



Osaamista  
ja oivallusta  
tulevaisuuden  
tekemiseen

Koba Koivisto

# Humalan hydroponinen sisäviljely

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Bio- ja kemiantekniikka

Insinöörityö

15.08.2021

<p>Tekijä Otsikko</p> <p>Sivumäärä Aika</p>	<p>Koba Koivisto Humalan hydroponinen sisäviljely</p> <p>36 sivua + 2 liitettä 15.8.2021</p>
<p>Tutkinto</p>	<p>insinööri (AMK)</p>
<p>Tutkinto-ohjelma</p>	<p>Bio- ja kemiantekniikka</p>
<p>Ammatillinen pääaine</p>	<p>Bio- ja elintarviketekniikka</p>
<p>Ohjaajat</p>	<p>toimitusjohtaja, Henri Laine, Redono Oy lehtori Carola Fortelius-Sarén</p>
<p>Tämän insinööritöiden tavoitteena oli tutkia humalan sisätiloissa tapahtuvan vesiviljelyn vaatimuksia projektia varten rakennetussa 20-paikkaisessa vesiviljelyjärjestelmässä. Toteutuksessa keskityttiin humalan kasvattamiseen ensimmäiseen sadonkorjuuseen saakka sekä kasvatuksen vaatiman vesiviljelylaitteiston kehittämiseen prototyypin pohjalta.</p> <p>Tämän lisäksi tavoitteena oli selvittää kokeellisesti humalakäpyjen saanto, kasvatukseen kuluva aika, sekä kasvatukseen vaaditut resurssit. Tavoitteena oli myös selvittää mahdollisia ongelmia liittyen humalan sisätiloissa tapahtuvaan vesiviljelyyn.</p> <p>Humalan todettiin kasvavan nopeasti vesiviljelyjärjestelmässä ja vähintään kahden vuosittaisen sadon kasvattaminen vaikuttaa mahdolliselta. Kasvatukseen käytetty sähkönkulutus sekä puhtaan veden ja lannoitteiden tarve oli projektin aikana vähäistä, ja näiltä osin projektin tuloksia voidaan pitää onnistuneena.</p> <p>Koska kasvatustilaan pesiytyi vihannespunkkeja, projekti päätettiin lopettaa ennenaikaisesti ennen kukintojen kypsymistä. Tästä syystä kasvikohtaista humalakäpyjen saantoa ei saatu laskettua.</p>	
<p>Avainsanat</p>	<p>humala, vesiviljely, ravinteet, vedenlaadun seuranta</p>

Author Title	Koba Koivisto Hydroponic Indoor Growing of Hops
Number of Pages Date	36 pages + 2 appendices 15 August 2021
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Biotechnology and Chemical Engineering
Professional Major	Biotechnology and Food Engineering
Instructors	Henri Laine, CEO Redono Oy Carola Fortelius-Sarén, Senior Lecturer
<p>The aim of this thesis was to study the requirements for indoor cultivation of hops in a 20-bed hydroponic system built for the project. The implementation focused on growing hops until the first harvest and on developing the prototype of hydroponic equipment required for growing hops.</p> <p>In addition, the objective was to investigate the yield of hop cones, the time needed for full crop cycle, and other resources required for cultivation. Also one of the main objectives was to find possible challenges related to the hydroponic indoor cultivation of hops.</p> <p>Hops were found to grow rapidly in the hydroponic system and at least two annual harvests seem possible. The electricity consumption used for cultivation and the need for clean water and fertilizers were low during the project, and in these respects the results of the project can be considered successful.</p> <p>As the project was infected by mites, it was decided to terminate the project prematurely before the first harvest ripened. For this reason, the yield of hop cones could not be calculated.</p>	
Keywords	hops, hydroponic farming, nutrients, water quality control

# Sisällys

## Lyhenteet

1	Johdanto ja insinööriyön tavoitteet	1
2	Hydroponinen viljely	2
2.1	Aktiivinen vesiviljely	3
2.2	Passiivinen vesiviljely	4
2.3	Kasvualustat vesiviljelyjärjestelmissä	4
3	Humala	6
3.1	Humalan käyttö oluen raaka-aineena	6
3.2	Humalan kasvatuksen vaatima tila	7
3.3	Humalan tarvitsemat ravintoaineet	8
3.3.1	Pääravintoaineet	9
3.3.2	Makroravintoaineet	9
3.3.3	Mikroravintoaineet	10
4	Materiaalit ja menetelmät	11
4.1	Laitteiston kuvaus	13
4.1.1	Vedenkierto ja -laadunhallinta	15
4.1.2	Valaistus	17
4.1.3	Kasvualusta	19
4.1.4	Tuuletus ja ilmankosteus	20
4.2	Lannoitteet	21
4.3	Projektissa käytetty humala	22
4.4	Johtokyky- ja pH-mittaukset	22
4.5	Näytteenotto	24
5	Tulokset	25
5.1	Energiankulutus	26
5.2	Vedenkulutus	27
5.3	Ravinteiden kulutus	27
5.4	Ensimmäiseen satoon vaadittu kasvatusaika ja työvoima	28
6	Tulosten tarkastelu	29

6.1	Edut maaperäviljelyyn verrattuna	29
6.2	Havaittuja haasteita ja ongelmia	29
7	Yhteenveto	32
	Lähteet	34
	Liitteet	
	Liite 1. Laskennallinen sähkönkulutus projektin aikana	
	Liite 2. Vesisäiliöön lisätty vesi, ravinteet ja lisäravinteet	

## 1 Johdanto ja insinööriyön tavoitteet

Insinööriyön tavoitteena oli tutkia humalan sisätiloissa tapahtuvan vesiviljelyn vaatimuksia ja edellytyksiä sekä pyrkiä optimoimaan kasvatusolosuhteet sisätilassa tapahtuvaa ympärivuotista viljelyä varten. Suurin mahdollinen kotimaassa kasvatetun humalan sovelluskohteista olisi panimoteollisuudessa oluen panemisen raaka-aineena. Tällä hetkellä valtaosa kotimaisen panimoteollisuuden käyttämä humala on ulkomailta maahantuotua, eikä markkinoilla ole saatavilla tarpeeksi kotimaisia humalaa vastaamaan panimoteollisuuden tarpeisiin.

Kotimaisesti tuotetulla humalalla ja eritoten kotoperäisillä humalalajikkeilla arvellaan olevan huomattavat markkinat, johon ei nykyinen tarjonta riitä vastaamaan [Humalan viljely kehitty – missä nyt mennään 2021].

Insinööriyön kokeellinen osuus suoritettiin Metropolian Myyrmäen kampukselle rakennetussa Urbanfarmlab-tilassa, missä projektiin kasvatettiin huhtikuusta 2019 lähtien kahtakymmentä humalakasvia vesiviljelyjärjestelmässä.

Toteutuksessa keskityttiin humalan kasvattamiseen ensimmäiseen sadonkorjuuseen saakka sekä kasvatuksen vaatiman vesiviljelylaitteiston kehittämiseen. Syynä rajaukseen oli aikataulutus. Tavoitteena oli selvittää kasvatuslaitteiston prototyypin avulla mahdollisia ongelmatilanteita ja muita tuotannollisia riskejä, sekä kartoittaa kokemuksia humalan kasvatuksessa sisätiloissa.

Tämän lisäksi tavoitteena oli tutkia humalakäpyjen saanto, kasvatukseen kuluva aika, kasvatukseen vaaditut resurssit, sekä selvittää mahdollisia ongelmia liittyen humalan hydroponiseen sisäkasvatukseen.

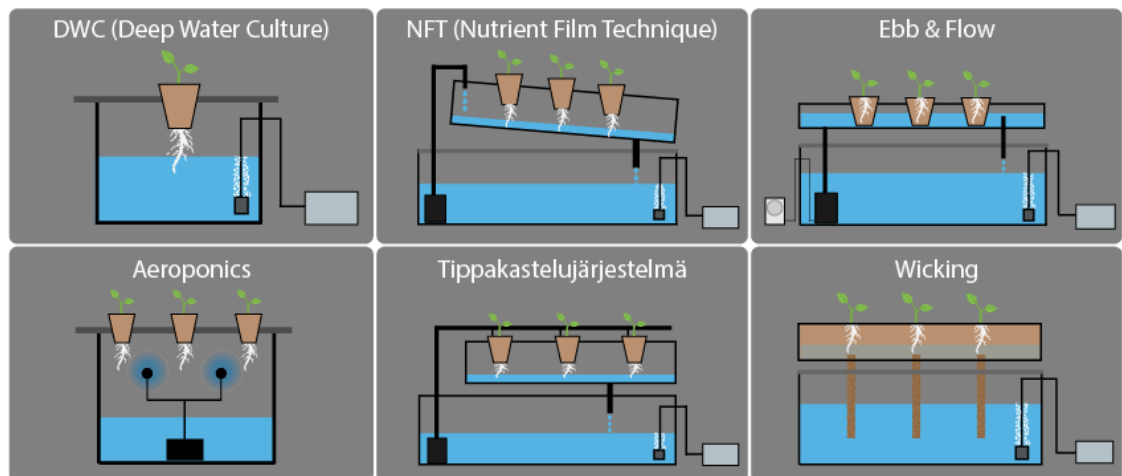
Oluen paneminen kasvatetusta humalasta sekä muu mahdollinen humalan hyödyntäminen rajattiin tämän insinööriyön ulkopuolelle työn laajuuden vuoksi.

## 2 Hydroponinen viljely

Hydroponinen viljely eli vesiviljely on kasvatustekniikka, jossa kasveja kasvatetaan mullan sijasta inertissä väliaineessa, jolloin kasvit saavat ravinteita kasteluveteen lisätyistä vesiliukoisista lannoitteista [Vesiviljelyn perusteet 2020].

Kasvatusalustan väliaineen valintaan vaikuttaa muun muassa käytettävä vedenkierron tekniikka, kasvatuksessa olevat kasvit, väliaineen saatavuus sekä hinta ja muut tekijät kuten käytettävissä oleva tila [Aires 2017; Kowalczyk ym. 2016].

Erilaiset vesiviljelyjärjestelmät voidaan jakaa esimerkiksi aktiivisiin ja passiivisiin tekniikoihin sen mukaan, pumpataanko ravinneliuosta kasveille aktiivisesti vesipumpun avulla vai ovatko kasvien juuret suoraan kosketuksissa vesisäiliössä (kuva 1) olevaan ravinneliuokseen. Seuraavissa luvuissa tämä on kerrottu tarkemmin.



Kuva 1. Esimerkkejä erityyppisistä vesiviljelyjärjestelmistä. Kaikissa kuvissa näkyvissä ravinnevesisäiliö ja kasvatusalustaan istutetut kasvit. Mustalla vesipumppu (tässä tapauksessa oppovesipumppu) sekä harmaalla ilmapumppu, joka pumppaa vesisäiliöön ilmakiven läpi ilmaa. [Vesiviljelyn perusteet 2020]

## 2.1 Aktiivinen vesiviljely

Aktiivisella vesiviljelyllä tarkoitetaan sitä, että vettä siirretään aktiivisesti kasvien juurille vesipumpun avulla. Passiivisessa viljelyssä tämänlaista aktiivista siirtämistä ei tapahdu. [Aires 2017; Vesiviljelyn perusteet 2020]

Ravinneliuosta syötetään aktiivisesti kasveille/juurille esimerkiksi seuraavin menetelmin:

*Ebb and flow / flood and drain:* järjestelmässä yleensä laaja-alainen väliaineella täytetty kasvatuskaukalo tai -ruukku sekä ravinneliuossäiliö. Pumppu täyttää säännöllisesti kasvatuskaukalon ravinneliuksella, joka tulvimisen jälkeen valuu hitaasti pois. Tässä järjestelmässä kasveja kasvatetaan tavallisesti vettä raskaammassa väliaineissa, kuten kivivillassa, vulkaanisessa kivessä tai kivisorassa.

*Nutrient film / NFT:* ravinneliuosta pumpataan jatkuvatoimisesti kasvatuskaukaloon siten että alusta on jatkuvasti kosteana. Kasvatuskaukaloon muodostuu tällöin biofilmi, josta kasvit saavat ravinteet.

*Drip feed:* pisarakastelujärjestelmä, jossa ravinneliosta tiputetaan pisaroina kasvatusruukkuun kasvien tyveen. Usein ruukun alla on vesisäiliö, johon ravinneliuos valuu takaisin painovoimaisesti.

*Dutch bucket / Bato bucket:* ruukkuja, joissa ruukun alaosassa on ylivuotoventtiili ja pieni vesitila. Ruukkuja kastellaan säännöllisin väliajoin, kunnes osa ravintoliuksesta valuu ylivuotoventtiiliä pitkin pois. Menetelmä on hyvin lähellä ebb and flow sekä drip feed menetelmien risteyksiä. [Storey, A. 2016].

*Aeroponinen järjestelmä:* ravinneliuos sumutetaan suoraan kasvien juurille siten, että juuret kasvavat vapaasti ilman kasvualustaa. Kasvi on tuettu tyvestä järjestelmän ylälaitaan, jolloin juurien ei tarvitse kasvaa niin pitkiksi ja vahvoiksi.



## 2.2 Passiivinen vesiviljely

Passiivisessa vesiviljelyssä vesi ja ravinteet siirtyy kasvien juurille passiivisesti, joko kasvin tai kasvin juurien kasvaessa suoraan vedessä, tai kapillaari-ilmiötä hyödyntäen. Alla muutamia esimerkkejä passiivisesta vesiviljelystä.

*Altakasteluruukku*: yksinkertainen tapa, jossa ruukun pohjalla olevasta vesisäiliöstä vesi tai ravinneliuos imeytyy ruukussa olevaan kasvualustaa. Altakasteluruukku käytetään usein myös mullan kanssa kodin koristekasveille.

*Wick-menetelmä*: vesi johdetaan esimerkiksi narun tai tikun avulla ("wick") vesisäiliöstä kasville.

*Deepwater culture*: kasvit tai kasvien juuret ovat suoraan hapetetussa ravinneliuoksessa.

*Floating rafts ("kelluvat lautat")*: deepwater culturen tapaan kasvit ovat suoraan vesisäiliössä, jonka pinnalla esimerkiksi styroksista tehtyjä kelluvia "lauttoja" jossa kasvit kasvavat.

## 2.3 Kasvualustat vesiviljelyjärjestelmissä

Vesiviljelyssä käytetään mullan sijasta kasvualustaa, jonka tehtävänä on tukea ja suojata kasvin juuria kuivumiselta sekä valolta. Useimmat vesiviljelyssä käytettävät kasvualustat ovat inerttejä, eli ne ovat pH-arvoltaan neutraaleita, eivätkä itsessään sisällä kasvien tarvitsemia ravinteita tai hivenaineita. [Barrett ym. 2016; Kowalczyk ym. 2016]. Alla olevassa taulukossa 1 listattuna yleisimmät vesiviljelyssä käytettävät kasvualustat jaettuna orgaanisiin ja epäorgaanisiin kasvualustoihin.

Taulukko 1. Taulukko 1. Tyypillisimpiä vesiviljelyssä käytettäviä kasvualustoja

<b>Epäorgaaniset</b>	<b>Orgaaniset</b>
Perliitti	Selluloosa ja hemiselluloosaa
Hiekka, kevytsora	Kookoskuitu
Kivivilla eli mineraalivilla	Turve
Vermikuliitti	Rahkasammal
Vulkaaninen kivi	Siementen ja jyvien kuoret

Sopivan kasvualustan valinnassa on huomioitava useita tekijöitä, kuten:

- valittu vesiviljelytekniikka
- kasvien määrä
- kasvatettavan kasvin ominaistarpeet
- uudelleenkäytettävyys
- kosteudensidontakyky
- pölyävyys
- paino ja tiheys
- hinta ja saatavuus.

Sopivan vesiviljelyjärjestelmän ja kasvualustan valitseminen riippuu kasvatettavista kasveista ja niiden ominaisuuksista, sekä kasvatustilan asettamista rajoitteista. Insinööriyössä käytetty laitteisto kuvattuna luvussa 4.1.

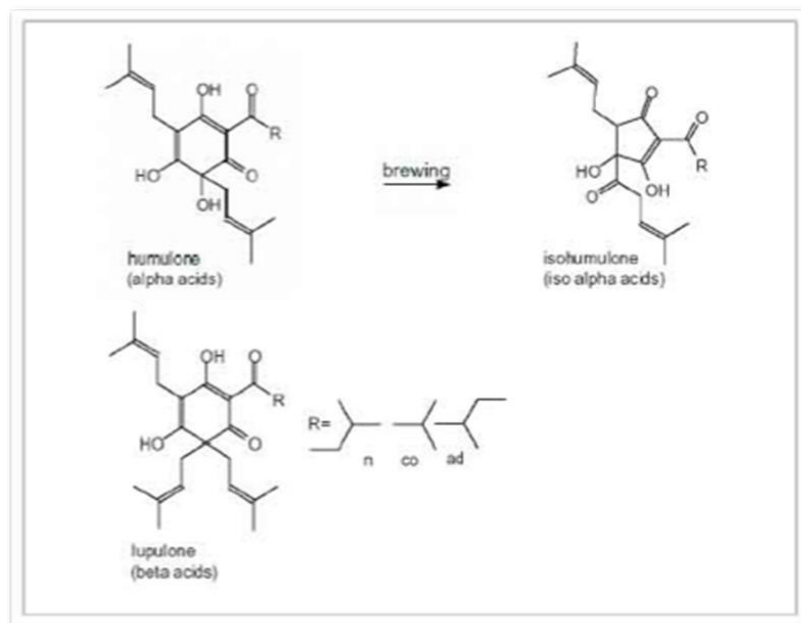
### 3 Humala

Humala (*Humulus lupulus*) on monivuotinen hampun- ja nokkosensukuinen ruohovartinen köynnöskasvi, jota tavataan Suomesta luonnonvaraisena lähes koko maassa Pohjois-Lappia lukuun ottamatta. [Lampinen & Lahti 2018; Dodds 2017].

#### 3.1 Humalan käyttö oluen raaka-aineena

Humala on olennainen raaka-aine oluen valmistuksessa veden, hiivan ja maitaiden lisäksi. Humalan kasvattamien humalakäpyjen sisältämä lupuliini sisältää runsaasti  $\alpha$ - ja  $\beta$ -happoja sekä aromaattisia öljyjä, jotka tuovat olueen sille ominaisen maun ja tuoksun. [Machado ym. 2019.]

Alla olevassa kuvassa 2 esitetty humalan lupuliinin kemiallisessa rakenteessa tapahtuva muutos.



Kuva 2. Kemiallisesti merkittävintä oluen panemisen kannalta on humalan lupuliini, joka sisältää  $\alpha$ - ja  $\beta$ -happoja, sekä useita eri aromaattisia öljyjä. [Hops: Anatomy and Chemistry 101]

Oluen valmistuksessa käytetään yleensä useampien eri lajikkeiden humalakäpyjä. Nämä lajikkeet jaetaan perinteisesti aromi- ja katkerohumaliin. Aromihumalia käytetään

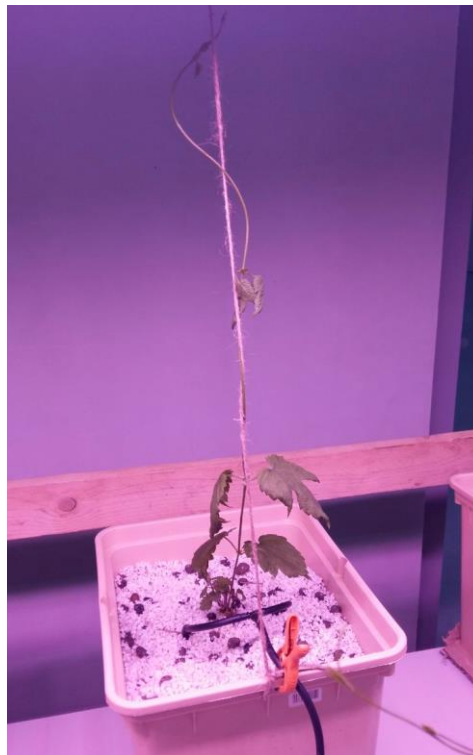
tuomaan olueen makua sekä tuoksua, katkerohumalia käytetään karvauuden ja säilyvyyden parantamiseksi, sekä parantamaan vaahdon koostumusta. [Machado ym. 2019]. Usein käytetään enempää kuin yhtä humalaa, ellei kyseessä ole ns. single-malt humala kuten Cascade [Cascade Hops 2017; Cascade 2018].

### 3.2 Humalan kasvatuksen vaatima tila

Humalan kasvatusta vaatii runsaasti tilaa, sillä humala voi kasvaa jopa 6 metriä korkeiksi köynnöksiksi. Pitkät köynnökset kasvavat takertuen toisiinsa ja näin muodostavat tuuhean kasvuston.

Humala kykenee kasvamaan noin 4–24 °C:n lämpötilassa, mutta suuren sadon kannalta optimilämpötila useimmille eurooppalaisille humalalajikkeille on noin 18–24 °C ja suhteellinen ilmankosteus noin 55–75 % [Hydroponic Hops 2017; Rossini ym. 2021].

Kuvassa 3 nuori humalakasvin taimi nousemassa tukinarua pitkin. Tukinarujen tehtävä on toimia tukena humalaköynnöksille ja auttaa köynnöksiä nousemaan ylöspäin.



Kuva 3. Humalan köynnös nousemassa tukinarua pitkin. Köynnös kasvaa ensin maanmyötäisesti, mutta taivuttamalla köynnös tukinarun ympärille se jatkaa kiipeämistä narua pitkin.

### 3.3 Humalan tarvitsemat ravintoaineet

Yhteyttävät kasvit tarvitsevat veden, valon ja hiilidioksidin lisäksi myös useita ravinteita. Maaperän multa sisältää usein kaikkia kasvien tarvitsemia ravinteita, mutta vesiviljelyssä ravinteet tulee lisätä kasvien kasteluveteen. Tästä syystä kaupallisesti valmistetut vesiviljelyyn soveltuvat lannoitteet ovat vesiliukoisia ja tyypillisesti kidemuodossa, esimerkiksi typpinitraatti.

Seuraavassa kappaleissa on listattu humalan vaatimat ravintoaineet, jotka jaotellaan pää-, makro-, ja mikroravintoaineisiin.

Pääravintoaineet; typpi, fosfori, sekä kalium. Nämä ovat useimmille kasveille määrällisesti merkittävimmät ravinteet.

Makroravintoaineet; kalsium, magnesium ja rikki. Näitä usein kutsutaan "lisäravinteiksi", joita lisätään ravinneliuokseen pääravintoaineiden lisäksi.

Mikroravintoaineet; rauta, mangaani, boori, sinkki, kupari, molybdeeni ja kloori. Kasvit tarvitsevat yleensä vain hyvin vähäisiä määriä mikroravinteita. Useimmat kaupalliset lannoitteet sisältävät pieniä määriä näitä, joten mikroravintoaineita ei jossain tapauksissa tarvitse lisätä vesiviljelyjärjestelmään.

Ravinteiden tarve kasville riippuu vahvasti kasvusyklin vaiheesta. Esimerkiksi typen kulutus on suurimmillaan kasvusyklin alkupuolella kasvin koon ja biomassan lisääntyessä voimakkaasti, kun taas fosforin kulutus on suurimmillaan syklin lopulla kasvien sadon kypsyessä.

Näiden ravintoaineiden rooli humalan sekä muiden kasvien kasvatuksessa on lainattu Hops – a guide for new growers -kasvatusoppaasta sekä YK:n elintarvike- ja maatalousjärjestön julkaisusta Plant nutrition for food security [Dodds 2017; Roy ym. 2006.]

Ravinneaineiden tavoitearvot humalalle ovat lainattu Hydroponic Hops – kasvatusoppaasta sekä [Hydroponic Hops 2017.] Humalakasvin terveen kasvun tavoitepitoisuudet ravinneliuoksessa on lueteltu ppm-arvoina (parts per million).

### 3.3.1 Pääravintoaineet

Pääravintoaineet kaikille kasveille ovat typpi, fosfori ja kalium (NPK). Tavallisesti näiden keskinäinen suhde on ilmoitettu NPK-lukuna kaupallisissa lannoitteissa:

- Typpi: Usein tärkein ravinneaine kasvien biomassan tuottamisessa. Lehtien sekä varren kasvaminen vaatii runsaasti typpeä. Riittämätön typpi vähentää kasvua ja lehdet muuttuvat vaalean kellertävän vihreiksi. Liian suuri määrä typpeä hidastaa aiheuttaa kaliumin puutteen. Tavoitepitoisuus humalalle 100–175 ppm.
- Fosfori: Kriittinen kasvin siementen, kukkien, hedelmien ja käpyjen tuottamisessa. Mikäli fosforia on liian vähän, kasvin kukinta hidastuu ja lehdet putoavat ennenaikaisesti. Kasvit, jotka eivät saa riittävästi fosforia tuottavat sinertävän vihreitä ja reunoiltaan ruskeiksi lehtiä. Liiallinen fosfori voi estää kaliumin imeytymisen. Tavoitepitoisuus humalalle 35–50 ppm.
- Kalium: Edistää kasvin taudinsietokykyä. Ilman riittävää määrää kaliumia kasvu hidastuu ja lehdet kasvavat rykelmissä. Lehtienkärjet ja reunat muuttuvat ruskeiksi ja käpristyvät. Tavoitepitoisuus humalalle 200–240 ppm.

### 3.3.2 Makroravintoaineet

Makroravintoaineet eli ”lisäravinteet” ovat ravinteita, joita kasvit tarvitsevat suuria määriä kasvaakseen. On huomioitavaa, että tässä listassa olevan kalsiumin tarve on humalalla suurempi kuin pääravintoaineiksi luettavan fosforin. Koska kalsiumia ei ole tavallisesti ole luettu kuuluvan pääravinteisiin, niin se on listattu tähän:

- Kalsium: Tärkeä ravinneaine soluseinämien muodostumisessa sekä juurten kasvussa. Ilman riittäviä kalsiumia lehdet muuttuvat ryppyisiksi ja ruskeiksi. Tavoitepitoisuus humalalle 110–150 ppm.
- Magnesium: Tärkeä rooli useimmissa entsyymireaktioissa sekä lehtivihreän tuotannossa. Magnesiumin puute aiheuttaa erilaisia oireita eri kasveissa, mutta yleisiä oireita on kellertävät ja helposti putoavat lehdet. Liika magnesium voi estää kalsiumin imeytymisen juuriin. Tavoitepitoisuus 40–50 ppm.

- Rikki: Välttämätöntä lehtivihreä muodostumiseen. Rikkivajaus aiheuttaa kasvun hidastumista ja lehtien lyhytkasvuisuutta, jolloin lehdet ovat jäykkiä ja hauraita. Tavoitepitoisuus 75 ppm.

### 3.3.3 Mikroravintoaineet

Mikroravintoaineet eli hivenaineet ovat niitä aineita, joita kasvit tarvitsevat pienempiä määriä, mutta ovat edelleen tärkeitä kasvien terveydelle ja kasvulle. Merkittävimmät listattu alla. Useimmiten mikroravintoaineita on jo valmiiksi riittävä määrä liuenneena kasvatuksessa käytettävässä kasteluvedessä sekä kaupallisissa lannoitteissa:

- Rauta: Tarvitaan lehtivihreän muodostumiseen ja hapensiirtoon kasvin solujen välillä. Ilman riittävää rautaa kasvin lehdet muuttuvat keltaisiksi. Raudanpuute voi olla merkki liian suuresta kalkkipitoisuudesta kasteluvedessä. Tavoitepitoisuus 1,5–2 ppm.
- Kupari: Tämä on toinen ravintoaine, joka on tärkeä kasviproteiinien tuotannossa. Jos kasvi ei saa tarpeeksi kuparia, sen lehdistä tulee sinertäviä ja helposti kuivuvia. Tavoitepitoisuus 0,8 ppm.
- Mangaani: Välttämätöntä lehtivihreän muodostumiselle. Liian pieni mangaanin saanti aiheuttaa erilaisia oireita riippuen kasvien tyypistä. Yleisimpiin oireisiin kuuluvat kellertävät lehdet vihreillä suonilla tai harmahtavan valkoiset laikut. Liiallinen mangaani voi vähentää raudan määrää ja aiheuttaa samankaltaisia oireita kuin mangaanin puute. Tavoitepitoisuus 0,6 ppm.
- Sinkki: Tärkeä kasviproteiinien tuottamisessa ja vaikuttaa merkittävästi kasvin pituuskasvuun. Sinkin puute aiheuttaa hidastunutta kasvua ja lehtien kellastumista. Tavoitepitoisuus 0,4 ppm.
- Boori: Boori edistää sokerien liikkumista ja solujen kykyyn sitoa vettä. Boorin puutoksesta kärsivät kasvit kasvavat usein epäsäännöllisesti ja muodostavat onton varren ja epämuodostuneita hedelmiä tai käpyjä. Tavoitepitoisuus 0,3 ppm.
- Molybdeeni: Tämä ravinneaine on tärkeä nitraattientsyymeille. Se tukee papujen ja herneen juurisolmujen muodostumista. Riittämätön molybdeenin määrä voi aiheuttaa lehtiin kuolleita pilkkuja tai keltaisia laikkuja. Tavoitepitoisuus 0,05 ppm.
- Kloori: Liian korkea määrä klooria vaikuttaa hiilihydraattien aineenvaihduntaan ja fotosynteesiin. Puute aiheuttaa lyhyitä ja paksuja juuria. Tavoitepitoisuus <0,05 ppm.

Ravinteiden lisäksi kasvi tarvitsee muita elämän kannalta tärkeitä alkuaineita sekä valoa.



#### 4 Materiaalit ja menetelmät

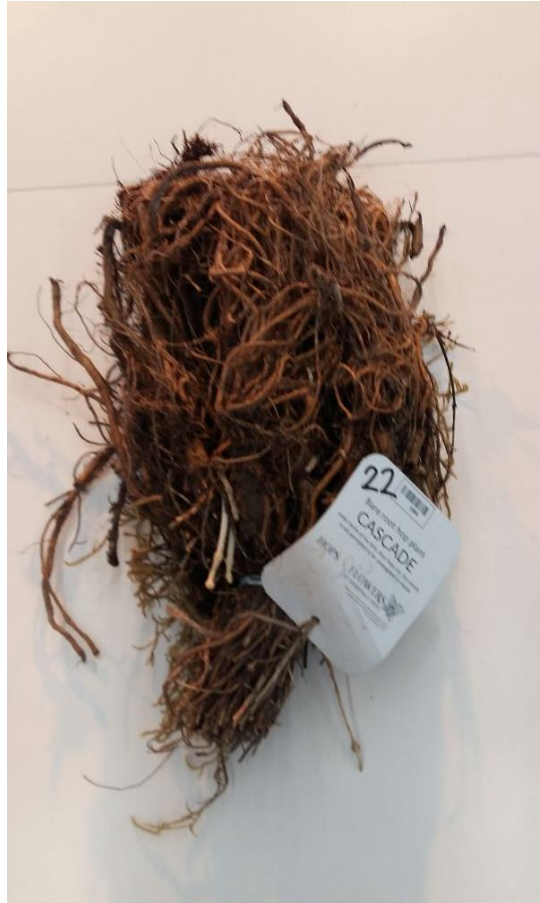
Projektia varten rakennettiin kuvan 4 mukainen 20-paikkainen dutch bucket -tyyppinen vesiviljelyjärjestelmä käyttäen kaupallisesti saatavia Bato-ruukkuja. Ruukut asetettiin kahteen rinnakkaiseen riviin tilankäytön tehostamiseksi, koska yhteen riviin aseteltuina nämä ruukut olisivat vaatineet noin 8 metriä pitkän tilan. Ruukut asetettiin ravinneliuksen poistoputkeen porattujen reikien kohdille.



Kuva 4. Kokonaiskuva vesiviljelyjärjestelmästä. Kuvassa humalaköynnökset ovat saavuttaneet kehikon yläreunan

Humalat istutettiin juurakkoina (kuvat 5 ja 6) hautaamalla n. 20 cm:n pituinen kappale humalan maanalaista vartta kasvatusalustaan vinosti pinnan alle. Juurakoiden yläpää jätettiin noin 5 cm pinnan yläpuolelle.





Kuva 5. Kaupalliselta taholta ostettuja Cascade-humalan juurakoita. Kuvan nipussa on 22 kappaletta juurakoita. Juurakot säilyvät kuivassa ja viileässä.

Humalan juurakoita istutettiin yhteensä 20 kappaletta kahteen riviin. Juurakot istutettiin kasvualustaan viistosti aivan pinnan tuntumaan niin, että juurakoiden yläosasta (kasvupäästä) pinnan yläpuolella oli noin 5 cm (kuva 6). Vesiviljelyjärjestelmän säiliöön lisättiin noin 80 litraa vettä ja 25 millilitraa *Superthrive*-vitamiiniliuosta, jonka tarkoituksena oli vähentää istutuksesta johtuvaa juurakoiden stressiä ja nopeuttaa uusien juurien muodostumista [Ciesinski 2012; Kirchhoff].

Juurakoiden juurtumiseen kului ajallisesti noin 4 viikkoa. Humala tarvitsee vahvat juuret tukemaan kasvia, eivätkä vastaistutetut juurakot kasvata maanpäällisiä köynnöksiä ennen kuin juuret ovat kasvaneet tarpeeksi. Koska humala on monivuotinen kasvi, joka kasvattaa ulkokasvatuksessa uudet köynnökset joka vuosi, juurakoiden istuttamista ei tarvitse tehdä kuin kerran ennen ensimmäistä kasvatussykliä. [Rossini ym. 2021]



Kuva 6. Humalien juurakot haudattiin kasvualustaan niin, että juurakon kasvupää jäi hieman kasvualustan pinnan yläpuolelle.

#### 4.1 Laitteiston kuvaus

Projektissa hyödynnettiin valmiiksi saatavilla olleita pöytiä ja puutavaraa, joista rakennettiin kuvassa 7 esitetty kehikko. Kehikon mitat olivat noin 360 x 80 x 380 cm (pituus-leveys-korkeus.)



Kuva 7. Korkea kehikko mahdollistaa humalaköynnösten korkean pituuskasvun, sekä valaisimien nostamisen pituuskasvun mukana.

Koska humala kasvaa jopa kuusi metriä korkeiksi köynnöksiksi, päätettiin kasvattaa köynnöksiä tukinaruja pitkin, kunnes ne saavuttavat kehikon ylälaidan, josta köynnökset taivutettiin viereisiä tukinaruja pitkin takaisin alaspäin [Hydroponic Hops 2017; Rossini ym. 2021]. Tukinarut ovat näkyvissä alla olevassa kuvassa 8. Tätä menetelmää käyttäen pystyttiin hyödyntämään kehikon korkeus kaksinkertaisesti.



Kuva 8. Tukinarut, joita pitkin humalaköynnökset kasvavat. Köynnökset kasvavat sisempiä tukinaruja pitkin kehikon ylälaitaan, josta ne taivutetaan laidan yli tukinaruja pitkin takaisin alaspäin.

#### 4.1.1 Vedenkierto ja -laadunhallinta

Vedenkierto toteutettiin Amtra Stream 1300 -uppo-vesipumpulla, jonka pumppausteho on  $1300 \text{ dm}^3/\text{h}$  ja maksimi nostokorkeus 1,15 metriä [Amtra Stream]. Uppo-vesipumpusta vesi kulkeutuu 20-paikkaiseen kuvassa 9 näkyvään jakoliittimeen, josta vedensyöttö jakautui 2,5 mm:n halkaisijan silikoniletkuilla ruukkuihin. Jokaisen ruukun kasvualustan



pinnalla putki haaroitettiin T-liittimellä ja putken päät asetettiin kasvin molemmin puolin kuvissa 8 ja 13 näkyvien tippakastelusuuttimien avulla.

Ravinneliuosta pumpattiin juurakoiden istuttamisen jälkeen ajastetusti kahden tunnin välein 15 minuutin ajan, jolloin ruukuissa oleva kasvatusalusta kastui läpikotaisin ja osa ravinneliuksesta palautui takaisin vesisäiliöön niin kutsuttuna ”run-offina”. Koska kasvien veden- ja ravinteidenkulutus lisääntyi kasvien kasvaessa, vesipumpun ajastusta muutettiin useita kertoja projektin aikana tihentämällä kasteluväliä.

Tavoite takaisin vesisäiliöön palautuvalle run-offille oli 10 % pumpatusta ravinneliuksesta, joskaan tätä ei todettu kuin silmämääräisesti arvioimalla. Mikäli run-offin määrän havaittiin vähenevän, niin kasteluvälejä tihennettiin säätämällä vesipumpun ajastusta. [Preventing pests and diseases in the greenhouse, Measure and monitor run-off 2009; Hydroponic Hops 2017.]



Kuva 9. Jakoliitin jakaa ravinneliuksen jokaiseen kahteenkymmeneen ruukkuun.

Vettä hapetettiin Newa Wind -ilmapumpulla, joka jatkuvatoimisesti hapetti vettä vesisäiliössä olleen ilmekiven läpi. Jatkuvan hapettamisen tarkoitus on varmistaa liki kylläinen veden happipitoisuus [Aires 2017.] Käytetyn ilmapumpun kapasiteetti oli valmistajan mukaan 80 dm<sup>3</sup>/h [Newa Wind 2018].

Kasvatusruukut sijoitettiin kahteen linjaan 65 mm halkaisijan PVC-putkista tehtyjen poistovesilinjojen päälle. Poistovesilinjoihin porattiin reiät, joihin ruukkujen alaosan ylivuotoputki asettui. Molemmista poistovesilinjoista takaisin virtaava ravinneliuos palautui painovoimaisesti takaisin vesisäiliöön.



Kuva 10. Yleiskuva kastelujärjestelmästä. Ravinneliuosta pumpataan paksua mustaa letkua pitkin jakoliittimeen (kuvassa keskellä pöydällä), mistä ravinneliuos jakautuu jokaisen ruukkuun tippakasteluna. Ruukuista ravinneliuos valuu painovoimaisesti PVC-putkista rakennettujen poistovesilinjojen avulla takaisin vesisäiliöön.

#### 4.1.2 Valaistus

Kasveille tuotettiin valoa kahdella Valoya B100 E3 LED -valaisimella, joiden yhteenlaskettu teho valmistajan mukaan 200 W [Valoya a]. Nämä kuitenkin korvattiin ensimmäisen kuukauden jälkeen itserakennetuilla kahdessa tasossa olevilla paneeleilla, koska arvioitiin, ettei kahden valaisimen valoteho riitä korkeille humalaköynnöksille.

Kuvissa 11 ja 12 on näkyvissä rakennetut kasvatusvalopaneelit. Ylätason valopaneeleissa on molemmin puolin kasvatusympäristöä 2x Valoya L28 AP67 sekä 2x L35 AP673L -valot. Alatason valopaneeleissa on 2x Valoya L28 AP67 sekä 1x L35 AP673L -valoja. [Valoya b].

Yhteensä näihin neljään valopaneeliin asennettiin kasvatusvaloiksi 8x Valoya L28 AP67 sekä 6x L35 AP673L. Valaisimien yhteenlaskettu energiankulutus valmistajan mukaan 434 W.



Kuva 11. Yleiskuva valopaneeleista. Nostettavat, kasvatusjärjestelmän molemmilla puolilla kahdessa tasossa olevat valopaneelit mahdollistavat valotehon riittävyyden humalaköynnöksille kasvun aikana.



Kuva 12. Valopaneelit rakennettiin Valoya L28 AP67 ja L35 AP673L -kasvatusvaloista. Paneelien korkeutta sekä yksittäisten valojen suuntausta pystyi muuttamaan tarpeen vaatiessa.

Kasvatuksen alkuvaiheessa (vegetatiivinen vaihe) valaistus oli ajastettu 18 h valoa ja 6 h pimeyttä. Tämän syklin tarkoituksena on simuloida luonnonmukaista päivän ja yön vaihtelua. [Näkkilä ym. 2006.]

Kasvatuksen kukintavaiheessa valaistus ajastettiin syklille 12 h valoa ja 12 h pimeyttä. Tämän valosyklin tarkoitus on simuloida loppukesän pimeneviä päiviä ja saada humalat tuottamaan humalakäpyjä. Kukintavaiheen lopulla valosykliksi laitettiin 11 h valoa ja 13 pimeyttä, minkä toivottiin kiihdyttävän humalakäpyjen kasvua. [Näkkilä ym. 2006.]

Ajastimena käytettiin LUMii Heavy Duty Timer -ajastinta [LUMii Heavy Duty Timer].

#### 4.1.3 Kasvualusta

Kasvien istutus tehtiin 11 dm<sup>3</sup> Bato-ruukkuihin, joissa kasvualustana oli perliitin ja kevytsoran sekoitusta noin 9:1-suhteessa (9 dm<sup>3</sup> perliittiä ja 1 dm<sup>3</sup> kevytsoraa). Tämän kasvualustan tarkoituksena on toimia tukena humaloiden juurille ja sitoa kosteutta. Pohjalla oleva kevytsora toimii myös valepohjana ja estää perliittiä valumasta ylivuotoventtiiliin.



Käytetty kasvualusta huuhdeltiin runsaalla vedellä kasvualustassa olleen perliitti- ja kevytsorapölyn poistamiseksi.

Ruukut ja kasvatusalusta peitettiin projektin edetessä mustavalkomuovilla. Kasvatusalustojen peittämisen haluttiin vähentävän haihtumalla tapahtuvaa vedenhävikkiä sekä estää kuvassa 13 esiintyvää levänkasvua kasvatusalustojen pinnalla.



Kuva 13. Kasvatusalustojen pinnalla menestyy myös levä. Levää kasvaa kaikkialla, missä on valoa, lämpöä, kosteutta sekä ravinteita, eikä levästä ole haittaa humalille. Ruukut päätettiin kuitenkin peittää muovilla, sillä levän koettiin olevan ruman näköistä. Ruukkujen peittäminen myös ainakin teoriassa vähensi kasvatusalustan pinnalta haihtuvan kosteuden määrää.

#### 4.1.4 Tuuletus ja ilmankosteus

Koska projekti toteutettiin tilassa, jossa oli koneellinen ja automatisoitu ilmanvaihto, ei tilassa pystytty tuottamaan kunnollista ilmastonhallintaa humalien ympärille.

Ilmanvaihto toteutettiin kahdella Growth Technology 150 mm –tuulettimella, joiden teho oli 15 W, sekä yhdellä Excellent Electrics 400 mm –tuulettimella, jonka teho oli 45 W [Growth Technology Clip Fan; Excellent Electrics Standing Fan 40 cm]. Tuulettamisen

tarkoitus on välttää kosteuden kondensoitumisen kasvien lehdille ja näin ehkäistä homeiden sekä kasvitautien kehittyminen [Tiirikainen 2017]

Kasvatustilan suhteellinen ilmankosteus oli koko projektin ajan n. 15–40 %, kun humalakasveille sopivampi olisi ollut n. 55–75 % [Hydroponic Hops 2017, Rossini ym. 2021]. Ilmankosteutta yritettiin nostaa terraariokäyttöön tarkoitetulla Trixie Fogger -sumukoneella, mutta tästä ei havaittu olevan mitään hyötyä [Fogger XL Ultrasonic Mist Generator].

#### 4.2 Lannoitteet

Projektissa käytettiin kaupallisesti saatavia vesiviljelylannoitteita ja -ravinnelisiä.

Käytetyt lannoitteet, suluisissa valmistajan ilmoittama NPK-luku [GH Flora-series]:

- General Hydroponics Gro (2-1-6)
- General Hydroponics Bloom (0-5-4)
- General Hydroponics Micro (5-0-1)
- General Hydroponics CAL-MAG (1-0-0)
- General Hydroponics pH Down
- General Hydroponics pH Up
- Superthrive.

Alla olevassa taulukossa 2 on eriteltyä projektissa käytetyt pääasialliset lannoitteet kasvatuksen eri vaiheissa. Taulukko on jaettu ajallisesti istutukseen, vegetatiivisen vaiheen alku- ja loppuosaan, sekä kukitusvaiheeseen.

Taulukko 2. Projektissa käytetyt lannoitteet ja lisäravinteet, sekä vesimäärä kasvatuksen eri vaiheissa. Vegetatiivinen kasvuvaihe on jaettu ajallisesti kahteen samanpituisen jaksoon. Projekti päätynyt kesken kukitusvaiheen. Veden määrä litroissa. Lannoitteet millilitroissa.

Kasvatus vaihe	vesi (l)	Superthrive (ml)	Gro (ml)	Bloom (ml)	Micro (ml)	CAL-MAG (ml)	pH down (ml)	pH up (ml)
Istutus	90	55	0	0	0	0	0	0
Vegetatiivinen, alku	320	0	420	420	470	40	80	20
Vegetatiivinen, loppu	450	0	520	500	520	120	10	110
Kukitus	390	0	315	730	615	120	0	60
<b>Yhteensä</b>	<b>1250</b>	<b>55</b>	<b>1285</b>	<b>1540</b>	<b>1490</b>	<b>305</b>	<b>90</b>	<b>150</b>

Insinöörityön liitteenä kasvatuksen aikana vesisäiliöön lisättyjen lannoitteiden, lisäravinteiden sekä veden määrä [Liite 2].

#### 4.3 Projektissa käytetty humala

Tähän insinöörityöhön valikoitui kasvatettavaksi humalalajikkeeksi Cascade [Cascade Hops 2017; Cascade 2018].

Cascade valikoitui lajikkeeksi kaupallisen kiinnostuksen vuoksi. Lisäksi yhtenä maailman eniten viljellyistä humalalajikkeista Cascaden makuprofiili on hyvin tunnettu ja tässä projektissa kasvatetusta humalasta oli tarkoitus panna koe-erä, jota olisi voinut verrata kaupallisesti saatavaan Cascade-humalaan. Koe-erien valmistaminen ja arvioiminen rajattiin tämän insinöörityön ulkopuolelle.

#### 4.4 Johtokyky- ja pH-mittaukset

Projektin aikana seurattiin lannoiteveden ravinnepitoisuutta sekä pH:ta noin kahdesti viikossa. Ravinnepitoisuuden seuranta tehtiin mittaamalla lannoiteveden sähkönjohtokykyä (EC, electrical conductivity), mikä kuvaa liuenneiden

mineraalisuolojen määrää liuoksessa. Veteen lienneet suolat nostavat liuoksen sähkönjohtokykyä, joten johtokykymittauksella pystyttiin seuraamaan vesisäiliössä olevan ravinneliuoksen vahvuutta ja vahvuuden muutoksia. Johtokykymittauksella ei kuitenkaan selviä lienneiden ravinteiden ja mineraalien koostumus, vaan ainoastaan lienneiden aineiden kokonaismäärä ravinneliuoksessa. [Skates 2018; Hydroponic Hops 2017]

Hallitussa kiertoveteen perustuvassa vesiviljelyjärjestelmässä ravinneliuoksen muutokset johtuvat joko järjestelmään lisätyistä lannoitteista ja/tai vedestä, tai kasvien ravinteidenkulutuksesta. Mikäli mitattu johtokyvyn arvo muuttuu ilman että ravinneliukseen on lisätty vettä ja/tai lannoitteita, syynä voi olla epätasapainossa oleva veden ja lannoitteiden suhde.

Jos johtokyvyn arvo nousee, humalat kuluttavat enemmän vettä kuin ravinteita ja lannoitepitoisuus ravinnevedessä on liian suuri. Tässä tapauksessa kasvien kasvu hidastuu ja lehtiin tulee palaneelta näyttäviä vaurioita.

Jos johtokyvyn arvo laskee, humalat kuluttavat enemmän ravinteita kuin vettä, eikä ravinneliuksessa ole tarpeeksi lannoitteita. Kasvien kasvu hidastuu ja uudet lehdet jäävät normaalia pienemmiksi ja kellastuneiksi.

Molemmissa tapauksissa ongelma jatkaa pahenemistaan, mikäli ravinneliuoksen väkevyyttä ei korjata joko lisäämällä lannoitteita tai raikasta vettä vesisäiliöön.

Humalakasvien ravinteidenkulutus lisääntyy kasvin koon ja kasvusyklin myötä, joten on tärkeää nostaa ja tarkkailla lannoitteiden määrää ravinneliuksessa koko kasvatuksen ajan.

Koko projektin ajan pyrittiin pitämään ravinneliuoksen pH-arvona noin 5,8–6,5, jonka on todettu olevan humalalle optimaalinen [Hydroponic Hops 2017]. Tarvittaessa pH-arvoa säädettiin lisäämällä vesisäiliöön General Hydroponics pH- tai pH+ -säätöaineita ja toistettiin mittaus muutaman minuutin päästä.

#### 4.5 Näytteenotto

Johtokyky- ja pH-mittaukset tehtiin analysoimalla 50–100 ml:n näytteet vesisäiliöstä sekä poistoputkesta takaisin vesisäiliöön tulevasta ravinneliuoksen kahdesti viikossa.

Projektin aikana käytettiin useita eri mittalaitteita johtokyky- ja pH-mittauksiin sen mukaan, mitä saatiin lainaan. Käytössä olivat:

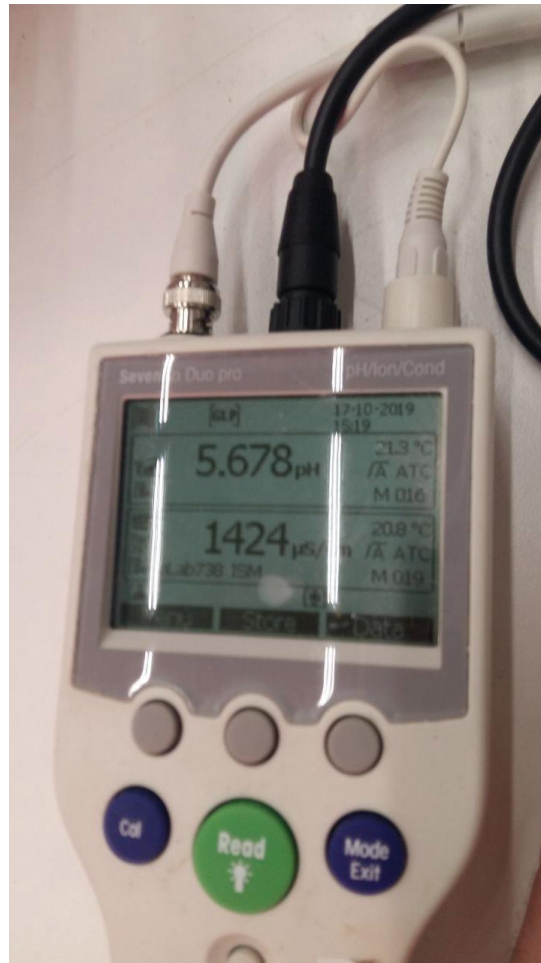
- SevenGo Duo pro
- Eutech Instruments PC 2700
- Horiba U-50 Water Quality Monitor
- lakmuspaperi

Sekä pH- että johtokykyarvot ovat lämpötilasta riippuvaisia suureita, joten normaalisti näytteiden lämpötila temperoidaan 25 °C:seen ennen mittausten tekemistä. Projektin aikana näytteiden lämpötilaa ei kuitenkaan temperoitu, sillä käytettävissä ei ollut luotettavaa tapaa nostaa näytteiden lämpötilaa ja epävarman temperointimenetelmän ajateltiin lisäävän mittausvirheiden määrää.

Koska kasvatusta tapahtui lämmitetyssä/ilmastoidussa sisätilassa, vesisäiliössä olleen ravinneliuoksen lämpötila pysyi koko projektin ajan samana kuin ympäröivän huoneilman lämpötila, eli noin 20–22 °C:ssa, jonka ajateltiin olevan riittävä luotettavien mittaustulosten saamiseksi.

Ruukuista poistoputkea pitkin takaisin vesisäiliöön laskevan ravinneliuoksen johtokykyarvon kuuluisi aina olla hieman alhaisempi kuin vesisäiliössä olevan ravinneliuoksen. Mikäli lannoitevesi väkevöityy kierron aikana suhteessa vesisäiliössä olevaan lannoiteveteen, tämä on merkki lannoitteiden kiteytymisestä kasvualustassa. Tässä tapauksessa on syytä huuhdella kasvatusalustaa runsaalla vedellä, tai pumppaamalla vettä järjestelmän läpi. [Hydroponic Hops 2017].

Mitattuja pH- ja johtokykyarvoja (kuva 14) verrattiin edellisiin mittaustuloksiin ja näin seurattiin humalien ravinteidenkulutusta.



Kuva 14. Johtokyky- ja pH-mittaustuloksia SevenGo-mittalaitteella vegetatiivisen vaiheen lopulla.

Mikäli mittaustulosten perusteella lisättiin vesisäiliöön vettä ja/tai lannoitteita, toistettiin näytteenotto ja analyysit vesisäiliöstä noin 15 minuutin kuluttua veden ja/tai lannoitteiden lisäämisestä. Tällä noin 15 minuutin viiveellä varmistettiin lannoitteiden täydellinen liukeneminen ravinneliuokseen.

## 5 Tulokset

Insinööriyön tarkoituksena oli kokeellisesti selvittää humalan hydroponisen kasvattamisen vaatima kasvatusaika, veden-, sähkön- ja lannoitteiden kulutus, sekä kasvikohtainen humalakäpysadon määrä.

Koska kasvatustilaan pesiytyi vihannespunkkeja, päätettiin ensimmäinen kasvatuskerta lopettaa ennenaikaisesti ennen kukintojen kypsymistä. Tästä syystä kasvikohtaista humalakäpyjen saantoa ei saatu laskettua.

## 5.1 Energiankulutus

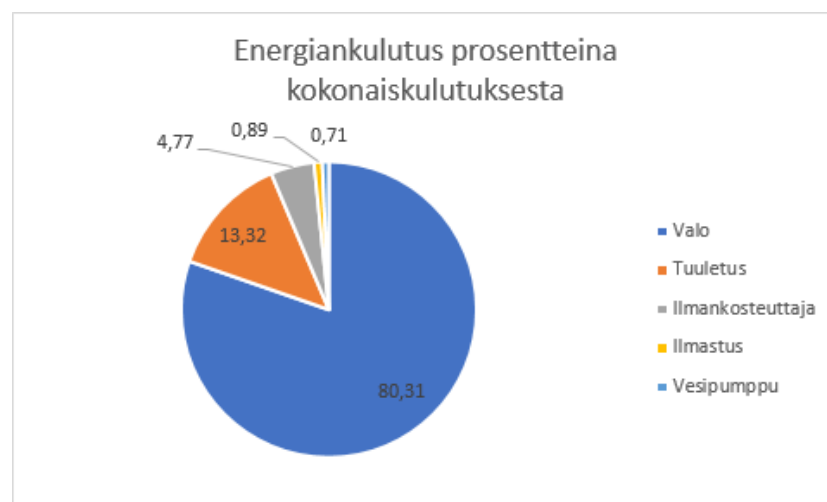
Projektin kulutti sähköä yhteensä n. 1 360 kWh, eli yhtä kasvia kohden energiankulutus oli noin 68 kWh. Markkinahinta projektissa kulutetulle sähkölle oli noin 90 euroa [Sähkön toimitusvelvollisuus- ja siirtohintojen kehitys 2020].

Valaistus kulutti noin 80 % käytetystä energiasta, eli huomattavasti suurin osa projektissa käytetystä sähköstä kului valaistukseen.

Ilmastohallinnan, eli tuulettimien sekä ilmankosteuttajan, osuus oli yhteensä noin 18 %.

Kastelun ja veden ilmastuksen, eli vesi- ja ilmapumppujen osuus oli vain noin 2 %.

Näissä laskelmissa ei ole huomioitu ravinneliuoksen pH:n ja johtokyvyn seurannan aiheuttamaa energiankulutusta. Kuvassa 15 eriteltyinä projektin energiankulutus laitteiston käyttötarkoituksen perusteella.



Kuva 15. Energiankulutus projektin aikana. Valaistus aiheutti noin 80 % projektin energiankulutuksesta.

Tarkemmat tiedot sähkönkulutuksesta selviävät liitteestä 1.

## 5.2 Vedenkulutus

Projektin aikana laskettu kokonaisvedenkulutus oli noin 2 000 litraa. Tämä kulutus voidaan jakaa kolmeen osaan:

- kasvien kuluttama vesi 1 300 litraa
- laitteiston ja kasvatusalustojen pesemiseen käytetty vesi 500 litraa
- ravinneliuoksen vaihdon yhteydessä kierrosta poistunut vesi 200 litraa.

Näiden tulosten virhemarginaali on arviolta  $\pm 20$  %.

## 5.3 Ravinteiden kulutus

Projektin aikana kului kappaleessa 4.2 mainittuja lannoitteita ja lisäravinteita yhteensä noin viisi litraa, eli yhtä kasvia kohden noin 0,25 litraa.

Mitattu kokonaiskulutus vesisäiliöön lisätyille ravintoaineille oli 4,915 litraa, joista:

- pääravinteet 4,315 litraa
- lisäravinteet 0,360 litraa
- pH-säätöaineet 0,240 litraa.

Näiden tulosten mittausepävarmuus vesisäiliöön on arviolta  $\pm 5$  %.

Näissä mittauksissa ei ole huomioitu vesisäiliön tyhjennysten yhteydessä menetettyä ravintoaineiden määrää, joten tosiasiallinen kulutus oli mittaustulosta alhaisempi.

Projektin aikana ylläpidetty kalenteripäiväkirja on liitteenä 2.



#### 5.4 Ensimmäiseen satoon vaadittu kasvatusaika ja työvoima

Humalien kasvatuksen kesto ajallisesti oli 176–164 vuorokautta humalien ensiversoista köynnösten leikkaamiseen.

Istutusvaiheeseen eli juurakoiden juurtumiseen kului noin 18–30 vuorokautta ennen kuin humalakasvit alkoivat kasvamaan maanpäällisiä versoja. Tätä vaihetta ei tarvitse toistaa seuraavilla kasvatuskerroilla, sillä monivuotisena kasvina kerran istutettu humala tuottaa uusia köynnöksiä sadonkorjuun jälkeisen lyhyen kylmäkäsittelyn jälkeen.

Ajallisesti eniten työtä tämän projektin aikana vaati ravinneliuksen seuranta käytössä olevalla analyysimenetelmällä sekä humalaköynnösten ”harjoittaminen” tukinarujen ympärille. Vaadittu työaika olisi huomattavasti pienempi, mikäli käytettäisiin nopeampaa analyysimenetelmää ravinneliuksen pH- ja johtokykyarvojen seuraamiseksi.

## 6 Tulosten tarkastelu

### 6.1 Edut maaperäviljelyyn verrattuna

Ympärivuotinen kasvattaminen ja mahdollisesti jopa kolmen vuosittaisen sadon saaminen on sisätilassa tapahtuvan vesiviljelyn suurin etu ulkona tapahtuvaan kasvattamiseen verrattuna.

Vedenkulutus oli vähäistä. Juurakoiden istuttamisen jälkeen ensimmäisen kahden kuukauden aikana humaloiden vedenkulutus oli noin yksi litra vettä viikossa humalakasvia kohti. Kahden ensimmäisen kuukauden jälkeen sadonkorjuuseen saakka vedenkulutus oli noin 1,5–2 litraa vettä viikossa per kasvi.

Kasvatustilan lämpötilan ja suhteellisen kosteuden kontrolloiminen on yleensä mahdollista sisätilassa tapahtuvassa kasvatuksessa. Projekti toteutettiin yhteiskäytössä olevassa tilassa, jossa ei pystytty vaikuttamaan lämpötilaan tai ilmankosteuteen, joten näiltä osin sisällä tapahtuvan kasvatuksen hyötyjä ei kyetty täysimääräisesti hyödyntämään.

Humalafarmi voitaisiin sijoittaa lähelle panimoteollisuutta ja tuottaa tuoretta humalaa ympärivuotisesti. Korvaamalla projektissa käytetyt kaupalliset lannoitteet panimon sivuvirroista tuotetuilla ravintoaineilla voitaisiin vähentää merkittävästi humalan kasvattamisen hiilijalanjälkeä.

### 6.2 Havaittuja haasteita ja ongelmia

Vihannespunkit olivat projektin pahin ongelma. Vihannespunkkien aiheuttaman vahingon takia päätettiin kasvatus lopettaa ennenaikaisesti. Punkkien ja muiden petoeläinten torjunnassa ensiarvoisinta on ennaltaehkäisy, ja kerran alkaneen tuholaisongelman poistaminen osoittautui todella hankalaksi tuuhean humalakasvuston vuoksi. Tässä projektissa tuholaisia yritettiin hävittää biologisesti levittämällä Biotukselta hankittuja ansaripetopunkkeja sekä kalifornianpetopunkkeja humalistoon, sekä suihkuttamalla humalien lehdille SMC+ ja Biowash25 –torjunta-aineita ja

mäntysuopaliuosta. Nämä torjuntakeinot hillitsivät tuholaisongelmaa mutta eivät lopulta auttaneet pelastamaan humalasetoa, joten projekti päätettiin keskeyttää ennen sadon kypsymistä.



Kuva 16. Vihannespunkkien aiheuttama vahinko on havaittavissa kuivuneina ja täplikkäinä lehtinä.

Tilanpuute kasvatustelineen ympärillä sekä yksittäisten ruukkujen välissä aiheutti epäergonomisen työskentelytilan. Projektia aloittaessa kasvatusteline rakennettiin noin 0,5 metrin etäisyydelle seinästä, jolloin työskentelytilaa jäi liian vähän. Kasvatustelinettä jouduttiin projektin aikana siirtämään kauemmaksi seinästä työskentelytilan lisäämiseksi.

Köynnöksistä rönsyävät sivuhaarat takertuvat viereisiin köynnöksiin tehden kasvustosta tiheän "pensaan", mikä hankaloitti työskentelyä ja mahdollisti punkkien nopean leviämisen kasvusta toiseen. Sivuhaarat myös kasvoivat kohti valaisimia ja lopulta

tarttuivat suoraan valaisimien ympärille, estäen näin valoa läpäisemästä syvemmälle lehtien katveeseen. Suurempi etäisyys humalakasvien välillä voisi sekä helpottaa kasvien trimmaamista ja köynnösten irrottamista valaisimista että mahdollisten tuholaiseläinten (punkit, kirvat jne.) hävittämistä torjunta-aineilla.

Projektin perusteella on suositeltavaa pitää noin 0,3–0,4 metrin etäisyyttä ruukkujen välillä, sekä noin 1,2–1,5 metrin esteetöntä työskentelytilaa kasvatustelineen ympärillä hyvän työergonomian säilyttämiseksi.

Koska kasvatusta tapahtui suuressa yhteiskäytössä olevassa tilassa, ympäröivän huoneilman lämpötilan ja ilmankosteuden säätäminen ei ollut mahdollista. Suuremmassa mittakaavassa parempi ilmastohallinta on välttämätöntä.

Vedensyötön puhdistus putkiin kertyneestä levästä ja muusta kiintoaineesta vaatii koko putkiston irrottamista ja takaisinasennusta, mikä on sekä aikaa kuluttavaa että myös hankalaa, sillä vedensyöttö on kahden ruukkurivin välissä. Paksummilla vesiputkilla ja -letkuilla mahdollisesti koko kasvatusta onnistuisi ilman välipuhdistusta.

Vedenlaadunhallinnan pH- ja johtokyvynmittausten suorittaminen *in situ* suoraan kasvatustilassa etäluettavien mittarein vähentäisi merkittävästi kasvatusta vaativaa työvoimaa ja mahdollistaisi jatkuvan reaaliaikaisen vedenlaadun seurannan.

Putkistossa ja liittimissä havaittiin pieniä pisaravuotoja. Pienessä mittakaavassa nämä olivat helppoja korjata teipin ja nippusiteiden avulla, mutta suuremmassa kasvatustilassa vesiputkien ja liittimien vuotaminen voi mahdollisesti aiheuttaa vesivahingon.

Uppovesipumppuun kiertoveden mukana päätyvä kiintoaines heikentää pumpun toimintaa ja voi pahimmassa tapauksessa aiheuttaa pumpun rikkoontumisen. Kiintoaines voi myös alentaa aiheuttaa tukoksia tai heikentää veden virtaamaa kasteluletkuissa. Mahdollisina ratkaisuina toimivat esimerkiksi suodatin tai tiheäilmäinen suojaussi vesisäiliössä, mikä estää kiintoaineksen pääsyn vesipumppuun ja putkistoon. Myös tehokkaamman vesipumpun käyttäminen vähentää kiertoveden mukana kulkeutuvan kiintoaineksen aiheuttamia ongelmia.

Ulkopuolisen valon eristäminen humalien kukkimisvaiheessa osoittautui haasteelliseksi yhteiskäytössä olleessa tilassa, jota ei pystytty pimentämään muiden toimijoiden vuoksi. Paikallinen osastointi heikensi huomattavasti ilmanvaihtoa sekä työergonomiaa humalaköynnösten ympärillä. Ratkaisuna toimisi humalan kasvattaminen sille erikseen varatussa tilassa, jolloin koko kasvatustilan valaistusta voisi ajastaa kasvien vaatiman valorytmin mukaiseksi.

## 7 Yhteenveto

Insinöörityön tavoitteena oli tutkia humalan sisätiloissa tapahtuvan vesiviljelyn edellytyksiä. Toteutuksessa keskityttiin humalan kasvattamiseen ensimmäiseen sadonkorjuuseen saakka sekä kasvatukseen vaatiman vesiviljelylaitteiston kehittäminen. Tämän lisäksi tavoitteena oli selvittää kokeellisesti humalakäpyjen saanto, kasvatukseen kuluva aika, kasvatukseen vaaditut resurssit ja selvittää mahdollisia ongelmia liittyen humalan vesiviljelyyn sisätiloissa.

Insinöörityön tavoitteet saavutettiin osittain, mutta lopullinen humalasadon jäi projektin aikana saamatta.

Humalan todettiin kasvavan nopeasti vesiviljelyjärjestelmässä, ja vähintään kahden vuosittaisen sadon kasvattaminen vaikuttaa mahdolliselta. Myös projektissa valittu dutch bucket -järjestelmä osoittautui toimivaksi humalan kasvattamiseen.

Kasvatukseen käytetty sähkönkulutus sekä puhtaan veden ja lannoitteiden kulutus oli projektin aikana vähäistä, ja näiltä osin projektin tuloksia voidaan pitää onnistuneena.

Tuholaisten, kuten vihannespunkkien, mutta myös kasvitautien torjunnan kannalta parempi hygieniataso olisi välttämättömyys. Projekti suoritettiin yhteiskäyttötilassa, jossa liikkui päivittäin kymmeniä kasvatuksen ulkopuolisia ihmisiä. Mikäli kasvatusta halutaan siirtää prototyypivaiheelta isommaksi kaupallisen mittakaavan toiminnaksi, tuotantohygieniaan panostaminen on yksi tärkeimpiä huomioita otettavia asioita.

Koska kasvatustilaan pesiytyi vihannespunkkeja, päätettiin lopettaa projekti ennenaikaisesti. Tästä syystä kasvikohtaista humalakäpyjen saantoa ei saatu laskettua. Tuholaitosten torjunnasta ja ennaltaehkäisystä sekä muista tämän projektin havaituista potentiaalisista ongelmista kerrotaan ylempänä luvussa 6.2.

Kokonaisuutena projekti oli hyvin opettavainen ja lisäsi ymmärrystä humalan kasvattamisesta. Pienellä kehittämisellä prototyypikasvatusjärjestelmää voitaisiin skaalata isommaksi, jolloin voitaisiin kasvattaa humalaa ympärivuotisesti taloudellisesti kannattavassa mittakaavassa.

## Lähteet

Aires, A. 2018. Hydroponic Production Systems: Impact on Nutritional Status and Bioactive Compounds of Fresh Vegetables, Vegetables - Importance of Quality Vegetables.

Amtra Stream. Verkkoaineisto. Amtra.  
<<https://www.amtra.net/en/prodotti/aquarium/technical-products/pump-filter/amtra-stream/>>. Luettu 11.8.2021.

Barrett, G. Alexander, P. Robinson, J. & Bragg, N. 2016. Achieving environmentally sustainable growing media for soilless plant cultivation systems – A review. Scientia Horticulturae.

Cascade Hops. 2017. Verkkoaineisto. Brewclub.  
<<https://www.brewclub.uk.com/cascade-hops/>>. Luettu 3.6.2019.

Cascade. 2018. Hopslis. Verkkoaineisto. <<http://www.hopslis.com/hops/dual-purpose-hops/cascade-us/>>. Luettu 3.6.2019.

Ciesinski, T. 2012. Root Stimulants. Verkkoaineisto. GardenSMART.  
<[https://www.gardensmart.com/?p=articles&title=Root\\_Stimulators](https://www.gardensmart.com/?p=articles&title=Root_Stimulators)>. Luettu 18.7.2021.

Dodds, K. 2017. Hops – a guide for new growers. NSW Department of Primary industries.

Excellent Electrics Standing Fan 40 cm. 2021. Acerhardware. Verkkoaineisto.  
<<https://www.acehardware.mv/product/standing-fan-dia-40cm-dx5000030/>>. Luettu 12.8.2021.

Fogger XL Ultrasonic Mist Generator. Verkkoaineisto. Trixie.  
<<https://www.trixie.de/heimtierbedarf/en/shop/Reptile/TerrariumAccessories/Climate/Fogger+XL+Ultrasonic+Mist+Generator/?card=26631>>. Luettu 12.8.2021.

GH Flora-series. Verkkoaineisto. General Hydroponics.  
<<https://generalhydroponics.com/products/flora-series/>>. Luettu 14.8.2021.

Growth Technology Clip Fan. Verkkoaineisto. Growth Technology.  
<<https://www.growthtechnology.com/product/growth-technology-clip-fan/>>. Luettu 11.8.2021.

Hops: Anatomy and Chemistry 101, Verkkoaineisto,  
<[http://bioweb.uwlax.edu/bio203/s2009/sewalish\\_andr/humulus%20lupulus%20-%20common%20hops/Hop%20Anatomy%20and%20Chemistry%20101.html](http://bioweb.uwlax.edu/bio203/s2009/sewalish_andr/humulus%20lupulus%20-%20common%20hops/Hop%20Anatomy%20and%20Chemistry%20101.html)>. Luettu 4.5.2019.

Humalan viljely kehitty – missä nyt mennään?. 2021. Verkkoaineisto. Luonnonvarakeskus. <<https://www.luke.fi/uutinen/humalan-viljely-kehitty-missa-nyt-mennaan/>>. Luettu 15.8.2021.

Hydroponic Hops. 2017. E-kirja. Hydro Hop Farms LLC.

Kirchhoff, H. How to Use SUPERThrive on Trees. Verkkoaineisto. <<https://homeguides.sfgate.com/use-superthrive-trees-105128.html>>. Luettu 10.7.2021.

Kowalczyk, K., Mirgos, M., Bączek, K., Niedzińska, M. & Gajewski, M. 2016. Effect of different growing media in hydroponic culture on the yield and biological quality of lettuce (*Lactuca sativa* var. *capitata*). *Acta Hort.* 1142, 10–110. Luettu 1.8.2021

Lampinen, R. & Lahti, T. 2018: Kasviatlas 2017. Verkkoaineisto. Helsingin Yliopisto, Luonnontieteellinen keskusmuseo, Helsinki. <<https://kasviatlas.fi/>>. Luettu 18.6.2019

LUMii Heavy Duty Timer. 2021. Verkkoaineisto. Grow-LUMii. <<http://www.grow-lumii.com/products/lumii-heavy-duty-timer/>>. Luettu 11.8.2021.

Machado, J. Faria, M. & Ferreira, I. 2019. Natural Beverages. Lontoo. Academic Press.

Näkkilä, J. Hovi-Pekkanen, T. & Tahvonen R. 2006. Ympärivuotisen kasvihuonevihanneustuotannon tehostaminen. MTT Kasvintuotannon tutkimus, puutarhatuotanto. Suomen maataloustieteellisen seuran tiedote 21.

Newa Wind. 2018. Verkkoaineisto. <<https://www.newa.it/en/product/newa-wind/>>. Luettu 11.8.2021.

Preventing pests and diseases in the greenhouse, Measure and monitor run-off. 2009. Verkkoaineisto. NSW Department of Primary Industries. <[https://www.dpi.nsw.gov.au/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0009/308475/hydro-irrig-factsheet1-measure-and-monitor-runoff.pdf](https://www.dpi.nsw.gov.au/__data/assets/pdf_file/0009/308475/hydro-irrig-factsheet1-measure-and-monitor-runoff.pdf)>. Luettu 28.5.2019.

Rossini, F. Virga, G. Loreti, P. Jacuzzi, N. Ruggeri, R. & Provenzano, M.E. 2021. Hops (*Humulus lupulus* L.) as a Novel Multipurpose Crop for the Mediterranean Region of Europe: Challenges and Opportunities of Their Cultivation. University of Tuscia, Department of Agriculture and Forest Science. <<https://doi.org/10.3390/agriculture11060484>>. Luettu 22.7.2021.

Roy, R. N. Finck, A. Blair, G.J. & Tandon H. L. S. 2006. Plant nutrition for food security. Food and agriculture organization of the United Nations.

Sähkön toimitusvelvollisuus- ja siirtohintojen kehitys. 2020. Verkkoaineisto. Energiavirasto. <<https://energiavirasto.fi/sahkon-hintatilastot>>. Luettu 12.6.2021.



Skates, W. 2018. How To Manage EC (Electrical Conductivity) In A Hydroponic System. Verkkoaineisto. Hydroponics explained. <<https://hydroponicsexplained.wordpress.com/2018/04/04/how-to-manage-ec-electrical-conductivity-in-a-hydroponic-system/>>. Luettu 15.10.2019.

Storey, A. 2016. Bato Buckets for Beginners: A Simple System for Vining Crops. Powered by Plenty. Verkkoaineisto. <<https://university.upstartfarmers.com/blog/bato-buckets-for-beginners>>. Luettu 11.8.2021.

Tiirikainen, T. 2017. Kasvihuoneen kasvutekijät, ilmankosteus. Verkkoaineisto. Keuda. <<https://docplayer.fi/40765314-Kasvihuoneen-kasvutekijat-ilmankosteus-tuula-tiirikainen-keuda-mantsala-saari.html>>. Luettu 12.8.2021.

Valoya a. Verkkoaineisto. <<https://www.valoya.com/bl-series-led-grow-lights/>>. Luettu 11.8.2021.

Valoya b. Verkkoaineisto. <<https://www.valoya.com/l-series-led-grow-lights/>>. Luettu 11.8.2021

Vesiviljelyn perusteet. 2020. Verkkoaineisto. CannaDB. <<https://cannadb.org/artikkelit/vesiviljely-101/>>. Luettu 10.7.2021.

## Liite 1

## Laskennallinen sähkönkulutus projektin aikana

asenn.	saakka	W	kpl	W akt	t	kWh/vrk	ON vrk	kWh tot	syv
11.4.	25.6.	13	1	13	0,8	0,010	46	0,478	Vesipumppu 13 W 48min/vrk
26.6.	22.10.	13	1	13	6	0,078	118	9,204	Vesipumppu 13 W 360min/vrk
11.4.	22.10.	2,6	1	2,6	24	0,062	195	12,168	Ilmapumppu 2.6 W 24/7
25.4.	30.5.	100	2		24	4,800	5	24,000	Valaistus 2x 100 W = 200W 24h 5vrk
30.4.	17.5.	100	2		18	3,600	18	64,800	Valaistus 2x 100 W = 200W 18/6h 18 vrk
17.5.	31.5.	35	2		18	1,260	14	17,640	Valaistus 4x 35W + 4x 28W = 252 W 18/6h 14vrk
17.5.	31.5.	28	2		18	1,008	14	14,112	
31.5.	30.8.	35	6	210	18	3,780	92	347,760	Valaistus 6x35W + 8x 28W =434 W 18/6h 92vrk
31.5.	30.8.	28	8	224	18	4,032	92	370,944	
31.5.	16.9.	25	1		24	0,600	108	64,800	Trixie mister
19.5.	22.10.	15	2	30	24	0,720	157	113,040	Tuuletin 2x 15W =30 W
21.8.	22.10.	45	1	45	24	1,080	63	68,040	Tuuletin 1x45W excellent electrics
2.9.	23.9.	35	6	210	12	2,520	21	52,920	Valaistus 6x35W + 8x 28W =434 W 12/12h
2.9.	23.9.	28	8	224	12	2,688	21	56,448	Valaistus 6x35W + 8x 28W =434 W 12/12h
23.9.	22.10.	35	6	210	11	2,310	30	69,300	Valaistus 6x35W + 8x 28W =434 W 11/13h
23.9.	22.10.	28	8	224	11	2,464	30	73,920	Valaistus 6x35W + 8x 28W =434 W 11/13h

## Liite 2

## Vesisäiliöön lisätty vesi, ravinteet ja lisäravinteet

	Kasvatusvaihe	vesi (l)	Superthrive (ml)	Gro (ml)	Bloom (ml)	Micro (ml)	CAL-MAG (ml)	pH- (ml)	pH+ (ml)
	Istutus	90	55	0	0	0	0	0	0
	Veget., alku	320	0	420	420	470	40	80	20
	Veget., loppu	450	0	520	500	520	145	10	85
	Kukitus	390	0	345	620	500	120	0	45
	Yhteensä	1250	55	1285	1540	1490	305	90	150
<b>pv</b>	water (l)		Superthrive	Gro	Bloom	Micro	CAL-MAG	pH-	pH+
11.04.		60	0,025						
24.05.		30	0,015						
03.05.		30	0,015						
10.5.		-30							
10.5.		80		0,01	0,01	0,01			
27.5.		60		0,01	0,01	0,01			
28.5.				0,01	0,01	0,01			
29.5.				0,015	0,015	0,015		0,03	
3.6.				0,015	0,015	0,015		0,01	
5.6.				0,025	0,025	0,025			
7.6.				0,035	0,035	0,035			
10.6.				0,015	0,015	0,015			
11.6.				0,01	0,01	0,01			0,005
14.6.				0,02	0,02	0,02			0,005
17.6.				0,01	0,01	0,01			
20.6.		-40							
20.6.		100		0,08	0,09	0,12	0,02	0,02	
24.6.		10							0,005
25.6.									
26.6.				0,02	0,02	0,02			
1.7.				0,015	0,01	0,015			
4.7.		60		0,04	0,04	0,045		0,01	
5.7.		-20							
5.7.		70		0,03	0,03	0,03		0,01	
9.7.				0,04	0,04	0,04	0,02		0,005
16.7.				0,02	0,015	0,025			
19.7.		30		0,03	0,03	0,03	0,02		
22.7.				0,015	0,015	0,015			0,005
25.7.		50		0,045	0,045	0,045			0,005
29.7.		30		0,03	0,03	0,03			

31.7.									0,01
02.8.				0,015	0,015	0,015			
6.8.		-40							
6.8.		100		0,11	0,11	0,11	0,05		
7.8.				0,015	0,015	0,015		0,01	
9.8.									0,02
12.8.		40		0,03	0,03	0,03	0,01		
15.8.		100		0,08	0,08	0,08			
16.8.				0,03	0,03	0,03			
19.8.									0,02
23.8.		120		0,12	0,1	0,12	0,05		
26.8.									0,02
27.8.							0,015		
29.8.		20							0,005
02.9.		50		0,04	0,06	0,06			
06.9.									0,01
10.9.		-70							
10.9.		130		0,065	0,125	0,12	0,05		
17.9.		50		0,025	0,075	0,05			
20.9.									0,01
25.9.		80		0,06	0,12	0,08	0,02		
4.10.		50		0,05	0,08	0,05			
11.10.		-60							
11.10.		150		0,08	0,11	0,1	0,05		
15.10.				0,025	0,05	0,04			0,01
17.10.									
18.10.									0,015
21.10.		10							