



**Kauno technologijos universitetas**

Elektros ir Elektronikos fakultetas

**Vaisių sunokimo lygio nustatymo neinvaziniais metodais  
tyrimas**

Baigiamasis magistro projektas

---

**Lukas Motiejūnas**

Projekto autorius

**Prof. Linas Svilainis**

Vadovas

---

**Kaunas, 2021**



**Kauno technologijos universitetas**

Elektros ir elektronikos fakultetas

# **Vaisių sunokimo lygio nustatymo neinvaziniais metodais tyrimas**

Baigiamasis magistro projektas

Elektronikos inžinerija (6211EX012)

---

**Lukas Motiejūnas**

Projekto autorius

**Prof. Linas Svilainis**

Vadovas

**Doc. Dr. Pranas Kuzas**

Recenzentas

---

**Kaunas, 2021**



**Kauno technologijos universitetas**

Elektros ir elektronikos fakultetas

Lukas Motiejūnas

## **Vaisių sunokimo lygio nustatymo neinvaziniais metodais tyrimas**

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad:

1. baigiamąjį projektą parengiau savarankiškai ir sąžiningai, nepažeisdamas kitų asmenų autoriaus ar kitų teisių, laikydamasis 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 pašalintas iš Universiteto, o baigiamasis projektas gali būti pateiktas Akademinės etikos ir procedūrų kontrolieriaus tarnybai nagrinėjant galimą akademinės etikos pažeidimą.

Lukas Motiejūnas

*Patvirtinta elektroniniu būdu*

Motiejūnas, Lukas. Vaisių sunokimo lygio nustatymo neinvaziniais metodais tyrimas. Magistro baigiamasis projektas / vadovas prof. Linas Svilainis; Kauno technologijos universitetas, Elektros ir elektronikos fakultetas.

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

Reikšminiai žodžiai: vaisiai, neinvaziniai metodai, sunokimo lygis, spektroskopija, impedansas.

Kaunas, 2021. 63 p.

### **Santrauka**

Darbe apžvelgiami ir ištiriami labiausiai paplitę neinvaziniai metodai, kurie naudojami nustatyti vaisių sunokimo lygiui. Pateikiama metodų, tokių kaip spektroskopija, ultragarsiniai matavimai, impedanso matavimai, elektroninė nosis ir vaizdo apdorojimas, apžvalga. Metodinėje dalyje pasirenkami tyrimams tinkami vaisiai. Vertinamas ultragarsinių matavimų, vaizdo apdorojimo, spektroskopijos ir impedanso matavimų efektyvumas ir tinkamumas neinvaziniu būdu nustatyti vaisiaus sunokimo lygį. Finaliniams tyrimams pasirenkami geriausią efektyvumą turintys metodai – impedanso matavimo ir spektroskopijos. Vykdomas tyrimų platformos projektavimas ir jos matavimų pasikartojamumo analizė. Analizuojami finalinio tyrimo rezultatai ir pateikiamos išvados.

Motiejūnas, Lukas. Investigation of Fruit Ripening Stages by Non-Invasive Methods. Master's Final Degree Project / supervisor Prof. Linas Svilainis; Faculty of Electrical and Electronics Engineering, Kaunas University of Technology.

Study field and area (study field group): Electronics Engineering, Engineering Sciences.

Keywords: fruit, non-invasive methods, ripeness level, spectroscopy, impedance.

Kaunas, 2021. 63 p.

### **Summary**

In this work a brief and research of most popular non-invasive methods for fruit ripeness level determination is presented. Overview of the following methods was done: spectroscopy, ultrasound measurements, impedance measurements, electronic nose and image processing. In the methodical part selection of the fruits that are suitable for research was performed. The level of methods effectiveness for non-invasive ripeness estimation was evaluated for ultrasound measurements, image processing, spectroscopy and impedance measurements. For the final research spectroscopy and impedance measurements were chosen because of their high reliability level. To perform deeper analysis of these methods design of fruit ripeness estimation platform was done. Measurement repeatability analysis for the designed platform was performed. Finally, the measurements and analysis of the results were done.

## Turinys

<b>Įvadas</b> .....	<b>7</b>
<b>1. Sunokimo lygio nustatymo neinvaziniais metodais analizė</b> .....	<b>8</b>
1.1. Spektroskopija .....	8
1.2. Ultragarsiniai matavimai .....	10
1.3. Elektroninė nosis .....	12
1.4. Impedanso matavimas .....	16
1.5. Vaizdo apdorojimas.....	19
<b>2. Metodinė dalis</b> .....	<b>22</b>
2.1. Vaisiaus pasirinkimas ir tiriamos savybės.....	22
2.2. Ultragarso bangų panaudojimas vaisių sunokimui įvertinti .....	23
2.2.1. Tyrimo metodika .....	23
2.2.2. Tyrimo eiga ir rezultatai .....	24
2.3. Vaizdo analizės metodas vaisių sunokimui įvertinti .....	26
2.3.1. Tyrimo metodika .....	27
2.3.2. Tyrimo eiga ir rezultatai .....	27
2.4. Spektrinės analizės metodas vaisių sunokimui įvertinti .....	29
2.4.1. Tyrimo metodika .....	29
2.4.2. Pasiruošimas .....	32
2.4.3. Tyrimo eiga ir rezultatai .....	33
2.5. Elektrinio impedanso metodas vaisių sunokimui įvertinti .....	38
2.5.1. Tyrimo metodika .....	38
2.5.2. Pasiruošimas .....	39
2.5.3. Tyrimo eiga ir rezultatai .....	40
2.6. Avokado vaisiaus tyrimai naudojant kombinuotu metodu grįstą tyrimų platformą.....	43
2.6.1. Tyrimų platformos projektavimas .....	43
2.6.2. Matavimų pasikartojamumo testavimas .....	46
2.6.3. Tyrimo eiga ir rezultatai .....	48
<b>Išvados</b> .....	<b>59</b>
<b>Literatūros šaltinių sąrašas</b> .....	<b>60</b>
1 priedas. Matavimų sistemos programos veikimo algoritmai.....	64
2 priedas. Matavimų sistemos pasikartojamumo analizė .....	67

## Įvadas

Didėjant žmonių populiacijai pasaulyje, reikalingi būdai padėsiantys ateityje sumažinti išmetamo maisto kiekį. Siekiant sumažinti vaisių atliekų kiekį, pirmiausia reikia tiksliai nustatyti vaisiaus sunokimo lygį ir užtikrinti, jog parduodamas vaisius atitinka komercinius reikalavimus. Per anksti nuskinti vaisiai nėra tokie skanūs ir kokybiški, o per vėlai nuskinti vaisiai turi trumpesnį galiojimo laiką, praranda prekinę išvaizdą ir dažnai turi pasikeitusį kvapą ir skonį. Ankstyvas vaisiaus sunokimo lygio nustatymas galėtų gerokai sumažinti išmetamų maisto atliekų kiekį ir tokiu būdu būtų galima prisidėti prie globalios maisto saugos gerinimo.

Vaisių sunokimo lygio nustatymas neinvaziniais metodais pastaraisiais metais yra susilaukęs didelio susidomėjimo, nes turi daug pranašumų lyginant su tradiciniais invaziniais metodais. Naudojant neinvazinius metodus galima atlikti greitus, realaus laiko matavimus ir tiksliai įvertinti net kelių vaisių sunokimo lygį vienu metu. Pokyčiai, kurie įvyksta nokstant vaisiui, yra gana sudėtingi - vyksta begalė fizinių bei cheminių pasikeitimų, tokių kaip dydžio, formos, tekstūros, spalvos, chlorofilo, cukraus kiekio pokyčiai. Nesunku suprasti, jog tiek invaziniai, tiek neinvaziniai matavimai atliekami laboratorijose atima daug laiko ir reikalauja didelio kiekio mėginių bei sudėtingos matavimo įrangos. Todėl reikalingas paprastas, kiekvienam vartotojui prieinamas, neinvazinis metodas, kuris leistų greitai nustatyti vaisiaus sunokimo lygį.

Geriausias neinvazinio vaisiaus sunokimo lygio nustatymo pavyzdys gamtoje – paukščiai. Jie vaisiaus sunokimo lygį vertina pagal tai, kaip pasikeitusi jo spalva – kontrastas ir intensyvumas tarp vaisiaus ir aplinkos[1]. Remiantis tuo atsirado keli neinvazinių vaisiaus sunokimo nustatymo lygio metodai – regimosios šviesos bei infraraudonosios spinduliuotės spektroskopija ir vaizdų apdorojimas naudojant mašininį mokymą. Taip pat tokio tipo tyrimams rinkoje yra naudojami ir ultragarsiniai ir elektriniai sunokimo lygio nustatymo būdai. Būtent šios technikos yra dažniausiai naudojamos šių dienų tyrimuose ir yra pritaikomos nešiojamuose ir rankiniuose prietaisuose.

**Darbo tikslas** – nustatyti tinkamiausią metodą arba kelių metodų kombinaciją, kuri padėtų sukurti neinvazinį vaisių sunokimo lygio nustatymo prietaisą.

### Uždaviniai :

- atlikti literatūros analizę ir atrinkti labiausiai tinkamus naudoti metodus bei vaisius;
- sudaryti tyrimų metodiką;
- atlikti eksperimentus siekiant įvertinti metodų veikimą ir efektyvumą;
- suprojektuoti ir iširti sistemą gebančią neinvaziniais metodais nustatyti vaisiaus sunokimo lygį.

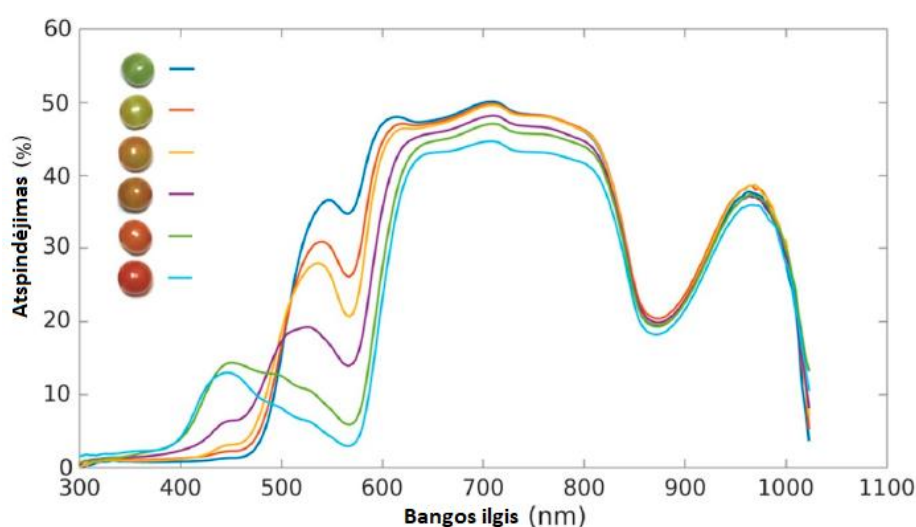
## 1. Sunokimo lygio nustatymo neinvaziniais metodais analizė

Rinkoje egzistuoja ne vienas metodas, kuris neinvaziniu būdu leidžia nustatyti ar vaisius yra prinokęs ar ne. Itin greitas ir tikslus vaisiaus sunokimo lygio nustatymas gali padidinti parduodamų vaisių kokybę, kuri yra viena didžiausių siekiamybių žemės ūkyje.

### 1.1. Spektroskopija

Spalva ir vaisiaus išorinė išvaizda yra pirminės savybės, pagal kurias vartotojai sprendžia ar vaisius yra kokybiškas ir tinkamas vartojimui. Šie kriterijai yra susieti su fiziniais ir cheminiais pasikeitimais, kurie vyksta nokstant vaisiui. Viena iš šių pasikeitimų nustatymo technikų yra matomos šviesos ir infraraudonųjų spindulių spektroskopija. Šis būdas paskutiniu metu laikotarpiu yra laikomas kaip vienas efektyviausių ir naudingiausių metodų kontroliuojant produktų kokybę. Lyginant su tradiciniais būdais, infraraudonųjų spindulių spektroskopijai reikalingas mažesnis duomenų apdorojimo laikas ir nereikalingas aukšto lygio pasiruošimas matavimui [2].

Matomos šviesos ir artimieji infraraudonieji spinduliai apima elektromagnetinių bangų spektrą nuo 380 iki 2500 nanometrų. Kuomet spinduliuotė pasiekia tiriamą mėginį, ji gali būti atspindėta, sugerta arba perduota. Kuris iš šių trijų reiškinų įvyks, priklauso nuo mėginio cheminės sudėties ir fizinių parametrų [2]. Infraraudonosios ir matomos šviesos spinduliuotės atspindėjimo lygis gali suteikti informacijos apie beveik visus pagrindinius organinius junginius mėginyje. Pavyzdys kaip keičiasi atspindžio spektras skirtingais pomidoro nokimo etapais vaizduojamas 1.1 paveiksle.

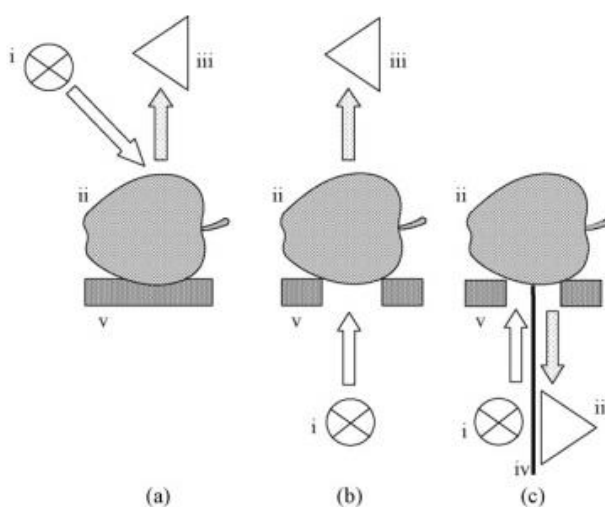


1.1 pav. Atspindėjimo spektras esant skirtingiems pomidoro sunokimo lygiams [2]

Norint tiksliai nustatyti vaisiaus sunokimo lygį reikalinga įvertinti kelių bangos ilgių atspindžio matavimo rezultatus, kadangi matavimo rezultatams įtakos gali turėti matavimo įranga, aplinkos sąlygos arba vaisiaus paviršiaus tekstūra. Viename iš tyrimų buvo nustatyta, kad atspindėjimo lygis ties 450nm ir 680nm buvo susijęs su persiko vaisiaus kietumu, tačiau koreliacijos koeficientas buvo gana žemas ( $R^2 < 0.6$ ) dėl to, jog matavimai buvo atliekami tik dviejuose bangų ilgiuose [3]. Kitame tyrime buvo tiriamos obuolių vidinės savybės. Tam buvo naudojami 9 skirtingi bangos ilgiai, kas autoriui leido pasiekti aukštą koreliacijos koeficientą ( $R^2 < 0.8$ ) [4].



Tiriant mėginius yra trys būdai kaip galima surinkti duomenis – atspindėjimas, sugertis ir perdavimas. Matavimo būdo pasirinkimas priklauso nuo norimo testuoti mėginio tipo. Atspindėjimo režime, spinduliuotė atspindėta nuo mėginio paviršiaus ir detektorius yra pozicionuojami toje pačioje pusėje, kurioje yra ir šviesos šaltinis. Taip užfiksuojama nuo mėginio atsispindėjusi šviesa. Toks metodas yra dažniausiai naudojamas kieto pavidalo mėginiams. 1.2 pav. (a) dalyje yra vaizduojamas tokio matavimo pavyzdys. Perdavimo režime, detektorius yra pozicionuojamas priešingoje pusėje, nei šviesos šaltinis. Toks režimas dažniausiai naudojamas skystame pavidale esantiems mėginiams arba smulkiems kietiems mėginiams, tokiems kaip grūdai. Jo pavyzdys vaizduojamas 1.2 pav. (b) dalyje. Trečiasis būdas, kuris yra pirmųjų dviejų kombinacija yra vadinamas sąveikos metodu. Šio metodo atveju šviesos šaltinis ir detektorius yra pozicionuojami lygiagrečiai vienas kitam ir toje pačioje testuojamo mėginio pusėje ir jo pavyzdys yra vaizduojamas 1.2 pav. (c) dalyje. Šis būdas dažniausiai naudojamas didesniems mėginiams, pavyzdžiui tokiems kaip pilno dydžio vaisius.



**1.2 pav.** Artimųjų infraraudonųjų spindulių spektroskopijos matavimo būdai [5]

Tipinė procedūra maisto produktus analizuojant naudojant infraraudonųjų spindulių spektroskopijos būdą gali būti skirstoma į 3 pagrindinius žingsnius. Pirmas žingsnis yra tinkamo spektrometro ir priedų pasirinkimas, antras – tinkamo mėginio pasirinkimas, trečias – matavimo duomenų surinkimas ir cheminių bei fizinių savybių nustatymas.

Labai svarbus parametras infraraudonųjų spindulių spektroskopijoje yra medžiagos paveikimo gylis. Tyrimų metu buvo nustatyta [5], jog šviesa, 700nm-900nm ruože, gali paveikti iki 4mm gylį, o 900 nm-1900 nm ruože esanti šviesa gali paveikti iki 2-3mm gylį obuoliuose. Kadangi trumpesnio bangos ilgio šviesa turi didesnę dažnį ir didesnę energiją, jai lengviau paveikti tiriamus objektus lyginant su ilgesnio bangos ilgio šviesa. Tačiau, vaisių, kurie turi storą žievę, pavyzdžiui apelsinų, defektus yra gana sunku aptikti, nes žievė veikia kaip barjeras, kuris neleidžia pasiekti vidinės struktūros.

Šiuo metu spektroskopija yra plačiai naudojama kontroliuoti skirtingų vaisių kokybei ir šiuo metu rinkoje egzistuoja nemažai nešiojamų pramoninių spektrometrų. Vienas iš populiariausių – „Felix Instruments“ kompanijos sukurtas spektroskopas, kuris veikia 310 – 1100 nm bangos ilgių ruože ir kurio spektrinė rezoliucija yra nuo 8-13 nm. Šis prietaisas naudojamas nustatyti tokiems vaisių parametrams kaip sausų medžiagų kiekis, rūgštingumas, spalva ir sunokimo lygis. Vienas duomenų nuskaitymo ciklas trunka apie 4-6 sekundes.



**1.3 pav.** Skirtingi rinkoje egzistuojantys spektroskopijos matavimo prietaisai

Apibendrinant, spektroskopija matomų ir infraraudonųjų spindulių ruože koreliuoja tiek su išorinėmis, tiek su vidinėmis vaisių savybėmis. Tai leidžia tiksliau nustatyti vaisiaus sunokimo lygį, nei naudojant tik spalvos registravimo prietaisus.

## **1.2. Ultragarsiniai matavimai**

Ultragarsiniai matavimų technologija yra labai paplitusi maisto kokybės ir kontrolės srityse. Pastaruoju metu atsirado susidomėjimas kaip galima būtų panaudoti ultragarsą neinvaziniame vaisių arba daržovių kokybės nustatyme. Tokio pobūdžio matavimai gali būti naudojami dar nenuskintiems vaisiams arba gamyboje, kur reikalingas bekontaktis mėginio kokybės įvertinimas. Ultragarsinių matavimų pranašumas, lyginant su kitais neinvaziniais metodais yra tas, jog šio būdo matavimai turi didelį jautrumą, didelę greitaveiką ir yra patikimi.

Ultragarsas rinkoje taikomais įvairiose srityse, tačiau patys principai išlieka tie patys. Prietaisas, žinomas kaip siūstuvai-imtuvai yra sudarytas iš keramikos, kuri yra veikiamas trumpais elektriniais impulsais, kurie sudaryti iš kelių sinuso formos signalo ciklų. Pjezoelektrinio efekto pagalba elektros energija paverčiama mechanine banga, kuri sklinda kaip trumpas garsinis impulsas tam tikru, fiksuotu siūstuvo-imtovo dažniu. Tuomet ta energija perduodama į tiriamą mėginį ir sklinda per jį. Ultragarsinis signalas atsirandantis iš testuojamo objekto yra fiksuojamas pjezoelektrinio elemento, kuris veikia kaip imtuvas ir paverčia ultragarsinį signalą atgal į elektrinį. Kuomet sistema veikia „pulsas-aidas“ režime, tas pats pjezoelektrinis elementas yra naudojamas ir kaip siūstuvai ir kaip imtuvas vienu metu. Tokiu atveju, kai sistema veikia perdavimo režime, reikalingas antras pjezoelektrinis elementas, kuris veikia kaip imtuvas [6].

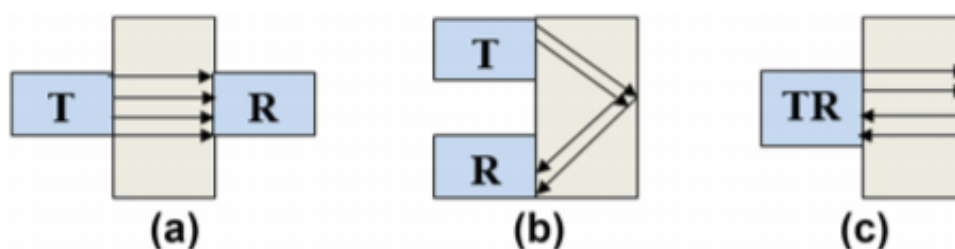
Ultragarsinis signalas sklinda per tiriamą medžiagą, kol garso banga patiria impedanso pasikeitimą, kas reiškia jog įvyko pasikeitimai medžiagos tankyje. Priedo pakinta ir pats pat garso sklidimo greitis. Taip nutinka, kai medžiagoje pasikeičia audinio struktūra arba mėginyje atsiranda reflektorius. Tokiu atveju dalis garso signalo energijos yra atspindima. Atspindėtos energijos kiekis priklauso nuo medžiagos impedanso pokyčio ir atspindinčio audinio ploto. Jeigu mėginyje nėra tokių vidinių audinių, kurie atspindėtų garso bangą, ji sklinda iki tolimiausio mėginio taško arba tol kol sklindanti energija tampa artima nuliui. Didžioji dalis fizinių ir cheminių pasikeitimų mėginiuose sukelia signalo lygio ir bangos greičio pasikeitimus.

Dažnu atveju ultragarsinio matavimo sistema susideda iš 4 pagrindinių komponentų – impulsų generatoriaus, siųstuvo-imtovo, mikrovaldiklio, kuris geba apdoroti signalus bei ekrano, naudojamo rezultatams atvaizduoti (1.4 pav.).



**1.4 pav.** Pagrindiniai ultragarsinių matavimų sistemos komponentai

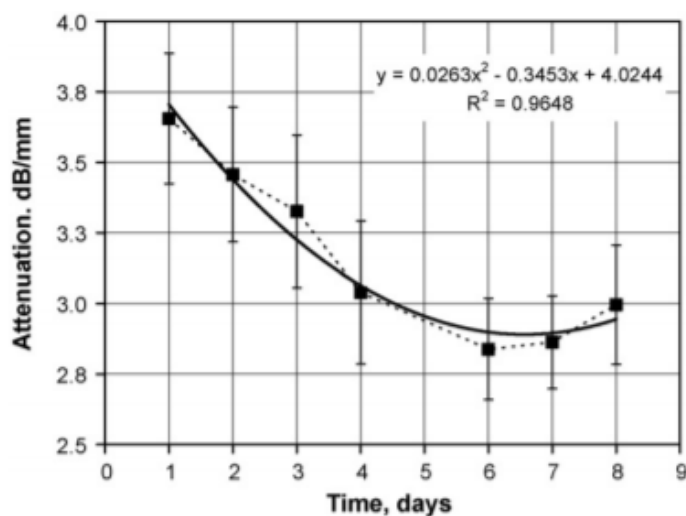
Bendrai ultragarsiniai matavimai gali būti skirstomi į du tipus – kontaktinius ir bekontaktinius. Kontaktiniai ultragarsinių matavimų metodai buvo tirti naudojant skirtingus maisto ir gėrimų mėginius. Tuo tarpu bekontaktinių matavimų metodai turi savitų iššūkių ir apribojimų. Šiuo metu yra atrasti trys skirtingi ultragarsinio matavimo metodai, tokie kaip impulso aido metodas (1.5 pav. (a)), atspindžio (1.5 pav. (b)) ir perdavimo metodas (1.5 pav. (c)). Naudojant šiuos metodus buvo matuojamas mėginių storis, sklidimo greitis per juos, tankis ir defektai. Perdavimo režime testuojamas mėginys padedamas tarp siųstuvo ir imtuvo, o testuojamas mėginys vertinamas pagal perduodamą bangą. Atspindžio matavimo būdas yra pagrįstas nuo testuojamo mėginio atspindėjusios bangos fiksavimu. Šiuo atveju siųstuvas ir imtuvas pozicinuojamas toje pačioje pusėje. Siųstuvas ir imtuvas gali būti sujungti į vieną struktūrą ir veikti kaip siųstuvo-imtovo junginys. Perdavimo metodas grįstas tokio tipo perdavimu, kuomet yra naudojamas siųstuvas-imtovas ir matavimo metu yra analizuojama atspindžio banga. Ultragarsinio matavimo metodo pasirinkimas priklauso nuo aplikacijos bei siųstuvo ir imtuvo dažnių juostos. Pavyzdžiui, norint nustatyti bulvės kietumą reikėtų naudoti atspindžio pagavimo arba perdavimo metodą, kadangi siunčiamas ultragarso signalas negali skliti per bulvės lupeną [8].



**1.5 pav.** Ultragarsinio jutiklio matavimo būdai

Dažnio lygis, kuriame generuojami akustiniai signalai priklauso nuo panaudojimo būdo. Žemo dažnio akustinis signalas (20 – 100 kHz) turi didesnę galią ir gali būti naudojamas vaisių su stora žieve patikrai. Aukšto dažnio ultragarsinis signalas (2-19 MHz) turi mažą energiją ir gali būti naudojamas maisto kokybės vertinimui. Pirmieji tokių matavimų bandymai buvo atlikti mokslininko Ha et al [8], kuriuose buvo nustatinėjama bulvių kokybė. Autorius naudojo ultragarsinį siųstuvą-imtuvą dažnių ribose nuo 50kHz iki 1 MHz ir matavo bangos sklidimo laiką ir amplitudę tiek pažeistų, tiek sveikų bulvių mėginiams. Atlikus tyrimą buvo nustatyta, jog amplitudė ir bangos sklidimo greitis per bulvės žievę parodo skirtumą tarp sveikos ir sugedusios bulvės. Mokslininkas Mizrach [9] pristatė neinvazinį ultragarsu grįstą matavimo metodą, kuriuo nustatė pomidorų kietumą ir cukraus kiekį juose. Autorius

matavo akustinės bangos slopinimą naudodamas kontaktinį metodą. Buvo rasta koreliacija tarp atspindėtos akustinės bangos signalo ir pomidoro kietumo, tačiau nebuvo įmanoma rasti koreliacijos tarp kietumo ir cukraus lygio rezultatų. Kaip matyti 1.6 paveiksle, keičiantis pomidoro brandinimo laikui, keičiasi ir ultragarsinės bangos slopinimas.



1.6 pav. Ultragarsinio signalo lygio pokytis vykstant pomidoro nokimui [9]

Remiantis kitų mokslininkų tyrimų medžiaga, galima teigti, jog ultragarso taikymas šviežių vaisių ir daržovių kokybės tyrimams yra geras pasirinkimas. Tikimasi, jog ateityje ši technika bus plačiai taikoma žemės ūkio pramonėje ir suteiks daug naudos tiek augintojams, tiek vartotojams.

### 1.3. Elektroninė nosis

Elektroninė nosis tai prietaisas, kuris gali aptikti bet kokią kvapą daug efektyviau nei žmogaus uoslė. Tai išmanus prietaisas, kuriame yra naudojamas dujų jutiklių masyvas. Masyve jutikliai persidengia ir taip gaunamas selektyvumas priklausomai nuo aptinkamos medžiagos. Kvapas susideda iš molekulių, kurios yra skirtingo dydžio ir formos. Kiekviena molekulė turi tam tikro dydžio ir formos receptorių žmogaus nosyje – taip žmogaus nosis geba aptikti skirtingus kvapus [13].

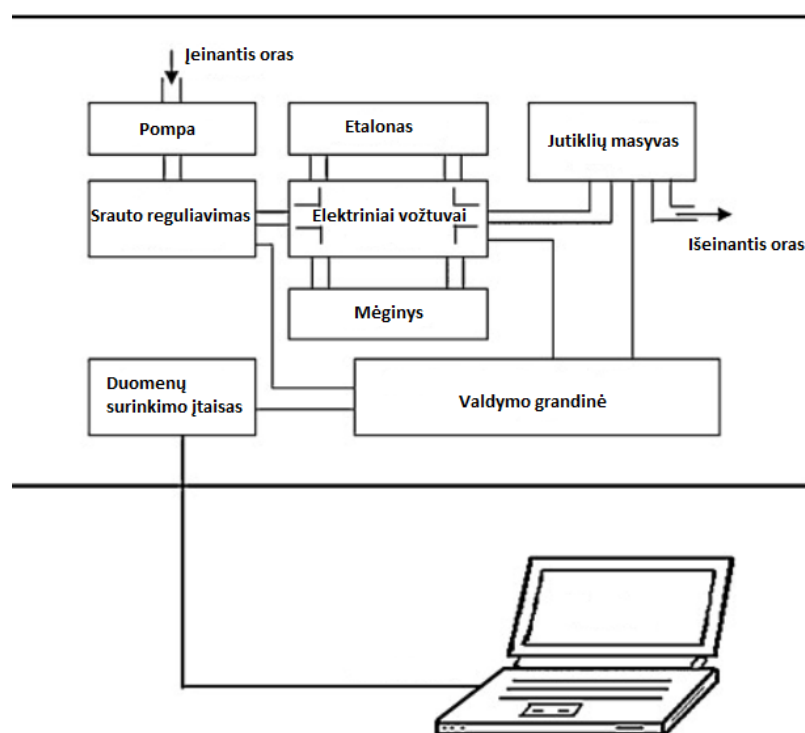
Šie prietaisai taip pat yra plačiai paplitę maisto kokybės sektoriuje. Vartotojas vaisiaus kokybę dažnai nustato pagal išvaizdą, sunokimo lygį, kvapą ir skonį. Skirtingi vaisiai turi skirtingas aromatinės charakteristikas ir skirtingą aromatinių dalelių struktūrą, kuri priklauso nuo vaisiaus genetinių savybių.

Elektroninė nosies naudojimas atveria naujas galimybes charakterizuoti vaisių kvapus daugelyje sričių – nuo naujų vaisių veislių kūrimo iki vaisiaus nuskynimo laiko nustatymo. Šio prietaiso privalumas yra tas, kad jis gali lengvai identifikuoti ir charakterizuoti vaisių kvapus dėl gebėjimo atskirti sudėtingus dujų mišinius. Elektroninė nosis susideda iš jutiklių masyvo, kuris vertina visus cheminius junginius esančius mėginio kvapo mišinyje ir rezultatus paverčia į elektrinius signalus. Gauti duomenys surenkami į atskirą skaitmeninį modelį, vadinamą elektroniniu aromatu signatūrų modeliu, kuris yra unikalus kiekvienam specifinam dujų mišiniui. Tokiu būdu parenkama atitinkama signatūra, kurios pagalba identifikuojamas analizuojamas vaisius.

Vaisiai gamina ir išleidžia į aplinką daug skirtingų organinių junginių kurie yra individualūs kiekvienai vaisių rūšiai. Taip pat yra daug faktorių kurie lemia vaisiaus kintančią cheminę

kompoziciją visomis jo gyvavimo fazėmis. Augalo genetika ir aplinkos faktoriai turi didelę įtaką augalo biosintezei, kuri atsakinga už kintančių aromatų išleidimą į aplinką kintant laikui. Aromato sudėtis ir stiprumas dažnai yra stipriai reguliuojamas vaisiaus veislės kūrimo procese [14].

Dažnas prietaisas susideda iš detektavimo sistemos ir mėginių apdorojimo sistemos. Įprastinės elektroninės nosies struktūrinė schema vaizduojama 1.7 paveiksle. Pirmiausia įeinantis oras paduodamas į sistemą naudojant oro pompą, kuriuos srautas yra reguliuojamas. Elektrinių vožtuvų pagalba į jutiklių masyvą nukreipiamas etaloninis kvapas – tam, jog būtų galima atlikti kalibracijos procedūrą. Atlikus kalibraciją elektrinių vožtuvų pagalba įeinantis oras nukreipiamas link mėginio ir jutiklių masyvo, kuris užregistruotas vertes perduoda į valdymo grandinę, o ši – į duomenų surinkimo įtaisą.

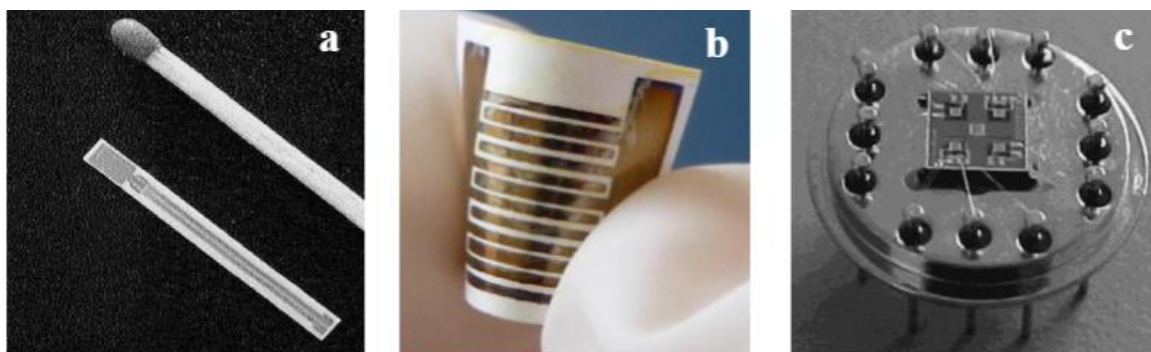


1.7 pav. Elektroninės nosies veikimo principo struktūrinė diagrama

Vienas iš svarbiausių komponentų tokio tipo sistemoje yra jutiklių masyvas. Kuo geresnės jutiklių charakteristikos, tuo didesnė elektroninės nosies kokybė pasiekama. Jutiklių vertinimas turi atitikti tam tikrus kriterijus, tokius kaip aukštą jautrumą, greitą reakcijos ir atsistatymo laiką, mažą kainą ir lengvą naudojimą, ilgalaikį stabilumą ir patikimumą. Rinkoje egzistuoja skirtingų rūšių ir tipų jutikliai skirti panaudoti įvairiose srityse[14].

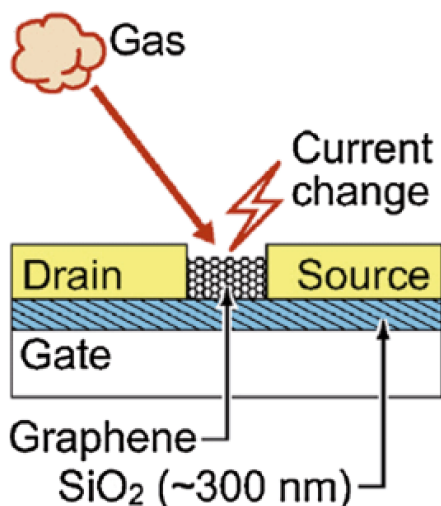
**Chemorezistyvieniai jutikliai.** Chemorezistorius yra medžiaga, kuri keičia savo elektrinę varžą, priklausomai nuo artimų cheminės aplinkos pasikeitimų. Paprastas chemorezistorius susideda iš jutiminės medžiagos, kuri dengia tarpą tarp dviejų elektrodų arba dengia kelis vieną su kitu persipynusius elektrodus. Matavimo metu mėginys sąveikauja su jutimine medžiaga ir taip kinta išmatuojama varža. Vienais atvejais, varžos pokytis gali indikuoti tik matuojamos medžiagos atsiradimą, o kitais – varža gali kisti proporcingai tiriamos medžiagos kiekiui. Chemorezistyvieniai jutiklius galima sutikti įvairiose formose. 1.8 pav. kairėje vaizduojamas plokštuminis

chemorezistyvini dujų jutiklis, centre – lankstus chemorezistyvini dujų jutiklis, o dešinėje – mikrochemorezistyvini jutiklis [13].



1.8 pav. Chemorezistyvinių jutiklių pavyzdžiai [13]

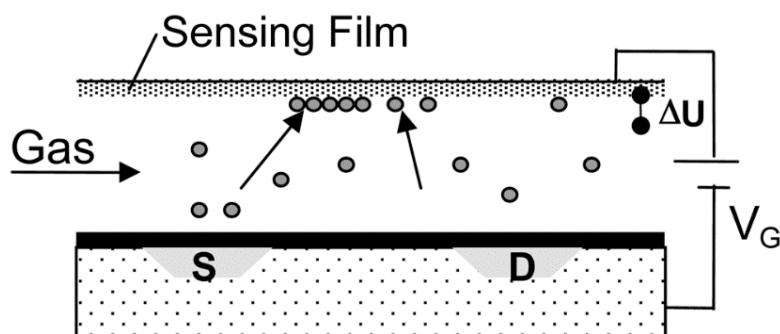
**Lauko efekto tranzistoriniai (FET) jutikliai.** Lauko tranzistorius, tai įrenginys, kuris gali kontroliuoti pralaidumą tarp santakos ir ištakos, reguliuodamas laidaus kanalo formą ir dydį, kuris priklauso nuo įtampos tarp užtūros ir ištakos išvadų. Kuomet FET veikia kaip dujų jutiklis, patekę dujų molekulės keičia laidaus kanalo fizines savybes arba sukuria krūvio perdavimą, dėl kurio pasikeičia elemento elektrinės charakteristikos, tokios kaip ribinė įtampa, jos svyravimo ribos ir t.t. Tai reiškia, jog šia technologija paremti jutikliai geba keisti ne vieną o kelis parametrus vienu metu, kas suteikia daugiau galimybių analizuojant tam tikras struktūras. Tokio tipo sensoriams būdinga maža darbinė temperatūra ir didelis jautrumas [13].



1.9 pav. FET dujų jutiklio veikimo principas [13]

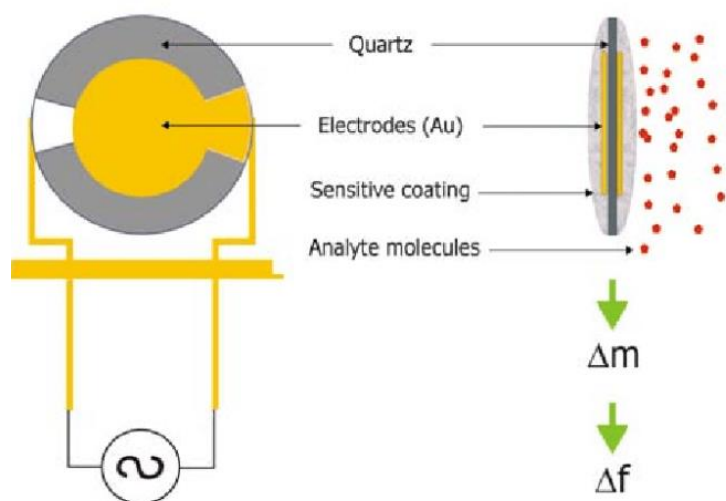
**Puslaidininkiniai elektrocheminiai jutikliai.** Dujų aptikimo technikos naudojant puslaidininkinius elektrocheminius jutiklius yra skirstomos į 4 kategorijas – pusiausvyros potenciometrinius (EPS), maišytus potenciometrinius (MPS), amperometrinius ir impedancimetrinius dujų jutiklius. Šie metodai yra patikrinti kaip tikslūs ir patikimi norint aptikti dujiniu pavidalu pasireiškiančius cheminius junginius įvairiose aplinkose. Taip pat jie yra labai stabilūs ir naudojami įvairiose srityse. Jie gali veikti aukštose temperatūrose, pavyzdžiui, atlikti automobilio išmetamųjų dujų jutiklio funkciją. 1.10 pav. vaizduojamas puslaidininkinių dujų jutiklių veikimas. Šių jutiklių paviršiuje yra naudojama jutiminė plėvelė, oro tarpas ir puslaidininkinė medžiaga. Dujoms patekus į oro tarpą esantį

tarp jutiminės plėvelės ir puslaidininkinės medžiagos gaunamas potencialų skirtumas priklausomai nuo dujų pobūdžio ir koncentracijos [13].



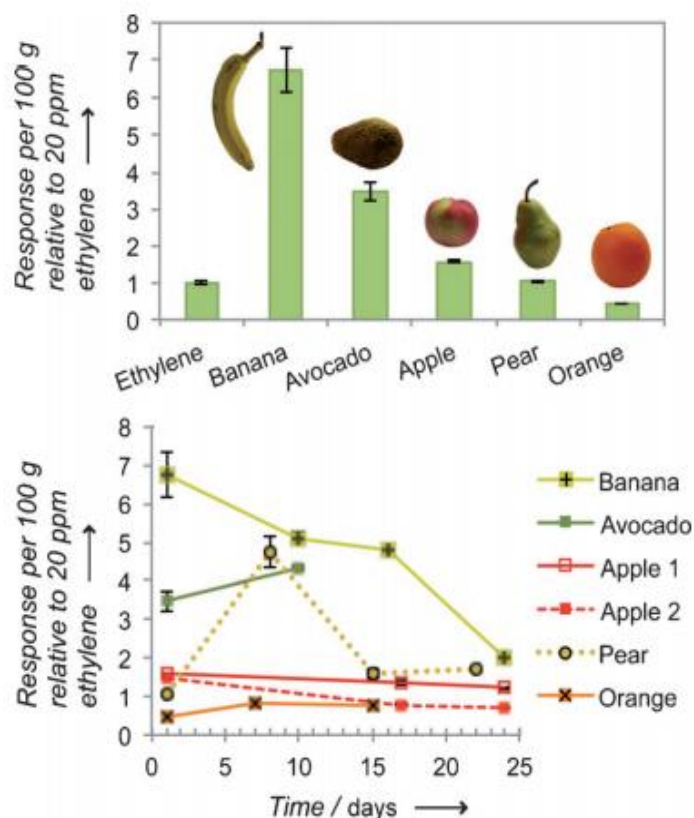
1.10 pav. Pusalaidininkinių dujų jutiklių veikimas [13]

**Kvarco kristaliniai mikrobalanso principu paremti dujų jutikliai.** Kvarco kritalo microbalansu paremti dujų jutikliai (angl. Quartz crystal microbalance) yra masės keitikliai, kurie aptinka pasiekusias dujas naudojami rezonansinio dažnio pasislinkimą, kurį sukelia dujų absorpcijos arba desorbcijos inicijuoti jutiminės medžiagos masės pasikeitimai. Šio jutiklio pagrindas yra kvarcinis diskas, kuris yra sudarytas iš pjezoelektrinės medžiagos ir gali pradėti virpėti tam tikru dažniu, prie jo elektrodų prijungus įtampos šaltinį. Virpėjimo dažnis gali kisti priklausomai nuo padidėjusio ar sumažėjusio dujų masės kiekio ant elektrodų paviršiaus. Dažnio pasikeitimai gali būti stebimi realiu laiku ir taip gali būti surenkama informacija apie molekulių sąveiką ir reakciją ant elektrodo paviršiaus [13].



1.11 pav. Kvarco kristalinių dujų jutiklių veikimas [13]

Viename iš tyrimų buvo naudojamas chemorezistyvnis dujų jutiklis, kurio pagalba buvo fiksuojama etileno dujų koncentracija išskiriama skirtingų vaisių [10]. Tyrimui atlikti buvo naudojama uždara dujų kamera, kurioje ir buvo patalpintas jutiklis ir į kurią pastoviai buvo tiekiamos azoto dujos. 1.12 pav. vaizduojami tyrimo rezultatai skirtingiems vaisiams.



1.12 pav. Skirtingų vaisių etileno dujų išsiskyrimas [10]

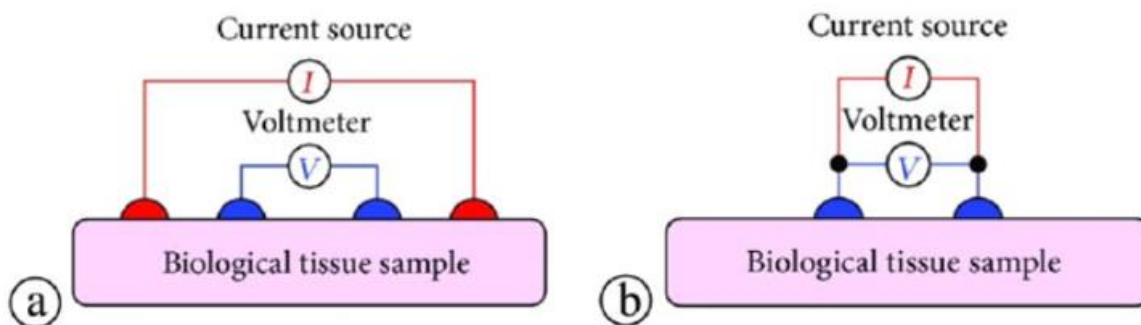
Analizuojant rezultatus galima pastebėti, jog didžiausią etileno kiekį išskiria banano ir avokado vaisiai, o mažiausią – apelsino vaisiai. Kintant dienomis ir nokstant vaisiams, didžiausias etileno dujų koncentracijos pokytis pastebėtas banano vaisiams.

Vaisiaus sunokimo lygio nustatymas naudojant dujų jutiklius gali atnešti gana tikslus rezultatus, tačiau tam reikalinga gana sudėtinga matavimo įranga, tokia kaip uždaros dujų kameros, vožtuvai bei pastovaus oro srauto valdymas.

#### 1.4. Impedanso matavimas

Pastaruosius kelerius metus vis daugiau dėmesio skiriama vaisių sunokimo lygio nustatymui, naudojant elektrinio impedanso spektroskopiją. Šis metodas pasižymi paprasta, nebrangia matavimo technika, kurią naudojant galima nustatyti tiek nuskintų, tiek nenuskintų vaisių sunokimo lygį nenaudojant intervencijos [15]. Išmatuotas impedanso spektras, kuris dažniausiai būna susietas su tam tikru, prieš tai nustatytu elektriniu modeliu, suteikia informaciją apie tiriamo mėginio savybes. Kaip žinoma, impedansas yra reprezentuojamas kaip tam tikro dažnio arba dažnio juostos funkcija nuo įėjimo signalo. Dažnio juostos pasirinkimas priklauso nuo matuojamo vaisiaus tipo ir jo cheminės sudėties, kadangi tam tikrų parametrų ir impedanso reikšmės koreliacija kiekvienam vaisiui pastebima vis skirtingose dažnių juostose [16]. Mokslinių tyrimų metu impedansas buvo nustatomas tokiems vaisiams kaip obuoliai, bananai, mangai, avokadai ir braškės [16].



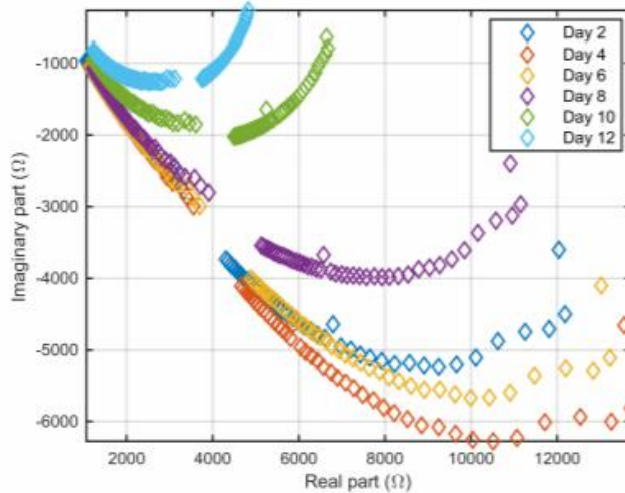


**1.13 pav.** Impedanso matavimas 4 elektrodų (a) ir 2 elektrodų (b) metodais [17]

Kiekvieno vaisiaus audinys yra trijų dimensijų struktūra, kurią sudaro ląstelių membranos ir ląstelių sienelės. Pačios vaisiaus ląstelės jam nokstant yra užpildomos tarpląsteliniais skysčiais[17]. Šie skysčiai rodo skirtingą atsaką, kai yra veikiami kintamos srovės signalu. Atsakas priklauso nuo vaisiaus biologinio statuso, tokio kaip prinokimo lygis[18]. Norint gauti vaisiaus impedansą, reikalinga voltamperinė charakteristika, kuri gali būti gaunama tiekiant pastovios amplitudės signalą į vaisiaus paviršių naudojant paviršinius elektrodus. Matavimas gali būti atliekamas keturių elektrodų 1.13 pav. (a) arba 2 elektrodų metodu 1.13b pav. (b). Impedansas skaičiuojamas remiantis Ohmo dėsniumi – į vaisiaus paviršių įnešamas kintamos srovės signalas ( $I_{pav}$ ), sukuria paviršiaus potencialą ( $U_{pav}$ ). Tada pagal 1 formulę gaunamas vaisiaus impedansas ( $Z_{pav}$ ):

$$Z_{pav} = \frac{U_{pav}}{I_{pav}} \quad (1)$$

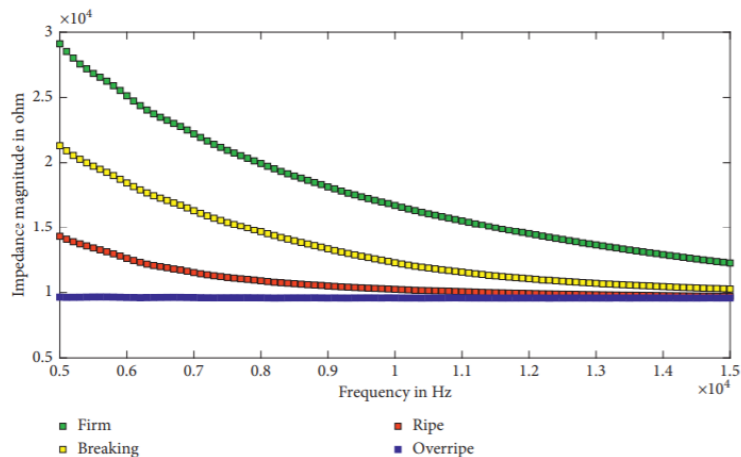
Elektrinio impedanso spektras gali būti išmatuojamas su bet kokių prietaisų gebančiu matuoti srovę ir įtampą, kartu su faziniu postūmiu tarp jų. Dažniausiai šiam tikslui naudojami LCR matuokliai, kartu su paviršiniaisiais elektrodų masyvais [17]. Tačiau dideli, stacionarūs prietaisai nėra pats geriausias pasirinkimas realaus laiko matavimo sistemoms, kurios naudojamos vaisių plantacijose arba lauko laboratorijose. Dėl to, aktyviai kuriami pigūs, lengvi ir nešiojami prietaisai, kurie paremti elektrinio impedanso matavimu naudojant mikrovaldiklius. Praeityje mokslininkų projektuoti prietaisai yra paremti „Analog Devices AD5933“ integriniu grandynu, atliekančiu kompleksinio bioimpedanso matavimą[18], [19]. Šis integrinis grandynas turi integruotą signalo generatorių (iki 100 kHz), 12 bitų analogas-kodas keitiklį ir gali matuoti impedansą  $1k\Omega - 10M\Omega$  ruože. Integruota I2C sąsaja leidžia lengvai integruoti grandyną į nešiojamus, mikrovaldiklių pagrindu veikiančius prietaisus. Viename iš tyrimų, kuriame buvo naudotas šis, integrinis grandynas, buvo atliekami matavimai, naudojant bananus. Mėginiai buvo laikomi 12 dienų kambario temperatūroje, o matavimai atliekami kas 24 valandas. Matavimams atlikti buvo naudojamas dažnių ruožas nuo 100 Hz iki 85 kHz. Prisijungimui prie vaisiaus paviršiaus naudoti laidžiu geliu ištepti elektrodai. Iš viso naudoti 4 elektrodai išdėstyti 3 cm atstumu vienas nuo kito. Impedanso spektras gautas vidurkinant tris matavimus atliktus su trimis skirtingomis elektrodų poromis [20]. Gauti rezultatai vaizduojami 1.14 paveiksle.



**1.14 pav.** 12-os dienų banano vaisiaus tyrimo Naikvisto diagrama [20]

Iš 1.14 pav. vaizduojamos diagramos matyti, jog pirmąsias 6 laikymo dienas vaisiaus impedansas stipriai išauga – skirtumas ypač ryškus žemesnių dažnių srityje. Dėl to, daroma išvada, jog aptikta koreliacija tarp žemų dažnių juostos impedanso spektro pokyčio ir banano sunokimo lygio [20].

Kitame tyrime, naudojant tą pačią matavimo sistemą buvo tirtas avokado vaisius. Tyrimui naudota 5 kHz - 15 kHz dažnio juosta. Vaisiaus sunokimo etapai išskirti į 4 būsenas – neprinokęs, beveik prinokęs, tinkamas valgyti ir pernokęs. Būseną nustatoma subjektyviai – pagal vaisiaus minkštumą. Kuomet būna pasiekta viena iš būsenų – atliekamas matavimas [22]. Rezultatai vaizduojami 1.15 paveiksle. Analizuojant 1.15 pav. gautus rezultatus galima pastebėti, kad kintant sunokimo lygiui, gana pastebimai kinta impedanso reikšmė.



**1.15 pav.** Avokado impedanso reikšmės priklausomybė nuo dažnio pagal sunokimo lygį [22]

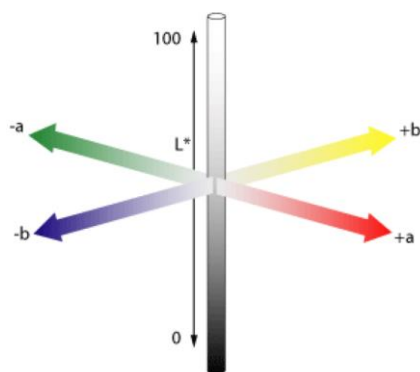
Lyginant kelis mokslininkų atliktus tyrimus, galima pastebėti, jog įvairių vaisių impedansas kinta priklausomai nuo jų sunokimo lygio. Dėl to, galima daryti išvadą, jog elektrinio impedanso matavimas yra tinkamas ir jo pagalba, nesudėtingai ir nenaudojant intervencijos galima nustatyti vaisiaus sunokimo lygį. Taip pat, šiems matavimams nereikia brangaus LCR matuoklio – užtenka naudoti sąlyginai nebrangų integrinį grandyną, kuris lengvai integruojamas į mikrovaldiklinę sistemą. Vienintelis tokių matavimų trūkumas – reikalingi elektrodai ir laidus gelis tam, jog būtų užtikrintas geras kontaktas tarp vaisiaus paviršiaus ir pačio elektrodo.

## 1.5. Vaizdo apdorojimas

Vienas iš svarbiausių aukštos kokybės vaisių užtikrinimo žingsnių – kokybiškas ir greitas rūšiavimas, kuris dažniausiai yra paremtas vizualiniu vaisiaus formos, spalvos ir dydžio vertinimu. Tačiau, žmonių atliekama vizualinė kontrolė turi nemažai trūkumų, tokių kaip subjektyvumas, nepastovumas bei aplinkos pokyčiai. Pastaruoju metu dedamos didelės pastangos tam, kad šie trūkumai būtų panaikinti. Tam geriausiai tinka inovatyvios, bekontaktės vizualinės matavimo sistemos, kurios yra paremtos dirbtiniu intelektu ir gali išmatuoti visą vaisiaus paviršiaus plotą. Tokio tipo sistemos yra daug pranašesnės už spektrometrus, kurie pasižymi tik vieno taško matavimu [23]. Šiuo metu, kompiuterinės vizualinės kontrolės sistemos yra naudojamos vaisiaus rūšies ir defektų nustatymams. Tuo tarpu intensyviai bandoma atrasti metodus, kuriais būtų galima šias sistemas papildyti taip, kad jos sugebėtų tiksliai nustatyti vaisiaus spalvą ir formą. Šios savybės yra būtiniausios pirkėjui, kuris renkasi vaisių ir yra asocijuojamos su vaisiaus kokybės faktoriais, tokiais kaip sunokimas ir kiti.

Vaisiaus sunokimą dažniausiai priimame kaip jo spalvos pasikeitimą. Pavyzdžiui, banano vaisiaus atveju sunokimo lygis skirstomas į šešias stadijas – neprinokęs, subrendęs, beveik subrendęs, beveik prinokęs, prinokęs ir pernokęs [24]. Šis vaisius nuo medžio nuskinamas po 8-13 mėnesių - dar tuomet kai vaisius yra žalias. Neprinokęs bananas turi tokius požymius kaip neįprastai žalią spalvą su šviesiomis dėmelėmis. Pirmasis sunokimo nustatymo žingsnis yra spalvos parametrų nustatymas. Konkrečiai banano vaisiui spalvos parametrai yra geltona, juoda ir žalia. Geltona spalva yra raudonos ir žalios spalvos mišinys su 0 mėlynos spalvos. Todėl geltonos spalvos lygį galima nustatyti lyginant skirtumą tarp raudonos ir žalios spalvos intensyvumo.

Spalvų segmentacija vykdoma naudojant  $L^*a^*b^*$  spalvų koordinacių sistemą. L raidė trumpinyje žymi apšvietos lygį, a raidė – raudonos/žalios spalvos santykį, o b raidė – žalios/geltonos spalvos santykį. Taip gaunama trijų dimensijų spalvinė erdvė (1.16 pav.).



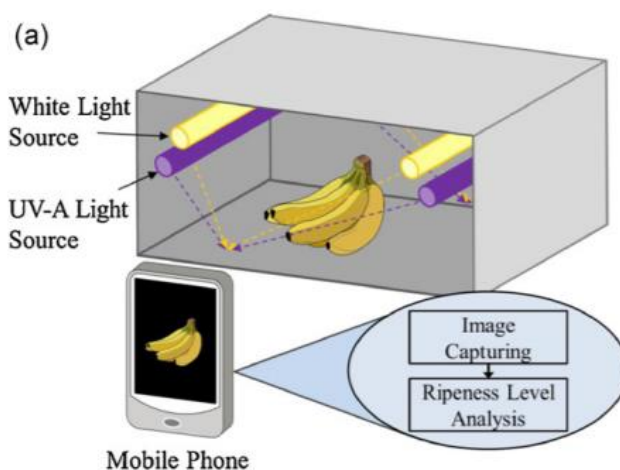
1.16 pav.  $L^*a^*b^*$  koordinacių sistemos vizualizacija

Bendras paveiksle esančių pikselių skaičius nustatomas konvertuojant paveikslą į juoda/balta tipą. Tada, remiantis juoda/balta paveikslu, nustatomas baltos spalvos pikselių skaičius paveiksle bei geltonos spalvos pikselių skaičius nmodifikuotame paveiksle. Tada skaičiuojamas jų santykis ir laikoma, jog tai yra sunokimo lygis. 1.17 pav. atveju laikoma, jog sunokimo lygis yra 86.79 procento [25].



**1.17 pav.** Banano paveikslas prieš ir po apdorojimo [21]

Dar vienas metodas, susijęs su vaizdų apdorojimu, yra išmanaus telefono kamera paremta 2D spektrinė analizė. Šio metodo esmė – dviejų paveikslų, vieno apšviesto su balta šviesa, bei kito, kai vaisius apšviestas ultravioletine šviesa, analizė.



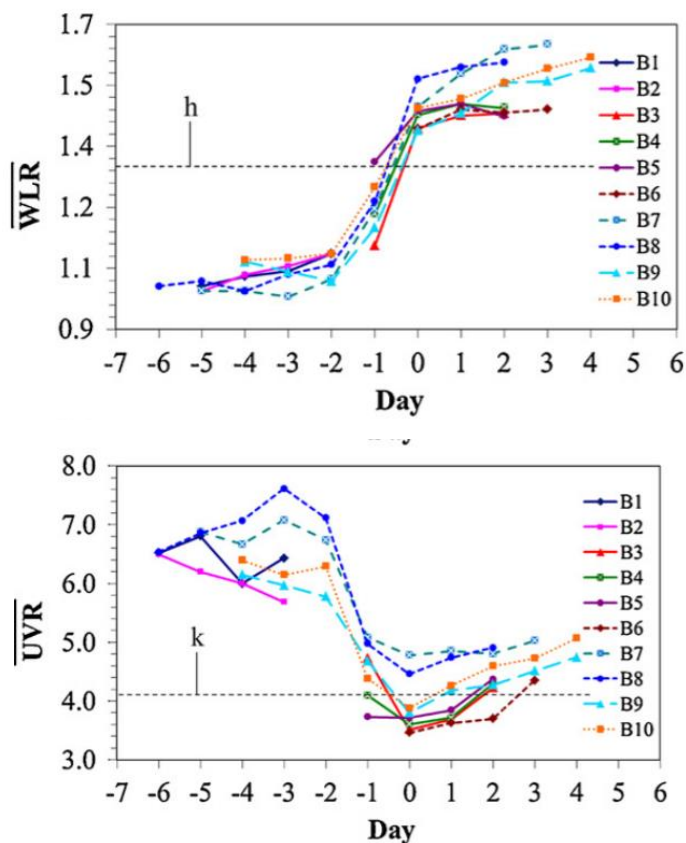
**1.18 pav.** Banano sunokimo nustatymas naudojant 2D spektrinį metodą [26]

Metodas paremtas tuom, kad banano spalva sunokimo metu kinta iš žalios į geltoną, dėl to, kad keičiasi cheminės medžiagos chlorofilo kiekis, kuomet apšviečiama balta šviesa. Tuo tarpu mėlynas-geltonas liuminescencinis spektras (400-500nm) leidžia tiksliau pastebėti paskutinį sunokimo etapą, kuomet banano spalva kinta iš geltonos į rudai-geltoną [27]. Du skirtingi paveikslai yra verčiami į RGB spalvines koordinates. Kadangi dominuojanti spalva yra geltona, baltos šviesos skaičiavimams naudojamos raudonos ir žalios spalvinės koordinatės, o paveikslo užfiksuoto ultravioletine šviesa apšviestoje aplinkoje - mėlynos ir geltonos spalvinės koordinatės. Tokiu būdu gaunami du santykiai – baltos (WLR) ir ultravioletinės šviesos(ULR) [27]:

$$WLR(x, y) = \frac{R_{wl}(x, y)}{G_{wl}(x, y)} \quad (2)$$

$$ULR(x, y) = \frac{B_{uv}(x, y)}{G_{uv}(x, y)} \quad (3)$$

Viename iš tyrimų atliktas eksperimentas parodė [23], jog keičiantis dienų skaičiui WLR ir UVR reikšmės kinta, tačiau atvirkščiai viena kitai. Didėjant WLR reikšmei mažėja UVR reikšmė ir atvirkščiai. Taip pat, verta paminėti, jog tarp 10 skirtingų mėginių nepastebėta esminių skirtumų rezultatuose – tendencija išlieka panaši visą matavimo laikotarpį.



**1.19 pav.** Vidutinės WLR ir ULR reikšmės pokyčiai banano vaisiaus sunokimo procese [27]

Palyginant keletą skirtingų mokslininkų atliktų tyrimų ir metodų galima pastebėti, jog vaizdo apdorojimo būdas vaisiaus sunokimo lygiui nustatyti yra gana paprastas, patikimas ir nebrangus metodas. Įgyvendinus vaizdo apdorojimo techniką ir naudojant skirtingus apšvietimo būdus galima pasiekti gana gerus rezultatus.

## 2. Metodinė dalis

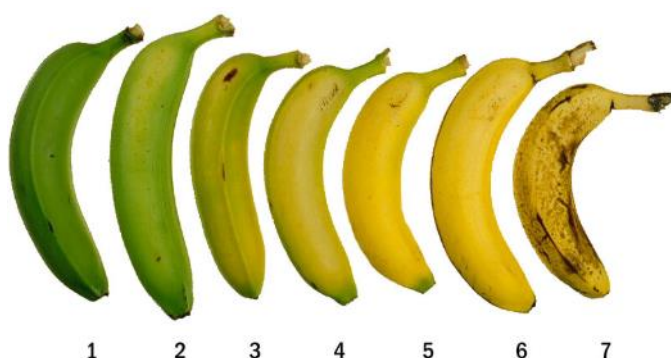
Siekiant ištirti jau anksčiau aptartų metodų efektyvumą reikalinga parinkti tinkamą tyrimų metodiką. Tokiu būdu bus galima nustatyti, kurie metodai yra labiausiai tinkami neinvaziniam vaisių sunokimo nustatymui.

### 2.1. Vaisiaus pasirinkimas ir tiriamos savybės

Norint atlikti tyrimą pirmiausia reikia pasirinkti vieno tipo vaisius kuriems bus atliekami įvairūs eksperimentai. Norint supaprastinti eksperimentus reikalingi vaisiai, kurie noksta ir po nuskynimo nuo medžio, kadangi dar ant medžio esančius vaisius tirti laboratorijos sąlygomis neįmanoma. Taip pat svarbu išsiaiškinti kokios vaisių savybės kinta jiems nokstant – žinant šią informaciją galima įvertinti su kokiais parametrais koreliuoja tyrimo metu gauti duomenys.

Dažniausiai kokybės kontrolėje tiriami fiziniai ir cheminiai parametrai: cukraus kiekis, rūgštingumas, pH, aromatas, tekstūra, kietumas, dydis ir svoris. Tačiau reikia paminėti, kad vizualinis vertinimas ir toliau išlieka svarbiausiu kriterijumi, pagal kurį galutinis vartotojas vertina ar vaisius prinokę ar ne. Neprinokę vaisiai dažnai yra kieti, žalios spalvos, rūgštūs ir nekvapnūs. Vaisių, kurie laiko klimatiniais (vaisiai kurie skinami neprinokę) yra transportuojami į specialius sandėlius, kuriuose yra laikomi tam tikromis sąlygomis, kad būtų maksimaliai stabdomas nokimo procesas. Šį procesą galima paspartinti keičiant laikymo sąlygas arba įleidžiant mažus kiekius etileno dujų, kurios leidžia inicijuoti nokimo procesą [28].

Vienas iš populiariausių ir pasaulyje dažniausiai vartojamų vaisių – bananas. Šis vaisius auga ant banano medžių ir pasižymi savybe, jog toliau noksta nuskynus nuo medžio. Tam, jog vartotojus pasiektų švieži bananai, derlius nuimamas dar tada, kai vaisiai yra neprinokę. Įprastai banano vaisiaus sunokimo lygis nustatomas naudojant iš anksto atspausdintas spalvines diagramas, kuriose iliustruojanti sunokimo lygį spalva lyginama su vaisiaus spalva. Viena iš populiariausių skalių – „UC Davis“ skalė, kurioje vaizduojami septyni skirtingi sunokimo lygiai, kur paskutinis lygis vaizduoja jau nebetinkamą vartoti vaisių [29].



2.1 pav. „UC Davis“ bananų sunokimo lygio skalė [29]

Kriterijus, kuris literatūroje minimas kaip svarbus pokytis bananų nokimo procese – vaisiaus svoris. Nustatyta, jog po vaisiaus nuskynimo jis praranda nemažai skysčių ir dalį savo masės. Teigiama, jog skysčių praradimas dažniausiai patiriamas per vaisiaus žievę. Tyrimų metu nustatyta, jog keičiantis sunokimo lygiui, automatiškai kinta ir vaisiaus svoris [31]. Viename iš tyrimų, kuomet bananas pagal spalvinę skalę buvo pirmojoje būsenoje, tiriamo banano vaisiaus svoris siekė 189 g, o paskutiniąją,

kuomet bananas pagal spalvinę skalę buvo paskutiniame lygyje – 104 g. Tai reiškia, kad vaisiaus svoris pakito gana ženkliai ir pokytis siekė net 81% [32]. Analizuojant šiuos rezultatus galima daryti išvadą, jog svorio pokytis koreliuoja su banano sunokimo lygiu.

Kitas populiarus vaisius, kurio sunokimo lygį nustatyti plika akimi yra gana sudėtinga – avokadas. Tačiau, keičiantis šio vaisiaus sunokimo lygiui gana pastebimai kinta ir jo paviršiaus spalva. Dėl to dažnai naudojamos jau iš anksto nustatytos spalvinės skalės. Viena iš tokių skalių vaizduojama 2.2 pav., kur A raide žymimas neprinokęs avokadas, o E raide – visiškai prinokęs.



**2.2 pav.** Avokado vaisiaus sunokimo skalė [34]

Galima pastebėti, jog nokstant avokado vaisiui jis, vietoje žalio atspalvio, įgauna vis daugiau rudo pigmento. Viename iš mokslinių tyrimų pastebėta, jog paviršiaus spalvos pokyčius lemia didėjantis antocianinų (natūralaus spalvos pigmento) lygis bei lygiagrečiai mažėjantis chlorofilo lygis avokado vaisiaus nokimo metu [39].

Taip pat nokstant avokado vaisiui kinta ir jo svoris bei kietumas. Tyrimų metu pastebėta, jog praėjus 10 dienų nuo vaisiaus nuskynimo, jo svoris pakinta vidutiniškai apie 15%. Tiriant avokado vaisiaus kietumą pastebėta, kad praėjus 7 dienomis po nuskynimo pastarasis sumažėjo net 86% [35].

## **2.2. Ultragarso bangų panaudojimas vaisių sunokimui įvertinti**

### **2.2.1. Tyrimo metodika**

Ultragarsinių matavimų tyrimams atlikti naudojamas vienas avokado ir vienas banano vaisius, kurie laikomi visiškai neprinokusiais. Pirmiausia reikalinga atlikti patikrinamuosius matavimus, kurių esmė yra išsiaiškinti metodo efektyvumą ir tinkamumą tyrimui. Tam pasirinktas „Leceur US-Key“ ultragarsinių matavimų prietaisas. Šis įrenginys pasižymi savo paprastumu – tiek maitinimui, tiek komunikacijai su kompiuteriu reikalinga tik viena „USB“ jungtis (2.3 pav.).



**2.3 pav.** „Leceur US-Key“ ultragarsinių matavimų prietaisas

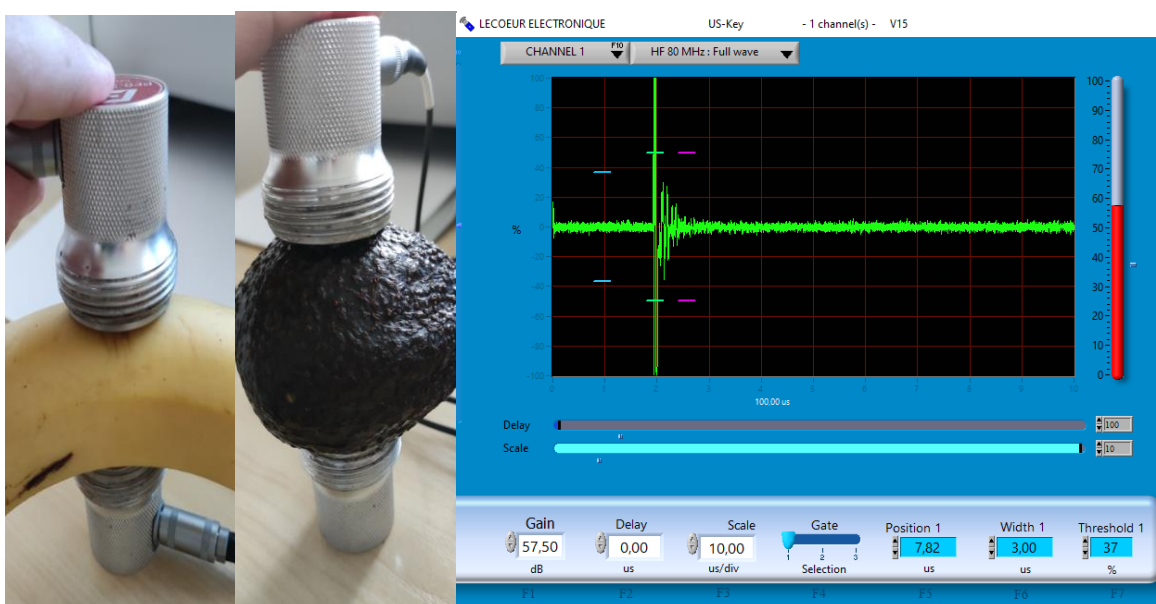
Pagrindinės šio įrenginio specifikacijos:

- 12 bitų skaitmenizavimas 80 MSPS sparta
- Įėjimo impedansas – 100  $\Omega$
- Programuojamas stiprinimo lygis : 0 – 80 dB
- Maksimali įtampa – 230V
- Maitinimo įtampa – 5V

Tam, kad būtų galima pasiekti maksimalią skiriamąją gebą matavimui pasirenkami du 300 kHz centrinį dažnį turintys ultragarsiniai keitikliai „PF0.3C34L“. Matavimų duomenims atvaizduoti naudojama gamintojo programinė įranga „US-Key“, kuri leidžia keisti visus galimus matavimo parametrus ir registruoti rezultatus.

### 2.2.2. Tyrimo eiga ir rezultatai

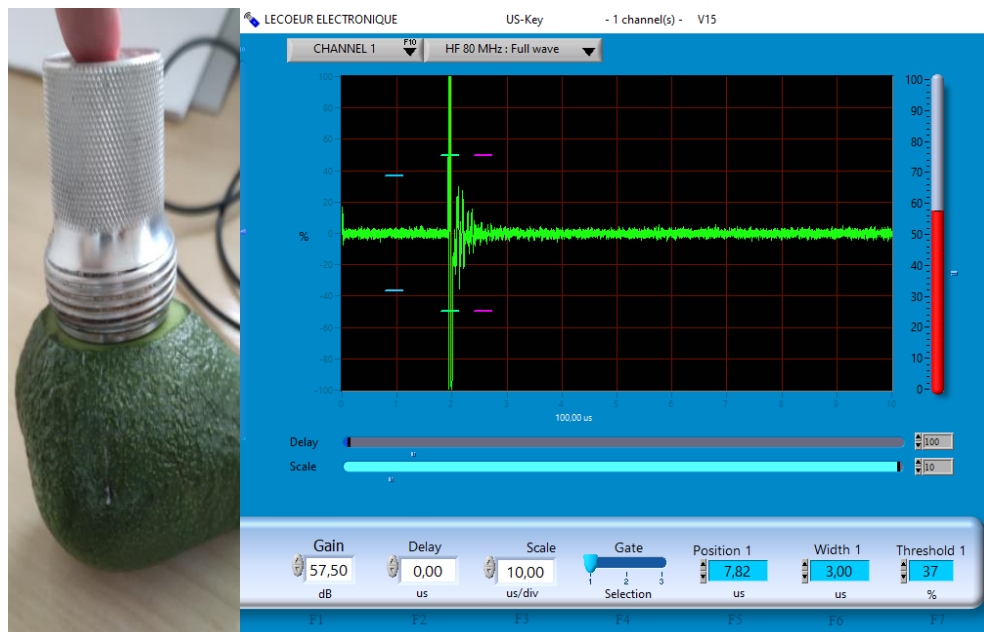
Tam, kad įvertinti metodo tinkamumą tyrimui, reikalinga įsitikinti ar pavyksta užfiksuoti sklindantį ultragarsinį signalą per pasirinktus vaisius. Tyrimai pradami atliekant ultragarsinius matavimus perdavimo metodu, kuomet vienas prietaiso įėjimas naudojamas signalo siuntimui, o kitas – priėmimui. Abiejų vaisių paviršiai ištepami medžiaga leidžiančia geriau sklusti ultragarsiniam signalui. 2.4 pav. vaizduojamas banano ir avokado vaisiaus matavimo rezultatas.



2.4 pav. Bananų ir avokadų ultragarsiniai matavimai perdavimo metodu

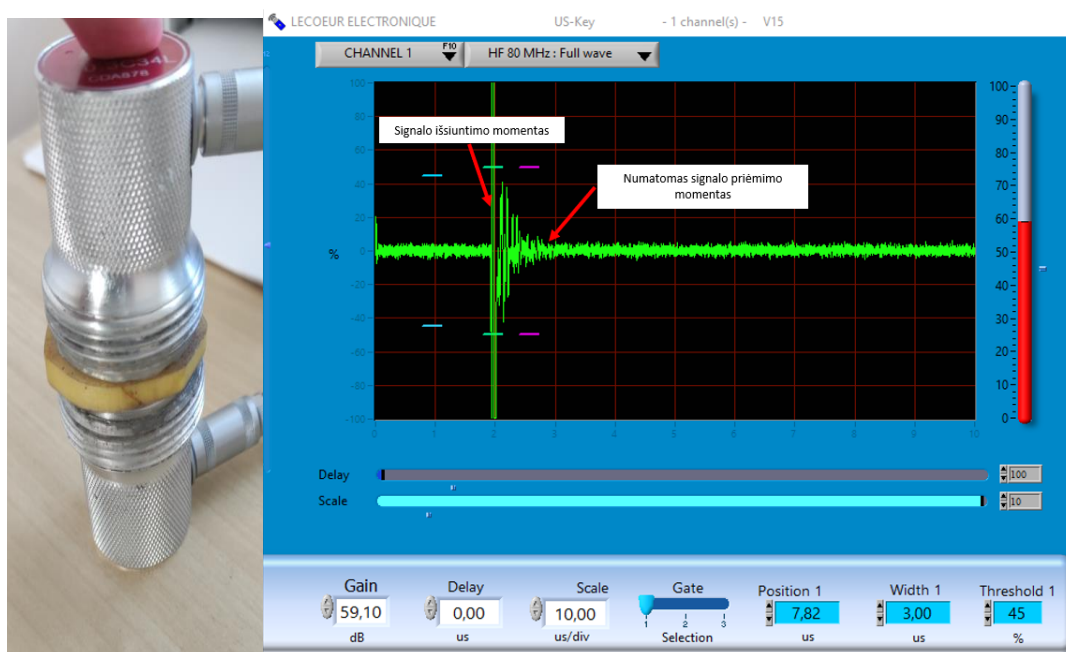
Vertinant rezultatus matyti, jog abiejų vaisių atveju perdavimo metodu sklindančio ultragarsinio signalo užfiksuoti nepavyko. Tai reiškia, jog signalui sklusti per vaisius trukdo jų žievė, kuri sulaiko signalą nuo tolimesnio sklidimo. Toliau vykdomas bandymas su avokado vaisiumi, kadangi jo viduje yra kaulas, nuo kurio tikėtina, gali atsispindėti ultragarso signalas. Dėl to prietaisas perjungiamas į impulso aido (angl. pulse echo) režimą. Taip pat nupjaunamas gabalėlis avokado žievės, tam, jog užtikrinti kuo plokštesnį paviršių.





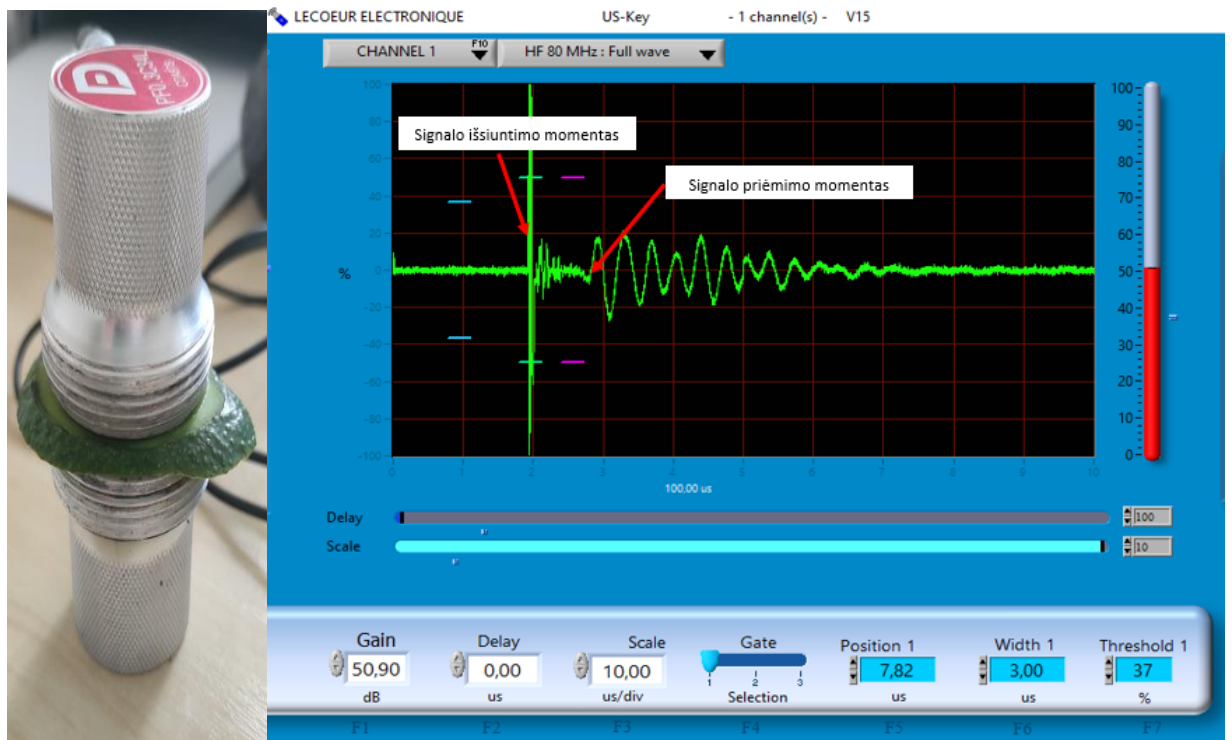
**2.5 pav.** Avokado ultragarsiniai matavimai aido metodu

Šiuo atveju taip pat negaunamas joks atspindys, todėl verta įsitikinti ar ultragarsinis signalas gali sklirti per abiejų vaisių vidinę struktūrą. Tam padaryti atpjaunamos plonos ~5mm avokado ir banano vaisiaus skiltelės. Matavimai atliekami naudojant jau prieš tai taikytą perdavimo metodą. Banano vaisiaus matavimų rezultatai vaizduojami 2.6 pav..



**2.6 pav.** Banano skiltelės (~5mm) matavimas perdavimo metodu

Analizuojant rezultatus matyti, jog banano vaisiaus atveju, net ir per ploną skiltelę užfiksuoti sklindančios ultragarsinės bangos nepavyksta. Ekrane matomas impulsas tėra tik signalas persisunkęs iš signalo išsiuntimo kanalo, pasirodantis signalo išsiuntimo momentu. Toks pat matavimas atliekamas ir avokado vaisiaus skiltelėi. Rezultatai vaizduojami 2.7 pav..



2.7 pav. Avokado skiltelės (~5mm) matavimas perdavimo metodu

Avokado vaisiaus atveju pavyksta užfiksuoti perduodamą signalą. Dėl to įdomu sužinoti koks yra ultragarsinio signalo sklidimo greitis avokado vidinėje struktūroje. Sklidimo greitis avokade apskaičiuojamas pagal (4) formulę :

$$v = \frac{L}{t}; \quad (4)$$

čia  $v$  – bangos sklidimo greitis;  $L$  – mėginio storis;  $t$  – signalo sklidimo laikas.

Apskaičiavus gaunama, jog sklidimo greitis avokado vaisiaus vidinėje struktūroje yra apie 625 m/s. Gautas greitis yra artimas ultragarsinės bangos sklidimo oru greičiui. Taip yra, kadangi avokado vaisiaus vidinė struktūra sudaryta ne tik iš riebalų ir vandens, bet ir nemažą jo dalį sudaro oro tarpai.

Atlikus ultragarsinių matavimų tyrimus galime daryti išvadą, jog šis tyrimų būdas nėra tinkamas kaip neinvazinis sunokimo lygio nustatymo metodas. Didžiausias metodo trikdys – vaisių žievė, kuri neleidžia ultragarsiniam signalui sklisti kiaurai per vidines struktūras. Norint įveikti šią kliūtį reikalinga naudoti itin žemo dažnio ultragarsines bangas (<50kHz) kartu su specialiais bangolaidžiais, kurių pagalba būtų galima nustatyti bangos sklidimo greitį vaisiaus paviršiumi [6].

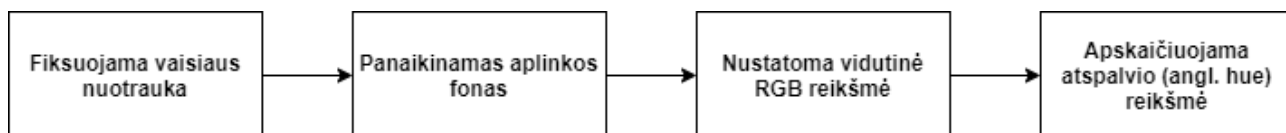
### 2.3. Vaizdo analizės metodas vaisių sunokimui įvertinti

Vaizdai yra vienas svarbiausių duomenų analizuojant vaisius ir jų savybes. Šis metodas nereikalauja didelio pasiruošimo, kadangi jam užtenka paprasčiausio vaizdų fiksavimo prietaiso ir programinės įrangos, kuri gebėtų atlikti užfiksuoto vaizdo apdorojimą.

### 2.3.1. Tyrimo metodika

Tyrimui naudojami 3 skirtingi bananai ir avokadai, kurie, pagal spalvines vertinimo skales [29][34] laikomi visiškai neprinokusiais. Kiekvienam vaisiui priskiriamas unikalus numeris. 5 dienas vaisiai laikomi toje pačioje vietoje kambario temperatūroje (+22°C).

Kiekvienas vaisius fotografuojamas vienodo apšvietimo aplinkoje – juodoje dėžėje, kurioje įrengtas pastovaus intensyvumo baltos šviesos šaltinį. Nuotraukos fiksuojamos kas 24 valandas 30 cm atstumu nuo objekto. Vaizdo fiksavimas vykdomas naudojant įprasto išmanaus telefono kamerą. Struktūrinė tyrimo diagrama vaizduojama 2.3 pav..



2.3 pav. Vaizdų apdorojimo tyrimo struktūrinė diagrama

Užfiksavus nuotrauką reikalinga panaikinti aplinkos foną, tam, jog pastarasis nedarytų įtakos tolimesniems skaičiavimo rezultatams. Toliau, panaudojant „Python“ programavimo aplinką, vykdomas kiekvienos nuotraukos vidutinės RGB reikšmės nustatymas. Nustatymas vykdomas skaičiuojant kiekvieno įkeltos nuotraukos pikselio RGB reikšmes ir išvedant jų vidurkį visoje nuotraukoje. Turint RGB reikšmes papildomų funkcijų pagalba suskaičiuojama atspalvio (angl. hue) reikšmė, kuri apibūdinama vienu skaičiumi (nuo 0° iki 360°). Ši reikšmė nurodo ne tik pirminių (raudona, žalia, mėlyna), bet ir antrinių (oranžinė, žalia, violetinė) spalvų pasiskirstymą. Tai leidžia pasiekti tikslesnius rezultatus nustatant tikrąją atvaizdo spalvą.

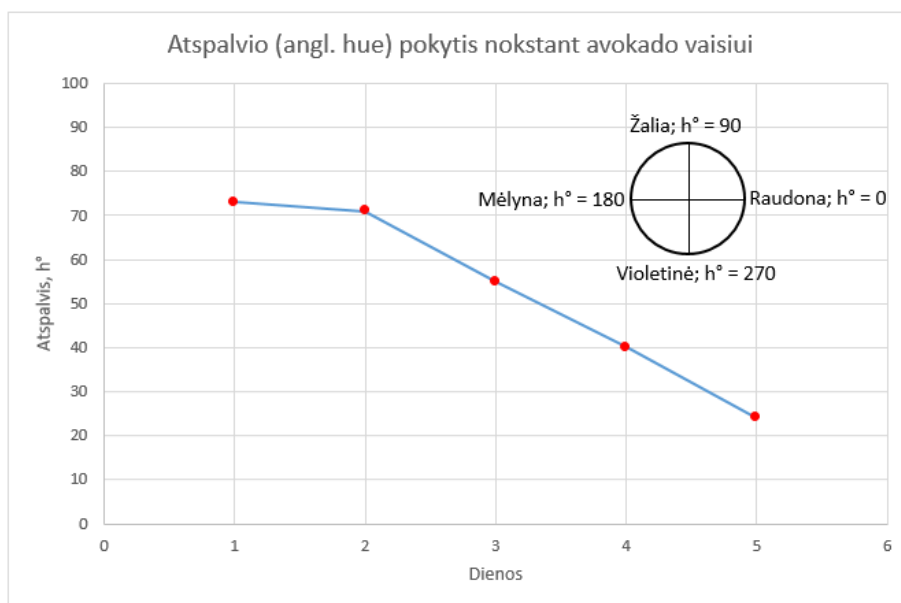
### 2.3.2. Tyrimo eiga ir rezultatai

Viso tyrimo metu - 5 dienas iš eilės užfiksuotos tiek avokado, tiek banano vaisiaus nuotraukos yra apdorojamos pagal prieš tai aptartą metodiką. Vaisių pokyčiai viso tyrimo metu vaizduojami 2.4 pav..



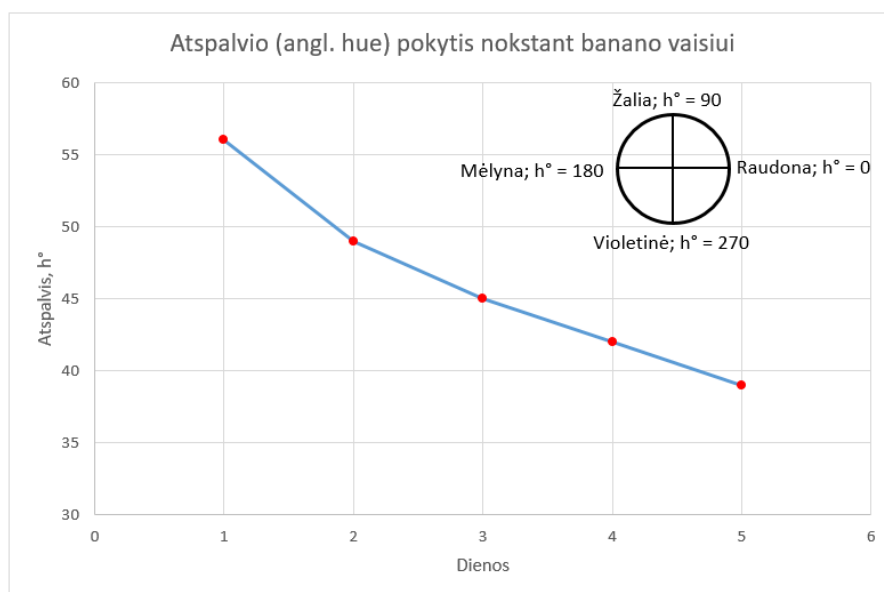
2.4 pav. Bananų ir avokadų nuotraukos tyrimo eigoje (iš kairės į dešinę)

Analizuojant atvaizdus pastebima, jog bananų išorės spalvos pasikeitimą yra lengviau pastebėti plika akimi nei avokadų vaisių. Toliau kiekvienai nuotraukai atliekami atspalvio (angl. hue) skaičiavimai. Avokado vaisiaus rezultatai vaizduojami 2.5 pav..



**2.5 pav.** Avokadų atspalvio (angl. hue) pokytis

Tyrimo metu pastebėtas ryškus avokadų atspalvio reikšmės pokytis. Pirmąją dieną buvo užfiksuota 73° reikšmė. Ši reikšmė, pagal tarptautinį spalvų kodą yra artimiausia žaliai spalvai. Paskutinę tyrimo dieną, kuomet vaisius jau buvo prinokęs, užfiksuota reikšmė lygi 24°, kuri yra artimiausia rudai spalvai. Viso tyrimo laikotarpiu atspalvio reikšmė sumažėjo ~304%. Toliau, 2.6 pav. analizuojamas atspalvio pokytis nokstant bananų vaisiams.



**2.6 pav.** Bananų atspalvio (angl. hue) pokytis

Bananų atspalvio reikšmė taip pat kito viso tyrimo metu. Pirmąją dieną buvo užfiksuota 56° reikšmė. Ši reikšmė, pagal tarptautinį spalvų kodą yra artimiausia geltonai spalvai. Paskutinę tyrimo dieną,

kuomet vaisius jau buvo prinokęs, užfiksuota reikšmė lygi  $37^\circ$ , kuri yra artimiausia rudai spalvai. Viso tyrimo laikotarpiu atspalvio reikšmė sumažėjo ~51%.

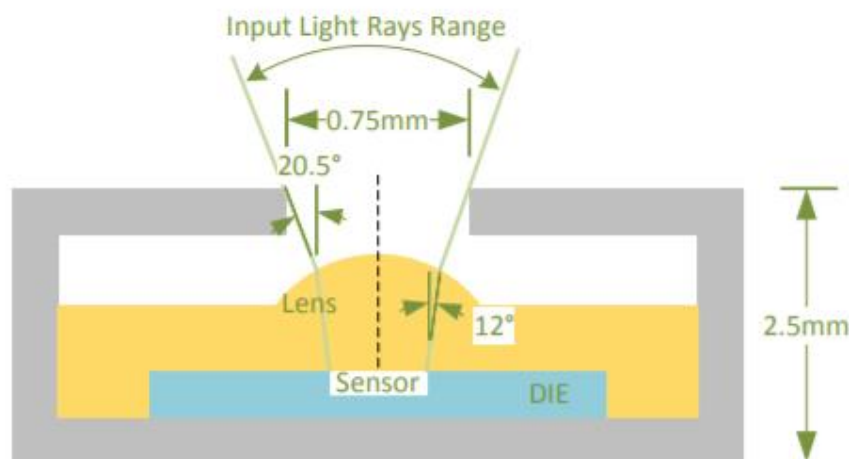
Apibendrinant abiejų vaisių vaizdo apdorojimo tyrimo rezultatus galima teigti, jog avokado vaisiaus atveju pastebimas didesnis atspalvio (angl. hue) reikšmės pokytis nei banano vaisiaus atveju. Taip pat galima tvirtinti, jog šis metodas yra patikimas būdas vaisiaus sunokimo lygio nustatymui. Norint turėti didesnę tikslumą reikalinga turėti tiek neprinokusio, tiek sunokusio vaisiaus palyginamąsias reikšmes.

#### 2.4. Spektrinės analizės metodas vaisių sunokimui įvertinti

Spektrinės analizės metodas plačiai naudojamas vaisių sunokimo lygio nustatyme ir yra laikomas kaip vienas efektyviausių. Didžioji dalis organinių junginių yra pastebimi regimosios šviesos ir artimųjų infraraudonųjų spindulių regione. Tokie duomenys gali padėti nustatyti tiek fizinius, tiek cheminius tiriamojo objekto parametrus.

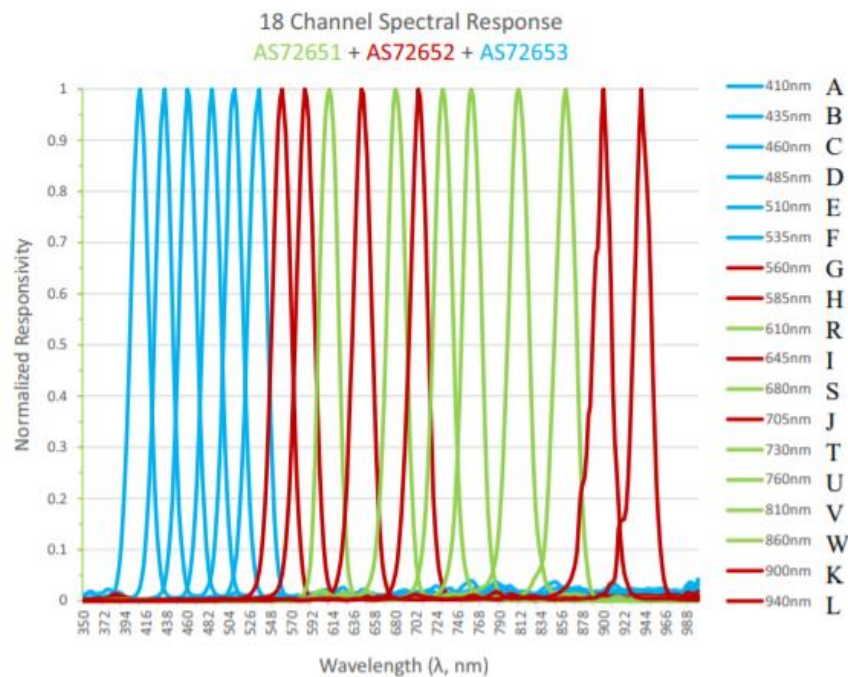
##### 2.4.1. Tyrimo metodika

Spektroskopijos tyrimui atlikti pasirinktas gamintojo „AMS“ spektroskopinis jutiklis „AMS AS7265x“. Kiekvieno jutiklio pagrindas – foto diodų masyvai, kurių pagalba galima aptikti skirtingus šviesos bangos ilgius, panaudojant vieną prietaisą. Kiekvienas jutiklis turi tokią pačią fizinę struktūrą (2.7 pav.). Jutiklio korpuse yra įpjova, pro kurią, į viduje esantį fokusuojantį lęšį patenka norima išmatuoti spinduliuotė, kurio pagalba sukonzentruota spinduliuotė patenka į jutiklį [38].



2.7 pav. „AMS AS7265x“ spektroskopijos jutiklių sandara [38]

Šis jutiklis pasižymi trijų atskirų jutiklių „AS72651“, „AS72652“ ir „AS72653“ junginiu, kurių kiekvienas turi skirtingus 6 kanalus ir sumoje sudaro 18 atskirų regimosios šviesos ir infraraudonųjų spindulių kanalų. Tokia kombinacija leidžia pasiekti spinduliuotės aptikimą nuo 410 nm iki 940 nm bangos ilgio (2.8 pav.), o jutiklio spektrinė rezoliucija siekia iki 20 nm [38].



2.8 pav. „AMS AS7265x“ spektroskopijos jutiklio spektrinė raiška [38]

Papildomai prie šių jutiklių yra integruotas žemo energijos suvartojimo mikrovaldiklis, LED šviestukų grandyno valdymas, bei pasirenkama UART arba I<sup>2</sup>C duomenų perdavimo sąsaja. Verta paminėti, jog kiekvienas jutiklis palieka gamybos patalpas jau sukalibruotas – dėl to nebereikia rūpintis prietaisų kūrėjams. Didžiausias šio jutiklio privalumas – signalo apdorojimas vykdomas jau pačiame jutiklyje integruotame mikrovaldiklyje – tai ypač sumažina aparatinės įrangos kūrimo kaštus

Tyrimo įrangą sudaro AS7265x spektroskopijos jutiklis, kuris yra valdomas ir perduoda duomenis UART duomenų perdavimo sąsaja, bei trys skirtingi šviesos šaltiniai (UV (405nm), IR(875nm) ir 5700k baltos šviesos), kurie yra sumontuoti ant maketinės plokštės ir yra naudojami apšviesti tiriamą objektą, mėginių fiksavimo metu. Tam, jog duomenys būtų perduodami į asmeninį kompiuterį naudojamas USB-UART keitiklis (CH430).



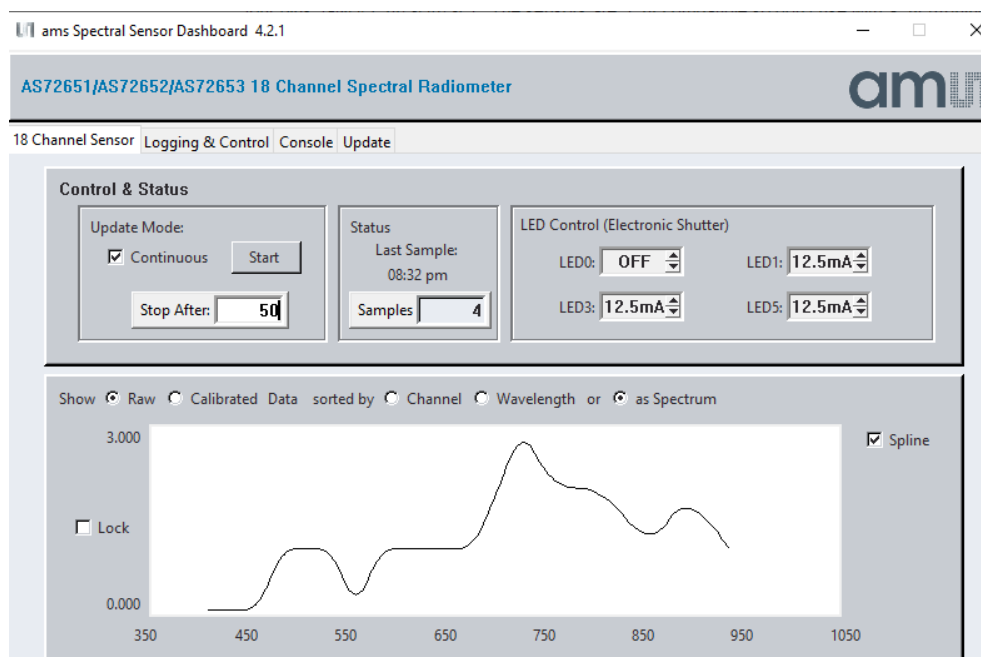
2.9 pav. Spektroskopijos jutiklio AS7265x prijungimo prie personalinio kompiuterio struktūrinė schema

Tam, jog jutiklio atliekamiems matavimams neturėtų įtakos aplinkos šviesa panaudojamas 2cm diametro ir 3.5cm aukščio plastikinis juodas cilindras. Jis pritvirtinamas spektroskopijos jutiklio viršuje ir neleis patekti aplinkinei šviesai į jutiklį. „AS7265x“ spektroskopijos jutiklio maketinė plokštė vaizduojama 2.10 pav..



**2.10 pav.** AS7265x spektroskopijos jutiklis. Kairėje – be apsauginio cilindru, dešinėje – su apsauginiu cilindru.

Komunikacijai su jutikliu ir duomenų surinkimui naudojama „AMS“ kompanijos sukurta aplikacija pavadinimu „AMS\_Spectral\_Sensor\_Dashboard“. Nustatytas kiekvieno matavimo iteracijos integravimo laikas – 165ms, o signalo stiprinimas (angl. gain) – 3.7 karto. Viso matavimui viename taške pasirinkta atlikti 50 matavimų visuose bangos ilgiuose, jog būtų užtikrintas duomenų patikimumas. Dėl to bendroje kiekvienam matuojamam vaisiui gauname 150 matavimų kiekviename bangos ilgyje. Prieš kiekvieną matavimą aktyvuojami ant maketinės plokštės esantys trys šviesos šaltiniai (UV, IR ir baltos šviesos), o kiekvieno iš jų suvartojama srovė nustatoma į 12.5 mA.



**2.11 pav.** „AMS\_Spectral\_Sensor\_Dashboard“ programos pagrindinis langas

Kiekvieno matavimo rezultatai įrašomi į .csv tipo failą, kuriame sugrupuojami pagal bangos ilgius. Iš viso išsaugomi 18-os jutiklio kanalų kiekvieno matavimo duomenys. Norint gauti bendrą matavimo rezultatą reikia išvesti visų matavimo iteracijų vidurkį. Gauti duomenys talpinami į lentelę. Duomenų pavyzdys pateikiamas 1 lentelėje:

1 lentelė. Spektroskopijos matavimo rezultatai

		Bangos ilgis, nm																	
		410	435	460	485	510	535	560	585	610	645	680	705	730	760	810	860	900	940
Matavimo Nr.	1	452	196	237	187	475	680	839	1169	1385	762	305	257	166	90	156	213	331	117
	2	452	196	236	186	475	681	841	1170	1375	762	305	256	166	90	156	213	331	117
	3	452	196	237	187	475	681	840	1169	1376	762	305	256	165	89	156	213	331	117
	4	451	196	238	186	475	682	838	1168	1375	759	305	256	166	89	156	213	331	117
	5	451	196	237	187	475	681	839	1168	1375	761	305	256	165	89	156	213	331	117
	6	453	195	236	187	474	681	842	1172	1378	763	305	256	166	89	156	213	331	117
	7	451	196	237	187	474	680	838	1167	1378	761	305	256	166	89	156	213	331	117
	8	452	196	236	186	474	681	840	1169	1375	762	305	256	165	89	156	212	331	117
	9	451	196	236	186	475	680	840	1169	1376	762	305	255	166	89	156	213	331	117
	10	451	196	236	186	474	681	839	1167	1374	762	305	256	165	89	156	213	331	117
	11	451	196	237	186	474	681	837	1167	1373	761	305	255	165	89	156	212	331	117
	12	450	196	237	186	474	681	835	1163	1372	759	305	255	165	89	156	213	331	117
	13	449	196	237	186	474	681	833	1161	1368	758	305	255	165	89	156	212	330	117
	14	450	196	237	186	474	681	835	1163	1369	758	305	255	165	89	156	212	330	117
	15	450	196	237	186	474	681	835	1164	1370	759	305	255	165	89	156	212	330	117
	16	450	196	237	186	474	679	837	1166	1372	760	305	255	165	89	156	213	331	117
	17	450	195	236	186	474	680	838	1166	1373	760	304	255	165	89	156	212	331	117
	18	451	195	236	186	474	679	837	1167	1373	760	305	256	165	89	156	213	330	117
	19	450	196	236	186	474	680	837	1166	1372	760	305	255	165	89	156	212	330	117
	20	451	195	236	186	473	680	838	1166	1371	760	305	255	165	89	156	212	330	117
	21	449	196	237	186	473	679	834	1161	1374	758	305	256	165	89	156	213	330	117
	22	450	196	236	186	474	680	836	1164	1371	759	304	255	165	89	156	213	330	117
	23	449	196	237	186	473	680	833	1160	1367	758	305	255	165	89	156	212	330	117
	24	449	196	237	185	473	681	830	1156	1363	757	305	254	165	89	155	212	330	117

Kiekvieną dieną, prieš atliekant matavimus, reikalinga padaryti jutiklio etaloninį matavimą  $A_{balt}$ . Jis atliekamas naudojant baltą popieriaus lapą ir įjungtus visus tris šviesos šaltinius. Pasitelkiant šio matavimo rezultatus skaičiuojamos difuzinio atspindėjimo koeficiento reikšmės. Tam panaudojama (5) formulė:

$$A_{m\acute{e}g} = \frac{A_{mat}}{A_{balt}}; \quad (5)$$

čia  $A_{m\acute{e}g}$  – atspindėjimo koeficientas;  $A_{mat}$  – matavimo rezultatas;  $A_{balt}$  – kalibracinio matavimo rezultatas.

#### 2.4.2. Pasiruošimas

Tyrimui atlikti paruošiami 3 skirtingi bananai kurie, pagal „UC Davis” skalę [29] laikomi visiškai neprinokusiais, ir trys skirtingi avokadai, kurie taip pat, pagal kitą vertinimo skalę laikomi neprinokusiais [34]. Pasirinkti vaisiai neturi išorinių pažeidimų ir yra reguliaraus dydžio ir formos. Kiekvienam vaisiui priskiriamas unikalus numeris. Prieš tyrimą, vaisiai kelias valandas laikomi kambario temperatūroje (+25 °C). Atskiros vaisių grupės įamžinamos nuotraukoje.





**2.12 pav.** Bananai pirmąją tyrimo dieną



**2.13 pav.** Avokadai pirmąją tyrimo dieną

Tyrimo metu, kiekvienas mėginys pasveriamas siekiant nustatyti ar vaisiui nokstant kinta jo svoris. Vaisiams sverti panaudojamos elektroninės svarstyklės (2.14 pav.)



**2.14 pav.** Elektroninės svarstyklės

Šis kriterijus tikimasi bus panaudotas koreliacijai su vaisiaus sunokimo lygiu skaičiuoti ir įvertinti.

### **2.4.3. Tyrimo eiga ir rezultatai**

Tyrimas atliekamas 6 dienas, fiksuojant rezultatus kas 24 valandas. Pirmiausia mėginiai įamžinami nuotraukose, tuomet fiksuojamas jų svoris. Galiausiai atliekamas kiekvieno mėginio atspindžio spektro matavimas. Matavimas atliekamas 10-tyje atsitiktinių vaisiaus taškų, o kiekviename taške atliekama 10 matavimų kiekvienam bangos ilgiui. Rezultatai vidurkinami. Pirmąją ir 6-tąją dieną užfiksuojamos vaisių nuotraukos, kurios pateiktos 2.15 ir 2.16 pav..

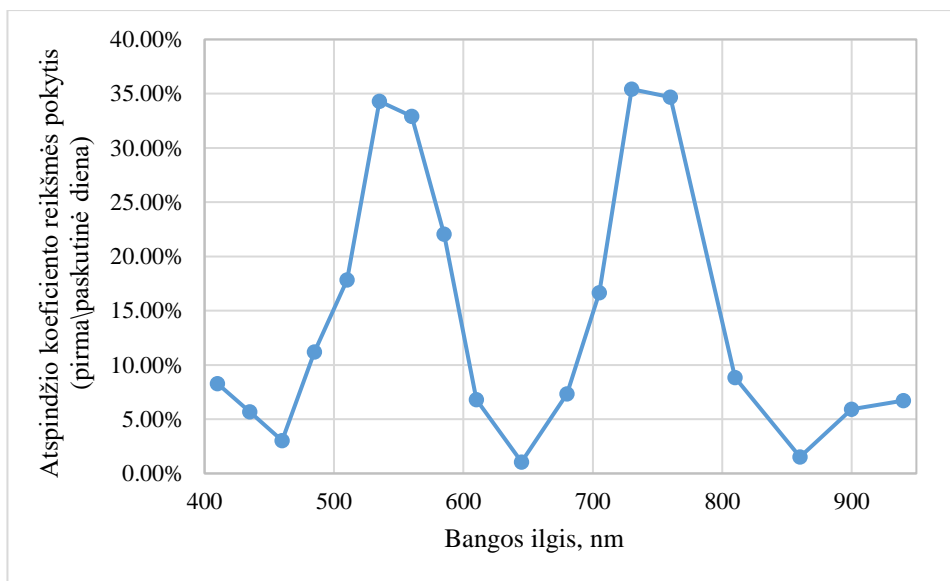


**2.15 pav.** Avokadai pirmąją (kairėje) ir 6-tąją (dešinėje) tyrimo dieną



**2.16 pav.** Bananai pirmąją (kairėje) ir 6-tąją (dešinėje) tyrimo dieną

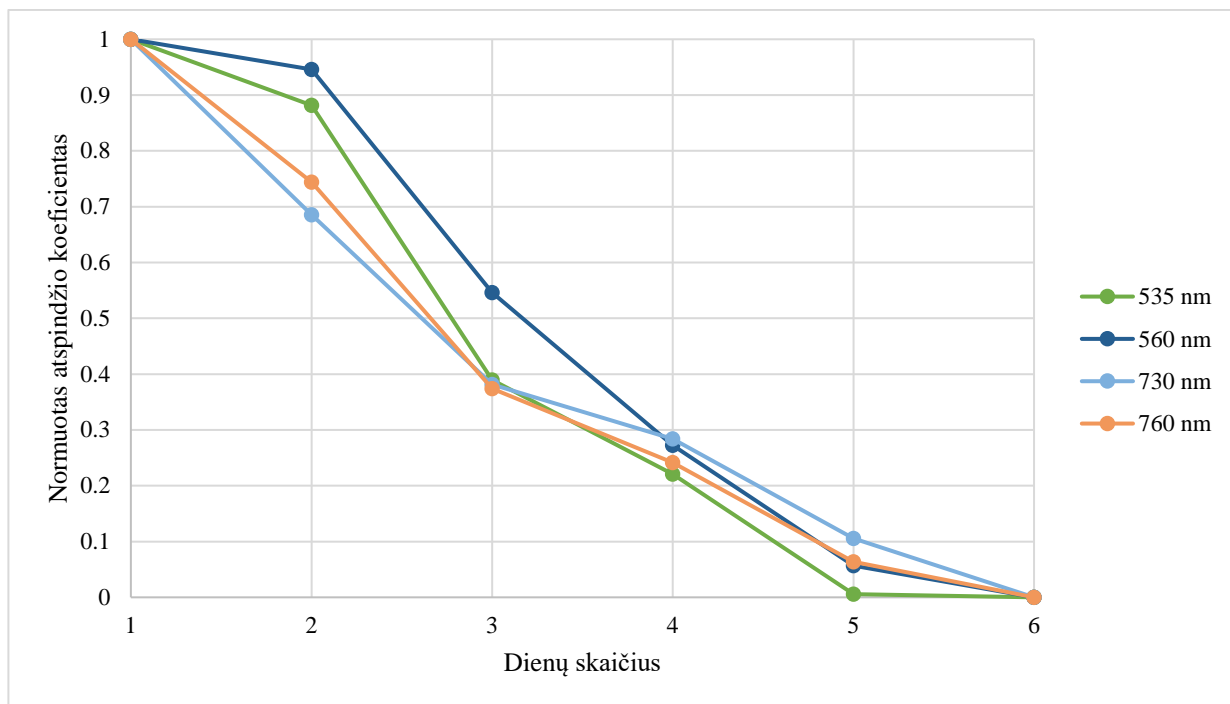
Pasibaigus tyrimui atliekama analizė, tam kad nustatyti, kuriuose bangos ilgiuose atspindžio reikšmės pokytis buvo didžiausias, lyginant pirmosios ir paskutiniosios tyrimo dienos rezultatus. Rezultatai vaizduojami 2.17 pav.:



**2.17 pav.** Avokadų difuzinio atspindžio koeficiento reikšmės pokyčio (pirmąją/paskutinįją dieną) priklausomybė nuo bangos ilgio

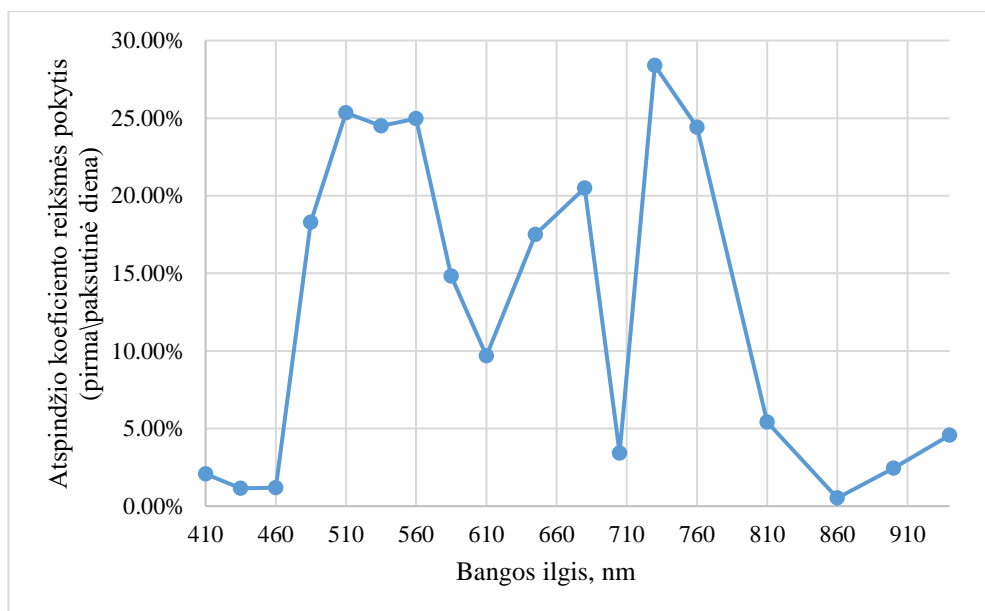
Kadangi, avokadų atveju, didžiausias atspindžio koeficiento reikšmių pokytis tyrimo metu nustatytas ties 535 nm, 560 nm, 730 nm ir 760 nm bangų ilgiais, 2.18 pav. vaizduojamas normuoto atspindžio koeficiento pokytis šiuose bangų ilgiuose tyrimo metu.

Kiekvienos dienos avokadų difuzinio atspindžio koeficiento rezultatai pateikiami 2.18 pav.:



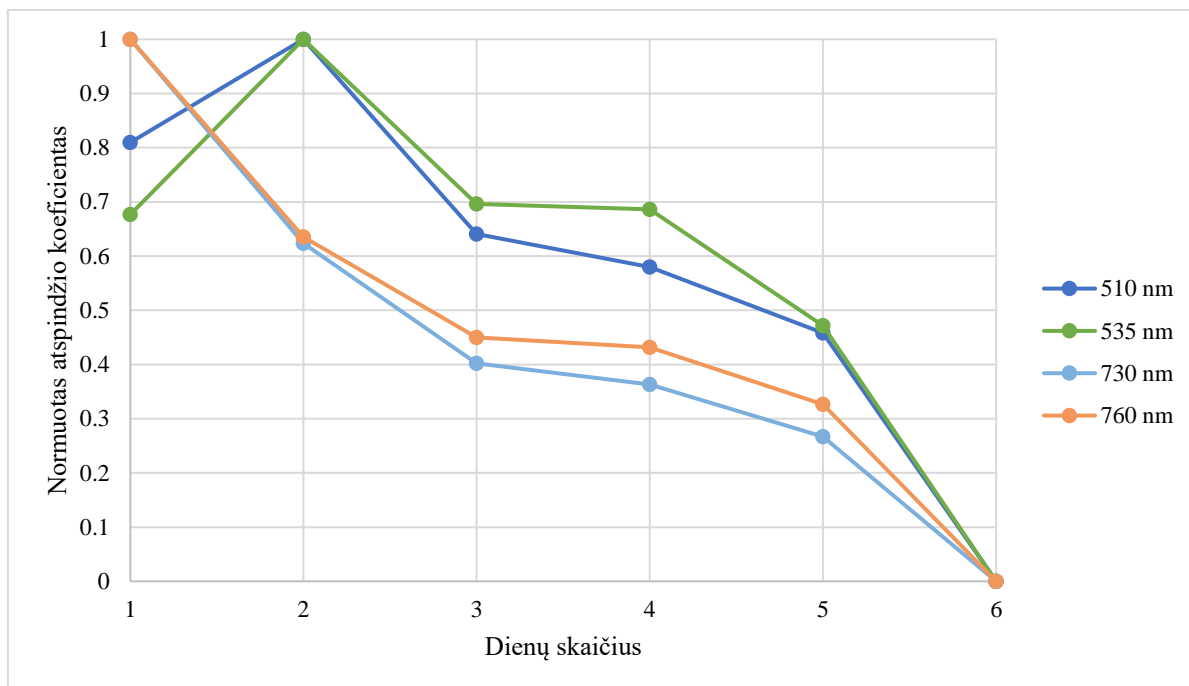
**2.18 pav.** Avokadų difuzinio atspindžio koeficiento pokytis tyrimo metu

Atspindžio reikšmės pokyčio tarp pirmosios ir paskutiniosios tyrimo dienos priklausomybė nuo bangos ilgio banano vaisiaus atveju vaizduojama 2.19 pav..



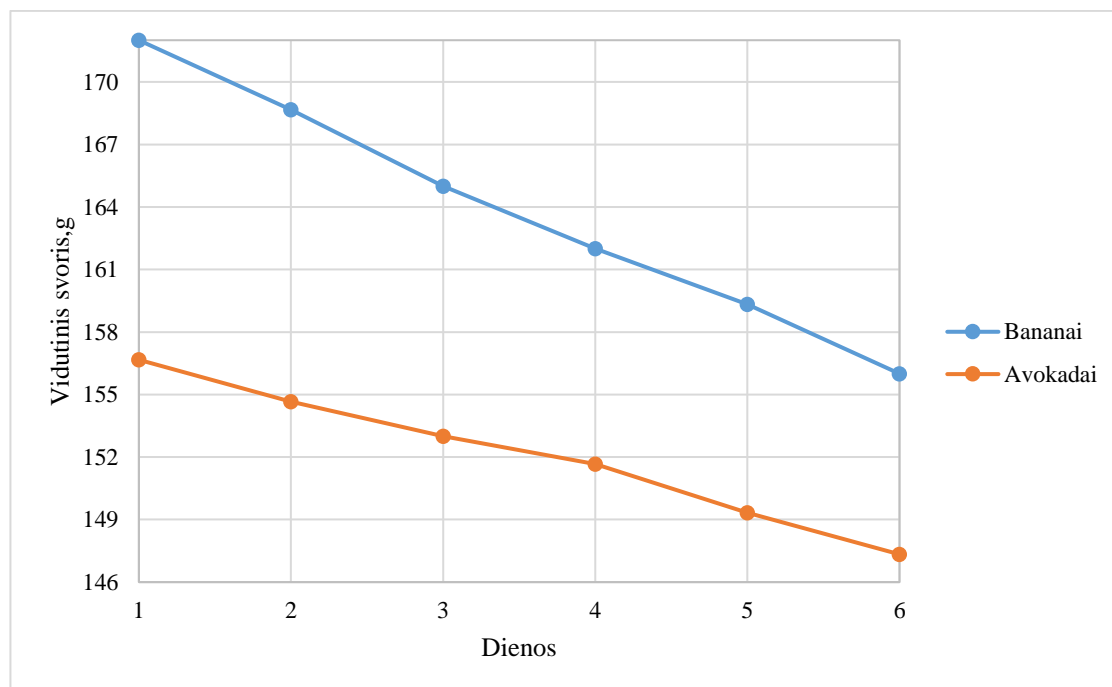
**2.19 pav.** Avokadų difuzinio atspindžio koeficiento reikšmės pokyčio (pirmąją/paskutinąją dieną) priklausomybė nuo bangos ilgio

Kiekvienos dienos avokadų difuzinio atspindžio koeficiento rezultatai pateikiami 2.20 pav.



**2.20 pav.** Avokadų difuzinio atspindžio koeficiento pokytis tyrimo metu

Banų ir avokadų svorio kitimo rezultatai 6 dienų laikotarpyje pateikiami 2.21 paveiksle :



**2.21 pav.** Banų ir avokadų svorio kitimas tyrimo metu

Analizuojant gautus rezultatus, galime pastebėti, jog didžiausias difuzinio atspindėjimo koeficiento pokytis, tiek bananų, tiek avokadų atveju, pastebimas ties 730nm bangos ilgiu. Bananų atveju difuzinio atspindėjimo koeficientas pirmąją dieną buvo lygus 0.77, o paskutiniąją – 0.55. Gautas 28% procentų sumažėjimas. Avokadų atveju pirmąją dieną atspindėjimo koeficientas, ties 730nm bangos ilgiu buvo lygus 0.80, o paskutiniąją – 0.52. Gautas 35% sumažėjimas. Toliau skaičiuojami koreliacijos koeficientai tarp dienų nuo tyrimo pradžios skaičiaus ir difuzinio atspindėjimo koeficiento kiekviename bangos ilgiyje reikšmės. Rezultatai pateikiami 2 ir 3 lentelėje:

**2 lentelė.** Koreliacija tarp atspindėjimo koef. ir tyrimo dienų skaičiaus skirtinguose bangos ilgiuose (avokadai)

Bangos ilgis,nm	Koreliacijos koeficientas	Bangos ilgis,nm	Koreliacijos koeficientas
410	-0,011	645	-0,162
435	0,261	680	0,730
460	0,629	705	0,915
485	0,471	730	0,975
510	0,922	760	0,972
535	0,962	810	0,787
560	0,977	860	0,575
585	0,981	900	0,893
610	0,659	940	0,342

**3 lentelė.** Koreliacija tarp atspindėjimo koef. ir tyrimo dienų skaičiaus skirtinguose bangos ilgiuose (bananai)

Bangos ilgis,nm	Koreliacijos koeficientas	Bangos ilgis,nm	Koreliacijos koeficientas
410	0,289	645	-0,216
435	0,252	680	-0,807
460	0,235	705	0,213
485	0,801	730	0,960
510	0,896	760	0,956
535	0,796	810	0,425
560	0,778	860	0,145
585	0,539	900	0,405
610	-0,0167	940	0,678

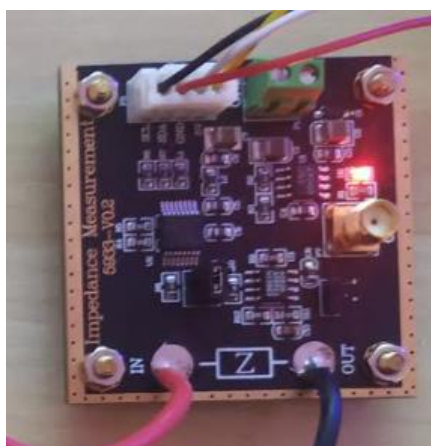
Remiantis koreliacijos tarp dienų skaičiaus nuo tyrimo pradžios ir difuzinio atspindėjimo koeficiento rezultatais, galima teigti, jog banano atveju didžiausia koreliacija gauta 730 nm ir 760 nm bangų ilgiuose (>0.95). Avokadų atveju didžiausia koreliacija gauta ruože nuo 535-585 nm, bei tuose pačiuose 730 nm ir 760 nm bangų ilgiuose (>0.95).

## 2.5. Elektrinio impedanso metodas vaisių sunokimui įvertinti

Elektrinio impedanso yra vienas iš seniausių ir patikimiausių metodų naudojamų vaisių sunokimo lygiui įvertinti. Jis parodo tiriamo mėginio reakciją į jį veikiantį elektrinį signalą. Matavimai atliekami naudojant skirtingo dažnio signalą ir skirtingo tipo ir konfigūracijos elektrodus gali atnešti itin skirtingus rezultatus.

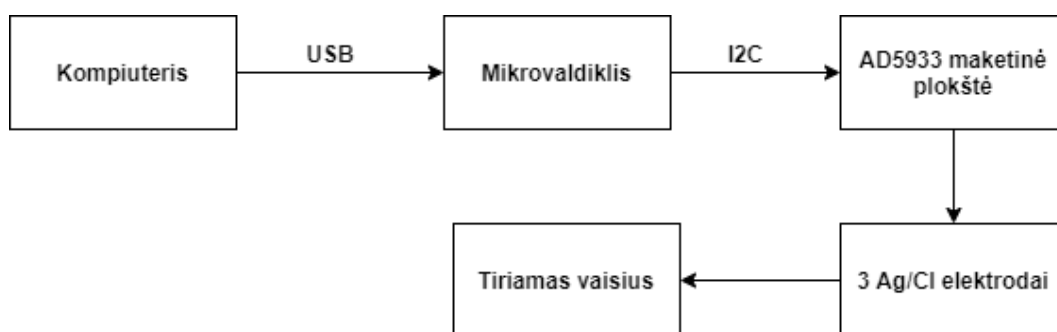
### 2.5.1. Tyrimo metodika

Impedanso matavimams atlikti naudojama „Analog Devices AD5933“ maketinė plokštė. Ant maketinės plokštės yra sumontuotas AD820 operacinis stiprintuvas, bei pats AD5933 Impedanso keitiklis, kuris geba atlikti impedanso matavimus dažnių juostoje nuo 5kHz – 100 kHz (tik su vidiniu laikrodžiu) ir yra valdomas I2C sąsaja.



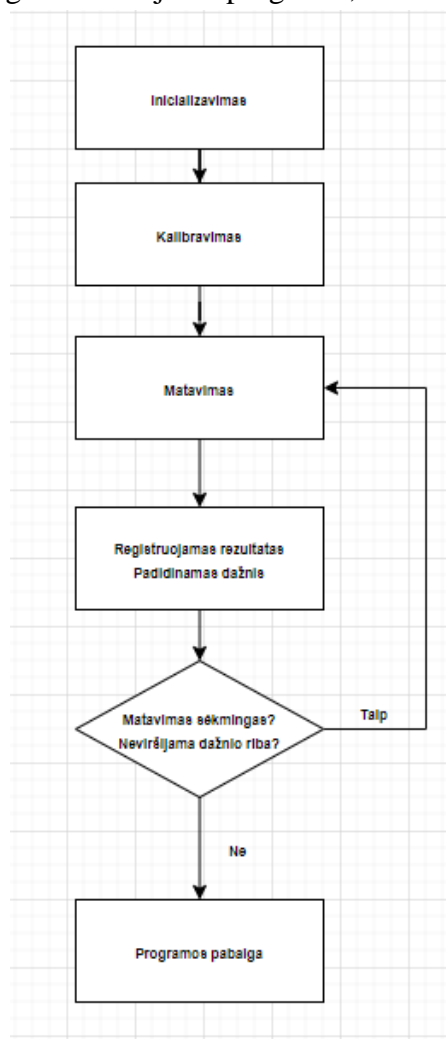
2.22 pav. AD5933 impedanso keitiklio maketinė plokštė

Duomenims į kompiuterį naudojamas „ATmega328p“ mikrovaldiklis, o komunikacijai su maketine plokšte naudojama I2C sąsaja. Prieš kiekvieną matavimą maketinė plokštė sukalibruojama naudojant  $10k\Omega$  rezistorių. Tam, jog užtikrinti gerą kontaktą su vaisiaus paviršiumi naudojami 3 paviršiniai Ag/AgCl EKG elektrodai, kurie išdėstomi skirtingose vaisiaus vietose. Tokiu būdu padengiamas visas vaisiaus paviršius. Bendras impedansas skaičiuojamas vidurkinant tris matavimus, kurie atlikti su trimis skirtingomis elektrodų poromis. Matavimai atliekami 1kHz žingsniu. Eksperimento struktūrinė diagrama pateikiama 2.23 paveiksle.



2.23 pav. Impedanso matavimo tyrimo struktūrinė diagrama

Matavimui atlikti ir duomenims gauti naudojama programa, kurios algoritmas aprašytas 2.24 pav.:



2.24 pav. Impedanso matavimo programos algoritmas

Pirmiausia atliekamas maketinės plokštės inicializavimą ir kalibravimas naudojant  $10\text{k}\Omega$  rezistorių. Jei kalibravimas atliekamas sėkmingai – pradedami matavimai. Dažnis keičiamas 1 kHz žingsniu nuo 10 kHz iki 100 kHz. Kiekviename žingsnyje atliekamas matavimas ir išvedamas impedanso rezultatas.

### 2.5.2. Pasiruošimas

Tyrimui atlikti paruošiami trys skirtingi bananai kurie, pagal “UC Davis” skalę [29] laikomi visiškai neprinokusiais, ir trys skirtingi avokadai, kurie taip pat pagal kitą vertinimo skalę laikomi neprinokusiais [34]. Pasirinkti vaisiai neturi išorinių pažeidimų ir yra reguliaraus dydžio bei formos. Kiekvienam vaisiui priskiriamas unikalus numeris, tam jog būtų užtikrinamas jų atsekamumas tyrimo metu. Prieš atliekant pirmuosius tyrimus užfiksuojama kiekvieno iš jų nuotrauka, tam jog būtų galima lyginti pokyčius tyrimo eigoje.

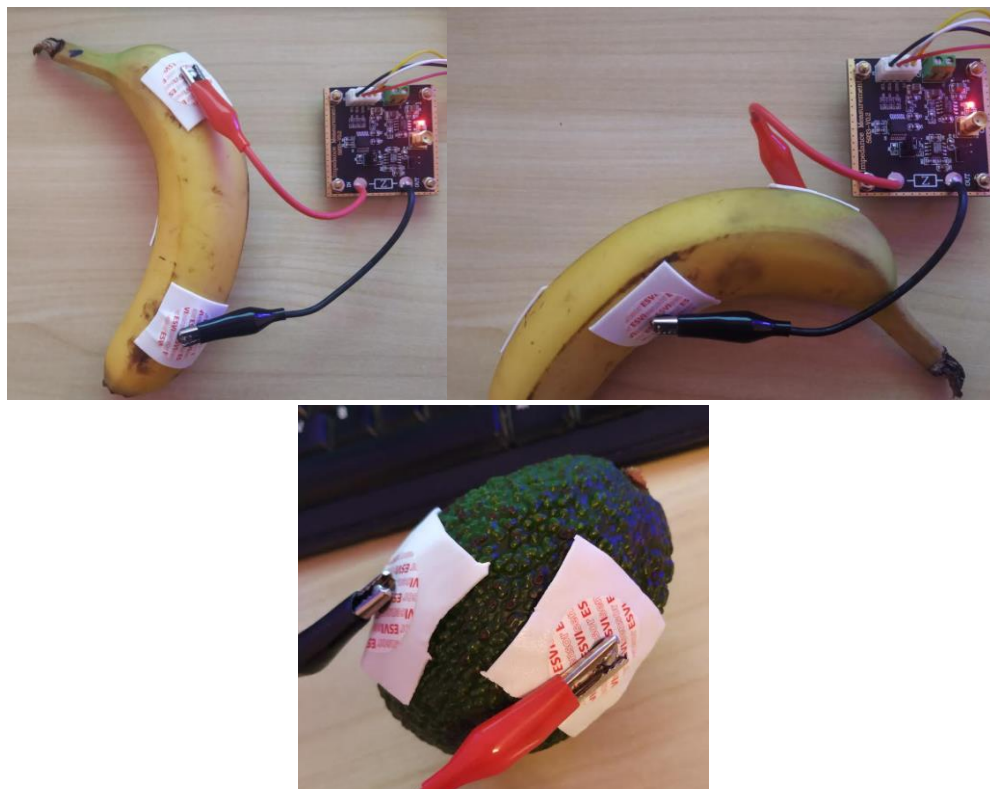


**2.25 pav.** Avokadai ir bananai pirmąją impedanso matavimo tyrimo dieną

Taip pat, kiekvienas mėginys pasveriamas tam, jog nustatyti ar vaisiui nokstant kinta jo svoris. Šis kriterijus gali būti esminis vertinant tyrimo rezultatus.

### 2.5.3. Tyrimo eiga ir rezultatai

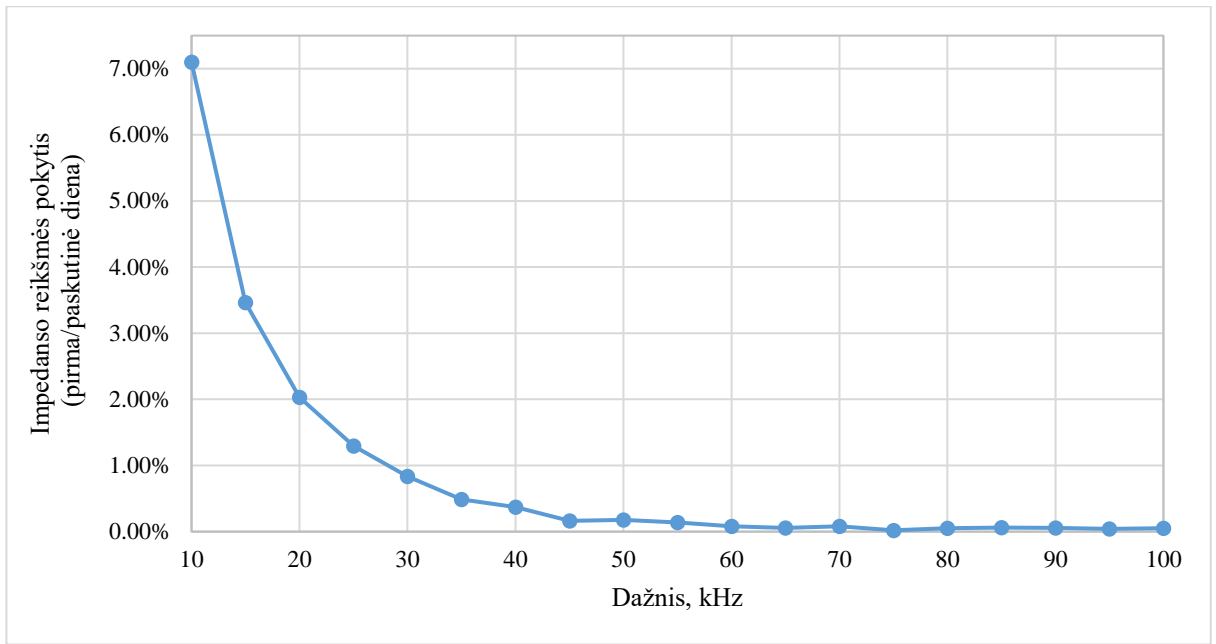
Šešias dienas iš eilės, kas 24 valandas atliekami trijų skirtingų bananų ir avokadų matavimai pagal prieš tai aprašytą metodiką (2.24 pav.). Bendras vaisiaus dienos rezultatas gaunamas suskaičiuojant matavimų vidurkį visose trijose matavimo vietose.



**2.26 pav.** Impedanso matavimas bananams ir avokadams

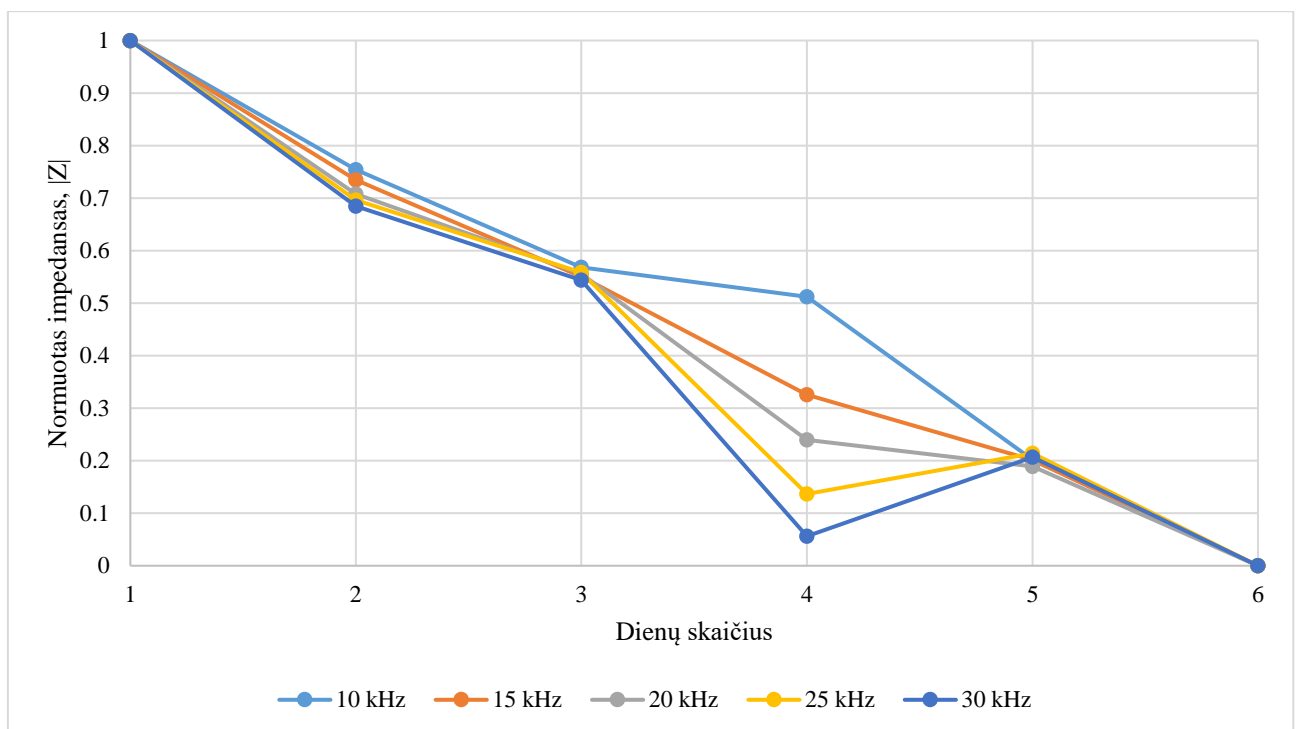
Atlikus tyrimą skaičiuojamas skirtumas tarp pirmąją ir paskutiniąją tyrimo dieną užfiksuotos impedanso reikšmės kiekviename dažnių ruože. Gauti rezultatai banano vaisiaus atveju vaizduojami 2.27 pav..





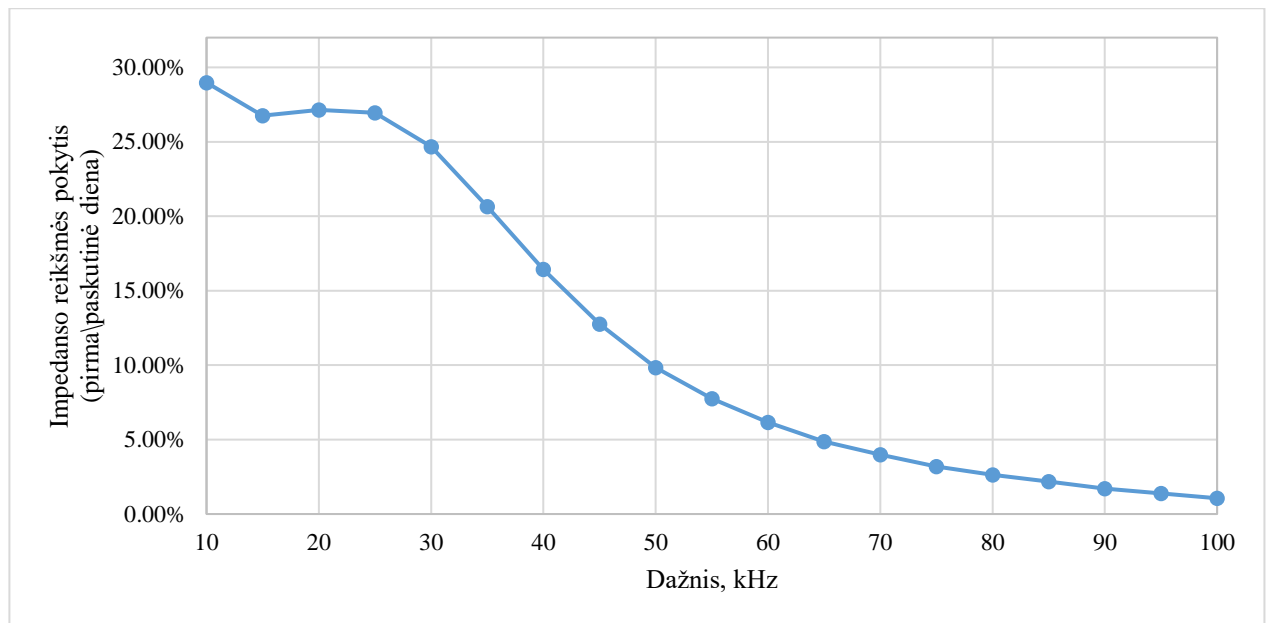
**2.27 pav.** Bananų impedanso reikšmės pokytis lyginant pirmąją ir paskutinę tyrimo dienas (10-100 kHz)

Analizuojant impedanso reikšmės pokyčio rezultatus kintant dažniui galime pastebėti, jog didžiausias skirtumas tarp impedanso reikšmių tyrimo metu yra dažnių juostoje tarp 10kHz – 30 kHz (>1%) . Dėl to vaizduojame rezultatus šioje dažnių juostoje (2.28 pav.):



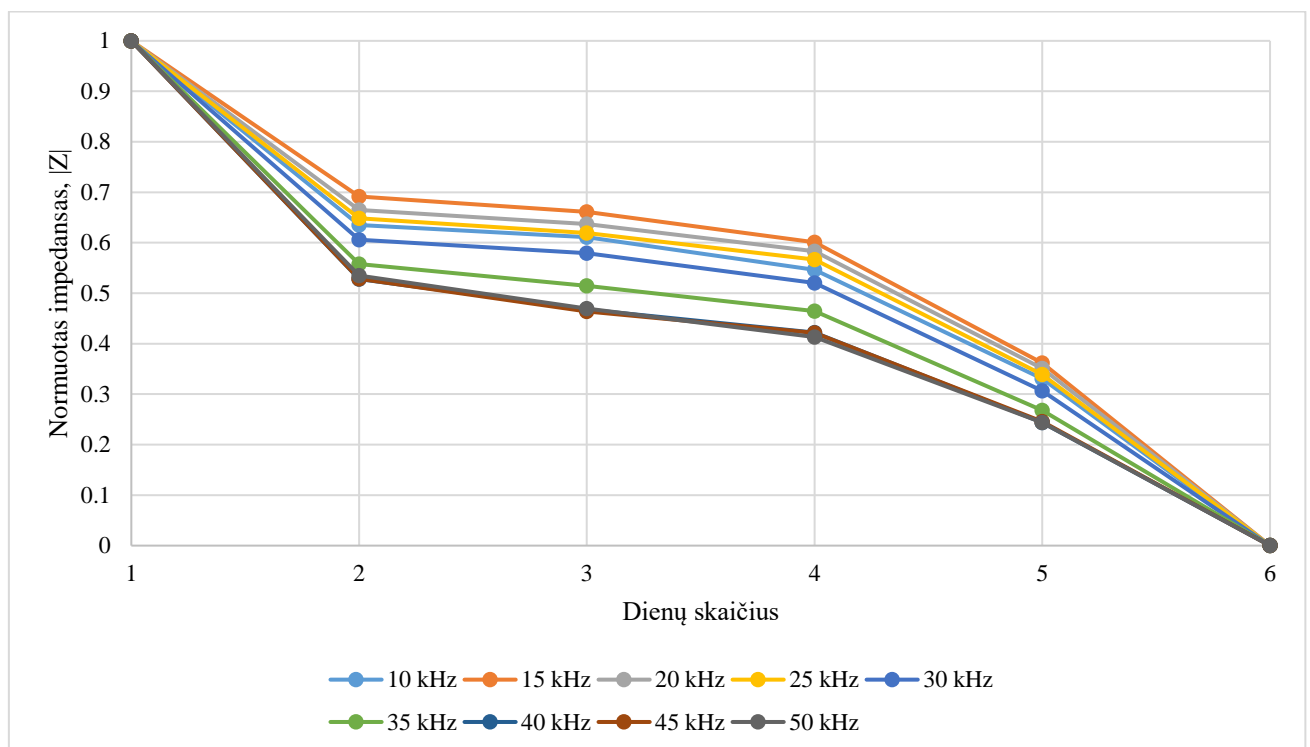
**2.28 pav.** Bananų impedanso priklausomybė nuo dažnio 6 dienų laikotarpyje (10-30 kHz)

Skirtumas tarp pirmąją ir paskutiniąją tyrimo dieną užfiksuotos impedanso reikšmės kiekviename dažnių ruože avokado vaisiaus atveju vaizduojamas 2.29 pav.:



**2.29 pav.** Avokadų impedanso reikšmės pokytis lyginant pirmąją ir paskutinę tyrimo dienas (10-100 kHz)

Analizuojant impedanso reikšmės pokyčio rezultatus kintant dažniui galime pastebėti, jog didžiausias skirtumas tarp impedanso reikšmių tyrimo metu yra dažnių juostoje tarp 10kHz – 50 kHz (>10%). Dėl to vaizduojame rezultatus šioje dažnių juostoje (2.30 pav.):



**2.30 pav.** Avokadų impedanso priklausomybė nuo dažnio 6 dienų laikotarpyje (10-50 kHz)

Analizuojant rezultatus, galima pastebėti, jog banano vaisiaus atveju pirmąją tyrimo dieną, ties 10kHz dažniu impedansas buvo lygus 5828  $\Omega$ , o paskutiniąją – 5414  $\Omega$ , kas reiškia, jog šiame dažnyje impedanso reikšmė pakito apie 7%. Nagrinėjant avokado vaisiaus rezultatus pastebima, jog pirmąją tyrimo dieną impedanso reikšmė, ties 10 kHz siekė 14 845  $\Omega$ , o paskutiniąją – 10 543  $\Omega$ . Šiuo atveju gautas net 29% pokytis. Tam, kad įsitikinti ar impedanso pokytis koreliuoja su dienų skaičiumi nuo

tyrimų pradžios, skaičiuojamas koreliacijos koeficientas tarp šių dviejų verčių. Avokado vaisiaus atveju visame dažnių ruože gautas koreliacijos koeficientas buvo didesnis nei 0.95. Banano vaisiaus atveju koreliacijos koeficientas didesnis nei 0.95 buvo tik dažnių ruože nuo 10 - 30 kHz.

Atlikus tyrimą galima teigti, jog impedanso matavimo metodas yra tinkamas neinvazinis būdas banano ir avokado vaisiaus lygiui nustatyti, tačiau norint atlikti tikslius matavimus reikalinga naudoti vienodo tipo Ag/Cl elektrodus. Kitu atveju matavimai tampa nebetikslūs dėl skirtingų elektrodų diametrų arba formos.

## 2.6. Avokado vaisiaus tyrimai naudojant kombinuotu metodu grįstą tyrimų platformą

Analizuojant prieš tai atliktus tyrimus galima pastebėti, jog tiek spektroskopijos, tiek impedanso matavimo tyrimuose avokado vaisiaus rezultatai buvo geresni nei banano vaisiaus. Dėl šios priežasties reikalinga suprojektuoti tyrimų platformą, kuri leistu kokybiškiau ištirti šio vaisiaus savybių pokyti vykstant jo nokimo procesui.

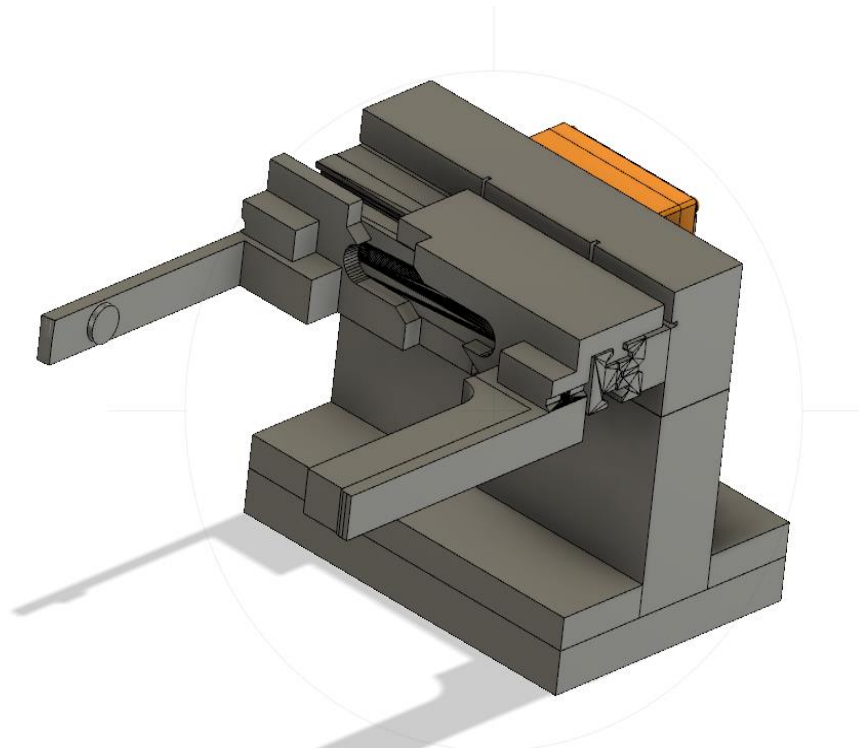
### 2.6.1. Tyrimų platformos projektavimas

Norint atlikti išsamų avokado vaisiaus reikalinga tyrimo platforma gebanti automatizuotai atlikti reikalingus matavimus. Iš prieš tai atliktų tyrimų pasirinkta naudoti du efektyviausius – spektroskopiją ir impedanso matavimą. Kadangi nokstant avokado vaisiui, kaip žinoma, kinta ir jo kietumas, tad atsiranda poreikis kiekvieną tyrimo dieną matuoti jo kietumą. Dėl to pasirinkta, jog tyrimų platforma turėtų atlikti matavimus sekančia tvarka – pirmiausia nustatyti vaisiaus dydį, pamatuoti jo kietumą, atlikti spektroskopijos matavimus ir pamatuoti jo impedanso reikšmes 2.31 pav..



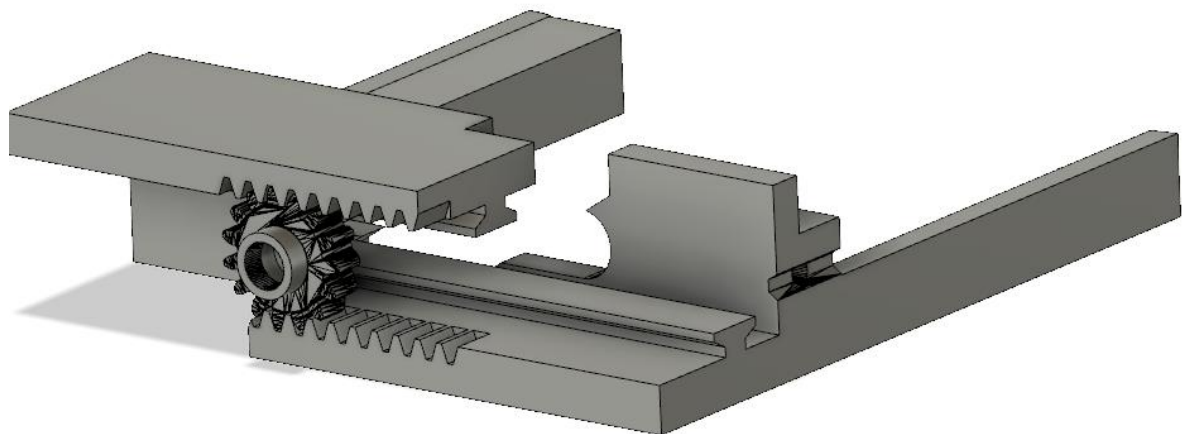
2.31 pav. Avokadų matavimo platformos matavimų seka

Projektavimas pradedamas nuo mechaninės platformos dalies. Tam pasirinkta naudoti „Autodesk Fusion 360“ 2D ir 3D modeliavimo aplinką, kuri leidžia modeliuoti įvairias konstrukcijas – nuo paprastų iki itin sudėtingų. Ši modeliavimo aplinka pasižymi paprastumu vartotojams ir dideliu modeliutojų bendruomenės palaikymu. Vaisiaus kietumo matavimui reikalinga konstrukcija, kuri „servo“ tipo variklio pagalba galėtų, jį suspausti ir grįžti atgal į pradinę padėtį. Spaudimo jėgos matavimas turi būti vykdomas nuo pradinės, vaisiaus dydžio posūkio kampo reikšmės iki maksimalios variklio posūkio kampo reikšmės. Jėgos matavimo jutikliui numatoma vieta, kuri leistų išnaudoti pačio jutiklio paviršiaus plotą. Tam, jog tinkamai atlikti spektroskopijos matavimą taip pat reikalingas stovas, kurio apačioje būtų tvirtinamas spektroskopijos jutiklis. Taip pat reikalinga maksimaliai užtikrinti, jog matavimams įtakos neturėtų aplinkos poveikis. 2.32 pav. vaizduojamas suprojektuotos platformos 3D modelio vaizdas.



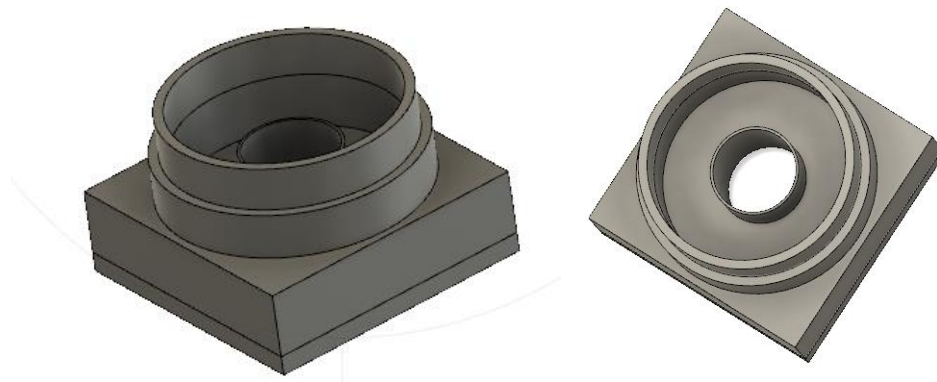
**2.32 pav.** Avokadų sunokimo lygio matavimų platforma

Šios platformos viduje esantis „servo“ tipo variklis ir krumpliaratinė linijinė pavara leis valdyti esančius gnybtus ir pilnai suspausti vaisių. Maksimalus galimas atstumas tarp gnybtų – 75mm, o mažiausias – 51mm. Tokių atstumų turėtų pakakti suspausti tiek mažiausiam, tiek didžiausiam avokado vaisiui. Pati krumpliaratinė pavara vaizduojama 2.33 pav..



**2.33 pav.** Matavimų platformos krumpliaratinė pavara

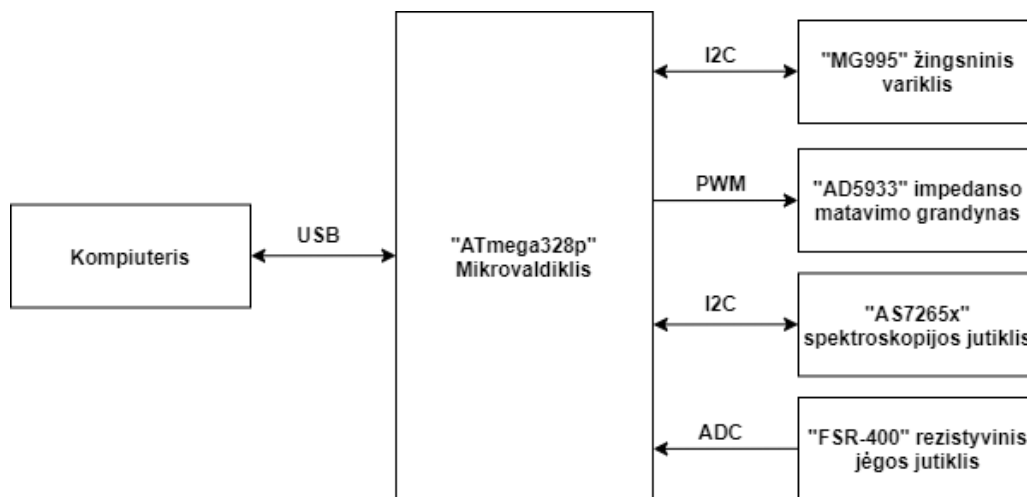
Taip pat reikalinga suprojektuoti ir stovą, ant kurio bus uždedamas avokado vaisius ir atliekami spektroskopijos matavimai. Maketuoiant atkreipiamas dėmesys į tai, jog į jutiklį negalėtų patekti aplinkos šviesa. Stovas projektuojamas vidutinio dydžio avokadui, kurio didžiausias skersmuo – 56mm. Suprojektuotas spektroskopijos matavimų stovas vaizduojamas 2.34 pav..



2.34 pav. Avokadų spektroskopijos tyrimų stovas

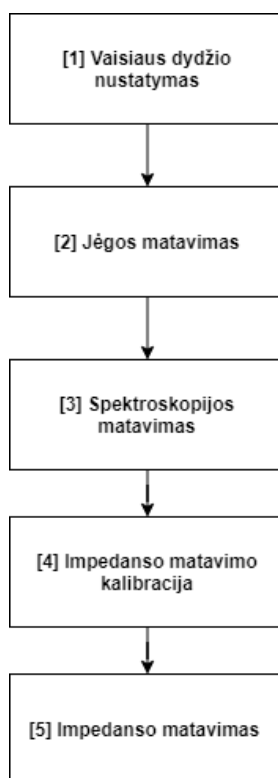
Stovo apačioje suprojektuojama uždara cilindro formos ertmė, kurios apačioje bus tvirtinamas prieš tai tyrimuose naudotas „AS7265x“ spektroskopijos jutiklis.

Toliau vykdomas sistemos sistemos elektroninės dalies projektavimas. Krumpliaratinės linijinės pavaros valdymui pasirinktas „MG995“ žingsninis „servo“ tipo variklis. Pastarasis yra valdomas „PWM“ signalu, kurio pagalba galima tiksliai nustatyti variklio poziciją nuo 0-180 laipsnių. Jo sukimo momentas – 11 kg/cm, tad tai neturėtų sukelti problemų spaudžiant kietą, dar neprinokusį vaisių. Spaudimo jėgos matavimui pasirenkamas „FSR-400“ rezistyvus spaudimo jėgos jutiklis, kurio varža mažėja didinant spaudimo jėgą į jutiklio paviršių. Šis jutiklis gali matuoti jėgos pokytį nuo 0.1 iki 100 N. Impedanso matavimams pasirinktas prieš tai tyrimams naudotas „AD5933“ integrinis impedanso matavimo grandynas. Struktūrinė matavimo įrangos diagrama vaizduojama 2.35 pav..



2.35 pav. Avokadų tyrimų platformos struktūrinė diagrama

Suprojektavus elektroninę sistemos dalį reikalinga suprojektuoti ir programinę įrangą. Numatoma, jog istemai bus reikalingos sekančios funkcijos – vaisiaus dydžio nustatymas, jėgos matavimas, spektroskopijos matavimas, impedanso matavimo kalibracija, panaudojant fiksuotos reikšmės rezistorių ir pats impedanso matavimas. Taip pat reikalinga, jog bet kurią iš šių funkcijų būtų galima vykdyti nepriklausomai bet kurio metu. Bendra programinės įrangos struktūra vaizduojama 2.36 pav..



**2.36 pav.** Avokadų tyrimų platformos struktūrinė diagrama

Vaisiaus dydžio nustatymo funkcijos metu variklis sukamas tiek laipsnių, kol jėgos jutiklio nuskaitoma reikšmė pasikeičia. Pats mažiausias spaudimo jėgos pokytis reiškia, jog vaisius aptiktas. Galutinė variklio posūkio kampo reikšmė išvedama ir konvertuojama į atstumą. Jėgos matavimo funkcijos metu variklis, nuo vaisiaus dydžio funkcijos metu rasto kampo, pasukamas iki maksimalios reikšmės – 180°. Variklis sukamas 1° žingsniu ir spaudimo jėgos reikšmė išvedama į ekraną. Spektroskopijos matavimas vykdomas nustatant LED šviestukų maksimalią vartojamą srovę, juos įjungiant ir atliekant kiekvieno iš jutiklio kanalų nuskaitymą. Kiekvienas kanalas simbolizuoja tam tikro bangos ilgio atspindėtos šviesos intensyvumą. Impedanso matavimo kalibracijos funkcija turi būti atliekama prieš kiekvieną matavimą, tam jog jutikliui būtų žinomos kalibracinės reikšmės. Kalibravimas atliekamas naudojant 10 kΩ rezistorių. Pats impedanso matavimas vykdomas atliekant matavimą kiekviename dažnio žingsnyje, kuris šiuo atveju yra 1 kHz. Į ekraną išvedama dažnio, realios dalies, menamos dalies ir apskaičiuoto impedanso reikšmės. Galiausiai rezultatai išvedami į ekraną. Detalesni kiekvienos programos dalies algoritmai pateikiami 1 priede.

### 2.6.2. Matavimų pasikartojamumo testavimas

Siekiant įsitikinti, jog suprojektuota sistema tinkama tolimesniems tyrimams reikalinga atlikti matavimo sistemos pasikartojamumo testavimą. Šis testavimas atliekamas kiekvienai matavimo grandžiai atskirai. Testavimui parenkamas atsitiktinis avokadas, kuriam po 10 kartų atliekamas kiekvienas iš matavimų – spaudimo jėgos, spektroskopijos ir impedanso. Kiekvienam matavimui skaičiuojamas vidurkis standartinis nuokrypis (6) ir matavimų variacija (7).

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(X-\bar{X})^2}{N}}; \quad (6)$$

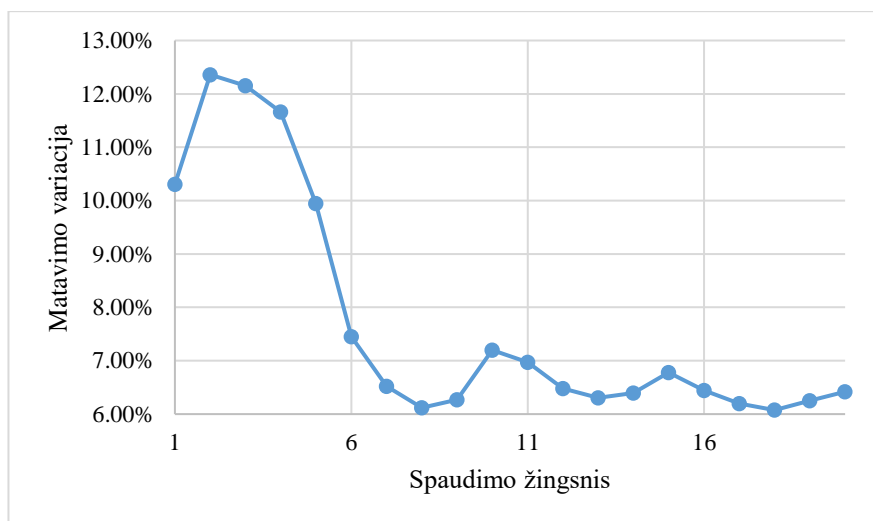
čia  $\sigma$  – standartinis nuokrypis;  $X$  – reikšmė;  $\bar{X}$  – reikšmių vidurkis;  $N$  – reikšmių skaičius.

$$MV = \frac{\sigma}{\bar{X}};$$

(7)

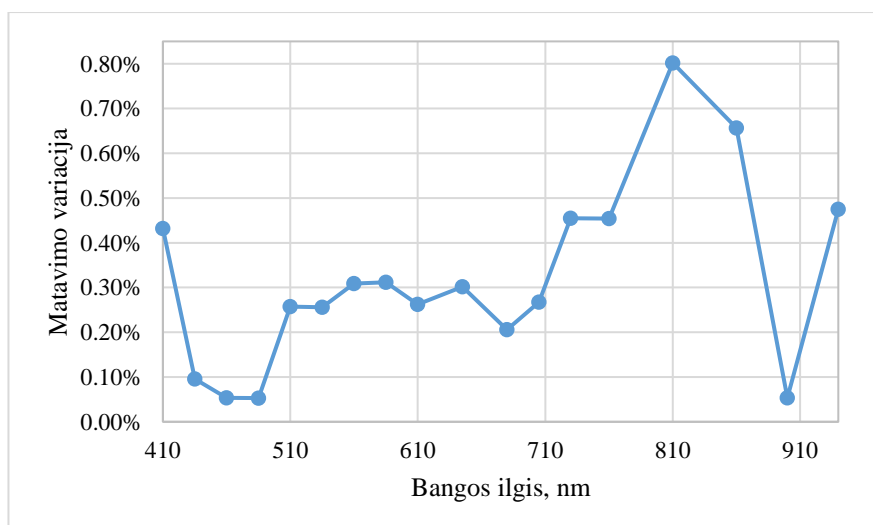
čia  $MV$  – matavimo variacija;  $\sigma$  – standartinis nuokrypis;  $\bar{X}$  – reikšmių vidurkis.

Pirmiausi atliekami spaudimo jėgos matavimo pasikartojamumo matavimai. Tas pats avokado vaisius spaudžiamas 10 kartų ir fiksuojami spaudimo jėgos rezultatai kiekviename žingsnyje. Žingsnių skaičius priklauso nuo vaisiaus dydžio. Kadangi naudojamas tas pats vaisius – žingsnių skaičius išlieka tas pats. Rezultatai vaizduojami 2.37 pav..



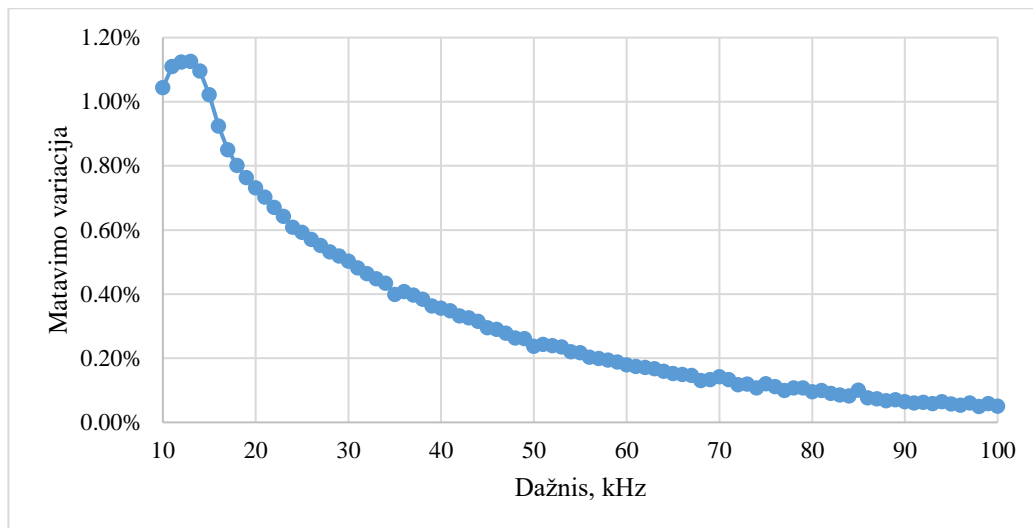
**2.37 pav.** Spaudimo jėgos matavimo variacija, ties skirtingais spaudimo žingsniais

Analizuojant rezultatus pastebėta, jog didžiausia variacija pastebima matavimų pradžioje – pirmuosiuose matavimo žingsniuose šis rodmuo siekia 12.36%. Tolimesniuose matavimo žingsniuose variacija sumažėja iki ~6%. Vidutinė matavimo variacija siekia 7.72%. Tokią matavimo variaciją gali įtakoti netikslumai konstrukcijoje, netolygus variklio veikimas ir pati spaudimo jėgos jutiklio paklaida, kuri, pasak gamintojo, siekia net 2%. Toliau 10 kartų atliekamas spektroskopijos matavimas. Šio matavimo pasikartojamumo rezultatai vaizduojami 2.38 pav..



**2.38 pav.** Spektroskopijos matavimo variacija, ties skirtingais bangos ilgiais

Didžiausia spektroskopijos matavimo variacija pastebima 810 nm bangos ilgyje ir siekia 0.8%. Mažiausia variacija pastebėta 460 nm, 485 nm ir 900 nm bangų ilgiuose ir yra lygi 0.05%. Galima teigti, jog spektroskopijos matavimas yra gana tikslus ir turi mažus nuokrypius visuose bangų ilgiuose, kadangi vidutinė variacija siekia tik 0.32%. Galiausiai atliekamas impedanso matavimo pasikartojamumo testavimas su tuo pačiu avokado vaisiumi. Rezultatai vaizduojami 2.39 pav.



**2.39 pav.** Impedanso matavimo variacija, ties skirtingais bangos ilgiais

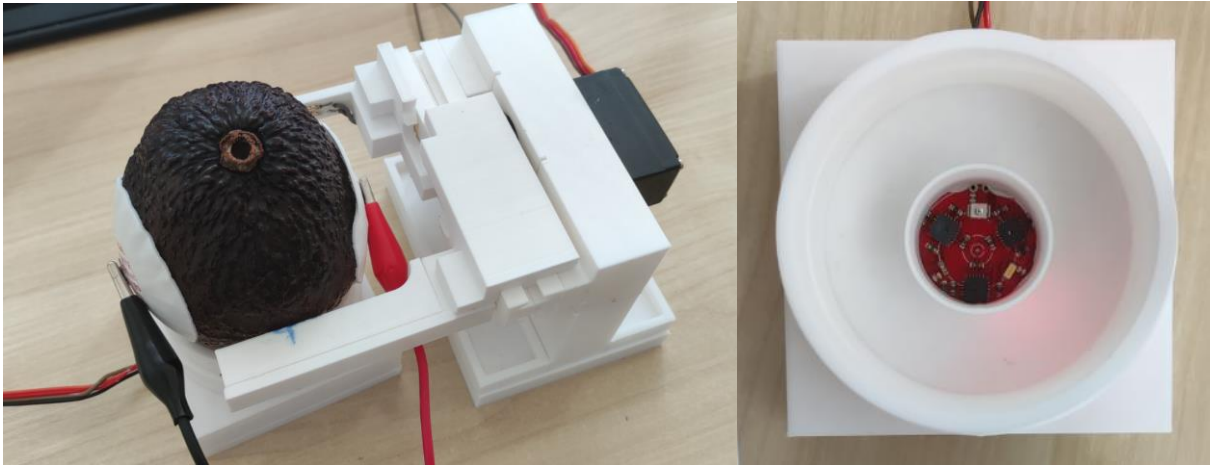
Analizuojant impedanso matavimo rezultatus pastebima, kad didžiausia matavimo variacija yra ties 13 kHz dažniu ir siekia 1.2%. Didėjant dažniui variacija ima mažėti ir ties 100 kHz siekia vos 0.05%. Vidutinė impedanso matavimo variacija yra lygi 0.33%. Detalūs kiekvieno matavimo variacijos rezultatai vaizduojami lentelėse 2 priede.

Atlikus visų trijų matavimų variacijos tyrimą galima daryti išvadą, jog didžiausią variaciją turi spaudimo jėgos matavimas – 7.72%. Tokio dydžio variaciją gali lemti mechaninės pavaros netikslumas, variklio posūkio kampo netikslumas ir pačio jėgos jutiklio paklaida. Kadangi šis matavimas bus naudojamas tik kaip atraminis, todėl toks tikslumas yra patenkinamas. Kiti du matavimai – spektroskopijos ir impedanso, kurie bus naudojami kaip pagrindiniai, varijuoja tik 0.32% ir 0.33%. Tokia maža variacija rodo, jog matavimo įranga suprojektuota tinkamai ir ją galima naudoti tolimesniems tyrimams atlikti.

### 2.6.3. Tyrimo eiga ir rezultatai

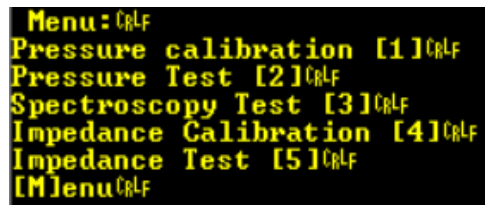
Tyrimui atlikti paruošiami 3 skirtingi avokadai, kurie pagal spalvinę vertinimo skalę laikomi neprinokusiais [34]. Pasirinkti vaisiai neturi išorinių pažeidimų ir yra reguliaraus dydžio ir formos. Kiekvienam vaisiui priskiriamas unikalus numeris ir užklajuojama Ag/AgCl elektrodų pora, kuri bus reikalinga impedanso matavimams atlikti. 6 dienas iš eilės, kas 24 valandas atliekami visi galimi matavimai ir užregistruojami gauti rezultatai. Tyrimo platforma kartu su mėginiu vaizduojama 2.40 pav..





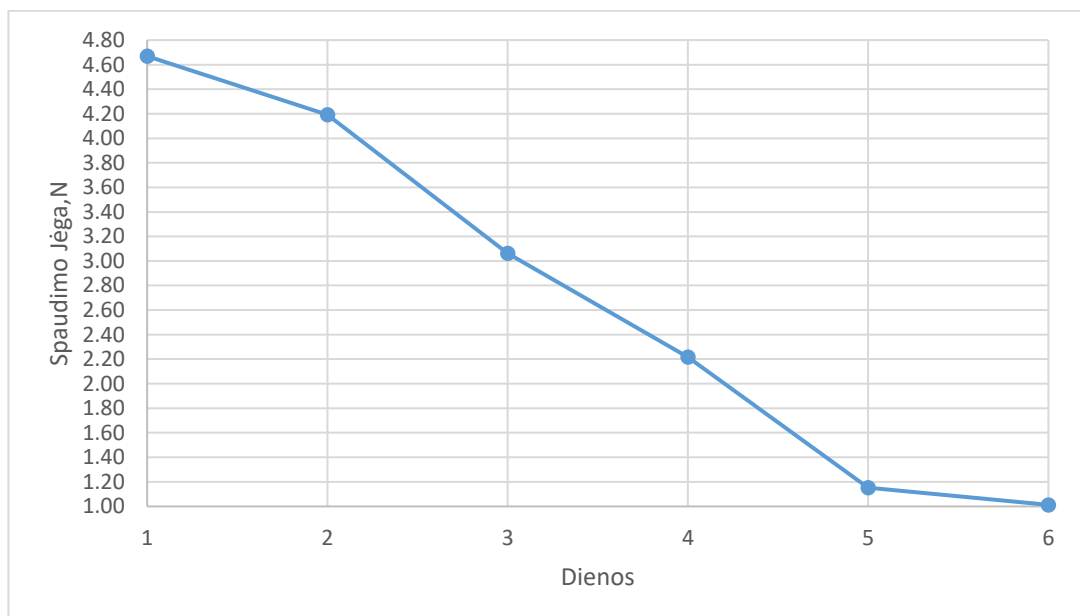
2.40 pav. Avokadų tyrimas naudojant matavimų platformą

Tyrimų įranga valdoma naudojant „Realterm“ programinį paketą. Norint pasirinkti tyrimų funkciją reikalinga išsiųsti pasirinktos funkcijos skaičių. Meniu langas vaizduojamas 2.39 pav..



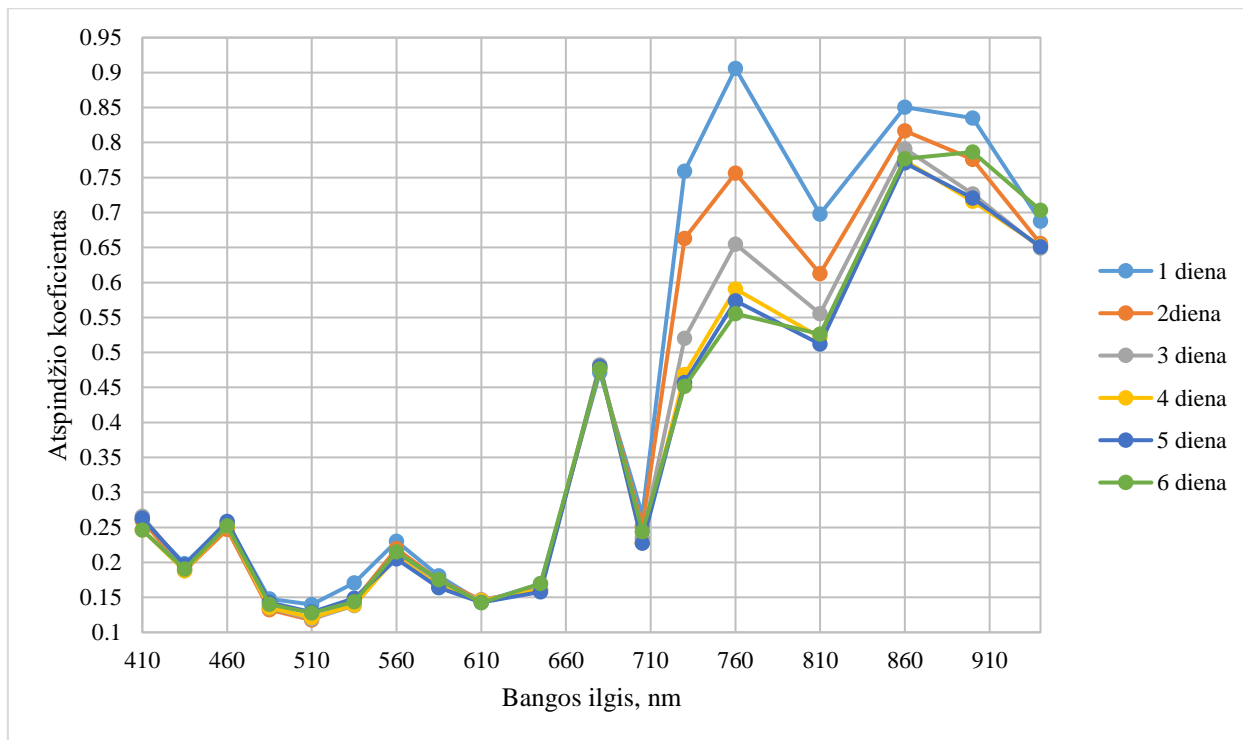
2.41 pav. Avokadų tyrimų platformos meniu langas

Pirmąją dieną vykdomas visų trijų avokado vaisių dydžio nustatymas. Pirmojo avokado plotis plačiausioje vaisiaus vietoje – 60 mm, antrojo – 63 mm, o trečiojo – 55 mm. Visų dienų matavimų rezultatai registruojami ir analizuojami. Pirmiausia 2.40 pav. vaizduojami vidutiniai jėgos matavimo rezultatai viso tyrimo laikotarpiu.



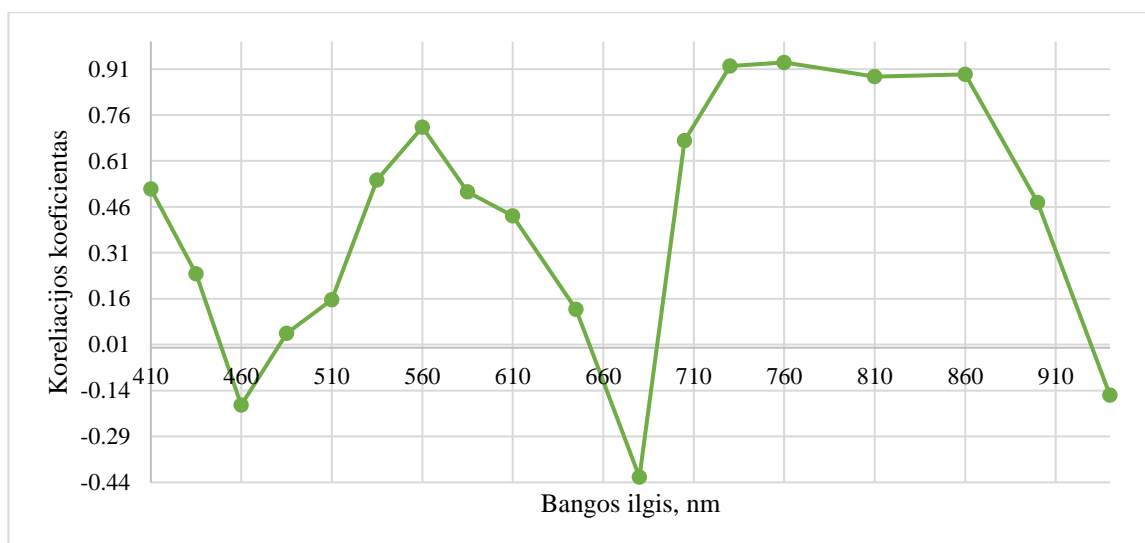
2.42 pav. Jėgos matavimo pokytis tyrimo laikotarpiu

Analizuojant rezultatus matyti, jog kintant dienų skaičiui, jėga, reikalinga išpausti vaisių mažėja. Pirmąją dieną vidutinė spaudimo jėga siekė 450 g, o paskutinąją – tik 100 g. Gautas 450% spaudimo jėgos pokytis. Tai reiškia, jog nokstant avokado vaisiui jo kietumas sumažėja apie 4 kartus. Toliau vykdoma pagrindinių matavimų analizė. 2.43 pav. vaizduojami vidutiniai visų trijų vaisių spektroskopijos matavimo rezultatai.



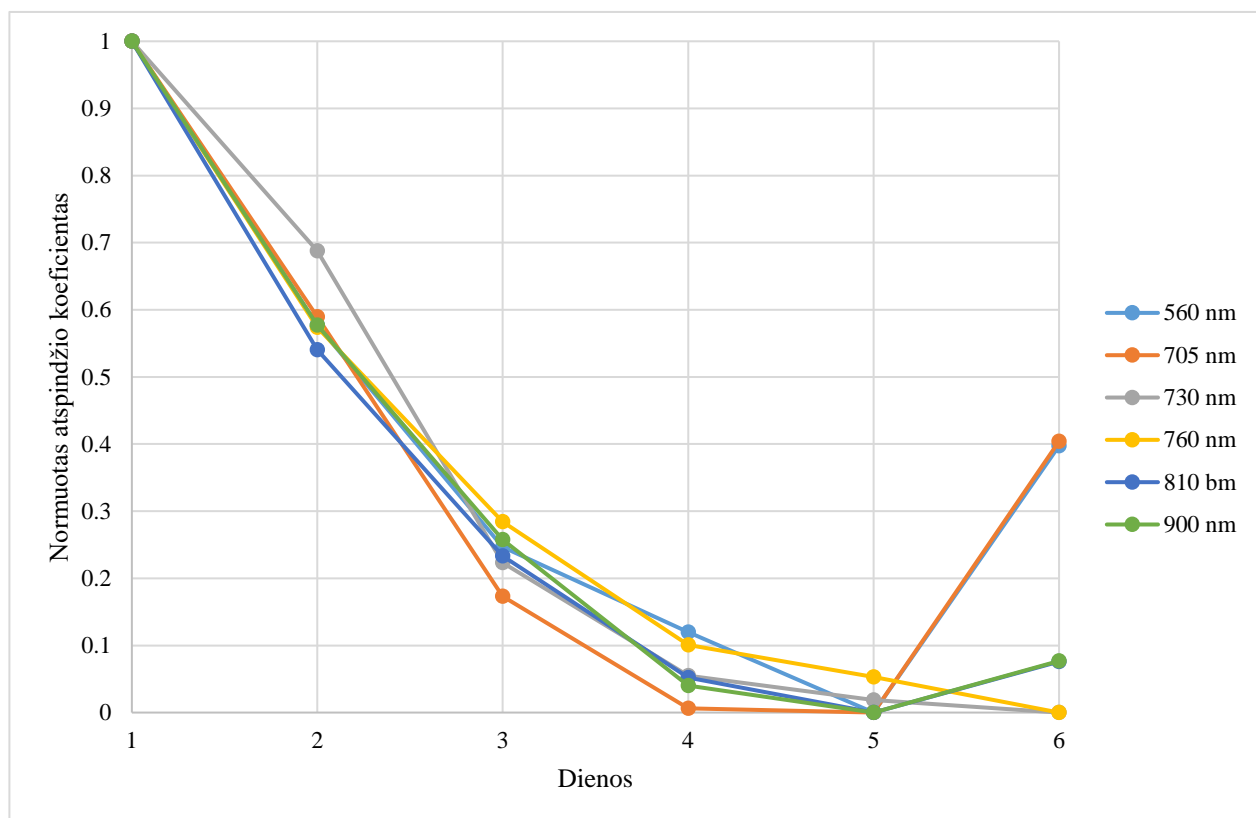
2.43 pav. Spektroskopijos matavimo rezultatai tyrimo metu

Tam, kad išsiaiškinti, kuriuose bangų ilgiuose gauti geriausi rezultatai skaičiuojama koreliacija tarp atspindžio koeficiento skirtinguose bangų ilgiuose ir dienų skaičiaus nuo tyrimo pradžios, kuris indukuoja vaisiaus sunokimo lygį. Rezultatai vaizduojami 2.44 pav..



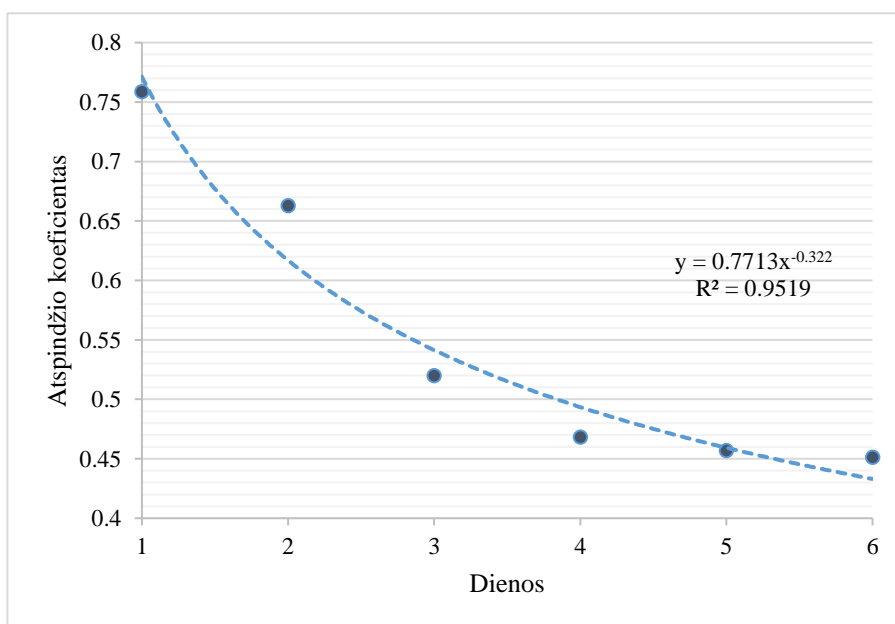
2.44 pav. Spektroskopijos matavimo koreliacijos koeficientai su dienų skaičiumi nuo tyrimo pradžios skirtinguose bangų ilgiuose

Toliau vaizduojama normuota atspindžio koeficiento reikšmė bangų ilgiuose, kuriuose buvo gauta didžiausia koreliacija (>0.7) tarp atspindžio koeficiento tam tikruose bangų ilgiuose ir dienų skaičiaus nuo tyrimo pradžios. Rezultatai vaizduojami 2.45 pav..

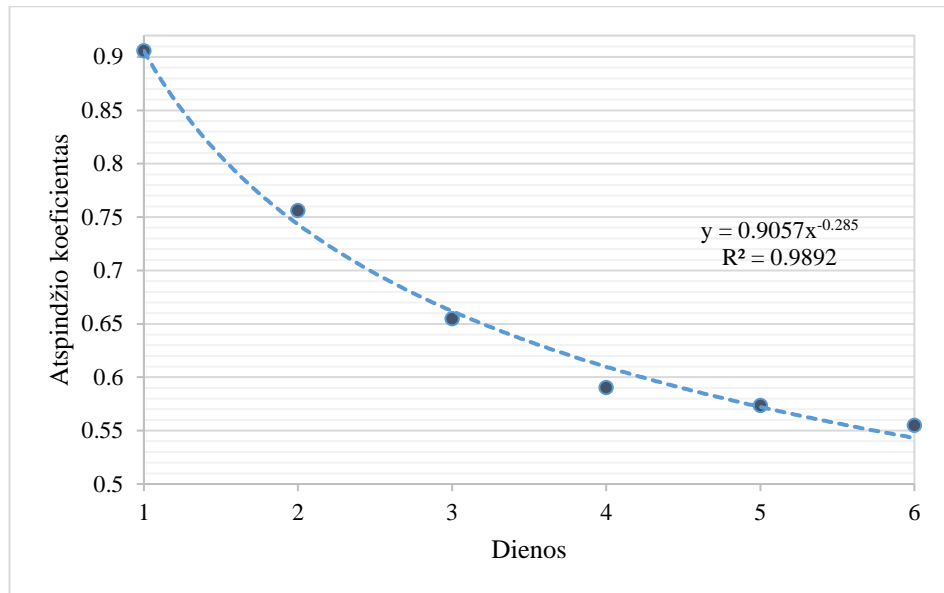


2.45 pav. Normuoto atspindžio koeficiento pokytis tyrimo metu

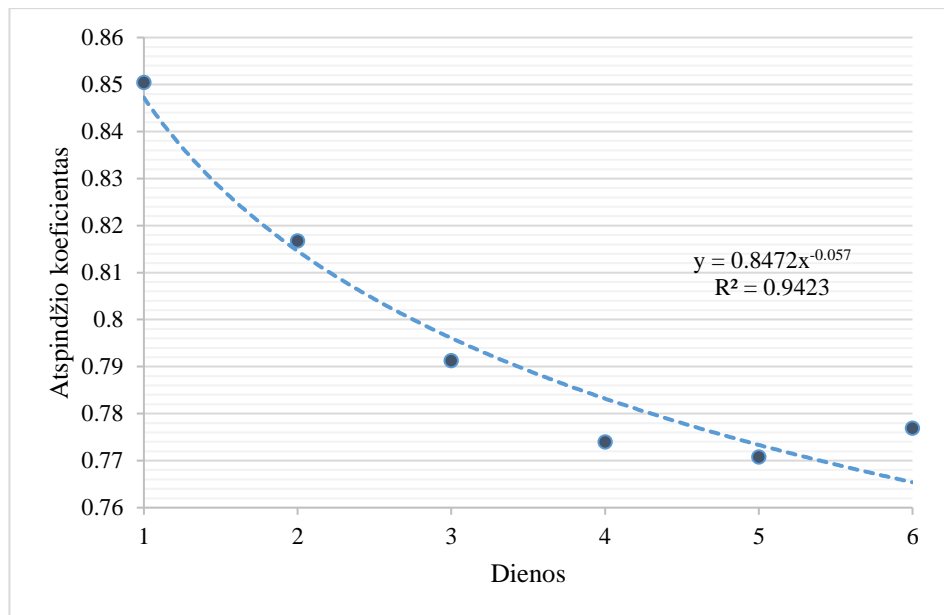
Didžiausi koreliacijos koeficientai pastebėti ties 730 nm, 760 nm ir 860 nm bangų ilgiais. Todėl skaičiuojamas laipsninis aproksimacijos modelis rezultatams šiuose bangų ilgiuose (2.46 – 2.48 pav.).



2.46 pav. Atspindžio koeficiento ir dienų skaičiaus aproksimacija laipsniniu modeliu (bangos ilgis 730 nm)

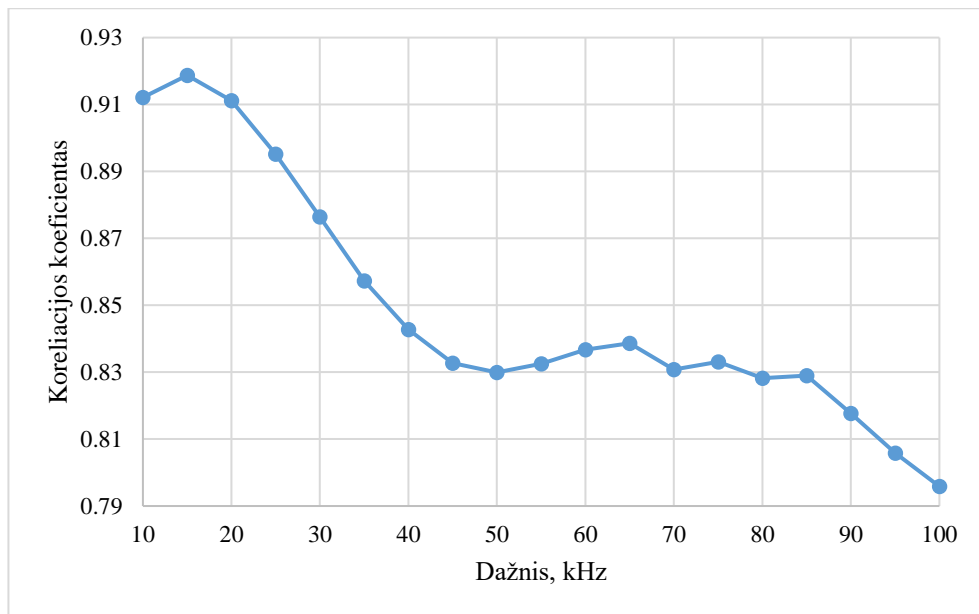


**2.47 pav.** Atspindžio koeficiento ir dienų skaičiaus aproksimacija laipsniniu modeliu (bangos ilgis 760 nm)



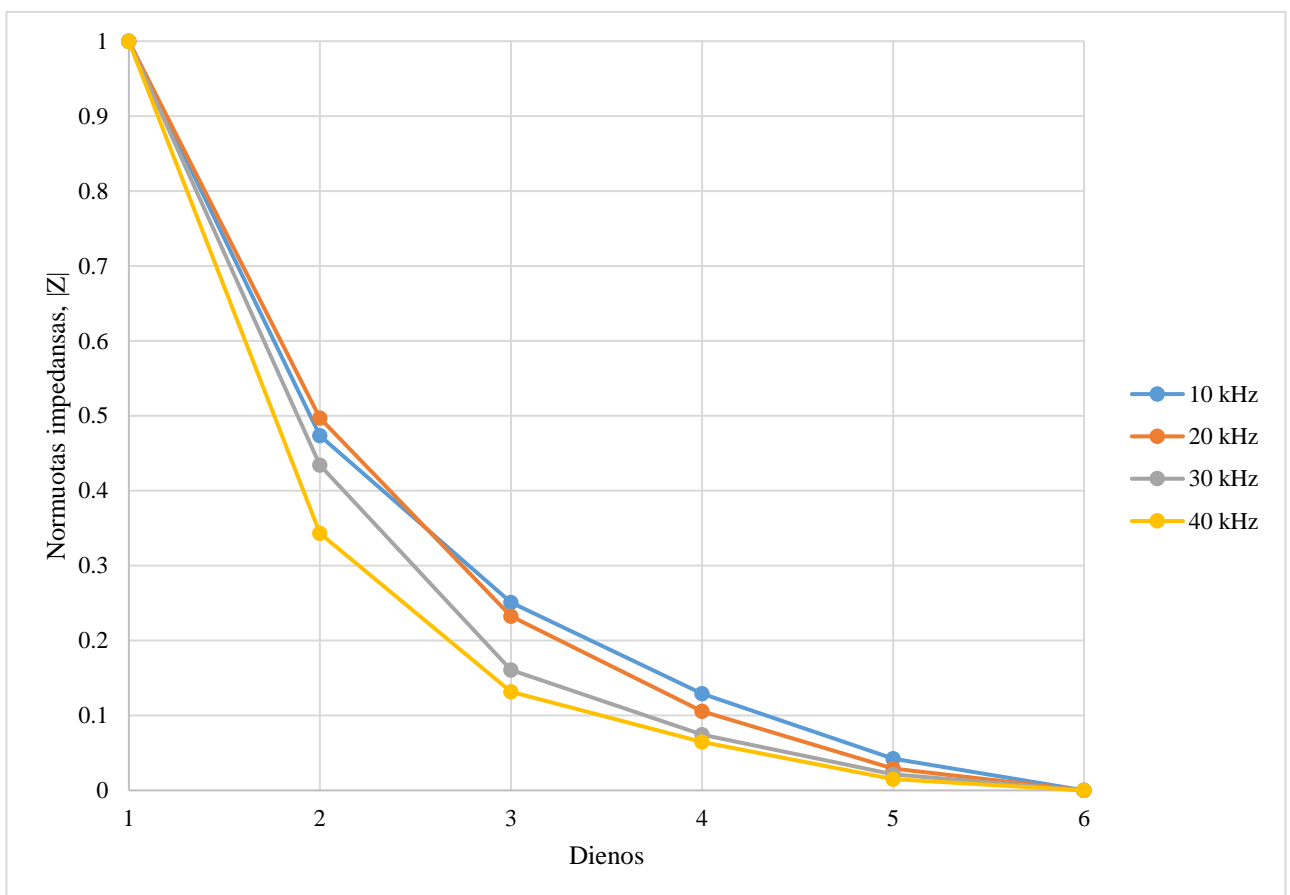
**2.48 pav.** Atspindžio koeficiento ir dienų skaičiaus aproksimacija laipsniniu modeliu (bangos ilgis 860 nm)

Atspindžio koeficiento pokytį keičiantis dienų skaičiui galima aproksimuoti laipsniniais modeliais : kai bangos ilgis yra lygus 730 nm lygtimi  $y = 0.7713x^{-0.322}$ , kai bangos ilgis lygus 760 nm lygtimi  $y = 0.9057x^{-0.285}$ , o kai bangos ilgis lygus 860 nm lygtimi  $y = 0.8472x^{-0.057}$ . Didžiausias determinacijos koeficientas  $R^2$  gautas ties 760nm bangos ilgiu ir yra lygus 0.9892, kas parodo gana aukštą patikimumo lygį. Norint įsitikinti, kuriuose dažniuose gaunama didžiausia koreliacija tarp dienų praėjusių nuo tyrimo pradžios ir impedanso matavimo rezultatų skaičiuojama koreliacija kiekvienai dažnių juostai. Rezultatas vaizduojamas 2.49 pav..

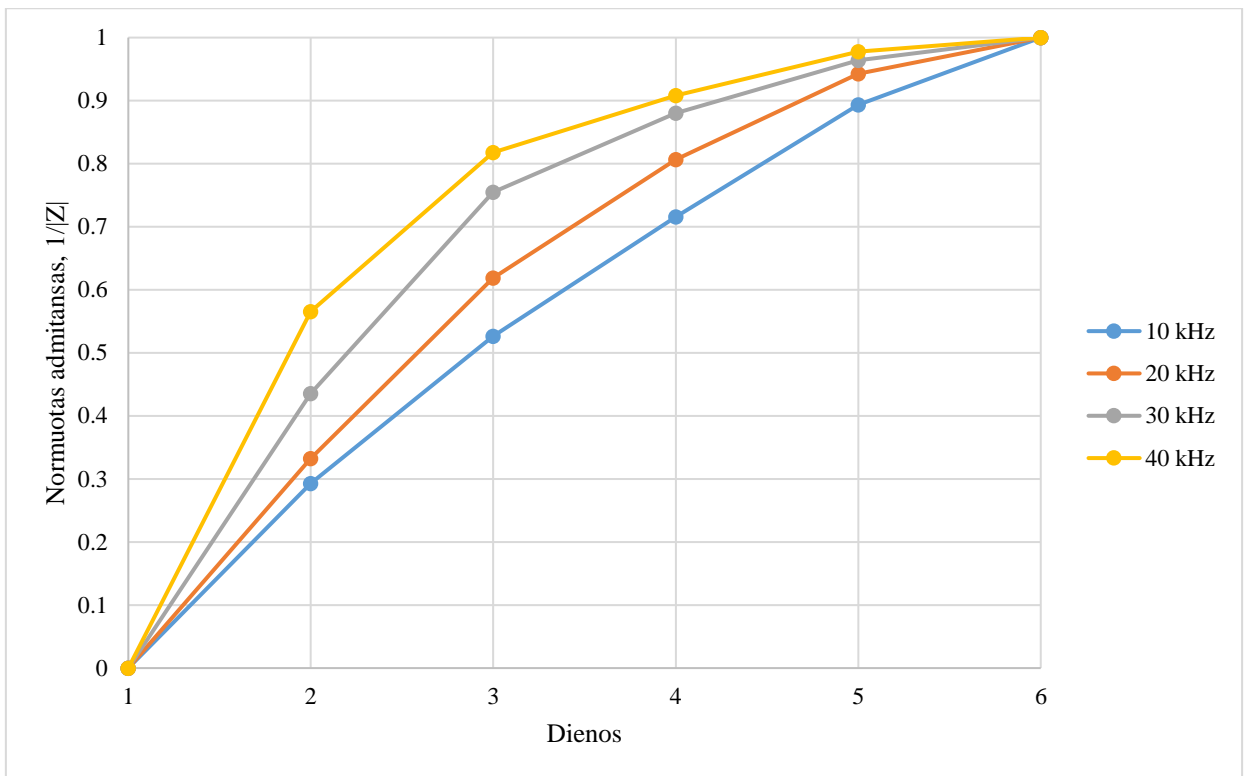


**2.49 pav.** Impedanso matavimo koreliacija su dienomis nuo tyrimo pradžios skirtinguose dažniuose

Didžiausi koreliacijos koeficientai gauti ties dažnių ruože nuo 10 – 40 kHz ( $> 0.84$ ). Toliau vykdoma impedanso matavimo rezultatų analizė. 2.50 pav. ir 2.51 pav. vaizduojami impedanso ir admitanso reikšmių pokyčiai efektyviausiuose dažniuose.

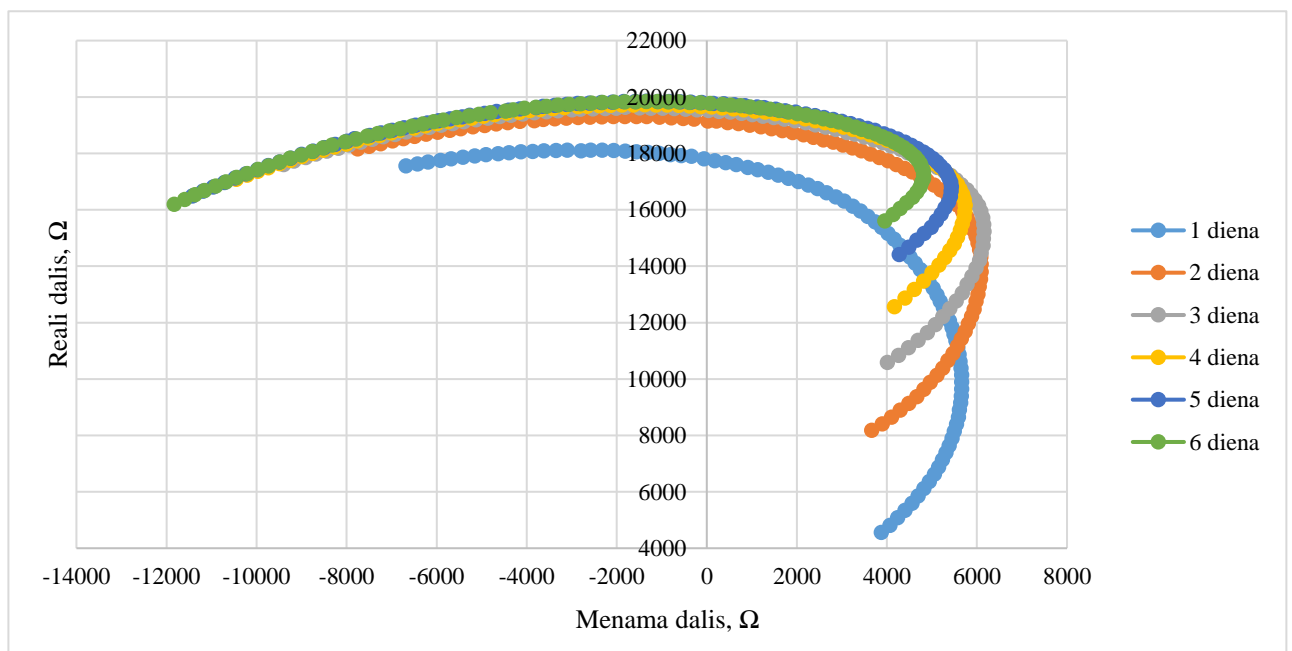


**2.50 pav.** Normuotos impedanso reikšmės pokytis tyrimo eigoje



**2.51 pav.** Normuoto admitanso reikšmės pokytis tyrimo eigoje

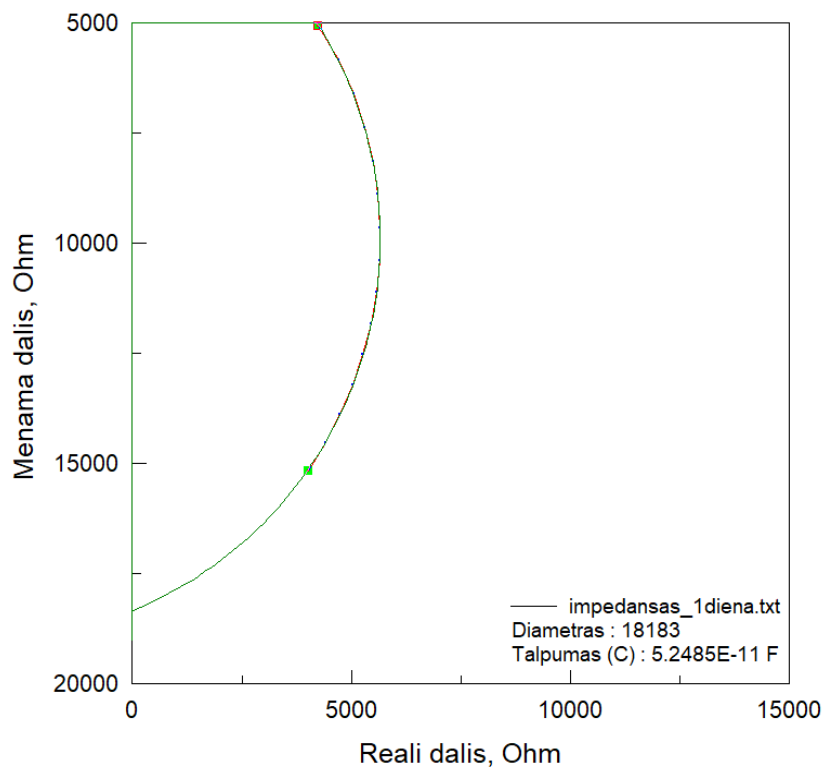
Analizuojant rezultatus pastebėta, jog pirmąją tyrimo dieną, ties 10 kHz dažniu užfiksuota vertė siekė 16 281  $\Omega$ , o paskutiniąją – 5946  $\Omega$ . Impedanso reikšmės sumažėjimas siekia net 273%. Tokia pati tendencija pastebima ir analizuojant admitanso pokyčius. Panašu, jog nokstant vaisiui jo laidumas didėja. 2.52 pav. vaizduojama Naikvisto diagrama gauta tyrimo metu.



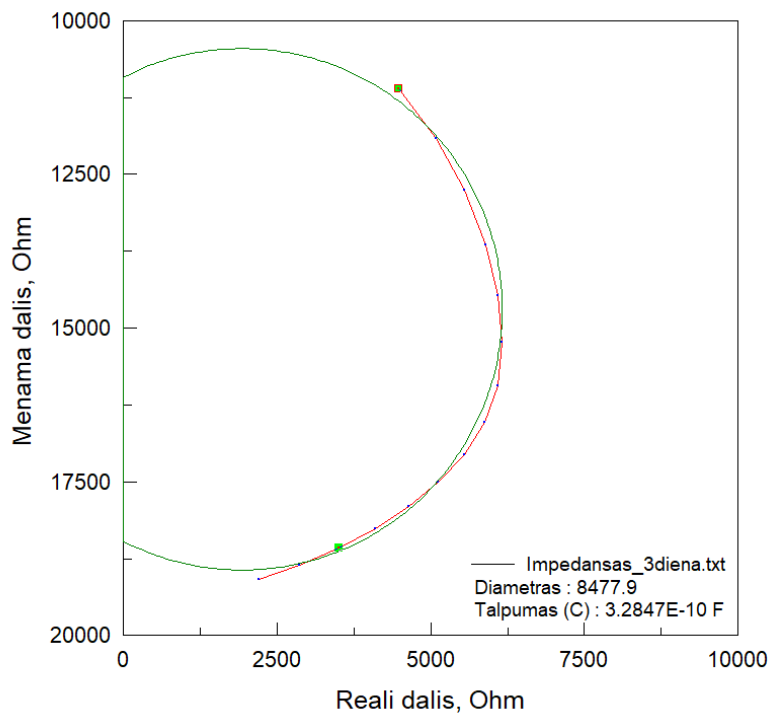
**2.52 pav.** Impedanso matavimo Naikvisto diagrama

Analizuojant Naikvisto diagramą užfiksuojamas ryškus realios dalies pokytis, kuomet menama dalis yra tarp 4000  $\Omega$  ir 6000  $\Omega$ . Čia jis vidutiniškai siekia vidutiniškai beveik 400%. Siekiant įsitikinti ar

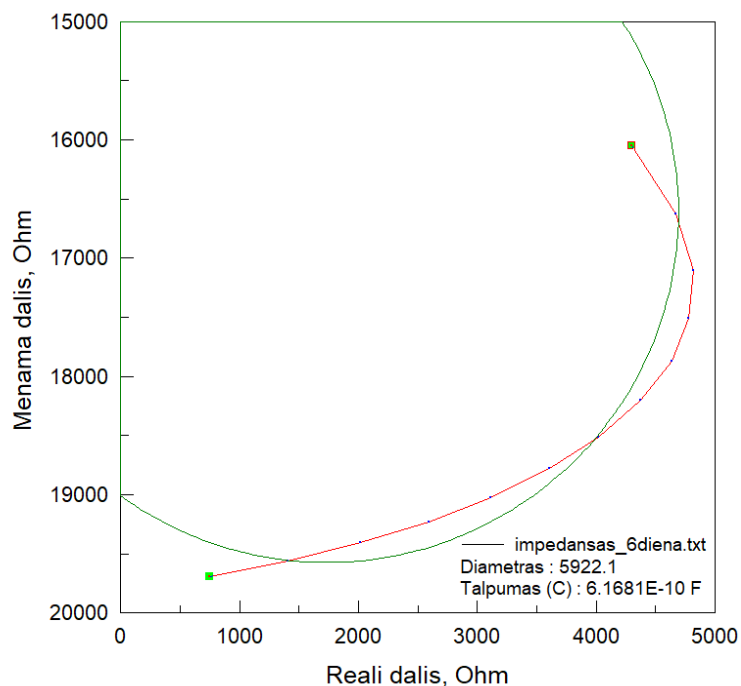
gautos realios ir menamos dalies reikšmės atitinka apskritimo modelį, atliekamas impedanso modeliavimas pirmąją, trečiąją ir paskutiniąją dienomis. Rezultatai vaizduojami 2.53 – 2.55 pav..



2.53 pav. Realios ir menamos dalies priklausomybė pirmąją tyrimo dieną

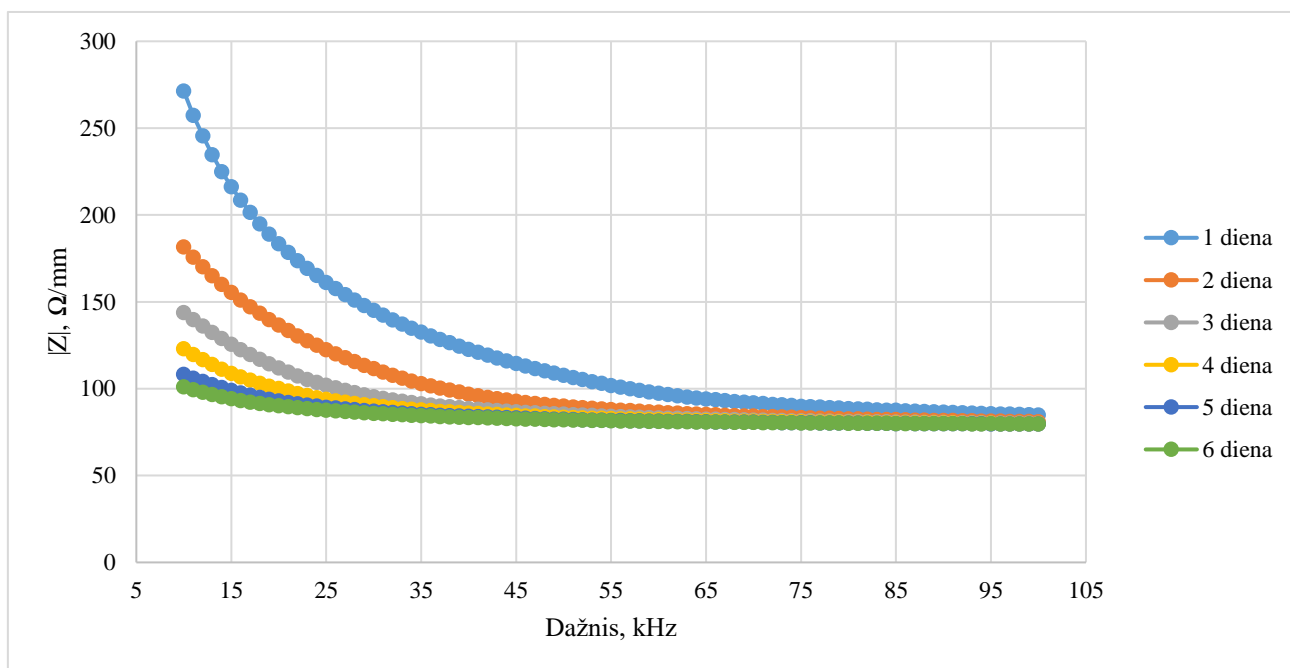


2.54 pav. Realios ir menamos dalies priklausomybė trečiąją tyrimo dieną



**2.55 pav.** Realios ir menamos dalies priklausomybė trečiąją tyrimo dieną

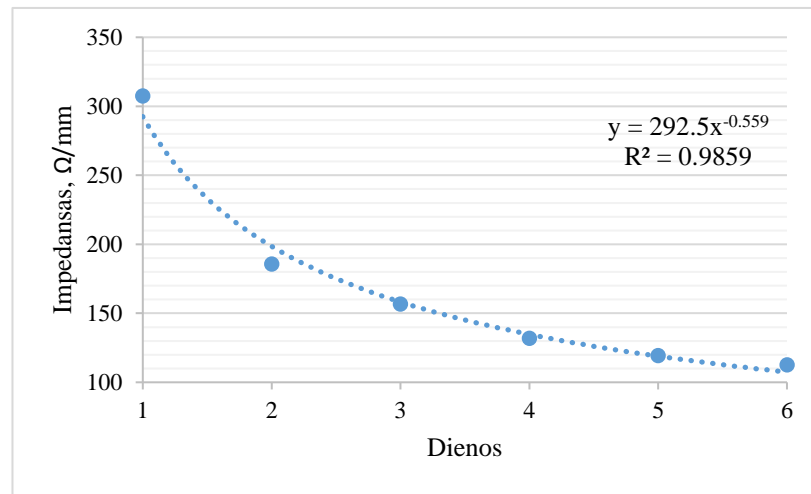
Analizuojant rezultatus pastebima, jog pirmąją ir trečiąją dienomis gauti rezultatai gana tiksliai atitinka apskritimo modelį, tačiau paskutiniąją dieną gaunama nemaža paklaida. Apskritimo diametras pirmąją dieną siekė 18 183, o paskutiniąją – 5922. Tai reiškia, jog diametras tyrimo metu sumažėjo apie 3 kartus. Taip pat tyrimo metu kito ir preliminari talpumo reikšmė. Pirmąją dieną buvo užfiksuotas 52.4 pF talpumas, o paskutiniąją – 616 pF. Galima teigti, jog talpumas nokstant vaisiui sumažėjo apie 12 kartų. Taip pat tyrimo metu pastebėta, jog matavimo rezultatai yra glaudžiai susiję su atstumu tarp elektrodų, kuris yra lygus kiekvieno vaisiaus diametrai. Dėl to rezultatai dar kartą pateikiami išvestiniu vienetu  $\Omega/\text{mm}$  (2.56 pav.).



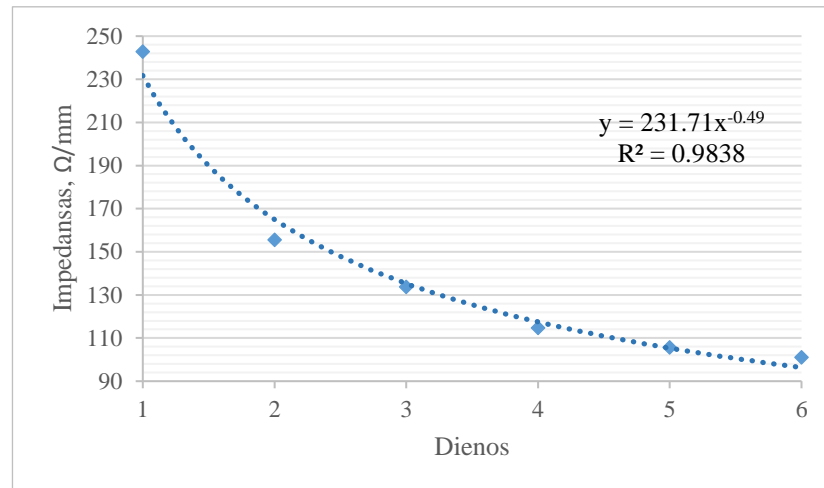
**2.56 pav.** Impedanso pokytis tyrimo metu, naudojant išvestinį vienetą  $\Omega/\text{mm}$ .



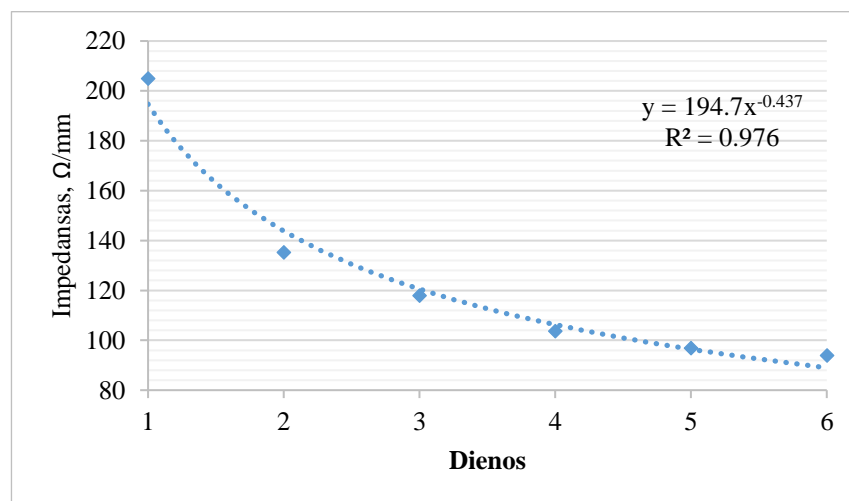
Norint nustatyti metodo patikimumą skaičiuojamas laipsninis aproksimacijos modelis rezultatams prieš tai minėtuose dažniuose (2.57 – 2.59 pav.).



2.57 pav. Impedanso ir dienų skaičiaus priklausomybės aproksimacija laipsniniu modeliu, kai dažnis 10 kHz



2.58 pav. Impedanso ir dienų skaičiaus priklausomybės aproksimacija laipsniniu modeliu, kai dažnis 15 kHz



2.59 pav. Impedanso ir dienų skaičiaus priklausomybės aproksimacija laipsniniu modeliu, kai dažnis 20 kHz

Impedanso pokytį keičiantis dienų skaičiui ir nokstant avokado vaisiui galima aproksimuoti laipsniniais modeliais : kai dažnis lygus 10 kHz lygtimi  $y = 292.5x^{-0.559}$ , kai dažnis lygus 15 kHz lygtimi  $y = 231.71x^{-0.49}$ , o kai bangos ilgis lygus 860 nm lygtimi  $y = 194.7x^{-0.437}$ . Didžiausias determinacijos koeficientas  $R^2$  gautas ties 10 kHz dažniu ir yra lygus 0.9838, kas parodo gana aukštą patikimumo lygį.

Iš atliktų tyrimų galima daryti išvadą, jog tiek impedanso matavimas, tiek spektroskopijos matavimas yra gana patikimi būdai nustatyti avokado vaisiaus sunokimo lygį. Spektroskopijos matavimo atveju didžiausias determinacijos koeficientas ( $R^2 = 0.9892$ ) gautas ties bangos ilgiu lygiu 760nm, kadangi, remiantis mokslininkų atliktais tyrimais [37], šis bangos ilgis atspindi vandens kiekį vaisiuje. Impedanso matavimo atveju didžiausias determinacijos koeficientas ( $R^2 = 0.9859$ ), gautas ties žemiausiu 10 kHz dažniu. Remiantis tyrimais, didėjant riebalų kiekiui avokade, didėja ir talpumo efekto įtaka. Taip pat įtakos tokiam rezultatui gali turėti pokyčiai pačių ląstelių struktūrose.

## Išvados

1. Aptarti ir išanalizuoti skirtingi neinvaziniai metodai kuriais galima nustatyti skirtingų vaisių sunokimo lygį: spektroskopija, ultragarsiniai matavimai, dujų koncentracijos matavimas naudojant elektroninę nosį, impedanso matavimas ir vaizdo apdorojimas.
2. Tiriant vaisius ultragarsinių matavimų metodu nustatyta, kad ultragarsinis signalas negali sklisti per tiriamus vaisius - tam trukdo jų žievė. Nustatytas ultragarsinio signalo sklidimo greitis per avokado vaisiaus vidinę struktūrą – 625 m/s.
3. Tiriant vaisius vaizdo apdorojimo metodu nustatyta, kad avokado vaisiaus atveju pastebimas didesnis atspalvio (angl. hue) reikšmės pokytis (304 %) nei banano vaisiaus atveju (51 %). Taip pat galima tvirtinti, jog šis metodas yra patikimas būdas vaisiaus sunokimo lygio nustatymui.
4. Tiriant vaisius spektroskopijos metodu nustatyta, kad banano vaisiaus atveju didžiausia koreliacija ( $>0.97$ ) tarp atspindėjimo koeficiento ir dienų skaičiaus nuo tyrimo pradžios pokyčio yra ties 730 nm ir 760 nm bangų ilgiais. Avokado vaisiaus atveju didžiausia koreliacija ( $>0.9$ ) tarp atspindėjimo koeficiento ir dienų skaičiaus nuo tyrimo pradžios gauta ties 510 – 585 nm, 730 nm ir 760 nm bangų ilgiuose. Nustatyta, jog metodas tinkamas efektyviam neinvaziniam vaisiaus sunokimo lygio nustatymui.
5. Tiriant vaisius impedanso matavimo metodu nustatyta, jog didžiausias impedanso reikšmės pokytis, tiek avokado, tiek banano vaisių atveju gautas dažnių ruože nuo 10 kHz iki 30 kHz. Avokado vaisiaus atveju gautas 40% impedanso reikšmės pokytis, o banano vaisiaus – tik 7.6%. Gauta koreliacija tarp dienų skaičiaus nuo tyrimo pradžios ir impedanso pokyčio tyrimo metu, žemiausiame dažnyje (10 kHz) yra ne mažesnė nei 0.95. Vertinant šią reikšmę, galime daryti išvadą, jog metodas yra aukšto efektyvumo nustatant vaisiaus sunokimo lygį.
6. Siekiant atlikti išsamesnius avokado vaisiaus tyrimus pasiūlyta naudoti kompleksinį metodą, apjungiant kelis matavimus: vaisiaus kietumo, spektroskopijos ir impedanso. Atlikus platformos matavimų pasikartojamumo analizę nustatyta, jog vaisiaus kietumo matavimo vidutinė variacija yra lygi 7.72%, spektroskopijos matavimo – 0.32%, o impedanso matavimo – 0.33%.
7. Atlikus tyrimus nustatyta, jog spaudimo jėga 6 dienų laikotarpyje sumažėjo beveik 4 kartus. Atlikus spektroskopijos matavimų rezultatų aproksimaciją laipsniniu modeliu, ties 760nm bangos ilgiu gautas didžiausias determinacijos koeficientas  $R^2$  yra lygus 0.9892. Impedanso matavimo atveju atlikus rezultatų aproksimaciją laipsniniu modeliu, ties 10 kHz dažniu gautas determinacijos koeficientas  $R^2$  yra lygus 0.9859. Galima daryti išvadą, jog tiek spektroskopijos, tiek impedanso matavimas yra aukšto patikimumo metodai nustatant vaisiaus sunokimo lygį. Gautus parametrus būtų galima apdoroti dirbtinio intelekto pagalba, kurio pagalba būtų galima dar tiksliau sumodeliuoti vaisiaus sunokimo lygį.

## Literatūros šaltinių sąrašas

1. SCHAEFER, H. MARTIN, LEVEY, DOUGLAS J, SCHAEFER, VERONIKA, & AVERY, MICHAEL L. (2006). The role of chromatic and achromatic signals for fruit detection by birds. *Behavioral Ecology* [interaktyvus], 17(5), 784–789 [žiūrėta 2020-03-04]. <https://doi.org/10.1093/beheco/arl011>
2. LI, BO, LECOURT, JULIEN, & BISHOP, GERARD. (2018). Advances in Non-Destructive Early Assessment of Fruit Ripeness towards Defining Optimal Time of Harvest and Yield Prediction—A Review. *Plants (Basel)* [interaktyvus], 7(1), 3 [žiūrėta 2020-03-04]. <https://doi.org/10.3390/plants7010003>
3. ZIOSI, V, NOFERINI, M, FIORI, G, TADIELLO, A, TRAINOTTI, L, CASADORO, G, & COSTA, G. (2008). A new index based on vis spectroscopy to characterize the progression of ripening in peach fruit. *Postharvest Biology and Technology* [interaktyvus], 49(3), 319–329 [žiūrėta 2020-03-10]. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2008.01.017>
4. MERZLYAK, MARK N, SOLOVCHENKO, ALEXEIE, & GITELSON, ANATOLY A. (2003). Reflectance spectral features and non-destructive estimation of chlorophyll, carotenoid and anthocyanin content in apple fruit. *Postharvest Biology and Technology* [interaktyvus], 27(2), 197–211 [žiūrėta 2020-03-10]. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(02\)00066-2](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(02)00066-2)
5. NICOLAÏ, BART M, BEULLENS, KATRIEN, BOBELYN, ELS, PEIRS, ANN, SAEYS, WOUTER, THERON, KAREN I, & LAMMERTYN, JEROEN. (2007). Nondestructive measurement of fruit and vegetable quality by means of NIR spectroscopy: A review. *Postharvest Biology and Technology* [interaktyvus], 46(2), 99–118 [žiūrėta 2020-03-10]. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2007.06.024>
6. MIZRACH, A. (2008). Ultrasonic technology for quality evaluation of fresh fruit and vegetables in pre- and postharvest processes. *Postharvest Biology and Technology* [interaktyvus], 48(3), 315–330 [žiūrėta 2020-03-10]. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2007.10.018>
7. LAMMERTYN, JEROEN, PEIRS, ANN, DE BAERDEMAEKER, JOSSE, & NICOLAÏ, BART. (2000). Light penetration properties of NIR radiation in fruit with respect to non-destructive quality assessment. *Postharvest Biology and Technology* [interaktyvus], 18(2), 121–132 [žiūrėta 2020-03-12]. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(99\)00071-X](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(99)00071-X)
8. HA, KANG-LYEOL, KANAI, HIROSHI, CHUBACHI, NORIYOSHI, & KAMIMURA, KUNIO. (1991). A Basic Study on Nondestructive Evaluation of Potatoes Using Ultrasound. *Japanese Journal of Applied Physics* [interaktyvus], 30(S1), 80 [žiūrėta 2020-03-12]. <https://doi.org/10.7567/JJAPS.30S1.80>
9. MIZRACH, AMOS. (2007). Nondestructive ultrasonic monitoring of tomato quality during shelf-life storage. *Postharvest Biology and Technology* [interaktyvus], 46(3), 271–274 [žiūrėta 2020-03-12]. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2007.05.012>
10. ESSER, BIRGIT, SCHNORR, JAN M, & SWAGER, TIMOTHY M. (2012). Selective Detection of Ethylene Gas Using Carbon Nanotube-based Devices: Utility in Determination of Fruit Ripeness. *Angewandte Chemie (International Ed.)* [interaktyvus], 51(23), 5752–5756 [žiūrėta 2020-04-21]. <https://doi.org/10.1002/anie.201201042>

11. LI, BO, LECOURT, JULIEN, & BISHOP, GERARD. (2018). Advances in Non-Destructive Early Assessment of Fruit Ripeness towards Defining Optimal Time of Harvest and Yield Prediction—A Review. *Plants (Basel)* [interaktyvus], 7(1), 3 [žiūrėta 2020-04-21]. <https://doi.org/10.3390/plants7010003>
12. QU, JIA-HUAN, LIU, DAN, CHENG, JUN-HU, SUN, DA-WEN, MA, JI, PU, HONGBIN, & ZENG, XIN-AN. (2015). Applications of Near-infrared Spectroscopy in Food Safety Evaluation and Control: A Review of Recent Research Advances. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* [interaktyvus], 55(13), 1939–1954 [žiūrėta 2020-04-21]. <https://doi.org/10.1080/10408398.2013.871693>
13. BREZMES, JESÚS, & LLOBET, EDUARD. (2016). Chapter 6 - Electronic Noses for Monitoring the Quality of Fruit. In *Electronic Noses and Tongues in Food Science* [interaktyvus], 49–58. Elsevier Inc. [žiūrėta 2020-04-21]. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800243-8.00006-8>
14. HU, WENWEN & WAN, LIANGTIAN & JIAN, YINGYING & REN, CONG & JIN, KE & SU, XINGHUA & BAI, XIAOXIA & HAICK, HOSSAM & YAO, MINGSHUI & WU, WEIWEI. (2018). Electronic Noses: From Advanced Materials to Sensors Aided with Data Processing. *Advanced Materials Technologies* [interaktyvus] [žiūrėta 2020-04-21]. <https://doi.org/10.1002/admt.201800488>.
15. MUÑOZ-HUERTA, RAFAEL F, ORTIZ-MELENDEZ, ANTONIO DE J, GUEVARA-GONZALEZ, RAMON G, TORRES-PACHECO, IRINEO, HERRERA-RUIZ, GILBERTO, CONTRERAS-MEDINA, LUIS M, ... OCAMPO-VELAZQUEZ, ROSALIA V. (2014). An analysis of electrical impedance measurements applied for plant N status estimation in lettuce (*Lactuca sativa*). *Sensors (Basel, Switzerland)* [interaktyvus], 14(7), 11492–11503. [žiūrėta 2020-09-14]. <https://doi.org/10.3390/s140711492>
16. EL KHALED, D, CASTELLANO, N.N, GAZQUEZ, J.A, GARCÍA SALVADOR, R.M, & MANZANO-AGUGLIARO, F. (2017). Cleaner quality control system using bioimpedance methods: a review for fruits and vegetables. *Journal of Cleaner Production* [interaktyvus], 140, 1749–1762 [žiūrėta 2020-09-14]. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.10.096>
17. CHOWDHURY, A, DATTA, S, BERA, TUSHAR K, GHOSHAL, D, & CHAKRABORTY, BADAL. (2018). Design and development of microcontroller based instrumentation for studying complex bioelectrical impedance of fruits using electrical impedance spectroscopy. *Journal of Food Process Engineering* [interaktyvus], 41(1), e12640–n/a [žiūrėta 2020-09-14]. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12640>
18. ANAND, SNEH, SENGUPTA, AMIT, MAHAJAN, RUHI, & PAHUJA, S K. (2010). Fabrication of microcontroller based multipurpose measuring system with inbuilt data acquisition. *2010 International Conference on Bioinformatics and Biomedical Technology* [interaktyvus], 10–13. IEEE [žiūrėta 2020-11-10]. <https://doi.org/10.1109/ICBBT.2010.5479020>.
19. SIMIC, M. (2013). Realization of Complex Impedance Measurement System Based on the Integrated Circuit AD5933. *2013 21st Telecommunications Forum Telfor (TELFOR)* [interaktyvus], pp.573–576. [žiūrėta 2020-11-10]. doi: 10.1109/TELFOR.2013.6716294.
20. P. IBBA, A. FALCO, A. RIVADENEYRA AND P. LUGLI (2018). Low-Cost Bio-Impedance Analysis System for the Evaluation of Fruit Ripeness 2018 IEEE SENSORS [interaktyvus], pp. 1-4 [žiūrėta 2020-11-10]. doi: 10.1109/ICSENS.2018.8589541.

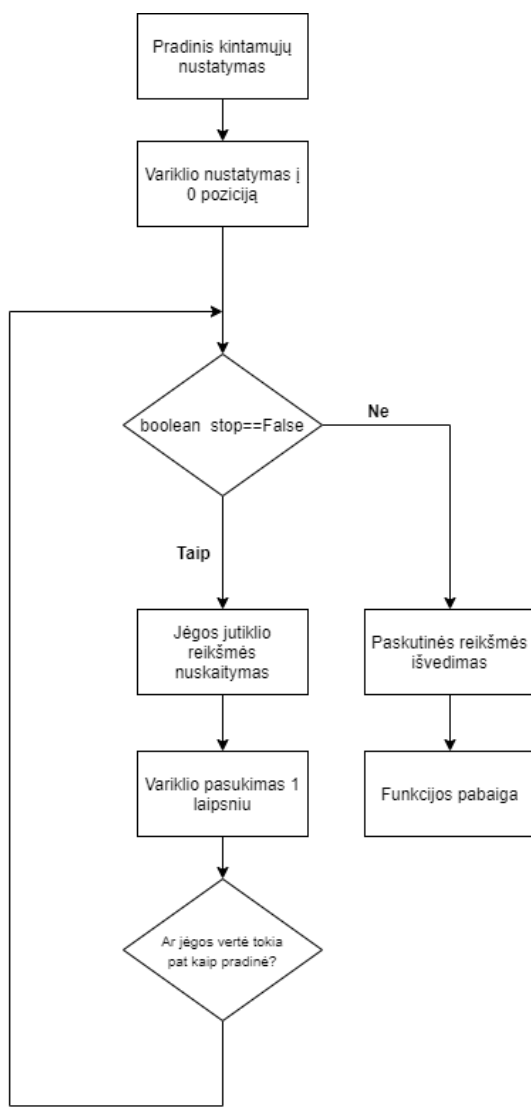
21. CHOWDHURY, A, BERA, T. K, GHOSHAL, D, & CHAKRABORTY, B. (2015). Studying the electrical impedance variations in banana ripening using electrical impedance spectroscopy (EIS). *Proceedings of the 2015 Third International Conference on Computer, Communication, Control and Information Technology (C3IT)* [interaktyvus], 1–4. IEEE. <https://doi.org/10.1109/C3IT.2015.7060196>
22. ISLAM, MONZURUL, WAHID, KHAN, & DINH, ANH. (2018). Assessment of Ripening Degree of Avocado by Electrical Impedance Spectroscopy and Support Vector Machine. *Journal of Food Quality* [interaktyvus], 2018, 1–9 [žiūrėta 2020-12-02]. <https://doi.org/10.1155/2018/4706147>
23. WU, DI, & SUN, DA-WEN. (2013). Colour measurements by computer vision for food quality control – A review. *Trends in Food Science & Technology* [interaktyvus], 29(1), 5–20 [žiūrėta 2020-12-02]. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2012.08.004>
24. CASTRO, WILSON, OBLITAS, JIMY, DE-LA-TORRE, MIGUEL, COTRINA, CARLOS, BAZAN, KAREN, & AVILA-GEORGE, HIMER. (2019). Classification of Cape Gooseberry Fruit According to its Level of Ripeness Using Machine Learning Techniques and Different Color Spaces. *IEEE Access* [interaktyvus],, 7, 27389–27400 [žiūrėta 2020-12-02]. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2898223>
25. MUSTAFA, NUR BADARIAH AHMAD, FUAD, NURASHIKIN AHMAD, AHMED, SYED KHALEEL, ABIDIN, AIDIL AZWIN ZAINUL, ALI, ZAIPATIMAH, YIT, WONG BING, & SHARRIF, ZAINUL ABIDIN MD. (2008). Image processing of an agriculture produce: Determination of size and ripeness of a banana. *2008 International Symposium on Information Technology* [interaktyvus], 1, 1–7. IEEE [žiūrėta 2020-12-02]. <https://doi.org/10.1109/ITSIM.2008.4631636>
26. INTARAVANNE, YUTTANA, SUMRIDDETKAJORN, SARUN, & NUKEAW, JITI. (2012). Cell phone-based two-dimensional spectral analysis for banana ripeness estimation. *Sensors and Actuators. B, Chemical* [interaktyvus], 168, 390–394 [žiūrėta 2020-12-02]. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2012.04.042>
27. JI, WEI, KOUTSIDIS, GEORGIOS, LUO, RONNIER, HUTCHINGS, JOHN, AKHTAR, MAHMOOD, MEGIAS, FRANCISCO, & BUTTERWORTH, MICK. (2013). A digital imaging method for measuring banana ripeness. *Color Research and Application* [interaktyvus], 38(5), 364–374 [žiūrėta 2020-12-02]. <https://doi.org/10.1002/col.21741>
28. RINGER, T, DAMEROW, L, & BLANKE, M M. (2018). Non-invasive determination of surface features of banana during ripening. *Journal of Food Science and Technology* [interaktyvus], 55(10), 4197–4203 [žiūrėta 2020-12-02]. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3352-2>
29. LIEW, C.Y. & LAU, C.Y. (2012). Determination of quality parameters in Cavendish banana during ripening by NIR spectroscopy. *International Food Research Journal* [interaktyvus]. 19. 751-758 [žiūrėta 2020-12-10].
30. MOHAPATRA, ASUTOSH & BHOSALE, YUVRAJ & SHANMUGASUNDARAM, S. (2016). Physicochemical changes during ripening of red banana. *International Journal of Science, Environment and Technology* [interaktyvus]. 05. 1370-1348 [žiūrėta 2020-12-10].
31. D. AKMALIA, A. H. SAPUTRO AND W. HANDAYANI (2017) "A non-destruction measurement system based on hyperspectral imaging for sugar content in banana (*Musa sp.*)," *2017 International Seminar on Sensors, Instrumentation, Measurement and Metrology (ISSIMM)* [interaktyvus], 2017, pp. 91-94 [žiūrėta 2020-12-10], doi: 10.1109/ISSIMM.2017.8124269.

32. ADENJI, TA, & BARIMALAA, IS. (2010). Genotypic variation in fruit ripening time and weight reduction among a selection of new musa hybrids. *Journal of Applied Science & Environmental Management* [interaktyvus], 12(1) [žiūrėta 2020-12-10]. <https://doi.org/10.4314/jasem.v12i1.55565>
33. COX, KATY A, MCGHIE, TONY K, WHITE, ANNE, & WOOLF, ALLAN B. (2004). Skin colour and pigment changes during ripening of 'Hass' avocado fruit. *Postharvest Biology and Technology* [interaktyvus], 31(3), 287–294 [žiūrėta 2021-01-18]. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2003.09.008>
34. XOCA-OROZCO, LUIS-ÁNGEL, CUELLAR-TORRES, ESTHER ANGÉLICA, GONZÁLEZ-MORALES, SANDRA, GUTIÉRREZ-MARTÍNEZ, PORFIRIO, LÓPEZ-GARCÍA, ULISES, HERRERA-ESTRELLA, LUIS, ... CHACÓN-LÓPEZ, ALEJANDRA. (2017). Transcriptomic Analysis of Avocado Hass ( *Persea americana* Mill) in the Interaction System Fruit-Chitosan-Colletotrichum. *Frontiers in Plant Science Technology* [interaktyvus], 8, 956–956 [žiūrėta 2021-01-18]. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00956>
35. VALLEJO-PÉREZ, MOISÉS ROBERTO, TÉLIZ-ORTIZ, DANIEL, COLINAS-LEÓN, MARÍA T, DE LA TORRE-ALMARAZ, RODOLFO, VALDOVINOS-PONCE, GUADALUPE, NIETO-ÁNGEL, DANIEL, & OCHOA-MARTÍNEZ, DANIEL L. (2015). Alterations induced by Avocado sunblotch viroid in the postharvest physiology and quality of avocado 'Hass' fruit. *Phytoparasitica* [interaktyvus], 43(3), 355–364 [žiūrėta 2021-01-18]. <https://doi.org/10.1007/s12600-015-0469-y>
36. COX, KATY A, MCGHIE, TONY K, WHITE, ANNE, & WOOLF, ALLAN B. (2004). Skin colour and pigment changes during ripening of 'Hass' avocado fruit. *Postharvest Biology and Technology* [interaktyvus], 31(3), 287–294 [žiūrėta 2021-01-18]. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2003.09.008>
37. CLARK, C.J, MCGLONE, V.A, REQUEJO, C, WHITE, A, & WOOLF, A.B. (2003). Dry matter determination in 'Hass' avocado by NIR spectroscopy. *Postharvest Biology and Technology* [interaktyvus], 29(3), 301–308 [žiūrėta 2021-04-24]. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(03\)00046-2](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(03)00046-2)
38. AS7265x Smart Spectral Sensor. AMS Datasheet, 2018-Jul-09. [žiūrėta 2021-05-05]. Prieiga per internetą: <[https://ams.com/documents/20143/36005/AS7265x\\_DS000612\\_1-00.pdf/08051c8a-a7f6-6231-7993-2d3fe0bf38b8](https://ams.com/documents/20143/36005/AS7265x_DS000612_1-00.pdf/08051c8a-a7f6-6231-7993-2d3fe0bf38b8)>

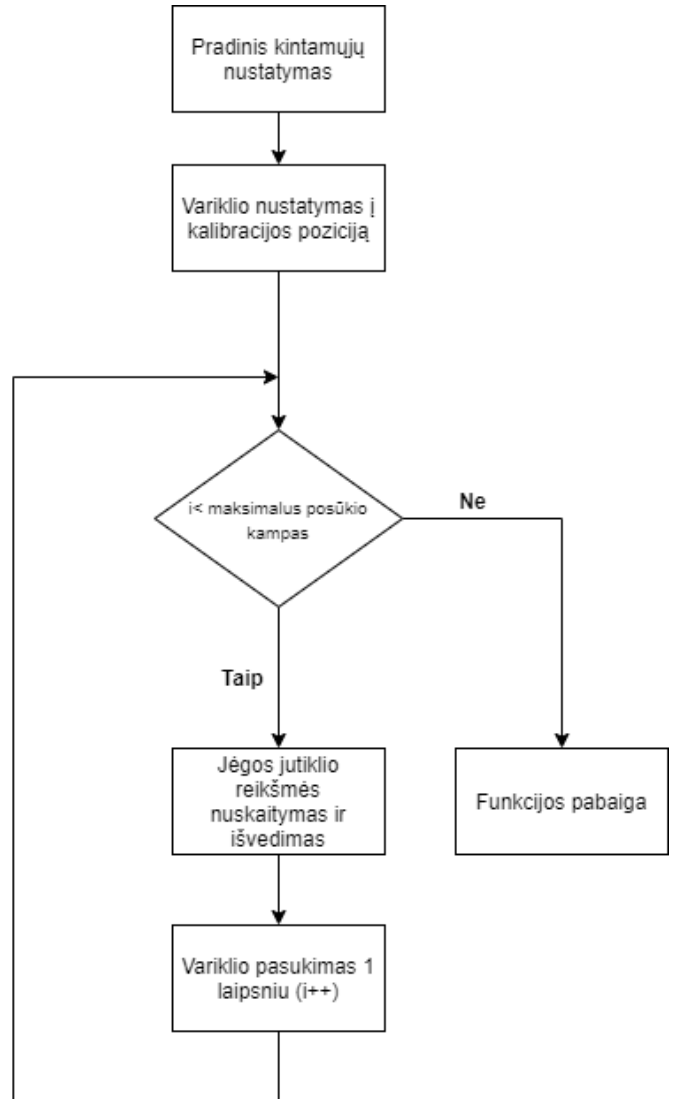
## Priedai

### 1 priedas. Matavimų sistemos programos veikimo algoritmai

1 funkcija – Vaisiaus dydžio nustatymas



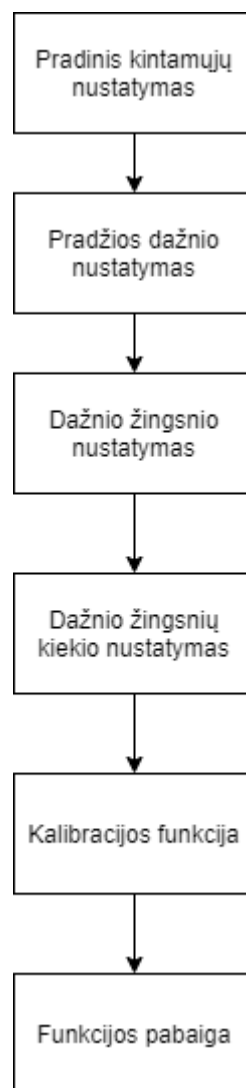
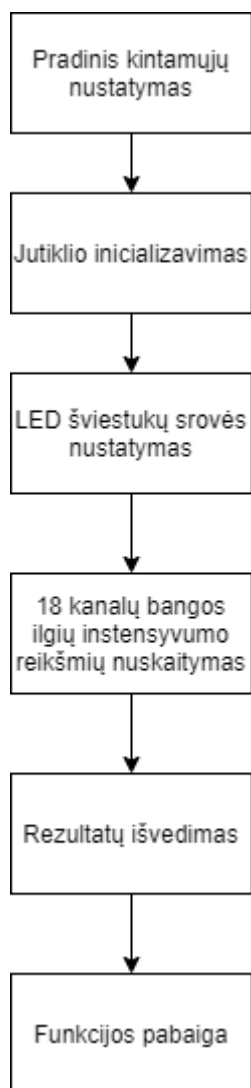
2 funkcija – Spaudimo jėgos matavimas



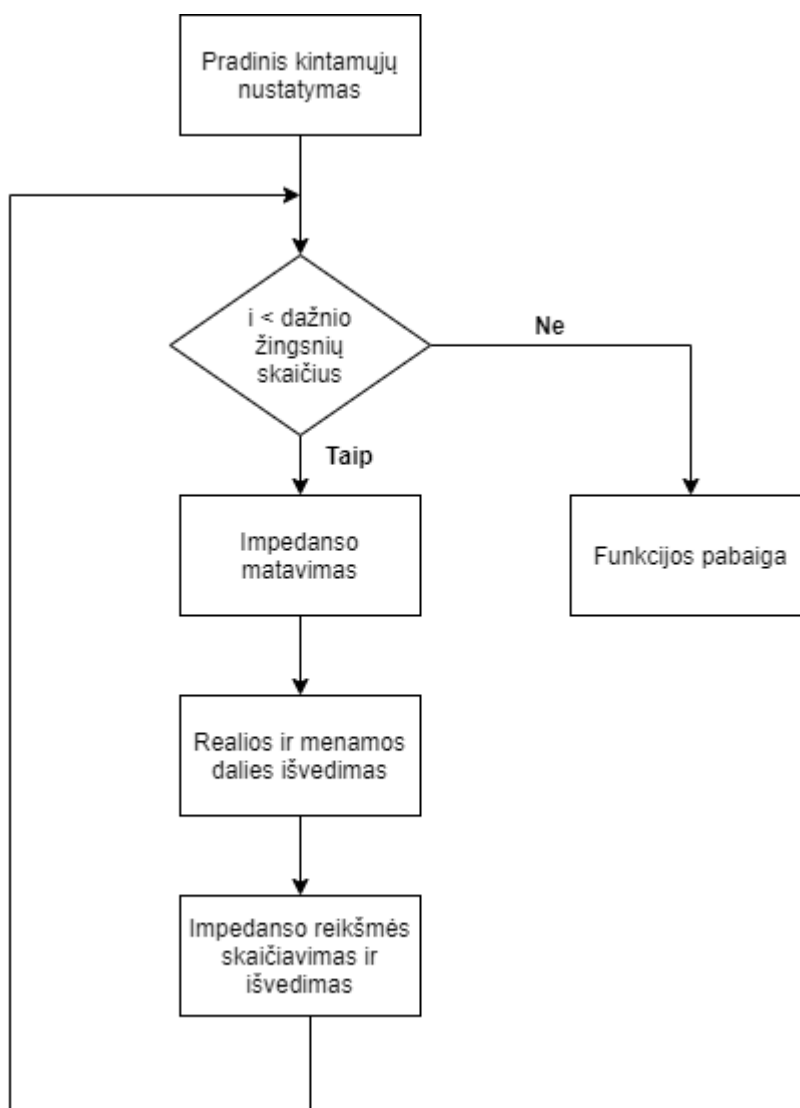


3 funkcija – Spektroskopijos matavimas

4 funkcija – Impedanso matavimo kalibracija



5 funkcija – Impedanso matavimas



## 2 priedas. Matavimų sistemos pasikartojamumo analizė

### Impedanso matavimo pasikartojamumo analizė

Dažnis, kHz	Impedansas, Ω										Vidurkis	Standartinis nuokrypis	Matavimo variacija
	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9	#10			
10	6045	6112	6144	6149	6145	6037	5958	6007	6054	6125	6077,60	63,44	1,04%
11	5952	6020	6051	6062	6054	5938	5857	5911	5959	6030	5983,29	66,40	1,11%
12	5870	5938	5971	5981	5970	5854	5776	5832	5878	5951	5902,12	66,34	1,12%
13	5786	5859	5893	5902	5892	5775	5702	5755	5801	5872	5823,88	65,59	1,13%
14	5709	5779	5813	5821	5815	5700	5631	5682	5726	5797	5747,50	62,97	1,10%
15	5640	5708	5743	5751	5740	5637	5576	5623	5662	5729	5680,94	58,06	1,02%
16	5578	5642	5674	5681	5672	5582	5523	5570	5604	5663	5618,88	51,92	0,92%
17	5528	5587	5614	5624	5616	5532	5480	5523	5556	5610	5566,93	47,34	0,85%
18	5480	5535	5561	5565	5563	5484	5434	5480	5513	5563	5517,97	44,22	0,80%
19	5435	5487	5513	5523	5515	5444	5396	5438	5467	5517	5473,51	41,78	0,76%
20	5400	5450	5475	5484	5476	5409	5364	5404	5432	5481	5437,44	39,77	0,73%
21	5365	5412	5436	5443	5438	5373	5330	5369	5398	5444	5400,89	37,96	0,70%
22	5327	5376	5399	5406	5399	5339	5299	5338	5364	5405	5365,21	35,98	0,67%
23	5299	5346	5367	5373	5367	5311	5271	5309	5333	5374	5334,96	34,29	0,64%
24	5273	5315	5336	5343	5336	5283	5246	5281	5304	5343	5305,94	32,28	0,61%
25	5246	5287	5307	5313	5308	5254	5221	5255	5274	5316	5278,25	31,28	0,59%
26	5221	5262	5281	5288	5281	5229	5201	5233	5253	5290	5253,73	29,97	0,57%
27	5197	5237	5257	5257	5254	5207	5175	5204	5227	5263	5227,84	28,85	0,55%
28	5179	5217	5233	5239	5233	5190	5157	5190	5210	5244	5209,10	27,69	0,53%
29	5159	5194	5211	5216	5212	5169	5136	5169	5188	5220	5187,34	26,91	0,52%
30	5137	5171	5188	5195	5191	5147	5121	5146	5164	5200	5165,86	26,00	0,50%
31	5122	5157	5170	5176	5172	5131	5104	5133	5149	5180	5149,47	24,79	0,48%
32	5104	5137	5151	5155	5152	5113	5086	5115	5132	5161	5130,62	23,80	0,46%
33	5088	5120	5132	5139	5135	5098	5071	5099	5115	5143	5113,94	22,89	0,45%
34	5074	5104	5117	5121	5118	5080	5058	5085	5099	5128	5098,38	22,12	0,43%
35	5061	5089	5102	5107	5102	5071	5048	5073	5085	5113	5085,01	20,27	0,40%
36	5047	5074	5088	5089	5087	5054	5030	5053	5068	5094	5068,54	20,70	0,41%
37	5035	5063	5073	5079	5075	5046	5021	5043	5061	5086	5058,15	20,10	0,40%
38	5020	5048	5059	5064	5060	5030	5007	5031	5044	5068	5043,10	19,37	0,38%
39	5009	5035	5045	5049	5047	5018	4996	5019	5033	5055	5030,68	18,26	0,36%
40	5001	5025	5036	5039	5036	5009	4987	5010	5022	5045	5021,03	17,86	0,36%
41	4990	5014	5025	5027	5025	4999	4978	5001	5011	5035	5010,53	17,45	0,35%
42	4983	5006	5013	5019	5015	4992	4971	4991	5006	5026	5002,08	16,61	0,33%
43	4970	4994	5003	5004	5003	4978	4959	4980	4990	5012	4989,30	16,27	0,33%
44	4961	4983	4992	4996	4992	4968	4950	4969	4980	5000	4979,10	15,71	0,32%
45	4955	4974	4983	4989	4985	4964	4944	4964	4972	4992	4972,15	14,69	0,30%
46	4945	4965	4973	4976	4973	4953	4934	4953	4963	4981	4961,57	14,38	0,29%
47	4940	4959	4965	4970	4966	4945	4929	4946	4957	4974	4955,18	13,79	0,28%
48	4931	4949	4957	4959	4956	4937	4921	4939	4947	4964	4946,06	13,02	0,26%
49	4926	4943	4949	4953	4950	4930	4914	4931	4941	4956	4939,23	12,88	0,26%
50	4922	4935	4944	4947	4946	4929	4913	4931	4936	4953	4935,55	11,71	0,24%
51	4913	4928	4935	4938	4935	4917	4903	4918	4928	4942	4925,82	12,00	0,24%
52	4907	4924	4928	4933	4929	4912	4897	4913	4921	4936	4919,85	11,74	0,24%
53	4903	4918	4925	4925	4924	4908	4893	4909	4917	4933	4915,43	11,57	0,24%
54	4896	4911	4918	4919	4916	4904	4888	4902	4909	4924	4908,67	10,81	0,22%
55	4890	4904	4910	4911	4910	4894	4880	4895	4902	4916	4901,12	10,62	0,22%
56	4884	4897	4903	4905	4903	4889	4876	4890	4896	4909	4895,32	9,96	0,20%
57	4881	4893	4899	4901	4900	4885	4873	4886	4893	4906	4891,62	9,75	0,20%
58	4875	4888	4893	4895	4893	4879	4866	4880	4886	4897	4885,24	9,51	0,19%
59	4870	4882	4887	4889	4887	4874	4862	4875	4882	4894	4880,25	9,17	0,19%
60	4868	4880	4884	4886	4885	4871	4860	4873	4878	4889	4877,51	8,73	0,18%
61	4865	4875	4879	4882	4879	4867	4856	4868	4874	4885	4872,92	8,47	0,17%
62	4860	4870	4875	4877	4875	4863	4852	4863	4869	4880	4868,58	8,32	0,17%
63	4856	4866	4870	4873	4871	4860	4847	4860	4866	4874	4864,30	8,11	0,17%
64	4851	4861	4865	4866	4865	4853	4844	4854	4860	4870	4858,97	7,73	0,16%
65	4847	4857	4862	4862	4861	4850	4842	4850	4856	4866	4855,38	7,40	0,15%
66	4846	4855	4859	4860	4858	4848	4839	4848	4854	4863	4853,08	7,26	0,15%
67	4843	4852	4855	4857	4855	4846	4836	4845	4851	4860	4849,91	7,11	0,15%
68	4839	4846	4851	4853	4849	4841	4833	4841	4846	4854	4845,27	6,32	0,13%
69	4837	4845	4849	4849	4848	4840	4830	4839	4845	4852	4843,39	6,47	0,13%
70	4840	4847	4851	4849	4851	4841	4830	4840	4846	4854	4844,89	6,89	0,14%
71	4830	4838	4841	4843	4841	4832	4823	4832	4836	4844	4835,85	6,44	0,13%
72	4826	4832	4835	4837	4835	4827	4821	4828	4831	4840	4831,25	5,67	0,12%
73	4826	4832	4835	4837	4836	4828	4819	4828	4831	4839	4831,03	5,76	0,12%
74	4824	4829	4832	4833	4831	4825	4816	4824	4829	4834	4827,76	5,20	0,11%
75	4818	4825	4827	4829	4828	4816	4812	4819	4824	4830	4822,76	5,83	0,12%
76	4818	4824	4827	4828	4827	4819	4812	4818	4822	4830	4822,47	5,38	0,11%
77	4816	4821	4824	4826	4824	4817	4810	4817	4820	4825	4819,86	4,78	0,10%
78	4814	4819	4821	4823	4821	4813	4807	4813	4818	4823	4817,23	5,15	0,11%
79	4810	4818	4819	4820	4819	4811	4804	4812	4814	4821	4814,73	5,17	0,11%
80	4809	4815	4818	4818	4817	4811	4804	4810	4814	4819	4813,57	4,57	0,09%
81	4807	4813	4814	4816	4815	4807	4801	4808	4810	4817	4810,95	4,76	0,10%
82	4806	4810	4812	4814	4812	4805	4800	4804	4808	4813	4808,44	4,35	0,09%
83	4804	4809	4811	4811	4811	4804	4799	4804	4806	4812	4807,08	4,09	0,09%
84	4804	4808	4809	4811	4809	4803	4798	4803	4807	4812	4806,33	3,98	0,08%
85	4796	4802	4802	4804	4802	4794	4796	4801	4806	4811	4801,31	4,83	0,10%
86	4795	4798	4800	4802	4801	4795	4790	4795	4798	4801	4797,42	3,65	0,08%
87	4796	4799	4801	4802	4800	4795	4791	4794	4798	4801	4797,84	3,54	0,07%
88	4796	4800	4801	4801	4801	4795	4791	4795	4797	4801	4797,83	3,26	0,07%
89	4795	4797	4799	4799	4797	4793	4789	4792	4795	4799	4795,55	3,36	0,07%
90	4794	4797	4798	4799	4797	4792	4788	4793	4795	4798	4795,14	3,12	0,06%
91	4794	4796	4797	4797	4796	4792	4788	4791	4794	4797	4794,14	2,92	0,06%
92	4792	4793	4794	4794	4794	4788	4785	4788	4791	4794	4791,39	3,00	0,06%
93	4791	4792	4793	4793	4793	4788	4784	4787	4789	4792	4790,33	2,81	0,06%
94	4790	4793	4792	4795	4791	4787	4785	4786	4789	4792	4790,01	3,07	0,06%
95	4790	4791	4792	4792	4792	4786	4784	4788	4789	4792	4789,56	2,74	0,06%
96	4787	4789	4790	4789	4788	4785	4781	4784	4785	4788	4786,67	2,58	0,05%
97	4786	4788	4788	4789	4788	4782	4780	4783	4785	4786	4785,53	2,88	0,06%
98	4787	4788	4788	4787	4788	4783	4782	4784	4784	4786	4785,68	2,35	0,05%
99	4786	4787	4786	4787	4786	4781	4779	4782	4782	4786	4784,16	2,78	0,06%
100	4785	4786	4786	4786	4786	4781	4779	4781	4782	4783	4783,59	2,43	0,05%

*Spektroskopijos matavimo pasikartojamumo analizė*

Bangos ilgis, nm	Atspindėjimo koeficientas										Vidurkis	Matavimo variacija
	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9	#10		
410	0.245	0.245	0.247	0.247	0.247	0.247	0.248	0.248	0.248	0.248	0.247	0.43%
435	0.186	0.186	0.186	0.186	0.186	0.186	0.186	0.186	0.186	0.186	0.186	0.10%
460	0.251	0.251	0.251	0.251	0.251	0.251	0.251	0.251	0.251	0.251	0.251	0.05%
485	0.128	0.128	0.128	0.128	0.128	0.128	0.128	0.128	0.128	0.128	0.128	0.05%
510	0.116	0.116	0.115	0.115	0.115	0.115	0.115	0.115	0.115	0.115	0.115	0.26%
535	0.129	0.130	0.129	0.129	0.129	0.129	0.129	0.129	0.129	0.129	0.129	0.26%
560	0.207	0.208	0.206	0.206	0.206	0.206	0.206	0.206	0.206	0.206	0.206	0.31%
585	0.164	0.164	0.163	0.163	0.163	0.163	0.163	0.162	0.162	0.162	0.163	0.31%
610	0.149	0.149	0.148	0.148	0.148	0.148	0.148	0.148	0.148	0.148	0.148	0.26%
645	0.159	0.160	0.158	0.158	0.158	0.158	0.158	0.158	0.158	0.158	0.158	0.30%
680	0.478	0.479	0.477	0.477	0.476	0.477	0.476	0.476	0.476	0.476	0.477	0.21%
705	0.185	0.186	0.184	0.184	0.184	0.184	0.184	0.184	0.184	0.184	0.184	0.27%
730	0.266	0.266	0.264	0.264	0.264	0.263	0.263	0.263	0.263	0.263	0.264	0.45%
760	0.388	0.390	0.387	0.386	0.385	0.385	0.385	0.384	0.384	0.384	0.386	0.45%
810	0.392	0.395	0.388	0.388	0.386	0.386	0.386	0.385	0.385	0.385	0.388	0.80%
860	0.675	0.678	0.669	0.668	0.666	0.666	0.666	0.664	0.665	0.665	0.668	0.66%
900	0.484	0.484	0.483	0.483	0.483	0.483	0.483	0.483	0.483	0.483	0.483	0.05%
940	0.491	0.490	0.495	0.495	0.496	0.496	0.496	0.497	0.496	0.497	0.495	0.47%

*Spaudimo jėgos matavimo pasikartojamumo analizė*

Spaudimo žingsnis	Spaudimo jėga, g										Vidurkis	Standartinis nuokrypis	Matavimo variacija
	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9	#10			
1	170	175	178	164	162	208	191	221	185	165	181.819	18.737411	10.31%
2	192	200	199	202	199	244	260	270	208	210	218.466	27.002216	12.36%
3	220	242	241	248	254	308	297	315	306	252	268.314	32.603062	12.15%
4	303	271	288	277	286	353	360	384	336	326	318.488	37.134554	11.66%
5	349	300	303	312	351	384	386	403	379	351	351.860	34.996716	9.95%
6	384	370	333	348	370	400	403	430	406	409	385.233	28.714339	7.45%
7	405	395	384	419	433	449	465	476	433	424	428.140	27.910852	6.52%
8	426	430	440	451	465	492	495	506	444	434	458.256	28.049298	6.12%
9	440	450	455	470	494	514	510	519	457	441	474.884	29.782881	6.27%
10	449	458	466	490	510	545	533	535	466	453	490.581	35.316884	7.20%
11	460	479	491	513	524	556	556	553	480	470	508.256	35.442997	6.97%
12	486	499	505	520	541	563	566	570	494	474	521.744	33.805227	6.48%
13	500	500	515	522	548	564	570	588	506	485	529.767	33.403478	6.31%
14	508	508	520	531	549	578	581	600	509	500	538.488	34.440793	6.40%
15	514	517	526	551	565	588	594	616	515	509	549.651	37.249433	6.78%
16	530	531	536	557	580	602	602	626	526	523	561.395	36.188019	6.45%
17	542	543	538	559	587	610	609	631	536	533	568.953	35.250207	6.20%
18	552	552	547	566	598	615	619	642	541	547	577.791	35.101837	6.08%
19	555	550	563	570	608	626	627	647	543	553	584.070	36.505147	6.25%
20	557	553	567	580	614	631	630	657	547	558	589.535	37.847006	6.42%