

**KASVUALUSTAN VAIKUTUS RUUKKUBASILIKAN KASVUUN
KERROSVILJELYSSÄ**



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Puutarhatalouden koulutusohjelma

Kevät, 2022

Roosa Mattila

Puutarhatalous

Tekijä Roosa Mattila

Työn nimi Kasvualustan vaikutus ruukkubasilikan kasvuun kerrosviljelyssä

Ohjaaja Marika Tossavainen

Tiivistelmä

Vuosi 2022

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää, voidaanko ruukkubasilikan kaupallisessa kerrosviljelyssä siirtyä käyttämään turpeen sijaan tai sen rinnalla jotakin muuta biohajoavaa kasvualustaa tekemättä suuria muutoksia käytettyyn viljelytekniikkaan. Työssä tutkittiin eri kasvualustamateriaalien vaikutusta ruukkubasilikan kasvuun suljetun ympäristön ja suljetun vesikierron kerrosviljelyssä. Opinnäytetyön tilaaja oli Netled Oy, ja koe suoritettiin Netledin Pirkkalassa sijaitsevassa tuotekehityslaitoksessa keväällä 2022.

Kasvatuskokeessa käytetyt kasvualustat saatiin Kekkilä-BVB Oy:ltä, Organic Shapes BV:ltä ja Growfoam BV:ltä, jotka kaikki ovat kasvualusta-alan kansainvälisiä toimijoita. Koealustoina toimivat rahkasammalta sisältä turvealusta, puukuituja sisältävä turvealusta, puukuitujen lisäksi humushappoa sisältävä turvealusta, täysin rahkasammalesta ja puukuiduista valmistettu kasvualusta, kookoskuidusta tehty nappimuotoinen alusta, sekä polymeeristä valmistettu rouhemainen alusta. Kokeen kontrollialustaksi oli valittu ruukkuyrttien ja -salaatin viljelyssä yleisesti käytettävä turvealusta.

Parhaat kasvutulokset saatiin 60 % rahkasammalta sisältävällä turvealustalla. Kyseinen käsittely oli ainoa, jossa pituuskasvun ja tuorepainon osalta saatiin kontrollikäsitteilyä paremmat kasvutulokset. Myös muissa turvetta tai rahkasammalta sisältävissä käsittelyissä sekä kookosalustakäsittelyssä kasvutulokset olivat lähellä kontrollikäsitteilyn tuloksia. Vain polymeerirouheessa viljellyt kasvit eivät menestyneet kokeessa kovin hyvin. Tähän syyksi arveltiin käytetyn kasteluohjelman soveltumattomuutta polymeerirouhealustalle. Polymeerialustan viljelytekniisten ominaisuuksien arveltiin olleen liian erilaisia muihin kokeessa käytettyihin kasvualustoihin verratessa.

Kokeen johtopäätöksenä todettiin, että turpeen määrää kasvualustakäytössä voidaan vähentää huomattavasti viljelytekniikkaa oleellisesti muuttamatta ja satotason alenematta, jos turvetta korvataan rahkasammalella.

Avainsanat Kerrosviljely, ruukkuyrtit, kasvualusta, sisäviljely, kiertovesikastelu

Sivut 82 sivua ja liitteitä 10 sivua

The aim of this thesis was to investigate if peat moss could be replaced totally or in part by other biodegradable growing media in commercial vertical farming of potted basil without major changes to the existing cultivation technique. In the practical part of the thesis, different substrates' influence on the growth of potted basil in closed environment cultivation with closed-loop fertigation system was compared. The thesis was ordered by Netled Oy, and the experiment took place at Netled's Research and Development facility in Pirkkala, Finland during spring 2022.

The substrates used in the cultivation experiment were produced by international substrate producers Kekkilä-BVB Oy, Organic Shapes BV and Growfoam BV. The substrates used in the test were a peat moss based substrate containing sphagnum moss, a peat moss based substrate containing wood fibers, a peat moss substrate containing wood fibers and humic acids, a substrate consisting solely of sphagnum moss and wood fiber, cultivation plug made of coco coir, and a loose substrate made of light polymer grains. The control substrate was a widely used peat moss substrate made for the cultivation of potted herbs and lettuces.

The best results were obtained in the peat moss based substrate consisting of 60% sphagnum moss. It was the only treatment where growth was better than in the control treatment. Growth in the coco coir treatment as well as the other peat moss and sphagnum moss substrate treatments were close to the results of the control treatment. Only in the polymer grain substrate the growth of the basil plants was poor. This was probably caused by the irrigation plan's unsuitability to the polymer grain substrate. The substrate characteristics of the polymer grain substrate were believed to be too different to those of the other substrates used in the study.

It was concluded that the usage of peat moss could be greatly reduced without altering the cultivation technique or lowering the yield-expectations if the peat is replaced partially with sphagnum moss.

Keywords Vertical farming, potted herbs, substrates, controlled environment agriculture, closed loop irrigation

Pages 82 pages and appendices 10 pages

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Kasvualustat tuoreyrttien ruukkuviljelyssä	2
2.1	Kasvualustoja koskeva lainsäädäntö	2
2.2	Kasvualustan ominaisuudet	4
2.2.1	Kasvualustan rakenneominaisuudet	5
2.2.2	Kasvualustan ravinneominaisuudet ja happamuus	7
2.3	Ruukkuyrttien kerrosviljelyssä käytettäviä kasvualustoja	10
2.3.1	Turve.....	10
2.3.2	Kookos	15
2.3.3	Rahkasammal	16
2.3.4	Puukuitu	18
2.3.5	Muita kasvualustoissa käytettäviä raaka-aineita ja tekniikoita	19
3	Kerrosviljelytekniikka.....	20
3.1	Valo ja valotus suljetun ympäristön kerrosviljelyssä	22
3.1.1	Valon merkitys kasville	23
3.1.2	Valotustekniikat auringonvalolta suojatussa ympäristössä.....	26
3.2	Ilmastonhallinta suljetussa ympäristössä	27
3.3	Kerrosviljelyyn soveltuvat kastelutekniikat	31
3.4	Kastelulannoitus kiertovesisysteemissä	33
3.5	Kasvinsuojelu kerrosviljelyssä	35
4	Basilikan kerrosviljely	36
4.1	Basilikan valotus kerrosviljelyssä	39
4.2	Basilikalle soveltuvat ilmasto-olosuhteet	41
4.3	Basilikan kastelu- ja ravinnetarpeet suljetussa kiertovesisysteemissä.....	42
4.4	Basilikan kasvinsuojelu kerrosviljelyssä	43
5	Aineisto ja menetelmät	46
5.1	Kasvatuskokeen olosuhteet	46
5.2	Koeasetelma.....	48
5.3	Kokeen aloitus.....	49
5.4	Mittaukset ja analyysit.....	50

5.5	Tilastanalyysit.....	52
6	Tulokset	52
6.1	Itävyyssprosentti.....	52
6.2	Kasvien lehtien ulkonäkö	53
6.3	Juuriston runsaus ja kunto	54
6.4	Kasvien pituus	55
6.5	Kasvien tuorepaino	55
6.6	Kasvien lehtien klorofyllipitoisuus	56
6.7	Kasvualustoista otetut puristenestenäytteet	57
7	Tulosten tarkastelu ja johtopäätökset	58
	Lähteet.....	65

Liitteet

Liite 1	Kasvatuskokeessa käytetty kasteluohjelma
Liite 2	Kartta koeasetelmasta
Liite 3	Aineistolle tehtyjen tilastotestien tulokset kuvina JMP Pro 15 -ohjelmasta
Liite 4	Puristenesteanalyysin tulokset Oy Hortilab Ab:lta

1 Johdanto

Erinomaisten rakenneominaisuuksiensa ja suhteellisen edullisuutensa vuoksi turpeella on ollut vakaa, liki kyseenalaistamaton asema kasvualustakäytössä jo vuosia.

Ilmastonmuutoksen kiihtymisen ja maailmanlaajuisen lajikadon myötä kuluttajat ja yritykset ovat kuitenkin heränneet turpeen noston ekologisiin seurauksiin. Lisäksi polttoturpeen noston lopettamisen väistämätön, kasvualustaturpeen hintaa nostava vaikutus niin ikään laskee turpeen kiinnostavuutta kasvualustakäytössä. Näistä mainituista syistä puutarhailalla on painetta löytää turpeelle vaihtoehtoja niin kuluttajan, viljelijän, kasvualustavalmistajan kuin viljelytekniikan tarjoajankin näkökulmasta. Kasvualustavaihtoehtoja tutkitaan nykyään paljon. Yleisimmin käytössä olevia vaihtoehtoja ovat muun muassa kivivilla ja kookoskuitu. Lisäksi esille ovat nousseet esimerkiksi puukuitu ja sammal. (Soimakallio ym., 2020)

Kerros- eli vertikaaliviljely tarkoittaa päällekkäisissä kerroksissa tapahtuvaa viljelyä. Hyvin yleisesti kerrosviljelyn ominaisuuksiksi myös lasketaan suljetun ympäristön keinotekoinen valotus, kiertovesisysteemin käyttö kastelussa sekä ilmaston täydellinen hallinta. Viljelypinta-alaa ja tuotantoresursseja säästävää kerrosviljelystä haaveillaan ratkaisua pitkälti kaupungistuneeseen ja ilmastollisten ääriolosuhteiden vaivaamaan maailmaan. (Porvali ym., 2021)

Basilikaa pidetään yhtenä maailman tärkeimmistä maustekasveista, ja Suomessakin basilika on jo vuosia kuulunut kolmeen suosituimpaan tuoreyrttiin (Kauppapuutarhaliitto, n.d.) Vuonna 2020 Suomessa tuotettiin yhteensä 6,67 miljoonaa ruukkua basilikaa (Luonnonvarakeskus, n.d.). Basilika on parhaimmillaan juuri tuoreena, sillä se menettää arominsa nopeasti kypsennyksen ja kuivauksen aikana. Hallanarkuutensa, varastointiherkkyytensä ja ympärivuotisen kysynnän takia se myydään Suomessa yleensä kasvihuoneessa viljeltynä ruukkuyrttinä. (Kotiliesi, n.d.)

Opinnäytetyön tilaaja oli suljetun ympäristön kerrosviljelyteknologiaa tarjoava Netled Oy, ja kasvatuskokeet tehtiin yrityksen Pirkkalassa sijaitsevalla tuotekehityslaitoksella.

Kasvualustoja saatiin vakiintuneilta, globaaleilta kasvualustavalmistajilta (Kekkilä-BVB Oy, Organic Shapes BV, Growfoam BV). Kasvatuskokeella pyrittiin selvittämään kasvualustakäsittelyjen vaikutusta ruukkubasilikan itävyys- ja kasvuvasteeseen.

2 Kasvualustat tuoreyrttien ruukkuviljelyssä

Tuoreyrttejä myydään sekä ruukuissa että leikattuna. Useimpien yrttien kohdalla Suomessa on perinteisesti painottunut yrttien myynti ruukkuineen, josta poikkeuksena on nipuissa myytävä tilli. Myös persiljaa on jo pidempään myyty myös leikattuna. Viime aikoina näiden lisäksi myös muita leikkoyrttejä on tullut kauppojen vihannesosastojen valikoimiin enenevässä määrin.

Ruukku- ja leikkoyrttien viljelyssä käytettävillä kasvualustoilla on viljelyominaisuuksiltaan pääosin samat vaatimukset. Ruukuissa myytävien yrttien ja muiden kasvien kasvualustavalinnoissa vaikuttavat kuitenkin myös muut kuin tiukasti kasvatukselliset ominaisuudet. Ruukkuyrtit esimerkiksi myydään usein avonaisissa pusseissa, joista kosteus pääsee poistumaan helposti. Kasvualustan vedenpidätyskyky vaikuttaa viljelyn lisäksi tätä kautta myös tuotteen kauppakestävyyteen, joka on vähittäismyyjän lisäksi tärkeä ominaisuus myös loppukuluttajan näkökulmasta.

Lisäksi tiedetään, että kuluttajat ostavat ruukkukasveja mieluiten silloin, kun kasvit kasvavat mullan näköisessä aineessa. Kasvualustan ulkonäön ja koostumuksen vaikutuksesta juuri ruukkuyrttien vähittäismyyntiin ei löytynyt tutkimustietoa tämän opinnäytetyön puitteissa. Viljelijän kannalta kasvualustan kriittisiä ominaisuuksia ovat myös muun muassa hinta, saatavuus, tasalaatuisuus sekä käsittelyn sujuvuus (Kanniainen, 2003b, s. 124).

2.1 Kasvualustoja koskeva lainsäädäntö

Kasvualustat luokitellaan lannoitevalmisteisiin, ja niitä säädellään sekä kansallisella että Euroopan unionin tasolla. Suomessa niiden valmistusta ja kauppaa säätelee lannoitevalmistelaki 539/2006. Muita lannoitevalmisteita ovat esimerkiksi orgaaniset ja epäorgaanisten lannoitteet, kalkitus- ja maanparannusaineet, mikrobivalmisteet ja

lannoitustarkoitukseen sellaisenaan käytettävät sivutuotteet. (Lannoitevalmistelaki 539, 2006)

Määritelmällisesti kasvualustat ovat kasvien kasvatukseen tarkoitettuja, teknisesti käsiteltyjä, kiinteitä ja nestemäisiä aineita, joihin voi olla lisätty muita lannoitevalmisteita (Lannoitevalmistelaki 539, 2006). Lannoitevalmistelain 539/2006 lisäksi lannoitevalmisteita säätelevät Maa- ja metsätalousministeriön asetus lannoitevalmisteista 24/11 ja asetus lannoitevalmisteita koskevan toiminnan harjoittamisesta ja sen valvonnasta 11/12. Orgaanisten ja jättepohjaisten valmisteiden käyttöä koskeva uusi EU-asetus lannoitevalmisteista 1009/2019 tuli vuonna 2019. Sitä aletaan soveltaa 16.7.2022 alkaen, ja sen mukaiset tuotteet saavat CE-merkinnän. Tällöin lannoitevalmiste voi sisältää esimerkiksi kompostia, ja merkinnän saaneita tuotteita voidaan myydä vapaasti Euroopan unionin alueella. Kasvualustalle sallitut raaka-aineet riippuvat osittain käyttökohteesta. Esimerkiksi jätevesilietteet eivät ole sallittuja syötävälle kasveille tarkoitetuissa kasvualustoissa, mutta koristekasveille tarkoitetuissa kasvualustoissa niitä voidaan käyttää. (MMM, n.d.; Tampio ym., 2018)

Kasvualustoja ja muita lannoitevalmisteita koskevien asetusten ja lakien tehtävä on turvata elintarvikkeiden ja kasvintuotannon laatu sekä edistää laadukkaiden ja turvallisten lannoitevalmisteiden tarjontaa. Niissä määritellään kasvualustoille laatu- ja turvallisuusvaatimukset sekä esimerkiksi raja-arvot sallituille raskasmetalleille, haitallisille aineille ja taudinaiheuttajille. Kasvinterveyden suojelemiseksi annetussa laissa 702/2003 on mainittu kasvintuhoojat, joita kasvualustoissa ei saa esiintyä. (Laki kasvinterveyden suojelemisesta 702, 2003)

Suomessa tuotettavien kasvualustojen tulee kuulua Ruokaviraston ylläpitämään lannoitevalmisteiden tyyppinimiluetteloon. Tyyppinimeen kuuluvat tiedot valmistusmenetelmästä, sallituista raaka-aineista ja tuoteselosteessa ilmoitettavista tiedoista. Tuoteselosteessa tulee mainita kasvualustan johtokyky, happamuus, kosteus, orgaaniset aineet, karkeusaste sekä ravinteiden osalta vesiliukoinen typpi, liukoinen fosfori ja liukoinen kalium. Ravinteet, johtokyky ja happamuus mitataan SFS-EN-standardien

mukaisesti. Lisäksi tuoteselosteesta tulee käydä ilmi tyyppi- ja kaupan nimi, mahdolliset käyttörajoitteet, rakenne, valmistaja sekä maahantuojat. (Ruokavirasto, n.d.-b)

Kasvualustojen ja muiden lannoitevalmisteiden valvontaa hoitaa Suomessa Ruokaviraston lannoitejaosto. Kasvualustan valmistaja vastaa tuotteen markkinoille saattamisesta ja säädösten vaatimusten täyttämistä. Mikäli ammattikäytössä käytetty tuote ei vastaa lannoitevalmistelainsäädännön vaatimuksia, sen aiheuttama vahinko ja ansionmenetykset lankeaa valmistajalle. (Ruokavirasto, n.d.-a)

2.2 Kasvualustan ominaisuudet

Kasvualustat voidaan jakaa orgaanisiin eli eloperäisiin ja epäorgaanisiin eli elottomaan luontoon kuuluviin tai siitä peräisin oleviin alustoihin. Orgaanisiin kasvualustoihin kuuluvat muun muassa turve- ja kookoskuitupohjaiset kasvualustat. Epäorgaanisiksi kasvualustoiksi luetaan alustat, jotka eivät sisällä ollenkaan eloperäisiä ainesosia. Esimerkkejä epäorgaanisista alustoista ovat muun muassa kivivilla ja perliitti.

Biohajoavuudella tarkoitetaan materiaalin ominaisuutta hajota luonnollisesti mikrobitoiminnan avulla. Virallista rajaa hajotustoiminnan nopeudelle ei ole määrätty. Käytännössä termi siis kattaa kaikki orgaaniset materiaalit, mutta myös osan epäorgaanisista aineista. Tässä työssä biohajoavalla tarkoitetaan suhteellisen nopeasti eli alle 2 vuodessa tapahtuvaa hajotustoimintaa, jonka lopputuotteina ei tiettävästi synny vaarallisia kemikaaleja.

Kasvualusta voi olla myös aktiivinen tai inaktiivinen. Aktiivisella kasvualustalla tarkoitetaan alustaa, joka pystyy itsessään pidättämään ja luovuttamaan ravinteita, kun inaktiivisesta alustasta ne huuhtoutuvat veden mukana pois. (Kanniainen, 2003b, s. 121) Usein orgaaniset kasvualustat ovat myös aktiivisia, ja vastaavasti epäorgaaniset inaktiivisia.

Kasvualustan mikrobiologinen aktiivisuus taas tarkoittaa kasvualustassa tapahtuvat mikrobitoiminnan aktiivisuustasoa. Kaikissa kasvualustoissa mikrobitoimintaa tapahtuu jonkin verran, mutta yleensä se on vilkkaampaa aktiivisissa kasvualustoissa. Mikrobitoiminta

voi olla luonteeltaan hyödyllistä tai haitallista sen seurauksista riippuen. Esimerkiksi kasvitauteja tukeva mikrobitoiminta on luonnollisesti haitallista, kun taas ravinnetaloutta tehostava mikrobitoiminta on hyödyllistä. (Kanniainen, 2003b, s. 124) Ryhmittelytavoista riippumatta kasvualustojen ominaisuudet voidaan jakaa rakenne- ja ravinneominaisuuksiin.

2.2.1 Kasvualustan rakenneominaisuudet

Kasvualustan rakenne vaikuttaa kasvin juuriston kasvuun ja toimintaan oleellisesti. Erityisesti rajatun kasvualustan viljelyssä, kuten ruukuviljelyssä, kasvualustan rakenneominaisuuksien tulee olla riittävällä tasolla ja laadun yhtenäinen. Rakenneominaisuuksiksi voidaan laskea kasvualustan tiiviys, kantavuus, happipitoisuus ja veden läpäisy- sekä pidätyskyky.

Kasvualustan huokoisuus vaikuttaa kasvin kasvuun monin tavoin. Huokoisilla tarkoitetaan kasvualusta-aineksessa olevien hiukkasten välisiä, ilmalla tai vedellä täyttämiä aukkoja. Huokoisuus taas tarkoittaa näiden huokosten määrää kasvualustan kokonaistilavuudesta, sekä erityyppisten huokosten määrää toistensa suhteen. Huokosten kautta kasvi saa tarvitsemaansa happea, sekä toisaalta myös vettä ja veteen liuenneita ravinteita. Sopivan huokoisessa alustassa kasvin juurilla on mahdollisuus levittyä vapaasti, maksimoiden juurimassa ja tämän myötä kasvin muut elintoiminnot. Kasvihuoneviljelyssä käytettävissä kasvualustoissa on pääsääntöisesti kokonaishuokostilavuus yli 90 %. (Kanniainen, 2003b, s. 123)

Kasvualustan tiivistyminen pienentää siinä olevien ilmahuokosten määrää ja kokoa heikentäen kasvin juuriston hapensaantia. Kasvin sekä kasvualustassa olevien bakteerien joutuessa hengittämään anaerobisesti eli ilman happea syntyy kasvin juuristoon myrkyllisiä yhdisteitä. (Hartikainen, 1992, s. 69) Hyvin tiiviiseen kasvualustaan ei myöskään imeydy vettä, jolloin kasvin nestejännitys ja ravinteidensaanti heikkenee. Toisaalta liian kevyeen kasvualustaan on hankala juurtua tukevasti.

Vesi sitoutuu kasvualustaan adheesion ja pintajännityksen avulla. Adheesiossa vesi takertuu kasvualustahiukkasten seinämiin dipoli- ja vetysidoksin. Näin sitoutunutta vettä kutsutaan myös absorptiovedeksi, jonka määrä riippuu kasvualustan hienojakoisuudesta. Mitä

hienojakoisempi kasvualusta, sitä suurempaa absorptio on. Osa kasvualustassa olevasta vedestä on osmoottista, eli liuenneisiin aineisiin sitoutunutta. (Aura, 1992, s. 143)

Kapillaarivedeksi kutsutaan kasvualustan huokosissa olevaa vettä. Kapillaariveden määrä riippuu kasvualustan huokosjakaumasta – mitä pienempiä huokokset ovat, sitä tiukemmin vesi on sitoutunut kasvualustaan. Kasvualustan huokokset täyttyvät aina pienemmästä isompaan, ja kasvualustan kuivuminen alkaa aina isommista huokosista. Maan tiivistäminen vähentää kasvualustan vedenläpäisykykyä huokosten määrän ja koon pienentyessä. Suurin osa kasville käyttökelpoisesta vedestä on juuri kapillaarivettä. (Aura, 1992, s. 154)

Kasvualustan vedenpidätyskyvystä puhuttaessa tärkeä ilmiö on niin kutsuttu maaveden potentiaalienergia. Veden perusominaisuuksiin kuuluu, että se pyrkii siirtymään korkeammalta vapaan energian tasolta alemmalle tasolle. Tässä siirtymässä vapautuu energiaa, ja tämän energianmuutoksen avulla maaveden sitoutumista kasvualustaan pystytään tarkastelemaan täydellisesti. (Aura, 1992, s. 142)

Kokonaispotentiaalia voidaan havainnollistaa paineyksikön avulla. Tämän määrittämisessä käytetään teoreettista esimerkkiä, jossa puhdasta vettä siirtyy sovitulta korkeudelta maahan tasalämpöisissä olosuhteissa, ja siirtymässä tehty työ jaetaan siirtyneen veden tilavuudella. Tämä aikaansaatu paineyksikköinen potentiaaliarvo on aina negatiivinen energian vapautumisen vuoksi, ja se havainnollistaa veden sitoutumisesta aiheutuvaa imua. (Aura, 1992, s. 142)

Absorptio- ja kapillaariveden potentiaalit niputetaan yleensä matriisi- tai painepotentiaaliksi. Painepotentiaalin muuttuessa negatiiviseksi maan vedenjohtokyky heikkenee. (Aura, 1992, s. 155) Lisäksi kokonaispotentiaalista erotetaan joskus myös gravitaatiopotentiaali, jonka merkitys kasvaa lähestyttäessä kasvualustan kyllästymiskosteutta. (Aura, 1992, s. 143)

Maaveden potentiaaliin liittyy läheisesti myös ilmassa olevan veden potentiaali. Mikäli ilman suhteellinen kosteusprosentti on 100, on ilmassa oleva vesi tasapainossa maaveden kanssa. Ilman suhteellisen kosteuden laskiessa potentiaalin erotus aiheuttaa imun maasta ilmaan. Tämä imu on edellytys kasvin transpiraatiolle eli haihduttamiselle. (Aura, 1992, s. 145)

Kasvualustan vedenjohtokyky alenee, kun kyllästetty maa kuivuu (Aura, 1992, s. 144). Toisaalta kyllästetty kasvualusta ei ole otollinen kasvin kannalta. Kasvualustan ilma- ja sitä kautta happipitoisuus laskee, kun vesipitoisuus nousee. Hapen puute rajoittaa kasvin juuriston hengitystä, jossa kasville vapautuvaa energiaa tarvitaan aktiiviseen veden- ja ravinteidenottoon. Lisäksi hengityksessä muodostuva hiilidioksidi ei saa jäädä juuristoon liian suurina pitoisuuksina. Kasvualustan ilmatilan olisi hyvä olla vähintään noin 10 %, jotta sen happipitoisuus on riittävä. (Jaakkola, 1992, ss. 204–205)

2.2.2 Kasvualustan ravinneominaisuudet ja happamuus

Kasvin tarvitsemat ravinteet jaetaan makro- ja mikroravinteisiin. Jako on esitetty taulukossa 1. Joskus myös hiili (C), happi (O) ja vety (H) lasketaan makroravinteisiin (Jaakkola, 1992, s. 207; Kanninen, 2003a, s. 141). Pääosin kasvi saa ravinteensa maaveteen liunneena, mutta niitä voidaan jossain määrin tarjota myös lehtilannoituksena. Lehtilannoituksella ei kuitenkaan voida täyttää kasvien ravinnetarpeita täysin. (Jaakkola, 1992, s. 209)

Taulukko 1. Kasviravinteet jaettuna makro- eli pääravinteisiin ja mikro- eli hivenravinteisiin (Fagerstedt ym., 2008, s. 74).

Makroravinteet		Mikroravinteet	
Typpi	N	Rauta	Fe
Fosfori	P	Mangaani	Mn
Kalium	K	Kupari	Cu
Kalsium	Ca	Sinkki	Zn
Magnesium	Mg	Molybdeeni	Mo
Rikki	S	Boori	B
		Kloori	Cl

Veteen liunneita ravinteita kasvi ottaa pääasiassa juuriston avulla. Vapaina ioneina ne kulkeutuvat kasvin juurikarvojen soluseinämien läpi helposti kanavaproteiinien avulla. Sähköisin voimin kasvualustahiukkasten pintaan sitoutuneita ravinneioneja kasvit sen sijaan ottavat ioninvaihdon avulla. Juurisolujen protonipumput vaihtavat H⁺-ioneja eli protoneja

positiivisesti varautuneisiin ravinnekationeihin (K^+ , Mg^{2+} , NH_4^+), ja toisaalta juurikarvat myös erittävät negatiivisesti varautuneita vetykarbonaatti-ioneja (HC_3^-) vaihtaen ne niinkään negatiivisesti varautuneisiin ravinneanioneihin (NO_3^- , PO_4^{3-} , Cl^- , SO_4^{2-}). (Fagerstedt ym., 2008, s. 209)

Orgaanisessa aineksessa on itsessään sitoutuneena ravinteita, jotka vapautuvat kasveille käyttökelpoiseen muotoon aineksen hajoamisen seurauksena. Mikrobiologisesti aktiivisessa kasvualustassa, kuten turpeessa ja kompostissa, ravinteita vapautuu enemmän, ja samalla muodostuu humusta. Hajotustoimintaan ja humusaineen muodostumiseen vaikuttavat lisäksi kasvualustan lämpötila, kosteus, ravinteiden määrä, happamuus ja hapensaanti. (Hartikainen, 1992, ss. 47–51)

Humusaine on suurimolekyylistä, tummaa massaa, joka sopivassa happamuustilassa sitoo positiivisesti varautuneita ravinneioneja eli ravinnekationeja kasveille käyttökelpoiseen, vaihtuvaan muotoon ja näin ollen parantaa kasvien ravinteidensaantia. Liian happamissa olosuhteissa humuksen kationinvaihtokyky estyy. Toisaalta humuksella on myös puskurointikykyä happamoitumista ja sen haittoja, kuten haitallisten metallien liukenemista, vastaan. (Hartikainen, 1992, ss. 47–51)

Humuksen kationinvaihtokyky on esimerkki reaktiosta, jossa kationit sitoutuvat maahan sellaisessa muodossa, että ne eivät helposti huuhtoudu veden mukana, mutta ovat kuitenkin kasvien saatavilla. Tämä perustuu siihen, että negatiivisesti varautuneet maahiukkaset käyttävät sähköistä vetovoimaa hyödykseen pidättyessään poistiivisesti varautuneita ravinnekationeja, joita kutsutaan myös vastaioneiksi. Vastaioneja kutsutaan vaihtuviksi kationeiksi, sillä ne voivat vaihtua myös muihin samanmerkkisiin ioneihin. Humuksen lisäksi kationinvaihtokyky löytyy myös muun muassa savimineraaleilta. (Hartikainen, 1992, s. 52)

Kasvualustan mikrobiologinen aktiivisuus vaikuttaa myös typensidontaan. Monet bakteerit pystyvät biologiseen typensidontaan, eli muuttamaan ilmassa olevaa, vapaata typpeä ammoniakiksi, joka on typen kasveille käyttökelpoinen muoto. (Hartikainen, 1992, s. 74) Hajottajat tarvitsevat kuitenkin itsekin typpeä, ja hyvin niukkatyppisen kasvualustan

hajotuksessa vapautuva typpi saattaa kulua kokonaan hajotusprosessiin (Jaakkola, 1992, s. 221).

Kasvualustan mikrobiologinen aktiivisuustaso pysyy korkeana vain lisäämällä kasvualustaan jatkuvasti orgaanista ainesta (Hartikainen, 1992, s. 50). Kerrosviljelyssä kasvualustaa ei vaihdeta eikä lisätä viljelyn aikana. Näin ollen kasvualustan mikrobiologinen aktiivisuus hiipuu viljelyn aikana, ja ravinteita täytyy tarjota kasville muulla tavalla. Juuristolle ravinteet voidaan tarjota kasteluveden mukana tai esilannoittamalla kasvualusta esimerkiksi hallitusti liukenevilla ravinnerakeilla. Joissain tapauksissa, esimerkiksi akuutissa raudanpuutteessa, kasveille voidaan myös tehdä ruiskutuskäsittely, jolloin ravinteet tarjotaan kasville sen lehtien kautta.

Kasvualustassa olevaa ravinnepitoisuutta mitataan kasvualustasta otetun puristenestenäytteen johtokyvyn (Electrical conductivity, EC) eli sähkönjohtavuuden avulla. Johtokyvyn yksikkö on mS/cm. Liuoksen sähkönjohtavuudesta voidaan päätellä liuokseen liuenneiden ravinnesuolojen kokonaispitoisuus. Mitä korkeampi johtokyky tai -luku, sitä korkeampi ravinnepitoisuus. Liian korkea ravinnepitoisuus vaikuttaa kasvien vedenottoon negatiivisesti, joten lukua seurataan viljelmillä aktiivisesti puristenestenäytteiden avulla. Johtoluvusta ei kuitenkaan voida päätellä kasvualustan ravinnepitoisuutta. On siten täysin mahdollista, että kasvi kärsii jostakin tai useammasta ravinnepuutoksesta, vaikka johtokyky on halutulla tasolla. (Kanniainen, 2003a, ss. 147–148)

Kasvualustoista voidaan laboratoriossa mitata suoraan myös niin sanottu johtoluku, jonka yksikkö on $10 \times \text{mS/cm}$. Johtoluvun mittauksessa saadaan otettua huomioon kaikki kasvualustasta löytyvät liukoiset ravinteet, vaikka ne eivät mittaushetkellä olisi liuenneessa muodossa. Johtokyky ja johtoluku eivät näin ollen täysin samalla asteikolla. Puristenesteestä otetun johtokyvyn arvot 0,8-4 mS/cm vastaavat suoraan kasvualustasta otetun johtoluvun arvoja 2-10 $10 \times \text{mS/m}$. (Silokangas, 2021)

Hajoamisen sekä juuriston hengityksen myötä kasvualusta yleensä happamoituu. Hajotustoiminnan myötä kasvualustaan muodostuu hiilidioksidia ja edelleen hiilihappoa (Hartikainen, 1992, s. 61). Kasvualustan happamoituminen voi myös olla seurausta

nitrifikaatiosta, jossa ammoniumtyppi muuntuu nitriitti- ja nitraattitypeksi happamoittaen samalla ympäristönsä (Hartikainen, 1992, s. 75). Todella happamassa maassa kationien huuhtoutumisriski lisääntyy, ravinteiden käyttökelpoisuus heikkenee ja kasveille haitallisten metallien pitoisuudet voivat nousta (Hartikainen, 1992, s. 62).

Kasvualustan happamuutta havainnollistetaan yleensä pH-luvun avulla. Mitä alhaisempi luku, sitä happamampi alusta. Liian happaman kasvualustan, kuten käsittelemättömän turpeen, pH-lukua voidaan nostaa esimerkiksi kalkitsemalla. Viljelyn aikana kasvualustan pH-tasoa säädellään yleensä kasteluliuksen pH-tason avulla. (Kanniainen, 2003a, ss. 155–156)

2.3 Ruukkuyrttien kerrosviljelyssä käytettäviä kasvualustoja

Kerrosviljelyn ominaispiirteet vaikuttavat kasvualustavalintoihin jonkin verran.

Kerrosviljelyssä kastelu on usein hyvin pitkälle automatisoitua ja siten työvoimaa säästävää. Tällöin kasvualustan vedenpidätyskyky ei ole välttämättä yhtä tärkeä ominaisuus kuin sellaisessa systeemissä, jossa kastelu tapahtuu vaikkapa käsin.

Toisaalta suljetun ympäristön kerrosviljelyssä ei myöskään synny lämpösäteilyä samalla tavalla kuin kasvihuone- tai avomaaviljelyssä. Lämpösäteilyn puute vähentää kasvualustan pinnalta tapahtuvaa suoraa haihduntaa. Tällöin kasvualusta pysyy kastelun jälkeen pidempään kosteana, ja kostean kasvualustan kyky pidättää ilmaa nousee tärkeäksi ominaisuudeksi.

2.3.1 Turve

Toisen maailmansodan jälkeen tarvittiin entistä tehokkaampaa maataloutta, ja havaittiin, että kasvualustan humuspitoisuutta nostamalla saadaan satotasojä nostettua, kasvihuoneviljelyssä ”lähes loputtomasti” (Puustjärvi, 1973, s. 13). Professori Viljo Puustjärvi kehitteli ensimmäisen turvepohjaisen kasvualustareseptin kotimaiseen käyttöön 1960-luvulla (Puustjärvi, 1973, Luku Lukijalle), ja turpeen kasvualustakäyttö on sen jälkeen noussut räjähdysmäisesti. Nykyään pelkästään Suomessa käytetään noin miljoona kuutiota kasvuturvetta vuodessa, ja puutarhakasvien viljelyyn tästä kuluu vuosittain noin 200 000

kuutiota. Euroopassa kasvihuoneviljelyn, taimistotuotannon ja viherrakentamisen sekä harrasteviljelyn kasvualustat sisältävät noin 80 % turvetta. Maailmalla kasvuturpeen vuosittainen käyttö on jopa noin 40 miljoonaa kuutiota. (Luonnonvarakeskus, 2021)

Ennen turpeen noston aloitusta suoalue täytyy ojittaa ja raivata. Pintakasvillisuus poistetaan ja suota kuivatetaan. (Ympäristöministeriö, 2015, s. 9) Perinteisiä korjuumenetelmiä turpeen nostoon ovat Saksassa kehitetty palaturvemenetelmä ja Neuvostoliitossa ensisijaisesti polttoturpeen nostoon kehitetty jysintämenetelmä (Puustjärvi, 1973, ss. 31–32). Näissä joko paloina tai rouhittuna nostettu turve kuivatetaan nostopaikalla. Kehitteillä olevassa siirtolevitysmenetelmässä turve kaivetaan pienemmältä alalta ja kuivataan erillisellä, asfaltoidulla kentällä. Tämän menetelmän etuina ovat vähäiset ympäristövaikutukset ja nopeampi tuotantoaika, mutta sen kustannukset ovat korkeammat.

Turvetuotantoalueen toiminta-aika on keskimäärin 30 vuotta, jonka jälkeen alue voidaan ottaa muuhun maankäyttöön, kuten pelloiksi, kosteikoiksi tai metsätalouden käyttöön. Vuonna 2013 Suomessa turvetta tuotettiin noin 64 400 hehtaarilla, jonka lisäksi tuotantokunnossa oli noin 4 200 hehtaaria ja tuotantoa varten kunnostettiin noin 3000 hehtaaria. (Ympäristöministeriö, 2015, s. 9)

Käytännössä kaikki kasvuturve myydään nykyään jalostettuna. Jalostukseen kuuluu lannoitus, rakenteen valvonta ja kosteustasapainon hallinta. Lannoitteet voidaan lisätä alustaan joko kuivina suoloina kuivaan turpeeseen, tai esimerkiksi veteen liuotettuna samalla turve kostuttaen. Kasvualustoja voidaan optimoida eri kasveille ravinnesuhteita säädellen. Rakenteen valvontaan kuuluu rouhinta joko korjuun aikana tai sen jälkeen nostomenetelmästä riippuen, seulonta, sekä mahdollisten muiden aineiden, kuten saven, hiekan, mullan tai perliitin lisääminen. Turvealustaan voidaan lisätä erillisiä kostutusaineita, jotta kuivan turpeen uudelleenkostutus helpottuisi. Näihin kuitenkin liittyy kasvinsuojelullisia riskejä. Liian suurissa määrin käytetyt kemikaalit voivat vahingoittaa kasveja. Myös pienemmissä määrin mutta muutoin epäonnistuneesti annosteltuna kasvualustasta voi tulla liian helposti märkyyttä sitova. (Puustjärvi, 1973, ss. 33–34)

Turve itsessään muodostuu primaarihiukkasista, amorfisesta massasta ja sekundaarihiukkasista. Primaarihiukkaset ovat kasvin kappaleita, jotka ovat muodostuneet mekaanisen pilkkoutumisen seurauksena. Amorfinen massa on maatumisen tuote. Happamassa turpeessa amorfisen massan sidosaineina on vesipitoisia kolloideja, joiden takia kuivuessa turve kokkaroituu. Sekundaarihiukkasiksi lasketaan korkean happamuuden maatumistuotteina syntyvät kalsiumhumaatit, jotka voivat reagoida kolloidihappojen kanssa estäen kovien, kivihiilimäisten kokkareiden muodostumisen, ylläpitäen turvealustan kuohkeutta. (Puustjärvi, 1973, ss. 35–36)

Turvealustan maatumisaste vaikuttaa sen kasvualustaominaisuuksiin (Puustjärvi, 1973, ss. 35–36). Mitä pidemmällä ollaan maatumisessa, sitä enemmän maatumistuotteet vaikuttavat näihin ominaisuuksiin. Turpeen maatuessa sen hiukkaskoko pienenee ja samalla sen tilavuuspaino kasvaa. Turpeen tilavuuspaino vaihtelee välillä 45–180 g/l, ja vastaava huokostilan vaihteluväli on 97–88 %. Turpeen tiheyden vaihtelu sen sijaan on niin pientä, että se voidaan olettaa vakioksi 1,5 g/cm³. (Puustjärvi, 1973, ss. 22–25)

Turpeet jaetaan maatumisasteen perusteella kolmeen ryhmään. Vaalean turpeen kasvualustaominaisuudet määräytyvät melkein yksinomaan kasvilajikoostumuksen mukaan. Tumman turpeen ominaisuuksiin vaikuttaa 50 % vahvuudella kasvilajikoostumus ja 50 % vahvuudella maatumistuotteet. Mustan turpeen ominaisuudet ovat lähes yksinomaan seurausta maatumistuotteista. (Puustjärvi, 1973, s. 26)

Koska turpeen kasvilajikoostumus määrää sen kasvualustaominaisuuksia, sitä mitataan tarkkaan turpeen valmistusvaiheessa. Koostumus näkyy myös turpeen nimessä. Mikäli turve sisältää vähintään 70 % yhtä kasvia tai kasvilajiryhmää, se nimetään tämän ryhmän mukaan. Mikäli taas turpeessa on kahta eri lajia tai ryhmää molempia yli 25 %, täytyy molempien ryhmien olla nimessä. Tällöin viimeisenä mainitaan se ryhmä, jota on turpeessa yli 50 %. (Puustjärvi, 1973, s. 26) Eri kasvilajiryhmiä ovat rahkasammalet (*Sphagnum*), lehtisammalet, sarat, ja puumaiset kasvit (Puustjärvi, 1973, s. 17).

Rahkasammalet muodostuvat elävästä, yhteyttävästä solukosta ja kuolleista vesi- eli rahkasoluista. Rahkasolujen tehtävä on imeä ja johtaa vettä, ja veden haihtuessa ne

täyttyvät ilmasta. Rahkasoluihin rahkasammal varastoi, ja tarpeen tullen näistä myös luovuttaa käyttöön, ravinteita. Rahkasolut muodostavat turpeeseen mekaanisen kapillaarisysteemin, jonka avulla kasvien vedenotto ja toisaalta myös hapensaanti on tehokasta. Juuri rahkasammalessa olevat rahkasolut muodostavat pohjan turpeen hyville kasvualustaominaisuuksille. (Puustjärvi, 1973, ss. 17–19)

Sarat ja saramaiset kasvit, kuten tupasvilla (*Eriophorum*) ovat tyyppillisiä erityisesti vetisillä soilla, ja niiden maatuessa jäljelle jää rihmamainen juurihuovasto. Tämä huovasto ei pidätä vettä eikä ravinteita, jolloin se on läpäisevää ja kuivuuteen taipuvaa. Sopivassa määrin se parantaa rahkasammalturpeen vedenläpäisyominaisuuksia. Lehtisammalet ja puumaiset kasvit, kuten varvut, pensaat ja puut muodostavat humusta turvealustaan maatumisen seurauksena. Suurin osa turpeen humuksesta ja maatunutta puuta. (Puustjärvi, 1973, ss. 19–20)

Viljelyn aikana turve jatkaa maatumistaan ja tiivistyy. Mikrobitoiminnan seurauksena syntyy sidosaineita, ja mikrobitoiminta on vilkkainta hajoamisen alkuvaiheessa. Esimerkiksi vaalean rahkaturpeen rakenne heikkenee, kun mikrobitoiminta hienontaa primaarihiukkasia, mutta samaan aikaan mikrobitoiminta tuottaa murustusta edistäviä sidosaineita, jotka taas parantavat kasvualustan rakennetta. Kasvualustan rakenneominaisuuksien säilyvyyden määrittää se, kumpi näistä tapahtuu voimakkaammin. Liiallista hienontumista pyritään välttämään kalkituksella. (Puustjärvi, 1973, ss. 35–40)

Tumma ja musta turve pyrkivät kalkituksesta huolimatta huononemaan nopeasti kasvihuoneviljelyssä. Parhaiten huokostila pysyy muuttumattomana puhtaassa, vaaleassa rahkaturpeessa, sillä sen hajoamisessa syntyy vähiten maatumistuotteita. Rahkasammalen hajautumistuloksina syntyy ennen kaikkea vettä ja hiilidioksidia, ja kolloideja ei muodostu ollenkaan. Maatumistuotteiden puute tarkoittaa kuitenkin huomattavia ainetappioita, ja pitkäaikaisessa viljelyssä vaaleaa rahkaturvetta joudutaankin korvaamaan pintakatteilla. (Puustjärvi, 1973, ss. 37–39) Lyhyessä viljelykierrossa, kuten ruukkubasilikan kerrosviljelyssä, turpeen maatuminen ei ehdi viljelyn aikana muodostua ongelmaksi. Varastointiaikaan ja -olosuhteisiin sen sijaan tulee kiinnittää huomiota.

Viime vuosikymmeninä turve on kokenut imagollisia ongelmia, kun ympäristönsuojeluun, kasvihuonepäästöihin ja biodiversiteettiin liittyviin ongelmiin on herätty yhteiskunnan tasolla. Euroopasta ja muualta maailmalta Suomeenkin valuneen poliittisen paineen myötä turpeen käyttöä pyritään vähentämään sekä poltto- että muussa käytössä. (Lehtoranta & Johansson, 2021) Esimerkiksi Irlannissa turpeen nosto on kielletty kaikilla yli 30 hehtaarin soilla (Mc Cormack, 2020).

Vaikka turpeen ympäristövaikutuksissa usein keskitytään yksinomaan turpeen polton kasvihuonepäästöihin, on pelkästään jo turpeen nostolla mittavia ympäristövaikutuksia. Näiden johdosta myös turpeen kasvualustakäyttöä vieroksutaan enenevässä määrin. Turvetuotantoa ja tuotantotoimintaa säädelään ympäristönsuojelulain mukaisella ympäristöluvalla, jota varten täytyy esittää kunnollinen ympäristönsuojelusuunnitelma. Suunnitelma ja sen seuraaminen ei kuitenkaan poista turvetuotannon ympäristövaikutuksia kokonaan. (Ympäristöministeriö, 2015)

Turvetuotannon vesistövaikutukset ovat moninaiset. Turpeen nostoa edeltävän ojituksen seurauksena turvesuolta valuu vesistöihin kiintoainetta, humusta, ravinteita ja metalleja. Vaikka Suomen mittakaavassa vesistöjen fosfori- ja typpikuormituksesta turvetuotannon osuus on alle prosentin luokkaa, voivat alueelliset vaikutukset olla hyvinkin suuret. Pahiten vaikutukset korostuvat alueilla, joissa turvetuotannon osuus valuma-alueen pinta-alasta on suuri. (Ympäristöministeriö, 2015, ss. 11–13)

Ympäristöluvassa on säädetty alueen jälkihoitovelvoitteista turvetuotannon päättyessä. Turvetuotantoalueelle tulee määrittää uusi käyttömuoto, oli se sitten pelloiksi, metsätalousalueeksi tai esimerkiksi kosteikoiksi. Maanomistaja valitsee turvetuotantoalueen uuden maankäyttömuodon. Tuotantoalueen jälkikäyttömuoto vaikuttaa alueen ilmastovaikutukseen. Esimerkiksi viljelyssä olevien suopeltojen päästöt ovat merkittävät. (Seppälä, 2019)

Turpeenottoalueen tuotantoalueista, ojista ja turveaumoista aiheutuu suoria kasvihuonekaasupäästöjä hapettumisen seurauksena. Vuonna 2017 pelkästään nämä päästöt olivat arvoltaan 1,8 miljoonaa hiilidioksidiekvivalenttia. Jyri Seppälä Suomen

ympäristökeskuksesta on muotoillut 13.11.2019 pidetyille Turvetuotannon ympäristön- ja luonnonsuojelupäiville turpeen käytöstä seuraavasti: ”Ilmaston kannalta kaikki käyttömuodot, jotka vapauttavat turpeen hiilen ilmakehään muutaman vuosikymmen aikana on vaikutuksiltaan samankaltaista kuin turpeen poltto.” (Seppälä, 2019) Esimerkiksi maatalousmaassa turve hajoaa sadassa vuodessa noin 86-prosenttisesti, ja tästä aiheutuvat hiilidioksidipäästö on turvetonnia kohden noin 860 kg, kun kokonaispäästöistä poistetaan turpeentuotantoalueen hiilidioksidipäästöt (40 kg). Hiilidioksidin lisäksi kuivatetuilla soilla ja turpeentuotantokentillä syntyy metaani- ja typpioksiduulipäästöjä. Lisäksi turvetuotannon ympäristölle aiheuttamaa hiilidioksidikuormaa laskettaessa tulisi ottaa huomioon tuotannon aiheuttama, hiiltä sitovan suoekosysteemin menetys. (Soimakallio ym., 2020, ss. 56–57)

2.3.2 Kookos

Kookosta on käytetty kasvualustoissa jo 1800-luvulla. Nykyiseen, kasvavaan suosioonsa se nousi kuitenkin vasta 1900-luvun loppupuolelle. (AdvancedNutrients.Com, 2018)

Kasvualustakookos on alun perin syntynyt esimerkiksi köysiin käytettävän kookoskuidun erotuksen sivutuotteena. Kasvualusta- ja maanparannuskäytön lisäksi sitä voidaan käyttää muun muassa teollisuudessa ja eläintuotannossa. (Fibrefamily.Com, 2020)

Kasvualustakäytössä kookos on aktiivinen, ja sen kationinvaihtokapasiteetti on verrattavissa turpeeseen (Järvinen ym., 2016, s. 131). Kookosalustasta löytyy myös puskurointikykyä happamuuden ja johtoluvun vaihteluita vastaan. Kookosalustan rakenteen väitetään säilyvän pidemmässäkin viljelyssä paremmin kuin turpeella. (Farmit.Net, n.d.; Fibrefamily.Com, 2020)

Eräissä tutkimuksissa mitattiin kookoskuidun ja muutaman muun turpeen korvaajaksi ehdotetun materiaalin kasvualustaominaisuuksia. Tutkimuksessa havaittiin kookoskuidulla olevan hyvin turpeenkaltaiset ominaisuudet muun muassa huokoisuuden ja kastelun jälkeisen ilmatilan suhteen. Vedenpidätyskyky oli hiukan turvetta heikompi, mutta sen sijaan pienten hiukkasten prosentuaalinen osuus kasvualustassa oli noin 12 prosenttiyksikköä korkeampi kuin turpeella. (Fields ym., 2014)

Kookos sisältää luonnostaan huomattavia määriä natriumia, kloridia ja kaliumia, joita se vuodattaa viljelyn edetessä kasteluveteen. Tämä muodostuu ongelmaksi ennen pitkää erityisesti suljetussa vesikierrrossa, mutta myös avoimessa kastelujärjestelmässä kasveille muodostuu helposti magnesiumin ja kalsiumin puutostila. Pelkkä raaka-aineen huuhtelu ei riitä, vaan kookosalustan esilannoitukseen kuuluu magnesiumin ja kalsiumin lisääminen riittävässä määrin kasvualustaan. (de Ruiter, 2021) Koska kookos on lisäksi luontaisesti suhteellisen emäksinen, voidaan lannoituksessa joutua käyttämään kalliimpaa DTPA- eli kelaattirautaa (DTPA = dietyleenitriamiinipentaetikkahappo) yleisemmän EDTA-raudan (EDTA = etyleenidiamiinitetraetikkahappo) sijaan. (Farmit.Net, n.d.; Järvinen ym., 2016, s. 131)

Trooppisen ilmaston kasvina kookoksen tuonnissa Suomeen ja Eurooppaan on pitkät toimitusketjut, jotka ovat haavoittuvaisia pandemioiden, luonnonkatastrofien, kansainvälisen logistiikan pullonkaulojen ja sotien edessä (Vellekoop, 2021). Turpeen kotimaisuus ja pitkä historia suomalaisessa yhteiskunnassa on varmasti vaikuttanut myös kookoksen vähäisempään käyttöön Suomessa.

2.3.3 Rahkasammal

Kasvusammalena tunnetut kasvualustat sisältävät pääasiassa rahkasammalia (*Sphagnum*). Niitä kerätään sellaisilta suoalueilta, jotka eivät sovellu metsätalouden tarpeisiin. Metsäntutkimuslaitoksen mukaan tällaisia niin kutsuttuja kitusoita on Suomessa noin 800 000 hehtaaria, joista noin 300 000 hehtaaria soveltuvat sammalen korjuuseen. (MTT, n.d.)

Rahkasammalta voidaan korjata samoilta mailta kuin turvetta, mutta se eroaa turvetuotannosta sillä, että sammalen korjuussa kerätään vain elävä pintakerros, eli kasvustoa enintään 30 cm syvyydeltä. Tällöin rahkasammal jatkaa korjuun jälkeen kasvuaan. Rahkasammalen korjuuta varten suoalueita ei myöskään tarvitse kuivata, vaan pikemminkin ennallistaa tukkimalla ojituksia. (Lamminen, 2020; MTT, n.d.)

Korjuusyvyydestä riippuen maisema palautuu korjuuta edeltävän näköiseen tilaan noin 3-10 vuodessa (Luonnonvarakeskus, n.d.; MTT, n.d.). Koska rahkasammal kasvaa vuosittain noin yhden senttimetrin, on suositeltava keskimääräinen korjuuväli sammalsoleilla noin 30 vuotta (Pennanen, 2019). Kaiken Suomessa käytettävän turpeen korvaamiseen yksinomaan rahkasammalella tarvittaisiin noin 6 000 hehtaaria soveltuvaa suomaata (Lamminen, 2020).

Rahkasammalissa olevat rahkasolut imevät ja johtavat vettä hyvin (Puustjärvi, 1973), ja rahkasammalta sisältävillä kasvualustoilla onkin loistava veden imu- ja -pidätyskyky (Silokangas, 2019). Rahkasolujen ansiosta sammalalusta säilyttää ilmavuutensa märkänäkin, ja ilmavuus parantaa kasvien juuriston kykyä levittäytyä kasvualustaan tasaisesti (RakennaOikein.fi, 2019). Myöskin juuri rahkasolut mahdollistavat sammalalustalle aktiivisen kationinvaihtokapasiteetin (Puustjärvi, 1973, ss. 17–19). Pelkästään jo sammalen lisääminen osaksi kasvualustaa parantaa juuriston kasvua (Silokangas, 2019). Viljelykostean sammalen ilmatila on noin 20-30 prosenttiyksikköä korkeampi kuin turpeella tai esimerkiksi kivivillalla (Luonnonvarakeskus, n.d.). Lisäksi sammal maatuu hitaasti, joten kasvualustan rakenne säilyy hyvin (Silokangas, 2019). Nykyisin rahkasammalta lisätään turvealustan sekaan noin 25-30 % (Kangas, 2022).

Rahkasammalilla tiedetään olevan antimikrobisia ominaisuuksia, jotka hyödyttävät viljelijöitä muun muassa ehkäisemällä kanelihometta (Kanniainen, 2021). Vuonna 2019 julkaistussa artikkelissa (Fudyma ym., 2019) tutkijat löysivät Suomessa hyvin yleisestä sararahkasammalesta (*Sphagnum fallax*) jopa 17 mahdollisesti antimikrobista yhdistettä.

Rahkasammalen tuotanto kasvualustaksi ei kuitenkaan ole täysin ongelmaton. Korjuun jälkeen suon hiilensidonta heikkenee useaksi vuodeksi (Lamminen, 2020). Normaalisti rahkasammalissa elävät mikrobit hapettavat suon syvyyksistä nousevaa metaania hiilidioksidiksi sammalen ja muiden suokasvien käyttöön (Kivipelto, 2010). Kun rahkasammal kuoritaan pois, vapautuu metaani suolta esteittä. Korjuun jälkeisessä palautumisvaiheessa suolle kasvavan tupasvillan juuristot vapauttavat metaania entisestään. (Lamminen, 2020)

Rahkasammaltuotantoa ei myöskään säännellä tai valvota juurikaan, vaikkakin siihen pätee luonnonsuojelu-, vesi- ja ympäristönsuojelulaki. Alalla on hyvän korjuutavan ohjeistuksena

keruu enintään 30 cm syvyydeltä, mutta ei sitä ole aina noudatettu. Esimerkiksi kasvusammaltuotannon suomalaisena pioneerina pidetyn, Biolan Groupiin kuuluvan Ecomossin korjuupaikalta Kihniön Sarvinevalta oli vuonna 2020 kuovittu sammalta paikoin jopa 60 cm syvyydestä. Biolan sopi tapauksen jälkeen Luonnonvarakeskuksen kanssa tutkijoiden selvittävän rahkasammalen korjuun jälkiä ja vaikutuksia kaikilla Ecomossin korjuusoilla. (Lamminen, 2020)

Vuonna 2022 on määrä alkaa Rahkasammalesta ilmastoviisas kasvualusta – mahdollisuudet kokonaiskestävään korjuuseen -niminen hanke (RahKoo), jonka työryhmässä on Geologian tutkimuskeskuksen, Suomen ympäristökeskuksen ja Luonnonvarakeskuksen tutkijoita (Kangas, 2022).

2.3.4 Puukuitu

Kasvualustakäyttöön tarkoitettu puukuitu voidaan valmistaa puulastuista esimerkiksi hiertämällä tai jauhamalla ne vasaramyllyllä tietyn kokoisiksi paloiksi. Syntyneet palat tai irtokuitu voidaan tämän jälkeen käsitellä halutuilla lisäaineilla, kuten lannoitteilla tai väriaineilla. (Jackson ym., 2010) Raaka-aineena voi periaatteessa olla mikä vain puulaatu, mutta parhaiten kasvualustapuuksi vaikuttaisi sopivan mänty (Silokangas, 2022). Tutkimuksissa on saatu hyviä tuloksia muun muassa *Heterobasidion*-suvun juurikääpien saastuttamasta ja muun metsäteollisuuden tarpeisiin kelpaamattoman puuaineksen käytöstä kasvualustapuukuidun lähteenä. Erään tutkimuksen mukaan juurikääpien lahottamasta puusta saatiin saksalaisen Toresa® Deutchland BmbH:n kehittämällä Retruder®-menetelmällä jopa nelinkertainen määrä irtopuukuitua kasvualustavalmistukseen verrattuna terveeseen puuhun samalla, kun energiankulutus laski noin 30 %. (Kharazipour ym., 2007, s. 618)

Eräessä tutkimuksessa kartoitettiin puukuidun ja usean muun turpeen korvaajaksi ehdotetun materiaalin kasvualustaominaisuuksia. Kokeissa käytettiin loblollymännystä (*Pinus taeda*) hierrettyä ja 6.35-kokoisen seulan läpi vasaramyllytystä puukuitua. Tutkimuksissa havaittiin näin käsitellyllä puukuidulla olevan noin 13 prosenttiyksikköä matalampi huokostilavuus kuin turpeella, ja myös vedenpidätyskyky todettiin matalammaksi. Märäksi kastellun

puukuitualustan ilmatila oli jopa kolminkertainen verrattuna turpeeseen, ja helposti saatavilla olevaa vettä oli vähemmän. Pieniä hiukkasia turpeessa oli yli kaksinkertaisesti verrattuna hierrettyyn ja seulottuun puukuituun. (Fields ym., 2014)

Puukuidun tiedetään olevan altis homehtumiselle, mikä vaikeuttaa sen käyttöä kasvualustan ainoana raaka-aineena. Lisäksi typen immobilisaation tiedetään lisäävän kasvualustan typenkulutusta puuaineksen vähitellen hajotessa viljelyn aikana. (Kanniainen, 2021) Toisaalta esimerkiksi aiemmin mainitulla Retruder[®]-menetelmällä valmistetussa puukuitualustassa ei välttämättä ole juurikaan mikrobiologista toimintaa, sillä lopputuote on steriili. Kyseisellä menetelmällä valmistetulla kasvualustalla tehdyssä kokeessa tarvittiin lisälannoitusta, jotta saatiin hyvät kasvutulokset retiisillä ja samettikukalla, sillä kasvualustassa ei tapahtunut juurikaan nitrifikaatiota. (Kharazipour ym., 2007, s. 621)

Puukuidun lisääminen esimerkiksi turpeen tai mullan sekaan lisää kasvualustan ilmavuutta (HortiDaily.com, 2022). Suomalaisista kasvualustavalmistajista ainakin Biolan ja Kekkilä-BVB ovat investoineet puukuidun käsittelyyn ja käyttöön kasvualustoissa. Lupaavia tuloksia on saatu, kun puukuitua on lisätty turpeen sekaan 25–30 %. Sekä Kekkilä-BVB:n että Biolanin on määrä aloittaa puukuitua sisältävien kasvualustojen toimitus ammattiviljelijöille vuoden 2022 aikana. (Kangas, 2022)

2.3.5 Muita kasvualustoissa käytettäviä raaka-aineita ja tekniikoita

Yrttien viljelyssä käytettävien kasvualustojen ja raaka-ainevaihtoehtojen kirjo on laaja. Esimerkiksi Kiteen Mato ja Multa Oy osallistui 2015-2017 hankkeeseen, jossa etsittiin käyttökohteita kotimaisista vesistöistä tutulle järviruo'olle muun muassa kasvualustan raaka-aineena (Kiteen Mato ja Multa Oy, n.d.). Yrityksen kasvikuituja sisältävä multatuotteensa on hyväksytty kotimaan markkinoille vuonna 2013. Kasvikuitujen käytöstä kasvualustoissa on tehty ainakin yksi opinnäytetyö (Niittylä, 2014) ja pro gradu -tutkielma (Kuisma, 2013).

Kasvihuoneviljelyssä yleisesti käytetty kivivilla on steriili kasvualusta, joka valmistetaan kehräämällä erittäin korkeassa lämpötilassa sulatettua kiveä. Kivivillaa käytetään kasvualustojen lisäksi muun muassa eristeenä. (Rockwool.Com, n.d.) Kasvualustakäytössä se

on erittäin ilmava, mutta puskurikapasiteetti sillä on erittäin alhainen. Viljelytoimenpiteiden, kuten kastelun ja lannoituksen kanssa tulee olla erittäin tarkkana. Käytetty kivivilla-alusta on vaikea hävittää, sillä se ei ole biohajoava. (Farmit.Net, n.d.)

Vulkaanisesta kivistä kuumentamalla valmistettava perliitti on myös tunnettu kasvualustavaihtoehto kasvihuoneviljelyssä. Sen vedenpidätyskyky on suhteellisen alhainen verrattuna turpeeseen (Fields ym., 2014), mikä tekee sen kastelurytmistä tarkemmin seurattavan, joskin se pitää vettä paremmin kuin kivivilla. Perliitin rakenne säilyy hyvin viljelyssä, mutta materiaalina se on herkkä murentumaan pölyksi esimerkiksi puristettaessa. Kasvualustana se on inaktiivinen ja epäorgaaninen. (Farmit.Net, n.d.)

Kasvualustamarkkinoilla näkyy myös entistä enemmän erilaisia polymeerivaihtoehtoja. Esimerkiksi Growfoam valmistaa biohajoavia viljelynappeja tai niin sanottuja plugeja, jotka on valmistettu kokonaan tai osittain biopolymeereistä (Growfoam.ag, n.d.). Viljelyplugeja käytetään ensisijaisesti vesiviljelyssä tukemassa kasvin juuristoa.

3 Kerrosviljelytekniikka

Vertikaali- eli kerrosviljely tarkoittaa sananmukaisesti kasvien viljelyä päällekkäisissä kerroksissa perinteisen kasvihuone- tai avomaaviljelyn sijaan. Samalla maa-alalla tuotetaan siis moninkertainen määrä ruoka- tai koristekasveja. Usein kerrosviljely yhdistetään lisäksi korkeaan automaatiotasoon ja täysin kontrolloituun, suljettuun ympäristöön. Esimerkiksi Suomen itsenäisyyden juhlarahasto Sitra määrittelee vertikaaliviljelyn tulevaisuussanastossaan näin: ”Vertikaalisen viljelyn (käytetään myös termejä vertikaaliviljely tai monikerrosviljely) ajatuksena on, että ruokaa tuotetaan kontrolloiduissa olosuhteissa kasvihuoneessa, jossa ruokaa viljellään päällekkäin useassa eri kerroksessa.” (Sitra, n.d.)

Tuoreyrtit sopivat suljetun ympäristön kerrosviljelyyn hyvin. Ne ovat suhteellisen pieniä, joten kerrosvälin ei tarvitse olla kovinkaan suuri. Tällöin samalle pinta-alalle saadaan useampia kerroksia. Niiden kasvatusaika on suhteellisen lyhyt, joten viljelyn aloittamisesta ensimmäiseen satoon ei tarvitse odottaa kauaa. (Piechowiak, n.d.)

Ruohovartiset yrtit myös ovat herkkiä sääolojen rajuille vaihteluille ja äärimmäisille sääoloille. Suljetussa ympäristössä niitä voidaan viljellä myrskyistä ja pakkasista huolimatta, jolloin paikallisesti tuotettuja, lähituotantotrendiin täydellisesti solahtavia, tuoreita yrttejä saadaan ravintoiloihin ja kotikokeille ympäri vuoden.

Kestävän kehityksen trendin mukaisesti erityisesti ruukkuyrttien eduksi voidaan laskea myös viljelyjätteen vähäisyys: kun yrtit myydään viljelyruukuissaan, ei viljelmällä muodostu jätettä käytännössä ollenkaan. Jätteen vähäinen muodostuminen näkyy myös työvoimakustannuksissa, kun jätteenkäsittelyyn ei tarvita yhtä paljon resursseja.

Päällekkäisissä kerroksissa viljelyn edellytys luonnollisesti on, että valonlähteenä käytetään vähintään lisänä jotain muuta kuin aurinkoa, sillä auringon ollessa ainut valonlähde ylemmät kerrokset varjostavat alempia. Koska valotuksessa joudutaan joka tapauksessa käyttämään jotain keinotekoista valoa, on koko viljelmän siirtäminen sisätiloihin ymmärrettävää. Korkea automaatiotaso on luonnollinen seuraava askel jo valmiiksi teknologiaintensiivisessä systeemissä.

Suljetun ympäristön ilmastohallinta on helpompaa ja resurssitehokkaampaa verrattuna avoimeen tai puolisoljettuun systeemiin. Koska suljetun ympäristön kerrosviljelyssä ei käytetä valon lähteenä auringonvaloa, on lämpösäteilyn määrä valotustekniikasta riippuen huomattavasti pienempi kuin esimerkiksi kasvihuoneviljelyssä. Lämpösäteily vaikuttaa vahvasti ilmastohallintaan ja siihen kohdistuviin vaatimuksiin suoran lämmittävän vaikutuksen lisäksi esimerkiksi tehostaen kasvualustan haihdutusta. Tämä täytyy edelleen ottaa huomioon kastelua suunniteltaessa. Lämpösäteily voi kasvualustan pintaa kuivattaessaan myös vaikuttaa esimerkiksi pintakylvettyjen siementen itämiseen. (Kujala, 2022)

Monet kerrosviljelyteknologian valmistajat markkinoivat tuotteitaan korkealla hygieniatasolla, joka saavutetaan minimoimalla ihmisen vaikutus kasveihin. Taustalla on ajatus siitä, että nostamalla automaatiotaso huippuunsa saadaan tuotettua puhtaampaa ruokaa eliminoimalla ihmislevitteiset taudit viljelyprosessista. Koronaviruspandemia on epäilemättä vauhdittanut kiinnostusta tämänlaiseen viljelytekniikkaan, mutta muita

maailmalla huolta aiheuttavia tauteja ovat esimerkiksi salmonella ja *Escherichia coli* -bakteeri.

3.1 Valo ja valotus suljetun ympäristön kerrosviljelyssä

Valo voidaan määritellä säteilyksi, jolloin sitä tarkastellaan aaltojen muodossa, tai elektromagneettiseksi energiaksi, jolloin sitä tarkastellaan fotonien eli yksittäisten valokvanttien avulla. Säteilyllä on sitä korkeampi energiataso, mitä lyhyempi on sen aallonpituus. (Kozai ym., 2016, ss. 115–116)

Ihmissilmä näkee valoa aallonpituuksilla 380–780 nanometriä. Tältä väliltä PAR-valoksi (Photosynthetically Active Radiation, fotosynteettisesti aktiivinen säteily) luetaan aallonpituudet 400–700 nm, ja kaukopunaisen valon aallonpituudet ovat noin 700–800 nm. Alle 380 nanometrinen aallonpituus kutsutaan ultravioletiksi säteilyksi, ja infrapuna löytyy yli 2500 nm aallonpituuksilta. Näkyvän valon ja infrapun välialuetta kutsutaan lähi-infrapuna-alueeksi. Esimerkiksi auringon säteilyhaitari on 280–2800 nanometriä. (Kozai ym., 2016, ss. 115–116) Valotuksen intensiteetillä tarkoitetaan viljelyn yhteydessä yleensä sitä, paljonko kasville on tarjolla fotosynteettisesti aktiivista säteilyä. Pääsääntöisesti voidaan sanoa, että mitä enemmän valoa on tarjolla, sitä enemmän energiaa fotosynteesillä voidaan tuottaa.

Valon mittaamiseen on kehitetty erilaisia tekniikoita. Kvanttimittarilla ja spektrometrillä mitataan sitä, kuinka paljon valoenergiaa eli fotoneita sataa tietylle pinta-alalle tietyssä aikajaksossa. Tätä kutsutaan myös fotosynteettisen fotonivuon tiheydeksi, PPFD (Photosynthetic Photon Flux Density). Yleisin yksikkö PAR-valon hetkellisestä intensiteetistä puhuttaessa on $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. (Kozai ym., 2016, ss. 117–118)

PAR-valon avulla voidaan laskea myös kasvin koko päivänä saaman valon kertymä eli päivittäinen valointegraali DLI (Daily Light Integral). DLI:n yksikkönä käytetään $\text{mol}/\text{m}^2/\text{päivä}$. (Sloper, 2019, s. 9) DLI:n vaikutus kasvien kasvuun on moninainen; toisaalta DLI:n kasvaessa monet ominaisuudet, kuten siementuotannon määrä ja fotosynteesi voivat lisääntyä, mutta

toisaalta esimerkiksi lehtien pinta-ala suhteessa kasvin kuivapainoon saattaa vähentyä (Poorter ym., 2019).

Muita valon mittaukseen kehitettyjä laitteita ovat fotometri ja radiometri. Fotometrillä mitataan valon valaisukykyä tai kirkkautta ihmissilmän näkökulmasta, ja sillä saadut yksiköt ovat luksi ja foot-candle. Fotometri, kuten ihmissilmäkin on herkimmillään vihreän valon aallonpituuksilla noin 555 nanometrin kohdalla, eikä sovellu kasvien valotuksen suunnitteluun. Radiometri taas mittaa valon absoluuttista energiamäärää aikaa ja pinta-alaa kohden, ja sillä saatujen arvojen yksikkö on W/m^2 . (Kozai ym., 2016, s. 117) Tämä yksikkö ei kuitenkaan yksinään kerro mitään fotosynteesin fotonivuon tiheydestä, ja onkin nykyään harvemmin käytössä viljelyvalaistuksen laadusta puhuttaessa. (Sloper, 2019, s. 11)

3.1.1 Valon merkitys kasville

Valo vaikuttaa kasviin sekä energian lähteenä fotosynteesin eli yhteyttämisen kautta, että informaation välittäjänä ja kasvua ohjaavana tekijänä fotoperiodismin, fototropismin ja fotomorfologian avulla.

Kasvit muodostavat tarvitsemiaan orgaanisia yhdisteitä fotosynteesillä saamansa energian avulla. Yhteyttämisen kasvi muuttaa valon säteilyenergian kemialliseksi energiaksi viherhiukkasissa eli kloroplasteissa. (Jaakkola, 1992, s. 180) Enintään kymmenen prosenttia säteilyn kasviin osumasta energiasta hyödynnetään fotosynteesissä (Kozai ym., 2016, ss. 115–116). Kemiallista energiaa kasvi käyttää ja varastoi muuttaessaan hiilidioksidia orgaanisiksi yhdisteiksi niin kutsutun Calvinin kierron avulla (Jaakkola, 1992, s. 180).

Calvinin kierto eli reductive pentose phosphate pathway (RPP) voidaan jakaa neljään vaiheeseen. Ensimmäisessä vaiheessa kloroplastin stroomassa eli perusaineessa oleva ribuloosibifosfaatti (RuBP) reagoi hiilidioksidin kanssa muodostaen fosfoglyserolihappoa (PGA). Seuraavaksi PGA virittyy adensiinitrifosfaatin (ATP) suorittamassa fosforylaatiassa glyserolibifosfaatiksi, ja pelkistyy glyseraldehyli-3-fosfaatiksi (GAP). GAP:ia ja sen isomeeria dihydroksyasetonifosfaattia (DHAP) kutsutaan yleisesti trioosifosfaateiksi. Kolmannessa vaiheessa trioosifosfaatit siirtyvät strooman ulkopuolelle sytoplasmaan, jatkavat kiertoa

palautuen ribuloosifosfaateiksi, tai yhtyvät tärkkelykseksi varastoituen väliaikaisesti stroomaan. Neljännessä vaiheessa sytoplasmaan siirtyneet trioosifosfaatit yhtyvät sakkaroosiksi, jota pidetään fotosynteesin päätuotteena. Sakkaroosia kasvi varastoi ja muuttaa tärkkelykseksi. (Jaakkola, 1992, s. 183) Tärkkelyksen ja muiden hiilihydraattien hajottaminen vapauttaa energian jälleen kasvin käyttöön (Jaakkola, 1992, s. 190).

Viherhiukkaset sijaitsevat lehtivihreässä eli klorofylleissä, jotka voidaan jakaa kahteen eri tyyppiin. Klorofylli-a:ta (Chl-a) pidetään näistä tärkeämpänä, ja sen tehokkaimman aallonpituusalueet ovat noin 440-450 nm ja 620-660 nm (McCree, 1971). Toisen lehtivihreätyypin, klorofylli-b:n (Chl-b) tehokkaimmat alueet ovat noin 450 nm ja 640 nm kohdalla. (Attridge, 1990, s. 23) Lehtivihreän lisäksi myös karotenoidit ovat oleellisia fotosynteesin kannalta. Esimerkiksi beetakaroteeni toimii 400–500 nanometrillä alueella, ja eräs sen tehtävistä on suojella lehtivihreää liian intensiiviseltä säteilyltä. (Attridge, 1990, s. 24)

Lehtivihreän ja karotenoidien lisäksi kasvien kasvuun vaikuttavat myös muut fotoreseptorit, joista yksi on punaiseen ja kaukopunaiseen valoon reagoiva fytokromi. Sillä on kaksi muotoa, aktiivinen (Pfr) ja inaktiivinen (Pr). Ne muodostuvat punaisen ja kaukopunaisen valon aiheuttamien fotokemiallisten reaktioiden avulla; punaisen valon aallonpituudet muuntavat fytokromin aktiiviseen Pfr-muotoon. Fytokromin eräs tehtävä on lähettää kasville käsky reagoida alhaiseen tai voimakkaaseen säteilyyn. (Attridge, 1990, ss. 25–27) Toinen esimerkki fotoreseptorista on siniseen valoon reagoiva BAP (Blue Light Absorbing Pigment), joka muun muassa ohjaa kasvin kasvua lajista riippuen joko kohti tai poispäin valonlähteestä. Tätä kutsutaan fototropismiksi. (Attridge, 1990, ss. 34–27)

Fotoperiodismilla tarkoitetaan päivänpituuden vaikutusta kasveihin. Yleensä fotoperiodismi yhdistetään kukintaan ja vuodenaikavaihteluihin. Kasveissa tapahtuu kuitenkin muutoksia myös eri vuorokaudenaikojen välillä, ja kasvien yö- ja päivätyöt poikkeavat toisistaan huomattavasti. Päivällä kasvi luo ja säilöo kemiallista energiaa fotosynteesin avulla mahdollisimman paljon, ja yöllä se käyttää tämän energian kasvuun ja aineenvaihduntaan (Allen, 2017). Kasvit mittaavat ja geneettisesti ennustavat yön pituutta, ja optimaalinen

päivä- ja yön pituus vaihtelee kasvilajeittain runsaasti. Päivän ja yön pituuksien vaikutusta kutsutaan kasvien sisäiseksi kelloksi. (Attridge, 1990, ss. 124–125)

Kasvien sisäinen kello nollaantuu pimeän tultua, ja juuri yön pituus vaikuttaa kasvin fotoperiodisiin reaktioihin. Esimerkiksi yön eli pimeäjaksen aikana tehtävillä valon välähdyksillä voidaan ohjata kasvin elintoimintoja valitsemalla välähdyskohta sen mukaan, kuinka pitkällä yössä mennään. Jos välähdys annetaan pian yön tultua, se toimii kasville auringonlaskua signaloivana efektinä tehostaen kasvin valmistautumista yöhön. Jos välähdys taas annetaan yöjakson loppupäässä, se signaloi kasville auringonnousua ja kasvi alkaa valmistautua päivään. Myös näiden reaktioiden hallintaan osallistuu fytokromi, mutta ei yksin, sillä myös sinisen valon on havaittu vaikuttavan kasvien sisäiseen kelloon. (Attridge, 1990, ss. 124–128)

Luonnossa kasvit saavat myös kuun heijastamaa valoa, ja osa kasveista reagoi siihen herkemmin. Esimerkiksi veripeippi (*Perilla ocymoides*) käyttää sitä edistääkseen kukintaansa. Toiset kasvit, kuten soijapavut (*Glycine*), maapähkinät (*Arachis*) ja apilat (*Trifolium*) kääntävät lehtensä pimeän tullessa niin, ettei mahdollisen täysikuun valo pääse häiritsemään niiden yötoimintoja. (Attridge, 1990, s. 129)

Fototropismin lisäksi valon eri aallonpituudet vaikuttavat kasvien kasvuun myös fotomorfolgian kautta. Esimerkiksi kaukopunaisen valon suuri osuus valon spektristä aiheuttaa venyntyä kasvua, kun taas sinisen valon määrän kasvattaminen yleensä ohjaa kasvien kasvua tiiviimmäksi (Cope & Bugbee, 2013; Keuskamp ym., 2012). Toisaalta liian korkea sinisen valon osuus voi estää fytokromien toimintaa, jolloin kasvi reagoi siihen niin kutsutulla varjon välttämisyksellä (SAS, Shade Avoidance Syndrome) ja alkaa venyttää kasvuaan (Johnson ym., 2020; Keuskamp ym., 2012; Snowden ym., 2016). Juuri SAS on syynä myös kaukopunaisen valon aiheuttamaan venyvään kasvuun. Eräessä tutkimuksessa esitettiin, että kaukopunaisen aallonpituudet voivat joillain kasveilla olla yhtä fotosynteettisesti tehokkaita kuin perinteinen PAR-valo (Zhen & Bugbee, 2020). Eräessä toisessa tutkimuksessa taas havaittiin sinisen valon korvaamisen vihreällä ja kaukopunaisella valolla voivan kasvattaa kasvin biomassaa, mutta vaikuttavan myös kasvin väriin ainakin

punertavilla salaatti- ja lehtikaalilajikkeilla; kaukopunaisella korvattaessa vaikutus oli voimakkaampi (Meng ym., 2019).

3.1.2 Valotustekniikat auringonvalolta suojatussa ympäristössä

Suljetussa, auringonvalolta suojatussa ympäristössä valotus hoidetaan sähkölampuilla. Erilaisia lampputyyppejä ovat hehku- ja halogeenilamput, kaasupurkauslamput sekä elektroluminesenssivalaisimet. Yleisimmät kasvien kasvatuksessa käytettävät valaisimet ovat kaasupurkaus- ja elektroluminesenssivalaisimet. (Kozai ym., 2016, s. 119)

Kaasupurkausvalaisimista tunnetuimpia ovat suurpainenatrium- eli HPS-valaisimet (High Pressure Sodium), jotka toimivat elektronien siirrolla korkeammalta energiatasolta matalammalle luoden voimakasta, laajaspektristä valoa. Ne ovat erityisen yleisiä kasvihuoneissa, joissa lamput ovat suhteellisen kaukana kasvista. Ne käynnistyvät hitaasti ja tuottavat valon lisäksi huomattavan paljon lämpöä, ja ovat siksi harvoin käytössä kerrosviljelyssä. (Kozai ym., 2016, s. 119)

Loisteputkivalaisimet toimivat samalla periaatteella kuin suurpainenatriumvalaisimet, mutta ne tuottavat huomattavasti vähemmän lämpöä. Niiden hyötysuhde on myös huonompi. Loisteputkivalaisimissa yleensä käytettävä elohopeakaasu tuottaa elektronien siirtyessä UV-valoa, joka valaisimen sisäpinnan fluoresoivan materiaalin ansiosta muuttuu näkyväksi valoksi. Loisteputkivalaisinten tuottaman valon aallonpituuteen voidaan vaikuttaa valaisimen sisäpinnan materiaalin värillä. Vuonna 2013 jopa 60 prosenttia Japanin niin kutsutuista kasvitehtaista käytti loisteputkia kasvien valotukseen. Loisteputkivalaisimilla ei juuri ole etuja muihin valaisintyypeihin valotuksen näkökulmasta, mutta niiden edullisuus ja helppous nostavat niiden kiinnostavuutta vertikaalivalaistuksessa. (Kozai ym., 2016, s. 126)

Elektroluminesenssivalaisimista tunnetuimpia ovat LED:it (Light-Emitting Diodes). LED:it ovat puolijohdekomponentteja, jotka koostuvat n-tyyppin ja p-tyyppin materiaaleista. Jännitteen avulla p-tyyppin materiaalissa olevat positiivisesti varautuneet aukot pakotetaan siirtymään kohti n-tyyppin materiaalia, ja vastaavasti n-tyyppin materiaalissa olevat, negatiivisesti varautuneet elektronit pakotetaan siirtymään kohti p-tyyppin materiaalia. Aukon ja elektronin

kohdatessa syntyy fotoni, jonka voimakkuus riippuu elektronin yhdistymisessä vapauttamasta energiasta. Valon väriä voidaan muuttaa valaisimen kuoren väriä muuttamalla. Yksittäisellä lampulla on yleensä vain yksi väri, mutta ne ovat niin pieniä, että niitä voidaan yhteen valaisimeen yhdistää hyvin monin tavoin. (Kozai ym., 2016, s. 120)

Vielä 2000-luvulla LED:ejä käytettiin lähinnä kasvitutkimuksessa, mutta niiden hinta- ja valotehon tuotekehityksen paranemisen myötä niitä käytetään nykyään enenevässä määrin sisäviljelyssä. LED:eillä on paljon etuja verrattuna muihin valaisimiin; ne tuottavat stabiilin valaistuksen, ovat pitkäikäisiä ja kompakteja, valaisinrakenteet ovat kevyitä, ne syttyvät välittömästi ja niiden spektrin ja voimakkuuden säätömahdollisuudet ovat hyvin monipuoliset. Niiden suosittuutta syö kuitenkin niiden yhä suhteellisen korkea hinta sekä asennuksen monimutkaisuus. Muunneltavan spektrin takia LED-valojen intensiteetin mittaaminen kvanttisensoreilla ei ole erityisen tarkkaa, ellei sensoria ole kalibroitu juuri kyseisen spektrin omaavassa valossa. Paras lopputulos LED-valaistusta mitattaessa saadaan spektroradiometrillä, mutta kvanttisensorien helppous, edullisuus ja yksinkertaisuus tekee niistä suosittuja mittavälineitä epätarkkuudesta huolimatta. (Kozai ym., 2016, ss. 118–124)

3.2 Ilmastonhallinta suljetussa ympäristössä

Ilmastonhallintaan kuuluu viljelytilan ilman lämpötilan, ilmankosteuden ja ilman liikkeen säätely. Lisäksi ilmastonhallintaan luetaan usein myös hiilidioksidilannoitus. Erilaisia teknisiä ratkaisuita puolisoljettujen ja suljettujen kasvatustilojen ilmastonhallintaan on paljon. Jo perinteiseksi muodostuneen ilmalämpöpumpun rinnalle on nousemassa maalämpö (Remes, 2019b). Esimerkiksi pisaraverholla voidaan ottaa talteen hukkalämpöä ja toisaalta alentaa ilmankosteutta (Remes, 2019a).

Viljelytilan lämpötila jaetaan usein päivä- ja yölämpötilaan. Ilman lämpötila vaikuttaa kasvien haihduttamiseen ja sitä myöten myös yhteyttämiseen ja koko ravinnetalouteen. Sopivassa lämpötilassa kasvit yhteyttävät tehokkaasti ja myös haihduttavat sopivalla tahdilla. Voimakkaassa valossa lämpötilan nosto kiihdyttää fotosynteesiä, ja eri kasvit pystyvät hyödyntämään korkeampia lämpötiloja eri tavoin. Basilika kuuluu C3-kasveihin, joilla lämpötilan nosto voimakkaassa valossa kiihdyttää fotosynteesiä noin 30 °C:een saakka. Myös

hiilidioksiditason nosto vaikuttaa fotosynteesin riippuvuuteen lämpötilasta. (Jaakkola, 1992, ss. 192–193)

Fotosynteesin lisäksi fotorespiraatio ja pimeähengitys kiihtyvät lämpötilan kohotessa. Fotorespiraatio on reaktio, jossa fotosynteesissä orgaanisiin yhdisteisiin varastoitu kemiallinen energia vapautuu kasvin aineenvaihduntaan hapen avulla. Kun happea on runsaasti saatavilla, lämpötilaa nostettaessa tullaan lopulta kompensatiopisteeseen, jossa fotosynteesi ja respiraatio ovat yhtä suuret, ja kuiva-aineen muodostus lakkaa. Toisaalta hengityksen väheneminen viileässä vähentää myös aktiivista ravinteiden ottoa. (Jaakkola, 1992, ss. 192–193)

Lämpötilan nosto vähentää myös veden viskositeettia. Tällöin vesi liikkuu herkemmin kasvualustassa ja kasvissa tehostaen kasvin muita toimintoja. Lämpötilan lasku taas hidastaa liuenneiden aineiden diffuusiota maanesteessä ja kasvin soluissa. Lisäksi lämpötilan lasku hidastaa kasvin entsyymitoimintaa, jolloin ravinteiden käyttö heikkenee. (Jaakkola, 1992, ss. 192–193)

Lämpötila säädetään yleensä yöksi päivälämpötilaa alhaisemmaksi, jotta respiraatio ei lisääntyisi liikaa. Liian alhainen yölämpötila (alle 15 °C) kuitenkin hidastaa yhteyttämistuotteiden ja ravinteiden muokkausta ja kuljetusta loppusijoituspaikkoihinsa kasvissa. (Jaakkola, 1992, s. 194)

Ilman lämpötila on myös läheisesti tekemisissä ilman suhteellisen kosteuden kanssa. Suhteellinen ilmankosteus on prosenttiluku, joka kertoo ilmassa olevan veden määrän suhteessa veden maksimimäärään kyseisessä lämpötilassa. Ilman lämpölaajenemisen johdosta lämpimämpään ilmaan niin sanotusti mahtuu enemmän vettä. Suhteellisen ilmankosteuden parina viljelyn suunnittelussa käytetään ilmiötä nimeltä kyllästysvajaus, joka kertoo ilmaan kyseisessä lämpötilassa vielä mahtuvan veden määrän. Sopiva kyllästysvajaus on noin 3-7 g/m³. (Järvinen ym., 2016, s. 66)

Ilmassa oleva vesi vaikuttaa kasvin haihdutukseen eli transpiraatioon. Transpiraatioissa kasvi päästää vettä poistumaan lehdistä ilmarakojen ja kutikulan kautta, diffuusion avulla. Ilman alhainen vesipotentiaali toimii lähtölaukaisijana tälle prosessille. Kun vesi haihtuu kasvin

lehdistä, niihin muodostuu negatiivinen vesipotentiaali, ja nestemäinen vesi alkaa virrata varresta kohti lehtiä, juurista kohti vartta ja maasta juuriin. Tämän virtaavan veden mukana kasvi myös siirtää ravinteita tarvittaviin paikkoihin. Ilman alhainen vesipotentiaali aloittaa siis ketjureaktion, joka ylläpitää koko kasvin kasvua. Ilman suhteellisen kosteuden lähetessä 100 %:a transpiraatio vähenee ja lopulta lakkaa. (Aura, 1992, ss. 166–167) Ilmankosteuden liiallinen aleneminen niin ikään vähentää haihduntaa kasvissa. Kun kasvin transpiraatio on liian voimakasta, sen ilmarakojen huulisoluissa vallitseva nestejäännitys eli tугor laskee, ja ilmaraot sulkeutuvat. (Jaakkola, 1992, s. 200)

Transpiraatiossa vettä poistuu maasta paljon – yhtä kuiva-ainekiloa kohden jopa satoja vesikiloja. Tätä kutsutaan haihdutuskertoimeksi, jonka tavallisin vaihteluväli on 300-500. Suotuisissa kasvuoloissa haihdutuskerroin on pieni. (Jaakkola, 1992, s. 202) Ilman suhteellinen kosteus vaikuttaa myös kasvualustassa tapahtuvaan evaporaatioon eli kosteuden haihtumiseen suoraan maasta. Veden haihtuessa kasvualustan pinnalta kasvualustan vesipotentiaali laskee paikallisesti, jolloin vettä alkaa liikkua ylöspäin kohti pintaa. (Aura, 1992, s. 163)

Koska kasvit haihduttavat vettä jatkuvasti, on suljetussa systeemissä kosteuden poistolle usein tarvetta. Kasvihuoneilla tämä tehdään ensisijaisesti nostamalla lämpötilaa, jolloin ilman suhteellinen kosteus laskee. Äärimmäisessä tilanteessa kosteus poistetaan tuulettamalla. Ilmankosteuden laskun kääntöpuolena on tällöin lämpö- ja hiilidioksidipäästöt. Täysin suljetussa viljely-ympäristössä ilmankosteutta säädetään koneellisesti kuivattamalla. Tämä tapahtuu esimerkiksi lämpöpumpun avulla, jolloin kosteus kerätään kondenssiveden muodossa. Samalla saadaan kerättyä talteen myös lämpöä. (Järvinen ym., 2016, ss. 127–128)

Ilman hiilidioksidipitoisuuden nostaminen lisää fotosynteesin tehokkuutta. Vastaavasti ilman hiilidioksidipitoisuuden laskiessa fotosynteesi vähenee. Normaalissa 21 %:n happipitoisuudessa ja 25 °C:n lämpötilassa C3-kasveilla, kuten basilikalla, hiilidioksidipitoisuuden laskiessa 50 ppm:n kasvin kasvu tyrehtyy, sillä kaikki fotosynteesissä muunnettu hiilidioksidi menetetään fotorespiraatiolle. Periaatteessa tätä voitaisiin paikata laskemalla ilman happipitoisuus kahteen prosenttiin, jolloin fotorespiraatio vaimenee.

(Jaakkola, 1992, s. 184) Tästä tosin seuraisi haasteita viljelmällä työskenteleville ihmisille, joten käytännössä ilman happipitoisuuden laskeminen ei ole vaihtoehto.

Normaalissa ulkoilmassa hiilidioksidipitoisuus on vuonna 2021 noin 400 ppm. Kasvit käyttävät hiilidioksidia tehokkaasti – esimerkiksi normaalin kasvihuoneen sisällä hiilidioksiditaso voi laskea hyvissä valo-olosuhteissa jopa 200 ppm:n, mikäli ilma ei vaihdu riittävästi tai mikäli sitä ei lisätä huoneeseen niin kutsuttuna hiilidioksidilannoituksena (Jaakkonen & Vuollet, 2003, s. 58). Orgaanisen kasvualustan hajoamisen ja siinä olevan mikrobitoiminnan seurauksena vapautuu hiilidioksidia ilmaan jonkin verran, mutta yleensä hiilidioksidin lisälannoitus on silti tarpeen. Täysikokoinen kasvusto voi käyttää hiilidioksidia jopa 2 kg tunnissa jokaista tuhatta viljelyneliömetriä kohti (Jaakkonen & Vuollet, 2003, s. 59). Hiilidioksidipitoisuuden lisääminen voimakkaastikin valaistussa kasvatustilassa on kuitenkin turhaa, mikäli kasville ei ole riittävästi tarjolla kaikkia tarvitsemiaan makro- ja mikroravinteita (Kirschbaum, 2011).

Hiilidioksidilannoituksessa voidaan käyttää valmista, säiliöihin pakattua hiilidioksidia, tai se voidaan tuottaa suoraan viljelmällä esimerkiksi polttamalla tai kompostoimalla jotain hiilipitoista ainetta. Palamisen seurauksena syntyy harvoin pelkkää hiilidioksidia, ja ylimääräiset palamistuotteet täytyy tällöin jatkokäyttää tai hävittää jotenkin.

Kaasumuotoiset epäpuhtaudet, kuten häikä, etyleenit ja typpioksidit ovat haitallisia sekä ihmiselle että kasvustolle. Siksi hiilidioksidilannoitus valmiin, 100-prosenttisen hiilidioksidin avulla nostaa suositetaan erityisesti suljetuissa ympäristöissä sen kalliimmasta hinnasta huolimatta. (Alm & Tuominen, 2003, s. 73)

Ilman liike vaikuttaa muihin ilmastotekijöihin. Tiheässä kasvustossa kasvit voivat muodostaa ympärilleen niin kutsutun mikroilmaston (Jaakkola, 1992, s. 191). Seisovassa ilmassa suhteellinen kosteus, lämpötila ja hiilidioksidipitoisuus nousevat korkeammaksi kuin viljelytilassa keskimäärin. Jotta näitä ilmastotekijöitä voidaan hallita, täytyy viljelytilan ilman kiertää riittävästi kasvien pinnan tuntumassa. Avomaalla ilma kiertää tuulen avulla, mutta katetussa viljelyssä ilmaa täytyy liikuttaa mekaanisesti esimerkiksi puhaltimien avulla. (Järvinen ym., 2016, s. 127) Suljetussa tilassa ilmaa tulee myös vaihtaa etyleenin kertymisen estämiseksi (Kozai ym., 2016, s. 139).

3.3 Kerrosviljelyyn soveltuvat kastelutekniikat

Kasveilla täytyy jatkuvasti olla riittävästi vettä saatavilla. Mikäli vettä ei ole riittävästi, kasvin nestejännitys laskee. Tämän seurauksena kasvi nuutuu ja sen lehdistä olevat ilmaraot sulkeutuvat. Fotosynteesi ja fotorespiraatio lakkaavat. Nestejännityksen laskun seurauksena kasvisolujen laajuuskasvu niin ikään vähenee ja loppuu, jolloin myös lehtipinta-alan kasvu loppuu. Kuivuus aiheuttaa myös muutoksia kasvien kemiallisessa koostumuksessa – esimerkiksi nitraattipitoisuus kasvissa voi nousta, kun kasvinsisäinen nitraattityypen hyödyntäminen estyy. (Jaakkola, 1992, s. 203)

Toisaalta liiallinen vedensaanti vaikuttaa kasvin kasvuun niin ikään negatiivisesti. Kasvien solukot muuttuvat ylenpalttisen veden ympäristössä ohutseinäisiksi ja pehmeiksi altistuen taudeille ja tuholaisille. Ohutseinäiset solukot eivät myöskään tue kasvia kunnolla, ja kasvit ovat herkkiä lakoontumiselle. Kasvu ylipäänsä on heikkoa liian kosteissa olosuhteissa. Äärimmillen vietyä kasvualustan kyllästyminen vedellä edesauttaa maahan syntyvää hapettomuutta. (Jaakkola, 1992, s. 203)

Kerrosviljelyssä yleisimmin käytössä ovat erilaiset vesiviljelyn tekniikat (Kozai ym., 2016, s. 213). Vesi- eli ravinneliuosviljelyssä juuristoa huuhdellaan sopivan vahvuisella ravinneliuksella joko koko ajan tai riittävän usein. Huuhtelurytmiin vaikuttavat oleellisesti kasvualustan ominaisuudet, erityisesti vedenpidätys- ja läpäisykyky sekä kasvualustan tilavuus. Vesiviljelystä käytetään myös nimitystä hydroponinen viljely. Erilaisia vesiviljelyn tekniikoita on monia.

DWC:tä (Deep Water Culture) pidetään usein synonyyminä vesiviljelylle, vaikka se on vain yksi hydroponisen viljelyn muoto. DWC:ssä kasvien juuret ovat jatkuvasti seisovassa vedessä. Jotta kasvien juuret saisivat myös tarvitsemaansa happea, tulee kasvit joko asettaa niin, ettei vesi peitä koko juuristoa, tai sitten vettä tulee ilmastaa jatkuvasti. Tekniikka sopii hyvin yrteille ja salaateille, mutta kukkiville kasveille tai juurikkaille se ei ole ideaali. Koska kastelujärjestelmissä vesi ei kierrä itsestään, voi suolojen kertyminen juuristoon muodostua ongelmaksi, ellei vettä sekoiteta esimerkiksi juuri ilmastamisen avulla. (Woodard, 2019)

Vesiviljelyn yksinkertaisin muoto on kapillaari-ilmistöön nojaava, passiiviseen vesiviljelyyn perustuva systeemi, jossa vesi ja ravinteet nostetaan kasvin tarpeisiin narujen avulla. Tekniikka ei vaadi sähköllä toimivaa pumppua ja on erittäin yksinkertainen toteuttaa. Se sopii lähinnä yrteille ja muille nopeakasvuksille kasveille – isoille, paljon haihduttaville kasveille tekniikka ei ole riittävän tehokkaasti vettä siirtävä. Myöskään juurekset ja kasvit, jotka kärsivät jatkuvasta kosteudesta tai märkydestä, eivät sovellu tällä tekniikalla viljeltäväksi. (Woodard, 2019)

Ebb&Flood- eli vuoksi-luodetekniikassa kasvit viljellään pöydällä, jolle pumpataan vettä muutaman milli- tai senttimetrin korkuinen patja kerrallaan. Tämän jälkeen veden annetaan valua pois pöydältä painovoimaisesti. Käytettävien pöytien tulee olla täysin tasaisia. (Alm & Tuominen, 2003, s. 70) Kasvien juuret saavat happea kastelukertojen välissä kasvualustan kuivuessa. Vuoksi-luodetekniikka on yksi suosituimmista vesiviljelyn tekniikoista sen muuntautuvuuden takia, sillä tekniikka soveltuu lähes minkä tahansa kasvin viljelyyn, kunhan riittävä kasvualustatilavuus otetaan huomioon. (Woodard, 2019)

NFT- (Nutrient Film Technique) eli ravinnekalvotekniikassa kasvit viljellään kouruissa tai kanavissa, yleensä ruokkuviljelynä. Vettä syötetään pieneen kaatoon asetetun kourun yläpäästä, jolloin se painovoiman myötä valuu kourun läpi kaikkien kasvien tarjolle ohuena kalvona. Tekniikka kannustaa kasveja kasvattamaan juurensa kourun pohjaa pitkin, ja liian pitkässä viljelyssä juuristo saattaa tukkia kourun. (Kanniainen, 2003b, s. 132) NFT-tekniikalla viljeltäessä suoloja ei kerry kasvien juuristoon kovin herkästi, sillä vesi on jatkuvassa liikkeessä. NFT-tekniikka sopii hyvin suuren mittakaavan viljelyyn, ja on helposti suunniteltavissa hyvinkin modulaariseksi, jolloin samalle viljelmälle voidaan luoda useita kastelureseptejä. NFT-tekniikalla kastellessa kourun pohjalla voidaan ylläpitää jatkuvaa ravinnekalvoa. Kasvualustavalintojen avulla voidaan tekniikkaa hyödyntää myös niin, että kastelu tapahtuu intervaleissa. (Woodard, 2019)

Aeroponinen eli ilmaviljely on myös yksi vesiviljelyn muodoista. Siinä kasvit on aseteltu niin, että kasvin yhteyttävät osat saavat valoa, ja juuret roikkuvat pimeässä, pelkässä ilmassa. Kastelu tapahtuu sumuttamalla juuristoa joko koko ajan tai ajoittain. Tässä viljelymuodossa ei välttämättä käytetä kasvualustaa ollenkaan. (Woodard, 2019) Aeroponisesti viljellyt kasvit

kasvavat nopeammin ja tuottavat enemmän satoa kuin muilla tekniikoilla viljellyt (Tiede, 2018). Tekniikka sopii lähes kaikille puutarhakasveille, pois lukien hedelmäpuiden kaltaiset, suuret kasvit. Aeroponisen viljelyn mahdollistava tekniikka on kuitenkin kallista, ja kasvusto on erittäin herkkä pienillekin vioille tai viivästyksille kastelussa erityisesti, jos viljelyssä ei käytetä mitään kasvualustaa. (Woodard, 2019)

Myös tihku- ja tippukastelusysteemejä voidaan käyttää vesiviljelyssä. Tihkukastelussa vesi kulkee letkussa, johon on tehty pieniä reikiä. Kun letkuun ohjataan sopivalla paineella vettä, se tihkuu rei'istä hitaasti kasvualustaan. Tippukastelussa taas kasvualustaan on asennettu tippusuuttimia, joita pitkin vesi ohjautuu haluttuun paikkaan ja syvyyteen. Tippukastelu on erityisen suosittua kasvihuonetomaatin ja -kurkun viljelyssä. (Alm & Tuominen, 2003, s. 69) Nämä kastelusysteemit sopivat lähes mille tahansa kasville, mutta kasvualustavalinnoissa tulee olla tarkkana. Liian nopeasti kuivuva tai liian paljon vettä pidättävä kasvualusta ei sovi tippu- tai tihkukasteluun, ja toisaalta veden on hyvä päästä liikkumaan kasvualustassa, jotta se leviää koko juuriston alueelle. (Woodard, 2019) Putkiston tukkeutuminen on tippu- ja tihkukastelusysteemin ongelma etenkin silloin, kun vedentuloaukot ovat suorassa kosketuksessa kasvualustaan.

3.4 Kastelulannoitus kiertovesisysteemissä

Kasvien lannoittaminen tapahtuu kerrosviljelyssä pääosin samalla tavalla kuin kasvihuoneillakin: joko etukäteen esimerkiksi lannoiterakeiden avulla, tai sitten kasteluveden mukana. Hallitusti liukenevista lannoiterakeista ravinteen liukenevat hitaasti viljelyn aikana muun muassa kasvualustassa olevan maaveden johtokyvyn perusteella (Kanniainen, 2003a, s. 153). Eripituisille viljelyjaksoille on suunniteltu erilaisia rakeita. Tällaisessa lannoitussysteemissä viljelijä ei kuitenkaan itse voi hallita kasvien ravinteidensaantia, ja lannoiterakeiden sekoittamisesta kasvualustaan seuraa lisätyötä. Lisäksi lannoiterakeiden itsensä hinta voi olla ratkaiseva tekijä.

Huomattavasti yleisempää sekä kerrosviljelyssä että perinteisemmillä kasvihuoneilla on lannoitteiden sekoittaminen vesikiertoon. Tähän on kehitetty monia erilaisia systeemeitä, joista elektroniset lannoitteensekoittajat ovat suosituimpia. Tällaisissa systeemeissä

lannoitteista valmistetaan esimerkiksi 10 % vahvuisia emoliuoksia, joita sekoitetaan pienissä määrin varsinaiseen kasteluveteen. Emoliuoksia voi olla yksi tai useampia – yleensä kuitenkin vähintään kaksi, jotta voidaan säästää työajassa käyttämällä vahvoja emoliuoksia. Vahvoissa emoliuoksissa tulee kalsium pitää erillään rikistä ja fosforista, jottei muodostuisi kalsiumfosfaatti- tai kalsiumsulfaattisaostumia. Useammalla emoliuoksella on myös mahdollista säätää lannoituksen ravinnetasapainoa monipuolisemmin. Lisäksi järjestelmään on yleensä lisätty happamuuden säätelyä varten omaan säiliöönsä joko happo- tai emäsluos. Valinnan taustalle tarvitaan riittävä ymmärrys siitä, mihin suuntaan happamuutta tarvitsee kyseisellä viljelmällä säätää. Oleellisia tekijöitä tässä päätöksenteossa ovat muun muassa kasteluveden haluttu happamuustaso, viljelyssä käytettävä kasvualusta sekä kasteluun käytettävän veden normaali pH-taso. (Kanniainen, 2003a, ss. 144–146)

Lannoitusta säädellään pumppujen, anturien, magneettiventtiilien ja tietokoneen avulla. Järjestelmään asennetut anturit mittaavat jatkuvasti kasteluveden sähkönjohtokykyä ja happamuutta. Kun anturit havaitsevat liian alhaisen EC-luvun, tietokone avaa emoliuoksille johtavat magneettiventtiilit ja pumppaa ohjelmoidulla reseptillä emoliuoksia lannoitteensekoittimelle, kunnes ohjelmaan määriteltä taso saavutetaan. (Järvinen ym., 2016, ss. 149–150)

Kerrosviljelyssä kiertovesisysteemi on erityisen suosittu ja tehokas tapa säästää vettä ja samalla lannoitteita. Koska kerrosviljelmä jo itsessään on käytännössä täysin suljettu systeemi, on myös lähes täydellisen vesikierron toteuttaminen mahdollista.

Kiertovesisysteemissä ylikasteluun käytettyä vettä ei valuteta viemäriin, vaan se kerätään putkistoja pitkin takaisin kastelusäiliöön, josta se otetaan taas seuraavassa kastelussa käyttöön. Suljetun ympäristön etuna kiertovesisysteemissä on se, että kasvien haihduttama vesi saadaan niin ikään takaisin kiertokastelusysteemiin ilmastonhallintaan käytettävän laitteiston tuottaman kondenssiveden muodossa. Samalla talteen saadaan vesihöyryyn sitoutunut lämpöenergia. (Kujala, 2022)

Kiertovesikastelulla säästyy vettä jopa 95 % verrattuna perinteiseen kasteluun, mutta se tuo omat haasteensa muun muassa ravinteidenohjaukseen. Jos lannoitteensekoittaja toimii pelkkien pH- ja EC-lukujen avulla, ei ilman ylimääräistä testaamista voida tietää, alkaako

kiertoveteen kertyä jotakin ravinteita. Mikäli viljelijä ei tee tai teetä puristeneste-, kasteluvesi- tai kasvitutkimuksia laboratoriossa, on mahdollista, että systeemissä päädytään pikkuhiljaa joko myrkytys- tai ravinnepuutostilaan. (Kozai ym., 2016, ss. 213–217)

Pitkäaikaisessa kierto-vesiviljelyssä voidaan myös silloin tällöin törmätä tilanteeseen, jossa systeemin happamuus ei käyttäydykään siten kuin on kuviteltu. Systeemiin voi esimerkiksi alkaa kertyä leviä, jotka lisäävät kasteluveden happamuutta. Mikäli tällaisessa systeemissä happamuuden säätöön on valittu happokontrolli esimerkiksi kasteluun käytettävän veden emäksisyyden johdosta, jää kontrolli yllättäen täysin hyödyttömäksi, ja pH-lukua täytyykin alkaa nostaa emäksellä. Vastaavasti esimerkiksi vahvasti kalkitusta kasvualustasta voi huuhtoutua kalkkia kasteluveteen, jolloin veden pH-luku alkaa nousta. (Kujala, 2022)

Kiertokastelusysteemissä kasteluvettä joudutaan myös puhdistamaan enemmän kuin suorassa kastelussa. Puhdistamattomana kasteluveteen kertyvät partikkelit voivat muodostaa tukoksia ja vaikeuttaa systeemiin asennettujen anturien toimintaa. (Alm & Tuominen, 2003, s. 72) Tähän tarkoitukseen erilaiset suodattimet, kuten lamelli- ja hiekkasuodattimet, ovat hyvin yleisiä. Kierto-vesisysteemi on myös otollinen alusta erilaisille leville ja muille mikrobeille, sekä taudinaiheuttajille. Näitä vastaan järjestelmään voidaan asentaa esimerkiksi UV-säteilytysputkia, joissa vesi desinfioidaan valon ultravioletteja aallonpituuksia hyödyntäen. Pastöroinnissa taas kasteluveden lämpötila nostetaan lähes 75 °C:n lämpötilaan 10–30 sekunnin ajaksi mikrobien tappamiseksi. Myös veden otsonointia voidaan hyödyntää mikrobien eliminoinnissa, joskaan sen toimivuudesta lannoitetussa vedessä ei vielä olla varmoja. Myös käänteisosmoosilla voidaan puhdistaa kasteluvettä, mutta tällöin vedestä menetetään myös arvokkaat ravinteet. (Vänninen, 2003, ss. 271–272) Eräs erittäin tuore innovaatio kasteluveden puhdistukseen ovat mikro- ja nanokuplat, tosin tutkimustietoa niiden käytöstä on vielä niukasti tarjolla (Kujala, 2022).

3.5 Kasvinsuojelu kerrosviljelyssä

Usein kerrosviljely yhdistetään puhtauteen ja kemikaalittomuuteen. Tällöin kasvinsuojelussa korostuu tuholaisten ja tautien ehkäisyn tärkeys, ja invaasiotapauksissa turvaudutaan biologiseen kasvinsuojeluun. Koska kerrosviljelmät ovat käytännössä aina suljettuja

ympäristöjä, päätyvät taudit ja tuholaiset sinne ihmisen tuomana. Tämä toisaalta sekä helpottaa kasvinsuojelua että korostaa viljelyhygienian merkitystä.

Yleisesti kasvihuoneillakin käytössä olevat hygieniaohjeet pätevät myös kerrosviljelmillä – viljelytiloissa käytetään työvaatteita ja kenkiä, joissa ei liikuta muualla, ja kädet pestään huolellisesti aina viljelytilaan tultaessa. Viljelmän ulkopuolelta sen sisälle tuotavien tavaroiden puhtauden kanssa tulee olla tarkkana. Mitään kasveja tai kasviperäistä ei tuoda viljelmälle ilman, että ne on tarkastettu huolellisesti tuholaiten ja tautien varalta. Viljelytilojen siisteydestä tulee pitää huolta yleisen viihtyvyyden lisäksi myös hygieniasyistä.

Koska luonnolla kuitenkin on ylivertainen kyky löytää tiensä sinnekin, minne sitä ei haluta, tulee viljelmällä olla tarkkana tuholaiten ja tautien varalta kaikista varotoimista huolimatta. Biologisessa kasvinsuojelussa tuhohyönteisiä vastaan taistellaan luonnon omin keinoin, eli tuomalla viljelytilaan petohyönteisiä ja muita eliöitä. Erilaisia sukkulamatoja voidaan käyttää esimerkiksi harsosääskien ja liejukärpästen torjunnassa, ja kirvoja voidaan torjua petopunkkien ja vainokaisten avulla. Biologinen kasvinsuojelu on sitä tehokkaampaa, mitä aikaisemmassa vaiheessa se otetaan käyttöön, ja sitä voidaan käyttää myös ennakoivassa mielessä, mikäli invaasiota pidetään todennäköisenä.

Joskus myös tauteja ilmaantuu viljelytilaan näennäisen selittämättömästi syystä. Kun kemikaalien käytöltä halutaan välttyä, voidaan joissain tapauksissa turvautua esimerkiksi otsonoituun veteen. Sen on havaittu tehoavan hyvin esimerkiksi harmaahomeen torjunnassa mansikalla ja herneellä (Pesola, 2021a, 2021b).

4 Basilikan kerrosviljely

Luultavasti Intiasta peräisin oleva, huulikukkaiskasvien (*Lamiaceae*) heimoon kuuluva maustebasilika (*Ocimum basilicum*) on trooppisen ilmaston kasvi (NewWorldEncyclopedia.com, n.d.). Maustebasilika on *Ocimum*-suvun käytetyin laji, mutta sukuun kuuluu yli 50 muutakin lajia, joiden käyttökohteet vaihtelevat ruoka- ja lääkekasveista koristekasveihin (De Innocentis, n.d.).

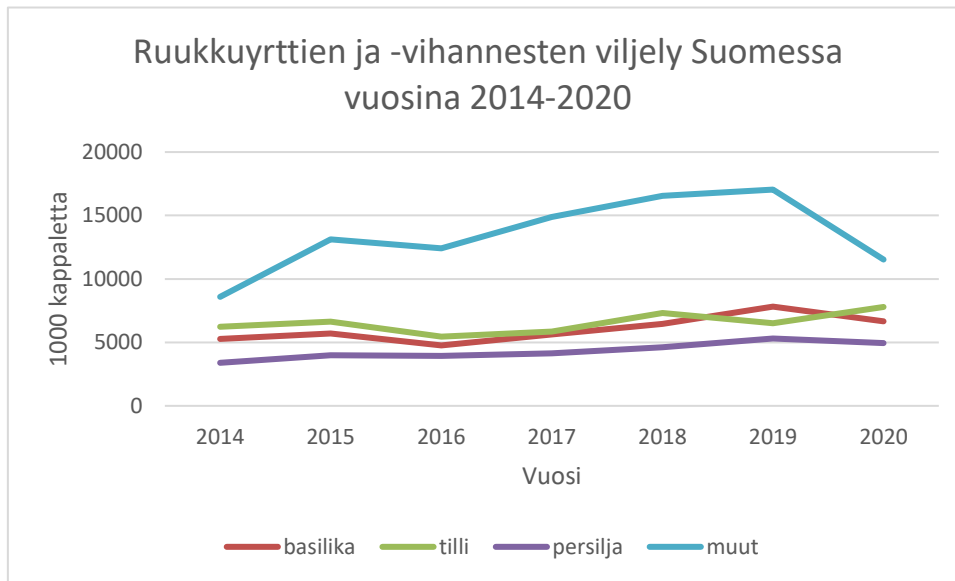
Eurooppaan maustebasilika saapui luultavasti noin 350 eaa. (De Innocentis, n.d.).

Globalisaation ja muuttoliikkeiden myötä ruokakulttuuri ja raaka-ainetarjonta on muuttunut yhä vähemmän alueellisesti rajautuneeksi, ja nykyään maustebasilikaa käytetään kaikkialla maailmassa. Tuorekäytön ja kuivamausteiden lisäksi basilikasta valmistettuja eteerisiä öljyjä voidaan käyttää muun muassa modernissa lääketeollisuudessa ja kosmetiikassa (Chiang ym., 2005; De Almeida ym., 2007; Manosroi ym., 2006; NewWorldEncyclopedia.com, n.d.; Yrttitarha.fi, n.d.).

Basilikaa pidetään arvokasvina. Esimerkiksi Future Market Insights käyttää basilikasta kuvausta ”ultra niche and high value crop”, eli erittäin niche ja korkea-arvoinen viljelykasvi (FutureMarketInsights.com, n.d.). Rutgers New Jersey Agricultural Experiment Station määrittelee Ultra-Niche:n tarkoittamaan poikkeuksellisen korkea-arvoista viljelykasvia, jota voidaan kasvattaa kymmentä eekkeriä pienemmällä pinta-alalla, ja listaa basilikan erääksi tällaisista viljelykasveista (Rutgers New Jersey Agricultural Experiment Station, n.d.). Kymmenen eekkeriä vastaa neljää hehtaaria. Vuonna 2019 maailmanlaajuinen basilikan lehtien markkina arvioitiin 57 miljoonan Yhdysvaltain dollarin arvoiseksi, ja sen arvioitiin kasvavan 62 miljoonaan Yhdysvaltain dollariin vuoteen 2026 mennessä (WBOC.com, n.d.).

Pohjoismaihin basilika tuli luultavasti 1500-luvulla. Se mainitaan 1760-luvulla ilmestyneessä, Suomen ensimmäisessä yrttiviljelyohjeessa (Galambosi, 2017). Nykyään se on yksi Suomen eniten käytetyimpiä tuoreyrttejä (Kauppapuutarhaliitto, n.d.). Kuvaan 1 on koostettu ruukkuyrttien ja -vihannesten kotimaiset viljelymäärät kappaleina vuosilta 2014–2020. Kyseisellä aikavälillä ruukkubasilikaa viljeltiin Suomessa keskimäärin noin 6 miljoonaa kappaletta vuodessa. (Luonnovarakeskus, n.d.).

Kuva 1. Basilikan, tillin, persilja ja muiden ruukkuyrttien ja -vihannesten viljelymäärät Suomessa vuosina 2014–2020 (Luonnonvarakeskus, n.d.).



Suomessa maustebasilikan käyttö yhdistetään usein italialaiseen ruokakulttuuriin, ja suosittuja makuja basilikan kumppaniksi ovatkin tomaatti, miedot juustot, valkosipuli ja oliiviöljy (Hammarberg, 2012). Basilikalajikkeita on nykyään lukemattomia erilaisia, aina eri väreistä (esimerkiksi viininpunainen 'Red Shiraz') eri makumaailmoihin (esimerkiksi kanelibasilika 'Cinnamon' ja sitruunabasilika *O. basilicum var. citriodorum*). Aasiassa käytettävää basilikaa kutsutaan Suomessa thai-basilikaksi, ja se eroaa maustebasilikasta vahvan anismaisella maullaan.

Basilikan kerrosviljelytekniikka ei eroa oleellisilta osin basilikan kasvihuoneviljelytekniikasta. Eroa tuottaa lähinnä auringonvalon ja siitä johtuva lämpösäteilyn puute suljeltun ympäristön kasvihuoneviljelyssä verrattuna kasvihuoneviljelyyn. Tässä luvussa on esitelty basilikalla tehtyjä tutkimuksia sopivan viljelyohjelman löytymisen näkökulmasta.

Ensimmäisessä alaluvussa on paneuduttu basilikan valotukseen suljetun ympäristön kasvihuoneviljelyssä eli ilman auringonvaloa. Toisessa alaluvussa on esitelty basilikan kasvihuoneviljelyn ilmastotekijöitä. Kolmannessa osiossa on tutkittu basilikan kastelu- ja ravinnetarpeista löytyvää tieteellistä kirjallisuutta. Neljännessä osiossa on paneuduttu basilikan kasvinsuojeluun erityisesti kerrosviljelyn näkökulmasta.

4.1 Basilikan valotus kerrosviljelyssä

Basilikan valotusta on tutkittu kohtalaisen paljon. Erityisen paljon tutkimuksia löytyi päivittäisen valointegraalin (DLI) vaikutuksesta basilikan kasvuun valotuksen fotosynteettisen fotonivuon intensiteettiä muuttamalla. Larsen ym. (2020) testasivat monipuolisissa tutkimuksissaan valon eri intensiteettien vaikutusta basilikan kasvuun sekä koko kasvatusjakson aikana että niin kutsuttuna EOP-käsittelynä. EOP tulee sanoista End-Of-Production, ja EOP-käsittelyllä tarkoitetaan kasvatusjakson viimeisten päivien aikana tapahtuvaa, muusta viljelystä poikkeavaa käsittelyä. Tutkimuksissa havaittiin, että valon intensiteetin nostaminen kasvatti basilikan kuiva-ainemäärää. Lehtipinta-ala lisääntyi aina PPFD:n arvoon $400 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ saakka, jonka jälkeen se kääntyi laskuun yhdessä tuorepainon kanssa. Fotonivuon intensiteetin ollessa $600 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ basilikan tehokkuus valon hyödyntämisessä oli tuorepainon suhteen heikoin, ja lehdet olivat hauraita. Basilikan valon hyödyntämistehokkuuden sekä morfologisten tekijöiden perusteella tutkimuksen johtopäätöksenä tutkijat ehdottivat basilikan normaalille viljelyjaksolle valon intensiteetiksi $150 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ja intensiteetin nostamista EOP-käsittelyn ajaksi $300 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. Ryhmän tutkimuksessa päivänpituus oli vakioitu 18 tuntiin käsittelystä riippumatta, ja valotukseen käytettiin LED-lamppuja. (Larsen ym., 2020)

Sen sijaan Pennisi ym. (2020) niin ikään LED-valaisimilla tekemässä tutkimuksessa päädyttiin johtopäätökseen, että veden, energian ja valon käytön tehokkuuden näkökulmasta sopivin PPFD-taso basilikalla olisi $250 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ päivänpituuden pysyessä vakiona 16 tunnissa. (Giuseppina Pennisi ym., 2020)

Dou ym. (2018) havaitsivat loisteputkivalaisimilla tehdyissä tutkimuksissaan, että basilikan nettofotosynteesi oli korkeimmillaan DLI-arvon ollessa $12,9 \text{ mol}/\text{m}^2$. Tällöin myös muun muassa haihdunta oli korkeimmillaan. Kyseisestä tutkimuksesta basilika kasvoi pidemmäksi ja leveämmäksi ja sen lehtipinta-ala kasvoi DLI:n kasvaessa. Myös basilikan tuore- ja kuivapainon havaittiin kasvavan DLI:n kasvaessa tiettyyn rajaan asti; DLI:n kasvattamisen korkeammaksi kuin $16,5 \text{ mol}/\text{m}^2$ ei havaittu vaikuttavan tuore- tai kuivapainoon oleellisesti. Tutkimuksen johtopäätöksissä tutkijat suosittelivat basilikan kaupalliseen viljelyyn DLI:n

arvoa $12,9 \text{ mol/m}^2$. Suosituksessa otettiin huomioon valon intensiteetin kasvattamisesta seuraava kasvu sähkökulutuksessa. (Dou ym., 2018)

Sen sijaan päivänpituuden vaikutuksesta basilikan kasvuun ei löytynyt kovinkaan montaa tutkimusta. Pennisi ym. (2020) LED-valoilla tekemissä tutkimuksissa testattiin kolmea eri päivänpituutta fotonivuon tiheyden pysyessä vakiona $250 \text{ } \mu\text{mol/m}^2/\text{s}$. Päivänpituudet olivat 16, 20 ja 24 tuntia. Tutkimuksissa havaittiin, että päivänpituus ja sen myötä kasvava päivittäinen valointegraali ei vaikuttanut basilikan lehtipinta-alaan tai tuorepainoon, eikä sillä ollut vaikutusta myöskään veden tai valon käytön tehokkuuteen. Tämän seurauksena basilikan energian käytön tehokkuus laski päivänpituuden kasvaessa. Vedenkulutus ei myöskään muuttunut päivänpituuden myötä. Tutkimuksen johtopäätöksenä tutkimusryhmä suositteli basilikan päivittäisen valointegraalin pitämistä $14,4 \text{ mol/m}^2$ fotonivuon tiheyden ollessa $250 \text{ } \mu\text{mol/m}^2/\text{s}$. (G. Pennisi ym., 2020)

Eräässä loisteputkivalaistuksessa tehdyssä tutkimuksessa tutkittiin 16 tunnin päivän lisäksi lyhyempää, vain 12 tunnin pituista päivää PPFD:n pysyessä vakiona. Tutkimuksissa havaittiin, että pidempi päivänpituus vaikutti lehtipinta-alaan, tuorepainoon ja kasvin pituuteen positiivisesti. Tutkimuksissa käytettiin $150 \text{ } \mu\text{mol/m}^2/\text{s}$ intensiteettiä. (Fraszczak, 2011) Päivänpituuden vaikutuksesta basilikan kasvuun DLI:n pysyessä vakiona ei tämän opinnäytetyön yhteydessä löydetty yhtään tutkimusta.

Käytetyn valon spektrin vaikutusta basilikan kasvuun on tutkittu kohtalaisen paljon tällä vuosikymmenellä, sillä LED-valaistuksen kehitys on tehnyt valon spektrin säätämisestä aiempaa helpompaa. Larsen ym. (2020) tutkimuksessa havaittiin, että sinisen valon määrän kasvattaminen vaikutti kasvin pituuteen, mutta tutkimuksen mukaan pituuskasvun myötä lehtimassa pieneni. Tutkimuksessa ei siis löytynyt yhteyttä sinisen valon määrän ja kasvin kokonaisbiomassan välillä. Kaukopunaisen valon määrä vaikutti kasvin pituuteen kaikissa tapauksissa, mutta sen vaikutus biomassaan riippui kaukopunaisen valon annosteluajasta – pidemmällä annosteluajalla basilikan kuiva-ainepitoisuus kasvoi varressa ja väheni lehdistä. (Larsen ym., 2020)

Piovene ym. (2015) tekemässä tutkimuksessa paras tulos basilikan viljelyssä sadon, ravintoaineiden ja työntekijöiden työolosuhteiden näkökulmasta saatiin säätämällä valotuksen spektrin sisältämään noin 10 % vihreää valoa. Tutkimus suoritettiin 220 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ intensiteetillä 16 tunnin päivänpituudella (Dou ym., 2019). Eräässä kolmannessa tutkimuksessa saatiin basilikalla paras viljelytulos kasvun, fysiologisten ja metabolisten funktioiden sekä resurssitehokkuuden näkökulmasta sinisen ja punaisen valon suhdeluvun ollessa 3. Tutkimuksessa käytettiin 215 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ intensiteettiä niin ikään 16 tunnin päivänpituudella. (Giuseppina Pennisi ym., 2019) Neljännessä löytyneessä tutkimuksessa basilikalle saatiin paras kasvutulos punaisen ja sinisen valon suhdeluvulla 0,7 LED-valotuksessa, kun valon intensiteetti oli 200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ja päivänpituus 16 tuntia (Piovene ym., 2015).

4.2 Basilikalle soveltuvat ilmasto-olosuhteet

Basilikalle sopivaa lämpötilaa on tutkittu jonkin verran. Mijani ym. (2013) havaitsi basilikan siementen itävän parhaiten 25–30 °C lämpötilassa. Yli 70 % itävyysprosentti saavutettiin idätyksessä lämpötilavälillä 15–35 °C. Lämpötilan vaikutus itävyysnopeuteen oli myös huomattava; 25 °C:n lämpötilassa 90 % itävyys saavutettiin 3 päivässä, kun esimerkiksi 15 °C:ssa tähän kului 5 päivää. Nopein itävyys basilikalla havaittiin 30 °C:ssa. (Mijani ym., 2013)

Fraszczakin (2011) tutkimusryhmä tutki lämpötilan vaikutusta kahden eri basilikalajikkeen kasvuun. Tutkimuksissa havaittiin, että kasvit kasvoivat pidemmiksi, kun päivälämpötilan ja yölämpötilan välillä oli eroa – suurin pituuskasvu saatiin, kun päivälämpötila oli yölämpötilaa korkeampi. Lämpötilakäsittelyillä oli vain vähän vaikutusta lehtipinta-alaan. (Fraszczak, 2011)

Walters ja Currey (2019) tutkivat lämpötilan vaikutusta kolmella eri basilikalajilla: mauste-, pyhä- ja sitruunabasilikalla. Tutkimuksissa havaittiin kasvien pituuskasvun lisääntyvät lämpötilan noustessa aina 29 °C saakka, jonka jälkeen pituuskasvu kääntyi laskuun. Lämpötilan nostamisen havaittiin lisäävän myös maustebasilikan nivelten määrää, nivelvälin pituutta sekä tuorepainoa 29 °C asti. (Walters & Currey, 2019)

Mortensenin (2014) tutkimusryhmä havaitsi niin ikään tutkimuksissaan basilikan tuorepainon kasvavan jopa 106 % lämpötilan noustessa 18°C:sta 27 °C:een. Lisäksi basilikan pituus ja maku lisääntyivät viljelylämpötilan noustessa. (Mortensen, 2014)

Hiilidioksiditason vaikutusta basilikan kasvuun on myös tutkittu jonkin verran. Singh ym. (2020) tutkivat hiilidioksiditason vaikutusta useiden eri lehtivihannesten kasvuun kasvihuoneessa. Tutkimuksessa kasveja kasvatettiin sekä ympäristön normaalissa hiilidioksiditasossa (n. 410 ppm) että korotetussa 800 ppm:ssä. Tutkimuksissa havaittiin, että basilikan tuorepaino oli 29 % korkeampi ja kuivapaino 34,4 % korkeampi korkeammassa hiilidioksiditasossa. Lisäksi hiilidioksidilannoitus vaikutti myös basilikan mineraalikonsentraatioon: lehvästön typpikonsentraatio laski ja rautakonsentraatio nousi viljeltäessä korkeammassa hiilidioksidipitoisuudessa. (Singh ym., 2020) Samansuuntaisia tuloksia saatiin myös Al Jaouni ym. (2018) tutkimuksissa basilikalla ja mintulla. Heidän tutkimuksissaan hiilidioksidin perustaso oli 360 ppm, ja toisessa käsittelyssä hiilidioksiditaso oli 620 ppm. Heidän tutkimuksissaan basilikan tuorepaino oli jopa 54 % korkeampi korkeammassa hiilidioksiditasossa. (Al Jaouni ym., 2018) Ilmankosteuden vaikutuksesta basilikan kasvuun ei löytynyt tutkimuksia tämän työn puitteissa.

4.3 Basilikan kastelu- ja ravinnetarpeet suljetussa kiertovesisysteemissä

Basilikan vedentarpeesta oli vaikea löytää tieteellistä tietoa, ja vielä vaikeampaa oli löytää tietoa basilikan vedentarpeesta kontrolloidussa, tekovaloin valaistussa ympäristössä. Tämä ei yllättänyt, sillä lähes kaikki ympäristön olosuhteet vaikuttavat kasvien vedentarpeeseen ja -kulutukseen. Esimerkiksi valon laadun on havaittu vaikuttavan basilikan vedenkulutukseen ilmarakojen kehityksen kautta (Lim & Kim, 2021).

Muutama arvo basilikan vedenkulutukselle kuitenkin löytyi. Erään ryhmän tutkimuksissa basilika kulutti vettä 24 päivän viljelyjaksolla vajaa 25 litraa, kun veden NaCl-pitoisuus oli 0 mg/l ja mittaus aloitettiin 6 päivää kylvöstä. Vedenkulutus laski NaCl-pitoisuuden noustessa. Tutkimus tehtiin kasvihuoneessa, jossa ilman lämpötila vaihteli 21,6 ja 39,5 °C välillä keskiarvon ollessa 27,4 °C. (dos Santos ym., 2019)

Basilikan, kuten muidenkin kasvien viljelyssä ideaali kasteluveden sähkönjohtokyky ja happamuus riippuu hyvin paljon käytetystä kasvualustasta. Jo kasvualustan aktiivisuudella on valtava vaikutus lannoitustarpeeseen. Kasvualustan lisäksi myös käytetty viljely- ja erityisesti kastelutekniikka vaikuttaa sopivaan sähkönjohtokykyyn, sillä kasvien kyky ja hanakkuus ottaa ravinteita muuttuu näiden olosuhteiden mukana. Esimerkiksi tekniikoissa, joissa juuret upotetaan veteen useasti tai pitkäksi aikaa kerrallaan, on hyödyllisempää käyttää kastelulannoituksessa alhaisempaa sähkönjohtokykyä. (Hosseini ym., 2021)

Basilikalle ideaalista ravinnetasapainosta oli vaikeaa löytää tieteellisiä tutkimuksia, sillä useimmat basilikan vesiviljelyä koskevat tutkimukset käyttivät lannoitukseen vesiviljelyyn yleispätevää Hoaglandin liuosta. Eräs tutkimus antoi kuitenkin viitteitä siitä, että basilikalle sopiva ravinnetasapaino on jokseenkin riippuvainen myös valitusta lajikkeesta.

Tutkimuksessa käytetyt ravinneliuokset erosivat toisistaan mikroravinteiden, fosforin ja magnesiumin osalta – tyypeä molemmissa liuoksissa oli 150 mg/l, kaliumia 216 mg/l ja kalsiumia 139 mg/l (Singh ym., 2019).

Gillespie ym. (2020) tekemässä tutkimuksessa taas havaittiin, että kasteluliuoksen pH:n laskeminen jopa arvoon 4 ei pienentänyt basilikan kasvua tai aiheuttanut fysiologisia oireita. Tutkimuksessa testattiin sekä pH:n laskemista ravinnetasapainoa muuttamatta että tekemällä muutoksia erityisesti mikroravinteiden osalta. Ravinnepuutosta tai myrkytystä ei havaittu kummassakaan tapauksessa, vaikkakin ravinnekonsentraatiomuutoksia lehdissä oli useammankin ravinteen osalta. (Gillespie ym., 2020)

4.4 Basilikan kasvinsuojelu kerrosviljelyssä

Lehtivihannesten, kuten basilikan sisäviljelyssä yleisimpiä tuholaisia ovat kirvat, vihannespunkit, harsosääsket, liejukärpäset ja ripsiäiset. Kyseiset tuholaiset sekä niiden biologiset torjuntatavat on esitelty tässä luvussa.

Kirvat ovat noin 1,5–4 mm mittaisia, pehmeitä hyönteisiä. Usein ne esiintyvät tiiviissä yhdyskunnissa. Ne imevät kasveista kasvinestettä heikentäen ja jopa pysäyttäen kasvin kasvun. Ne käyttävät kasvinesteestä ensisijaisesti valkuaisaineita, ja ylimääräisen sokerin ne

ulostavat kasvin pinnalle. Tämä tahmainen mesikaste nostaa kasvin tautiriskiä. Epäsuoran tautiriskin lisäksi kirvojen tiedetään myös levittävän kasvien virustauteja.

Eri kirvalajeille käytetään eri torjuntaeliöitä, jolloin lajin tunnistus on tärkeää. Vaihtoehtoisia torjuntaeliöitä ovat erilaiset loiset (esimerkiksi isokirvavainokainen *Aphidius colemani* tai kirvakiilukainen *Aphelinus abdominalis*) ja pedot (mm. kirvasääski *Aphidoletes aphidimyza* ja harsokorennot *Chrysopa sp.*). Ennakoivaan torjuntaan voidaan myös käyttää niin kutsuttua kirvapankkia. Tällöin viljelytilaan tuodaan varsinaista satokasvia vahingoittamattomia, esimerkiksi yksisirkkaisilla kasveilla eläviä, loisittuja kirvoja. (Biotus Oy, n.d.-b)

Harsosääsket ovat 3–5 mm mittaisia, hoikkia ja tummia sääskiä. Niiden toukat ovat läpikuultavia, jopa 8 mm pituisia ja niillä on selkeästi erottuva, musta pää. Harsosääsken toukat vioittavat erityisesti nuorten pistokkaiden ja taimien juuria vaikuttaen nuorten taimien kasvuun ja altistaen ne kasvitaudeille. Harsosääsket ja niiden toukat levittävät kasvitauteja myös suoraan. Harsosääskiä torjutaan esimerkiksi niiden toukkia syövien isosukkulamatojen (*Steinernema feltiae*) ja harsosääskipetopunkkien (*Hypoaspis miles*) avulla. Lisäksi lentävien sääskien mekaaniseen torjuntaan ja havainnointiin käytetään erilaisia liima-ansoja. (Biotus Oy, n.d.-a)

Harsosääskien lisäksi liima-ansat toimivat torjuntakeinona myös liejukärpäsille. Ne ovat 3–4 mm kokoisia mustia, tanakoita kärpäsiä, joiden likaisen vihreänruskeilla toukilla ei ole yhtä selvää pääkapselia kuin harsosääskillä. Levää syövä liejukärpänen ei varsinaisesti ole kasvituholainen, vaan ne aiheuttavat lähinnä esteettistä ja saniteettihaittaa ulosteellaan. Liejukärpäsen tiedetään kuitenkin myös levittävän kasvitauteja. Niitä voidaan liima-ansojen lisäksi torjua pikkusukkulamadoilla (*Steinernema caprocapsae*). (Biotus Oy, n.d.-c)

Ripsiäiset ovat 1–2 mm mittaisia, pääosin jalkaisin liikkuvia hyönteisiä. Vaikka niillä on kaksi paria siipiä, ne harvemmin lentävät ollenkaan. Väriltään ne ovat lajista riippuen joko mustia tai ruskeita. Ne imevät kasvisoluista nesteet jättäen jälkeensä hopeanhoitoisia, ulostetäplillä koristeltuja laikkuja. Suoran vioituksen lisäksi ne myös levittävät virustauteja. Niitä voidaan torjua erilaisten petopunkkien, kuten ripsiäispetopunkin (*Neoseiulus cucumeris*),

harsosääskipetopunkkien (*Hypoaspis miles*) ja *Amblyseius swirskii* -petopunkin avulla. Petopunkkien toimintaa voidaan täydentää Orius-petoluteiden avulla. (Biotus Oy, n.d.-d)

Vihannespunkki on pieni, 0,3–0,5 mm mittainen hämähäkkieläin. Se imee kasvisoluista kasvinestettä, muuttaen solun kloroottiseksi. Vioitus leviää lopulta peittämään koko lehden. Kloroottisten laikkujen lisäksi vihannespunkin tunnistaa lehtien alapuolelle kehrätystä seitistä. Parhaiten vihannespunkki viihtyy suhteellisen matalassa, noin 30–40 % suhteellisessa ilmankosteudessa, eikä siksi ole kontrolloidun ympäristön kerrosviljelyssä yhtä suuri uhka kuin perinteisemmässä kasvihuoneviljelyssä. Vihannespunkkia torjutaan erilaisilla petopunkeilla, kuten ansaripetopunkilla (*Phytoseiulus persimilis*) tai kalifornianpetopunkilla (*Amblyseius californicus*) (Biotus Oy, n.d.-e)

Basilikan yleisimpiä tauteja sisäviljelyssä ovat lehtihome sekä maalevintäiset *Fusarium*- ja *Pythium*-sienet. Suljetun tilan kontrolloidussa kerrosviljelyssä maalevintäisiä kasvitauteja vastaan parhaiten toimii ennakointi, jolloin tautien pääsy viljelytilaan pyritään estämään kokonaan korkeaa viljelyhygieniaa noudattaen. Gillespie ym. (2020) tutkimuksessa havaittiin, että pH:n laskua voidaan mahdollisesti käyttää keinona *Pythiumin* hillinnässä basilikan viljelyssä (Gillespie ym., 2020).

Basilikan lehtihome, *Peronospora belbahrii*, on kosteassa, leudossa ilmastossa viihtyvä hometauti. Päälisin puolin sen ensimmäiset asteet vaikuttavat ravinnepuutokselta, esimerkiksi typen puutteelta. Ravinneongelmasta sen erottaa lehden alapinnalle muodostuvasta, tumman ruskean violetista peitteestä. (Wyenandt ym., 2015)

Lämpötilan ja hiilidioksiditason nostamisen on havaittu lisäävän basilikan lehtihomeen esiintyvyyttä (Gilardi ym., 2016; Gullino ym., 2018). Toisaalta lämpötilan nostaminen yli 26 °C:n yli saattaa hidastaa lehtihomeen kehitystä (Cohen & Rubin, 2015; Elad ym., 2016). Eräässä tutkimuksessa havaittiin, että korkeasta ilmankosteudesta huolimatta yöaikainen, kevyt tuuli (0,4–1,5 m/s) laski dramaattisesti lehtihomeen kehitystä (Cohen & Ben-Naim, 2016).

5 Aineisto ja menetelmät

Opinnäytetyön kokeellisessa osuudessa tehtiin 'Marian'-lajikkeen basilikan (*O. basilicum*) viljelykoe kuudella eri kasvualustavaihtoehdolla, joita vertailtiin ruukkusalaattien ja -yrttien ammattiviljelyssä yleisesti käytettyyn kasvualustaan (taulukko 2). Kontrollialustana toimi Kekkilä-BVB:n alusta VHM 620 pH 6. Kontrollialustan tavoin koelustoista viisi (sammalmix, puukuitumix, puukuitu+humaatit, sammal-puukuitumix ja polymeerirouhe) oli niin sanottuja irtolustoja, eli ne tarvitsivat tueksensa ruukun. Kookoskuiduista valmistettu kasvualusta (kookosnapit) oli kiinteä ja nappimuotoinen, ja nappeja voitiin käyttää kouruviljelyssä sellaisenaan ilman ruukkuja.

Taulukko 2. Kasvatuskokeessa käsittelyissä 1-7 käytetyt kasvualustat.

Käsittelyn numero	Käsittelyn nimi	Raaka-aineet	Valmistaja
1	Kontrolli	Turve	Kekkilä-BVB
2	Kookosnapit	Kookoskuitu	Organic shapes
3	Sammalmix	60 % rahkasammal 40 % turve	Kekkilä-BVB
4	Puukuitumix	70 % turve 30 % puukuitu	Kekkilä-BVB
5	Puukuitu+humaatit	70 % turve 30 % puukuitu humaatit 1 l/m ³	Kekkilä-BVB
6	Sammal-puukuitumix	50 % rahkasammal 50 % puukuitu	Kekkilä-BVB
7	Polymeerirouhe	Polymeeristä valmistettu rouhe	Growfoam

5.1 Kasvatuskokeen olosuhteet

Koe toteutettiin kerrosviljelyteknologiayritys Netled Oy:n Pirkkalassa sijaitsevilla tuotekehityslaitoksella. Kouruviljelytekniikkaa hyödyntävässä kerrosviljelylaitoksessa oli koneellinen ilmanvaihto ja -kierrätys, LED-valaistus ja NFT-tekniikalla toimiva

kiertovesikastelujärjestelmä. Kasvatuskoe tehtiin varsinaisen demolinjaston vieressä, samassa kasvatustilassa sijaitsevan koekasvatushyllyn ylimmässä kerroksessa.

Päivänpituus kokeessa oli 18 tuntia, ja yön pituus 6 tuntia. Päivälämpötila kokeessa oli 25 °C ja yölämpötila 20 °C. Valon intensiteettitaso mitattiin ennen kokeen aloitusta käyttäen LI-COR:in LI-250A-mittaria yhdessä LI-COR:in kvanttisensorin kanssa. Valotuksen intensiteetti oli keskimäärin 170 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. Tällöin päivittäiseksi valointegraaliksi (DLI) saatiin arvo 11,0 $\text{mol}/\text{m}^2/\text{päivä}$. Hiilidioksiditaso kokeen aikana oli noin 950 ppm ympäri vuorokauden.

Kiertovesikastelussa kasteluveden ominaisuudet olivat koko kasvatuskokeen ajan samat. Kasteluveden happamuus oli 5,5 ja kasteluveden johtokyky oli 2,5 mS/cm. Lannoitukseen käytettiin Kekkilä-BVB:n NFT-Superexiä peruslannoitteena sekä lisäksi kalkkisalpietaria ja pieniä määriä magnesiumnitraattia. Lannoitusreseptiikan laskennallinen ravinnetasapaino on esitelty taulukossa 3. Kokeeseen suunniteltiin kasvien kasvua mukaileva kasteluohjelma, joka on esitetty liitteessä 1.

Taulukko 3. Kasvatuskokeessa käytetyn lannoiteliuoksen ravinnepitoisuus.

Ravinne	Pitoisuus kasteluvedessä, mg/l
Kokonaistyyppi	224
Nitraatti	209
Ammonium	5
Urea	10
Fosfori	65
Kalium	471
Kalsium	101
Magnesium	47
Rikki	67
Rauta	2,43
Mangaani	0,81
Boori	0,41
Sinkki	0,32
Kupari	0,24
Molybdeeni	0,08

5.2 Koeasetelma

Kasvatuskokeessa käytettiin valkoisia, 7,4 cm leveitä, 5,0 cm syviä ja 6 m pitkiä kouruja, joissa oli kussakin 26 reikää kasveja varten. Reikien keskipisteiden välinen etäisyys oli 21 cm. Reikien halkaisija oli 6,7 cm. Kouruja oli kahdenlaisia ja ne asetettiin niin, että reiät osuivat toistensa suhteen limittäin (kuva 2).

Kuva 2. Kasvatuskourut asetettiin niin, että kasvit olisivat kokeessa limittäin toistensa suhteen.



Kookosnappikäsitteilyä lukuun ottamatta kokeessa käytettiin kaikille kasvualustoille 65 mm korkuisia ruukkuja, joiden yläreunan halkaisija oli 80 mm ja pohjan halkaisija 55 mm. Napin yläreunan halkaisija oli 66 mm, alareunan halkaisija 52 mm ja korkeus 60 mm.

Kustakin kokeessa olevasta käsitteilystä tehtiin neljä toistoa, joista jokaisessa oli kuusi koekasvia. Toistot asetettiin kouruihin niin, että kukin toisto oli yhdessä kourussa enintään kerran. Toistojen asettelusta koalueelle muodostui neljä lohkoa, joista jokaisessa oli yksi toisto kutakin käsitteilyä.

Kokeessa haluttiin eliminoida kasvuolosuhteiden reunavaikutus, joten kunkin koekourun kumpaankin päähän asetettiin yhdet niin sanotut reunakasvit. Lisäksi varsinaisten koekourujen reunimmaisten viereen asetettiin yhdet kourut, jotka täytettiin kokonaan reunakasveilla. Reunakasvien kasvualustana käytettiin samaa kasvualustaa kuin kontrollikäsitteilyssä. Koeasetelmasta piirretty kartta on esitetty liitteessä 2.

5.3 Kokeen aloitus

Koe aloitettiin 1.2.2022. Kasvualusta 5 (puukuitu+humaatit) valmistettiin kasvualustasta 4 (puukuitumix) lisäämällä 10 litraan kasvualustaa yksi desilita 10 % vahvuista

humushappoliuosta. Käsittely numero 2 (kookosnapit) valmisteltiin tekemällä kuhunkin nappiin viisi pientä reikää korkkiruuvilla. Kasvualustat kasteltiin kaikki samalla kertaa.

Ruukkuihin ripoteltiin 10 siementä. Käsittelyyn 2 ripoteltiin siemenet siten, että jokaiseen pikku reikään tiputettiin kaksi siementä. Reunakasveiksi tarkoitettuihin ruukkuihin kylväessä siemeniä ei laskettu. Kun kaikki ruukut oli kylvetty, siemenet sumutettiin kevyesti ja kennot nostettiin kerroskärryyn. Ruukut peitettiin mustalla muovilla, ja kärryt asetettiin 16 °C lämpötilaan idätyksen ajaksi.

Kolme päivää myöhemmin 4.2.2021 muovi poistettiin ja itäneet kylvökset vietiin kasvatustilaan. Käsittelyt asetettiin kasvatuskoetta varten varattuihin, puhdistettuihin kouruihin koekartan mukaisesti. Kasvatustilassa olevien liejukärpästen takia koe- ja reunakasvialustoihin levitettiin biologisena kasvinsuojelutoimenpiteenä sukkulamatoja (*Steinernema carpocapsae*), ja käsittelyt sumutettiin kevyesti vedellä. Kourut asetettiin koealueelle koekartan mukaisessa järjestyksessä niin, että kourujen keskiviivojen välinen etäisyys oli 10 cm, ja kastelu kytkettiin päälle. Sukkulamatokäsittely toistettiin 15.2.2022.

5.4 Mittaukset ja analyysit

Itäneiden siementen määrä laskettiin ruukkukohtaisesti 7.2.2022. Itävyysprosentit laskettiin käyttäen kaavaa 1.

Kaava 1. Laskentakaava itävyysprosentin määrittämiseen. Kaavassa G on itävyysprosentti, S_g on itäneiden siementen lukumäärä ja S_s on kylvettyjen siementen lukumäärä.

$$G = \frac{S_g}{S_s} * 100 \%,$$

Koe purettiin 1.3.2022. Kasvien lehtien ulkonäkö arvioitiin referenssikuviiin (kuva 3) ja sanalliseen määritelmään (taulukko 4) vertaamalla. Kasvien juuristoa arvioitiin referenssikuviiin (kuva 4) vertaamalla asteikolla 1–3.

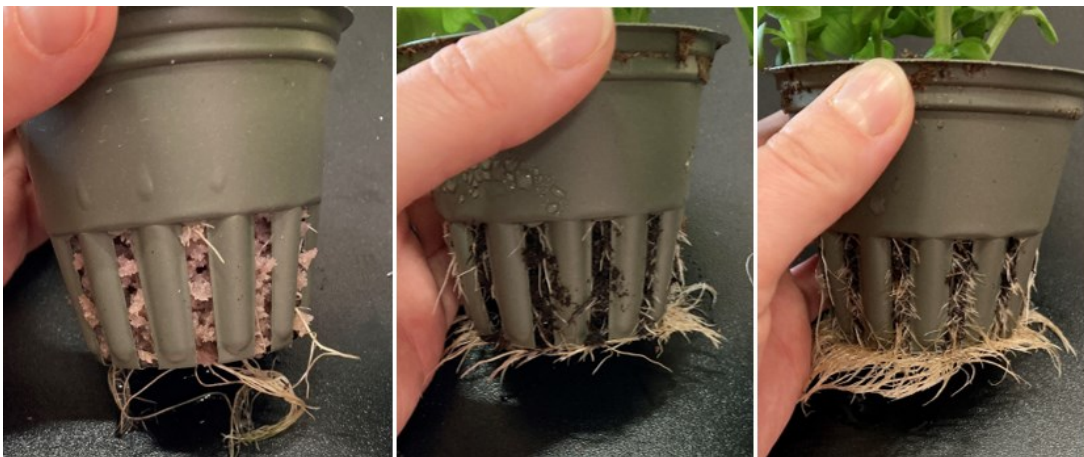
Kuva 3. Koekasvien ulkonäön arviointia varten otetut referenssikuvat. Arvosanat vasemmalta oikealle: 3, 2, 1 (Taulukko 4).



Taulukko 4. Koekasvien ulkonäön arviointia varten tehty pisteytysohje.

Arvosana	Kuvaus
3	Värvirheitä alle 2 lehdessä. Ei epämuodostumia.
2	Värvirheitä tai epämuodostumia 2–4 lehdessä.
1	Värvirheitä tai epämuodostumia yli 4 lehdessä.

Kuva 4. Juuriston runsauden ja ulkonäön arvioinnissa käytetyt referenssikuvat. Arvosanat vasemmalta oikealle: 1, 2, 3.



Kasvien pituus mitattiin kasvualustan pinnasta kasvin korkeimpaan kohtaan. Kasvien tuorepaino määritettiin leikkaamalla kasvit yhden senttimetrin korkeudelta kasvualustan pinnasta laskien, jonka jälkeen leikattu kasvimassa punnittiin. Kasveista mitattiin klorofyllin määrä SPAD-arvona Konica Minolta SPAD-502 Plus-laitteella. Arvo mitattiin jokaisen ruukun

korkeimman kasvin ylimmän täysikokoisen lehtiparin toisesta lehdestä. Kaikille mitatuille arvoille määritettiin käsittelykohtaiset keskiarvot.

Jokaisesta toistosta otettiin puristenestenäyte koontinäytteenä, ja näytteistä mitattiin johtokyky (Hanna Instruments HI98304 DiST 4) ja happamuus (Hanna Instruments HI98128 pHep® 5). Saatujen, toistokohtaisten lukujen avulla johtoluvulle ja happamuudelle laskettiin keskimääräiset, käsittelykohtaiset johtoluvut ja happamuudet. Toistokohtaiset näytteet yhdistettiin käsittelykohtaisiksi näytteiksi 1:1:1:1 suhteessa, ja nämä seitsemän näytettä lähetettiin Oy Hortilab Ab:lle puristenesteanalyysiin.

5.5 Tilastoanalyysit

Aineistoa tarkasteltiin tilastoanalyysiohjelma JMP Pro 15:lla. Kasvien tuorepainoa, pituutta, lehtivihreän määrää (SPAD-arvo) sekä itävyyttä tarkasteltiin kasvualustakäsittelyn suhteen. Aineiston varianssien yhtäsuuruutta testattiin Levenen testillä, ja aineiston normaalijakautuneisuutta Shapiro-Wilkin testillä. Koska aineisto ei täyttänyt varianssien yhtäsuuruuden ja normaalijakautuneisuuden ehtoja, suoritettiin yllä mainituille arvoille ei-parametriset Kruskal-Wallis ja Steel-Dwassonin testit. Tilastoanalyysien tulosten merkitsevyyden rajana pidettiin p-arvoa 0,05, jota pienemmät p-arvot tulkittiin tilastollisesti merkitseviksi.

6 Tulokset

6.1 Itävyysprosentti

Käsittelykohtaiset, keskimääräiset itävyysprosentit on esitetty taulukossa 5. Itävyysprosentti kaikissa käsittelyissä oli yli 87 %, ja parhaiten basilikan siemenet itivät käsittelyissä 4 (puukuitumix) ja 6 (sammal-puukuitumix), joissa molemmissa itävyys oli 95 %.

Ainut tilastollisesti merkitsevä ero eri kasvualustakäsittelyjen väliltä löytyi verratessa sammal-puukuitumixiä ja kontrollikäsittelyä ($p = 0,0289$), ja näistä käsittelyistä parempi

itävyysprosentti oli sammal-puukuitumixissä. Itävyysprosentteille tehdyn tilastoanalyysin tulokset on esitetty liitteessä 3.

Taulukko 5. Keskimääräiset itävyysprosentit eri kasvualustakäsittelyissä.

Kasvualustakäsittely	Keskimääräinen itävyysprosentti G, %
Käsittely 1: Kontrolli	88
Käsittely 2: Kookosnapit	92
Käsittely 3: Sammalmix	87
Käsittely 4: Puukuitumix	95
Käsittely 5: Puukuitu+humaatit	92
Käsittely 6: Sammal-puukuitumix	95
Käsittely 7: Polymeerirouhe	88

6.2 Kasvien lehtien ulkonäkö

Lehtien ulkonäön numeerisille arvosanoille määritetyt, käsittelykohtaiset keskiarvot on esitetty taulukossa 6. Parhaimman keskimääräisen arvosanan (arvosana 2,8) lehtien ulkonäölle sai käsittely 7. Huonoimman arvosanan sai käsittely 5 (arvosana 1,5), ja sitä lukuun ottamatta kaikki käsittelyt saivat keskimääräiseksi arvosanaksi lehtien ulkonäölle reilusti yli 2.

Taulukko 6. Lehtien keskimääräinen ulkonäkö eri kasvualustakäsittelyissä.

Kasvualustakäsittely	Lehtien keskimääräinen ulkonäkö numeerisena arvosanana 1–3
Käsittely 1: Kontrolli	2,3
Käsittely 2: Kookosnapit	2,5
Käsittely 3: Sammalmix	2,3
Käsittely 4: Puukuitumix	2,3
Käsittely 5: Puukuitu+humaatit	1,5
Käsittely 6: Sammal-puukuitumix	2,4
Käsittely 7: Polymeerirouhe	2,8

6.3 Juuriston runsaus ja kunto

Kasvien juuristoille annetuista arvosanoista lasketut, käsittelykohtaiset keskiarvot esitetty taulukossa 7. Korkein arvosana eli hyvinvoivin ja runsain juuristo löytyi käsittelystä 3, jossa juurten kunnan arvosana oli 3. Heikoin juuristo oli käsittelyssä 7, jossa arvosana oli 1,1. Kaikissa muissa käsittelyissä keskimääräinen arvosana juuriston runsaudelle ja kunnolle oli vähintään 2,6.

Taulukko 7. Juuriston runsauden ja kunnan keskimääräiset arvot eri kasvualustakäsittelyissä.

Kasvualustakäsittely	Juuriston keskimääräinen runsaus ja kunto numeerisena arvosanana 1–3
Käsittely 1: Kontrolli	2,6
Käsittely 2: Kookosnapit	3,0
Käsittely 3: Sammalmix	2,9
Käsittely 4: Puukuitumix	2,8
Käsittely 5: Puukuitu+humaatit	2,9
Käsittely 6: Sammal-puukuitumix	2,9
Käsittely 7: Polymeerirouhe	1,1

6.4 Kasvien pituus

Kasvien pituuksista lasketut, käsittelykohtaiset keskiarvot on esitetty taulukossa 8.

Keskimäärin pisimpiä kasvit olivat käsittelyssä 3 (17 cm, $p < 0,01$). Lyhyimmät kasvit löytyivät käsittelystä 7 (6,6 cm; $p < 0,0001$). Tilastollisesti merkitsevä ero kasvien pituuksissa löytyi myös käsittelyn 1 ja 2 välillä ($p = 0,0053$), jossa pidemmät kasvit olivat käsittelyssä 1 eli kontrollikäsittelyssä. Lisäksi myös käsittelyjen 2 (kookosnapit) ja 4 (puukuitumix) välillä oli tilastollisesti merkitsevä ero ($p = 0,0204$), ja pidemmät kasvit tässä vertailussa olivat käsittelyssä 4. Kasvien pituuksille tehdyn tilastoanalyysin tulokset on esitetty liitteessä 3.

Taulukko 8. Kasvien keskimääräiset pituudet eri kasvualustakäsittelyissä.

Kasvualustakäsittely	Kasvien keskimääräinen pituus (cm)
Käsittely 1: Kontrolli	15
Käsittely 2: Kookosnapit	13
Käsittely 3: Sammalmix	17
Käsittely 4: Puukuitumix	14
Käsittely 5: Puukuitu+humaatit	14
Käsittely 6: Sammal-puukuitumix	14
Käsittely 7: Polymeerirouhe	6,6

6.5 Kasvien tuorepaino

Kasvien käsittelykohtaiset, keskimääräiset tuorepainot on esitetty taulukossa 9. Korkein tuorepaino oli käsittelyn 3 (sammalmix) kasveilla (17 grammaa), mutta tilastollisesti merkitsevä ero sen ja muiden kasvualustakäsittelyjen väliltä löytyi vain verratessa kasvualustoihin 6 (sammal-puukuitumix) ja 7 (polymeerirouhe). Selkeästi matalin tuorepaino oli käsittelyssä 7 (polymeerirouhe, $p < 0,0001$), jossa keskimääräinen tuorepaino oli vain 3,8 grammaa. Kasvien tuorepainoille tehdyn tilastoanalyysin tulokset on esitetty liitteessä 3.

Taulukko 9. Kasvien keskimääräiset tuorepainot eri kasvualustakäsittelyissä.

Kasvualustakäsittely	Keskimääräinen tuorepaino (g)
Käsittely 1: Kontrolli	15
Käsittely 2: Kookosnapit	15
Käsittely 3: Sammalmix	17
Käsittely 4: Puukuitumix	15
Käsittely 5: Puukuitu+humaatit	15
Käsittely 6: Sammal-puukuitumix	13
Käsittely 7: Polymeerirouhe	3,8

6.6 Kasvien lehtien klorofyllipitoisuus

Keskimääräiset, käsittelykohtaiset SPAD-arvot on esitetty taulukossa 10. Korkein SPAD-arvo eli klorofyllimäärä mitattiin käsittelystä 6 (sammal-puukuitumix, SPAD arvo 39).

Keskimääräiset SPAD-arvot olivat kuitenkin hyvin lähellä toisiaan kaikissa kasvualustoissa, eikä kasvualustakäsittelyjen välisessä parianalyysissä havaittu tilastollisesti merkitseviä eroja. Kasvien lehdistä mitatuille SPAD-arvoille tehdyn tilastoanalyysin tulokset on esitetty liitteessä 3.

Taulukko 10. Klorofyllin keskimääräinen määrä kasveissa eri kasvualustakäsittelyissä.

Kasvualustakäsittely	Keskimääräinen SPAD-arvo
Käsittely 1: Kontrolli	36
Käsittely 2: Kookosnapit	36
Käsittely 3: Sammalmix	37
Käsittely 4: Puukuitumix	38
Käsittely 5: Puukuitu+humaatit	38
Käsittely 6: Sammal-puukuitumix	39
Käsittely 7: Polymeerirouhe	36

6.7 Kasvualustoista otetut puristenestenäytteet

Toistokohtaiset EC- ja pH-luvut on esitetty taulukossa 11. Johtokyky oli korkein käsittelyssä 7, jossa johtokyky oli 2,9. Kaikissa muissa käsittelyissä keskimääräinen johtokyky oli alle 2,5 mS/cm, ja matalin se oli käsittelyissä 4–6 (johtokyky 2,1 mS/cm). Happamuus oli kaikissa käsittelyissä yli 6, ja korkein se oli käsittelyssä 7 (pH 7,2).

Taulukko 11. Kasvualustakäsittelyistä otettujen puristenestenäytteiden johtoluvut ja happamuudet.

Kasvualustakäsittely	Keskimääräinen johtokyky (mS/cm)	Keskimääräinen happamuus (pH)
Käsittely 1: Kontrolli	2,3	6,5
Käsittely 2: Kookosnapit	2,4	6,4
Käsittely 3: Sammalmix	2,2	6,3
Käsittely 4: Puukuitumix	2,1	6,3
Käsittely 5: Puukuitu+humaatit	2,1	6,4
Käsittely 6: Sammal-puukuitumix	2,1	6,8
Käsittely 7: Polymeerirouhe	2,9	7,2

Taulukossa 12 on esitetty Hortilabilta saatujen puristenestenäytteiden ravinnejakaumat kasvualustakäsittelyittäin. Analyysin tulokset on esitetty myös liitteessä 4. Huomionarvoista vaihtelua oli erityisesti nitraattitypen ja raudan osalta. Nitraattityppeä oli eniten käsittelyssä 7 (130 mg/l), 2 (120 mg/l) ja 1 (110 mg/l), kun taas vähiten sitä oli käsittelyissä 6 (74 mg/l) ja 3 (76 mg/l). Ero käsittelyn 7 ja 3 välillä oli melkoinen; käsittelyn 7 puristenesteessä oli miltei kaksinkertaisesti nitraattityppeä verrattuna käsittelyyn 3. Rautaa oli eniten käsittelyn 3 puristenestenäytteessä (3,5 mg/l), jossa sitä oli yli kaksinkertaisesti verrattuna rautapitoisuudeltaan alhaisimpaan käsittelyyn 2 (1,6 mg/l).

Kaliumia oli käsittelyissä muutoin melko tasaisesti (440–490 mg/l), mutta käsittelyn 7 puristenesteestä sitä löytyi huomattavasti enemmän kuin muista (720 mg/l). Myös booria oli käsittelyn 7 puristenesteessä huomattavasti enemmän kuin muissa käsittelyissä; jopa yli kaksinkertaisesti verrattuna käsittelyyn 6, jossa sitä oli vähiten (käsittelyssä 7 booria 0,81 mg/l; käsittelyssä 6 booria 0,37 mg/l). Lisäksi pieniä eroja löytyi mangaanin, sinkin ja kuparin pitoisuuksista. Muiden ravinteiden osalta erot pitoisuuksissa eivät olleet kovin suuria.

Taulukko 12. Puristenestenäytteiden ravinnejakauma kokeen päättyessä. Yksikkö on milligrammaa litrassa.

	Käsittely 1	Käsittely 2	Käsittely 3	Käsittely 4	Käsittely 5	Käsittely 6	Käsittely 7
NO₃-N	110	120	76	99	98	74	130
P	69	71	74	69	69	63	63
K	470	480	470	460	440	490	720
Ca	130	120	110	110	100	110	100
Mg	65	69	62	62	61	57	76
S	210	200	230	200	190	220	270
Fe	2,6	1,6	3,5	3,3	3,0	2,5	2,9
Mn	0,18	0,06	0,16	0,12	0,14	0,27	0,18
B	0,42	0,42	0,48	0,48	0,48	0,37	0,81
Zn	0,31	0,30	0,27	0,20	0,21	0,58	0,46
Cu	0,16	0,29	0,13	0,13	0,14	0,19	0,42
Mo	0,05	< 0,02	0,03	0,03	0,04	0,06	0,08
Cl	6,5	3,5	7,4	4,7	4,6	7,5	6,8

7 Tulosten tarkastelu ja johtopäätökset

Kasvatuskokeella pyrittiin selvittämään kasvualustakäsittelyjen itävyys- ja kasvuvasteiden erot. Itävyysvasteisiin kasvualustakäsittelyjen vaikutus oli hyvin pientä, ja tilastollisesti merkitsevä ero löydettiin vain verratessa kontrollialustaa ja sammal-puukuitumixiä, joista

paremmat itävyystulokset saatiin jälkimmäisessä. Näin voidaan päätellä, että kasvualustat olivat keskenään suhteellisen tasalaatuisia. Kiinnostavaa oli, että lähes kaikissa käsittelyissä itävyysprosentti oli vähintään yhtä hyvä kuin kontrollikäsittelyssä. Tästä poikkeuksen teki vain käsittely 3 eli sammal-turvemix, jossa itävyys oli kuitenkin vain yhden prosenttiyksikön verran pienempi.

Juuristo kasvoi suurimmassa osassa käsittelyitä oikein hyvin. Vain käsittelyssä 7 eli polymeerirouheessa juuristo jäi kooltaan heikoksi. Syy tähän oli luultavasti kasvualustan vedenpidätyskykyyn liittyvissä ominaisuuksissa. Alusta päästi veden lävitse silminnähdessä nopeammin kuin muut, ja myös kuivui nopeammin. Tämä kasvualustaominaisuus luultavasti vaikutti kaikkiin muihinkin kokeen mittauksiin kyseisessä käsittelyssä, ja asetti käsittelyn epätasa-arvoiseen asemaan muihin nähden. Huomionarvoista oli myös kasvualustan 2 eli kookosnappien juuristo, joka oli tasalaatuisen täydellinen läpi kokeen. Kookosnappien rakenteella oli siis selkeästi juuriston levittäytymistä ja kasvua tukeva vaikutus.

Puristenesteanalyysistä saatiin tärkeää tietoa kokeessa havaitun kasvuvasteen ja kasvien ulkonäön tulkintaan. Jokaisen käsittelyn puristenesteen pH-luku oli huomattavasti korkeampi kuin kasteluliouksessa. Selkeästi korkein, jopa neutraali pH oli polymeerirouhekäsittelyssä. Korkeaa pH-lukua voivat selittää esimerkiksi kasvualustojen kalkkipitoisuus ja kasteluliouksen tai kasvualustan korkea kalsium- tai kaliumpitoisuus.

Johtokyvyn osalta tulokset olivat päinvastaiset. Polymeerirouhekäsittely oli ainut alusta, jossa puristenesteen johtokyky oli antoliuosta korkeampi. Muissa käsittelyissä johtokyky oli 0,1–0,4 mS/cm antoliouksen johtokykyä matalampi. Lähimmäs antoliouksen johtokykyä päästiin kookosnappikäsittelyssä. Kun puristenesteiden johtokyvyt olivat antoliouksen johtokykyä alhaisempia, voidaan tehdä olettaamus, että kasveilla ei kenties ollut riittävästi ravinteita tarjolla. Alenema ei kuitenkaan ollut hälyttävän suuri, ja toisaalta puristenestenäytteitä otettaessa viimeisimmästä kastelusta oli jo monta tuntia. Polymeerirouhekäsittelyn korkea johtokyky selittyy sen muita heikommalla vedenpidätyskyvyllä.

Vaikka puristenesteiden johtokyvyt olivat suunnilleen samoja käsittelystä riippumatta, ilmeni laboratorioanalyysissä selkeitä eroja puristenesteiden ravinnetasapainoissa. Kun analyysituloksia verrattiin antoliuoksen arvoihin, nousivat erot vielä merkityksellisemmiksi. Nitraattityypen määrä puristenesteessä kaikissa käsittelyissä oli vain noin puolet antoliuoksen nitraattityypipitoisuudesta, mikä kielii siitä, että tyyppiä kului joko kasvualustoissa tai kasvien tarpeisiin huomattavasti suunniteltua enemmän.

Myös mangaanin määrä oli selkeästi antoliuoksen mangaanipitoisuutta matalampi kaikissa käsittelyissä. Erityisen alhainen se oli kookosnappikäsittelyssä. Kuparipitoisuus oli antoliuosta korkeampi vain kookosnappi- ja polymeerirouhekäsittelyssä, kun muissa se oli selvästi antoliuosta alhaisempi. Sen sijaan magnesiumia ja rikkiä kertyi kaikkiin kasvualustoihin huomattavasti, mikä kertoo siitä, että niiden kulutus oli vähäisempää kuin tarjonta.

Muiden ravinteiden osalta puristenesteanalyysin ravinnepitoisuuden mukailivat antoliuoksen ravinnepitoisuutta melko hyvin, mutta joidenkin ravinteiden kohdalla eri käsittelyjen väliset erot olivat huomattavia. Esimerkiksi rautapitoisuus oli käsittelyssä 3 eli turve-sammalmixissä yli milligramman eli 40 % korkeampi kuin antoliuoksessa, kun taas kookosnappikäsittelyssä rautapitoisuus oli lähes saman verran antoliuoksen rautapitoisuutta alhaisempi. Booria ja kaliumia taas kertyi polymeerirouhekäsittelyyn jopa tuplaten verrattuna antoliuokseen, kun muissa käsittelyissä niiden pitoisuudet olivat suurin piirtein samaa luokkaa antoliuokseen verratessa. Kalsiumia taas löytyi kontrollikäsittelystä jopa 30 % yli antoliuoksen, kun muissa käsittelyissä sen pitoisuus oli suhteellisen lähellä antoliuoksen pitoisuutta.

Kasvien ulkonäössä oli lähes kaikissa käsittelyissä joitain puutteita. Erityisesti värivirheitä oli paljon. Paras tulos saatiin polymeerirouhekäsittelyssä, ja heikoin tulos oli käsittelyssä 5, eli siinä puukuituturvealustassa, johon oli lisätty humushappoa. Muissa käsittelyissä tulokset olivat hyvin tasaiset.

Kasvien värivirheet kertovat usein jostain ravinnepuutteesta. Tutkimalla eri lähteitä ja analyysejä päädyttiin siihen tulokseen, että todennäköisimmin kasvien värivirheisyys johtui joko magnesiumin tai mangaanin puutostilasta. Täyttä varmuutta asiaan ei saatu, sillä

kasveista ei otettu puristenestenäytteen yhteydessä kasvien lehtimassalle tehtävää kasvianalyysiä.

Mangaanin puutos aiheutuu yleensä liian korkeasta pH-luvusta, sillä se vaikuttaa mangaanin liukenevuuteen. PH-luku oli korkea kaikissa käsittelyissä. Toisaalta mangaanin määrä puristenestenäytteissä oli huomattavasti pienempi kuin antoliuoksessa. Tämä kertoo siitä, että kasvit kyllä kuluttivat tarjottua mangaania. Ilman kasvianalyysiä on kuitenkin vaikea sanoa, saivatko kasvit mangaania tarpeeksi.

Magnesiumin puutosta aiheuttaa yleisimmin joko korkea kalsium- tai kaliumpitoisuus, juuriston ongelmat, kasvualustan liiallinen happamuus ($\text{pH} < 5$), tai liian vähäinen magnesiumin tarjonta (Mattson, 2018). Yleisesti ottaen magnesiumia suositellaan tarjottavan noin 40–60 mg/l (Dickson, 2019). Tämä täyttyi sekä antoliuoksen magnesiumpitoisuuden osalta että puristenestenäytteiden analyysituloksissa. Kasvualustojen puristenesteiden sekä antoliuoksen happamuudet olivat niin ikään sopivat magnesiumin näkökulmasta. Myöskään juuriston ongelmia ei havaittu polymeerirouhealustakäsittelyä lukuun ottamatta, mutta kyseisessä käsittelyssä myöskään värivirheitä ei havaittu.

Kalsiumin määrästä suositellaan, että sitä olisi noin 2:1 suhteessa magnesiumiin, mikä täyttyi sekä antoliuoksessa että puristenestenäytteissä (Dickson, 2019). Kaliumin osalta suositus on 4:1 kaliumia suhteessa magnesiumiin (Dickson, 2019). Sekä kasteluliuoksessa että puristenestenäytteissä havaittiin selkeä epätasapaino kaliumin ja magnesiumin välillä – kaliumia oli lähes kymmenkertaisesti magnesiumiin verrattuna. Tämän perusteella voitaisiin tehdä oletus, että kaliumin korkea pitoisuus kasteluvedessä ja kasvualustoissa esti kasvien magnesiumin ottoa. Koska puristenesteanalyysin yhteydessä ei tehty kasvianalyysiä, ei asiaan saatu varmuutta.

Kasvien pituuksissa oli jonkin verran vaihtelua, mutta missään käsittelyssä ei päästy sellaisiin pituuksiin, mitä kaupassa myytäviltä tuotteilta odotetaan. Tätä voi selittää liian vähäinen typensaanti ja muut ravinnetalouden ongelmat. Muissa käsittelyissä erot kasvien pituuksissa olivat pienempiä, mutta selkeästi pisimmät kasvit löytyivät käsittelystä 3, jossa

kasvualustana oli sammal-turvemix. Se oli myös ainut käsittely, jossa pituus ylitti kontrollialustan kasvien pituuden. Tästä voidaan tehdä johtopäätös, että sammalen lisääminen turvealustaan tehostaa basilikan pituuskasvua kenties parantamalla kasvien ravinteidensaantia.

Polymeerirouhekäsittelyn kasvit olivat selkeästi muita lyhyempiä, ja kyseisen käsittelyn puristenesteessä oli myös selkeästi korkein ravinnepitoisuus. Vuonna 2011 iranilaisessa yliopistossa tehdyssä tutkimuksessa havaittiin kasvihuoneviljellyn basilikan olevan herkkä korkeille lannoitepitoisuuksille (Sharafzadeh & Alizadeh, 2011). Polymeerirouhekäsittelyssä basilikan pituuskasvua saattoi siis hidastaa alustaan kertyvä korkea ravinnepitoisuus, mikä puolestaan johtui luultavimmin kyseiselle kasvualustatyypille soveltumattomasta, riittämättömästä kastelumäärästä tai liian korkeasta ravinnepitoisuudesta kasteluvedessä.

Kiinnostavaa oli, että kookosnappikäsittelyn kasvit olivat näistä muista käsittelyistä lyhimpiä, vaikka niiden juuristo oli selkeästi paras. Eräs selittävä tekijä voi olla kookosnappien kylvössä käytetty tekniikka, jossa siemenille tehtiin reiät, kun muissa käsittelyissä siemenet ripoteltiin kasvualustan pinnalle. Tällöin siemenet kylvettiin kookosnappikäsittelyssä syvemmälle kuin muissa käsittelyissä, mikä asetti käsittelyn epätasa-arvoiseen asemaan muihin nähden. Parempi tekniikka olisi voinut olla esimerkiksi sellainen, missä nappien pintaan tehtiin matala mutta leveä kuoppa, johon siemenet olisi voitu ripotella tasaisesti samaan tyyliin kuin muihin alustoihin, ja mittauskohta olisi alkanut samasta kohdasta siemenen kylvösyvyyden näkökulmasta.

Myöskään kasvien tuorepainossa ei päästy sellaisiin arvoihin, mitä kaupasta ostettavalta tuotteelta voidaan odottaa. Kaikissa käsittelyissä kasvien keskimääräinen tuorepaino jäi alle 20 gramman. Painon osalta olisi voitu saada paremmat tulokset kylvämällä jokaiseen ruukkuun useampia siemeniä.

Kiinnostavaa oli, että polymeerirouhekäsittelyä lukuun ottamatta kasvien painot olivat suhteellisen samoja keskenään, ja että kookosnappikäsittelyn tuorepainot eivät olleet huomattavasti muita pienempiä, vaikka pituutta niillä oli vähemmän. Korkeimpaan tuorepainoon päästiin samassa käsittelyssä, missä kasvit olivat pisimpiä, eli sammal-

turvemix-alustalla. Kontrollialustan kanssa yhtäläisiin tai parempiin tuloksiin päästiin painon osalta polymeerirouhetta ja sammal-puukuitumixiä lukuun ottamatta kaikissa käsittelyissä. Tämä kieli siitä, että turpeen osittainen korvaaminen esimerkiksi sammalella tai puukuiduilla lisää basilikan tuorepainoa, vaikka kasvien pituus jäisikin pienemmäksi. Tämä voi selittyä kasvualustan lisääntyneen huokostilavuuden perusteella, kun turpeeseen on lisätty jotain ilmavampaa raaka-ainetta.

Myös ukrainalaisessa yliopistossa toteutettu koe (Burdina & Priss, 2016) tukee tätä johtopäätöstä. Kokeessa turpeen sekaan lisättiin eri suhteissa perliittiä. Kokeessa basilikan tuorepaino lisääntyi kontrolliin (100 % turvetta) verratessa, kun turpeen sekaan oli lisätty enintään 60 % perliittiä. Sammal-puukuitumixialustan sekä biolopymeerirouhekäsittelyn heikommat tulokset painon suhteen tukevat niin ikään samaisen kokeen havaintoa, jossa basilikan tuorepaino oli kontrollia heikompi, kun perliittiä oli lisätty liikaa. Näin voidaan tehdä johtopäätös, että mikäli turve korvataan jollain kasvualustavaihtoehdolla kokonaan, tulee viljely- tai kastelutekniikkaa muuttaa (sammal-puukuitumix ja polymeerirouhe).

Koska kookosnappikäsittelyssä päästiin kontrollikäsittelyn tuorepainon osalta yhtä hyviin tuloksiin kuin kontrollissa, voidaan päätellä, että nappien kasvualustaominaisuudet olivat erittäin lähellä kontrollina käytettyä turvealustaa, jolloin viljelytekniikkaa ei tarvitse muuttaa satotason alenematta.

Klorofyllipitoisuuden eli SPAD-arvojen erot eivät olleen tilastollisesti merkitseviä verratessa mitään käsittelyjä. Tämä havainto oli kiinnostava erityisesti tarkasteltaessa tulosta kasvien ulkonäön ja ravinnetasapainon rinnalla. On mahdollista, että mittauksista tuloksiin olisi saatu suurempia eroja, mikäli mittauksia olisi tehty useammasta lehdestä jokaisessa kasvissa.

Polymeerirouhekäsittelyssä erot muihin käsittelyihin olivat siis selkeitä monella mittarilla. Tämän voidaan todeta johtuvat käsittelyn kasvualustaominaisuuksien huomattavasta erosta muihin alustoihin. Polymeerirouhekäsittely olisi vaatinut erilaisen kasteluohjelman kuin muut alustat, ja kenties jopa erilaisen kastelutekniikan. Koska koe suoritettiin vakioimalla kasteluohjelma, asettui polymeerirouhekäsittely hyvin epätasa-arvoiseen asemaan muihin käsittelyihin nähden. Myös muiden käsittelyjen osalta tulokset voisivat olla hyvinkin erilaiset,

jos jokaiselle käsittelylle olisi luoto oma, kasvualustaominaisuuksien perusteella optimoitu kastelu- ja lannoitusohjelma.

Muilla koealustoilla päästiin kontrollialustaa parempiin arvoihin monessa mittauksessa. Pituutta ja painoa tarkasteltaessa parhaaseen kasvuun päästiin siinä käsittelyssä, jossa kasvualusta sisälsi 60 % sammalta ja 40 % turvetta. Kyseisessä kasvualustassa kasvaneen kasvit olivat myös ulkonäöltään keskimäärin kelpoja. Tämän kokeen tulosten perusteella voitaisiin siis sanoa, että kasvualustan turvepitoisuuden korvaaminen sammalella jopa huomattavissa määrin voisi parantaa kasvutuloksia ilman merkittäviä muutoksia viljelytekniikassa. Toisaalta kontrollialustaa ei ollut valmistettu samalla kertaa kuin koealustoja, ja kyseisen turvealustan varastointiaika ja -olosuhteet olivat voineet vaikuttaa sen ravinne- ja muihin kasvualustaominaisuuksiin. Lisäksi kastelu- ja lannoitusohjelman ongelmat vaikuttivat kokeen kasvutuloksiin kaikissa käsittelyissä.

Humushapon lisääminen puukuituturvealustaan ei vaikuttanut moneen kokeessa mitattuun arvoon. Kiinnostavaa oli, että käsittelyt 4 ja 5 poikkesivat toisistaan oleellisesti vain lehtien ulkonäön osalta. Erityisen kiinnostavaa oli, että juuri siinä käsittelyssä, johon humushappoa oli lisätty, saatiin kasvien ulkonäölle huomattavasti huonommat arvosanat, vaikka puristenesteanalyysitulokset olivat todella lähellä toisiaan. Lisää tutkimuksia tarvittaisiin, jotta voitaisiin selvittää, mistä tämä johtui. Voidaan kuitenkin tehdä olettaus, että humushapon lisääminen kasvualustaan vaikutti kasvien kykyyn käyttää ravinteita jollain lailla. Toisaalta humushaposta todettiin alustaan lisättäessä, että sitä olisi kannattanut laimentaa vielä enemmän, jotta sen tasainen levittäminen olisi ollut helpompaa. On siis mahdollista, että humushappoa päätyi kokeessa käytettyihin ruukkuihin suosituksesta eroava ja muutoinkin epätasainen määrä.

Lähteet

- AdvancedNutrients.Com. (2018). *The Pros And Cons: Your Guide To Growing In Coco Coir*. AdvancedNutrients.Com. <https://www.advancednutrients.com/articles/coco-coir-grow-medium/>
- Al Jaouni, S., Saleh, A. M., Wadaan, M. A. M., Hozzein, W. N., Selim, S., & AbdElgawad, H. (2018). Elevated CO₂ induces a global metabolic change in basil (*Ocimum basilicum* L.) and peppermint (*Mentha piperita* L.) and improves their biological activity. *Journal of Plant Physiology*, 224–225, 121–131. <https://doi.org/10.1016/J.JPLPH.2018.03.016>
- Allen, M. (2017, toukokuuta 16). *How plants tell time*. Phys.org. <https://phys.org/news/2017-05-how-plants-tell-time.html>
- Alm, M., & Tuominen, J. (2003). Kasvihuonerakennukset ja niissä käytettävä tekniikka. Teoksessa T. Koivunen (Toim.), *Tehokkaasti kasvihuoneesta* (3. p., ss. 61–83). Opetushallitus.
- Attridge, T. H. (1990). *Light and Plant Responses*. Edward Arnold.
- Aura, E. (1992). Maan vesitalous. Teoksessa R. Heinonen (Toim.), *Maa, viljely ja ympäristö* (ss. 142–172). WSOY.
- Biotus Oy. (n.d.-a). *Harsosäasket*. Biotus.fi. Noudettu 17. maaliskuuta 2022, osoitteesta <https://biotus.fi/biologinentorjunta/kasvihuone/harsosaasket/>
- Biotus Oy. (n.d.-b). *Kirvat*. Biotus.fi. Noudettu 17. maaliskuuta 2022, osoitteesta <https://biotus.fi/biologinentorjunta/kasvihuone/kirvat/>
- Biotus Oy. (n.d.-c). *Liejukärpäset*. Biotus.fi. Noudettu 17. maaliskuuta 2022, osoitteesta <https://biotus.fi/biologinentorjunta/kasvihuone/liejukarpaset/>
- Biotus Oy. (n.d.-d). *Ripsiäiset*. Biotus.fi. Noudettu 17. maaliskuuta 2022, osoitteesta <https://biotus.fi/biologinentorjunta/kasvihuone/ripsiaiset/>
- Biotus Oy. (n.d.-e). *Vihannespunkki*. Biotus.fi. Noudettu 17. maaliskuuta 2022, osoitteesta

<https://biotus.fi/biologinentorjunta/kasvihuone/vihannespunkki/>

Burdina, I., & Priss, O. (2016). Effect of the Substrate Composition on Yield and Quality of Basil (*Ocimum basilicum* L.). *Journal of Horticultural Research*, 24(2), 109–118.

<https://doi.org/10.1515/JOHR-2016-0027>

Chiang, L. C., Ng, L. T., Cheng, P. W., Chiang, W., & Lin, C. C. (2005). Antiviral activities of extracts and selected pure constituents of *Ocimum basilicum*. *Clinical and experimental pharmacology & physiology*, 32(10), 811–816. <https://doi.org/10.1111/J.1440-1681.2005.04270.X>

Cohen, Y., & Ben-Naim, Y. (2016). Nocturnal Fanning Suppresses Downy Mildew Epidemics in Sweet Basil. *PLOS ONE*, 11(5), e0155330.

<https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0155330>

Cohen, Y., & Rubin, A. E. (2015). Daytime Solar Heating Controls Downy Mildew *Peronospora belbahrii* in Sweet Basil. *PloS one*, 10(5).

<https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0126103>

Cope, K. R., & Bugbee, B. (2013). Spectral Effects of Three Types of White Light-emitting Diodes on Plant Growth and Development: Absolute versus Relative Amounts of Blue Light. *HortScience*, 48(4), 504–509. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.48.4.504>

De Almeida, I., Alviano, D. S., Vieira, D. P., Alves, P. B., Blank, A. F., Lopes, A. H. C. S., Alviano, C. S., & Rosa, M. D. S. S. (2007). Antigiardial activity of *Ocimum basilicum* essential oil. *Parasitology research*, 101(2), 443–452. <https://doi.org/10.1007/S00436-007-0502-2>

De Innocentis, I. (n.d.). *History and origin of basil*. TUMN. Noudettu 17. maaliskuuta 2022, osoitteesta <https://www.tumn.it/en/blog/history-and-origin-of-basil>

de Ruiter, E. (2021). *Henkilökohtainen tiedonanto*.

Dickson, R. (2019). Magnesium or micronutrient deficiency in basil? Don't be fooled! *e-Gro Edible Alert*, 4(8 January 2019). www.e-gro.org

dos Santos, J. F., Filho, M. A. C., Cruz, J. L., Soares, T. M., & Cruz, A. M. L. (2019). Growth,

water consumption and basil production in the hydroponic system under salinity.

Revista Ceres, 66(1), 45–53. <https://doi.org/10.1590/0034-737X201966010007>

Dou, H., Niu, G., & Gu, M. (2019). Photosynthesis, Morphology, Yield, and Phytochemical Accumulation in Basil Plants Influenced by Substituting Green Light for Partial Red and/or Blue Light. *HortScience*, 54(10), 1769–1776.
<https://doi.org/10.21273/HORTSCI14282-19>

Dou, H., Niu, G., Gu, M., & Masabni, J. G. (2018). Responses of Sweet Basil to Different Daily Light Integrals in Photosynthesis, Morphology, Yield, and Nutritional Quality. *HortScience*, 53(4), 496–503. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI12785-17>

Elad, Y., Omer, C., Nisan, Z., Harari, D., Goren, H., Adler, U., Silverman, D., & Biton, S. (2016). Passive heat treatment of sweet basil crops suppresses *Peronospora belbahrii* downy mildew. *Annals of Applied Biology*, 168(3), 373–389.
<https://doi.org/10.1111/AAB.12269>

Fagerstedt, K., Koivunen, T., Lindén, L., & Santanen, A. (2008). *Kasvioppi - siemenestä satoon*. Edita Prima Oy.

Farmit.Net. (n.d.). *Kasvihuoneviljely - Kasvualusta*. Farmit.Net. Noudettu 17. maaliskuuta 2022, osoitteesta <https://www.farmit.net/kasvinviljely/erikoiskasvien-viljely/kasvihuoneviljely/kasvihuoneviljely-kaesikirja/kasvualusta>

Fibrefamily.Com. (2020, elokuuta 11). *What is Coco Peat? - Fibre Family*. Fibrefamily.Com.
<https://www.fibrefamily.com/what-is-coco-peat/>

Fields, J. S., Fonteno, W. C., Jackson, B. E., Heitman, J. L., & Owen, J. S. (2014). Hydrophysical properties, moisture retention, and drainage profiles of wood and traditional components for greenhouse substrates. *HortScience*, 49(6), 827–832.
<https://doi.org/10.21273/HORTSCI.49.6.827>

Fraszczak, B. (2011). Effect of differential temperature and photoperiod on growth of *Ocimum basilicum*. *Zemdirbyste*, 98(4), 375–382.
https://www.researchgate.net/publication/256334521_Effect_of_differential_tempera

ture_and_photoperiod_on_growth_of_Ocimum_basilicum

Fudyma, J. D., Lyon, J., AminiTabrizi, R., Gieschen, H., Chu, R. K., Hoyt, D. W., Kyle, J. E., Toyoda, J., Tolic, N., Heyman, H. M., Hess, N. J., Metz, T. O., & Tfaily, M. M. (2019). Untargeted metabolomic profiling of *Sphagnum fallax* reveals novel antimicrobial metabolites. *Plant Direct*, 3(11). <https://doi.org/10.1002/PLD3.179>

FutureMarketInsights.com. (n.d.). *Basil Leaves Market - Global Industry Analysis, Size and Forecast, 2017 to 2027*. FutureMarketInsights.com. Noudettu 17. maaliskuuta 2022, osoitteesta <https://www.futuremarketinsights.com/reports/basil-leaves-market>

Galambosi, B. (2017). *Yrttien viljely III Yrttien merkitys*. Opetushallitus. www.oph.fi/julkaisut

Gilardi, G., Pugliese, M., Chitarra, W., Ramon, I., Gullino, M. L., & Garibaldi, A. (2016). Effect of Elevated Atmospheric CO₂ and Temperature Increases on the Severity of Basil Downy Mildew Caused by *Peronospora belbahrii* Under Phytotron Conditions. *Journal of Phytopathology*, 164(2), 114–121. <https://doi.org/10.1111/JPH.12437>

Gillespie, D. P., Kubota, C., & Miller, S. A. (2020). Effects of Low pH of Hydroponic Nutrient Solution on Plant Growth, Nutrient Uptake, and Root Rot Disease Incidence of Basil (*Ocimum basilicum* L.). *HortScience*, 55(8), 1251–1258. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI14986-20>

Growfoam.ag. (n.d.). *Grow Greener, Safer and Faster with sustainable Growfoam® substrates*. Growfoam.ag. Noudettu 24. maaliskuuta 2022, osoitteesta <https://www.growfoam.ag/>

Gullino, M. L., Pugliese, M., Gilardi, G., & Garibaldi, A. (2018). Effect of increased CO₂ and temperature on plant diseases: a critical appraisal of results obtained in studies carried out under controlled environment facilities. *Journal of Plant Pathology*, 100(3), 371–389. <https://doi.org/10.1007/S42161-018-0125-8/FIGURES/8>

Hammarberg, S. (2012, toukokuuta 23). *Basilika*. Anna.fi. <https://anna.fi/ruoka/vinkit/basilika>

Hartikainen, H. (1992). Maaperä. Teoksessa R. (Helsingin yliopisto) Heinonen (Toim.), *Maa*,

viljely ja ympäristö (ss. 9–89). WSOY.

HortiDaily.com. (2022, tammikuuta 27). *New and renewable: Raw material 'Kompofibre' can be mixed into substrates*. HortiDaily.com.

<https://www.hortidaily.com/article/9394280/new-and-renewable-raw-material-kompofibre-can-be-mixed-into-substrates/>

Hosseini, H., Mozafari, V., Roosta, H. R., Shirani, H., van de Vlasakker, P. C. H., & Farhangi, M. (2021). Nutrient use in vertical farming: Optimal electrical conductivity of nutrient solution for growth of lettuce and basil in hydroponic cultivation. *Horticulturae*, 7(9).

<https://doi.org/10.3390/HORTICULTURAE7090283>

Jaakkola, A. (1992). Kasvinravitseemus. Teoksessa R. Heinonen (Toim.), *Maa, viljely ja ympäristö* (ss. 173–254). WSOY.

Jaakkonen, A.-K., & Vuollet, A. (2003). Kasvutekijät ja kasvu. Teoksessa T. Koivunen (Toim.), *Tehokkaasti kasvihuoneesta* (3. p., ss. 29–60). Opetushallitus.

Jackson, B. E., Wright, R. D., & Barnes, M. C. (2010). Methods of Constructing a Pine Tree Substrate from Various Wood Particle Sizes, Organic Amendments, and Sand for Desired Physical Properties and Plant Growth. *HortScience*, 45(1), 103–112.

<https://doi.org/10.21273/HORTSCI.45.1.103>

Järvinen, M., Karjalainen, K., & Vuollet, A. (2016). *Kasvihuoneviljely*. Opetushallitus.

Johnson, R. E., Kong, Y., & Zheng, Y. (2020). Elongation growth mediated by blue light varies with light intensities and plant species: A comparison with red light in arugula and mustard seedlings. *Environmental and Experimental Botany*, 169, 103898.

<https://doi.org/10.1016/J.ENVEXPBOT.2019.103898>

Kangas, N. (2022). Kasvualustavalmistajat panostavat puukuituun. *Puutarha & Kauppa* 5/2022, 40.

Kanniainen, T. (2003a). Kasvinravinteet ja lannoitus. Teoksessa T. Koivunen (Toim.), *Tehokkaasti kasvihuoneesta* (3. p., ss. 141–156). Opetushallitus.

- Kanniainen, T. (2003b). Kasvualustat ja kasteluvesi. Teoksessa T. Koivunen (Toim.), *Tehokkaasti kasvihuoneesta* (3. p., ss. 121–139). Opetushallitus.
- Kanniainen, T. (2021). *Henkilökohtainen tiedonanto*.
- Kauppapuutarhaliitto. (n.d.). *Salaatit ja yrtit*. Kauppapuutarhaliitto.fi. Noudettu 17. maaliskuuta 2022, osoitteesta <https://kauppapuutarhaliitto.fi/tietoa-kasvihuonealasta/vihannesten-viljely-kasvihuoneissa/salaatit-ja-yrtit/>
- Keuskamp, D. H., Keller, M. M., Ballaré, C. L., & Pierik, R. (2012). Blue light regulated shade avoidance. *https://doi.org/10.4161/psb.19340*, 7(4), 514–517.
<https://doi.org/10.4161/PSB.19340>
- Kharazipour, A., Ludwig, K., Chaisaena, W., Polle, A., & Kües, U. (2007). Wood and other Plant Fibres in the Production of Peat Substitutes and Pot Plant Containers. Teoksessa *Wood production, wood technology, and biotechnological impacts* (ss. 609–635). Universitätsverlag Göttingen.
https://www.researchgate.net/publication/262179193_Wood_and_other_Plant_Fibres_in_the_Production_of_Peat_Substitutes_and_Pot_Plant_Containers
- Kirschbaum, M. U. F. (2011). Focus Issue on Enhancing Photosynthesis: Does Enhanced Photosynthesis Enhance Growth? Lessons Learned from CO₂ Enrichment Studies. *Plant Physiology*, 155(1), 117. <https://doi.org/10.1104/PP.110.166819>
- Kiteen Mato ja Multa Oy. (n.d.). *Tutkimus- ja hanketyö 2013-2017 - Kiteen Mato ja Multa Oy*. Kiteen Mato ja Multa Oy. Noudettu 24. maaliskuuta 2022, osoitteesta <https://www.matojamulta.com/kiteen-mato-ja-multa-oy/raki-ohjelma>
- Kivipelto, A. (2010, marraskuuta 16). *Uusi mutka metaanin kierrossa*. HS.fi.
<https://www.hs.fi/tiede/art-2000004769432.html>
- Kotiliesi. (n.d.). Basilika – suosikkiyrtti sopii kaikkiin ruokiin, myös jälkkäreihin! *Kotiliesi.fi*. Noudettu 12. toukokuuta 2022, osoitteesta <https://kotiliesi.fi/ruoka/ideoita-ruoanlaittoon/basilika/>
- Kozai, T., Niu, G., & Takagaki, M. (2016). *Plant Factory - An Indoor Vertical Farming System*

ofr Efficient Quality Food Production. Academic Press.

Kuisma, E. (2013). *KASVIKUITUALUSTA TURPEEN TAI KOOKOSROUHEEN KORVAAJANA MANSIKAN KASVIHUONEVILJELYSSÄ*. Helsingin yliopisto.

Kujala, A. (2022). *Henkilökohtainen tiedonanto*.

Laki kasvinterveyden suojelemisesta 702, (2003).

<https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2003/20030702>

Lamminen, K. (2020, marraskuuta 28). *Kasvualustabisnes joutui syyniin sammalen korjuussa tehtyjen virheiden myötä – tutkija tyrmää kasvualustan ekologisuuden - Ympäristö - Maaseudun Tulevaisuus*. Maaseudun Tulevaisuus .

<https://www.maaseuduntulevaisuus.fi/ymparisto/artikkeli-1.1250504>

Lannoitevalmistelaki 539, (2006). <https://finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2006/20060539>

Larsen, D. H., Woltering, E. J., Nicole, C. C. S., & Marcelis, L. F. M. (2020). Response of Basil Growth and Morphology to Light Intensity and Spectrum in a Vertical Farm. *Frontiers in Plant Science*, 11, 1893. <https://doi.org/10.3389/FPLS.2020.597906/BIBTEX>

Lehtoranta, S., & Johansson, A. (2021). Turpeen korvaamiseksi maataloudessa tarvitaan pikaisesti vaihtoehtoja - MieliPide | HS.fi. Teoksessa *HS.fi*. HS.fi.

<https://www.hs.fi/mielifide/art-2000008321023.html>

Lim, S., & Kim, J. (2021). Light Quality Affects Water Use of Sweet Basil by Changing Its Stomatal Development. *Agronomy* 2021, Vol. 11, Page 303, 11(2), 303.

<https://doi.org/10.3390/AGRONOMY11020303>

Luonnonvarakeskus. (n.d.). *Sammalen viljely kasvualustaksi*. Luonnonvarakeskus. Noudettu 17. maaliskuuta 2022, osoitteesta <https://www.luke.fi/projektit/sammal/>

Luonnonvarakeskus. (2021, kesäkuuta 22). *Mitä metsätaimien kasvatukseen tilalle?* Luonnonvarakeskus. <https://www.luke.fi/blogi/mita-kasvatukseen-tilalle-metsataimienkasvatuksella/>

Luonnonvarakeskus. (n.d.). *Vihannesviljely kasvihuoneessa / ruukkuvihannekset muuttujina*

Vuosi, ELY-keskus, Muuttuja ja Laji. PxWeb. Luonnonvarakeskuksen tilastotietokanta.

Noudettu 21. huhtikuuta 2022, osoitteesta

[http://statdb.luke.fi/PXWeb/pxweb/fi/LUKE/LUKE__02 Maatalous__04 Tuotanto__20 Puutarhatilastot/08_Vihannesviljely_kasvihuone_ruukkuvih.px/table/tableViewLayout2/?rxid=dc711a9e-de6d-454b-82c2-74ff79a3a5e0](http://statdb.luke.fi/PXWeb/pxweb/fi/LUKE/LUKE__02_Maatalous__04_Tuotanto__20_Puutarhatilastot/08_Vihannesviljely_kasvihuone_ruukkuvih.px/table/tableViewLayout2/?rxid=dc711a9e-de6d-454b-82c2-74ff79a3a5e0)

Manosroi, J., Dhumtanom, P., & Manosroi, A. (2006). Anti-proliferative activity of essential oil extracted from Thai medicinal plants on KB and P388 cell lines. *Cancer letters*, 235(1), 114–120. <https://doi.org/10.1016/J.CANLET.2005.04.021>

Mattson, N. (2018). Magnesium Deficiency of Hydroponic and Container Grown Basil. *e-Gro Edible Alert*, 3(3 February 2018). <https://e-gro.org/pdf/2016-4.pdf>

Mc Cormack, C. (2020, toukokuuta 1). *Peat extraction ruling leaves horticulture sector "on cliff edge"*. Agriland.ie. <https://www.agriland.ie/farming-news/peat-extraction-ruling-leaves-horticulture-sector-on-cliff-edge/>

McCree, K. J. (1971). The action spectrum, absorptance and quantum yield of photosynthesis in crop plants. *Agricultural Meteorology*, 9(C), 191–216. [https://doi.org/10.1016/0002-1571\(71\)90022-7](https://doi.org/10.1016/0002-1571(71)90022-7)

Meng, Q., Kelly, N., & Runkle, E. S. (2019). Substituting green or far-red radiation for blue radiation induces shade avoidance and promotes growth in lettuce and kale. *Environmental and Experimental Botany*, 162, 383–391. <https://doi.org/10.1016/J.ENVEXPBOT.2019.03.016>

Mijani, S., Eskandari, S., Zarghani, H., & Abadi, M. G. (2013). Seed Germination and Early Growth Responses of Hyssop, Sweet Basil and Oregano to Temperature Levels. *Notulae Scientia Biologicae*, 5(4), 462–467. <https://doi.org/10.15835/nsb.5.4.9164>

MMM. (n.d.). *Lannoitevalmisteet*. Maa- ja metsätalousministeriö. Noudettu 17. maaliskuuta 2022, osoitteesta <https://mmm.fi/elaimet-kasvit/lannoitevalmisteet>

Mortensen, L. M. (2014). The Effect of Air Temperature on Growth of Eight Herb Species. *American Journal of Plant Sciences*, 05(11), 1542–1546.

<https://doi.org/10.4236/AJPS.2014.511168>

- MTT. (n.d.). *Sammalraaka-aine*. Noudettu 17. maaliskuuta 2022, osoitteesta <https://portal.mtt.fi/portal/page/portal/mtt/hankkeet/foamoss/sammalraaka-aine>
- NewWorldEncyclopedia.com. (n.d.). Basil. Teoksessa *New World Encyclopedia*. Noudettu 17. maaliskuuta 2022, osoitteesta <https://www.newworldencyclopedia.org/entry/Basil>
- Niittylä, O. (2014). *Mansikan tunneliviljely eloperäisillä kasvualustoilla*. Hämeen ammattikorkeakoulu.
- Pennanen, R. (2019, lokakuuta 29). *Rahkasammal avuksi maailman ruokatuotantoon – Suomen soilla muhii miljoonabiznes, sillä sammaleesta kaavaillaan kasvisten kasvualustaa*. Yle.fi. <https://yle.fi/uutiset/3-11022488>
- Pennisi, G., Orsini, F., Landolfo, M., Pistillo, A., Crepaldi, A., Nicola, S., Fernández, J. A., Marcelis, L. F. M., & Gianquinto, G. (2020). Optimal photoperiod for indoor cultivation of leafy vegetables and herbs. *European Journal of Horticultural Science*, *85*(5), 329–338. <https://doi.org/10.17660/EJHS.2020/85.5.4>
- Pennisi, Giuseppina, Blasioli, S., Cellini, A., Maia, L., Crepaldi, A., Braschi, I., Spinelli, F., Nicola, S., Fernandez, J. A., Stanghellini, C., Marcelis, L. F. M., Orsini, F., & Gianquinto, G. (2019). Unraveling the role of red:Blue LED lights on resource use efficiency and nutritional properties of indoor grown sweet basil. *Frontiers in Plant Science*, *10*, 305. <https://doi.org/10.3389/FPLS.2019.00305/BIBTEX>
- Pennisi, Giuseppina, Pistillo, A., Orsini, F., Cellini, A., Spinelli, F., Nicola, S., Fernandez, J. A., Crepaldi, A., Gianquinto, G., & Marcelis, L. F. M. (2020). Optimal light intensity for sustainable water and energy use in indoor cultivation of lettuce and basil under red and blue LEDs. *Scientia Horticulturae*, *272*, 109508. <https://doi.org/10.1016/J.SCIENTA.2020.109508>
- Pesola, P. (2021a, kesäkuuta 4). *Harmaahometta torjuttiin onnistuneesti pelkällä vedellä – mullistaako otsonivesi kasvinsuojelun?* Maaseudun Tulevaisuus. <https://www.maaseuduntulevaisuus.fi/maatalous/artikkeli-1.1427119>

- Pesola, P. (2021b, kesäkuuta 6). *Otsonivesi toimii tietyissä tilanteissa kasvinsuojelukäytössä, mutta väärin käytettynä voi pahimmillaan vioittaa kasvia*. Maaseudun Tulevaisuus. <https://www.maaseuduntulevaisuus.fi/maatalous/artikkeli-1.1428327>
- Piechowiak, M. (n.d.). *Can Vertical Farming Grow Beyond Herbs and Leafy Greens?* Vertical Farming Planet. Noudettu 17. maaliskuuta 2022, osoitteesta <https://verticalfarmingplanet.com/can-vertical-farming-grow-beyond-herbs-and-leafy-greens/>
- Piovene, C., Orsini, F., Bosi, S., Sanoubar, R., Bregola, V., Dinelli, G., & Gianquinto, G. (2015). Optimal red:blue ratio in led lighting for nutraceutical indoor horticulture. *Scientia Horticulturae*, 193, 202–208. <https://doi.org/10.1016/J.SCIENTA.2015.07.015>
- Poorter, H., Niinemets, Ü., Ntagkas, N., Siebenkäs, A., Mäenpää, M., Matsubara, S., & Pons, T. L. (2019). A meta-analysis of plant responses to light intensity for 70 traits ranging from molecules to whole plant performance. *New Phytologist*, 223(3), 1073–1105. <https://doi.org/10.1111/NPH.15754>
- Porvali, V., Lindedahl, K., & Laine, P. (2021, kesäkuuta 22). Vertikaaliviljely kehittyy. *Kehittyvä Elintarvike*. <https://kehittyvaelintarvike.fi/artikkelit/toimialat/alkutuotanto/vertikaaliviljely-kehittyy/>
- Puustjärvi, V. (1973). *Kasvuturve ja sen käyttö*. Turveteollisuusliitto r.y.
- RakennaOikein.fi. (2019, elokuuta 9). *Sammaleen keruukausi jatkuu pakkasiin asti*. RakennaOikein.Fi. <https://www.rakennaoykein.fi/sammaleen-keruukausi-jatkuu-pakkasiin-asti-157303/uutiset.html>
- Remes, L. (2019a). Pisaraverholla hukkalämpö käyttöön. *Puutarha & Kauppa 10/2019*, 10.
- Remes, L. (2019b). Yrttejä maalämmöllä - ja kylmälläkin? *Puutarha & Kauppa 10/2019*, 11.
- Rockwool.Com. (n.d.). *An eight-step overview of stone wool production at ROCKWOOL's advanced manufacturing facilities*. Rockwool.com.

- Ruokavirasto. (n.d.-a). *Lannoitealan toiminta*. Noudettu 17. maaliskuuta 2022, osoitteesta <https://www.ruokavirasto.fi/yritykset/rehu--ja-lannoiteala/lannoitevalmisteet/lannoitela-toiminta/>
- Ruokavirasto. (n.d.-b). *Lannoitteet ja lannoitevalmisteet*. Noudettu 17. maaliskuuta 2022, osoitteesta <https://www.ruokavirasto.fi/yritykset/rehu--ja-lannoiteala/lannoitevalmisteet/laatuvaatimukset/>
- Rutgers New Jersey Agricultural Experiment Station. (n.d.). *Ultra-Niche Crops*. Rutgers New Jersey Agricultural Experiment Station. Noudettu 17. maaliskuuta 2022, osoitteesta <https://njaes.rutgers.edu/ultra-niche-crops/>
- Seppälä, J. (2019). Ilmastonmuutoksen hillintä ja turvemaiden hyödyntäminen. *Turvetuotannon ymrpäistön- ja luonnonsuojelupäivä 2019*.
- Sharafzadeh, S., & Alizadeh, O. (2011). Nutrient Supply and Fertilization of Basil. *Advances in Environmental Biology*, 5(5), 956–960. https://www.researchgate.net/publication/216384927_Nutrient_Supply_and_Fertilization_of_Basil
- Silokangas, K. (2019, maaliskuuta 4). *Sammal – kasvualustojen uusi raaka-aine - Kekkilä Professional*. KekkiläProfessional.Com. <https://www.kekkilaprofessional.com/fi/viljelyvinkit-ja-neuvot/sammal-kasvualustojen-uusi-raaka-aine/>
- Silokangas, K. (2021, huhtikuuta 19). *Kasvualustan johtokyvyn ja pH:n mittaus*. KekkiläProfessional.Com. <https://www.kekkilaprofessional.com/fi/viljelyvinkit-ja-neuvot/kasvualustan-johtokyvyn-ja-phn-mittaus/>
- Silokangas, K. (2022). *Henkilökohtainen tiedonanto*.
- Singh, H., Dunn, B., Payton, M., & Brandenberger, L. (2019). Fertilizer and Cultivar Selection of Lettuce, Basil, and Swiss Chard for Hydroponic Production. *HortTechnology*, 29(1), 50–56. <https://doi.org/10.21273/HORTTECH04178-18>
- Singh, H., Poudel, M. R., Dunn, B. L., Fontanier, C., & Kakani, G. (2020). Effect of Greenhouse

CO₂ Supplementation on Yield and Mineral Element Concentrations of Leafy Greens Grown Using Nutrient Film Technique. *Agronomy* 2020, Vol. 10, Page 323, 10(3), 323.
<https://doi.org/10.3390/AGRONOMY10030323>

Sitra. (n.d.). *Vertikaalinen viljely*. Noudettu 17. maaliskuuta 2022, osoitteesta
<https://www.sitra.fi/tulevaisuussanasto/vertikaalinen-viljely/>

Sloper, C. H. (2019). *The LED Grow Book* (Third Edit). Future of Horticultural Science + Engineering.

Snowden, M. C., Cope, K. R., & Bugbee, B. (2016). Sensitivity of Seven Diverse Species to Blue and Green Light: Interactions with Photon Flux. *PLOS ONE*, 11(10), e0163121.
<https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0163121>

Soimakallio, S., Sankelo, P., Kopsakangas-Savolainen, M., Sederholm, C., Auvinen, K., Heinonen, T., Johansson, A., Judl, J., Karhinen, S., Lehtoranta, S., Räsänen, S., & Savolainen, H. (2020). *Turpeen rooli ja sen käytöstä luopumisen vaikutukset Suomessa*.
<https://media.sitra.fi/2020/06/31150012/turpeen-rooli-ja-sen-kaytosta-luopumisen-vaikutukset-suomessa-tekninen-raportti.pdf>

Tampio, E., Vainio, M., Virkkunen, E., Rahtola, M., & Heinonen, S. (2018). *Opas kierrätyslannoitevalmisteiden tuottajille*. 44–48. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-606-3>

Tiede. (2018). *Uusi peruna kasvaa ilman multaakin*. Tiede.fi.
<https://www.tiede.fi/artikkeli/uutiset/uusi-peruna-kasvaa-ilman-multaakin>

Vänninen, I. (2003). Ympäristönsuojelu kasvihuonetuotannossa. Teoksessa T. Koivunen (Toim.), *Tehokkaasti kasvihuoneesta* (3. p., ss. 267–286). Opetushallitus.

Vellekoop, E. (2021, maaliskuuta 29). *“Suez Canal blockage adds more stain to supply chain”*. HortiDaily.com. <https://www.hortidaily.com/article/9307179/suez-canal-blockage-adds-more-stain-to-supply-chain/>

Walters, K. J., & Currey, C. J. (2019). Growth and Development of Basil Species in Response to Temperature. *HortScience*, 54(11), 1915–1920.

<https://doi.org/10.21273/HORTSCI12976-18>

WBOC.com. (n.d.). *Basil Leaves Narjet Suze Is Exoected To Grow*. Delmarva's News Leader.

Noudettu 17. maaliskuuta 2022, osoitteesta

<https://www.wboc.com/story/44742357/basil-leaves-market-size-is-expected-to-grow-with-a-cagr-of-15-globally-with-top-countries-data-analysis-amp-forecast-2021ndash2027/>

Woodard, J. (2019). *What Are Hydroponic Systems and How Do They Work?*

FreshWaterSystems.com. <https://www.freshwatersystems.com/blogs/blog/what-are-hydroponic-systems>

Wyenandt, C. A., Simon, J. E., Pyne, R. M., Homa, K., McGrath, M. T., Zhang, S., Raid, R. N., Ma, L. J., Wick, R., Guo, L., & Madeiras, A. (2015). Basil Downy Mildew (*Peronospora belbahrii*): Discoveries and Challenges Relative to Its Control. *Phytopathology*, *105*(7), 885–894. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-02-15-0032-FI>

Ympäristöministeriö. (2015). *Turvetuotannon ympäristönsuojeluohje*. Ympäristöministeriö.

<https://helda.helsinki.fi/handle/10138/155221>

Yrttitarha.fi. (n.d.). *Basilika*. Yrttitarha.fi. Noudettu 17. maaliskuuta 2022, osoitteesta

<http://www.yrttitarha.fi/kanta/basilika/>

Zhen, S., & Bugbee, B. (2020). Far-red photons have equivalent efficiency to traditional photosynthetic photons: Implications for redefining photosynthetically active radiation. *Plant, Cell & Environment*, *43*(5), 1259–1272. <https://doi.org/10.1111/PCE.13730>

Liite 1: Kasvatuskokeessa käytetty kasteluohjelma

plant age	time	irrigation length
3-9 days old	9:00	5
	14:00	2
	19:00	5
9-14 days old	9:00	4
	11:00	3
	14:00	4
	20:00	3
	23:00	3
14-17 days old	2:00	4
	9:00	3
	10:00	3
	12:00	3
	16:00	3
	20:00	3
17-21 days old	0:00	3
	2:00	4
	9:00	4
	11:00	3
	13:00	3
	15:00	4
	17:00	3
	19:00	3
21-24 days old	21:00	3
	23:00	3
	1:00	3
	9:00	4
	10:00	3
	11:00	4
	12:00	3
	13:00	4
	14:00	4
	15:00	4
	16:00	3
	17:00	4
	18:00	3
	19:00	4
20:00	3	
21:00	4	
22:00	3	
23:00	4	
0:00	3	
1:00	3	
2:00	3	

plant age	time	irrigation length
24-28 days old	9:00	4
	10:00	4
	11:00	4
	12:00	4
	13:00	4
	14:00	4
	15:00	4
	16:00	4
	17:00	4
	18:00	4
	19:00	4
	20:00	4
	21:00	4
	22:00	4
over 28 days old	23:00	4
	0:00	4
	1:00	4
	2:00	4
	7:00	4
	9:00	4
	9:45	4
	10:30	4
	11:15	4
	12:00	4
	12:45	4
	13:30	4
	14:15	4
	0:00	4
15:45	4	
16:30	4	
17:15	4	
0:00	4	
18:45	4	
19:30	4	
20:15	4	
21:00	4	
22:00	4	
23:00	4	
0:00	4	
1:00	3	
2:00	4	

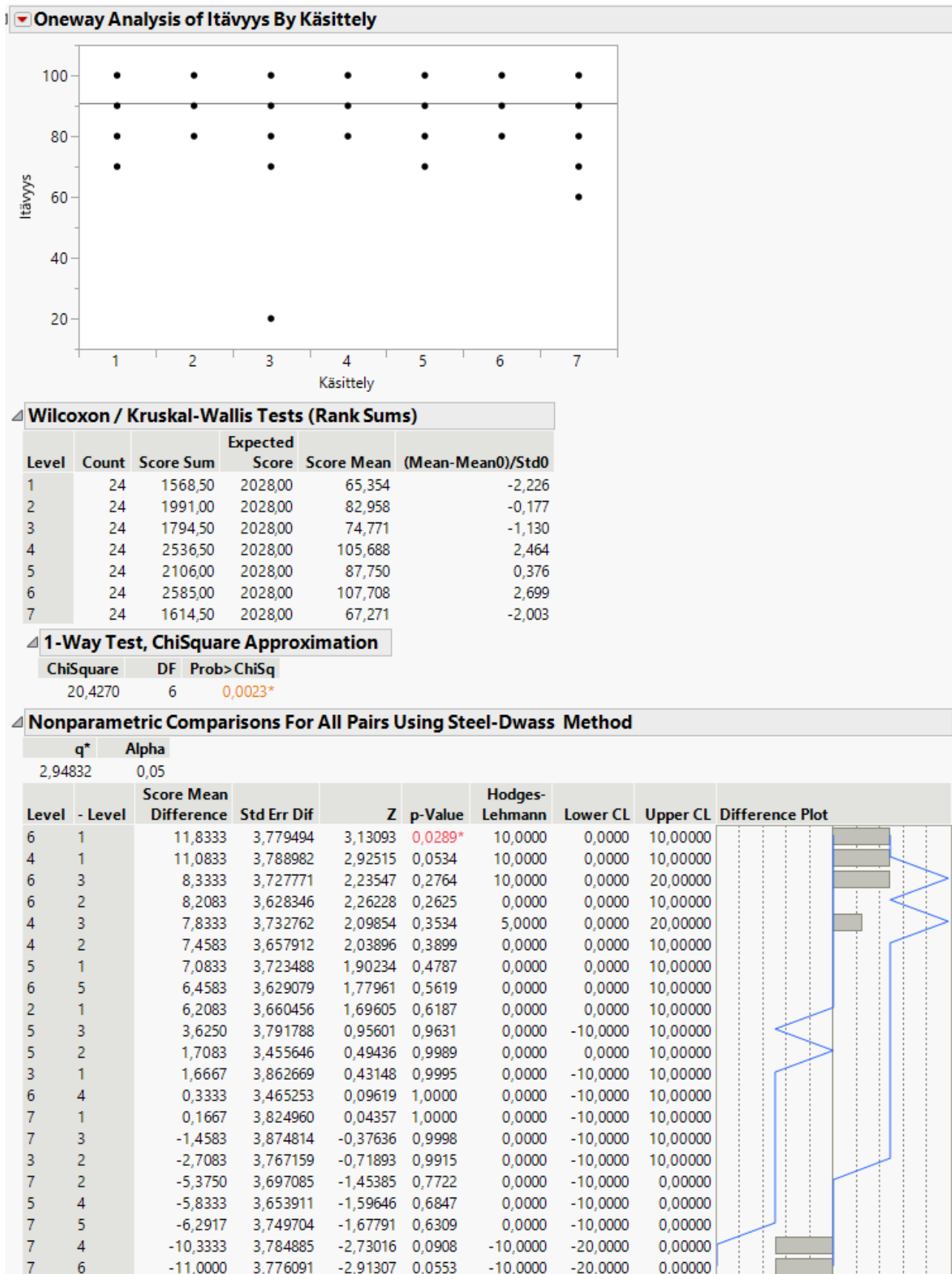
Liite 2: Kartta koeasetelmasta

Kouru ->

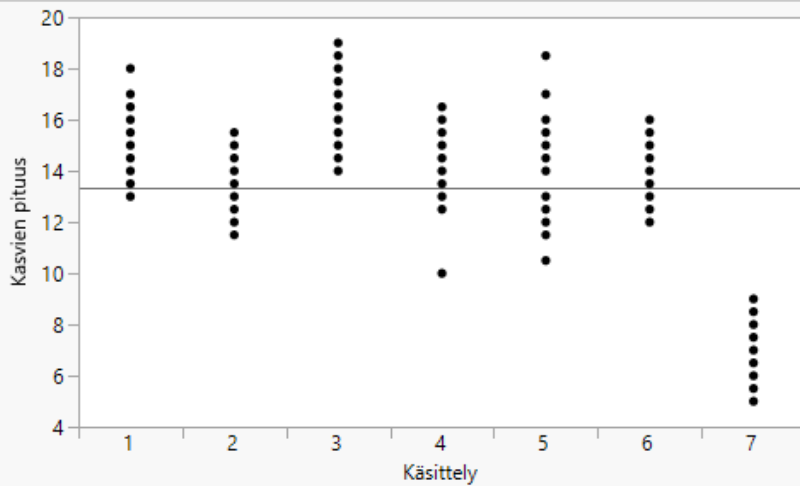
Ruukku v	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1									
2		1	2	3	4	5	6	7	
3		1	2	3	4	5	6	7	
4		1	2	3	4	5	6	7	
5		1	2	3	4	5	6	7	
6		1	2	3	4	5	6	7	
7		1	2	3	4	5	6	7	
8		2	3	4	5	6	7	1	
9		2	3	4	5	6	7	1	
10		2	3	4	5	6	7	1	
11		2	3	4	5	6	7	1	
12		2	3	4	5	6	7	1	
13		2	3	4	5	6	7	1	
14		3	4	5	6	7	1	2	
15		3	4	5	6	7	1	2	
16		3	4	5	6	7	1	2	
17		3	4	5	6	7	1	2	
18		3	4	5	6	7	1	2	
19		3	4	5	6	7	1	2	
20		4	5	6	7	1	2	3	
21		4	5	6	7	1	2	3	
22		4	5	6	7	1	2	3	
23		4	5	6	7	1	2	3	
24		4	5	6	7	1	2	3	
25		4	5	6	7	1	2	3	
26									

	Reunakasvi	66
1	Kontrolli	24
2	Kookosnapit	24
3	Sammalmix	24
4	Puukuitumix	24
5	Puukuitu+humaatit	24
6	Sammal-puukuitumix	24
7	Polymeerirouhe	24
yhteensä		234
koekasvit		168

Liite 3: Aineistolle tehtyjen tilastotestien tulokset kuvina JMP Pro 15 -ohjelmasta



Oneway Analysis of Kasvien pituus By Käsittely



Wilcoxon / Kruskal-Wallis Tests (Rank Sums)

Level	Count	Score Sum	Expected Score	Score Mean	(Mean-Mean0)/Std0
1	24	2534,00	2028,00	105,583	2,299
2	24	1541,00	2028,00	64,208	-2,213
3	24	3422,00	2028,00	142,583	6,338
4	24	2413,00	2028,00	100,542	1,749
5	24	2006,00	2028,00	83,583	-0,098
6	24	1980,00	2028,00	82,500	-0,216
7	24	300,000	2028,00	12,500	-7,857

1-Way Test, ChiSquare Approximation

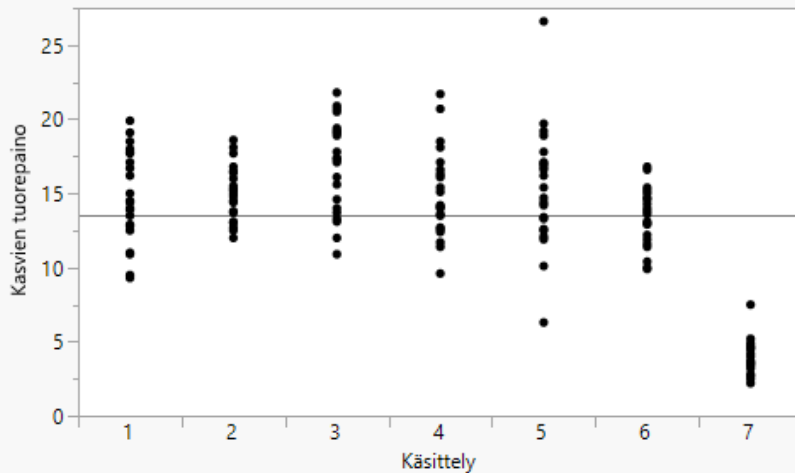
ChiSquare	DF	Prob>ChiSq
98,8162	6	<,0001*

Nonparametric Comparisons For All Pairs Using Steel-Dwass Method

q*	Alpha
2,94832	0,05

Level	- Level	Score Mean Difference	Std Err Dif	Z	p-Value	Hodges-Lehmann	Lower CL	Upper CL	Difference Plot
3	2	21,7500	4,021992	5,40777	<,0001*	3,5000	2,0000	5,00000	
3	1	15,0000	4,017802	3,73338	0,0036*	1,5000	0,5000	3,00000	
4	2	13,0000	4,011619	3,24059	0,0204*	1,5000	0,0000	2,50000	
6	2	8,2917	3,996563	2,07470	0,3678	1,0000	-0,5000	2,00000	
5	2	6,7917	4,001883	1,69712	0,6180	1,0000	-1,0000	2,50000	
6	5	0,3750	4,008966	0,09354	1,0000	0,0000	-1,5000	1,50000	
4	1	-1,5833	4,003102	-0,39553	0,9997	0,0000	-1,5000	1,00000	
5	4	-6,2083	4,013055	-1,54703	0,7161	-1,0000	-2,0000	0,50000	
6	4	-7,4583	4,000776	-1,86422	0,5043	-0,5000	-2,0000	0,50000	
5	1	-8,0417	4,003987	-2,00841	0,4092	-1,0000	-2,5000	0,50000	
6	1	-8,8750	4,006201	-2,21532	0,2871	-1,0000	-2,0000	0,50000	
2	1	-14,5417	4,008081	-3,62809	0,0053*	-2,0000	-3,0000	-0,50000	
4	3	-17,0417	4,020008	-4,23921	0,0004*	-2,0000	-3,5000	-0,50000	
5	3	-17,8750	4,024085	-4,44200	0,0002*	-2,5000	-4,0000	-1,00000	
6	3	-20,2917	4,027058	-5,03883	<,0001*	-2,5000	-4,0000	-1,50000	
7	1	-23,9583	4,030029	-5,94495	<,0001*	-8,0000	-9,0000	-7,00000	
7	2	-23,9583	4,024195	-5,95357	<,0001*	-6,5000	-7,5000	-5,50000	
7	3	-23,9583	4,032448	-5,94139	<,0001*	-10,0000	-11,0000	-8,50000	
7	4	-23,9583	4,028709	-5,94690	<,0001*	-8,0000	-9,0000	-7,00000	
7	5	-23,9583	4,030689	-5,94398	<,0001*	-7,0000	-8,5000	-6,00000	
7	6	-23,9583	4,030689	-5,94398	<,0001*	-7,5000	-8,5000	-6,00000	

Oneway Analysis of Kasvien tuorepaino By Käsittely



Wilcoxon / Kruskal-Wallis Tests (Rank Sums)

Level	Count	Score Sum	Expected Score	Score Mean	(Mean-Mean0)/Std0
1	24	2193,50	2028,00	91,396	0,748
2	24	2385,00	2028,00	99,375	1,616
3	24	2933,50	2028,00	122,229	4,102
4	24	2382,00	2028,00	99,250	1,602
5	24	2301,00	2028,00	95,875	1,235
6	24	1700,00	2028,00	70,833	-1,485
7	24	301,000	2028,00	12,542	-7,826

1-Way Test, ChiSquare Approximation

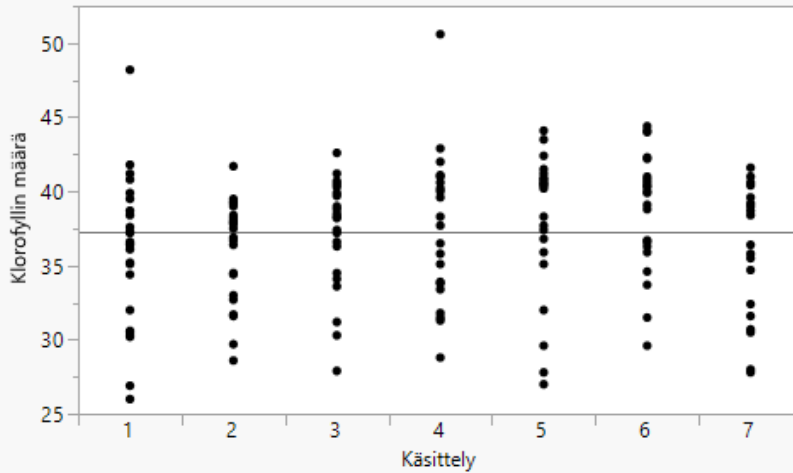
ChiSquare	DF	Prob>ChiSq
75,1175	6	<,0001*

Nonparametric Comparisons For Each Pair Using Wilcoxon Method

Nonparametric Comparisons For All Pairs Using Steel-Dwass Method

q*		Alpha								
2,94832		0,05								
Level	- Level	Score Mean Difference	Std Err Dif	Z	p-Value	Hodges-Lehmann	Lower CL	Upper CL	Difference Plot	
3	1	9,6667	4,039697	2,39292	0,2014	2,4500	-0,6000	5,2000		
3	2	9,5000	4,040245	2,35134	0,2197	2,1000	-0,7000	4,4000		
2	1	2,6667	4,039916	0,66008	0,9946	0,5000	-2,0000	2,9000		
4	1	2,5417	4,040026	0,62912	0,9959	0,5500	-2,3000	3,6000		
5	1	1,0000	4,040465	0,24750	1,0000	0,2500	-2,7000	3,4000		
4	2	0,3333	4,040355	0,08250	1,0000	0,1000	-2,3000	2,6000		
5	4	-0,7500	4,039916	-0,18565	1,0000	-0,1500	-3,5000	2,8000		
5	2	-1,0000	4,040574	-0,24749	1,0000	-0,2500	-2,6000	2,4000		
6	1	-5,7917	4,040355	-1,43345	0,7837	-1,2500	-3,9000	1,1000		
4	3	-7,5833	4,039916	-1,87710	0,4956	-1,9000	-4,7000	1,1000		
6	5	-8,0417	4,040136	-1,99044	0,4207	-1,7000	-4,2000	0,9000		
5	3	-8,4167	4,040136	-2,08326	0,3626	-2,0000	-5,0000	1,1000		
6	4	-9,3333	4,040245	-2,31009	0,2389	-1,9000	-4,3000	0,5000		
6	2	-11,8750	4,039697	-2,93958	0,0513	-1,8000	-3,6000	0,0000		
6	3	-16,0833	4,040245	-3,98078	0,0013*	-3,9000	-6,2000	-1,0000		
7	5	-23,8750	4,040245	-5,90929	<,0001*	-11,0000	-13,6000	-9,1000		
7	1	-23,9583	4,040245	-5,92992	<,0001*	-10,7000	-13,5000	-8,8000		
7	2	-23,9583	4,040136	-5,93008	<,0001*	-11,3000	-12,8000	-9,9000		
7	3	-23,9583	4,039916	-5,93040	<,0001*	-13,7000	-15,7000	-10,6000		
7	4	-23,9583	4,040136	-5,93008	<,0001*	-11,4000	-13,7000	-9,2000		
7	6	-23,9583	4,040136	-5,93008	<,0001*	-9,6000	-11,1000	-8,0000		

Oneway Analysis of Klorofyllin määrä By Käsittely



Wilcoxon / Kruskal-Wallis Tests (Rank Sums)

Level	Count	Score Sum	Expected Score	Score Mean	(Mean-Mean0)/Std0
1	24	1685,00	2028,00	70,208	-1,553
2	24	1648,50	2028,00	68,688	-1,718
3	24	1984,00	2028,00	82,667	-0,197
4	24	2079,50	2028,00	86,646	0,231
5	24	2429,00	2028,00	101,208	1,816
6	24	2565,50	2028,00	106,896	2,434
7	24	1804,50	2028,00	75,188	-1,011

1-Way Test, ChiSquare Approximation

ChiSquare	DF	Prob>ChiSq
13,4910	6	0,0359*

Nonparametric Comparisons For All Pairs Using Steel-Dwass Method



q*		Alpha								
2,94832		0,05								
Level	- Level	Score Mean Difference	Std Err Dif	Z	p-Value	Hodges-Lehmann	Lower CL	Upper CL	Difference Plot	
6	2	10,8333	4,040903	2,68092	0,1030	2,80000	-0,50000	6,100000		
6	1	9,3333	4,040903	2,30971	0,2391	3,15000	-0,80000	6,800000		
5	2	8,9583	4,040684	2,21703	0,2861	2,45000	-1,10000	5,700000		
5	1	7,8750	4,040465	1,94903	0,4477	2,50000	-1,40000	6,000000		
6	3	7,5833	4,040465	1,87685	0,4958	1,85000	-1,60000	5,100000		
5	3	5,9167	4,040026	1,46451	0,7660	1,55000	-2,20000	4,200000		
6	4	5,7917	4,040026	1,43357	0,7837	1,40000	-2,10000	5,400000		
4	2	5,0417	4,040903	1,24766	0,8754	1,40000	-2,70000	4,700000		
3	2	4,9583	4,039916	1,22734	0,8837	0,95000	-1,80000	4,100000		
4	1	4,3750	4,040903	1,08268	0,9334	1,35000	-3,10000	5,500000		
3	1	4,2917	4,040794	1,06209	0,9390	1,20000	-2,50000	4,600000		
5	4	4,2917	4,039806	1,06234	0,9390	0,85000	-2,90000	5,100000		
7	2	2,5000	4,038709	0,61901	0,9962	0,60000	-3,50000	3,200000		
7	1	1,6250	4,040355	0,40219	0,9997	0,50000	-4,20000	4,100000		
6	5	1,2917	4,039477	0,31976	0,9999	0,20000	-3,10000	4,000000		
4	3	0,9583	4,040574	0,23718	1,0000	0,30000	-3,60000	3,600000		
2	1	0,8333	4,040574	0,20624	1,0000	0,30000	-3,50000	3,400000		
7	3	-1,5417	4,040355	-0,38157	0,9998	-0,50000	-4,80000	2,300000		
7	4	-3,9167	4,039367	-0,96962	0,9605	-1,00000	-5,30000	2,900000		
7	5	-7,5000	4,039477	-1,85668	0,5094	-1,80000	-5,80000	1,300000		
7	6	-9,7083	4,040136	-2,40297	0,1971	-2,35000	-6,30000	0,700000		

Liite 4: Puristenesteanalyysin tulokset Oy Hortilab Ab:lta





PURISTENESTEANALYYSI

Päivämäärä 08/03/22 Asiakasnumero Tutkimusnumero
70148

NETLED OY ROOSA MATTILA ANNANMAANKUJA 2 A 2 33960 PIRKKALA	Näytteenottopvm	Saapunut	Aloitettu	Sivu	
	01/03/22	04/03/22	04/03/22	1/2	
Merkki ANALYYSI 4•10					
Näytteen numero	1	2	3	4	5
Lähettäjän tunnus	KÄSITTELY 1 BASILIKA	KÄSITTELY 2 BASILIKA	KÄSITTELY 3 BASILIKA	KÄSITTELY 4 BASILIKA	KÄSITTELY 5 BASILIKA
*Johtokyky mS/cm	2,4	2,4	2,2	2,2	2,2
*Happamuus (pH)	6,6	6,5	6,4	6,4	6,5
Alkaliteetti (HCO ₃) mg/l					
*Permang. (KMnO ₄) mg					
*Nitraattityppi (NO ₃ -N)mg/l	110	120	76	99	98
Amm.tyyppi (NH ₄ -N) mg/					
*Fosfori (P) mg/l	69	71	74	69	69
*Kalium (K) mg/l	470	480	470	460	440
*Kalsium (Ca) mg/l	130	120	110	110	100
*Magnesium (Mg) mg/l	65	69	62	62	61
*Rikki (S) mg/l	210	200	230	200	190
*Rauta (Fe) mg/l	2,6	1,6	3,5	3,3	3,0
*Boori (B) mg/l	0,42	0,42	0,48	0,48	0,48
*Kupari (Cu) mg/l	0,16	0,29	0,13	0,13	0,14
*Mangaani (Mn) mg/l	0,18	0,06	0,16	0,12	0,14
*Sinkki (Zn) mg/l	0,31	0,30	0,27	0,20	0,21
*Molybdeeni (Mo) mg/l	0,05	< 0,02	0,03	0,03	0,04
*Natrium (Na) mg/l	20	19	20	19	17
*Kloridi (Cl) mg/l	6,5	3,5	7,4	4,7	4,6
*Alumiini (Al) mg/l	0,08	< 0,08	0,15	< 0,08	< 0,08
*Pii (Si) mg/l	2,1	4,7	2,7	1,4	1,2
Kasvikoodi	51525	51525	51525	51525	51525
 Helena Boij Laatekemisti Tämä tutkimustodistus on allekirjoitettu sähköisesti.					
 FINAS Finnish Accreditation Service T117 (EN ISO/IEC 17025)					
Vain ne määrittelyt, joissa tässä raportissa on merkintä (*), kuuluvat akkreditoimien piiriin. Tulokset koskevat vain vastaanotettuja näytteitä. Raportin saa kopioida vain kokonaan ilman testauslaboratorion lupaa. Akkreditointi ei koske lausuntoa. Menetelmäkuvaukset ja mittauspäivämuutokset saatavana pyynnöstä.					

PURISTENESTEANALYYSI

Päivämäärä 08/03/22 Asiakasnumero Tutkimusnumero
 70148

NETLED OY ROOSA MATTILA ANNANMAANKUJA 2 A 2 33960 PIRKKALA	Näytteenottopvm	01/03/22	Saapunut	04/03/22	Aloitettu	04/03/22	Sivu	2/2	
	Merkki	ANALYYSI 4-10							
Näytteen numero	6	7	8	9	10				
Lähtetäjän tunnus	KÄSITTELY 6 BASILIKA	KÄSITTELY 7 BASILIKA							
*Johtokyky mS/cm	2,2	3,0							
*Happamuus (pH)	6,8	7,1							
Alkaliteetti (HCO ₃) mg/l									
*Permang. (KMnO ₄) mg/l									
*Nitraattityppi (NO ₃ -N)mg/l	74	130							
Amm.tyyppi (NH ₄ -N) mg/l									
*Fosfori (P) mg/l	63	63							
*Kalium (K) mg/l	490	720							
*Kalsium (Ca) mg/l	110	100							
*Magnesium (Mg) mg/l	57	76							
*Rikki (S) mg/l	220	270							
*Rauta (Fe) mg/l	2,5	2,9							
*Boori (B) mg/l	0,37	0,81							
*Kupari (Cu) mg/l	0,19	0,42							
*Mangaani (Mn) mg/l	0,27	0,18							
*Sinkki (Zn) mg/l	0,58	0,46							
*Molybdeeni (Mo) mg/l	0,06	0,08							
*Natrium (Na) mg/l	21	28							
*Kloridi (Cl) mg/l	7,5	6,8							
*Alumiini (Al) mg/l	0,79	< 0,08							
*Pii (Si) mg/l	5,5	3,5							
Kasvikoodi	51525	51525							
<p>Vain ne määrittelyt, joissa tässä raportissa on merkintä (*), kuuluvat akkreditoinnin piiriin. Tulokset koskevat vain vastaanotettuja näytteitä. Raportin saa kopioida vain kokonaan ilman testauslaboratorion lupaa. Akkreditointi ei koske lausuntoa. Menetelmäkuvaukset ja mittaus epävarmuudet saatavana pyynnöstä.</p>			 Helena Boij Laotokemisti		 FINAS Finnish Accreditation Service T187 (EN ISO/IEC 17025)			Tämä tutkimusodistus on allekirjoitettu sähköisesti.	