



Tuula Koskenpää

Nanokuplien ja otsonivesisumutteen hyödyntäminen kasvihuoneessa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Energia- ja ympäristötekniikka

Insinöörityö

11.5.2023

Tiivistelmä

Tekijä:	Tuula Koskenpää
Otsikko:	Nanokuplien ja otsonivesisumutteen hyödyntäminen kasvi- huoneessa
Sivumäärä:	52 sivua
Aika:	11.5.2023
Tutkinto:	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Energia- ja ympäristötekniikka
Ammatillinen pääaine:	Ympäristötekniikka
Ohjaajat:	Lehtori Kaj Lindedahl

Työn tarkoituksena oli tutkia nanokuplien ja otsonivesisumutuksen vaikutusta luomukasvihuonebasilikoiden kasvunopeuteen ja laatuun. Työ toteutettiin yhtistyössä Kulmalan Puutarhan ja Aeropod Oy:n kanssa. Itse kokeet tehtiin Salossa Kulmalan puutarhan tiloissa.

Nanokuplat ovat pieniä, alle 1 000 nm:n kokoisia kaasukuplia, ja ne ovat ominaisuuksiltaan ainutlaatuisia. Ne edistävät hydroksyyli-radikaalien syntymistä, mitkä taas hajottavat orgaanista ainetta ja puhdistavat epäpuhtauksia. Otsonivesi on otsonikaasun ja veden sekoitus, jossa otsoni toimii hapettimena, ja näin ollen sillä on potentiaalia toimia myrkyttömänä kasvinsuojeluaineena.

Kokeessa kasvatettiin kasvihuoneessa neljällä vierekkäisellä pöydällä basilikoja, joista kahta (pöydät 1 ja 2) kasteltiin talousvedellä ja kahta (pöydät 3 ja 4) kasteltiin vedellä, joka sisälsi nanokuplia. Lisäksi kahta pöydistä (1 ja 3) suihkutettiin öisin otsonivesisumulla. Koe toistettiin 3 kertaa.

Basilikojen kuntoa ja kasvua arvioitiin monin eri tavoin, niitä mitattiin ja niiden laatua, väriä ja juuriston kuntoa tarkkailtiin. Basilikoista otettiin kuvia ja niistä tehtiin makutesetit. Vaikuttaa siltä, että nanovedellä kastellut kasvit kasvoivat 3–15,9 % suuremaksi kuin verrokkit, ja otsonivedellä sumutetut kasvit pärjäsivät paremmin makuteseteissä kuin sumuttamattomat. Jotta voitaisiin varmaksi sanoa, kuinka suuri nanoveden osuus oli kasvien lisäkasvussa, vaadittaisiin enemmän kokeita.

Työssä oli monia muuttujia, eikä tämän kokeen pohjalta saatuja tuloksia voida pitää tieteellisesti pitävinä, vaan niitä tulee katsoa suuntaa antavina.

Avainsanat: nanokuplat, otsoni, otsonivesi, luomu, basilika

Abstract

Author: Tuula Koskenpää
Title: Use of Nanobubbles and Ozone Water Spraying in Greenhouse
Number of Pages: 52 pages
Date: 11 May 2023

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Energy and environmental engineering
Professional Major: Environmental engineering
Supervisors: Kaj Lindedahl, Senior lecturer

The aim of this research was to investigate the effect of nanobubbles and ozone fogging on the growth rate and quality of organic greenhouse basil. The research was carried out in collaboration with Kulmalan Puutarha and Aeropod Oy. The experiments themselves were conducted in the premises of the Kulmalan Puutarha in Salo.

Nanobubbles are bubbles less than 1,000 nm in size, and they are unique in terms of properties. They promote the generation of hydroxyl radicals, which in turn break down organic matter and clean impurities. Ozone water is a mixture of ozone gas and water, where ozone acts as an oxidizer, and thus has the potential to act as a non-toxic plant protection agent.

In the experiment, basil was grown in a greenhouse on four adjacent tables, two of which (tables 1 and 2) were watered with household water and two (3 and 4) were watered with water containing nanobubbles. In addition, two of the tables (1 and 3) were sprayed at night with an ozone water mist. The experiment was repeated 3 times.

The condition and growth of the basil was evaluated and measured in many different ways, and their quality, color and condition of the root system were observed. Pictures were taken of the basil and taste tests were done with them. It seems that plants watered with nano water grow 3—15.9% larger than the controls, and plants sprayed with ozone water did better in taste tests than those not sprayed. However, more experiments are needed to be able to say for sure how much nano water contributed to the additional growth of the plants.

There were many variables in the research, and the results obtained from the experiment cannot be considered scientifically valid and should be considered indicative.

Keywords: nanobubbles, ozone, ozone water, organic food, basil

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Nanokuplat	2
2.1	Nanokuplien toiminta	2
2.2	Nanokuplien valmistus	3
3	Otsonivesi	7
3.1	Toiminta	8
3.2	Otsoniveden valmistus	9
4	Ruoan luomutuotanto	11
4.1	Periaatteet	11
4.2	Luomutuotannon ja tehotuotannon vaikutus ympäristöön	13
5	Basilika	15
5.1	Yleiskuvaus basilikasta	15
5.2	Tuholaiset, homeet ja muut haitta-aiheet	16
6	Koeasetelma	18
6.1	Kokeen asettelu	18
6.2	Mitattavat suureet ja mittaustavat	21
7	Tulokset	23
7.1	Ensimmäinen koe	23
7.2	Toisen kokeen tulokset	25
7.3	Kolmannen kokeen tulokset	30
7.4	Otsonivesisumutuksen tulokset	32
7.5	Veden laadun muutokset	37
7.6	Makutestien tulokset	39
8	Päätelmät	41
8.1	Nanokuplien vaikutus	41
8.2	Otsoniveden vaikutus	43

8.3	Kolmannen kokeen ongelmat	44
8.4	Kannattavuuden arviointi	45
8.5	Tulosten luotettavuuden arviointi	46
9	Yhteenveto ja jatkotutkimusaiheet	48
	Lähteet	50

Lyhenteet

- GMO: Geenimuunneltu organismi, geeniteknisesti muunneltu organismi
- luomu: Viranomaisten valvoma ruoan tuotannon tapa, jonka on tarkoitus olla luonnonmukainen.
- mS/cm: Johtokykyä ilmaiseva mitta, millisiemens/senttimetri
- nm: Nanometri eli metrin miljardisosa. $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$
- ppm: Parts per million, ilmaisee, kuinka monta miljoonasosaa jokin on.

1 Johdanto

Tämän opinnäytetyön tarkoitus on tuottaa tietoa nanokuplien ja otsonivesisumutuksen käytöstä luomuviljelmäkasvihuoneessa. Koska luomuviljelyssä ei ole mahdollista käyttää kemikaaleja, jollaisilla yleisesti kasvustoa lannoitetaan, viljelmien tehostamisen täytyy tapahtua muilla tavoin. Tässä työssä tutkitaan yhtä mahdollista tehostusmenetelmää, joka on käyttää kasvien kasteluun vettä, johon on lisätty happinanokuplia. Näin kasvi saisi enemmän happea vedestä ja voisi kasvaa nopeammin ja suuremmaksi. Nanokuplien käytöstä kasvitaloudessa on ulkomailla positiivisia kokemuksia, mutta Suomessa menetelmä on vielä uusi. Lisäksi on tarkoitus kokeilla otsonivesisumutteen hyödyntämistä kasveihin liittyvien ongelmien, kuten kirvojen ja homeen, torjunnassa. Otsonivesisumutetta on kokeiltu Suomessa kasvien suojelussa parin viime vuoden aikana, ja koska elektrolyysillä vedestä valmistettavan otsoniveden tuotanto on ollut mahdollista vain parin viime vuoden ajan, tämäkin menetelmä on uusi.

Työ tehdään luomutilalla nimeltä Lassen Luomu, viralliselta nimeltään Kulmalan Puutarha Oy, joka on perustettu vuonna 2005, mutta jonka tarina alkaa jo 1977 tomaattien kasvihuoneviljelyllä, joka jo 90-luvulla muuttui luomuviljelyksi. Tilan perustaja Lasse Kulmala toimi jo silloin kehityksen edelläkävijänä, erityisesti kehittäessään luomusalaatille kasvatusmenetelmiä, sillä kaupallista luomusalaattia ei silloin vielä edes ollut. Tila on nykyisin täysin luomuviljelymenetelmiä hyödyntävä perheyritys, jossa viljellään kirsikkatomaatteja, kurkkua, salaatteja ja yrttejä. Innovatiivinen yritys on edelleen kiinnostunut kehittämään ja optimoimaan luomuviljelyä, ja kokeilemaan uusia menetelmiä. Työ tehdään yhteistyössä Aeropod Oy:n kanssa, yrityksen hankkiman laitteiston avulla.

Luomuruoan kasvatusta on sertifioitua toimintaa, jonka tarkoituksena on kasvat-
taa ruokaa luonnonmukaisesti, ekologisesti ja luonnon monimuotoisuutta huo-
mioon ottaen. Luomuruoan tuotantoa määrittelee IFOAMin luonnonmukaisen
tuotannon perusteet sekä Euroopan yhteisön luomulainsäädäntö.

Tässä opinnäytetyössä tutkitaan basilikan kasvua. Basilika on maustekasvi, jota kasvatetaan Suomessakin mausteeksi. Se on nopeakasvuinen ruohokasvi. Siinä voi esiintyä monia kasvitauteja, kuten keltalaikkua, härmää ja harmaahometta.

Opinnäytetyön tavoitteena on auttaa kehittämään ruoantuotantomenetelmiä, jotka ovat ympäristöystävällisempiä sekä tehokkaampia kuin nykyiset, yleisesti käytössä olevat menetelmät. Tarkoituksena on tutkia ja raportoida otsoniveden sekä nanokuplien vaikutusta basilikan kasvuun sekä kasveja tuhoaviin homeisiin ja tuholaisiin. Projektista saadaan tietoa, jota voidaan hyödyntää niin uusien kasvihuoneiden suunnittelussa ja rakentamisessa, kuin vanhojen kasvihuoneiden optimoinnissakin.

Projektin ydinkysymyksiä on se, mitä vaikutusta nanokuplien ja otsoniveden käytöllä on basilikan kasvatuksessa ja onko niiden käyttö luomuviljelyn tehokkuudessa järkevää.

2 Nanokuplat

Nanokuplat ovat erittäin pieniä, kaasumaisia kuplia, jotka esiintyvät nesteissä. Usein nanokuplat ovat ilmaa. [1.] Ne ovat halkaisijaltaan alle 1 000 nm (nanometriä) olevia kuplia [2, s. 3].

2.1 Nanokuplien toiminta

Nanokuplat käyttäytyvät vedessä monella tavoin eri tavalla, kuin niiden olisi odotettavissa. Yksi tavoista on se, että ne ovat huomattavan pitkäikäisiä, erityisesti kokoonsa nähden, sillä niiden elinikä on yli kaksi viikkoa. Niiden olemassaolo voi kestää jopa muutamia viikkoja, kun niiden kokoon suhteutettuna niiden pitäisi säilyä vain mikrosekunteja ennen kuin ne liukenevat. Syy tähän on ollut epävarma, mutta vuonna 2021 Suomessa uutisoitiin ratkaisun löytyneen, kun suomalaistutkijat selvitti, että nanokuplissa, joiden koko on alle 180 nm liukemisprosessi ei pääse käynnistymään liian pienen pintaenergian takia. Jotta

kaasu voisi siirtyä nesteeseen, tarvitaan ylikyllästystila, jonka pintaenergia mahdollistaa. Hydrofobisilla pinnoilla alle 600 nm:n kupla ei puhkea. [3, s. 8021, 8025—8026.]

Muita niille tyypillisiä ominaisuuksia ovat matala kelluvuus ja korkea kaasun massansiirron tehokkuus, joka johtuu pienestä kuplakoosta, suuresta pinnan pinta-alasta ja korkeasta sisäisestä paineesta. Nanokuplien kokoon suhteutettuna erityisen suuri pinta-ala lisää nesteen ja kaasun välistä kosketusaluetta, joka helpottaa massansiirtoa, sorptiota ja kemiallisia reaktioita kaasun ja nesteen rajapinnalla. Happinanokuplilla on saatu parannettua tislattun veden happipitoisuutta 7,7 mg/l:sta 31,7 mg/l:aan 30 minuutissa. [4, s. 5117.]

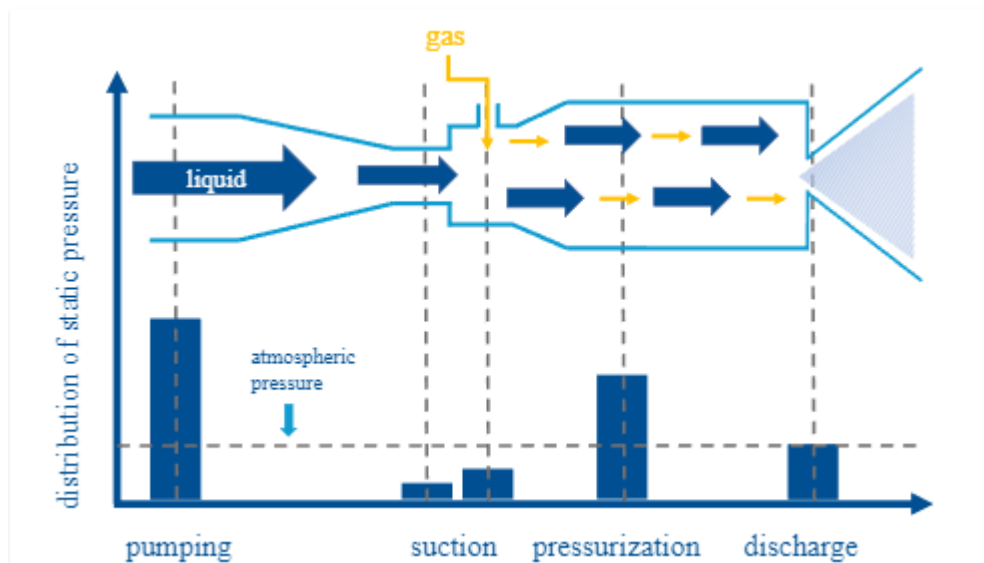
Nanokuplien romahtaminen luo shokkiaaltoja, jotka edistävät hydroksyyli-radikaalien edistymistä. Hydroksyyli-radikaalit (OH) ovat erittäin reaktiivisia, hajottavat orgaanista ainetta ja puhdistavat epäpuhtauksia. [4, s. 5117.]

2.2 Nanokuplien valmistus

Nanokuplia voidaan valmistaa useilla eri metodeilla. Usein samalla syntyy myös mikrokuplia, jotka voivat käyttökohteen mukaan olla myös hyödyllisiä. Mikrokuplat erottuvat nanokuplista, sillä mikrokuplat pyrkivät pintaan. [2, s. 17.]

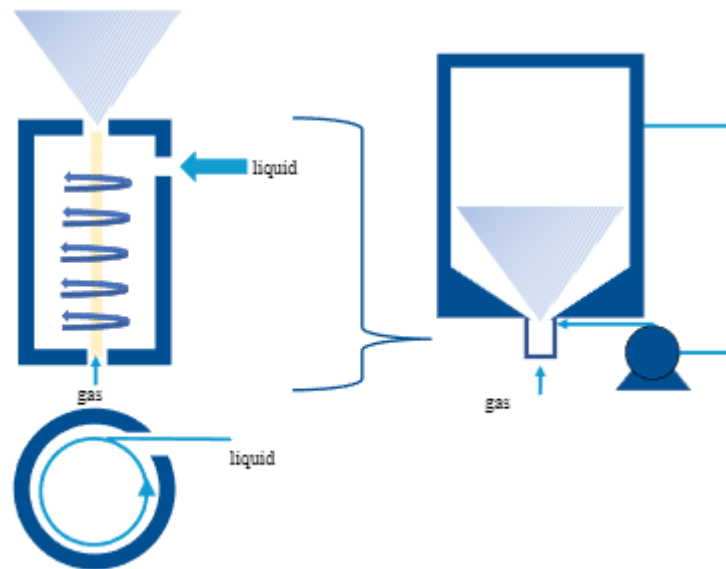
Paineistettu liukenemismenetelmä perustuu Henryn lain periaatteisiin, jotka liittyvät kaasun pitoisuuteen ja osittaiseen paineeseen. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että suuremmassa paineessa voidaan liukeseen liuottaa enemmän kaasua. Venturi-järjestelmässä kaasu ja neste sekoitetaan toisiinsa, ja seuraavassa vaiheessa sekoituslaatikossa kaasu sulatetaan veteen paineistuksen avulla. Viimeisessä vaiheessa vesi ja kaasu vapautetaan suuttimen kautta. Kun ylikyllästetyn neste-kaasuliuoksen paine laskee nopeasti, kaasu purkaantuu

erittäin pieninä kuplina. [5.] Alla olevassa kuvassa on havainnollistettu staattisen paineen muutosta prosessin eri kohdissa (kuva 1).



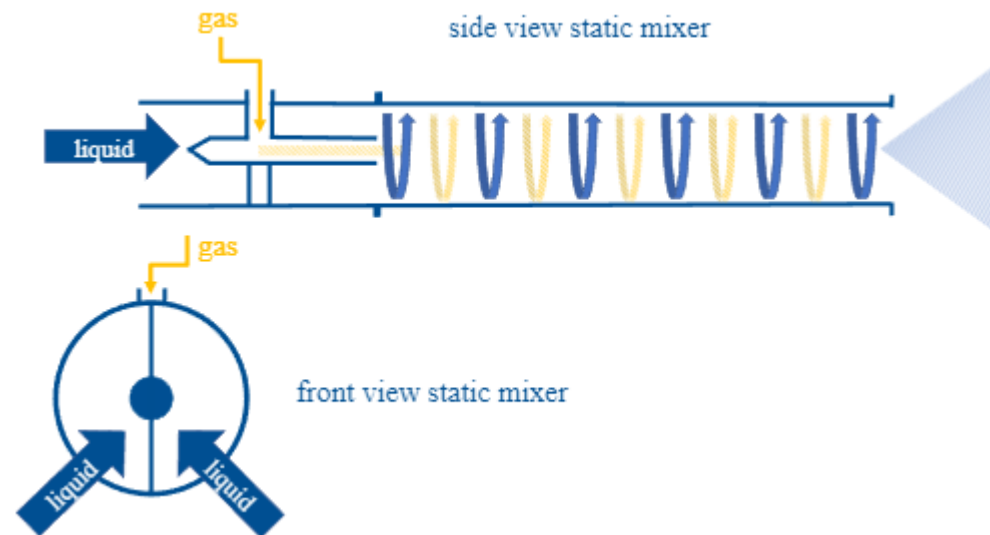
Kuva 1 Paineistettu liukenemismenetelmä [5].

Kiertovirtamenetelmä hyödyntää nanokuplien valmistuksessa Bernoullin periaatetta, jonka mukaan nesteen nopeuden lisääntyminen tapahtuu samanaikaisesti paineen tai nesteen potentiaalienergian vähentymisen kanssa. Kiertovirtamenetelmä toimii niin, että vesi syötetään lieriömäiseen säiliöön yläpuolelta, ja se saadaan virtamaan kierteellä alaspäin. Kaasu imetään sisään sylinterin keskiosasta alhaalta. Kun pyörivä vesi osuu kaasuun, se ikään kuin leikkaantuu ja sylinterin yläosassa saadaan nanokuplia. Menetelmä on paineistettua liukenemismenetelmää huonompi kuplien tuottavuuden suhteen. [5.] Menetelmän toimintaperiaate on kuvattu alla (kuva 2).



Kuva 2 Kiertovirtamenetelmän toimintaperiaate [5].

Staattinen turbulenttinen sekoitin on kuvattu alla olevassa kuvassa (kuva 3). Menetelmän toimintaperiaate perustuu siihen, että luodaan pyörre, joka pystyy tuottamaan kaasua erittäin tehokkaasti. Aluksi luodaan vedestä pyörre, ja turbulenttisen virtauksen takia kaasu rikkoo pyörteen, ja nämä törmäykset luovat nanokuplia. Menetelmän etuja ovat suunnittelun helppous, mahdollisuus käsitellä suuria vesimääriä kerralla, melko pieni energiankulutus ja se, että laitteistot eivät ole herkkiä tukkeutumiselle. [5.]



Kuva 3 Staattinen turbulентtinen sekoitin [5].

Ejektorisuutinmenetelmässä lieriömäisen generaattorin virtauskanavat on suunniteltu niin, että ne kutistuvat ja suurentuvat. Kaasu tuodaan alipaineessa kohtaan, jossa paine on alimmillaan, jolloin se pelkistyy nanokupliksi kavitaation avulla. Menetelmässä kavitaatio syntyy nesteen virratessa yksinkertaisen geometrian läpi kontrolloiduissa olosuhteissa. Kun paine laskee nesteen höyrystymispaineen alapuolelle, tapahtuu osittainen haihtuminen, joka taas tuottaa useita onteloita. Kun paine palaa, ontelot romahtavat. Nämä prosessit tuottavat välillä vapaita radikaaleja. [5.]

Vasaramylly-kiertokonsepti on ainutlaatuinen tapa luoda nanokuplia, sillä se ei käytä pumpua vaan moottoria, jonka vasarat on asennettu akseliin. Moottori kääntyy putkessa 3 400 kierrosta minuutissa. Putkeen syötetään yläosasta vesi sekä kaasu, ja akselin vasarat liuottavat kaasua ja alaosassa ne murskaavat kaasun nanokupliksi, jotka tulevat ulos alaosasta. Vasaramylly on energiatyötavallisin tapa tuottaa nanokuplia, koska se ei liikuta suuria määriä vettä eikä tarvitse korkeaa painetta. Ne sopivat otsonikaasulle ja käytettäväksi meriveden kanssa. [5.]

Nanokuplien luominen voidaan teollisuudessa tehdä turbulenttisen virtauksen avulla, jossa nanokuplat luodaan venturiputken tai vastaavan kavitaatioputken

avustuksella. Ensin luodaan kylläinen vesi-ilmaseos pumpun ja sekoittajan avulla. Tämän jälkeen liuos ohjataan venturiputkeen, jossa paine putoaa nopeasti alle kylläisen höyryn paineen, jonka johdosta muodostuu nanokuplia. [2, s. 18—19.]

Huokosmenetelmässä kaasua puhalletaan huokoisen keraamisen materiaalin, lasin, metallin tai hyvin pienen suuttimen läpi. Näin syntyy usein myös paljon mikrokuplia sivutuotteena. [2, s. 21.]

Nanokuplia voidaan muodostaa vedestä elektrolyysin avulla, jolloin ne muodostuvat hapestä ja vedystä. Vety- ja happikuplat muodostuvat elektrodien napoihin. [2, s. 21.]

Liuottimenvaihtomenetelmä on yksi tapa tuottaa nanokuplia kiintoaineen pinnalle. Kiintoaine upotetaan sellaiseen nesteeseen, johon liukenee enemmän haluttua kaasua, (esim. etanoli). Sitten neste vaihdetaan toiseen nesteeseen, jonka kaasun liukoisuus on edeltävää pienempi (esim. vesi). Näin kiintoaineen pintaan aiheutuu väliaikainen kaasun ylikyllästymisen, joka aiheuttaa nanokuplien muodostumisen kiintoaineen pintaan. Menetelmä on epäkäytännöllinen, ja käyttö rajautuu koetarkoituksiin. [2, s. 18.]

Nanokuplien tuottaminen ultraääniaaltojen avulla tapahtuu, kun ultraääniaallot saavat nesteen höyrypaineen nopeasti alle kylläisen kaasun paineen. Tällöin syntyy nanokuplia. [2, s. 17.]

3 Otsonivesi

Otsoni (O_3), on hapen kolmiatominen molekyyli muoto, jossa kolme happiatomia on sitoutunut yhteen kahden happiatomin sijaan. Se on vahvasti reaktiivinen ja sitä syntyy sekä luonnostaan että ihmisen tekemänä. Vapaana oleva otsoni vaikuttaa joko positiivisesti tai negatiivisesti elämään maassa, riippuen siitä, missä kohtaa ilmakehää otsoni on. [6.]

Ylhäällä ilmakehässä, stratosfäärissä, sijaitsee otsonikerros, joka suojelee maata vaaralliselta UV-säteilyltä. Täällä otsoni syntyy luonnollisesti happimolekyylien ja auringon ultraviolettisäteilyn vuorovaikutuksessa. Alempana, troposfäärissä, eli maan pinnalla, otsonia syntyy pääasiassa haihtuvien orgaanisten yhdisteiden eli VOC-kaasujen ja typen oksidien reagoidessa. Hengitettyä otsonikaasu on myrkyllistä. [6.] Otsonikaasu on väritöntä, ja sillä on hyvin selkeä ominaishaju jopa pienissä pitoisuuksissa [7, s. 462]. Tässä tutkimuksessa kuitenkin käsitellään nimenomaan otsonivettä, jossa otsonikaasu on sekoitettu veteen eikä siten ole ympäristölle vaarallista, kuten kaasumaisessa muodossa ollessaan.

3.1 Toiminta

Otsoni on yksi reaktiivisimmista hapettimista, joita tunnetaan. Se on orgaanisessa kemiassa kiinnostavaa, koska sen reaktiivisuus kaksoissidoksia kohtaan antaa luotettavan pääsyn erilaisille hapettaville toiminnoille. [8, s. 6254.]

Otsoni hapettaa orgaanista materiaa bakteereiden, virusten ja parasiittien membraaneissa. Tämä heikentää, repii ja tappaa niiden solut. Otsoni myös hapettaa rautaa, mangaania ja kuparia ja vedessä tekee niistä kiinteitä partikkeleita, jotka on helppo poistaa mekaanisen filtterin avulla. Hapettaminen voi myös poistaa kloorin aiheuttamia pahoja makuja ja hajuja sekä poistaa vedestä sameutta. [9]

Otsonia käytetään vedenpuhdistuksessa, desinfioinnissa, värinpoistossa, halunpoistossa, orgaanisessa synteessissä, kuivaetsauksessa sekä puhdistuksessa [8, s. 462]. Otsonia käytetään laajasti juomaveden puhdistuksessa. Sitä on myös ehdotettu saastuneen meriveden desinfiointiin, ja Amerikan elintarvike- ja lääkevirasto on hyväksynyt virallisesti otsonin käytön antimikrobisena aineena elintarvikkeiden hoidossa, varastoinnissa ja prosessoinnissa, sekä kaasumaisessa että nestemäisessä muodossa. [8, s. 6254.]

Otsonivesi toimii välittömästi ja se toimii happamassa ja emäksisessä vedessä. Otsonin käyttö ei lisää veteen kemikaaleja, joten otsoniveden käyttö on kemikaaliton tapa desinfioida ja puhdistaa. Vedessä oleva otsoni muuttuu luonnollisesti hyvin nopeasti takaisin hapeksi. Tämän vuoksi otsoniveden säilöminen ja kuljettaminen ei ole mahdollista. [9.]

3.2 Otsoniveden valmistus

Otsonikaasua valmistetaan yleensä sähköpurkauksen tai UV-säteilyn avulla [8, s 6222]. Kun sähkövirtaus tai ultraviolettisäde virtaa paljon happea sisältävän ilman läpi, tämä hajottaa happimolekyylejä (O_2), jakaen ne yksittäisiksi happiatomeiksi. Vapaat happiatomit yhdistyvät happimolekyylien kanssa muodostaen otsonia (O_3). Luonnossa tätä tapahtuu yläilmakehässä, kun auringonvalon UV-säteily muodostaa otsonikerrosta, ja alailmakehässä, kun salama iskee happirikkaan ilman läpi. Näitä luonnollisia prosesseja matkitaan ultravioletti- ja sähköisissä otsonigeneraattoreissa. Otsonia voidaan myös valmistaa elektrolyysillä tai kemikaalisella reaktiolla. Tällä hetkellä vedenpuhdistuksessa on yleisesti käytössä laitteet, jotka valmistavat otsonin UV:n tai sähkön avulla. [9.]

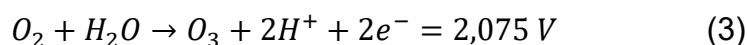
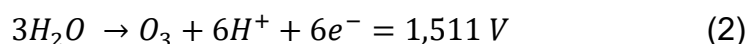
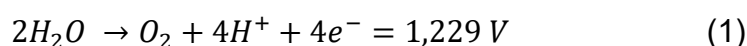
Sähköiset otsonigeneraattorit toimivat niin, että ne tuottavat otsonia koronapurkauksen avulla, joka imitoi otsonin syntyä ukkosella. Salaman sijaan korkeajännitteinen purkaus välitetään lasisen, keraamisen tai metallisen kammion läpi. Tämä aiheuttaa happimolekyylien jakautumisen ja uudelleenryhmittäytymisen osittain otsoniksi. Tämän jälkeen otsoni joko sekoitetaan kuplina veteen tai imeetään venturiputkeen, ja hapetusprosessi alkaa välittömästi. [9.]

Ultraviolettivalolla toimivat generaattorit taas matkivat yläilmakehässä tapahtuvaa otsoninmuodostumista. Ultraviolettivalo, jonka pituus on 160–240 nanometriä, pystyy muodostamaan hapesta otsonia. UV-otsonigeneraattorissa happi kulkee UV-valon ja kvartsivaipan läpi, ja UV-valo halkaisee happiatomit, jotka tämän jälkeen ryhmittäytyvät uudelleen muodostaen myös otsonia. Otsoni-hap-

piseos ajetaan venturiputken avulla veteen. UV-valoa hyödyntävät otsonigeneraattorit eivät ole yhtä tehokkaita kuin sähkön avulla toimivat otsonigeneraattorit ja tuottavat otsonia pienempänä pitoisuutena. [9.]

Elektrolyysimenetelmässä tehdään suora vesielektrolyysi käyttäen polymeerielektrolyyttikalvoa. Vesi johdetaan elektrolyysisolun anodin puolelle, jossa vesi hajotetaan elektrolyyttisesti, ja muutetaan otsoniksi. Otsonin muodostumisreaktiot ovat seuraavat:

Anodilla:



Katodilla:



Nämä reaktiot ovat perustavanlaatuisia sähkökemiassa, ja niitä on tutkittu laajasti. Otsonikaasu kehittyy kuuden elektronireaktion avulla kaavan 2 mukaisesti yli 1,511 V:n jännitteellä, johon liittyy hapen evoluutio. Kun jännite lisätään yli 2,075 V:iin, myös happimolekyylin hapettuminen otsoniksi tapahtuu kaavan 3 mukaisesti. [10.]

Elektrolyysimenetelmällä valmistetussa vedessä esiintyy myös OH-radikaaleja, jotka ovat fluorin jälkeen toiseksi vahvin tunnettu hapettaja. OH-radikaaleja syntyy otsonin hajoamisen seurauksena vedessä. [10.] Tässä tutkimuksessa käytetään nimenomaan elektrolyysimenetelmällä valmistettua otsonivettä.

4 Ruoan luomutuotanto

Luomuruoka eli luonnonmukaisesti kasvatettu ruoka kasvattaa jatkuvasti kysyntää, ja Suomen luonnonvarakeskus Luken mukaan viikoittain luomuruokia ostaa lähes kolmannes suomalaisista. Jatkuvasti kasvava kysyntä synnyttää kasvavaa tarjontaa, jota varten tuotanto kasvaa. Luomuruokien tuottamisessa ei käytetä väkilannoitteita tai -rehuja tai synteettisiä torjunta-aineita. Myöskään muuntogeenien käyttö ei ole hyväksyttävää, vaan luomuruoalle on oma sertifioitu tuotantotapa. [11.]

4.1 Periaatteet

Luomuruoan tuotantoa Suomessa määrittelee IFOAMin luonnonmukaisen tuotannon perusteet sekä Euroopan yhteisön luomulainsäädäntö [11]. IFOAMin neljä periaatetta ovat terveys, ekologisuus, oikeudenmukaisuus ja huolenpito. Nämä toimivat kaiken luomuruoan tuotannon pohjana, josta sitä voi edelleen kehittää. [12, s 1.]

Terveys tarkoittaa ihmisen terveyden lisäksi maata, kasveja, eläimiä ja planeettaa, joiden kaikkien terveyttä luomuruoan tulisi ylläpitää ja parantaa. Tämän vuoksi luomutuotannossa ei tule käyttää ravinteita, torjunta-aineita, eläinten lääkkeitä tai lisäaineita, joilla saattaa olla negatiivisia terveysvaikutuksia niin ihmiselle kuin ekosysteemillekin. [12, s 2.]

Ekologisuus on luomuruoantuotannossa tärkeä pohja, ja se tarkoittaa, että luonnonmukaisen maatalouden tulisi olla luonnonmukaista ja nimenomaisesti perustua eläviin ekologisiin järjestelmiin, työskennellen niiden kanssa sekä jäljitellä ja suojella niitä. Ekologisuuden tulee näkyä siinä, että luonnon oma kierto, sekä paikalliset olosuhteet otetaan huomioon, sekä materiaali- ja energiatehokkuutena myös kierrätyksen muodossa. [12, s 2.]

Oikeudenmukaisuus tarkoittaa oikeudenmukaisuutta kaikkia tuotannosta aina tuotteen nauttimiseen asti. Tämä koskee paitsi ihmisiä myös eläimiä ja ympäristöä. Luomutuotannon tulisi toimia niin, että se edistää köyhyyden vähenemistä, tasa-arvoa sekä hyviä elinoloja niin ihmisten kesken kuin kaikkien elävien olen-
tojen kesken. [12, s 3.]

Viimeinen periaate, huolenpito, viittaa siihen, miten luomutuotannossa tulee va-
rautua ennakkoon ja ottaa vastuuta terveyden ja turvallisuuden suojelemisessa
käyttäen ainoastaan menetelmiä, jotka tiedetään turvalliseksi. Siksi uusien me-
netelmien ja teknologioiden käyttöönotossa on noudatettava varovaisuutta ja
hyödynnettävä sekä tieteellistä tutkimusta ja tietoa että kokemusta. Hylätään
epävarmat ja ennakoimattomat tavat, kuten geenimuuntelu. [12, s 3.]

Tällä hetkellä tuorein lainsäädäntö, joka määrittelee, kuinka luomutuotteita voi-
daan valmistaa, mainostaa ja jakaa, on Euroopan parlamentin ja neuvoston
asetus (EU) 2018/848 luonnonmukaisesta tuotannosta ja luonnonmukaisesti
tuotettujen tuotteiden merkinnöistä ja neuvoston asetuksen (EY) N:o 834/2007
kumoamisesta. Tämä asetus astui voimaan 1.1.2022, ja se rakentuu useista
asetuksista, joilla pyritään turvaamaan se, että mailla on vain hyvin vähän liikku-
mavaraa, ja Euroopan jäsenmaissa on yhtenäinen luomuasetus. Tämä takaa
kuluttajille sen, että tuotteet, joita mainostetaan luomutuotteina, ovat varmasti
luomutuotteita huolimatta valmistusmaasta, mikä tekee markkinoista oikeuden-
mukaisia kaikille. [13.]

Lainsäädännön tavoitteisiin kuuluu muun muassa ympäristön suojelun ja myr-
kyttömän ympäristön edistäminen sekä luonnonmukaisten kasvinjalostustoimien
kehittäminen luomutuotannon taloudellisuuden parantamiseksi. Periaatteina
laissa mainitaan monet IFOAMin mukaiset periaatteet, joiden lisäksi esimerkiksi
luonnonmaisemien säilyttäminen, luonnonvarojen ja energian käyttö vastuulli-
sesti, mukaan luettuna orgaaninen aines ja ilma, sekä laajan valikoiman tuotta-
minen ja tuotannon vaatimuksenmukainen valvonta kuuluu luomutuotannon pe-
riaatteisiin lainsäädännössä. [14.]

4.2 Luomutuotannon ja tehotuotannon vaikutus ympäristöön

Yleisesti ottaen luomutuotanto on tehottomampi tapa kasvattaa ruokaa kuin tehotuotanto. Tehokkuusnäkökulmasta katsellessa voidaan huomata, että luomuruoalla on alhaisemmat satotasot ja ympäristövaikutukset voivat olla suuremmat tuotettua satokiloa kohden. [15.] Luomuviljelyn tutkimuksen ja koetoiminnan perusteella satotasot ja energiatehokkuus ovat kuitenkin kasvamassa [16, s. 60].

Siitä, pystyisikö tulevaisuudessa tuottamaan pelkkää luomuruokaa, ollaan monia mieltä. Myös se, olisiko se ekologisesti kannattavaa, jakaa mielipiteitä. On arvioitu, että vuoteen 2050 mennessä maailman väkiluku on kohonnut yli 7 miljardiin, ja ruoantuotannon tulisi kasvaa 50 %, jotta voitaisiin ruokkia koko maailman väestö. Kuitenkin on hyvä ottaa huomioon se, että maailmassa tuotetaan tarpeeksi ruokaa koko maailman tarpeisiin, mutta ruoka jakautuu epätasaisesti ja noin 30–40 % tuotetusta ruoasta päätyy hävikiksi jossain kohtaa ruokaketjua. [17, s 2,6.]

Tutkimuksessa, jossa vertailtiin luomuruoan prosentuaalisen määrän kasvatusta ja sen vaikutusta erinäisiin ympäristöindikaattoreihin, todettiin, että ongelmallista luomutuotannossa on se, että luomutuotanto tarvitsee suuremman pinta-alan. Muuten luomutuotannolla on tehotuotantoa positiivisemmat vaikutukset ympäristöön, sillä se mm. vähentää typpilannoitusta ja torjunta-aineiden käyttöä. Jos tuotanto olisi 100-prosenttisesti luomutuotantoa, viljelymaankäytön tarve lisääntyisi 16–33 % vuoteen 2050 mennessä. Kuitenkin, jos hävikki puolitettaisiin ja eläintuotteiden käyttöä vähennettäisiin, ei maankäytön tarvitsisi lisääntyä. [17, s 1, 3, 7–9.]

Myös Chalmers University of Technologyn Ruotsissa toteuttama tutkimus nosti maankäytön suurimmaksi ongelmaksi, joka liittyy ruoan luomutuotantoon. Siinä ympäristöystävällisyyttä laskettiin uudella metodilla ja mittayksiköllä, nimeltä *Carbon Opportunity Cost*, joka olisi vapaasti käännettynä hiilen vaihtoehtokustannus. Siinä maankäyttöä arvioidaan sen mukaan, kuinka tehokas hiilinielu se olisi verrattuna metsään. [18.]

Se, kuinka kannattavaa tuotanto on, on erittäin merkityksellinen kysymys, sillä jo vuonna 1798 Thomas Malthus ilmaisi huolensa siitä, että jossain vaiheessa ihmisille tulee luonnon rajat vastaan, sillä ruoan tuotanto ei lisääny samalla tavalla kuin ihmisten määrä. Kuitenkin toistaiseksi ruoan tuotanto on vastannut väestömääriä, sillä toisen maailmansodan jälkeen koettiin vihreä vallankumous, (*green revolution*), johon liittyy mm. tehollisuuden ja keinokastelun aloitus. Näiden avulla satojen määriä on saatu jopa kolminkertaistettua. Myös geenimuuntelu on kasvattanut satomääriä huomattavasti. [16, s 39, 49—50.]

GMO-siemenet, eli geenimuunnellut siemenet, ovat patentoituja, ja ne kymmenen yhtiötä, jotka omistavat 70 % markkinoiden siemenistä, ovat ylikansallisia ja monopoliasemassa. Viljelijät maksavat lisenssimaksuja yhtiöille, mutta kaikilla ei ole varaa siemeniin, jotka ovat kalliita ja tarvitsevat runsaasti lannoitteita, keinokastelua ja torjunta-aineita, erityisesti glyfosaattia, jolla on todettu olevan maaperän eliöille haitallisia vaikutuksia. Näin ruoasta tulee entistä kalliimpaa sekä epätasa-arvoisempaa. [16, s. 50.] Suomessa elintarvikkeisiin täytyy erikseen merkitä, mikäli tuote on muuntogeeninen. Eläinperäisissä tuotteissa ei tosin tarvitse ilmoittaa, mikäli eläimen rehu on muuntogeenistä, sillä rehun sisältämät geenit eivät tee eläimestä muuntogeenistä. Sen sijaan tuotteissa saattaa olla ylimääräinen, vapaaehtoinen merkintä ”GMO-vapaa”, joka merkitsee, että eläinperäisen elintarvikkeen tai tuotteen valmistuksessa ei ole käytetty muuntogeenisiä ainesosia. [19.]

Tehotuotanto on oikeastaan hyvin tehotonta tuotantoa, sillä maatalous on erittäin riippuvainen energiasta, erityisesti öljystä, ja väkirehuista. Tarvitaan keskimäärin 7 energiayksikköä tuottamaan 1 energiayksikkö ruokaa. Käytetty energia on yleensä fossiiliperäistä. Maissitonnin kasvatukseen tarvitaan 160 litraa öljyenergiaa, kun perinteisellä menetelmällä lihasenergiaa tarvittiin viittä öljylittraa vastaava määrä. Monet perinteisen viljelyn menetelmät ovat energiatehokkaampia, mutta tehokkain on vesitettävillä pelloilla kasvatettu riisi, joka tuottaa 50 kertaa energiamäärän, jonka se vie. [16, s.52.]

Tehotuotannossa maan biodiversiteetti kärsii, ja luomuviljelyillä tiloilla onkin selkeästi enemmän luonnonkasveja, lintuja ja hyönteisiä. Runsaan kemikaalien käytön takia maaperän mikrobikanta voi romahtaa ja maa muuttuu elottomaksi. Lisäksi viljely itsessään vie ravinteita maasta sadonkorjuun mukana. Nämä ravinteet täytyy korvata keinolla tai toisella, jottei maaperä köyhy. Orgaanisessa viljelyssä keinoja ovat esim. suorakylvö, viljelykierto ja viherlannoituskasvien viljely. Tehotuotannossa keinona on väkilannoitteet. [16, s. 58—60.]

Ylilannoitus on Suomen maataloudessa yksi suuri ongelma, sillä se johtaa siihen, että typpeä ja fosforia valuu jatkuvasti Itämereen. Lannoitteiden liiallinen käyttö on jo aiheuttanut vesien pilaantumista ja maan hivenaineiden vähenemiseen. Väkilannoitteet aiheuttavat ongelmia käytön lisäksi valmistusvaiheessa, kun niiden valmistus aiheuttaa huomattavasti kasvihuonekaasupäästöjä. Tehomaatalous voi aiheuttaa altistumista kasvitaudeille, ja torjunta-aineiden käyttö aiheuttaa vuosittain 355 000 kuolemaa Maailmanpankin arvion mukaan. Ruotsin elintarvikeviraston vuonna 2009 tehdyn tutkimuksen mukaan kaksi kolmasosaa myynnissä olleista vihanneksista ja hedelmistä sisälsi torjunta-aineiden jäämiä. [16, s. 59—62.]

5 Basilika

5.1 Yleiskuvaus basilikasta

Basilika on yksi maailman tärkeimpiä mauste- ja aromikasveja, ja sen lehtiä ja nuoria latvuksia voidaan käyttää monipuolisesti mm. salaattien, juustoruokien ja liharuokien maustamiseen. Basilikat ovat peräisin Afrikasta ja Aasiasta. Basilika, latinaksi *Ocimum basilicum*, on erittäin monimuotoinen ja siitä onkin kymmeniä alalajeja ja muotoja. Basilika on huulikukkakasvien (*Lamiaceae*) heimoon kuuluva hyväntuoksuinen ruoho. Ne kasvavat 30—60 cm korkeiksi, pystyvartisiksi, monihaarisiksi ja runsaslehtisiksi. Lehdet ovat meheviä, ruodollisia ja kaljuja, ja niiden laidat ovat joko ehyitä tai harvahampaisia. Lehtien värit ja koot vaihtelevat suuresti lajikkeiden välillä. Latvakiehkuroihin kasvaa pieniä, valkoisia, vaaleanpunaisia tai purppuranpunaisia kukkia. [20, s. 111—112.]

5.2 Tuholaiset, homeet ja muut haitta-aiheet

Cercospora-laikku, eli keltalaikku, latinankieliseltä nimeltään *Cercospora ocimicola*, on sienestä johtuva tauti, joka aiheuttaa lehtiin pyöreitä tai epäsäännöllisiä mustia laikkuja, joissa voi olla keltaiset keskustat. Keltalaikulta voidaan välttyä kastelemalla kasvi alakautta, välttäen lehtien kastelemista. Tautia voidaan hallita poistamalla kaikki oireelliset lehdet tai suihkuttamalla viikoittain sienimyrkyllä, joka sisältää kaliumbikarbonaattia. [21.]

Myös härmä, *Peronospora belbahrii*, on sienen aiheuttama tauti, jota voi esiintyä basilikassa. Se oirehtii kellastuneilla lehdillä, joissa värivirhe alkaa usein keskisuonen ympäriltä ja leviää ulospäin, ja harmaana sumeana tai untuvaisena kasvuna lehtien alapuolella, sekä ruskeina tai mustina, kulmikkaina nekroottisina laikkuina. Kellastuneet lehdet voidaan joskus sekoittaa ravintoaineiden puuttumiseen. Tauti leviää saastuneista siemenistä, ja sitä voidaan torjua suosimalla lajikkeita, joissa sitä ei esiinny, ja ehkäistä varmistamalla hyvä ilmankierto kasvihuoneessa sekä käyttää tiputuskastelua, joka estää kasvuston kastumista. Härmää voidaan hoitaa käyttämällä sopivaa sienimyrkkyä. [21.]

Myös Harmaahome, *Botrytis cinerea*, on sienen aiheuttama tauti, joka oirehtii tiheänä, ruskeana tai harmaana pörröisenä kasvuna varressa, lehdillä sekä putoamissa lehdillä, ja aiheuttaa lehtien kuolemista ja putoamista kasvista. Vakavat vauriot kasvissa voi aiheuttaa koko kasvin kuolemisen. Tautia edistää korkea kosteustaso sekä huono ilmankierto, ja sitä voidaan ehkäistä huolehtimalla näistä sekä välttämällä päältä kastelua. [21.]

Lehtipisteet ovat *Pseudomonas cichorii* -nimisen bakteerin aiheuttama tauti, joka aiheuttaa mustia tai ruskeita kulmikkaita tai epäsäännöllisiä pieniä täpliä lehdissä. Sitä voidaan ehkäistä huolehtimalla, ettei ilmankosteus nouse liian korkeaksi ja välttämällä päältä kastelua sekä pitämällä huolta hyvästä ilmankierrosta, ja ennen kaikkea välttämällä saastuneiden siementen käyttöä. Taudille ei ole hoitoa, mutta saastuneet lehdet tulee poistaa välittömästi. [21.]

Juurilaho eli *Rhizoctonia solani* on sienen aiheuttama tauti, joka oireilee eri vaiheissa eri tavoin: se voi aiheuttaa sen, että siemenet eivät idä, tai itäneet siemenet kuolevat, tai aiheuttaa näivettyneen alueen varren alapäässä ja ruskeat juuret, jotka ovat täynnä vettä. Taudin ehkäisyksi tulee siemenet istuttaa steriiliin kasvualustaan, joka on hyvin vettä läpäisevä, sekä pitää huolta, että ilmankosteus ei pääse liian korkeaksi, ja huolehtia hyvästä ilman kierrosta. [21.]

Kirvat ovat pieniä, pehmeärunkoisia hyönteisiä, joiden väri voi vaihdella suuresti riippuen lajista ja isäntäkasvista. Yleensä ne ovat vihreitä tai keltaisia, mutta myös vaaleanpunaisia, ruskeita, punaisia tai mustia. [21] Ne ovat kahden-kolmen millimetrin pituisia hyönteisiä, jotka imevät kasveista solunesteitä ja erittävät tahmeaa mesikastetta. Mesikaste tukkii solukkoa ja toimii nokihärmäsienen kasvualustana. Kirvojen takia lehvästö muuttuu nopeastikin. Sen kasvu pysähtyy, ja siitä tulee likaisen näköinen. Lehdet kasvavat epämuodostuneeksi, ja kukkanuput eivät aukea. [22] Kirvoja on Suomessa noin 400 erilaista lajia [23]. Basilikassa suuri kirvatartunta aiheuttaa keltaisia tai vääristyneitä lehtiä, nekroottisia pisteitä ja tainnutettuja versoja. Kirvoja voidaan ehkäistä valitsemalla niitä hyvin suvaitsevia lajikkeita, ja mikäli kirvoja esiintyy vain muutamissa lehdeissä tai versoissa, poistamalla kyseiset lehdet ja versot. Kirvoja voidaan häätää ruiskuttamalla kasveja voimakkaalla vesisuihkulla sekä erilaisilla hyönteismyrkyillä, saippuoilla ja öljyillä. Kasvit kuitenkin sietävät matalan tai keskitason tartunnan ja hyönteismyrkkyjä tarvitaan vain, jos tartunta on korkea. [21.]

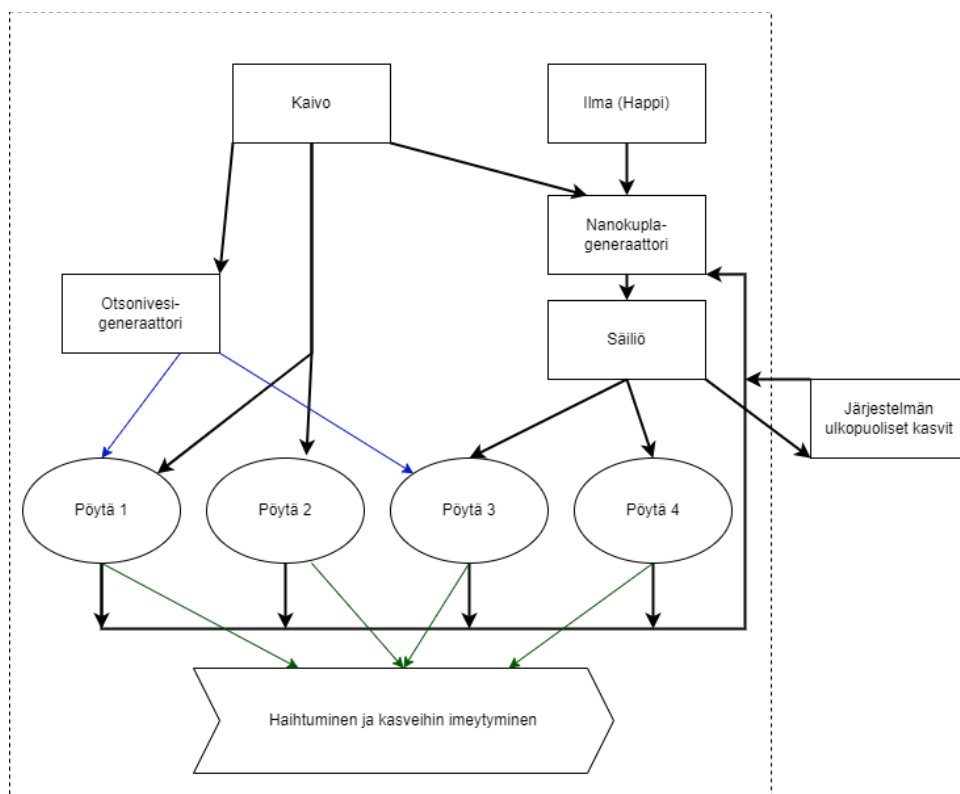
Etanat ja kotilot voivat aiheuttaa epäsäännöllisen muotoisia reikiä lehtiin ja varsiin. Ne viihtyvät varjoisilla alueilla ja asustavat rikkaruohoissa tai orgaanisessa jätteessä. Niitä voidaan ehkäistä huolehtimalla hyvästä puutarhahygieniasta ja poistamalla puutarhasta kaikki orgaaninen jäte sitä mukaa, kun sitä syntyy. Etanoita voidaan poistaa monin eri keinoin, kuten käsin keräämällä ja tekemällä oluesta ansoja, mutta suuremmassa mittakaavassa niitä voidaan torjua muun muassa rautafosfaatilla. [21.]

Ulkona kasvatuksessa voi myös muutamat muut hyönteiset, kuten heinäsiirkat, olla haitaksi kasvustolle. Kasvihuoneessa näiden esiintyminen on kuitenkin epätodennäköistä, sillä torjuntatoimena toimii fyysisen suojan rakentaminen näitä vastaan. [21.]

6 Koeasetelma

6.1 Kokeen asettelu

Koe toteutetaan Lassen Luomun taimienkasvatukseen tarkoitetussa kasvihuoneessa. Kasvihuoneessa kasvaa samaan aikaan kokeen kanssa muitakin kasveja, mutta nämä eivät ole kontaktissa kokeen kasvien kanssa. Neljä altakastelujärjestelmällä toimivaa, noin 5 m²:n kokoista pöytää puhdistetaan ennen kokeiden aloittamista viljelijän standardien mukaisesti. Sitten kasveille järjestetään kastelut alla olevan kuvan (kuva 4) mukaisesti.



Kuva 4 Vesi- ja kastelujärjestelmä

Kaivosta otetusta vedestä osa nostetaan otsonivesigeneraattorille, osa ohjataan pöytiin 1 ja 2, ja osa ohjataan säiliöön, josta pumppu nostaa vettä nanokuplageneraattorille. Nanokuplageneraattorissa huoneilmasta erillisellä laitteella (kuva 5) erotettu happi sekoitetaan nanokuplien muodossa kasteluveteen.



Kuva 5 Hapenerotin

Hapenerotin toimii niin, että se ottaa sisäänsä huoneilmaa, josta n. 78 % on typpeä, 21 % on happea ja 1 % on muita kaasuja. Huoneilma kulkee ensin lukuisien filttareiden läpi, jotka poistavat ilmasta epäpuhtauksia. Tämän jälkeen ilma puristetaan huokoisen molekyylliseulan läpi, joka adsorboi lähes kaiken typen. Näin jäljelle jäävä kaasuseos on lähes kokonaan happea. [24.]

Tämän jälkeen vesi kulkee vesisäiliön kautta pöytiin 3 ja 4. Kaikissa neljässä pöydässä kasvit ottavat tarvitsemansa määrän vettä ja osa vedestä haihtuu huoneilmaan. Loppu vesi ohjataan takaisin säiliöön. Myös muut huoneen kasvit ottavat vetensä nanokuplageneraattorin läpi menneestä vedestä ja palauttavat

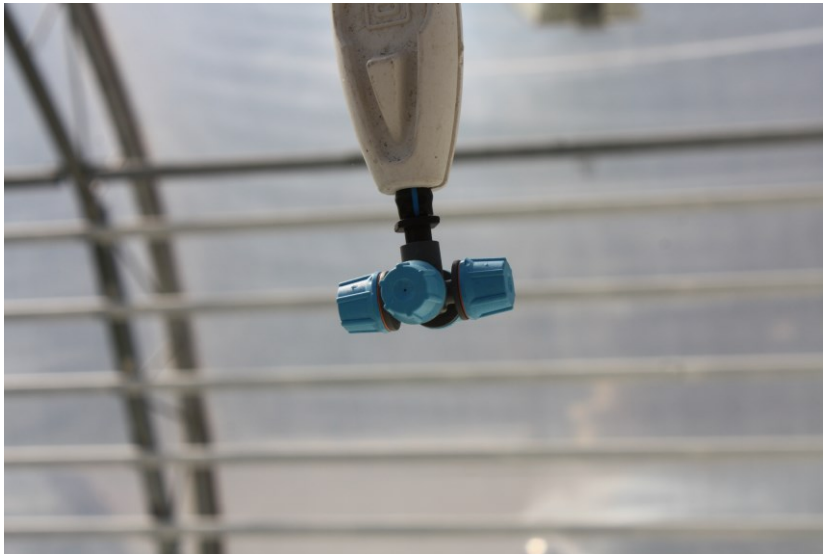
lopun vedet säiliöön ja taas nanokuplageneraattorille (kuva 6), ja nämä kasvit ovat kuvan 4 järjestelmän ulkopuoliset kasvit.



Kuva 6 Nanokuplageneraattori

Otsonivesigeneraattoriin tulee erillistä säiliöstä, eli 50 litran tynnyristä, pienehkö määrä vettä. Säiliöön vesi valutetaan kerran viikossa. Vesi muutetaan elektrolyysin avulla otsonivedeksi, jonka otsonipitoisuus on 0,5—0,6 ppm, sillä tämä on todettu toimivaksi pitoisuudeksi, joka ei vahingoita kasveja, mutta tuhoaa haitta-tekijöitä [25]. Otsonivesi sitten sumutetaan (kuva 7) pöytien 1 ja 3 päälle yöaikaan. Sumutus tapahtuu yöaikana, jotta auringon UV-säteet eivät tuhoa otsonia

ennenaikaisesti. Kokeessa olleen sumutusjärjestelmän letkujen pituus on n. 20 metriä ja sisähalkaisija 4 mm.



Kuva 7 Otsoniveden sumutussuutin

Kasvukauden, eli noin neljän viikon, aikana seurataan, miten kasvit kasvavat. Tutkimusta tehdään sekä kvalitatiivisesti että kvantitatiivisesti, ja tutkittavat suureet sekä mittaustavat on avattu seuraavassa luvussa. Kokeita tehdään kolme kappaletta, toukokuussa, kesäkuussa ja heinäkuussa 2022. Tuloksia verrataan sekä keskenään että verrokkiryhmiin.

Kasveja on yhdessä kasvatuspöydässä yhdellätoista rivillä, jokaisella rivillä on 41 tai 42 kappaletta. Yhteensä basilikoja kasvaa kussakin pöydässä 455 kappaletta, ja suuresta otannasta johtuen kaikkia testejä ei tehdä kaikilla kasveilla, vaan testauksissa valitaan muutamia satunnaisia näytteitä, joita seurataan.

6.2 Mitattavat suureet ja mittaustavat

Yhtenä tärkeimpänä mittauksen kohteena ovat luonnollisesti basilikan tuotantomäärät, joihin liittyy varsinkin vaikutus kasvuaikaan ja kasvien koko, eli leveys ja korkeus sekä paino. Jokaviikkosisissa mittauksissa jokaisen pöydän jokaiselta ri-

viltä valitaan yksi kasvi, joka mitataan. Valinta tehdään arpomalla, jolloin jokaisella kasvilla on yhtenäiset mahdollisuudet edustaa mittauksissa. Arvonnassa käytetään Random.org-sivuston ”Random Integer Set Generator” toimintoa, joka arpoo toivotun määrän numerosarjoja valittujen lukujen väliltä. Kaikkien yhdenoista kasvin osalta mitataan korkeus ja paino, ja näiden keskiarvoista tehdään kaaviot. Joka kerralla arvotaan uudet kasvit, joten yksittäinen kasvi ei todennäköisesti tule mittauksen kohteeksi kahdesti.

Kokeessa tehdään myös kvalitatiivista tutkimusta vertailemalla muutoksia laadussa, ulkonäössä ja juuriston määrässä. Näissä ei tutkittavalla muutoksella ole tarkkaa suuretta, jota mitataan ja vertaillaan mittaustuloksia, vaan muutoksia tarkkaillaan valokuvaamalla kasveja sekä tekemällä kokeen lopussa sokkotutkimus siitä, onko maku muuttunut ja mikäli on, onko maku muuttunut paremmaksi vai huonommaksi.

Valokuvaus kokeiden aikana toteutetaan pääasiassa itse rakennetussa laatikossa. Laatikko on valkoinen, ja siihen on merkitty kasvin koon arvioimista varten mitta-asteikko senttimetrin välein. Tummempi viiva on merkitty viiden senttimetrin välein. Kaikki vertailtavat valokuvat otetaan salamavalolla, Canon 450D EOS -järjestelmäkameralla, jonka säädöt ovat ISO 400, F/11, valkotasapainona salama, sulkijanopeus (fps) 1/125. Kuvat otetaan jalustan avulla samalla korkeudella, niin että kasvin etäisyys linssistä on noin 70 cm. Näin kuvat ovat mahdollisimman vertailukelpoisia niin kokoarvioilta kuin esimerkiksi värisävyiltäänkin.

Kasveissa esiintyvät haitat ja tuholaiset tutkitaan määrän ja laadun mukaan. Valituista kasveista, joiden koko mitataan, etsitään mittausten yhteydessä merkkejä haitta-aiheista. Haitta-aiheiden torjuntaan ei tässä kokeessa käytetä muita menetelmiä kuin otsonivesisumutusta.

Kasveista tehdään aistinvarainen makutesti. Kokeessa selvitetään, muuttuuko basilikan maku eri kasvatusmenetelmiä hyödynnettäessä. Kokeessa hyödynne-

tään vapaaehtoisia, jotka maistavat basilikan lehtiä eri kasveista ja arvioivat ma-
kua yhdestä kymmeneen niin, että 1 on pahanmakuinen ja 10 erittäin hyvänma-
kuinen. Makutesteihin valitaan mahdollisimman samankokoisia lehtiä, jotta tu-
loket olisivat mahdollisimman vertailukelpoisia, ja lehdet pestään ennen mais-
telua. Jokaisen lehden välillä koehenkilöt huuhtelevat suunsa vedellä. Koehen-
kilöt maistavat tuotteita satunnaisessa järjestyksessä.

Myös veden laadusta ja sen muutoksista tehdään tutkimusta. Kasteluvedessä
on alun perin ollut korkeita pitoisuuksia rikkiä, natriumia, kloridia, fluoridia ja kor-
kea sähkönjohtavuus, joka viittaa siihen, että vedessä on liikaa suoloja. Na-
nokuplien lisäämisellä saattaa olla positiivinen vaikutus veden laatuun. Veden
laadun tutkii ulkopuolinen toimija Hortilab Oy, ja tulokset esitellään osana tämän
opinnäytetyön tuloksia.

7 Tulokset

7.1 Ensimmäinen koe

Taulukossa 1 on kuvattu kunkin pöydän ja molempien viikkojen osalta korkeu-
den, leveyden ja painon maksimi, minimi, mediaani ja keskiarvo. Keskiarvo on
pyöristettynä yhden desimaalin tarkkuuteen, koska mittaustulokset on korkeu-
den ja leveyden osalta mitattu puolen senttimetrin tarkkuudella ja paino gram-
man tarkkuudella.

Taulukko 1 Kokeen 1 tulokset

				Pöytä 1				
Viikko 3	Kor- keus (cm)	Le- veys (cm)	Paino (g)		Viikko 4	Kor- keus (cm)	Le- veys (cm)	Paino (g)
Mak- simi	5	11	239		mak- simi	14	19	263
Minimi	3	6,5	190		minimi	10	13	219

Medi- aani	4	8,5	211		medi- aani	12	15,5	240
Kes- kiarvo	4	8,5	216		kes- kiarvo	11,5	15,5	240

**Pöytä
2**

Viikko 3	Kor- keus (cm)	Le- veys (cm)	Paino (g)		Viikko 4	Kor- keus (cm)	Le- veys (cm)	Paino (g)
Mak- simi	6	11	232		mak- simi	12,5	19	276
Minimi	3,5	7,5	180		minimi	10	14,5	217
Medi- aani	4,5	8,5	212		medi- aani	12	16	234
Kes- kiarvo	4,5	9	209		kes- kiarvo	11,5	16	243

**Pöytä
3**

Viikko 3	Kor- keus (cm)	Le- veys (cm)	Paino (g)		Viikko 4	Kor- keus (cm)	Le- veys (cm)	Paino (g)
Mak- simi	5,5	10,5	241		mak- simi	13,5	18,5	279
Minimi	3	7,5	180		minimi	10,5	14,5	183
Medi- aani	4	9	203		medi- aani	12	17	240
Kes- kiarvo	4	9	206		kes- kiarvo	12	17	237

**Pöytä
4**

Viikko 3	Kor- keus (cm)	Le- veys (cm)	Paino (g)		Viikko 4	Kor- keus (cm)	Le- veys (cm)	Paino (g)
Mak- simi	7	12	249		Mak- simi	13,5	19	300
Minimi	3	7	186		Minimi	10,5	11,5	206

Maksi mi	6	216		Mak- simi	16,9	261		Mak- simi	24,7	349
Mi ni mi	4	169		Mi- nimi	12,8	167		Mi- nimi	16,2	200
Me di- aa ni	4,9	199		Medi- aani	13,9	243		Medi- aani	22,4	295
Ke ski ar vo	5,0	197		Kes- kiar- vo	14,5	235		Kes- kiar- vo	22,2	283
			Pöy tä 2							
Vii kk o 3	Korke- us (cm)	Pai- no (g)		Viikk o 4	Korke- us (cm)	Pai- no (g)		Viikk o 5	Kor ke- us (cm)	Pai- no (g)
Ma ksi mi	6	222		Mak- simi	16,6	306		Mak- simi	25,8	327
Mi ni mi	4,4	170		Mi- nimi	9,1	95		Mi- nimi	15,8	236
Me di- aa ni	5,3	193		Medi- aani	13,7	228		Medi- aani	21,7	283
Ke ski ar vo	5,2	196		Kes- kiar- vo	13,9	208		Kes- kiar- vo	21,2	283
			Pöy tä 3							
Vii kk o 3	Korke- us (cm)	Pai- no (g)		Viikk o 4	Korke- us (cm)	Pai- no (g)		Viikk o 5	Kor ke- us (cm)	Pai- no (g)

Maksi- mi	5,8	244		Mak- simi	16,3	325		Mak- simi	26,9	318
Mi- ni- mi	4,7	165		Mi- ni- mi	12,8	232		Mi- ni- mi	18,2	271
Me- di- aa- ni	5	191		Medi- aani	15,2	273		Medi- aani	23,4	292
Ke- ski- ar- vo	5,2	197		Kes- kiar- vo	15,0	275		Kes- kiar- vo	23,2	294
			Pöy- tä 4							
Vii- kk- o 3	Korke- us (cm)	Pai- no (g)		Viikk- o 4	Korke- us (cm)	Pai- no (g)		Viikk- o 5	Kor- ke- us (cm)	Pai- no (g)
Ma- ksi- mi	5,8	228		Mak- simi	17,8	313		Mak- simi	31,8	334
Mi- ni- mi	4,5	177		Mi- ni- mi	12,3	148		Mi- ni- mi	21,8	259
Me- di- aa- ni	5,1	198		Medi- aani	15,4	270		Medi- aani	24,3	286
Ke- s- kia- r- vo	5,1	202		Kes- kiar- vo	15,1	266		Kes- kiar- vo	24,8	293

Toisessa kokeessa pöydät 1 ja 2 kasvoivat kaivovedellä, ja pöydät 3 ja 4 saivat nanokuplavettä. Pöytien 1 ja 2 basilikat kasvoivat keskimäärin 22,2 cm ja 21,2 cm:n korkuisiksi. Pöytien 3 ja 4 kasvit kasvoivat keskimäärin 23,2 cm ja 24,8

cm:n korkuisiksi. Keskimäärin kaivovettä saaneet kasvoivat siis 21,7 cm ja navovettä saaneet 24 cm.

Alla on kuvat samoista basilikoista kolmelta eri viikolta. Kuvat on otettu luvussa 6,2 kuvatulla tavalla. Kolmannella kasvuviikolla (kuva 8) ei kasvien välillä ole suuria eroavaisuuksia.



Kuva 8 Basilikat viikolla 3

Kuten alla olevasta kuvasta 9 ilmenee, myöskään neljännellä viikolla ei esiintynyt kasvien välillä suuria eroavaisuuksia.



Kuva 9 Basilikat viikolla 4

Viidennellä kasvuviikolla auringonpaiste oli kuvauspäivänä erittäin kirkas, ja tämä vaikutti kuvien lopputulokseen. Kuva 10 on toteutettu samoilla kameran

säädöillä, mutta auringon kirkkaus muutti kasvien ulkonäköä huomattavasti verrattuna viikkojen 1 ja 2 kuviin. Kuitenkin kasvit ovat keskenään vertailukelpoisia.



Kuva 10 Basilikat viikolla 5

Kuten yllä olevista kuvista pystyttiin havainnoimaan, basilikojen ulkonäössä ei ole keskenään suurempia eroja esimerkiksi värissä. Näin ollen voidaan todeta, että kasvatusmenetelmien erot eivät vaikuttaneet kasvin ulkonäköön merkittäväällä tavalla. Kuitenkin kuvista voi huomata, että molemmissa nanovedellä kasutetuissa kasveissa on riippuvia oksia.

Alla olevassa kuvassa on kuvattu vielä samojen kasvien juuret. Kuten kuvassa 11 näkyy, juurien kasvussa ei ole selkeää eroavaisuutta.



Kuva 11 Basilikojen juuret

Pientä eroavaisuutta on kyllä huomattavissa, kuten kasvin 3 yhden sivureunan juurakko vaikuttaa olevan hieman vähäisempää kuin muilla kasveilla. Kuitenkaan muiden sivujen tai pohjan juuriston määrässä ei ollut huomattavaa eroa.

7.3 Kolmannen kokeen tulokset

Kolmannessa kokeessa tehtiin vain yksi mittaus, ja mittauksen tulokset ovat luettavissa taulukossa 3. Kolmannen mittauksen osalta tulokset ovat kaikkein epäluotettavimpia, sillä pöydästä 4 oli ennen mittauksia jo kerätty osa kasveista pois, ja saatujen tietojen mukaan ne olivat suurimpia kasveja kyseisestä pöydästä.

Taulukko 3 Kolmannen kokeen tulokset

Pöytä 1	Korkeus (cm)	Paino (g)
Maksimi	16,7	333
Minimi	10,2	278
Mediaani	11,8	300
Keskiarvo	12,6	302
Pöytä 2	Korkeus (cm)	Paino (g)
Maksimi	18,4	363
Minimi	10,6	278
Mediaani	13,3	286
Keskiarvo	13,6	298
Pöytä 3	Korkeus (cm)	Paino (g)
Maksimi	18,8	329
Minimi	10,3	265
Mediaani	14,6	317

Keskiarvo	14,2	304
Pöytä 4	Korkeus (cm)	Paino (g)
Maksimi	21,2	345
Minimi	12,4	269
Mediaani	16,7	301
Keskiarvo	16,1	306

Myös kolmannessa kokeessa pöydät 1 ja 2 saivat kaivovettä ja pöydät 3 ja 4 saivat nanokuplavettä. Pöydät 1 ja 3 saivat otsonisumutuksen. Kasvit pöydissä 1 ja 2 olivat keskimäärin 12,6 ja 13,6 senttimetriä korkeita, ja kasvit pöydissä 3 ja 4 olivat keskimäärin 14,2 ja 16,1 senttimetriä korkeita. Keskiarvoltaan nämä ovat siis normaalivettä saaneiden osalta 13,1 cm ja nanovettä saaneiden osalta 15,2 cm.

Kolmannessa kokeessa oli havaittavissa huomattavan epätasaista kasvua. Alla olevassa kuvassa 12 on kuvattu pöydän 2 yleiskuvaa sekä kaksi vierekkäistä kasvia. Vierekkäiset kasvit on valittu nimenomaisesti suuren eronsa takia, eivätkä ne välttämättä kuvasta koko pöydän keskiarvoa.



Kuva 12 Epätasaista kasvua [25]

Kuten kuvasta voidaan nähdä, kasvit olivat tässä kokeessa kasvaneet erittäin epätasaisesti. Myös kokeessa 3 mittaukset tehtiin yhdentoista satunnaisesti valitun kasvin osalta, ja näin saatiin kasvulle keskiarvo.

7.4 Otsonivesisumutuksen tulokset

Kokeen aikana ei kasveissa ilmennyt haitta-aiheita, kuten härmää, harmaahometta tai kirvoja, joten vertailua otsoniveden vaikutuksesta niihin ei voida laskea, vaikka juuri niiden torjunta oli otsonisumutuksen päätavoite. Otsonisumutus jouduttiin käytännön syistä toteuttamaan niin, että suunnitelmista poiketen otsonisumutettujen kasvien ja sumutusta vaille jäävien kasvien välillä ei ollut mitään suojakalvoa, joka estäisi otsonisumun laskeutumisen myös otsonisumuttamattomien kasvien päälle. Alkuperäisessä suunnitelmassa oli, että otsonisumutettujen ja sumuttamattomien kasvien välillä olisi ollut muoviverhot, jotka vedetään yöksi niiden väliin ja aamulla vedetään pois, jotta valo-olosuhteet eivät muuttuisi. Kuitenkin jouduttiin toteamaan, että henkilökuntaa, joka tämän voisi päivittäin tehdä, ei ole. Tämä huomattiin liian myöhään, eikä tilalle ehditty suunnitella korvaavaa suojaussysteemiä. Tämän vuoksi myös kasvit pöydissä, joissa ei ollut otsonisumutusta, saivat osakseen pienen määrän otsonisumutusta.

Otsonisumutuksen vaikutusta laskiessa on siis välttämätöntä ottaa huomioon se, että jokainen pöytä sai ainakin hieman otsonisumutusta osakseen. Otsonisumutuksen vaikutusta laskiessa pöydistä 1 ja 3, jotka saivat otsonisumutusta, laskuissa huomioidaan jokaisen rivin kasvit, mutta pöydissä 2 ja 4, jotka eivät olleet suorassa sumutuksessa, huomioidaan kummastakin pöydästä vain ne viisi riviä, jotka olivat kauimpana sumutuksesta.

Pöydät olivat kaikki rivissä, järjestyksessä, jossa lähimpänä ovea oli pöytä 2, sitten tulivat sumutettavat pöydät 1 ja 3, ja viimeiseksi kauimpana ovesta oli pöytä 4. Pöydästä 2 laskettiin rivien 1–5 kasvien maksimi, minimi, mediaani ja keskiarvo samalla tavalla, kuin aikaisemminkin. Pöydästä 4 taas laskettavia rivejä oli rivit 7–11. Näin huomioitiin sumuttamattomista riveistä vain rivit, jotka todennäköisesti saivat vähiten sumutusta osakseen.

Koska kokeen 1 aikana otsonisumutus oli selkeästi vielä säätövaiheessa, ensimmäisen kokeen tuloksia ei esitetä tässä. Alla olevassa taulukossa (taulukko

4) on esitetty toisen kokeen tulokset, jossa korkeus on senttimetreissä ja paino grammoissa.

Taulukko 4 Otsonisumutuksen tulokset kokeessa 2

			Pöytä 1						
Viikko 3	Korkeus (cm)	Paino (g)		Viikko 4	Korkeus (cm)	Paino (g)	Viikko 5	Korkeus (cm)	Paino (g)
Maksimi	6	216		Maksimi	16,9	261	Maksimi	24,7	349
Minimi	4	169		Minimi	12,8	167	Minimi	16,2	200
Medi-aani	4,9	199		Medi-aani	13,9	243	Medi-aani	22,4	295
Keskisarvo	5,0	196		Keskisarvo	14,5	234	Keskisarvo	22,2	283
			Pöytä 2						
Viikko 3	Korkeus (cm)	Paino (g)		Viikko 4	Korkeus (cm)	Paino (g)	Viikko 5	Korkeus (cm)	Paino (g)
Maksimi	6	211		Maksimi	16,2	231	Maksimi	24,1	327
Minimi	4,4	185		Minimi	9,1	95	Minimi	17,8	236
Medi-aani	4,8	193		Medi-aani	12,6	188	Medi-aani	20,4	290
Keskisarvo	5,0	195		Keskisarvo	12,7	183	Keskisarvo	20,7	284
			Pöytä 3						
Viikko 3	Korkeus (cm)	Paino (g)		Viikko 4	Korkeus (cm)	Paino (g)	Viikko 5	Korkeus (cm)	Paino (g)
Maksimi	5,8	244		Maksimi	16,3	325	Maksimi	26,9	318

Min-imi	4,7	165		Min-imi	12,8	232		Min-imi	18,2	271
Me-di-aani	5	191		Me-di-aani	15,2	273		Me-di-aani	23,4	292
Kes-kiar-vo	5,2	197		Kes-kiar-vo	15,0	275		Kes-kiar-vo	23,2	294
			Pö- ytä 4							
Viik-ko 3	Kor-keus (cm)	Pai-no (g)		Viik-ko 4	Kor-keus (cm)	Pai-no (g)		Viik-ko 5	Kor-keus (cm)	Pai-no (g)
Maks-imi	5,6	228		Maks-imi	16,5	313		Maks-imi	27,8	317
Min-imi	4,5	177		Min-imi	12,3	259		Min-imi	21,8	259
Me-di-aani	4,9	200		Me-di-aani	13,7	261		Me-di-aani	25,2	286
Kesk-iarvo	4,9	206		Kesk-iarvo	14,3	275		Kesk-iarvo	24,5	286

Kuten taulukosta nähdään, viikolla 3 sumutettujen pöytien keskiarvoiset korkeudet 5,0 cm ja 5,2 cm ovat korkeammat kuin sumuttamattomien pöytien, 5,0 cm ja 4,9 cm. Keskiarvoltaan siis sumutetut pöydät pääsivät 5,1 cm:iin, ja sumuttamattomat jäivät 5,0 cm:iin.

Viikolla 4 sumutetut pöydät olivat keskiarvoltaan 14,5 cm ja 15,0 cm korkeita. Sumuttamattomat olivat keskiarvoltaan 12,7 cm ja 14,3 cm korkeita. Kun laskeaan taas näiden keskiarvot, nähdään, että sumutettujen keskiarvo on 14,7 cm ja sumuttamattomien 13,5 cm.

Viikolla 5 sumutettujen pöytien keskiarvot korkeuden osalta olivat 22,2 cm ja 23,2 cm. Sumuttamattomilta pöydiltä vastaavat arvot olivat 20,7 cm ja 24,5 cm.

Keskiarvoja laskettaessa nähdään, että sumutetut yltyvät 22,7 cm:iin, mutta sumuttamattomat jäävät vähän tästä alle 22,6 cm:iin.

Otsonisumutuskoetta jatkettiin kolmannessa kokeessa. Sen osalta tulokset ovat luettavissa alta taulukosta 5. Taulukossa korkeus on ilmoitettu senttimetreinä ja paino ilmoitettu grammoina.

Taulukko 5 Otsonisumutuksen tulokset kokeessa 3

Pöytä 1	Korkeus (cm)	Paino (g)
Maksimi	16,7	333
Minimi	10,2	278
Mediaani	11,8	300
Keskiarvo	12,6	302
Pöytä 2	Korkeus (cm)	Paino (g)
Maksimi	18,4	363
Minimi	10,6	278
Mediaani	13,3	283
Keskiarvo	14,1	299
Pöytä 3	Korkeus (cm)	Paino (g)
Maksimi	18,8	329
Minimi	10,3	265
Mediaani	14,6	317
Keskiarvo	14,2	304
Pöytä 4	Korkeus (cm)	Paino (g)
Maksimi	21,2	345

Minimi	13,7	269
Mediaani	16,7	324
Keskiarvo	17,1	312

Kuten taulukosta voidaan nähdä, sumutettujen pöytien kasvien korkeudet olivat keskimäärin 12,6 cm ja 14,2 cm ja sumuttamattomien 14,1 cm ja 17,1 cm. Keskiarvoltaan nämä ovat 13,4 cm ja 15,6 cm.

7.5 Veden laadun muutokset

Veden laadun muutokset on esitetty alla olevassa taulukossa. Taulukossa on merkitty vihreällä arvot, joiden muutos on prosentuaalisesti suurempi kuin veden laatu yleisesti on vaihdellut viimeisen vuoden aikana. Ensimmäisessä sarakkeessa on edeltävän vuoden mittausten tulosten keskiarvo, toisessa sarakkeessa on vaihtelu prosenteissa. Kolmannessa sarakkeessa on mittaustulos, kun vettä on käsitelty nanokuplilla, ja neljännessä sarakkeessa ero keskiarvoon prosenteissa. Kahdessa viimeisessä sarakkeessa on veden laadun suositukset samassa yksikössä, kuin ne on taulukossa 6 esitetty.

Taulukko 6 Veden laadun muutokset [27, 28, 29, 30]

	Keski- arvo 6/21- 5/22	Vaihtelu %	5.7.2022	ero %	Suositus (min)	Su- osi- tus (max)
Johtokyky mS/cm	0,33	6,0	0,32	-4,3		2,5
Happamuus (pH)	8,3	1,2	8,3	-0,5	6,5	9,5
Alkaliniteetti (HCO³) mg/l	113,1	4,4	144	27,3	0,6 mmol/l = 36,6101 mg/l	
Permanga- naattiluku	3,2	125,0	4,4	37,5		20

(KMnO₄) mg/l					
Nitraatti- typpi (NO³- N) mg/l	2,7	181,5	2	-25,9	11
Fosfori (P) mg/l	0,2	0,0	0,2	0,0	
Kalium (K) mg/l	1,6	25,2	2,7	70,3	
Kalsium (Ca) mg/l	12,4	24,1	18	44,8	
Magnesium (Mg) mg/l	3,1	32,4	5,9	91,2	
Rikki (S) mg/l	4,3	11,7	5,1	19,0	
Rauta (Fe) mg/l	0,1	0,0	0,1	0,0	0,4
Boori (B) mg/l	0,16	44,5	0,09	-42,7	
Kupari (Cu) mg/l	0,02	0,0	0,02	0,0	2
Mangaani (Mn) mg/l	0,02	323,1	0,01	-46,2	0,1
Sinkki (Zn) mg/l	0,02	63,6	0,02	27,3	
Natrium (Na) mg/l	55,9	21,5	42	-24,8	
Kloridi (Cl) mg/l	21,4	28,0	11	-48,7	100
Pii (Si) mg/l	5,8	12,2	5,9	2,5	

Kuten taulukosta huomataan, veden alkaliniteetti kasvoi, samoin kuin veden kalium-, kalsium-, magnesium- ja rikkipitoisuus. Sen sijaan veden natrium- ja kloridipitoisuus laski.

7.6 Makutestien tulokset

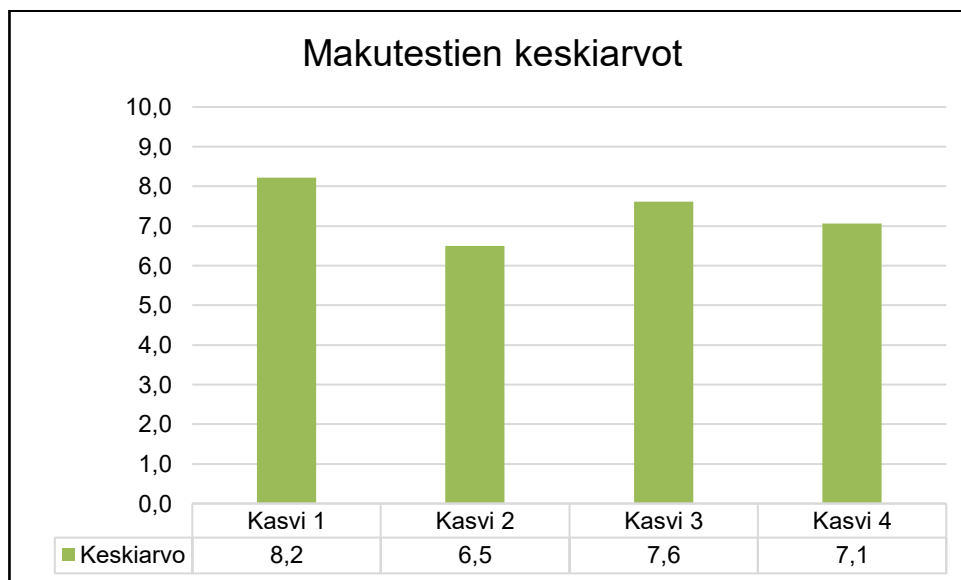
Kokeesta numero 2 tehtiin myös pienimuotoinen tutkimus liittyen basilikan makuun. Kokeeseen osallistui kuusi vapaaehtoista. Kasvit on numeroitu samalla tavoin kuin muissakin kokeissa, eli kasvit 1 ja 2 saivat kaivovettä ja kasvit 3 ja 4 nanokuplavettä. Kasvit 1 ja 3 saivat otsonivesisumutuksen. Kokeen tulokset ovat luettavissa taulukosta 7. Taulukko vastaa suoraan Forms-kyselyä, jolla tutkimus toteutettiin, mutta siitä puuttuu viimeinen kysymys, jossa kysyttiin muita kommentteja. Tämä kysymys jätettiin pois, sillä siihen ei tullut yhtään vastausta. Makua arvioitiin asteikolla 1—10.

Taulukko 7 Makutestien tulokset

Arvioi maku kasvista 1	Arvioi maku kasvista 2	Arvioi maku kasvista 3	Arvioi maku kasvista 4	Olivatko kasvit saman makuisia keskenään?	Mikäli eivät olleet, mitkä kasveista erotuivat ja miten?
8	7	6	6	Ei	3 ja 4 olivat ehkä kardemummaisempia
8	7	8	8	Ei	Osa oli vahvemman makuisia
8	5	7	4	Ei	2 ja 4 oli vahvemman makuisia
8	6	8	7	Ei	2 oli karvas, 4 oli voimakas maku
5	6	6	7	Ei	2, 3, 4 väkeviä, kaikki hyviä
9	2	6	5	Ei	

Kuten taulukkoa lukiessa voidaan todeta, kasvit olivat keskenään erimakuisia, sillä kaikki makutestien vastaajat vastasivat kielteisesti kysymykseen kasvien saman makuisuudesta. Lähes kaikki kommentteja antaneet vastaajat huomauttivat kasvien väkevästä mausta. Myös koetilanteessa testaajat totesivat kasvia

1 lukuun ottamatta kasvien olevan vahvan makuisia, mutta erityisesti kasvit 2 ja 4 saivat runsaasti kommentteja vahvasta mausta. Kuvassa 13 on esitetty tulosten keskiarvot yhden desimaalin tarkkuudella.



Kuva 13 Makutestien tulokset, 6 vastaajaa, asteikolla 1—10.

Kuten yllä olevasta kaaviosta näkyy, koehenkilöt pitivät eniten kasvista 1, joka sai keskimääräiseksi arvosanaksi 8,2. Kasvi 1 sai kaivovettä ja otsonivettä. Kasvi 3 sai toiseksi parhaan arvosanan 7,6, ja kasvi 4 sai kolmanneksi parhaan arvosanan 6,5. Kasvi 3 sai nanokuplavettä ja otsonivettä, kasvi 4 sai vain nanokuplavettä. Alimman arvosanan sai kasvi numero 2, joka siis sai kaivovettä eikä otsonivettä.

Arvosanoja huomioidessa on kuitenkin hyvä ottaa huomioon, että kasvit 2 ja 4 saivat kommentteja erityisesti vahvasta mausta. Vaikka makutestissä basilikanlehtiä maisteltiin pelkältään, niin usein basilikaa lisätään mausteena johonkin muualle. Näin ollen vahva maku ei aina ole negatiivinen asia.

8 Päätelmät

8.1 Nanokuplien vaikutus

Ensimmäisessä kokeessa basilikan korkeutta mitattiin puolen senttimetrin tarkkuudella, joka oli liian pieni tarkkuus huomioiden sen, millaisia kasvien väliset erot olivat. Tämän lisäksi mittauksissa oli erittäin epätarkka leveys, joka siis oli kasvin leveimmän kohdan leveys. Leveys jätettiin pois ensimmäisen kokeen jälkeen, sillä todettiin, että se ei antanut todellista tietoa kasvin tuuheudesta, sillä leveyttä lisäsi olennaisesti myös yksittäinen sivuun kasvava verso. Oli tarkoitus, että valmiin kasvin korkeus olisi saatu kokeiden tuloksista, sillä tilalla ei ollut valmiiksi tiettyä mittausta, jolloin kasvi on valmis, vaan valmiin kasvin arviointi tapahtuu arvioiden koko kasvin kokoa. Kuitenkin valmiiden, keräykseen menevien kasvien koot vaihtelivat huomattavasti, eikä näin saatu tietoa siitä, minkä korkuinen kasvi on valmis. Myös ylimääräinen suure päätyi mitattavaksi läpi kokeen, nimittäin paino. Etukäteen paino tuntui järkevältä mitattavalta suureelta, mutta jälkikäteen, erityisesti kokeen kolme lopussa huomattiin, että huomattava määrä painosta on kasvin turvealustassa ja siihen imeytyneessä vedessä. Koska turvealustan paino vaihteli kasvista toiseen, painoa mittaamalla ei saatu järkevää tietoa kasvien koosta.

Ensimmäisessä kokeessa oli erilaisia vaikeuksia, sillä tarvittava välineistö saatiin liian myöhään. Kastelu nanovedellä aloitettiin kaksi viikkoa myöhässä, mikä tarkoittaa puolta koeajasta. Tämä voi vaikuttaa osaltaan siihen, että erot ovat jääneet odotettua pienemmiksi. Otsonivettä kasvit eivät ole saaneet lainkaan laitteiston puuttuessa koko kokeen ajan. Ensimmäisessä kokeessa kasveissa ei ollut suurta eroa keskenään, mutta kaivovedellä kastellut jäivät keskimääräisessä korkeudessa hieman nanovedellä kasteltuja jälkeen.

Toisessa kokeessa erot olivat jo suuremmat, mikä voi johtua siitä, että kasvit saivat nanovettä koko kasvun ajan. Myös kolmannessa kokeessa erot olivat entistä suuremmat. Kolmannen kokeen aikana nanovettä saavat kasvit saivat vahvempaa nanovettä kuin ensimmäisen ja toisen kokeen aikana.

Ensimmäisessä kokeessa nanovedellä kasvaneet kasvit olivat lopussa kasvaneet 3 % enemmän kuin verrokkit. Toisessa kokeessa kasvua oli huomattavasti enemmän, 10,5 %. Viimeisessä kokeessa nanovedellä kasvaneet kasvit olivat kasvaneet 15,9 % korkeammaksi kuin ei nanovettä saaneet kasvit. Jos kolmannen kokeen yhteydessä sattunut kasvien ennenaikainen kerääminen vielä otetaan huomioon, ero on luultavasti vielä suurempi. Voidaan siis todeta, että nanovedellä saatiin huomattava ero kasvien korkeuteen.

Kokeessa 3 kasteluvesi, joka sisälsi nanokuplia, sisälsi niitä suuremman määrän kuin kokeiden 1 ja 2 aikana. Tämä tiedetään, koska nanokuplageneraattori oli jokaisen kokeen aikana keskimäärin pidempään päällä kuin edeltävän kokeen aikana, mutta koska koeasetelmaan ei kuulunut nanokuplien määrää mittaavaa laitteistoa, ei ole tiedossa kuinka paljon nanokuplia vedessä missäkin vaiheessa oli. Nanokuplageneraattorin käynnissä olo aikaa lisättiin useita kertoja kokeiden aikana.

Juuriston kasvuun nanovesikastelulla ei vaikuta olevan vaikutusta kumpaakaan suuntaan. Makutestissä huomattiin, että nanovedellä kastelu saattaa vaikuttaa makuun, sillä kaikki kasvit saivat eriävät tulokset. Makutestin keskiarvojen mukaan taas nanovedellä ei ollut vaikutusta, sillä sekä nanovettä saaneet että kiovettä saaneet saivat keskiarvoksi 7,4.

Myöskään ulkonäköön, kuten lehtien väriin, ei ollut nanovedellä huomattavaa vaikutusta, mutta toisen kokeen viidennellä viikolla otetuista kuvista huomattiin, että nanovedellä kastelluissa kasveissa oli riippuvia oksia. Pöydän 3 kasvilla niitä oli 1 ja pöydän 4 kasvilla niitä oli 2. Näitä riippuvia oksia ei kuitenkaan esiintynyt erityisen paljon minkään pöydän kasveista, ja onkin mahdollista, että riippuvat oksat johtuvat osittain myös siitä, että kyseisiä kasveja on viikoittain siirrelty, sillä kuvattavat kasvit olivat aina samat.

Suure, jota ei tutkimuksessa otettu laisinkaan huomioon, on kasvualustan tai veden happipitoisuus. Koska kasvit kasvoivat turpeessa eikä suoraan vedessä,

on todennäköistä, että nanokuplien muodossa lisätty happi ei välttämättä lisännyt kasvualustan happimäärää merkittävästi, sillä turpeen joukossa on jo ilmaa.

8.2 Otsoniveden vaikutus

On mahdollista, että otsonivesisumutus tekee basilikasta paremman makuista. Makutesteissä kaivovettä saaneista kasvi 1, joka sai myös otsonivettä, oli selvästi paremman makuinen (8,2 vastaan 6,5), mutta myös nanokuplavettä saaneista otsonivettä saanut kasvi 3 pärjäsi makutesteissä kasvia 4 paremmin (7,6 vastaan 7,1). Kun verrataan otsonivesisumutettujen keskiarvoa, (7,9), ja ei sumutettujen keskiarvoa (6,8), voidaan nähdä, että sumutuksella on ollut vaikutusta makutestissä pärjäämiseen.

Koska kokeen aikana ei havaittu haittatekijöitä otsonisumutusta saaneissa tai ilman sumutusta kasvaneissa kasveissa, kokeen perusteella ei voida arvioida, poistaako otsonisumutus haittatekijöitä.

Kokeen 2 pohjalta olisi voinut ajatella, että otsonisumutuksella on positiivinen vaikutus kasvien kasvuun, mutta kokeessa 3 sumuttamattomat pöydät kasvoivat sumutettuja enemmän. Toki on huomionarvoista, että kolmannessa kokeessa pöytä 4, eli nanovettä saanut otsonisumuttamaton pöytä, oli kasvussaan huomattavasti muita pöytiä edellä tuntemattomasta syystä.

Otsonivesisumutuksessa oli monia ongelmia, jotka johtuivat pääasiassa seisovan veden käytöstä. Käytössä olleen läpivirtausgeneraattorin ongelmana oli vesisäiliön veden limoittuminen ja leväytyminen. Läpivirtausgeneraattori oli aluksi päällä vain 100 sekuntia yöaikaan. Kun huomattiin veden liika limoittuminen, yksi sumutussuutin ohjattiin vesisäiliöön, jolloin vesisäiliöllä olisi mahdollisuus desinfioitua. Yksi sumutussuutin ei kuitenkaan riittänyt pitämään 50 litran vesisäiliötä limattomana, vaan sumutusaikaa jatkettiin niin, että sumutusta tapahtuu viiden minuutin ajan, yöaikaan. Sumutusaikaa lisättiin siis samalla säiliöön, jonne yksi suutin sumutti vedenpinnan alle otsonivettä. Loput suuttimet, joita oli kahdeksan, sumuttivat kahta kasvatuspöydistä. [25]

Edes viiden minuutin sumutus ei riittänyt estämään vesisäiliön limoittumista, mikä kielii siitä, että veden otsonipitoisuus ei säiliössä noussut tarpeeksi korkealle tasolle, jotta vesi steriloituisi. Jotta limoittuminen saatiin hallintaan, säiliö täytyi myös pestä viikon välein. Näin limoittuminen saatiin pysymään hallittavalla tasolla. Myös letkuissa alkoi kasvamaan levää. Limaisuus laski 100 sekunnin sumutuksella otsoniveden otsonipitoisuutta, sillä otsoni reagoi letkujen limojen kanssa [25].

8.3 Kolmannen kokeen ongelmat

Kolmannessa kokeessa kasvu oli erittäin epätasaista. Mahdollisia syitä epätasaiselle kasvulle voi erilaisissa kasvatusympäristöissä olla useita, kuten muuttuvat sääolosuhteet ja kasvien erilainen kastelu, mutta koska koe tehtiin kasvihuoneessa, ei erilaiset sääolosuhteet pääse vaikuttamaan, varsinkaan pöydän vierekkäisiin kasveihin niin suuresti, kuin mitä kokeen kasveissa oli tapahtunut.

Myöskään kastelussa ei ole mitään selkeitä eroja, ja mikäli eroja olisi, olisi ne esimerkiksi rännikohtaisia tai niin, että rännin alkupää olisi erilainen loppupään verrattuna, esimerkiksi tilanteessa, jossa kasteluvettä säännösteltäisiin liian vähän, ja alkupään kasvit imisivät kaiken kasteluveden. Erot eivät kuitenkaan olleet rännikohtaisia tai eroja alku- ja loppupään välillä. On todennäköistä, että erot johtuivat kasvualustoista, eli turpeesta, johon basilikat istutettiin.

Huomattavaa kasveissa oli se, että vaikka kokeessa kolme kasvien keskimääräinen kasvupituus oli huomattavasti toisen kokeen viimeistä viikkoa pienempi, kasvien paino oli huomattavasti suurempi. Tämä johtui suurelta osalta siitä, että kokeessa kolme turve oli jostain syystä huomattavasti märempää kuin kokeessa yksi tai kaksi. Turve oli kerännyt osassa kasveja niin suuren määrän vettä, että kun kasvin nosti, siitä tippui vettä, ja vettä sai helposti puristettua kasvista. Syy tähän voi olla esimerkiksi erilaisessa turvelaadussa tai siinä, että kasvihuoneen lämmitys oli kolmannen kokeen aikana koko ajan pois päältä, vaikka ilma ei ollut koko ajan helteinen.

Mullan kosteus voi olla yhteydessä epätasaiseen kasvuun ainakin osittain. On mahdollista, että turve, jota kasvualustoissa käytettiin, ei jostain syystä ollut täysin tasalaatuista, ja osa turpeesta sitoi itseensä enemmän vettä, antaen kasville paremmat elinolosuhteet ja edesauttoi näin nopeampaa kasvua. Kuitenkin syy epätasaiseen kasvuun voi olla myös jokin aivan muu.

Koska kasvu oli niin epätasaista, basilikasato kypsyi hyvin eri tahtiin, mikä johti tilanteeseen, jossa osa sadosta oli korjattava ennen aikojaan. Tämä johti tilanteeseen, jossa mittauksia ei ehditty tekemään ennen osan sadon korjausta. Kuten aikaisemmin todettiin, satoa korjattiin pöydästä neljä valiten suurimpia kasveja. Tämä johti tulosten vääristymiseen kolmannen kokeen osalta, ja siten voidaan pohtia, onko kolmannen kokeen tuloksilla minkäänlaista vertailuarvoa.

8.4 Kannattavuuden arviointi

Koska sadonkorjuuaika basilikoilla ei merkittävästi muuttunut, nanokuplamenettelmä ei tämän tutkimuksen pohjalta anna haluttua hyötyä viljelylle. Kuitenkin kolmannessa kokeessa neljäs pöytä, joka oli saanut nanokuplavettä, oli kasvanut huomattavasti enemmän kuin viereiset pöydät, sillä pöydistä oli valikoitu silmänmääräisesti suurimmat kasvit, ja ne kaikki olivat pöydästä 4. Kolmannessa kokeessa kasvit saivat enemmän nanokuplia sisältävää vettä kuin aikaisemmissa kokeissa.

Lisäksi on huomioitavaa, että tässä tutkimuksessa tutkittiin nanokuplien vaikutusta ainoastaan huomattavan nopeakasvuiseen kasviin, basilikaan. Tämä tutkimus ei ota kantaa siihen, minkälaisia muutoksia saadaan hitaammin kasvaviin kasveihin ja kasveihin, jotka kasvattavat esimerkiksi vihanneksia tai hedelmiä.

Basilikat kasvatettiin nimenomaan myytäväksi sellaisenaan kasvuastiassaan. Tässä kokeessa ei tutkittu kasvun runsautta, vaan kriittinen tieto oli ainoastaan kasvin pituus. Nyt kasvin painoon vaikuttaa huomattavasti myös turpeen ja turpeen sisältämän veden paino. Pelkästä painosta ei siis voida päätellä, kasvoiko

jokin kasvi runsaampana. Mikäli basilikaa kasvatetaan myytäväksi painon mukaan (katkaistuilla varsilla tai kuivattuna), tämä olisi kriittinen tieto. Tämä työ ei ota kantaa siihen, saako nanovesi kasvit kasvamaan runsaampana.

Kuitenkin on huomionarvoista, että molemmissa kokeissa, joissa kasvit saivat koko viljelyajan nanokuplavettä, oli kasvua tapahtunut huomattavasti enemmän verrokkeihin verrattuna. Koska basilikoissa vaihteluväli pienien ja suurien yksilöiden välillä oli suurehkoa, niin yli kymmenen prosentin lisäys kasvuun on jo huomattava, ja yli 15 %:n lisä kasvuun voi tarkoittaa jo huomattavia lisätuloja viljelijälle.

Otsonivesisumutuksen tarkoitus oli pitää haitta-aiheet kurissa. Näitä ei kokeen aikana ilmennyt sumutusta saaneissa tai ilman sumutusta jääneissä kasveissa.

Menetelmän kannattavuuden arviointia pohtiessa on hyvä ottaa huomioon laitteen hankinta- ja asennuskustannusten lisäksi sen käyttökustannukset, jotka käytännössä koostuvat sähköstä ja tarvittaessa korjauksista, sekä vedestä. Tässä työssä ei tutkittu hankinta- eikä käyttökustannuksia, ja laitteiston hankijan tulisi selvittää nämä ennen laitteiston hankkimista. Otsoniveteen liittyvän laitteiston hankintaa harkitessa tulisi ottaa myös huomioon mahdolliset vähentyvät kasvinsuojelukulut.

Tässä tutkimuksessa ei saatu dataa siitä, kuinka paljon tuotantomäärät kasvoivat tai hävikki väheni, joten tässä tutkimuksessa ei myöskään oteta kantaa menetelmien kannattavuuteen.

8.5 Tulosten luotettavuuden arviointi

Tässä opinnäytetyössä tehtyä tutkimusta tai siitä saatuja tuloksia ei voida pitää tieteellisesti luotettavana. Tutkimuksesta saadut tulokset ovat kuitenkin suuntaa antavia. Se, miksi tuloksia ei voida pitää luotettavina, johtuu mittausolosuhteiden jatkuvista muutoksista. Lisäksi kokeiden loputtua huomattiin joukko suureita, joita tutkimuksessa ei huomioitu.

Tilan tai kasteluveden lämpötilaa ei mitattu. Tilan lämpötila muuttui jatkuvasti vallitsevien sääolosuhteiden mukaan, ja veden lämpötila oli myös altis muutoksille, sillä se oli kosketuksissa huoneilman kanssa säiliössä sekä lämpeni putkissa. Ilman lämpötila oli kuitenkin sama kaikille kasveille, sillä kasvit kasvoivat samassa tilassa, tilan keskiosassa ja näin ollen lämpötilan muutokset pysyivät samanlaisina kaikille kasveille.

Otsonivesisumutuksessa oli muutama ongelma, joka johti siihen, että tutkimus ei ole luotettava. Ensimmäinen ja merkittävin tekijä on se, että sumutukset tehtiin ilman tilanjakajia. Alun perin tutkimukseen oli suunniteltu tilanjakajat, jotta sumutus vaikuttaisi ainoastaan halutuille kasveille, mutta käytännön syistä näin ei pystyttykään tekemään. Näin ollen sumutus levisi myös niihin kahteen pöytään, johon otsonivesisumutusta ei ollut tarkoitettu. Tämä huomioitiin siten, että otsoniveden vaikutusta tutkittaessa otettiin huomioon ainoastaan sumuttamattomien pöytien ne rivit, jotka saivat vähiten sumutusta osakseen, mutta on silti todettava, että otsonisumutuksen tulokset ovat erittäin suurpiisteisiä ja kertovat enemmänkin vähäisen ja suuremman määrän sumutuksen vaikutuksen eroista.

Toinen ongelma otsonisumutuksessa oli se, että sen määrää jouduttiin säätämään useampaan kertaan, jolloin tulokset eivät ole jatkuvasta, samalla tavalla tapahtuvasta sumutuksesta. Tämän vuoksi tutkimus ei ole toistettavissa.

Otsonivesisumutus ei ole ainoa, jonka määrää muutettiin kesken tutkimuksen, vaan myös nanokuplageneraattorin käynnissä olemisen aikaa muutettiin kesken tutkimuksen. Nanokuplien pitoisuutta vedessä ei myöskään missään vaiheessa mitattu mittalaitteiston erittäin korkean hinnan vuoksi.

Tässä tutkimuksessa myös tutkittiin sitä, miten happinanokuplat vaikuttavat veden laatuun. Kuitenkin mikäli halutaan tutkia nanokuplien suoraa vaikutusta kasvien kasvuun, veden laadun tulisi olla jo hyvällä tasolla, mitä tässä tutkimuksessa vesi ei ollut.

9 Yhteenveto ja jatkotutkimusaiheet

Työn tarkoituksena oli selvittää, mitä vaikutusta nanokuplavedellä ja otsonivedellä on kasvavaan basilikaan ja onko menetelmien käyttö resurssitehokasta. Tässä työssä ei saatu vastauksia haluttuihin kysymyksiin, ja tulokset jäivät epävarmoiksi. Selkeitä tuloksia ja vastauksia ei saatu. Tämä johtuu osittain siitä, että työn alussa ei tarpeeksi tarkkaan määritelty tutkittavia suureita ja niiden mitattarkkuutta ja osaltaan siitä, että kaikissa kokeissa oli teknisiä vaikeuksia, sekä osittain siitä, että koe ei ollut riittävän eristetty ja koeasetelmassa oli virheitä. Myös laitteisto oli kaikille kokeessa mukana olleille uutta, joten tutkimuksen aikana laitteistoihin tehtiin lukuisia säätöjä, jolloin kasvuolosuhteet eivät pysyneet samana.

Koska kasveille menevää vesimäärää, otsonivesilaitteen käynnissä oloaika sekä nanokuplageneraattorin käynnissä oloaika muutettiin useita kertoja kesken mittausten, tulokset ei ole vertailukelpoisia keskenään. Näiden lisäksi myös kasvuolosuhteet vaihtelivat: valoisuus, tilan lämpötila ja kosteus vaihtelivat kokeen aikana. Näitä olisi ollut hyvä mitata, jotta kokeen toistettavuus ja luotettavuus olisivat parantuneet.

Kokeen suurimmat ongelmat liittyvät koeasetelman riittämättömään eristykseen. Huomattavimpana näistä on se, että kokeessa ei eristetty otsonisumua saavia tai otsonisumuttamattomia kasveja toisistaan, jolloin kaikki kasvit saivat osakseen sumua. Tämän lisäksi ongelmia tuotti se, että kolmannessa kokeessa neljännessä pöydästä kerättiin kasveja etukäteen ennen mittauksia.

Työstä saatiin suuntaa antavaa tietoa, jonka pohjalta voidaan tehdä jatkotutkimuksia. Jatkotutkimuksen aiheena voisi olla tämän kokeen uusinta hallitumissa olosuhteissa, toisena tutkimuksena taas vaikutus basilikan runsauteen esimerkiksi vertaamalla katkaistujen vihantojen painoa. Kolmantena tutkimuksena voisi olla jokin pidemmän kasvuajan omaava kasvi. Neljäntenä tutkimuskohteena voisi olla kasvi, joka tuottaa marjoja, hedelmiä tai vihanneksia, kuten

tomaatti, ja verrata tomaattien tuotantomääriä. Viides tutkimuskohde olisi otsonivesisumutuksen vaikutus basilikaan, mutta tällä kertaa tutkimusasetelmassa, jossa sumutus osuisi ainoastaan sumutettaville kasveille.

Jatkotutkimuksessa tulee ottaa huomioon myös tätä koetta tarkemmin ympäristön olosuhteet, ja kaikki ympäristön olosuhteet, kuten lämpötila, kosteus ja valo tulisi pitää yhtenäisenä koko kokeen ajan. Lisäksi koeasetelmaa käsittelevien ihmisten tulisi kaikkien olla tietoisia kaikista koeasetelmaan vaikuttavista tekijöistä, jolloin kaikki ylimääräiset, kokeen tuloksiin epävarmuutta tuovat tekijät saataisiin kokeessa minimoitua.

Otsonivesisumutusta tutkiessa olisi tärkeää, että otsonivettä saavat ja ilman otsonivettä kasvavat kasvit eristettäisiin hyvin toisistaan. Tässä kokeessa kävi niin, että todennäköisesti kaikki kokeen kasvit saivat otsonivettä jonkinlaisella pitoisuudella. Lisäksi otsonivesisumutuksen verrokkiryhmän tulisi saada yhtäläinen määrä vesisumua osakseen, jotta pelkän vesisumun vaikutus voidaan poissulkea. On mahdollista, että pelkkä vesisumutus esimerkiksi joko nopeuttaa tai hidastaa kasvien kasvua, sillä kasvit eivät välttämättä tällöin ota yhtäläistä määrää vettä juurien kautta. Tässä kokeessa suositeltaisiin kolmea ryhmää: vesisumutusta, otsonivesisumutusta ja sumuttamattomia. Kolmen ryhmän suositelu johtuu siitä, että monille basilikan haitta-aiheille vesisumutus voi olla erinomainen kasvuympäristö, joten molemmat, sekä sumutus että sumuttamatta jättämäinen, ovat tutkimisen arvoisia verrokkiryhmiä.

Kun nanokuplien vaikutusta seuraavan kerran tutkitaan, sitä tulisi tutkia suuremmalla nanokuplamäärällä, jotta mahdolliset muutokset olisivat herkemmin havaittavissa.

Lähteet

- 1 What are Nanobubbles, 2022. Bauer Nanobubbles. Verkkoaineisto < <https://www.nanobubbles.com/what-are-nanobubbles/>> Luettu 7.4. 2022.
- 2 Pöntynen, Simo, 2016. Nanokuplat ja niiden hyödyntäminen. Kandidaatintyö. Lappeenrannan yliopisto. Theseus-tietokanta.
- 3 Vehmas, T. & Makkonen, L. 2021. Metastable Nanobubbles. ACS Omega, 6(12), s.8021–8027.
- 4 Ahmed Khaled Abdella Ahmed, Xiaonan Shi, Likun Hua, Leidy Manzueta, Weihua Qing, Taha Marhaba, & Wen Zhang, 2018. Influences of Air, Oxygen, Nitrogen, and Carbon Dioxide Nanobubbles on Seed Germination and Plant Growth. Journal of Agricultural and Food Chemistry 2018
- 5 Innovative technologies for nanobubble generation, 2022. Acniti. Verkko-lähde. < <https://www.acniti.com/technology/nanobubble-generation/>> Luettu 6.9.2022.
- 6 United States Environmental protection agency (2016). What is ozone? | US EPA. US EPA. Verkkoaineisto < <https://www.epa.gov/ozone-pollution-and-your-patients-health/what-ozone>>. Luettu 10.2.2023.
- 7 Takeuchi, K, 2005. Ozone. Elsevier Ltd. Encyclopedia of Analytical Science (second edition) s. 462—471.
- 8 Audran, G., Marque, S.R.A. & Santelli, M. 2018. Ozone, chemical reactivity and biological functions. Tetrahedron Volume 74, Issue 43.
- 9 Woodard, J. 2021. What is Ozone Water Treatment and How Does It Work Fresh Water Systems. Verkkoaineisto < <https://www.freshwatersystems.com/blogs/blog/what-is-ozone-water-treatment-and-how-does-it-work>> Luettu 10.2.2023.
- 10 Okada, F. and Naya, K. (2012). Electrolysis for Ozone Water Production. IntechOpen. Verkkoaineisto <<https://www.intechopen.com/chapters/40143>> Luettu 15.2.2023.
- 11 Luomutuotanto ja luomuruoka, 2022. Luonnonvarakeskus. Verkkoaineisto <<https://www.luke.fi/tietoa-luonnonvaroista/ruoka-ja-ravitsemus/luomutuotanto/>> Luettu 29.3.2022.

- 12 Principles of organic agriculture preamble, 2020. IFOAM. Verkkoaineisto <<https://www.ifoam.bio/principles-organic-agriculture-brochure>> Luettu 3.5.2023.
- 13 Maa- ja metsätalousministeriö. 2022. Luomulainsäädäntö. Verkkoaineisto <<https://mmm.fi/luomu/luomulainsaadanto>> Luettu 29.3.2022.
- 14 Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EU) 2018/848 luonnonmukaisesta tuotannosta ja luonnonmukaisesti tuotettujen tuotteiden merkinöistä ja neuvoston asetuksen kumoamisesta (EY) N:o 834/2007
- 15 Luomutuotannolla voidaan ruokkia maapallon kasvava väestö kestäväällä tavalla, 2018. Luomuinstituutti. Verkkoaineisto <<https://luomuinstituutti.fi/luomutuotannolla-voidaan-ruokkia-maapallon-kasvava-vaesto-kestavalla-tavalla/>> Luettu 30.3.2022.
- 16 Borg, Pekka & Joutsenvirta, Maria, 2015. Maapallo ja me: luonnonvarat ja kasvun rajat. Docento.
- 17 Muller, A., Schader, C., El-Hage Scialabba, N., Brüggemann, J., Isensee, A., Erb, K.-H., Smith, P., Klocke, P., Leiber, F., Stolze, M. & Niggli, U. 2017. Strategies for feeding the world more sustainably with organic agriculture. Nature Communications, 8(1).
- 18 Chalmers University of Technology. (2018). Organic food worse for the climate?. ScienceDaily. Verkkoaineisto < <https://www.sciencedaily.com/releases/2018/12/181213101308.htm>> Luettu 3.5.2023.
- 19 Muuntogeeniset elintarvikkeet, 2022 Ruokavirasto. Verkkoaineisto <<https://www.ruokavirasto.fi/henkiloasiakkaat/tietoa-elintarvikkeista/muuntogeeniset-elintarvikkeet/>> Luettu 25.4.2022.
- 20 Bertalan Galambosi, 1993. Luonnonmukainen yrttiviljely. Opetushallitus ja painatuskeskus Oy.
- 21 Basil, 2022. Plantvillage. Verkkoaineisto < <https://plantvillage.psu.edu/topics/basil/infos>> Luettu 11.11.2022.
- 22 Kirva, 2022. Hyönteismaailma. Verkkoaineisto <<https://hyonteismaailma.fi/hyonteiset/piha-ja-puutarha/kirva/>> Luettu 23.11.2022.
- 23 Kirvat, 2022. Ötökkätieto. Verkkoaineisto < <https://www.otokkatieto.fi/cat?id=6>> Luettu 23.11.2022.
- 24 How does an Oxygen Concentrator work?, 2023. oxygentimes.com Verkkoaineisto. < <https://www.oxygentimes.com/guides/how-oxygen-concentrators-work>> Luettu 21.3.2023.

- 25 Tuominen, Sami, 2022. Aeropod Oy, tekninen asiantuntija, henkilökohtainen tiedonanto 5—9/2022.
- 26 Kulmala, Mika, 2022. Kulmalan Puutarha, Henkilökohtainen tiedonanto 26.7.2022.
- 27 Kaivoveden analyysitulkki, 2009. Syke. Verkkoaineisto < <https://www.ymparisto.fi/kaivot/analyysitulkki>> Luettu 5.5.2023.
- 28 Opas analyysitulosten tulkintaan: Talousvedet, 2022. Savo-Karjalan Ympäristötutkimus Oy. Verkkoaineisto <<https://vaouiuvbfhvl.cdn.shardcms.com/analyysitulosten-tulkinta.pdf>> Luettu 5.5.2023.
- 29 Bicarbonate, 2022. Unitslab.com. Verkkoaineisto <<https://unitslab.com/node/92>> Luettu 21.3.2023.
- 30 Hortilab Ab Oy, 2022. Henkilökohtainen tiedonanto 7—9/2022.
- 31 Ilma jota hengitämme, 2021. Euroopan ympäristökeskus. Verkkoaineisto <<https://www.eea.europa.eu/fi/ymparisto-signaalit/signaalit-2013/artikkelit/ilma-jota-hengitamme>> Luettu 29.4.2023.