

VILNIAUS UNIVERSITETAS

Gamtos mokslų fakultetas

Biofizikos studijų programos M II kurso studentė

Kristina Šliogerytė

Magistro darbas

Vejos mišinio lapų atspindžių matomoje ir artimojoje infraraudonoje  
šviesoje tyrimas

Darbo vadovai:

Lekt. A. Daktariūnas

Doc. V. Sakalauskas

Vilnius 2007

Vejos mišinio lapų atspindžių matomoje ir artimojoje infraraudonoje  
šviesoje tyrimas

Darbas atliktas

Kristina Šliogerytė

Darbo vadovai:

Lekt. A. Daktariūnas

Doc. V. Sakalauskas

## TURINYS

Išvadas .....	4
1. LITERATŪROS APŽVALGA .....	6
1.1. Lapo sandara .....	6
1.2. Pigmentai .....	7
1.2.1 Chlorofilai .....	8
1.2.2. Chlorofilų struktūra .....	8
1.2.3. Cheminės ir fotocheminės chlorofilų savybės.....	9
1.2.4. Karotinoidai.....	11
1.2.5. Antocianai .....	13
1.3. Šviesos sklaida .....	14
1.4. Raudonasis kraštas .....	19
1.5. Vandens kiekis .....	20
1.6. Difuzinis atspindys .....	21
1.7. Lapo mezofilio sluoksnio: oro įtaka lapo atspindžiui .....	22
1.8. Lapo amžius .....	23
1.9. Lapo paviršiaus ypatumai (epidermis, vaškas ir plaukeliai) .....	24
1.10. Albedas .....	25
1.11. Bugerio ir Lamberto dėsnis .....	26
2. METODIKA .....	29
2.1. Darbo schema .....	29
2.2. Šviesos detektorius .....	29
2.3. Duomenų įvesties ir valdymo įrenginys e-Biol .....	30
2.3.1. Universalus kompiuterinio elektrinių signalų įvesties ir valdymo įtaiso aprašymas.....	30
2.4. Šviesos šaltiniai .....	31
2.5. Programinė įranga .....	31
2.6. Skaitmeninis fotoaparatas .....	32
2.7. Tyrimas .....	32
3. REZULTATAI .....	38
3.1. Vejos atspindžiai vandens stygiaus metu.....	38
3.1.1. Atspindžiai išmatuoti fotoelektrine sistema su šviesos diodais .....	38
3.1.2. Atspindžiai iš nuotraukų džiūvimo periodu .....	42
3.2. Trašų įtaka vejos mišinio lapų atspindžiams .....	48
3.2.1. Atspindžiai išmatuoti fotoelektrine sistema su šviesos diodais .....	48
3.2.2. Vejos mišinio lapų atspindžiai apskaičiuoti iš nuotraukų tręšimo laikotarpiu .....	51
3.2.3. Atspindžiai vejos tręšimo laikotarpiu, veją auginant lauko sąlygomis....	55
Išvados .....	61
LITERATŪROS SĄRAŠAS .....	63
Santrauka .....	65
Summary .....	67

## IVADAS

Jau ne vieną dešimtmetį trunka įvairūs augalų fiziologiniai tyrinėjimai, kurių pagalba norima ne tik išsiaiškinti augalų vystymąsi, augimą, bet ir sukurti kuo optimaliausias augimo sąlygas, tuo siekiant padidinti fotosintezės našumą, sutrumpinti ir pagreitinti augimą, pagerinti biomasės išėigą. Pagrindinis tokių darbų tikslas, tirti šviesos spektrinių parametru įtaką augalų fiziologijai. Augalai sugeria 80 - 85% matomos šviesos. Likusią dalį atspindi (~10%) arba praleidžia pro lapą (~5 -10%). Taip pat sugeria ir 25% infraraudonosios spinduliuotės. Yra manoma, kad optimalus augalų augimui ir vystimuisi spektrinės energijos pasiskirstymas sudaro apie 10% energijos mėlynosios spektro dalies (440–460 nm) ir 90% raudonosios spektro dalies. Trumpesnių bangų nei 400 nm, spektro sritis augalams nereikalinga ir sukelia nepageidaujamus efektus (ardo kai kurių audinių ląsteles). Infraraudonoji spinduliuotė virš 800 nm neskatina augalų vystimosi ir gali būti net žalinga, nes didina lapų ir kitų augalo dalių temperatūrą. Fotosintezei panaudojama tik 1-2% visos sugertos spinduliuotės, o kita dalis energijos eikvojama transpiracijai.

Tiriant augalų lapų atspindžius galima gauti daug ir naudingos informacijos apie augalo būklę (trūkumus maisto medžiagų, vandens), jo audinių sudėtį (pigmentus, oro tarpus esančius parenchimoje). Tokie tyrimai daugeliu atveju naudingi ir žemdirbystės srityje. Atlikta keletą tyrimų, kurie parodė, kad augalinių kultūrų atspindžiai skiriasi nuo juose augančių piktžolių atspindžių, pasinaudojant atspindžio pagalba galima nesunkiai aptikti piktžolių buvimo vietas. Tuomet herbicidus bus galima naudoti ne visam laukui, o tik tose vietose, kur auga piktžolės, taip bus sumažinama aplinkos tarša ir sutaupomi chemikalai.

Remiantis augalų lapų atspindžiais galima nustatyti sergančius augalus iš pakitusių atspindžių lyginant juos su sveikų augalų lapų atspindžiais.

Kita tokio tyrimo nauda, kad atspindžio pagalba galima nustatyti augalui trūkstančias maisto medžiagas (fosforą, azotą ir kt.), o taip pat ir per didelį jų kiekį. Įvertinus maisto medžiagų kiekius, tręšiamas ne visas laukas, o tik tos vietos, kur buvo pastebėtas maisto medžiagų trūkumas. Taip taupomos trąšos, gaunamas didesnis derlius, o ir vartojami produktai yra sveikesni.

Pasinaudojus optiniais metodais nesunkiai galima nustatyti augalą veikiančias stresines sąlygas, kaip, kad vandens stoka (sausra). Labai svarbu kuo anksčiau nustatyti augaluose prasidėjusį vandens stygių, kol dar nematomas akimis. Laiku nustačius ir palaisčius augalai bus išgelbėti nuo pražūties. Vandens streso tyrimai labai aktualūs žemės ūkyje, kur pasėlių plotai dideli.

Tyrimų metu lapų atspindžiai matuojami skirtingais bangų ilgiais ir žiūrima, kaip atspindys keičiasi augalui augant, kaip priklauso nuo vandens stokos. Tam kad metodas būtų tinkamas naudoti dideliems plotams tiriama nuotoliniu būdu, pirmiausia eksperimentai atliekami laboratorinėmis sąlygomis tiriant nedidelius plotelius augalų, norint išsiaiškinti atspindžio kitimo priežastys.

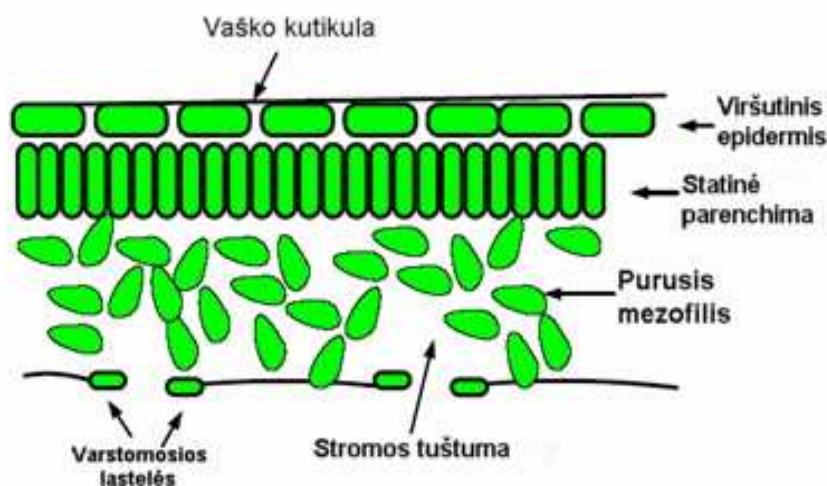
Darbo tikslas – ištirti (išmatuoti) vejos mišinio lapų atspindžius, augalo augimo metu, keičiantis augalo fiziologinei būklei, kai jis nelaistomas (patiria vandens stokos stresą) ir tręšiamas skirtingos koncentracijos  $\text{KNO}_3$  trąšomis. Keliami uždaviniai:

- Ištirti vejos mišinio lapų atspindžių kitimą, didėjant vandens trūkumui dirvoje (vandens streso sąlygomis).
- Palyginti vandens streso paveiktų vejos mišinio lapų atspindžius išmatuotus naudojant pasirinkto bangos ilgio šviesos šaltiniais ir išskirtus iš nuotraukų.
- Ištirti, kaip kinta lapų atspindžiai, kai augalai yra tręšiami skirtingos koncentracijos  $\text{KNO}_3$  trąšomis. Palyginti, kaip skiriasi laistomų vandeniu ir tręštų augalų lapų atspindžiai.
- Ištirti kaip kinta vejos mišinio lapų atspindžiai veją tręšiant skirtingos koncentracijos  $\text{KNO}_3$  trąšomis ir auginant lauko sąlygomis.
- Nustatyti kaip kinta vejos mišinio lapų spalva, kai veja nelaistoma (vandens streso metu) ir tręšiama skirtingos koncentracijos  $\text{KNO}_3$  trąšomis.

## 1. LITERATŪROS APŽVALGA

### 1.1 Lapo sandara

Lapas yra pagrindinis ir svarbiausias augalo gyvybę palaikantis organas. Jis gamtoje prisitaikęs atlikti daugybę skirtingų ir sudėtingų funkcijų.



1.1. pav. Lapo sandara

Lapą iš viršaus ir apačios dengia epidermis (1.1. pav). Audinys, esantis tarp viršutinio ir apatinio epidermio, vadinamas mezofilium. Daugumos augalų mezofilį sudaro dviejų tipų ląstelės. Vienos iš jų yra pailgos ir išsidėsčiusios statmenai lapo paviršiui. Tokios ląstelės vadinamos statinėmis ir sudaro statinės parenchimos sluoksnį. Kitos

mezofilio ląstelės yra mažesnės, netaisyklingos formos. Iš jų sudaryta purioji parenchima [1].

Fotosintezė vyksta visose mezofilio ląstelėse, bet geriau jai prisitaikusi statinė parenchima. Todėl daugiau kaip 80% visų lapo chloroplastų yra susitelkę statinėje parenchimoje, nors ji užima tik apie 50% mezofilio tūrio [1].

Tarp puriosios parenchimos ląstelių yra dideli tarpuląščiai, kuriais difunduoja oras ir vandens garai. Kadangi lapą iš abiejų pusių dengia epidermis su vandeniu ir dujoms beveik nepralaidžia kutikula, tai oras, kartu ir  $\text{CO}_2$ , į lapo vidų patenka pro žioteles. Lapo paviršius  $1 \text{ cm}^2$  jų būna nuo 10000 iki 100000. nors bendras jų angelių plotas sudaro ne daugiau kaip 1% lapo paviršiaus, tačiau apie 90 – 95%  $\text{CO}_2$  į lapą patenka pro žioteles ir tik 5 – 10% - pro epidermį ir kutikulą. Į jaunus lapus pro epidermį, kol jis be kutikulos, gali patekti apie 50% viso  $\text{CO}_2$  kiekio. Pro žioteles  $\text{CO}_2$  patenka į tarpuląščius, jais pasiekia mezofilio ląsteles ir į jas difunduoja [1].

Augalo lapo storis būna nuo 50 iki 200  $\mu\text{m}$ , tai sudaro apie 4 – 10 ląstelių. Mezofilio sluoksnyje kaupiasi chlorofilas, kuris atsakingas už fotosintezę [10].

Pagal tai kaip lape išsidėsčiusios žiotelės augalai skirstomi į dvi grupes: augalai žiotelės turintys abiejose lapo pusėse ir augalai turintys žiotelės vienoje lapo pusėje. Nuo to labai priklauso kaip lape cirkuliuoja dujos. Augalai turintys žiotelės iš abiejų pusių turi storus lapus, fotosintezę vykdo dideliu pajėgumu ir prisitaikę augti drėgname dirvožemyje [10].

Sausesnių vietų augalų žiotelės paprastai būna tik vienoje pusėje – dviskilčių apatinėje, o varpinių viršutinėje lapo pusėje. Lapui susisukus, žiotelės atsiduria vamzdelio viduje. Vandens paviršiuje plaukiojančiųjų lapų žiotelės tik viršutinėje lapo pusėje, o vandens augalai, kurių visi lapai pasinėrę, žiotelių visai neturi [16].

Lapo konstrukciją daugiausia nulemia aplinkos veiksniai. Augalų augančių saulėje ir šešėlyje skiriasi lapo struktūra. Saulėje augančių augalų lapai yra storesni, didesnės masės ir turi daugiau žiotelių [10].

Nustatyta, kad mezofilyje esantys oro tarpai reikalingi lapo vidinių sluoksnių apsaugai ir dujų pernešimui lape. Lapo storis apriboja CO<sub>2</sub> difuziją ir šviesos patekimą pro mezofilį. Kuo lapai storesni tuo daugiau šviesos spindulių sulaikoma, todėl augalai turėdami storus lapus prisitaikę augti karšto klimato sąlygomis, esant dideliame spinduliavimui [10].

Fotosintezę atlieka žaliosios plastinės – chloroplastai. Jie yra savarankiškos fotosintezės „laboratorijos“, nes funkcionuoja net išskirtos iš ląstelių. Pirmą kartą tą įrodė D. Arnonas 1955 m.[1].

Vienoje ląstelėje būna nuo 20 iki 100 chloroplastų. Jie gali būti tolygiai pasiskirstę, bet dažniau telkiasi apie branduolį ar palei sienelės. Kintant apšvietimui, chloroplastai, savarankiškai judėdami maždaug 0,12 μm/s greičiu, gali keisti savo vietą ir padėti ląstelėje. Kai šviesa silpna, jie pasisuka taip, kad šviesos spinduliai kristų į jų plokštumą. Jeigu ji ryški, chloroplastai pasislenka prie šoninių ląstelės sienelių ir spinduliams atgrežia briauna. Taip jie apsisaugo nuo suirimo ir prisitaiko produktyviai naudoti saulės energiją [1].

Chloroplastų yra lapų mezofilio, žolinių augalų stiebų, medžių ir krūmų ūglių žievės parenchimos, taurėlapių, neprinokusių sėklų, vaisių ir kitų augalų organų bei audinių ląstelėse [1].

## 1.2. Pigmentai

Augaluose atrasta net keli šimtai įvairių spalvų pigmentų. Atsižvelgiant į jų cheminę sudėtį ir struktūrą, suskirstyti į 4 grupes: chlorofilai, karotinoidai, fikobilinai ir flavonoidai. Fotosintezėje iš jų dalyvauja chlorofilai, fikobilinai ir kai kurie karotinoidai [1].

Pigmentai augaluose dalyvauja net tik fotosintezės procese, bet ir apsprendžia augalų spalvas.

### 1.2.1. Chlorofilai

Chlorofilu (gr. chloron - žalias, phylon - lapas) Ž. Peltjė ir Ž. Kavantu pavadino žaliaji augalų pigmentą, kai 1818 m. pirmą kartą jį išskyrė iš lapų. Tolimesniuose tyrinėjimuose buvo ypač svarbūs R. Vilsterio ir G. Fišerio darbai [1].

Pagrindinis pigmentas, dalyvaujantis fotosintezėje, yra chlorofilas. Chlorofilo funkcija – sugerti šviesos spindulius, kurių energija paverčiama į cheminę ir panaudojama angliavandenių sintezei iš CO<sub>2</sub>.

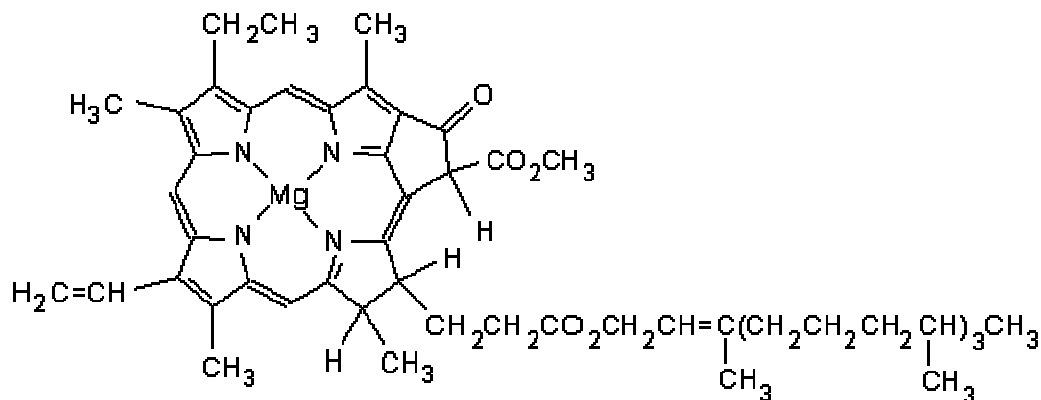
Pagrindiniai augaluose randami chlorofilai yra chlorofilas a ir chlorofilas b. Nors chlorofilų a ir b cheminė struktūra yra labai panaši, jie skiriasi spalva, paplitimu ir atliekamomis funkcijomis. Chlorofilas a yra melsvai žalias, o chlorofilas b – gelsvai žalias. Itin paplitęs ir svarbesnis yra chlorofilas a. Be jo fotosintezė vykti negali, todėl jo turi visi žalieji augalai. Paplitęs ir chlorofilas b. Jo, išskyrus žaliadumblius ir euglendumblius, nerasta tik dumbliuose, tačiau visuose augaluose yra mažiau nei chlorofilo a. Trims chlorofilo a molekulėms vidutiniškai tenka tik po vieną chlorofilo b molekulę, o kartais tas santykis gali būti net 5:1. Bendras chlorofilų a ir b kiekis yra nedidelis: jų daliai tenka mažiau kaip 1% sausos lapų masės [1].

Dumbliuose randamas dar ir chlorofilas c, chlorofilas d. Bakterijos, kurios atlieka fotoredukciją, turi įvairių bakteriochlorofilų. Jie būna keturių tipų: a, b, c ir d [1].

### 1.2.2. Chlorofilų struktūra

Chlorofilų struktūra buvo nustatyta tiriant jų skilimo dėl rūgščių ir šarmų poveikio eigą. Jie yra sudėtingos dikarboninės chlorofilino rūgšties esteriai. Viename rūgšties karboksile vandenilis pakeistas metanolio (CH<sub>3</sub>OH), o kitame – fitolio (C<sub>20</sub>H<sub>39</sub>OH) liekana. Fitolis – netirpus vandenyje nesotusis alkoholis, izopreno darinys. Į kai kurių chlorofilų sudėtį jis neįeina. Visų chlorofilų centrinės molekulės dalies struktūra yra vienoda. Vieni nuo kitų jie skiriasi tik kuria nors šonine grupe [1].





1.2.2. pav. Chlorofilo a cheminė struktūra

Chlorofilų molekulės branduolys sudarytas iš keturių pirolo žiedų liekanų, kurių centre tarp dviejų iš jų azoto atomų įjungtas  $Mg^{2+}$  (1.2.2.pav) pateiktas chlorofilas a. Vykstant chlorofilo molekulės biosintezei išjungus magniui, susidaro protochlorofilidas. Šviesoje per kelias sekundes protochlorofilidas virsta chlorofilidu [2].

Prie porfirino žiedo prijungtas nedidelis ciklopentano žiedas. Jis sudarytas iš ketopropiono rūgšties liekanos ir turi chemiškai aktyvią karbonilinę bei metilintą karboksilinę grupę [1].

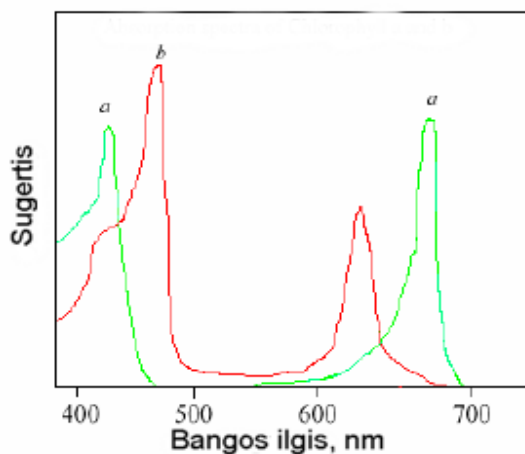
### 1.2.3. Cheminės ir fotocheminės chlorofilų savybės

Visų chlorofilų būdinga savybė ta, kad jie netirpsta vandenyje ir greitai pakinta veikiami šarmų bei rūgščių. Paveikus šarmu, įvyksta chlorofilo muilinimo reakcija: chlorofilas suskyla į fitolį, metanolį bei chlorofilino rūgštį, kuri reaguoja su šarmo katijonu ir susidaro atitinkama druska. Ji yra žalios spalvos, nes per muilinimo reakciją porfirino žiedo struktūra nepakinta [1].

Veikiant rūgštimi, magnį chlorofilo molekulėje pavaduoja rūgšties vandenilis ir susidaro rausvos spalvos junginys, vadinamas feofitinu. Jo molekulėje du vandenilio atomus pakeitus vario, cinko arba kito metalo atomu, vėl susidaro žalios spalvos junginys. Vadinasi, chlorofilo spalvą lemia metalo atomo ir porfirino žiedo sąveika [1].

Augaluose chlorofilai būna susijungę su baltymais ir lipidais. Chlorofilus ekstrahuojant, šie ryšiai nutrūksta ir dėl to pakinta kai kurios jų savybės. Augale esantys chlorofilai atsparūs aplinkos veiksniams. Jie pradeda irti tik labai stiprioje šviesoje ir tuo pačiu metu trūkstant vandens. Ekstrahuoti iš augalų chlorofilai pasidaro labai jautrūs šviesai bei deguoniui ir jų veikiami greitai

fotooksiduoja – greitai praranda spalvą - išblunka. Tai patvirtina, jog chlorofilų ekstraktas ilgai neišblunka tamsoje ir aplinkoje be deguonies [1].



1.2.3. pav. Chlorofilo a ir b sugertis

Svarbiausia chlorofilų savybė yra gebėjimas sugerti šviesos spindulius. Chlorofilų sugerties spektras rodo (1.2.3.pav), kad chlorofilai intensyviai absorbuoja violetinius ir mėlynuosius ( $\lambda = 400\text{--}470\text{ nm}$ ) bei raudonuosius ( $\lambda = 620\text{--}700\text{ nm}$ ) regimosios šviesos spindulius, o kitų spindulių beveik neabsorbuoja [1].

Mėlynuosius ir jiems artimus spindulius absorbuoja konjuguotos viengubos ir dvigubos chlorofilo molekulės porfirino žiedo dalys, o raudonuosius –IV piropo žiedo vandenilio ir

magnio sąlygojamos jungtys.

Šios chlorofilo molekulės savybės lemia ir tai, kad mažai sugeria geltonųjų ir žaliųjų spindulių [2].

Chlorofilų a ir b spektrai nesutampa (1.2.3. pav.). Skiriasi ir šių chlorofilų šviesos sugerties koeficientai: raudonuosius spindulius labiau sugeria chlorofilas a, mėlynuosius – chlorofilas b. Chlorofilas a intensyviausiai sugeria spindulius, kurių bangos ilgis yra 420 ir 660 nm. Raudonojoje spektro dalyje chlorofilas a turi dar keliolika sugerties maksimumų, todėl išskirta nemažai įvairių jo formų. Pastarosios žymimos skaitmeniniais indeksais, kurie atitinka intensyviausiai sugeriamą spindulių bangos ilgį nm:  $a_{660}$ ,  $a_{662}$ ,  $a_{668}$ ,  $a_{670}$ ,  $a_{677}$ ,  $a_{679}$ ,  $a_{680}$ ,  $a_{684}$ ,  $a_{687}$ ,  $a_{695}$ ,  $a_{700}$ ,  $a_{705}$ . Kiti chlorofilai turi tik po vieną mėlynųjų ir raudonųjų spindulių sugerties maksimumą: chlorofilas b – 435 ir 643 nm, chlorofilas c – 445 ir 625 nm, chlorofilas d – 450 ir 690 nm [1].

Neapšviesto chlorofilo molekulės stabilios, bet yra žemiausio energetinio lygmens (singletas  $S_0$ ). Absorbavus šviesos kvantą, energija perduodama chlorofilo molekulės valentiniam elektronui, kuris peršoka į didesnės energijos orbitalę, tada molekulė pereina į pirmą ( $S_1$ ) arba antrą ( $S_2$ ) sužadintą būseną. Energija gali būti eikvojama šilumos pavidalu, būti panaudojama cheminėms reakcijoms. Kai šviesa eikvojama, pakitusio bangos ilgio matomos spektro dalies spinduliais vyksta fluorescencija. Chlorofilai daugiausia spinduliuoja rusvai raudonus (668nm) spindulius [2].

Chlorofilo arba kitos fotochemiškai aktyvios medžiagos molekulė iš karto gali absorbuoti vieną šviesos kvantą. Pastarojo energija yra atvirkščiai proporcinga spindulių bangos ilgiui. Todėl

violetinių spindulių ( $\lambda=420$  nm), kuriuos gerai sugeria chlorofilas a, vieno molio kvantų ( $6,02 \times 10^{23}$  kvantų) energija yra 285 kJ, o taip pat intensyviai jo sugeriamų raudonųjų spindulių ( $\lambda=660$  nm) – tik 181 kJ [1].

#### 1.2.4. Karotinoidai

Gamtoje karotinoidus pastebime tik nežaliose augalų dalyse, rudenėjančių augalų pageltusiuose lapuose. Žaliuose lapuose oranžiniai, raudoni ir geltoni pigmentai tarsi užtušuojami chlorofilu. Nežaliose augalo dalyse karotinoidai telkiasi chromoplastuose, o žaliose – chloroplastuose. Karotinoidų pavadinimas kildinamas iš morkų (*Daucus carota*) pavadinimo [2].

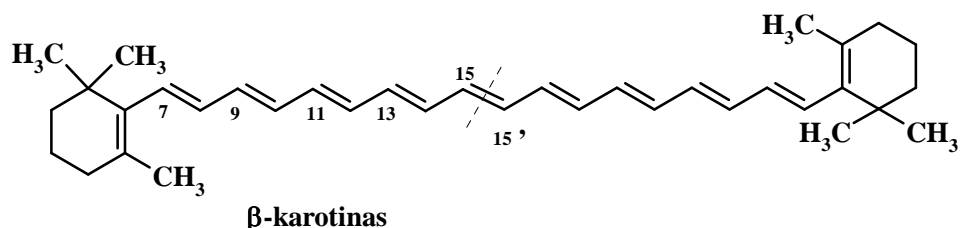
Augalų lapuose karotinoidai vidutiniškai tesudaro 0,07–0,2% jų sausos masės. Kai kuriuose augalų organuose šių pigmentų koncentracija būna didesnė [1].

Iš viso dabar žinoma apie 400 įvairių karotinoidų. Visi jie turi hidrofobinių savybių. Pagal cheminę sudėtį, karotinoidai skirstomi į dvi grupes. Vienai grupei priklauso tie, kurių sudėtį neįeina deguonis, o kitai grupei priskiriami deguonies turintys karotinoidai [1].

Iš bedeguonių karotinoidų gamtoje itin paplitę likopinas ir karotinas. Likopinas ( $C_{40}H_{56}$ ) – nesotusis atviros grandinės angliavandenis. Jis yra raudonos spalvos [1].

Karotinas yra oranžinės spalvos pigmentas. Nustatyti keli karotino izomerai, iš kurių itin paplitę  $\alpha$ ,  $\beta$  ir  $\gamma$ . Visų karotinių cheminė sudėtis yra ta pati, kaip ir likopino, bet nuo pastarojo jie skiriasi struktūra [1].

Biologiškai svarbiausias yra  $\beta$  karotinas (1.2.4.1. pav.). Jo molekulėje visos 11 jungčių yra konjuguotos, iš jų dvi įeina į  $\beta$ -jonono žiedus, esančius molekulės galuose. Dėl to  $\beta$ -karotino molekulė yra visiškai simetriška ir optiškai neaktyvi [1].



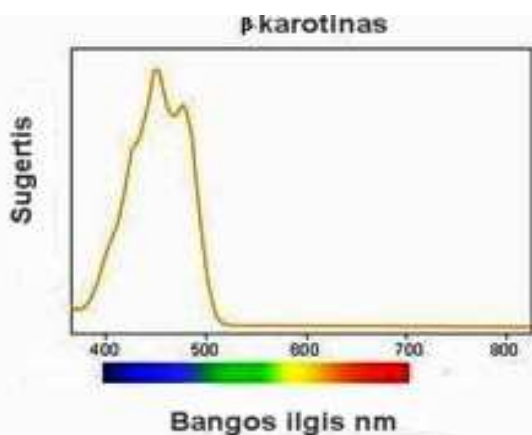
1.2.4.1. pav.  $\beta$ -karotino cheminė struktūra.

$\alpha$ -karotinas viename molekulės gale turi  $\beta$ -jonono žiedą, o kitame –  $\alpha$ -jonono žiedą,  $\gamma$ -karotinas turi tik vieną  $\beta$ -jonono žiedą, o kitame molekulės gale yra atvira anglies grandinė [1].

Visi karotino izomerai lengvai redukuojasi arba oksiduojasi. Kai dvigubų jungčių vieta užima vandenilis, karotinas pamažu blunka. Prisijungęs 8 vandenilio atomus, karotinas pasidaro bespalvis. Taip pat karotinas lengvai prisijungia ir atmosferos deguonį. Karotinas nepakinta tik azoto aplinkoje [1].

Karotinoidai, į kurių sudėtį įeina deguonis, vadinami ksantofilais. Svarbiausiais ir itin paplitęs yra liuteinas ( $C_{40}H_{56}O_2$ ). Augalų lapuose jis sudaro iki 60% bendro ksantofilų kiekio. Kartu su karotinu liuteinas yra neatskiriama chloroplastų sudėtinė dalis [1].

Po mažiau, negu liuteino, augalų lapuose visada aptinkama dar dviejų ksantofilų – violaksantino ( $C_{40}H_{56}O_4$ ) ir neoksantino ( $C_{40}H_{56}O_4$ ). Kaip ir liuteinas, abu šie pigmentai yra neatskiriami chlorofilų palydovai, tačiau randami ir tokiuose augaluose, kuriuose nebūna chlorofilo. Be jau minėtų ksantofilų, augalų lapuose taip pat aptinkama zeaksantino ( $C_{40}H_{56}O$ ), kriptoksantino ( $C_{40}H_{56}O$ ) [1].



1.2.4.2. pav.  $\beta$ -karotinių sugerties spektras

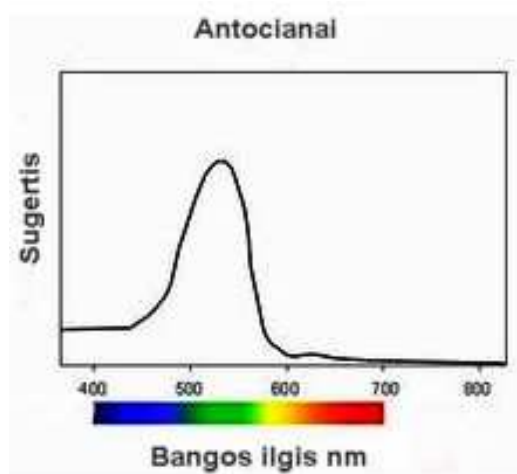
Karotinoidai yra paplitę gamtoje ir atlieka įvairias funkcijas. Manoma, kad karotinoidai reikalingi ir fototropizmui, nes jautriausiai augalai reaguoja į tokio bangos ilgio (460 nm) šviesos spindulius, kuriuos intensyviausiai absorbuoja  $\beta$ -karotinas [1].

Karotinoidai daugiausia sugeria violetinių ir mėlynųjų spindulių (400-500 nm) ir tiekia šių spindulių energiją fotosintetinėms sistemoms, kurių sudėtyje visada yra šių pigmentų (1.2.4.2. pav.). Be spindulių energijos absorbavimo ir panaudojimo. Vykstant fotosintezei, karotinoidai apsaugo chlorofilus nuo oksidavimo, o šviesos gaudymo sistemas – nuo perkaitimo. Karotinoidų masė

chloroplastuose, lyginant su chlorofilas, retai kada būna tokia pati. Dažniausiai jų būna 1,5- 2 kartus mažiau nei chlorofilo [2].

Geltoni ir oranžiniai pigmentai padidina augalo galimybes absorbuoti šviesą, kai saulės spinduliai į žemės paviršių krinta smailesniu kampu, dangus debesuotas. Trumpabangių spindulių, kuriuos sugeria karotinoidai daugiausia yra esant apsiniaukusiam orui, išsklaidytoje saulės šviesoje [2].

#### 1.2.5. Antocianai

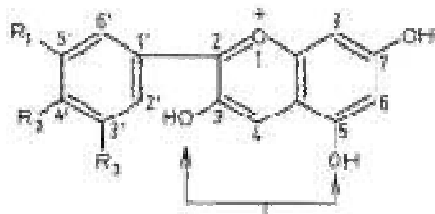


1.2.5. pav. Antocianų sugerties spektras

Antocianinai, antocianidinai: plačiai paplitę flavonoidiniai augalų pigmentai, suteikiantys raudoną, violetinę, mėlyną ar juodą spalvą aukštesniųjų augalų žiedams, lapams ir vaisiams.

Antocianai randami spalvotų ląstelių citoplazmoje.[15] Spalvų ir atspalvių įvairovę lemia antocianinai arba jų deriniai su kitais pigmentais, dažniausiai su kitais flavonoidais. Antocianinai yra vandenyje tirpūs amfoteriniai hidrosilintos 2-fenilbenzopirilio druskos glikozidai; sacharidas gali būti pašalintas veikiant rūgštimi ar fermentais, paliekant

vandenyje netirpų, nestabilų aglikoną (antocianidiną). Jų struktūros pagrindą sudaro  $C_{15}$  flavilio katijonas. Tam tikri antocianinai skiriasi hidroksigrupių skaičiumi ir jų išsidėstymu pateikta (1.2.5. lentelė). Hidroksigrupės gali būti esterintos (pvz., p-kumaro ar ferulo rūgštimi) ar pakeistos metoksigrupėmis. Žinoma daugiau kaip 20 antocianinų, kurie skiriasi sacharidų rūšimi (dažniausia gliukozė, galaktozė ir ramnozė), prisijungimo vieta ir skaičiumi. Išskirta daugiau kaip 100 skirtingų junginių, nustatyta jų struktūra. Rūgštinėje terpėje antocianinų druskos yra raudonos, neutralioje terpėje sudaro bespalves pseudobazes, o šarminėje terpėje (nestabilias violetines anhidrobazes. Maksimaliai absorbuoja spinduliuotę tarp 475-550 nm bei ties 275 nm pateikta (1.2.5. pav.) [3].



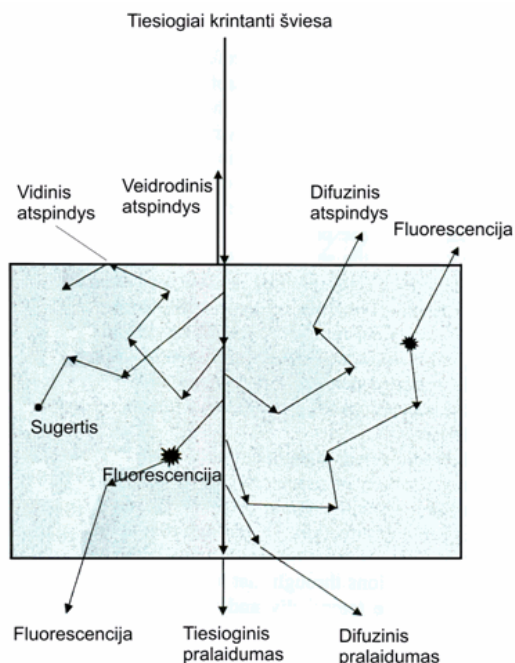
Vienos ar abiejų grupių glikozilinimo gliukcze, galaktoze, rannoze arba arafinoze produktai yra tirpūs antocianinai

1.2.5. Lentelė

R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	Pavadinimas	Spalva
H	OH	OH	Cianidinas	Mėlyna
H	OH	H	Pelargonindinas	Raudona
H	OH	OCH <sub>3</sub>	Poenidinas	Raudona
OH	OH	OCH <sub>3</sub>	Petunidinas	Raudona
OCH <sub>3</sub>	OH	OCH <sub>3</sub>	Malvidinas	Mėlyna
OH	OH	OH	Delfinidinas	mėlyna

### 1.3. Šviesos sklaida

Audiniai yra vientisa pati save palaikanti struktūra, kuriai nereikia terpės, kurioje šviesą



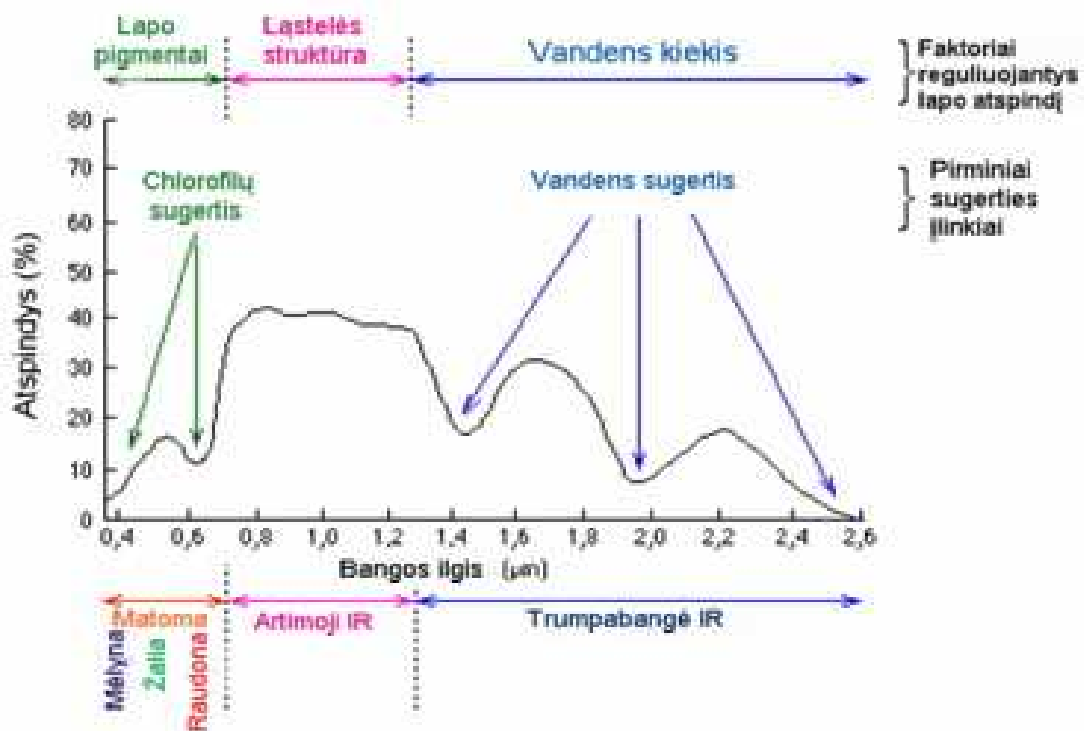
1.3.1. pav. Krintančios šviesos galimos projekcijos

sugeriantys ir šviesą sklaidantys centrai išsidėstę atsitiktine tvarka. Šviesos sklidimas audiniu, kaip ir kiekviena neskaidria aplinka, sukelia įvairius vyksmus: lūžį, atspindį, sklaidą ir sugertį (1.3.1. pav). Šviesos lūžis ir atspindys yra glaudžiai susiję tarpusavyje ir aprašomi Frenelio dėsniais. Atspindys priklauso nuo šviesos kritimo kampo: kuo jis didesnis, tuo didesnis atspindys nuo paviršiaus. Taigi daugiausia šviesos prasiskverbs į audinį, jei ji kris 90<sup>0</sup> kampu (t. y. šviesos spindulys bus statmenas audinio paviršiui). Labiausiai pastebimas reiškinys yra šviesos *sklaida*, nes biologinis audinys yra labai sklaidanti terpė. Audinio drumstumas, jo nepralaidumas šviesai “susidaro” dėl sudėtinės sklaidos nuo heterogeninių audinio komponentų: makromolekulių, ląstelių organėlių, mikroskopinių

vandens sankaupų [4].

Dėl audinio ir išorinės terpės lūžio rodiklių skirtumo susiformuoja atspindys ir lūžis ties terpių riba. Kai krintanti šviesa atsispindi nuo audinio paviršiaus, įvyksta veidrodinis atspindys. Kai šviesa audinio viduje yra atspindima nuo paviršiaus atgal į audinį, įvyksta vidinis atspindys [4].

Šviesa krisdama į lapą gali būti sugerta, atspindėta arba praleista. Kiek augalas sugers šviesos energijos priklauso nuo lapo paviršiaus savybių, vidinės struktūros ir kampo kuriuo šviesa patenka į lapo paviršių. Lapas šviesą atspindi regimojoje ir IR bangų srityje intervale (400 - 2500 nm) (1.3.2. pav.). Mažiausias atspindys matomas regimajame spektre (400 - 700 nm) ir tolimojoje IR srityje (>1200 nm),



1.3.2. pav. Lapo struktūrų atspindžiai skirtinguose bangų ilgiuose

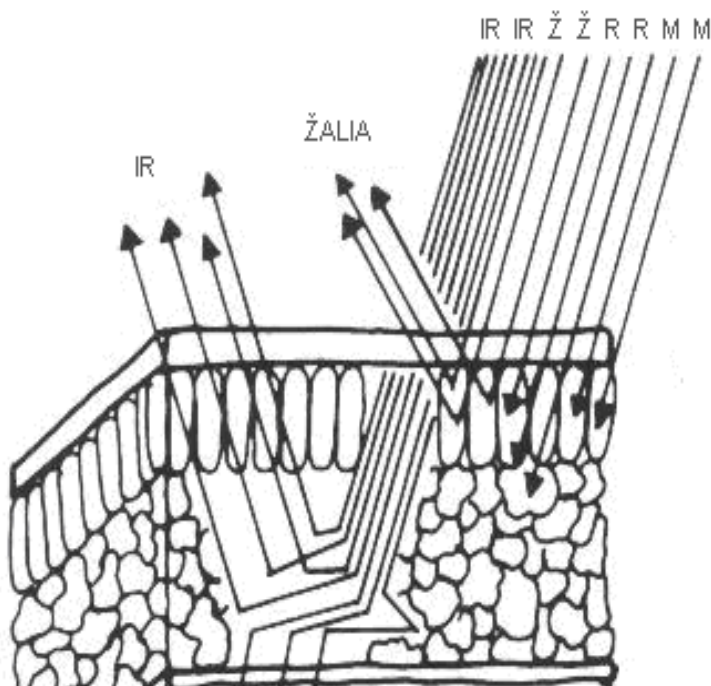
didžiausias artimojoje IR bangų srityje (700-1200 nm). Apie augalo struktūrą ir fiziologines savybes svarbią informaciją pasako spektras matomame (raudonų bangų ilgyje) ir IR bangų srityje. Atspindžio spektras priklauso nuo pigmentų esančių lapuose sugerties ir jų cheminės struktūros. Pateikti pigmentai ir su sugerties bangos ilgiai: [5]

chlorofilas a: 435, 670-680, 740 nm;

chlorofilas b: 480, 650 nm;  
 $\alpha$ -karotinioidai: 420, 440, 470 nm;  
 $\beta$ -karotinioidai: 425, 450, 480 nm;  
 antocianinai: 400-550 nm;  
 luteinai: 425, 445, 475 nm;  
 violaksantinai: 425, 450, 475 nm;  
 vanduo: 970, 1450, 1944 nm.

Labai sudėtinga gauti sugerties spektrą su konkrečiu piku, kadangi augalų lapuose randami ne atskiri pigmentai, o jų mišiniai, kurių sugertis pasiskirsčiusi plačiame bangų spektre. Tačiau gerai žinoma, kad matomoje bangų srityje atspindys priklauso nuo lapuose esančių chlorofilų [5].

Kokį gausime spektrą priklauso nuo augalų tiksliau nuo jų lapų anatomijos, paviršiaus dengiamojo sluoksnio fizikinės struktūros, ląstelių išsidėstymo struktūros (kaip sudarytas audinys: ląstelės sienelė  $n = 1.4$ , vanduo  $n = 1.3$ , oro tarpai  $n = 1$ ). Laboratorinėmis sąlygomis buvo ištirta 30 skirtingų augalų lapų sugerties, atspindžio ir išsklaidymo koeficientai, naudojant septynis skirtingus



1.3.3. pav. Skirtingų šviesos bangų sugertis lape. Raudonos ir mėlynos spalvos šviesos bangos lape yra sugeriamos.

bangų ilgius. Buvo pastebėta kad augalai, kurie turi kompleksinius, dorsalinius lapus (kaučiukas, begonija ir ligustras) maži atspindžio ir dideli sugerties koeficientai, lyginant su augalais turinčiais plonus lapus. Nustatyta, kad neigiama koreliacija vyrauja tarp lapo atspindžio koeficiento ir lapo storio, tačiau sugerties koeficientas koreliuoja teigiamai [5].

Atspindys nuo augalų lapijos suteikia daug svarbios informacijos apie augalą. Jis koreliuoja su augalų rūšimis, lapijos tankumu ir reikalingomis



augalui maisto medžiagomis [11].

Lapo optinės savybės susijusios su lapo struktūra, vandens kaupimu ir cheminių medžiagų koncentracija. Paveiksle pateiktas sveiko, žalio lapo spektras trijose bangų ilgių srityse [11].

Matomoje srityje (400-700 nm) dominuoja sugertis, todėl atspindys sudaro tik 15% maksimumo. Matomos dvi sugerties vietos mėlynoje (459 nm) ir raudonoje (670 nm), kurias atspindi lapuose esantys pigmentai chlorofilai [11].

Artimosios infraraudonosios šviesos atspindėjimas nuo augalo priklauso nuo jo vidinių sluoksnių sudėties (puriojo mezofilio). Kadangi matomoji šviesa yra sugerama augalo viršutiniame dengiamajame sluoksnyje, kur yra išsidėstę chlorofilai, tai IR praeina pro dengiamąjį sluoksnį ir patenka į mezofilį (1.3.3. pav.). Dėka mezofilio puriajame sluoksnyje esančių oro tarpų didelė dalis prasiskverbusių IR spindulių atsispindi ir grįžta atgal ir tik maža dalis praeina pro tolimesnius augalo sluoksnius [6].

Javų ir piktžolių spektrinė analizė parodė, kad skirtingų rūšių augalų lapai gali būti suskirstyti į dvi grupes: javai ir piktžolės, pagal tai kaip skiriasi į juos krintančios šviesos atspindžiai regimojoje ir artimojoje IR bangų srityje. Lapo optinės savybės priklauso nuo jo makro struktūros, audinių, epidermio, lape esančių pigmentų, augalo rūšies ir gyvenimo sąlygų. Dėka optinių skirtumų esančių tarp skirtingų augalų rūšių, fotometriniu būdu galima nustatyti augalų rūšis laukuose [6].

Tiriant šiuos augalus laboratorijos sąlygomis, atspindžiai lapo priklauso nuo: šviesos šaltinio, augalo lapo savybių ir daviklio jautrumo. Javų ir piktžolių atspindžiai rodo platų matavimo rezultatų skirtumų pasiskirstymą. Keičiant šviesos šaltinio spinduliuojamų bangų juostos plotį, keičiasi skirtumai tarp skirtingų augalų rūšių lapų atspindžių. Nustatyta, kad mažesni nei 1% skirtumai tarp cukrinių runkelių-piktžolių, javų-piktžolių stebimi, kai šviesos šaltinio spinduliuojamų bangų plotis 3 nm [6].

Azotas yra vienas iš šešių makro elementų, kuris būtinas pievų augimui. Jis svarbus baltymų ir chlorofilų gamybai, augalų vystimuisi. Todėl svarbu nustatyti koks azoto kiekis reikalingas augalams augimo metu. Pasinaudojus augalų lapų atspindžiais matomoje ir IR bangų srityje, galima nustatyti azoto kiekį. Kitas metodas, tai chlorofilų koncentracijos nustatymas augalų lapuose. Esant azoto trūkumui augalų lapuose pasireiškia chlorozė (lapai geltonuoja dėl sumažėjusio chlorofilų kiekio [13]).

Lapijos atspindžių matomoje ir artimojoje IR bangų srityse dominuoja pigmentų sugertiems juosta (400–700 nm) ir lapo struktūros sritis (600–900 nm), todėl keičiantis azoto kiekiui, keičiasi atspindžiai [13].

Šiais laikais tiriant lapijos atspindžio spektrus yra galimybė nustatyti stresą sukeliančias priežastys. Viena iš priežasčių gali būti maisto medžiagų (trašų trūkumas). Blogiausia, kad dauguma maisto medžiagų elementų sukiamas stresas lapijai ir atskiriems lapams turi labai panašius atspindžio spektrus. Al-Abbas (1974) nustatė N, P, K, S, Ca, Mg trūkumą kukurūzų lapuose pagal atspindžio spektrą užregistruota 500 – 2600 nm bangų srityje. Pastebėta, kad augaluose, kuriems nustatytas trašų trūkumas, yra sumažėjęs chlorofilų kiekis lyginant juos su kontroliniais sveikais augalais. Chlorofilų koncentracijos sumažėjimas padidino lapo atspindį ir pralaidumą šviesai, tačiau sumažino sugertį ir pakeitė raudono krašto padėtį. Spektre atsirado greitesnis perėjimas nuo raudonos link artimosios IR srities [11].

Kokia bus pigmentų sugertis žaliuose augaluose priklauso nuo mechanizmo (elektronų perdavimo). Chlorofilai ir karotinoidai sugeria tokios energijos šviesos bangas, kurios sukelia elektronų perėjimus iš vienos molekulės į kitą. Elektronų perėjimo energija panaudojama vykdyti chemines reakcijas [12].

Nustatyta, kad lapijos atspindžio spektras artimojoje IR bangų srityje gaunamas didesnis nei atskiro lapo atspindžio spektras. Lapijos atveju pasireiškia priemaišos efektas, kai spindulys praėjęs vieną paviršių atsispindi nuo kitų ir vėl grįžta atgal. Atlikti tyrimai su medvilnės lapais parodė, kad artimojoje IR bangų srityje atspindys nuo vieno lapo siekė iki 50%, o tuo tarpu atspindžiai nuo šešių lapų buvo 84% [12].

Ultravioletinių spindulių patenkančių į augalą, srautas priklauso nuo srauto intensyvumo ir nuo augalo audinių struktūros, pigmentų ir kitų UV spindulius sugeriančių medžiagų. Viršutiniame lapo paviršiuje yra daugiau UV spindulius išsklaidančių pigmentų. Šių pigmentų sintezę (iki 20%) stimuliuoja ultravioletiniai spinduliai [2].

Daugiausia UV spindulių sugeria išorinis viršutinės lapo pusės sluoksnis – iki 8% kartų daugiau nei vidurinis, apatinis sluoksnis sugeria 3-4 kartus mažiau nei viršutinis sluoksnis. Atlikti stebėjimai patvirtino, kad į rapsų lapus daugiausia prasiskverbia statmenai krentantys spinduliai,  $30^0$  kampu krentančių spindulių patenka tik dešimtadalis, o  $150^0$  kampu – vos penkiasdešimtoji jų dalis [2].

Į žolinius augalus (*Chenopodium album*, *Smilacina stellata*) per epidermį prasiskverbia daugiau nei pusė UV-B spindulių ir pasiekia 156-161  $\mu\text{m}$  gylį. Ištirta, kad UV-B daugiausia prasiskverbia per sienelių fibrinas ir mažiau arba visai neprasiskverbia per protoplazmą ir žiotelių varstomąsias ląsteles [2].

Spektrinės analizės metodu (Alenius 1995) buvo ištirtas trijų dimensijų UV-B (280-320 nm) skvarbumo ir išskaidymo ryšys visuose griežčio (*Brassica napus*) lapo sluoksniuose. Nustatyta, kad papildomi UV spinduliai skatina viršutiniame griežčio lapo sluoksnyje (iki 20  $\mu\text{m}$ ) pigmentų, ekranuojančių ultravioletinius spindulius sintezę. Šie pigmentai atspindi ir išsklaido iki 49% UV spindulių [2].

Atlikti tyrimai su pekano riešuto (*Carva illinoensis*) lapais laikotarpyje balandis-spalis ir pastebėta, kad UV-B srityje atspindys buvo 4.27% balandžio ir 8.29% liepos mėnesiais lapo pralaidumas svyravo nuo 0.01% birželio ir 0.05% balandžio mėnesiai, o sugertis 91.70% liepos ir 95.68% didžiausia buvo balandžio mėnesi. Lapo optinės savybės priklausė nuo bangos ilgio ir lapo vystimosi. Atspindžio ir pralaidumo gauti maksimumai ties 555 nm ir minimumas ties 680 nm bangomis [17].

Įdomūs optiniai skirtumai pastebėti tarp tos pačios augalų rūšies (*Myrica cerifera* L.) augančios žemyne potvynių zonoje ir sausoje vietovėje. Pagal matomoje srityje (400-760 nm) gautus lapų atspindžius, nustatyta, kad augalai augantys potvynio zonoje patiria silpną stresą, kuris susijęs su lapuose vandens potencialu, garavimu. Nustatyta, kad Na ir Cl koncentracijos didesnės nei žemyne sausoje zonoje augančių augalų. Tačiau jokių ryškių atspindžio pokyčių nepastebėta IR bangų srityje [19].

#### 1.4. Raudonasis kraštas

Pirmasis raudoną kraštą aprašė Collins (1978), charakterizuodamas žemą chlorofilų atspindį raudonoje srityje ir didelį arti 800 nm bangų (dažniausiai vadinamu raudono krašto pečiu), susijusiu su lapo vidine struktūra ir vandens kiekiu. Raudonas kraštas yra apie 30 nm pločio. IR srityje išlinkio taškas ir yra maksimumas, kuris dažniausiai naudojamas norint nustatyti konkrečią vertę [12].

Norint raudono krašto išlinkį panaudoti skaičiavimams, jis turi būti labai siauras. Kadangi spektruose gauti atspindžio taškai turi dideles vertes, kurios trukdo tiksliai įvertinti raudono krašto išlinkį, todėl aprašymui naudojama polinominė funkcija, kur imamos keturios reikšmės 670, 700,

740 ir 780nm. Atspindžio reikšmės 670 ir 780 nm, naudojamos apskaičiuoti išlinkio tašką (1) formulė, o bangų ilgiai 700 ir 740 nm, naudojami apskaičiuojant raudono krašto bangų ilgį (2) formulė [12].

$$\mathbf{R\ red-edge} = (\mathbf{R670} + \mathbf{R780}) / 2 \quad (1)$$

$$\lambda \mathbf{red-edge} = 700 + 40 ((\mathbf{R\ red-edge} - \mathbf{R700}) / (\mathbf{R740} - \mathbf{R700})) \quad (2)$$

Kitas skaičiavimo metodas pasiūlytas Hare (1986), naudojamas apverstas Gauso atspindžio modelis (3) formulė apibūdinantis raudoną kraštą.

$$R(W) = R_s - (R_s - R_0) \exp \frac{-(W - W_0)^2}{2S^2} \quad (3)$$

$R_0$  yra atsispindėjimas ties didžiausia sugertimi netoli 685 nm,  $R_s$  - raudono krašto peties atspindys,  $W$  – bangos ilgis,  $S$  – Gauso parametras nulemiantis raudono krašto šlaitą [12].

Atspindžio koeficientas priklauso ir nuo krentančių šviesos bangų ilgių, pastebėta, kad augalai, kurių lapų spalva keičiasi nuo geltonos iki pilnai žalios ties (400 - 500 nm) bangomis atspindys mažas, o ties (750 - 800 nm) regimas aukštas. Didelė sugertis stebima ties 680nm, kurią sukelia lapuose esantys chlorofilai. Spektro augimas nuo 680 iki 750 nm vadinamas (raudonuojų kraštu, kuris nusitęsia link ilgesniųjų bangų, priklauso nuo chlorofilų koncentracijos [5].

Atspindžio padidėjimas pereinant nuo raudonų iki artimųjų IR bangų traktuojamas, kaip raudonasis kraštas. Iš jo padėties spektre galima spręsti apie augale esančių chlorofilų kiekį, augalo fonologijos fazę, stresą. Tiriant augalo lapo atspindžius artimojoje IR srityje, galima nustatyti atspindžius sukeliančias priežastis, lapą sudarančias chemines medžiagas [9].

## 1.5. Vandens kiekis

Augalų vidinių struktūrų pasikeitimams didelės įtakos turi išoriniai faktoriai, tokie kaip sausra, drėgmė, maisto medžiagų trūkumai. Esant sausrui augalai yra linkę sausas maisto medžiagas ir cukrų kaupti, sumažinti jų perdavimą, o tai įtakoja atspindžio intensyvumo mažėjimą. Pastebėta, sausros metu sulėtėja augaluose vykstanti fotosintezė, tačiau tam tikrose augalo lapų dalyse padidėja cukraus kiekis. Nustatyta, kad atspindžio intensyvumas yra priklauso nuo lapo dydžio ir kokiu kampu lapas išsidėstęs plokštumoje [6].

Augalų lapų augimo metu atspindžio spektre nuo 400 iki 1650 nm bangų ilgiuose matomi ryškus kreivės įlinkimai, kurie reiškia augale esančių pigmentų : karotinoidų, chlorofilų sugertiems zonas. Atspindžio kreivės turi maža piką ties 740 nm, kuris parodo chlorofilo fluorescenciją. Jei

tokius pat matavimus atliksime po sausros tada išvysime, kad sugertiems zonos tapo daug lėkštesnės ir ne tokios smailios [6].

Augalui augant natūraliomis sąlygomis, lapo sugerties spektre ties 970, 1200 ir 1450 nm regima vandens sugertis, tačiau augalams patiriant sausros stresą vandens sugertis matoma regimajame spektre ties 570 nm ir 623 nm. Kai augalai pradeda kaupti sausas medžiagas lapuose, tuomet vandens sugertis pasislenka į ilgabangę bangų pusę ties 960, 990, 1140, 1390 ir 1500 nm. Sugerties spektro žalioje ir raudonoje bangų srityse kitimas nepriklauso nuo laikinos sausros, tai įtakoja kiti faktoriai. Yrant chlorofilo molekulėms, mažėja šviesos sugertis. Atspindžio spektre matomi įlinkiai ties 485, 624 ir 705 nm, parodo azoto buvimą augale, tačiau tai neduoda tikslios informacijos apie azoto kiekį [6].

Išmatuotas augalų atspindys augančių skirtingai drėkinamose dirvose, panaudojant matomos ir IR srities šviesos bangas. Nustatyta, kad po 9 dienų augalų lapuose vandens kiekis buvo < 75%, tokį vandens sumažėjimą galima pamatyti atspindžio spektruose ties 510<sub>780</sub> nm, 516<sub>1300</sub> nm, 540<sub>1300</sub> nm bangų ilgiais [7]. Augalai augantys vandens trukumo zonose, turi tankius lapus, kurie ilgai gyvuoja ir fotosintezė vykdoma lėtai [10].

Artimojoje IR srityje matomos dvi zonos, pirma tarp 700 – 1100 nm, kur didžiausias atspindys su dviem silpnom vandens sugerties zonomis (960 ir 1100 nm), ir antra zona tarp 1100 – 1130 nm, su didele vandens sugertimi. Pigmentai ir celiuliozė yra permatomi artimojoje IR srityje, todėl sugertis labai maža tik apie 10%. Srities forma esanti tarp 700 ir 1300 nm, priklauso nuo augalo lapo struktūros, oro tarpų esančių mezofilio sluoksnyje. Atspindžio didėjimas priklauso nuo lapą sudarančių ląstelių sudėties ir dydžio, bei oro tarpų esančių mezofilyje [11].

Pagrindinė spektro sritis parodanti vandens sugertį yra 1300 – 2500 nm, tačiau dėl stiprios vandens sugertiems ties 1450, 1950 ir 3500 nm, ši bangų sritis netinka lapų atspindžiams tirti. Pastebėta, kad atspindys padidėja, kai augalo lapuose susikaupusio vandens kiekis sumažėja [11].

## 1.6. Difuzinis atspindys

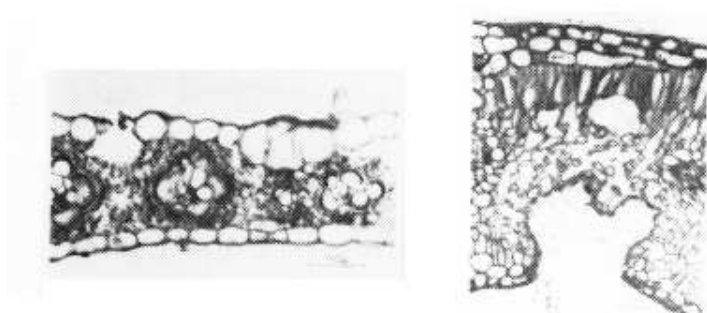
Šviesos atspindys gali būti dviejų rūšių: veidrodinis ir difuzinis. Šviesos atspindys vadinamas veidrodiniu, jei tam tikru kampu į lygų plokščią paviršių krintantys lygiagretūs spinduliai, lygiagrečiai atsispindi nuo paviršiaus. Šviesos atspindys vadinamas difuziniu, jeigu tam tikru kampu į paviršių krintantys lygiagretūs spinduliai, atsispindėję nuo šio paviršiaus, sklinda

įvairiomis kryptimis šviesa yra išsklaidoma dėka nelygumų esančių paviršiuje. Stipri sugertis labiau įtakoja veidrodinį atspindį vidutinių IR bangų srityje nei artimųjų IR [14].

### 1.7. Lapo mezofilio sluoksnis: oro įtaka lapo atspindžiui

Augalams patiriant stresą, jų atspindys tampa mažesnis nei lyginant su sveikais augalų lapais. Stresą gali sukelti labai įvairūs veiksniai, tai: ligos, vandens trūkumas, vabzdžių sukelti pažeidimai, netinkamas vystimasis. Augalui stresuojant jo vidinio sluoksnio (mezofilio) ląstelių išsidėstymas pasikeičia, sumažėja oro tarpų, todėl artimojoje IR bangų srityje spindulių išsklaidymas mažėja, to pasekoje sumažėja ir atspindys nuo augalo lapo vidinių sluoksnių [6].

Reiktų nepamiršti, kad augalų atspindys artimojoje IR bangų srityje priklauso ir nuo augalo rūšies, tai yra todėl, kad skirtingų rūšių augalai turi skirtingą mezofilio sluoksnio ląstelių išsidėstymą (1.7. pav.). Tai galime matyti paveiksle, kur pateikta kairėje javų lapo, dešinėje oleandro lapo



1.7. pav. Pateiktos skirtingų augalų ląstelių struktūros; oleandro lapo (dešinėje), javų lapų (kairėje).

mezofilio struktūra. Matome, kad oleandro mezofilio sluoksnyje yra oro tarpai, kurių dėka atspindima daugiau IR šviesos bangų [6].

Matomas didelis atspindžio indekso pasikeitimas nuo 1.00 iki 1.33, kai šviesos spinduliai patekę į lapo vidų išsklaidomi, pereinant pro ląstelės sienelę ir patenkant į tuščias oro ertmes. Taip pat dėka artimojoje IR srityje matomo atspindžio galima apskaičiuoti

lapuose esančių mezofilio ląstelių paviršiaus ploto ir tuščių oro ertmių santyki, kuris svarbus nusakant fotosintezės spartą [9].

Tiriant artimosios IR srities atspindžius nuo lapo paviršiaus pastebėta, kad statinis parenchimos sluoksnis matomos srities bangas praleidžia giliau į lapo sluoksnius, nors tuo tarpu purusis parenchimos sluoksnis spindulius daugiau sklaido. Nustatyta, kad purusis parenchimos sluoksnis turi daugiau sąlyčio paviršių (sienelė-oro tarpas) nuo kurių spinduliai atsispindi. Lapai su

didesniu statinio parenchimos sluoksnio storiu daugiau sugeria artimosios IR, todėl jų atspindžio spektrai šioje bangų srityje mažesni [9].

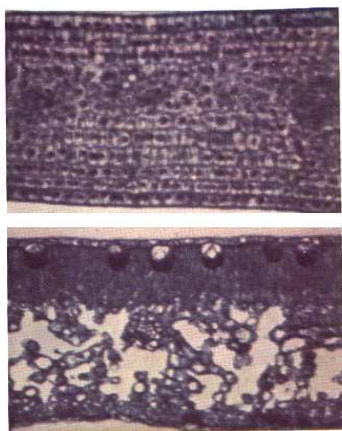
Šviesos perėjimas pro lapo sluoksnius priklauso nuo: oro tarpų esančių mezofilio sluoksnyje, ląstelių dydžio ir formos. Lapai turintys statinį mezofilio sluoksnį, kur yra mažai oro tarpų šviesą praleidžia be didelio išbarstymo, o purusis mezofilio sluoksnis su jame esančiais dideliais oro tarpais, kur ribojasi oras ir vanduo, daugiausia išsklaido ir tik mažą dalį spindulių praleidžia į gilesnius sluoksnius [12].

Atspindys stipriai koreliuoja su esančiais tarpląsteliniais oro tarpais. Gates *et al.* (1965) ir Knipling (1970) atliko eksperimentą, lapuose esančius oro tarpus pripildė vandeniu, taip sumažindamas lūžio rodiklį ir šviesos išbarstymą ir padidindamas šviesos pralaidumą [12].

## 1.8. Lapo amžius

Daugumos augalų lapų amžius trunka tik vieną vegetacijos periodą – pavasarį išauga, o rudenį pagelsta ir žūva. Tokie augalai vadinami – vasaržaliais. Tai visi vienmečiai, o srityje, kur

augalams augti nepalankus sezonas (šalta arba labai sausa), dauguma ir daugiamečių augalų [16].



1.8.1. pav. Lapo ląstelių struktūros esant skirtingam amžiui; jaunas (viršuje), senas (apačioje).

Lyginant senų ir jaunų lapų optines savybes, galime pamatyti skirtumus (1.8.1. pav.). Jauni lapai mažiau atspindi krintančios į juos šviesos kiekį, dėl nepilnai susiformavusio mezofilinio sluoksnio, kuris yra plonas ir neturi oro tarpų. Paveiksluose pateikta jauno ir seno lapo mezofilio nuotraukos. Sename lape gerai matomi oro tarpai kurie padeda atspindėti arba praleisti IR spindulius [6].

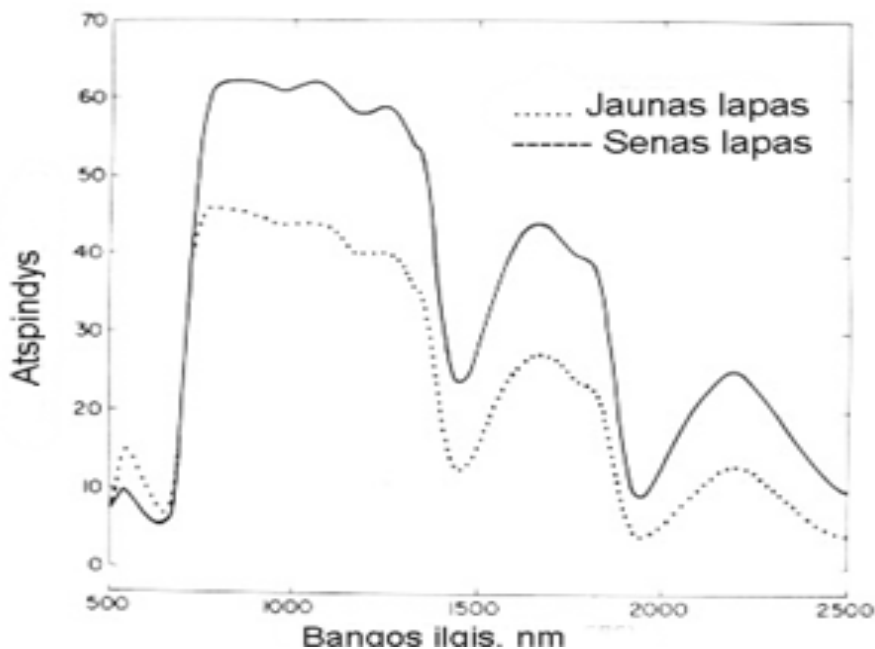
Aiškliai galime matyti, kad nuo augalo lapo amžiaus priklauso atspindžio stiprumas, kuris pateiktas (1.8.2. pav.). Didesni atspindžiai gaunami

senuose lapuose artimojoje IR bangų srityje ties 750- 1350nm [6].

Augalui senstant chlorofilai suyra greičiau nei karotinoidai (Sanger, 1971), tai gerai atspindi padidėjęs atspindys raudonų bangų srityje ir žymus sugertiems sumažėjimas. Tapus dominuojančiais pigmentais karotinoidams ir ksantofiliui, augalas žalią spalvą pakeičia į geltoną, sugeriamo mėlyna

šviesa, o žalia ir raudona atspindimos. Lapui parudavus pagrindiniais pigmentais tampa taninai, lapo atspindžio ir pralaidumo spektrai stebimi 400 – 750 nm bangų srityje(Boyer,1988) [12].

Azoto trūkumas pirmiausia vizualiai matomas senesniuose lapuose, sutrinka medžiagų pernaša baltymuose ir chlorofilai yra pernešami į viršutinius jaunesnius lapus. Lapų ląstelių sienelės suplonėja ir augalai tampa sultingesni [13].



1.8.2. pav. Jauno ir seno lapo atspindžiai

### 1.9. Lapo paviršiaus ypatumai (epidermis, vaškas ir plaukeliai)

Saulės spinduliavimas yra vienas pagrindinių augalų fotosintezės ir augimo šaltinių, todėl augalų paviršiaus atspindėjimas yra labai svarbus apsaugant organizmo vidinius sluoksnius nuo kenksmingų spindulių. Matomos srities spinduliai daugiausia naudojami fotosintezei. Trumpų bangų sugertis UV-B (280–320 nm) gali sukelti pažeidimus nukleorūgščių ir baltymų, o ilgų bangų (> 750 nm) sugertis žalinga, nes sukelia temperatūros augimą, kuris mažina augaluose vandens kiekį. Tačiau augalai prie to yra prisitaikę ir turi tam skirtas apsaugines priemones [8].

Plaukeliai arba vaškas esantis ant lapų paviršiaus atlieka apsauginę funkciją, padidina krintančių spindulių atsispindėjimą nuo lapo paviršiaus [8].



Epidermyje esantys audiniai gamina medžiagas, kurios sukuria tarsi „ekraną“ sumažinantį UV-B spindulių patekimą į lapo gilesnius sluoksnius. Taip gyvieji audiniai apsaugojami nuo žūties [8].

Paviršiaus atspindžio savybės yra geras indikatorius norint nustatyti augalo fotosintezės funkcija ir tolimesni vystymąsi. Skirtingi atspindžiai stebėti tiriant vandens ir trąšų skirtingus kiekius, aplinkos stresą, sezoninius ir paros pokyčius. Lapo paviršiaus atspindžio pasikeitimai koreliuoja su lape esančiais cheminių medžiagų kiekiais ir fotosintezės procesu. Tarp paviršiaus atspindžio ir augaluose randamų pigmentų koreliacija matoma silpna. Tačiau chlorofilų bendras kiekis koreliuoja su 850 ir 680 nm bangos ilgio šviesos atspindžiu nuo lapo paviršiaus [8].

Dėka lapo atspindžio artimojoje IR srityje galime spręsti apie lapo paviršių. Lapo paviršių dengiant plaukeliams atspindys padidėja 10%, o esant vaško sluoksniui net iki 5–20%.

Atlikti tyrimai su alyvmedžio (*Olea europaea* L.) lapais, norint išsiaiškinti kokį efektą sukelia ant lapo esantys plaukeliai. Pastebėta, kad pašalinus plaukelius nuo lapų, nepasikeitė fotosintezės sistema ir vandens išgarinimas, tačiau apšvietus augalus UV-B spinduliuote ( $5.89 \text{ W m}^{-2}$ ), sumažėjo fotosintezės greitis ir pagreitėjo vandens išgarinimas. Manoma tokie pasikeitimai sąlygojami UV-B spindulių, tačiau esantys ant augalo plaukeliai sumažina UV-B spindulių patekimą į lapo vidinius sluoksnius [18].

## 1.10. Albedas

Albedas apibūdinamas, kaip dalis spinduliavimo atsispindėjusio nuo paviršiaus. Jis kildinamas iš lotyniško žodžio *albus* reiškiančio baltas [20].

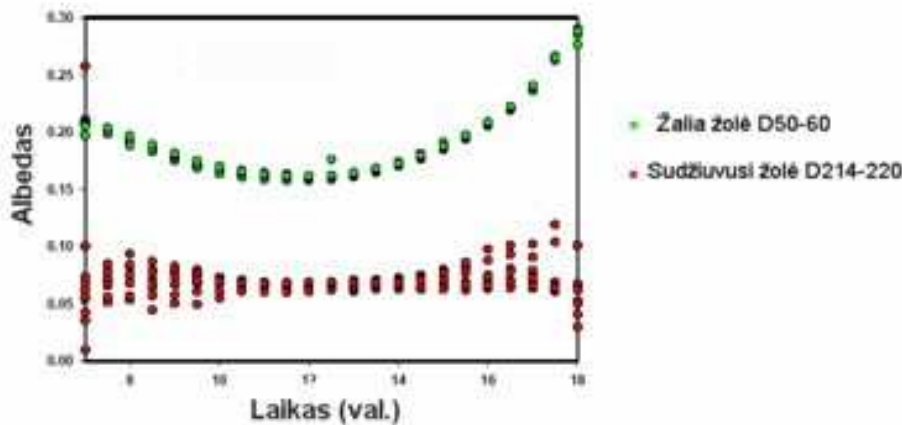
Metereologijoje albedas pagrindinis parametras, naudojamas orų modeliuose ir skaičiuojant žemės paviršiaus spinduliavimo balansą. Skirtingiems augalų paviršiams albedas plačiai varijuoja. Dykumų ir sniego stebimi didžiausi atspindžiai. Stebint darytas atspindžiu nuotraukas, miškas tamsiausias, javai ir žemi augalai turi vidutinio dydžio albedą. Lentelėje pateikti kai kurių paviršių atspindžiai [20].

1.10. lentelė

Paviršius	Atspindys	Paviršius	atspindys
Žolė	0.17-0.28	Subarktinis	0.09-0.20
Kviečiai	0.16-0.26	Savana	0.16-0.21
Kukurūzai	0.18-0.22	Stepė	0.20
Runkeliai	0.18	Šviežias sniegas	0.75-0.95
Bulvės	0.19	Senas sniegas	0.40-0.70
Miškas po lietaus	0.12	Šlapia tamsi dirva	0.08
Miškas be lapų	0.10-0.20	Sausa tamsi dirva	0.13
Spygliuočių miškas	0.05-0.15	Šiaurės miškas su sniegu	0.12-0.30

Šiaurinio vėjo zonose atlikti eksperimentai parodė, kad žiemos fone miško albedas yra nuo 0.12 iki 0.30, kai virš žolės jis buvo 0.70. Apskaičiavus temperatūrą naudojant (oder version of the European Center Medium Range Weather Forecasting (ECMWF)), paaiškėjo, kad padidinus temperatūrą 10<sup>0</sup>C, snieguoto miško atspindys gautas labai geras 0.2 [20].

Kita įdomus pastebėjimas pateiktas (1.10 pav). Išmatuoti nuganytos ganyklos atspindžiai, kai žolė buvo dar žalia ir vyko fotosintezė ir kai sausa ir sudžiuvusi. Pastebėta, kad albedas vidudieni daugiau nei trigubai didesnis žalios žolės nei sudžiuvusios [20].



1.10. pav. Nuganytos žolės atspindys matomoje bangų srityje.

### 1.11. Bugerio ir Lamberto dėsnis

Vienas iš pirmųjų bioobjekto ir šviesos sąveikos aktų yra šviesos sugertis. Sugerties pasekoje biomolekulė įgauna perteklinės energijos, kuri gali būti panaudota tolesnių vyksmų iniciavimui ar vykdymui [4].

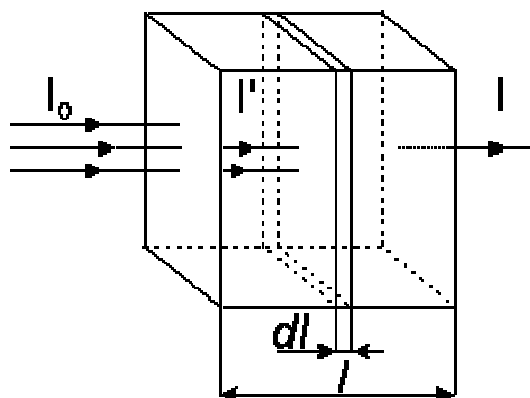
Jeigu tirpalas sugeria šviesą - tai pro tirpalą praėjusios šviesos intensyvumas  $I$  bus mažesnis. Praėjusios ir kritusios šviesos intensyvumų santykis vadinamas tirpalo pralaidumu  $T$ :

$$T = I / I_0 \quad (4)$$

Tirpalo sugerčiai apibūdinti galima naudoti ir kitą parametą, – sugerties koeficientą  $A$ . Neatsižvelgiant į sklaidą,

$$A = 1 - T = I_0 - I / I_0 = I_s / I_0 \quad (5)$$

kur  $I_s$  – bandinio sugertos šviesos intensyvumas.



1.11. pav. Schema Būgerio-Lamberto-Bero dėsnui aprašyti

Tegu molekulių, sugerančių šviesą, koncentracija lygi  $n$  [ $\text{cm}^{-3}$ ]. Taikinio teorijos rėmuose kiekviena molekulė charakterizuojama efektyviu šviesos pagavimo skerspjūviu (pagavimo skerspjūviu)  $S$  [ $\text{cm}^2$ ]. Bendra pagavimo skerspjūvių suma išskirtame sluoksnyje, skaičiuojama vieno  $\text{cm}^2$  plotui ir storiui  $dl$ , lygi  $S \cdot n \cdot dl$ . Taigi, šviesos intensyvumo mažėjimą sluoksnyje  $dl$  galime užrašyti:

$$dI / I_0 = - S \cdot n \cdot dl, \quad (6)$$

po integravimo visu bandinio pločiu gauname

$$\ln(I/I_0) = -S \times n \times l \text{ arba } I/I_0 = T = e^{-S \times n \times l} . \quad (7)$$

Taigi, šviesos sugertį vienalytėse sistemose aprašo Buger'io dėsnis:

$$I = I_0 \times e^{-k \times l}; \quad (8)$$

čia  $I_0$  yra kritusios, o  $I$  - praėjusios šviesos intensyvumas,  $l$  - optinio kelio ilgis (bandinio ar kiuvetės storis). Dydis  $k$  yra vadinamas sugerties koeficientu. Šviesos sugertį pigmentų silpnai sugeriančiuose tirpaluose aprašo Buger'io ir Beer'o (Bugerio ir Bero) dėsnis:

$$I = I_0 \times e^{-a \times n \times l}; \quad (9)$$

čia  $a$  yra sugerties rodiklis,  $n$  - pigmento molekulių skaičius tūrio vienetu [ $\text{cm}^{-3}$ ]. Skaičiavimuose patogiau naudoti dešimtainius logaritmus, todėl (9) dėsnį galima parašyti taip:

$$I = I_0 \times 10^{-\varepsilon \times C \times l} \quad (10)$$

Formulėje  $\varepsilon$  vadinamas ekstinkcijos koeficientu arba tiesiog ekstinkcija, dimensija yra  $\text{M}^{-1} \text{cm}^{-1}$ . Išlogaritmavus (10) formulę

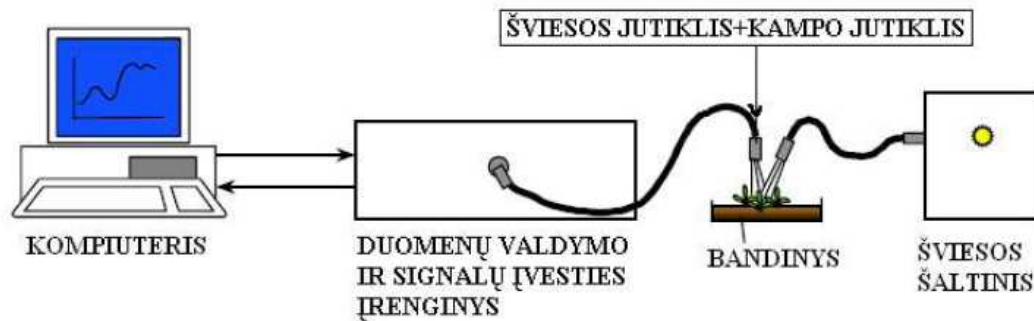
$$\lg(I_0/I) = \varepsilon \times C \times l \quad (11)$$

Kadangi dydis  $T = I/I_0$  vadinamas bandinio pralaidumu, o  $A = \varepsilon \times C \times l$  - bandinio optiniu tankiu, (11) formulę galima perrašyti taip:

$$\lg(1/T) = \varepsilon \times C \times l = A \quad (12)$$

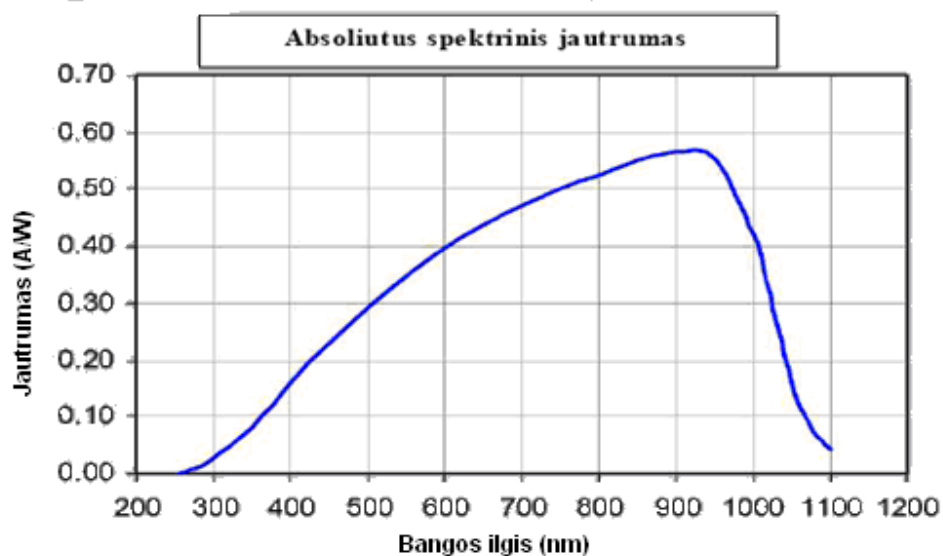
## 2. METODIKA

### 2.1. Darbo schema



### 2.2. Šviesos detektorius

Atspindėjusi šviesa nuo tiriamojo objekto registruojama šviesos jutikliu, kurį sudaro silicio fotodiodas ir stiprintuvas. Fotodiodas jautriausias infraraudonų bangų ruože, tačiau šis netolydumas kompensuojamas sukalibravus matavimo įrangą. Fotodiodo spektrinė charakteristika parodyta (2.2. pav).



2.2. pav. Silicio fotodiodo spektrinė charakteristika.

## 2.3. Duomenų įvesties ir valdymo įrenginys eBiol

Duomenų įvesties ir valdymo įrenginys e-Biol eksperimentinėje sistemoje atlieka dvi pagrindines funkcijas. Pirmoji, tai šviesos šaltinio impulsinis valdymas, antroji – sinchroniškas signalo ir šviesos jutiklio registravimas, Šviesos šaltinis įjungiamas periodiškai 500 Hz dažniu, fotojutiklio signalas registruojamas aukštesniu dažniu, tačiau sinchroniškai šviesos šaltinio įjungimui. Toks registracijos būdas leidžia apriboti išorinio apšvietimo įtaką, sumažinti elektrinių ir šviesinių triukšmų poveikį. Duomenų įvesties įrenginys valdomas kompiuterio programa per spausdintuvo prievadą (LTP) ir realizuoja šias funkcijas [22]:

1. Programuojama skaitmeninės informacijos įvesties/išvesties funkcija;
2. Programuojamas laiko intervalų formavimas;
3. Skaitmeninio signalo keitimas į analoginį;
4. Analoginio (tolydaus) signalo keitimas į skaitmeninį kodą;
5. Programuojamas analoginio signalo stiprinimas;
6. Išorinių įtaisų ir jutiklių maitinimas;
7. Įrenginio maitinimas.

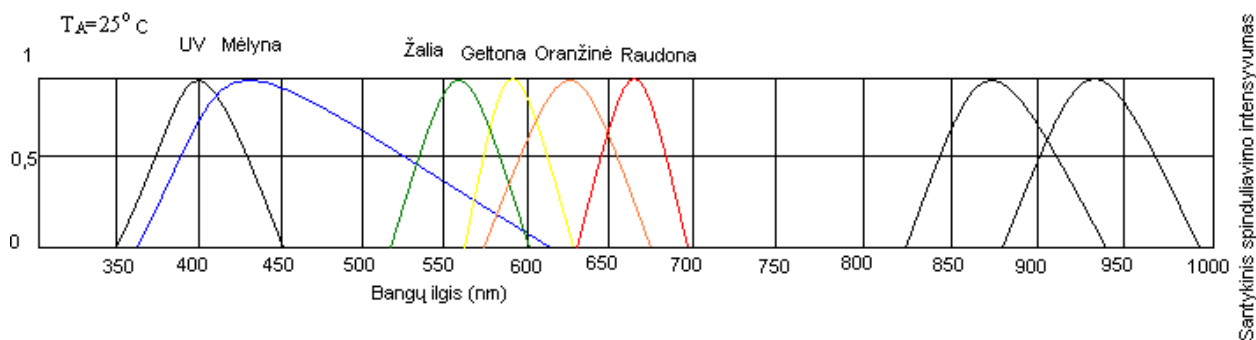
### 2.3.1. Universalus kompiuterinio elektrinių signalų įvesties ir valdymo įtaiso aprašymas

Įrenginys e-Biol apjungia suderinimo su kompiuterio lygiagrečiuoju kompiuterio prievado bloką, funkcinio modulio adreso išskyrimo bloką, duomenų magistralės buferinį bloką, valdymo registrą, būsenos registrą, etaloninio dažnio generatoriaus ir programuojamo laikmačio bloką, įvykių skaitiklio bloką, analoginio signalo keitimo į skaitmeninį kodą modulį, analogas–kodas keitiklių (DAC) bloką, lygiagretų skaitmeninės informacijos įvesties/išvesties bloką ir valdymo grandines. Suderinimo su kompiuterio lygiagrečiuoju prievadu blokas, suderina lygius, išskiria iš EPP režime veikiančio kompiuterio lygiagrečiojo prievado signalų adresų ir duomenų sekas, formuoja įrenginio atsako signalus bei duomenų magistralės buferinio bloko valdymo signalus. Duomenų magistralės buferinis blokas atskiria vidinę įrenginio duomenų magistralę nuo lygiagrečiojo prievado magistralės, valdo duomenų perdavimo kryptį. Funkcinio modulio adreso išskyrimo blokas formuoja pagal pasirinktą įrenginio bazinio adresą ir modulio adresą valdymo signalus aktyvuodamas norimą įrenginį. Valdymo registras skirtas valdyti įrenginio vidinius modulius, keisti

įrenginio konfigūraciją. Būsenos registras atspindi laikmačio ir analoginio signalo keitiklio į kodą modulio veikimą. Analogas – kodas keitiklių blokas sudarytas iš dviejų 12 bitų analogas – kodas keitiklių ir skirtas generuoti tolydžius kompiuteriu valdomus signalus. Programuojamo laikmačio blokas sudarytas iš kvarcinio, etaloninio dažnio generatoriaus (2 MHz), ir dviejų programuojamų skaitiklių. Pasirinkus atitinkamą laikmačio režimą galima realizuoti programuojamos trukmės impulsų generatorių, meandro generatorių ir kita. Įvykių skaitiklis skirtas skaičiuoti impulsų sekas. Analoginio signalo keitiklio į kodą modulį sudaro 2 analoginių signalų komutatoriai, stiprintuvas su programuojamu stiprinimo koeficientu, „0“ lygio reguliavimo schema ir analogas – kodas keitiklis (ADC). Lygiagretus skaitmeninės informacijos įvesties/išvesties įtaisas sudarytas iš trijų 8 bitų registrų, vienas (B) skirtas skaitmeninės informacijos išvesčiai, kitų dviejų (A ir C) funkcija, skaitmeninės informacijos įvestis arba išvestis gali būti pasirinkta programuojant [22].

## 2.4. Šviesos šaltiniai

Šviesos šaltiniai – šviesos diodai. Šviesos diodus (gamintojas „King Bright“) galima keisti pasirenkant norimą bangos ilgį (šviesos spalvą) – infraraudoną (860 nm), raudoną (660 nm), žalią (525 nm), mėlyną (470 nm). Konkretus šviesos diodas spinduliuoja tik tam tikrame bangos ilgio diapazone (2.4. pav.).



2.4. pav. Diodų šviesinis diapazonas.

Kitos šviesos šaltinių charakteristikos:

- Šviesos moduliacijos dažnis – 500 Hz.
- Maitinimo įtampa  $\pm 12 \text{ V}$  (arba  $\pm 5 \text{ V}$ ).
- Kampo matavimo jutiklis – potenciometrinis.

## 2.5. Programinė įranga

Duomenų įvesties ir valdymo įrenginys valdomas ir signalai registruojami su e-Biol ir DataMaster programomis. Surinkti duomenys apdorojami Origin. Nuotraukos apdorojamos specializuotomis vaizdų apdorojimo programomis: ImageJ, IrfanView ir Image Analyzer.

## 2.6. Skaitmeninis fotoaparatas

Nuotraukoms gauti naudojamas skaitmeninis fotoaparatas Panasonic DMC-FZ5EG.

Maitinimo šaltinis: nuolatinė srovė – 8,4 V.

Naudojama galia: 2,1 W (kai fotografuojant naudojamas skystųjų kristalų ekranas); 2,0 W (kai fotografuojant naudojamas vaizdo ieškiklis); 1,2 – 1,1 (kai atkuriamos nuotraukos naudojant ekraną arba vaizdo ieškiklį).

Vaizdo jutiklis: 1/2,5'' colio CCD, bendras taškų skaičius – 5360000 taškų.

Skystųjų kristalų ekranas: 1.8 colio žemos temperatūros polikristalis TFT skystųjų kristalų ekranas (130.000 vaizdo elementų) (dengimas vaizdu: 100%).

Įrašomo failo formatai nuotraukoms: JPEG (standartai vaizdo kamerų bylų sistemoms, pagrįsti „Exif 2.2”)/TIFF (RGB), DPOF atitikmuo.

Įėjimas: 110-240 V 50/60 Hz, 0.15 A

Išėjimas: Įkrovimo 8.4 V [] 0.43 A

## 2.7. Tyrimas

### Tyrimo objektai

Tyrimui pasirinktas augalas – vejos mišinys sudarytas iš (pievinės miglės ir raudonųjų eraičinų), panašiausias savo išvaizda į javų kultūras (2.7.1. pav.).



2.7.1. pav. Vejos nuotraukos skirtingu augimo periodu.

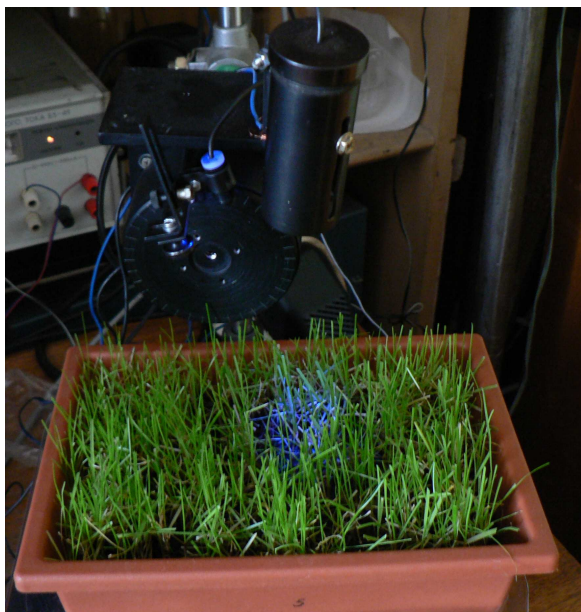


Vejos mišinys pasėjamas į vazonus ir auginamas apie 1 mėn. laboratorinėmis sąlygomis kol sutankėja ir tampa tinkamas atspindžių tyrimams. Atspindžių registravimai susideda iš dviejų dalių, pirmas, kai veja džiovinama (sukuriamos dirbtinės sausros streso sąlygos). Visas džiovinimo (džiūvimo) etapas vykdomas 10 dienų, kurio metu atspindžiai registruojami kas antrą dieną.

Kitos darbo dalies tikslas yra nustatyti vejos mišinio lapų atspindžius veją tręšiant skirtingomis  $\text{KNO}_3$  trąšų koncentracijomis. Šis tyrimas atliekas skirtingomis sąlygomis. Pirmu atveju vejos mišinys auginamas laboratorijos sąlygomis (patalpoje) ir kitas, kai veja auginama lauko sąlygomis (gryname ore). Abiem atvejais vejos mišinio bandiniai suskirstomi į 4 grupes, kur viena bandinių grupė laikoma kaip kontrolinė ir visą laiką laistoma tik vandeniu, o kitos trys grupės tręšiamos atitinkamos koncentracijos  $\text{KNO}_3$  trąšomis.

### Tyrimo eiga

Prie duomenų įvesties ir valdymo įrenginio prijungtas kampo ir šviesos jutiklis. Vejos bandinio vazonas pastatomas tam tikrame aukštyje, kuriame šviesos jutiklis geriausiai užfiksuoja



atspindžius (2.7.2.pav.). Kadangi veja nėra vientisas lapas ir šviečiant skirtingais kampais gaunamas tiek veidrodinis tiek difuzinis atspindžiai, todėl kampo sensorius laikomas visada vienodu kampu. Įjungiamas matavimas. Tam, kad atspindys būtų užregistruotas ne viename vazono taške, vazonas lėtai stumiamas, tada atspindys užregistruojamas skirtingose bandinio vietose. Kompiuterinėje programoje gautos kreivės yra atspindžio kreivės. Matavimai pakartojami, keičiant diodus, kurių bangos ilgiai yra 470, 525, 660 ir 860 nm. Šiuose bangos ilgiuose geriausiai pastebimas vejos atspindžio kitimas, keičiant auginimo sąlygas.

2.7.2. pav. Realus aparatūros vaizdas

### Nuotraukų apdorojimas

Atspindžius nuo augalų paviršiaus galima tirti ne tik matuojant atsispindėjusią skirtingų bangos ilgių šviesą, bet ir analizuojant nuotraukas užfiksuotas vejos mišinio tiriamuoju laikotarpiu. Šio darbo tikslo viena dalis ir yra išmatuoti (pažiūrėti) ar galima įvertinti atspindžių pakitimus augalų stresinių būsenų metu, analizuojant nuotraukas. Darbo eigoje buvo naudojami du skirtingi atspindžių išskirimo iš nuotraukų algoritmai. Pirmuoju būdu atspindžiai apskaičiuojami iš nuotraukos nekreipiant dėmesio į dirvos (žemės) atspindžių įtaką, antruoju būdu - atspindžiai apskaičiuojami tik nuo vejos žalių lapų, naudojant specialų algoritmą, kurio pagalba nuotraukoje išskiriami vejos lapai ir apskaičiuojami spalvos intensyvumai eliminavus fono įtaką.

**Pirmasis būdas.** Kadangi naudojant fotoelektrinę matavimo sistemą atspindžiai buvo matuoti keliose bandinio (vazono) vietose, tai ir nuotraukose atspindžių intensyvumai išskaidomi sukarpanant jas kompiuterine programa į penkias dalis. Vaizdas glotninamas žemo dažnio erdvinio filtru (Gaussian Blur) ir gaunamas fotoelektrinės matavimo sistemos skyrą atitinkantis vaizdas. Šis apdorotas vaizdas naudojamas išskirti RGB spalvų komponentes. Naudojant buitinių skaitmeninių fotoaparatai iš nuotraukų galime gauti tik raudonos, žalios ir mėlynos šviesos atspindžius (RGB filtrai yra fotojautrios matricos paviršiuje) . Gautos atskirtų spalvos komponentių nuotraukos paverčiamos į nespaltotas ir su vaizdų apdorojimo programa apskaičiuojamas pasirinktos spalvos intensyvumas, kuris ir yra pagrindinis atspindžio parametras (2.7.3. pav.).

**Antrasis būdas.** Nuotraukos taip pat yra sukarpomos į reikiama skaičių dalių, išskiriamos RGB komponentės ( $I_R$ ,  $I_G$ ,  $I_B$ ), kur  $I_G$  yra žalioji komponentė, o  $I_R$  ir  $I_B$  yra raudonoji ir mėlynoji komponentės.

Kadangi raudonos, žalios ir mėlynos šviesos atspindžiai nuo nespaltoto (balto, pilko, juodo) paviršių turi būti vienodo didumo, tai dirvos paviršiaus, išdžiūvusių lapų ir kitų objektų įtaka pašalinama iš žalios spalvos vaizdo intensyvumų atėmus raudonos spalvos vaizdo intensyvumus:

$$I_G - I_R = I'_G.$$

Gauta žalios spalvos komponentė  $I'_G$  dalinama iš  $I_{G(\max)}$

$$I'_G / I_{G(\max)} = I''_G.$$

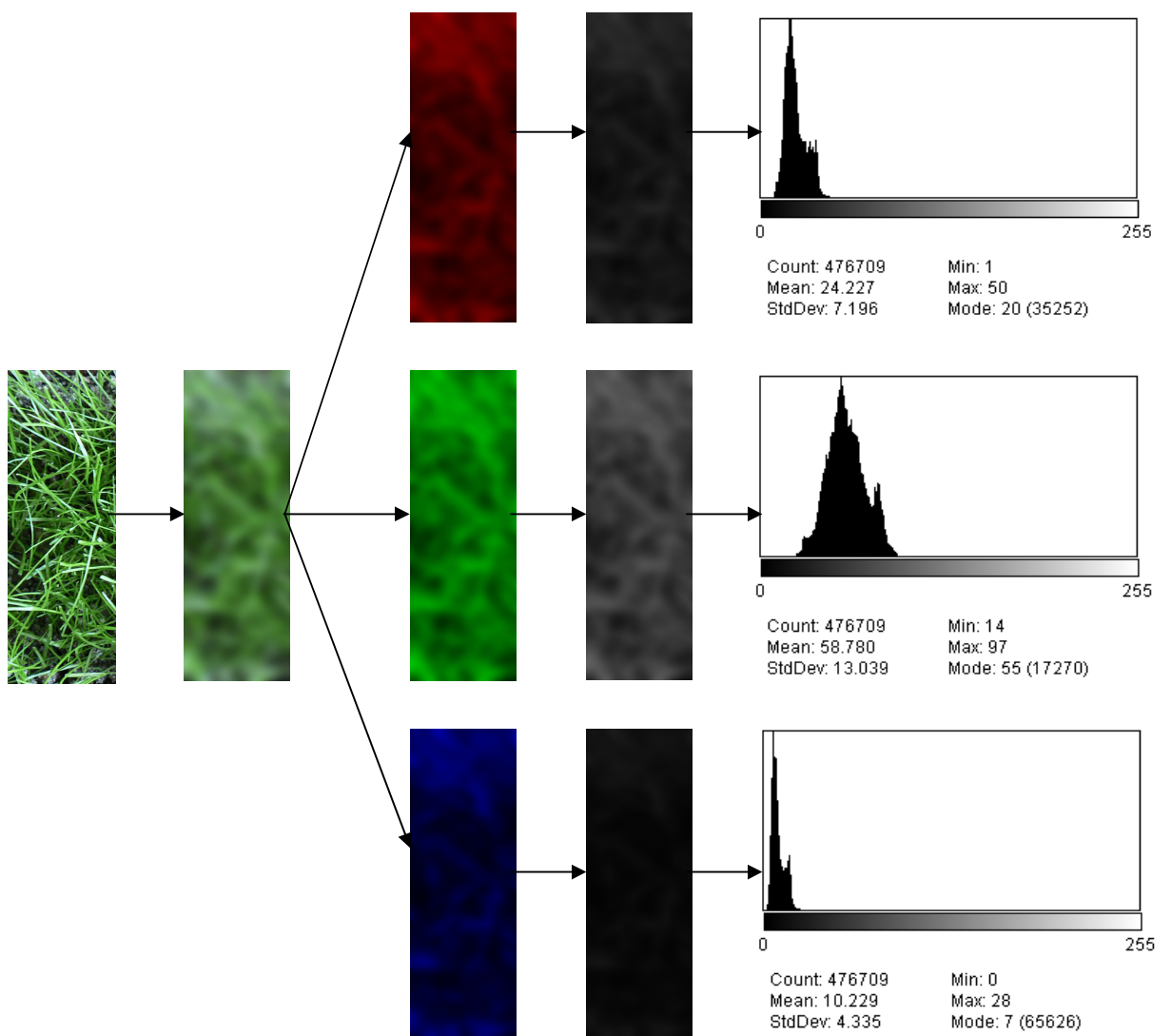
Kiekviena spalvos komponentė padauginama iš sunormuotos žalios komponentės  $I''_G$ , tokiu būdu visose trijose komponentėse išskiriami tik žali vejos lapai.

$$I_R \times I''_G = I_{RG},$$

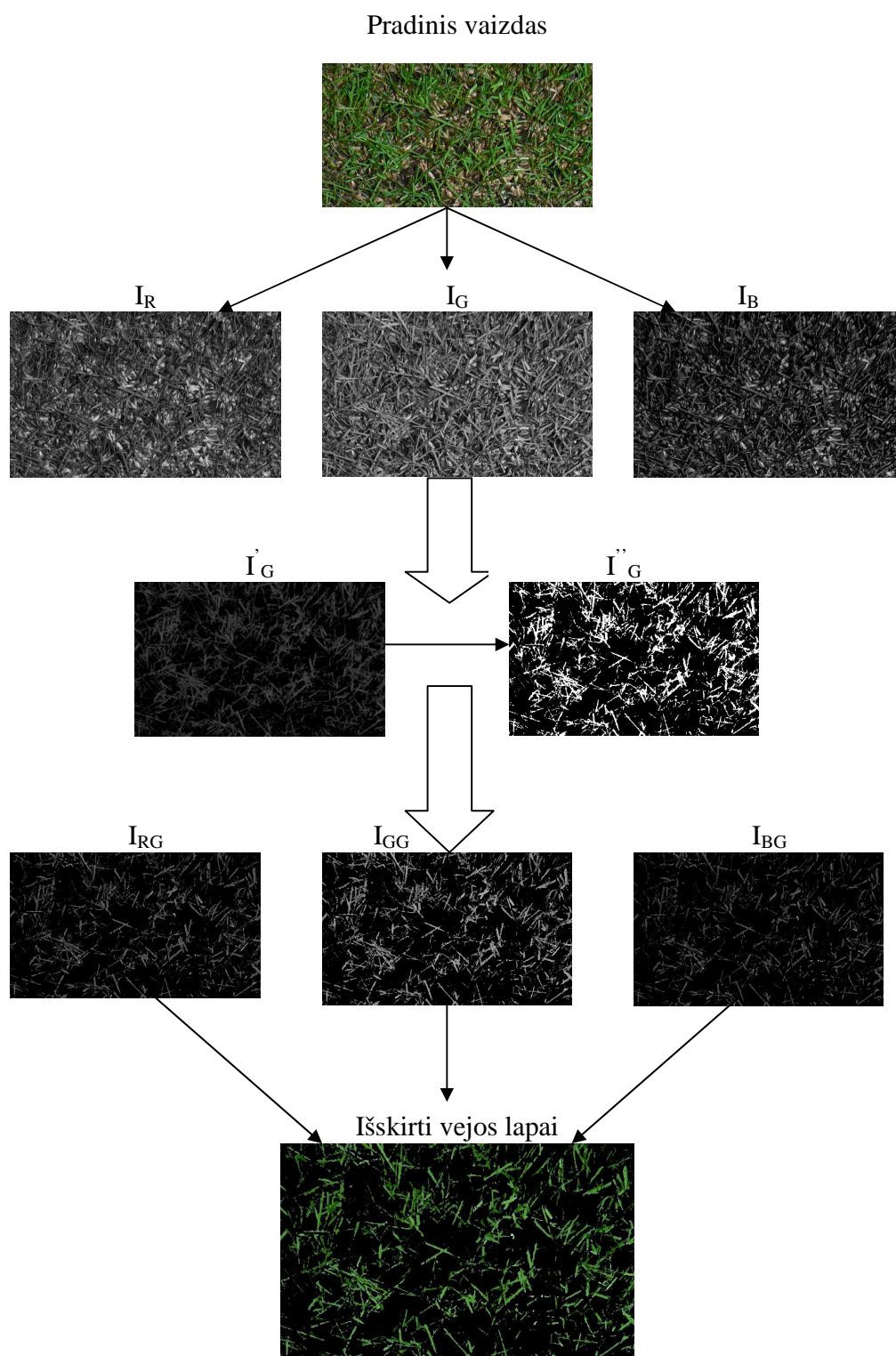
$$I_G \times I''_G = I_{GG},$$

$$I_B \times I''_G = I_{BG}.$$

Gautos naujos komponentės, kuriose išskirti tik žali lapai vėl sujungiamos į vieną vaizdą ir tokiu būdu nuotraukose lieka išskirti tik vejos lapai. Kaip visas šitas algoritmas atrodo pateiktas 2.7.4. paveiksle.



2.7.3. pav. Atspindžių išskirimo iš nuotraukų pirmasis algoritmas.



2.7.4. pav. Atspindžių išskirimo iš nuotraukų antrasis algoritmas.

## **Vandens kiekio nustatymas augaluose**

Žinoti augalų lapuose susikaupusį vandens kiekį yra naudinga, nes taip galima lyginti atspindžių padidėjimą ar sumažėjimą atsižvelgiant į vandens kiekį. Vandens kiekio nustatymui pasirinktas vandens išgarinimo metodas, skaičiuojant sausos masės svorį. Nukirpta veja pasverama ir apie 24 val. džiovinama termostate, kur palaikoma pastovi 60<sup>0</sup> temperatūra. Išdžiuvusi veja pasverama antrą kartą ir pagal sausos masės svorį apskaičiuojamas išgaravusio vandens kiekis.

## **Matavimo duomenų normavimas**

Atspindžiai išmatuoti fotoelektrine sistema su šviesos diodais yra normuojami pagal atspindžius gautus nuo balto popieriaus. Kalibravimas reikalingas tam, kad būtų lengviau ir paprasčiau suprasti ir įvertinti išmatuotas atspindžio reikšmes. Kiekviena spalva atspindima skirtingai, todėl, kad matytųsi kaip jos kinta viena kitos atžvilgiu, jas reikia sukalibruoti. Tam, išmatuojami kiekvieno šviesos diodo atspindžiai nuo balto matinio popieriaus. Kalibruojant buvo panaudotas baltas popierius (80 g/m<sup>2</sup>, gamintojas (Plane Dynamic)). Paprastai kalibravimui naudojamos specialios medžiagos plokštelės (BaSO<sub>4</sub>), kurių atspindžio koeficientas 98% . Popieriaus atspindžio koeficientas yra mažesnis (80%). Atspindžiai apskaičiuoti iš nuotraukų taip pat normuojami pagal baltą spalvą, tai yra visi gauti spalvų intensyvumai dalinami iš 255 (RGB spalvų skalės baltos spalvos intensyvumo).

### 3. REZULTATAI

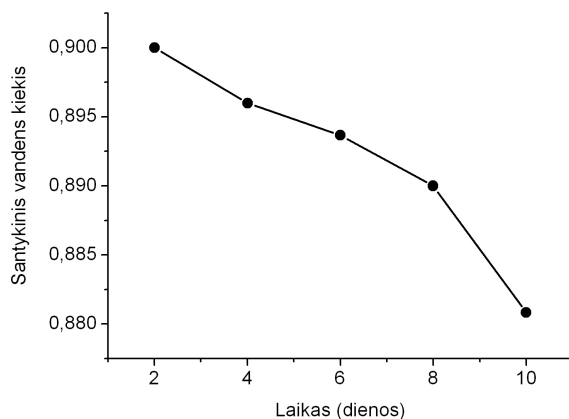
#### Vejos atspindžiai vandens stygiaus metu

##### 3.1.1. Atspindžiai išmatuoti fotoelektrine sistema su šviesos diodais

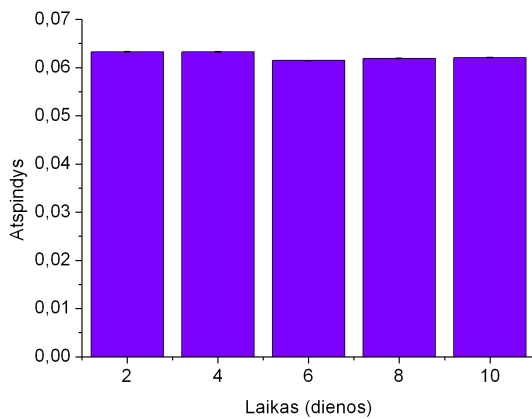
Pasirinktas tiriamasis augalas vejos mišinys, kuris pasėjamas į vazonus ir auginamas apie 1 mėnesį, kol sutankėja ir tampa tinkamas atspindžių matavimams. Gautų duomenų pasiskirstymas nustatomas naudojant Shapiro Wilk'o normalumo testą. Nustatyta, kad duomenys pasiskirstę pagal normalųjį skirstinį, kai  $p=0,05$ .

Kaip jau minėta, labai svarbūs biofizikiniai faktoriai, tiriant lapo optines savybes, regimojoje šviesoje yra lapo pigmentai, o IR šviesoje – lapo audinių struktūra, bei jų cheminė sudėtis.

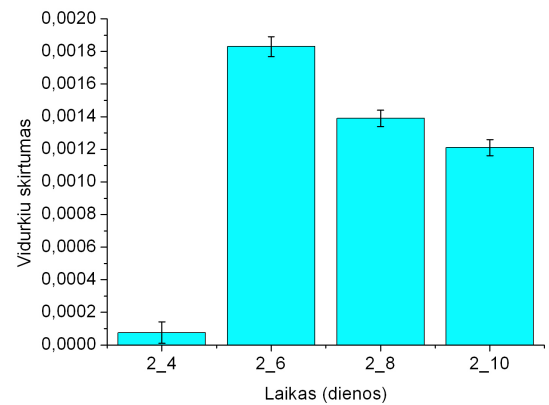
Vejos džiovinimo (džiūvimo) laikotarpiu apskaičiuotas santykinis vandens kiekis lapuose, rezultatai pateikti (3.1.1.1.pav.). Matome kad jau ketvirtą nelaistimo dieną santykinis vandens kiekis augaluose pradeda mažėti - augalas nebegauna pakankamai vandens iš aplinkos ir pradeda eikvoti vandenį sukauptą lapuose. Vandens trūkumo metu keičiasi augalo lapo vidinė struktūra, fotosintezės procesas, augimas ir tai įtakoja atspindžiams.



3.1.1.1.pav. Išmatuotas vandens kiekio lapuose kitimas.

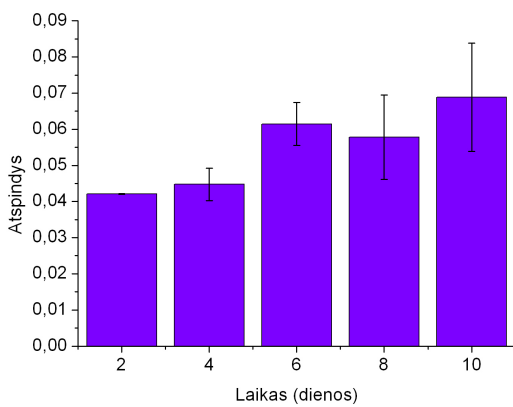


a)

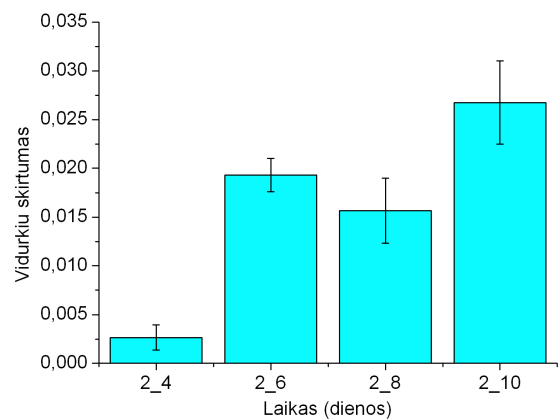


b)

3.1.1.2. pav. Santykiniai mėlynieji vejos mišinio atspindžiai vandens trūkumo (sausros) metu išmatuoti fotoelektrine sistema su šviesos diodais: a) Atspindžiai džiūvimo dienomis, b) Atspindžių vidurkių skirtumai su pasiskirstymo intervalais, lyginant antros dienos atspindžius su kitais vejos džiūvimo dienų atspindžiais.



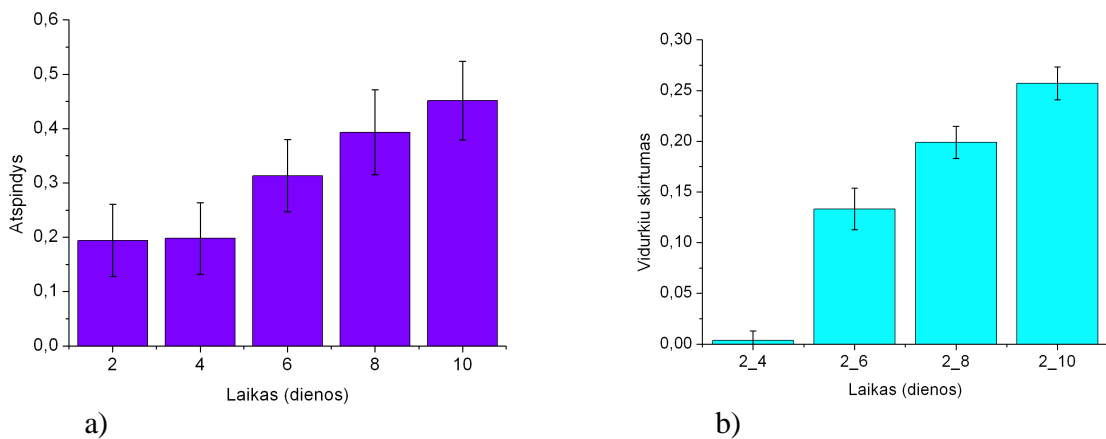
a)



b)

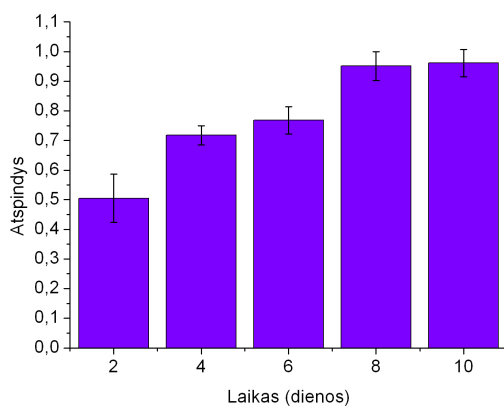
3.1.1.3. pav. Santykiniai žalieji vejos mišinio atspindžiai vandens trūkumo (sausros) metu išmatuoti fotoelektrine sistema su šviesos diodais: a) Atspindžiai džiūvimo dienomis, b) Atspindžių vidurkių skirtumai su pasiskirstymo intervalais, lyginant antros dienos atspindžius su kitais vejos džiūvimo dienų atspindžiais.

Šio eksperimento pagrindinis tikslas yra išsiaiškinti kaip kinta atspindžiai vejos džiūvimo (sausros) metu ir ar užregistruoti kitimai skiriasi reikšmingai. Paveiksluose 3.1.1.2.pav. a), b) pateiktas mėlynųjų atspindžių kitimas nelaistant augalą (dirbtinės) sausros truncančios 10 dienų ir matuojant atspindžius kas antrą dieną. Atlikus atspindžių vidurkių skirtumo analizę nustatyta, kad džiūvimo laikotarpiu mėlynos spalvos atspindžiai mažėja, lyginant pirmos matavimo dienos atspindžius su kitų dienų atspindžiais matomi reikšmingi skirtumai. Didžiausias skirtumas (0,0018, kai  $p < 0,000$ ) stebimas šeštą nelaistimo (sausros) dieną. Atspindžiai gali sumažėti dėl augale vykstančių pokyčių, lapo vidinių sluoksnių kitimo, geresnės mėlynos šviesos sugerties. Kitaip nei mėlynieji atspindžiai, žalios šviesos atspindžiai didėja džiūvimo laikotarpiu pateikta paveiksluose 3.1.1.3.pav. a), b), tačiau nėra dėsningas didėjimas. Atlikus analizę taip pat galima teigti, kad atspindžiai išmatuoti skirtingomis dienomis skiriasi reikšmingai, didžiausi atspindžių skirtumai stebimi lyginant antrą ir dešimtą džiūvimo dienas: ( 0,0268 kai  $p < 0,000$ ), ir antrą - šeštą dienas (0,0193,  $p < 0,000$ ). Tokį žalios spalvos atspindžių augimą galima sieti su vandens kiekio mažėjimu augaluose, kuris įtakoja nelygumų atsiradimą lapų paviršiuje. Atsirandant nelygumams didėja žalios spalvos išsklaidymas nuo lapo paviršiaus.

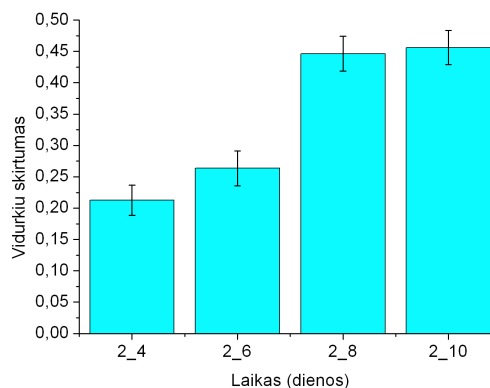


3.1.1.4. pav. Santykiniai raudonieji vejos mišinio atspindžiai vandens trūkumo (sausros) metu išmatuoti fotoelektrine sistema su šviesos diodais: a) Atspindžiai džiūvimo dienomis, b) Atspindžių vidurkių skirtumai su pasiskirstymo intervalais, lyginant antros dienos atspindžius su kitais vejos džiūvimo dienų atspindžiais.





a)



b)

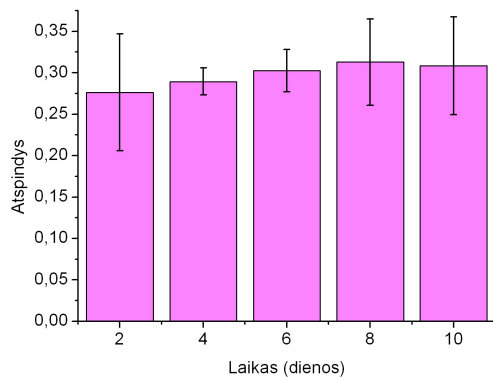
3.1.1.5. pav. Santykiniai infraraudonieji vejos mišinio atspindžiai vandens trūkumo (sausros) metu išmatuoti fotoelektrine sistema su šviesos diodais: a) Atspindžiai džiūvimo dienomis, b) Atspindžių vidurkių skirtumai su pasiskirstymo intervalais, lyginant antros dienos atspindžius su kitais vejos džiūvimo dienų atspindžiais.

Kitokie atspindžių rezultatai gauti raudonoje ir infraraudonoje bangų srityje. Paveiksluose 3.1.1.4.pav. a) ir b) matomas raudonųjų atspindžių augimas vejos džiovinimo (džiūvimo) metu. Atlikus atspindžių vidurkių skirtumų analizę tarp skirtingų dienų paaiškėjo, kad nereikšmingas atspindžių skirtumas (0,0036 su tikimybe  $p=0,4385$ ) stebimas tarp antros ir ketvirtos džiovinimo dienų, didžiausias skirtumas matomas lyginant antrą ir dešimtą dienas, skirtumas yra (0,2571, kai  $p<0,000$ ) Tokį raudonos šviesos atspindžių padidėjimą galima būtų susieti su sulėtėjusiu chlorofilo molekulių gamybos procesu esant vandens trūkumui. Mažėjant chlorofilų kiekiui didėja raudonieji atspindžiai. IR atspindžių taip pat matomas dėsningas didėjimas, ką parodo paveikslai 3.1.1.5.pav. a) ir b). Gauti atspindžių vidurkių skirtumai yra reikšmingi tarp visų dienų. Atspindžiai didėja ilgėjant džiūvimo periodui, tai parodo apskaičiuoti atspindžių skirtumai tarp antros - aštuntos ir antros - dešimtos dienų, atitinkami skirtumai (0,4484  $p<0,000$ ) ir (0,4563  $p<0,000$ ).

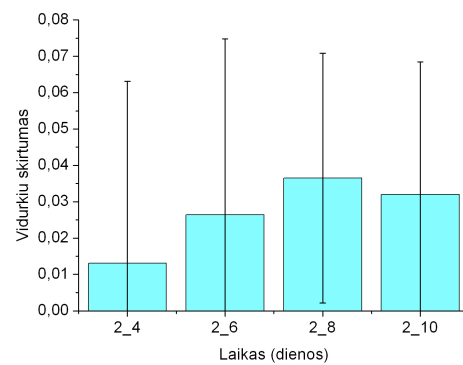
Iš atspindžių išmatuotų fotoelektrine sistema su šviesos diodais galima teigti, kad vejos džiūvimo periodu tikrai matomi atspindžių skirtumai. Didžiausi pakitimai matomi IR ir raudonųjų atspindžių, nes tai šviesos bangų sritis, kurioje vandens kitimas augaluose suteikia informacijos apie atspindžių kitimą. Aišku dar ryškesnius vandens kitimus reikėtų panagrinėti šviesos bangų srityje iki 2000 nm, tačiau šio tyrimo metu tokių galimybių nebuvo.

### 3.1.2. Atspindžiai iš nuotraukų džiūvimo (sausros) periodu

Gauti nuotraukų rezultatai pateikti paveiksluose (3.1.2.1. – 3.1.2.3), kuriuose atspindžiai apskaičiuoti tik iš žalių vejos lapų pašalinant foninę įtaką (nuotraukas apdorojant antruoju algoritmu). Paveikslą a) dalyse parodyta kaip raudonos, žalios ir mėlynos šviesos atspindžiai pasiskirstę vejos džiūvimo dienomis, b) dalyse pateikti atspindžių skirtumai tarp dienų.

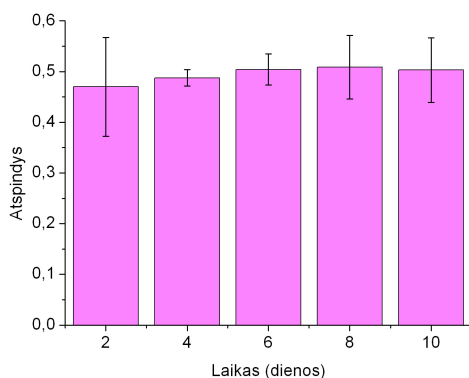


a)

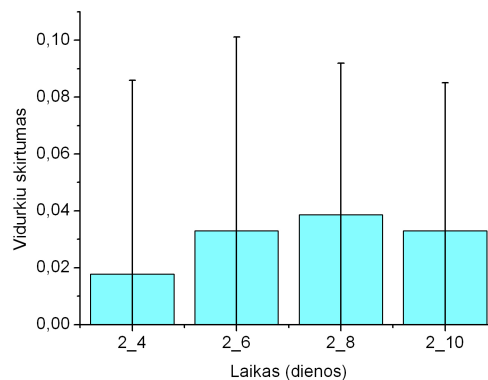


b)

3.1.2.1. pav. Santykiniai raudonieji vejos mišinio atspindžiai išskirti iš nuotraukų naudojant antrąjį nuotraukų apdorojimo algoritmą, vandens trūkumo (sausros) metu: a) Atspindžiai džiūvimo dienomis, b) Atspindžių vidurkių skirtumai su pasiskirstymo intervalais, lyginant antros dienos atspindžius su kitais vejos džiūvimo dienų atspindžiais.

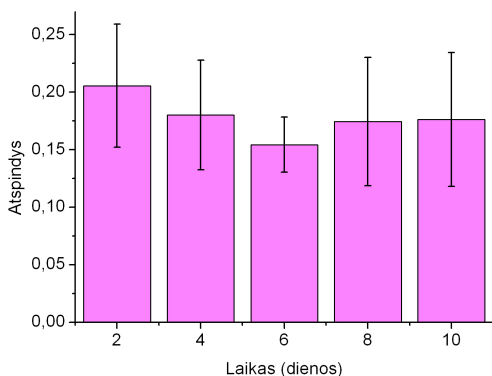


a)

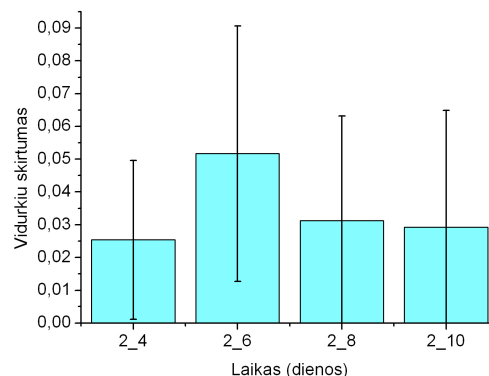


b)

3.1.2.2. pav. Santykiniai žalieji vejos mišinio atspindžiai išskirti iš nuotraukų naudojant antrąjį nuotraukų apdorojimo algoritimą, vandens trūkumo (sausros) metu: a) Atspindžiai džiūvimo dienomis, b) Atspindžių vidurkių skirtumai su pasiskirstymo intervalais, lyginant antros dienos atspindžius su kitais vejos džiūvimo dienų atspindžiais.



a)

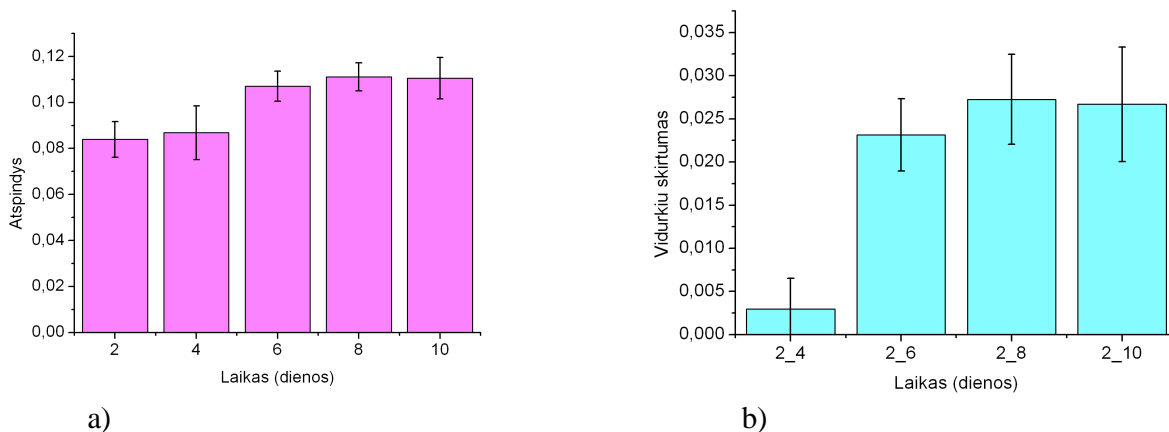


b)

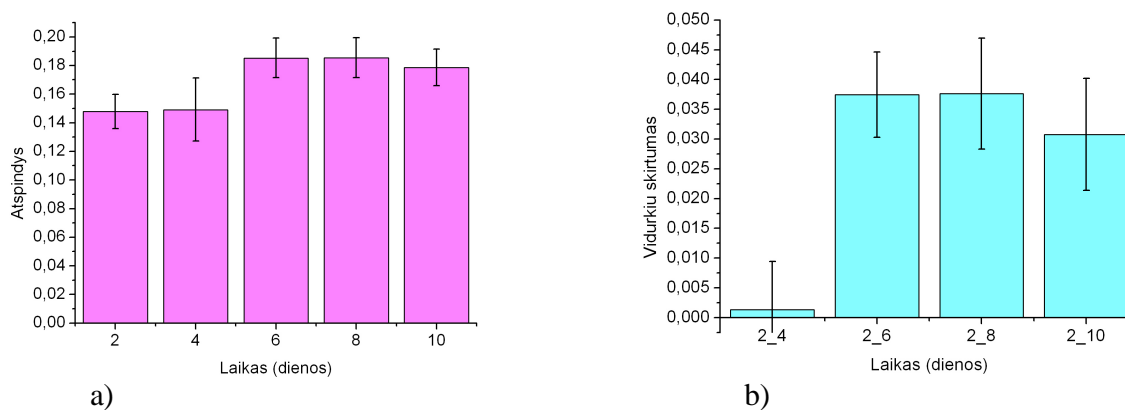
3.1.2.3. pav. Santykiniai mėlynieji vejos mišinio atspindžiai išskirti iš nuotraukų naudojant antrąjį nuotraukų apdorojimo algoritimą, vandens trūkumo (sausros) metu: a) Atspindžiai džiūvimo dienomis, b) Atspindžių vidurkių skirtumai su pasiskirstymo intervalais, lyginant antros dienos atspindžius su kitais vejos džiūvimo dienų atspindžiais.

Atlikus duomenų analizę galima teigti, kad vejos džiūvinimo (džiūvimo) periodu raudonieji ir žalieji atspindžiai didėjo, tačiau reikšmingi skirtumai matomi tik raudonųjų atspindžių tarp antros - aštuntos dienų - 0,0365 su tikimybe ( $p=0,0394$ ), žalieji atspindžiai tarp dienų skiriasi nereikšmingai. Visai kitas yra mėlynųjų atspindžių pasiskirstymas, vejos džiūvimo metu mėlynieji atspindžiai mažėja, tačiau reikšmingi skirtumai 0,0254 ( $p=0,2418$ ) yra tarp antros – ketvirtos dienų

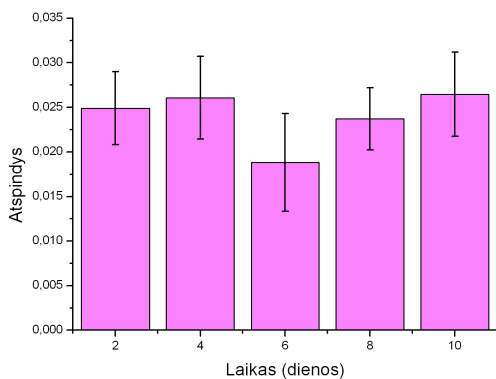
ir skirtumas 0,0517 ( $p=0,0150$ ) tarp antros – šeštos dienų. Matome, kad atspindžių išskirtų iš nuotraukų ir išmatuotų fotoelektrine sistema su šviesos diodais kitimo tendencija tokia pati. Abiem metodais raudonieji ir žalieji atspindžiai vejos džiovimo metu didėja, o mėlynieji mažėja, nors reikšmingi skirtumai apskaičiuoti ne visur.



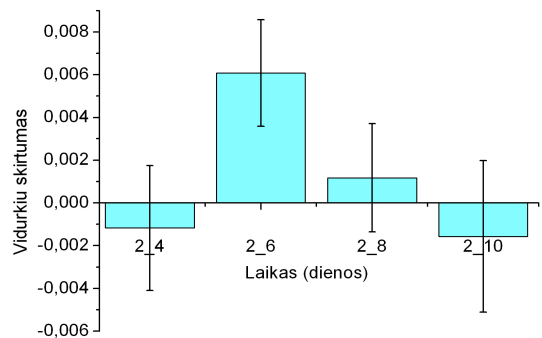
3.1.2.4. pav. Santykiniai raudonieji vejos mišinio atspindžiai išskirti iš nuotraukų naudojant pirmąjį nuotraukų apdorojimo algoritmą, vandens trūkumo (sausros) metu: a) Atspindžiai džiovimo dienomis, b) Atspindžių vidurkių skirtumai su pasiskirstymo intervalais, lyginant antros dienos atspindžius su kitais vejos džiovimo dienų atspindžiais.



3.1.2.5. pav. . Santykiniai žalieji vejos mišinio atspindžiai išskirti iš nuotraukų naudojant pirmąjį nuotraukų apdorojimo algoritmą, vandens trūkumo (sausros) metu: a) Atspindžiai džiovimo dienomis, b) Atspindžių vidurkių skirtumai su pasiskirstymo intervalais, lyginant antros dienos atspindžius su kitais vejos džiovimo dienų atspindžiais.



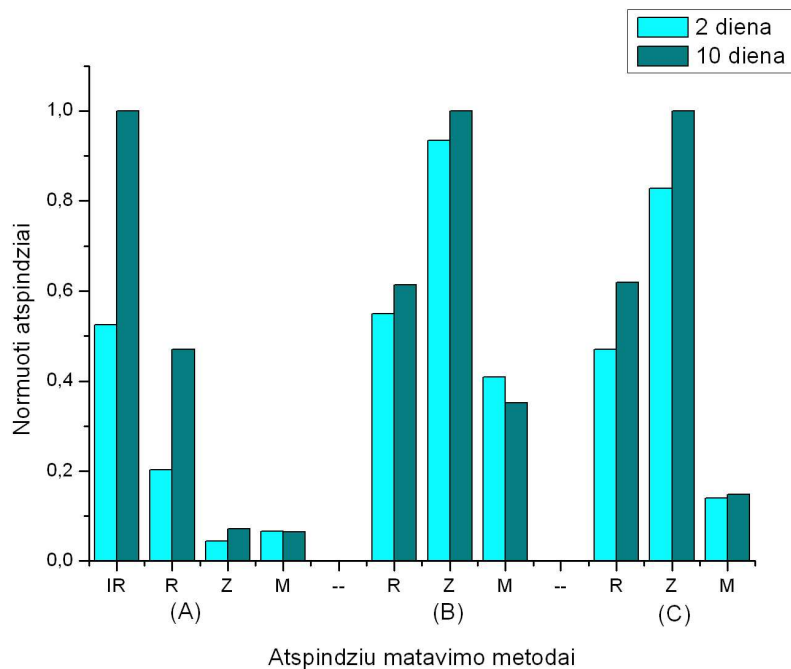
a)



b)

3.1.2.6. pav. . Santykiniai mėlynieji vejos mišinio atspindžiai išskirti iš nuotraukų naudojant pirmąjį nuotraukų apdorojimo algoritmą, vandens trūkumo (sausros) metu: a) Atspindžiai džiūvimo dienomis, b) Atspindžių vidurkių skirtumai su pasiskirstymo intervalais, lyginant antros dienos atspindžius su kitais vejos džiūvimo dienų atspindžiais.

Atspindžiai išskirti iš nuotraukų su žemės (dirvos) fonine įtaka pateikti paveiksluose 3.1.2.4.pav. – 3.1.2.6.pav. Iš gautų duomenų galima teigti, jog vejos džiūvimo periodu, kuris buvo vykdomas dešimt dienų, matome kaip kinta raudonieji, žalieji ir mėlynieji atspindžiai. Raudoni ir žali atspindžiai didėja vejai patiriant dirbtinėmis sąlygomis sukurtą sausros stresą. Matomi reikšmingi atspindžių skirtumai išskyrus atspindžius lyginamus antrą - ketvirtą dienomis. Tai galima būtų pagrįsti faktu, kad augalai yra linkę savyje kaupti vandenį ir esant trumpam vandens trūkumo laikotarpiu vyksta nežymus vidinių sluoksnių pakitimai, kurie turi menką įtaka atspindžiams. Ryškiausi atspindžių skirtumai stebimi šeštą - aštuntą džiūvimo dienomis. Raudonų atspindžių didžiausias skirtumas antrą – aštuntą dienomis yra (0,0273,  $p < 0,000$ ), o žalių tomis dienomis skirtumas (0,03765  $p < 0,000$ ). Visai kitoms mėlynų atspindžių kitimas lyginant su atspindžiais išskirtais tik iš vejos žalių lapų. Šiuo atveju mėlynieji atspindžiai reikšmingai skiriasi tik tarp antros-šeštos dienų su skirtumu (0,0061, kai  $p < 0,000$ ), visų kitų dienų skirtumai nėra reikšmingi. Apibendrinti vejos atspindžiai džiūvimo metu pateikti paveiksle 3.1.2.7.pav.

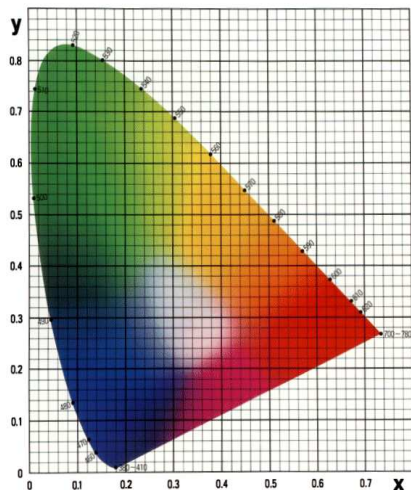


3.1.2.7. pav. Vėjos mišinio matomos ir artimosios infraraudonosios srities atspindžiai matuoti skirtingais metodais vėjos džiūvimo metu, palyginami antros ir dešimtos džiūvimo dienų atspindžiai: (A) naudojama fotoelektrinė sistema su šviesos diodais, (B) išskirti iš nuotraukų naudojant antrąjį algoritmą (be fono įtakos), (C) išskirti iš nuotraukų naudojant pirmąjį algoritmą (su fonu).

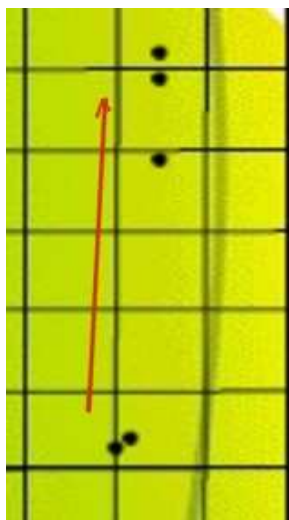
Iš rezultatų galima teigti, kad raudonieji ir žalieji atspindžiai vėjos džiūvimo metu padidėjo, matuojant trimis skirtingais metodais, tačiau mėlynųjų atspindžių mažėjimas matomas matuojant fotoelektrine sistema ir išskiriant iš nuotraukų pašalinus fono įtaką. Tačiau mėlynieji atspindžiai didėja esant fono įtakai, galima manyti, kad tokį mėlynųjų atspindžių augimą įtakoja žemės (dirvos) fonas.

Žinant vėjos mišinio atspindžius galima nustatyti kaip kinta vėjos lapų spalva džiovinimo periodu. Atspindžiai perskaičiuojami į CIE spalvų diagramos parametrus  $x$ ,  $y$ ,  $Y$  (3.1.2.8 pav). Gauti vėjos džiūvimo metu lapų spalvos kitimo rezultatai pateikti paveiksluose 3.1.2.9. pav. a) ir b).. Abiejuose paveiksluose matomas spalvos kitimas, tačiau spalvos kitimas didesnis naudojant atspindžius išmatuotus su šviesos šaltiniais. Tokį skirtumą galima būtų paaiškinti gal būt kaip fono buvimo įtaką, nes registruojant atspindžius fotoelektrine sistema su šviesos šaltiniais atspindžiai

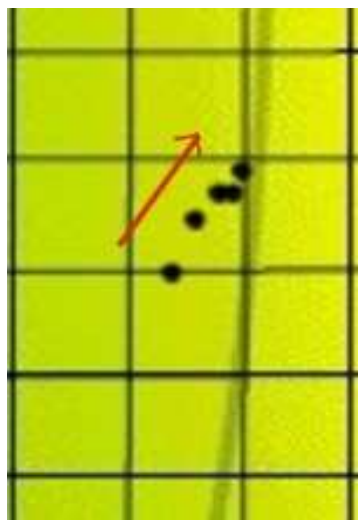
matuojami nuo vejų lapų ir žemės (dirvos) paviršiaus, o paveiksle 3.1.2.9.pav. b) pateikti atspindžiai apskaičiuoti tik nuo žalių vejų lapų (naudojant antrąjį nuotraukų apdorojimo algoritmą).



3.1.2.8 pav. CIE diagramos koordinatinių sistema



a)



b)

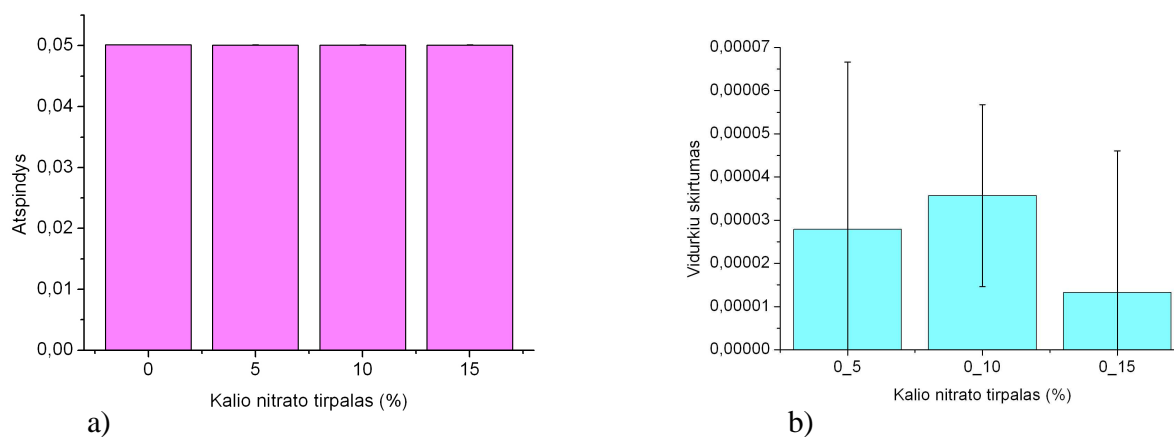
3.1.2.9 pav. Vėjų lapų spalvos kitimas džūvimo metu: a) Naudojant atspindžius išmatuotus fotoelektrine sistema su šviesos diodais, b) Atspindžiai naudojami apskaičiuoti iš nuotraukų antruoju algoritmu.

## 3.2. Trąšų įtaka vejos mišinio lapų atspindžiams

### 3.2.1. Atspindžiai išmatuoti fotoelektrine sistema su šviesos diodais

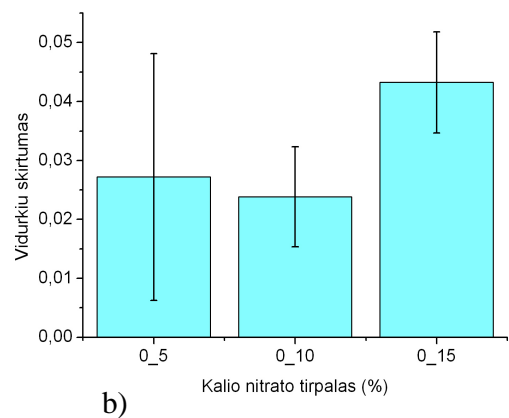
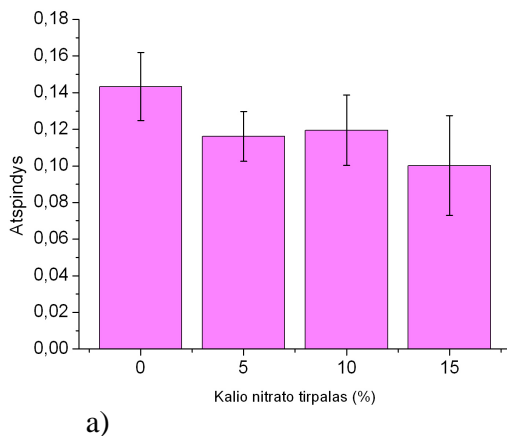
Tyrimas atliktas su vejos mišinio bandiniais auginamais laboratorinėmis sąlygomis (patalpoje) ir lauko sąlygomis (vasara gryname ore). Bandomieji augalai suskirstomi į 4 grupes, priklausomai kokios koncentracijos  $\text{KNO}_3$  tirpalu yra laistomi.

Gauti atspindžių rezultatai pavaizduoti paveiksluose (3.2.1.1.pav. – 3.2.1.4.pav.).



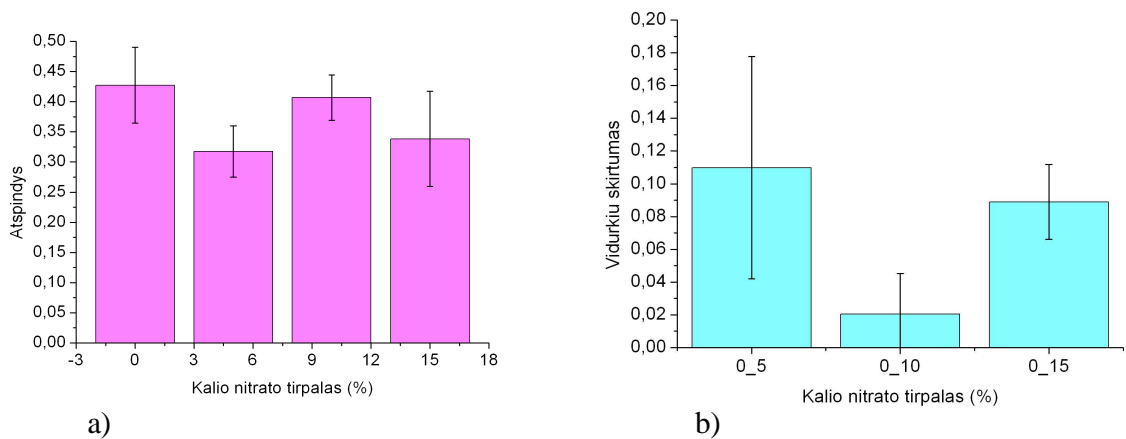
3.2.1.1. pav. Santykiniai mėlynieji vejos mišinio atspindžiai išmatuoti fotoelektrine sistema su šviesos diodais vejos tręšimo metu: a) Atspindžiai tręšiant veją skirtingos koncentracijos  $\text{KNO}_3$  trąšomis, b) Atspindžių vidurkių skirtumai su pasiskirstymo intervalais, lyginant vejos netręštos ir tręštos atitinkamos koncentracijos  $\text{KNO}_3$  trąšomis.



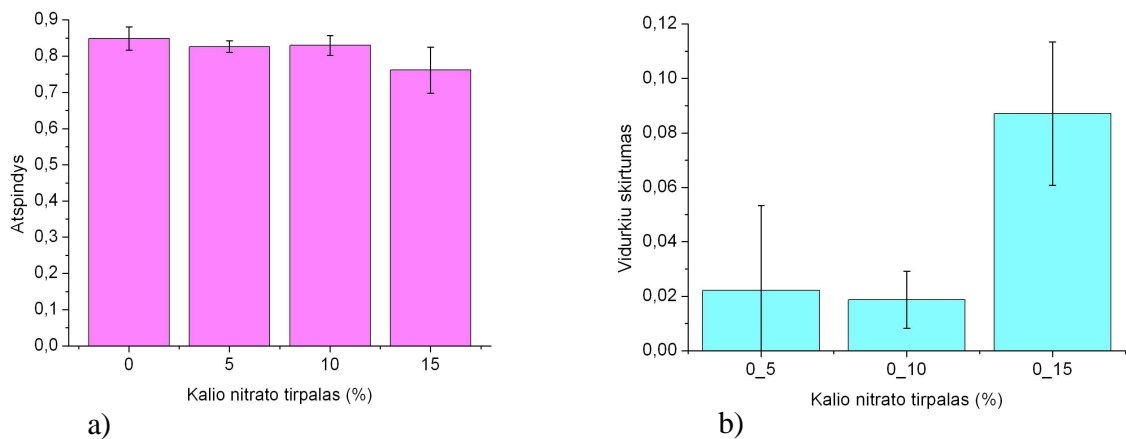


3.2.1.2. pav. Santykiniai žalieji vejos mišinio atspindžiai išmatuoti fotoelektrine sistema su šviesos diodais vejos tręšimo metu: a) Atspindžiai tręšiant veją skirtingos koncentracijos  $\text{KNO}_3$  trąšomis, b) Atspindžių vidurkių skirtumai su pasiskirstymo intervalais, lyginant vejos netręštos ir tręštos atitinkamos koncentracijos  $\text{KNO}_3$  trąšomis.

Laboratorinėmis sąlygomis augintos ir tręštos vejos mišinio išmatuoti atspindžiai fotoelektrine sistema su šviesos diodais rodo, kad mėlynieji atspindžiai nesiskiria reikšmingai lyginant veją laistoma vandeniu ar tręšiama 5% ir 15%  $\text{KNO}_3$  tirpalais. Tačiau veją tręšiant 10%  $\text{KNO}_3$  matomi reikšmingi atspindžių skirtumai ( $3,5645 \cdot 10^{-5}$  su tikimybe  $p=0,0041$ ). Visai kitokie kitimai vyksta su žaliaisiais atspindžiais. Čia visų trijų grupių augalų tręštų 5%, 10% ir 15%  $\text{KNO}_3$  tirpalais atspindžiai reikšmingai skiriasi nuo kontrolinės vejos atspindžių kai laistoma tik vandeniu. Didžiausias skirtumas kai veją tręšiama 15%  $\text{KNO}_3$  tirpalu (0,0432 su tikimybe  $p<0,000$ ), mažesni skirtumai matomi 5% (0,0272,  $p=0,0166$ ) ir mažiausiai skiriasi tačiau reikšmingai kai tręšiama 10%  $\text{KNO}_3$  tirpalu (0,0239,  $p=0,0001$ ). Iš gautų mėlynų ir žalių atspindžių galima teigti, kad didžiausia įtaka turi 5% ir 15%  $\text{KNO}_3$  koncentruoti tirpalai. Tačiau nėra žinoma koks kiekis azoto susikaupė augalų lapuose juos tręšiant skirtingų koncentracijų tirpalais, tik galima būtų spėti gal būt tai tinkamos koncentracijos, kad vyktų pakankama chlorofilo gamyba ir kiti biocheminiai procesai augalų lapuose.



3.2.1.3. pav. Santykiniai raudonieji vejos mišinio atspindžiai išmatuoti fotoelektrine sistema su šviesos diodais vejos tręšimo metu: a) Atspindžiai tręšiant veją skirtingos koncentracijos  $KNO_3$  trąšomis, b) Atspindžių vidurkių skirtumai su pasiskirstymo intervalais, lyginant vejos netręštos ir tręštos atitinkamos koncentracijos  $KNO_3$  trąšomis.



3.2.1.4. pav. Santykiniai infraraudonieji vejos mišinio atspindžiai išmatuoti fotoelektrine sistema su šviesos diodais vejos tręšimo metu: a) Atspindžiai tręšiant veją skirtingos koncentracijos  $KNO_3$  trąšomis, b) Atspindžių vidurkių skirtumai su pasiskirstymo intervalais, lyginant vejos netręštos ir tręštos atitinkamos koncentracijos  $KNO_3$  trąšomis.

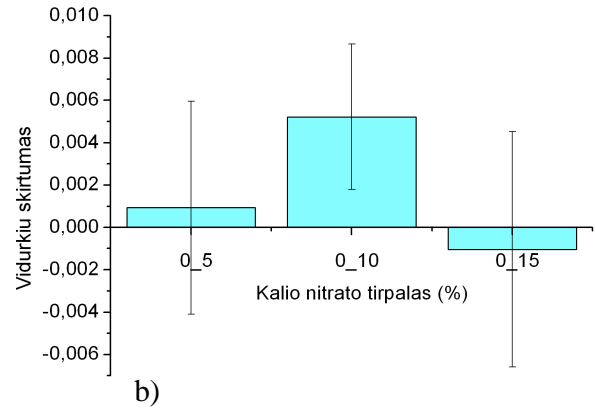
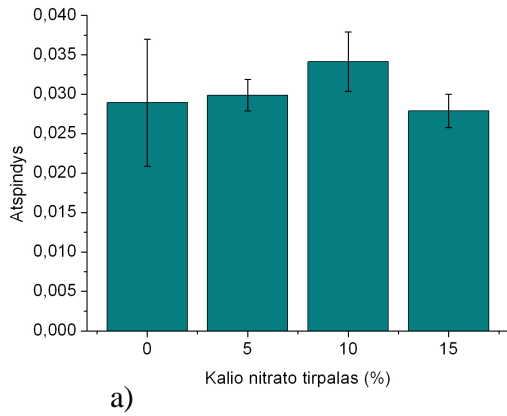
Gauti rezultatai raudonųjų ir infraraudonųjų atspindžių duomenys pateikti paveiksluose 3.2.1.3.pav. – 3.2.1.4.pav. Paveiksle 3.2.1.3.pav. a) matome kaip pasiskirstę raudonieji atspindžiai veją tręšiant skirtingais  $KNO_3$  koncentruotais tirpalais, paveikslo b) dalyje parodyta kaip skiriasi atspindžiai vejos laistytos tik vandeniu ir tręštos atitinkamos koncentracijos tirpalais. Veją tręšiant

5% ir 15%  $\text{KNO}_3$  tirpalais atspindžių skirtumai gauti reikšmingi su atitinkamais skirtumais 5% - (0,1099  $p=0,0052$ ) ir 15% - (0,0890  $p<0,000$ ), tačiau kai koncentracija 10% atspindžių skirtumai nereikšmingi. Šiek tiek kitaip pasiskirstę atspindžiai artimojoje infraraudonoje bangų srityje pateikta paveiksluose 3.2.1.4.pav. a) ir b). Kai veja tręšiama 5%  $\text{KNO}_3$  koncentruotu tirpalu atspindžiai skiriasi nereikšmingai nuo vejos atspindžių laistytos vandenių. Tręšiant 10% ir 15%  $\text{KNO}_3$  tirpalais gauti reikšmingi atspindžių skirtumai kurie yra (0,0187,  $p=0,0030$ ) ir (0,0871 kai tikimybė  $p<0,000$ ).

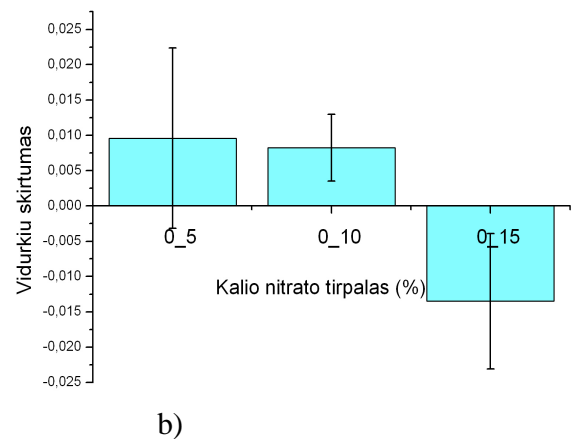
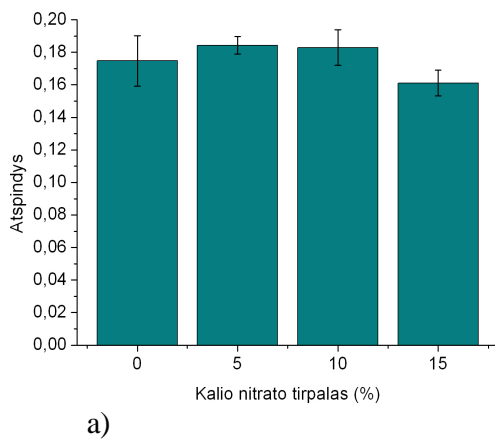
Apibendrinant atspindžių rezultatus išmatuotus fotoelektrine sistema su šviesos diodais laboratorinėmis sąlygomis vejos tręšimo laikotarpiu galima, teigti, kad kai veja tręšiama 5%  $\text{KNO}_3$  tirpalu atspindžių pakitimai stebimi raudonoje ir žalioje šviesos bangų srityse, kai koncentracija 10% atspindžių skirtumai stebimi mėlynoje, žalioje ir artimojoje infraraudonoje bangų srityse, tręšiant veją 15%  $\text{KNO}_3$  tirpalu atspindžių skirtumai stebimi raudonoje, žalioje ir artimojoje infraraudonoje bangų srityse.

### 3.2.2. Vejos mišinio lapų atspindžiai apskaičiuoti iš nuotraukų tręšimo laikotarpiu

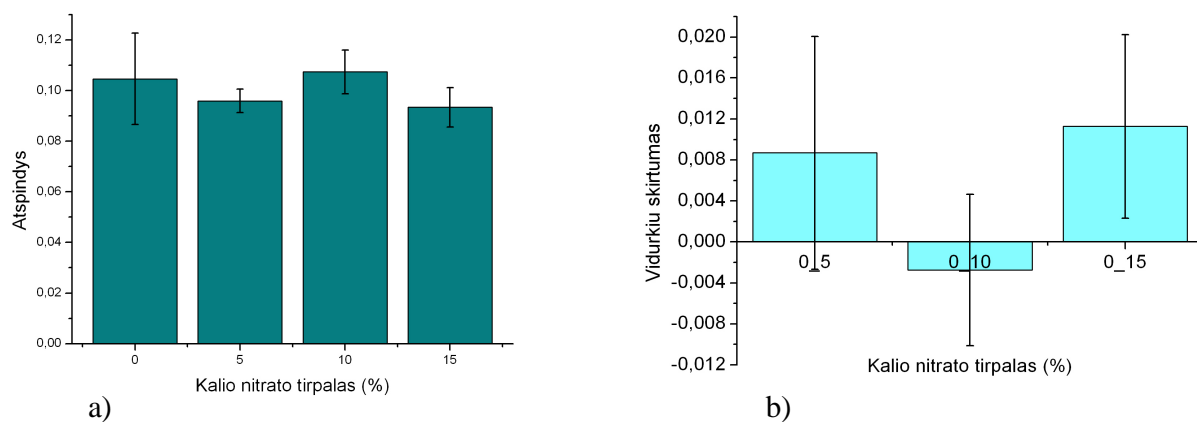
Visą vejos mišinio tręšimo laikotarpį atspindžiai buvo matuojami ne tik naudojant šviesos diodus, bet ir fiksuojant nuotraukas. Rezultatuose pateikiami atspindžių duomenys gauti nuotraukas apdorojant dviem skirtingais algoritmais, pirmas kai atspindžiai apskaičiuojami iš visos nuotraukos įskaitant ir žemės įtaką, antras algoritmas – atspindžiai iš nuotraukų apskaičiuojami tik iš žalių vejos lapų panaikinant fono (žemės) įtaką. Gauti rezultatai pavaizduoti paveiksluose (3.2.2.1.pav. – 3.2.2.6.pav.).



3.2.2.1. pav. Santykiniai mėlynieji vejos mišinio atspindžiai išskirti iš nuotraukų naudojant pirmąjį nuotraukų apdorojimo algoritmą: a) Atspindžiai tręšiant veją skirtingos koncentracijos  $KNO_3$  trąšomis, b) Atspindžių vidurkių skirtumai su pasiskirstymo intervalais, lyginant vejos netręštos ir tręštos atitinkamos koncentracijos  $KNO_3$  trąšomis.

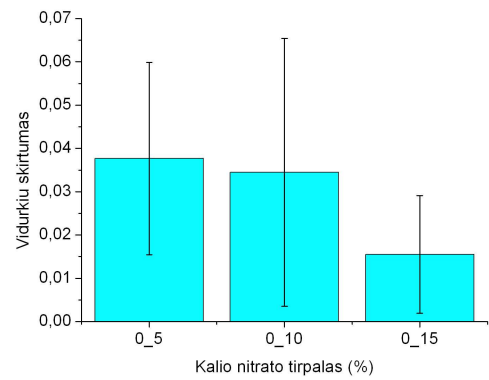
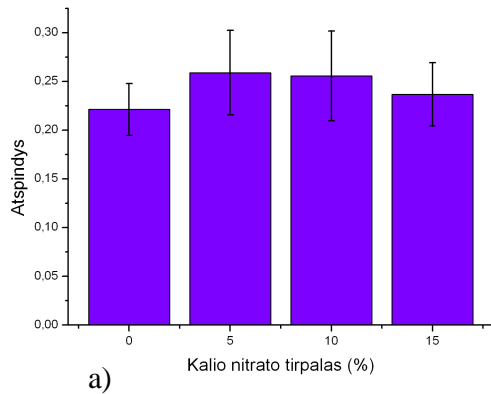


3.2.2.2. pav. Santykiniai žalieji vejos mišinio atspindžiai išskirti iš nuotraukų naudojant pirmąjį nuotraukų apdorojimo algoritmą: a) Atspindžiai tręšiant veją skirtingos koncentracijos  $KNO_3$  trąšomis, b) Atspindžių vidurkių skirtumai su pasiskirstymo intervalais, lyginant vejos netręštos ir tręštos atitinkamos koncentracijos  $KNO_3$  trąšomis.

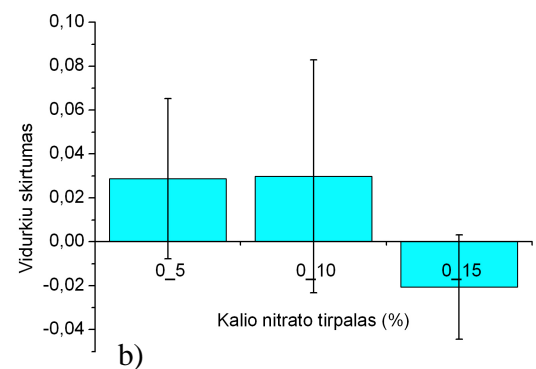
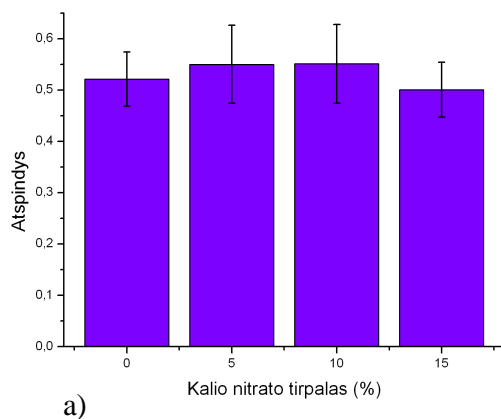


3.2.2.3. pav. Santykiniai raudonieji vejos mišinio atspindžiai išskirti iš nuotraukų naudojant pirmąjį nuotraukų apdorojimo algoritmą: a) Atspindžiai tręšiant veją skirtingos koncentracijos KNO<sub>3</sub> trąšomis, b) Atspindžių vidurkių skirtumai su pasiskirstymo intervalais, lyginant vejos netręštos ir tręštos atitinkamos koncentracijos KNO<sub>3</sub> trąšomis.

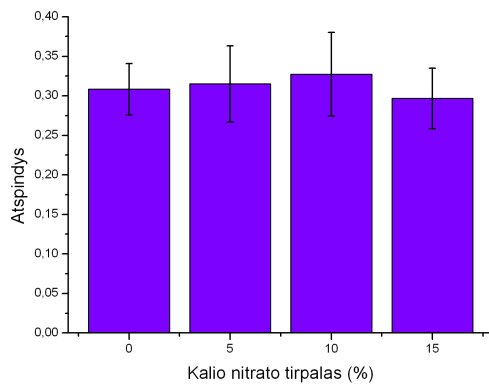
Atlikus nuotraukų analizę ir apskaičiavus atspindžius iš visos nuotraukos neeliminuojuant žemės įtakos (naudojamas pirmasis nuotraukų apdorojimo algoritmas), gauti rezultatai pateikti paveiksluose 3.2.2.1.pav. – 3.2.2.3.pav., kai veja tręšiama skirtingos koncentracijos trąšomis. Veją laistant vandeniu ir tręšiant 5% KNO<sub>3</sub> tirpalu reikšmingų skirtumų tarp atspindžių nėra. Tačiau palyginus atspindžius vejos augintos be trąšų ir tręštos 10% KNO<sub>3</sub> tirpalu reikšmingi skirtumai regimi žaliųjų atspindžių (0,0082 su tikimybe p=0,0034) ir mėlynųjų atspindžių (0,0052, p=0,0075), raudonieji atspindžiai skiriasi nereikšmingai. Tręšiant veją 15% KNO<sub>3</sub> trąšomis reikšmingai skiriasi raudonieji atspindžiai (0,0113, su p=0,0192) ir žalieji atspindžiai su skirtumu (0,0135, kai p=0,0109).



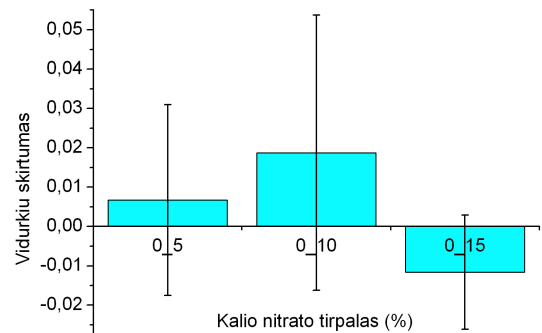
3.2.2.4. pav. Santykiniai mėlynieji vejos mišinio atspindžiai išskirti iš nuotraukų naudojant antrąjį nuotraukų apdorojimo algoritmą: a) Atspindžiai tręšiant veją skirtingos koncentracijos  $KNO_3$  trąšomis, b) Atspindžių vidurkių skirtumai su pasiskirstymo intervalais, lyginant vejos netręštos ir tręštos atitinkamos koncentracijos  $KNO_3$  trąšomis.



3.2.2.5. pav. Santykiniai žalieji vejos mišinio atspindžiai išskirti iš nuotraukų naudojant antrąjį nuotraukų apdorojimo algoritmą: a) Atspindžiai tręšiant veją skirtingos koncentracijos  $KNO_3$  trąšomis, b) Atspindžių vidurkių skirtumai su pasiskirstymo intervalais, lyginant vejos netręštos ir tręštos atitinkamos koncentracijos  $KNO_3$  trąšomis.



a)



b)

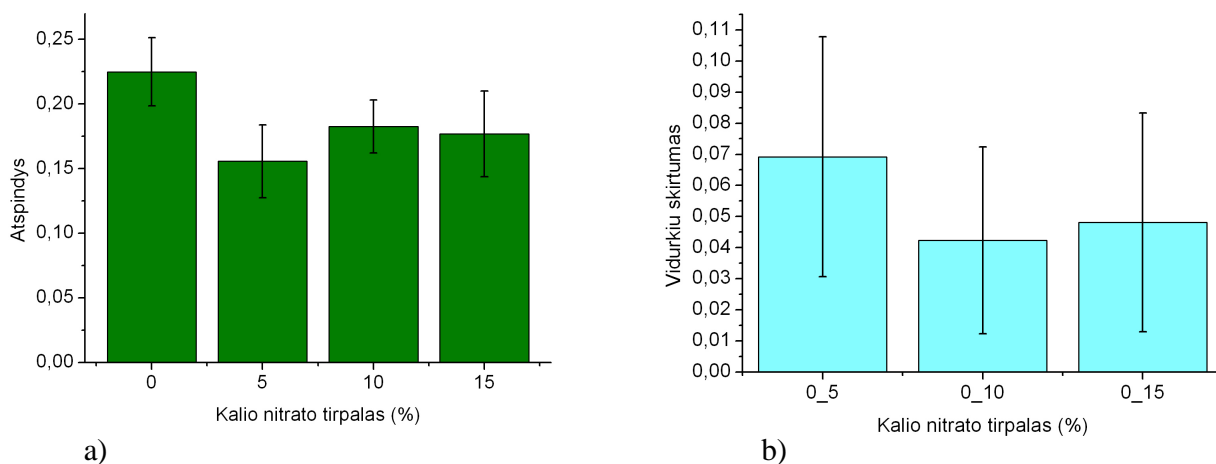
3.2.2.6. pav. Santykiniai raudonieji vejos mišinio atspindžiai išskirti iš nuotraukų naudojant antrąjį nuotraukų apdorojimo algoritmą: a) Atspindžiai tręšiant veją skirtingos koncentracijos KNO<sub>3</sub> trąšomis, b) Atspindžių vidurkių skirtumai su pasiskirstymo intervalais, lyginant vejos netręštos ir tręštos atitinkamos koncentracijos KNO<sub>3</sub> trąšomis.

Išanalizavus tas pačias nuotraukas darytas vejos tręšimo laikotarpiu tik atspindžius apskaičiuojant iš žalių vejos lapų eliminuojant žemės įtaką gauti rezultatai pateikti paveiksluose 3.2.2.4.pav. - 3.2.2.6.pav. Gauti skirtingi atspindžių skirtumų patikimumai lyginant su atspindžiais apskaičiuotais iš nuotraukų nekreipiant dėmesio į žemės įtaką. Rezultatai parodo, kad raudonieji ir žalieji atspindžiai skiriasi nereikšmingai lyginant vejos laistytos vandeniui ir skirtingų koncentracijų KNO<sub>3</sub> tirpalais. Reikšmingi skirtumai gauti tik mėlynųjų atspindžių kai koncentracija 5% skirtumas (0,0377 su tikimybe p=0,0031), vejos tręštos 10% KNO<sub>3</sub> tirpalu skirtumai (0,0345, p=0,0320) ir 15% su skirtumu (0,0155, p=0,0291).

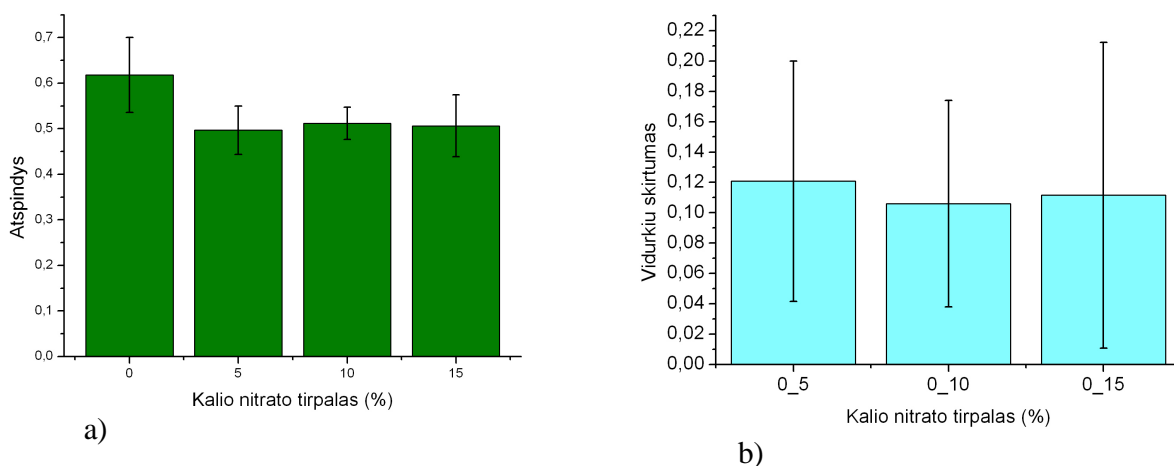
Iš tokių rezultatų būtų galima teigti, kad pašaliniai komponentai tokie kaip žemė (dirva) ar sudžiūvę lapai turi įtakos matuojant atspindžius vejos tręšimo metu. Esant fonui (žemei) gauname daugiau reikšmingų skirtumų tarp atspindžių išmatuotų vejos tręšimo laikotarpiu kai veja tręšiama tręšiant veją skirtingomis KNO<sub>3</sub> trąšų koncentracijomis.

### 3.2.3. Atspindžiai vejos tręšimo laikotarpiu, veją auginant lauko sąlygomis

Vejos bandiniai auginami natūraliomis sąlygomis (gryname ore). Tręšimo laikotarpis tęsiasi aštuonias dienas, kada kiekvieną dieną augalai yra laistomi atitinkamos koncentracijos trąšų tirpalais, naudojant vienodą tirpalo tūrį. Gauti atspindžių apskaičiuotų iš nuotraukų rezultatai pateikti paveiksluose (3.2.3.1.pav. – 3.2.3.3.pav.).

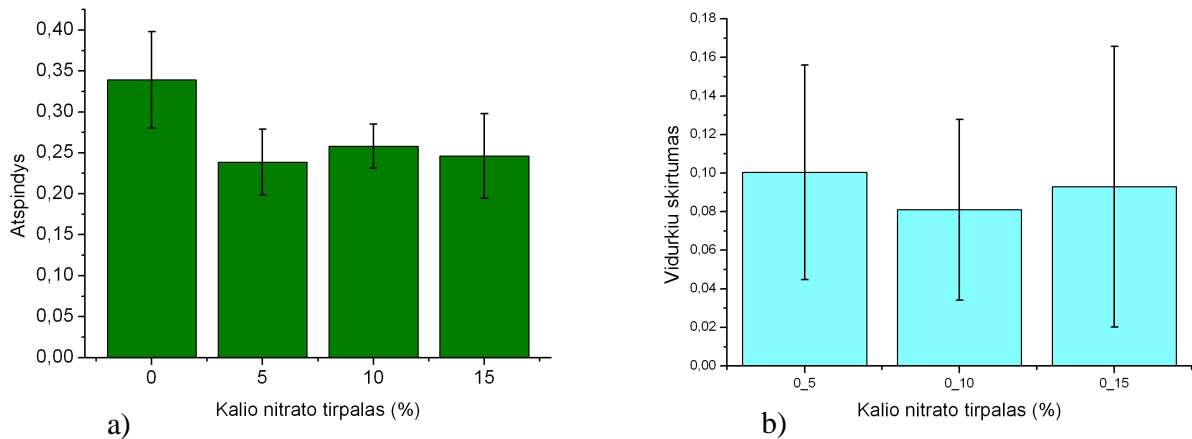


3.2.3.1. pav. Santykiniai mėlynieji vejos mišinio atspindžiai išskirti iš nuotraukų naudojant antrąjį nuotraukų apdorojimo algoritimą tręšimo metu, kai veja auginama lauko sąlygomis: a) Atspindžiai tręšiant veją skirtingos koncentracijos  $KNO_3$  trąšomis, b) Atspindžių vidurkių skirtumai su pasiskirstymo intervalais, lyginant vejos netręštos ir tręštos atitinkamos koncentracijos  $KNO_3$  trąšomis.



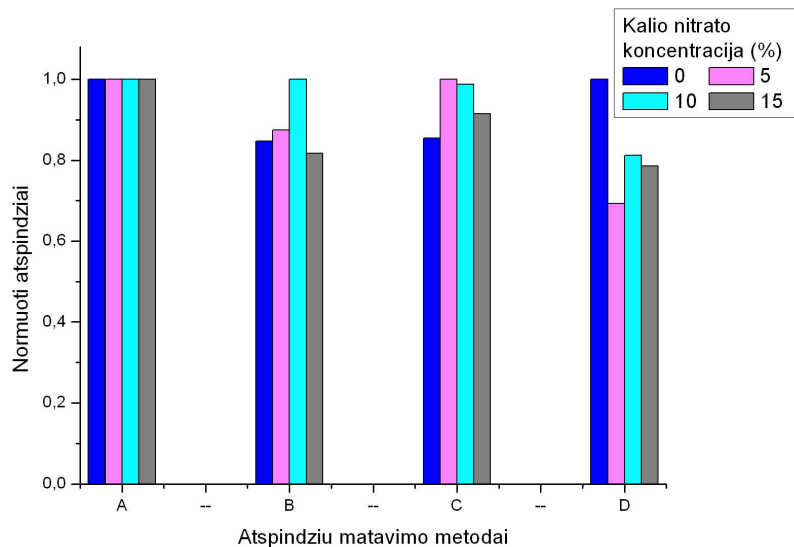
3.2.3.2. pav. Santykiniai žalieji vejos mišinio atspindžiai išskirti iš nuotraukų naudojant antrąjį nuotraukų apdorojimo algoritimą tręšimo metu, kai veja auginama lauko sąlygomis: a) Atspindžiai tręšiant veją skirtingos koncentracijos  $KNO_3$  trąšomis, b) Atspindžių vidurkių skirtumai su pasiskirstymo intervalais, lyginant vejos netręštos ir tręštos atitinkamos koncentracijos  $KNO_3$  trąšomis.



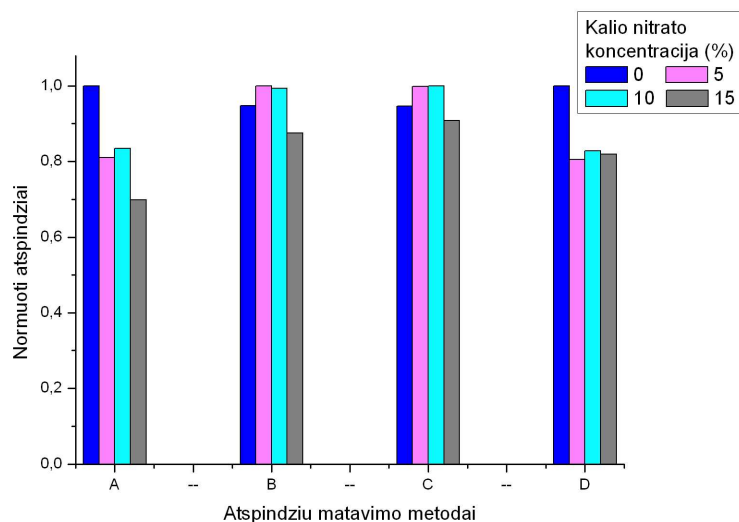


3.2.3.3. pav. Santykiniai raudonieji vejos mišinio atspindžiai išskirti iš nuotraukų naudojant antrąjį nuotraukų apdorojimo algoritmą tręšimo metu, kai veja auginama lauko sąlygomis: a) Atspindžiai tręšiant veją skirtingos koncentracijos KNO<sub>3</sub> trąšomis, b) Atspindžių vidurkių skirtumai su pasiskirstymo intervalais, lyginant vejos netręštos ir tręštos atitinkamos koncentracijos KNO<sub>3</sub> trąšomis.

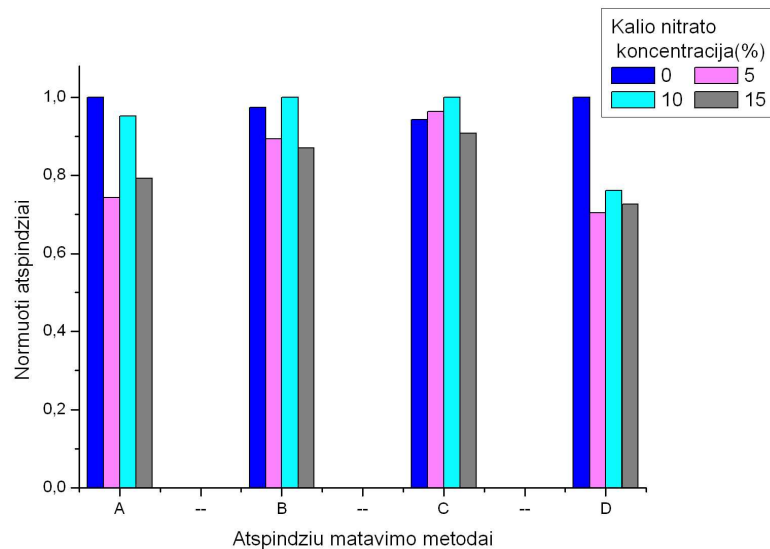
Vasaros metu augintos vejos ir tręštos (5%, 10% ir 15%) KNO<sub>3</sub> trąšomis rezultatai rodo, kad palyginus vejos laistytos tik vandeniu ir tręštos skirtingomis trąšų koncentracijomis atspindžiai reikšmingai skiriasi. Didžiausi atspindžių skirtumai visuose trijuose (raudonoje, mėlynoje ir žalioje) šviesos bangų ilgiuose yra lyginant vejos netręštos ir tręštos 5% KNO<sub>3</sub> tirpalu. Gauti atitinkami skirtumai raudonoje (0,1004, kai  $p=0,0037$ ), mėlynoje (0,0692 su  $p=0,0038$ ) ir žalioje (0,1208, kai  $p=0,0086$ ). Mažesni atspindžių skirtumai lyginant vejos netręštos ir tręštos 15% KNO<sub>3</sub> tirpalu, raudonųjų atspindžių skirtumas (0,0929, kai  $p=0,0194$ ), mėlynųjų (0,0130 su  $p=0,0143$ ) ir žaliųjų skirtumas yra (0,1116, kai  $p=0,0345$ ). Mažiausi atspindžių skirtumai gauti lyginant veją laistytą vandeniu su tręšta 10% KNO<sub>3</sub> tirpalu. Atitinkami skirtumai raudonųjų atspindžių (0,0810, kai  $p=0,0047$ ) žaliųjų (0,1059,  $p=0,0079$ ) ir mėlynųjų atspindžių skirtumas (0,04230,  $p=0,0125$ ). Atspindžių išmatuotų skirtingais metodais vejos tręšimo metu palyginamieji rezultatai pateikti paveiksluose (3.2.3.4.pav. - 3.2.3.6.pav.).



3.2.3.4. pav. Mėlynieji atspindžiai vejos tręšimo metu matuoti skirtingais metodais: A- matuoti atspindžiai naudojant fotoelektrinę sistemą su šviesos diodais, B- išskirti iš nuotraukų naudojant pirmąjį algoritmą (su fonu), C- išskirti iš nuotraukų antruoju algoritmu (be fono įtakos), D- išskirti iš nuotraukų antruoju algoritmu, kai veja auginama lauko sąlygomis.



3.2.3.5. pav. Žalieji atspindžiai vejos tręšimo metu matuoti skirtingais metodais: A- matuoti atspindžiai naudojant fotoelektrinę sistemą su šviesos diodais, B- išskirti iš nuotraukų naudojant pirmąjį algoritmą (su fonu), C- išskirti iš nuotraukų antruoju algoritmu (be fono įtakos), D- išskirti iš nuotraukų antruoju algoritmu, kai veja auginama lauko sąlygomis.

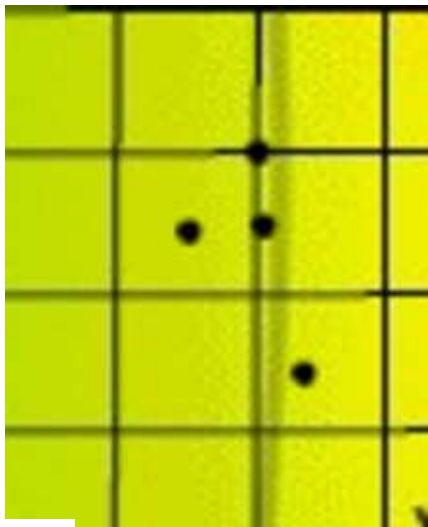


3.2.3.6. pav. Raudonieji atspindžiai vejos tręšimo metu matuoti skirtingais metodais: A- matuoti atspindžiai naudojant fotoelektrinę sistemą su šviesos diodais, B- išskirti iš nuotraukų naudojant pirmąjį algoritmą (su fonu), C- išskirti iš nuotraukų antruoju algoritmu (be fono įtakos), D- išskirti iš nuotraukų antruoju algoritmu, kai veja auginama lauko sąlygomis.

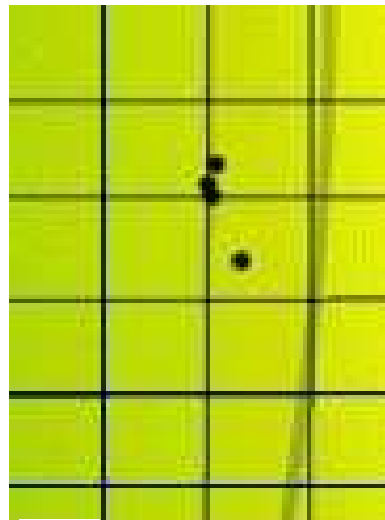
Iš gaurų rezultatų sunku teigti kodėl tokie atspindžių skirtumai, nes nėra nustatyta koks azoto kiekis susikaupė vejos lapuose ir kaip tai įtakoja chlorofilų gamybą. Tačiau remiantis gautais atspindžių rezultatais galima matyti, kad didžiausią įtaką atspindžiams turi 5% ir 15%  $KNO_3$  tirpalai lyginant su netręštos vejos atspindžiais. Panašus žaliųjų ir raudonųjų atspindžių kitimas matomas paveiksluose 3.2.3.5.pav. ir 3.2.3.6.pav, lyginant atspindžius matuotus fotoelektrine sistema ir išskirtus iš nuotraukų, kai veja auginama lauko sąlygomis.

Sunku tiksliai pasakyti kokie faktoriai įtakoja vejos atspindžius tręšimo metu ir kokie procesai vyksta augalų lapuose tręšiant skirtingais trąšų kiekiais.

Be visų atspindžių palyginimų gautų vejos tręšimo laikotarpiu įdomu pažiūrėti kokie matomi vejos spalvų kitimai. Tam gautos atspindžių vertės verčiamos į CIE spalvų diagramos parametrus ir atidedamos diagramoje. Gauti spalvų vaizdai pateikti paveiksluose.3.2.3.7.pav.. a) ir b).



a)



b)

3.2.3.7. pav. Vejos mišinio lapų spalvos kitimas tręšiant skirtingos koncentracijos  $\text{KNO}_3$  trąšomis: a) augintos laboratorinėmis sąlygomis, b) lauko sąlygomis.

Pasinaudojus spalvų diagrama matome vejos lapų spalvos pasiskirstymą kai veja tręšiama skirtingų koncentracijų trąšomis. Vejos laistytos tik vandeniū augintos laboratorinėmis sąlygomis ir lauko sąlygomis spalva pasislinkusi gelsvos spalvos link, o vejos laistytos su trąšomis lapai žalesni. Todėl galima teigti, augalų gaunančių nepakankamai maisto medžiagų skiriasi lapų atspindžiai.

### Tyrimų perspektyvos

Norint išsamesnių tyrimų nustatant kaip kinta atspindžiai vejos džiovavimo laikotarpiu reikia atspindžius matuoti iki 2000 nm. Kadangi IR bangų tritis daugiausia pasako informacijos apie vandens pokyčius, šioje srityje yra vandens sugerties sritys. Matuojant atspindžius kai veja tręšiama skirtingų koncentracijų  $\text{KNO}_3$  trąšomis reiktų daugiau šviesos diodų ties raudonoju kraštu, kurio kitimui turi įtakos azotinių trąšų kiekiai. Taip pat reiktų matuoti azoto kiekį susikaupusį augaluose tuomet tiksliai būtų galima žinoti ar naudojant skirtingus trąšų kiekius, kinta azoto kiekis augaluose. Svarbu žinoti ir chlorofilų kiekį nes augalui patiriant sausros stresą lėtėja cheminiai procesai, o taip pat ir chlorofilų gamyba.

## IŠVADOS

Darbo tikslas buvo ištirti (išmatuoti) vejos mišinio lapų atspindžius augalo augimo metu, keičiantis augalo fiziologinei būklei, kai jis nelaistomas (vandens streso metu) ir tręšiamas skirtingos koncentracijos  $\text{KNO}_3$  trąšomis. Tyrimo metu fotoelektrine sistema buvo matuojami skirtingo bangos ilgio (470, 525, 660 ir 860) šviesos atspindžiai ir daromos nuotraukos naudojant fotoaparata su spalvota CCD (krūvio pernešimo prietaisu) matrica. Susieti skirtingais matavimo metodais gauti rezultatai.

- Išmatavus vejos mišinio atspindžius fotoelektrine matavimo sistema su šviesos diodais vejos (nelaistymo) vandens streso laikotarpiu, pastebėta, jog raudonos, žalios ir infraraudonos spalvos atspindžiai tolydžiai didėja, mėlynos spalvos atspindžiai mažėja. Palyginus eksperimento antros ir paskutinės vejos džiūvimo dienos rezultatus gauti skirtumai: raudonųjų atspindžių (0,2571, kai  $p < 0,000$ ), infraraudonųjų (0,4563,  $p < 0,000$ ) ir žaliųjų (0,0268,  $p < 0,000$ ). Raudonos ir žalios spalvos atspindžių didėjimai ir mėlynos spalvos atspindžio mažėjimai gauti apskaičiuojant atspindžius iš nuotraukų kai papildomu vaizdų apdorojimo algoritmu buvo išskirti tik vejos lapai ir pašalinta fono įtaka.
- Palyginus vejos atspindžius išmatuotus fotoelektrine sistema su šviesos diodais ir išskirtus iš nuotraukų dviem skirtingais algoritmais matomi tokie patys raudonųjų ir žaliųjų atspindžių kitimai. Tačiau mėlynieji atspindžiai netolygiai didėja vejos džiūvimo metu apskaičiuoti iš nuotraukų su fono įtaka.
- Nustatyta, kad veją tręšiant skirtingų koncentracijų (5%, 10%, 15%)  $\text{KNO}_3$  trąšomis kinta jos atspindžiai. Palyginus vejos laistytos vandeniui ir tręštos skirtingų koncentracijų trąšomis atspindžius gauta, kad tręšiant 5%  $\text{KNO}_3$  tirpalu žaliųjų (0,0272,  $p = 0,0166$ ) ir raudonųjų (0,1099  $p = 0,0052$ ) spindulių atspindžiai skiriasi reikšmingai, IR ir mėlynųjų spindulių atspindžių skiriasi nereikšmingai ( $2,7921 \cdot 10^{-5}$  su  $p = 0,1376$ ) ir (0,0223, kai  $p = 0,1414$ ), tręšiant 10%  $\text{KNO}_3$  mėlynos spalvos atspindžiai skiriasi reikšmingai ( $3,5645 \cdot 10^{-5}$  su tikimybe  $p = 0,0041$ ), žaliųjų (0,0239,  $p = 0,0001$ ) ir IR (0,0187,  $p = 0,0030$ ), tačiau tręšiant 15% nereikšmingi skirtumai yra gauti tik mėlynųjų atspindžių.
- Atlikti bandymai vejos mišinį auginant lauko sąlygomis ir tręšiant skirtingų koncentracijų (5%, 10%, 15%)  $\text{KNO}_3$  trąšomis. Gauta, kad atspindžių skirtumai lyginant vejos laistytos

vandeniui ir tręštos atspindžiai skiriasi reikšmingai. Didžiausi skirtumai matomi, kai veja tręšiama 5%  $\text{KNO}_3$  tirpalu, raudonųjų atspindžių (0,1004, kai  $p=0,0037$ ), mėlynųjų (0,0692 su  $p=0,0038$ ) ir žaliųjų (0,1208, kai  $p=0,0086$ ). Mažiausi atspindžių skirtumai gauti lyginant veją laistytą vandeniui su tręšta 10%  $\text{KNO}_3$  tirpalu. Atitinkami skirtumai raudonųjų atspindžių (0,0810, kai  $p=0,0047$ ) žaliųjų (0,1059,  $p=0,0079$ ) ir mėlynųjų (0,0423,  $p=0,0125$ ). Taip pat pastebėta, kad vejos augintos lauko sąlygomis ir tręštos raudonieji ir žalieji atspindžiai panašiai pasiskirstę su vejos atspindžiais augintos laboratorinėmis sąlygomis ir matuojant atspindžius fotoelektrine sistema.

- Vejos mišinio džiovinimo ir tręšimo periodais nustatyta vejos lapų spalvos kitimas. Nustatyta, kad vejai džiūstant lapų spalva stumiasi į gelsvą pusę, tačiau vizualiai tai dar nėra matoma. Tačiau galima teigti, kad vandens trūkumo metu sulėtėja chlorofilo gamyba, kas ir nulemia spalvos kitimą. Tręšimo metu nustatyta, kad vejos laistytos tik vandeniui lapų spalva gelsvesnė, nei vejos tręštos  $\text{KNO}_3$  trąšomis. Iš to galima teigti, kad azotas skatina chlorofilų gamybą.

## LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. P. Bluzmanas, S. Borusas ir kiti, Augalų fiziologija, Vilnius "Mokslas" 1991, 161-177psl.
2. V.A. Šlapakauskas, Augalų ekofiziologija, Kaunas "Lututė" 2006, 88-89, 293-295psl.
3. Biochemijos terminų aiškinamasis žodynas [internetinė svetainė], VDU, VU, KMU Lietuvos Biochemikų draugija [2006 03 15 cituota]. Adresas: <http://www.bchi.lt/LBD/a-pap.htm>
4. Biofotonikos konspektai. Adresas: <http://distance.ktu.lt/cdk/courses/2532/fcontent.html>
5. Pradeep Kumar Goel, Hyper-spectral remote sensing for weed and nitrogen stress detection, 2003.
6. A.G.T. Schut\* and J.J.M.H. Ketelaars, Early detection of drought stress in grass swards with imaging spectroscopy, 2003.
7. S. Graeff, Z. Fan and W. Claupein, Use of reflectance measurements to clearly identify water stress in wheat (*Triticum aestivum* L.), 2004
8. C. E. Lovelock and S. A. Robinson, Surface reflectance properties of Antarctic moss and their relationship to plant species, pigment composition and photosynthetic function, *Plant, Cell & Environment* Volume 25 Issue 10 Page 1239 - October 2002
9. M. R. Slaton, E. R. Hunt Jr. and W. K. Smith, Estimating near-infrared leaf reflectance from leaf structural characteristics,
10. Lecture 4 Characterizing the Vegetation, Part III: Plants, Leaves and Roots, *Biometeorology, ESPM 129, Characterizing Vegetation, Part II*, 2006
11. L. K. Christensen, NPK Deficiencies Discrimination by use of Spectral and Spatial Response, 2004.
12. L. Kumar, K. Schmidt, S. Dury, A. Skidmore, *Imaging spectrometry and vegetation science*,
13. D. W. Lamb, M. Steyn-Ross, P. Schaare, M. M. Hanna, W. Silvestre and A. Steyn-Ross, Estimating leaf nitrogen concentration in ryegrass (*Lolium* spp.) pasture using the chlorophyll red-edge: theoretical modelling and experimental observations, *remote sensing*, 2002, vol. 23, no. 18, 3619–3648
14. G. Ch. Steward, *Diffuse reflectance spectroscopy for the characterization of calcareous glacial till soils from north central Montana*, 2006

15. Harvard Forest [internetinė svetainė], Harvard University [atnaujinta 2006; cituota 2006 05 12]. Adresas: [http://harvardforest.fas.harvard.edu/research/leaves/leaf\\_pigments.html](http://harvardforest.fas.harvard.edu/research/leaves/leaf_pigments.html)
16. J. Dagys, Augalų anatomija ir morfologija, Vilnius "Mokslas" 1985, 259-276psl.
17. Heisler, G. M., Qi, Y. D., Bai, S. J., Changes in ultraviolet-B and visible optical properties and absorbing pigment concentrations in pecan leaves during a growing season, *Agricultural and Forest Meteorology*, 2003 (Vol. 120) (No. 1/4) 229-240
18. G Grammatikopoulos, G Karabourniotis, A Kyparissis, Y Petropoulou and Y Manetas, Leaf Hairs of Olive (*Olea europaea*) Prevent Stomatal Closure by Ultraviolet-B Radiation, *Australian Journal of Plant Physiology* 21(3) 293 - 301
19. G. A. Carter, D. R. Young, Foliar Spectral Reflectance and Plant Stress on a Barrier Island, *International Journal of Plant Sciences*, Vol. 154, No. 2 (Jun., 1993), pp. 298-305
20. Lecture 7, Solar Radiation, Part 1, Principles, *Biometeorology*, ESPM 129, 2006.
21. Chlorofilo cheminė struktūra.  
Adresas: <http://scifun.chem.wisc.edu/chemweek/CHLRPHYL/Chlrphyl.html>
22. Kompiuterizuota gamtos mokslų ir technologijų mokymo laboratorija "ComLab-SciTech"[internetinė svetainė], Vilniaus Universitetas, Gamtos mokslų fakultetas, A.Daktariūnas; sukurta [2006 01 20 cituota]. Adresas: <http://ausis.gf.vu.lt/ComLab-SciTech/e-biol.html>



VILNIAUS UNIVERSITETAS  
GAMTOS MOKSLŲ FAKULTETAS  
BIOCHEMIJOS IR BIOFIZIKOS KATEDRA

Kristina Šliogerytė

Vejos mišinio lapų atspindžių matomoje ir artimojoje infraraudonoje  
šviesoje tyrimas

Magistro darbas

Santrauka

Darbo tikslas buvo ištirti (išmatuoti) vejos mišinio lapų atspindžius, keičiantis augalo fiziologinei būklei, kai jis nelaistomas (vandens streso metu) ir tręšiamas skirtingos koncentracijos  $\text{KNO}_3$  trąšomis. Eksperimento metu atspindžiai matuojami skirtinguose bangos ilgiuose (470, 525, 660 ir 860 nm) naudojant fotoelektrinę sistemą su šviesos diodais ir fiksuojamos nuotraukos iš kurių apskaičiuojami atspindžiai matomų bangų srityje.

Išmatavus vejos mišinio lapų atspindžius, vandens trūkumo laikotarpiu, kai augalas patiria vandens stresą, nustatyta, kad ilginant džiūvimo dienų skaičių, keičiasi atspindžiai. Mėlynieji atspindžiai mažėja, o žaliųjų, raudonųjų ir IR atspindžių matomas augimas. Palyginus eksperimento antros ir paskutinės dienos rezultatus gauti skirtumai raudonųjų atspindžių (0,2571, kai  $p < 0,000$ ), infraraudonųjų (0,4563,  $p < 0,000$ ) ir žaliųjų (0,0268,  $p < 0,000$ ). Toks pat kitimas matomas ir su atspindžiais išskirtais iš nuotraukų pašalinus fono įtaką. Tačiau esant fono įtakai mėlynieji atspindžiai didėja priešingai nei išmatuoti fotoelektrine sistema ar išskirti iš nuotraukų be fono įtakos. Tokius atspindžių kitimus galima sieti su vandens kiekio sumažėjimu augalų lapuose, kurio santykinis kiekis vejos lapuose buvo matuojamas vejos džiūvinimo periodu.

Ištirta, kaip kinta vejos mišinio lapų atspindžiai veją tręšiant skirtingos koncentracijos  $\text{KNO}_3$  trąšomis. Palyginus vejos laistytos vandeniui ir tręštos  $\text{KNO}_3$  trąšomis, parodo, kad mėlynųjų

atspindžių reikšmingi skirtumai ( $3,5645 \cdot 10^{-5}$  su tikimybe  $p=0,0041$ ) stebimi, kai koncentracija yra 10%. Žalieji atspindžiai skiriasi reikšmingai su visomis tirtomis koncentracijomis, tačiau didžiausias skirtumas (0,0432 su tikimybe  $p<0,000$ ) laistant 15%  $KNO_3$  trąšomis. Raudonieji atspindžiai reikšmingai skiriasi, kai 5% koncentracija - (0,1099  $p=0,0052$ ) ir 15% - (0,0890  $p<0,000$ ). Infraraudonųjų atspindžių didžiausi skirtumai (0,0871 kai tikimybė  $p<0,000$ ), kai koncentracija 15%. Atlikus tyrimus su trąšomis, kai vejos mišinys auginamas lauko sąlygomis gauti rezultatai parodo, kad didžiausi atspindžių skirtumai gaunami lyginant vejos laistytos vandeniu ir tręštos 5%  $KNO_3$  trąšomis. Skirtumai raudonųjų atspindžių (0,1004, kai  $p=0,0037$ ), mėlynųjų (0,0692 su  $p=0,0038$ ) ir žaliųjų (0,1208, kai  $p=0,0086$ ). Pastebėta, kad raudonieji ir žalieji vejos atspindžiai išmatuoti fotoelektrine sistema laboratorinėmis sąlygomis panašiai pasiskirstę, kaip ir atspindžiai vejos tręštos ir augintos lauko sąlygomis.

Nustatytas vejos mišinio lapų spalvos kitimas, kai augalas nelaistomas (patiria sausros stresą) ir tręšiamas  $KNO_3$  trąšomis. Vejai džiūstant lapų spalva gelsvėja, nors tai nepastebima vizualiai, o laistytos vejos su trąšomis lapų spalva žalesnė lyginant su laistytos tik vandeniu.

VILNIUS UNIVERSITY  
FACULTY OF NATURAL SCIENCES  
DEPARTMENT OF BIOCHEMISTRY AND BIOPHYSICS

Kristina Šliogerytė

INVESTIGATION OF VISIBLE AND NEAR INFRARED REFLECTANCE OF SWARD  
MIXTURE LEAVES.

Master thesis

Summary

The objective of this study was to investigate reflection of sward mixture leaves in visible and near infrared wavelengths, when plants grow in different condition (water stress and watering with solutions of different concentration of  $\text{KNO}_3$  nutrients). The reflection of leaves was measured using photo-electronic registration system with light emitting diodes in four wavelength bands- 470, 525, 660 and 860 nm and CCD color camera for calculation of visible wavelength reflection in images.

Our results showed that sward leaves reflection changes with decrease of water content in leaves. The blue color reflection decreases, but red, green and near infrared increase. These changes depend of water decreasing, which supposedly changes chemical processes and chlorophyll synthesis in leaves.

The results shows that greatest difference between reflection of plants that were watered only with water and with different concentration of  $\text{KNO}_3$  nutrients and grown in field condition are on the 5%  $\text{KNO}_3$  concentration. Differences are in red reflection (0,1004,  $p=0,0037$ ), blue (0,0692,  $p=0,0038$ ) and green 0,1208,  $p=0,0086$ ). The CIE chromaticity diagram shows changes of sward leaves color when plants grow in water stress and different concentration of  $\text{KNO}_3$  nutrients conditions.