

**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS  
ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS**

**Gediminas Alešiūnas**

**NUOTOLINIS DALINIŲ IŠLYDŽIŲ APTIKIMAS ELEKTROS  
ENERGIJOS ĮRENGINIUOSE IR JŲ VIETOS NUSTATYMAS  
ULTRAGARSU**

Baigiamasis magistro projektas

**Vadovas**  
Prof. dr. Renaldas Raišutis

**KAUNAS, 2017**

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

**NUOTOLINIS DALINIŲ IŠLYDŽIŲ APTIKIMAS ELEKTROS**  
**ENERGIJOS ĮRENGINIuose IR JŲ VIETOS NUSTATYMAS**  
**ULTRAGARSU**

Baigiamasis magistro projektas  
Elektros energetikos sistemos (kodas 621H63005)

**Vadovas**

Prof. dr. Renaldas Raišutis  
2017-06-

**Recenzentas**

Prof. dr. Saulius Gudžius  
2017-06-

**Projektą atliko**

Gediminas Alešiūnas  
2017-05-27

KAUNAS, 2017



**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS**

Elektros ir elektronikos fakultetas

(Fakultetas)

**Gediminas Alešiūnas**

(Studento vardas, pavardė)

**Elektros energetikos sistemos 621H63005**

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

„Nuotolinis dalinių išlydžių aptikimas elektros energijos įrenginiuose ir jų vietos nustatymas ultragarsu“

**AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA**

2017 m. gegužės 26 d.  
Kaunas

Patvirtinu, kad mano, **Gedimino Alešiūno**, baigiamasis projektas tema „Nuotolinis dalinių išlydžių aptikimas elektros energetikos įrenginiuose ir jų vietos nustatymas ultragarsu“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

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

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

\_\_\_\_\_  
(parašas)

Alešiūnas, Gediminas. Nuotolinis dalinių išlydžių aptikimas elektros energijos įrenginiuose ir jų vietos nustatymas ultragarsu. *Magistro* baigiamasis projektas / vadovas prof. dr. Renaldas Raišutis; Kauno technologijos universitetas, elektros ir elektronikos fakultetas.

Mokslo kryptis ir sritis:

Reikšminiai žodžiai: *daliniai išlydžiai, ultragarsas*

Kaunas, 2017. 48 p.

## **SANTRAUKA**

*Baigiamojo magistro projekto užduotis yra atlikti nuotolinį dalinių išlydžių aptikimą elektros energetikos įrenginiuose ir jų vietos nustatymą naudojantis ultragarsu. Laiku pastebėjus dalinius išlydžius galima planuoti remontus, kol dar neįvyko avarija ir nebuvo patirti dideli nuostoliai.*

*Išanalizuojama, kokie yra metodai dalinių išlydžių nustatymui, kuriose situacijos, kurį metodą reikia naudoti ir kokie yra metodų privalumai ir trūkumai.*

*Sudaromas eksperimentinis modelis imituojant dalinius išlydžius įvairiose aplinkose. Įvertinama, kaip keičiasi gaunamos charakteristikos, nuo atstumo ir orientacijos kampo.*

*Darbe pateikta pagrindinė teorija ir eksperimentinis modelis, kuriais remiantis yra atliktas bandymas.*

Alešiūnas, Gediminas. Remote Detection of Partial Discharge in Electrical Equipment and Locating Them with Ultrasound *Master's thesis / supervisor doc. prof. Renaldas Raišutis. The Faculty of Electrical and Electronics, Kaunas University of Technology.*

Research area and field:

Key words: partial discharge, ultrasound

Kaunas, 2017. 48 p.

## **SUMMARY**

*The final master's project task is to carry out remote detection of partial discharges of electrical energy plants and their location by using ultrasound. Timely observation of partial discharges can plan your repairs before the accident happened and did not suffer significant losses.*

*Analyze what are the partial discharge detection method in a situation of which method to use and what are the advantages and disadvantages of the methods.*

*It establishes an experimental model to simulate the partial discharges in different environments. An evaluation of the change in received characteristics of the distance and the orientation angle.*

*The main theory and experimental model is presented in project.*

# Turinys

Turinys.....	6
Lentelių ir paveikslėlių sąrašas.....	7
1. Įvadas.....	8
2. Literatūros apžvalga .....	10
2.1 Bendros žinios apie elektros įrenginių vidinę izoliaciją ir jos senėjimo dėsninumus ..	10
2.2 Dalinių išlydžių ir jų sukeltų pažeidimų elektros energetikos įrenginiuose problematikos analizė.....	12
2.3 Diagnostikos metodų tinkamų daliniams išlydžiams nuotoliniu būdu aptikti analizė....	13
2.3.1 Elektrinis metodas .....	14
2.3.2 Cheminis metodas .....	15
2.3.3 Akustinis dalinių išlydžių aptikimo metodas .....	17
2.3.4 Dalinių išlydžių nustatymas naudojantis keturiais akustiniais sensoriais .....	18
2.3.5 Portabilūs ultragarsiniai detektoriai.....	20
2.3.6 Ultra aukšto dažnio aptikimo metodas (UHF).....	20
2.3.7 Nekontaktiniai greitosios diagnostikos metodai.....	21
2.4 Ultragarso metodo parinkimas išsiaiškinant pagrindinius principus bei būdingus tais atvejais ultragarso signalų charakteristikų pokyčius .....	21
3. Eksperimentinė dalis .....	29
3.1 Darbo problematika ir pagrindimas .....	29
3.2 Naudojama įranga .....	29
3.3 Oro tarpo pramušimo įtampos skaičiavimas.....	32
3.4 Eksperimento laboratorijoje eiga .....	33
3.5 Ore sklindančių ultragarso bangų slopinimo įvertinimas .....	41
4. Išvados ir pasiūlymai .....	45
5. Literatūros sąrašas (reikia nurodyti straipsniu metus, leidinio numerius ir puslapius) .....	46

## Lentelių ir paveikslėlių sąrašas

2.1. pav. Aukštos įtampos elektros įrenginių įvadas [2].....	11
2.2. pav. Dalinių išlydžių aptikimo metodai.....	14
2.3. pav. Dalinių išlydžių registravimo grafikas [2].....	15
2.4. pav. Dalinių išlydžių registravimo grafikas bandant aukštesne įtampa [3].....	15
2.5. pav. Kontaktinio akustinio metodo sensorių išdėstymas ant transformatoriaus korpuso [6]	18
2.6. pav. Akustiniai sensoriai sumontuoti prie transformatoriaus sienos[6] .....	18
2.7. pav. Akustiniu metodu gauti signalai be dalinių išlydžių [6].....	19
2.8. pav. Akustiniu metodu gauti signalai su daliniais išlydžiais (Pulsacijos pasikartoja ir yra synchronizuotos su elektros tiekimo dažniu 50Hz.) [6].....	19
2.9. pav. Ultragarso matavimo prietaisas [14].....	22
2.10. pav. Nekontaktinis spinduliuojamų UG bangų matavimo prietaisas .....	22
2.11. pav. Vainikinio išlydžio spektras [1].....	24
2.12. pav. Vainikinio išlydžio laiko grafikas [1].....	25
2.14. pav. Oru aušinamų transformatorių apvijų nuostolių spektras [1] .....	25
2.15. pav. Oru aušinamų transformatorių apvijų signalas laiko srityje [1] .....	26
2.16. pav. Dalinių išlydžių vykstančių ant izoliatoriaus spektras [1].....	26
2.16. pav. Lankinio išlydžio vykstančio ant izoliatoriaus spektras [1].....	27
2.19. pav. Lankinis išlydis vykstantis ant izoliatorius, laiko grafikas [1] .....	27
2.20. pav. Nekontaktinio tyrimo ultragarsu ataskaitos pavyzdys [1] .....	28
3.1. pav. Aliuminių šynų sujungimas šešiakampiais varžtais ir uždengiant termo vamzdeliu ....	29
3.2. pav. TMULD-300 Ultrasonic Leak Detector [15].....	30
3.3. pav. TMULD-300 Ultrasonic Leak Detector valdymo instrukcija, kairėje imtuvas, dešinėje švytury [15].....	30
3.4. pav. DC maitinimo šaltinis .....	31
3.5. pav. Soundcard Scope programa ir jos langas.....	31
3.6. pav. Įtampa prie kurios tarp elektrodų ore pradeda vykti pramušimas A tarp lygių paviršių elektrodų B tarp smailių elektrodų. [7].....	33
3.7. pav. Bandymo struktūrinė schema.....	33
3.8. pav. Štatyvas, asmeninis kompiuterinis,ASUS išorinė garso plokštė, TMULD-300 (eksperimentas laboratorijoje) .....	34
3.9. pav. Nufiltruotas ultragarsinis signalas .....	35
3.10. pav. Nufiltruoto signalo amplitudžių spektras (modulis).....	35
3.11. pav. Kryptingumo charakteristika .....	36
3.12. pav. Štatyvas, asmeninis kompiuterinis, ASUS išorinė garso plokštė, TMULD-300 32m atstumu (eksperimentas koridoriuje) .....	37
3.13. pav. Štatyvas, asmeninis kompiuterinis,ASUS išorinė garso plokštė, TMULD-300 19.2m atstumu(eksperimentas koridoriuje) .....	38
3.14. pav. Eksperimentas be KAS 23m. atstumu (eksperimentas koridoriuje).....	39
3.15. pav. Ultragarso sklidimo dB/m priklausomybė nuo dažnio ir drėgmės[24] .....	43
3.16. pav. Ultragarso sklidimo greičio priklausomybė nuo drėgmės ir temperatūros[24] .....	43
2.1 lentelė DGA galimų gedimų lentelė [25] .....	16
3.1 lentelė Eksperimento laboratorijoje duomenys .....	39

# 1. Įvadas

Eksplloatuojant Lietuvoje elektros tinklą, dažnai susiduriame su įvairiomis avarijomis, kurios pirmiausia įvyksta dėl to, kad nebuvo laiku pastebėtas gedimas ir nesuplanuotas jo pašalinimas.

Lietuvoje norint palaikyti elektros energetikos sistemą tvarkingą reikia, pakankamai didelių investicijų, bei įrenginių padedančių nustatyti izoliacijos, atliktų darbų kokybę ar visi kontaktai tinkamai sujungti. Dažniausiai, gedimai įvyksta dėl netinkamai atliktų darbų ir naudotų nekokybiškų medžiagų (prastos izoliacinės savybės) Nutrūkus elektros energijos tiekimui, net tik įmonės patiria, tačiau operatorius patiria milžiniškus nuostolius, nes reikia dar ir planuoti elektros tinklo atstatymą.

Elektros įrenginių būklės įvertinimas yra pakankamai sudėtingas ir naudingas darbas. Visame pasaulyje pažeidžiamiausi yra aukštos elektros energetikos įrenginių izoliacija, kaip ir, visos turi savybę laikui bėgant senėti. Jos būklė turi didelę reikšmę ne tik pastočių, bet ir viso elektros tinklo patikimumui. Elektros įrenginiams senstant ir veikiant elektriniams bei mechaniniams poveikiams, gali būti pažeidžiami transformatoriai, apvijos, izoliacija, alyvos bakai, movos, bei kiti svarbūs kontaktai. Šiuo metu yra pradėtos naudoti naujos transformatorinės pastotės, su dalinių išlydžių stebėjimo įranga padedančia stebėti ir išsaugoti prietaisų ilgaamžiškumą.

Likusiems iš pirmo požiūrio morališkai, bei fiziškai susidėvėjusiems įrenginiams galima atlikti bandymus, kurie tiksliau padėtų įvertinti jo būklę. Drįsčiau teigti, kad geriausias bandymas yra kuomet įmanoma neatjungus įrenginio nuo tinklo momentiniu būdu nustatyti ar šis įrenginys dar ilgai tarnaus, ar jam reikalingas planinis remontas, o gal jį jau reikia keisti prioritetine tvarka.

Naudojantis ultragarsiniu dalinių išlydžių aptikimo metodu, galime iš anksto numatyti ateityje galinčią kilti grėsmę. Tiksliai aptikus dalinius išlydžius ir jų vietą ankstyvojoje stadijoje galime planuoti planinius atjungimus ir remontus, siekiant kad remontas būtų kuo pigesnis kol neįvyko didelė avarija ir patirti kuo mažesni nuostoliai tinklui ir vartotojams.

Šiame darbe bus sudaroma eksperimentinių tyrimų metodika ir bandoma aptikti sugeneruotą dalinį išlydį elektros įrenginyje.

## **Darbo tikslas:**

Sudaryti tyrimo metodiką ir iširti pasirinktą metodą, kuris būtų tinkamas nuotoliniam dalinių išlydžių nustatymui, bei iširti, kaip priklauso dalinio išlydžio aptikimo vieta nuo atstumo



ir ultragarsinio detektorius orientacijos kampo.

**Darbo uždaviniai:**

1. Išnagrinėti kokiais metodais yra aptinkami daliniai išlydžiai ir palyginti, kuris iš jų yra tinkamiausias
2. Atlikti eksperimentą ir nustatyti, kokią įtaką turi dalinių išlydžių aptikimui turi dalinių išlydžių nustatymo prietaiso atstumas iki įrenginio, bei prietaiso posūkio kampas ir įrenginio korpuso medžiaga, kuomet išlydis vyksta įrenginyje.
3. Įvertinti gautų duomenų rezultatus ir pateikti išvadas.

## 2. Literatūros apžvalga

### 2.1 Bendros žinios apie elektros įrenginių vidinę izoliaciją ir jos senėjimo dėsningumus

Elektros energetikos įrenginių izoliacija (alyva, izoliaciniai vamzdeliai, izoliacinis popierius...) nuolat senėja, nes veikia viršįtampiai ir viršsvoriai. Viršįtampiai būna kelių tipų: [2]

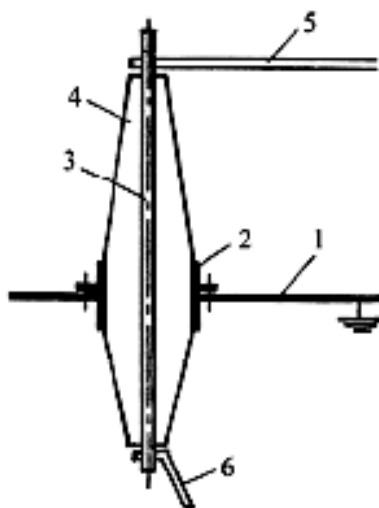
- Trumpalaikiai (žaibo sukelti)
- Greitai šylantys (komutaciniai)

Kiekvienas viršįtampių poveikis palieka pėdsakų izoliacijoje, o izoliacijai senstant prastėja ir jos charakteristikos. Aukštos įtampos įrenginiuose izoliacija turi būti nuolat tikrinama ir stebima, įvertinamos kokybinės charakteristikos.

Ekspluatuojant elektros įrenginius, jų izoliaciją nuolat veikia įvairios trukmės viršįtampiai ir viršsvoriai. Viršįtampiai gali būti trumpalaikiai (žaibo išlydžio sukelti) ar greitai šylantys (komutaciniai). Izoliacija, veikiamą viršįtampių, sensta greičiau, o izoliacijai senstant blogėja jos kokybinės charakteristikos. Kiekvienas viršįtampių poveikis priklausomai nuo įtampos amplitudės ir poveikio trukmės palieka pėdsakų kietojoje izoliacijoje. Aukštosios įtampos įrenginių izoliacijos būklei įvertinti turime nuolat tikrinti, stebėti įrenginius ir įvertinti kokybines charakteristikas. Šiame darbe nagrinėjamas įtampos poveikis dalinių išlydžių kietojoje elektros įrenginių izoliacijoje charakteristikoms. Ištirtas įvairaus pobūdžio viršįtampių poveikis eksploatuojamų įrenginių izoliacijai.

Elektros įrenginių vidinę izoliaciją sudaro izoliuojamos konstrukcijos elementai, kurių tarpuose tarp elektrodų būna pripildyta dujų, skystų, kietų dielektrinių medžiagų.

2.1 pateiktame paveiksle pavaizduota pakankamai dažnai sutinkamo aukštos įtampos elektros įrenginių izoliacinis įvadas įmontuotas į metalinį žemintą baką. Ant žemintos korpuse sienelės (1) sumontuotas aukštos įtampos įvadas, prie kurios pritvirtintos žemintos metalinės jungės (2), laidus strypas (3), prie kurio prijungtos aukštos įtampos šynos (5 ir 6) ir izoliacinis gaminys (4). Izoliacinės medžiagos būna įvairios (plastikas, alyva, porcelianas, dujos, alyva ir alyvoje įmirkytas popierius. Aukštos įtampos įvado viršūnė dažniausia būna ore, o apatinė korpuse.



**2.1. pav. Aukštos įtampos elektros įrenginių įvadas [2]**

Šis pavyzdys ir pakankamai paprastas, nes dabar naudojamos yra sudėtingesnės sistemos sudarytos iš įvairių konstrukcijų ir skirtos eksploatuoti sudėtingesnėmis sąlygomis. Tačiau jis pasirinktas, nes visos izoliacijos konstrukcijos turi bendrų panašumų ir jis yra paprastesnis.

Oras neturi daug elektrinio atsparumo todėl yra naudojamos kietos, skysto arba specialiųjų dujų dielektrinės medžiagos.

Izoliacinių medžiagų tipai:

- Didesnio atsparumo medžiagos leidžia sumažinti įrenginio gabaritus.
- Vidinė izoliacija arba jos atskiri elementai panaudojami laidams montuoti.
- Įrenginys arba laidai yra aušinamas per izoliacines medžiagas.

Izoliacinių medžiagų bendrosios savybės:

- Daugeliu atveju pramušta izoliacija sugenda ir tampa nebenaudojama.
- Eksploatacijos metu izoliaciją veikia mechaniniai, šiluminiai ir įvairūs išoriniai veiksniai.

Šie veiksniai lemia didelę praktinę reikšmę ir lemia bendrus metodus projektuojant arba eksploatacijos metu atliekant įvairių elektros įrenginių diagnostiką.

Eksploatacijos aukštos įtampos elektros įrenginių metu, izoliaciją veikia elektra, mechaninės jėgos, šiluma, blogindami aukštos įtampos elektros įrenginių izoliaciją. Tai yra

vardinama izoliacijos senėjimu. Jis yra skirstomas į kelias dalis:

- Šiluminis. Jo metu senėjimas vyksta tuomet, kai srovėlaidžiais tekant didelėms srovėms išsiskiria daug šilumos, kuri nepašalinama iš įrenginių izoliacijos į aplinką.
- Mechaninis, kai izoliacija pažeidžiama mechaniškai, vibracijos arba dinaminių jėgų, susidariusių trumpo jungimo metu.
- Elektros izoliacija sensta dėl įvairių prasiskverbusių teršalų iš oro.

## **2.2 Dalinių išlydžių ir jų sukeltų pažeidimų elektros energetikos įrenginiuose problematikos analizė**

Dažniausi sutinkami aukštos įtampos transformatorinių pastočių (TP) įrenginiai yra jungtuvai ir galios transformatoriai. Jų kainos yra pakankamai didelės, o dar didesnis nuostolis yra patiriamas per elektros energijos pertrūkius.

Daugiausia aukštos įtampos pastotės įrenginiuose yra pažeidžiama izoliacija, kontaktinės grupės, stacionarūs kontaktiniai sujungimai. Dielektriko senėjimą dažniausia elektriniai (dalinių išlydžių) procesai.

Daliniai išlydžiai vyksta dėl nepakankamo izoliacijos impregnavimo, mechaninių pažeidimų, drėgmės. Daliniai išlydžiai dažniausia vyksta ne tik izoliacinėje alyvoje arba kietojoje izoliacijoje, tačiau pasitaiko ir kitokių atvejų (pvz.: skirtingo potencialo metalinės konstrukcijos). Dalinių išlydžių charakteristika yra išlydžio energija ir dalinių išlydžių impulsų dažnis, o tik po jų atsiranda kibirkščiavimas ir elektros lankas, kurių pasekmė yra nutraukiama elektros energija ir vykdomi remonto darbai [21].

Daliniai išlydžiai aukštos įtampos transformatoriuose susidaro kuomet elektrinis laukas toje vietoje pasikeičia ir tokiu būdu susikuria ten srovė. Tuomet srovė esanti tam tikrame taške sukuria elektrinį impulsą, kuris yra išmatuojamas transformatoriaus lauke. Dažniausia dalinių išlydžių atsiradimą lemia šios trys kategorijos: judančios dalys, vainikinis išlydis ir tarpai (tuštumos) [23]

Tuštumos arba tarpais yra laikoma tankesnės ertmės dielektrinėje medžiagoje, pavyzdžiui dujų burbulai transformatoriaus alyvos bake, arba įvairūs įtrūkimai izoliacinės medžiagos.

Tuštuma turi mažesnę dielektrinę konstantą kuri leidžia susidaryti talpai. Kuomet elektrinis laukas viršiją minimalią pramušimo reikšmę gali susidaryti dalinis išlydis [23].

Trumpai tariant, kad dalinis išlydis įvyktų reikia, kad laisvas elektronas turėtų įtampą atitinkantį stiprumą, kol tuo metu elektrinis laukas susidarys pakankamai didelis, kad sukeltų elektronų srautą iš vieno taško į kitą. O laisvųjų elektronų poveikis šį procesą padaro labai nenuspėjama. Dalinis išlydis gali susidaryti arba per kelias minutes, arba per kelias valandas tuštumoje (tarpe). Tuomet stebima dalinis išlydis, kaip elektrinis, akustinis arba optinis [23]

Būtina laiku vykdyti planinius patikrinimus, kad neįvyktu avarijos, ar neplanuoti atsijungimai. Elektros įrenginių techninė būklė įvertinama analizuojant reikalingus parametrus, lyginami pasikeitimai. Laikus pastebėjus dalinius išlydžius galima išvengti įrenginio sugadinimo. Naudojantis šiuolaikinėmis technologijomis ir jas sukombinavus į vietą įmanoma laiku viską pastebėti.

### **2.3 Diagnostikos metodų tinkamų daliniams išlydžiams nuotoliniu būdu aptikti analizė**

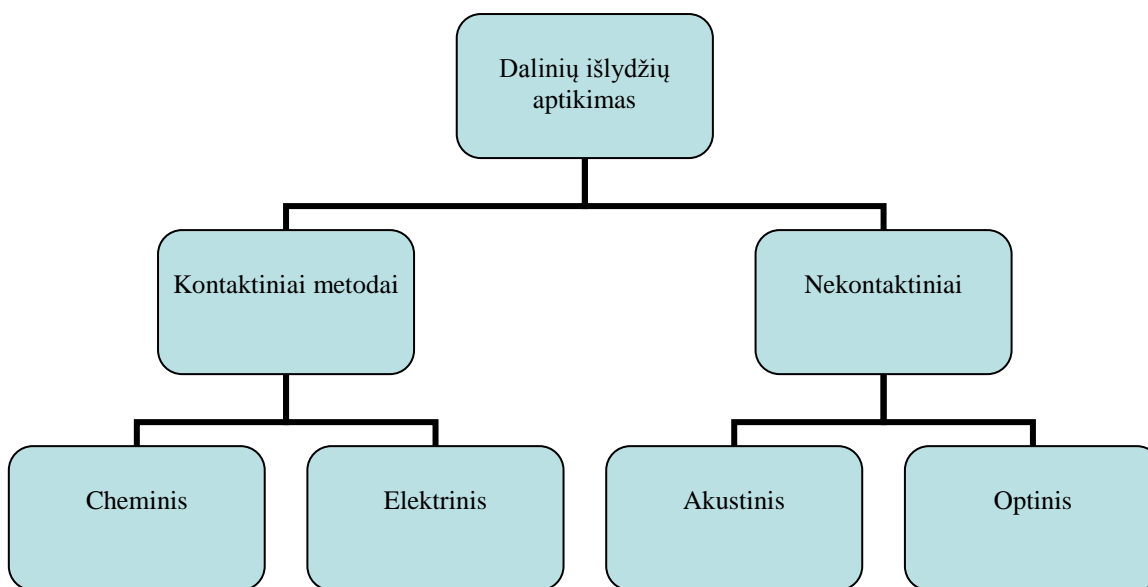
Daliniai išlydžiai aptikti naudojami matavimo prietaisai, kurie matuoja akstinius, elektrinius trikdžius, kuriuos sukelia dalinis išlydis. Izoliacijos būklė laikoma tinkama, jei per metus ji pasikeitė nežymiai (t.y. keliais procentais) taip pat paklaida palyginus su kitais elektriniais matavimais yra leidžiama didesnė. Vienas iš svarbiausių faktorių atliekant dalinių išlydžių matavimus yra periodinė patikra, kurią vykdo akredituota institucija (atlieka metrologijos vertinimą).

Atliekant matavimus privaloma paruošti paviršių (nuvalyti, kad būtų švarus ir sausas). Mechaninės ir terminės apkrovos gali įtakoti dalinių išlydžių bandymų rezultatus.

Daliniai išlydžiai gali būti matuojami keliais metodais [10]:

- Tradiciniais metodais elektriniais metodai galima išmatuoti daugiau parametru. Matavimo metu daliniai išlydžiai izoliacijoje yra registruojami impulsų parametru registracija. Tam yra naudojamos filtrų schemos. Matavimo jautrumas yra pakankamai didelis.

- Netradiciniais metodai taikomi norint nustatyti tikslią dalinių išlydžių vietą. Vienas iš jų yra akustinis metodas. Kadangi šių metodų jautrumas nėra didelis, išlydžių amplitudė gali būti matuojama tik santykiniais vienetais.
- Kombinuojant kelis metodus įmanoma nustatyti tikslią dalinių išlydžių lygį ir juos lokalizuoti.



**2.2. pav. Dalinių išlydžių aptikimo metodai**

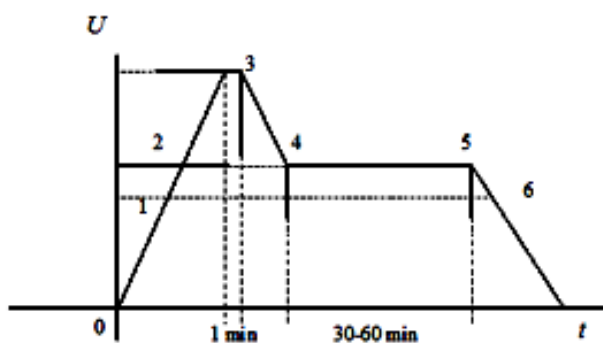
Per pastaruosius dešimtis metų keletas metodų buvo sukurti ir išvystyti norint aptikti dainius išlydžius. Šie metodai yra skirstomi į 4 grupes: Akustiniai, cheminiai, optiniai ir elektriniai. Kadangi optinis metodas nėra plačiai naudojamas todėl jo neaptarinėsime.

### 2.3.1 Elektrinis metodas

Aukštos įtampos dalinių išlydžių izoliacijos lygis nustatomas 3 bandomosios įtampos taškuose 60s trukmės ir 50Hz dažnio bandomąją įtampa:

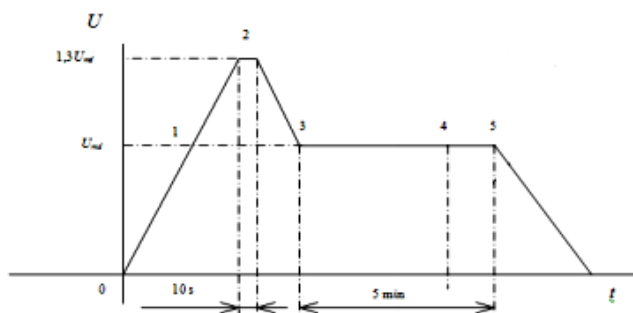
1. Esant didžiausiai darbo įtampa;
2. Padidinus didžiausią darbo įtampa 30% arba 50% vykdant 110kV aparatų izoliacija;
3. Esant bandomajai įtampai.

Dalinių išlydžių lygis nuo 1 iki 2 taško registruojamas pakėlus įtampa iki bandomosios ir sumažinus, bei išlaikius aukštesnę įtampa nuo 30min iki 60min. Ilgesnis laiko tarpas reikalingas norint nustatyti tikslesnis dalinių išlydžių lygį ir stabilizuoti procesą. Tarp 4 ir 5 taško dalinis išlydis matuojamas nemažiau trijų kartų išlaikant įtampą. [2]



**2.3. pav. Dalinių išlydžių registravimo grafikas [2]**

Pasitaiko atveju, kuomet vykdant dalinių išlydžių lygio matavimus būna viršytas leistinasis lygis. Tuomet rezultatai ištiriami stengiamasi pašalinti triukšmus ir rezultatai kartojami. Jei vis tiek yra viršijamas leistinasis lygis būtina vykdyti remontą.



**2.4. pav. Dalinių išlydžių registravimo grafikas bandant aukštesne įtampa [3]**

Atliekant bandymą aukštesne įtampa, įtampa pakeliama 30% nuo didžiausios darbo įtampos yra laikoma 10s. Sekančiame etape 5min yra vykdomas bandymas su didžiausia darbo įtampa, o paskutiniąją minutę matuojamas dalinių išlydžių lygis. [2]

Šis metodo pagrindinis trūkumas yra jautrumas triukšmui. Galios transformatoriai į aplinką generuoja daug elektrinio triukšmo. Kai kuriais atvejais yra pakankamai sudėtinga atskirti triukšmo ir dalinio išlydžio trumpo impulso pločio dalinį išlydį, kuomet matuojame prijungtą įrenginį prie tinklo [2]. Atjungus jį įmanoma sumažinti triukšmo lygį, tačiau reikėtų atsižvelgti ir į tai, kad neprijungtas transformatorius, kuomet nėra galimybės kompensuoti kitu ar prijungti generatorių, kainuoja tūkstančius eurų už nesuteiktą elektros energiją įmonėms ir privatiems klientams.

### 2.3.2 Cheminis metodas

Daliniai išlydžiai yra aptinkami chemiškai, kai tik elektros srovės srautas suskaido supančiais medžiagas į skirtingus cheminius elementus. Šiomis dienomis yra naudojami du pagrindiniai cheminiai testai:

- DGA ištirpintų dujų analizė
- HPLC aukšto efektyvumo skysčių chromatografija.

Pakankamai yra svarbu paminėti, kad šie tyrimai daugiausia yra paplitę tarp alyva pripildytų elektros įrenginių, tokių kaip alyva aušinami galios transformatoriai.

Ištirpusių dujų analizės testo metu yra nustatoma ištirpusių dujų kiekis alyvoje. Bandymas yra atliekamas paimant iš elektros įrenginio alyvos mėginį ir nustatoma ištirpusių dujų kiekiai, tokių kaip vandenilio ir acetileno, metano, anglies oksido, anglies dioksido. Šiuo testu yra siekiama parodyti dalinių išlydžių buvimą ir suteikti papildomos informacijos apie skirtingų dujų kiekį alyvoje, nes tai irgi gali sukelti tam tikrus gedimus [4].

**2.1 lentelė DGA galimų gedimų lentelė [25]**

Dujų apibūdinimas		Dujų koncentracija (ppm)		
		Riba, kuomet įrenginys įspėja apie galimus defektus * (<)	Riba prie kurią pasiekus turėtų būti vykdomas remontas ** (>)	Galimo gedimo tipas
Vandenilis	H <sub>2</sub>	150	1.000	Vainikinis, lankinis išlydis
Metanas	CH <sub>4</sub>	25	80	Kibirkščiavimas
Acetilenas	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	15	70	Lankinis išlydis
Etilenas	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	20	150	Sunkus perkaitimas
Etanas	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	10	35	Vietinis perkaitimas
Anglies monoksidas	CO	500	1.000	Sunkus perkaitimas
Anglies dioksidas	CO <sub>2</sub>	10.000	15.000	Sunkus perkaitimas
Išviso degiųjų	TDCG	720	4.630	
* Pasiekus šią reikšmę, yra įspėjama, kad reikia planuoti artimiausiu metu vykdyti atjungimą .				
** Pasiekus šią reikšmę, transformatorius turėtų būti keičiamas.				
ANSI/IEE C57.104				



Skysčių chromatografijos metu nustatomos transformatoriaus izoliacijos pramušimas dėl pašalinių elementų. Šio bandymo trūkumas yra toks, kad gliukozės alyvoje yra labai nedaug, ir bandymas dėl to nukenčia, nes nėra nustatyta gliukozės standartų nuo gedimų reikšmių [4].

Taigi cheminių metodų pagrindinis trūkumas išlieka, kad negalima sužinoti tikslios vietos ir kokio dydžio yra dalinis išlydis. Apie dalinį išlydį galime sužinoti kuomet jau buvo poveikis įrenginio izoliacijai. Taip pat naudojantis šiuo metodu negalime iškart nustatyti dalinio išlydžio, todėl reikia atlikti bandymus.

### **2.3.3 Akustinis dalinių išlydžių aptikimo metodas**

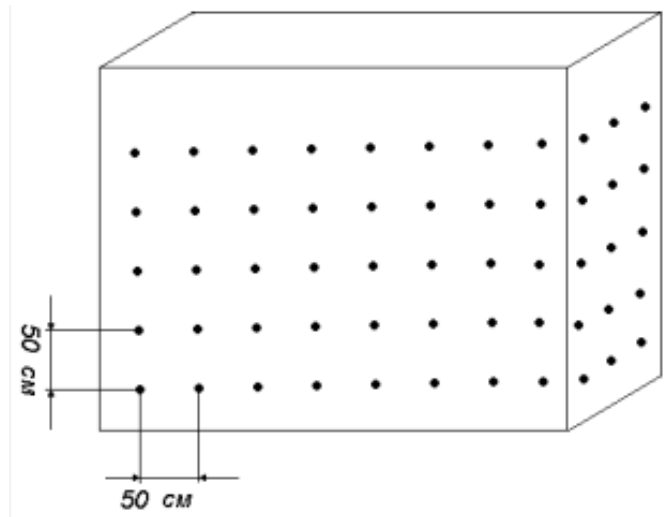
Galios transformatoriai yra bene svarbiausia elektros energijos tiekimo ir perdavimo komponentai. Siekiant, kad būtų saugiau perduodama ir stabiliai perduodama būtina rūpintis jais. Remiantis statistika 80% transformatorių gedimų įvyksta dėl pažeistos izoliacijos [16]. Todėl labai svarbu rūpintis, kad juose nebūtų pažeista izoliacija.

Akustinis dalinių išlydžių aptikimo metodas šiuo metu yra labai patrauklus ir užsienyje. Kai kuriose pastotėse yra sėkmingai naudojamas aptikti daliniams išlydžiams transformatoriuje, neatjungus jo nuo tinklo [20].

Akustinis dalinių išlydžių signalas yra apsaugotas nuo elektromagnetinių triukšmų. Akustinis signalas aptinkamas naudojantis pjezoelektriniais keitikliais, optinio pluošto garso jutikliais, kondensatoriais, mikrofonais ir garso rezonanso jutikliais dažniausia naudojamais dažnių juostoje tarp 10kHz ir 300kHz.

Naudojantis akustinio dalinio išlydžio metodo pirmiausia yra nustatoma, kur yra aukščiausi akustiniai signalai transformatoriaus išorėje.

Metodo tikslas yra nustatyti visus galimus dalinių išlydžių veiklos zonas. Matuojant dalinius išlydžių matavimo signalus, amplitudė yra analizuojama siekiant atrasti visas vietas. Dalinių išlydžių aptikimui rekomenduojamas signalą matuoti kas 50cm su vienu akustiniu sensoriumi [6].



**2.5. pav. Kontaktinio akustinio metodo sensorių išdėstymas ant transformatoriaus korpuso [6]**

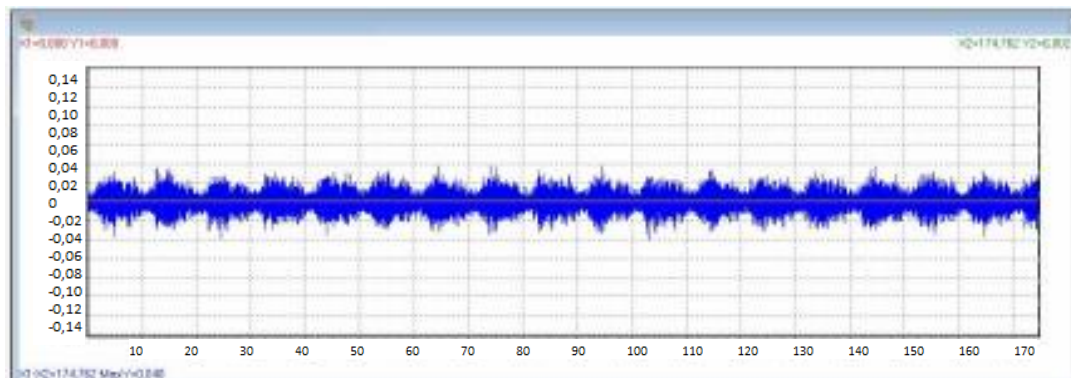
### **2.3.4 Dalinių išlydžių nustatymas naudojantis keturiais akustiniais sensoriais**

Teisingai vietai nustatyti rekomenduojama akustinius sensorius sumontuoti kvadrato kampuose. Tada yra pasirenkamas nulinis atskaitos taškas. Visos koordinatės bus apskaičiuojamos ir pranešamos apie dalinių išlydžių šaltinio vietą.

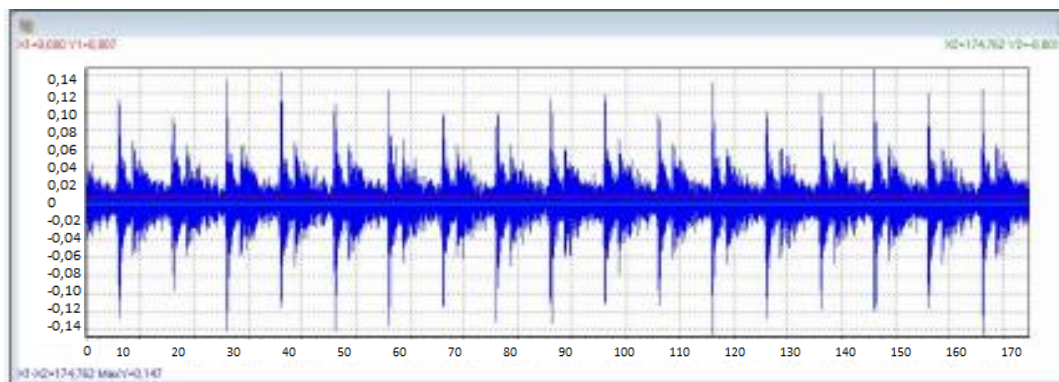
Akustiniai sensoriai dažniausiai turi magnetinius laikiklius, todėl juos nėra sudėtinga pritvirtinti prie transformatoriaus sienelių. Tačiau prieš tvirtinant sensorius sienos privalo būti paruoštos (t.y. pateptos specialiu tepalu). Tai yra būtina norint gauti tikslesnius rezultatus.



**2.6. pav. Akustiniai sensoriai sumontuoti prie transformatoriaus sienos[6]**



**2.7. pav. Akustiniu metodu gauti signalai be dalinių išlydžių [6]**



**2.8. pav. Akustiniu metodu gauti signalai su daliniais išlydžiais (Pulsacijos pasikartoja ir yra sinchronizuotos su elektros tiekimo dažniu 50Hz.) [6]**

Šis metodas yra labai efektyvus aptinkant tiksliai kurioje vietoje yra dalinis išlydis įrenginyje, nes į elektromagnetinius triukšmus nereaguoja. Tačiau garso signalas priklauso nuo įrenginio formos kuriame dalinis išlydis vyksta.

Akustinio metodo pagrindinė problema yra akustinių bangų sklidimas erdvėje. Transformatorius nėra vienalytis prietaisas ir bangos nekeliauja tobulais sferiniais bangų frontais, dėl to kad dalinis išlydis yra pakankamai mažas [6]

Dar viena problema, su kuria yra susiduriama aptinkant dalinius išlydžius yra kompleksinis bangų akustinių bangų sklidimas. Galios transformatoriai nėra vienalyčiai prietaisai, juose bangos nekeliauja tobulomis sferinių bangų frontais. Su kitu sunkumu yra susiduriama tuomet, kai reikia ypač jautraus sensoriaus. Dažniausia dėl pašalinių triukšmų gaunami akustiniai signalai yra labai mažo intensyvumo, todėl yra reikalingi ypač jautrūs sensoriai, kurie reaguotų į menkiausius signalo amplitudės pasikeitimus siekiant aptikti dalinį išlydį [8].

### 2.3.5 Portabilūs ultragarsiniai detektoriai

Šių prietaisų pagrindinis privalumas yra tai, kad juos galime diegti ten, kur tik norime, kur stebėti informaciją apie įrenginį buvo pernelyg brangu. Tikimasi, kad tai elektros energijos sistemą padarys patrauklesnę ir patikimesnę, naudojantis mažiau elementų.

Ultragarsiniai prietaisai yra sukonstruoti taip, kad juos būtų galima leisti į serijinę gamybą, tuomet ir kaina bus laikoma sąlyginai maža.

Įrenginiai gali aptikti dalinius išlydžius tiek iš vidaus tiek iš išorės, taip pat yra pritaikyti ir nuolatiniams ir kintamiems elektros energijos šaltiniams. Kuomet dalinis išlydis aptinkamas, jis yra girdimas per ausines, prijungtas prie ultragarsinio išlydžių aptikimo prietaiso ir išlydžio sugeneruotos ultragarsinės bangos signalas turėtų būti išmatuojamas osciloskopu ar panašiu prietaisu (skaitmenizatoriumi), kad būtų galima išsisaugoti, palyginti ar realiu laiku stebėti įrenginius ir vėliau rezultatus analizuoti (atlikti analizę dažnio srityje, taikant filtravimą ir greitąją Furjė transformaciją).

### 2.3.6 Ultra aukšto dažnio aptikimo metodas (UHF)

Ultra aukšto dažnio aptikimo metode jautikliai dažniausia dirba diapazone tarp 100MHz ir 2GHz. Šio diapazono privalumas yra toks, kad išorinio triukšmo slopinimas gali būti lengvai pasiektas. Tačiau vis dar nėra sukurto pagrindinio ryšio tarp UHF ir IEC 60270 standartų [11]. Kelios sąsajos yra, bet iki šiol tik pagrindinio standarto galios transformatoriams dar nėra. Tai tikriausia ir yra viena iš pagrindinių priežasčių, kodėl šis metodas nėra labai paplitęs, nei gamykliniuose bandymuose, nei eksploataavimo eigoje .

Kita problema yra tai, kad galios transformatoriai yra projektuojami pagal kliento reikalavimus ar specifikacijas, dėl to yra ribotas tam tikrų pagamintų vienodo tipo transformatorių. Transformatorius elgiasi, kaip bangolaidis, todėl nuo jo geometrijos priklauso UHF dažnių diapazonas, atspindžio bangos. Štai kodėl pasikeitus transformatoriaus geometrijai pasikeičia ir gaunami rezultatai. Yra būtina UHF jautiklius perkalibruoti kiekvienam transformatoriaus tipui [22].

Tačiau UHF metodas yra vienas iš tų metodų kuriuos galime atlikti neatjungę elektros įrenginių nuo tinklo. Jis turi didelį privalumą prieš tradicinius metodus, kad beveik nereaguoja į

pašalinius trikdžius. Pačioje pradžioje UHF dalinių išlydžių aptikimo metodas buvo taikytinas į dujų izoliuotas pastotes (GIS gas insulation substation) ir skirta daug dėmesio UHF elektromagnetinėms bangoms GIS, sensorių tipams, stiprintuvams, signalų apdorojimui ir pačios funkcijos gavybai. Per kelerius metus stipriai patobulėjo UHF matavimo prietaisai [9]. Šį metodą galime naudoti ne tik dujų izoliuotose pastotėse, tačiau ir elektros įrenginių kontrolei, tokių kaip transformatoriai, kabeliai.

### **2.3.7 Nekontaktiniai greitosios diagnostikos metodai**

Vykstant įvairiems procesams medžiagose yra vienas bendras panašumas visoms, tai yra jos spinduliuoja šilumą, kurią galime aptikti termovizoriumi. Prietaiso skalė yra pakankamai plati, kad būtų galima nustatyti gedimus kontaktiniuose elektros sujungimuose.

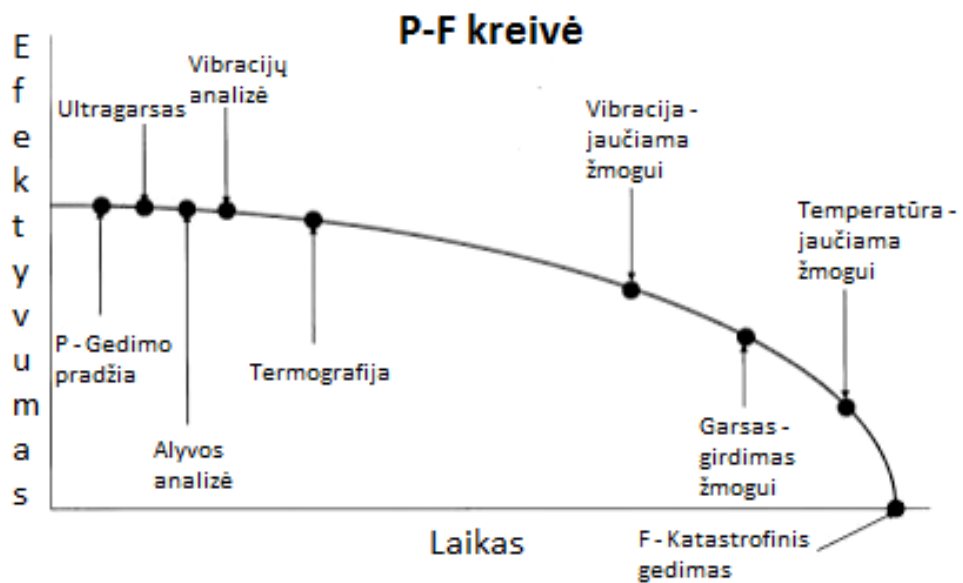
Termovizoriumi yra užfiksuojama kiekvieno matomo kūno paviršiaus temperatūra, ji išsaugoma ir analizuojama, kodėl būtent įvyko gedimas (pradėjo kaisti kontaktai).

Sujungus termoviziją ir ultragarso būtų galima prieš atidarant neišjungtą pavarą, jei ultragarso emisija aptinka išlydį, tuomet reikėtų imtis visų atsargumo priemonių prieš atidarant neišjungtą narvelį. Taip pat tikrinant abiem metodais išlieka didesnė tikimybė aptikti pažeidimus. Norint gauti dar geresnius rezultatus reikia įsirašyti priimtų ultragarsinių bangų signalus, skaitmenizuoti ir analizuoti dažnių srityje naudojantis Furjė transformacija.

## **2.4 Ultragarsinio metodo parinkimas išsiaiškinant pagrindinius principus bei būdingus tais atvejais ultragarsinių signalų charakteristikų pokyčius**

Dalinių išlydžių nustatymas ultragarsiniu prietaisu turi du pagrindinius privalumus:

- Galime stebėti iškart ar vyksta išlydžiai, nereikia imti mėginių ir važiuoti į laboratoriją juos tirti.
- Dalinius išlydžius naudojantis ultragarsu pastebėti galime pačioje anksčiausioje stadijoje. Tuomet turime daugiausia laiko pasirūpinti viskuo, kad tik jie sukeltų kuo mažiau nuostolių elektros tinklui ir vartotojams.



**2.9. pav. Ultragarso matavimo prietaisas [14]**

Iš pateikto grafiko galime susidaryti eiliškumą kuo yra pranašesnis ultragarsinis dalinių išlydžių aptikimas. Po jo seka tik alyvos analizė, termovizija, žmogus pradeda jausti įrenginio vibraciją, girdėti, jausti kontaktų kaitimą.

Naudojantis ultragarsiniu dalinių išlydžių nustatymo metodu pats principas yra, kuomet vyksta dalinis išlydis į aplinką generuojamos ultragarso bangos, kurios yra priimamos ultragarsiniu imtuvu, sustiprinamos, skaitmenizuojamos ir analizuojamos dažnių srityje su Furje transformacija paskaičiavus signalų spektrus.

Įvairios įrangos spinduliuoja plataus asortimento garsą. Taigi izoliavus pašalinius garsus (triukšmus) galima nustatyti tikslią spinduliuojančio objekto vietą.



**2.10. pav. Nekontaktinis spinduliuojamų UG bangų matavimo prietaisas**

Ultragarso tyrimai dažnai naudojami vertinant daugiau kaip 1000V uždaruose perjungimo pavarose nustatant dalinius išlydžius. Atsiradus daliniam išlydžiams pavarose juos taip pat galime identifikuoti infraraudonųjų spindulių termografijoje.

Įvykus išlydžiui oro molekulės aplink jį generuoja ultragarso bangas, dažniausiai jis būna tarsi stiprūs traškesiai, o jei nevyksta išlydis tuomet ultragarsinio detektoriaus išėjime girdisi silpnas šnypšimas.

Naudojantis ultragarsu aptinkame šias pagrindines problemas:

- Vainikinis išlydis atsiranda kuomet kurioje nors lauko vietoje jo stiprumas pasiekia duotoms dujoms kritinę reikšmę, pavyzdžiui smailumose arba ties mažo skersmens laido paviršiumi. Kartais šį išlydį lydi vainikinis (koronos) švytėjimas ir būdingas šnypštimas.
- Dalinis išlydis po kurio seka pažeista elektros įrenginio izoliacija.
- Kibirkštinis išlydis kuomet elektros lankas susidaro per tarpą. Geriausias pavyzdys yra žaibas.

Elektros išlydžio aptikimas naudojantis ultragarsu yra panašus į akustinės emisijos procedūrą iš mechaninių šaltinių. Skirtumas tik toks, kad ultragarso metode yra girdimas arba šnypštimas arba čirškėjimas. Kartais primena į televizijos arba radijo signalų paiešką. Paieškos vieta yra surandama naudojantis su pagrindine paieškos nustatymo funkcija. Jei signalas yra per stiprus, jautrumas sumažinimas iki garsiausio taško, signalas turėtų neviršyti 50% visos indikatoriaus skalės. Skaitmeniniuose įrankiuose rekomenduojama palaikyti signalą tarp 4 ir 6 segmentų (skalėje iki 10) [12].

Įrašyti garsai yra siunčiami į kompiuterį ir ten analizuojami dažnio arba laiko srityse. Pakankamai yra svarbu įvertinti abu, spektrą ir signalo formą laiko srityje, kad priimtume teisingą sprendimą.

Naudojantis laiko srities grafiku galima nemažai sužinoti:

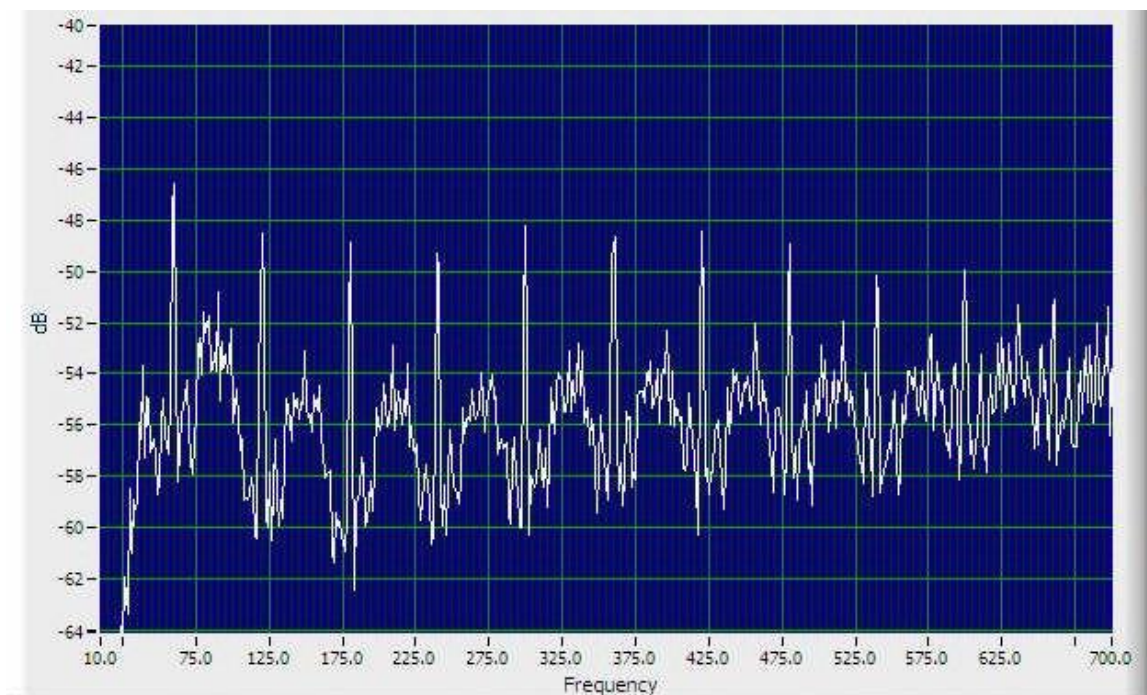
- Jei yra lankinis išlydis, tuomet bus vienoda signalų juosta ir tik keli “pikai” virš vidurkio. [1].
- Jei yra dalinis išlydis, pradėdama matyti “pikai” sukurti iškrovų ir yra pratęsiami virš vidurkio [1].

- Kibirkštinio išlydžio atveju yra matomas keletas eilių signalo energijos padidėjimų, kurie sutampa su iškrovomis [1].

Visais atvejais ultragarsinio signalo spektras ir signalo forma laiko srityje turi būti išnagrinėti prieš priimant galutinį sprendimą.

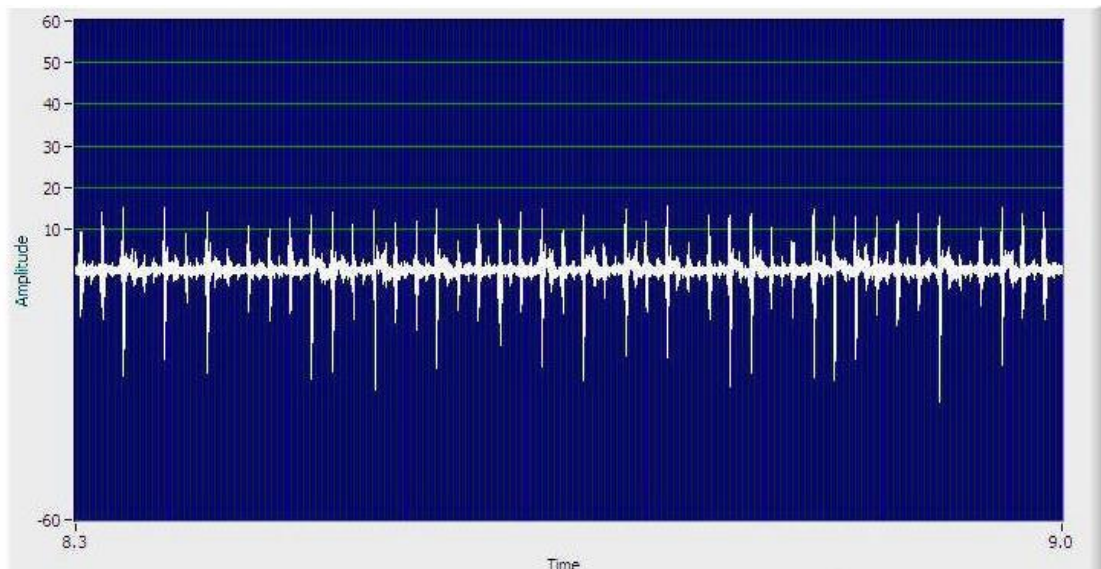
Pateikiamia keletas grafikų su išvadomis:

Ypatingai svarbu atkreipti dėmesį į tai, kad ties aukščiausiu neigiamos įtampos tašku atsiranda išlydis. Tai reiškia, kad laiko srityje atsiranda pikai su vienodais tarpais. Geriausia tai atspindi vainikinio išlydžio spektras pateiktas 2.11 pav. [1]. Vainikinio išlydžio laiko grafikas pateiktas 2.12 pav [1].



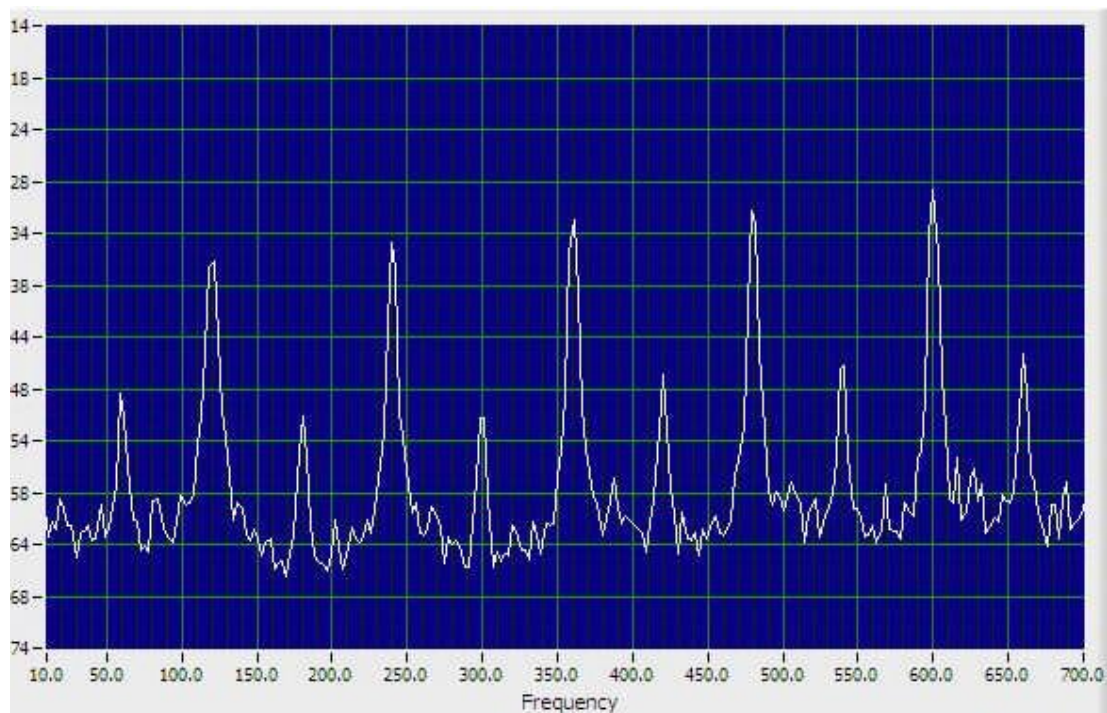
**2.11. pav. Vainikinio išlydžio spektras [1]**





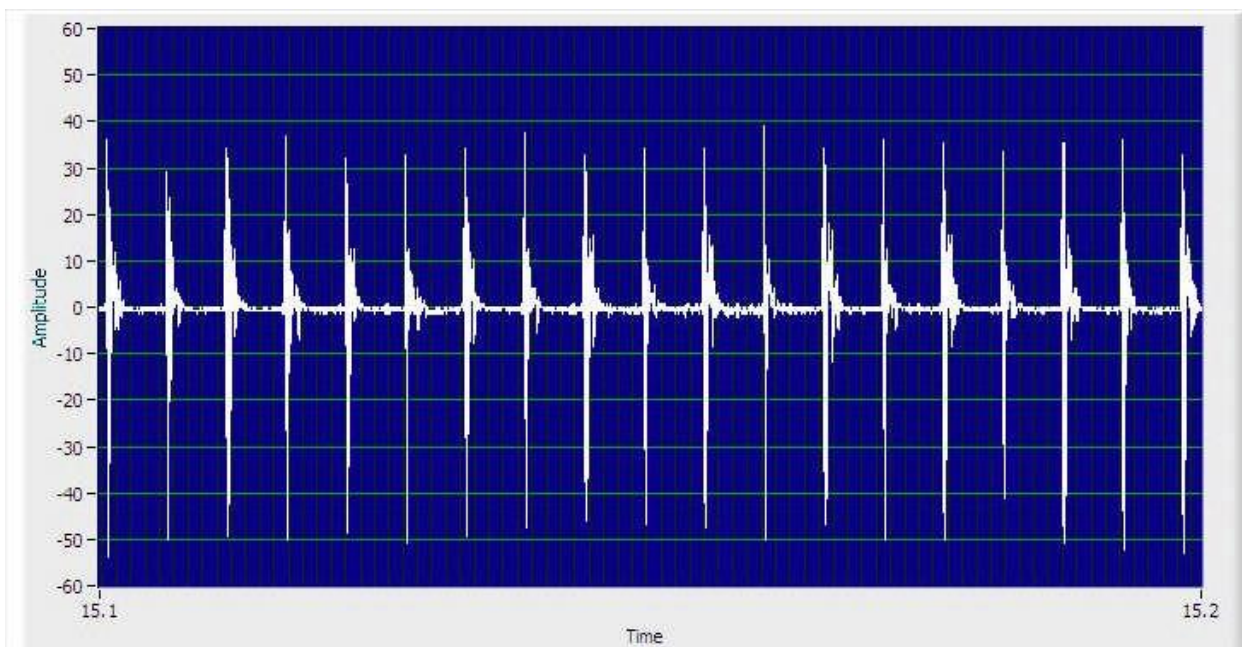
**2.12. pav. Vainikinio išlydžio laiko grafikas [1]**

Oru aušinamų transformatorių apvijų nuostolių spektre įžvelgiama dažnio trūkumą tarp pikų.



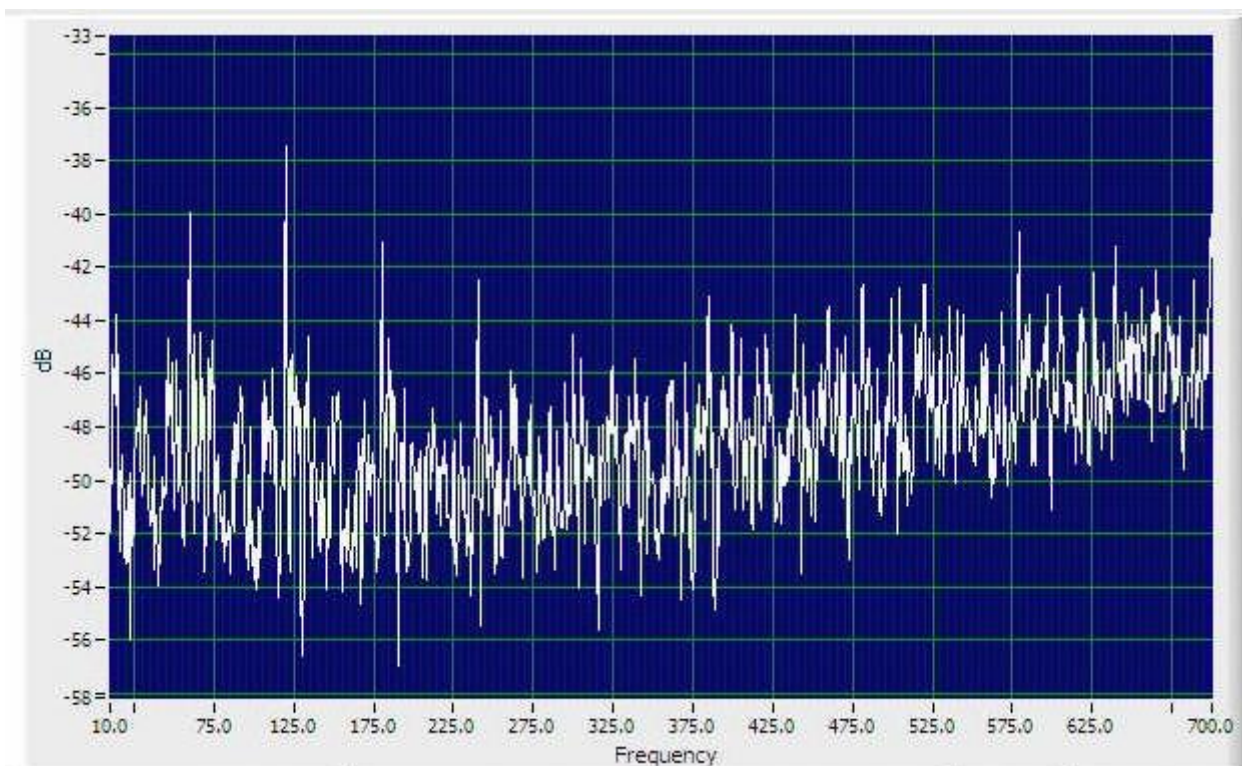
**2.13. pav. Oru aušinamų transformatorių apvijų nuostolių spektras [1]**

Šiame pateiktame grafike nesunkiai galima pastebėti periodiškai pasikartojančius amplitudinius pikus, kurie ir sukelia vibraciją ir nuostolius.



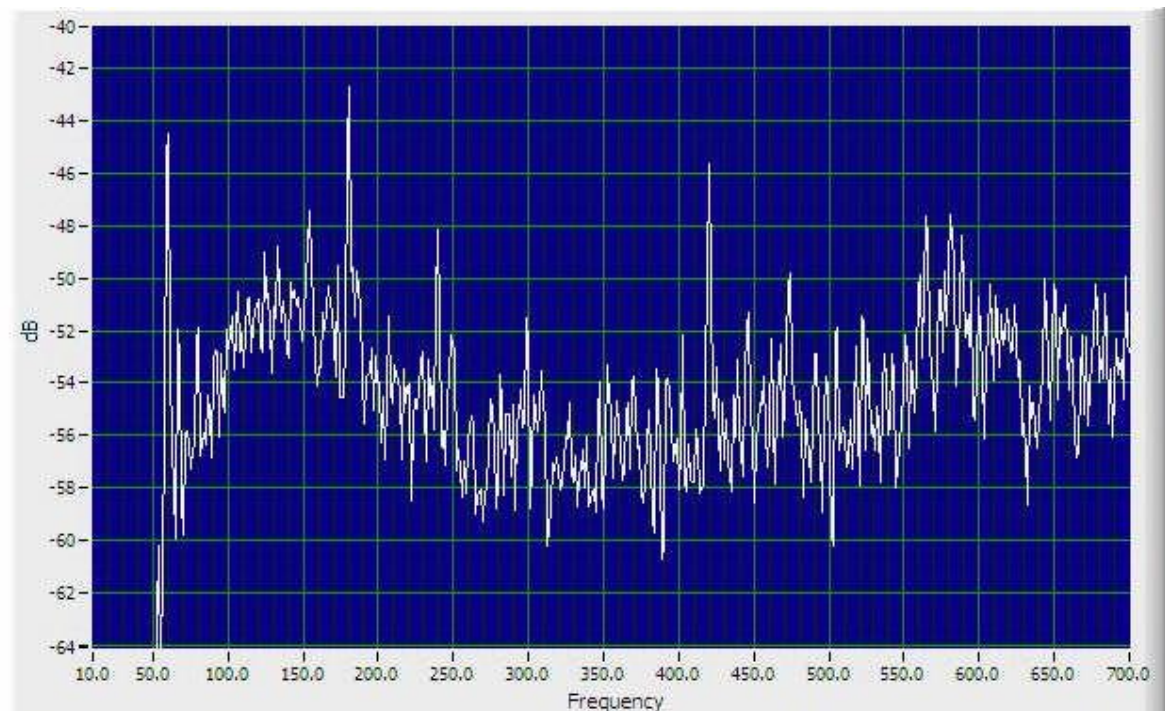
**2.14. pav. Oru aušinamų transformatorių apvijų signalas laiko srityje [1]**

Kuomet dalinis išlydis vyksta ant oro linijos arba transformatoriaus izoliatorių, pastebime nevienodus laiko tarpus tarp spektre atvaizduotų pikų. Kuo daugiau vyksta dalinių išlydžių ant izoliatorių, tuo daugiau pikų galime pastebėti grafike, taip pat naudojantis ausines ir sustiprinus signalą įmanoma nesunkiai išgirsti.



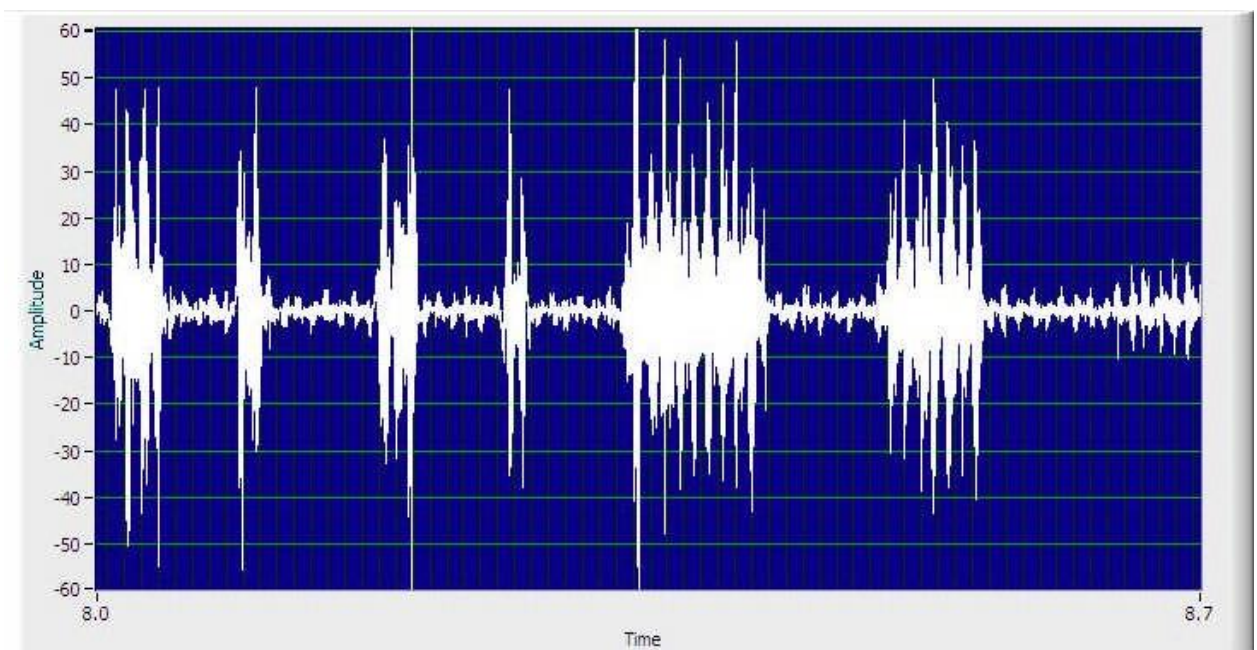
**2.15. pav. Dalinių išlydžių vykstančių ant izoliatoriaus spektras [1]**





**2.16. pav. Lankinio išlydžio vykstančio ant izoliatoriaus spektras [1]**

Žemiau pateiktame grafike pastebime ilgą laiko tarpą trunkančius dalinius išlydžius su trumpais impulsais arba praktiškai be laiko tarpų.

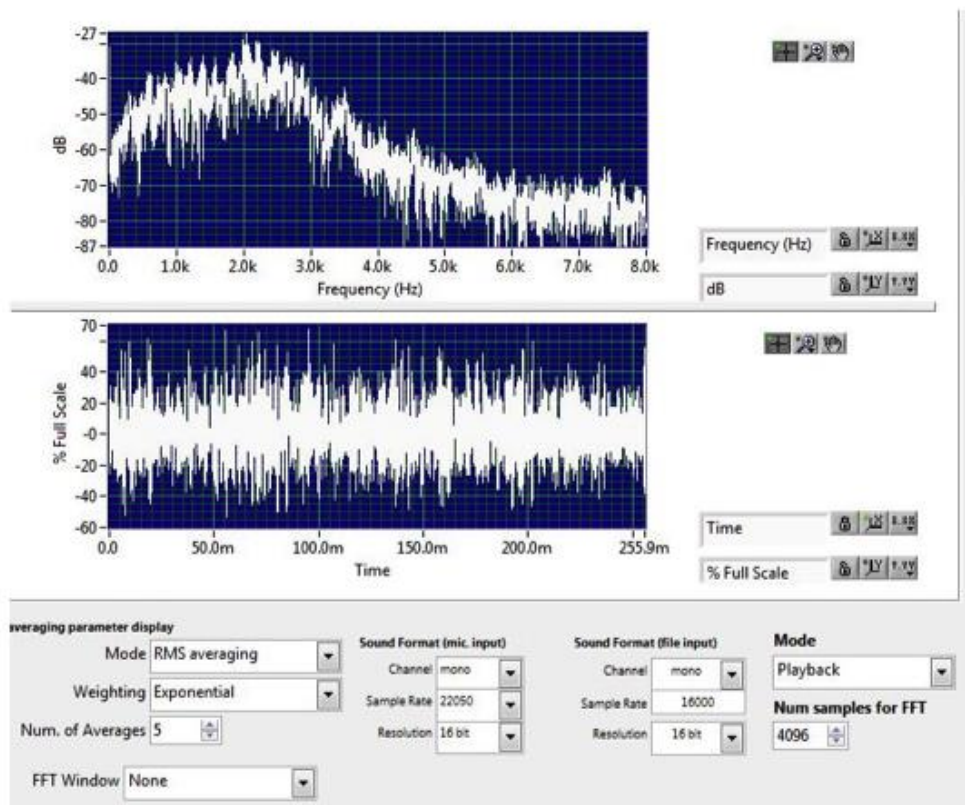


**2.17. pav. Lankinis išlydis vykstantis ant izoliatorius, laiko grafikas [1]**

Naudojantis dauguma daliniams išlydžiams aptikti skirtų prietaisų apie gresiančias ateityje bėdas, ne visuomet pavyksta iš anksto nuspėti. Todėl pakankamai dažnai yra patogu, signalą įsirašyti ir grįžus į laboratoriją jį pradėti tirti.

Įsirašytas signalas gali būti labai naudingas, vykdant periodiškus bandymus to pačio elektros įrenginio analizei. Kaip pasikeitė rezultatai atlikus remontą, pavyzdžiui, ar problema išnyko ?

Pateiktame grafike (2.20 pav.) matome pavyzdį tiriamojo ultragarso bangos signalo su analizės programa. Bet kurio laiko momentu galime keisti skalę, užsidėti filtrą (kad kuo mažiau matytųsi triukšmų), keisti nagrinėjamo dalinio išlydžio laiko tarpą.



2.18. pav. Nekontaktinio tyrimo ultragarso ataskaitos pavyzdys [1]

### 3. Eksperimentinė dalis

#### 3.1 Darbo problematika ir pagrindimas

Daliniai išlydžiai dažniausiai atsiranda dėl netinkamų sujungimų, prastos kokybės naudojamų medžiagų savybių, arba montuojant įrenginius nesilaikant gamintojo nustatytų instrukcijų. Žemiau 3.1 pateiktame paveiksle probleminė vieta – ant varžtų uždėtas termo vamzdelis. Kaitinant šią medžiagą ji traukiasi ir ties šešiakampių varžtų galvučių kampais izoliacija suplonėja ir laikui bėgant gali atsirasti išlydžiai tarp dviejų gretimų varžtų galvučių kampų.



#### 3.1. pav. Aliuminių šynų sujungimas šešiakampiais varžtais ir uždengiant termo vamzdeliu

Šiame darbe yra imituojamas lankas tarp arti 29mm atstumu esančių smailių laidininkų. Taip yra sudaroma reali situacija, kuomet atsiranda išlydis pažeidus izoliacines savybes ir susikuria lankas tarp arti esančių probleminių vietų.

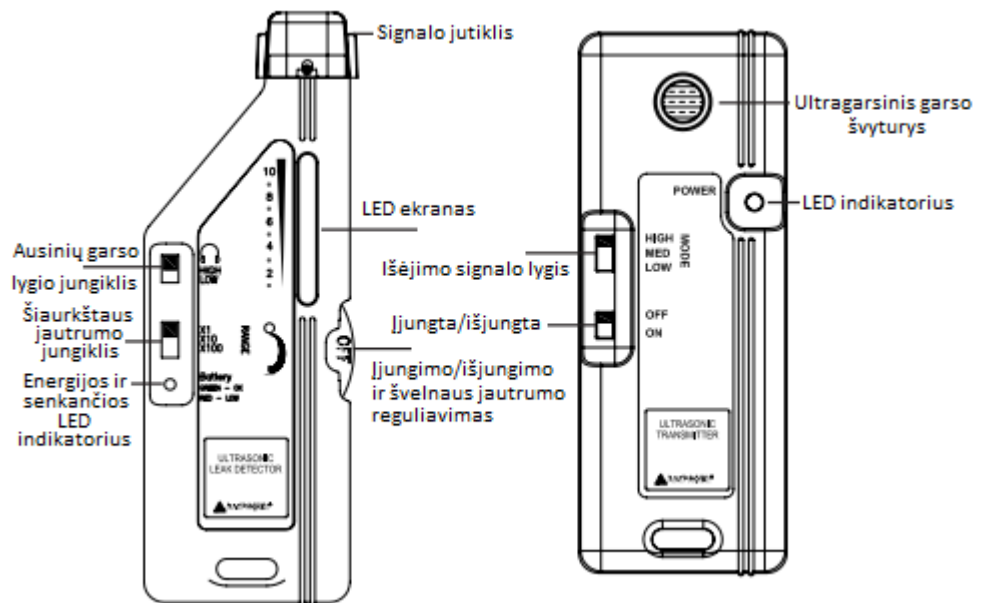
#### 3.2 Naudojama įranga

Eksperimento naudota įranga:

- TMULD-300 Ultrasonic Leak Detector



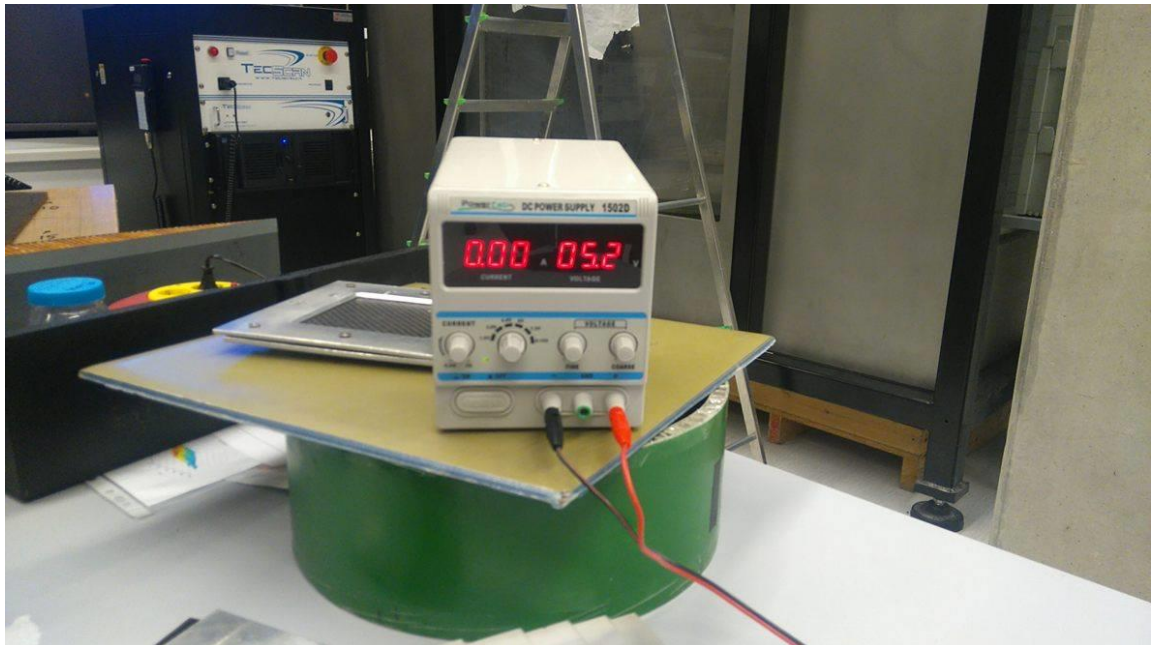
3.2. pav. TMULD-300 Ultrasonic Leak Detector [15]



3.3. pav. TMULD-300 Ultrasonic Leak Detector valdymo instrukcija, kairėje imtuvas, dešinėje švyturys [15]

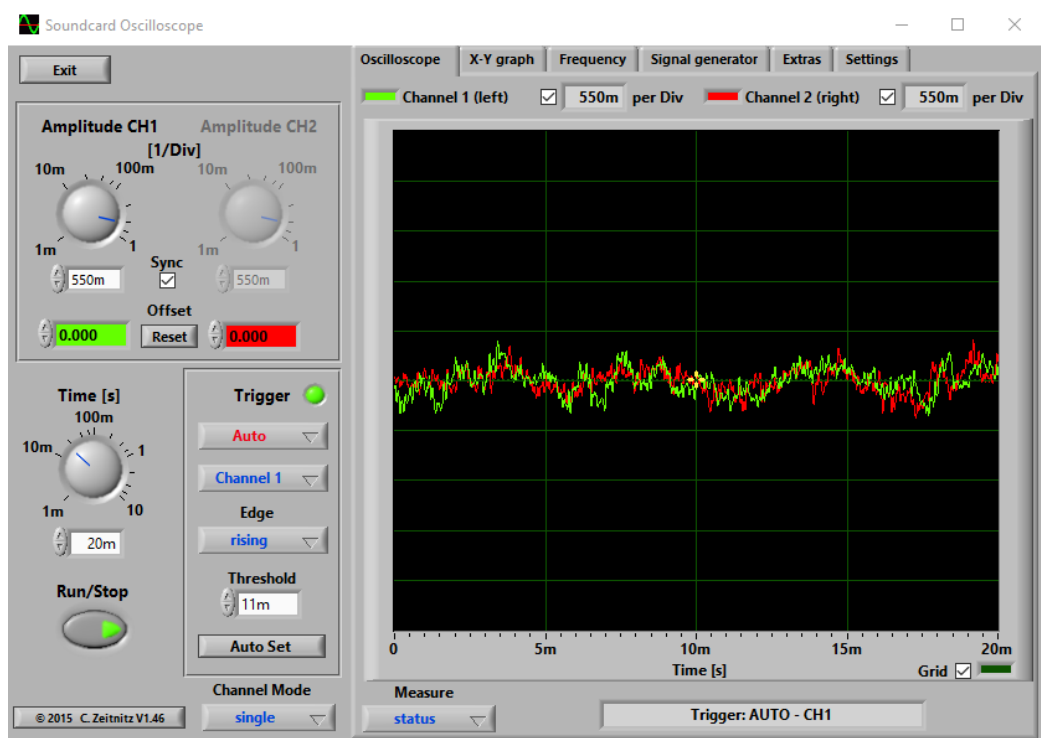
- Kabelių spinta (KS) pagal standartą LST EN 61439-5. Skirta įrengimui lauke IP44 (LST EN 60529:1999) Matmenys 1000x650x220 (aukštis, plotis, gylis) [19]
- Aukštos įtampos generavimo šaltinis, atstumas tarp elektrodų 30mm, patalpų temp. 23°C, drėgmė 53% (Išlydžių generavimo šaltinis su valdomu DC maitinimo šaltiniu)





**3.4. pav. DC maitinimo šaltinis**

- Štatyvas, asmeninis kompiuteris, ASUS išorinė garso plokštė XONAR U7, TMULD-300
  - Matlab (matematinio apdorojimo paketas) ir kodas
- Naudojantis ultragarsiniu dalinių išlydžių metodu pats principas yra tai, kuomet vyksta dalinis išlydis į aplinką generuojamos ultragarso bangos, kurios yra priimamos ultragarsiniu imtuvu, sustiprinamos, skaitmenizuojamos ir analizuojamos dažnių srityje su Furje transformacija paskaičiavus signalų spektrus.
- Laikina nemokama programa Soundcard Scope su kuria įsirašome signalą .csv formatu. Toliau yra dirbama su Matlab (matematinio apdorojimo paketu).



**3.5. pav. Soundcard Scope programa ir jos langas**

„Soundcard scope“ programos privalumai:

- Yra galimybė nusistatyti kokią gauto signalo amplitudę norime matyti;
- Nustatymas kas kiek laiko atsinaujina signalas;
- Visada galima sustabdyti priimamo signalo skaitmenizavimą;
- Išsaugoti grafiką;
- Išsaugoti gautus grafiko duomenis skaičiais ir vėliau dirbti su matematinio apdorojimo paketu „Matlab“

### 3.3 Oro tarpo pramušimo įtampos skaičiavimas

Išlydžių generavimo šaltinyje yra susidaręs 29mm atstumas tarp elektrodų. Bandymo metu atmosferos slėgis buvo 76cm Hg, kas pavertus į atmosferinius vienetus yra 1 atm. Tiksliesniems skaičiavimams naudojama šios formulės:

- Aštriems, mažiems smailiems elektrodams naudojama formulė [7]:

$$V(kV) = pd + 0.7 \quad (3.2.1)$$

d – tarpas tarp elektrodų, mm

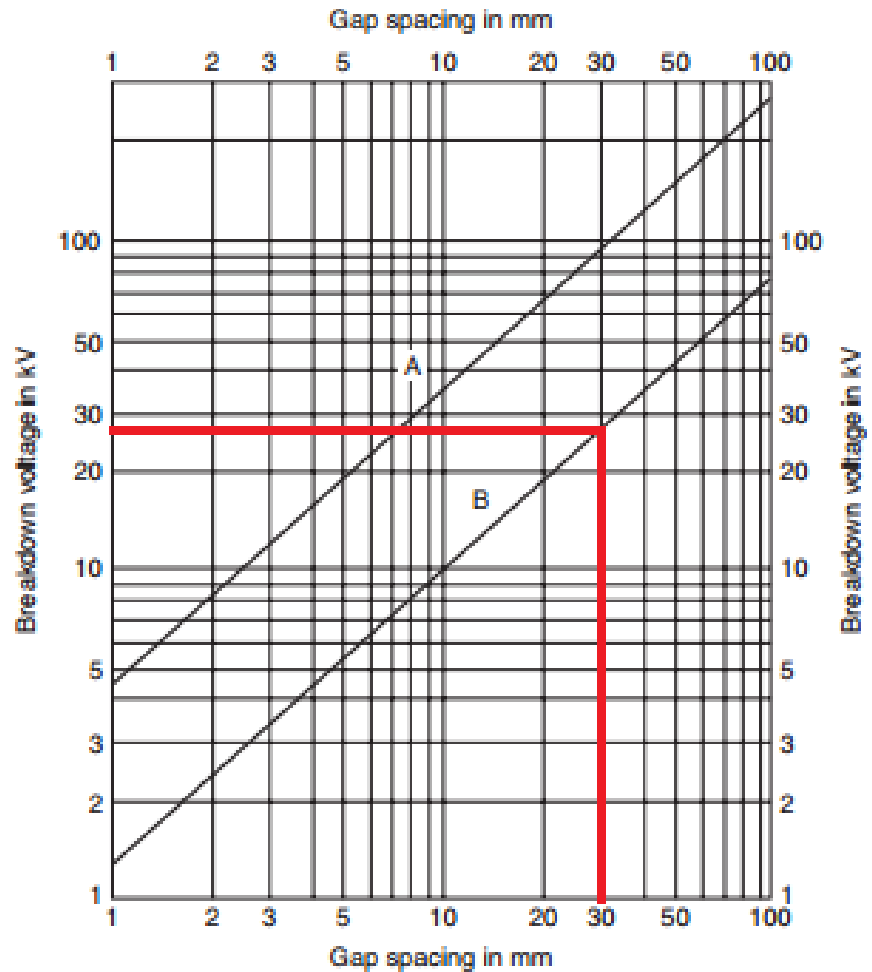
p – atmosferos slėgis, atm

Apskaičiavus naudojantis formule gauname, kad pramušimo įtampa  $V=29,7kV$ , kai tarpas tarp elektrodų yra 30mm, atmosferos slėgis 1 atm.

Pasitikriname ar gerai gauname pasinaudojus grafiku.

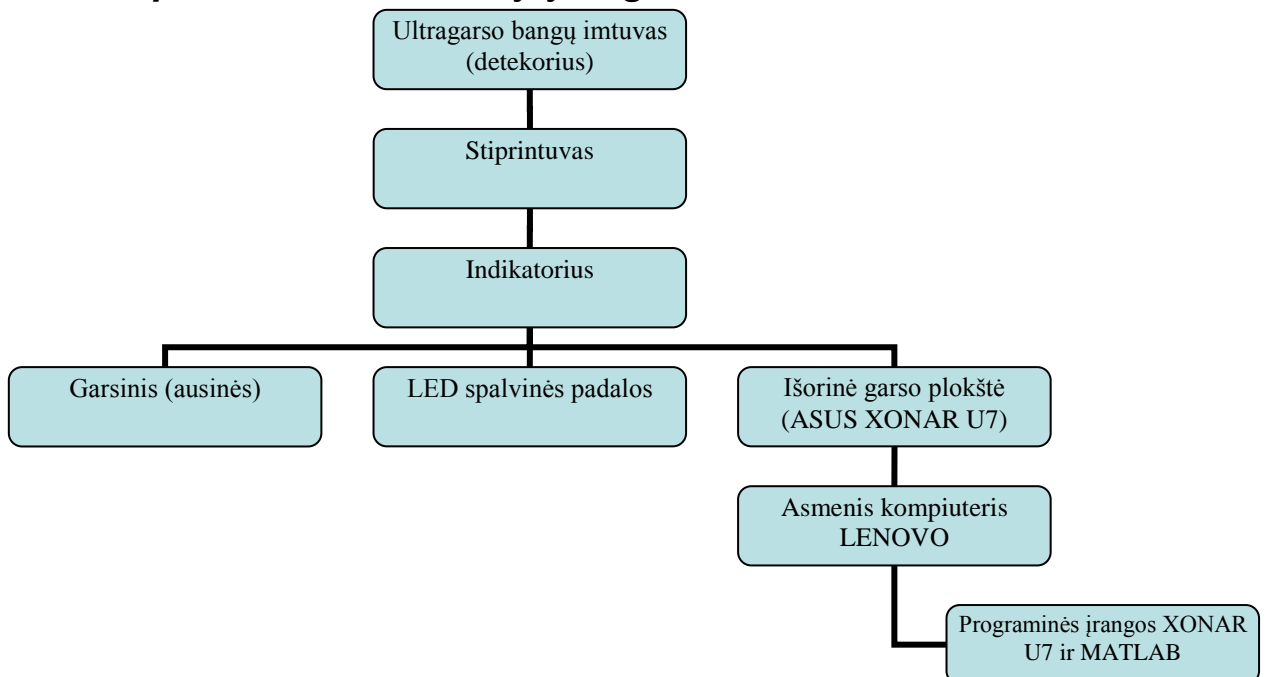
Šiuo atveju lyginant su eksperimentiniu būdu gautomis reikšmėmis rezultatas gaunasi arti eksperimentinėmis sąlygomis gautomis reikšmėmis. 3.6 pav reikšmė gaunama 28kV o mūsų sąlygomis 29,7kV. Netikslumai galėjo atsirasti dėl smailių elektrodų ploto ir santykinės oro drėgmės.





3.6. pav. Įtampa prie kurios tarp elektrodų ore pradeda vykti pramušimas A tarp lygių paviršių elektrodų B tarp smailių elektrodų. [7]

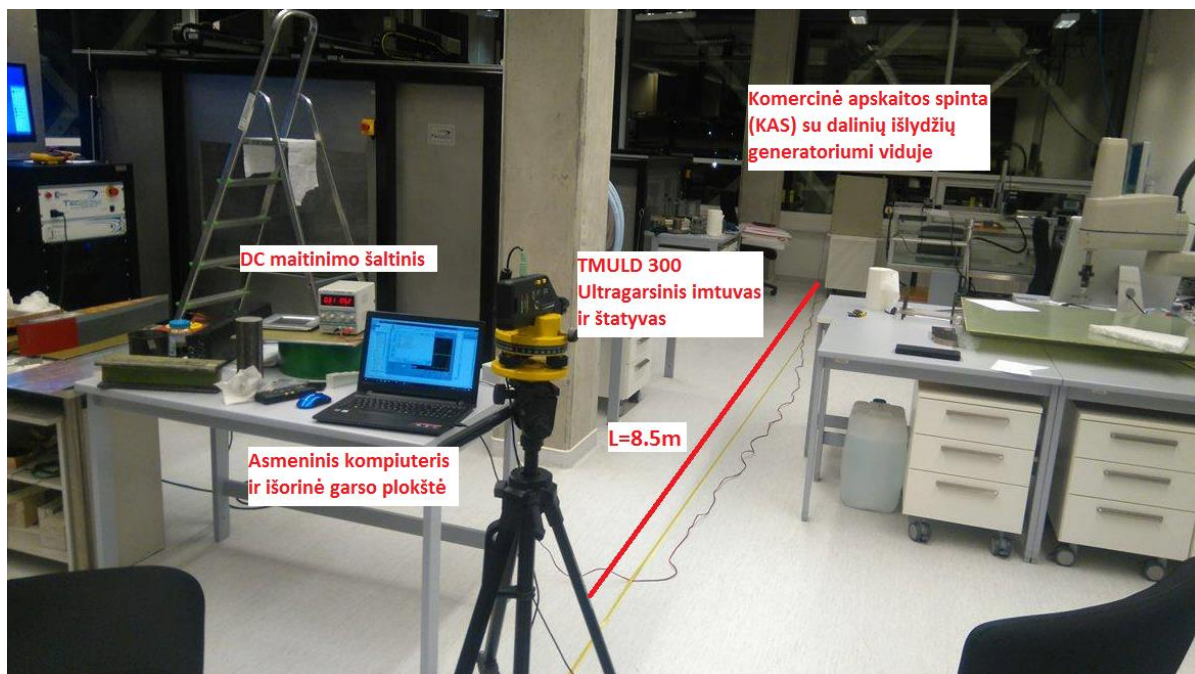
### 3.4 Eksperimento laboratorijoje eiga



3.7. pav. Bandymo struktūrinė schema

Bandymo pats principas yra - anksčiau minėtu ultragarso bangų imtuvu yra gaunamas UG signalas, tuomet jis sustiprinamas. Sustiprintą signalą galime pasiklausyti per ausines, pamatyti naudojantis prietaise integruotomis padalomis, arba atvaizduoti kompiuteryje naudojantis „Soundcard scope” programa.

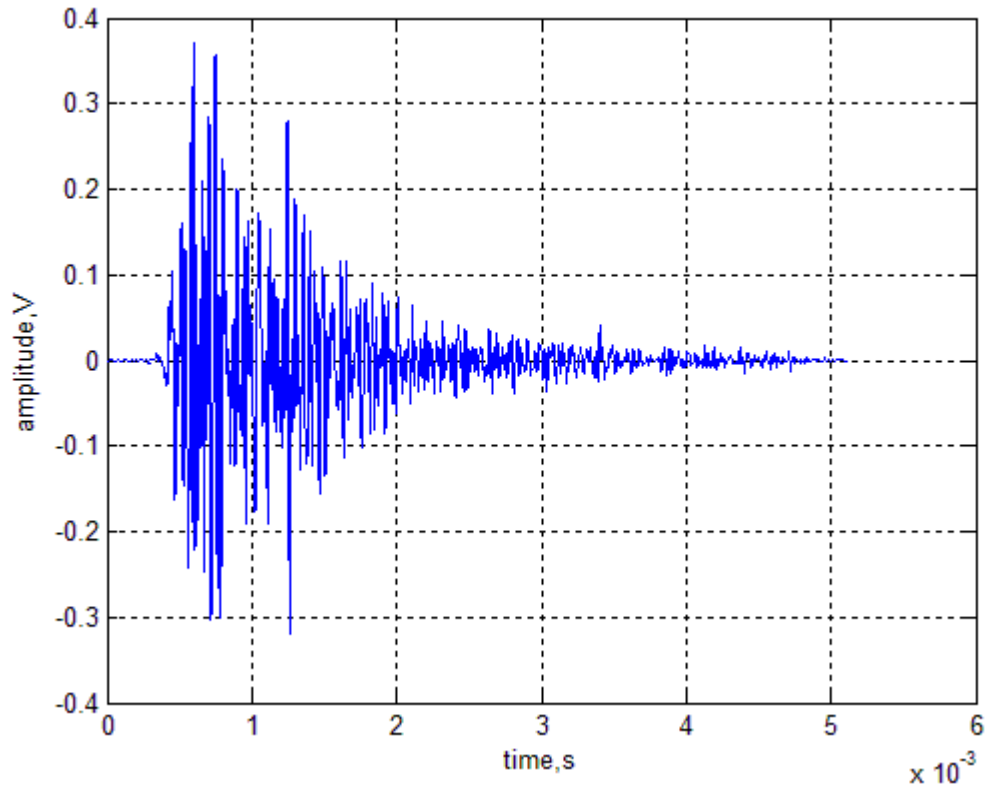
Laboratorijoje buvo atliekamas eksperimentas naudojantis ankščiau išvardinta įranga.



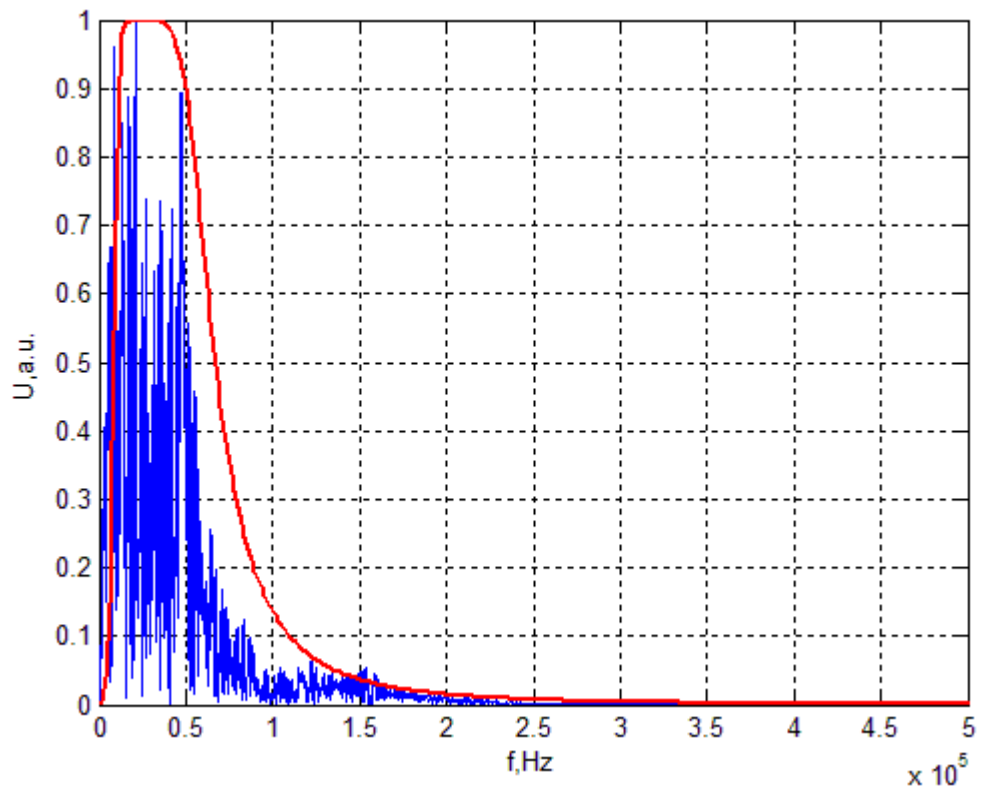
**3.8. pav. Štatyvas, asmeninis kompiuterinis, ASUS išorinė garso plokštė, TMULD-300 (eksperimentas laboratorijoje)**

Štatyvas su ultragarsiniu prietaisu pastatomas 8,5m atstumu nuo KAS (kabelinės apskaitos spintos) ir bandymo eigoje pasukama, norint išsiaiškinti kaip silpnėja ar stiprėja signalas pasukant prietaisą:

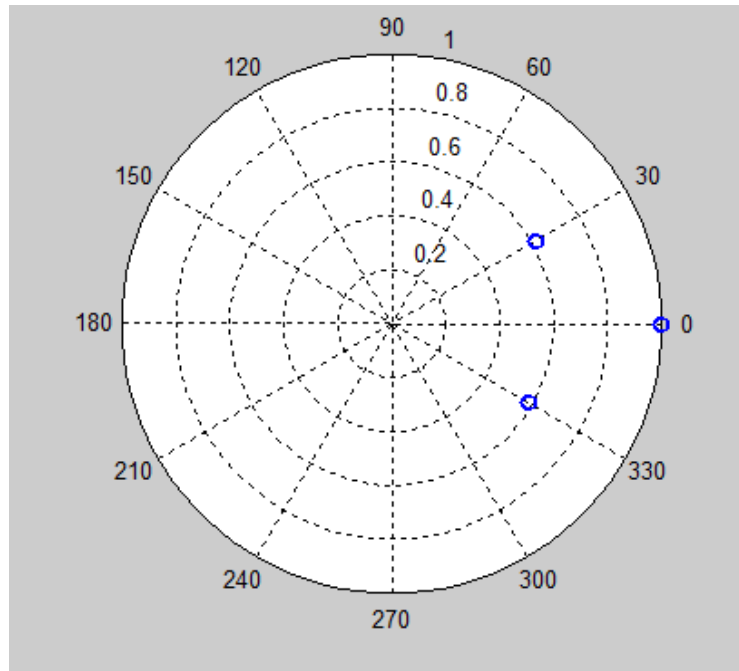
- į kairę 30° kampu;
- tiesiai nukreipta į išlydžių generavimo šaltinį;
- į dešinę 30° kampu;



3.9. pav. Nufiltruotas ultragarsinis signalas



3.10. pav. Nufiltruoto signalo amplitudžių spektras (modulis)



**3.11. pav. Krypingumo charakteristika**

Iš grafiko matome, kad pakeitus ultragarsinio matavimo kampą susilpnėja signalas, todėl yra pakankamai svarbu nukreipti prietaisą tiesiai į dalinių išlydžių matavimo vietą.

Taip pat tyrimai buvo atlikti:

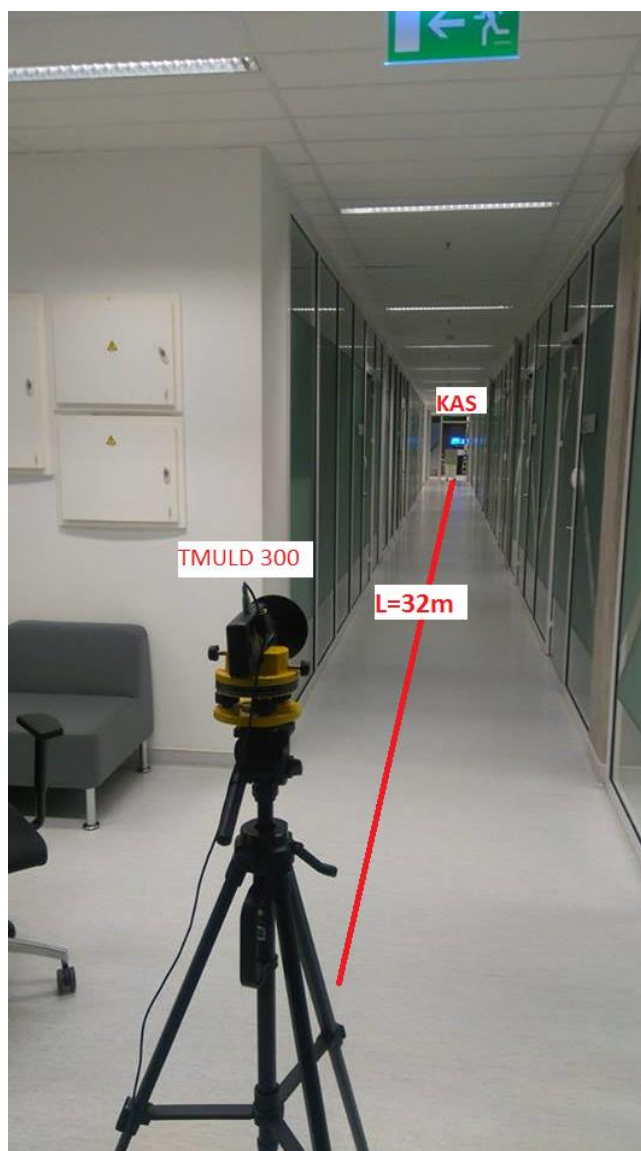
- į kairę  $30^\circ$  kampu su 2cm antgaliu;
- tiesiai nukreipta į išlydžių generavimo šaltinį su 2cm antgaliu;
- į dešinę  $30^\circ$  kampu su 2cm antgaliu

Analogiškai rezultatai buvo gauti ir uždėjus 2cm antgalį, tik signalas buvo gaunamas silpnesnis.

Sekančiame etape keičiamas atstumas nuo ultragarsinio prietaiso iki KAS su išlydžių generavimo prietaisu.

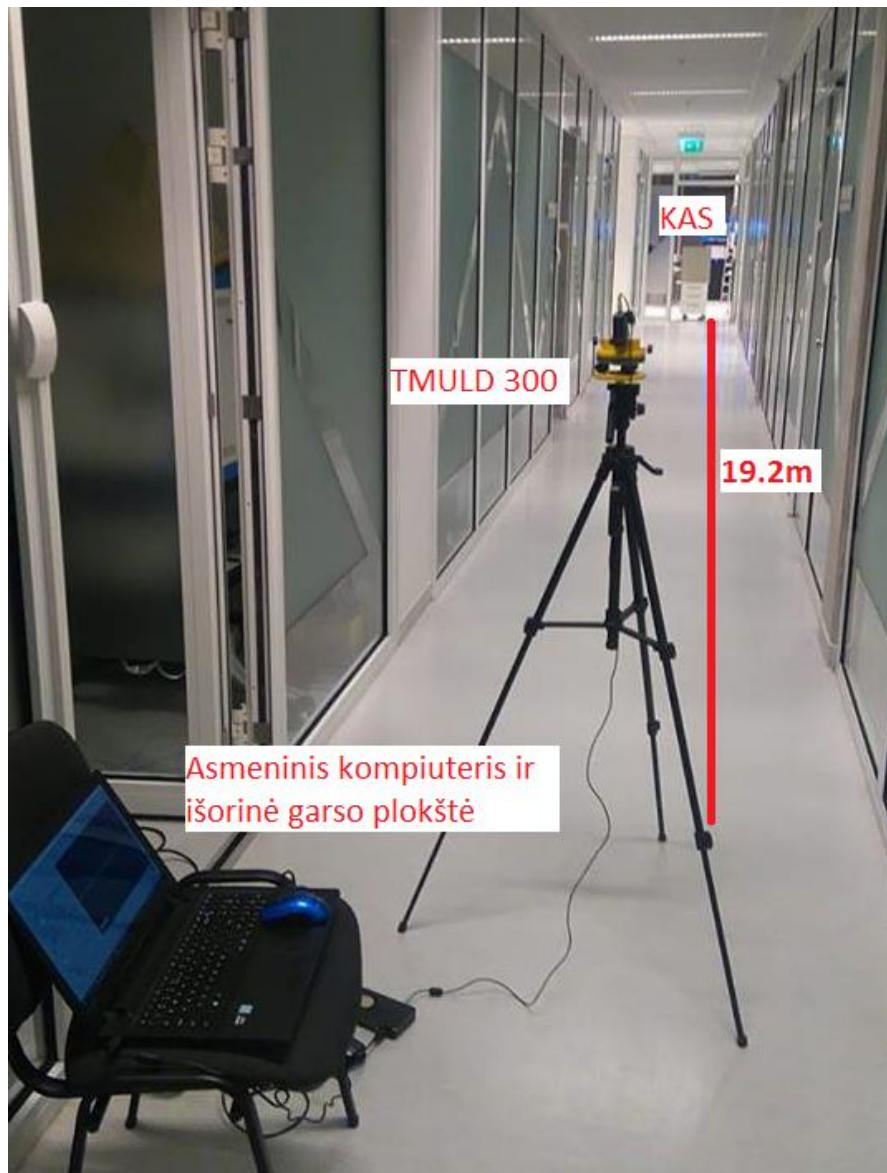
- 32m atstumu nuo KAS iki ultragarsinio prietaiso su kryptiniu reflektoriumi;

Eksperimentas be kryptinio reflektoriaus nebuvo vykdomas, nes signalas gavosi per silpnas, kad būtų galima jį nagrinėti ar pastebėti dalinius išlydžius.



**3.12. pav. Štatyvas, asmeninis kompiuterinis, ASUS išorinė garso plokštė, TMULD-300 32m atstumu (eksperimentas koridoriuje)**

- 19.2m atstumu nuo KAS iki ultragarsinio prietaiso be kryptinio reflektoriaus;
- 19.2m atstumu nuo KAS iki ultragarsinio prietaiso su kryptiniu reflektoriumi;



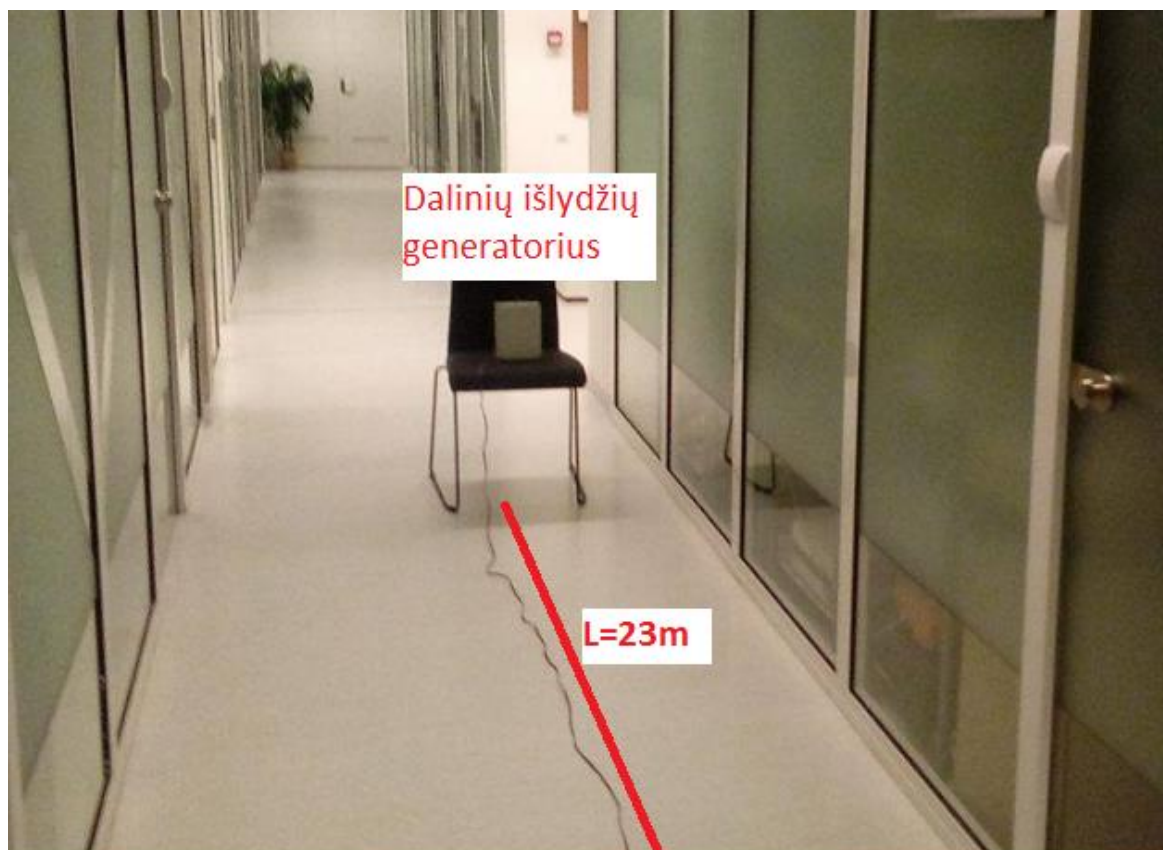
**3.13. pav. Štatyvas, asmeninis kompiuterinis, ASUS išorinė garso plokštė, TMULD-300 19.2m atstumu(eksperimentas koridoriuje)**

Paskutiniame etape laboratorijoje vykdoma eksperimentas be dežės siekiant palyginti rezultatus kaip signalas yra susilpninamas, eksperimentas atliekamas koridoriuje 23m atstumu nuo išlydžių generavimo šaltinio.

- 23m atstumu nuo išlydžių generavimo šaltinio iki ultragarsinio prietaiso;
- 23m atstumu nuo išlydžių generavimo šaltinio iki ultragarsinio prietaiso su 2cm antgaliu;



- 23m atstumu nuo išlydžių generavimo šaltinio ir ultragarsinio prietaiso su reflektoriumi.



3.14. pav. Eksperimentas be KAS 23m. atstumu (eksperimentas koridoriuje)

### 3.1 lentelė Eksperimento laboratorijoje duomenys

Būsena	Kryptis	Nufiltruotos pikinės signalo reikšmės	Maksimali reikšmė (iš spektro)
Su KAS	Į kairę 30° kampu (8,5m)	0,689	124.2797
	Tiesiai (8,5m)	1.261	214.4958
	Į dešinę 30° kampu (8,5m)	0.833	146.4937
	32m atstumu su kryptiniu reflektoriumi (padidina imtumo kryptingumą ir jautrumą mažos	0.243	134.5553

	ampl. UG bangoms)		
	19.2m atstumu su kryptiniu reflektoriumi (padidina imtumo kryptingumą ir jautrumą mažos ampl. UG bangoms))	0.643	74.9813
	19.2m atstumu be reflektoriaus X10 Stiprinimas pridėtas 20dB	0.248	239.7913
<b>Be KAS (22m)</b>	Su kryptiniu reflektoriumi (padidina imtumo kryptingumą ir jautrumą mažos ampl. UG bangoms))	0.528	71.1258
	su antgaliu (susiaurina imtuvo kryptingumą)	0.589	45.4926

Kuomet dalinių išlydžių generavimo šaltinis yra uždaroje patalpoje tai signalas vidutiniškai yra silpninamas 2,17 karto, nei lyginant atviroje aplinkoje. Arba pavertus į decibelus gauname, kad 6,729dB. Naudojantis kryptiniu reflektoriumi yra lengviau aptikti dalinius išlydžius esančius tolimesniu atstumu nuo jų generavimo šaltinio, taip pat yra nesunkiai aptinkami daliniai išlydžiai esantys uždaroje patalpoje ( spintoje). Tačiau pradžioje yra rekomenduojama aptikti patį dalinių išlydžių šaltinį ir jau žinant preliminarią kryptį, lokalizuoti su antgaliu.



### 3.5 Ore sklindančių ultragarso bangų slopinimo įvertinimas

Visi ultragarsiniai matavimo metodai yra bekontakčiai ir beveik neįvertinami. Nors pačių ultragarsinių keitiklių matmenys nedideli, bangos yra spinduliuojamos kryptingai. Pasinaudodami šiuo privalumu galime matuoti atstumą iki mums reikalingo nedidelio ploto priimančio ultragarsinio keitiklio.

Norint matuoti atstumą erdvėje ultragarsu naudojamas tiesioginio praėjimo metodas su dviem pjezoelektriniais keitikliais: t.y. ėmikliu ir siuntikliu. Ultragarsinių atstumo matuoklių matavimo ribos yra nuo 0,3m iki 70m atstumo, taip pat nuo -20°C iki 80 °C. Atstumą erdvėje randame išmatavus prasklidusių nuo siuntiklio ir ėmiklio ultragarsinių impulsų vėlinimą  $\tau_s$ :

$$L = c \tau_s \quad (4.1)$$

Čia  $L$  yra atstumas erdvėje,  $c$  – ultragarso bangų greitis ore.

Pats ultragarsinio keitiklio išspinduliuotas signalas ore sklinda dėl tūrinės bangos susispaudimo ir išsiplėtimo. Kadangi oras pasižymi tik tūriniu tamprumu, todėl juo sklindančios ultragarso bangos yra išilginės (sąlygotas adiabatinio proceso). Akustinės bangos temperatūros pakitimai nespėja susilyginti, nes per pusę periodo šiluma nebepereina į šaltesnes medžiagos vertes. Adiabatinis ultragarso greitis randamas:

$$c = \sqrt{\left(\frac{\partial P}{\partial \rho}\right)_s} \quad (4.2)$$

Čia:  $P$  – slėgis medžiagoje;  $\rho$  - medžiagos tankis.

Ultragarso greitis idealiose dujose esant pastoviam slėgiui ir įvertinus molekulinę dujų mišinio svorį ir priemaišų koncentraciją:

$$c = \sqrt{\gamma \frac{P}{\rho}} = \sqrt{\gamma \frac{RT}{\mu}} \quad (4.3)$$

čia:  $\gamma$  – specifinės temperatūros koeficientas ore;

$R = 8.31 \frac{J}{mol \cdot K}$  universali dujų konstanta;

$T$  – absoliutinė temperatūra (K);

$\mu$  - molekulinis dujų svoris  $\mu \cong 29.2 \cdot 10^{-3}$  kg/mol.

Idealiose dujose greitis nepriklauso nuo slėgio nekintant temperatūrai, bet jei temperatūra didėja, greitis irgi didėja. Aplinko temperatūrai pasikeitus vienu laipsniu, ultragarso greitis pasikeičia 0,17%. [24]

Ultragarso greičio priklausomybė:

$$c = c_0 \sqrt{1 + \frac{T}{273}}, \quad (4.4)$$

Čia  $c_0$  - ultragarso greitis sausame ore, kai  $T=0^0$  C:  $c_0=331.45$  m/s.

Jei temperatūros pasiskirstymas nevienodas tuomet reikia naudoti erdvinių koordinatinių sistemą:

$$c = c(x, y, z) = c(L), \quad (4.5)$$

čia:  $L$  – atstumas;

$x, y, z$  - erdvinė koordinatė.

Ore ultragarso greičio  $c$  kitimas priklausomai nuo aplinkos drėgmės išreiškiamas taip:

$$c_h = c \cdot K_h, \quad (4.6)$$

$$K_h = 1 + h \cdot (9.66 \cdot 10^{-4} + 7.2 \cdot 10^{-5} \cdot T + 1.8 \cdot 10^{-6} \cdot T^2 + 7.2 \cdot 10^{-8} \cdot T^3 + 6.5 \cdot 10^{-11} \cdot T^4),$$

čia:  $h$  - santykinė drėgmė (%);

$T$  – oro temperatūra ( $^{\circ}$ C).

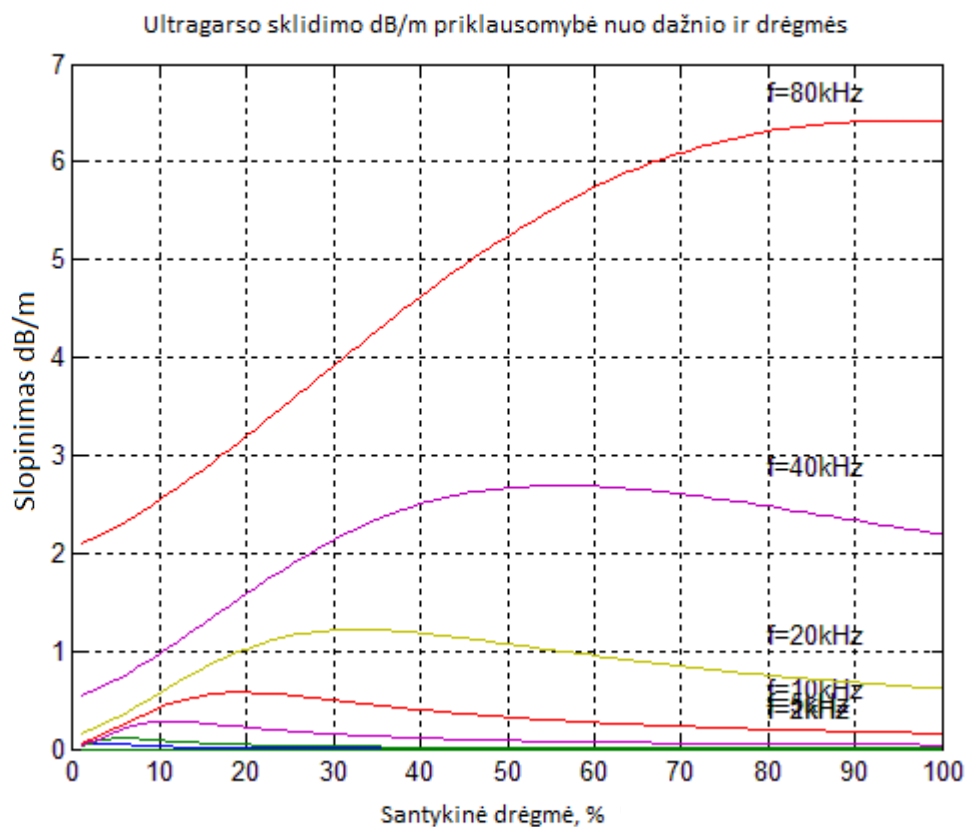
Atliekant ultragarsinius matavimus ore yra pakankamai svarbu įvertinti jų slopinimą. Ultragarso slopinimas ore yra temperatūros, oro drėgmės ir dažnio funkcija:

$$a(T, f, h) = \frac{(33 + 2T)f^2}{2 \cdot 10^{12}} \cdot \frac{\left( \frac{f^2}{6.8 \cdot 10^9 h^{1.3}} \right)}{1 + \left( \frac{f}{8.5 \cdot 10^4 h^{1.3}} \right)}, \quad (4.7)$$

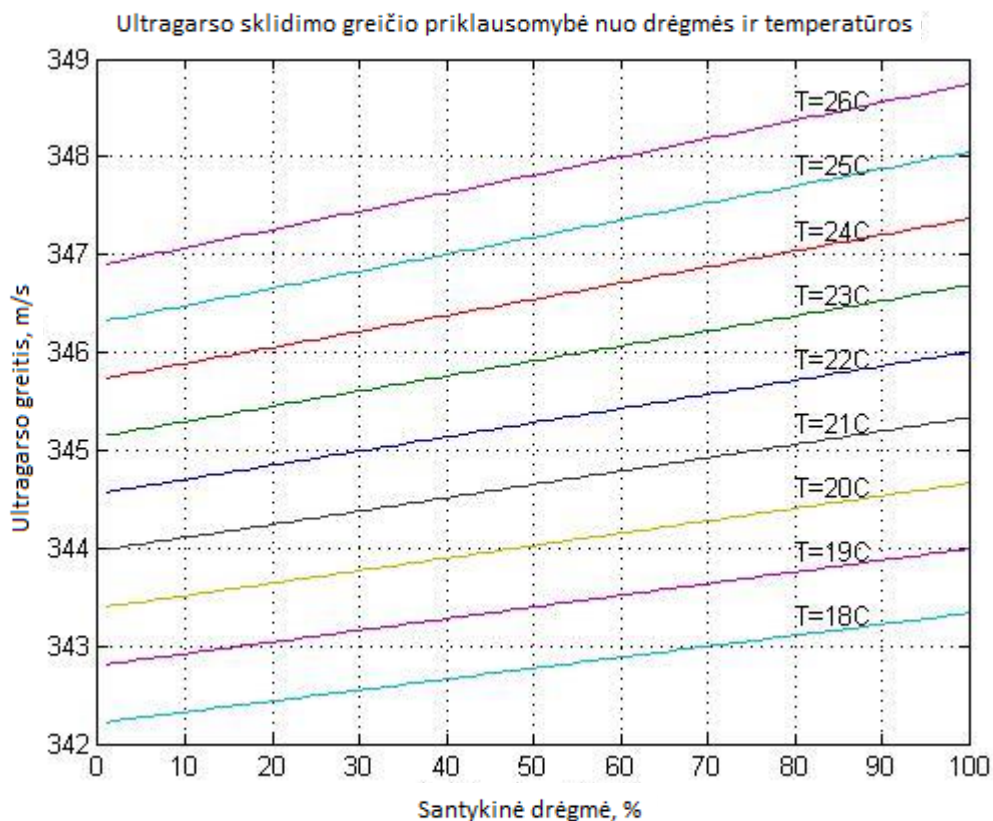
čia  $T$  – oro temperatūra;

$f$  – ultragarsinės bangos dažnis;

$h$  – santykinė oro drėgmė.



3.15. pav. Ultragarso sklaidimo dB/m priklausomybė nuo dažnio ir drėgmės[24]



3.16. pav. Ultragarso sklaidimo greičio priklausomybė nuo drėgmės ir temperatūros[24]  
Iš 3.15 Ultragarso sklaidimo dB/m priklausomybės nuo dažnio ir drėgmės grafike yra gaunamas maksimalus atstumas, iki kurio dar būtų įmanoma aptikti ultra garso bangų sklindančių ore

registravimas. Kaip pavyzdys, kuomet santykinė drėgmė 30%, dažnis 40kHz, grafike 3.15 -80dB slopinimo nuostoliai gaunasi 0,7m

Pasinaudojant 3.16 grafiku įmanoma nustatyti ultragarsinių bangų sklidimo laiką nuo šaltinio iki imtuvo, bet tik tuo atveju jeigu yra žinomas ultra garso greitis. Tuomet iš išmatuoto sklidimo laiko yra suskaičiuojamas atstumas iki ultra garso bangų šaltinio-išlydžio vietos.

## 4. Išvados ir pasiūlymai

- Literatūros analizės metu aptarti diagnostikos metodai, kurie yra tinkami nuotoliniam dalinių išlydžių aptikimui įvairiose situacijose.
- Sudaryta metodika nuotoliniam dalinių išlydžių aptikimui ir atliktas eksperimentas laboratorijoje imituojant dalinį išlydį, uždaroje ir atviroje aplinkoje. Kuomet dalinių išlydžių generavimo šaltinis buvo uždaroje aplinkoje, signalas buvo slopinamas vidutiniškai 2,17 karto, arba pavertus į decibelus gautūsi apytiksliai 6,7 dB.
- Ištirta, kad aptinkant dalinį išlydį yra pakankamai svarbu atstumas ir ultragarsinio aptikimo prietaiso orientacijos kampas.
  1. Kaip dalinių išlydžių aptikimas sudėtingėja keičiantis kampui. Kuo nukrypimo kampas didėja nuo dalinių išlydžių generavimo šaltinio, tuo darosi vis sudėtingiau aptikti išlydžius. Dalinių išlydžių aptikimas keičiantis kampui atvaizduotas kryptingumo charakteristikoje. Kryptinio reflektoriaus panaudojimas suteikia galimybę nustatyti išlydžių šaltinio kryptį.
  2. Jei atstumas yra pakankamai didelis, tuomet reikia naudoti kryptinį reflektorių arba padidinti ultragarsinio matavimo prietaiso imtuvo dalies stiprinimą, kad užregistruotą signalą vėliau būtų lengviau apdoroti.
  3. Uždėtas ant imtuvo 2cm antgalis (bangolaidis skersmuo  $d=1.6\text{cm}$ ) jokių konkretesnių rezultatų nedavė, todėl nuspręsta su juo nebetęsti eksperimentų.
- Žinodami ultragarso greitį ir trukmę, per kurią įvyko dalinis išlydis, galime nustatyti, už kokio atstumo nuo imtuvo įvyko dalinis išlydis ir taip nustatyti vietą, pasinaudojant ultragarso greičio priklausomybės formulę nuo laiko ir atstumo.
- Atliktas ore sklindančių ultragarso bangų slopinimo priklausomybės nuo dažnio, drėgmės ir temperatūros įvertinimas. Atvaizduotos priklausomybės.

## 5. Literatūros sąrašas

1. Evaluating wave files to determine the severity of ultrasonic emissions p.5-14 [žiūrėta 2017-02-05] Prieiga per internetą:  
<http://www.uesystems.com/wp-content/uploads/2012/08/training-wheels-for-electrical-wave-files.pdf>
2. Baublys, J.; Jankauskas, P.; Markevičius, L.; Morkvėnas, A. Izoliacija ir viršįtampiai Kaunas. 2008 p.273
3. Svinkūnas, G.; Navickas, A. Elektros energetikos pagrindai. Kaunas, 2011
4. Birutė Linkevičiūtė, Algimantas Navickas Elektros įrenginių gedimų įvertinimo ištirpusių dujų analizės metodu efektyumo tyrimas 2006 p.4 [žiūrėta 2017-02-05] Prieiga per internetą:  
[http://www.elibrary.lt/resursai/LMA/Energetika/Ener64/Ener64\\_11.pdf](http://www.elibrary.lt/resursai/LMA/Energetika/Ener64/Ener64_11.pdf)
5. Decreasing electrical system failures using ultrasound technology [žiūrėta 2017-02-08] Prieiga per internetą:<http://icolim2014.org/2014/ppt/329.pdf>
6. AR700 – The device for PD measurements and signal analysis by acoustic method p. 7-12 [žiūrėta 2017-02-15] Prieiga per internetą:  
[http://dimrus.com/manuals/ar700pr\\_e.pdf](http://dimrus.com/manuals/ar700pr_e.pdf)
7. Appendic C Spark – over voltages p.1-2 [žiūrėta 2017-02-25] Prieiga per internetą:  
<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/9780470495070.app3/pdf>
8. Irfan Ali Soomro, Md Nor Ramdon Study on different techniques of partial discharge (PD) detection in power transformers winding: Simulation between paper and EPOXY resin using UHF method 2014 p. 2-4 [žiūrėta 2017-02-25] Prieiga per internetą:  
<http://www.worldairco.org/IJCEEE/April2014Paper%20S1.pdf>
9. Alison K. Lazarevich Partial discharge detection and localization in high voltage transformers using an optical acoustic sensor p. 2003 14-22 [žiūrėta 2017-02-25] Prieiga per internetą:  
[https://theses.lib.vt.edu/theses/available/etd-05122003-161802/unrestricted/thesis\\_fin.pdf](https://theses.lib.vt.edu/theses/available/etd-05122003-161802/unrestricted/thesis_fin.pdf)
10. Proj. Harish Khyani Conventional and un-conventional partial discharge detection methods in high voltage XLPE cable accessories [žiūrėta 2017-03-21] Prieiga per internetą:  
<https://www.slideshare.net/harshitbhd/seminar-on-partial-discharge-detection-methods>
11. Ultra high frequency (UHF) partial discharge detection for power transformers: Sensitivity check on 800 MVA power transformers and first field experience [žiūrėta 2017-04-05] Prieiga per internetą:  
[www.cigre.org/content/download/16740/679381/version/1/file/A2\\_115\\_2012.pdf](http://www.cigre.org/content/download/16740/679381/version/1/file/A2_115_2012.pdf)

12. SKF Reliability Systems Partial discharge analysis ultrasonic techniques to evaluate partial discharge in electrical machinery p. 1-2 [žiūrėta 2017-05-01] Prieiga per internetą: [http://www.netaworld.org/sites/default/files/public/neta-journals/NWsu09\\_SKF.pdf](http://www.netaworld.org/sites/default/files/public/neta-journals/NWsu09_SKF.pdf)
13. Acoustic emission properties of partial discharges in the time-domain and their applications [žiūrėta 2017-01-16] Prieiga per internetą: <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:556865/FULLTEXT01.pdf>
14. Cloud monitoring: Maintenance on the cloud [žiūrėta 2017-02-05] Prieiga per internetą: <http://alterevoingenieros.blogspot.lt/2013/10/cloud-monitoring-maintenance-on-cloud.html>
15. AMPROBE TMULD-300 ULD-300 Ultrasonic leak detector p.4 [žiūrėta 2017-03-11] Prieiga per internetą: [http://content.amprobe.com/manualsA/TMULD-300\\_ULD-300\\_Ultrasonic-Leak-Detectors\\_Manual.pdf](http://content.amprobe.com/manualsA/TMULD-300_ULD-300_Ultrasonic-Leak-Detectors_Manual.pdf)
16. Partial Discharge Pattern Recognition of Transformer Based on Electric Signal and Ultrasonic Comprehensive Analysis 2012 p. 1-2[žiūrėta 2017-05-06] Prieiga per internetą: [\(http://ieeexplore.ieee.org/document/6223077/\)](http://ieeexplore.ieee.org/document/6223077/)
17. Shutao Zhao, Baoshu Li, Yong Wang Acoustic Method for ality Control and In-Service Periodic Monitoring of medium Voltage Cable Terminations [žiūrėta 2017-04-03] Prieiga per internetą: [\(http://ieeexplore.ieee.org/document/704680/\)](http://ieeexplore.ieee.org/document/704680/)
18. R. Horstink How ultrasound can detect Electrical discharge Non-invasively and help Eliminate Arc Flash Incidents 2014 p. 1-3 [žiūrėta 2017-05-01] Prieiga per internetą: [\(http://ieeexplore.ieee.org/document/6934366/\)](http://ieeexplore.ieee.org/document/6934366/)
19. Įvadinės apskaitos spintos skirtos trifaziams tiesioginio jungimo apskaitos prietaisams įrengti. Techniniai reikalavimai [žiūrėta 2017-05-01] Prieiga per internetą: <http://www.eso.lt/download/1835/04%20kv%20ias%20skirtos%20trifaziams%20tiesioginio%20jungimo%20apskaitos%20prietaisams%20irengti.pdf> )
20. Artem D. Lukianchikov, Petr N. Bondarenko, Victor O. Belko, Andrey P. Plotnikov Partial discharge measurements by means of electrical and acoustic methods p. 1-2 [žiūrėta 2017-05-03] Prieiga per internetą: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=7910768&tag=1>
21. Andrey A. Radionov, Olga I. Karandaeva, Sergey A. Evdokimov, MariYa S. Gallaymova, Yuliya N. Kondrashova Monitoring Partial discharges in stationary

- condition monitoring system of furnace transformer p. 2 [žiūrėta 2017-05-01] Prieiga per internetą:  
(<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=7910872>)
22. Ming-Xiao Zhu, Yan-Bo Wang, Yuan Li, Hai-Bao Mu, Jun-Bo Deng, Xian0Jun Shao, Guan-Jun Zhang Detection and localization of partial discharge in air-insulated substations using UHF antenna array p.1 [žiūrėta 2017-05-11] Prieiga per internetą:  
(<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=7904875>)
23. Mohamad Ghaffarian Niasar Partial discharge of defects in insulation systems consisting of oil and oil-impregnated paper p.2012 [žiūrėta 2017-05-20] Prieiga per internetą:  
(<https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:572145/FULLTEXT01.pdf>)
24. R. Raišutis, O. Tumšys, R. Kažys Feasibility study of application of ultrasonic method for precise measurement of the long distances in air.No.1 2010 p.1-2 [žiūrėta 2017-05-23] Prieiga per internetą:  
(<http://www.ultragarsas.ktu.lt/index.php/USnd/article/viewFile/17152/8471>)
25. Lynn Hamrick Dissolved gas analysis for transformers [žiūrėta 2017-05-16] Prieiga per internetą:  
([http://www.netaworld.org/sites/default/files/public/netajournals/NWwtr09\\_Hamrick.pdf](http://www.netaworld.org/sites/default/files/public/netajournals/NWwtr09_Hamrick.pdf))