



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS

Andrius Stankevičius

**SPEKTROFOTOMETRINIO AUGALŲ DIAGNOSTIKOS METODO
TYRIMAI**

Baigiamasis magistro projektas

Vadovas

Dr. Vytautas Petkus

KAUNAS, 2015

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS

ELEKTRONIKOS INŽINERIJOS KATEDRA

**SPEKTROFOTOMETRINIO AUGALŲ DIAGNOSTIKOS METODO
TYRIMAI**

Baigiamasis magistro projektas

Biomedicininė inžinerija (621H16001)

Vadovas

Dr. Vytautas Petkus

Recenzentas

Doc. Dr. Vaidotas Marozas

Projektą atliko

Andrius Stankevičius

KAUNAS, 2015



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Elektros ir elektronikos

(Fakultetas)

Andrius Stankevičius

(Studento vardas, pavardė)

Biomedicininė inžinerija, 621H16001

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

Baigiamojo projekto „Spektrofotometrinio augalų diagnostikos metodo tyrimas“

AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

20 15 m. Gegužės 29 d.
Kaunas

Patvirtinu, kad mano **Andriaus Stankevičiaus** baigiamasis projektas tema „Spektrofotometrinio augalų diagnostikos metodo tyrimas“ yra parašytas visiškai savarankiškai, o visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

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

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

(parašas)

Stankevičius, A. Spektrofotometrinių augalų diagnostikos metodo tyrimas. *magistro* baigiamasis projektas / vadovas dr. Vytautas Petkus; Kauno technologijos universitetas, elektros ir elektronikos fakultetas, elektronikos inžinerijos katedra.

Kaunas, 2015. 53 psl.

SANTRAUKA

Spektrofotometrinių augalų augimo sąlygų metodo tyrimas. Matavimo metodas skirtas diagnozuoti augalų augimo sąlygoms, kai augalams sukeliama pagrindinių mikroelementų (Fe, B, Mn, Zn, Cu, Mo) trūkumas augalų vegetacijos periodu. Matavimo metodas ir prietaisas yra pagrįsti skirtingo amžiaus augalų lapų apspinduliavimu ultravioletinės, matomos ir infraraudonosios šviesos spinduliais ir gautų atspindžio spektrų bei skirtuminio spektro analize. Mikroelementų trūkumas nustatomas analizuojant gautus spektrus.

Reikšminiai žodžiai: Spektrofotometrinis augalų diagnostikos metodas, matuoklis

Stankevičius, Andrius. Investigation of spectrophotometric plant diagnostic method. Final project of *master qualification degree* / supervisor dr. Vytautas Petkus; Kaunas University of Technology, Faculty of Electrical and Electronics Engineering, department of electronics engineering.

Kaunas, 2015. 53 p.

SUMMARY

The research of spectrophotometrical plant growth diagnostic method to detect plant growth conditions under micronutrient deficiency. The method is aimed to detect deficiency of main chemical elements (Fe, B, Mn, Zn, Cu, Mo) during plant vegetation period. The method and device is based on irradiation of leaves of different age, placed in separate chambers, by ultraviolet, visible and infrared light and spectral analysis of light reflected from leaves. The estimation of micro elements deficiency and plant diagnosis is performed according to measured differences between spectra of a light reflected from all leaves of the plant.

Keywords: Spectrophotometric plant diagnostic method, device

TURINYS

ĮVADAS.....	6
1 LITERATŪROS ANALIZĖ	8
1.1 Augalų sandara ir cheminės medžiagos juose.....	8
1.2 Cheminių mikroelementų įtaka augalams	12
1.2.1 Boras (B).....	12
1.2.2 Cinkas (Zn).....	13
1.2.3 Manganas (Mn).....	14
1.2.4 Molibdenas (Mo).....	15
1.2.5 Varis (Cu).....	16
1.2.6 Geležis (Fe).....	18
1.3 Patentinė augalų diagnostikos prietaisų analizė.....	20
1.4 Komercinių augalų diagnostikos prietaisų analizė.....	22
2 NAUJAS SPEKTROFOTOMETRINIS MATAVIMO METODAS.....	25
2.1 Bandomųjų kviečių pavyzdžių paruošimas.....	25
2.2 Matavimo metodo principas.....	28
2.3 Laboratoriniai tyrimai naujam matavimo metodo patikimumui nustatyti	29
2.4 Spektrofotometrinio prietaiso prototipas.....	34
3 REZULTATAI.....	40
4 IŠVADOS.....	45
5 INFORMACIJOS ŠALTINIŲ SĄRAŠAS	47
6 PRIEDAI.....	50

ĮVADAS

Problemos aktualumas. Šiuo metu nėra priemonių, leidžiančių patikimai ir greitai diagnozuoti kviečių ar kitų auginamų kultūrų augimo sąlygas, bei nustatyti, kokių mikroelementų trūksta augalo augimui. Ūkininkas, turėdamas galimybę atlikti savalaikę kviečių augimo sąlygų diagnostiką, galėtų optimaliai parinkti trąšas ir padidinti derlių. Šiai problemai spręsti pasiūlytas spektrofotometrinis atspindėtos šviesos matavimo metodas, leidžiantis identifikuoti augančio augalo (vasarinio kviečio) augimo sąlygas įvairiose jo stadijose pagal jo lapų spalvą.

Šiuo metu rinkoje yra daug prietaisų, nustatančių azoto kiekį augaluose. Deja, prietaisų, galinčių nustatyti makro ir mikroelementų trūkumą įvairiose augalo vystymosi stadijose, nėra. Patentinėje literatūroje aprašomi keli metodai: paremti augalų chlorofilo molekulių fluorescencinio spinduliavimo savybėmis, kai augalai apšviečiami balta šviesa [1] [2]. Metodai paremti augalų fotografavimu ir gautų vaizdų spektrine analize [3] [4] bei metodai, paremti augalo lapo apspinduliavimu fiksuoto bangos ilgio šviesos šaltiniais ir atspindėtos šviesos spektro analize [5].

Minimi metodai apsiriboja tik azoto ar vandens kiekio augale įvertinimu ir neatspindi nei augalo augimo stadijų, nei, kokių cheminių elementų trūksta jo augimui. Kiekvienas cheminis elementas daro skirtingą įtaką augalo pigmentų veiklos intensyvumui, susidarymui ir gyvavimo trukmei, todėl šio darbo tikslas yra surasti priemones ir būdus, leidžiančius nustatyti pagrindinių cheminių elementų (pvz., Fe, B, Mn, Zn, Cu, Mo) trūkumą augalo vegetacijos laikotarpiu. Šio tikslo įgyvendinimui bus sukonstruotas spektrofotometrinis matuoklis, leidžiantis nustatyti augalo (kviečio) vystymosi stadijas [6]. Darbe bus ištirtas matuoklio prototipo veikimas ir matavimų patikimumas. Bus paruoštos programinės priemonės prototipo valdymui (vartotojo programa) ir atlikti preliminarūs skirtingomis sąlygomis išaugintų vasarinių kviečių tyrimai.

Darbo tikslai:

1. Ištirti naujo spektrofotometrinio metodo veikimo ypatumus diagnozuojant vasarinių kviečių augimo sąlygas,
2. eksperimentiškai įvertinti spektrofotometrinio matavimo maketo funkcines galimybes ir pagrįsti matavimo principą.

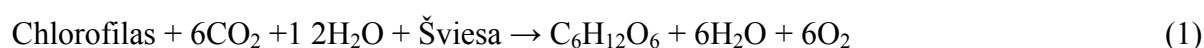
Darbo uždaviniai:

1. Atlikti esamų augalų diagnostikos metodų analizę ir įvertinti, kaip galima būtų diagnozuoti augalų augimo sąlygas pagal jų lapų spalvą.
2. Sukurti spektrofotometrinio matuoklio maketo vartotojo sąsają. Paruošti matuoklį augalų spektrofotometriniams matavimams.
3. Eksperimentiškai nustatyti, pagal kokias savybes ir kokius kiekybinius ar kokybinius parametrus būtų galima atlikti augalų (vasarinių kviečių) augimo sąlygų diagnostiką.
4. Matuoklio prototipo pagalba eksperimentiškai įvertinti galimybes atlikti kiekybinį augalų augimo sąlygų diagnozavimą nustatant, kokių mikroelementų gali trūkti augalui.

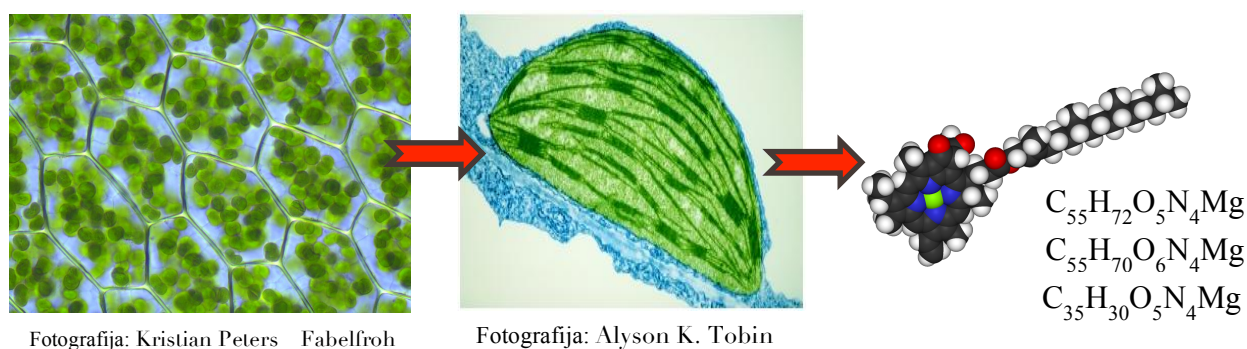
1 LITERATŪROS ANALIZĖ

1.1 Augalų sandara ir cheminės medžiagos juose

Vienas iš svarbiausių procesų, vykstančių augaluose, yra fotosintezė. Fotosintezė vyksta tik tose ląstelėse, kuriose yra žalios plastidės – chloroplastai. Iš tokių ląstelių sudaryti lapai, todėl jie laikomi augalo fotosintezės organais (1.1.1 pav.). Fotosinteze vadinamas organinių medžiagų susidarymo procesas iš anglies dioksido ir vandens, vykstantis šviesoje dalyvaujant chlorofilui pagal tokią bendrąją lygtį:



Fotosintezę vykdo dalis žemesniųjų (kai kurios bakterijos, dumbliai, kerpės) ir beveik visi, išskyrus parazitinius, aukštesnieji augalai. Fotosintezei įtakos turi įvairūs išorinės aplinkos veiksniai. Svarbiausiais iš jų laikomi apšviestumas, temperatūra, vandens kiekis asimiliuojančiuose organuose, šakninės mitybos sąlygos ir CO_2 kiekis atmosferoje [7].



1.1.1 pav. Lapų ląstelėse (kairėje) esantys chloroplastai (per vidurį) ir chloroplastuose esančios chlorofilo molekulės (dešinėje).

Žaliųjų augalų pagamintos organinės medžiagos yra vienintelis visų kitų gyvųjų organizmų – ne žaliųjų augalų, gyvūnų ir žmogaus – maistas bei energijos šaltinis. Žmogui augalai, beje, tiekia ne tik maistą, bet ir statybines medžiagas, kurą, žaliavas drabužių gamybai ir kitoms reikmėms. Degindamas akmens anglis, naftos produktus, žmogus šiandien taip pat naudoja prieš milijonus metų gyvenusių organizmų „užkonservuotą“ saulės energiją. Iš viso fotosintezės produktai teikia apie 96 proc. įvairiems žmogaus poreikiams, įskaitant maistą, suvartojamos energijos [7].

Fotosintezė yra vienintelis gamtoje vykstantis procesas, kurio metu naudojamas anglies dioksidas, todėl šių dujų koncentracija atmosferoje beveik nesikeičia, nors ir labai dideli CO_2 kiekiai išsiskiria veikiant vulkanams, degant kurui, pūvant organinėms medžiagoms ir nuolat kvėpuojant gyvūnams bei augalams. Per metus augalai sunaudoja apie 253 mlrd. tonų CO_2 : 172,4 mlrd. tonų asimiliuoja

sausumos, 80,6 mlrd. tonų – vandens augalai. Tai sudaro atitinkamai 8 proc. atmosferoje ($2,1 \times 10^{12}$ t) ir 0,5 proc. hidrosferoje (16×10^{12} t) esančių CO₂ atsargų. Fotosintezės metu taip pat išsiskiria laisvas deguonis. Augalai per metus suskaido apie 207 mlrd. tonų vandens ir išskiria į atmosferą apie 184 mlrd. tonų deguonies. Visas deguonis, dabar esantis atmosferoje ir ištirpęs vandenyje, yra išsiskyres fotosintezės metu. Šiuo metu vien atmosferoje laisvo deguonies yra apie 1×10^5 tonų [7].

Tam, kad vyktų fotosintezė ir kiti procesai, augalams reikalingas nenutraukiamas ir laisvas maisto medžiagų padavimas į visas ląsteles. Medžiagų aprūpinimo procesas labiausiai priklauso nuo šviesos, vandens kiekio, temperatūros, augalo ląstelių gyvybingumo ir maisto medžiagų prieinamumo mitybos zonoje. Tik užtikrinus visas šias sąlygas, iš augalo galėsime gauti maksimalų derlių. Optimaliausios augimo sąlygos susidaro, kai yra užtikrinamas reikiamų cheminių medžiagų padavimas į augalą reikiamu laiku ir piktžolių nebuvimas pasėlyje. Ląstelių gyvybingumas yra užtikrinamas laiku apsaugojus augalą nuo kenkėjų ir ligų [8].

Informaciniuose šaltiniuose nurodoma, kad augaluose ir gyvūnuose randama apie 60 cheminių elementų [9] [10] [11], iš jų augalui būtini yra 16, kurie laikomi nepakeičiamais. Be šių cheminių elementų augalas negali normaliai vystytis. Kiekvieno iš būtinųjų cheminių elementų veikimas specifiškas, todėl jo negalima pakeisti kitu elementu. Būtinieji elementai dalyvauja medžiagų apykaitoje ir yra reikalingi išlaikyti nepakeičiamo enzimo aktyvumą [8].

Būtinieji cheminiai elementai skirstomi į makro- ir mikroelementus, priklausomai nuo kiekio, reikalingo augalo augimui (1 lentelė) [12]. Taip pat yra cheminių elementų, pagerinančių augalo augimą, bet jie nėra nepakeičiami. Tokie elementai vadinami pagalbiniais.

1 lentelė. Cheminių elementų koncentracija audiniuose [12].

	Elementas	Augalų poreikiai	Koncentracija sausoje medžiagoje (%)	Santykinis atomų skaičius
Makroelementai	Anglis C	Reikia ypatingai didelio kiekio	45%	37500000
	Deguonis O		45%	28100000
	Vandenilis H		6%	59400000
	Azotas N	Reikia didelio kiekio	1,5%	1070000
	Kalis K		1%	225000
	Fosforas P		0,2%	65000
	Kalcis Ca	Reikia vidutinio kiekio	0,5%	125000
	Magnis Mg		0,2%	82000
Siera S	0,1%		31000	
	Elementas	Augalų poreikiai	Koncentracija sausojoje medžiagoje (mg/kg)	Santykinis atomų skaičius
Mikroelementai	Chloras Cl	Reikia mažo kiekio	100	2800
	Geležis Fe		100	1800
	Manganas Mn		50	910
	Boras B		20	1800
	Cinkas Zn		20	310
	Varis Cu		6	90
	Nikelis Ni		0,1	2
	Molibdenas Mo		0,1	1
Pagalbiniai elementai	Natris Na	Nėra būtini	>100	–
	Silicis Si		>100	–
	Aliuminis Al		>10	–
	Selenas Se		>2	–
	Kobaltas Co		>0,1	–

Pastaba: raudonai pažymėti elementai yra sunkieji metalai, lentelėse pateikti dydžiai yra vidurkiai, jie gali kisti pagal augalų poreikį ir augimo sąlygas.

Šiuolaikiniame žemės ūkyje didinant gamybos mastus iš dirvos pasisavinamas didelis kiekis maistinių medžiagų. Todėl augalams tręšti būtina naudoti reikiamus mikroelementus, nepaisant jų mažo poreikio, nes jie atlieka labai svarbų vaidmenį. Jų sąnaudos vienam hektarui yra keletas kilogramų arba gramų. Kuomet pasėliai patręšti mikroelementais, išauginamas geresnės kokybės ir gausnis derlius. Juose būna didesnis vitaminų ir cukrų kiekis. Tai sąlygoja didesnę augalų atsparumą kenkėjams, ligoms ir nepalankioms gamtinėms sąlygoms (sausrai ir šalčiui) [13] [8].

Derliaus dydį lemia tos maisto medžiagos, kurių dirvožemyje yra mažiausiai arba kurių prieinamumas augalams yra prasčiausias. Dėl bent vieno svarbaus elemento trūkumo didelio ir geros kokybės derliaus gali nebūti, net jei bus tręšiama dideliais kiekiais. Kartais tręšiama labai didelėmis azoto, fosforo ir kalio trąšų normomis, bet laukto derliaus negaunama, nes augalams pritrūksta mikroelementų. Jų svarba ypač išryškėja tuomet, kai norima gauti labai didelius derlius. Auginant verslinės žemdirbystės pasėlius, turi būti užtikrintas pakankamas makroelementų (azoto, fosforo, kalio, kalcio, magnio, sieros) ir mikroelementų (geležies, boro, cinko, mangano, molibdeno ir vario) prieinamumas. Dideliam ir geros kokybės derliui užtikrinti, būtina subalansuoti dirvoje esantį maistinių medžiagų kiekį. Kad dirva liktų nenualinta, augalams būtina tiekti tiek cheminių medžiagų, kiek jų pasisavina iš dirvos [14] [15]. Kai kurie būtinieji mikroelementai kartu yra ir sunkieji metalai. Biologinėje klasifikacijoje sunkiaisiais metalais vadinami elementai su didesne nei 40 santykinė atominė masė [16]. Tokie elementai kaupiasi gyvuose organizmuose net ir tada, kai aplinkoje jų koncentracija būna labai maža [17]. Kadangi daugelio mikroelementų trąšų reikia nedideliais kiekiais, o jų kaina nėra didelė, atsiranda pertręšimo ir aplinkos taršos problema [18].

1.2 Cheminių mikroelementų įtaka augalams

Magistriniame darbe tiriamas matavimo metodas yra skirtas mikroelementų trūkumui nustatyti. Todėl šiame skyriuje aprašomi svarbiausi mikroelementai ir jų vaidmuo augalų vegetacijos laikotarpiu.

1.2.1 Boras (B)

Boras yra svarbus augalams, jų cukraus ir krakmolo pusiausvyrai išlaikyti. Šis elementas reguliuoja cukraus transportą per ląstelių membranas. Boro indėlis reikšmingas formuojantis ląstelių sienelėms, joms dalijantis, baltymų susidarymo metu bei azoto apykaitai.

Be boro neįmanomas augalų kalcio pasisavinimas, nors jo dirvoje būna daug [19].

Nors jo nėra fermentų sudėtyje, šis elementas turi įtakos jų aktyvumui, skatina augalų kvėpavimą ir energetinę veiklą [20]. Jei ląstelių dalijimosi metu trūkstama boro, augaluose pastebimas nestandartinis chromosomų išsidėstymas. Boro reikia meristemai vystytis [21]. Jis skatina angliavandenių, ypač sacharozės, askorbo rūgšties sintezę ir nutekėjimą iš lapų į derėjimo organus, šaknis. Taip pat turi didelės įtakos cukrų sintezei ir angliavandenių apykaitai, didina vitamino C ir karotino kiekį augaluose. Šis elementas labai svarbus augalų apdulkinimo ir sėklų dauginimosi stadijoje – augimas be boro įmanomas, bet augalas nesugeba formuoti vaisių ir sėklų [9].

Boras augalams reikalingas visu vegetacijos laikotarpiu, nors kai kuriems organams, pavyzdžiui, stiebams augti, jo reikšmė išryškėja tik tam tikrais vystymosi momentais. Esant boro trūkumui, pirmiausiai nukrinta jauni lapai, ūgliai, prasčiau vyksta žiedų apsidulkinimas. Ypač daug boro reikia bręstančioms sėkloms.

Boras augaluose yra nepaslankus, todėl augalų būklę lemia tai, kaip dažnai augimo metu jie gauna boro. Pabaltijo dirvožemiuose bendrojo boro randama 1,0-23,0 mg/kg. Skirtumas tarp boro trūkumo ir toksinės koncentracijos nedidelis, nes daugeliui kultūrų 5 mg/kg dirvožemio koncentracija gali būti toksiška dozė. Dirvožemyje tirpus boras yra nedisocijuotos boro rūgšties (H_3BO_3) pavidalo, augalų šaknys jį gali pasisavinti. Boro nesulaiko dirvos koloidai, jis lengvai išplaunamas vandeniu. Daugiausia boro būna sunkesnės granulometrinės sudėties, daug humuso turinčiuose dirvožemiuose, mažiausiai – smėlinguose dirvožemiuose. Neutralios rūgštinės terpės dirvose dalį vandenyje tirpaus boro sujungia pusantradeginių hidrokksidai, tai apsunkina jo pasisavinimą augaluose. Dirvožemiuose didžioji boro dalis koncentruojasi molio frakcijoje [9]. Smėlingame dirvožemyje apie 40–50% boro koncentruojasi smulkaus smėlio-aleurito frakcijos mineraluose, daugiausia turmaline. Pakalkintoje rūgščioje dirvoje vandenyje tirpaus boro gali sumažėti kelis kartus, todėl boro trąšos būna efektyvesnės kalkintuose bei neutralios reakcijos dirvožemiuose.

1.2.2 Cinkas (Zn)

Cinko fiziologinė reikšmė labai įvairi. Jis svarbus fotosintezei, nes reikalingas chlorofilui susidaryti ir apsaugoti nuo suirimo. Padidina fotosintezės aktyvumą, pagerina angliavandenių, ypač sacharozės, judėjimą iš lapų į stiebus ir dauginimosi organus, padidina organinių ir kitų junginių judrumą. Cinkas aktyviai dalyvauja kai kuriose enzymų katalizuojamose reakcijose, cukraus susidaryme, baltymų sintezėje, garantuoja vaisingumo ir sėklų derlių. Be to, šis elementas labai svarbus augalų augimui, nes reguliuoja indolilacto rūgšties sintezę. Turi didelės įtakos oksidacijos-redukcijos procesuose, daugiausia aktyvina redukcijos procesus, tuo skiriasi nuo mangano ir vario, skatinančių oksidacinius procesus [22] [23]. Šio elemento augalams reikia nedaug (augaluose jo randama nuo 20 iki 100 mg/kg), bet jis būtinas, kad normaliai funkcionuotų pagrindiniai augalų medžiagų apykaitos mechanizmai [24]. Šis cheminis elementas įeina daugiau kaip į 30 fermentų sudėtį. Cinkas padidina augalų atsparumą sausroms, karščiams ir šalčiams [22].

Cinko trūkumas skatina laisvųjų aminorūgščių gausą, o tai sutrikdo baltymų sintezės procesą. Dėl cinko trūkumo augaluose kaupiasi redukuojantis cukrus, sumažėja fermentų aktyvumas, sacharozės, krakmolo kiekis, susikaupia daugiau organinių rūgščių, sumažėja auksinų kiekis, sutrinka baltymų sintezė, 2-3 kartus sulėtėja ląstelių dauginimasis, tad sulėtėja ir augimas. Cinko trūkumo poveikis sėklų mezgimuisi didesnis nei vegetatyvinių organų vystymuisi. Cinko stokos požymiai dažniau pastebimi ant jaunų ir vidutinio senumo lapų.

Cinko judrumas augale yra mažas, tačiau geresnis nei Fe, B ar Mo. Dėl to, nors ir esant nedideliame cinko trūkumui, cinko kiekis šaknyse būna didžiausias ir mažėja tolygiau nuo jų link tolimiausių lapų (stiebuose mažiau, lapuose dar mažiau). Padidėjus N/Zn santykiui (padidėjus azoto kiekiui augale), augale susidaro „Zn-baltymų kompleksai“, kurie pakankamai judrūs ir šitaip padidina cinko patekimą į trūkstamas zonas.

Cinko kiekis kinta pagal dirvos rūgštumą ir organinių medžiagų kiekį. Rūgščiuose, humusiniuose dirvožemiuose didesnioji dalis bendro cinko kiekio yra judrūs junginiai: mineraliniuose dirvožemiuose 1,7–6,8%, rūgščiuose, su daug organinių medžiagų pelkiniuose dirvožemiuose 16,5–50,5%. Daugiausia cinko yra visų dirvožemių viršutiniuose humusiniuose horizontuose. Gilesniuose horizontuose mažėja organinių medžiagų ir judriojo cinko kiekis [25].

Rūgščiuose dirvožemiuose cinko trąšos neefektyvios, todėl geriausia jomis tręšti per lapus. Lietuvoje vyrauja labai mažai (47,4%) ir mažai (38,6%) cinko turintys dirvožemiai [9]. Cinko jonai (Zn^{2+}), kuriuos gali pasisavinti augalai, yra molio dalelių paviršiuje arba chalatų pavidalo junginiuose su dirvoje esančiomis organinėmis medžiagomis, todėl jis laisvai nemigruoja, ir vanduo jį sunkiai gali išplauti iš dirvos.

1.2.3 Manganas (Mn)

Manganas dalyvauja nitratų (NO_3) redukcijos ir oksidacijos-redukcijos reakcijose. Jis yra oksidatorius, subalansuojantis oksidacinius–redukcinius procesus. Jo koncentracija didesnė ląstelės citoplazmoje. Manganas svarbus fotosintezės proceso metu deguoniui tiekti.

Manganas ypač aktyvina fermentų karboksidadzės, arginazės, peptidazės, fosfomonoesterazės veiklą, dalyvauja biologinėse oksidacinėse reakcijose, susidarant chlorofilui, fotosintezės procese, riebalų, baltymų sintezėje. Mn skatina oksidazių sugebėjimą asimiliuoti deguonį ir stimuliuoja medžiagų apykaitą. Manganas padeda augaluose vyksti nitratinio azoto redukcijai iki amoniako, o kai kuriais atvejais – amoniakinio azoto oksidacijai iki nitratų [13].

Jeigu nustatoma, kad augalas turi mažai mangano, tai tikėtina, kad kiti metalai, tokie kaip geležis (Fe), paverčia ji nepasisavinamu, nes jį oksiduoja. Medžiagų apykaitoje gali dalyvauti tik redukuotos formos metalai. Gali būti ir atvirkštinis variantas, kai mangano yra daug augalo audiniuose ir jis trukdo pasisavinti geležį, dėl to lapuose prasideda chlorozė. Labai svarbu išsaugoti mangano ir geležies pusiausvyrą dirvoje (kviečiams ji yra 2,5:1). Mn^{2+} katijonai katalizuoja fosfatidinės rūgšties susidarymą fosfolipidų sintezės metu, kuri vyksta formuojantis ląstelės membranai.

Mangano judrumas augale yra sąlyginai mažas, tačiau didesnis nei Ca, B, Cu ar Fe. Nupurškus augalo lapus manganu, patekęs į augalą jis beveik nepajuda į kitas augalo dalis. Pakankamą augalo aprūpinimą manganu galima garantuoti tik papildomai tręšiant. Mangano migracija iš senų lapų į jaunus labai menka, todėl jo stoka gali atsirasti augant naujoms augalo dalims.

Augalai manganą pasisavina daugiausia divalenčio mangano katijono (Mn^{2+}) pavidalu, tačiau vanduo labai lengvai jį išplauna.

Mangano junginius augalams pasisavinant iš dirvožemio galima suskirstyti į

- vandenyje tirpūs druskos – MnCl_2 , MnSO_4 , $\text{Mn}(\text{NO}_3)_3$, $\text{Mn}(\text{HCO}_3)_2$, $\text{Mn}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$, mažai tirpūs druskos – MnHPO_4 ;
- sorbuotą manganą;
- vandenyje netirpius – mangano oksidai, hidroksidai bei MnCO_3 ir MnHPO_4 junginiai;
- organinius mangano junginius.

Mangano druskos ištirpsta vandenyje ir taip augalai lengviau jį pasisavina. Rūgštesnis dirvožemis palankesnis mangano jonų Mn^{3+} ir Mn^{7+} susidarymui.

Dirvos pH skirtingose vietose skiriasi, augaluose mangano užteks, jei Mn dirvožemyje bus 25 mg/kg ir dirvos pH bus 6,0 arba mažiau. Jei dirvos pH yra 6,0-6,5, tuomet reikia 50 mg/kg judriojo mangano, o kai pH yra 6,5 reikia 7,0 – 70 mg/kg. Vegetacijos laikotarpiu mangano kiekiai dirvoje

keičiasi. Po lietaus jo padaugėja, nes dirva tampa šlapia. Jeigu mangano yra per daug, jis toksiškai paveikia augalo audinius. Tokį negatyvų poveikį galima neutralizuoti pakalkinus dirvožemį [26].

Kita mangano savybė yra dervoje koncentruotis molio frakcijose, todėl vandenyje ištirpusio Mn dirvožemyje yra labai mažai, jonų mainų formos – apie 5%. Manganas nesudaro pakankamai stiprių ir stabilių junginių su organine dirvožemio medžiaga.

Lietuvoje vyrauja manganingi ir didelio manganingumo dirvožemiai [9].

1.2.4 Molibdenas (Mo)

Molibdeną augalai pasisavina aniono formoje $\text{Mo}^{\text{VI}}\text{O}_4^{2-}$. Jis ypatingas tuo, kad augale jo yra žymiai mažiau negu kitų mikroelementų. Molibdenas labiausiai veikia azoto fiksacijos ir nitratų redukcijos enzymų sistemose. Pavyzdžiui, jis dalyvauja nitrato (NO_3^-) redukcijos reakcijoje iki nitrito (NO_2^-), tai yra aminorūgščių ir baltymų sintezės pradžia. Jeigu augalams trūksta molibdeno, juose kaupiasi daugiau nitratinio azoto (ypač aktualu augalus tręšiant nitratinėmis azoto trąšomis). Augalams, kurie nesugeba fiksuoti reikalingo N kiekio arba į medžiagų apykaitą įtraukti nitratų dėl molibdeno trūkumo, gali pradėti trūkti ir azoto. Todėl molibdeno trūkumo požymiai labai panašūs į azoto stokos požymius.

Labai svarbu palaikyti molibdeno pusiausvyrą augaluose, nes, jeigu šio svarbaus mikroelemento augaluose yra per mažai, tuomet pradžioje sutrinka amino rūgščių ir baltymų sintezė. Molibdenas dalyvauja aminorūgščių ir baltymų sintezėje, kuri reguliuoja fermentų sudėtį, taip pat susidarant pektinams. Dėl atsiradusios molibdeno stokos, augaluose pradeda trūkti ir vitamino C, ir chlorofilo, be to, prasideda natrio kaupimasis [27].

Esant rūgščiam dirvožemiui, labiausiai pastebimas teigiamas molibdeno poveikis augalų augimui, stipriau išryškėja chlorofilo biosintezė ir azoto asimiliacija. Per didelis molibdeno kiekis augalams kenksmingas.

Molibdeno pasisavinimas augaluose iš dirvožemio vyksta lengvai, bet patekęs į augalus, jis tampa mažai judrus. Todėl šaknyse molibdeno yra daugiau, nei jaunuose ūgliuose.

Dirvožemyje molibdeno šaltiniu tampa sudūlėjusios uolienos. Litosferoje vidutiniškai yra 2,3 mg/kg, o rūgštesnėse uolienose – 1 mg/kg. Didžiosios dalies dirvoje esančio molibdeno augalai nepasisavina [28]. Bendras molibdeno kiekis dirvoje yra kintantis. Lietuvos dirvožemiuose jo yra nuo 0,5 iki 3,0 mg/kg, o judriojo molibdeno – nuo 0,01 iki 0,50 mg/kg. Molibdeno judrumas dirvoje dažnai keičiasi. Daugumoje Lietuvos dirvų (53,1%) yra labai mažai ir mažai (45,4%) molibdeno, o vidutiniškai – tik 1,5% [9].

Molibdenas dirvožemyje yra šių formų:

- tirpaus vandenyje; organiniuose junginiuose;
- sąlyginai pasisavinamas, anijono formas sorbuoja molio dalelės;
- augalų nepasisavinamas mineralų kristalinėse gardelėse.

Molibdeno absorbcija augaluose vyksta anijonų ($\text{Mo}^{\text{VI}}\text{O}_4^{2-}$) pavidalu. Molio dalelės pakankamai stipriai juos pritraukia, taip pat jie sudaro junginius su dirvos organinėmis medžiagomis, dėl to šis mikroelementas sunkiai išplaunamas vandeniu.

Dirvožemyje judrusis molibdenas augalams pasisavinamos formos dažniausiai yra 0,01-0,3 mg/kg. Mineraliniai koloidai ir humusinių rūgščių pasotinimas kalciumu skatina molibdeno judrumą dirvožemyje. Jeigu dirvožemyje bus daug kalcio ir kalcio humatų, tuomet ir judriojo molibdeno bus daug. Neutralių reakcijų dirvose arba pakalkintose rūgštesnėse atsiranda daugiau judriojo molibdeno. Geležies ir aliuminio oksidai stipriai sumažina judriojo molibdeno kiekį. Jeigu dirvožemyje yra daug fosforo, augalams tampa lengviau pasisavinti molibdeną, bet jeigu yra daug judriosios sieros, tuomet, atvirkščiai, augalams yra sunku pasisavinti molibdeną.

1.2.5 Varis (Cu).

Varis kaip mikroelementas turi didelę įtaką augalo augimui. Jeigu atimtume iš augalo mitybinio tirpalo visus Cu^{2+} jonus, prarastume 90% derliaus. Vario didžioji dalis augale (iki 70%) susikaupusi chloroplastuose, plastocianinų (mėlynujų proteinų) sudėtyje. Varis ne tik stabilizuoja chlorofilo baltymų kompleksus, bet ir saugo chlorofilus nuo suirimo, o fotosintezės procese atlieka elektronų transportavimo tarpininko funkciją.

Varis yra svarbus enzymų baltymų, kurie reguliuoja augalų biocheminių reakcijų greitį, komponentas. Nors varis ir neįeina į chlorofilo struktūrą, jis yra labai svarbus jos susidarymui, fotosintezei, azoto fiksacijai (ankštinių augalų), kvėpavimui NAD bei medėjimo procesams. Jeigu augalams trūksta vario, sutrinka jų augimas. Augalai žydi, bręsta, bet žiedadulkės būna nevaisingos. Varis augalų lapuose sustiprina sintezės procesus bei padidina juose baltymų kiekį. Varis įeina į kelių kvėpavimo fermentų sudėtį (polifenoloksidazės arba tirozinazės, laktazės ir askorbatoksidazės), todėl dalyvauja kvėpavimo procesuose. Jis taip pat dalyvauja angliavandenių ir baltymų apykaitoje. Varis reikalingas B grupės vitaminams, chlorofilui, baltymų susidarymui ir oksidacijos fermentams. Esant vario trūkimui, užsimezga mažiau vaisių, prasčiau apsidulkina žiedai, taip pat kenčia augalų augimo kūgeliai ir jauni lapai. Varis didina augalų atsparumą grybinėms ir bakterinėms ligoms [27].

Vario perteklius, kaip ir jo trūkumas, augalui yra žalingas ir trikdo augimą. Kai kuriuose augaluose pasireiškia „nudegimo“ reakcija nupurškus juos 0,2-0,5% vario sulfato tirpalu. Dėl

dirvožemyje esančio vario pertekliaus atsiranda chlorozės požymių, o tai neigiamai veikia augalus. Tokių požymių atsiradimas galimas, kai vario dirvožemyje yra 0,7 kg/ha (ekstrahuoto vandenyje). Vario pasisavinimas augaluose yra mažas. Pagal A. Hodenbergo duomenis, jeigu padidintume jo kiekį dirvožemyje dvylika kartų, augaluose jo padidės tik du kartus. Augalai varį pasisavina Cu^{2+} jonų pavidalu.

Varis nėra labai judrus, jo transportavimo iš šaknų į viršutinius organus lygis yra labai žemas. Vario kiekis lapuose kyla lėtai padidinus jo kiekį šaknyse. Kai augalui jo trūksta, varis iš senesnių lapų į jaunesnius nepersikelia. Lapuose susidaro pakankamas vario kiekis tuomet, kai augalo šaknys jau ankstyvajame periode yra juo gerai aprūpintos.

Varis katijono (Cu^{2+}) pavidalu daugiausia būna dirvoje, molio dalelių paviršiuje arba su organinėmis medžiagomis sudaro kompleksus. Varis humusiniame sluoksnyje dirvožemyje akumuliuojasi ir organo mineraliniuose kompleksuose, yra iš dalies mainų-absorbuotos būklės.

Vario formos dirvožemyje:

- tirpus vandenyje;
- mainų varis, absorbuotas organinių ir mineralinių koloidų;
- sunkiai tirpstančios vario druskos;
- varingieji mineralai;
- metalo - organiniai vario junginiai.

Vario daugiausiai yra dumblio frakcijoje, kur vyrauja molio mineralai: montmorilonitas, vermikulitas, beidelitas, kur vyrauja chloritas ir galuozitas, jo yra mažiausiai. Taip pat nežymiai jo yra durpiniuose ir lengvos granulimetrinės sudėties dirvožemiuose. Žemutinio tipo durpėse vario yra daugiau negu tarpinio tipo, o durpiniuose dirvožemiuose mažiau negu mineraliniuose. Dirvožemio molingumas, karbonatingumas ir geležies hidrokso kiekis lemia vario pasiskirstymą jame. Vario kiekis smėlingame dirvožemyje priklauso nuo jo molingumo ir humusingumo. Su litogeniniais elementais ir iš dalies su karbonatine frakcija varis asocijuojasi tik priesmėliuose, moliuose – tik su litogeniniais elementais[9]. Vario judrumas ir prieinamumas augalams priklauso nuo kritulių kiekio. Sausros metu vario judrumas sumažėja, o esant pakankamam dirvos drėgnumui (virš 25%), vario judrumas didėja. Lengvos granulimetrinės sudėties dirvožemiuose varis yra judriausias, ne toks judrus sunkiuose priemoliuose, o mažiausiai judrus sunkiuose molio, pelkiniuose dirvožemiuose. Iš viršutinių dirvožemių horizontų judrų varį išplauna gausūs krituliai. Varis dar greičiau išplaunamas iš lengvo dirvožemio.

Vario tirpumas ir pasisavinimas pagerėja rūgščiuose dirvožemiuose, o mažai rūgščiuose, neutralios reakcijos ir šarmingame – sumažėja. Efektyviausia variu tręšti mažai rūgščiuose ir artimose

neutralios reakcijos dirvose. Lietuvoje vyrauja dirvožemiai su mažu (26,8%) ir vidutiniu (47,6%) vario kiekiu.

1.2.6 Geležis (Fe)

Viso augimo periodo metu augalai turi būti aprūpinami geležimi, jei yra geležies trūkumas, ji nepereina iš senesnių lapų į naujai augančius ir nekompensuoja juose atsirandančios stokos. Geležyje yra fermentų, kurie skatina chlorofilo susidarymą. Geležis yra katalazės, peroksidazės, citochromoksidazės sudedamoji dalis. Ji taip pat turi įtakos energijos pernešimui augaluose. Geležis yra svarbi oksidacijos–redukcijos reakcijose ir jose yra labai judri. Prisijungusi elektronus iš trivalentės virsta divalente, o atidavusi elektronus – iš divalentės tampa trivalente.

Daugiausiai geležies turi rūgštūs dirvožemiai, juose geležies būna per daug ir ji stabdo augalų augimą. Tokiuose dirvožemiuose per didelis geležies kiekis augalams trukdo pasisavinti fosforą, nes iš fosforo ortorūgšties bei geležies hidroksidų susidaro sunkiai tirpūs geležies ortofosfatai. Augalai sunkiau pasisavina geležį neutralios reakcijos ir silpnai šarminiuose dirvožemiuose, nes juose gerokai sumažėja geležies judrumas. Tręšti tirpiomis geležies druskomis yra mažai veiksminga, nes dirvoje ištręstos geležies augalai nepasisavina dėl jos pakitusios formos. Tokiu atveju tręšimas per lapus yra daug efektyvesnis [20].

Augalai irgi negali pasisavinti geležies, kai dirvožemyje būna daug kalio, cinko, fosforo. Kai yra per didelė drėgmė ar bloga dirvožemio aeracija, šaknys blogiau pasisavina geležį. Sunkiuose molio dirvožemiuose geležies trūkumas yra įprastas reiškinys. Geležis augaluose labai nejudri. Geležis iš senųjų lapų į jaunuosius praktiškai netransportuojama. Todėl esantys trūkumai labiausiai pasireiškia ant jauniausių augalo dalių. Jeigu yra labai didelė stoka, požymiai gali pasireikšti ir ant senesnių augalo dalių.

Augalai geležį pasisavina Fe^{2+} ir Fe^{3+} jonų forma. Geležies poreikis skiriasi priklausomai nuo augalo ir kinta nuo 0,5 iki 1,5 kg/ha.

Dirvoje geležis būna feritų (Fe^{2+}) arba feratų (Fe^{3+}) pavidalo. Dėl to, kad feritiniai junginiai daugiausia būna tirpūs, augalai gali Fe^{2+} jonus absorbuoti tiesiogiai. Dažniausiai dirvos sąlygos lemia feratų, kurie prastai tirpsta ir augalams yra sunkiau prieinami, susidarymą.

Augalai stengdamiesi pasirūpinti pakankamu geležies kiekiu, pereina prie sudėtingesnių apsirūpinimo mechanizmų, kurie apima:

- padidėja šoninių šaknų, rizoidų ir transportuojančių ląstelių susidarymas, kad būtų didesnis geležį pasisavinančių šaknų paviršius;
- išsiskiria vandenilio jonų (H^+), o tai sumažina pH šaknų srityje ir pagerina geležies hidroksidų tirpumą;

- dėl organinių medžiagų išskyrimų feratinė (Fe^{3+}) geležis redukuojama iki tirpesnio feritinio (Fe^{2+}) pavidalo [8].

Kai dirvožemyje būna daug kalio, cinko, fosforo, augalai irgi negali pasisavinti geležies, nors jos dirvožemyje ir pakanka. Šaknų sugebėjimas pasisavinti geležį gali sumažėti ir dėl blogos dirvožemio aeracijos, per didelės drėgmės.

Geležies trūkumas – pakankamai įprastas reiškinys sunkiuose molio dirvožemiuose.

Geležis augaluose yra labai nejudri. Iš senųjų lapų į jaunuosius Fe praktiškai netransportuojama. Todėl visada aiškiausi trūkumo požymiai pasireiškia ant jauniausių augalo dalių. Tik esant labai didelei stokai, požymiai pastebimi ir ant senesnių augalo dalių. Didžiausias geležies kiekis randamas augalų šaknyse, lapuose, stiebuose.

Augalai geležį sugeba pasisavinti Fe^{2+} ir Fe^{3+} jonų forma. Įvairių augalų geležies poreikis skirtingas ir kinta nuo 0,5 iki 1,5 kg/ha.

Visi šie mikroelementai atlieka savas funkcijas ir nė vienas jų augale negali būti keičiamas kitu. Būtina žinoti, jog augalams žalingas ne tik mikroelementų trūkumas, bet ir jų perteklius. Abiem atvejais sutrinka normalus augalų augimas ir vystymasis [8] [9] [29].

1.3 Patentinė augalų diagnostikos prietaisų analizė

Spektrofotometriniai metodai, kuriais įvertinamos augalo augimo sąlygos, yra pagrįsti augalo savybe skleisti fluorescencinį spinduliavimą. Šis spinduliavimas gaunamas augalą veikiant regimąja balta šviesa, kurios bangos ilgis yra nuo 400 iki 650 nm. Po tokio poveikio augalas tamsoje pradeda skleisti infraraudonąsias ir artimos infraraudonosios šviesos bangas, kurių ilgius žymi 690 nm ir 740 nm komponentės. Šių bangos ilgių fluorescencinis švytėjimas parodo augalo biomasės indeksą, gebėjimą sintetinti chlorofilą ir azoto kiekį augale.

Remiantis šia savybe yra padaryta daugybė išradimų, skirtų augalų augimo sąlygoms įvertinti.

Vokietijos patentinėje duomenų bazėje užregistruotoje paraiškoje DE10148737 yra aprašomas diagnostikos metodas, kuris remiasi augalų lapų apšvietimu trumpu ksenono lempos blyksniu. Nuo lapo atsispindėjusi šviesa filtruojama optiniu filtru, kuris suderintas keletui skirtingo ilgio bangų. Iš filtro išėjusios šviesos bangos nukreipiamos į atskirus fotodetektorius, kurie matuoja skirtingų bangos ilgių šviesos intensyvumą [1].

Jungtinių Amerikos Valstijų patentų duomenų bazėje paskelbtas patentas US2005072935. Patente aprašomas matuoklis, paremtas chlorofilo molekulių fluorescencinėmis savybėmis. Augalo lapas apšviečiamas šviesos bangų spektru nuo 400–650 nm. Toliau yra matuojamas augale esančių chlorofilo molekulių fluorescencijos intensyvumas ties 690 ir 740 nm bangos ilgiais. Tokiu būdu yra nustatomas chlorofilo aktyvumas. Iš to galima spręsti apie azoto kiekį augale [30].

Tarptautinės paraiškos publikacijoje WO 9935485 yra nurodoma, jog vykstant augalų chlorofilo fluorescenciniam švytėjimui daugiausiai diagnostinės informacijos duoda 700 nm ir 840 nm bangos ilgiai. Šiame patente aprašoma optinė sistema, sudaryta iš lęšių ir įvairių optinių filtrų, kurių dėka išmatuotas švytėjimo intensyvumas [2].

Chlorofilo kiekis ir kiti augalo parametrai gali būti nustatomi ne tik pagal fluorescencinį švytėjimą, bet ir analizuojant nuo augalų lapų atspindėtos šviesos arba per lapus praėjusios šviesos spektrą.

Vokietijos patente DE10002880 aprašomas mobilus augalų diagnostikos matuoklis. Matavimas paremtas augalų lapų apšvietimu dienos šviesa ir lazerio ar skirtingo ilgio šviestukų skleidžiama šviesa bei atspindėtų šviesos bangų ir fluorescencinio švytėjimo analize, spektrų analize. Matuoklis gali būti montuojamas ant žemės ūkio technikos. Judant žemės ūkio technikai GPS renka duomenis apie matuojamų pasėlių vietą. Matuojant yra nustatomi augalų biomasės ir lapų paviršiaus indeksai bei chlorofilo kiekis lapuose [31].

Prietaisas, skirtas pasėlių augimo sąlygų diagnostikai, aprašytas Japonijos patentinėje paraiškoje JP2006250827. Prietaisas daugiausiai pritaikomas ryžių pasėliams tirti. Jo veikimas pagrįstas pasėlių lauko fotografavimu ir nufotografuoto atspindžio spektro analize. Augalai fotografuojami iš lėktuvo ar

kosminio palydovo. Fotografuojamų vaizdų tyrimui naudojami multiregresinės analizės metodai. Nufotografuoto atspindžio spektro analizei naudojamos B16 ir B57 komponentės, pagal kurias galima įvertinti proteino kiekį augaluose [4].

Patente US6567537 aprašoma matavimo sistema, skirta chlorofilo kiekiui ir biomasės indeksui augale nustatyti. Prietaiso veikimas paremtas augalų fotografavimu ir gautų vaizdų analize. Vaizduose išskiriamos komponentės: 550 nm atspindėto chlorofilo kiekiui nustatyti, 680 nm sugeriamo chlorofilo kiekiui nustatyti: 770 nm augalo biomasės indeksui nustatyti [3].

Tarptautinės paraiškos publikacijoje WO2009007269 aprašomas prietaisas, skirtas biomasės indeksui augaluose nustatyti. Prietaiso veikimas paremtas skirtingų ilgių šviesos bangos praeinamumu pro augalo lapą. Naudojami du šviestukai. Vienas iš jų yra atraminis: jo šviesa praeina pro augalo lapą mažai slopinama. Kito šviestuko šviesa atspindima priklausomai nuo vandens kiekio, esančio lape. Fotodetektoriumi išmatavus ir sulyginus šių dviejų bangos ilgių intensyvumų santykį, galima apskaičiuoti augalo biomasės indeksą [32].

Minėtuose paraiškų ir patentų aprašymuose nurodyti augalų diagnostikos metodai ir įrenginiai daugiausia atspindi augalo savybes sintetinti chlorofilą bei parodo vandens kiekį augale, tačiau nesprendžia augalams reikalingų cheminių elementų trūkumo nustatymo.

Magistriniame darbe tiriamam naujam augalų diagnostikos metodui artimiausias yra aprašytas JAV patente US6683970. Jame aprašytas pasėlių lauko diagnostikos metodas ir prietaisas. Patente aprašomas diagnostikos metodas paremtas dienos šviesos atspindžio matavimu skaitmeninėmis kameromis nuo viso pasėlių lauko. Matavimai yra atliekami įvairiais kampais. Atspindėtos šviesos spektras filtruojamas ratu keičiamais fiksuotų bangos ilgių optiniais filtrais regimųjų ir infraraudonųjų bangų diapazone (450, 550, 625, 650, 675, 700, 750, 850, 950, 1300 nm). Tame pačiame patente taip pat aprašomas dar vienas diagnostikos prietaisas, kuriuo tiriamas nuo vieno augalo lapo atsispinęjusios šviesos spektras. Prietaise naudojami skirtingų bangos ilgių šviestukai ir keli fiksuoto bangos ilgio optiniai filtrai. Šiame patente aprašytas tik azoto (vieno iš augalams būtiniausių elementų) nustatymo būdas [5].

1.4 Komercinių augalų diagnostikos prietaisų analizė

Apžvelgdami panašius komercinius augalų diagnostikos prietaisus pastebime, kad rinkoje yra įvairių prietaisų, paremtų skirtingais optiniais matavimo metodais. Daugiausia tai yra prietaisai, skirti azoto kiekiui augaluose nustatyti, nes azotas yra vienas iš pagrindinių makroelementų, dalyvaujančių augalų augime [33] [34]. 2.4.1 pav. matome firmos Konica Minolta chlorofilo matuoklį, kuris paremtas augalo lapo peršvietimu dviejų skirtingų bangos ilgių (raudonojo ir artimai infraraudonojo) šviestukais (angl. light emitting diode). Peršvietusi lapą, šviesa pasiekia fotodetektorius, kuriais matuojamas abiejų šviesos bangų absorbcijos santykis. Iš santykio nustatomas chlorofilo kiekis augale. Kadangi chlorofilo kiekis labai priklauso nuo azoto kiekio augale, iš matavimų rezultatų galime spręsti apie azoto trūkumą augale [35] [36]. 2.4.2 pav. Pavaizduotas „GreenSeeker 505“ prietaisas, paremtas raudonos ir infraraudonos šviesos atspindžių matavimu nuo augalų. Kuo didesnis išmatuotas infraraudonos šviesos atspindys, tuo sveikesnis augalas [37]. Panašiai veikiantis prietaisas pavaizduotas 2.4.3 pav. „Crop Sensor Messtechnik“. Tai optinis augalų diagnostikos prietaisas, montuojamas ant žemės ūkio technikos viršutinės dalies. Tokiu būdu judant žemės ūkio technikai iš viršaus yra analizuojamas pasėlių laukas. GPS (globalinė pozicionavimo sistema) nustato tikslias koordinatas, žemėlapyje žymimi matavimo rezultatai [38]. Dideliems pasėlių plotams tirti gali būti pasitelkti ketursraigčiai skraidantys aparatai ar net dirbtiniai žemės palydovai (2.4.4 pav.). Tokiu būdu periodiškai yra nufotografuojamas pasėlių laukas ir analizuojant gautus vaizdus nustatomas pasėlių vystymasis. Iš vaizdų galima matyti sektorius, kuriuose vystymasis sutrikęs. Taip pat nustatomas optimaliausias derliaus nuėmimo laikas [39].

Dauguma apžvelgtų prietaisų yra skirti azoto kiekiui augaluose nustatyti, tačiau vykdant paiešką, nepavyko aptikti prietaisų, skirtų mikroelementams augale nustatyti.



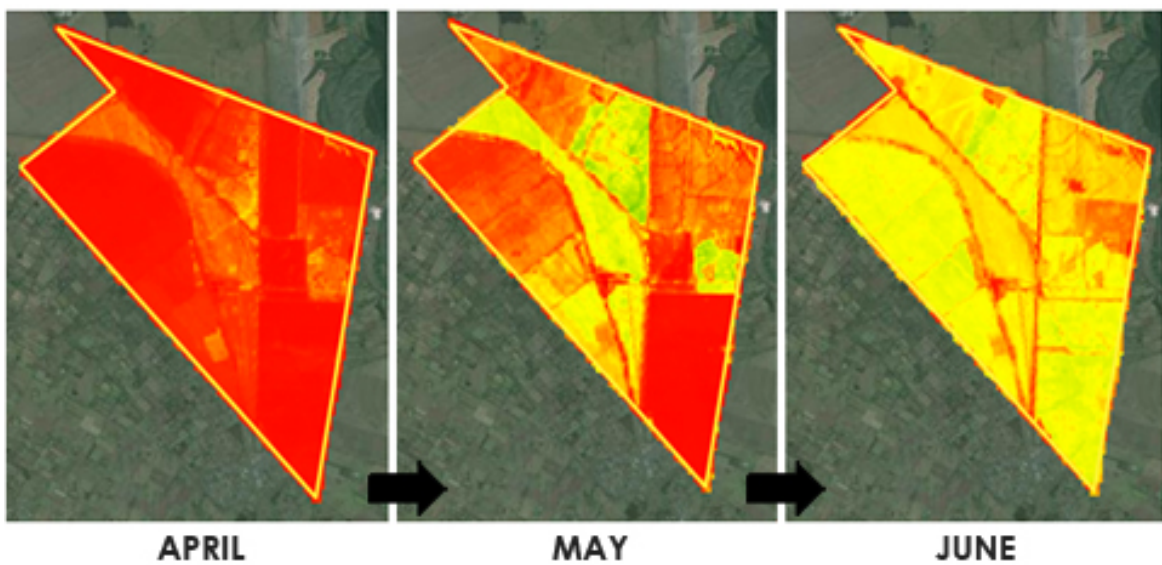
2.4.1 pav. Azoto matuoklis „SPAD-502“.



2.4.2 pav. Matuoklis „GreenSeeker Model 505“.



2.4.3 pav. „Crop Sensor” Messtechnik matuoklis

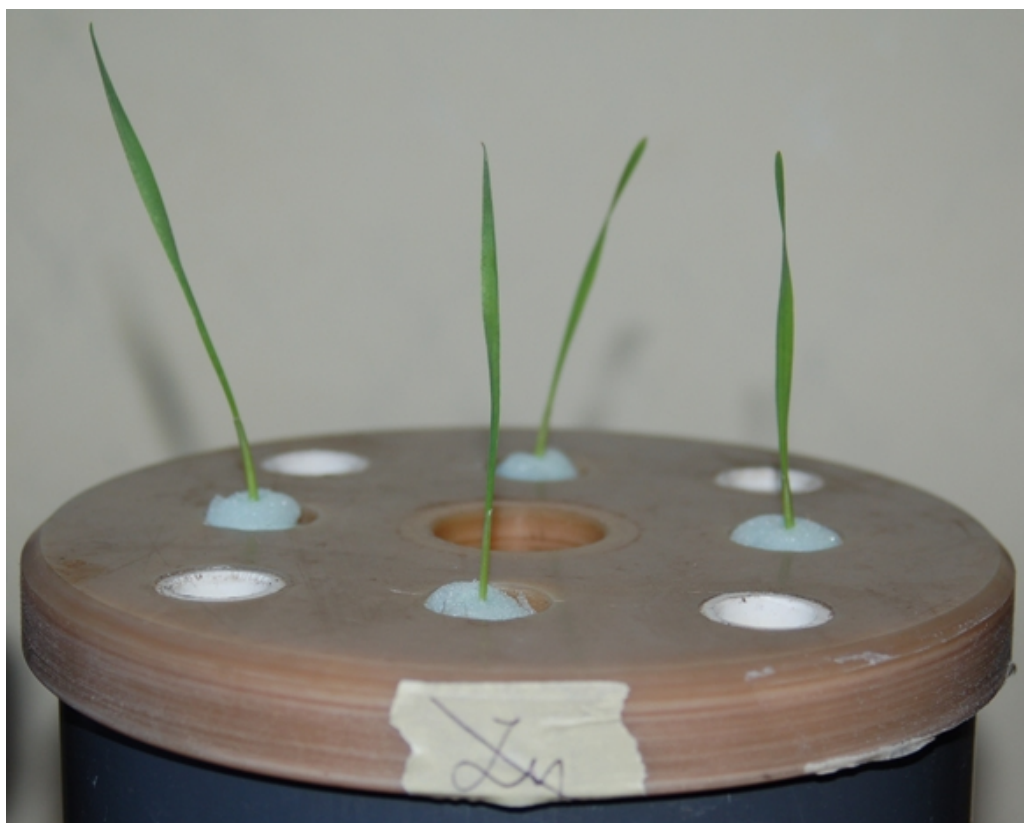


2.4.4 pav. Palydovo vaizdų naudojimas „NDVI” žemėlapiui sudaryti.

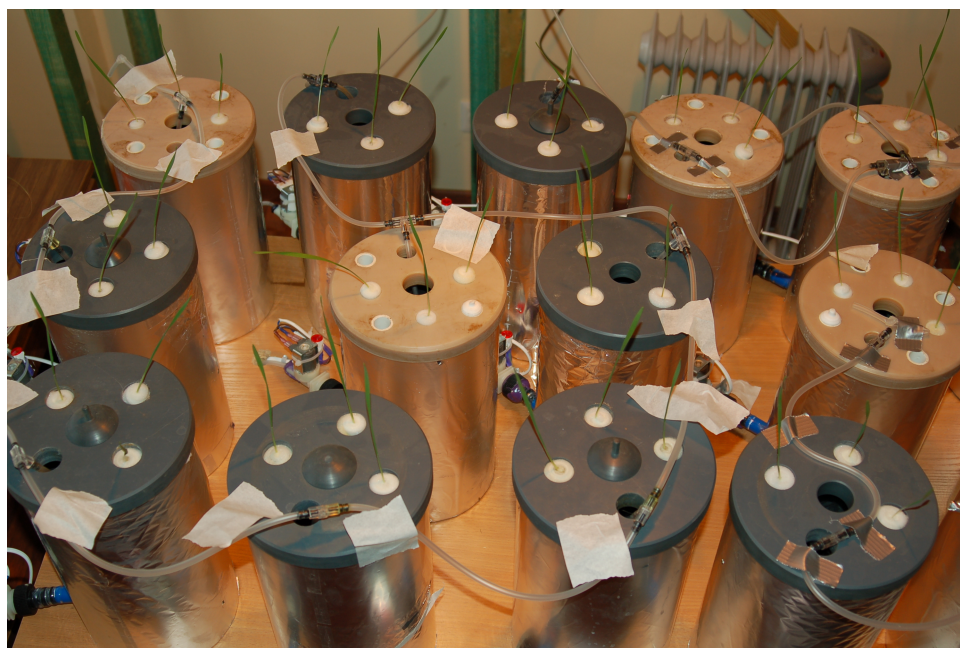
2 NAUJAS SPEKTROFOTOMETRINIS MATAVIMO METODAS

2.1 Bandomųjų kviečių pavyzdžių paruošimas

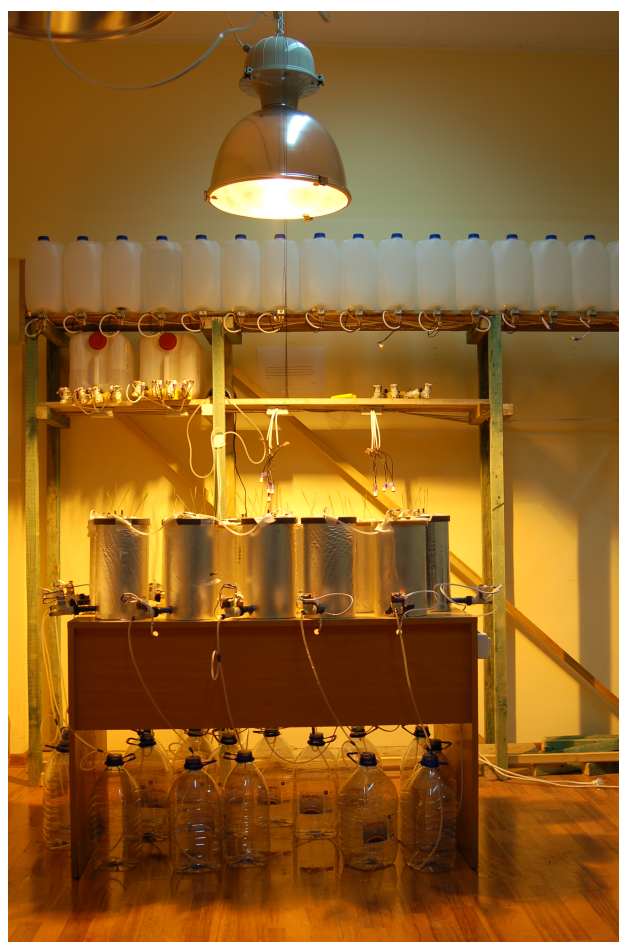
Tyrimuose naudoti vasarinių kviečių bandomieji pavyzdžiai buvo auginami hidroponiniuose (vegetaciniuose) induose su vandeniu (be žemės). Kiekviename inde buvo auginama po 4 kviečių daigus. Indai buvo pripildyti distiliuoto vandens, į kurį buvo įdedamas reikiamas kiekis cheminių elementų trąšų pavidalu. Kontroliniai augalai buvo aprūpinami visais reikiamais cheminiais elementais. Visuose kituose induose būdavo sukeliamas po vieno cheminio mikroelemento trūkumas. Inde su Zn (cinko) trūkumu būdavo įdedamas reikiamas kiekis visų cheminių elementų, išskyrus Zn. Inde su Mn (mangano) trūkumu būdavo reikiamas kiekis visų mikroelementų, išskyrus Mn, ir t. t. Tokiu būdu buvo paruošti indai su kontroliniais (sveikais) augalais ir su Zn, Cu, Mn, Mo, Fe, B trūkumais. Distiliuotas vanduo induose reguliariai būdavo keičiamas ir atitinkamai į pakeistą vandenį vėl būdavo įdedamas reikiamas kiekis cheminių mikroelementų trąšų pavidalu.



2.1.1 pav. Hidroponiniame inde auginami augalai su Zn (cinko) trūkumu.



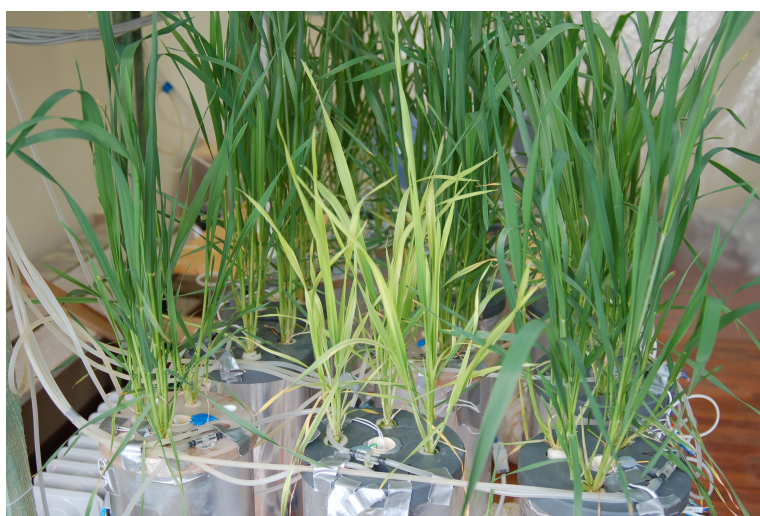
2.1.2 pav. Hidroponiniuose induose auginami augalai po 4 pavyzdžius. Indai aprūpinti automatine vandens pakeitimo ir tręšimo sistema.



2.1.3 pav. Hidroponiniuose induose auginami augalai imituojant saulės apšvietimą.



2.1.4 pav. Kviečiai, apšviesti Saulę atstojančia šviesa.



2.1.5 pav. Užauginti bandomų kviečių pavyzdžiai.

2.2 Matavimo metodo principas

Augale esantys pagrindiniai mikroelementai (Fe, B, Mn, Zn, Cu, Mo) savaip lemia augalo lapuose esančių pigmentų susidarymą, jų kiekį, aktyvumą ir gyvenimo trukmę. Nustačius pigmentų kiekį augalo vegetacijos laikotarpiu, galima spręsti apie tam tikrų mikroelementų trūkumą augale.

Augalo augimo laikotarpiu įvairūs mikro- ir makroelementai skirtingai pasiskirsto tarp augalo dalių. Augalui besivystant, elementai augale migruoja ir skirtingais augalo vystymosi tarpsniais jų koncentracija tarp įvairių augalo dalių bus kintanti [9]. Taip pat skirtingais vystymosi tarpsniais bus kritiniai ir tam tikri elementai (1.4 skyrius). Todėl tokio elemento trūkumas taps labiausiai pastebimas tik tuomet, kai augalui jo prireiks.

Žmogus apie augalo būklę ir aprūpinimą kai kuriomis maistinėmis medžiagomis gali spręsti (su didele paklaida) iš lapų spalvos. Daugiau diagnostinės informacijos ir didesnę tikslumą galima gauti pasitelkus ne tik regimąją šviesą, bet ir ultravioletinius bei infraraudonuosius spindulius ir matuojant bangų atspindžio spektrus fotodiodu arba fotodaugintuvu.

Tarp sveikų augalų ir augalų, augusių su mikro- ar makroelementų trūkumais, atspindžio spektrai bus skirtingi. Atspindžio spektrai taip pat skirsis ir tarp to paties augalo skirtingo amžiaus lapų. Pavyzdžiui, jei bus tiriamas sveikas augalas, tai pirmiausiai pamatavus atspindžio spektrą nuo jo vyresnio lapo, po to pamatavus atspindžio spektrą nuo jo jaunesnio lapo ir galiausiai palyginus gautus du spektrus – matysime nedidelį skirtumą. Tačiau tokiu būdu ištyrę augalą, augusį su kokiu nors mikro- ar makroelemento trūkumu, pamatysime jau didesnę skirtumą. Jeigu kompiuteriu vieno lapo spektrą atimsime iš kito lapo spektro, gausime skirtuminį spektrą. Įdomu yra tai, kad skirtuminio spektro forma skirsis priklausomai nuo to, kokio elemento trūksta augalui. Tai pačiai augalų veislei to paties elemento trūkumas visuomet sąlygos charakteringos formos skirtuminį spektrą. Vadinasi, iš skirtuminio spektro formos galima nustatyti, kokio mikro- ar makroelemento trūksta augalui. Jei nėra per vėlu, augalą galima patręšti trūkstamo elemento trąšomis.

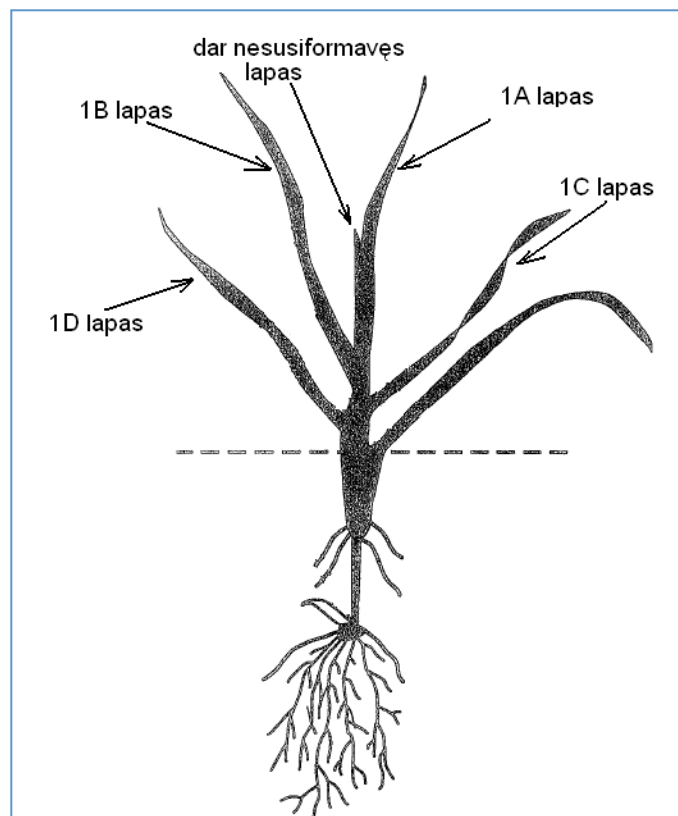
Pagal aprašytą metodą [6] vienu metu yra matuojami atspindžio spektrai nuo to paties augalo dviejų ar daugiau lapų. Tuo šis metodas skiriasi nuo visų iki šiol patentuotų metodų bei tarp visų metodų, naudojamų komerciniuose diagnostikos matuokliuose.

2.3 Laboratoriniai tyrimai naujam matavimo metodo patikimumui nustatyti

Tam, kad būtų nustatytas naujo spektrofotometrinio augalų diagnostikos metodo patikimumas, buvo atlikti eksperimentiniai matavimai Vilniaus universiteto chemijos laboratorijoje pasitelkus spektrofotometrą „Lambda 35“.



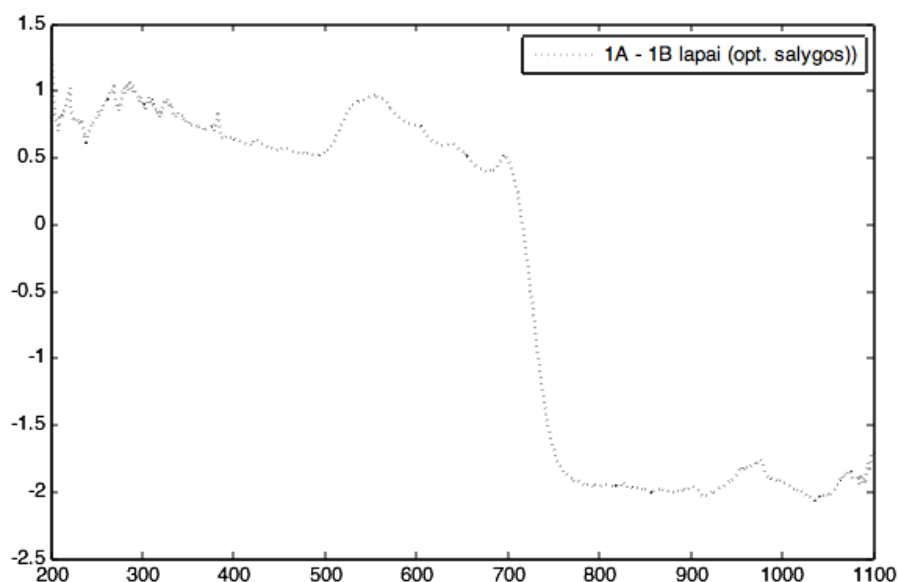
2.3.1 pav. VU chemijos laboratorijos spektrofotometras “Lamba 35”.



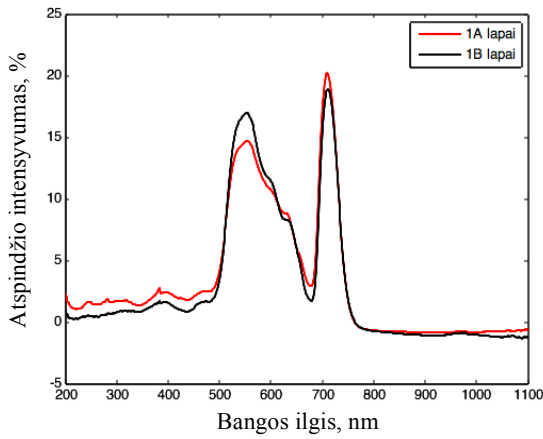
2.3.2. pav. Kviečio lapų numeracija [40].

Tiriant augalus buvo nustatyta, kad sveiko augalo atspindėtos šviesos intensyvumai nuo jaunesnio ir vyresnio lapų $I_1(\lambda)$, $I_2(\lambda)$ ir tų intensyvumų skirtumas (skirtuminis spektras) $I_1(\lambda) - I_2(\lambda)$ (kaip funkcija nuo atspindėjusios šviesos bangos ilgio) visuomet yra vienodi tos pačios rūšies augalams. Tirtų augalų, kurie buvo sveiki, ir augalų, kurie augo su mikroelementų (Zn, Mo, B, Mn, Fe, Cu,) trūkumu, atspindėtos šviesos intensyvumai $I_1(\lambda)$, $I_2(\lambda)$ ir jų skirtumai $I_1(\lambda) - I_2(\lambda)$ buvo skirtingi. Kitaip tariant, skirtuminio spektro forma visuomet priklauso nuo to, kurio mikroelemento trūksta augalui. Kiekvienam mikroelementui skirtuminio spektro forma skiriasi.

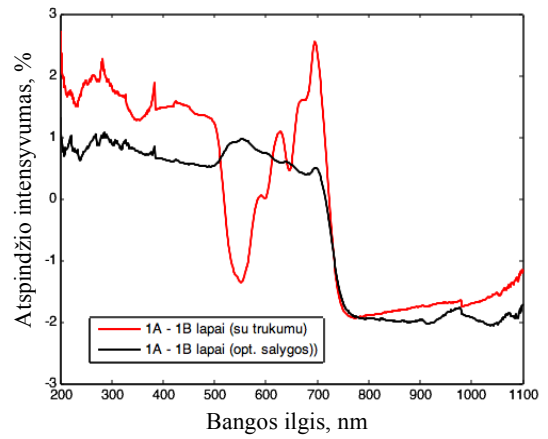
Ekspirimentinių tyrimų rezultatai pateikti žemiau grafikuose. 2.3.3 grafike matomas sveiko augalo skirtuminis spektras. Grafike 2.3.4 pavaizduotas augalo su Fe trūkumu dviejų lapų spektrų palyginimas (raudona spalva – jaunesnis lapas, juoda spalva –vyresnis lapas). Grafike 2.3.5 palyginti sveiko augalo skirtuminis spektras (juoda linija) ir augalo su Fe trūkumu skirtuminis spektras (raudona linija). Kituose grafikuose 2.3.6 – 2.3.15 pavaizduoti augalų, augusių su B, Mn, Zn, Cu ir Mo trūkumais, atskirų lapų ir skirtuminiai spektrai.



2.3.3. pav. Vasarinio kviečio augusio optimaliomis sąlygomis jauniausiojo 1A ir vyresniojo 1B lapų skirtuminis spektras.

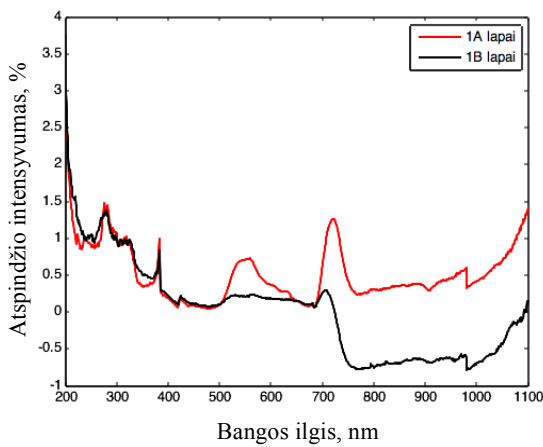


a)

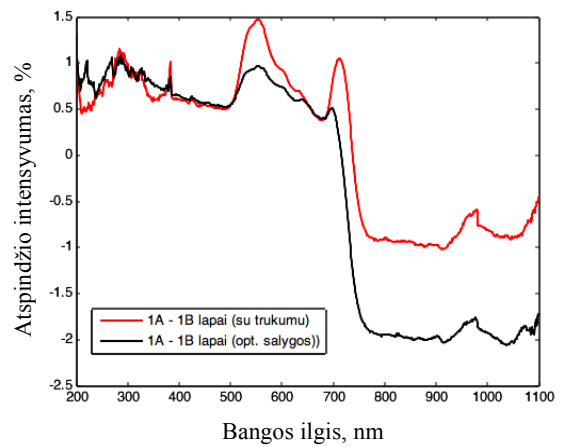


b)

2.3.4 pav. Atspindžio spektrų palyginimas: a) augalo su Fe trūkumu jaunesnio (1A) ir vyresnio (1B) lapų spektrai, b) augalo su Fe trūkumu skirtuminis spektras (raudona linija) ir kontrolinio augalo skirtuminis spektras (juoda linija).

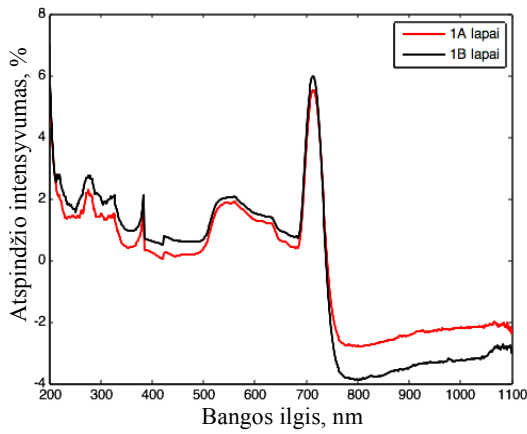


a)

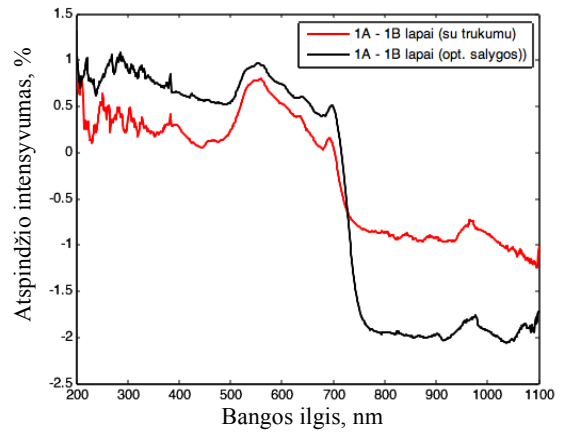


b)

2.3.5 pav. Atspindžio spektrų palyginimas: a) augalo su B trūkumu jaunesnio (1A) ir vyresnio (1B) lapų spektrai. b) augalo su B trūkumu skirtuminis spektras (raudona linija) ir kontrolinio augalo skirtuminis spektras (juoda linija).

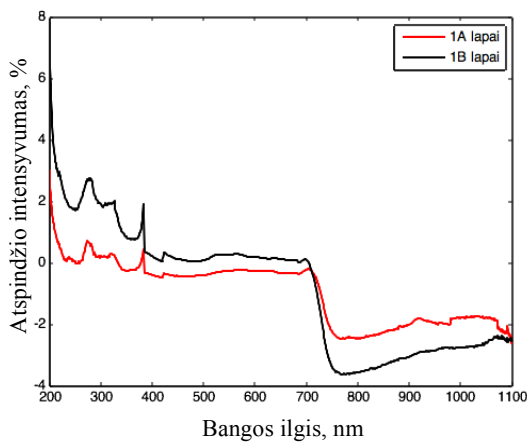


a)

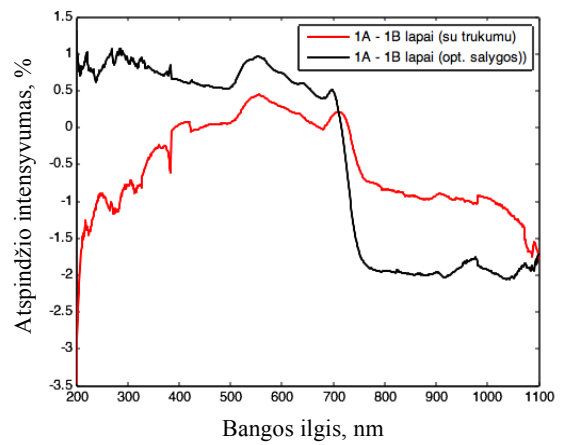


b)

2.3.6 pav. Atspindžio spektrų palyginimas: a) augalo su Mn trūkumu jaunesnio (1A) ir vyresnio (1B) lapų spektrai. b) augalo su Mn trūkumu skirtuminis spektras (raudona linija) ir kontrolinio augalo skirtuminis spektras (juoda linija).

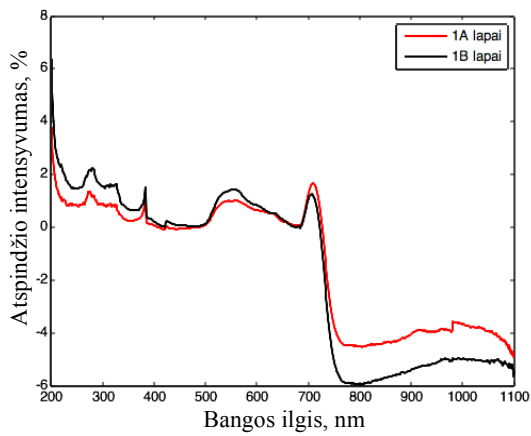


a)

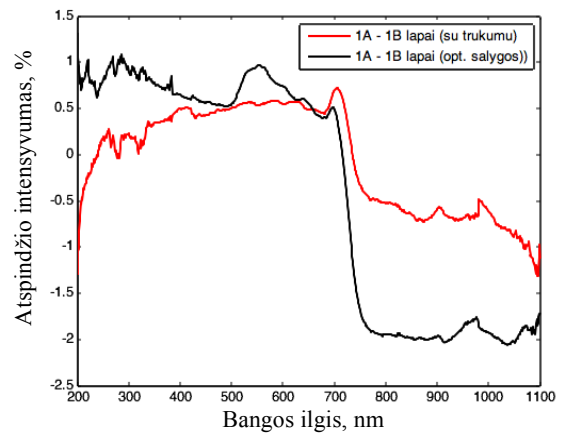


b)

2.3.7 pav. Atspindžio spektrų palyginimas: a) augalo su Zn trūkumu jaunesnio (1A) ir vyresnio (1B) lapų spektrai. b) augalo su Zn trūkumu skirtuminis spektras (raudona linija) ir kontrolinio augalo skirtuminis spektras (juoda linija).

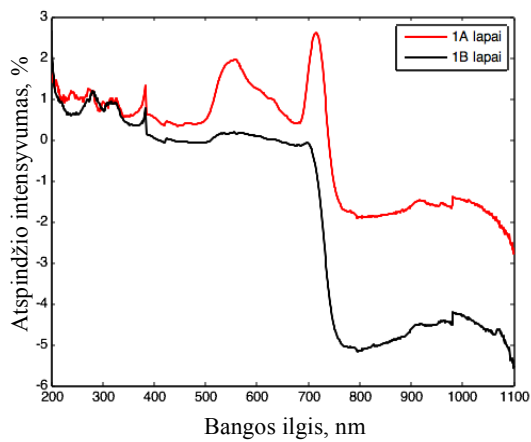


a)

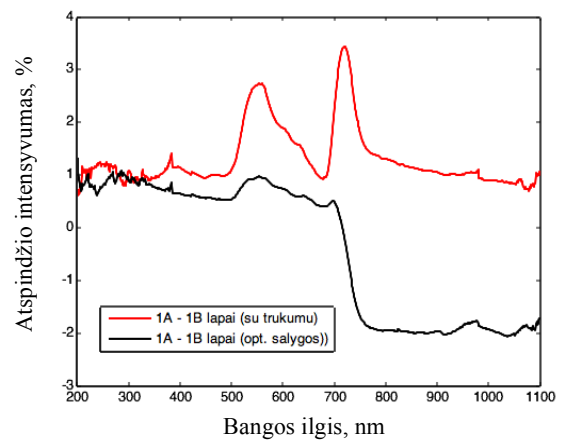


b)

2.3.8 pav. Atspindžio spektrų palyginimas: a) augalo su Cu trūkumu jaunesnio (1A) ir vyresnio (1B) lapų spektrai. b) augalo su Cu trūkumu skirtuminis spektras (raudona linija) ir kontrolinio augalo skirtuminis spektras (juoda linija).



a)



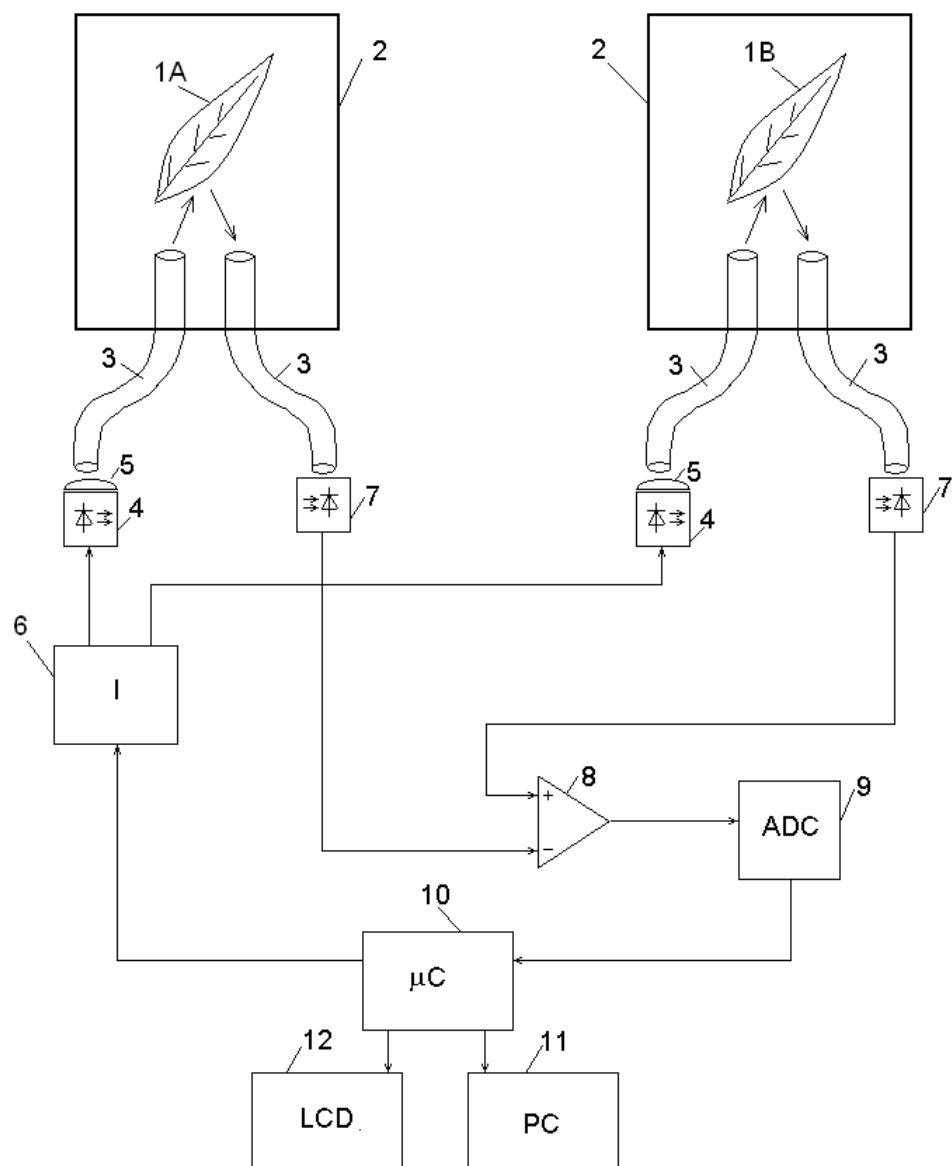
b)

2.3.9 pav. Atspindžio spektrų palyginimas: a) augalo su Mo trūkumu jaunesnio (1A) ir vyresnio (1B) lapų spektrai. b) augalo su Mo trūkumu skirtuminis spektras (raudona linija) ir kontrolinio augalo skirtuminis spektras (juoda linija).

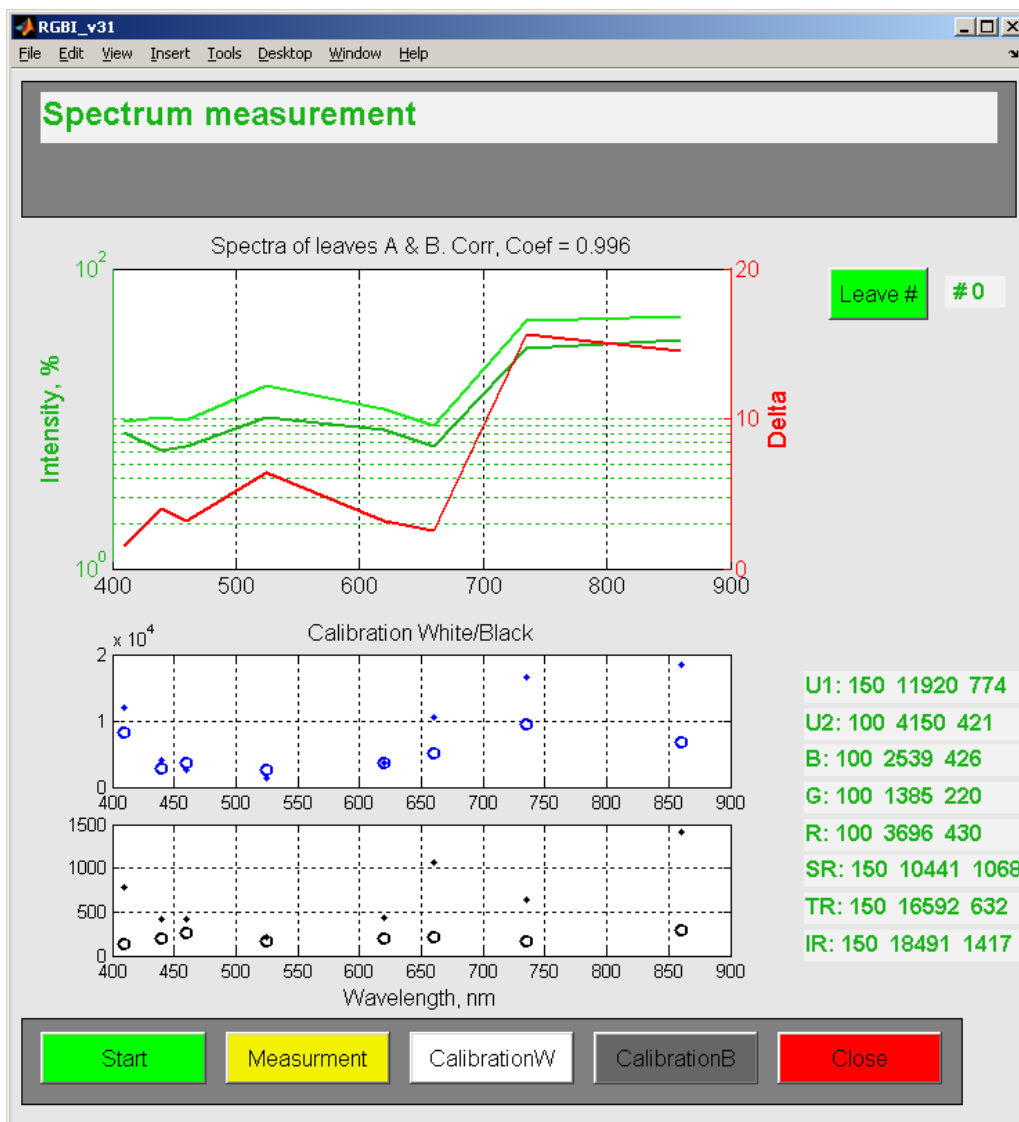
Atlikus tyrimus su laboratoriniu spektrofotometru „Lambda 35“ buvo nustatyti bangos ilgiai, kurie naudingiausi ir nusako daugiausia diagnostinės informacijos apie tiriamus sveikus augalus ir augalus su įvairių mikroelementų trūkumais: 410, 440, 460, 525, 620, 660, 735 ir 860 nm. Šie duomenys buvo toliau panaudoti kuriant spektrofotometrinių augalų diagnostikos matuoklio prototipą. Taip pat buvo preliminariai pastebėta, kad sveiko – kontrolinio augalo jaunesniojo bei vyresniojo lapų spektrų skirtumas (skirtuminis spektras) yra minimalus lyginant su augalais, kurie augo su vienu ar kitu mikroelemento trūkumu. Tai yra sveiko augalo vyresniojo ir jaunesniojo lapų spalva labiau vienoda. Trūkstant kokių nors mikroelementų, sutrinka augalo lapų vystymasis ir daugeliu atvejų jaunesni būna šviesesnės spalvos nei vyresni.

2.4 Spektrofotometrinių prietaiso prototipas.

Spektrofotometrinių augalų augimo diagnostikos prietaiso prototipo struktūrinė schema pateikta 2.4.1 pav. Prietaiso veikimas paremtas dviejų tiriamų objektų (augalo lapų) apspinduliavimu fiksuoto bangos ilgio šviesa bei atspindėtos šviesos intensyvumo matavimu. Tiriamas objektas, pvz., jaunesnysis (1A) ir vyresnysis (1B) augalo lapai, apspinduliuojami septynių šviestukų skleidžiama šviesa (4). Spinduliuojamos šviesos bangos ilgis keičiamas diskretiškai ribose nuo 400 nm (ultravioletinių spindulių) iki 860 nm (infraraudonųjų spindulių), valdant šviestukus elektroniniu būdu, valdymo schema (6). Prietaise naudojami keli atskiri bei integruoti kelių bangos ilgių šviestukai, spinduliuojantys fiksuoto bangos ilgio šviesą. Prieš pradėdant augalų tyrimus, kiekvienas matavimo kanalas sukalibruojamas naudojant specialius baltos ir juodos spalvos popieriaus lapelius. Kalibravimas vyksta fotodetektoriumi, atskirai matuojant kiekvieno šviestuko atspindėtos šviesos intensyvumą nuo juodos ir baltos spalvos popieriaus lapelių ir koreguojant šviestuko spinduliavimo galingumą. Spinduliavimo galingumas valdomas diskretiniu kodu, kurio reikšmė įsimenama prietaiso atmintyje. Matavimo kanalo kalibravimo pabaigoje fotodetektorius turi būti vienodai jautrus visiems aštuoniems skirtingų bangos ilgių šviestukų bangų ilgiams.



2.4.1 pav. Spektrofotometrinio augalų augimo diagnostikos matavimo prietaiso struktūrinė schema. Numeracija: 1A - jaunesnis lapas; 1B - vyresnis lapas; 2 - tamsi matavimo kamera; 3 - šviesolaidinis vamzdelis; 4 - šviestukų blokas; 5 - fokusavimo linzė; 6 - šviestukų elektroninė valdymo schema (srovės stiprintuvas); 7 - fotodetektorius; 8 - diferencinis stiprintuvas; 9 - keitiklis analogas – kodas; 10 - mikrovaldiklis; 11 - kompiuteris; 12 - skystųjų kristalų indikatorius.



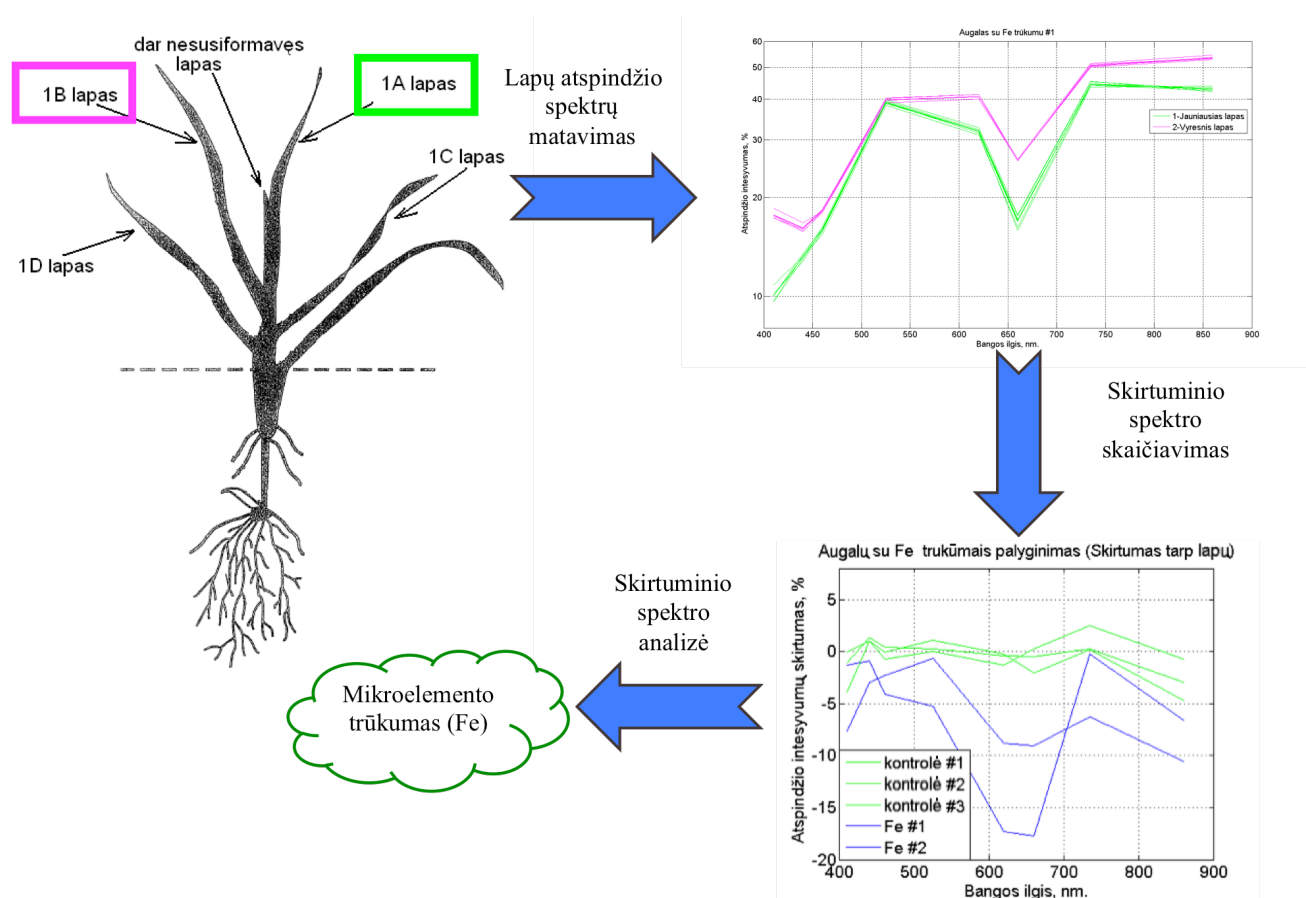
2.4.2 pav. Spektrofotometrinio augalų augimo diagnostikos prietaiso programos langas.

Į lapus šviesa nuo šviestukų nuvedama lanksčiais šviesolaidiniais vamzdeliais (3) į atskiras tamsias kameras (2), kuriose padėti tiriamo augalo lapai 1A ir 1B (dvi kameros atskirai kiekvienam lapui). Šviesolaidinių vamzdelių paviršius yra izoliuotas tamsia, šviesą absorbuojančia medžiaga (arba iš vidaus šviesą atspindinčia danga) tam, kad šviesa sklistų tik šviesolaidiniu vamzdeliu. Nuo kiekvieno lapo atspindėta šviesa patenka į priėmimo šviesolaidinius vamzdelius ir yra priimama dviem fotodetektoriais (7). Fotodetektoriais priimta šviesa perduodama į diferencinį stiprintuvą (8). Diferencinio stiprintuvo išėjime gauta įtampa keičiama į skaitmeninį kodą su keitikliu analogas-kodas (9) ir perduodama į mikroprocesorių (10). Mikroprocesorius atlieka matavimo proceso valdymą ir skirtuminio spektro matavimus.

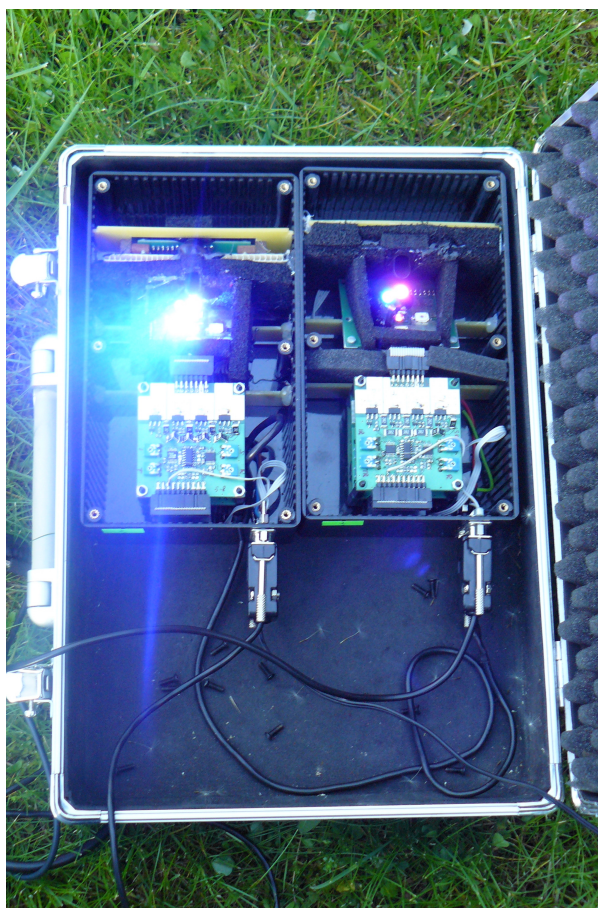
Atspindėtos šviesos spektro skirtumas gali būti išreikštas:

$$U(\lambda_i) = k(\lambda_i) [I_1(\lambda_i) - I_2(\lambda_i)] + \Delta U(\lambda_i) \quad (2)$$

čia I_1 ir I_2 – atspindėtos šviesos intensyvumas; k – stiprintuvo, šviesolaidinių vamzdelių ir šviestukų perdavimo koeficientas (priklausomas nuo bangos ilgio); λ_i – šviesos bangos ilgis; $\Delta U(\lambda_i)$ – adityvinė matavimo paklaida dėl stiprintuvo nulinio poslinkio (dreifo) ir matavimo kanalų (pirmo ir antro lapo kanalų) neidentiškumo (nevienodumo). Ši dedamoji nustatoma kalibruojant prietaisą. Matavimai atliekami diskretiškai, keičiant šviestuko spinduliuojamo švytėjimo spalvą ribose nuo $\lambda = 400$ nm iki $\lambda = 860$ nm ir prie kiekvieno šviesos bangos ilgio nustatomas skirtumas $I_1(\lambda_i) - I_2(\lambda_i)$. k – stiprintuvo, šviesolaidinių vamzdelių ir šviestukų perdavimo koeficientas, priklausomas nuo bangos ilgio. Priklausomybė $k(\lambda_i)$ randama, kalibruojant matavimo sistemą baltu popieriaus lapu. Kalibruojant juodu popieriaus lapu yra surandama adityvinė paklaida $\Delta U(\lambda_i)$, kuri gaunama dėl kanalų nevienodumo ir stiprintuvo nulinio dreifo. Mikroprocesorius (10) atlieka spektrų skirtumo $\Delta I(\lambda) = I_1(\lambda) - I_2(\lambda)$ matavimus ir augalo lapų diagnostikos rezultatus išveda į displejų (12) arba kompiuterį (11).



2.4.3 pav. Augalo matavimo eiga spektrofotometriniu augalų diagnostikos matuokliu.



2.4.4 pav. Spektrofotometrinio augalų diagnostikos prietaiso prototipo vidus



2.4.5 pav. Spektrofotometrinio augalų augimo diagnostikos prietaiso prototipu matuojami vasarinių kviečių lapai UAB „Žemdirbių konsultacijos“ laboratorijoje.



2.4.6 pav. Spektrofotometriniu augalų augimo diagnostikos prietaiso prototipu atliekami matavimai kviečių laukuose.

Siekiant ištirti šio spektrofotometrinio prietaiso funkcines galimybes buvo atliktas palyginamasis, skirtingomis sąlygomis išaugintų vasarinių kviečių veislės „Tybolt“, tyrimas. Kaip ir atliekant laboratorinius tyrimus, tiriami vasarinių kviečių bandiniai buvo paruošti auginant juos atskiruose hidroponiniuose induose pagal metodiką aprašytą 2.1 skyriuje. Kiekviename inde vienodomis sąlygomis buvo auginama po tris kviečius. Augalai buvo auginti ir tyrimai su jais buvo atlikti UAB „Žemdirbių konsultacijos“ laboratorijoje. Tyrimų metu buvo matuojami kviečių, pilnai išsivysčiusių jauniausių (1A) ir vyresnių (1B), lapų spektrai skirtingose augalo augimo stadijose.

3 REZULTATAI

Sveikų (kontrolinių) augalų spektrometrinių matavimų rezultatus matome grafikuose 3.1 pav. a) (dviejų atskirų lapų spektras) ir 3.1 pav. b) (skirtuminis spektras). Grafike 3.1 pav. b) pavaizduoti visų sveikų augalų skirtuminiai spektrai (kiekvieno augalo, atskira žalia linija). Paveikslėlyje matome, kad sveikų augalų skirtuminiai spektrai yra panašūs ir nežymiai ($\pm 0,5\%$) skiriasi nuo kitų tos pačios rūšies taip pat optimaliomis sąlygomis užaugintų kviečių (nepaisant to, kad kai kurie tiriami augalai buvo šviesesnės, o kiti tamsesnės spalvos).

Augalams, augusiems su cinko (Zn) trūkumu, nustatytas kitokio pobūdžio atskirų (jauniausiojo ir vyresniojo) lapų (3.2 pav.) ir skirtuminis (3.3 pav. b) spektrai.

Sveiko augalo ir augalo su trūkumais skirtumai visuomet labiausiai pastebimi tarp jauniausių lapų – jie bus šviesesni (nes chlorofilo sintetinimas juose būna dar neprasidėjęs), todėl 3.3 pav. a) palyginimui viename grafike pavaizduotas sveikų augalų ir augusių su Zn trūkumu jauniausių lapų atspindžio spektras. Matome, kad augalų su Zn trūkumu charakteringai didesnis atspindys ties 525 ir 610 nm ilgio banga.

Grafike 3.3 pav. b) pateikti skirtuminiai kontrolinių ir augalų su Zn trūkumu skirtuminiai spektrai, kur taip pat matomi didesni atspindžio intensyvumų skirtumai 525 ir 735 nm. Iš spektrų charakteringos formos galime spręsti apie Zn trūkumą augale.

Kontrolinių augalų ir augusių su vario (Cu) trūkumu spektrai pateikti 3.4 pav. Šiuo atveju tarp jauniausių lapų (3.4 pav. a) pastebimas didesnis 410, 440, 460, 525, 620 nm bangų atspindys ir kiek silpnesnis 735 nm bangos atspindys nei augalo su Zn trūkumu.

Augalo su Cu trūkumu skirtuminiame spektre (3.4 pav. b) stipriausiai išreikšta 525 nm komponentė.

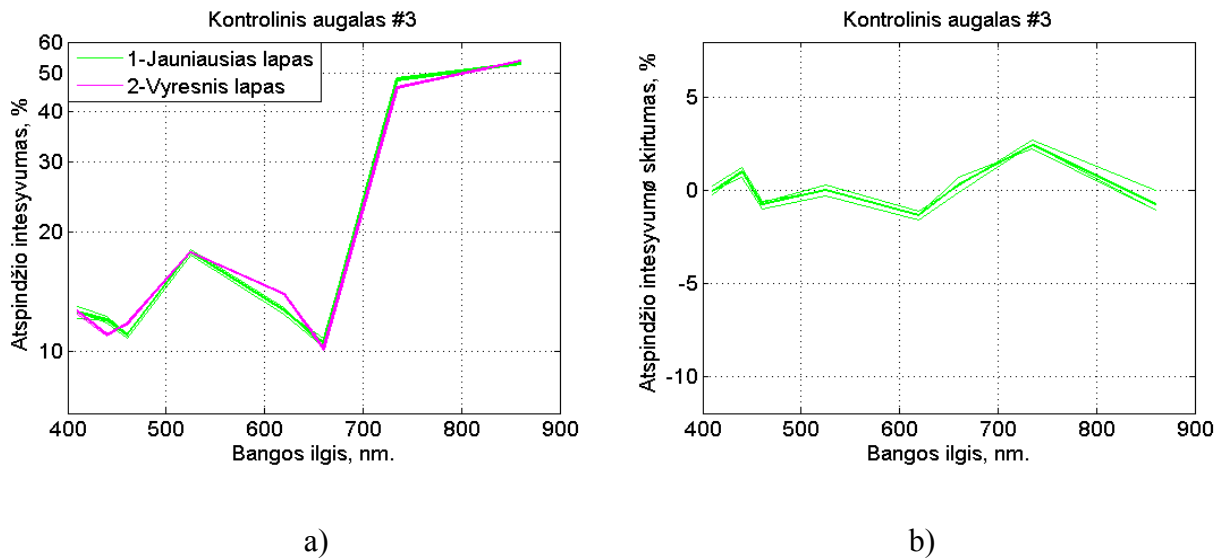
Kontrolinių augalų ir augusių su mangano (Mn) trūkumu spektrai pavaizduoti 3.5 pav. Šiuo atveju (3.5 pav. a) stebimi didesni žalios šviesos 525 nm bangos ilgio ir kiek silpnesni artimos infraraudonos šviesos 735 nm ilgio bangos atspindžiai nei augalo su Zn trūkumu.

Geriausiai pastebimi skirtumai, matuojant augalus su geležies (Fe) trūkumu. Tokių matavimų rezultatai pateikti 3.6 pav. Fe trūkumo atveju charakteringus lapų spalvos pokyčius galima pastebėti net ir plika akimi.

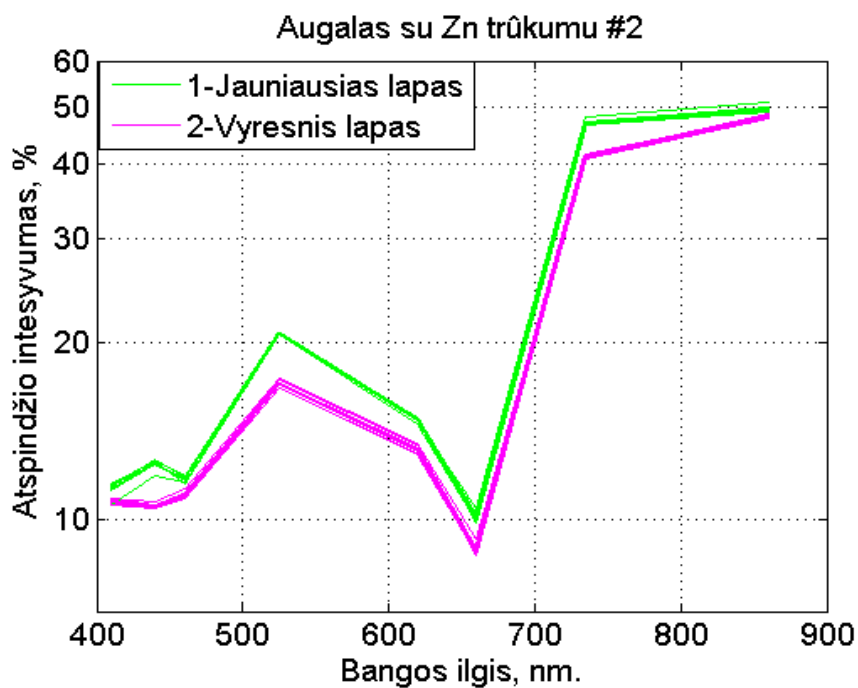
Išmatuoti kviečių, augusių su B ir Mo mikroelementų atspindžio bei atspindžių skirtumo nuo skirtingų lapų spektrai pateikti atitinkamai 3.7 pav. ir 3.8 pav.

Iš pateiktų grafikų matyti, kad šiek tiek sunkiau buvo nustatyti molibdeno (Mo) ir boro (B) trūkumus. Taip yra todėl, kad tam tikro mikroelemento trūkumas išryškėja tuomet, kai augalui labiausiai jo prireikia. Matavimai buvo atlikti toje augalų augimo stadijoje, kai šių mikroelementų dar nereikėjo. Kiekvienai augalų rūšiai ir veislei tas laikotarpis, kuomet augalui prireikia kurio nors

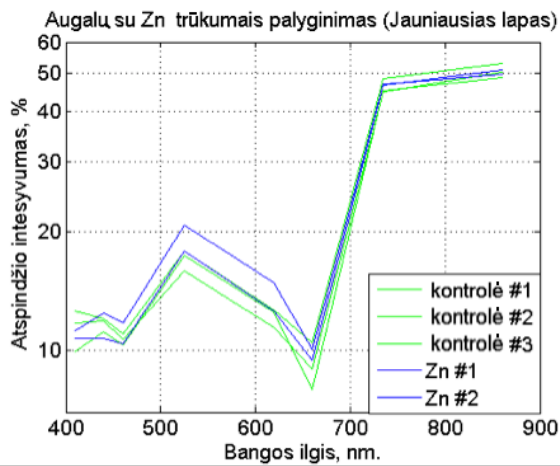
mikroelemento, skiriasi. Todėl ateityje planuojama atlikti daugiau eksperimentinių tyrimų ir iširti konkrečiai, kuriuo laikotarpiu pasireiškia vieno ar kito mikroelemento trūkumas.



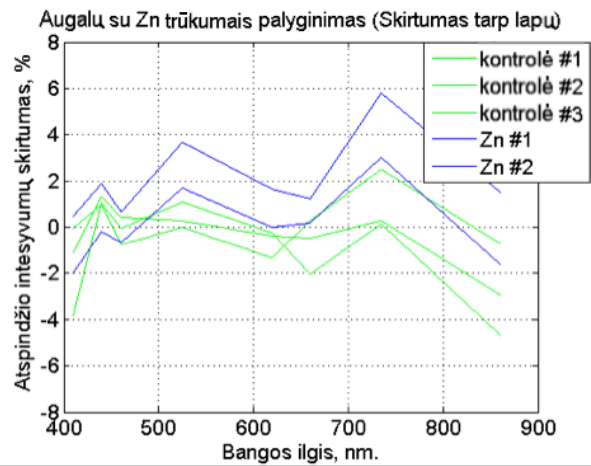
3.1 pav. Spektrofotometrinis kontrolinio augalo lapų matavimas, kai augalas augo optimaliomis sąlygomis (aprūpintas visais mikro- ir makro elementais). a) atspindžio spektrai nuo jauniausių ir vyresnių lapų. b) lapų skirtuminiai spektrai.



3.2 pav. Spektrofotometrinis augalo su Zn trūkumu lapų spektras.

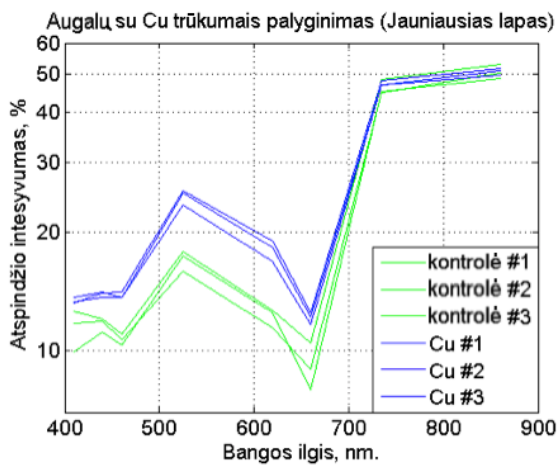


a)

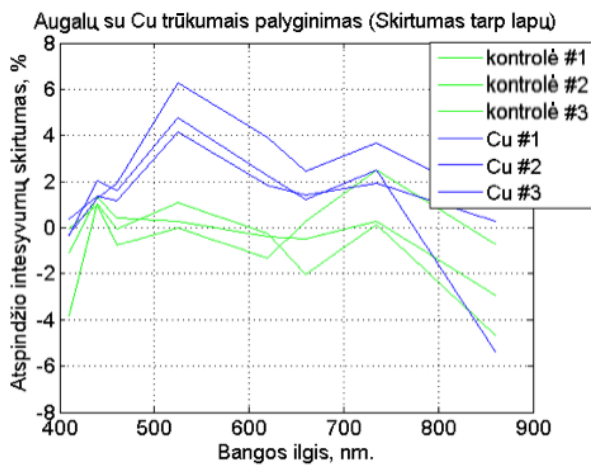


b)

3.3 pav. Palyginimas tarp kontrolinių augalų (žalia linija) ir augalų su Zn trūkumu (mėlyna linija) atspindžių spektrų: a) atspindžio spektrai nuo jauniausių lapų, b) lapų skirtuminiai spektrai.

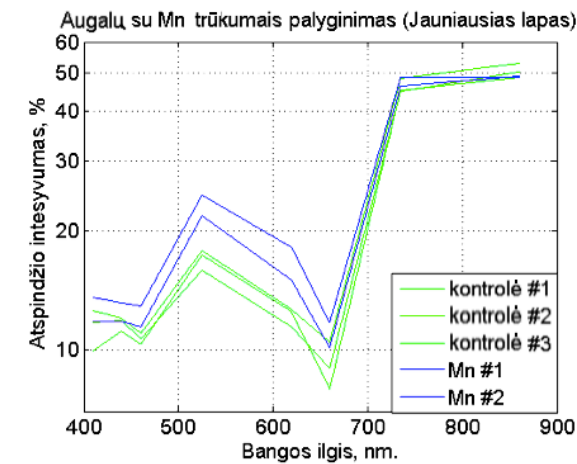


a)

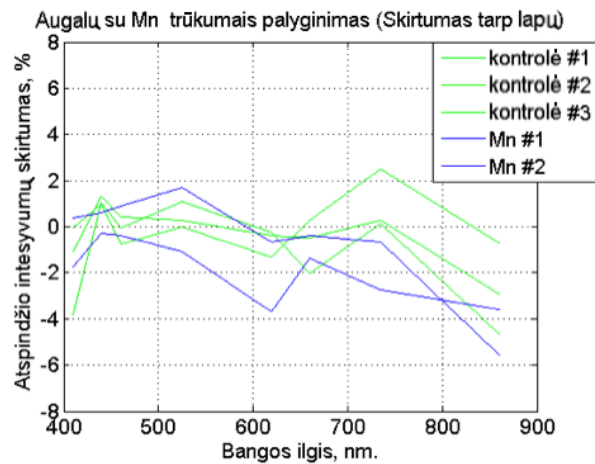


b)

3.4 pav. Palyginimas tarp kontrolinių augalų (žalia linija) ir augalų su Cu trūkumu (mėlyna linija) atspindžių spektrų: a) atspindžio spektrai nuo jauniausių lapų, b) lapų skirtuminiai spektrai.

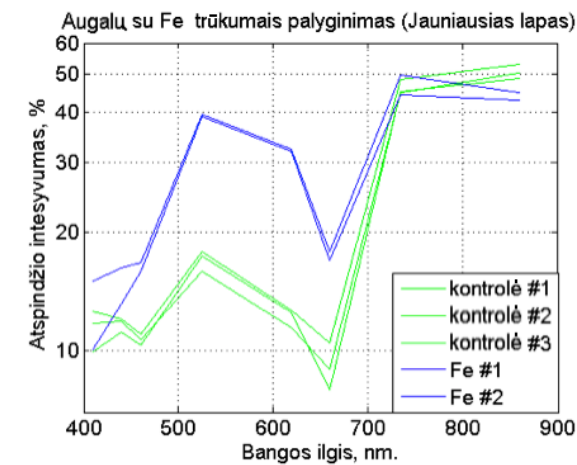


a)

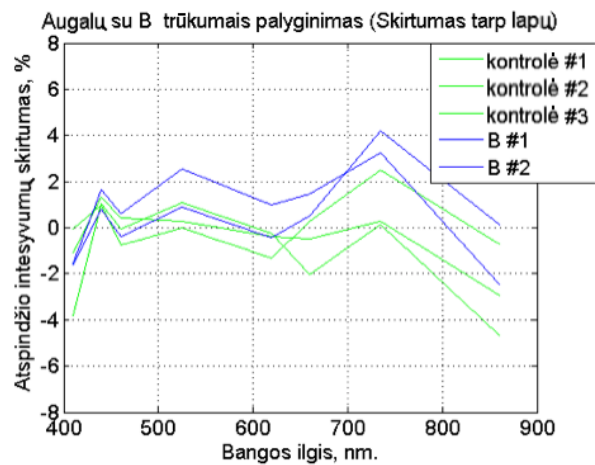


b)

3.5 pav. Palyginimas tarp kontrolinių augalų (žalia linija) ir augalų su Mn trūkumu (mėlyna linija) atspindžių spektrų: a) atspindžio spektrai nuo jauniausių lapų, b) lapų skirtuminiai spektrai.

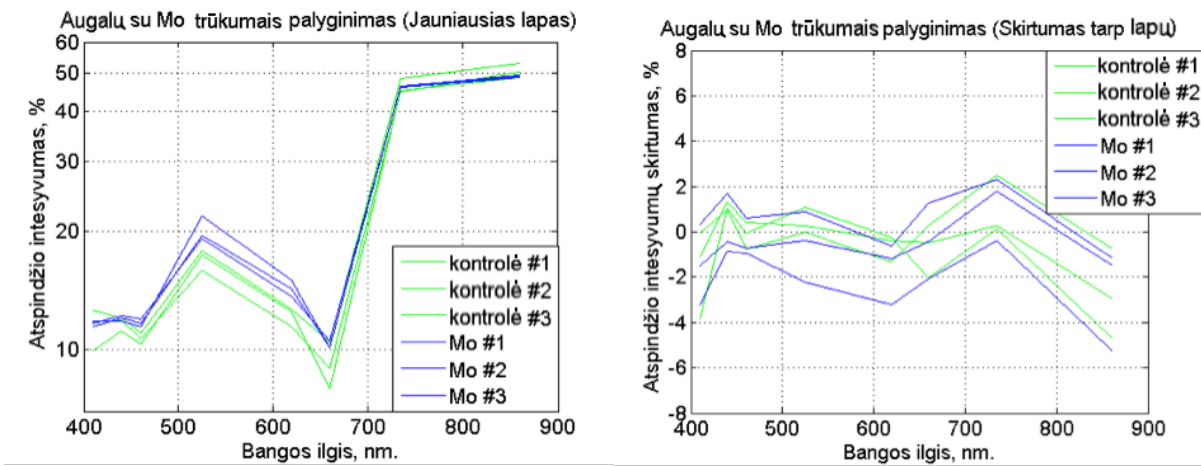


a)



b)

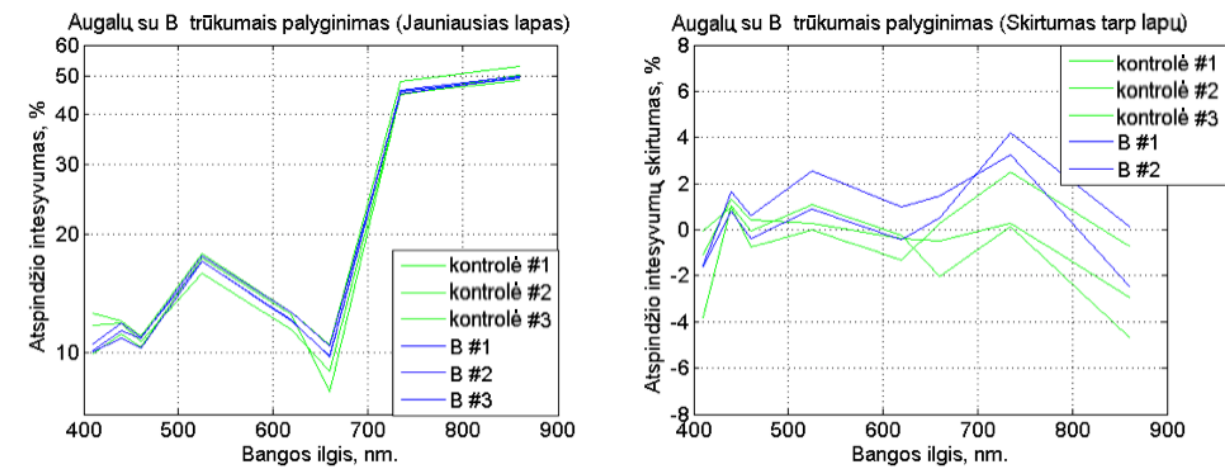
3.6 pav. Palyginimas tarp kontrolinių augalų (žalia linija) ir augalų su Fe trūkumu (mėlyna linija) atspindžių spektrų: a) atspindžio spektrai nuo jauniausių lapų, b) lapų skirtuminiai spektrai.



a)

b)

3.7 pav. Palyginimas tarp kontrolinių augalų (žalia linija) ir augalų su Mo trūkumu (mėlyna linija) atspindžių spektrų: a) atspindžio spektrai nuo jauniausių lapų, b) lapų skirtuminiai spektrai.



a)

b)

3.8 pav. Palyginimas tarp kontrolinių augalų (žalia linija) ir augalų su B trūkumu (mėlyna linija) atspindžių spektrų: a) atspindžio spektrai nuo jauniausių lapų, b) lapų skirtuminiai spektrai.

4 IŠVADOS

Darbo metu buvo atliktas naujo spektrofotometrinio metodo iš šiuo metodu veikiančio maketo tyrimas. Tyrimo metu buvo nustatyta:

1. Atlikus esamų augalų diagnostikos metodų analizę buvo nustatyta, kad visi žinomi augalų diagnostikos metodai remiasi tik bendro augalo visų lapų spalvos įvertinimu ir nenusako apie augalo vystymosi ir augimo sąlygų ypatumus, nei apie tai kokių mikroelementų gali trūkti augalui. Darbo metu buvo pastebėta, kad augalų (vasarinių kviečių) augimo sąlygas atspindi visų jo lapų spalvų spektras. Jaunesni lapai būna šviesiai žalios spalvos, o vyresni lapai tamsiai žalios spalvos. Sutrikus augalo vystimuisi dėl kokių nors elementų trūkumo, vėluoja chlorofilo gamyba lapuose, todėl toks augalas būna šviesesnės spalvos su labiau besiskiriančiomis atskirų lapų spalvomis.
2. Darbo metu buvo sukurta spektrofotometrinio matuoklio maketo programinė vartotojo sąsaja leidžianti vienu metu automatiškai atlikti dviejų skirtingų lapų spalvų spektro matavimus.
3. Atlikus eksperimentinius bandomųjų vasarinių kviečių tyrimus nustatyta, kad augalo (vasarinių kviečių) augimo sąlygas galima diagnozuoti atliekant atspindėtos šviesos nuo dviejų skirtingų kviečių lapų matavimus. Sveikai besivystančio augalo atspindėtos šviesos intyensityvumas yra skirtingas kiekvienai spektro komponentei:
 - diapazone 400-450 nm (ultravioletinė, mėlyna spalva) atspindėtos šviesos intyensityvumas sudaro 10 – 12 %
 - žalios spalvos 525 nm atspindėtos šviesos intyensityvumas sudaro 15 – 18 %
 - diapazone 600-660 nm (raudona spalva) atspindėtos šviesos intyensityvumas sudaro 10 – 12 %
 - diapazone 710-860 nm (artima infraraudona šviesa) atspindėtos šviesos intyensityvumas sudaro 45 – 55 %.

Iš bandymų rezultatų taip pat matyti, kad sveiko augalo atspindėtos šviesos skirtumai tarp jauniausiojo ir vyresniojo lapų spektrų yra minimalūs visame šviesos bangų diapazone. Atspindėtos šviesos intyensityvumų skirtumai tarp jauniausioji ir sekančio vyresnio lapo siekia iki 1% diapazone 400-660 nm ir iki 2 % diapazone 710-860 nm.

4. Atlikus eksperimentinius bandomųjų vasarinių kviečių tyrimus nustatyta, kad sutrikus augalo vystimuisi dėl jo mitybai trūkstamų mikroelementų, pasireiškia jo lapų šviesėjimas (t.y. lapai atspindi daugiau šviesos) bei atsiranda didesni skirtumai tarp jaunesniojo ir sekančio vyresnio lapų.

Darbe pateikti eksperimentų rezultatai parodo, kad kiekvienu atveju, sutrikus augalo mitybai dėl skirtingų mikroelementų trūkumo, lapų spalvos spektras bei skirtuminis spektras turės individualų charakterį. Pastebėta, kad šie skirtumai pasireiškia esant skirtingoms augalo augimo sąlygoms, todėl detalesniam šių reiškinių pažinimui reikalingi tolimesni moksliniai tyrimai.

5 INFORMACIJOS ŠALTINIŲ SĄRAŠAS

1. REUSCH S. Non-contact measurement of the bio-physical parameters of vegetation uses a modulated artificial light from a single flash lamp, for reflected light from the foliage to be converted into signals for evaluation by an algorithm. Patent DE10148737. 2003 04 17.
2. SPIERING B. A, CARTER G. A. Plant chlorophyll content meter. Patent WO9935485 (A1). 1999 07 15.
3. ANDERSON J. Method to assess plant stress using two narrow red spectral bands. Patent US6567537 (B1). 2003 05 20.
4. SUHAMA T., ISHIYAMA H., BUWANESWARD P. S., ISHIOKA Y. Analytical method for growth condition of crop. Japan. Patent JP2006250827 (A). 2006 09 21.
5. SATAKE S., HOSAKA Y., MARUYAMA H., NAKAMURA N. Method of diagnosing nutritious condition of crop in plant field. US. Patent US6683970 (B1). 2004 01 27.
6. PETKUS V., PETRAUSKAS E., Augalo augimo sąlygų diagnostikos būdas ir įrenginys. Lietuvos patentas LT5858B, 2012 08 27.
7. Pasėliai, fotosintezė, p. 13. Aleksandro Stulginskio Universitetas // <http://www.asu.lt/nm/l-projektas/paseliai/13.htm> [žiūrėta 2015 m. gegužės 19 d.].
8. BERGMAN W. 1993. Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen. 3 Auflage. Stuttgart: Gustav Fischer Verlag Jena. 836 p.
9. MAŠAUSKAS V., Žemės ūkio ministerija 2008 // <http://www.zum.lt/documents/leidiniai/15.pdf> [žiūrėta 2015 m. gegužės 19 d.].
10. European Journal of Agronomy, vol. 22, pp. 391 – 403.
11. TAIZ L., ZEIGER E. (1999). Physiologie der Pflanzen, Berlin Spektrum. 773 p.
12. EPSTEIN E. 1965. "Mineral metabolism" pp. 438-466. In: Plant Biochemistry (J. Bonner and J.E. Varner, eds.) Academic Press, London.
13. PEKARSKAS J., PETRAUSKAS E. Mikroelementų reikšmė augalams. LŽŪU, 2004, 48 p.
14. SCHILLING G. (2000). Pflanzenernaehrung und Duengung, Stuttgart.
15. RENGELL Z. (1999). Mineral nutrition of crops. Fundamental mechanisms and implications. Food products press.
16. ANTANAITIS J. 2001. Sunkiųjų metalų paplitimas gamtoje ir jų poveikis gyviesiems organizmams // Sudaryt. Mažvila J. Sunkieji metalai Lietuvos dirvožemiuose ir augaluose: monografija. Kaunas. p. 16.
17. SADAUSKAS K. 1994. Sunkiųjų metalų kaupimasis augaluose. Lietuvos gamtinė aplinka. Būklė, procesai, tendencijos. Vilnius: Aplinkos apsaugos ministerija. 74-77 p.

18. LONEGRAN J.F. (1978). Anomalies in the relationship of nutrient concentrations to plant yield. Proc. 9th Intern. Coll. Plant Anal. And Fertil. Problems, Aucland, New Zealand.
19. Interaction of micronutrients with major nutrients with special reference to potassium Ujwala Rande-Malvi Institute for Micronutrient Technology, Pune - 411 048, India
20. KUČINSKAS J., PEKARSKAS J. ir kt. Agrochemija. Kaunas, 1999. p. 110-198, 336. & Francis. Vol. 36. P. 2759–2781.
21. BRAZIENĖ Z. Cheminių elementų reikšmė cukrinių runkelių augimui. Mano Ūkis 2007/2. LŽI Rumokų bandymų stotis
22. RAVEN H., EVERT F., EICHHORN E. 2006. Biologie der Pflanzen, Berlin New York de Gruyter. 925 p.
23. Pasėliai, augalų mityba, p. 58, Aleksandro Stulginskio Universitetas,
<http://www.asu.lt/nm/l-projektas/augalu-mityba/58.htm> [žiūrėta 2015 m. gegužės 19 d.].
24. STANYNAS M.; SVIKLAS A. M.. ŠLINKŠIENĖ, R. 2009. Amonio hidrofosfato su cinku gavimas ir savybės. Kauno technologijos universitetas. Cheminė technologija 4 (53): p. 28-32.
25. Pasėliai, augalų mityba, p. 43. Aleksandro Stulginskio Universitetas,
<http://www.asu.lt/nm/l-projektas/augalu-mityba/43.htm> [žiūrėta 2015 m. gegužės 19 d.].
26. Research of deficiency of manganese in summer wheat applying physical optical methods / PEKARSKAS J., PETRAUSKAS E., PETKUS V. // Rural Development 2009. ISSN 1822-3230. T4, nr. 1 (2009), p 381 – 384.
27. ANTANAITIENĖ R., ANTANAITIS A., BAGINSKAS B. Magnio ir mikroelementinės trąšos. Lietuvos TSR Žemės ūkto ministerija. Vilnius, 1982. p. 53-87.
28. HELDT H.W. (2003). Pflanzenbiochemie, Berlin.
29. ZHAO D., REDDY K.R. (2005). Nitrogen deficiency effects on plant growth, leaf photosynthesis, and hyperspectral reflectance properties of sorgiuk.
30. LUSSIER R., Bio-imaging and information system for scanning, detecting, diagnosing and optimizing plant health US 20050072935 (A1).
31. WOLLRING J., REUSCH S. Monitor system useful for examining the health of plants and vegetation comprises a vehicle equipped to register active and passive light and fluorescent spectra with satellite GPS links to determine corrective actions to be taken on site. DE 10002880 C1.
32. Optoelectronic device for measuring the hydration of a plant in its natural environment WO 2009007269 A1.
33. ORTUZAR-IRAGORRI M.A., ALONSO A. (2005). N-Tester use in soft winter wheat. American Society of Agronomy, vol. 97, pp. 1380 –1389.

34. CARTELAT A., CEROVIC Z.G. (2005). Optically assessed contents of leaf polyphenolics and chlorophyll as indicators of nitrogen deficiency in wheat. *Field Crops Research*, vol. 91, pp. 35 –49.
35. Gamintojo puslapis. <http://www.specmeters.com/nutrient-management/chlorophyll-meters/chlorophyll/spad502p/> [žiūrėta 2015 m. gegužės 19 d.].
36. MARTINEZ, D.E., GUIAMET J.J. (2004). Distortion of the SPAD 502 chlorophyll meter readings by changes in irradiance and leaf water status. *Agronomie*, 24. pp. 41 – 46.
37. Gamintojo puslapis. [http://nue.okstate.edu/Hand_Held/GS_HandHeld_Manual_rev_K\[1\].pdf](http://nue.okstate.edu/Hand_Held/GS_HandHeld_Manual_rev_K[1].pdf) [žiūrėta 2015 m. gegužės 19 d.].
38. Gamintojo puslapis. <http://www.claas.de/produkte/easy/precision-farming/crop-sensor/messtechnik> [žiūrėta 2015 m. gegužės 19 d.].
39. Gamintojo puslapis. <http://www.cropnuts.com/satellite-imagery> [žiūrėta 2015 m. gegužės 19 d.].
40. KAROW R.S., KLEPPER E.L., 1993 Early growth and development of Cereals.

6 PRIEDAI

- Magistrinio projekto rezultatai buvo pristatyti straipsnyje, 12-oje studentų mokslinėje konferencijoje E²TA 2015:
Stankevičius, E. Petrauskas, V. Petkus. Spektrofotometrinio augalų diagnostikos matuoklio tyrimai // 12th Student scientific conference on electronics, energy, telecommunications and automation: proceedings of the 12th student conference, Kaunas, 2015 / Kaunas University of Technology. ISBN 978-609-02-1133-5 p. 61-66.
- Spektrofotometrinio augalų diagnostikos matuoklio prototipas buvo pristatytas Kauno technologijos universiteto „Santakos“ slėnyje vykusioje jaunųjų mokslininkų parodoje-konkurse „Technorama 2015“ :
Andrius Stankevičius, Vytautas Petkus, Ernestas Petrauskas. Spektrofotometrinis augalų diagnostikos matuoklis // Technorama 2015: jaunųjų mokslininkų darbų katalogas, Kaunas, 2015 / KTU „Santakos“ slėnis; p. 35-36.



DIPLOMA


Andrius Stankevičius

Prepared and presented a paper in the conference

E²TA - 2015

On the topic:

*Spektrofotometrinių augalų
diagnostikos matuoklio tyrimai*


Prof. Algimantas Valinevičius
Chairman of the organizing committee
Dean of the Electronics and Electrical Engineering Faculty

K a u n a s, 2015 04 23

a

b

6.1 pav. Diplomas, patvirtinantis apie straipsnio pristatymą konferencijoje E²TA 2015.



6.2 pav. Sertifikatas, patvirtinantis dalyvavimą parodoje-konkurse „Technorama 2015“.



6.2 pav. Diplomas, patvirtinantis apie pristatyto darbo apdovanojimą parodoje-konkurse „Technorama 2015“.



6.3 pav. Kuponas, patvirtinantis apie pristatyto darbo apdovanojimą ir nominaciją „Patraukliausias investavimui projektas“ parodoje-konkurse „Technorama 2015“.