_{Max/Min}$ – didžiausios/mažiausios drėgmės kiekio alyvoje reikšmės tam tikru laikotarpiu.

$$AD_{Max(20-05)} = 1,17 \% ; \quad AD_{Min(18-08)} = 0,61 \% ;$$

$$AD_{Max(21-09)} = 0,96 \% ; \quad AD_{Min(19-05)} = 0,68 \% ;$$

$$AD_{Max(20-09)} = 1,07 \% ; \quad AD_{Min(19-09)} = 0,75 \% ;$$

Atstojamosios kreivės reikšmės reikiamuose taškuose (11 lentelė):

$$AK_{(20-05)} = 0,81 \% ; \quad AK_{(18-08)} = 0,55 \% ;$$

$$AK_{(21-09)} = 0,63 \% ; \quad AK_{(19-05)} = 0,67 \% ;$$

$$AK_{(20-09)} = 0,75 \% ; \quad AK_{(19-09)} = 0,71 \% ;$$

Didžiausi nuokrypiai nuo atstojamosios kreivės:

$$\sigma_{Max(20-05)} = |AD_{Max(20-05)} - AK_{(20-05)}| = |1,17 - 0,81| = 0,36 \% ; \quad (2.6.7.)$$

$$\sigma_{Max(21-09)} = |AD_{Max(21-09)} - AK_{(21-09)}| = |0,96 - 0,63| = 0,33 \% ; \quad (2.6.8.)$$

$$\sigma_{Max(20-09)} = |AD_{Max(20-09)} - AK_{(20-09)}| = |1,07 - 0,75| = 0,32 \% ; \quad (2.6.9.)$$

Išvada: Didžiausias nuokrypis pastebimas 2020 m. 05 mėn.

Mažiausi nuokrypiai nuo atstojamosios kreivės:

$$\sigma_{Min(18-08)} = |AD_{Min(18-08)} - AK_{(18-08)}| = |0,61 - 0,55| = 0,06 \% ; \quad (2.6.10.)$$

$$\sigma_{Min(19-05)} = |AD_{Min(19-05)} - AK_{(19-05)}| = |0,68 - 0,67| = 0,01 \% ; \quad (2.6.11.)$$

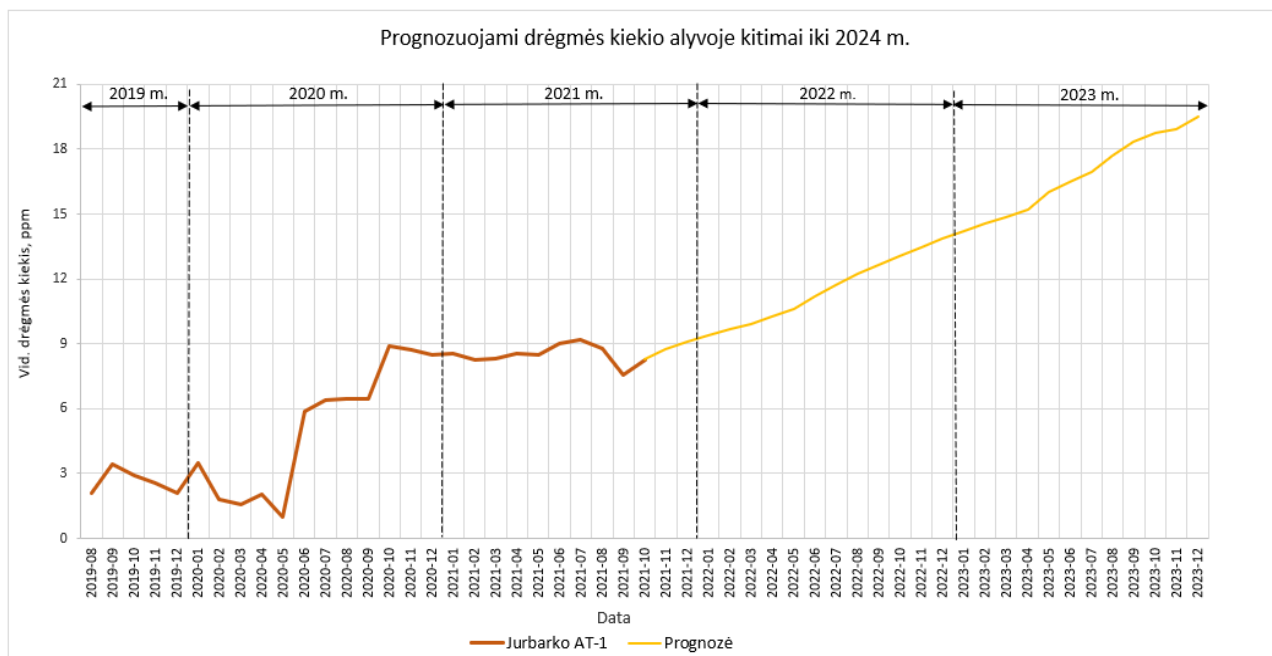
$$\sigma_{Min(19-09)} = |AD_{Min(19-09)} - AK_{(19-09)}| = |0,75 - 0,71| = 0,04 \% ; \quad (2.6.12.)$$

Išvada: Mažiausias nuokrypis pastebimas 2019 m. 05 mėn.

Dabartiniame grafike (10 pav.) pastebima, jog iki 2019 m. 07 mėn. didėjant apkrovai kartu didėja ir apvijų drėgmei, o jau nuo 08 mėn. matomas atvirkštinis efektas. Sprendžiant apie apvijų izoliacijos būklę galima teigti, jog ji gera, nes beveik visą monitoringo laikotarpį leistinos normos (0,5 – 1 %) nebuvo viršytos, išskyrus 2018 m. 02 mėn., 2020 m. 05 ir 09 mėn. Iš kart po šių leistinų reikšmių peržengimo matoma, jog buvo atlikta techninė priežiūra šioms problemoms pašalinti.

Toliau sudaromi prognozuojamų drėgmės kiekių alyvoje ir apvijose grafikai (13 ir 14 pav.).

Drėgmės kiekio alyvoje prognozės:



13 pav. Jurbarko AT – 1 prognozuojamos alyvos drėgmės kiekio reikšmės

Rusva spalva grafike pažymėtas drėgmės kiekio kitimas laike, o geltona – prognozuojamas alyvos drėgmės reikšmių kitimas bėgant laikui. Preliminarios kitimo laike reikšmės suformuotos naudojant šią formulę:

$$y = 0,143x - 6,26; \quad (2.6.13.)$$

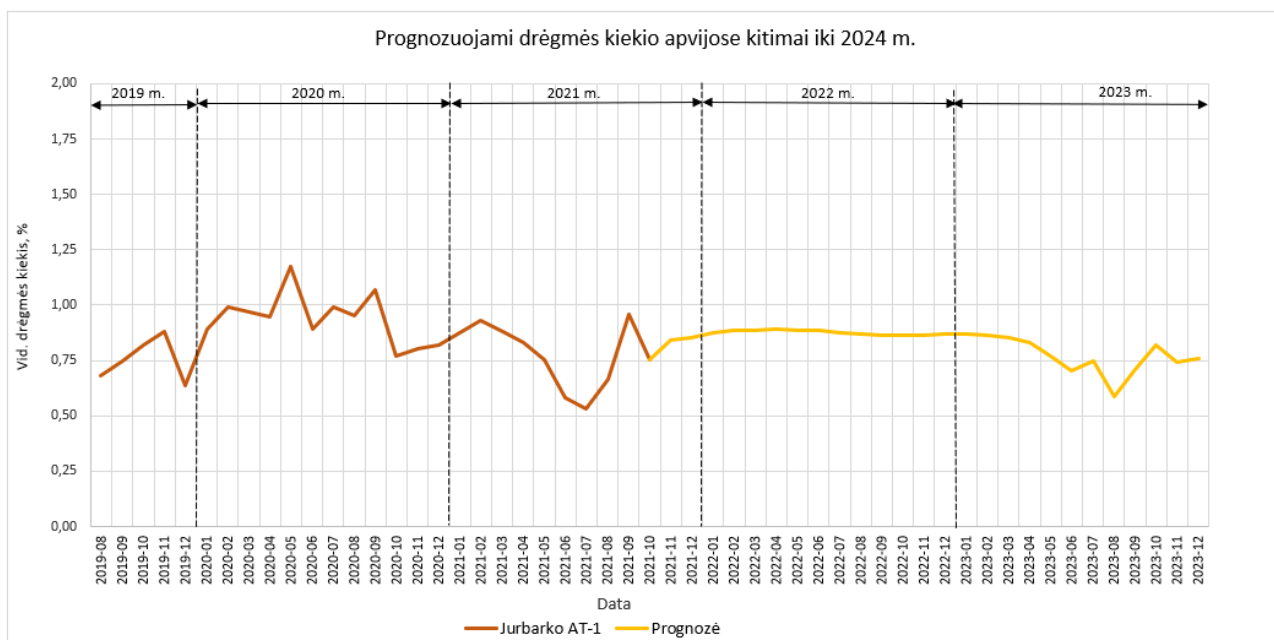
Visos prognozuojamos reikšmės surašytos 14 lentelėje.

Prognozuojamų reikmių grafikas indikuoja, jog tik prasidėjus numatomų reikšmių laikotarpiui daviklio rodmenys ženkliai didės, atsižvelgiant į viso stebimo laikotarpio pokyčius. Nors priklausomybė kyla daugmaž tiesiškai, tačiau tai rodo, jog 2023 m. 04 mėn. jau bus viršytas geros alyvos būklės limitas (15 ppm).

Jei nebus imtasi priemonių šitam defektui šalinti, tai potencialiai gali stipriai sumažinti šio AT tolimesnį eksploatacinį laikotarpį. Žinoma, esant tokiai situacijai reikėtų atlikti papildomus bandymus norint nustatyti, kiek realiai gali tapti bloga AT būklė.

Toliau atliekama apvijų drėgmės duomenų kitimo prognozė.

Drėgmės kiekio apvijose prognozės:



14 pav. Jurbarko AT – 1 prognozuojamos apvijų drėgmės kiekio reikšmės

Rusva spalva grafike pažymėtas drėgmės kiekio kitimas laike, o geltona – prognozuojamas alyvos drėgmės reikšmių kitimas bėgant laikui. Apytikslės kitimo laike reikšmės suformuotos naudojant šią formulę:

$$y = 0,0002x + 9,236 ; \quad (2.6.14.)$$

Visos prognozuojamos reikšmės surašytos 14 lentelėje

Iš 14 pav. patekto grafiko galima matyti, jog nuo 2021 m. 11 mėn. iki pat 2024m. prognozuojamos reikšmės neturi tendencijos viršyti leistinos normos (0,5 – 1 %). Numatomi monitoringo sistemos rezultatai svyruoja tarp 0,7 – 0,9 %. Keletas mažesnių reikšmių matomos 2023 m. 03 – 04 mėn., bet likusią laikotarpio dalį svyravimai minimalūs. Tai rodo, jog drėgmės kiekio apvijose pokyčiai potencialiai stabilizuosis ir neturėtų kilti didesnių bėdų. Žinoma, tai yra tik prognozės. Atsižvelgiant į jau ilgokai eksploatuojamą AT ir jo pagaminimo metus, reiktų laikytis numatyto techninės priežiūros ir remonto periodiškumo grafiko.

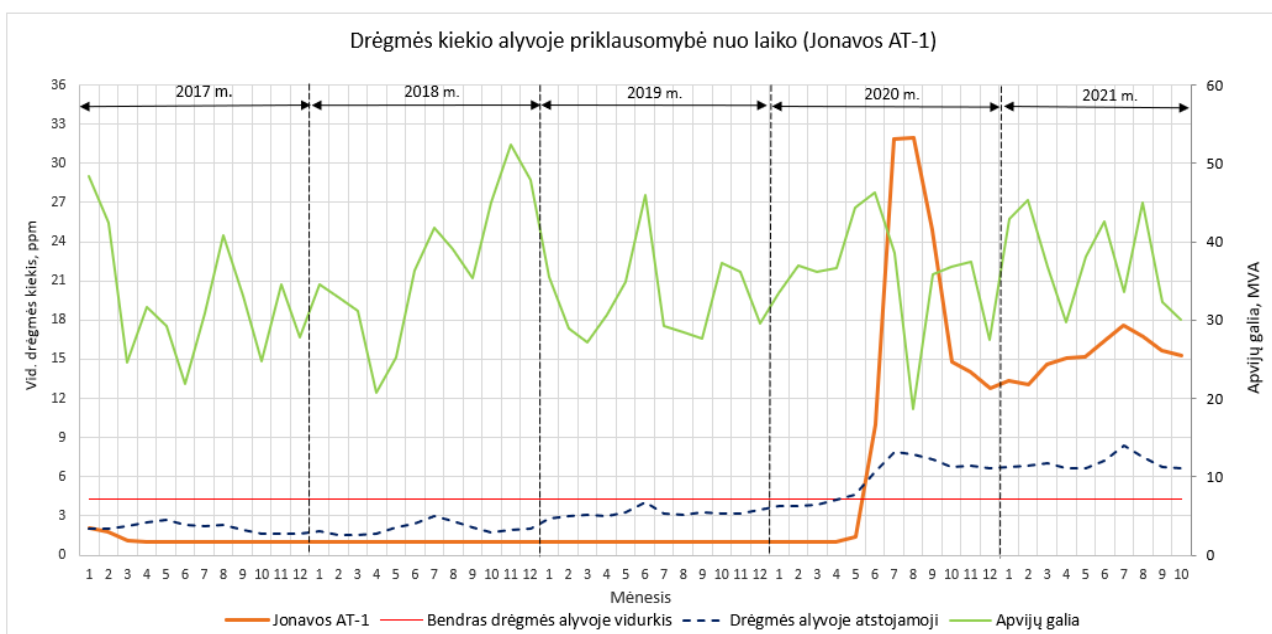
2.7. Jonavos AT – 1 monitoringo sistemos rezultatų analizė

Žemiau esančioje 16 lentelėje pateikti Jonavos AT – 1 gamykliniai duomenys. Šie duomenys gali praversti norint tiksliau vertinti turimus rezultatus.

16 lentelė. Jonavos AT – 1 gamykliniai įrenginio duomenys.

Gamykliniai įrenginio duomenys	
Dispečerinis pavadinimas	AT-1
Įrenginio tipas (markė)	ATDCTN-200000/330/110-74Y1
Gamyklinis Nr.	99051
Pagaminimo metai	1977
Gamintojas	ZTZ, Ukraina

11 pav. grafiškai pateikti nagrinėjamo aukštos įtampos įrenginio pasirinktų parametrų pokyčiai bėgant laikui.



15 pav. Jonavos AT – 1 alyvos drėgmės priklausomybė nuo laiko

Oranžine spalva grafike pažymėtas drėgmės kiekio kitimas laike, raudona – suminis visų AT vidurkis, mėlyna punktyrine – atstojamoji drėgmės kiekio alyvoje kreivė, o žalia – apkrovos pokyčiai bėgant laikui.

Pagrindiniai pastebėjimai:

Didžiausi drėgmės kiekiai užfiksuoti:

- 2020 m. 07 mėn. (31,83 ppm)
- 2020 m. 09 mėn. (24,96 ppm)
- 2021 m. 07 mėn. (17,59 ppm);

Mažiausi drėgmės alyvoje kieki matomi:

- 2020 m. 12 mėn. (12,75 ppm);
- 2021 m. 02 mėn. (13,02 ppm);
- 2021 m. 01 mėn. (13,34 ppm);

Toliau skaičiuojami didžiausi ir mažiausi nuokrypiai nuo atstojamosios kreivės. Iš grafiko (11 pav.) imami vizualiai didžiausias ir mažiausias reikšmes turintys drėgmės kiekio apvijose taškai:

Drėgmės kiekio alyvoje reikšmės reikiamuose taškuose (1 priedas):

$$DKA_{Max(21-07)} = 17,59 \text{ ppm};$$

$$DKA_{Min(20-12)} = 12,75 \text{ ppm};$$

$$DKA_{Max(20-07)} = 31,83 \text{ ppm};$$

$$DKA_{Min(20-10)} = 14,77 \text{ ppm};$$

$$DKA_{Max(20-08)} = 32 \text{ ppm};$$

$$DKA_{Min(21-03)} = 14,57 \text{ ppm};$$

Atstojamosios kreivės reikšmės reikiamuose taškuose (11 lentelė):

$$AK_{(21-07)} = 8,38 \text{ ppm}; \quad AK_{(20-12)} = 6,63 \text{ ppm};$$

$$AK_{(20-07)} = 7,91 \text{ ppm}; \quad AK_{(20-10)} = 6,72 \text{ ppm};$$

$$AK_{(20-08)} = 7,76 \text{ ppm}; \quad AK_{(21-03)} = 7,06 \text{ ppm};$$

Didžiausi nuokrypiai nuo atstojamosios kreivės:

$$\sigma_{Max(21-07)} = |DKA_{Max(21-07)} - AK_{(21-07)}| = |17,59 - 8,38| = 9,21 \text{ ppm}; \quad (2.7.1.)$$

$$\sigma_{Max(20-07)} = |DKA_{Max(20-07)} - AK_{(20-07)}| = |31,83 - 7,91| = 23,92 \text{ ppm}; \quad (2.7.2.)$$

$$\sigma_{Max(20-08)} = |DKA_{Max(20-08)} - AK_{(20-08)}| = |32 - 7,76| = 24,24 \text{ ppm}; \quad (2.7.3.)$$

Išvada: Didžiausias nuokrypis pastebimas 2020 m. 08 mėn.

Mažiausi nuokrypiai nuo atstojamosios kreivės:

$$\sigma_{Min(20-12)} = |DKA_{Min(20-12)} - AK_{(20-12)}| = |12,75 - 6,63| = 6,12 \text{ ppm}; \quad (2.7.4.)$$

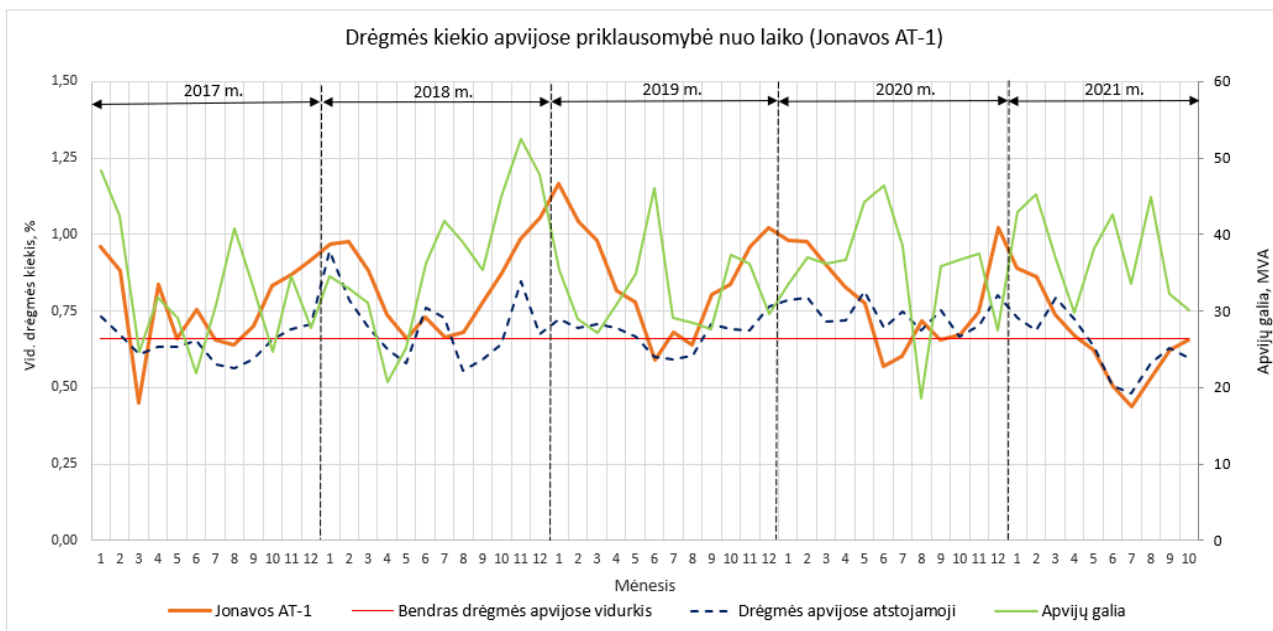
$$\sigma_{Min(20-10)} = |DKA_{Min(20-10)} - AK_{(20-10)}| = |14,77 - 6,72| = 8,05 \text{ ppm}; \quad (2.7.5.)$$

$$\sigma_{Min(21-03)} = |DKA_{Min(21-03)} - AK_{(21-03)}| = |14,57 - 7,06| = 7,51 \text{ ppm}; \quad (2.7.6.)$$

Išvada: Mažiausias nuokrypis pastebimas 2020 m. 12 mėn.

Kadangi priklausomybiniame grafike nuo iki 2020 m. 03 mėn. matomos reikšmės yra lygios arba panašios 1 ppm ilgą laiką, todėl šio laikotarpio vertinti negalima, nes tai rodo jog monitoringo sistemos alyvos būklės daviklis yra sugedęs, todėl duomenys nagrinėjami buvo nuo 2020 m. 04 mėn. Taip pat pastebima, jog tik išsprendus problemą su davikliu iškart buvo matoma, jog drėgmės kiekis alyvoje viršijo leistinas normas (12 lentelė), o tai rodo, kad alyvos būklė yra bloga ir turėtų būti atliekamas alyvos džiovinimas arba pakeitimas nauja. Verta paminėti, jog krentant apkrovai padidėja drėgmės kiekis alyvoje.

Toliau atliekami analogiški veiksmai ir su drėgmės kiekiu apvijose (popieriuje) grafiku (12 pav.)



16 pav. Jonavos AT – 1 apvijų drėgmės kiekio priklausomybė nuo laiko

Spalvinis grafiko žymėjimas yra lygiai toks pat kaip ir alyvos drėgmės kiekio priklausomybiniame grafike (11 pav.)

Pagrindiniai pastebėjimai:

Didžiausi drėgmės kiekiai užfiksuoti:

- 2019 m. 01 mėn. (1,17 %);
- 2020 m. 12 mėn. (1,02 %);
- 2018 m. 12 mėn. (1,06 %);

Mažiausi drėgmės alyvoje kieki matomi:

- 2021 m. 07 mėn. (0,44 %);
- 2017 m. 03 mėn. (0,45 %);
- 2019 m. 06 mėn. (0,59 %);

Toliau skaičiuojami didžiausi ir mažiausi nuokrypiai nuo atstojamosios kreivės. Iš grafiko (12 pav.) imami vizualiai didžiausias ir mažiausias reikšmes turintys drėgmės kiekio apvijose taškai:

$$AD_{Max(19-01)} = 1,17 \% ; \quad AD_{Min(18-01)} = 0,97 \% ;$$

$$AD_{Max(18-12)} = 1,06 \% ; \quad AD_{Min(20-08)} = 0,72 \% ;$$

$$AD_{Max(20-12)} = 1,02 \% ; \quad AD_{Min(19-06)} = 0,59 \% ;$$

Atstojamosios kreivės reikšmės reikiamuose taškuose (11 lentelė):

$$AK_{(19-01)} = 0,72 \% ; \quad AK_{(18-01)} = 0,95 \% ;$$

$$AK_{(18-12)} = 0,67 \% ; \quad AK_{(20-08)} = 0,69 \% ;$$

$$AK_{(20-12)} = 0,80 \% ; \quad AK_{(19-06)} = 0,60 \% ;$$

Didžiausi nuokrypiai nuo atstojamosios kreivės:

$$\sigma_{Max(19-01)} = |AD_{Max(19-01)} - AK_{(19-01)}| = |1,17 - 0,72| = 0,45 \% ; \quad (2.7.7.)$$

$$\sigma_{Max(18-12)} = |AD_{Max(18-12)} - AK_{(18-12)}| = |1,06 - 0,67| = 0,39 \% ; \quad (2.7.8.)$$

$$\sigma_{Max(20-12)} = |AD_{Max(20-12)} - AK_{(20-12)}| = |1,02 - 0,80| = 0,22 \% ; \quad (2.7.9.)$$

Išvada: Didžiausias nuokrypis pastebimas 2019 m. 01 mėn.

Mažiausi nuokrypiai nuo atstojamosios kreivės:

$$\sigma_{Min(18-01)} = |AD_{Min(18-01)} - AK_{(18-01)}| = |0,97 - 0,95| = 0,02 \% ; \quad (2.7.10.)$$

$$\sigma_{Min(20-08)} = |AD_{Min(20-08)} - AK_{(20-08)}| = |0,72 - 0,69| = 0,03 \% ; \quad (2.7.11.)$$

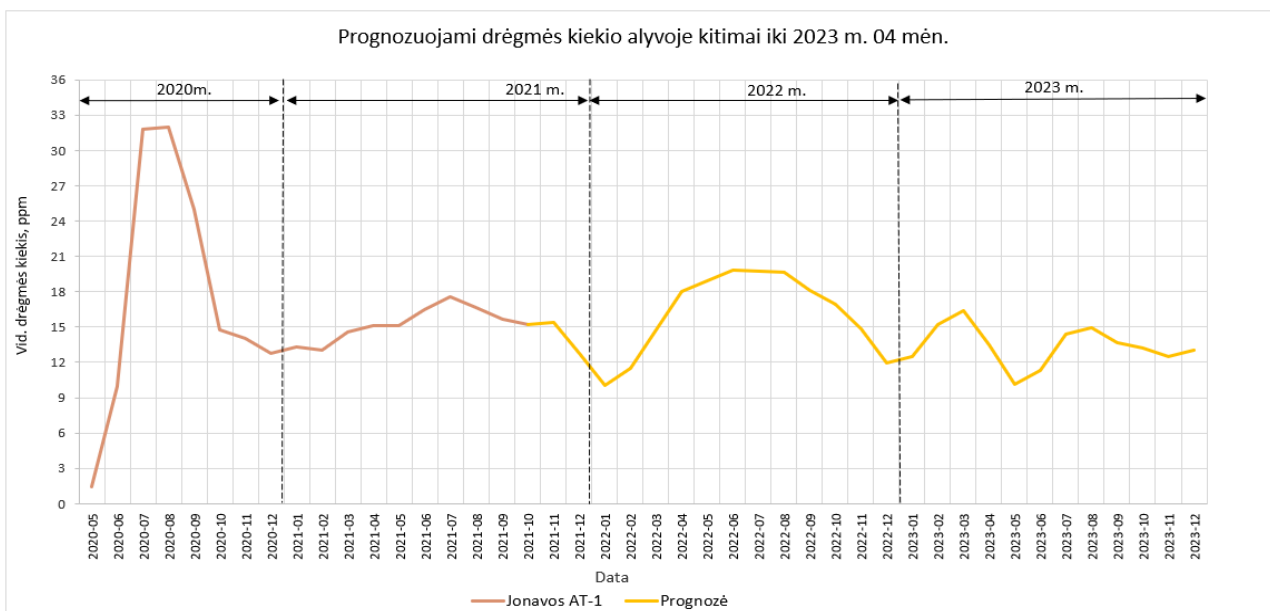
$$\sigma_{Min(19-06)} = |AD_{Min(19-06)} - AK_{(19-06)}| = |0,59 - 0,60| = 0,01 \% ; \quad (2.7.12.)$$

Išvada: Mažiausias nuokrypis pastebimas 2019 m. 06 mėn.

Atliekant šio AT apvijų drėgmės analizę pastebima, jog periodiškai apvijų drėgmės kiekis priartėja prie leistinos ribos arba ją peržengia. Taip nutinka maždaug kas 9 – 10 mėnesių. Tai gali reikšti, jog daviklis yra galimai blogai nustatytas daviklio jautrumas arba tinkamai neprižiūrima apvijų izoliacija techninės priežiūros ar remonto metu. Šiuo atveju didėjant apkrovai pagrinde kartu didėja ir drėgmė apvijose [14].

Drėgmės kiekio alyvoje prognozės:

Iš pav. pateikto priklausomybinio grafiko matoma, jog iki 2019 m. 08 mėn. monitoringo sistemos duomenys gana smarkiai kisdavo („šokinėdavo“), o jau nuo 09 mėn. iki 2021 m. 10 mėn. reikšmės kito eksponentiškai. 17 pav. pateiktame grafike galima pamatyti kaip potencialiai gali kisti drėgmės alyvoje reikšmės iki 2024m.



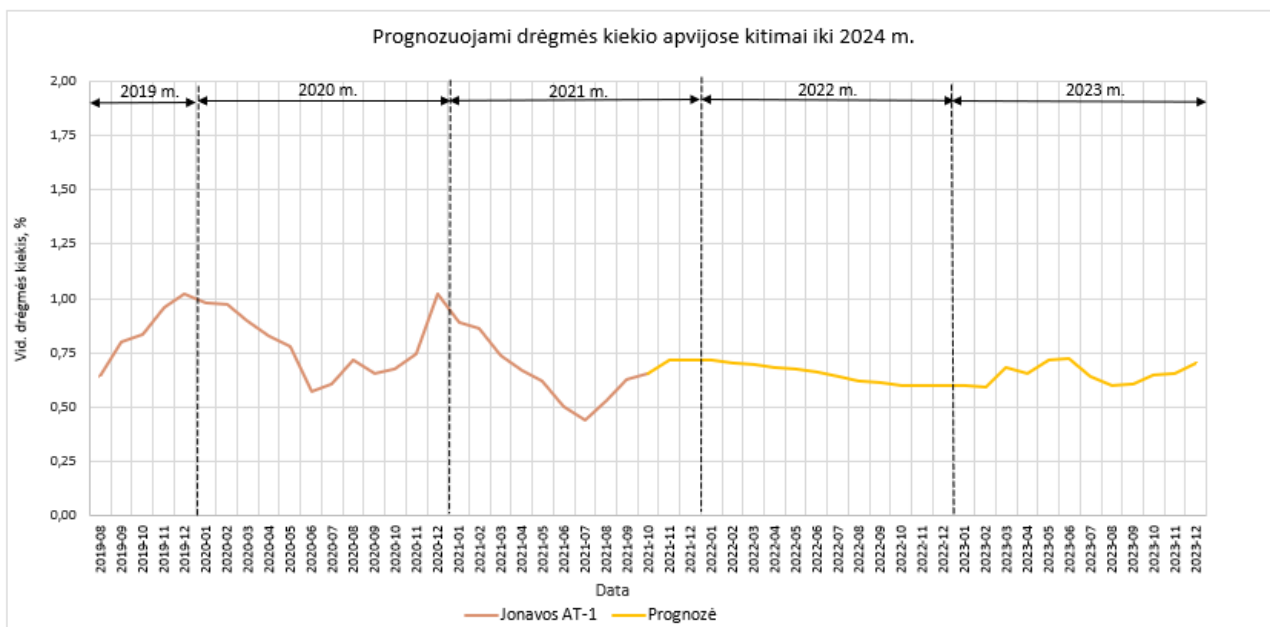
17 pav. Jonavos AT – 1 prognozuojami alyvos drėgmės kiekio kitimai

Remiantis ankstesnių metų duomenimis pastebima, jog ir prognozuojamo laikotarpio eigoje reikšmės svyruoja. Prognozuojamos reikšmės apskaičiuotos naudojant šią formulę:

$$y = 176,34 \cdot e^{-0,04} ; \quad (2.7.13.)$$

Turint omenyje, kad geros alyvos būklės rodiklis yra <15 ppm, matoma, kad reikšmės didžiąją 2022 m. dalį rodo patenkinamos būklės alyvos kokybę (15 – 20 ppm), tačiau blogos būklės (>20 ppm) nepasieka. Lyginant su Šiaulių ir Jurbarko AT, tai šio GT alyvos būklė yra blogiausia. Reikia atsižvelgti ir į tai, jog duomenys pradėti vertinti nuo 2020 m. 05 mėn. dėl jau anksčiau minėto galimo alyvos būklės daviklio nefunkcionavimo. Formuojant prognozes ilgesniam laikotarpiui gali būti, kad duomenų kitimas stabilizuotųsi ir taip „nebešokinėtų“ [14].

Drėgmės kiekio apvijose prognozės:



18 pav. Jonavos AT – 1 prognozuojami apvijų drėgmės kiekio kitimai

Ruda spalva žymima dabartinė apvijų drėgmės situacija Jonavos AT – 1, o geltona – preliminarios reikšmės iki 2024 m.

Numatomas drėgmės kiekio kitimas šio AT apvijose suformuojamas pagal šią formulę:

$$y = 0,004x^2 - 0,0384x + 8,627; \quad (2.7.14.)$$

Žiūrint į dabartinę situaciją dėl apvijų drėgmės kiekio (16 pav.) galima pastebėti, kad reikšmės dažnai kisdavo, tačiau atlikus prognozuojamų reikšmių skaičiavimus ir atvaizdavus rezultatus grafiškai matoma, jog tokių staigių duomenų šuolių nebėra, situacija stabilizuojasi. Prognozuojami apvijų drėgmės kiekiai telpa į intervalą 0,6 – 0,75 %. Tai rodo, jog situacija dėl apvijų drėgmės neturėtų pablogėti laikui bėgant. Trumpalaikiai minimalūs reiškinių padidėjimai 2023 m. numatyti atsižvelgiant į visą stebėjimo laikotarpį. Žinoma, tai yra tik prognozė ir po tam tikro laiko ji gali pasikeisti, todėl aklaai dabartine vadovautis negalima.

2.8. Bendri pastebėjimai

Šioje darbo dalyje buvo pasirinkta tuos įrenginius, kurie labiausiai skiriasi nuo suminio visų AT vidurkio ir atstojamųjų kreivių.

Labiausiai nutolę nuo visų vidutinių reikšmių buvo Jonavos AT – 1 monitoringo sistemos duomenys, bet reikia prisiminti, jog gana ilgą laiką alyvos būklės daviklis nefunkcionavo, bet kai buvo pakeistas nauju, tuomet parodė, kad alyvos būklė, vertinant pagal drėgmės kiekį joje, ne pati geriausia.

Šiaulių AT – 1 buvo šiek tiek arčiau vidutinių reikšmių, nes tai gana neseniai pradėtas eksploatuoti įrenginys, tačiau nukrypimų neišvengta.

Norint žinoti tikslesnę izoliacinės alyvos būklę reikėtų papildomai nustatyti ir kitus kokybinius rodiklius (pramušimo įtampą, rūgštingumą, mechaninių priemaišų kiekį), kad būtų galima galutinai nuspręsti ar dabar naudojama alyva tinkama tolimesnei eksploatacijai. Panašu į tai, jog Jonavos AT – 1 cirkuliuojančią alyvą gali tekti keisti naują, nes pats įrenginys pagamintas 1977 m., todėl alyvos siurbliai galimai tinkamai nefunkcionuoja.

Ne visos prognozuojamos reikšmės yra tikslios. MS Excel programa teigia, jog Šiaulių AT – 1 ir Jurbarko AT – 1 alyvos drėgmės kiekio prognozių tikslumas yra atitinkamai 78 ir 80 %. Jonavos AT – 1 prognozių tikslumas gana žemas, nes didžiąją stebimo laikotarpio dalį duomenys nekito ir laikėsi ties 1 ppm riba. Svarbu paminėti, jog formuojant šias prognozes nėra atsižvelgiama į apkrovos pakitimus, nes neaišku kokie bus galios poreikiai po kelių metų, nors tai potencialiai gali turėti įtakos tolimesnėms prognozėms.

3. Galios transformatoriaus bandymas dėl galimų dalinių išlydžių

Dalinis išlydis (toliau - DI) (angl. – partial discharge) yra elektros iškrova arba kibirkštis, dalinai trumpai sujungianti izoliacijos sluoksnį tarp dviejų laidžių elektrodų. Dalinis išlydis gali įvykti bet kurioje izoliacinės sistemos vietoje, kur elektrinio lauko stipris viršija tos izoliacinės medžiagos dalies skilimo stiprumą [12].

Dažniausiai sutinkami dalinių išlydžių tipai:

- **Vidiniai** (angl. – Internal PD) – pavojingiausias dalinių išlydžių tipas. Juos gana sunku aptikti, nes nėra girdimi ar juntami šį reiškinį indikuojantys garsai ir kvapai.
- **Paviršiniai** (angl. – Surface PD) – įprastai atsiranda visame izoliacijos paviršiuje. Tokio tipo išlydžiai skleidžia traškėjimo garsą ir juntamas ozono kvapas aplinkoje;
- **Vainikiniai** (angl. – Corona PD) – neretai girdimi lauko skirstyklose, ypač kai drėgna. Tokie išlydžiai aštriuose skirstyklų taškuose paprastai nėra kenksmingi. Tačiau šie išlydžiai vyksta uždaroje kameroje ir nėra oro srauto, kuris pašalintų chemines reakcijas, tai gali sukelti paviršinius dalinius išlydžius [12].

Dalinių išlydžių nustatymo bandymai skirstomi į bandymus prisijungus prie įrenginio ir bandymus neprisijungus. Šiame darbe bus nagrinėjami bandymai tiesiogiai prisijungus prie paties įrenginio.

3.1. Bandymų sąlygos

Šis eksperimentas buvo atliktas vėjo jėginių parkui priklausančioje pastotėje. Eksperimento metu buvo tiriamas 85 MVA galios 2014 m. pagamintas galios transformatorius. Patikrinimas vykdytas sąlygomis, surašytomis 17 lentelėje.

17 lentelė. Eksperimento atlikimo sąlygos

Patikrinimo sąlyga	Reikšmė
Aplinkos temperatūra, °C	7
Aplinkos drėgmė, %	60
Vėjo greitis, m/s	3
Aktyvinė galia, MW	72
Reaktyvinė galia, MVAR	1
Įrenginio apkrovimas, %	85

Eksperimento metu naudota įranga:

Atliekant šį bandymą naudotas akustinis DOBLE DFA300 dalinių išlydžių aptikimo prietaisas, dalinių išlydžių jutiklis R3 – ALPHA BR92 ir tiesioginio signalo dalinių išlydžių antena DOBLE DA100.

Dėl tikslesnių rezultatų matavimai buvo atliekami naudojant tiek tiesioginio signalo anteną, tiek daviklį tose pačiose GT korpuso vietose, išskyrus įvadus, nes tiriamas įrenginys buvo eksploatuojamas („po įtampa“), todėl šios dalys buvo nuskenuotos tik su antena.

Bandymo metu GT korpusas buvo tiriamas iš visų 4 pusių, taip pat žiūrėta pavaros valdymo spinta.

3.2. Eksperimento rezultatai

Norint nustatyti tam tikrus normaliomis darbo sąlygomis nesančius triukšmus reikia susikurti atskaitos sistemą (bazinę liniją), su kuria vėliau bus lyginami matavimų metu gautos reikšmės. Pasak įrangos gamintojo, norint susikurti reikiamą bazinę kreivę reikia nutolti nuo tiriamo objekto teritorijos apie 30 – 80 metrų bei stengtis nepagauti kitų pašalinių triukšmų. Bandymų metu gauti rezultatai apiforminti naudojant PD VIEWER V.10 programinį paketą.

DOBLE DFA300 įrenginys matuoja 50 – 1000 MHz dažnio diapazone, todėl grafikuose rezultatai išreikšti decibelmilivatais (dBm arba dBmW) prie tam tikro dažnio. Šie matavimo vienetai yra nesąlyginio lygio vienetas 1 mW (milivato) galios atžvilgiu. Šie matavimo vienetai įprastai naudojami telekomunikacijose [13].

Tolimesnėje darbo dalyje bazinė linija bus žymima juoda spalva, o matavimo metu tiek naudojant jutiklį, tiek tiesioginio signalo anteną gautas rezultatas – raudona spalva.

Žemiau esančiame 19 pav. parodytas realus tiriamojo GT vaizdas iš visų pusių:

- A – Vaizdas iš galinės pusės;
- B – Vaizdas iš pavaros spintos pusės;
- C – Vaizdas iš aukštos įtampos įvadų pusės;
- D – Vaizdas iš žemos įtampos įvadų pusės;



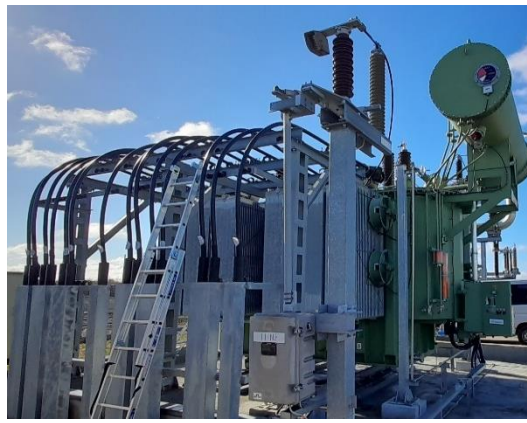
A



B



C



D

19 pav. Realus tiriamojo transformatoriaus vaizdas iš kelių pusių

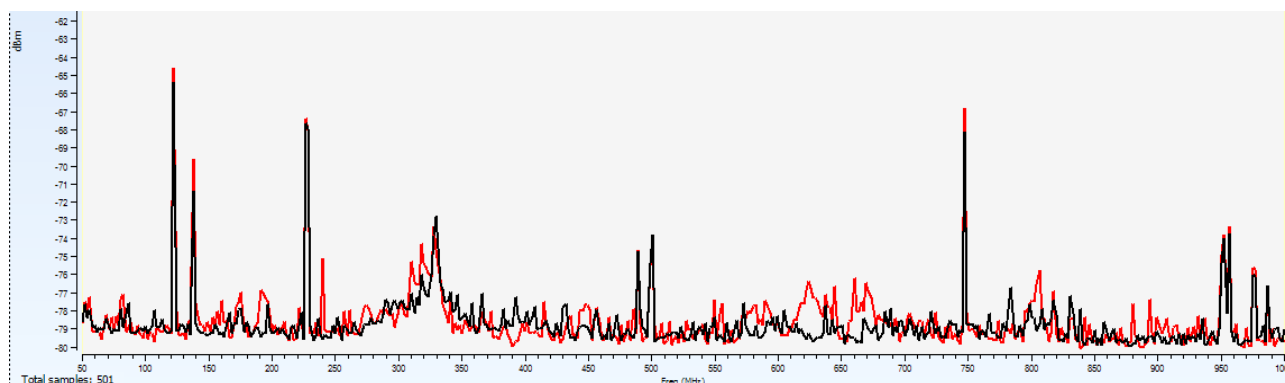
Matavimų rezultatai:

Kad būtų lengviau identifikuoti kokio tipo daliniai išlydžiai pastebimi grafikuose, žemiau esančioje 18 lentelėje pateikiama informacija, kuriuose dažnio intervaluose galima pamatyti tam tikrų išlydžių požymių [17].

18 lentelė. Defekto pobūdis pagal dažnį

Matavimo būdas	Dažnio intervalas, MHz	Galimi defektai
Jutiklis	50 - 250	Minimalūs kibirkščiavimai, DI požymiai sunkiai matomi
	250 - 500	Vainikiniai DI (korona)
	500 - 750	Vidiniams DI būdingi požymiai
	750 - 1000	Išoriniai DI (pvz.: blogai prijungti kontaktai)
Tiesioginio signalo antena	50 - 250	Minimalūs kibirkščiavimai, DI požymiai sunkiai matomi
	250 - 500	Vainikiniai DI (korona)
	500 - 750	Vidiniams ir išoriniams DI būdingi požymiai
	750 - 1000	Išoriniai DI (pvz.: blogai prijungti kontaktai)

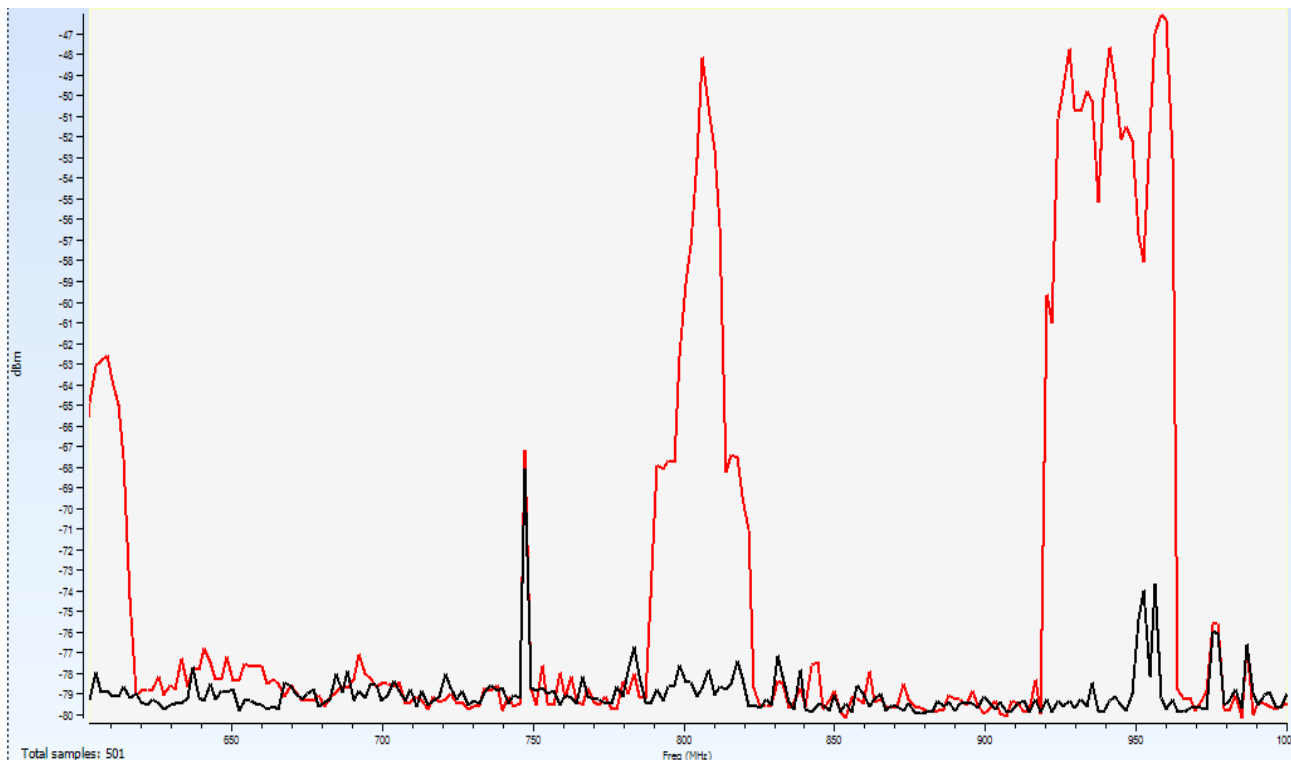
Svarbu paminėti, jog vidiniams DI būdingi požymiai dažniausiai aptinkami naudojant jutiklį, todėl kad jutiklis dedamas ant paties įrenginio korpuso, o su antena gana sudėtinga juos užfiksuoti.



20 pav. Matavimo rezultatai naudojant jutiklį (galinė korpuso pusė)

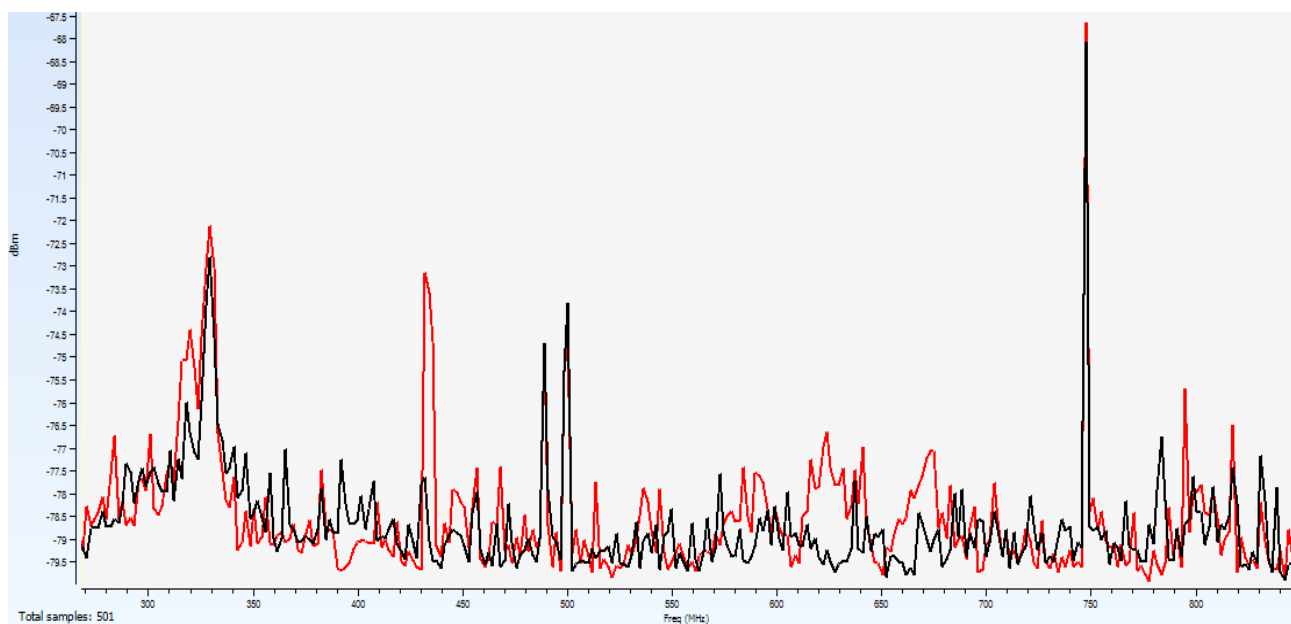
Atlikus matavimus iš šios korpuso pusės galima matyti, jog didžiausi nuokrypiai nuo bazinės linijos pastebėti ties 120, 230, 740 MHz dažnio reikšmėmis. Šiame grafike matomi vizualiai nedideli nuokrypiai nuo bazinės linijos, todėl iš šios pusės spręsti apie tam tikrus defektus gana sunku. Yra vainikinio išlydžio požymių.

21 pav. parodytas analogiškas matavimas, tik šį kartą naudota tiesioginio signalo antena.



21 pav. Matavimo rezultatai naudojant anteną (galinė korpuso pusė)

Iš šio grafiko vizualiai matoma, jog skirtumai tarp bazinės linijos ir išmatuotų rezultatų kreivės didesni nei 20 pav. Didžiausi nuokrypiai nuo bazinės linijos pastebėti ties 785 – 825 ir 920 – 960 MHz dažnio intervalais. Žiūrint iš šios pusės gali būti, kad čia užfiksuoti potencialūs daliniai išlydžiai įrenginio paviršiuje, pavyzdžiui, ant įvadų. Todėl reikėtų atlikti matavimus ir iš kitų įrenginio pusių.

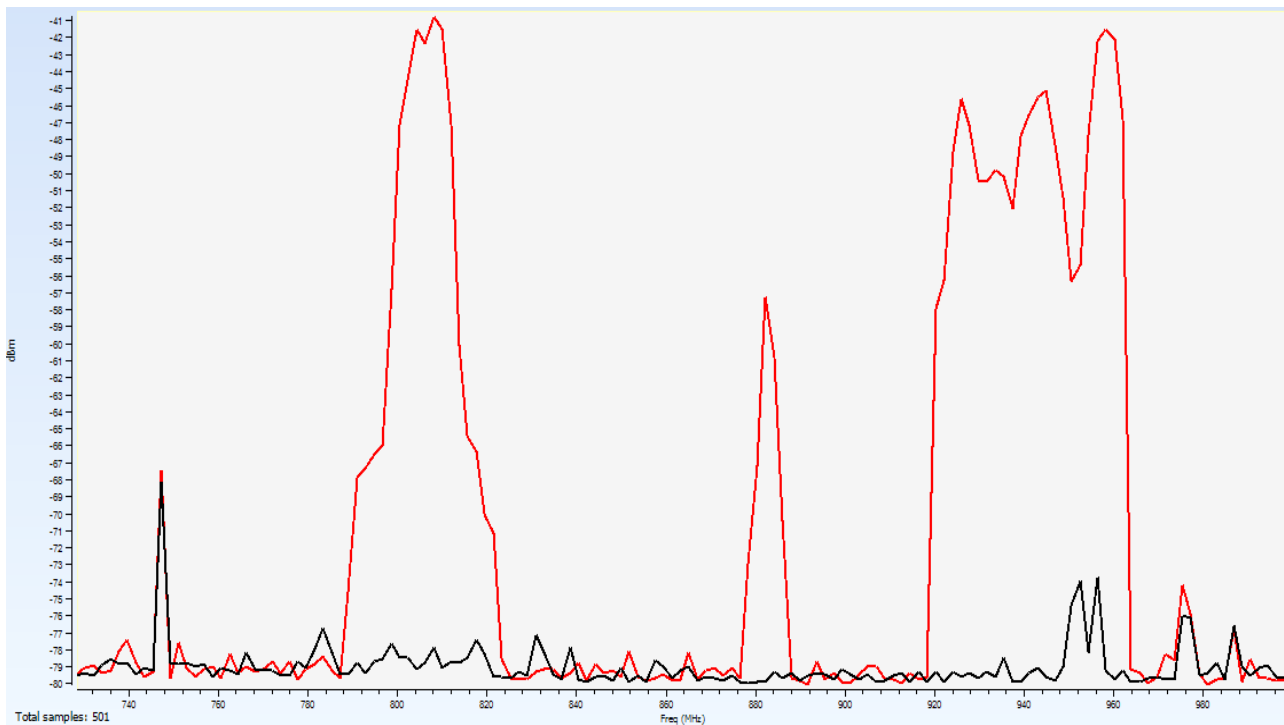


22 pav. Matavimo rezultatai naudojant jutiklį (korpuso pusė nuo pavaros spintos)

Šį kartą matavimus atliekant ant korpuso iš pavaros spintos pusės neatitikimų su bazine linija daugiau nei lyginant su ankstesniais matavimais. Didžiausi nuokrypiai (-41 dBm) nuo bazinės linijos pastebėti ties 435,

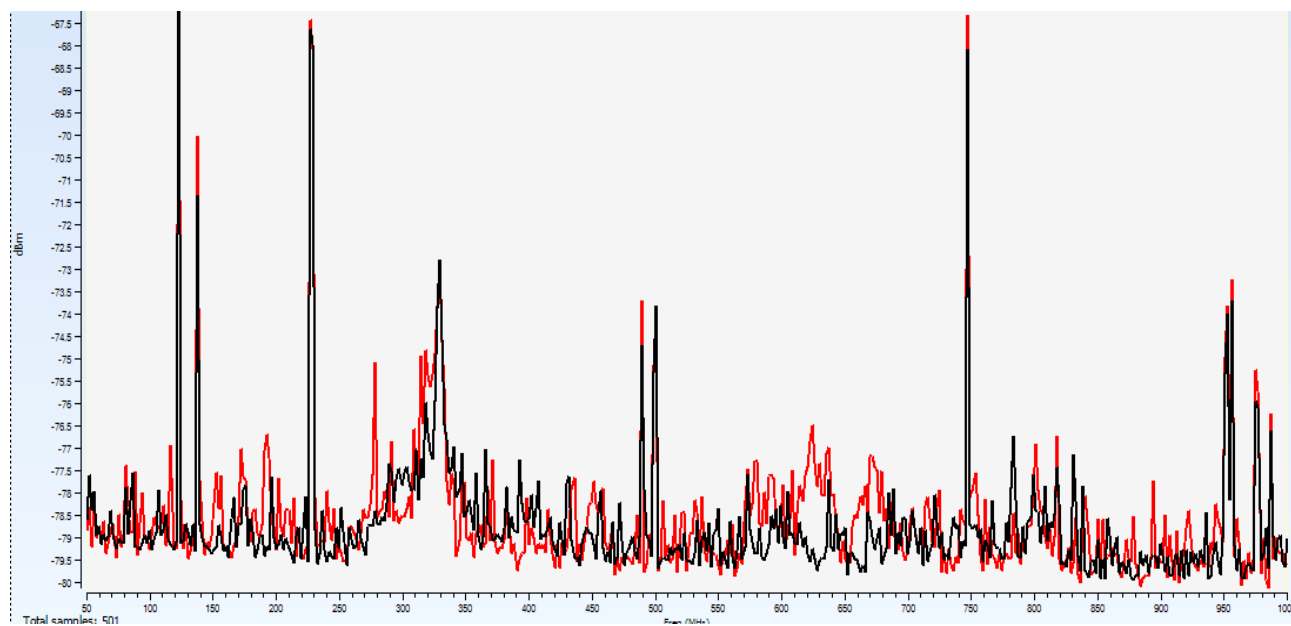
625, 670 MHz dažnio reikšmėmis. Yra matomi požymiai, būdingi išoriniams daliniams išlydžiams. Nereikėtų at mesti varianto, jog tai gali būti problemos su atšakų perjungikliu.

Palyginimui daromi matavimai naudojant tiesioginio signalo anteną (23 pav.).



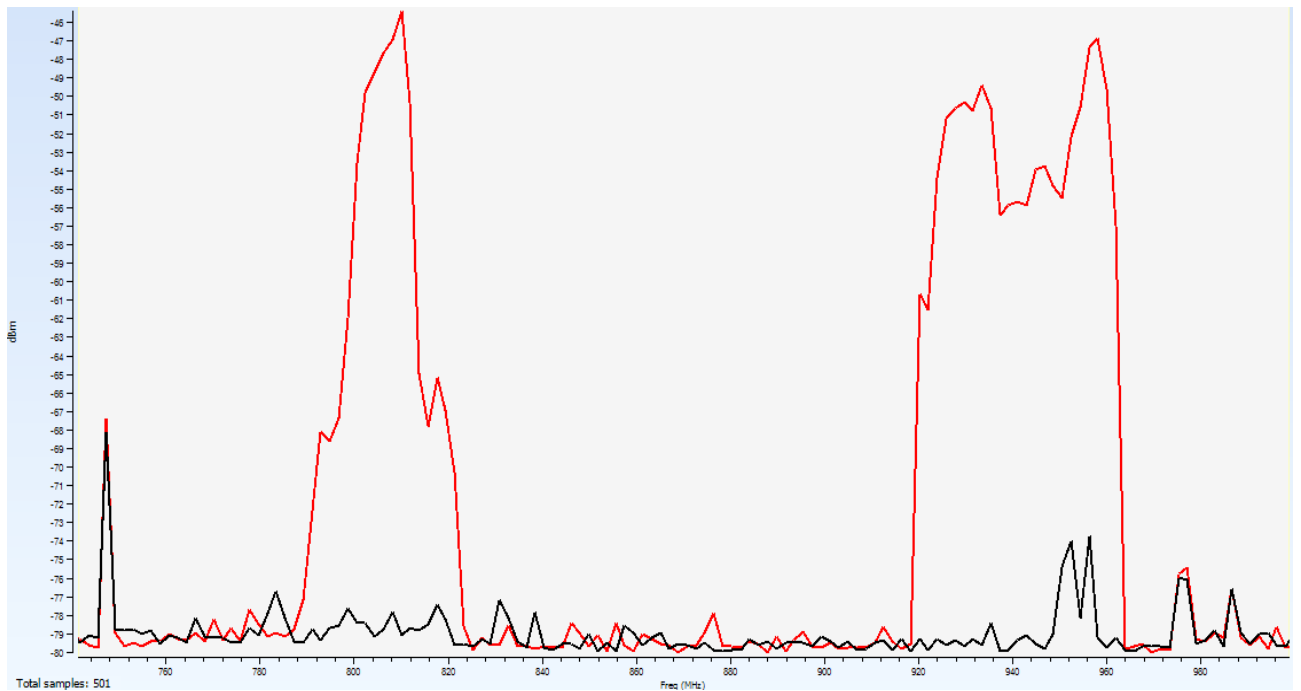
23 pav. Matavimo rezultatai naudojant anteną (korpuso pusė nuo pavaros spintos)

Didžiausi nuokrypiai nuo bazinės linijos pastebėti ties 790 – 825, 876 – 888 ir 920 – 960 MHz dažnio intervalais. Remiantis 18 lentelėje pateiktais duomenimis matavimo rezultatai turi išoriniams DI būdingų požymių. Toliau tikrinama įrenginio korpuso dalis iš aukštos įtampos įvadų pusės.



24 pav. Matavimo rezultatai naudojant jutiklį iš aukštos įtampos įvadų pusės

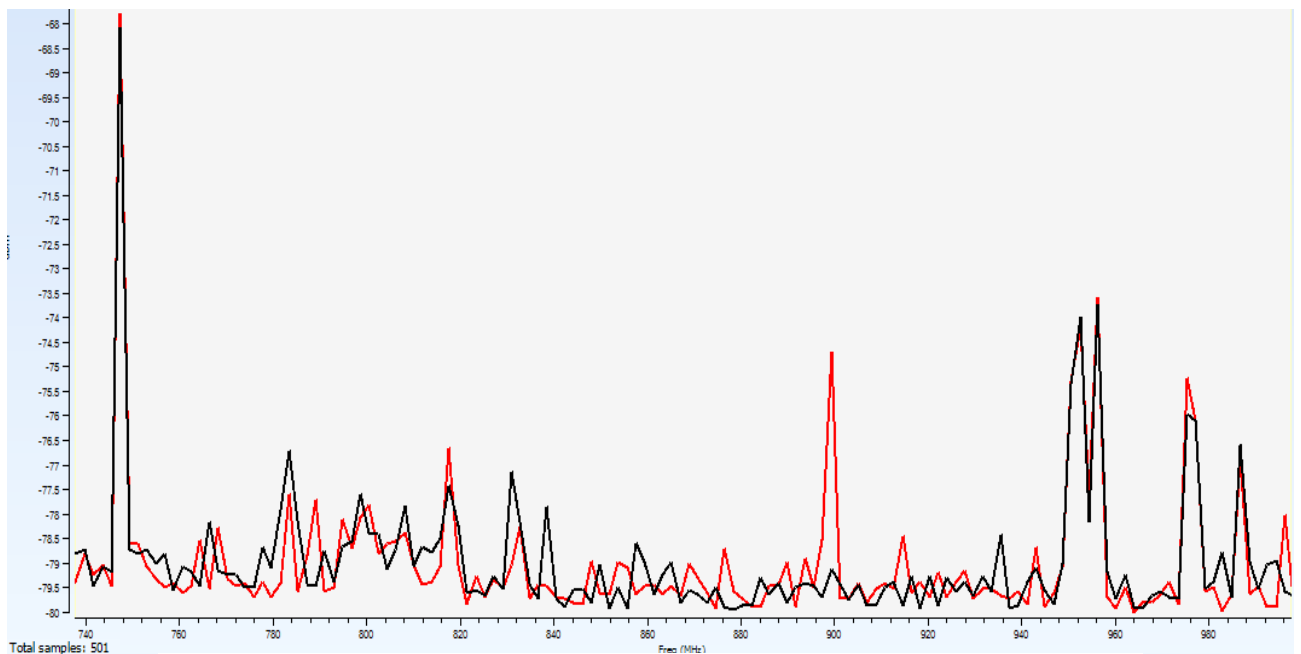
Šiame grafike matoma, jog didžiausi nuokrypiai nuo bazinės linijos pastebėti ties 270, 620 MHz dažnio reikšmėmis. Šis grafikas gana panašus į 20 pav. esančius rezultatus, kai buvo tikrinamas korpusas iš galinės pusės. Nuokrypiai yra minimalūs, todėl tai gali rodyti pašalinius triukšmus, tačiau rezultatų kreivės forma panaši į vainikinio tipo DI kreivę.



25 pav. Matavimo rezultatai naudojant anteną (aukštos įtampos įvadų pusė)

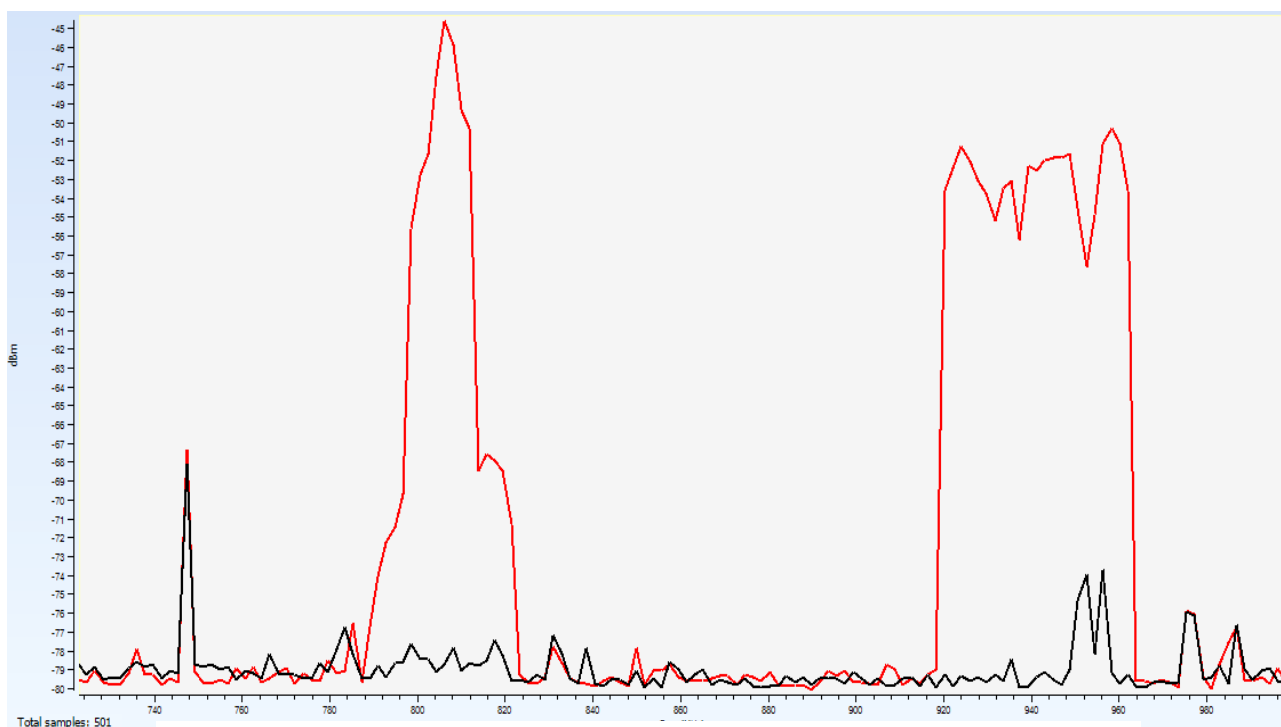
Čia matoma panaši situacija kaip ir atliekant matavimus ant korpuso iš aukštos įtampos įvadų pusės. Didžiausi nuokrypiai nuo bazinės linijos pastebėti ties 790 – 825 ir 920 – 960 MHz dažnio intervalais. Gali būti ir taip, kad matavimo prietaisas pagauna pašalinių triukšmų, bet prie išvardintų dažnio diapazonų reikšmės su bazine linija skiriasi ~ 20 dBm, todėl nereiktų atmesti variant dėl įrenginio viduje esančių dalinių išlydžių.

Tolimesnėje darbo dalyje pateikti rezultatai tiriant GT korpuso pusę iš žemos įtampos įvadų pusės.



26 pav. Matavimo rezultatai naudojant jutiklį (žemos įtampos įvadų pusė)

Iš šio grafiko matoma, jog matavimo rezultatai turi vidiniams DI būdingų požymių. Didesni nesutapimai su bazine linija pastebimi 820 – 920 MHz dažnio intervalu. Skirtumas nuo bazinės linijos yra ~5 dBm, tai reiškia, jog šiuo metu defektų neturėtų pasirodyti, bet netolimoje ateityje, reikėtų stebėti pokyčius, ypač ties korpuso apatine dalimi.



27 pav. Matavimo rezultatai naudojant anteną (žemos įtampos įvadų pusė)

27 pav. matomi pokyčiai panašūs su 25 pav. esančiais kitimais prie skirtingo dažnio intervalų. Galima teigti, jog matavimai iš šitos korpuso pusės taip pat rodo galimus išorinius DI, nes užfiksuoti signalo nukrypimai nuo bazinės linijos yra 810, 920 – 960 MHz dažnio intervalais.

3.3. Eksperimento apibendrinimas

Matuojant su antena matomi ryškesni skirtumai rezultatų grafikuose nei naudojant jutiklį, tačiau antena gali pagauti ir pašalinių triukšmų, nes matuojama stovint atokiau nuo įrenginio. Kuomet naudojamas jutiklis, tai grafikuose matomi gal ir mažesni skirtumai, tačiau toks matavimo būdas yra tikslesnis, nes matuojama prisijungus prie pačio įrenginio ir pagauti pašalinius triukšmus yra kur kas sunkiau. Privalumas naudojant anteną – galima nuskenuoti, vietas prie kurių yra pavojinga prisiliesti.

Žiūrint į jutiklio rodomus rezultatus pastebimi potencialūs DI įrenginio išorėje, tačiau yra ir vidiniams DI būdingų požymių. Realus variantas, jog yra problemų su atšakų perjungikliu. Todėl būtų tikslinga atlikti pakartotinius bandymus po kelių mėnesių, palyginti gautus rezultatus su ankstesniais bei periodiškai (kas 3 – 4 mėn.) stebėti įrenginį.

Šio tipo bandymai yra tik pagalbinė priemonė šalia kitų diagnostikos metodų, todėl vien tik iš šio metodo nelabai galima nuspręsti apie tiriamo GT būklę, nes metodas dar nėra Lietuvoje reglamentuotas jokiais norminiais dokumentais. Papildomai šiam įrenginiui reikėtų atlikti alyvoje ištirpusių dujų chromatografinę analizę, nes jei bus rastas tam tikrų dujų kiekio padidėjimas ir jis sutaps su šiame darbe nustatytais defektais, tuomet bus galima teigti, jog užfiksuoti būtent šie gedimai.

Išvados

1. Sudaryta galios transformatorių kompleksinės diagnostikos ir bandymų schema, pritaikyta izoliacijos bandymams. Galima teigti, jog izoliacijos bandymai sudaro didžiąją dalį visų atliekamų matavimų galios transformatoriams bei svarbu juos atlikti nustatymu periodiškumu.
2. Priklausomybiniai grafikai rodo, jog blogiausia situacija su alyvos drėgme yra Jonavos AT – 1, kur alyvos kokybė jau yra bloga (>20 ppm arba mg/l), o su apvijų drėgme – Jurbarko AT – 1, nes dažniausiai viršyta drėgmės apvijose norma (<1 %). Taip pat išsiaiškinta, kad didėjant įrenginio apkrovai didėja drėgmės kiekis alyvoje, tačiau mažėja apvijose.
3. Atlikti eksploatuojamų Šiaulių AT – 1, Jurbarko AT – 1 ir Jonavos AT – 1 nuokrypių nuo vidutinių reikšmių kreivių skaičiavimai mėnesio eigoje parodo, jog daugiausiai nuo vidutinių reikšmių atstojamųjų kreivių nutolę: alyvos duomenys – Jonavos AT – 1 (24,24 ppm), o apvijų – Šiaulių AT – 1 (0,58 %). Su sumine vidurkio linija labiausiai nesutampa Jonavos AT – 1 duomenys. Didelis drėgmės kiekis alyvoje gali turėti neigiamos įtakos efektyviam įrenginių darbui.
4. Prognozuojamų reikšmių grafikai rodo, jog iki 2024 m. izoliacinės alyvos būklė labiausiai pablogėti gali Jurbarko AT – 1 įrenginyje (gali viršyti 20 ppm), apvijų izoliacijos būklė visuose įrenginiuose neturėtų staiga suprastėti, nes prognozuojamos reikšmės laikosi 0,75 – 0,82 % intervale. Jurbarko AT – 1 alyva greitai turėtų būti džiovinama, valoma arba keičiama nauja.
5. Potencialių dalinių išlydžių aptikimui atliktas tyrimas rodo, jog yra požymių būdingų išoriniams daliniams išlydžiams. Tikslesniam įrenginio būklės įvertinimui papildomai reikėtų atlikti ir kitus bandymus, pavyzdžiui, alyvoje ištirpusių dujų chromatografinę analizę.

Literatūros sąrašas

1. RAZMA, A.; MIŠKINIS, V.; Aukštos įtampos įrenginiai. Žinynas. Vilnius, 2003.
2. SVINKŪNAS, G.; NAVICKAS, A. Elektros energetikos pagrindai 2-asis leid. Kaunas, 2013. ISBN 978-609-02-1001-7.
3. LITGRID AB Perdavimo tinklo departamentas, Perdavimo tinklo įrenginių bandymo reglamentas, 2020.
4. LR ENERGETIKOS MINISTERIJA, Elektros įrenginių bandymų normų ir apimčių aprašas, 2016. Prieiga internete: <https://eseimas.lrs.lt/rs/legalact/TAP/be9ea730384b11e6a222b0cd86c2adfc/>
5. INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION, IEC 60422 Ed.4: Mineral insulating oils in electrical equipment – Supervision and maintenance guidance, 2010. Prieiga internete: <http://ppapco.ir/wp-content/uploads/2019/07/IEC60422-2013.pdf>
6. LIETUVOS STANDARTIZACIJOS DEPARTAMENTAS, Galios transformatoriai. 1 dalis. Bendrieji dalykai (IEC 60076 – 1:2011). Angliškoji versija, 2011.
7. SONI, R.; MEHTA, B, Review on asset management of power transformer by diagnosing incipient faults and faults identification using various testing methodologies, 2021. Prieiga internete: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1350630721004957>
8. NAVICKAS, A.; LINKEVIČIŪTĖ, B.; Elektros įrenginių gedimų įvertinimo ištirpusių dujų analizės metodu efektyvumo tyrimas, ENERGETIKA, 2006, Nr. 4, p 59-65.
9. I.A.R. GRAY TRANSFORMER CHEMISTRY SERVICES, A Guide to transformer chemistry analysis. Prieiga internete: https://www.satcs.co.za/Transformer_Oil_Analysis.pdf
10. MORKVĖNAS, A.; KELIAUSKAS, L.; ŠIMOLIŪNAS.; A. Izoliacinės alyvos vartojimo metodiniai nurodymai (pataisytas ir papildytas leidimas), Vilnius, 2002.
11. KALIAPPAN, G; RENGARAI, M.; Aging assessment of transformer solid insulation: A review, 2021. Prieiga internete: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785321032211>
12. CHIH – JU, C.; CHIEN – HSUN, C.; Measurement and analysis of partial discharge of high and medium voltage power equipment, 2018. Prieiga internete: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8394749/authors#authors>
13. INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION, IEC 60270 „High voltage test techniques – partial discharge measurements“, 3 – asis leidimas, 2000. Prieiga internete: https://online.tugraz.at/tug_online/voe_main2.getvolltext?pCurrPk=40331
14. ČEPONIS, Ž.; JASIŪNAS, K.; Power transformers with oil and paper complex insulation reliability criterions, 2001.
15. JEN KER, P.; SING LEONG, Y.; ISMAIL, A.; Power transformer insulation system: A review on the reactions, fault detection, challenges and future prospects, 2022. Prieiga internete: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S111001682200028X>
16. FUAD AL HAMDANI, M; AZIS PRASOJO, R.; ABU-SIADA, A.; Power Transformer Degradation Condition and Insulation Index Estimation Based on Historical Oil Dat, 2019. Prieiga internete: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9011135>
17. SALAHA, W.; GAD, A.; ATTIA, M.; ELDEBEIKEY, S.; A.; Design of a compact ultra-high frequency antenna for partial discharge detection in oil immersed power, 2021. Prieiga internete: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2090447921003191#f0030>

Priedai

1 priedas. Transformatorių monitoringo duomenų vidurkinimo rezultatai (1–4 įrenginiai)

Data		Drėgmės kiekis apvijose, %	Drėgmės kiekis alyvoje, ppm	Apvijų galia, MVA	Drėgmės kiekis apvijose, %	Drėgmės kiekis alyvoje, ppm	Apvijų galia, MVA	Drėgmės kiekis apvijose, %	Drėgmės kiekis alyvoje, ppm	Apvijų galia, MVA	Drėgmės kiekis apvijose, %	Drėgmės kiekis alyvoje, ppm	Apvijų galia, MVA	
Metai	Mėnesiai	Jonavos AT-1			Jonavos AT-2			Jurbarko AT-1			Jurbarko AT-2			
2016	4	-	-	-	0,55	1,05	36,11	-	-	-	-	-	-	
	5	-	-	-	0,55	1,03	33,31	-	-	-	-	-	-	
	6	-	-	-	0,43	1,10	41,85	-	-	-	-	-	-	
	7	-	-	-	0,42	1,13	36,25	-	-	-	-	-	-	
	8	-	-	-	0,43	1,08	33,04	-	-	-	-	-	-	
	9	-	-	-	0,44	1,01	30,33	-	-	-	-	-	-	
	10	-	-	-	0,56	1,00	32,69	-	-	-	-	-	-	
	11	-	-	-	0,59	1,00	33,64	-	-	-	-	-	-	
	12	-	-	-	0,61	1,00	33,53	-	-	-	-	-	-	
	2017	1	0,96	2,00	48,25	0,58	1,00	40,89	-	-	-	-	-	-
		2	0,88	1,78	42,35	0,55	1,00	37,83	-	-	-	-	-	-
		3	0,45	1,09	24,59	0,55	1,00	24,82	-	-	-	-	-	-
4		0,83	1,11	31,72	0,54	1,00	28,90	-	-	-	-	-	-	
5		0,66	1,00	29,17	0,48	1,04	25,76	-	-	-	-	-	-	
6		0,76	1,00	21,90	0,58	1,01	30,83	-	-	-	-	-	-	
7		0,66	1,00	30,82	0,45	1,02	31,06	-	-	-	-	-	-	
8		0,64	1,00	40,82	0,43	1,15	40,74	-	-	-	-	-	-	
9		0,70	1,00	33,16	0,47	1,00	33,29	-	-	-	-	-	-	
10		0,83	1,00	24,69	0,56	1,00	25,09	-	-	-	-	-	-	
11		0,87	1,00	34,48	0,57	1,00	34,23	-	-	-	-	-	-	
12		0,91	1,00	27,83	0,59	1,00	27,65	-	-	-	-	-	-	
2018	1	0,97	1,00	34,50	0,63	1,00	34,07	0,99	3,23	52,78	0,85	1,99	20,74	
	2	0,98	1,00	32,90	0,66	1,00	32,50	1,08	1,00	47,96	1,06	1,00	17,47	
	3	0,88	1,00	31,10	0,61	1,00	30,78	0,79	1,02	32,90	0,79	1,02	28,46	
	4	0,74	1,00	20,70	0,51	1,00	22,38	0,70	1,30	21,18	0,70	1,30	33,39	
	5	0,66	1,00	25,20	0,41	1,00	30,24	0,67	1,61	28,93	0,67	1,61	34,90	
	6	0,73	1,00	36,25	0,41	1,00	37,38	0,66	1,87	34,16	0,66	1,87	34,88	
	7	0,66	1,00	41,83	0,38	1,00	41,45	0,63	4,24	44,59	0,63	4,24	36,22	
	8	0,68	1,00	38,99	0,38	1,00	38,05	0,61	3,34	27,48	0,61	3,34	37,28	
	9	0,78	1,00	35,43	0,42	1,00	34,39	0,66	2,31	33,42	0,66	2,31	34,81	
	10	0,87	1,00	44,92	0,57	1,00	37,19	0,72	1,18	31,78	0,72	1,18	31,90	
	11	0,98	1,00	52,43	0,56	1,03	53,76	0,75	1,09	36,81	0,75	1,09	29,99	
	12	1,06	1,00	47,93	0,59	1,00	47,20	0,77	1,00	42,95	0,77	1,00	29,04	
2019	1	1,17	1,00	35,44	0,63	1,00	38,33	0,80	1,00	44,06	0,80	1,00	27,81	
	2	1,04	1,00	28,90	0,59	1,00	28,41	0,78	1,00	39,09	0,78	1,00	28,88	
	3	0,98	1,00	27,17	0,56	1,00	26,38	0,76	1,00	46,75	0,76	1,00	29,54	
	4	0,82	1,00	30,68	0,53	1,00	26,41	0,73	1,06	49,46	0,73	1,06	31,46	
	5	0,78	1,00	34,89	0,41	1,00	33,42	0,68	1,69	52,45	0,68	1,69	33,41	
	6	0,59	1,00	46,03	0,59	1,13	15,42	0,53	3,63	36,46	0,53	3,63	42,29	
	7	0,68	1,00	29,18	0,42	1,59	28,63	0,60	2,24	38,10	0,60	2,24	37,61	
	8	0,64	1,00	28,49	0,39	1,82	28,06	0,68	2,11	12,64	0,68	2,11	33,85	
	9	0,80	1,00	27,62	0,45	1,27	36,80	0,75	3,45	21,14	0,97	3,03	28,78	
	10	0,83	1,00	37,28	0,48	1,00	36,51	0,82	2,89	19,85	0,87	2,85	25,98	
	11	0,96	1,00	36,14	0,55	1,01	38,35	0,88	2,55	18,54	0,69	4,47	34,12	
	12	1,02	1,00	29,56	0,57	1,00	34,78	0,64	2,11	15,98	1,45	4,26	33,99	
2020	1	0,98	1,00	33,34	0,57	1,00	32,65	0,89	3,47	32,45	1,33	5,89	37,56	
	2	0,98	1,00	37,02	0,57	1,00	36,05	0,99	1,78	26,54	1,59	6,11	39,15	
	3	0,90	1,00	36,12	0,55	1,00	33,24	0,97	1,55	24,87	1,24	4,69	31,06	
	4	0,83	1,00	36,60	0,51	1,01	36,19	0,95	2,04	28,74	1,09	4,56	31,01	
	5	0,78	1,42	44,32	0,46	1,00	43,69	1,17	1,00	25,77	1,15	1,00	25,25	
	6	0,57	9,96	46,33	0,36	2,92	45,36	0,89	5,90	30,47	0,89	5,88	36,36	
	7	0,60	31,83	38,50	0,36	1,94	37,13	0,99	6,38	33,29	0,99	6,38	37,56	
	8	0,72	32,00	18,59	0,35	2,51	43,92	0,95	6,48	24,96	0,95	6,48	38,92	
	9	0,66	24,96	35,84	0,42	1,99	31,38	1,07	6,46	24,81	1,07	6,46	38,78	
	10	0,67	14,77	36,73	0,43	2,17	35,62	0,77	8,90	23,03	0,77	8,90	23,04	
	11	0,75	14,05	37,50	0,52	1,04	33,20	0,80	8,75	20,60	0,80	8,75	20,60	
	12	1,02	12,75	27,50	0,56	1,00	41,38	0,82	8,51	20,23	0,82	8,51	20,23	
2021	1	0,89	13,34	42,92	0,57	1,00	40,16	0,88	8,54	33,09	0,88	8,54	24,94	
	2	0,86	13,02	45,26	0,56	1,00	42,56	0,93	8,23	30,26	0,93	8,23	22,88	
	3	0,74	14,57	36,77	0,50	1,00	33,12	0,88	8,30	28,95	0,88	8,30	24,80	
	4	0,67	15,10	29,78	0,46	1,00	27,35	0,83	8,54	27,49	0,83	8,54	26,86	
	5	0,62	15,17	38,16	0,42	1,85	34,66	0,75	8,47	25,67	0,75	8,47	30,44	
	6	0,50	16,47	42,65	0,32	6,24	39,66	0,58	9,02	26,70	0,58	9,02	39,51	
	7	0,44	17,59	33,52	0,29	9,81	30,17	0,53	9,19	15,92	0,53	9,19	42,21	
	8	0,53	16,68	44,95	0,44	5,58	30,27	0,66	8,76	15,67	0,66	8,76	34,34	
	9	0,62	15,69	32,30	0,42	2,98	29,05	0,96	7,56	6,09	0,96	7,56	22,70	
	10	0,66	15,26	30,02	0,45	1,60	25,68	0,76	8,28	14,16	0,76	8,28	29,93	

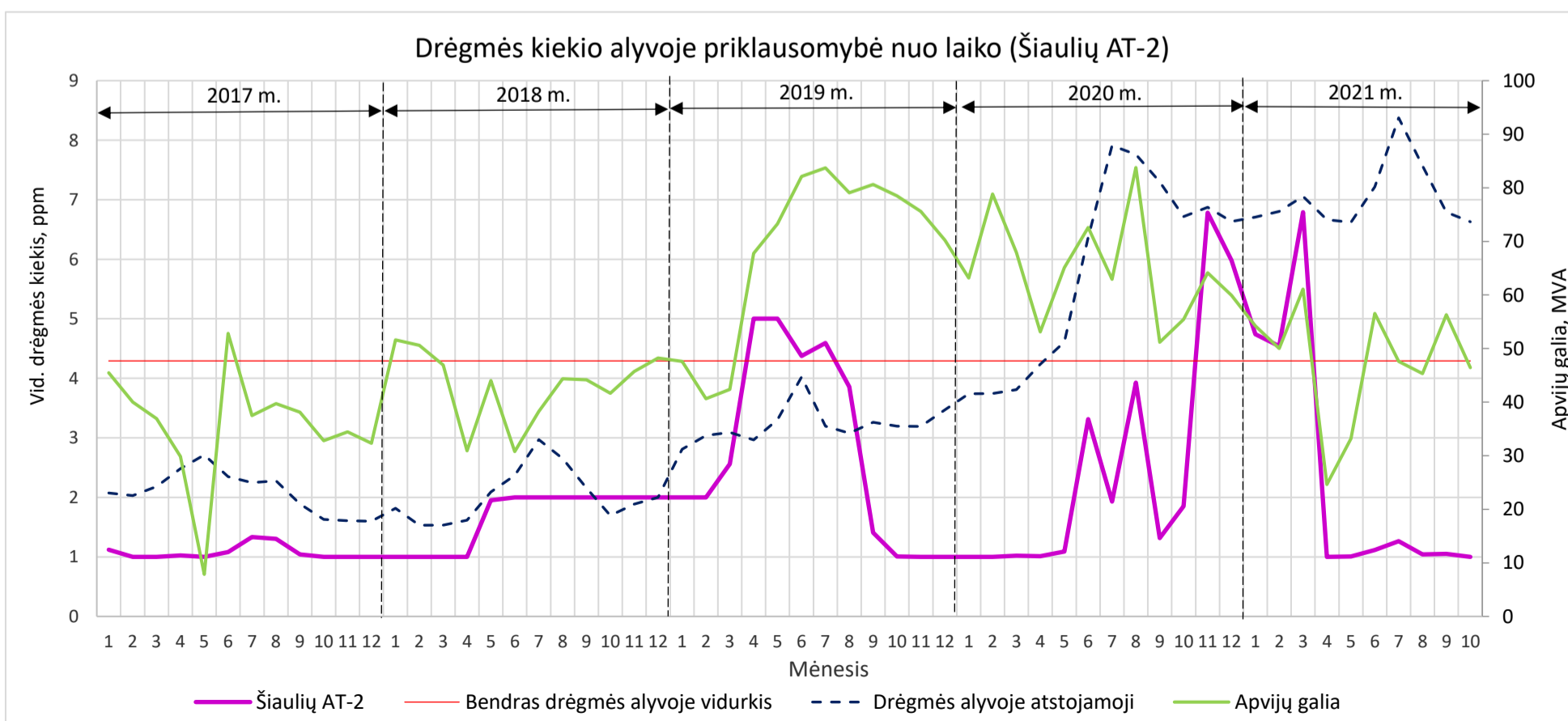
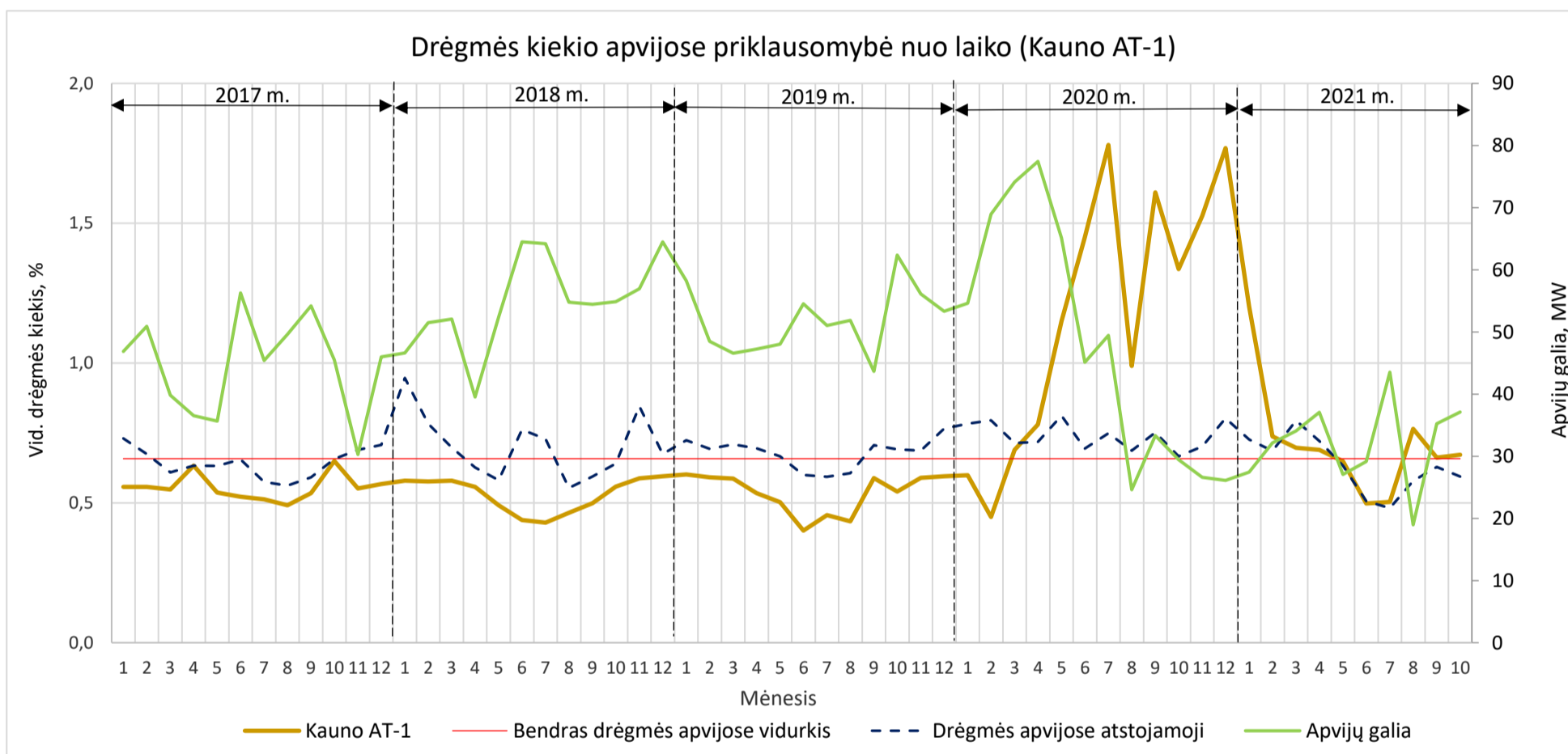
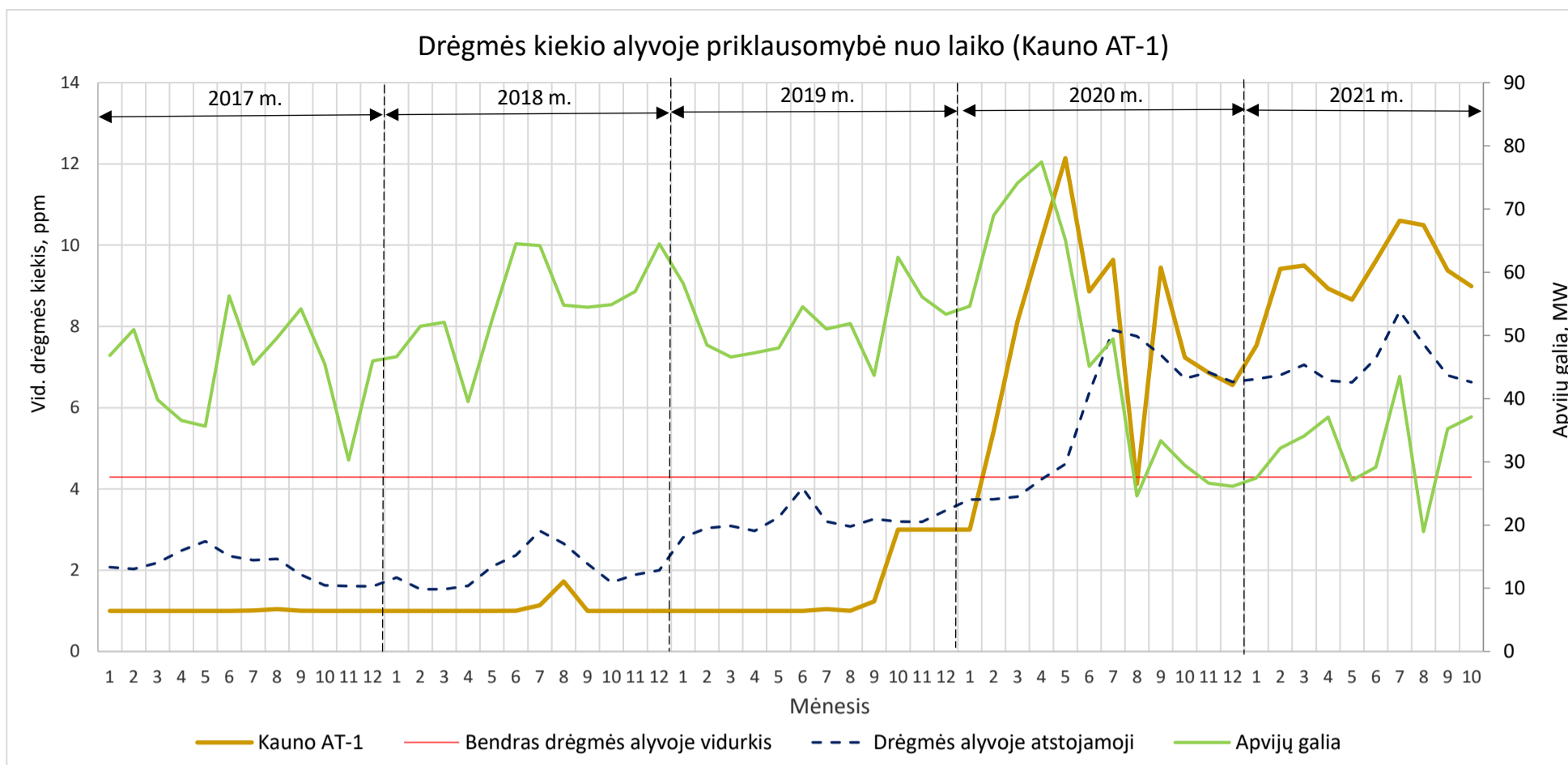
2 priedas. Transformatorių monitoringo duomenų vidurkinimo rezultatai (5–8 įrenginiai)

Data		Drėgmės kiekis apvijose, %	Drėgmės kiekis alyvoje, ppm	Apvijų galia, MVA	Drėgmės kiekis apvijose, %	Drėgmės kiekis alyvoje, ppm	Apvijų galia, MVA	Drėgmės kiekis apvijose, %	Drėgmės kiekis alyvoje, ppm	Apvijų galia, MVA	Drėgmės kiekis apvijose, %	Drėgmės kiekis alyvoje, ppm	Apvijų galia, MVA
Metai	Mėnesiai	Kauno AT-1			Klaipėdos AT-1			Klaipėdos AT-2			Panevėžio AT-1		
2016	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2017	1	0,61	1,00	47,44	0,77	5,41	61,45	0,97	3,56	60,77	-	-	-
	2	0,56	1,0	50,92	0,69	5,98	64,26	0,86	3,11	64,31	-	-	-
	3	0,55	1,00	39,82	0,69	5,99	66,96	0,93	3,58	70,09	-	-	-
	4	0,63	1,00	36,54	0,67	5,99	65,42	0,67	4,78	81,58	-	-	-
	5	0,54	1,00	35,66	0,59	6,25	67,47	0,83	2,78	75,63	-	-	-
	6	0,52	1,00	56,28	0,59	6,19	78,01	1,01	2,61	73,78	-	-	-
	7	0,51	1,01	45,43	0,55	6,42	69,26	0,79	2,07	69,88	-	-	-
	8	0,49	1,04	49,60	0,54	6,51	65,21	0,63	1,54	65,99	-	-	-
	9	0,53	1,00	54,20	0,63	5,99	53,46	0,63	1,00	62,10	-	-	-
	10	0,65	1,00	45,50	0,68	5,73	45,98	0,63	1,00	45,66	-	-	-
	11	0,55	1,00	30,28	0,70	5,84	61,88	0,69	1,00	52,64	-	-	-
	12	0,57	1,00	45,99	0,70	5,80	64,09	0,62	1,00	65,51	-	-	-
2018	1	0,58	1,00	46,63	2,75	5,78	66,43	0,64	1,00	66,39	-	-	-
	2	0,58	1,00	51,49	0,69	5,85	79,39	0,63	1,00	79,97	-	-	-
	3	0,58	1,00	52,08	0,70	5,84	70,37	0,61	1,00	70,80	-	-	-
	4	0,56	1,00	39,52	0,65	5,95	57,21	0,63	1,00	55,39	-	-	-
	5	0,49	1,00	52,41	0,80	5,86	28,79	0,62	1,00	122,67	-	-	-
	6	0,44	1,00	64,50	2,68	5,95	85,42	0,63	1,00	85,82	-	-	-
	7	0,43	1,14	64,22	2,63	5,86	81,23	0,62	1,00	81,40	-	-	-
	8	0,46	1,72	54,81	0,64	5,91	72,53	0,63	1,00	72,09	-	-	-
	9	0,50	1,00	54,47	0,70	5,79	58,64	0,66	1,00	43,94	-	-	-
	10	0,56	1,00	54,85	0,74	5,58	57,79	0,63	1,00	57,89	-	-	-
	11	0,59	1,00	56,95	2,72	5,78	68,72	0,63	1,00	69,07	-	-	-
	12	0,60	1,00	64,52	0,70	6,00	72,15	0,63	1,00	72,44	-	-	-
2019	1	0,60	1,00	58,25	0,69	6,00	71,14	0,61	1,00	85,16	0,72	13,02	58,45
	2	0,59	1,00	48,49	0,69	6,00	62,83	0,62	1,00	62,86	0,66	13,00	60,05
	3	0,59	1,00	46,58	0,71	6,00	55,80	0,62	1,00	55,93	0,66	13,00	54,18
	4	0,53	1,00	47,24	0,71	6,00	63,05	0,63	1,00	73,23	0,72	14,46	47,58
	5	0,50	1,00	48,02	0,74	5,93	57,89	0,59	1,69	75,69	0,77	16,67	37,57
	6	0,40	1,00	54,56	0,60	6,03	86,67	0,69	1,88	77,73	0,66	21,57	20,26
	7	0,46	1,04	51,03	0,63	5,94	79,21	0,63	1,99	82,31	0,52	13,71	44,91
	8	0,43	1,00	51,87	0,63	5,86	85,42	0,64	1,78	87,23	0,50	13,37	42,67
	9	0,59	1,23	43,67	0,69	5,87	66,64	0,64	1,14	66,77	0,58	13,18	48,86
	10	0,54	3,00	62,36	0,73	5,98	71,71	0,63	1,00	71,99	0,62	12,51	50,61
	11	0,59	3,00	56,12	0,73	5,99	69,98	0,63	1,00	71,06	0,83	12,46	44,83
	12	0,59	3,00	53,35	0,72	5,78	59,58	0,63	1,00	59,92	0,66	13,05	57,17
2020	1	0,60	3,00	54,64	0,72	5,79	69,77	0,62	1,00	70,16	0,69	12,93	49,03
	2	0,45	5,42	68,98	0,72	6,00	67,47	0,62	1,00	67,77	0,67	13,11	47,83
	3	0,69	8,12	74,12	0,72	6,00	73,77	0,62	1,00	74,17	0,64	13,23	52,13
	4	0,78	10,15	77,45	0,72	5,98	61,38	0,62	1,00	63,19	0,61	13,39	48,89
	5	1,15	12,14	65,12	0,71	6,01	66,37	0,63	1,00	66,51	0,58	13,23	61,74
	6	1,45	8,86	45,13	0,63	5,85	66,09	0,66	1,53	69,97	0,45	14,21	54,22
	7	1,78	9,64	49,47	0,61	5,95	65,31	0,63	1,13	63,58	0,50	12,26	47,07
	8	0,99	4,12	24,63	0,57	6,01	93,31	0,62	1,33	93,65	0,47	13,41	60,15
	9	1,61	9,45	33,33	0,63	5,86	66,89	0,64	1,02	60,85	0,53	13,25	50,91
	10	1,34	7,23	29,45	0,69	5,71	78,55	0,63	1,00	78,80	0,59	12,86	52,66
	11	1,53	6,86	26,62	0,75	5,60	74,83	0,63	1,00	75,41	0,66	12,70	57,05
	12	1,77	6,56	26,12	0,75	5,68	70,57	0,65	1,00	71,11	0,91	12,53	39,01
2021	1	1,20	7,53	27,46	0,73	5,91	82,64	0,61	1,00	82,26	0,65	13,12	55,81
	2	0,74	9,42	32,14	0,72	6,00	77,90	0,61	1,00	81,44	0,63	13,50	56,88
	3	0,70	9,50	34,09	0,73	5,96	65,83	0,62	1,00	69,39	0,64	13,39	72,15
	4	0,69	8,93	37,08	0,72	5,63	57,58	0,62	1,00	57,75	0,61	13,48	62,53
	5	0,65	8,66	27,08	0,68	5,64	50,21	0,63	1,00	57,30	0,81	12,52	28,32
	6	0,50	9,62	29,18	0,60	5,74	74,20	0,61	1,72	73,94	0,68	10,86	28,59
	7	0,50	10,60	43,53	0,60	5,78	76,06	0,58	5,01	75,52	0,44	13,84	61,19
	8	0,76	10,49	18,96	0,69	5,37	66,32	0,63	4,11	66,69	0,53	12,86	63,95
	9	0,66	9,38	35,22	0,74	5,32	60,51	0,65	3,01	55,86	0,57	12,20	61,69
	10	0,67	8,99	37,10	0,74	5,41	80,67	0,63	1,71	67,14	0,60	12,45	53,88

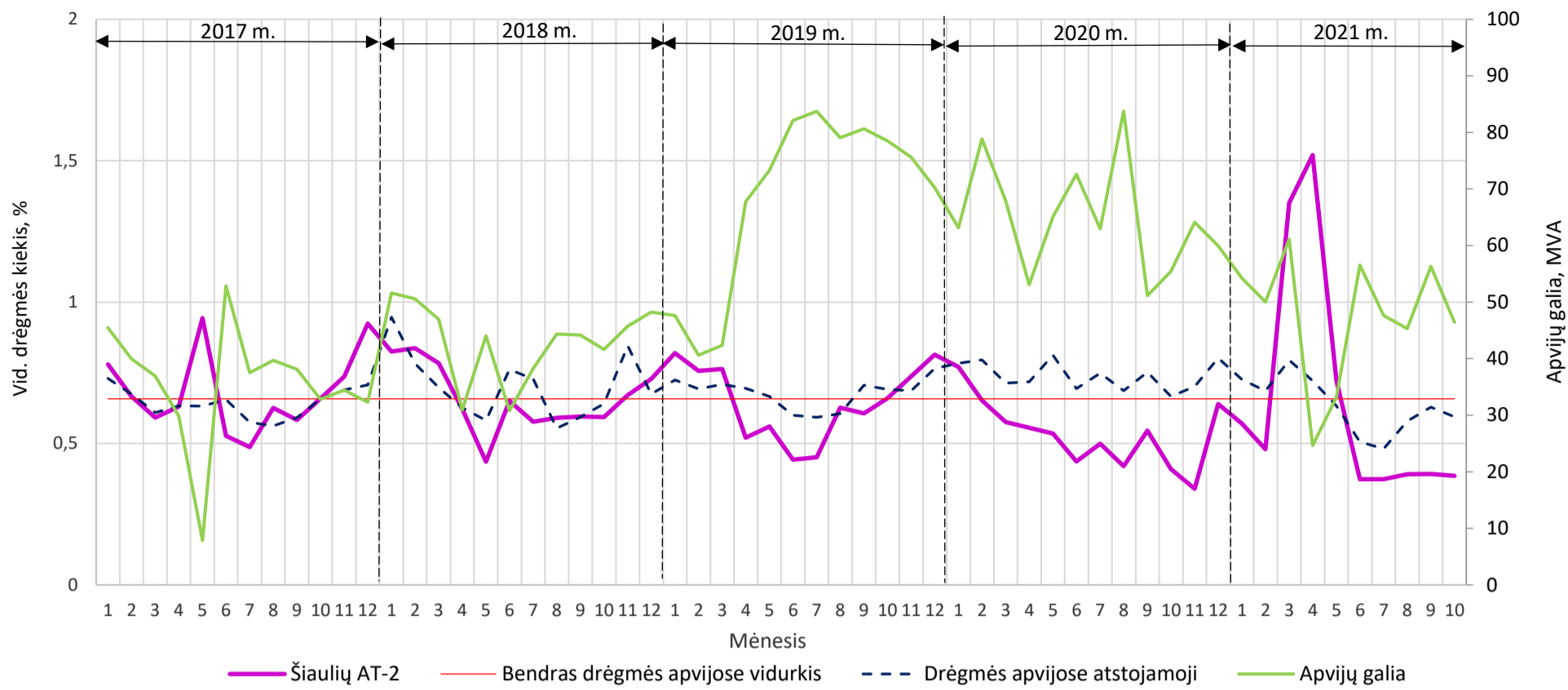
3 priedas. Transformatorių monitoringo duomenų vidurkinimo rezultatai (9–12 įrenginiai)

Data		Drėgmės kiekis apvijose, %	Drėgmės kiekis alyvoje, ppm	Apvių galia, MVA	Drėgmės kiekis apvijose, %	Drėgmės kiekis alyvoje, ppm	Apvių galia, MVA	Drėgmės kiekis apvijose, %	Drėgmės kiekis alyvoje, ppm	Apvių galia, MVA	Drėgmės kiekis apvijose, %	Drėgmės kiekis alyvoje, ppm	Apvių galia, MVA
Metai	Mėnesis	Panevėžio AT-2			Šiaulių AT-1			Šiaulių AT-2			Telšių AT-1		
2016	4	0,69	1,18	101	0,47	5,45	35,61	-	-	-	-	-	-
	5	0,59	1,09	99,47	0,66	5,03	12,79	-	-	-	-	-	-
	6	0,55	1,00	97,78	0,57	6,73	31,61	-	-	-	-	-	-
	7	0,63	1,00	46,33	0,43	9,30	43,08	-	-	-	-	-	-
	8	0,63	1,00	48,80	0,44	8,67	48,94	-	-	-	-	-	-
	9	0,62	1,00	49,59	0,44	6,26	38,34	-	-	-	-	-	-
	10	0,57	1,00	51,54	0,50	4,12	33,84	-	-	-	-	-	-
	11	0,56	1,00	45,77	0,61	1,90	48,17	-	-	-	-	-	-
	12	0,55	1,00	46,80	0,63	1,93	39,17	-	-	-	-	-	-
2017	1	0,55	1,00	49,67	0,68	1,38	42,49	0,78	1,12	45,47	-	-	-
	2	0,56	1,00	48,88	0,63	1,38	42,32	0,67	1,00	39,99	-	-	-
	3	0,57	1,00	44,96	0,54	2,78	36,61	0,59	1,00	36,92	-	-	-
	4	0,57	1,00	51,56	0,52	4,07	40,03	0,63	1,02	29,86	-	-	-
	5	0,61	1,00	56,28	0,41	7,62	63,53	0,94	1,00	7,85	-	-	-
	6	0,65	1,00	42,55	0,61	4,90	32,07	0,53	1,08	52,84	-	-	-
	7	0,63	1,00	45,49	0,53	4,12	37,38	0,49	1,33	37,51	-	-	-
	8	0,63	1,00	55,08	0,51	4,68	40,98	0,63	1,30	39,70	-	-	-
	9	0,63	1,00	47,69	0,55	3,10	38,36	0,58	1,04	38,10	-	-	-
	10	0,58	1,00	50,65	0,66	1,31	33,11	0,66	1,00	32,82	-	-	-
	11	0,57	1,00	67,72	0,84	1,02	27,07	0,74	1,00	34,44	-	-	-
	12	0,55	1,00	50,78	0,79	1,00	47,09	0,92	1,00	32,33	-	-	-
2018	1	0,55	1,00	60,25	0,82	1,00	45,38	0,83	1,00	51,59	0,82	2,12	66,89
	2	0,56	1,00	60,11	0,77	1,00	51,47	0,84	1,00	50,60	0,77	2,00	75,79
	3	0,56	1,00	58,45	0,76	1,00	44,93	0,78	1,00	46,93	0,61	2,00	67,25
	4	0,60	1,00	61,87	0,62	1,22	31,55	0,62	1,00	30,94	0,56	2,00	49,03
	5	0,62	1,00	52,28	0,51	4,95	31,79	0,44	1,95	44,02	0,50	2,00	55,11
	6	0,62	1,00	48,81	0,43	7,34	31,98	0,65	2,00	30,76	0,46	2,00	75,21
	7	0,63	1,00	44,62	0,39	9,19	38,97	0,58	2,00	38,28	0,42	2,00	68,91
	8	0,61	1,00	49,44	0,46	6,88	44,73	0,59	2,00	44,33	0,40	2,00	56,84
	9	0,62	1,00	47,94	0,54	4,31	44,54	0,60	2,00	44,18	0,41	2,00	56,68
	10	0,60	1,00	56,91	0,61	1,72	42,83	0,59	2,00	41,65	0,44	2,00	58,42
	11	0,58	1,00	62,77	0,66	1,00	47,04	0,67	2,00	45,72	0,39	4,78	60,78
	12	0,55	1,00	56,50	0,70	1,00	48,59	0,73	2,00	48,23	0,33	5,99	63,47
2019	1	0,55	1,01	57,27	0,79	1,00	47,96	0,82	2,00	47,61	0,58	4,69	58,47
	2	0,56	1,00	57,30	0,76	1,00	41,24	0,76	2,00	40,63	0,49	7,45	69,17
	3	0,55	1,00	53,02	0,88	1,00	39,49	0,76	2,56	42,36	0,67	7,54	72,34
	4	0,60	1,00	49,45	1,28	1,00	33,45	0,52	5,00	67,76	0,53	2,00	79,16
	5	0,61	1,00	48,57	1,15	1,00	29,97	0,56	5,00	73,29	0,52	2,00	80,11
	6	0,58	1,00	48,90	0,90	1,00	26,14	0,44	4,38	82,10	0,68	2,00	82,44
	7	0,61	1,02	44,57	1,01	1,00	22,23	0,45	4,59	83,73	0,49	2,00	70,56
	8	0,61	1,00	43,44	1,04	1,00	22,56	0,63	3,86	79,06	0,40	2,00	78,90
	9	0,61	1,00	49,26	1,33	4,55	29,75	0,61	1,41	80,61	0,46	2,00	73,39
	10	0,61	1,00	50,66	1,01	4,12	30,34	0,66	1,01	78,50	0,49	2,00	70,05
	11	0,59	1,00	69,57	0,54	2,82	24,34	0,74	1,00	75,61	0,52	2,00	74,76
	12	0,56	1,00	56,22	0,97	6,44	35,35	0,81	1,00	70,24	0,55	2,00	62,19
2020	1	0,55	1,00	52,22	1,12	6,78	36,78	0,77	1,00	63,15	0,56	2,00	65,13
	2	0,55	1,00	46,93	1,19	5,51	32,09	0,65	1,00	78,84	0,56	2,00	62,61
	3	0,58	1,00	51,02	0,55	5,12	31,13	0,58	1,02	67,89	0,53	2,00	70,18
	4	0,57	1,70	48,22	0,87	6,98	39,45	0,56	1,01	53,09	0,51	2,00	55,53
	5	0,91	7,56	19,17	1,21	7,87	40,23	0,53	1,09	65,08	0,47	2,00	72,72
	6	0,68	7,87	43,37	0,97	8,13	41,09	0,44	3,31	72,60	0,35	2,00	71,29
	7	0,61	7,41	46,36	1,03	8,06	44,61	0,50	1,93	62,94	0,37	2,00	69,11
	8	0,61	7,27	58,81	0,96	7,58	39,47	0,42	3,93	83,78	0,65	2,00	26,67
	9	0,61	7,19	50,10	0,86	7,66	25,46	0,55	1,31	51,16	0,39	2,00	62,72
	10	0,60	7,13	51,89	0,54	8,08	72,16	0,41	1,85	55,45	0,54	2,00	64,09
	11	0,56	7,23	55,87	0,58	7,70	72,80	0,34	6,78	64,12	0,51	2,00	65,39
	12	0,53	7,41	60,82	0,61	7,66	99,98	0,64	5,98	59,95	0,54	2,00	65,76
2021	1	0,53	7,23	54,72	0,64	7,54	94,96	0,57	4,74	54,23	0,57	2,00	71,28
	2	0,54	7,13	55,91	0,62	7,55	92,39	0,48	4,54	50,01	0,60	2,00	76,01
	3	1,27	6,30	14,23	0,61	7,57	101,31	1,35	6,79	61,11	0,62	2,00	64,55
	4	0,61	7,03	59,43	0,59	7,72	76,31	1,52	1,00	24,64	0,51	2,00	45,74
	5	0,59	7,03	74,62	0,55	7,65	58,52	0,72	1,01	33,18	0,41	2,00	50,92
	6	0,53	7,26	83,30	0,47	7,53	55,51	0,37	1,12	56,52	0,34	2,00	61,58
	7	0,55	7,25	59,58	0,46	7,61	51,08	0,37	1,26	47,61	0,48	3,37	52,98
	8	0,62	7,71	63,42	0,51	7,44	43,44	0,39	1,04	45,32	0,50	2,00	68,40
	9	0,61	7,15	60,66	0,53	7,62	54,70	0,39	1,05	56,30	0,44	2,00	58,06
	10	0,60	7,00	53,14	0,52	7,60	45,54	0,39	1,00	46,43	0,37	2,00	58,12

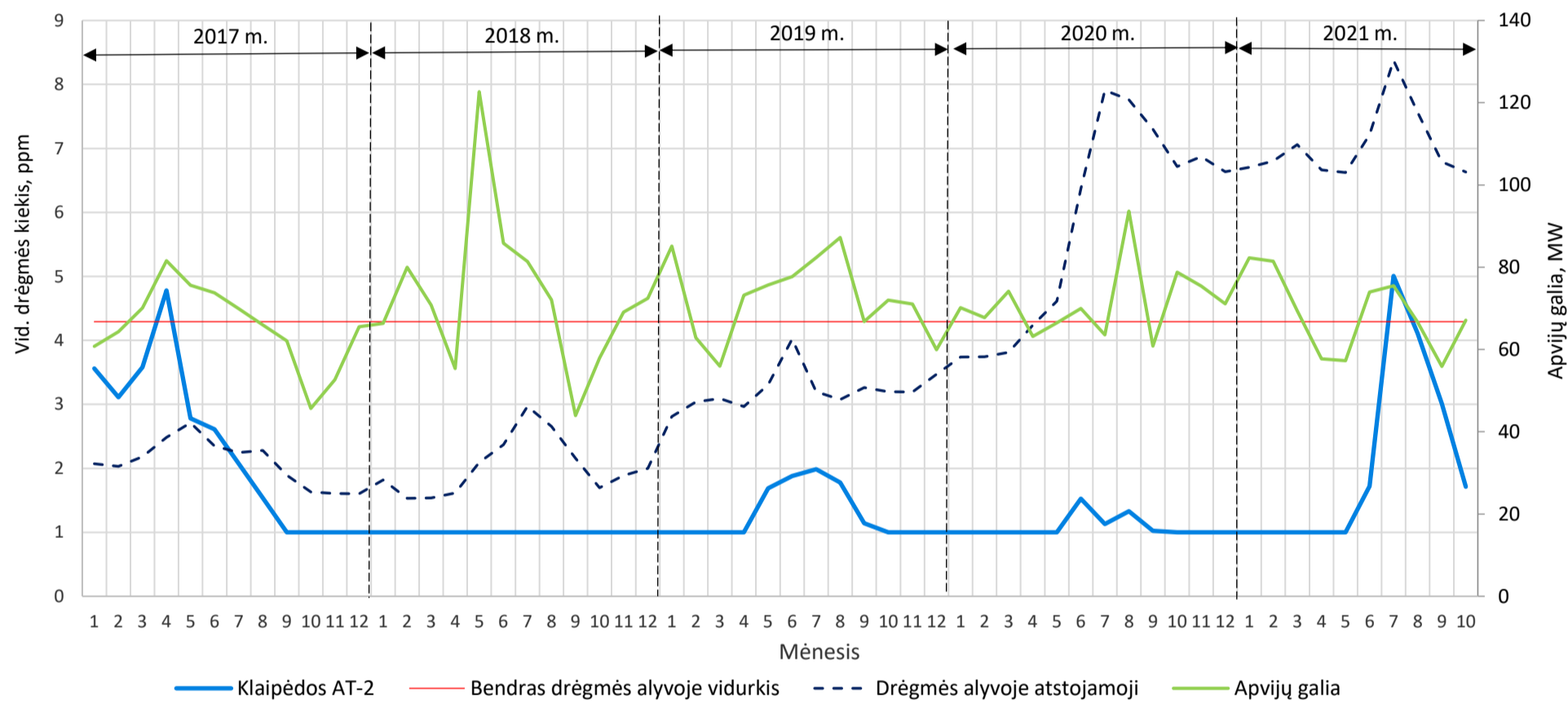
4 priedas. Priklausomybiniai grafikai



Drėgmės kiekio apvijose priklausomybė nuo laiko (Šiaulių AT-2)



Drėgmės kiekio alyvoje priklausomybė nuo laiko (Klaipėdos AT-2)



Drėgmės kiekio apvijose priklausomybė nuo laiko (Klaipėdos AT-2)

