



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS FAKULTETAS
MECHATRONIKOS, ROBOTIKOS IR SKAITMENINĖS GAMYBOS KATEDRA

Paulius Šakalys

**AUGALO AUGIMO DINAMIKOS PRIKLAUSOMYBĖS NUO
MECHATRONINĖS SISTEMOS PARAMETRŲ TYRIMAS**

**RESEARCH OF DEPENDENCE BETWEEN PLANT GROWING
DYNAMICS AND PARAMETERS OF MECHATRONICS SYSTEM**

Baigiamasis magistro darbas

Mechatroninių sistemų studijų programa, valstybinis kodas 621H73002

Mechatronikos studijų kryptis

Vilnius, 2018

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS FAKULTETAS
MECHATRONIKOS, ROBOTIKOS IR SKAITMENINĖS GAMYBOS KATEDRA

TVIRTINU
Katedros vedėjas

(Parašas)

(Vardas, pavardė)

(Data)

Paulius Šakalys

**AUGALO AUGIMO DINAMIKOS PRIKLAUSOMYBĖS NUO
MECHATRONINĖS SISTEMOS PARAMETRŲ TYRIMAS**

**RESEARCH OF DEPENDENCE BETWEEN PLANT GROWING
DYNAMICS AND PARAMETERS OF MECHATRONICS SYSTEM**

Baigiamasis magistro darbas

Mechatroninių sistemų studijų programa, valstybinis kodas 621H73002

Mechatronikos studijų kryptis

Vadovas:

(Pedag. vardas, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Lietuvių kalbos konsultantas:

(Pedag. vardas, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Vilnius, 2018

Vilniaus Gedimino technikos universitetas
Mechanikos fakultetas
Mechatronikos, robotikos ir skaitmeninės gamybos katedra

ISBN ISSN
Egz. sk.
Data-.....-.....

Antrosios pakopos studijų **Mechatroninių sistemų** programos magistro baigiamasis darbas 4

Pavadinimas **Augalo augimo kokybės dinamikos priklausomybės nuo mechatroninės sistemos parametrų tyrimas**

Autorius **Paulius Šakalys**

Vadovas **Vytautas Bučinskas**

Kalba: lietuvių

Anotacija

Baigiamasis magistro darbas skirtas priklausomybės nustatymui tarp augalo augimo dinamikos ir augalo augimo aplinką valdančios mechatroninės sistemos parametrų.

Baigiamajame magistro darbe pateikiama mokslinės literatūros apžvalga, kurioje nagrinėjami augalo augimą įtakojantys aplinkos veiksniai – apšvietimas ir augalo šaknų augimo terpė.

Eksperimentinio tyrimo metu atlikti trys bandymai ir nustatytos priklausomybės tarp augalo (salotos) užaugintos masės bei dinaminių valdančios mechatroninės sistemos parametrų: raudonos ir mėlynos spalvos šviesos spektro santykio palaipsniui kintant apšvietos srautui.

Darbą sudaro 5 dalys: įvadas, literatūros apžvalga, eksperimentiniai tyrimai, išvados, literatūros sąrašas. Darbo apimtis 50 puslapių be priedų. 31 iliustracija. 6 lentelės. Remtasi 32 literatūros šaltiniais. Priedai pridėti atskirai.

Prasminiai žodžiai: augalas, salota, apšvietos srautas, santykis, augimo dinamika, mechatroninė sistema.

Vilnius Gediminas Technical University
Faculty of Mechanics
Department of Mechatronics, Robotics and Digital Manufacturing

ISBN ISSN
Copies No.
Date-.....-.....

Master Degree Studies **Mechatronics Systems** study programme Master Graduation Thesis 4

Title **Research of the Plant Growing Quality from Parameters of Mechatronic System**
Author **Paulius Šakalys**
Academic supervisor **Vytautas Bučinskas**

Thesis language: Lithuanian

Annotation

The final master's thesis is intended to determine the dependence between the parameters of the plant's growth dynamics and the plant growth environment of the mechatronics system.

In the final master's thesis there is presented the review of scientific literature, which deals with environmental factors influencing the growth of plants - lighting and plant growth medium.

Three experiments were carried out in the experimental study and determined the relationship between the growth of the plant (lettuce) mass and the dynamic parameters of the controlling mechatronics system: the red-and-blue light spectral ratio with the gradual change in the illumination flow.

Structure: introduction, literature review, experimental research, conclusions, references. The work size is 50 pages without appendixes. 31 illustration. 6 tables. 32 bibliographical entries. Appendixes added separately.

Keywords: plant, lettuce, illumination flow, ratio, growth dynamics, mechatronic system.

TURINYS

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS.....	2
LENTELIŲ SĄRAŠAS	3
SANTRUMPŲ AIŠKINAMASIS ŽODYNAS	3
ĮVADAS.....	4
1. LITERATŪROS APŽVALGA	6
1.1. Procesų automatizavimas auginant augalus.....	6
1.2. Šviesos įtaka augalo gyvybiniam procesams	7
1.3. Dirbtinis apšvietimas augalams	9
1.4. Augalo šaknų augimo terpė - hidroponika.....	12
2. EKSPERIMENTINIAI TYRIMAI	16
2.1. Eksperimentinių tyrimų metodika.....	16
2.2. Mechatroninės sistemos parametrai	18
2.3. Eksperimentinių tyrimų stendas ir naudojama įranga.....	19
2.2.1. Rūgštingumo (pH) jutiklis.....	20
2.2.1. Vandens elektrinio laidumo matuoklis.....	22
2.2.1. Aplinkos temperatūros ir drėgmės jutiklis	24
2.2.1. Svorio jutiklis.....	26
2.2.1. Šviesos diodų apšvietimo lempa	27
2.2.1. Eksperimentinio tyrimo stendas.....	28
2.4. Eksperimentinių tyrimų rezultatai ir analizė	31
IŠVADOS	40
LITERATŪROS SĄRAŠAS	41
PRIEDAI	44

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1.1 pav. Agromechatroniką siejančios inžinerinės sritys	13
1.2 pav. Autonominis augalų sodinimo robotas	14
1.3 pav. Robotas prižiūrintis hidroponinius šiltnamius	14
1.4 pav. Absorbcijos ir fotosintezės intensyvumo priklausomybė nuo bangos ilgio	15
1.5 pav. Šviesos šaltinių rūšys	16
1.6 pav. Šviesos kiekis, reikalingas identifikuoti žalią šviesą	18
1.7 pav. Hidroponinių sistemų rūšys	19
1.8 pav. Hidroponinių sistemų rūšys	19
2.1 pav. Tyrimo eiga	24
2.2 pav. Eksperimentinio tyrimo eiga	25
2.3 pav. Parametrų rinkinio sudėtis	26
2.4 pav. Bendroji tyrimų stendo struktūrinė schema	26
2.5 pav. Elektrocheminio stiklo membranos jutiklio sandara	28
2.6 pav. Bendroji stiklo membranos pH matavimo zondo sandara	29
2.7 pav. Elektrinio laidumo matuoklis	30
2.8 pav. Diodo srovės priklausomybė nuo įtampos ir sandaros temperatūros	31
2.9 pav. Talpinis drėgmės jutiklis	32
2.10 pav. Kombinuotas „DHT22“ temperatūros ir drėgmės jutiklis	33
2.11 pav. Augalo masės svėrimas	34
2.12 pav. „Vanesun DO 30“ šviesos diodų šviestuvai	35
2.13 pav. Eksperimentinio tyrimo stendas	36
2.14 pav. Tyrimo stendo valdymo ir monitoringo sistema	37
2.15 pav. Pirmojo bandinio svorio prieaugis pagal apšvitos srautą, kai R:B=5:1	40
2.16 pav. Antrojo bandinio svorio prieaugis pagal apšvitos srautą, kai R:B=5:1	40
2.17 pav. Pirmojo eksperimentinio tyrimo rezultatai, kai R:B=5:1	41
2.18 pav. Pirmojo bandinio svorio prieaugis pagal apšvitos srautą, kai R:B=10:1	43
2.19 pav. Antrojo bandinio svorio prieaugis pagal apšvitos srautą, kai R:B=10:1	43
2.20 pav. Antrojo eksperimentinio tyrimo rezultatai, kai R:B=10:1	44
2.21 pav. Pirmojo bandinio svorio prieaugis pagal apšvitos srautą, kai R:B=19:1	46
2.22 pav. Antrojo bandinio svorio prieaugis pagal apšvitos srautą, kai R:B=19:1	46
2.23 pav. Trečiojo eksperimentinio tyrimo rezultatai, kai R:B=19:1	47

LENTELIŲ SĄRAŠAS

1.1 lentelė. Skirtingų šviesos šaltinių palyginimas	17
1.2 lentelė. Makroelementų santykiai viename grame vandens.....	21
1.3 lentelė. Mikroelementų santykiai viename grame vandens	22
2.1 lentelė. Pirmojo ir antrojo bandinių nuotraukos, kai R:B=5:1	38
2.2 lentelė. Pirmojo ir antrojo bandinių nuotraukos, kai R:B=10:1	41
2.3 lentelė. Pirmojo ir antrojo bandinių nuotraukos, kai R:B=19:1	44

SANTRUMPŲ AIŠKINAMASIS ŽODYNAS

HPS (angl. *High Pressure Sodium lamps*) - aukšto slėgio natrio lempos.

LED (angl. *Light Emitting Diode*) - šviesos diodas.

FAS (angl. *PAR - Photosynthetically Active Radiation*) - fotosintetiškai aktyvi spinduliuotė.

ppm (angl. *parts per million*) - milijoninė dalis.

R:B (angl. *Red:Blue*) – raudonos ir mėlynos spalvos santykis.

IPM (angl. *PWM – Pulse Width Modulation*) - impulsų pločio moduliacija.

EC (angl. *Electrical Conductivity*) - elektrinis laidumas.

IR (angl. *Infrared*) - infraraudonoji spinduliuotė.

TDS (angl. *Total Dissolved Solids*) – bendras ištirpusių kietųjų dalelių kiekis.

IVADAS

Didėjant žmonių skaičiui pasaulyje vis aktualesnė tampa maitinimosi problema. Pagrindinės demografinės žmonių gyvenimo zonos yra miestai. Didžioji dalis žmogaus mitybai reikalingų augalinės kilmės medžiagų yra auginama ir apdirbama geografiškai toli nuo miestų nutolusiose vietovėse, o tai dažnai sukelia logistinių problemų bei smarkiai pakelia maisto produktų kainą galutiniam vartotojui. Atsižvelgiant į susidariusios padėties problematiką, yra tikslinga augalinės kilmės maisto produktų auginimą ir tolesnį apdirbimą perkelti į tikslinę zoną – miestus. Vienintelė priežastis, leidžianti auginti augalus nutolusiose vietovėse, yra dideli dirvožemių plotai ir netrukdomas apšvietumas. Moksliniams tyrimams žengiant į priekį atrandama vis kitokių augalų auginimo galimybių. Viena iš naujovių yra hidroponika – augalo auginimas ne dirvožemyje, o uždaro cirkuliacijos ciklo vandens terpėje. Minėta naujovė sudaro sąlygas augalus auginti keliais aukštais, tai leidžia išspręsti kai kuriuos sunkumus – dingsta didelių dirvožemių plotų, nutolusių nuo miestų, poreikis. Atsižvelgiant į apšvietimo problematiką ir remiantis jau atliktais moksliniais tyrimais yra nustatyta, kad augalas skirtingais savo vystymosi periodais reikalauja ne pilno šviesos spektro, o tik tam tikrų griežtai apibrėžtų bangų ruožų, kas savaime sudaro sąlygas augalą auginti dirbtinės apšvietos terpėje. Sujungus minėtus sprendimus atsiranda galimybė augalus auginti bet kokioje vietovėje. Tobulėjant mechatroninėms sistemoms, tampa neišvengiamas kelių mokslo sričių persipynimas – mechatronikos ir augalininkystės, kas leistų visiškai automatizuoti augalinės kilmės maisto produktų augimo procesą uždaroje, nepriklausančioje nuo kintančių gamtos sąlygų, aplinkoje.

Tyrimo objektas

Darbo tyrimų objektas – priklausomybė, tarp augalo augimo dinaminį charakteristikų ir mechatroninės sistemos parametrų.

Darbo tikslas ir uždaviniai

Šio tiriamojo darbo tikslas yra ištirti augalo augimo dinamikos priklausomybę nuo mechatroninės sistemos parametrų, kuomet bandinys (augalas) bus auginamas vandens ir riboto apšvietos spektro terpėje.

Užsibrėžtam tikslui pasiekti numatyti šie uždaviniai:

- Išanalizuoti literatūros šaltinius, kuriuose nagrinėjama problematika susijusi su augalo auginimo aplinka ir auginimo proceso automatizavimu.
- Sudaryti planuojamų eksperimentinių tyrimų metodiką.
- Pagaminti tyrimų stendą – augalo augimo aplinką, valdomą mechatronine sistema.
- Apdoroti gautus eksperimentinių tyrimų duomenis.

- Pateikti apibendrintus ir iliustruotus tyrimo rezultatus.

Temos naujumas

Tyrimas ir jo numatoma eiga paliečia dvi mokslų šakos rūšis – mechatroniką ir augalininkystę. Planuojama augalo augimo (šaknų padėties) vieta – vanduo. Tai ganėtinai naujas auginimo būdas vadinamas hidroponika. Dar viena naujovė augalininkystės srityje, vis dar gvildenama laboratorijose – augalo auginimas tik tam tikrame, apribotame matomos šviesos spektro ruože, derinant dvi spalvas skirtingu augalo vegetacijos periodu. Nagrinėtuose literatūros šaltiniuose dažniausiai yra nagrinėjami atskiri auginimo būdai. Šio tyrimo naujumas apjungia abu augalo auginimo būdus, neatsiejamai integruodamas augimo procesą į aplinką, valdomą mechatronine sistema.

Temos aktualumas

Žvelgiant į praktinę tyrimo reikšmę eksperimento rezultatai padėtų pilnai automatizuoti augalo auginimo procesą, įvedant optimaliausius parametrus į kontroliuojančią mechatroninę sistemą, ko pasekoje galima tikėtis minimalaus augimo laiko ir maksimalaus derliaus.

Tyrimo metodai

Apžvelgus aktualią mokslinę literatūrą numatoma sudaryti kontroliuojančios mechatroninės sistemos parametrų rinkinius ir eksperimentinių tyrimų būdu ištirti augalo dinaminių charakteristikų pokyčius ir priklausomybes.

Darbo aprobacija

2017 metais X respublikinėje mokslinėje – praktinėje konferencijoje „Mokslo taikomųjų tyrimų įtaka šiuolaikinių studijų kokybei“ buvo skaitytas pranešimas tema „Augalo augimo kokybės dinamikos priklausomybės nuo mechatroninės sistemos parametrų tyrimas“ (žr. Priedai).

2018 metais Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijoje „Mokslas – Lietuvos ateitis“ buvo skaitytas pranešimas tema „Augalo augimo dinamikos priklausomybės nuo mechatroninės sistemos parametrų tyrimas“ (žr. Priedai).

1. LITERATŪROS APŽVALGA

1.1. Procesų automatizavimas auginant augalus

Toliau didėjant žmonių populiacijai pasaulyje, atsiranda neišvengiama maisto produktų paklausa, atitinkamai didėja ir gamybos apimtys. XXI amžiuje visoje pramonėje, tuo pačiu ir maisto pramonėje egzistuoja vis didesnis procesų automatizavimo poreikis, kuris yra kreipiamas visiško autonomiškumo link (Li, 2009). Atsiranda agrokultūrinės mechatronikos arba agromechatronikos (1.1 pav.) sąvoka. Pati mechatronika nėra nauja inžinerinė kryptis, tai daugiau sąvoka, sujungianti skirtingas inžinerines kryptis. Mechatronika – tai sinergetinis mechanikos, precizinių mašinų gamybos, elektronikos, automatinio valdymo ir kompiuterinių sistemų derinys, kuriuo siekiama sukurti sudėtingas priemones, padedančias žmonėms veikti per elektroninius procesus (Li., 2009).

Agromechatronika yra inovatyvus darinys, aplenkiantis tradicinės agrarinės mechanizacijos technologijas ir pagrįstas skirtingų technologinių sričių susijungimu. Toks modelis yra gana įprastas tradicinei mechatronikos sąvokai, tačiau čia papildomai įsiterpia dar dvi sritys (Razali., 2012):

- Agromatika – tai yra kompiuterizuotas žemės ūkio nuostatų ir principų taikymas, skirtas operatyviam problemų diagnozavimui ir alternatyvų paieškai (Sogaard, 2005).
- Agronika – tai telekomunikacijų, kompiuterinių paslaugų, mechanikos ir elektronikos panaudojimas žemės ūkyje ir gyvulininkystėje (Sogaard., 2005).



1.1 pav. Agromechatroniką siejančios inžinerinės sritys (Grau *et al.*, 2010)

Agromechatronika pasiekė visas tradicinės gyvulininkystės ir augalininkystės sritis: autonominiai augalus sodinantys traktoriai, automatiniai augalų sodinimo ir persodinimo įrenginiai, automatiniai trąšų dozatoriai, autonominės žoliapjovės, robotai, nuimantys derlių ir kt. (Linhares., 2009) (1.2 pav.).



1.2 pav. Autonominis augalų sodinimo robotas (Grau *et al.*, 2010)

Agromechatronika palietė ir augalininkystės šiltnamiuose sritį (1.3 pav.), kur sujungė kelias kontroliuojamų parametrų rūšis, tokias kaip: temperatūros, drėgmės, pH lygio, trąšų dozavimo lygio palaikymo (Hague, 2001).



1.3 pav. Robotas prižiūrintis hidroponinius šiltnamius (Grau *et al.*, 2010)

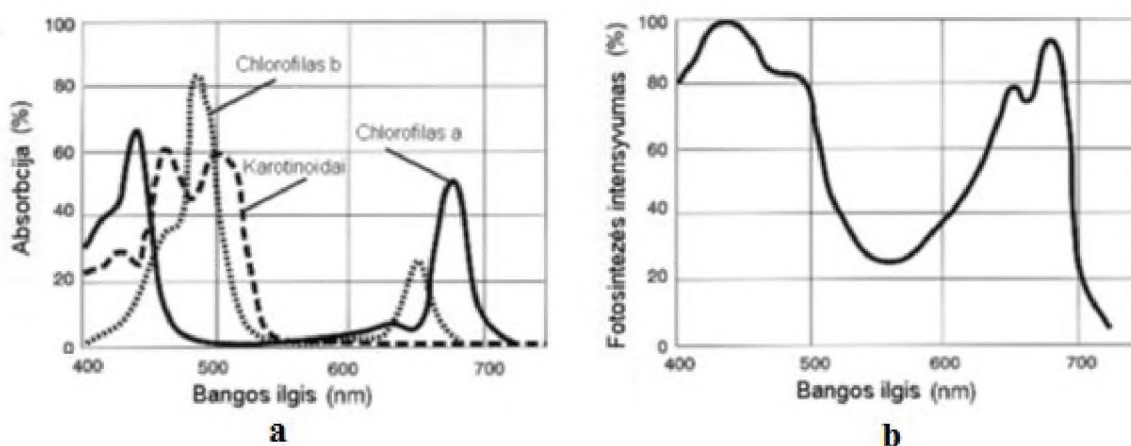
Neišvengiamai kartu su agromechatronikos įsilieėjimu į augalininkystės sritį yra integruojami ir autonominiai robotai (1.3 pav), gebantys savarankiškai vykdyti su augalų auginimu susijusius procesus: sodinimą, priežiūrą, derliaus nuėmimą (Hague, 2001).

1.2. Šviesos įtaka augalo gyvybiniam procesams

Augalams šviesa tai energijos šaltinis, turintis įtakos svarbiausiems gyvybiniam procesams – fotosintezai, fotomorfogenezei ir medžiagų metabolizmui. Saulė yra universalus šviesos šaltinis. Evoliucijos metu augalai sugebėjo prisitaikyti prie natūraliai kintančio saulės šviesos srauto ir jos spektrinės sudėties. Dirbtiniai šviesos šaltiniai nėra tokie patys kaip natūralūs, tačiau juos galima subalansuoti taip, kad būtų užtikrintas sėkmingas augalo augimas ir normali architektūra (Bula *et al.*, 1991). Pastaruoju metu, tobulėjant apšvietimo technologijoms ir analitinėms galimybėms, fotobiologija tampa vis populiarese tyrimų sritimi, suteikiančia daug fundamentalių mokslinių žinių, kurios aktualios tiek agrotechnologijoms, tiek ekonomikai. Vistik daugiau nei amžių trukantys

moksliniai ieškojimai šviesos reguliuojamų molekulinį ir fiziologinių procesų manipuliavimo srityje vis dar nėra iki galo išaiškinti (Devlin, 2007).

Fotosintezė yra pagrindinis augalo gyvybinis procesas užtikrinantis sėkmingą augimą ir biomasės kaupimą. Be kitų lemiamų aplinkos veiksnių, fotosintezės vyksmą stipriai įtakoja fotosintetiškai aktyvios spinduliuotės srautas - FAS (*angl. PAR – photosynthetically active radiation*), šviesos spektrinė sudėtis, kurie reguliuoja ne tik tiesiogiai patį asimiliacijos procesą, bet ir fotosintezės aparato suformavimą ir sandėlinių augalo audinių, bei žiotelių vystymąsi (Bourget, 2008). Šviesos įsisavinimas (absorbcija) fotosinzei gali vykti skirtinguose lygmenyse: skirtingų bangos ilgių šviesą sugeria fotosintezės pigmentai (chlorofilas a ir b); lapai (priklausomai nuo rūšies ir aplinkos sąlygų absorbuoja įvairių spektro sričių šviesą); augalo laja (gilesniuose lapijos sluoksniuose efektyviai panaudojama į ją patekusi šviesa, nes pavėsyje esantys lapai geriau prisitaikę prie mažo patenkančio šviesos srauto ir pakitusios šviesos spektrinės sudėties) (Urbonavičiūtė, 2004). Daugelio augalų fotosintezės sistemos išotininimas vyksta esant $500 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}^2$ srautui, o tankioje lajoje šis skaičius išauga keturgubai. Vis dėlto poreikį šviesos srautui lemia ir apšvietimo kokybė. Saulės spinduliuotės, pasiekiančios žemės paviršių spektras yra nuo 300 iki 1000 nm bangos ilgio, tačiau tik ~50 % žemę pasiekiančios energijos yra fotosintetiškai aktyvi spinduliuotė. FAS apima bangis ilgių regioną elektromagnetiniame spektre nuo ~350 iki ~750 nm (Kim *et al.*, 2004). Nors skirtingų bangos ilgių fotonai pasižymi skirtinga energija, fotosinzei visi FAS srities fotonai yra vienodai efektyvūs. Vienas fotonas gali aktyvuoti tik vieną chlorofilo molekulę, o fotono perteklinė energija yra išsklaidoma šviesos pavidalu (Adams, 2009), todėl šviesos poveikis fotosinzei labai priklauso nuo srauto intensyvumo (1.4 pav.) ir nuo augalo fotosintezės sistemos savybės absorbuoti ir panaudoti to bangos ilgio šviesą (Urbonavičiūtė, 2004).

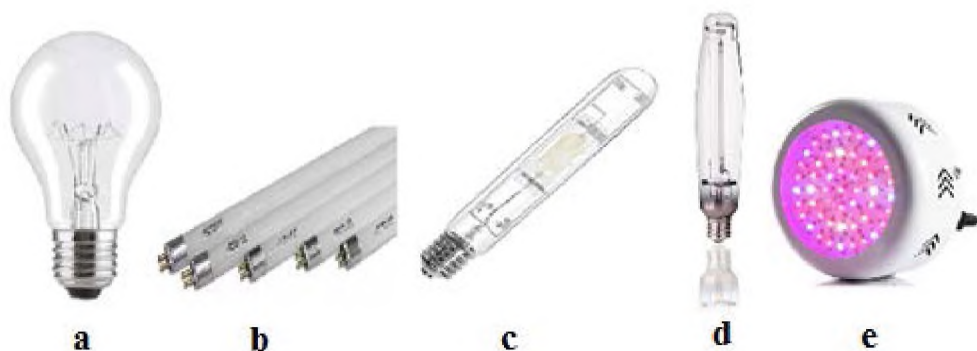


1.4 pav. Absorbcijos ir fotosintezės intensyvumo priklausomybė nuo bangos ilgio: a- absorbcijos priklausomybė nuo bangos ilgio; b- fotosintezės priklausomybė nuo bangos ilgio (Urbonavičiūtė, 2012)

Augalija yra prisitaikiusi prie natūralaus saulės šviesos spinduliuotės spektro žemės paviršiuje, todėl daugelio augalų poreikius fotosintezai atitinka ~90 % raudonosios bangų ilgių srities ir ~10 % mėlynosios spektro srities apšvietimo sąlygos (Barta *et al.*, 1992).

1.3. Dirbtinis apšvietimas augalams

Intensyviose daržininkystės sistemose natūralaus apšvietimo sąlygos dažnai riboja augalų produktyvumą skirtingu metų laiku (Bliznikas *et al.*, 2009). Optimaliai augalų produkcijai ir produkcijos kokybei turi būti užtikrintas tinkamas papildomo apšvietimo intensyvumas, spektras ir fotoperiodas. Čia apšvietimo parametrai turi būti parinkti pagal skirtingų augalų rūšių poreikius skirtingais vystymosi tarpsniais. Tai kompleksinė problema, apimanti daugelį technologinių, ekonominių ir fiziologinių aspektų: turi būti ne tik pateisintos investicijos apšvietimui įrengti ir išlaikyti, bet ir užtikrinti augalo fotofiziologiniai poreikiai bei taikomieji tikslai (Baroli, 2008).



1.5 pav. Šviesos šaltinių rūšys: a- kaitrinė lempa; b- fluorescencinė lempa; c- metalo halogeninė lempa; d- aukšto slėgio natrio lempa; e-šviesos diodų lempa

Dirbtinio apšvietimo era prasidėjo, T. Edisonui 1879 m. išradus kaitrinę lemputę – 20 a. pradžioje tai buvo itin populiarius apšvietimo šaltinis tiriant augalus (Lofkvist, 2009). Nors šiandieninės technologijos jas pranoksta ir efektyvumu, ir taikymo galimybėmis, o didelis tolimosios raudonosios ir infraraudonosios spinduliuotės srautas (iki 60 % bendro fotosintetiškai aktyvios spinduliuotės srauto) ir generuojama šiluma itin skatina augalų stiebų tįsimą, kaitrinės lemputės (1.5 pav. a), derinant su kitų tipų apšvietimu, vis dar naudojamos augalams auginti, siekiant paskatinti žydėjimo procesus (Jackson, 2009). Fluorescencinės lempos (1.5 pav. b), kurių pirmosios pasirodė ~1930 m. (Lofkvist, 2009), dar ir šiandien plačiai naudojamos. Daugiau nei 90% fluorescencinių lempų emituojamų fotonų yra fotosintetiškai aktyvios spinduliuotės bangų ilgių srityje (Demšar, 2004), o priklausomai nuo lempos tipo, apie 10 % fotosintetiškai aktyvios spinduliuotės srauto sudaro mėlyna šviesa, kuri yra nepakeičiama, siekiant subalansuoto augimo ir vystymosi. Dėl tokios spektro sudėties fluorescencinės lempos naudojamos natūraliam apšvietimui pakeisti uždaroje auginimo

kameroose (Kim *et al.*, 2004). Metalo halogeninės lempos (1.5 pav. c) – tai išlydžio lempos, kuriose regimosios spinduliuotės emisija yra pagrįsta liuminescencijos efektu. Metalo halogeninės lempos gali būti naudojamos visiškai pakeisti natūralių apšvietimą ar kaip papildomos mažo apšvietumo sąlygomis (Goins *et al.*, 2001). Aukštas fotosintetiškai aktyvios spinduliuotės srautas, kurio apie 20 % sudaro mėlyna šviesa, ir efektyvumas neretai nulemia metalo halogeninio apšvietimo tipo pasirinkimą augalams kultivuoti ištisus metus (Kim *et al.*, 2004). Aukšto slėgio natrio lempos (*angl. HPS - high pressure sodium lamps*) (1.5 pav. d) – dažniausias šviesos šaltinio pasirinkimas augalams šiltnamiuose. Pagrindiniai privalumai – efektyvumas, santykinai maža kaina, ilgas tarnavimo laikas, aukštas fotosintetiškai aktyvios spinduliuotės srautas bendrame emisijos spektre (apie 27 % bendros energijos). Dažniausiai naudojamos kaip ekonomiškai efektyvus apšvietimo įrenginys augalams kultivuoti šiauriniuose regionuose žiemos metu. Tačiau jų spektrinė kokybė nėra optimali fotosintezei procesams. Dėl mažo tolimosios raudonosios ir mėlynos spinduliuotės srauto po jais augantiems augalams būdingas lapų ir stiebų tįsimas (Jackson, 2009).

1.1 lentelė. Skirtingų šviesos šaltinių palyginimas (Urbonavičiūtė, 2012)

Lempų tipas	Efektyvumas	Veikimo laikas	Spektras	Sandara
Kaitrinė (100 W)	3% ¹	2000 h ¹	Turtinga raudonos, tolimosios raudonosios ir infraraudonosios spinduliuotės ³	Volframo siūtelis; vakuumas ar inertinės dujos, stiklinė išorinė kolba ²
Fluorescencinė	10–20% ¹	18 000 h ¹	400–700 nm; apie 10% fotosintetiškai aktyvios spinduliuotės – mėlyna šviesa ³	Stiklinis vamzdelis, Hg garai, fosforinė danga ²
Metalų halogeninė	25% ¹	12 000–20 000 h ²	Turtinga mėlynosios srities spindulių; 400–700 nm ²	Kvarco vamzdelis stiklinėje kolboje, metalų halidai ir suslėgti Hg garai ³
Aukšto slėgio natrio	20–30% ¹	20 000 h ¹	Turtinga geltonų ir raudonų / oranžinių bangų ilgių; 550–650 nm ²	Keraminis aliuminio oksido lankas, Hg, Xe, Na dujos, stiklinė išorinė kolba ²
Šviesą emituojantys diodai	Raudoni – 25% ¹ Mėlyni – 20% ¹	>50 000 h ¹	Ivairūs vienabangių šviesotukų deriniai ²	Poslaidininkinės medžiagos, nuo kurių priklauso LED emituojamas bangos ilgis ³

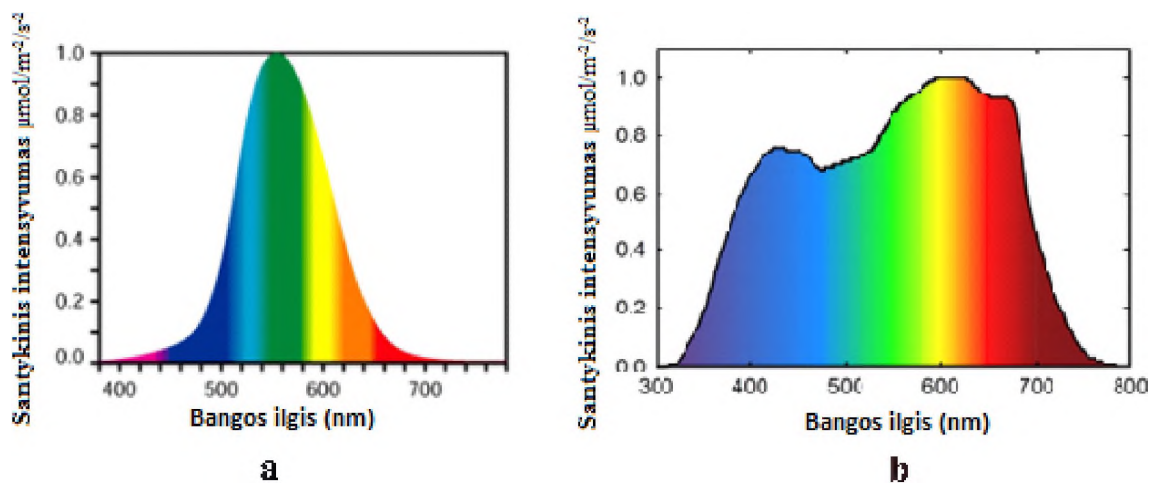
Pastaraisiais metais, vis tobulėjant ir populiarėjant kietakūnio apšvietimo technologijoms, siekiama, kad tokie neefektyviai energiją naudojančios įprastiniai šviesos šaltiniai kaip kaitrinės ar fluorescencinės lempuotės būtų pakeisti efektyviais kietakūniais šviesos šaltiniais, kurie pasižymi ne

prastesniais kokybiniais rodikliais. Tai sumažintų energijos sąnaudas, o kartu mažintų aplinkos taršą ir išlaidas apšvietimui. Šiandien šviesą emituojantys diodai (*angl. LED - light emitting diode*) (1.5 pav. e) jau vadinami „išmaniuoju“ apšvietimo įrenginiu (Hague, 2001).

Žmonės ir augalai šviesą suvokia skirtingai (1.6 pav.). Žmogus žalią šviesą geriausiai mato, kuomet pikinis bangos ilgis yra 550 nm ir tam yra reikalaujamas visai nedidelis šviesos kiekis. Fotosintezei augalai naudoja šviesos bangos ilgius tarp 400–700 nm, fotosintezės efektyvumas priklauso nuo krentančios šviesos srauto, nuo lapo formos ir paviršiaus ploto. Šviesos kiekio matavimai, skirti žmogaus suvokimui (liuksai, kandelos, liumenai), negali būti identišškai taikytini augalui (Baroli, 2008). Šviesos kiekis yra sietinas su jau minėta sąvoka FAS. Ši sąvoka nusako šviesos bangos ilgio ruožą, kuris yra taikytinas matuojant šviesos kiekį augalui 400–700 nm. FAS – tai dydis, skirtas matuoti momentinį šviesos kritimą į augalo paviršių (šviesos kiekis augalui) - mikromolis į kvadratinį metrą per sekundę ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}^2$).

Skirtingiems augalams ir skirtingoms vystymosi fazėms reikalingas skirtingas šviesos kiekis, pvz.: (Goins *et al.*, 2001)

- Daiginimui – $50\text{--}80 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}^2$.
- Salotoms auginti – $115\text{--}140 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}^2$.
- Pomidorams auginti – $115\text{--}180 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}^2$.



1.6 pav. Šviesos kiekis, reikalingas identifikuoti žalią šviesą: a-šviesos kiekis reikalingas žmogui; b-šviesos kiekis reikalingas augalui (Belt *et al.*, 2014)

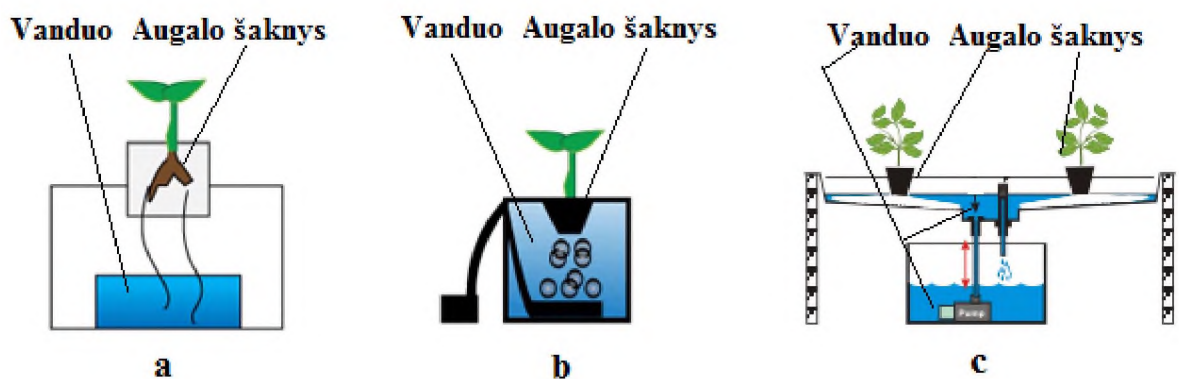
Nagrinėjant augalo apšvietimo poreikius išryškėja trys būtiniausi aspektai: (Baroli, 2008)

- Šviesos kiekis (PAR) – dar sąvoka žinoma kaip šviesos intensyvumas – tai visas šviesos kiekis, suteiktas augalui (naudotinas fotosintezei). Kuo didesnis šviesos kiekis, tuo daugiau energijos augalas gali skirti fotosintezei vykdyti.

- Šviesos „spalva“ – sąvoka, besiremianti į elektromagnetinius bangų ilgius. Pavyzdžiui – raudonos spalvos bangos ilgis yra apie 600–800 nm, mėlynos 440–460 nm, ultravioletinės A – 315–400 nm. Augalai reaguoja į skirtingas spalvas ir jų santykius keisdami savo augimo formą (fitomorfologija).
- Šviesos fotoperiodas- augalo dienos periodas (trukmė). Aktyvusis fotoperiodo ciklas - kuomet augalą pasiekia šviesa, pasyvusis – kuomet augalas neapšviečiamas.

1.4. Augalo šaknų augimo terpė - hidroponika

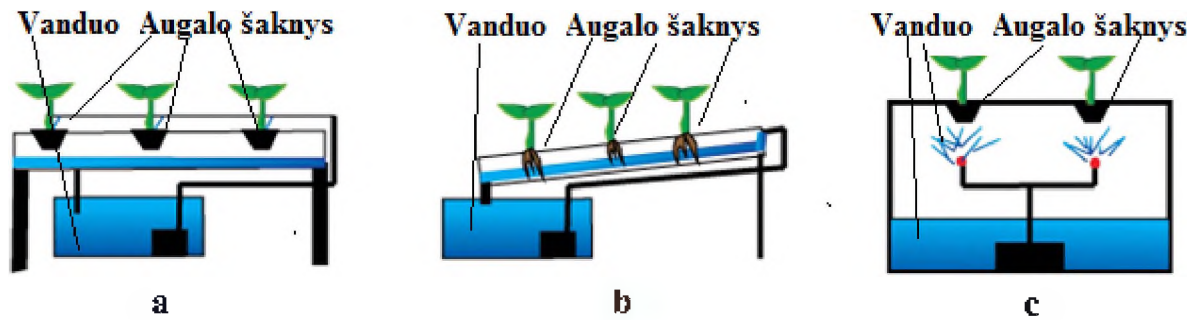
Lietuvių autorių išleistų mokslinių straipsnių ar knygų apie augalų auginimą vandens terpėje nėra daug, todėl literatūros apžvalga krypta į užsienio autorių tiriamuosius darbus. Vienas iš nagrinėtų pavyzdžių yra austrų autoriaus George F. Van Patten 2014 m. publikuotas darbas „*Gardening indoors with soil & hydroponics*“. Pati sąvoka „hidroponika“ turi graikišką kilmę – žodis dalomas į dvi dalis, kur žodis „hydro“ reiškia vandenį, o „ponos“ – darbas. Autorius leidinyje išskiria šešias hidroponikos rūšis (1.7 pav. 1.8 pav):



1.7 pav. Hidroponinių sistemų rūšys: a – dagtinė hidroponika; b - „vandens kultūrinė“ hidroponika; c - prabėgančio vandens hidroponika

- Dagtinė hidroponika (*angl. Wick*) (1.7 pav. a) – tai pati paprasčiausia sistema, nereikalaujanti jokių elektros prietaisų, greitai realizuojama praktikoje. Veikimo principas: augalas patalpintas į savo augimo terpę, kuri dagčiu yra sujungta su vandens rezervuaru. Dagtis prisisotina vandens, kurį reikiama is kiekiu natūraliai pasisavina augalo šaknys. Tokia sistema nėra dinamiška, nes neturi jokios stebėsenos (atgalinio ryšio), sunku kontroliuoti augalo augimą. (Patten, 2014)

- „Vandens kultūrinė“ hidroponika (*angl. Water culture*) (1.7 pav. b) – šis auginimo būdas yra šiek tiek modernesnis – augalo šaknys būna nuolatos vandenyje, kuris rankiniu, neautomatizuotu būdu nuolatos yra prisotinamas trąšomis, bei aprūpinamas oru, neleidžiančiu vandeniui gesti (Patten, 2014; Sase, 1988).



1.8 pav. Hidroponinių sistemų rūšys: a – lašelinė hidroponika; b- maistinių medžiagų tąsos hidroponika; c - aeroponika

- Prabėgančio vandens hidroponika (*angl. Flood and drain*) (1.7 pav. c) – šiuo atveju augalas auga savo augimo terpėje, į kurią nuolatos yra pilamas augalo augimui tinkamas vandens tirpalas, kuris prateka pro augalo šaknis, leisdamas jos įsisavinti būtinas medžiagas, ir sugrįžta atgal į rezervuarą, iš kurio yra vėl pumpuojamas į augimo terpę. Į šią sistemą jau yra lengviau integruoti stebėsenos faktorių, kuris leistų kontroliuoti vandens padavimą (srautą) į augimo aplinką. (Patten, 2014; Wade, 2007).
- Lašelinė hidroponika (*angl. Drip*) (1.8 pav. a)– aprašomos hidroponinės sistemos principas yra labai panašus į prabėgančio vandens (flood and drain) tipą, tačiau čia kiekvienas augalas turi po purkštuką/lašintuvą, kas leidžia augalui lengviau įsisavinti veikliąsias medžiagas. Viskas vyksta uždaru ciklu – vandens perteklius grįžta į pagrindinį rezervuarą iš kurio vėl yra pumpuojamas į drėkintuvus/lašintuvus. Atsižvelgiant į prieš tai nagrinėtos sistemos privalumus papildomai šioje sistemoje galima paminėti, jog atsiranda galimybė dozuojant vandens kiekį ir drėkinimo dažnumą kontroliuoti individualiai kiekvieno augalo augimo dinamiką (Patten, 2014; Jones, 2004).
- Maistinių medžiagų tąsos technika (*angl. Nutrient film technique*) (1.8 pav. b) – tai auginimo būdas, kuomet augalo šaknys nuolatos yra panardintos į tekančio vandens srovę. Į pagrindinį rezervuarą yra tiekiamos (dozuojamos) trąšos (maistinės medžiagos augalui) ir pumpuojamas oras, siurblys nuolatos tiekia vandenį į pagrindinę augalų auginimo magistralę, kuria augalo šaknimis pratekėjęs vanduo gryžta į pagrindinį rezervuarą (Myron, 2008). Toks auginimo sprendimas suteikia galimybę mechatroninei sistemai

visiškai valdyti augalo augimo dinamiką. Atsiranda galimybė automatizuoti trąšų ir oro dozavimą į pagrindinį vandens rezervuarą. Tokios sistemos realizacija yra kur kas pigesnė, nei lašelinės sistemos (dėl drėkintuvų/lašintuvų buvimo), o praturtintas vanduo lygiai taip pat gerai kontaktuoja su augalo šaknimis (Patten, 2014).

- **Aeroponika** (*angl. Aeroponics*) (1.8 pav. c) – paskutinis aprašomas auginimo būdas, kuomet šaknys yra maitinamos oro-lašeliniu būdu. Augalų šaknys kaba hidroizoliuotoje aplinkoje, kurioje aukšto slėgio purkštukų pagalba, nustatytais laiko tarpais į aplinką yra išpurškiamas praturtintas vanduo su oru. Tai būdas, kuomet yra galima pilna proceso automatizacija valdant mechatroninei sistemai, tačiau iškyla didelės aukšto slėgio purkštukų kainos faktorius. (Patten, 2014; Jones, 2004).

Augalai auga žemės atmosferoje, kurią sudaro maždaug 78 % azoto, ~20 % deguonies, ~2 % anglies dioksido ir nedidelis kiekis inertinių dujų. Anglies dioksidas yra junginys, sudarytas iš vienos anglies ir dviejų deguonies molekulių. Dauguma elementų gamtoje egzistuoja kaip junginiai, nes būdami grynos formos yra chemiškai labai nestabilūs (Giles, 2004). Dauguma grynų nestabilių elementų reaguoja su kitais gamtoje esančiais elementais sudarydami junginius – į tai būtina atsižvelgti renkantis maistines medžiagas hidroponikos sistemai (Jones, 2004). Tiekiant netinkamas elementines druskas, ar netinkamus jų kiekius pastarosios gali sudaryti junginius, kurių augalas negalės tinkamai įsisavinti (Brentlinger, 2007). Augalo sandarą formuojantys elementai yra anglis (C), vandenilis (H) ir deguonis (O). Anglis susidaro augalo ląstelių sienose ir užtikrina chlorofilo gamybą. Anglis sudaro ~50 % sausos augalo masės. Vandenilis dalyvauja cheminėse reakcijose, kuriose šaknys įsisavina maistines medžiagas, bei padeda augalui palaikyti standžią struktūrą. Deguonis būtinas formuojant cukrus, krakmolą ir celiuliozę (Keith, 2003). Be minėtų elementų tinkamam augalo augimui būtina tiekti mikro ir makro elementus. Pagrindiniai augalo augimui būtini makro bei mikro elementai ir jų santykiai 1 grame vandens pateikti 1.2 ir 1.3 lentelėse. Nurodytos procentinės koncentracijos yra tinkamos didžiajai daliai augalų. Skirtingiems augalams jos skiriasi labai nežymiai (Brentlinger, 2007).

1.2 lentelė. Makroelementų santykiai viename grame vandens

Makroelementas	Azotas (N)	Fosforas (P)	Kalis (K)	Kalcis (Ca)	Magnis (Mg)	Siera (S)
Santykis vandenyje (%)	4,5 %	0,5 %	5 %	0,5 %	0,3 %	0,3 %

1.3 lentelė. Mikroelementų santykiai viename grame vandens

Mikroelementas	Geležis (Fe)	Cinkas (Zn)	Manganas (Mn)	Boras (B)	Varis (Cu)
Santykis vandenyje (%)	0,0015 %	0,0005 %	0,0005 %	0,0003 %	0,0002 %

Apžvelgus mokslinius šaltinius tampa aišku, kad šviesa yra vienas iš svarbiausių augimo aplinkos veiksnių, lemiančių augalų vystymąsi. Šviesos veikiamuose augaluose vyksta trijų rūšių fotofiziologiniai vyksmai, turintys tiesioginę įtaką augalo sudygio, brendimo ir augimo spartai, estetinei išvaizdai, maistinei kokybei, tai - fotosintezė, fototropija ir fotomorfogenezė. Pagrindinį vaidmenį fotosintezės procese atlieka pigmentas chlorofilas a, kurio dėka augalas augina biomasę ir gamina deguonį. Už augalo organų (pvz. lapų) judėjimo valdymą atsakingas fototropijos procesas, kurio metu augalo chloroplastai juda citoplazmoje. Fotomorfogenezės procesas reguliuoja augalo genetinius vystymosi mechanizmus. Šviesos spektrinė sudėtis lemia minėtų augalo fotofiziologinių reiškinių vyksmą. Literatūroje dažniausiai akcentuojamos dvi apšvietos spektro dedamosios: raudonos spalvos bangos ilgio (600–800 nm) ir mėlynos spalvos (440–460 nm), tačiau nėra nusistovėjusios vieningos nuomonės dėl šių spalvų santykio taikymo to pačio augalo auginime. Antras svarbus apšvietimo faktorius yra fotoaktyvioji spinduliuotė (FAS) – augalą pasiekiantis šviesos srautas (kiekis), kuris taip pat skatina augalo fotosintezės procesą, deja, čia taip pat mokslininkų nuomonės išsiskiria. Trečiasis svarbus augimo aplinkos veiksnys yra augalo šaknų augimo aplinka, įrodyta, kad hidroponinėje terpėje augalas išauga ~30% greičiau, nei žemės dirvoje (Brentlinger, 2007), todėl tikslinga augalo auginimą šiame tyrime perkelti į vandens terpę. Atlikta hidroponinių sistemų apžvalga, auginimui parinkta „maistinių medžiagų tāsos“ hidroponika dėl dviejų aspektų: tokiame auginimo būdai nesunkiai adaptuojama mechatroninė valdymo sistema, taip pat tokios sistemos diegimas tikslingas ekonominiu požiūriu, nes neturi jokių brangių komplektuojančių dedamųjų. Pagal užsibrėžtą tikslą nustatyti priklausomybę tarp mechatroninės sistemos parametrų ir augalo augimo dinamikos, siekiant išauginti augalą per kuo trumpesnę laiką yra tikslinga atlikti eksperimentinius bandymus augalą auginant vandens terpėje taikant kelis skirtingus (dažniausia mokslinėje literatūroje sutinkamus) raudonos ir mėlynos šviesos santykius, palaipsniui keičiant šviesos srautą.

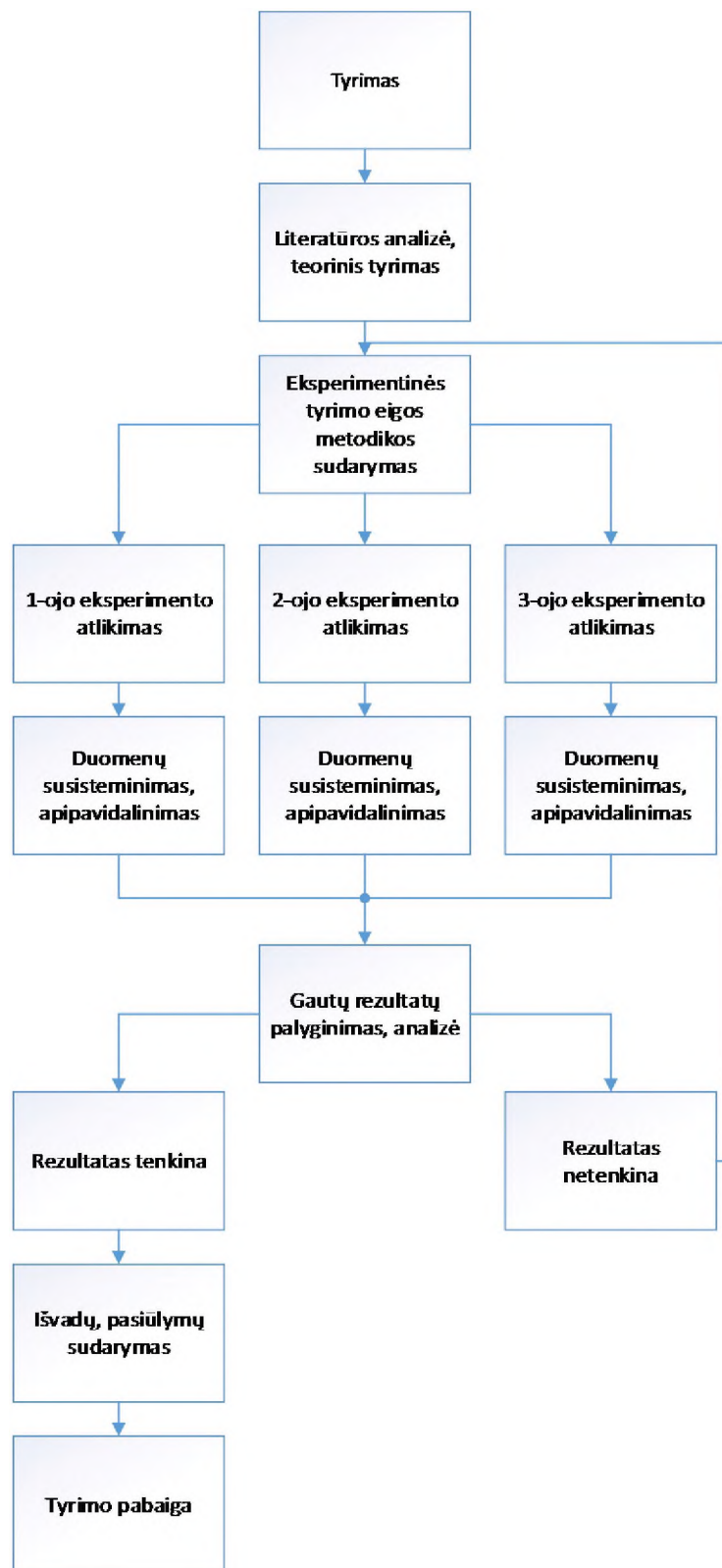
2. EKSPERIMENTINIAI TYRIMAI

2.1. Eksperimentinių tyrimų metodika

Darbe taikomi eksperimentiniai tyrimų metodai. Magistrinio tiriamojo darbo eiga (2.1 pav.) prasideda nuo mokslinės literatūros apžvalgos – peržvelgiami panašios paskirties įrenginiai, mechatroninių sistemų savybės, panašios ar besisiejiančios tematikos tyrimų rezultatai. Remiantis išnagrinėta literatūra, sudaromos gairės tolimesnio eksperimentinio tyrimo eigai. Eksperimentinis tyrimas susidaro iš trijų atskirų eksperimentų, po kiekvieno iš jų vyksta surinktų duomenų apdorojimas – susiteminimas, apipavidalinimas, siekiant supaprastinti analizę. Sekančiame etape lyginami apdoroti trijų eksperimentų duomenys, atliekama jų analizė. Šio etapo pabaigoje galimos dvi gairės – aiškaus rezultato nebuvimas, kas lemia eksperimentinės tyrimo eigos metodikos sudarymo korektūrą, arba tenkinančio rezultato gavimas, po pasekoje pereinama prie sekančio etapo – tyrimo išvadų ir pasiūlymų teikimo.

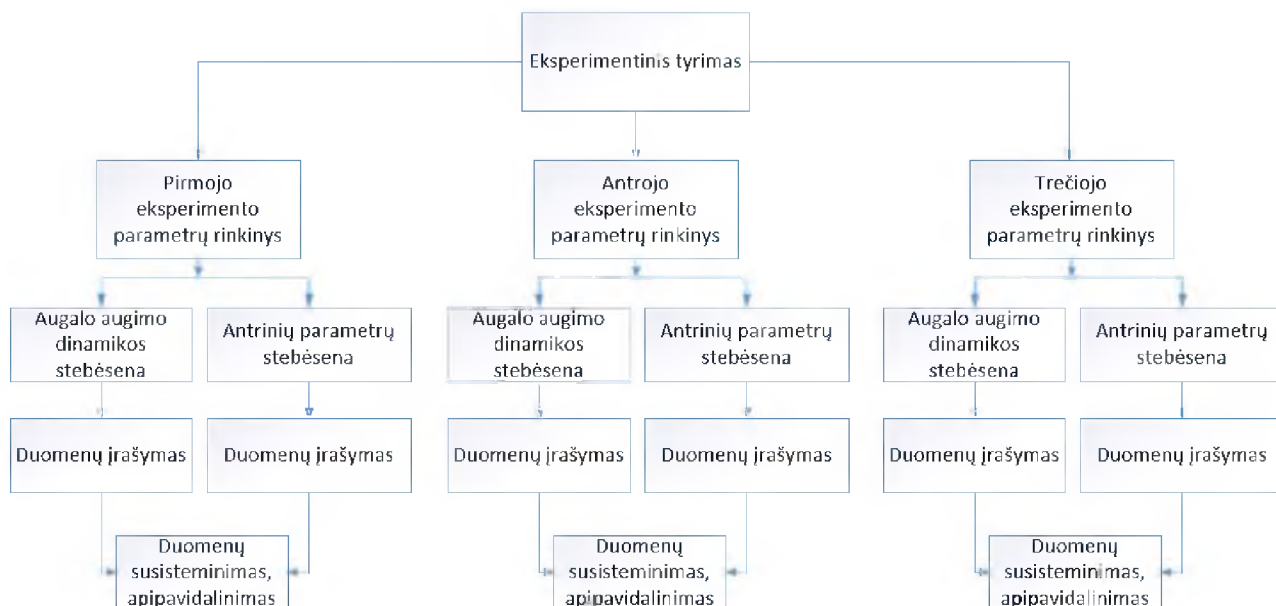
2.2 paveiksle nurodoma smulkesnė kiekvieno iš trijų eksperimentų atlikimo tvarka. Surinkus teorinius (literatūros apžvalgos) duomenis sudaromi trys parametrų rinkiniai - po vieną kiekvienam eksperimentui. Parametrų rinkiniai yra mechatroninės augalo augimą kontroliuojančios sistemos valdiklio nustatymai. Kiekviename eksperimente (parametrų rinkinyje) skiriamos dvi stebėsenos rūšys:

- Augalo augimo dinamikos stebėseną – mechatroninė sistema stebi augalo augimo dinamiką (augalo masę) ir tolydžiai, per visą 14-os dienų augimo laikotarpį, keičia apšvitos srautą nuo 100 iki 135 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}^2$. Raudonos ir mėlynos šviesos santykis – 5:1, 10:1, 19:1, palaikomi stabilūs. Pirmajam eksperimentui – 5:1, antrajam – 10:1, trečiajam – 19:1.
- Antrinių parametrų stebėseną – stebimi temperatūros, drėgmės, lygiai. Jie skirti tik kontroliniam mikroklimato palaikymui. Vandens parametrų stebėseną (elektrinio laidumo ir pH) – naudojama sklandžiam mechatroninės auginimo sistemos hidroponinės dalies trąšų vandenyje palaikymui, valdant įpylimo dispenserius. Šios stebėsenos duomenys taip pat bus naudojami sisteminant tyrimo duomenis – paraleliai laiko atžvilgiu kartu su augimo dinamikos duomenimis, siekiant eliminuoti (atmesti) augalo žūties faktorių dėl hidropininės sistemos valdymo dalies klaidos.



2.1 pav. Tyrimo eiga

Abiejų stebėsenų duomenys įrašomi realiu laiku į laikmeną, o eksperimento pabaigoje susisteminami, bei apipavidalinami. Sekantys du eksperimentai vykdomi analogiška tvarka, tik su skirtingais mechatroninės sistemos parametrų rinkiniais.



2.2 pav. Eksperimentinio tyrimo eiga

Surinktų duomenų apjungimas leis nustatyti ryšius tarp skirtingų mechatroninės sistemos parametrų ir augalo masės pokyčio.

2.2. Mechatroninės sistemos parametrai

Eksperimentinis tyrimas vykdomas pagal tokią parametrų rinkinio (2.3 pav.) sudėtį:

Dinaminiai parametrai:

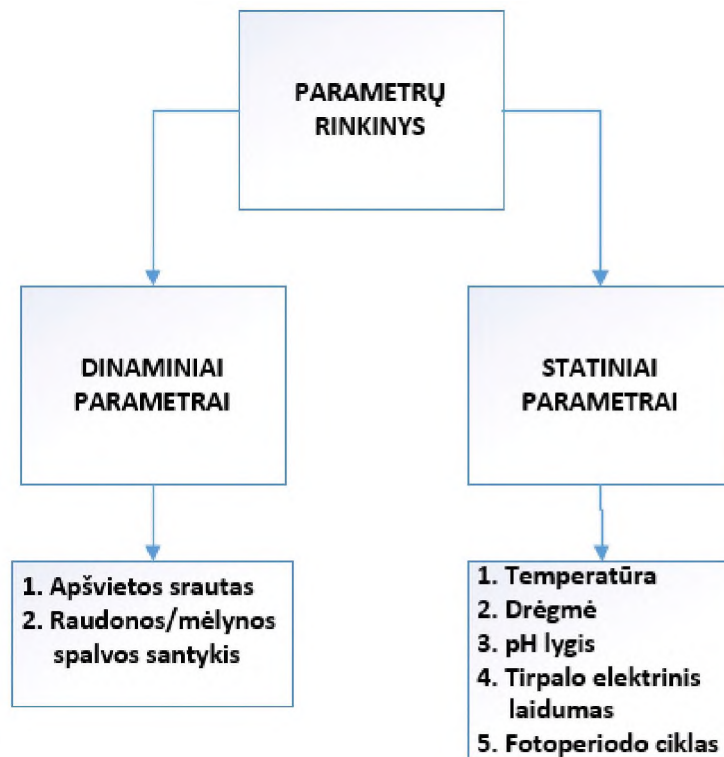
1. Raudonos ir mėlynos šviesos spalvos santykis – vykdomi trys eksperimentai, esant tokiems santykiams:

- R:B=5:1 (pirmajam eksperimentui).
- R:B=10:1 (antrajam eksperimentui).
- R:B=19:1 (trečiajam eksperimentui).

2. Apšvietos srautas (FAS) – kiekvienam spalvos santykiui tolydžiai keičiamas per 14 auginimo dienų (nuo 100 iki 135 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}^2$).

Statiniai parametrai:

1. Temperatūra – 25 °C.
2. Drėgmė – 50 %.
3. Rūgštingumo (pH) lygis – 6,5.
4. Vandens elektrinis laidumas (*angl. ppm-parts per million*) – 1500 ppm.
5. Fotoperiodo ciklas – 12 valandų aktyvaus ir 12 valandų pasyvaus ciklo.

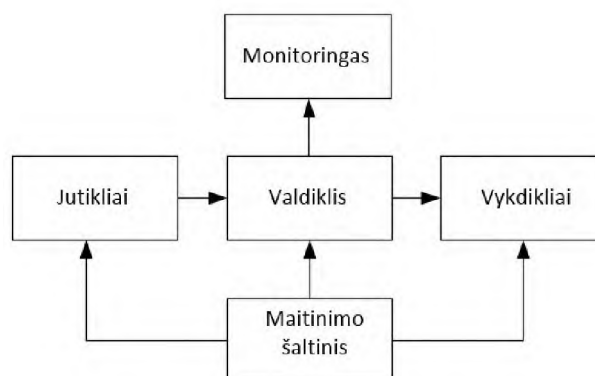


2.3 pav. Parametrų rinkinio sudėtis

Statiniai parametrai per visą augalo augimo laiką palaikomi artimi nustatytai ribai ir nekeičiami. Augalas (salota, *lot. Lactuca Sativa*) 14 dienų dauginamas žemėje, tuomet 14 dienų auginamas tyrimo stende. Vienu metu auginami du bandiniai vienodomis sąlygomis.

2.3. Eksperimentinių tyrimų stendas ir naudojama įranga

Bendroji tyrimų stendo struktūrinė schema (2.4 pav.) yra standartinė kiekvienai mechatroninei sistemai. Valdiklis, vadovaudamasis iš jutiklių surinkta informacija, pagal parašytą programos algoritmą savo išėjimais valdo vykdyklius, kurie normalizuoja nustatytus programos algoritme valdomo objekto parametrus.



2.4 pav. Bendroji tyrimų stendo struktūrinė schema

Jutiklių pogrupiui priklausytų:

- Temperatūrinis jutiklis – temperatūros matavimui šiltnamyje.
- Drėgmės jutiklis – drėgmės matavimui šiltnamyje.
- Rūgštingumo (pH) jutiklis – hidroponinės sistemos dalyje esančio vandens rūgštingumo/šarmingumo lygio nustatymui.
- Ištripusių druskų matuoklis – trąšų koncentracijos vandenyje matavimui (ppm).
- Jėgos jutiklis – augalo masės matavimui.

Vykdiklių pogrupiui priklausytų:

- Trąšų dozatorius – tinkamam ištripusių druskų ir pH palaikymui vandenyje.
- Šildytuvai – temperatūros palaikymui.
- Šviesos diodų apšvietimo lempos.
- Vandens pompa
- Oro kompresorius.
- Drėkintuvas – nustatyto drėgmės lygio palaikymui.

2.2.1. Rūgštingumo (pH) jutiklis

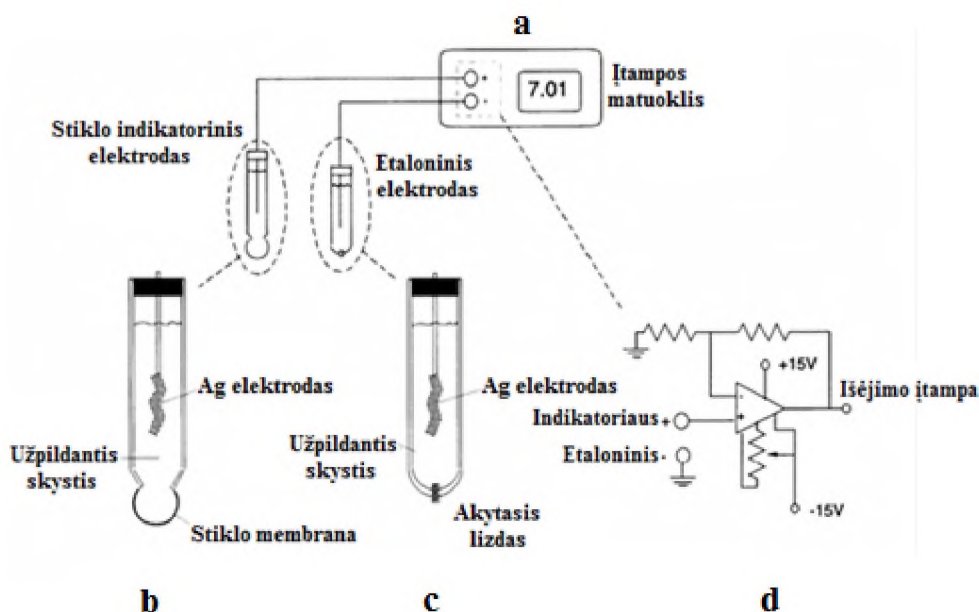
Bendraja prasme pH – tai vandenilio jonų koncentracijos vandenyje matas, nurodantis tirpalo rūgštingumą arba šarmingumą. Istoriskai pH reikšmė buvo apibrėžta kaip vandenilio jonų koncentracijos neigiamas logaritmas, siekiant supaprastinti labai nežymių tirpalo koncentracijų matavimą (William, 2001). pH skaičiavimo formulė pateikta 1 pav., kur $[H^+]$ yra vandenilio jonų koncentracija, matuojama moliais litre.

$$pH = -\log[H^+]$$

pH reikšmė yra apibrėžiama skaitinėse ribose nuo 0 iki 14. Tirpalai, kuriuose $pH < 7$ yra priskiriami rūgštiniais, kur $pH = 7$ – baziniams (neutraliems) ir $pH > 7$ šarminiams tirpalams.

Stiklo membranos indikacinis elektrodas - tai pirmasis ir labiausiai paplitęs pH matavimo metodas. Kaip matyti 2.5 paveikslo „a“ dalyje – yra matuojamas elektrinio potencialo skirtumas (įtampa), kuris atsiranda tarp stiklo-membranos indikacinio elektrodo ir „atraminio“ (etaloninio) elektrodo. Dažniausiai indikacinis ir etaloninis elektrodai yra apjungti į vieną matavimo zoną. Stiklo membrana indikaciniame elektrode sukuria potencialą (priklausantį nuo pH dydžio – vienvalenčių vandenilio katijonų aktyvumo tirpale). Keičiantis pH dydžiui tirpale, potencialas indikaciniame elektrode keičiasi labai nežymiai (mažas jautrumas), todėl papildomai yra naudojamas etaloninis

elektrodo turintis aukštą įėjimo varžą – tokiu būdu pH (tuo pačiu ir potencialo) pokytis yra preciziškai išmatuojamas.



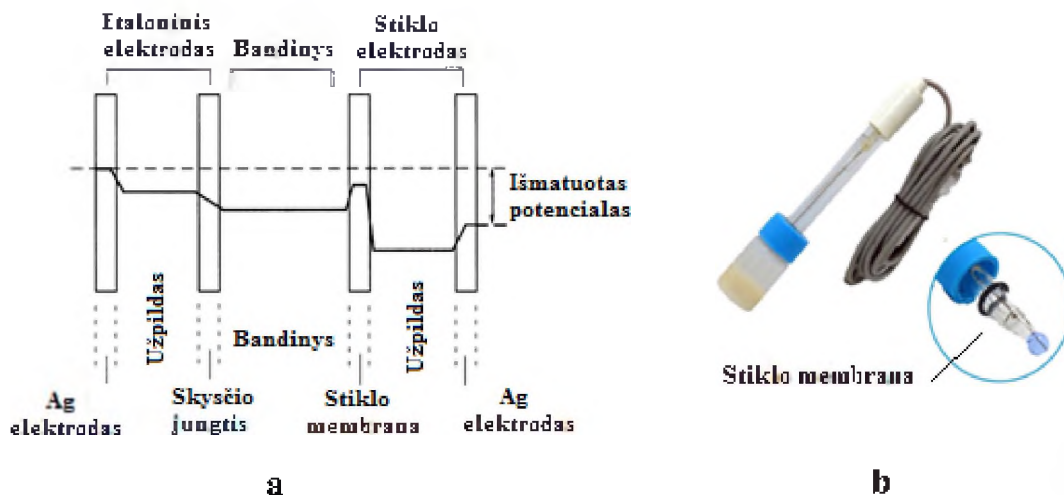
2.5 pav. Elektrocheminio stiklo membranos jutiklio sandara: a- įtampos matuoklis; b-stiklo membranos elektrodas; c-etaloninis elektrodas; d- matavimo grandis

Įprastinio pH indikacinio elektrodo sandara pavaizduota 2.5 pav. „b“ dalyje. Elektrodo viršūnėje yra stiklinė, apytiksliai 0,1 mm storio membrana, kuri veikia kaip keitiklis „pH – potencialas“. Viena membranos dalis (išorinė) kontaktuoja su tiriamuoju bandiniu, o vidinė membranos dalis kontaktuoja su užpildytu skysčiu, dažniausiai – elektrolitu su žinomu pH. Į elektrolitą taip pat yra pamerktas matavimo elementas (sidabrinis laidas, papildomai padengtas sidabro chloridu), užtikrinantis stabilų kontaktą tarp potencialų matavimo ir lyginimo elektrinės grandinės ir elektrolito, kontaktuojančio su vidine stiklo membranos dalimi.

„Atraminio“ (etaloninio) elektrodo sandara pavaizduota 2.3 pav. „c“ dalyje. Šis elektrodas užtikrina elektrinį kontaktą tarp potencialų matavimo elektrinės grandinės ir tiriamojo tirpalo, kontaktuojančio su išorine stiklo membranos dalimi. Taip pat kaip ir indikacinio elektrodo, etaloninio elektrodo vidus yra užpildytas elektrolitu į kurį pamerktas laidininkas.

Indikacinis elektrodas generuoja teigiamą potencialą, o atraminis neigiamą – skirtumas tarp šių potencialų (įtampa) nurodo pH dydį. Bendroji pH matavimo zondo schema, paaiškinanti potencialų skirtumo atsiradimą pavaizduota 2.6 pav.. Potencialų skirtumas priklauso nuo to, kiek itin plona stiklo membrana gali praleisti pro save vandenilio jonų – kuo tirpalo pH yra didesnis, tuo vandenilio jonai atyvesni, tuo daugiau jų prakeliauja pro stiklo membraną ir sąveikauja su užpildytu

elektrolitu - potencialas tarp abiejų elektrodų didėja. Įprastai matuojant pH potencialas išmatuojamas apytiksliai 0,1 mV tikslumu. Tam, kad įvertinti tokius mažus įtampų pokyčius yra naudojamos palyginamosios/stiprinančios elektrinės grandinės 2.5 pav. „d“ dalis.



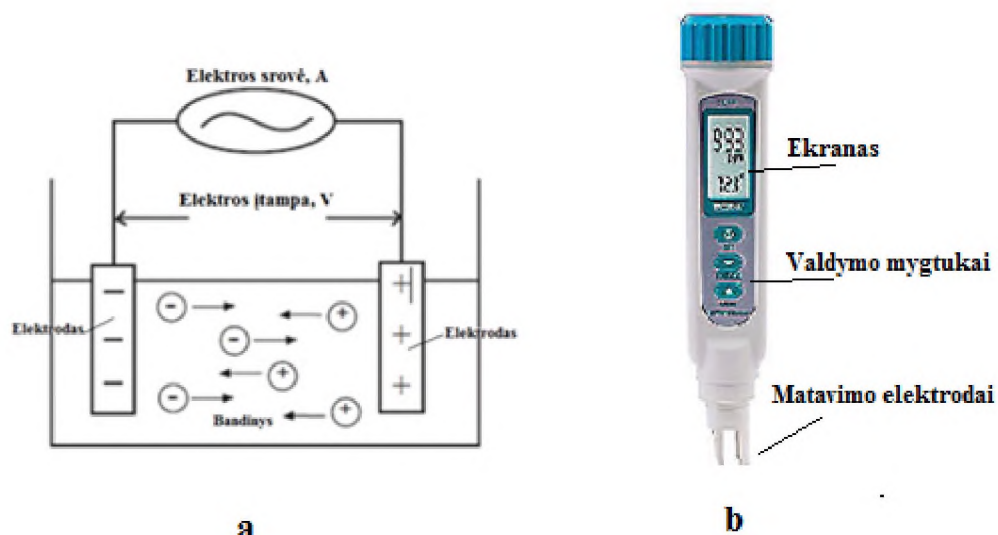
2.6 pav. Bendroji stiklo membranos pH matavimo zondo sandara: a-struktūrinė schema; b-stiklo membranos elektrodas

Pasirenkamas “Vernier CT-1003” elektrocheminis jutiklis.

- Matavimo tikslumas: $\pm 0,1$ pH.
- Matavimo skiriamoji geba: 0,1 pH.

2.2.1. Vandens elektrinio laidumo matuoklis

Elektrinis laidumas (*angl. EC- Electrical conductivity*) nurodo vandens gebėjimą praleisti elektros srovę. Idealiai švarus vanduo (be ištirpusių priemaišų) nepraleidžia elektros srovės ir tampa izoliatoriumi. Didžioji dalis įprastame vandenyje ištirpusių molekulių yra druskos. Cheminiu požiūriu druskos yra joniniai junginiai, susidedantys iš katijonų (teigiamą krūvį turinčių jonų) ir anijonų (neigiamojo krūvio jonų). Kuo didesnę druskų koncentraciją tirpalas turi, tuo jis laidesnis elektros srovei (Grundy, 2006) Matuokliu elektrinis laidumas yra matuojamas leidžiant kintamą elektros srovę per elektrodus patalpintus į bandinį ir matuojant įtampos kritimą jame (2.7 pav. a). Elektrinio laidumo matavimas yra puikus rodiklis, siekiant nustatyti vandens druskingumą, tačiau šis rezultatas neteikia jokios informacijos apie jonų sudėtį vandenyje. Elektrinis laidumas agrotechnikoje dažnai matuojamas mS/cm (mikroSiemensai į centimetrą).



2.7 pav. Elektrinio laidumo matuoklis: a-elektrinio laidumo matuoklio veikimo principas; b- „Extech Instruments EC150“ elektrinio laidumo matuoklio sandara

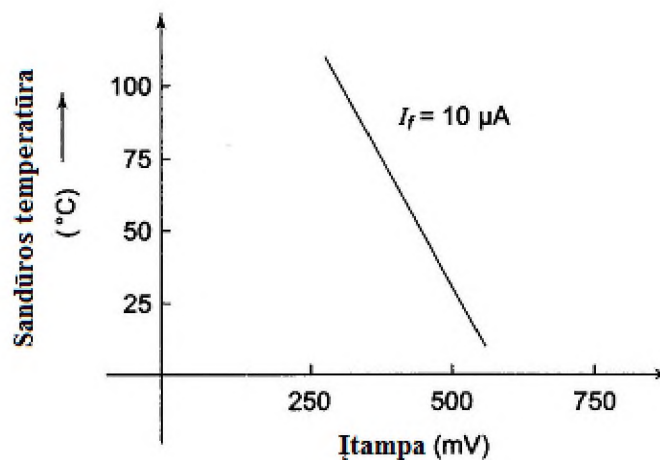
Bendras ištirpusių kietųjų dalelių kiekis (*angl. TDS - Total Dissolved Solids*) yra visų neorganinių ir organinių medžiagų, esančių skystoje molekulinėje, jonizuotoje suspensijoje, suminis kiekis. Dalelė ištirpusia laikoma tuomet, kai kietosios medžiagos yra pakankamai mažos, telpančios per 2 mikronų filtrą. Bendram ištirpusių kietųjų dalelių kiekiui matuoti yra naudojamas elektrinis laidumas. Ištirpusių kietųjų dalelių matuoklis matuoja tirpalo elektrinį laidumą, naudoja perskaičiavimo koeficientą ir pateikia rezultatą vienetais ppm (*angl. parts per million*). Perskaičiavimo koeficientas yra žinoma vertė, lygi 0,7 ($TDS=0,7*EC$). PPM matavimo vienetas naudojamas apibūdinant koncentraciją vandenyje arba dirvožemyje. Pavyzdžiui metrinėje matavimo sistemoje 1 gramas ištirpusių druskų tūkstančiui litrų vandens (Braunack, 1996). Šis matavimo dydis neparodo konkrečių elementų ištirpusių vandenyje kiekio, tačiau parodo bendrą jų koncentraciją, tokiu atveju žinant tinkamo laidumo dydį galima spręsti apie tinkamą arba netinkamą ištirpdytų druskų proporciją tirpale.

Pasirenkamas „Extech Instruments EC150“ elektrinio laidumo ir TDS matuoklis (2.7 pav. b):

- Matavimo ribos: 0–1999 ppm.
- Matavimo tikslumas: ± 1 ppm.
- Matavimo skiriamoji geba: 1 % .

2.2.1. Aplinkos temperatūros ir drėgmės jutiklis

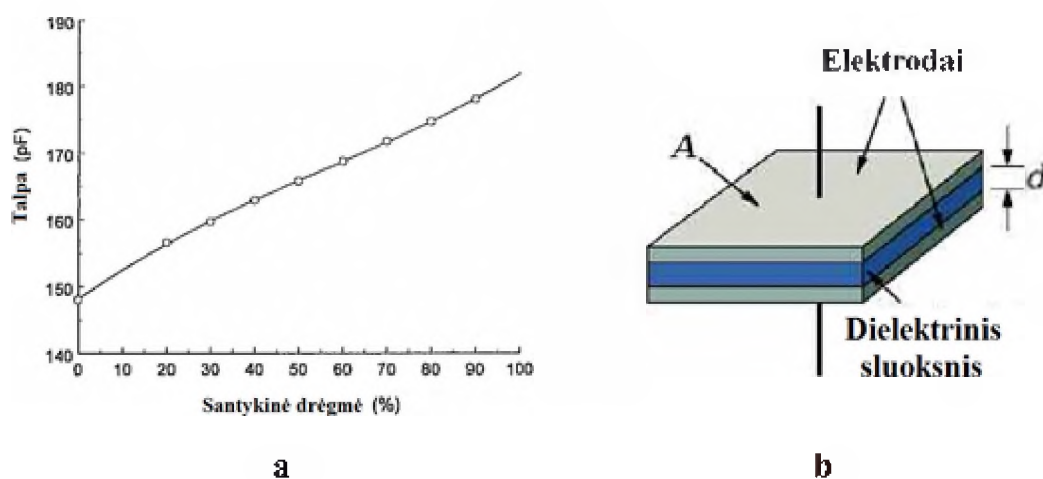
Paprasčiausias ir plačiausiai naudojamas reiškiny temperatūros matavimams yra šiluminis plėtimasis. Tai skysčių stiklo vamzdyje termometro pagrindas. Elektriniam keitimui naudojami tokie metodai: varžinis, termoelektrinis, puslaidininkinis, optinis ir pjezoelektrinis. Temperatūros matavimui reikia mažą objekto šiluminės energijos dalį pateikti jutikliui, kurio užduotis yra paversti šią energiją į elektrinį signalą. Jutiklis šilumos energiją gauna šilumos laidumo būdu, t.y. jį suglaudžiant su objektu arba šiluminio spinduliavimo būdu per atstumą. Bet kuris jutiklis įtakoja matuojamą objektą. Techninio įrenginio uždavinys yra sumažinti paklaidas parenkant tinkamą konstrukciją ir matavimo būdą. Temperatūros matavimuose taikomi du signalų apdorojimo būdai: pusiausvyros ir numatymo. Pusiausvyros būde rezultatas užrašomas, kai nėra temperatūros skirtumo tarp matavimo objekto ir jautriojo elemento. Numatymo būdu niekada nepasiekama pusiausvyra. Tai numatoma iš anksto pagal jutiklio temperatūros kitimo spartą (Tillett, 2006). Temperatūros jutikliai būna kontaktiniai ir nekontaktiniai. Nekontaktinis temperatūros jutiklis jaučia šilumos spinduliavimą. Jis taip pat turi jautrijį elementą. Šis turi būti galimai plonesnis ir turėti didesnius ploto matmenis siekiant sumažinti šiluminę laiko pastoviąją ir padidinti jutiklio jautrį. Jutiklis turi turėti langą šiluminiui spinduliavimui įeiti. Korpusas yra pripildytas arba sauso oro, arba azoto dujų. Jame gali būti ir pradinis signalo stiprintuvas. Bekontakčiai temperatūros jutikliai būna: termovaržiniai, termoporiniai, optiniai, akustiniai, pjezoelektriniai, puslaidininkiniai. Pusiausvyrininkiniame diode ar tranzistoriuje varža labai kinta dėl temperatūros (2.8 pav.). Didelis pranašumas yra priklausomybės tiesiškumas. Dėl to tokius jutiklius lengva kalibruoti. Srovė per diodą priklauso nuo prijungtos įtampos ir temperatūros.



2.8 pav. Diodo srovės priklausomybė nuo įtampos ir sandaros temperatūros

Oro drėgmė vienas iš aplinkos palankumo įvertinimo kriterijų. Dažniausiai reikia atsižvelgti į dviejų dydžių bendrą poveikį: santykinės drėgmės ir aplinkos temperatūros. Jie turi įtakos ne tik augalų savijautai, bet ir didelės varžos elektriniams įrenginiams, aukštos įtampos prietaisams, tiksliems mechanizms. Patalpose esant 20 °C temperatūrai turi būti apie 50 % santykinė drėgmė. Ji priklauso nuo patalpos paskirties. Drėgnumas yra įvairiose prekėse ir apdorotose medžiagose. Pirmasis higrometras buvo išrastas Dž. Leslio (1766-1832). Jautriojo elemento savybės turi keistis dėl vandens koncentracijos. Paprastai drėgmės jutikliai yra talpuminiai, kintamo laidumo, virpantys ir optiniai. Optiniai jutikliai dujose nustato rasos taško temperatūrą. Optiniai higrometrai organiniams tirpalams veikia pagal šviesos sugėrimą artimame IR spindulių ruože 1.9 μm –2.7 μm . Drėgmė dujose išreiškiama arba absoliučiu vandens kiekiu (mase) tūrio vienetu, arba santykinė dalimi lyginant su rasos taško drėgme. Drėgmė skysčiuose ar kietuosiuose kūnuose aprašoma kaip vandens masės dalis visoje masėje, arba kaip vandens masės dalis lyginant su sausa mase. Drėgmės jutikliai pagal veikimo principą būna: talpiniai, elektrinio laidumo, optiniai, virpantieji higrometrai.

Talpinuose jutikliuose (2.9 pav.) aplinkos oro tarpą turintis kondensatorius gali būti santykinės drėgmės jutiklio, nes atmosferos pokyčiai sąlygoja oro dielektrinę konstantą. Dielektrinės konstantos ir talpio priklausomybė nuo oro drėgmės yra tiesinė. Vietoje oro tarpas tarp elektrodų elektriniame kondensatoriuje gali būti užpildytas atitinkamu izoliatoriumi, kurio dielektrinė konstanta žymiai keičiasi nuo drėgmės. Talpinis jutiklis gali būti pagamintas iš higroskopiškos polimerinės plėvelės su metalizuotais paviršiais.



2.9 pav. Talpinis drėgmės jutiklis: a- elektrinės talpos priklausomybė nuo santykinės aplinkos drėgmės; b-talpinio drėgmės jutiklio sandara

Parenkamas kombinuotas bekontaktis puslaidininkinis temperatūros ir talpinis drėgmės jutiklis „DHT22“ (2.10 pav.). Abu jutiklio jautrieji elementai turi tiesiogines matuojamo dydžio priklausomybes, atitinkamai – temperatūrinis elektros srovės, o drėgnumo – talpos.



2.10 pav. Kombinuotas „DHT22“ temperatūros ir drėgmės jutiklis: 1-maitinimo įtampos teigiamo polius išvadas; 2-duomenų išsiuntimo išvadas; 3-papildomas duomenų išsiuntimo išvadas; 4-maitinimo šaltinio neigiamo poliaus išvadas

Jutiklio charakteristikos:

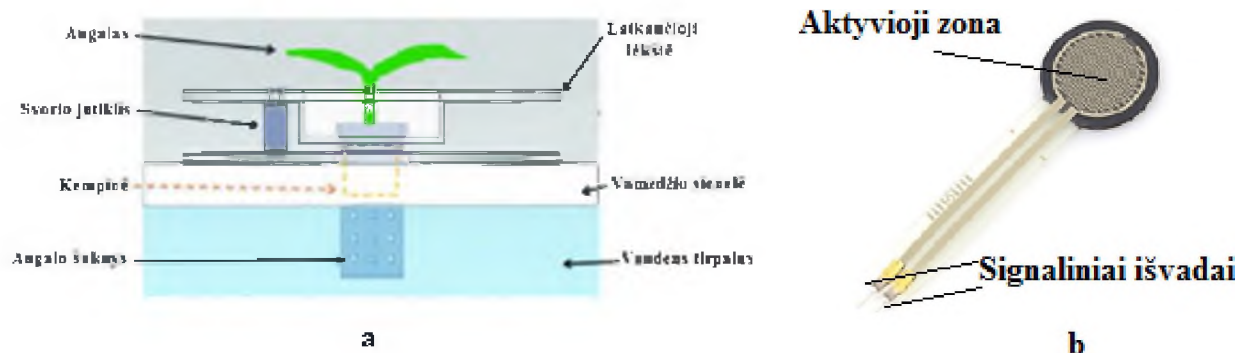
- Temperatūros matavimo ribos: $-40-80\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Drėgmės matavimo ribos: $0-100\%$.
- Temperatūros matavimo tikslumas: $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Drėgmės matavimo tikslumas: $\pm 2\%$.
- Temperatūros matavimo skiriamoji geba: $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Drėgmės matavimo skiriamoji geba: $0,1\%$.

2.2.1. Svorio jutiklis

Svoris – fizikinis dydis, nusakantis daiktą veikiančios gravitacinės jėgos dydį. Kūno masė – dydis, apskaičiuojamas žinant gravitacinės jėgos dydį. Šiuo matavimo principu veikia stende realizuotos svarstyklės, sveriančios augalus (2.11 pav. a). Jėgos matavimui panaudotas rezistyvnis jėgos jutiklis „FSR-402“ (2.11 pav. b). Jutiklį sudaro dvi membranos, atskirtos plonu oro tarpu. Viena membrana yra sudaryta iš dviejų nepriklausomų kontaktinių grupių, kurios apgaubia viduryje esančią aktyviąją zoną, sudarytą iš laidininkų. Antroji membrana padengta elektrai laidžia medžiaga. Jėgai veikiant aktyviąją zoną, joje esantys kontaktai susijungia su minėta zona gaubiančiomis laidininkų grupėmis, tarp kurių varža tampa nebegalinė ir priklauso nuo aktyviąją zoną veikiančios jėgos dydžio. Kuo didesnė jėga veikia aktyviąją zoną, tuo mažesnė varža tarp kontaktinių grupių.

Eksperimentiniame stende augalas auga vazone, kurio viršutinė dalyje yra kempinė. Kempinės apatinėje dalyje yra augalo šaknys, panardintos į tekančio vandens tirpalą. Vazonas yra integruotas į laikančiąją lėkštę, kurios apatinėje dalyje yra jėgos jutiklis. Didėjant augalo masei, jėgos

jutiklis yra veikiamas vis didesne jėga, elektrinė varža tarp kontaktinių grupių taip pat mažėja. Pagal išmatuotus elektrinius dydžius valdančioji sistema apskaičiuoja augalo išaugintą masę ($1\text{ N} = 0,1\text{ kg}$).



2.11 pav. Augalo masės svėrimas: a-augalo masės svėrimo principas; b- jėgos jutiklis „FSR402“

Parinkto jėgos jutiklio „FSR402“ charakteristikos:

- Jėgos matavimo ribos: 0,2–20 N.
- Jėgos matavimo tikslumas: $\pm 0,2$ N.
- Jėgos matavimo paklaida: 3%.

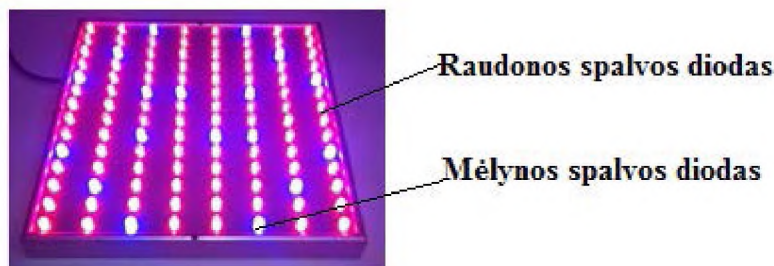
2.2.1. Šviesos diodų apšvietimo lempa

Jau keletą dešimtmečių ieškoma būdų, kaip šviesa kryptingai valdyti augalų fotofiziologinius procesus ir nukreipti juos augalininkystei naudinga linkme. Dauguma šios krypties darbų yra atlikta tiriant šviesos spektrinės sudėties įtaką minėtiems procesams.

Įprasti šiltnamių šviestuvai gaminami su kaitinamosiomis ir išlydžio lempomis. Esminiai tokių įtaisų trūkumai yra ribotas spindulinis našumas, trumpa eksploatacijos trukmė, nereguliuojama spinduliuotės spektrinė sudėtis bei nepageidaujama infraraudonoji spinduliuotė, kuri pažeidžia mikroklimatą ir neigiamai veikia fiziologinius procesus. Aukšta darbo įtampa apsunkina kompiuterizuotą valdymą ir kelia pavojų aptarnaujančiajam personalui. Be to, visos išlydžio lempos turi gyvsidabrio, taigi jų utilizavimas yra didelė aplinkosaugos problema. Kaip alternatyva, pastaraisiais metais sparčiai plėtojasi augalų apšvietimo technologija, besiremianti kietakūniais šaltiniais – šviesos diodais. Šiems prietaisams yra būdingas didelis spindulinis našumas, ilgaamžiškumas, greitaveika, maži matmenys, patikimumas, žema maitinimo įtampa (Žukauskas *et al.*, 2004).

Pasirinktas šviestuvas „Vanesun DO 30“, kurį sudaro:

- Šviesos diodai (mėlynos spalvos šviesai emituoti) „Sgrow TC8“ (22 vnt.), turintys 453 nm šviesos bangos ilgį.
- Šviesos diodai (raudonos spalvos šviesai emituoti) „Sgrow TH12“ (90 vnt.), turintys 640 nm šviesos bangos ilgį;



2.12 pav. „Vanesun DO 30“ šviesos diodų šviestuvas

Suminė gamintojo deklaruojama šviestuvo galia: 35W.

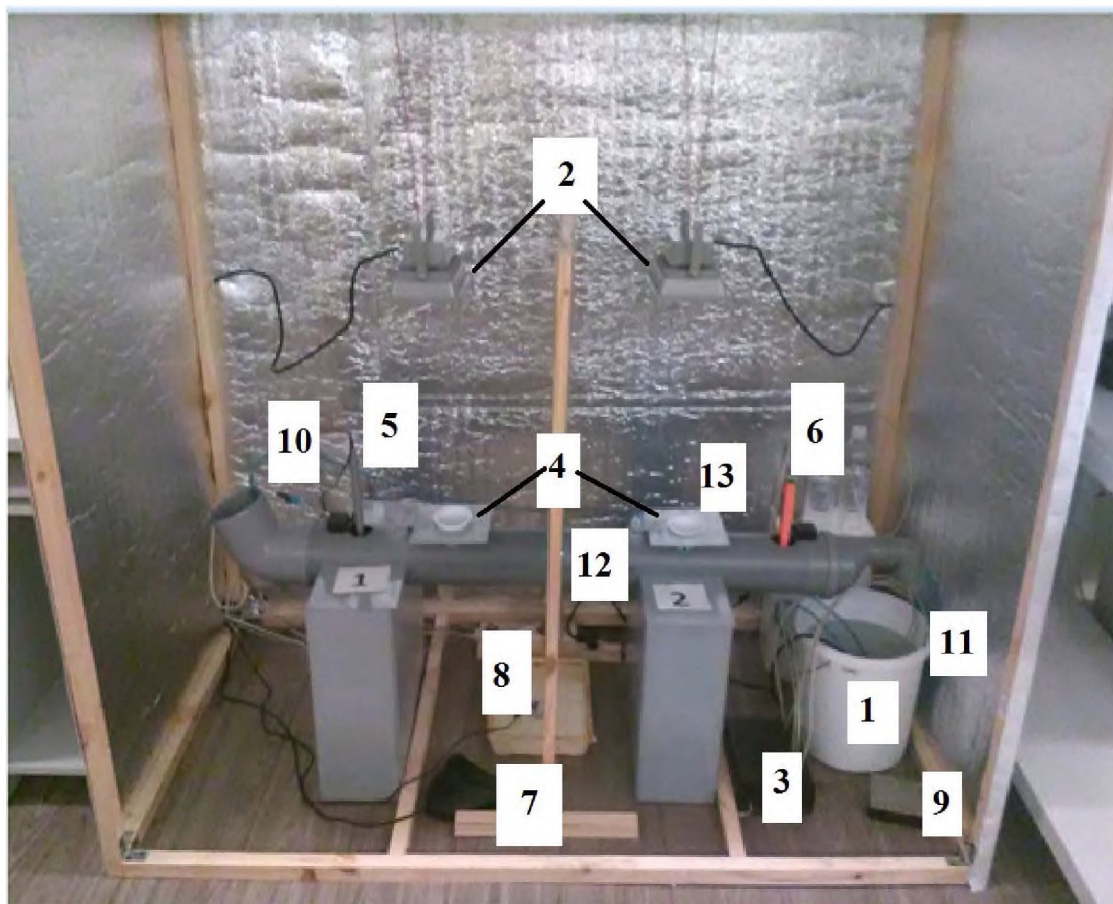
2.2.1. Eksperimentinio tyrimo stendas

Eksperimentinio tyrimo stendas susideda iš šių dalių:

- Vandens tirpalo rezervuaras (2.13 pav. 1) – jame dozuojamos trąšos, rūgštinamas, bei šarminamas tirpalas.
- Šviestuvai, emituojantys raudonos ir mėlynos spalvos šviesos spektro dalis (2.13 pav. 2).
- Dozatorius, dozuojantis trąšas, rūgštį ir šarmą (2.13 pav. 3).
- Bandinių vazonai (2.13 pav. 4).
- Rūgštingumo (pH) jutiklis (2.13 pav. 5).
- Elektrinio laidumo matuoklis (2.13 pav. 6).
- Šildytuvas (2.13 pav. 7).
- Drėkintuvas (2.13 pav. 8).
- Oro pompa (2.13 pav. 9).
- Aplinkos temperatūros ir drėgmės jutiklis (2.13 pav. 10).
- Vandens pompa (2.13 pav. 11).
- Vamzdis tekančiam tirpalui (2.13 pav. 12).
- Jėgos jutiklis, skirtas augalo masei matuoti (2.13 pav. 13).

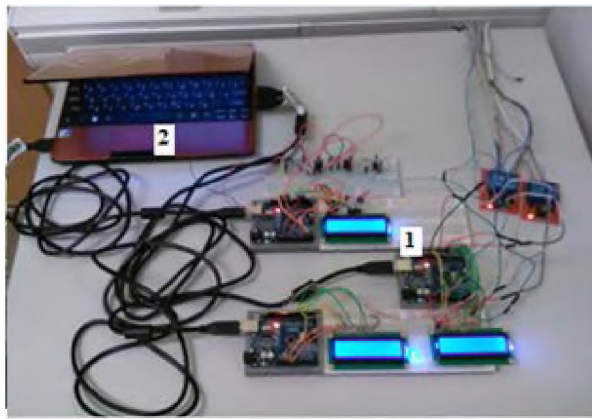
Vandens tirpalo rezervuare esanti pompa pumpuoja tirpalą į vamzdžio pradžią. Vamzdis yra pakrypęs, todėl vanduo prabėgęs pro augalų šaknis grįžta į rezervuarą, iš kur vėl pompos pagalba yra

keliamas į vamzdžio pradžią – taip yra užtikrinamas nuolatinis vandens tirpalo cirkuliacijos ciklas. Rūgštingumo (pH) ir vandens laidumo matuokliai kas 12 valandų matuoja parodymus ir esant būtinybei pagal mechatroninės sistemos statinių parametrų rinkio nustatymus dozuoja atitinkamai trąšas, rūgštį ar šarmą. Temperatūros ir drėgnumo parodymai nuskaitomi kas 30 sekundžių ir koreguojami šildytuvo bei drėkintuvo pagalba. Augalo masės pokytis stebimas kas valandą. Apšvietos srautas keičiamas tolygiai per 12-os valandų aktyvaus fotoperiodo ciklą pagal mechatroninės sistemos dinaminių parametrų rinkinį.

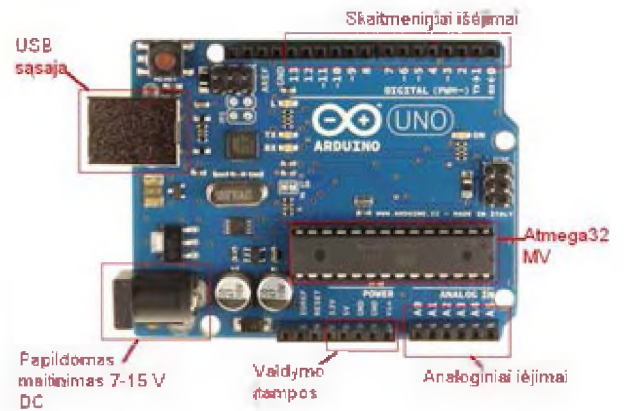


2.13 pav. Eksperimentinio tyrimo stendas: 1-vandens tirpalo rezervuaras; 2- šviesos diodų šviestuvai; 3-dozatorius; 4-bandinių vazonai; 5-rūgštingumo (pH) jutiklis; 6-elektrinio laidumo matuoklis; 7-šildytuvas; 8-drėkintuvas; 9-oro pompa; 10-aplinkos temperatūros ir drėgmės jutiklis; 11-vandens pompa; 12-vamzdis tekančiam tirpalui; 13- jėgos jutiklis

Stendo valdymo ir monitoringo sistema realizuota panaudojant „Arduino UNO“ valdiklį, kuris vadovaudamasis surinkta informacija iš jutiklių pagal užduotus parametrus valdė vykdyklus ir įrašinėjo gautus duomenis į kaupiklį.



a



b

2.14 pav. Tyrimo stendo valdymo ir monitoringo sistema: a: 1-valdiklis; 2-kompiuteris; b- „Arduino UNO“ programuojamas loginis valdiklis

Pagrindiniai parinkto programuojamo loginio valdiklio „Arduino UNO“ parametrai:

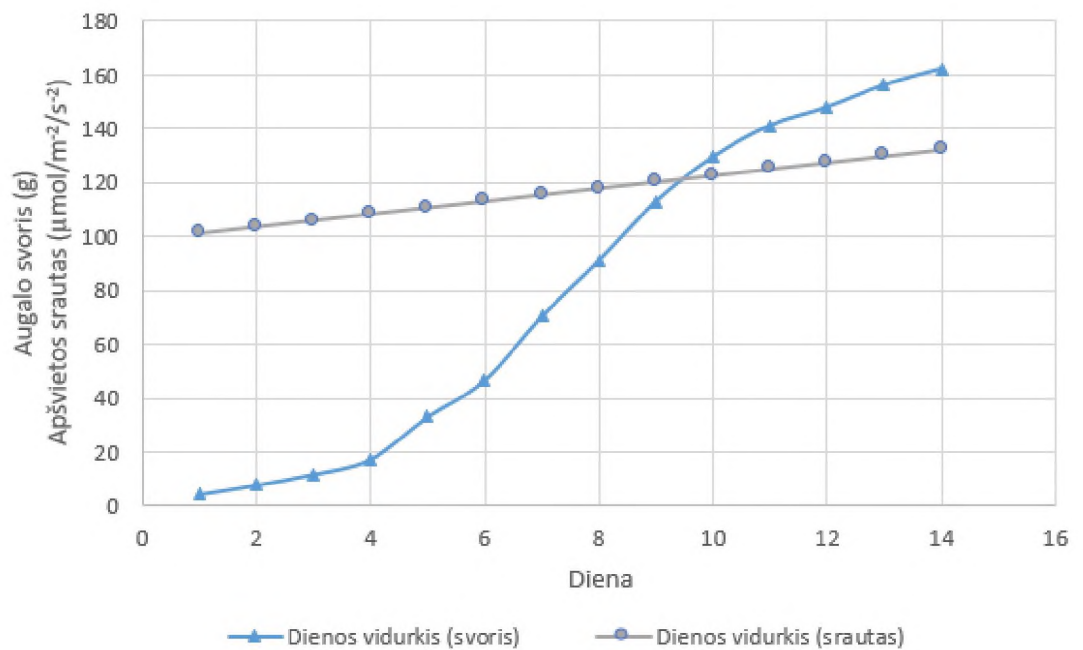
- Mikrovaldiklis: ATmega328.
- Darbinė įtampa: 5V.
- Rekomenduojama įėjimo įtampa: 7–12V.
- Maksimali įėjimo įtampa: 6–20V.
- Skaitmeninių įėjimo/išėjimo lizdų skaičius: 14 (6 iš jų gali būti IPM išėjimais).
- Analoginių įėjimų skaičius: 6.
- Nuolatinės įtampos skaitmeninių įėjimų/išėjimų leidžiama srovė: 40 mA.
- Flash atmintinė: 32 KB (ATmega328) iš kurios 0.5 KB naudojami įkrovos programai.
- Taktinis darbinis dažnis: 16 MHz.

2.4. Eksperimentinių tyrimų rezultatai ir analizė

Pateikiami pirmojo eksperimentinio tyrimo rezultatai:

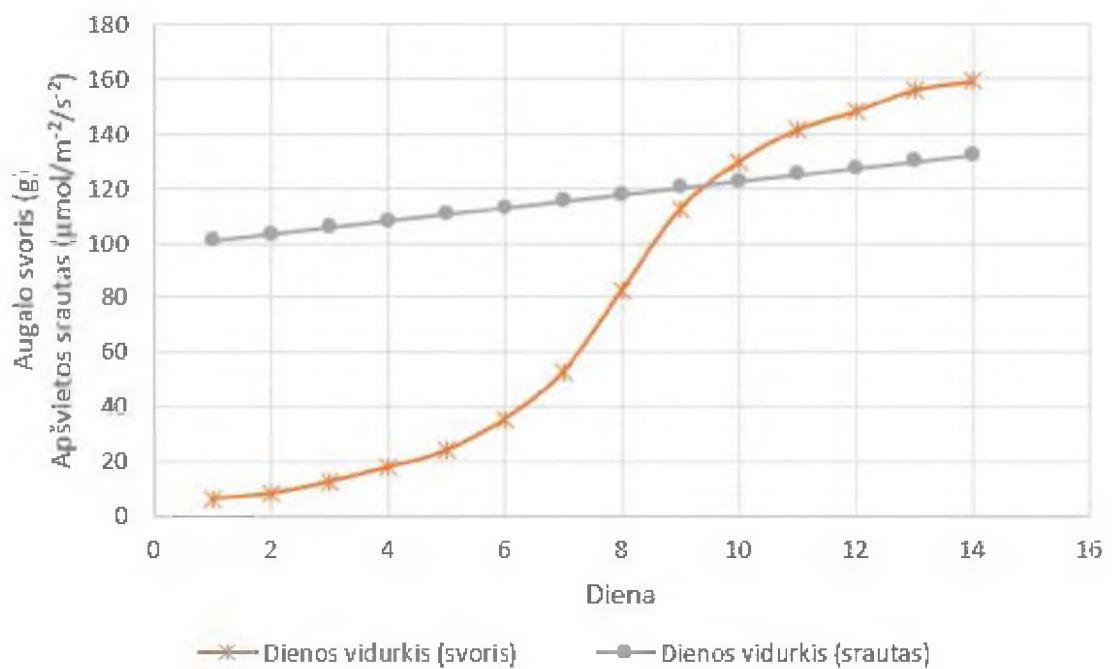
2.1 lentelė. Pirmojo ir antrojo bandinių nuotraukos, kai R:B=5:1

(Diena)/apšvietos intensyvumas	1 bandinys	2 bandinys
(1-a diena)/100 $\mu\text{mol}/\text{m}^{-2}/\text{s}^{-2}$		
(5-a diena) 110,8 $\mu\text{mol}/\text{m}^{-2}/\text{s}^{-2}$		
(10-a diena) 122 $\mu\text{mol}/\text{m}^{-2}/\text{s}^{-2}$		
(14-a diena) 132,4 $\mu\text{mol}/\text{m}^{-2}/\text{s}^{-2}$		



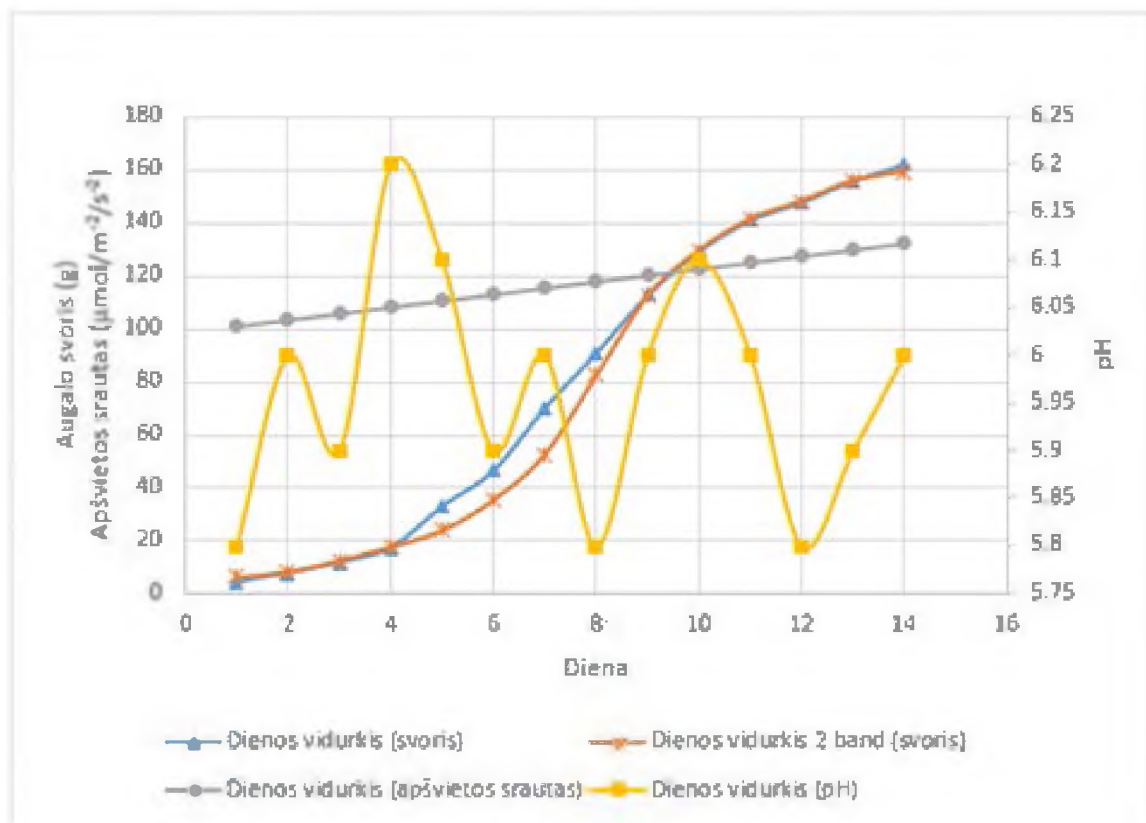
2.15 pav. Pirmojo bandinio svorio prieaugis pagal apšvitos srautą, kai R:B=5:1

- Auginimo laikas: 14 dienų.
- Maksimalus svoris – 160 g.
- Greičiausias svorio prieaugis: 4-10 dienomis.



2.16 pav. Antrojo bandinio svorio prieaugis pagal apšvitos srautą, kai R:B=5:1

- Auginimo laikas: 14 dienų.
- Maksimalus svoris – 157 g.
- Greičiausias svorio prieaugis: 4-10 dienomis.

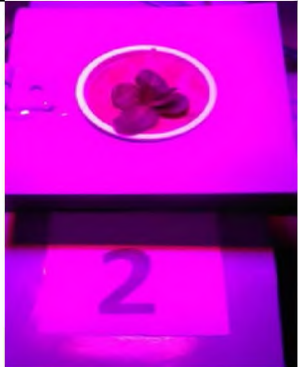


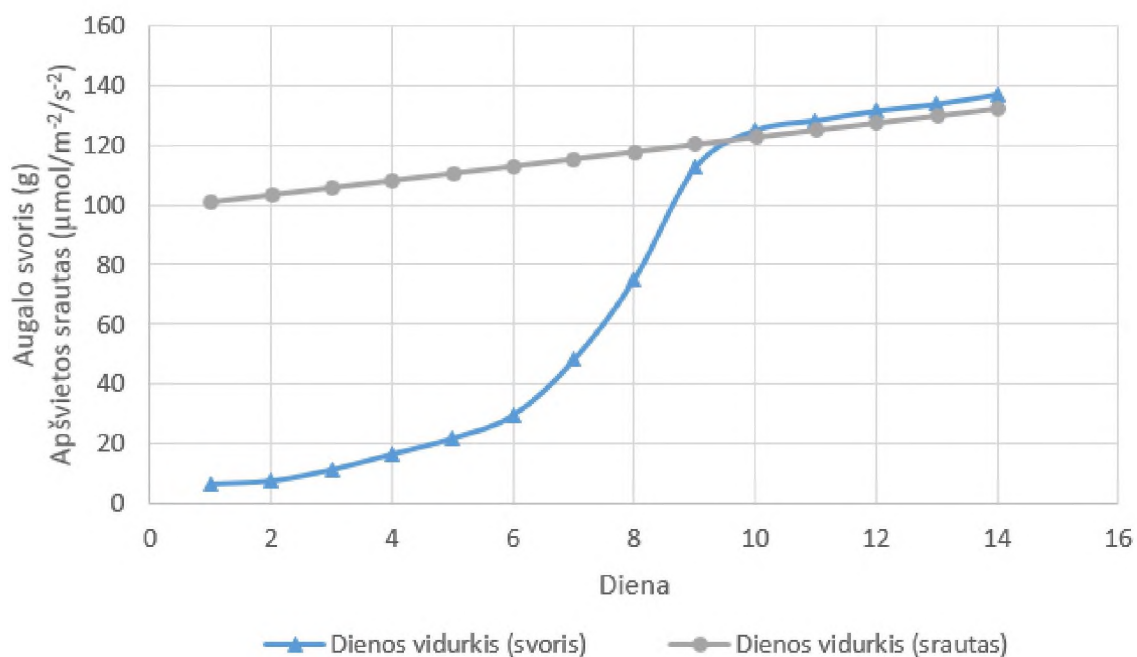
2.17 pav. Pirmojo eksperimentinio tyrimo rezultatai, kai R:B=5:1

Esant apšvietimo spalvų santykiui 5:1 (2.17 pav.) pirmasis bandinys išaugino 160 g. svorį, didžiausias svorio prieaugis stebimas 4-10 augimo tyrimo stende dienomis, antrojo bandinio svoris auginimo pabaigoje – 157 g., sparčiausias svorio prieaugis taip pat stebimas 4-10 augimo tyrimo stende dienomis. pH lygis koreliavo ties minimalia 5,8 ir maksimalia 6,2 riba, išlaikydamas tinkamą vidutinę ribą – 6.

Pateikiami antrojo eksperimentinio tyrimo rezultatai:

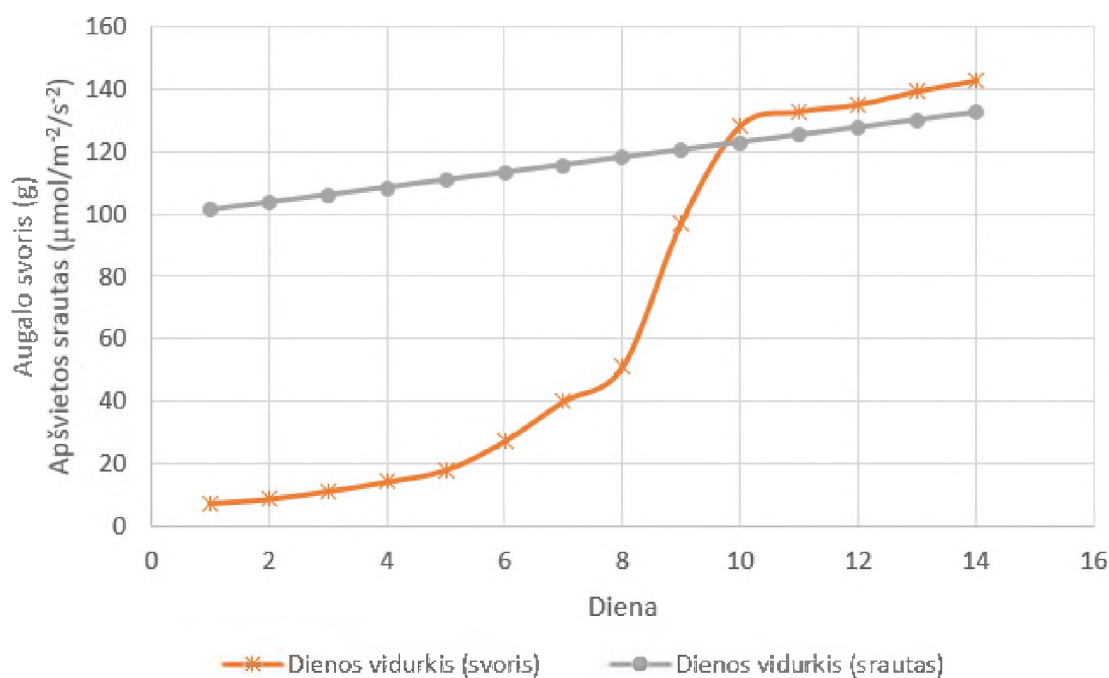
2.2 lentelė. Pirmojo ir antrojo bandinių nuotraukos, kai R:B=10:1

Diena/apšvietos intensyvumas	1 bandinys	2 bandinys
(1-a diena) $100 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}^{-2}$		
(5-a diena) $110,8 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}^{-2}$		
(10-a diena) $122 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}^{-2}$		
(14-a diena) $132,4 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}^{-2}$		



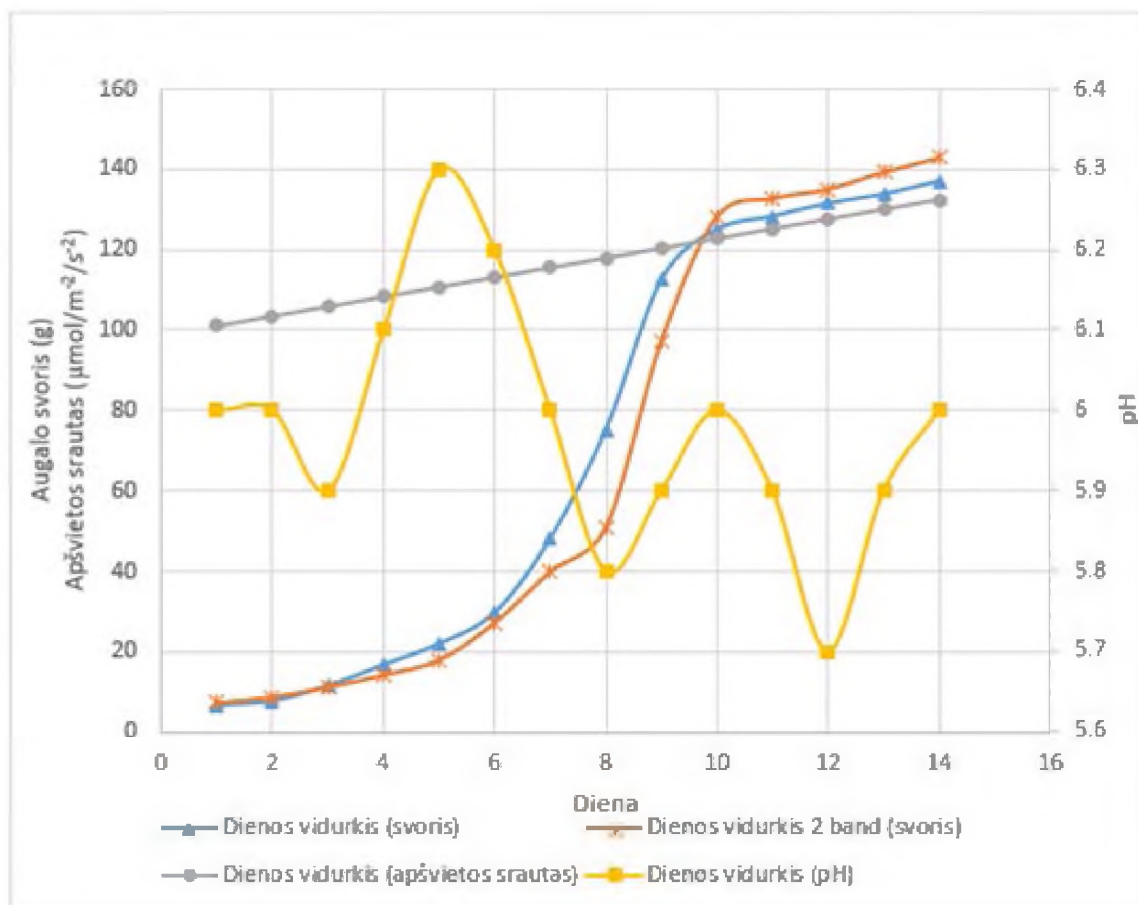
2.18 pav. Pirmojo bandinio svorio prieaugis pagal apšvitos srautą, kai R:B=10:1

- Auginimo laikas: 14 dienų.
- Maksimalus svoris – 137 g.
- Greičiausias svorio prieaugis 5-9 dienomis.
- Nuo 10 dienos stebima tiesioginė svorio augimo priklausomybė nuo apšvitos srauto – $128,8 - 132,3 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}^2$.



2.19 pav. Antrojo bandinio svorio prieaugis pagal apšvitos srautą, kai R:B=10:1

- Auginimo laikas: 14 dienų.
- Maksimalus svoris – 135 g.
- Greičiausias svorio prieaugis 5-9 dienomis.
- Nuo 10 dienos stebima tiesioginė svorio augimo priklausomybė nuo apšvietos srauto – $123 - 132,3 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}^2$.

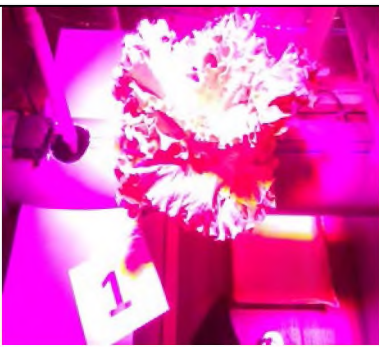
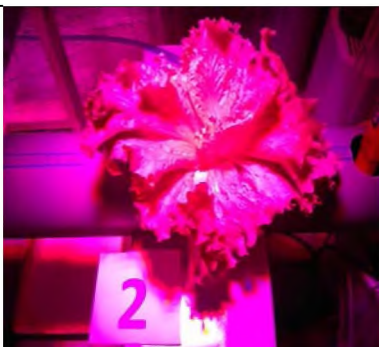
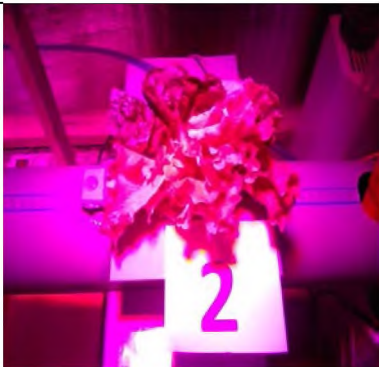


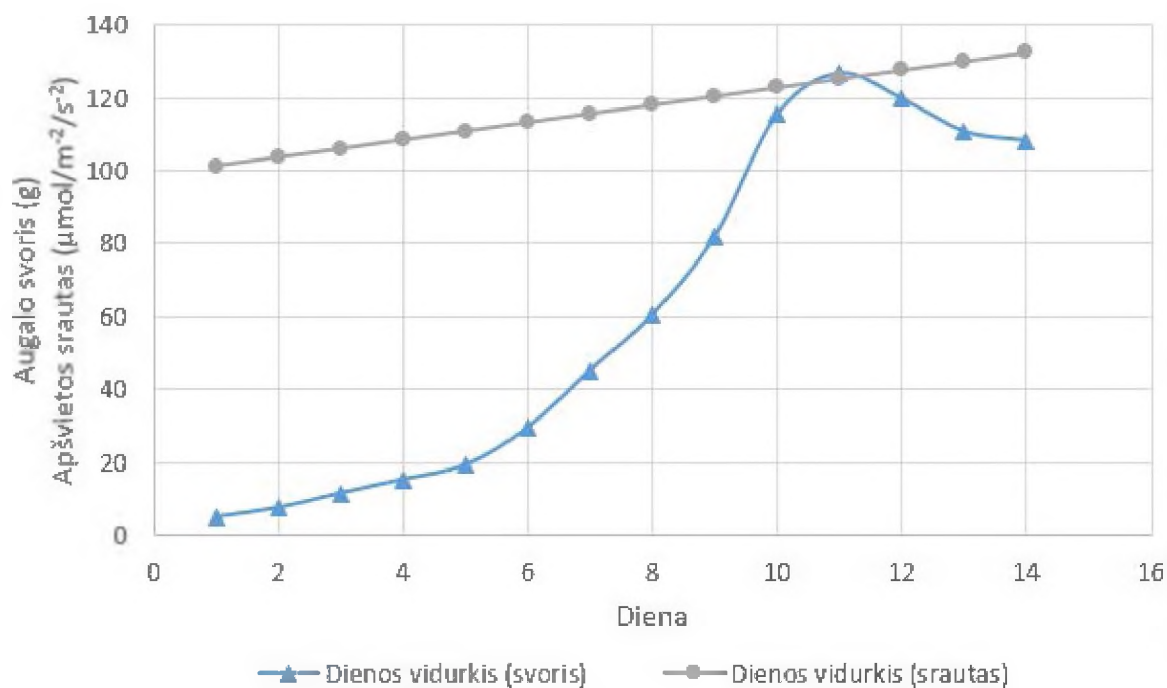
2.20 pav. Antrojo eksperimentinio tyrimo rezultatai, kai R:B=10:1

Esant apšvietimo spalvų santykiui 10:1 (2.20 pav.) pirmasis bandinys išaugino 137 g. svorį, didžiausias svorio prieaugis stebimas 6-9 augimo tyrimo stende dienomis, antrojo bandinio svoris auginimo pabaigoje – 141 g., sparčiausias svorio prieaugis stebimas 6-10 augimo tyrimo stende dienomis. Taip pats abiem bandiniams pastebėta 10-14 augimo stende dienomis atsiradusi tiesioginė priklausomybė nuo tolydžiai didinamo apšvietos srauto, ribose tarp 120 ir $135 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}^2$. pH lygis koreliavo ties minimalia 5,7 ir maksimalia 6,3 riba, išlaikydamas tinkamą vidutinę ribą – 6.

Pateikiami trečiojo eksperimentinio tyrimo rezultatai:

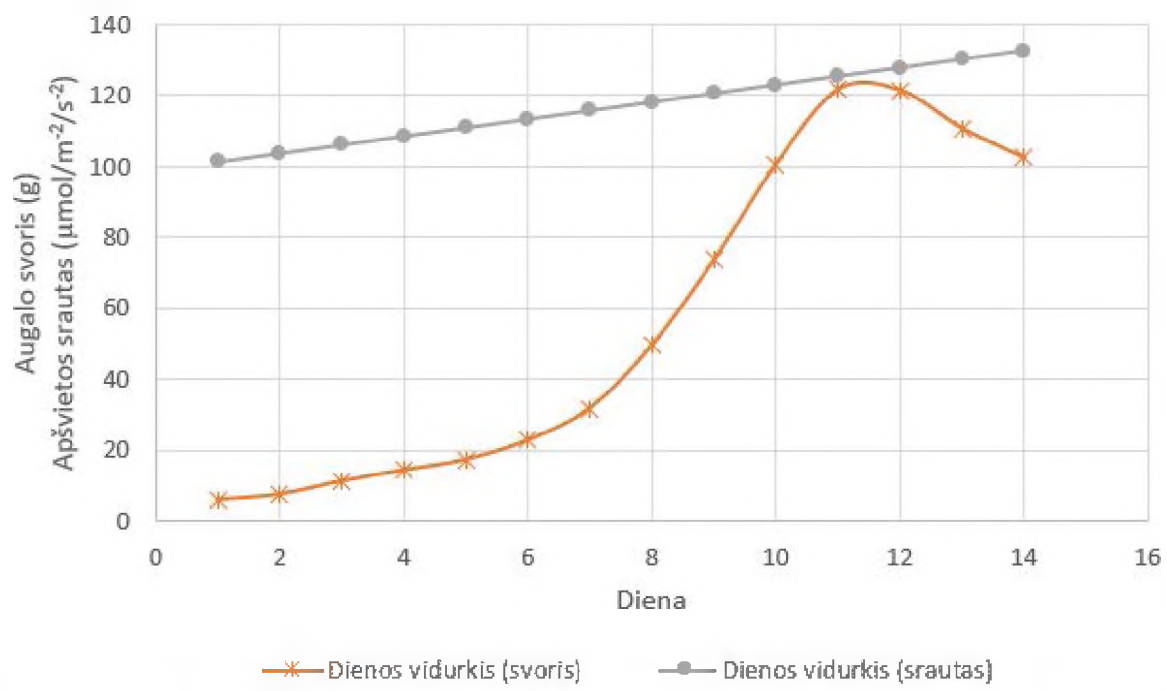
2.3 lentelė. Pirmojo ir antrojo bandinių nuotraukos, kai R:B=19:1

Diena/apšvietos intensyvumas	1 bandinys	2 bandinys
(1-a diena) $100 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}^{-2}$		
(5-a diena) $110,8 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}^{-2}$		
(10-a diena) $122 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}^{-2}$		
(14-a diena) $132,4 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}^{-2}$		



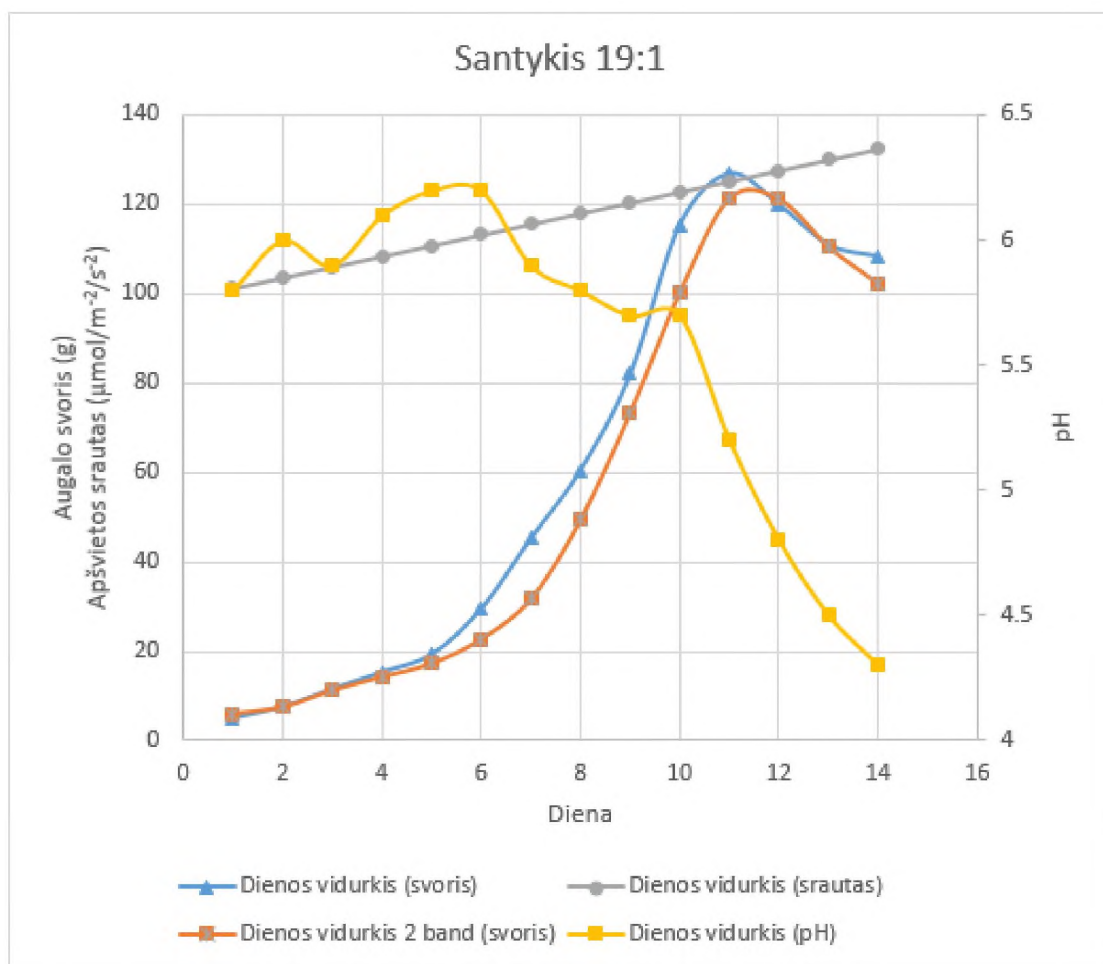
2.21 pav. Pirmojo bandinio svorio prieaugis pagal apšvitos srautą, kai R:B=19:1

- Auginimo laikas: 14 dienų.
- Maksimalus svoris – 130 g.
- Greičiausias svorio prieaugis 5-11 dienomis.



2.22 pav. Antrojo bandinio svorio prieaugis pagal apšvitos srautą, kai R:B=19:1

- Auginimo laikas: 14 dienų.
- Maksimalus svoris – 127 g.
- Greičiausias svorio prieaugis 7-11 dienomis.



2.23 pav. Trečiojo eksperimentinio tyrimo rezultatai, kai R:B=19:1

Esant apšvietimo spalvų santykiui 19:1 (2.23 pav.) pirmasis bandinys išaugino maksimalų 130 g. svorį, didžiausias svorio prieaugis stebimas 5-11 augimo tyrimo stende dienomis, antrojo bandinio maksimalus pasiektas svoris – 122 g., sparčiausias svorio prieaugis stebimas 5-11 augimo tyrimo stende dienomis. Taip pats abiejų bandinių po 11 augimo stende dienos masė ėmė nykti, 11-tą dieną apšvietos srautas buvo pasiekęs $125,2 \mu\text{mol/m}^2/\text{s}^2$ ribą. 1-10 augalo augimo dienomis pH lygis koreliavo ties priimtina minimalia 5,7 ir maksimalia 6,2 riba, tačiau po dešimtos dienos ėmė kristi iki 4,3, indikuodamas, jog vandens tirpalas ėmė rūgštėti. Pastarasis eksperimentas buvo pakartotas du kartus, siekiant eliminuoti tirpalo užterštumo faktorių, tačiau ir antrasis bandymas davė panašius rezultatus, kas nurodo, jog augalų masės kritimas buvo įtakotas netinkamo raudonos/mėlynos spalvos santykio, esant $125,2 \mu\text{mol/m}^2/\text{s}^2$ ir didesniai šviesos srautui.

IŠVADOS

Šiuo eksperimentu buvo siekiama ištirti augalo (salotos) augimo dinamikos priklausomybę nuo mechatroninės sistemos parametrų, siekiant nustatyti optimalius sistemos parametrus išgaunant maksimalią augalo užaugintos biomasės kiekybę kontroliuojant augalo augimą.

- Išanalizuota mokslinė literatūra, kurioje nagrinėjama problematika susijusi su augalo auginimo aplinka ir auginimo proceso automatizavimu. Nustatyta, kad šviesos spektras ir fotosintetiškai aktyvi spinduliuotė yra vieni iš svarbiausių augimo aplinkos veiksnių, lemiančių augalų vystymąsi. Augalo augimui reikalingiausios šviesos spektro dedamosios yra raudona šviesa, kurios bangos ilgis yra 600–800 nm ir mėlyna šviesa, kurios bangos ilgis yra 440–460 nm. Taikytinas fotosintetiškai aktyvios spinduliuotės dydis yra $100\text{--}135\ \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}^2$.
- Dėl nesudėtingo augalo auginimo proceso automatizavimo parinkta augalo šaknų augimo vieta – hidroponinė terpė veikianti „maistinių medžiagų tąsos“ principu.
- Sudaryta eksperimentinio tyrimo metodika, kuri apima tris atskirus eksperimentinius tyrimus, turinčius individualius parametrų rinkinius, susidedančius iš statinių ir dinaminių mechatroninės sistemos parametrų.
- Pagamintas tyrimo stendas – augalo augimo aplinka, valdoma mechatronine sistema, parinkti tinkami jutikliai ir vykdikliai: „Vernier CT-1003“ elektrocheminis rūgštingumo (pH) jutiklis; „Extech instruments EC150“ elektrinio laidumo matuoklis; „DHT22“ temperatūros ir drėgmės jutiklis; „FSR 402“ jėgos jutiklis; „Vanesun DO30“ LED augalų apšvietimo lempa. Stende vienu metu auga du bandiniai vienodimis sąlygomis;
- Optimaliausias augalo auginimui reikalingas raudonos ir mėlynos šviesų santykis yra 5:1, siekiant išauginti didžiausią masę. Šio eksperimento metu salota išaugo iki 160 g;
- Visų trijų eksperimentų metu, nepriklausomai nuo raudonos/mėlynos šviesos santykio augalai sparčiausiai augino biomasę vidutiniškai 5-9 augimo tyrimo stende dienomis, kuomet apšvietos srautas buvo tarpe tarp $110,8 - 121\ \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}^2$;
- Antrojo eksperimento metu stebima priklausomybė (raudonos/mėlynos spalvų santykis 10:1), kuomet po nuo 10 augimo stende dienos abiejų bandinių masė ėmė tolygiai didėti su apšvietos srautu, ribose nuo 120 iki $135\ \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}^2$. Pastarasis reiškinys ateityje leistų tiesiogiai kontroliuoti augalo auginamą biomasę mechatroninei sistemai keičiant apšvietos srautą;
- Trečiojo eksperimento metu (raudonos/mėlynos spalvų santykis 19:1) abiejų bandinių po 11 augimo stende dienos masė ėmė nykti, 11-tą dieną apšvietos srautas buvo pasiekęs $125,2\ \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}^2$ ribą, kuri yra kritinė esant minėtam spalvų santykiui.

LITERATŪROS SĄRAŠAS

- Adams, S.; Allen, T.; Whitlam, G.C. 2009. Interactions between the light quality and flowering time. *The Plant Journal* 60: 257–267.
- Baroli, I.; Price, G. D.; Badger, M. R.; Caemmerer, S. 2008. The Contribution of Photosynthesis to the Red Light. *Plant Physiology* 146: 737–747.
- Barta, D. J.; Tibbits, T. W.; Bula, R. J.; Morrow, R. C. 1992. Evaluation of light emitting diode characteristics for a space-based plant irradiation source. *Advanced Space Research* 12: 141–149.
- Berry, W.; Knight, S. 2007. Plant culture in Hydroponics. *Scientific day* 7(8): 113–119.
- Bliznikas, Z.; Breivė K.; Novičkovas, A.; Vitta, P.; Žukauska, A.; Duchovskis, P. 2009. Solid-state lamp for the improvement of nutritional quality of leafy vegetables. *Electronics and Electrical Engineering* 8; 47–50.
- Bourget, C. M. 2008. An introduction to light-emitting diodes. *HortScience* 43: 1944–1946.
- Braunack, M. V. 1996. The residual effects of tracked vehicles on soil surface properties. *Journal of Terramechanics* 23(1): 37–50.
- Brentlinger, D. J. 2007. New trends in hydroponic crop production in the U.S. *Acta Horticulturae* 742: 31–33.
- Bula, R. J.; Morrow, R. C.; Tibbits T. W.; Barta R. W.; Ignatius, R. W.; Martin, T.S. 1991. Light emitting diodes as a radiation source for plants. *HortScience* 26: 203–205.
- Demšar, J.; Osvald, J.; Vodnik, D. 2004. The effect of light-dependent application of nitrate on the growth of aeroponically grown lettuce (*Lactuca sativa* L). *Journal of the American Society for Horticultural Science* 129: 570–575.
- Devlin, P. F.; Christie, J. M.; Terry, M. J. 2007. Many Hands make light work. *Journal of Experimental Botany* 58: 3071–3077.
- Giles *et al.* 2004. Herbicide Micro-dosing for Weed Control in Field Grown Processing Tomatoes. *Agric.* 20: 735–743.
- Goins, G. D.; Ruffe, L. M.; Cranston, N. A.; Yorio, N. C.; Wheeler, R. M.; Sager, J. C. 2001. Salad crop production under different wavelengths of red light-emitting diodes (LEDs). *SAE Technical Paper, 31st International Conference on Environmental Systems, July 9–12, 2001, Orlando, Florida, USA*: 1–9.

- Grau, J. B. *et al.* 2009. Sustainable Agriculture using an Intelligent Mechatronic System. *MSTU* 2:102–109.
- Grundy, A. 2006. Mechanical weed control for integrated and organic salad and brassica production. *Annual Project Report*.
- Hague, T.; Tillett, N. D. 2001. A bandpass filter approach to crop row location and tracking. *Mechatronics* 11(1): 1–12.
- Jackson, S. D. 2009. Plant responses to photoperiod. *New Phytologist* 181: 517–531.
- Jones, J. B. 2004. Hydroponics: A Practical Guide for the Soilless Grower, 2nd. *Edn Boca Raton, FL: CRC Press*.
- Keith, R. 2003. How to Hydroponics 4th Edition. *The Future garden press* 59.
- Kim, H. H.; Goins, G. D.; Wheeler, R. M.; Sager, J. C. 2004. Green light supplementation for enhanced lettuce growth under red- and blue- light-emitting diodes. *HortScience* 39: 1617–1622.
- Li, Q.; Kubota, C. 2009. Effects of supplemental light quality on growth and phytochemicals of baby leaf lettuce. *Environmental and Experimental Botany* 67: 59–64.
- Linhares, B.; Sharifa, H.; Rahemi, H. 2009. Agricultural Improvements Through Mechatronics [interaktyvus]. *Middle atlantic* [žiūrėta 2018 m. vasario 2 d.]. Prieiga per internetą: <https://www.asee.org/documents/sections/middle-atlantic/fall-2009/01-Agricultural-Improvements-Through-Mechatronics.pdf>
- Lofkvist, K.; Larsen, R.; Englund, J. E.; Alsanius, B. W. 2009. Light integral as an indicator of water use in commercial greenhouse nurseries. *Acta Agriculturae Scandinavica. Section B. Soil and Plant Science* 59: 326–334.
- Myron, L. 2008. Application Bulletin Hydroponics [interaktyvus]. [žiūrėta 2018 m. kovo 8 d.]. Prieiga per internetą: http://www.myronl.com/PDF/application_bulletins/hp_ab.pdf
- Razali, M. H. H.; Noor, N. A. M.; Hamdan, H. I. 2012. Mechatronic Application for Agriculture Mechanization Analysis and Education. *Software Engineering* 2(4): 106–111.
- Sase, S.; Ikeda H.; Takezono, T. 1988. Plant production in the artificial environment. *Acta Hort.* 230 323–328. 10.17660/ActaHortic.1988.230.42.
- Sogaard, H.T.; Lund, I. 2005. Investigation of the Accuracy of a Machine Vision Based Robotic Micro Spray System. *Proc. of the Fifth Eur. Conf. on Precision Agriculture, Uppsala, Sweden*.

- Tillett, N. D.; Hague, T. 2006. Increasing work rate in vision guided precision banded operations. *Biosystems engineering* 8: 110-115.
- Urbonavičiūtė, A. 2004. Fotofiziologiniai efektai metabolitų dinamikai žalumyninėse daržovėse ir želmenyse. *Daktaro disertacija*.
- Wade, Berry; Knight, Sharon. 2007. Plant Culture in Hydroponics. *Hortic Culture*. 83:113-119.
- William, M. 2001. Make Way to Robocrop. *Grower* 9: 1–10.
- Žukauskas, A. *et al.* 2004. Pუსlaidininkinė lempa augalų fotofiziologiniams procesams tirti. *Elektronika ir elektrotechnika*. 7(56):74-79.

PRIEDAI

1 PRIEDAS

AUGALO AUGIMO DINAMIKOS PRIKLAUSOMYBĖS NUO MECHATRONINĖS SISTEMOS PARAMETRŲ TYRIMAS

Paulius ŠAKALYS¹, Vytautas BUČINSKAS², Tomas KASPERAVIČIUS³

¹*Mechatronikos, Robotikos ir Skaitmeninės gamybos katedra, Mechanikos fakultetas, Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Vilnius, Lietuva*

²*Mechatronikos, Robotikos ir Skaitmeninės gamybos katedra, Mechanikos fakultetas, Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Vilnius, Lietuva*

³*Elektronikos katedra, Elektronikos ir Informatikos fakultetas, Vilniaus Kolegija, Vilnius, Lietuva*

El. paštai: ¹p.sakalys@eif.viko.lt; ²vytautas.bucinskas@vgtu.lt; ³t.kasperavicius@eif.viko.lt

Santrauka. Atliktas tyrimas apjungia dvi mokslo sritis – mechatroniką ir augalininkystę. Tyrimo tikslas nustatyti augalo augimo dinamikos priklausomybę nuo mechatroninės sistemos parametrų, kuomet augalas auga vandens tirpale, esant ribotam apšvietimo spektrui. Straipsnyje apžvelgiamos agromatikos ir agronikos sąvokos, remiantis mokslinė literatūra ir atliktais panašiais tyrimais aprašomas eksperimentinių tyrimų planas, aptariami tyrimų rezultatai, pateikiamos išvados.

Reikšminiai žodžiai: mechatronika, hidroponika, agronika, agromatika, apšvietos srautas.

1. Įvadas

Didėjant žmonių skaičiui pasaulyje vis aktualesnė tampa maitinimosi problema. Pagrindinės demografinės žmonių gyvenimo zonos yra miestai. Didžioji dalis žmogaus mitybai reikalingų augalinės kilmės medžiagų yra auginama ir apdirbama geografiškai toli nuo miestų nutolusiose vietovėse, kas dažnu atveju sukelia logistines problemas, bei smarkiai pakelia maisto produktų kainą galutiniam vartotojui. Atsižvelgiant į susidariusios padėties problematiką yra tikslinga augalinės kilmės maisto produktų auginimą ir tolimesnį apdirbimą perkelti į tikslinę zoną – miestus. Vienintelė priežastis, įgalinanti auginti augalus nutolusiose vietovėse yra dideli dirvožemių plotai ir netrukdomas apšviestumas.

XXI amžiuje visoje pramonėje, tuo pačiu ir maisto pramonėje egzistuoja vis didesnis procesų automatizavimas, kuris yra kreipiamas link pilno autonomiškumo (Li, 2009). Atsiranda agrokultūrinės mechatronikos arba agro-mechatronikos sąvoka. Pati mechatronika nėra nauja inžinerinė kryptis, tai daugiau sąvoka apjungianti skirtingas inžinerines kryptis. Mechatronika – tai sinergetinis mechanikos, precizinių mašinų gamybos, elektronikos, automatinio valdymo ir kompiuterinių sistemų derinys, kuriuo siekiama sukurti sudėtingas priemones, padedančias žmonėms veikti per elektroninius procesus (Li, 2009).

Agro-mechatronika yra inovatyvus darinys, aplenkiantis tradicines agrarinės mechanizacijos technologijas ir pagrįstas skirtingų technologinių sričių susijungimu. Toks modelis yra gana yprastas tradicinei mechatronikos sąvokai, tačiau čia papildomai įsiterpia dar dvi sritys: (Razali, 2012)

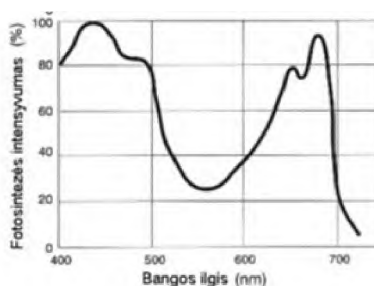
- Agromatika – tai yra kompiuterizuotas žemės ūkio nuostatų ir principų taikymas, skirtas operatyviam problemų diagnozavimui ir alternatyvų paieškai (Sogaard, 2005).
- Agronika – tai telekomunikacijų, kompiuterinių paslaugų, mechanikos ir elektronikos panaudojimas žemės ūkyje ir gyvulininkystėje. (Sogaard, 2005).

Agro-mechatronika pasiekė visas tradicinės gyvulininkystės ir augalininkystės sritis: autonominiai augalus sodinantys traktoriai, automatiniai augalų sodinimo ir persodinimo įrenginiai, automatiniai trąšų dozatoriai, autonominės žoliapjovės, robotai nuimantys derlių ir kt. (Sogaard, 2005). Agro-mechatronika palietė ir augalininkystės šiltnamiuose sritis, kur apjungė kelias kontroliuojamų parametrų rūšis, tokias kaip: temperatūros, drėgmės, pH lygio, trąšų lygio palaikymo (Hague, 2001).

Moksliniams tyrimams žengiant į priekį atrandamos vis kitokios augalų auginimo galimybės. Viena iš naujovių yra hidroponika – augalo auginimas ne dirvožemyje, o uždaro cirkuliacijos ciklo vandens terpėje. Minėta naujovė įgalina augalus auginti keliais aukštais, kas leidžia išspręsti kai kuriuos sunkumus – dingsta didelių dirvožemių plotų, nutolusių nuo miestų poreikis. Atsižvelgiant į apšvietimo problematiką ir remiantis jau atliktais moksliniais tyrimais yra nustatyta, kad augalas skirtingais savo vystymosi periodais reikalauja ne pilno šviesos spektro, o tik tam tikrų griežtai apibrėžtų bangų ruožų, kas savaime įgalina augalą auginti dirbtinės apšvietos terpėje. Apjungus minėtus sprendimus su agro-mechatronikos paralelėmis atsiranda galimybė augalus auginti bet kokioje vietovėje. Tai leistų pilnai automatizuoti augalinės kilmės maisto produktų augimo procesą uždaroje, nepriklausančioje nuo kintančių gamtos sąlygų, aplinkoje. Šio tyrimo tikslas yra ištirti mechatroninės sistemos parametrų palaikymo galimybę, reaguojant į besikeičiančius augalo, augančio vandens ir riboto apšvietos spektro aplinkoje poreikius kiekvienoje augimo stadijoje, siekiant kiek įmanoma mažesnėmis laiko ir energijos sąnaudomis išgauti kuo didesnę augimo kokybę.

2. Šviesos ir šaknų augimo terpės įtaka augalo gyvybiniam procesams

Šviesa augalams – informacijos ir energijos šaltinis, sąlygojantis svarbiausius gyvybinius procesus – fotosintezę, fotomorfogenezę bei medžiagų metabolizmą. Saulė – universalus šviesos šaltinis, evoliucijos metu augalai prisitaikė tiek prie natūraliai kintančio saulės spinduliuotės srauto, tiek prie jos spektrinės sudėties. Žmogaus sukurti dirbtiniai šviesos šaltiniai neprilygsta natūraliems, tačiau jų šviesos parametrai gali būti subalansuoti taip, kad užtikrintų sėkmingą augalo augimą, normalią architektūrą ir vystymąsi (Devlin, 2007). Fotosintezė – pagrindinis augalo gyvybinis procesas, nusakantis produktyvų augalo vystymąsi ir biomasės kaupimą. Augalija yra prisitaikiusi prie natūralaus saulės šviesos spinduliuotės spektro žemės paviršiuje, todėl daugelio augalų poreikius fotosintezei atitinka ~90% raudonosios bangų ilgių srities ir ~10% mėlynosios spektro srities apšvietimo sąlygos (Barta *et al.*, 2010) (2.1 pav.)



2.1 pav. Fotosintezės intensyvumo priklausomybė nuo bangos ilgio

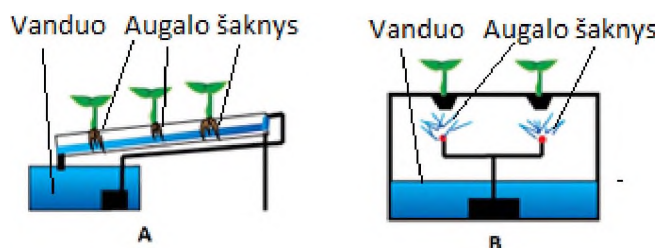
Intensyviose daržininkystės sistemose natūralaus apšvietimo sąlygos dažnai riboja augalų produktyvumą skirtingu metų laiku (Bliznikas *et al.*, 2009). Optimaliai augalų produkcijai ir produkcijos kokybei turi būti užtikrinti tinkami papildomo apšvietimo parametrai, kurie parinkti pagal skirtingų augalų rūšių poreikius skirtingais vystymosi tarpsniais. Žmonės ir augalai šviesą suvokia skirtingai. Žmogus žalią šviesą geriausiai mato, kuomet pikinis bangos ilgis yra 550 nm ir tam yra reikalaujamas visai nedidelis šviesos kiekis. Fotosintezėi augalai naudoja šviesos bangos ilgius tarp 400-700 nm. Šviesos kiekio matavimai, skirti žmogaus suvokimui (liuksai, kandelos, liumenai), negali būti identiška taikytini augalui. (Baroli, 2008). Apžvelgiant su šia tematika susijusią literatūrą, susidurta su sąvoka PAR (*angl. Photosynthetically Active Radiation*). Ši sąvoka nusako šviesos bangos ilgio ruožą, kuris yra taikytinas matuojant šviesos kiekį augalui 400-700 nm. Dydis, skirtas matuoti momentinį šviesos kritimą į augalo paviršių (šviesos kiekis augalui) yra mikromolis į kvadratinį metrą per sekundę ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}^2$). Skirtingiems augalams ir skirtingoms vystymosi fazėms

reikalingas skirtingas šviesos kiekis: augalų dauginimui – 8-12 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$, salotų auginimui – 15-17 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$, pomidorų auginimui – 20-30 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}^2$.

Apibrėžiant šviesos įtaką augalui išskirtini trys būtiniausi parametrai: (Baroli, 2008)

- Šviesos kiekis (PAR) – dar sąvoka žinoma kaip šviesos intensyvumas – tai visas šviesos kiekis, suteiktas augalui (naudotinas fotosintezai). Kuo didesnis šviesos kiekis, tuo daugiau energijos augalas gali skirti fotosintezės vykdymui;
- Šviesos rūšis – sąvoka, besiremianti į elektromagnetinių bangų ilgius. Pavyzdžiui – raudonos spalvos bangos ilgis yra apie 630-700 nm, mėlynos 400-450 nm, ultravioletinės A – 315-400 nm. Augalai reaguoja į skirtingas spalvas keisdami savo augimo formą (fitomorfologiją).
- Šviesos fotoperiodas- augalo dienos periodas (trukmė), vertinamas valandomis, kuomet augalas gauna šviesą. Fotoperiodas įtakoja augalo vystymąsi.

Hidroponika – augalų auginimas deguonimi ir maisto medžiagomis praturtintame vandenyje. Tradicinėje daržininkystėje augalai visų naudingųjų medžiagų gauna iš dirvožemio, hidroponiniame darže tą pačią funkciją atlieka vanduo. Mineralai ir kitos naudingosios medžiagos ištirpinamos vandenyje, o augalų šaknys jas pasiima tiesiogiai, kur kas greičiau jas įsisavindami, kas savaime skatina pagreitintą augalo vystymąsi ir biomasės auginimą. (Sase *et al.* 2009). Išskirtinos dvi dažniausiai naudojamos hidroponikos rūšys: tekančio tirpalo (*angl. NFT – Nutrient Film Technique*) ir aeroponikos. Tekančio tirpalo hidroponinėje modifikacijoje (2.2 pav. A) augalo šaknys nuolatos yra panardintos į tekančio vandens tirpalo srovę. Į pagrindinį rezervuarą yra tiekiamos (dozuojamos) trąšos (maistinės augalo medžiagos) ir pumpuojamas oras, siurblys nuolatos tiekia vandenį į pagrindinę augalų auginimo magistralę, kuria augalo šaknimis pratekėjęs vanduo gryžta į pagrindinį rezervuarą. Aeroponikos (2.2 pav. B) atveju augalo šaknys yra maitinamos oro-lašeline būdu. Augalų šaknys kaba hidroizoliuotoje aplinkoje, kurioje aukšto slėgio pūkštukų pagalba, nustatytais laiko tarpais į aplinką yra išpurškiamas praturtintas vandens tirpalas su oru.



2.2 pav. Tekančio tirpalo (A) ir aeroponikos (B) sistemų struktūros

Tiek hidroponikai skirtos trąšos, tiek trąšos dirvožemyje auginamiems augalams, savo sudėtyje turi trijų būtinų maisto medžiagų – azoto, kalio ir fosforo). Siekiant užtikrinti sklandų hidroponinės sistemos veikimą yra kontroliuotini du pagrindiniai parametrai: vandens rūgštingumas (pH) ir elektrinis vandens laidumas (*angl. TDS – Total Dissolved Solids*), kuris apibrėžia tinkamą mikro ir makro elementų kiekį vandens tirpale ir yra išreiškiamas dydžiu „ppm“ (*angl. parts per million*) (Jones, 2004). Kaip ir apšvietimo atveju skirtingoms augalų rūšims reikalingi skirtingi tirpalo parametrai, vidutiniškai svyruojantys nuo 5,8 iki 6,2 pH ir nuo 1400 iki 1600 ppm.

3. Eksperimentinio tyrimo metodika

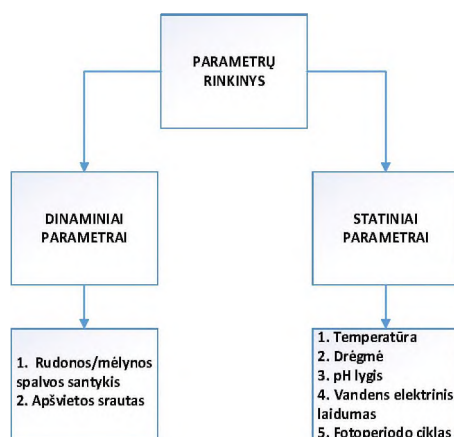
Tyrimas susidaro iš trijų eksperimentų, esant trims skirtingiems mechatroninės sistemos parametrų rinkiniams. Parametrų rinkinai iš esmės mechatroninės augalo augimą kontroliuojančios sistemos valdiklio nustatymai. Kiekviename eksperimente augalui stebėti skiriamos dvi stebėsenos rūšys:

- Augalo augimo dinamikos stebėseną – mechatroninė sistema stebi augalo augimo dinamiką – biomasės prieaugį (augalo svorį).

- Antrinių parametrų stebėseną – stebimi augimo aplinkos temperatūros, drėgmės, lygiai. Jie skirti tik kontroliniam mikroklimato palaikymui. Vandens tirpalo parametrų stebėseną (rūgštingumo ir elektrinio laidumo) – naudojama sklandžiam mechatroninės auginimo sistemos hidroponinės dalies trąšų vandenyje palaikymui, valdant įpylimo dispenserius. Šios stebėsenos duomenys taip pat naudojami pateikiant susistemintus duomenis – paraleliai laiko atžvilgiu kartu su augimo dinamikos duomenimis, siekiant eliminuoti (atmesti) kokybės neatitikimo, neišgavimo faktorių dėl hidropininės sistemos valdymo dalies klaidos.

Eksperimentinis tyrimas vykdomas pagal tokią mechatroninės sistemos parametrų rinkinio sudėtį (3.1

pav.):



3.1 pav. Mechatroninės sistemos parametrų rinkinio sudėtis

Dinaminiai parametrai:

1. Raudonos ir mėlynos šviesos santykis – vykdomi trys eksperimentai, esant tokiems santykiams: 5:1, 10:1, 19:1;
2. Apšvietos srautas (PAR) – kiekvienam spalvos santykiui tolydžiai keičiamas per 14 auginimo dienų (nuo 100 iki 135 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}^2$);

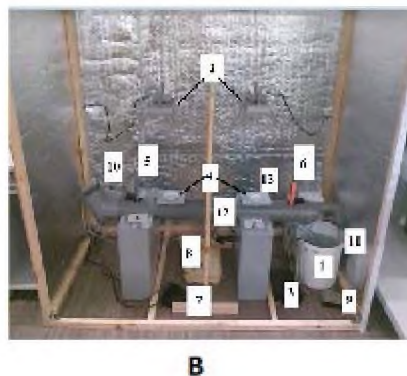
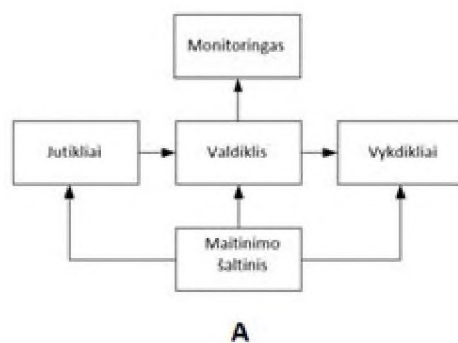
Statiniai parametrai:

1. Temperatūra – 25 C
2. Drėgmė – 50%
3. pH lygis – 6
4. Vandens elektrinis laidumas– 1500 ppm
5. Fotoperiodo ciklas – 12 valandų aktyvaus ir 12 valandų pasyvaus ciklo.

Statiniai parametrai per visą augalo augimo laiką palaikomi artimi nustatyti ribai ir nėra keičiami. Pasirinktas augalas – salota (*lot. lactuca sativa*, rūšis – „Green Leaf“) 14 dienų daiginamas yprastomis sąlygomis žemėje, tuomet 14-ai dienų auginamas tyrimo stende. Vienu metu auginami iš karto du bandiniai esant identiškoms augimo sąlygoms.

Bendroji tyrimo stendo struktūrinė schema (3.2 pav. A) yra standartinė kiekvienai mechatroninei sistemai.

Valdiklis, vadovaudamasis iš jutiklių surinkta informacija, pagal parašytą programos algoritmą valdo vykdyklius, kurie normalizuoja nustatytus programos algoritme valdomo objekto augimo terpės parametrus.

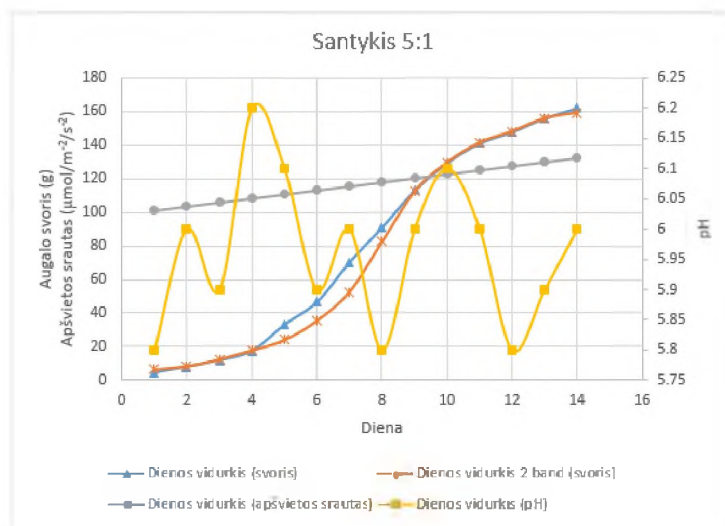


3.2 pav. Tyrimo stendo mechatroninės sistemos struktūrinė schema (A) ir pagamintas tyrimo stendas (B): 1-vandens tirpalo rezervuaras; 2- šviesos diodų šviestuvai; 3-dozatorius; 4-bandinių vazonai; 5-rūgštingumo (pH) jutiklis; 6-elektrinio laidumo matuoklis; 7-šildytuvas; 8-drėkintuvas; 9-oro pompa; 10-aplinkos temperatūros ir drėgmės jutiklis; 11-vandens pompa; 12-vamzdis tekančiam tirpalui; 13- jėgos jutiklis

4. Tyrimo rezultatai

Atliktus eksperimentinius tyrimus, atitinkamai esant raudonos/mėlynos šviesos santykiams 5:1, 10:1 ir 19:1 sudarytos priklausomybių kreivės, iliustruojančios augalo augimo dinamikos (svorio), apšvietimo srauto ir vandens tirpalo rūgštingumo paros vidurkių pakitimus per 14 dienų.

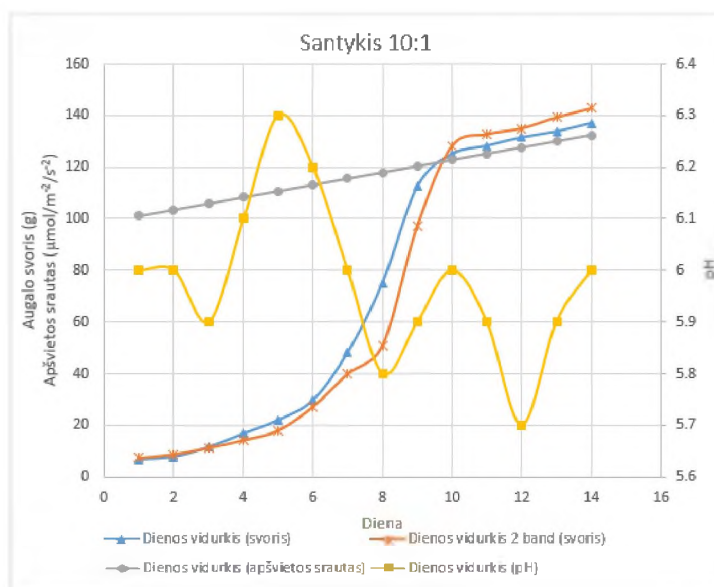
Esant apšvietimo spalvų santykiui 5:1 (4.1 pav.) pirmasis bandinys išaugino 160 g. svorį, didžiausias svorio prieaugis stebimas 4-10 augimo tyrimo stende dienomis, antrojo bandinio svoris auginimo pabaigoje – 157 g., sparčiausias svorio prieaugis taip pat stebimas 4-10 augimo tyrimo stende dienomis. pH lygis koreliavo ties minimalia 5.8 ir maksimalia 6.2 riba, išlaikydamas tinkamą vidutinę ribą – 6.



4.1 pav. Pirmojo eksperimentinio tyrimo rezultatai, esant spalvų santykiui 5:1

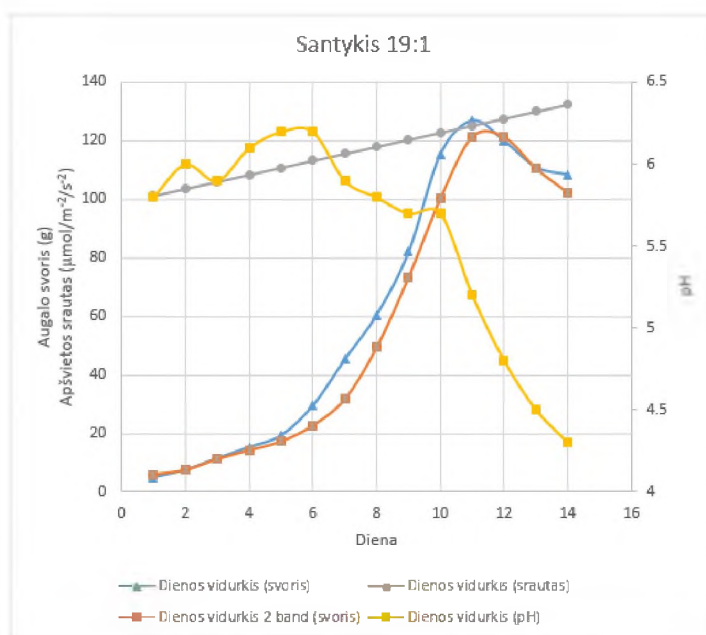
Esant apšvietimo spalvų santykiui 10:1 (4.2 pav.) pirmasis bandinys išaugino 137 g. svorį, didžiausias svorio prieaugis stebimas 6-9 augimo tyrimo stende dienomis, antrojo bandinio svoris auginimo pabaigoje – 141 g., sparčiausias svorio prieaugis stebimas 6-10 augimo tyrimo stende dienomis. Taip pats abiemis bandiniams pastebėta 10-14 augimo

stende dienomis atsiradusi tiesioginė priklausomybė nuo tolydžiai didinamo apšvietos srauto, ribose tarp 120 ir 135 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}^2$. pH lygis koreliavo ties minimalia 5,7 ir maksimalia 6,3 riba, išlaikydamas tinkamą vidutinę ribą – 6.



4.2 pav. Antrojo eksperimentinio tyrimo rezultatai, esant spalvų santykiui 10:1

Esant apšvietimo spalvų santykiui 19:1 (4.3 pav.) pirmasis bandinys išaugino maksimalų 130 g. svorį, didžiausias svorio prieaugis stebimas 5-11 augimo tyrimo stende dienomis, antrojo bandinio maksimalus pasiektas svoris – 122 g., sparčiausias svorio prieaugis stebimas 5-11 augimo tyrimo stende dienomis. Taip pats abiejų bandinių po 11 augimo stende dienos masė ėmė nykti. 11-tą dieną apšvietos srautas buvo pasiekęs 125,2 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}^2$ ribą. 1-10 augalo augimo dienomis pH lygis koreliavo ties priimtina minimalia 5,7 ir maksimalia 6,2 riba, tačiau po dešimos dienos ėmė kristi iki 4,3, indikuodamas, jog vandens tirpalas ėmė rūgštėti. Pastarasis eksperimentas buvo pakartotas du kartus, siekiant eliminuoti tirpalo užterštumo faktorių, tačiau ir antrasis bandymas davė panašius rezultatus, kas nurodo, jog augalų masės kritimas buvo įtakotas netinkamo raudonos/mėlynos spalvos santykio, esant 125,2 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}^2$ ir didesniai šviesos srautui.



4.3 pav. Trečiojo eksperimentinio tyrimo rezultatai, esant spalvų santykiui 19:1

5. Išvados

Šiuo eksperimentu buvo siekiama ištirti augalo (salotos) augimo dinamikos priklausomybę nuo mechatroninės sistemos parametrų, siekiant nustatyti optimalius sistemos parametrus išgaunant maksimalią augalo užaugintos biomasės kiekybę. Mechatroninė sistema – tai augalo auginimo aplinka, siejanti visumą jutiklių ir vykdyklių, užtikrinančių nustatytą statinių ir dinaminių parametrų reikšmių palaikymą. Atlikti trys eksperimentai, turintys statinių ir dinaminių mechatroninės sistemos parametrų rinkinius. Statiniai parametrai nebuvo keičiami visų trijų eksperimentų metu, o dinaminiai parametrai buvo keičiami atitinkamai pagal kiekvieną iš trijų eksperimentų. Atlikus tyrimus paaiškėjo, kad optimaliausias augalo auginimui reikalingas raudonos ir mėlynos šviesų santykis yra 5:1, siekiant išauginti didžiausią masę. Šio eksperimento metu salota išaugo iki 160 g. Visų trijų eksperimentų metu, nepriklausomai nuo raudonos/mėlynos šviesos santykio augalai sparčiausiai augino biomasę vidutiniškai 5-9 augimo tyrimo stende dienomis, kuomet apšvietos srautas buvo tarpe tarp $110.8 - 121 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}^2$. Taip pat pastebėta priklausomybė antrojo eksperimento metu (raudonos/mėlynos spalvų santykis 10:1), kuomet po nuo 10 augimo stende dienos abiejų bandinių masė ėmė tolygiai didėti su apšvietos srautu, ribose nuo 120 iki $135 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}^2$. Pastarasis reiškinys galėtų ateityje leisti tiesiogiai kontroliuoti augalo auginamą biomasę mechatroninei sistemai keičiant apšvietos srautą.

Literatūra

- Barta, D. J.; Tibbits, T. W.; Bula, R. J.; Morrow, R. C. 1992. Evaluation of light emitting diode characteristics for a space-based plant irradiation source. *Advanced Space Research* 12: 141–149.
- Bliznikas Z., Breivė K., Novičkovas A., Vitta P., Žukauskas A., Duchovskis P. 2009. Solid-state lamp for the improvement of nutritional quality of leafy vegetables. *Electronics and Electrical Engineering*, 8: 47–50.
- Baroli, I.; Price, G. D.; Badger, M. R.; Caemmerer, S. 2008. The Contribution of Photosynthesis to the Red Light. *Plant Physiology* 146: 737–747.
- Devlin, P. F.; Christie, J. M.; Terry, M. J. 2007. Many Hands make light work. *Journal of Experimental Botany* 58: 3071–3077.
- Hague, T.; Tillett, N. D. 2001. A bandpass filter approach to crop row location and tracking. *Mechatronics* 11(1): 1–12.
- Jones, J. B. 2004. Hydroponics: A Practical Guide for the Soilless Grower, 2nd. Edn Boca Raton, FL: CRC Press.
- Li, Q.; Kubota, C. 2009. Effects of supplemental light quality on growth and phytochemicals of baby leaf lettuce. *Environmental and Experimental Botany* 67: 59–64.
- Razali, M. H. H.; Noor, N. A. M.; Hamdan, H. I. 2012. Mechatronic Application for Agriculture Mechanization Analysis and Education. *Software Engineering* 2(4): 106–111.
- Sogaard, H.T.; Lund, I. 2005. Investigation of the Accuracy of a Machine Vision Based Robotic Micro Spray System. *Proc. of the Fifth Eur. Conf. on Precision Agriculture, Uppsala, Sweden*.

RESEARCH OF DEPENDENCE BETWEEN PLANT GROWING DYNAMICS AND PARAMETERS OF MECHATRONICS SYSTEM

P. Šakalys, V. Bučinskas, T. Kasperavičius

Abstract The research carried out combines two areas of science - mechatronics and plant cultivation. The aim of the study was to determine the dependence of the growth dynamics of the plant on the parameters of the mechatronics system when the plant grows in a solution of water in the presence of a limited light spectrum. The article reviews the concepts of agromatic and agronic. Based on scientific literature and similar studies research plan is described, the research results are discussed, the conclusions are presented.

Keywords: mechatronics, hydroponics, agromatic, agronic, illumination flow.

2 PRIEDAS

AUGALO AUGIMO KOKYBĖS DINAMIKOS PRIKLAUSOMYBĖS NUO MECHATRONINĖS SISTEMOS PARAMETRŲ TYRIMAS

Paulius Šakalys^{1,2}, Vytautas Bučinskas¹, Antoni Kozič²

¹Vilniaus Gedimino technikos universiteto Mechanikos fakultetas

²Vilniaus kolegijos Elektronikos ir informatikos fakultetas

Anotacija. Tyrimas ir jo planuojama eiga palies dvi mokslo sritis – mechatroniką ir augalininkystę. Straipsnyje aprašoma planuojamo mokslinio eksperimento idėja ir jos vystymo etapai. Tema - augalo augimo kokybės dinamikos suderinamumas su augimą stebėsiančia ir koreguosiančia mechatronine sistema. Planuojama augalo augimo (šaknų padėties) vieta – vanduo. Tai ganėtinai naujas auginimo būdas vadinamas hidroponika, kuri bus derinama su dar viena naujove augalininkystės srityje, vis dar gvildinama laboratorijose – augalo auginimas tik tam tikrame, apribotame matomos šviesos spektro ruože, derinant tris spalvas skirtingu augalo vegetacijos periodu. Žvelgiant į praktinę eksperimento reikšmę tyrimo rezultatai padėtų pilnai automatizuoti augalo auginimo procesą, įvedant optimaliausius parametrus į kontroliuojančią mechatroninę sistemą, ko pasekoje galima tikėtis minimalaus augimo laiko ir maksimalaus derliaus, eliminuojant nuo miestų nutolusių vietovių poreikį auginant augalus.

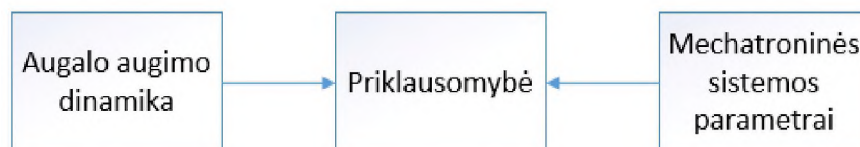
Raktiniai žodžiai: mechatronika, augalininkystė, hidroponika, vegetacija, šviesos spektras.

1. Įvadas

Didėjant žmonių skaičiui pasaulyje vis aktualesnė tampa maitinimosi problema. Pagrindinės demografinės žmonių gyvenimo zonos yra miestai. Didžioji dalis žmogaus mitybai reikalingų augalinės kilmės medžiagų yra auginama ir apdirbama geografiškai toli nuo miestų nutolusiose vietovėse, kas dažnu atveju sukelia logistines problemas, bei smarkiai pakelia maisto produktų kainą galutiniam vartotojui. Atsižvelgiant į susidariusios padėties problematiką yra tikslinga augalinės kilmės maisto produktų auginimą ir tolimesnį apdirbimą perkelti į tikslinę zoną – miestus. Vienintelė priežastis, įgalinanti auginti augalus nutolusiose vietovėse yra dideli dirvožemių plotai ir netrukdomas apšviestumas. Moksliniams tyrimams žengiant į priekį atrandamos vis kitokios augalų auginimo galimybės. Viena iš naujovių yra hidroponika – augalo auginimas ne dirvožemyje, o uždaro cirkuliacijos ciklo vandens terpėje.[2] Minėta naujovė įgalina augalus auginti keliais aukštais, kas leidžia išspręsti kai kuriuos sunkumus – dingsta didelių dirvožemių plotų, nutolusių nuo miestų poreikis. Atsižvelgiant į apšvietimo problematiką ir remiantis jau atliktais moksliniais tyrimais yra nustatyta, kad augalas skirtingais savo vystymosi periodais reikalauja ne pilno šviesos spektro, o tik tam tikrų griežtai apibrėžtų bangų ruožų, kas savaime įgalina augalą auginti dirbtinės apšvietos terpėje. Apjungus minėtus sprendimus atsiranda galimybė augalus auginti bet kokiaje vietovėje. Tobulėjant elektroninėms sistemoms, tampa neišvengiamas kelių mokslo sričių persipynimas – mechatronikos ir augalininkystės, kas leistų pilnai automatizuoti augalinės kilmės maisto produktų augimo procesą uždaroje, nepriklausančioje nuo kintančių gamtos sąlygų, aplinkoje[1]. Šio darbo tikslas yra ištirti mechatroninės sistemos galimybę (priklausomybę) reaguoti į besikeičiančius augalo, augančio vandens ir riboto apšvietos spektro aplinkoje, poreikius kiekvienoje augimo stadijoje, siekiant kiek įmanoma mažesnėmis laiko ir energijos sąnaudomis išgauti kuo didesnę augimo kokybę ir vaisių kiekį.[7][8]

2. Tyrimo objektas

Darbo tyrimų objektas – priklausomybė, tarp augalo augimo kokybės dinaminų charakteristikų ir mechatroninės sistemos parametrų (2.1 pav.)



2.1pav. Tyrimo objekto struktūrinė schema

3. Projekto tikslas ir uždaviniai

Šio tyrimo tikslas yra ištirti augalo augimo kokybės dinamikos priklausomybę nuo mechatroninės sistemos parametrų, kuomet bandinys (augalas) bus auginamas vandens ir riboto apšvietos spektro terpėje.

Užsibrėžtam tikslui pasiekti numatau šiuos uždavinius:

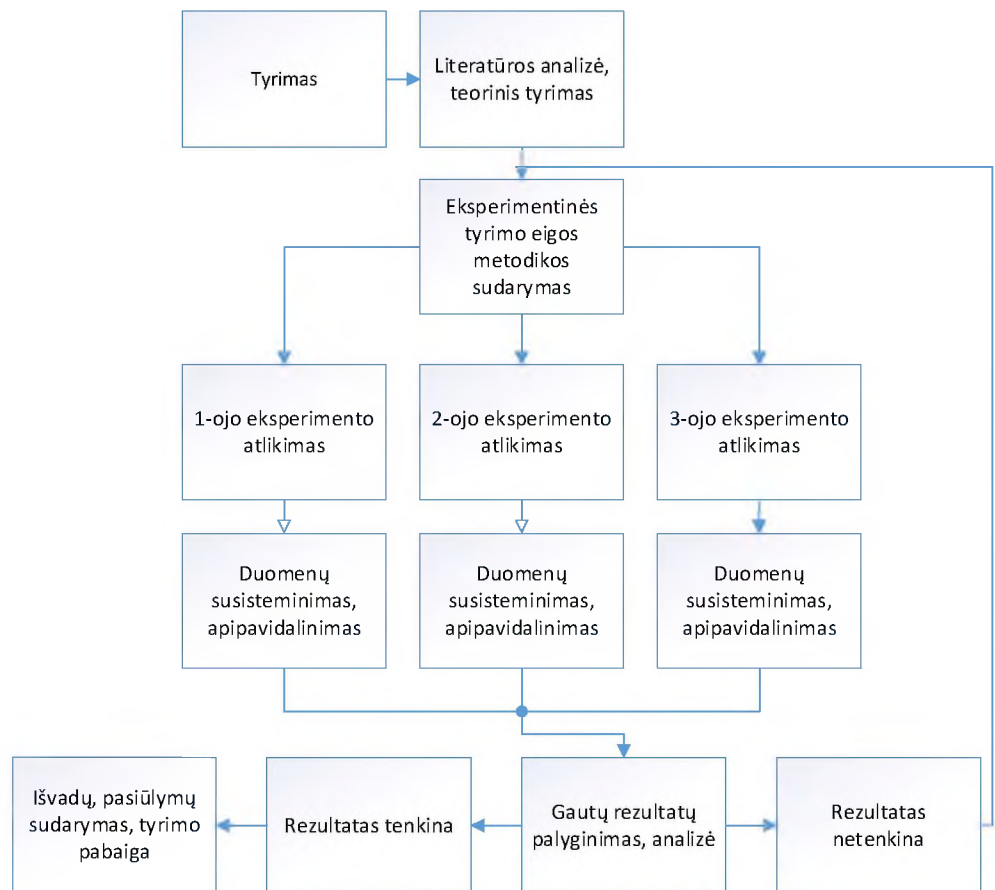
- Išanalizuoti literatūros šaltinius, kuriuose nagrinėjama panaši, su tyrimo tikslu susijusi problematika;
- Išanalizuoti panašios paskirties mechatroninių sistemų konstrukcijų ypatumus;
- Sudaryti planuojamų teorinių ir eksperimentinių tyrimų planą;
- Pagaminti tyrimų standą – augalo augimo aplinką, valdomą mechatronine sistema;
- Susisteminti gautus eksperimentinių tyrimų duomenis ir palyginti su teoriniais;
- Pateikti apibendrintus ir iliustruotus tyrimo rezultatus, išvadas ir pasiūlymus;

4. Tyrimo naujumas

Tyrimas ir jo numatoma eiga palies dvi mokslų šakos rūšis – mechatroniką ir augalininkystę. Planuojama augalo augimo (šaknų padėties) vieta – vanduo. Tai ganėtinai naujas auginimo būdas vadinamas hidroponika. Dar viena naujovė augalininkystės srityje, vis dar gvildinama laboratorijose – augalo auginimas tik tam tikrame, apribotame matomos šviesos spektro ruože, derinant tris spalvas skirtingu augalo vegetacijos periodu. Nagrinėtuose literatūros šaltiniuose dažniausiai yra nagrinėjami atskiri auginimo būdai. Šio tyrimo naujumas apjungia abu auginimo būdus, neatsiejamai integruodamas augimo procesą, pagal iš anksto numatytus spėjamus parametrus, valdančią mechatroninę sistemą. Žvelgiant į praktinę naujumo reikšmę tyrimo rezultatai padėtų pilnai automatizuoti augalo auginimo procesą, įvedant optimaliausius parametrus į kontroliuojančią mechatroninę sistemą, ko pasekoje galima tikėtis minimalaus augimo laiko ir maksimalaus derliaus.

5. Planuojamų teorinių ir eksperimentinių tyrimų planas

Darbe bus taikomi teoriniai ir eksperimentiniai tyrimų metodai. Magistrinio tiriamojo darbo eiga (5.1 pav.) prasidės nuo mokslinės literatūros apžvalgos – bus peržvelgiami panašios paskirties įrenginiai, mechatroninių sistemų konstrukcijos savybės, panašios ar besisiejiančios tematikos tyrimų rezultatai, nagrinėjamos pateiktos išvados. Remiantis išnagrinėta literatūra, bus sudaromos gairės tolimesnio eksperimentinio tyrimo eigai. Numatoma, jog eksperimentinis tyrimas susidarys iš trijų eksperimentų, po kiekvieno iš jų vyks surinktų duomenų apdorojimas – susiteminimas, apipavidalinimas, siekiant supaprastinti analizę. Sekančiame etape bus lyginami apdoroti trijų eksperimentų duomenys, atliekama jų analizė. Šio etapo pabaigoje galimos dvi gairės – aiškaus rezultato nebuvimas, kas lems eksperimentinės tyrimo eigos metodikos sudarymo korektūrą, arba tenkinančio rezultato gavimas, po pasekoje pereisime prie sekančio etapo – tyrimo išvadų ir pasiūlymų teikimo.

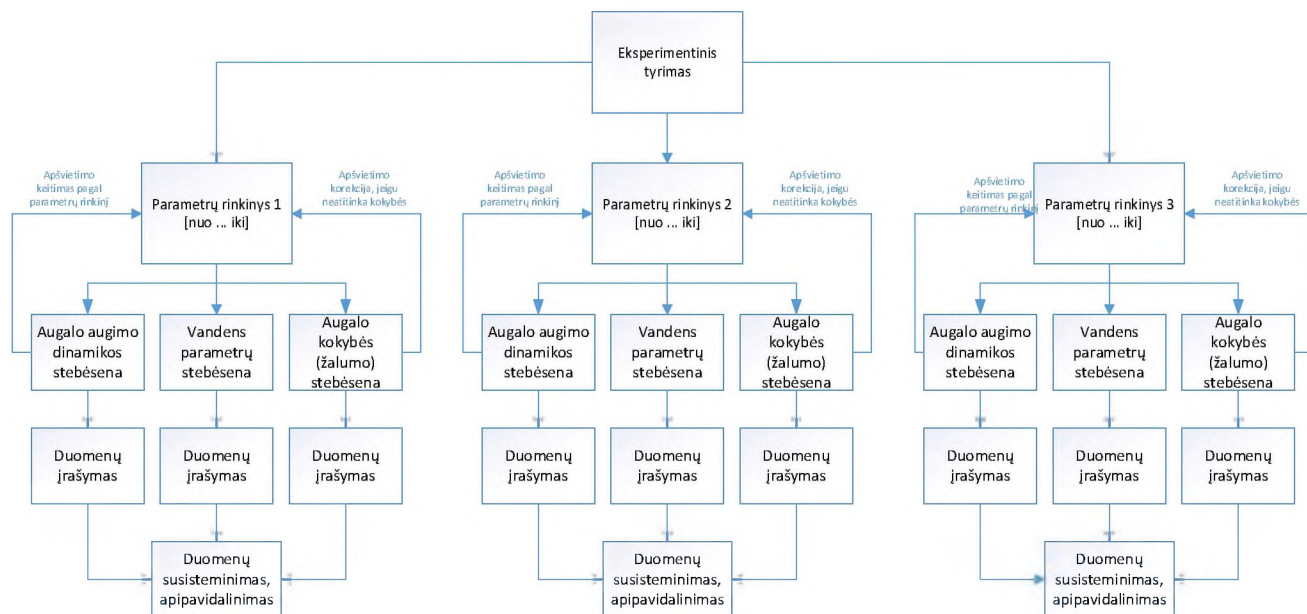


5.1 pav. Tyrimo eiga

Paveiksle 5.2 nurodoma smulkėsnė kiekvieno iš trijų eksperimentų atlikimo tvarka. Surinkus teorinio tyrimo duomenis bus sudaryti trys parametrų rinkiniai, po vieną kiekvienam eksperimentui. Parametrų rinkiniai iš esmės mechatroninės augalo augimą kontroliuojančios sistemos valdiklio nustatymai. Trąšų dozatorius nuolatos palaikins tinkamą ištirpusių druskų (trąšų) kiekį, bei reikiamą pH lygį vandens terpėje. Pagrindinis skirtumas parametrų rinkiniuose bus apšvietimo spektro – raudonos ir mėlynos spalvos santykis, kuris, remiantis išnagrinėta literatūra bus nustatytas tam tikrose ribose.[6] Kiekviename eksperimente augalui stebėti skiriamos trys stebėsenos rūšys:

- Augalo augimo dinamikos stebėseną – mechatroninė sistema stebės augalo augimo dinamiką ir pagal parametrų rinkinyje nurodytus santykius keis raudonos ir mėlynos šviesos balansą, pvz augimo stadijoje bus nurodytas šviesos santykis 40% raudonos šviesos ir 60% mėlynos šviesos, o vaisių rezgimo ir auginimo stadijoje – 10% raudonos ir 90% mėlynos šviesos, su nuokrypa nuo nustatytos normos ~10%.
- Augalo kokybės (lapų žalumo) stebėseną – mechatroninė sistema stebės augalo lapo žalumą ir aptikusi neatitikimą – bandys koreguoti tuo metu esančios augalo dinaminės stadijos (augimas ar vaisių rezgimas ir auginimas) apšvietimo santykį anksčiau jau minėtų pvz. 10% nuokrypos normos ribose.
- Vandens parametrų stebėseną – bus naudojama sklandžiam mechatroninės auginimo sistemos hidroponinės dalies trąšų vandenyje palaikymui, valdant įpylimo dispenserius. Šios stebėsenos duomenys taip pat bus naudojami pateikiant susistemintus duomenis – paraleliai laiko atžvilgiu kartu su augimo dinamikos ir kokybės duomenimis, siekiant eliminuoti (atmesti) kokybės neatitikimo, neišgavimo faktorių dėl hidropininės sistemos valdymo dalies klaidos.

Visų trijų stebėsenų duomenys bus įrašomi realiu laiku į laikmeną, o eksperimento pabaigoje susistemunami, bei apipavidalinami. Sekantys du eksperimentai bus vykdomi analogiška tvarka, tik su skirtingais mechatroninės sistemos parametrų rinkiniais.

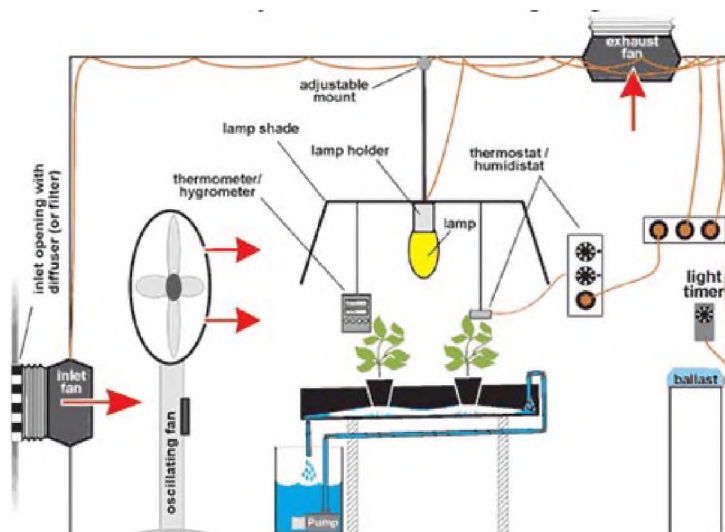


5.2 pav. Eksperimentinio tyrimo eiga

6. Tyrimo stendo dedamųjų parinkimas

6.1 Mechatroninės sistemos koncepcinis modelis

Mechatroninės stendo valdymo sistemos pagrindines komplektuojančias dalis numatoma parinkti pagal būtinuosius parametrus, palaikančius augalo gyvybines funkcijas (6.1 pav):



6.1 pav. Tyrimo stendo modelis [10]

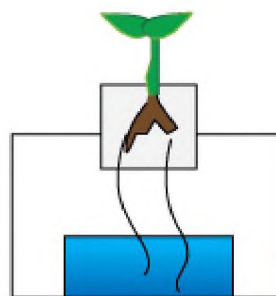
- Valdiklis – iš jutiklių surinktos informacijos apdorojimui, vykdyklių valdymui; [4]
- Šildytuvas, aušintuvas – nustatytos temperatūros palaikymui;
- Drėkintuvas – nustatytos drėgmės palaikymui;
- Šviestuvas – nustatyto šviesos spektro sruto skleidimui;
- Trąšų dozatorius – reikiamam druskų, bei pH lygio palaikymui;
- Aukštos raiškos kamera – augalo žalumo parametro vertinimui;

6.2 Augalo šaknų augimo terpės apžvalga ir parinkimas

Lietuvių autorių išleistų mokslinių straipsnių ar knygų apie augalų auginimą vandens terpėje nėra daug, todėl literatūros apžvalga krypta į užsienio autorių tiriamuosius darbus. Vienas iš nagrinėtų pavyzdžių yra austrų autoriaus

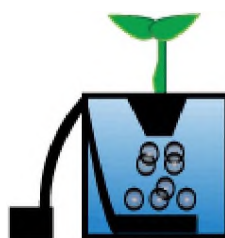
George F. Van Patten 2014 m. publikuotas darbas „*Gardening indoors with soil & hydroponics*“. Pati sąvoka „hidroponika“ turi graikišką kilmę – žodis dalomas į dvi dalis, kur žodis „hydro“ reiškia vandenį, o „ponos“ – darbas. Išskiriamos šešios vyraujančios hidroponikos rūšys: [5]

- Dagtinė hidroponika (wick) – tai pati paprasčiausia sistema, nereikalaujanti jokių elektros prietaisų, greitai realizuojama praktikoje (6.2.1 pav.). Veikimo principas: augalas patalpintas į savo augimo terpę, kuri dagčiu yra sujungta su vandens rezervuaru. Dagtis prisisotina vandens, kurį reikiamais kiekiais natūraliai pasisavina augalo šaknys. Tokia sistema nėra dinamiška, nes neturi jokios stebėsenos (atgalinio ryšio), sunku kontroliuoti augalo augimą.



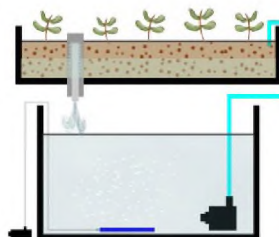
6.2.1 pav. Dagtinės hidroponikos sistemos sandara [11]

- „Vandens kultūrinė“ hidroponika (water culture) – šis auginimo būdas yra šiek tiek modernesnis – augalo šaknys būna nuolatos vandenyje, kuris rankiniu, neautomatizuotu būdu nuolatos yra prisotinamas trąšomis, bei aprūpinamas oru, neleidžiančiu vandeniui gesti. Ši sistema, kaip ir prieš tai minėta neturi jokio atgalinio ryšio (6.2.2 pav.).



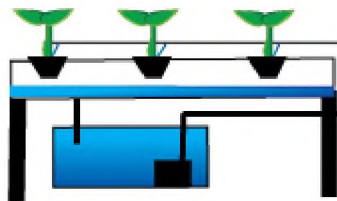
6.2.2 pav. „Vandens kultūrinės“ hidroponikos sistemos sandara [11]

- Prabėgančio vandens hidroponika (flood and drain) – šiuo atveju augalas auga savo augimo terpėje, į kurią nuolatos yra pilamas augalo augimui tinkamas vandens tirpalas, kuris prateka pro augalo šaknis, leisdamas jos įsisavinti būtinas medžiagas, ir sugrįžta atgal į rezervuarą, iš kurio yra vėl pumpuojamas į augimo terpę (6.2.3 pav.). Į šią sistemą jau yra lengviau integruoti stebėsenos faktorių, kuris leistų kontroliuoti vandens padavimą (srautą) į augimo aplinką.



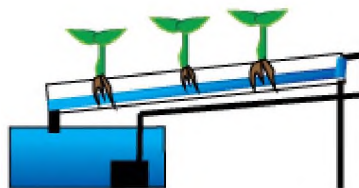
6.2.3 pav. Pratekančio vandens hidroponikos sistemos sandara [11]

- Lašelinė hidroponika (drip) – aprašomos hidroponinės sistemos principas yra labai panašus į prabėgančio vandens (flood and drain) tipą, tačiau čia kiekvienas augalas turi po purkštuką/lašintuvą, kas leidžia augalui lengviau įsisavinti veikliąsias medžiagas (6.2.4 pav.). Viskas vyksta uždaru ciklu – vandens perteklius grįžta į pagrindinį rezervuarą iš kurio vėl yra pumpuojamas į drėkintuvus/lašintuvus. Atsižvelgiant į prieš tai nagrinėtos sistemos privalumus papildomai šioje sistemoje galima paminėti, jog atsiranda galimybė dozuojuant vandens kiekį ir drėkinimo dažnumą kontroliuoti individualiai kiekvieno augalo augimo kokybę.



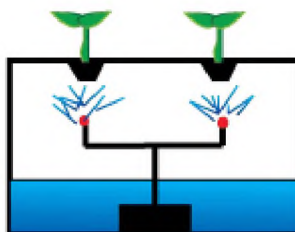
6.2.4 pav. Lašelinės hidroponikos sistemos sandara [11]

- Maistinių medžiagų tšas technika (Nutrient film technique) – tai auginimo būdas, kuomet augalo šaknys nuolatos yra panardintos į tekančio vandens srovę (6.2.5 pav.). Į pagrindinį rezervuarą yra tiekiamos (dozuojamos) trąšos (maistinės augalo medžiagos) ir pumpuojamas oras, siurblys nuolatos tiekia vandenį į pagrindinę augalų auginimo magistralę, kuria augalo šaknimis pratekėjęs vanduo gryžta į pagrindinį rezervuarą. Toks auginimo sprendimas suteikia galimybę mechatroninei sistemai valdyti augalo augimo kokybę, bei dinamiką. Galima automatizuoti trąšų ir oro dozavimą į pagrindinį vandens rezervuarą. Tokios sistemos realizacija yra kur kas pigesnė, nei lašelinės sistemos (dėl drėkintuvų/lašintuvų buvimo), o praturtintas vanduo lygiai taip pat gerai pasiekia augalo šaknis.



6.2.5 pav. Maistinių medžiagų tšas technikos hidroponinės sistemos sandara [11]

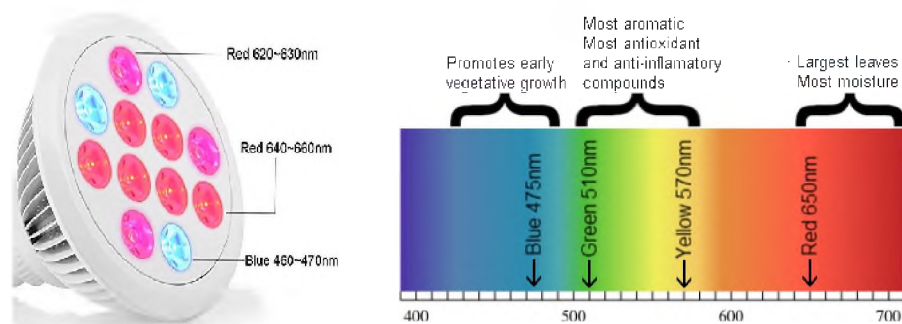
- Aeroponika (aeroponics) – paskutinis aprašomas auginimo būdas, kuomet šaknys yra maitinamos oro-lašelinio būdu (6.2.6 pav.). Augalų šaknys kaba hidroizoliuotoje aplinkoje, kurioje aukšto slėgio purkštukų pagalba, nustatytais laiko tarpais į aplinką yra išpurškiamas praturtintas vanduo su oru. Tai būdas, kuomet yra galima pilna proceso automatizacija valdant mechatroninei sistemai, tačiau iškyla didelės aukšto slėgio purkštukų kainos faktorius.



6.2.6 pav. Aeroponinės sistemos sandara [11]

6. 3 Apšvietimo spektro dedamųjų parinkimas

Remiantis nagrinėjama moksline literatūra, nustatoma, jog augalo augimui nėra būtinas pilnas šviesos spektras, atvirkščiai, yra rekomenduotinas ribotas spektras, parenkamas atskirai pagal augalo vystymosi fazę (6.3.1 pav.). Ankstyvajame vegetacijos periode rekomenduotinas nenutrūkstamas apytikslis 475 nm mėlynos šviesos spektras, suintensyvinto augimo fazėje 510nm (žalio) – 570nm (geltono) bangos ilgio spektras, vaisių auginimui 650 nm.[3]



6.3.1 pav. Rekomenduotinos šviesos spektro dalys [9]

7. Išvados

1. Atlikti numatyti uždaviniai – išanalizuoti mokslinės literatūros šaltiniai, nagrinėjantys nestandartinio augalų auginimo metodiką, bei mechatroninių sistemų panaudojimą auginimo kontrolei. Aptartas temos naujumas.
2. Sudaryta mokslinio eksperimento atlikimo metodologija – teorinio ir eksperimentinio tyrimo planas.
3. Apžvelgtos priimtinos hidroponikos rūšys, tarp kurių išskirtinos dėl savo pritaikomumo mechatroninėje sistemoje: „prabėgančios vandens“, lašelinė, aeroponinė hidroponikos.
4. Sudarytas tyrimo stendo koncepcinis modelis, nurodantis pagrindines sudedamąsias dalis: valdiklis, šildytuvas, aušintuvas, drėkintuvas, šviestuvas, trąšų dozatorius, aukštos raiškos kamera.

Literatūra

1. **BOLTON. W., Artificial mechatronics. IEEE/ASME transactions on mechatronics, 2015: p. 56-48.**
2. **HELALY A.A., Strategies for improvement of horticultural crops, 2013, p.78-90.**
3. **MAARTEIN K., Artificial lighting with LED in horticulture greenhouses, 2010.**
4. **MORRIS, S.B., Programmable logic controllers in agriculture. 2003: Prentice Hall PTR.**
5. **PATTERN G., Gardening indoors with soil & hydroponics. 2014 m.**
6. **SCHULTZE M. et al., Plant welfare improvements in soil, 2014, IEEE**
7. **SURAKSHITHA. N.C, SHARATH. K., Urban and peri-urban horticulture issues in horticultural science, 2016.**
8. **WILLIAM R. et al., Future productivity and carbon storage limited by terrestrial nutrient availability, 2015, Nature Geoscience DOI.**
9. **Artificial lighting for growing. [Interaktyvus]. [Žiūrėta: 2017-03-03]. Prieiga per internetą: <<http://www.growing-basil.org/artificial-lighting-for-growing-basil/>>.**
10. **Hydroponic and aquaponic gardens. [Interaktyvus]. [Žiūrėta: 2017-04-01]. Prieiga per internetą: <<https://www.pinterest.com/cdnhydroponics/diy-hydroponic-and-aquaponic-gardens/>>.**
11. **Types of hydroponic systems. [Interaktyvus]. [Žiūrėta: 2017-03-12]. Prieiga per internetą: <<http://www.nosoilsolutions.com/6-different-types-hydroponic-systems/>>.**

Research of the plant growing quality from parameters of mechatronic system

Summary. The study and its intended course will touch two areas of science - mechatronics and crop production. The article describes the planned scientific experiment idea and its development stages. Subject - quality plant growing dynamics of growth is consistent with observing mechatronic system. Planned plant growth (root position) place - water. This relatively new method called hydroponics growing, which will be combined with another innovation in the field of crop, still focus on the analysis laboratories - a plant growing in a certain, restricted spectral range of visible light, a combination of three different colors for plant growth. Looking at the practical significance of the experimental results of the study help to fully automate the process of plant breeding, the introduction of optimal parameters in controlling mechatronic systems, resulting in growth can be expected minimum time and maximum yield, eliminating from cities remote areas need for growing plants.

Key words: mechatronics, crops, hydroponics, vegetation, light spectrum.