



Automatisoidun vesiviljelyn hyödyntäminen kotitalouksissa

Yrttien ja koristekasvien kasvatus vesiviljelymenetelmin

Ville Hämäläinen

OPINNÄYTETYÖ
Kesäkuu 2023

Konetekniikan tutkinto-ohjelma
Koneautomaatio

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Konetekniikan tutkinto-ohjelma
Koneautomaatio

HÄMÄLÄINEN, VILLE:

Automatisoidun vesiviljelyn hyödyntäminen kotitalouksissa
Yrttien ja koristekasvien kasvatusta vesiviljelymenetelmin

Opinnäytetyö 52 sivua, joista liitteitä 3 sivua
Kesäkuu 2023

Tavoite opinnäytetyössä oli suunnitella ja toteuttaa automatisoitu kasvihuone, joka hyödyntäisi kasvatusalustanaan vesiviljelytekniikkaa. Ajatus automaation hyödyntämisestä yrttien ja koristekasvien kasvatukseen syntyi niiden jatkuvan kulutuksen ja lyhyen käyttöiän ympärille. Opinnäytetyön aikana käsiteltiin vesiviljelytekniikan hyötyjä kasvatuksessa, teknisen suunnitteluprosessin ja vaatimusmäärittelyn tärkeyttä, kasvihuoneen mekaanista- ja automaatiikan suunnittelua.

Kasvihuoneen automatisointi ja samanaikaisesti sen pinta-alan pitäminen pienenä poissulkivat suunnittelussa mahdollisuuden käyttää perinteistä multakasvatustekniikkaa. Kasvihuoneen automaatio suunniteltiin toiminnaltaan yksinkertaiseksi ja käyttäjäystävälliseksi. Kaikki kasvien kasvamiseen tarvittavien ravintoaineiden suunniteltiin annosteltaviksi vesisäiliöön, josta se annosteltiin kasveille vesipumpulla jatkuvan virranmenetelmällä. Kasvien kasvuun tarvittava valo pysytettiin luomaan siihen tarkoitukseen rakennetuilla led-kasvatusvaloilla. Nämä korostavat valon sinisen ja punaisen valon spektrijä, joita kasvi tarvitsee kasvamiseen. Kasvihuoneesta oli tavoitteena suunnitella täysin omatoiminen, jolloin käyttäjän ei tarvitse aikaisempaa kokemusta viljelystä tai tekniikasta.

Kaikki kasvihuoneen mekaanisesta rakenteesta sen mikro-ohjaimen ohjelmaan suunniteltiin itsenäisesti. Mekaanisen rakenteen suunnittelu työssä toteutettiin Solidworks-ohjelmistolla, jonka avulla kasvihuoneesta luotiin 3D-malli. Automatisoinnin ohjelmointi toteutettiin helposti lähestyttävällä Arduinon MEGA-sarjan mikro-ohjain levyllä, jonka ohjelmointikielenä on python

Suunnittelun lähtökohtana pidettiin mahdollisuus kasvihuoneen tuotteistamiseen, mutta työn lopputulos oli kuitenkin suunnattu enemmän harrastelijoille kuin kaupalliseen myyntiin. Jotta kasvihuoneen kaupallinen myynti olisi onnistunut, olisi hankinta hinta laitteistoille pitänyt saada matalammaksi sekä laitteiston kopiosuojasta parannettava.

Asiasanat: vesiviljely, kasvihuone, automaatio, suunnittelu, vaatimusmäärittely

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree programme in mechanical engineering
Bachelor of Engineering

Ville Hämäläinen:
Use of Automated Aquaponics in Households
Herb and Decoration Plant Farming with Aquaponics

Bachelor's thesis 52 pages, appendices 3 pages
June 2023

The thought of using automation to grow herbs and decoration plants was born around their constant consumption and a short lifespan. Herbs will give many possible ways to add flavor to cooking, but when you buy them from grocery store the price is high and they dry out in few days.

Making the greenhouse automated and same time keeping surface area of a greenhouse small precludes the use of traditional soil farming the plants. It has also been established that hydroponics improves the yield from plants and reduces the possibility of pests ruining the crop. All the nutrients what plants need for growing are mixed in a water tank. From tank it is dosed to the plants using a nutrient film technique. Light what plants need to grow is produced by grow led lamps. Those have right blue and red-light spectrums to help plants grow optimal.

Everything from mechanical designing to program of micro controller is self-made. Mechanical designing is done with Solidworks program. With that is possible to make 3D model. The programming of the automation is implemented with an easily accessible microcontroller board developed by Arduino. Board uses python as programming language python.

In the design process of the greenhouse is using regular mechatronics engineering process, where requirement specification is done together with the customer. The starting idea of the designing was producing automated greenhouse as product, but the result of the work is aimed more at hobbyists than commercial use.

Key words: hydrofarm, greenhouse, automation, engineering, requirements specification, aquaponics

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	LÄHTÖTILANNE.....	7
	2.1 KASVIHUONEVILJELY.....	7
	2.2 VESIVILJELYMENETELMÄT.....	8
	2.2.1 Passiiviset vesiviljelyjärjestelmät	10
	2.2.2 Aktiiviset vesiviljelyjärjestelmät	12
	2.3 Markkinoiden tarjonta.....	13
	2.4 Tavoitteet	16
3	TEKNINEN SUUNNITTELUPROSESSI	18
	3.1 Vaatimusten määrittely.....	19
	3.2 Koneturvallisuuden standardit.....	22
	3.2.1 Hygieniavaatimukset	22
	3.2.2 Vuorovaikutus koneen ja ihmisen välillä	22
	3.2.3 Sähköturvallisuus	23
	3.3 Suunnittelu ja ideointi	24
4	TEKNINEN TOTEUTUS JA LAITTEET.....	28
	4.1 Kasvihuoneen ohjausyksikkö.....	28
	4.2 Olosuhteiden seuranta	29
	4.3 Olosuhteiden hallinta.....	32
	4.4 Kasvihuoneen valaistus	34
	4.5 Mekaaninen rakenne.....	36
	4.6 Ohjelman rakenne.....	42
5	POHDINTA	46
	LÄHTEET.....	47
	LIITTEET	50
	Liite 1. Kasvihuoneen vaatimusmäärittely.....	50
	Liite 2. Ostoslista.....	52

ERITYISSANASTO

Kasvihuone	Suljettu kasvien kasvatukseen tarkoitettu tila, jonka olosuhteita voidaan hallita
Vesiviljely	Viljelymenetelmä, jossa ei käytetä multaa. Kasvi tuetaan ruukkuun ja sen kasvua edellyttävät ravintoaineet johdetaan juurille veden avulla
pH-arvo	Nesteen happamuuden tai emäksisyyden määrittelevä arvo
EC-arvo	Elektrolyyttisyys. Kuinka paljon vesi johtaa sähköä
DWC	Deep water culture. On passiivinen vesiviljely menetelmä, jossa kasvin juuret upotetaan kokonaisuudessaan veteen
WC	Wick system. On passiivinen vesiviljely menetelmä, jossa kasvin juuriin johdetaan vesiastiasta kapillaarisesti narua pitkin vesi
Aeroponics	Aktiivinen vesiviljely menetelmä, jossa vesi sumutetaan kasvin juurille
DS	Drip system. Aktiivinen vesiviljely menetelmä, jossa vesi saatetaan kasvin juuristolle pisara kerrallaan
Ebb&Flow	Aktiivinen vesiviljely menetelmä, jossa syklimäisesti vesi täytetään ja tyhjennetään, jossa kasvien juuret ovat
NFT	Nutrient film technique. Aktiivinen vesiviljely menetelmä, jossa kasvien juuret ovat jatkuvan vedenvirtauksen vaikutuksessa

1 JOHDANTO

Opinnäytetyö on luotu Tampereen ammattikorkeakoulun konetekniikan opiskelijana. Työn kirjallisessa osuudessa käsitellään kotitaloudelle suunnatun kasvihuoneen suunnitteluprosessia ja sen tuotteistamisen mahdollisuutta. Työn aikana käydään lävitse vesiviljelyn hyödyntämistä viljelytapana ja miksi sen merkitys on kasvanut kasvihuoneissa. Kasvihuoneelle luodaan vaatimusmäärittely asiakkaan toiveiden perusteella, joka tukee suunnitteluprosessin eri vaiheita.

Suunnittelutyössä asioiden tapahtuma järjestyksellä on vaikutusta lopputulokseen. Kasvihuoneen toimivuuden ja laadun varmistamiseksi, työn aikana noudatetaan teknisenlaitteen suunnitteluprosessin menetelmiä. Kasvihuoneesta luodaan 3D malli, jonka avulla laitteiden mekaaninen sopivuus voidaan todeta.

Kasvihuoneessa kasvatettavien yrttien normaalia kasvuolosuhteita tutkimalla, pystytään ohjelmoimaan kasvihuoneen automaatio jäljittelemään sitä. Tarkan ohjauksen avulla sadon kokoa ja makua voidaan säädellä. Laitteiston ja ohjelman toiminnallinen tarkastaminen suoritetaan kasvihuoneesta rakennetun prototyypin avulla.

Työn taloudellisena tukena toimi K.F ja Maria Dunderbergin rahasto. Tämän rahaston tukirahan avustuksella on tehty projektia koskevat laite- ja materiaalihankinnat. Opinnäytetyösuunnitelma ja apurahahakemus on tehty kevään 2022 aikana. Kasvihuoneen suunnitteluprosessi on aloitettu syksyllä 2022 ja saatettu loppuun vuoden 2023 keväällä. Kasvihuoneesta on rakennettu prototyyppi ja toiminnan testaus on suoritettu saman aikaisesti kirjallisen osuuden kanssa kevään 2023 ensimmäisellä puoliskolla.

2 LÄHTÖTILANNE

2.1 KASVIHUONEVILJELY

Viljeleminen perinteisellä avonaisella pellolla on täysin riippuvainen säästä ja ympäristön haitoista. Suurimpia haittoja kasvatukselle ovat kuivuus, eläimet ja lämpötila. Nämä muuttajat voidaan sulkea pois rakentamalla ympärille seinät ja nostamalla kasvit ylös maasta kasvatusastioihin.

Ensimmäisiä kasvihuoneen kaltaisia rakennuksia, joissa pystyttiin kontrolloimaan sisäilman lämpötilaa ja tämän avulla pidentämään kasvukautta, on rakennettu jo 1400-luvulla. Kasvihuoneiden rakennustyyli, tekniikka ja energiatehokkuus on kehittynyt huimalla tahdilla tähän päivään asti. (Hartley Botanic 2015.)

Nykyajan kasvihuoneet ovat täysin suljettuja järjestelmiä ympäristöstään. Tämän avulla pystytään saavuttamaan kasvatettavien kasvien turvallisimman ja tehokkaimman kasvuympäristö. Kun kasvien tarvitsemaa valoa, ravinteita, ympäristön lämpötilaa, ilmankosteutta ja ilmanpainetta voidaan kontrolloida tarkasti, voidaan saavuttaa kasvulle paras lopputulos. Kuvassa 1 näemme nykyaikaisen kasvihuoneen, joka on rakennettu rakennuksen sisätiloihin. Kasvihuone käyttää vesiviljelytekniikkaa kasvien kasvattamiseen (Aalto University 2019). Tällöin kasvatusastiat voidaan kasata päällekkäin ja kaikki tila kasvatukseen pystytään hyödyntämään.



Kuva 1. Vesiviljelyn hyödyntäminen kasvihuoneessa säästää tilaa (Aalto University 2019).

2.2 VESIVILJELYMENETELMÄT

Vesiviljely on jo vanha kasvatustapa. Kuitenkin nyky-yhteiskunnassa sitä on aloitettu käyttämään monipuolisemmin ja yhä useammin kasvatustapana kaupallisessa sekä kotipuutarhakaivatuksessa. Vesiviljely eroaa normaalista multakasvatuksesta hurjasti, koska kasvatukseen ei käytetä lainkaan multaa. Kasvit asetetaan verkkoruukkuihin ja tuetaan homehtumattomalla materiaalilla. Yleisimpiä tukimateriaaleja ovat kevytsora ja kivivilla. Verkkoruukun tarkoituksena on mahdollistaa kasvin juuriston kasvamisen vapaasti ruukun ulkopuolelle. Eri vesiviljelymenetelmät eroavat toisistaan tavalla kuljettaa vettä. Veden avulla kasvin tarvitsema happi, vesi ja ravinteet toimitetaan sen juurille. (Cannadb 2020.)

Vesiviljelyssä huomattavimpia hyötyjä verrattuna perinteiseen multakasvatukseen on lukuisia. Niistä oleellimmat ovat parempi kasvien kasvun kontrollointi, nopeampi kasvu, suuremmat sadot ja pienempi vedenkulutus. (Kangas 2018.) Kaupallisessa kasvatuksessa näistä jokainen on hyvin tärkeä elementti, jonka takia vesiviljely on yleistynyt huomattavasti (kuva 2).



Kuva 2. Vesiviljelyn hyödyntäminen ruokasalaatin kasvattamisessa on hyvin yleistä Suomessa (Viherkaste 2023).

Kun veden pH-arvoa, ravinteiden määrää ja lämpötilaa voidaan kontrolloida tarkasti, päästään huomattavasti parempaan tuottavuuteen. Tämä johtaa suurempiin ja nopeammin kasvaviin satoihin. Myös vedenkulutuksen vähentyminen on radikaalia verrattuna perinteiseen multakasvatukseen. Kasvin juuret ovat suorassa kosketuksessa veden kanssa ja säätelee itse tarvitseman määrän vettä kasvuun. Samaa vettä voidaan kierrättää järjestelmässä, koska veden laatua voidaan tarkkailla. (Kangas 2018.)

Vesiviljely tuo kuitenkin mukanaan aina uusia ongelmia. Laitteiden rikkoutuminen ja vesikanavien tukkeutuminen voi koitua koko viljelmän kohtaloksi hyvinkin nopeasti. Multakasvatuksessa tätä ongelmaa ei synny ja kasvit reagoivat muutenkin muutokseen hitaammin. (Cannadb 2020.)

Eri vesiviljelymenetelmät jakautuvat kahteen pääkategoriaan: Aktiiviset ja passiiviset järjestelmät. Kaikissa järjestelmissä on kuitenkin samat pääkomponentit, mutta erot syntyvät veden tavoista kulkeutua kasveille. (Cannadb 2020.)

2.2.1 Passiiviset vesiviljelyjärjestelmät

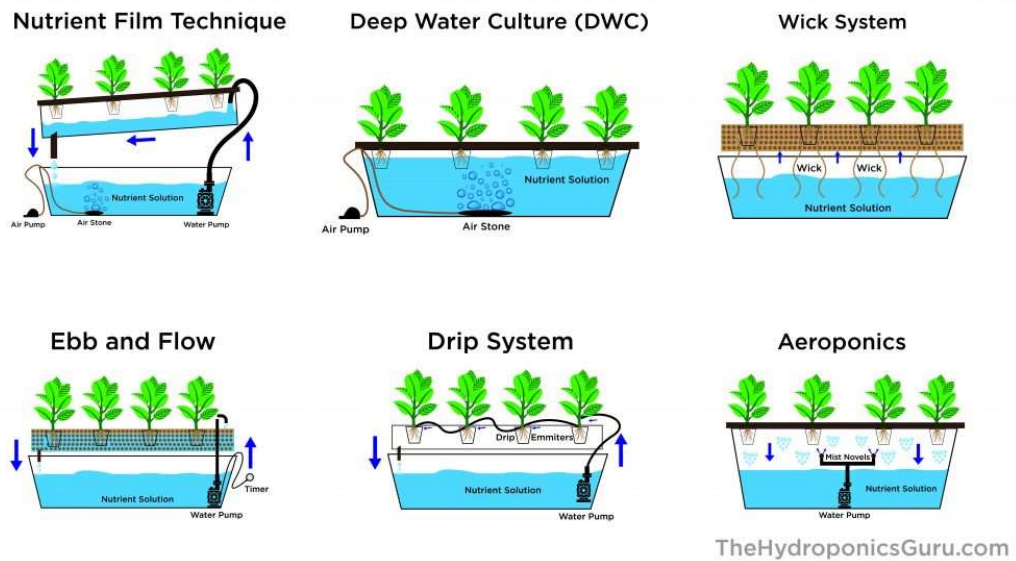
Multakasvatuskin voidaan osittain luokitella passiiviseksi järjestelmäksi. Pääpiirre passiivisella järjestelmällä on, että se ei sisällä ulkopuolista vesipumppua.

Passiivisessa järjestelmässä vesi lisätään valoa läpäisemättömään kannelliseen astiaan. Veden sekaan lisätään kasvin tarvitsemat ravintoaineet. Kasvi asetetaan astian päälle siten, että vain sen juuret ovat kosketuksissa veden kanssa. Valoa läpäisemättömän astian tarkoitus on estää auringonvalon vaikutus veteen. Tällä pyritään estämään levän muodostumista veteen ja muiden bakteerien kasvamista astian laidoille. Tämä voisi tuhota kasvin juuriston. (Cannadb 2020.)

Suljettuun passiiviseen järjestelmään on lisättävä vettä riittävän usein, jotta juuristo ei pääse kuivumaan. On myös tärkeää, että juurille on tarjolla riittävästi happea vedessä. Veden hapettaminen toteutetaan useasti ilmakivellä.



Kuva 3. Terveet juuret vesiviljely järjestelmässä on edellytys kasvien kasvulle (Sanders 2021).



Kuva 4. Eri vesiviljely menetelmät (The Hydroponics guru n.d).

Kuvassa 4 passiivisia järjestelmiä ovat ylempään riviin keskimäinen DWC sekä oikeanpuoleinen WC. Näistä esimerkeistä yleisempi ja rakenteeltaan yksinkertaisempi on ensimmäinen.

DWC-järjestelmä on kappaleen alussa annetun esimerkin kaltainen. Täysin suljettu kannellinen astia, jossa veden hapettaminen toteutetaan ilmakiven avulla. Passiivinen järjestelmä voidaan toteuttaa myös ilman ilmakiveä ja tässä parempi vaihtoehto on WC:n kaltainen menetelmä. Ruukut asetetaan kevyt soran joukkoon vesiastian päälle. Kasvin ruukkuun asetetaan puuvillanarun pätkä, jonka toinen pää asetetaan vesiastiaan. Tällöin vesi voi kapillaarisesti nousta juurille. Tarvitsemansa hapen juuret saavat ilmasta kevytsoran lävitse. (The Hydroponics guru n.d.)

Molemmat passiiviset menetelmät ovat halpoja ja turvallisia ratkaisuja aloittaa vesiviljeleminen. On kuitenkin huomioitava kasvin veden tarpeen määrä kasvatusmenetelmää valittaessa. Esimerkiksi tomaatti tarvitsee runsaasti vettä kasvaakseen. Tällöin parempi ratkaisu on aktiivinen järjestelmä. (The Hydroponics guru n.d.)

2.2.2 Aktiiviset vesiviljelyjärjestelmät

Kaikkien aktiivisten vesiviljelyjärjestelmien yhteinen elementti on vesipumppu. Järjestelmät eroavat toisistaan tavassa kuljettaa vesi kasvin juurille. Se tekee aktiivisista järjestelmistä samanaikaisesti hyvin monipuolisia ja tarkasti valvottavia. Kun järjestelmässä on vain yksi vesipumppu, voi tämän rikkoutuminen aiheuttaa koko sadon kuivumisen. Samalla järjestelmät ovat hyvin monipuolisia laajentumisen suhteen, kuten kuvassa 1 huomasimme sen säästävän huomattavasti tilaa. Kasaamalla kasvatusastiat päällekkäin, voimme käyttää pinta-alan tehokkaammin kasvatukseen.

Aeroponisessa järjestelmässä vesi sumutetaan kasvin juuristolle hienona sumuna ja ylimääräinen vesi valuu takaisin vesisäiliöön. Vesi sitoo itseensä happea sumutettaessa, joten järjestelmään ei ole tarvetta lisätä hapetukseen tarkoitettua laitteistoa. (The Hydroponics guru n.d.) Aeroponista menetelmää on kehitetty Suomessa perunanviljelyn tehostamiseen. Tavoitteena on saada ympärivuotinen kasvatus mahdolliseksi sisätiloissa, jossa kasvuolosuhteita on helpompi hallita. Kaupallisessa perunantuotannossa yritys on saavuttanut yli 100 kertaisen perunan määrän kasvia kohti normaaliin turpeessa viljeltyyn perunaan verrattuna, koska aeroponisella kasvatuksella perunan mukuloita voidaan korjata juuristolta ilman koko kasvin tuhoamista. (Suomen siemenperunakeskus Oy n.d.)

Pisarakastelu eli drip system perustuu veden ja ravinteiden annosteluun kasvin juurille pisaroittain. Vesi pumpataan ohutta vesiputkea pitkin kasvin varren viereen, josta se imeytyy tukimateriaalin lävitse juurille. Menetelmä on alun perin kehitetty puutarhan kasteluun. Tämän avulla pystyttiin säätelemään vedenkuluusta ja pitämään maaperä aina kosteana. Samalla kastelujärjestelmällä pystyttiin kastelemaan koko puutarha, koska veden määrää voitiin säädellä kasvikohtaisesti. (Trees.com, 2022.) Kaupallisessa kasvatuksessa pisarakastelu on yleisin vesiviljelymenetelmistä. (The Hydroponics guru n.d.)

Ebb and Flow järjestelmän toiminta on toiminnaltaan yksinkertainen ja tämän vuoksi myös suosittu kotipuutarhoissa. Rakenne on kaksiosainen, jossa alempi astia toimii vesisäiliönä ja ylempi astia kasvatusaltaana. Kasvit asetellaan reikäruukuissa kasvatusaltaaseen, joka on täytetty jollakin tukimateriaalilla. Tukena

voidaan käyttää kevytsoraa, kivivillaa tai pieniä kiviä. Vesi pumpataan kasvatusaltaaseen siten, että se täyttyy kokonaan. Täyttymisen jälkeen vesi valutetaan tai pumpataan kontrolloidusti takaisin vesisäiliöön. Täyttöjen välissä kasvien juuret annetaan hengittää. (The Hydroponics guru n.d.)

Toinen yleisimpiä aktiivisia järjestelmiä on jatkuvan virran menetelmä, eli Nutrient film technique. Toiminta periaate on samankaltaiseen kuin edellisessä järjestelmässä. Erona tulvivaan järjestelmään on veden jatkuva virtaus kasvien juurilla. Kasvit asetetaan kasvatusaltaaseen siten, että niiden juuristo on vain kosketuksissa veden kanssa. Kasvatusallas asetetaan loivaan kulmaan, joka luo passiivisen virtauksen pumpatulle vedelle. (The Hydroponics guru n.d.) Kaupallisessa toiminnassa (kuva 2) jatkuvan virtauksen menetelmä on yleinen lehtisalaatin kasvatustapa. (Goering 2019.)

Aktiivisten vesiviljelyjärjestelmien erottavia tekijöitä on myös, kuinka veteen saadaan kasville tarvitsemat ravinteet. Yksinkertaisin ja helpommin lähestyttävä tapa on käyttää kemiallisia lisäravinteita, jotka sekoitetaan suoraan vesisäiliöön. Tästä menetelmästä käytetään nimitystä hydroponics. (Bulla 2022.) Toinen vaihtoehto on yhdistää järjestelmä kalankasvatusaltaaseen. Tällöin kalat tuottavat kasvin tarvitsemat ravinteet, jotka pilkotaan mikrobien avulla kasveille soveltuvaan muotoon. Kasvit pystyvät hyödyntämään suurimman osan ravinteista ja hapettavat vettä, joka palaa takaisin kala altaaseen. Tällä imitoimme luonnon normaalia kasvuympäristöä valvotuissa olosuhteissa. (Savela 2018)

2.3 Markkinoiden tarjonta

Vesiviljelyä käytetään jo laajalti ympärimaailman kaupallisissa kasvihuoneissa. Suomalaisten syömistä vihanneksista vuonna 2016 oli 25 % kasvatettu kotimaisissa kasvihuoneissa (Kangas 2018). Kaupallisen toiminnan kasvihuoneissa vesiviljelytekniikkaa hyödynnetään useasti mansikoiden, yrttien, salaattien, tomaattien ja muiden vihannesten viljelyssä.

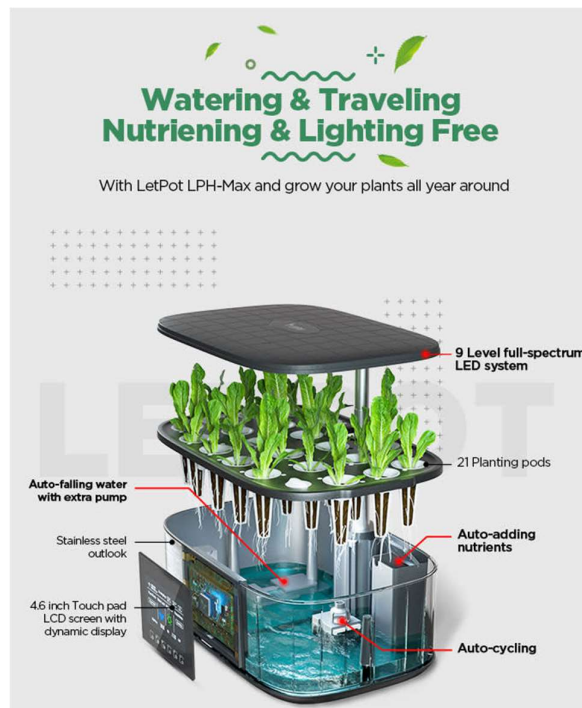
Kotitalouksiin vesiviljelyjärjestelmät sopivat aivan samankaltaisesti, mutta pienempinä kokonaisuuksina. Kotitalouksissa ei aina välttämättä ole takapihalla

mahdollista sijoittaa lämmitettyä kasvihuonetta, johonka järjestelmän voisi sijoittaa. Jos tila kuitenkin löytyy, on vaihtoehtoja saatavilla puutarhamyymälöistä. Yksinkertainen kasvihuoneeseen asennettava vesiviljelyjärjestelmä on kuvan 5 tulvintekniikkaa hyödyntävä. Järjestelmää voi yksittäisten ruukkujen myötä laajentaa tilaan sopivaksi, eikä hankintahinta ole korkea.



Kuva 5. Valmis kaupasta ostettava vesiviljelyjärjestelmä (Hydrofarm 2023).

Keittiön pöydällä kasvattamiseen tarkoitettuja kasvualustoja on 2010-luvun aikana ilmestynyt markkinoille useita. Yleisimmät näistä ovat passiivisia järjestelmiä, niiden helpon huollettavuuden takia. Kuitenkin kuvassa 6 esitellään pöydälle sijoitettava puolipassiivinen vesiviljelyjärjestelmä LetPot LPH-Max. Järjestelmää käyttää kasvatukseen DWC vesiviljelymenetelmää. Laitteeseen voidaan kuitenkin liittää vesiletku, jonka avulla laite itse lisää vettä tarvittaessa. LetPot LPH-Max hallitsee myös itse ravinteiden, valonmäärän ja vedenkierrättämisen. Laite on käyttäjälleen hyvin huoleton 21 kasvin kasvatukseen tarkoitettu laite. (LetPot 2022.)



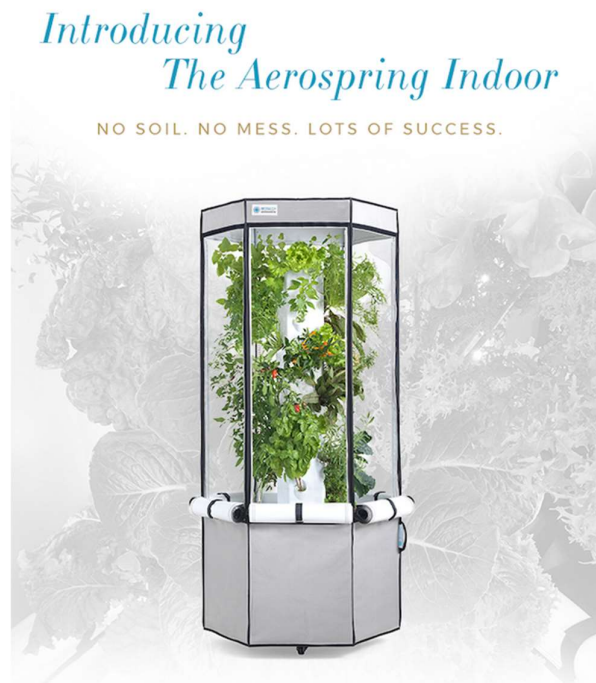
Kuva 6. Puolipassiivinen vesiviljelyjärjestelmä kotitalouteen, joka on täysin automatisoitu (LetPot 2022).

Aktiivisten vesiviljelyjärjestelmien etuna on sijoittaa samalle pinta-alalle enemmän kasvavia kasveja. Vesipumpun ansiosta vesi voidaan kierrättää useampaan kasvustastiaan (kuva 7 ja 8), josta se painovoiman avustamana valuu takaisin vesisäiliöön. Kierrätettävää vettä ei tarvitse vaihtaa yhtä useasti, kuin passiivisessä järjestelmässä. Nämä järjestelmät vaativat vähemmän käyttäjän huomiota, mutta ovat herkempiä laitevaurioille.



Kuva 7. Aktiivinen vesiviljelyjärjestelmä, jonka voi asentaa kotitalouden seinälle (Ponix System 2019).

Suurin ongelma kotitalouksille suunnitelluissa vesiviljelyä hyödyntävissä kasvatusalustoissa on hinta. Markkina on hyvin suppea ja tuote on kallis valmistaa. Samanaikaisesti tuotteesta on tehtävä esteettisesti kaunis, jotta tämän voi sijoittaa kotitaloudessa näkyvälle paikalle. Laitteista syntyy myös valo- ja äänihaittaa, jota kaikki käyttäjät eivät välttämättä siedä.



Kuva 8. Aktiivinen vesiviljelyjärjestelmä suljetulla kasvihuoneella (Aerospring Gardens 2019).

2.4 Tavoitteet

Kuinka useasti ruokakaupasta ostettu tuore ruukkuyrtti käytetään kotitaloudessa kokonaan? Ruokahävikin vähentäminen on ollut jo kauan trendi, joka nostaa edelleen puheenaihetta. Tämän keskustelun ympäriltä syntyi myös tämän opinäytetyön aihe.

Opinnäytetyön tavoitteena on suunnitella kasvihuone ruuanlaitossa käytettäville yrteille. Kasvihuoneen tulee hyödyntää kasvatusalustanaan aktiivista vesiviljelymenetelmää ja oltava mahdollisimman itsenäinen järjestelmä. Kasvihuone tulee olla sijoitettavissa näkyvälle paikalle asuntoon, joten sen tulee olla ulkonäöltään

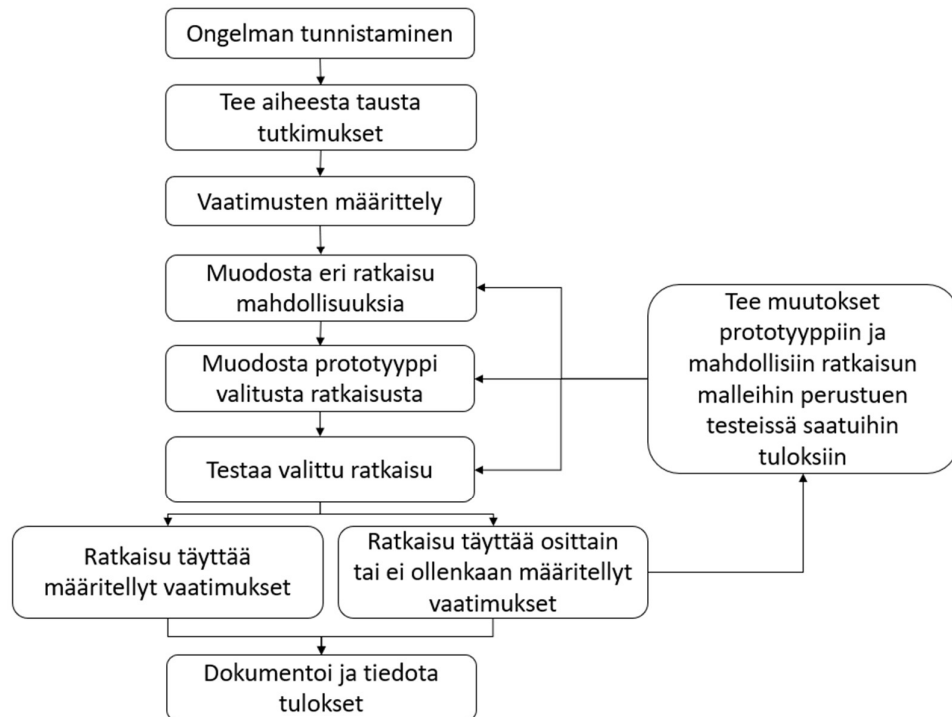
neutraali ja siisti. Kasvihuoneen suunnittelussa on huomioitava sen tuotteistamisen mahdollisuus. Kaikki laitevalinnat ja niiden toiminnallisuus on noudatettava standardien määrittämää vähimmäistasoa.

Työn tarkoituksena ei kuitenkaan ole kopioida jo kehitettyä laitetta tai prosessimenetelmää, vaan pyrkiä suunnittelemaan täysin uusi tuote kohtuulliseen hintaan. Suunnitteluprosessin aikana keskitytään kehittämään ammattikorkeakoulun aikana oppimia taitoja ja vahvistamaan niiden ymmärtämistä todellisen suunnitteluprosessin läpiviennin aikana.

Suunnittelussa keskiönä on laitteiston mekaaninen-, sähkö-, automaatio suunnittelu. Kaikissa osa-alueissa pyritään huomioimaan valmistusmenetelmien edullisuus, helppokäyttöisyys ja luotettava toimivuus. Opinnäytetyön aikana noudatetaan teknisen suunnitteluprosessin tyypillistä suunnittelumallia.

3 TEKNINEN SUUNNITTELUPROSESSI

Suuren kokonaisuuden suunnittelu voi olla hankala aloittaa ilman tarkkaa suunnitelmaa (kuva 9) sen etenemisestä. Siksi suunnittelutyössä on tärkeää ratkaista ensimmäiseksi miksi jotakin suunnitellaan. Kun ongelma on saatu määriteltyä, on se muotoiltava mitattavaan muotoon, jotta työn lopussa voidaan arvioida onnistumista. (Science buddies n.d.)



Kuva 9. Teknisen suunnitteluprosessin tyypillinen etenemä (Science buddies n.d).

Tekninen suunnitteluprosessi (kuva 9) on parhaimmassa tapauksessa hyvin suoriivainen prosessi, jos ongelma ei ole haastava. Kuitenkin harvassa tapauksessa tämä on todennäköistä. Tällöin suunnittelu muistuttaa useammassa tilanteessa jenan askelkuviota. Ratkaisu- ja toteutusmahdollisuuksia kerätään useasta lähteestä, jonka jälkeen tutkitaan näiden mahdollisuuksien toimivuutta. Huomattavan usein kuitenkin on jotain muokattava ja palattava askel taaksepäin. Ratkaisun löydyttyä, joka täyttää määritellyt vaatimukset, voidaan siirtyä eteenpäin. Näitä askelia toistamalla saavutetaan paras mahdollinen lopputulos.

3.1 Vaatimusten määrittely

Suunnitteluprosessin alussa on tärkeää laatia projektin laajuuteen suhteutettuna sopiva vaatimusmäärittely. Tämän määrittelyn tarkoituksena on ymmärtää asiakkaan tai laitteen käyttäjän tarpeet ja toiveet suunniteltavan asian suhteen. Näin voidaan luoda selkeät tavoitteet suunnittelijoille työn tueksi. Vaatimusmäärittelyn kohtien kerääminen on aloitettava asiakkaan sekä eri sidosryhmien kanssa keskustelulla.

Taulukko 1. Käyttäjän vaatimusmäärittelyt kasvihuoneelle (Ville Hämäläinen 2023).

Taso	Numero	Vaatimus	Prioriteetti
USER_REQ	1.1	Käyttäjän on mahdollista ottaa laite käyttöön ilman työkaluja	3
USER_REQ	1.2	Kasvihuone osaa säätää itse kasvua edellyttävät asiat automaattisesti	1
USER_REQ	1.3	Käyttäjän on mahdollista nähdä veden sen hetkinen pH-arvo	2
USER_REQ	1.4	Käyttäjän on mahdollista nähdä veden sen hetkinen lämpötila	5
USER_REQ	1.5	Käyttäjän on mahdollista nähdä veden sen hetkinen EC-arvo	2
USER_REQ	1.6	Käyttäjän on mahdollista nähdä vesisäiliön sen hetkinen pinnan korkeus	3
USER_REQ	1.7	Käyttäjän on mahdollista säätää kasvihuoneen valaistuksen tilaa ja päällä olo aikaa ilman tietokonetta	2
USER_REQ	1.8	Kasvihuoneessa on mahdollista kasvamaan vähintään samanaikaisesti 15 yrttiä tai ruokakasvia.	2
USER_REQ	1.9	Kaikki vesijärjestelmän osat on oltava irroitettavissa ilman työkaluja niiden pesemistä ja huoltamista varten	2
USER_REQ	1.10	Kasvihuoneen pitää olla turvallinen käyttää, vaikka taloudessa olisi pieniä lapsia tai lemmikkieläimiä	3
USER_REQ	1.11	Kasvihuoneen hankinta hinta pitää olla kohtuullinen	1
USER_REQ	1.12	Kasvihuoneen pitää sulautua normaaliin kotitalouden ympäristöön	3
USER_REQ	1.13	Kaikkia kasvihuoneen laitteita on mahdollista käyttää tarvittaessa manuaalisesti	2
USER_REQ	1.14	Kasvihuoneen on oltava mahdollisimman äänetön ja aiheuttamatta suurta valohaittaa asuinhuoneistoon	2

Tämän työn osalta tärkeimmät käyttäjän vaatimusmäärittelyt ovat listattuna taulukossa 1. Käyttäjän vaatimusmäärittelyt eivät määrittele tarkasti laitteen toimintaa, eikä sitä miten laite on rakennettava. Näitä varten on luotava alemman tason määrittelyjä, jotka täyttävät asiakkaan toiveet. Alempia tasoja voi olla useita erikaltaisia, mutta tämän työn osalta käsittelemme sähköisiä-, mekaanisia-, ohjelmallisia-, toiminnallisia- ja laitteellisia vaatimuksia.

Kun käyttäjän vaatimusmäärittelyjä käsitellään yksittäisinä kokonaisuuksina, voimme saada selkeän käsityksen siitä, miten laite tulisi mahdollisesti rakentaa. Jokainen vaatimus käydään erikseen lävitse vielä laitteiston testausvaiheessa, jotta voimme todeta sen täyttävän asiakkaan asettaman vaatimuksen.

Taulukko 2. Käyttäjän ensimmäinen vaatimusmäärittely (Ville Hämäläinen 2023).

Taso	Numero	Vaatus	Prioriteetti	Ratkaisu	Testattu
USER_REQ	1.01	Käyttäjän on mahdollista ottaa laite käyttöön ilman työkaluja	3	1.01	
SYS_REQ	2.01	Järjestelmän käyttöönoton kannalta välttämättömiin laitteisiin on päästävä käsiksi ilman työkaluja	2	1.01, 1.07, 1.09	
MECH_REQ	3.01	Vesiasia on sijoitettava tilaan, joka on varustettu ovella	1	1.01, 1.09, 1.10, 1.12	
MECH_REQ	3.02	Tekniset laitteet ovat sijoitettava tilaan, joka on varustettu ovella	1	1.01, 1.09, 1.10, 1.12	
ELE_REQ	4.01	Sähkönsyöttö laitteelle on suunniteltava toimivaksi pistokkeellisella kaapelilla	1	1.01, 1.10	
ELE_REQ	4.02	Kasvihuoneen sähköt on suunniteltava toimivaksi kotitalouden 240V 50Hz pistorasiasta	1	1.01	
PROG_REQ	6.02	Käyttäjän on mahdollista kalibroida tarvittavat laitteet käyttäen kasvihuoneen näyttöä ja hallinnointi painikkeita	2	1.01	

Taulukon 2 avulla voimme havainnollistaa ratkaisu mallin eri alatasojen määrittelyjen osalta. Jokainen alatasojen määrittely voi omalta osaltaan luoda lisää vaatimusmäärittelyjä suunnitteluun, kuten sähköinen vaatimusmäärittely numero 4.02. Jos kasvihuoneen suunnitellaan käytettäväksi vain kotitalouden pistorasiasta, on huomioitava kaikkien muiden laitteiden tarvittavat käyttöjännitteet (taulukko 3).

Taulukko 3. 4.02 Sähkövaatimuksen ratkaisu ehdotukset (Ville Hämäläinen 2023).

Taso	Numero	Vaatus	Prioriteetti	Ratkaisu	Testattu
ELE_REQ	4.02	Kasvihuoneen sähköt on suunniteltava toimivaksi kotitalouden 240V 50Hz pistorasiasta	1	1.01	
ELE_REQ	4.08	Sähköasennuksissa noudatettava standardien vaatimia määräyksiä turvallisuudesta	1	1.10, 4.02	
DEVICE_REQ	5.12	Sähköjärjestelmään on sisällytettävä jännitteen muunnin 240V -> 24V	1	4.02	
DEVICE_REQ	5.13	Sähköjärjestelmään on sisällytettävä jännitteen muunnin 240V -> 5V	1	4.02	

Käyttäjän vaatimusmäärittely 1.02 sisältää hyvin laajan tason vaatimuksen. Kun tämä jaotellaan alempien tasojen määrittelyyn, on asian tarkastelu yksinkertaisempaa. Taulukossa 4 avulla voimme nähdä tarkemman määrittelyn jokaisella osa-alueella.

Taulukko 4. Käyttäjätason määritelmän 1.02 ratkaisuehdotukset (Ville Hämäläinen 2023).

Taso	Numero	Vaatus	Prioriteetti	Ratkaisu	Testattu
USER_REQ	1.02	Kasvihuone osaa säätää itse kasvua edellyttävät asiat automaattisesti	1	1.02	
SYS_REQ	2.02	Kasvihuoneessa on oltava jokin ohjausyksikkö, joka pystyy ohjaamaan valaistusta, vesipumppuja, lisäravinnepumppuja ja ilmanlämpötilaa	1	1.02, 1.13	
SYS_REQ	2.07	Järjestelmällä on oltava mahdollisuus mitata sen hetkinen veden pH-arvo	1	1.02, 1.03	
SYS_REQ	2.08	Järjestelmällä on oltava mahdollisuus mitata sen hetkinen veden EC-arvo	1	1.02, 1.05	
SYS_REQ	2.09	Järjestelmällä on oltava mahdollisuus mitata sen hetkinen veden lämpötila	3	1.02, 1.04	
SYS_REQ	2.10	Järjestelmällä on oltava mahdollisuus mitata sen hetkinen vesisäiliön pinnan korkeus	3	1.02, 1.06	
ELE_REQ	4.04	Kasvihuoneen vesiasiaan on sijoitettava Ph-anturi	2	1.02, 1.03	
ELE_REQ	4.05	Kasvihuoneen vesiasiaan on sijoitettava EC-anturi	2	1.02, 1.05	
ELE_REQ	4.06	Kasvihuoneen vesiasiaan on sijoitettava Lämpötila-anturi		1.02, 1.04	
ELE_REQ	4.07	Kasvihuoneen vesiasiaan on sijoitettava vedenpinnan korkeutta mittaava anturi	3	1.02, 1.06	
ELE_REQ	4.09	Kasvihuoneeseen on sijoitettava vesipumppu	1	1.02	
DEVICE_REQ	5.05	pH-Anturin mitta-alue on oltava 4-13 pH välillä	3	1.02, 1.03	
DEVICE_REQ	5.06	pH-Anturin on oltava ohjausyksikön kanssa yhteensopiva	3	1.02, 1.03	
DEVICE_REQ	5.07	EC-Anturin mitta-alueen on ulotuttava 0.07 – 50,000 µS/cm välille	3	1.02, 1.05	
DEVICE_REQ	5.08	EC-Anturin on oltava ohjausyksikön kanssa yhteensopiva	3	1.02, 1.05	
DEVICE_REQ	5.09	Lämpötila-anturin on oltava ohjausyksikön kanssa yhteensopiva	4	1.02, 1.04	
DEVICE_REQ	5.10	Vedenpinnan korkeusanturi on oltava ohjausyksikön kanssa yhteensopiva	4	1.02, 1.06	
DEVICE_REQ	5.11	Vedenpinnan korkeusanturi on oltava vähintään 20 cm pituinen	4	1.02, 1.06	
PROG_REQ	6.03	Ohjelman on pystyttävä mittaamaan veden laatua ja säätämään sitä sen tarvitsemalla tavalla automaattisesti	1	1.02	
PROG_REQ	6.07	Ohjelman on pystyttävä säätämään vesipumpun toimintaa	1	1.02	

Liitteessä 1 voimme nähdä työn koko vaatimusmäärittelyn. Vaatimusmäärittelyä tehtäessä on huomioitava työn laajuus ja käyttökohde. Jos ratkaistava ongelma on hyvin yksinkertainen, on vaatimusmäärittelyn tarve vähäinen. Tämän työn osalta voimme huomata, kuinka vaatimusmäärittelyt luovat usean uuden määriteltävän asian. Mitä tarkemmin vaatimusmäärittely tehdään ennen suunnittelutyön aloitusta, sitä helpompi työn aikaisten valintojen tekeminen on.

3.2 Koneturvallisuuden standardit

Uutta tuotetta suunniteltaessa on selvitettävä, mitkä standardit ja säädökset on huomioitava. Kasvihuoneen suunnittelussa SFS 13.110 koneturvallisuus sisältää useita eri standardeja, jota voidaan soveltaa tämän työn kohdalla. Näistä tärkeimmät ovat hygienia, vuorovaikutus koneen ja ihmisen välillä sekä sähköturvallisuus.

3.2.1 Hygieniavaatimukset

Hygieniaa käsittelevä standardi, jota työssä sovelletaan, on SFS-EN ISO 14159. Kasvihuoneessa kasvavat yrtit ovat kokoaikaisesti kosketuksissa ravinneliukseen, eli veteen.

Standardin osalta kaikki kosketuksissa olevien pintojen pitää olla korroosiokestäviä, myrkyttömiä, imukyvyttömiä ja helposti puhdistettavissa. Jos materiaali on metallia, täytyy kaikkien liitossaumojen oltava täysin hitsattuja sekä materiaalin oltava mieluiten ruostumatonta terästä. (SFS-EN ISO 14159, 22.)

Vesiastioiden tulisi olla kannella suojattu ja tiivistetty estämään epäpuhtauksien joutumisen veden joukkoon. Myös järjestelmän anturien ja putkiston on oltava suunniteltu liitettäväksi veteen välttäen rakoja ja katvealueita, jotta epäpuhtauksilta vältytään. (SFS-EN ISO 14159, 28.)

On siis tärkeää muistaa laitteistoa suunniteltaessa kaikkien pintojen, laitteiden ja putkiston puhdistamisen mahdollisuus. Kasvatusaltaan vettä ei kuitenkaan määritellä suoraksi ruokatuotteeksi, joten standardin noudattamista voidaan soveltaa tarvittavilta osilta.

3.2.2 Vuorovaikutus koneen ja ihmisen välillä

Kasvihuoneeseen sijoitettavan näytön ja käyttöpainikkeiden osalta noudatetaan SFS-EN 894-1, 894-2 ja 894-4 standardin osia niiden soveltuvilta osilta. Standardin eri osissa on määritelty hallintalaitteiden ergonominen ja toiminnallisesti järkevä sijoittaminen sekä sen toiminnallisuuden selkeyttäminen.

Tämä mahdollistaa, että käyttäjä hahmottaa meneillään olevat tehtävät, pystyy suorittamaan toimintojen ohjaamisen, sekä toivottujen toiminta strategioiden valitseminen ja hallitsemisen. (SFS-EN 894-4, 10.)

Kuten vaatimusmäärittelyn liitteessä 1 tulee ilmi, että kasvihuoneeseen sijoitettavan näytön tulee olla kosketustoiminen, on hallintapainikkeet sijoitettu samaan yksikköön näytön kanssa. Tällöin voimme näytön grafiikan avulla tuoda ilmi jokaisen hallintapainikkeen toiminnallisuuden, jotta käyttäjä on täysin varma jokaisen tekemään liikkeen kanssa, jota haluaa hallita. (SFS-EN 894-1 + A1, 14.) On myös huomioitava, että järjestelmä ei säädä tai käynnistä asioita, jotka ovat sen laitteiston tai ympäristön turvallisuuden kannalta vaarallisia, vaikka käyttäjä näin pyrkisi tekemään. (SFS-EN 894-1 + A1, 16.)

Näytön sijoittamisessa on huomioitava sen ergonominen katselu ja sen käyttöpainikkeiden hallinta. Paikkaa valittaessa voidaan olettaa käyttäjän olevan aikuinen ihminen ja käyttäen näyttöä seisoma-asennossa. Ergonominen asento katseluun on silmien korkeudella, mutta käyttöpainikkeiden hallinta ei. Voidaan kuitenkin olettaa käyttöpainikkeiden hallinnan olevan hyvin satunnaista ja sijoittaa näyttö katsomisen kannalta ergonomiselle 1750 mm korkeudelle. (SFS-EN 894-4, s.64.)

3.2.3 Sähköturvallisuus

Kasvihuoneessa sovelletaan SFS 6000-7-713 sen asennustapojen osalta. Standardin kolme tärkeintä vaatimusta on sähkönsyötön toteuttaminen, vikavirtasuojaus ja sähkölaitteiden sijoitus.

Kuten kappaleessa 3.1 vaatimusmäärittelyn yhdeksi kohdaksi oli asetettu sähkönsyöttö toteutettavaksi pistoliittimellisellä kaapelilla, on tämä vaatimuksena myös standardissa. Laitteen sähkökojeet on sijoitettava todennäköisen veden

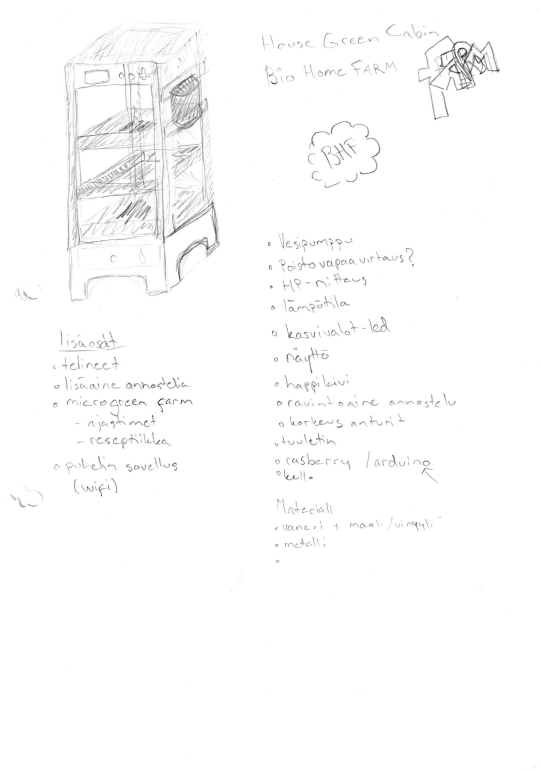
roiskumisen kannalta suojaan, sekä kaikki sähköasennuksen on suunniteltava siten, että niiden vikavirtasuojaus on toimittava 30 mA:lla. (SFS 6000-7-713, 8)

Sähköturvallisuuden lisäksi SFS 6000-1 on riittävä täydentämään yleisellä tasolla määriteltäviä määräyksiä. Laitteiston sähkökomponentit on asennettava suojaan paikkaan, mutta kuitenkin niin, että niiden vaihto ja huoltotyö on mahdollista. Sähköasennuksista on myös luotava kaikki tarvittavat dokumentit ja tehtävä käyttöönottotarkistus.

Käyttöönottotarkistuksessa todetaan asennettujen komponenttien soveltuvuus kohteeseen, vikavirtasuojauksen toiminta, johtimien eristysvastusmittaukset sekä maadoituksen jatkuvuus.

3.3 Suunnittelu ja ideointi

Jotta teknisessä suunnitteluprosessissa saavutetaan paras mahdollinen lopputulos, on ratkaisu tavoiksi oltava useita eri vaihtoehtoja. Näiden välillä pystytään suorittamaan vertailtavia mittauksia ja valita lopulliseksi vaihtoehdoksi paras mahdollinen vaihtoehto. Koska budjetti projektissa on rajallinen, on hyvä aloittaa tutkimalla markkinoilla saatavilla olevia laitteita. Näiden fyysinen koko on suurin rajoittava tekijä laitteiston suunnittelussa.



Kuva 10. Ensimmäinen luonnostelu ja ominaisuuksien pohdintaa (Ville Hämäläinen 2023).

Helpoin ratkaisu ominaisuuksia ja toimintoja rajattaessa, on muodostaa lista ideoista. Tämän listan avulla, kuten kuvassa 10 näemme, on tarvittavien laitteiden haku johdonmukaista. Lopulliseen työhön kaikki alkuvaiheen suunnittelun ideat eivät kannu, vaan niistä karsiintuu osa pois. Tähän työhön hankittujen osien listan ja hinnat voimme nähdä liitteestä 2.

Vedenkierrättämistä järjestelmässä on tarkastettava jo luonnosteluvaiheessa. Pyrkimässä hyödyntämään kasvihuoneen pinta-alasta kaiken mahdollisen, on kasvatusalustat sijoitettava useaan kerrokseen. Kasvatettavien kasvien korkeus on tällöin otettava huomioon. Tavoitteena kasvihuoneessa on kasvattaa kotitalouden keittiössä käytettäviä ruokayrttejä, mitkä soveltuvat vesiviljelykasvatukseen. Näitä ovat esimerkiksi meirami, minttu, organo, basilika, rosmariini, timjami, persilja, sitruunamelissa, salvia, rakuuna, korianteri, ruohosipuli ja tilli.

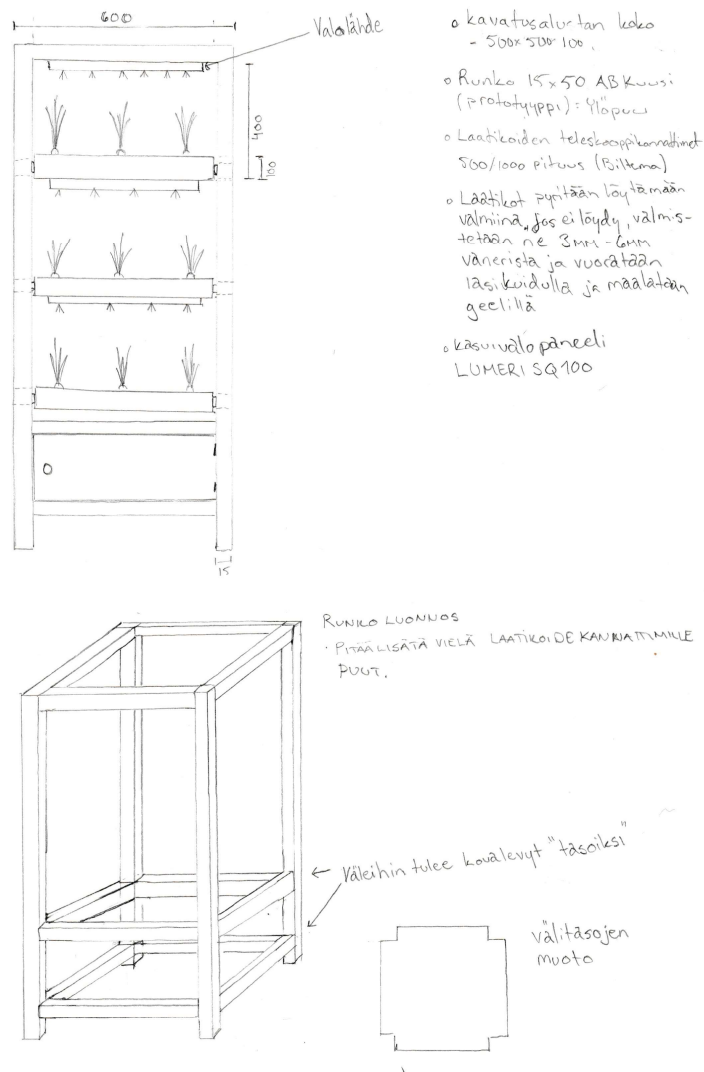
Kaikki mainitut yrtit ovat kasvukorkeudeltaan 20–30 cm, pois lukien tilli. Tilli on ruohokasvi, jota voidaan leikata jatkuvasti. Se on nopeakasvuinen maustekasvi ja voi kasvaa lajin mukaan jopa 100 cm korkuiseksi. Kun tilli pääsee kukkimaan,

heikkenee sen maku miedommaksi ja tätä nimitetään kruunutilliksi. Tavoite kasvihuoneessa on pitää tillin ja muidenkin yrttien pituus alle 30 cm, jolloin myös tillin maku on voimakkain (Satokausi 2016).

Suunniteltava vapaa korkeus kasvatustasojen välille on tällöin 30–40 cm, jotta kasveilla on mahdollisimman paljon kasvutilaa. Jos eri kasvatettavia yrttejä on yhteensä 13 kappaletta ja satoa on tavoite harventaa tasaisesti käyttöön, olisi näitä tällöin oltava vähintään kaksi kappaletta kutakin lajiketta, eli yhteensä 26 ruukkupaikkaa.

Aikaisemmin kuvassa 6 näkyvä pöytämallinen järjestelmä tulisi 26 ruukku paikan laitteena fyysisesti todella isoksi. Tällöin sen sijoittaminen pöydälle olisi hankalaa kotitaloudessa. Toinen kotitaloudelle suunnattu laite oli Ponix Systemsin suunnittelema (kuva 7), joka oli sijoitettu seinälle. Tällöin 10 ruukkupaikkaa sijoitettaisiin kolmeen eri riviin ja tekninen tila sen alapuolelle. Laitteen paino ja asennuksen vaativuus ei täytä vaatimusmäärittelyn kohtaa yksi, jossa laite on saatava käyttöön ilman työkaluja.

Kolmas ajatus ratkaisusta on rakenteellisesti kirjahyllyä muistuttava muoto. Tällöin kasvatusalustat sijoittuvat päällekkäin ja teknisen tilan voisi sijoittaa laitteen ala-, sivuosaan tai päälle. Kuvassa 11 on viimeisin luonnos kirjahyllyn kaltaisesta ratkaisumallista. Tekninen tila on suunniteltu sijoitettavaksi kasvihuoneen alaosaan omaan tilaan, jotta kaikki laitteet saadaan piilotettua. Kasvatusalustoja on 3, jotka ovat ulosvedettävissä helpomman hoitamisen vuoksi. Ratkaisumalli täyttää kaikki vaatimusmäärittelyn kohdat ja laitteen suunnittelu aloitetaan tämän pohjalta.



Kuva 11. Suunnittelun viimeisin luonnos, jonka pohjalta 3D mallintaminen on aloitettu (Ville Hämäläinen 2023).

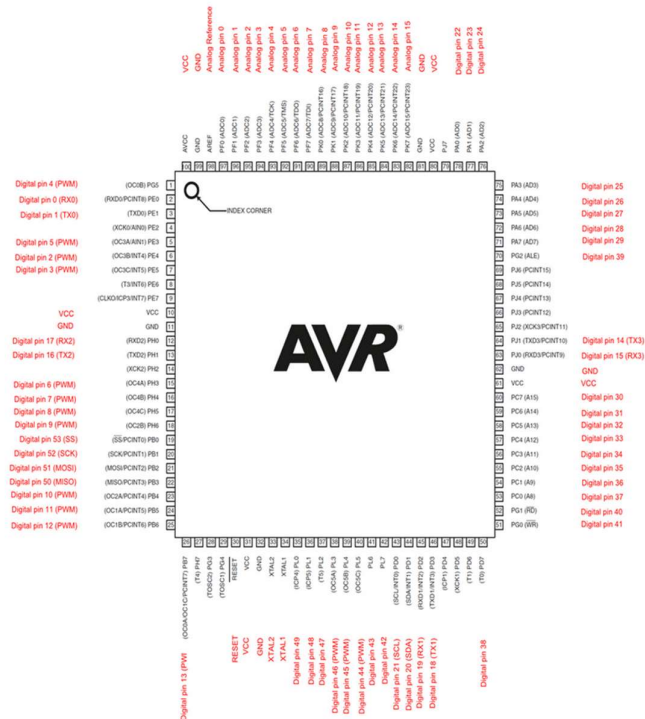
4 TEKNINEN TOTEUTUS JA LAITTEET

4.1 Kasvihuoneen ohjausyksikkö

Ohjausyksikköä valittaessa on vaihtoehtoja useita erihintaisia ja käyttötilanteisiin soveltuvia. Suurin ero niiden välillä on käytettävissä olevat portit, nopeus ja ohjelmointikieli. Tampereen ammattikorkeakoulussa on kursseilla tutustuttu käyttämään Siemens LOGO- ja Simatic-sarjan teollisuuteen suuntautuvia kontrolleita, sekä Arduinon valmistamaan kevyempien tehtävien mikrokontrollereihin.

Valinta ohjausyksikön suhteen on näiden väliltä yksinkertainen. Arduinon valikoima sisältää useita tähän käyttöön soveltuvia vaihtoehtoja. (Arduino.cc 2023.) Vahvuuksina Arduinolla on sen helppokäyttöisyys, saatavuus ja hinta. Ohjelmointikielenä Arduinon mikrokontrollereissa käytetään pythonia, joka on täysin ilmainen. Siemensin valmistama LOGO-sarjan ohjelmointityökalu on myös ilmainen, mutta laitteiston hankintahinta korkeampi. Arduinon valmistama MEGA- ja UNO-mallit sisältävät enemmän digitaalisia ja analogisia portteja, joten tämä ominaisuus rajasi hintavertailuissa Siemensin pois vaihtoehtoista.

MEGA-sarjan ATmega2560 mikrokontrollerissa on käytössä 54 digitaalista ja 16 analogista prosessiliityntä pinniä (kuva 12). UNO-sarjan ATmega328P mikrokontrollerissa on prosessiliityntöjä vain 14 digitaalista sisään- tai ulostuloa, sekä 6 analogista sisääntuloa. Hinta ero ATmega2560 ja ATmega328P välillä on vain 18 euroa. (Arduino.cc, 2023.) Valitsemalla ATmega2560 mikrokontrollerin on tulevaisuuden laajentumiseen mahdollisuus.

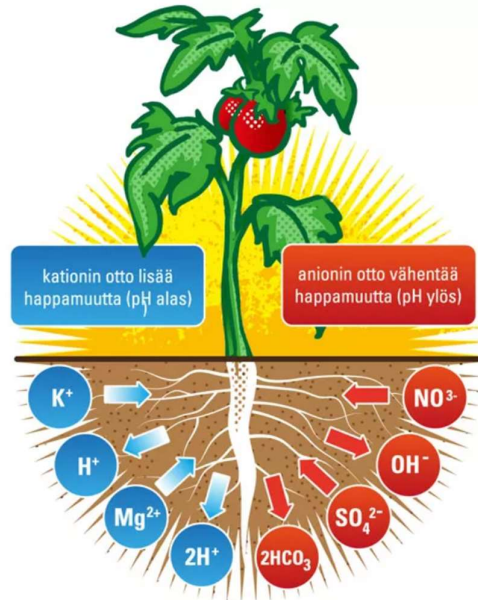


Kuva 12. ATmega2560 pinnien tasopiirustus (Arduino.cc 2023).

4.2 Olosuhteiden seuranta

Kasveille tärkeimmät muuttujat vesiviljelyssä käytettävän veden laadussa ovat sen pH-arvo, lämpötila ja elektrolyyttitasapaino. Näiden arvojen mittaamiseen voidaan käyttää täysin tavallista käsitoimista mittaria ja säätää arvoja aineiden avulla manuaalisesti. Työn tarkoituksena on kuitenkin pyrkiä automatisoimaan koko valvonta ja hallinta, jolla toteutetaan kasveille paras mahdollinen kasvumahdollisuus.

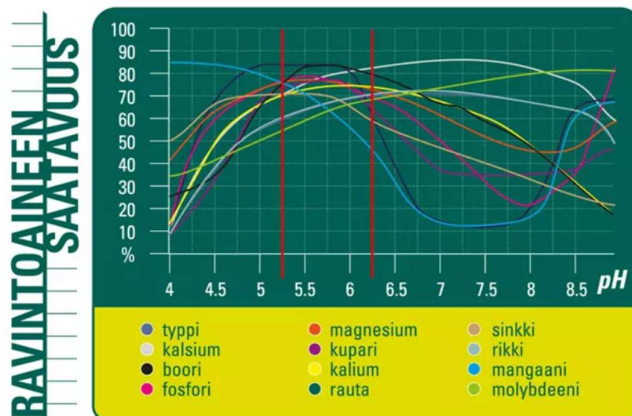
Tärkein veden laadussa on elektrolyyttitasapaino. Veden elektrolyyttisyyttä mitataan sen sähköjohtavuuden arvona, jonka yksikkönä on mikrosiemensä senttimetrillä $\mu S/cm$. Tähän vaikuttavat tekijät ovat lisäravinteiden määrä vedessä. Tärkeimmät kasvu edellyttävät alkuaineet, jota ravintoaineista saadaan ovat typpi, fosfori, kalium ja magnesium. Kasvi ei pysty hyödyntämään näitä puhtaasti alkuainemuodossa, vaan erilaisina yhdisteinä. Lisäämällä veteen näitä alkuaineita ja muita mineraaleja, muuttaa se veden sähköjohtavuutta ja pH arvoa. Nämä hajoavat veden sisältämän hapen H ja hiilidioksidin O^2 kanssa tarvittaviksi yhdisteiksi (kuva 13).



Kuva 13. Sähköjohtavuuden ja pH arvon vaihteluun vedessä vaikuttavat ravintoaineiden vastaanotto (Research 2019).

Esimerkkinä sähköjohtavuuden synnystä on, kun veteen lisättä natriumkloridia NaCl eli ruokasoodaa, sekoittuu se veteen joutuessa natrium+ ja kloridi- ioneiksi. Nämä muodostavat veteen sähköjohtavuutta niiden eriparisuuden takia. (Dunn & Singh 2017.)

Veden pH-arvon seurannalla on tärkeä osa mahdollistaa kaikkien tarvittavien ravintoaineiden liukeneminen veteen. Parhaan mahdollisen pH-arvo alueen on huomattu olevan 5.2–6.2 (kuva 14). (Research 2019.)



Kuva 14. Ravintoaineiden liukeneminen veteen eri pH arvoilla (Research 2019).

Antureiden valintaa tehdessä on huomioitava mitattava alue, tarvittava resoluutio ja yhteensopivuus järjestelmään. Vaihtoehtoja on useita, mutta AtlasScientific valmistamat tuotteet nousivat vertailussa yli muiden. Heidän valmistamansa anturit ovat hieman korkeamman hintaluokan laitteita verrattuna Kiinasta tilattaviin vaihtoehtoihin. Ratkaisevaksi tekijäksi nousi niiden helppokäyttöisyys ja yhteensopivuus. Whitebox labs yrityksen kehittämän piirikortin kanssa yhteensopivuus tekee asennuksesta siistimmän ja luotettavamman. Nämä piirikortit sopivat myös suoraan Arduino MEGAn kanssa yhteen.



Kuva 15. Atlas Scientific valmistamat sähkönjohtavuus-, pH- sekä kosteusanturit (Ville Hämäläinen 2023).

Kuvassa 15 näemme projektiin valikoituneet pH- ja sähkönjohtavuusanturin. pH-anturilla mittausalue on 2–13 pH ja resoluutio +/- 0,1 yksikköä. EC-anturilla tarkkuus +/- 2 % ja mittauksen ulottuen 5–200 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ alueelle. Näiden antureiden mittaama tieto perustuu jännitteen vaihteluun. Vaihteluväli on kuitenkin hyvin pieni, joten sitä ei voida mitata suoraan Arduinon sisääntulossa. Luettu anturitieto

on vahvistettava ja suodatettava luettavaan muotoon kuvan 16 mukaisen kommunikaatiopiirilevyn avulla, josta molempien anturien tiedot kulkevat suoraan Arduinin analogiatuloihin.



Kuva 16. Kommunikaatiopiirilevy EC- ja pH antureille (Ville Hämäläinen 2023).

4.3 Olosuhteiden hallinta

Mitattujen arvojen perusteella saamme tiedon mitä veden joukkoon on lisättävä, jotta ravinneliuos kasveille on optimaalisin. Saman toimittajan verkkokaupan valikoimasta löytyy ratkaisu myös eri nesteiden lisäämiseen. Kuvan 17 mukaisten pumppujen avulla voidaan annostella veden joukkoon tarvittavat nesteet 0,5 ml tarkkuudella.



Kuva 17. Atlas Scientific valmistamat annostelu pumput, joissa moottorin ohjaukseen tarkoitettu piirilevy valmiina (Ville Hämäläinen 2023).



Kuva 18. Kaikki antureiden kalibrointiin tarvittavat nesteet, sekä pH arvon muuttamiseen kasvupohjassa (Ville Hämäläinen 2023).

Koska kasvatusalustat on suunniteltu sijoitettavaksi päällekkäin, tarvitaan vesipumppu. Pumpun avulla pystymme nostamaan veden kasvihuoneen alaosasta ylimpään kasvatusalustaseen. Korkeuseroksi laitteita etsiessä voimme olettaa 1,8 metriä, mikä on todennäköisin kaapin koko korkeus.

PLATINIUM 2000

Kuva 19. Platinum 2000 uppovesipumppu (Pavunvarsi 2023).

Platinum 2000 uppovesipumppu (kuva 19), on tarkoitettu vesiviljelyjärjestelmiin ja pystyy nostattamaan veden 2,5 metrin korkeuteen ja tuottamaan 2000 litraa tunnissa tilavuusvirran vain 45W teholla. Pumpun tuottama suuren tilavuusvirran ansiosta kasvatusaltaisiin saadaan aikaiseksi virtausta, joka helpottaa veden vaihtumista kasvien juurilla.

4.4 Kasvihuoneen valaistus

Valaistuksen suunnittelu on erittäin tärkeä osa kasvihuoneen suunnittelua, sillä yrtit tarvitsevat tarpeeksi valoa kasvaakseen terveiksi ja vahvoiksi. Alla on listattuna huomioitavia asioita valaistuksen suunnittelusta:

1. Tarvittavan valon määrä: Tämä riippuu suuresti yrttilajista ja sen kasvuvaiheesta. Useasti yrtit vaativat vähintään 12–16 tuntia päivässä valoa. (Picot 2023.)
2. Valon laatu ja voimakkuus: Kasvin fotosynteesiin kannalta tärkeimmät valon aaltopituusalueet ovat 400–700 nanometriä. Suurimman vaikutuksen niistä saavat aikaan sinisen ja punaisen sävyn alueet, joita kasvi hyödyntää pituuden ja kukinnan kasvatukseen. (Kudjoi 2019.) Voimakkuudesta puhutaan valaistuksessa useasti määrällä luumenia neliometriä kohti, eli lux arvosta. Kasvien kasvatuksessa puhutaan kuitenkin fotosynteettisen

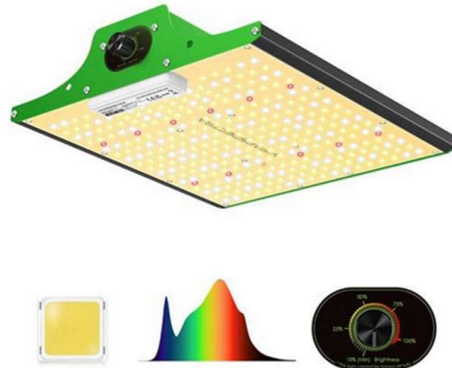
fotonivuon tiheydestä $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. Kasvien tarvitsema fotosynteettisen fotonivuon määrä voi vaihdella kasvien 100–600 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ välillä. (Stanghellini, Ooster & Heuvelink 2019, 135.)

3. Valaisimien sijainti: Kun tarvittavan valonmäärä on selvitetty, tulee miettiä mihin valaisin sijoitetaan kasvihuoneeseen. Yleensä valaisimet ripustetaan ylhäältä, jotta valo jakautuu tasaisesti kasveille. Valaisimien etäisyys kasveista riippuu valaisinten tehosta ja kasvien tarvitsemasta valomäärästä. (Kudjoi 2019.)
4. Valaisimien tyyppi: Valaisimien tyyppi vaikuttaa valonmäärään ja laatuun. Useimmat kasvihuoneet käyttävät LED-valoja, sillä ne ovat energiatehokkaita, pitkäikäisiä sekä tuottavat vähemmän lämpöä kuin monimetalli ja loisteputkivalaisimet. On tärkeää varmistaa, että käytettävät valaisimet soveltuvat yrttien kasvatukseen ja ne ovat turvallisia käyttää kasvihuoneessa. (Kudjoi 2019.)
5. Valaistuksen ajoitus: Yrttien kasvattamisessa on tärkeää pitää yllä oikeaa valaistuksen ajoitusta. Kasvit tarvitsevat pimeää aikaa kasvaakseen, joten on tärkeää sammuttaa valot tarvittavaksi ajaksi, jotta kasvit voivat levätä. (Stanghellini, Ooster & Heuvelink 2019, 137.)

Kasvihuoneeseen valikoitunut valaisin (kuva 20) Viparspectra P600 täytti valaistuksen osalta parhaiten vaatimukset. Sen matalan profiilin, kohtuullisen hinnan ja saatavuuden tilanne ratkaisivat valinnan.

Valittu valaisin omaa yrttien kasvatukseen tarpeellisen 400–700 nanometrin täyden väri spektrin ja pystyy tuottamaan jopa yli 900 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. Fotosynteettisen fotonivuon tiheyttä voi valaisimessa rajoittaa portaattomalla himmennyksellä. Koska valo on suunniteltu kasvihuone käyttöön, tuottaa valo ihmisen silmälle näkyvän valkoisen 4000 Kelviniä sävyn, joka ei ole kotikäytössä yhtä häiritsevän näköinen kuin puna- sininen valaistus.

VIPARSPECTRA P600 90W



Kuva 20. Viparspectra P600 90W täyden spektrin LED-kasvivalaisin (Pavunvarsi 2022).

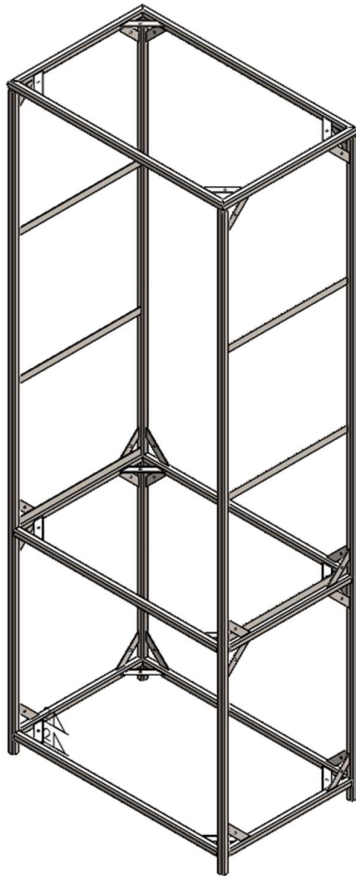
4.5 Mekaaninen rakenne

Kun kasvihuoneen kaikki tarvittavat osat on valikoitu, on mahdollisuus aloittaa kaapin 3D-mallintaminen. Mallintamiseen työssä on käytetty Solidworks ohjelmissä. Ohjelman avulla pystytään luomaan kasvihuoneen 3D-malli ja valmistukseen tarvittavat piirustukset. Valittujen laitteiden sopivuus on kannattavaa tarkistaa 3D-mallissa, jotta vältetään virheitä.

Mallintaessa kasvihuonetta kannattaa jokaista mitta ajatella muuttujana. Jos suunnittelun aikana huomataan tarve vaihtaa kasvihuoneen leveyttä, ei tällöin tarvitse suunnittelua aloittaa täysin alusta. Jos kasvihuoneen leveys määritellään kaavan 1 mukaan, on tällöin esimerkiksi kaapin sisämittaa helpompi kasvattaa.

$$\text{kasvihuoneenLeveys} = (\text{runkopalkinPaksuus} * 2) + \text{sisämitta} \quad (1)$$

Kokemus sähkö-, putki- ja mekaanisesta asentamisesta tukee valtavasti suunnittelua. Mallintaessa runkoa (kuva 21) on huomioitava, miten sähkölaitteiden kaapelointi toteutetaan tai kasvatusalaiden tarvittavat putkitukset tullaan asentamaan. Nämäkin voidaan mallintaa 3D-malliin, jos se nähdään tarpeelliseksi.



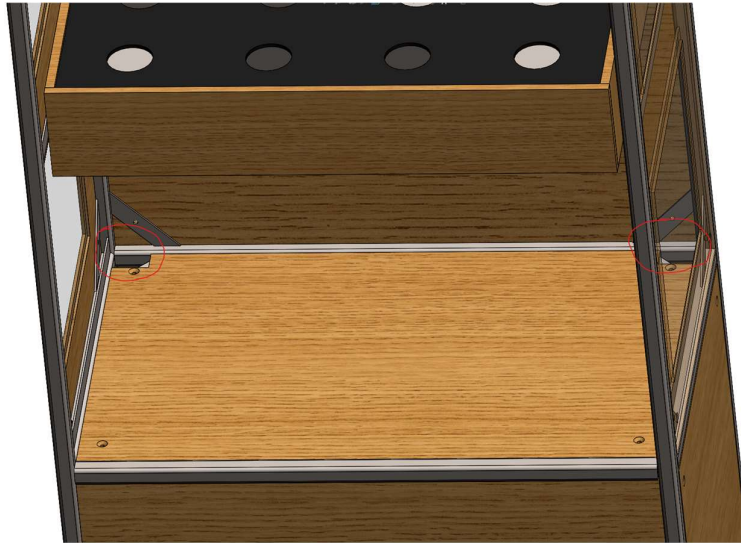
Kuva 21. Kasvihuoneen ensimmäinen rungon teräs rakenne. Rakenteen suunnitteluun on käytetty 20x20x2 teräs profiilia (Ville Hämäläinen 2023).

Kasvihuoneen runkorakennetta suunniteltaessa mahdollisuuksia materiaalivalintojen osalta on useita. Halvin vaihtoehto olisi rakentaa kasvihuoneen runko täysin vanerilevystä. Jos kasvihuone on täysin suljettu tila, nousee ilmankosteus korkeaksi. Ilman kunnollista vanerilevyn pintakäsittelyä laskee ilmankosteus kasvihuoneen käyttöikä.

Standardissa SFS-EN ISO 14159 määriteltiin, että kaikkien pintojen on oltava helposti puhdistettavissa. (SFS-EN ISO 14159, 22.) Tällöin ratkaisumahdollisuudeksi muodostuu rautainen runkorakenne. Rautarungon vahvuus nousee esille sen jäykkyydessä ja pitkäikäisyydessä. Täysin rautainen olemus kuitenkin ei ole paras mahdollinen kotitalouteen suunnatulle laitteelle. Rautarunkoon voidaan asentaa vanerilevy paneelit, jotka ovat helposti irrotettavissa puhdistusta varten.

Teknisen tilan ja kasvihuoneen rajaavaan kanteen on jätettävä vesiputkistolle oikealle ja sähköjohtoille vasemmalle läpiviennit (kuva 22). Asennuksen jälkeen

kulmiin voidaan asentaa kotelointi, joka luo siistimmän ulkoilmeen. Koteloinnille jätetään 5 senttimetrin tila kasvihuoneen takaseinän ja kasvatusalustojen väliin asennusta varten (kuva 23).



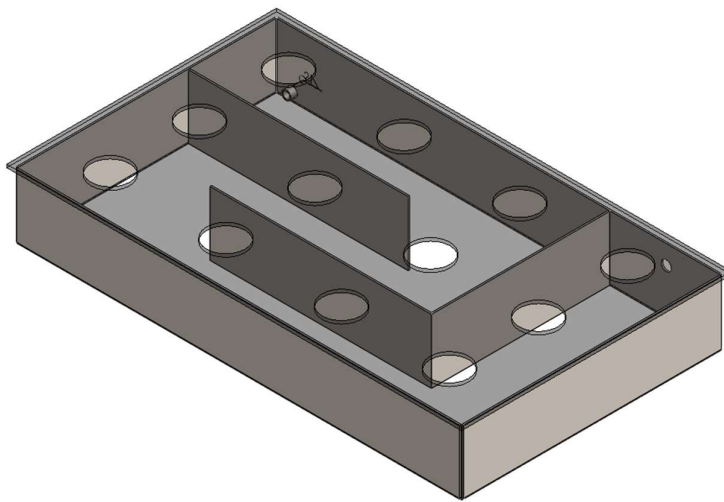
Kuva 22. Teknisen tilan ja kasvatustilan välisen kannen reunoissa jätetty tila kaapeleille ja vesiletkuille (Ville Hämäläinen 2023).



Kuva 23. Takaseinän ja kasvatusalustojen väliin jätetty 5 senttimetrin tila kaapeloinnille ja vesiletkuille (Ville Hämäläinen 2023).

Kasvihuoneen vaatimusmäärittelyssä asetettiin 15 kasvin vähimmäismäärä. Suunnitteluvaiheen aikana tarpeen määräksi ajateltiin 26 ruukkupaikkaa, jotta lähes jokaista kasvia voisi olla kaksi kappaletta. Jos kasvihuoneeseen asetetaan kolme tasoa, jossa kussakin on 12 ruukkupaikkaa, on tällöin tilaa samanaikaisesti 36 kasvavalle kasville. Tällä ratkaisulla myös laajentumiseen jää varaa 10 ruukkupaikan verran.

Asennettaessa kolme kasvatusalustaa, vapaata tilaa alustojen väliin jää 30 senttimetriä. Tätä korkeutta rajoittaa kuitenkin valaisimen paksuus. Vaihtoehtoisesti kasvatusalustoja voi laitteeseen asentaa vain kaksi, jolloin kasveille jäisi 50 senttiä kasvutilaa. Tällöin kasvihuoneeseen mahtuisi kuitenkin vain 24 ruukkua. On siis pidättäytyttävä kolmen kasvatusalustan vaihtoehdossa ja harvennettava kasveja useammin.



Kuva 24. Kasvatusalusta, jonka kansi on esityksessä asetettu läpinäkyväksi (Ville Hämäläinen 2023).

Vesi pumpataan kasvatusalustoihin sen oikeassa reunassa olevasta liittimen paikasta sisään (kuva 24) ja se poistuu alustan vasemmasta reunasta. Veden virtaukseen näiden pisteiden välillä vaikuttaa pumpun aiheuttama virtaus ja painovoima. Virtauksen voimakkuutta voidaan parantaa kasvatusalustaan vesikanavan kaadolla.

Materiaalivaihtoehtoja kasvatusalustalle on muutamia, mutta jokaisella on omat heikkoudet ja vahvuudet. Jos alustat valmistetaan metallista, on näiden kaikki saumat hitsattava kokonaan ja 90 asteen suorita kulmia on vältettävä. Hinta ja valmistamisen vaikeus rajaa tämän mahdollisuuden pois, koska ainoa hyväksytty metalliseos olisi ruostumatongeräs. (SFS-EN ISO 14159, 22.)

Kasvatusalustojen muut materiaalivaihtoehdot ovat ruostumatonta teräslevyä huomattavasti halvempia vaihtoehtoja. Taulukossa 5 voimme nähdä materiaalivaihtoehtojen välisen vertailun ominaisuuksien perusteella. Ratkaisu materiaaliin löytyy 3D-tulostamisen ja lasikuidun yhdistelmästä. 3D-tulostamalla vesikaukalo loivalla kaadolla, parantaa veden virtausta. Tämä voidaan päällystää lasivillalla ja kovettaa se elintarviketeollisuuden hyväksytyllä epoksilla. (Nettiverstas n.d.)

Taulukko 5. Materiaalien vertailu kasvatusalustan kaukalon valmistamiseen (Ville Hämäläinen 2023).

Ruostumaton teräslevy	+Hitsattavuus +Saatavuus +Puhtaanapito +Vankkarakenteinen	-Hinta +/- Vedenpitävyys -Kaadon muodostaminen -Paino -Terävät sisäkulmat -> Vaikea puhdistaa
3D-tulostettu PLA	+Hinta +Kaadon muodostaminen +Kevyt	-Pinnoitettava epoksihart-silla, jotta vedenpitävä +/- Puhtaana pito
Lasikuitu	+Hinta +Kaadon muodostaminen +Puhtaanapito +Saatavuus +Vedenpitävyys +Kevyt	+/-Elintarvike ystävällisyys -Käsittely



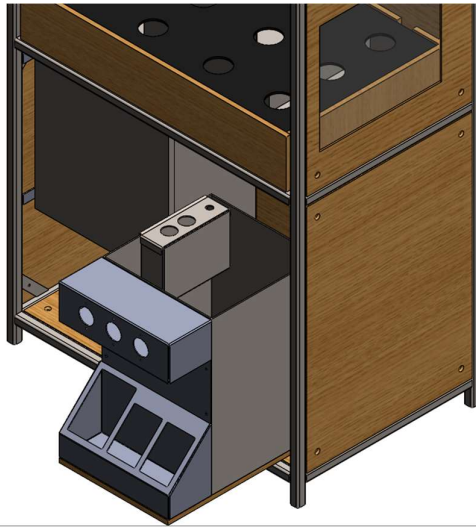
Kuva 25. Kasvihuoneen lopullinen 3D-malli. Oikealla kasvatusalustat ulos vedettynä (Ville Hämäläinen 2023).

Teknisen tilan osalta muutokset luonnosvaiheeseen ovat olleet merkittävimmät. Tilan korkeutta oli kasvatettava ja laitteiden sijoittelua muutettava. Tilan vasempaan laitaan (kuva 26) on sijoitettuna sähkökaappi. Kaapin IP62-luokitus täyttää tarvittavat määräykset sijoitettavaksi näin lähelle vesiastiaa, joka kuvassa 26 oikealla. Kaikki kaapelien holkkitiivisteet on sijoitettava kaapin alaosaan, jotta IP-luokitus täyttyy.

Vesiastian tarvittava tilavuus saadaan määriteltä kaavan 2 avulla. Ajatus tilavuuden määrittelyssä on, että astiaan mahtuu koko vesijärjestelmän vaatima vesimäärä. Näin ollen huollon aikana kasvatusalustojen vesi voidaan tyhjentää hallitusti putkistoa pitkin säiliöön. Kasvatusalustojen vedenpinta pyritään pitämään alle 3 senttimetrin korkeudessa, joten tällöin järjestelmän kokonaistilavuudeksi saadaan 19,7 litraa.

$$V_{\text{säiliö}} = (3 * A_{\text{alus}} * l_{\text{vedenpinta}}) + \left(\frac{\pi * d_{\text{putki}}^2}{4} * 6m \right) = 19,7 \text{ litraa} \quad (2)$$

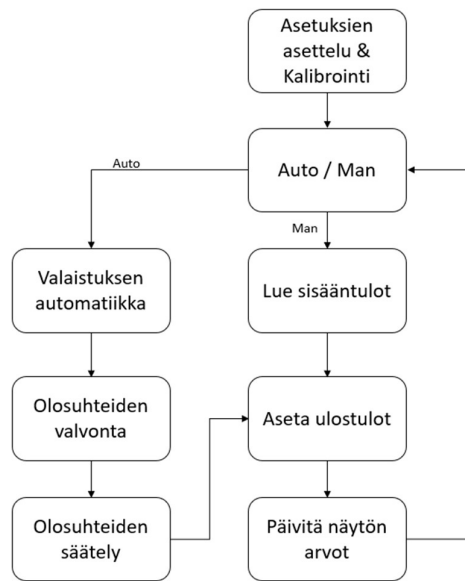
Neliskanttisen 25 cm x 35 cm x 35 cm kokoisen astian tilavuudeksi saadaan 21,87 litraa. Korkeuden puolesta teknisessä tilassa on varaa nostaa laitakorkeutta, estääksemme ylitulon.



Kuva 26. Teknisessä tilassa sijaitseva sähkökaappi, ulosvedettävissä oleva vesiasia ja kemikaalilinen. Telineen ylälaudassa sijaitsee kemikaalien annostelu pumput (Ville Hämäläinen 2023).

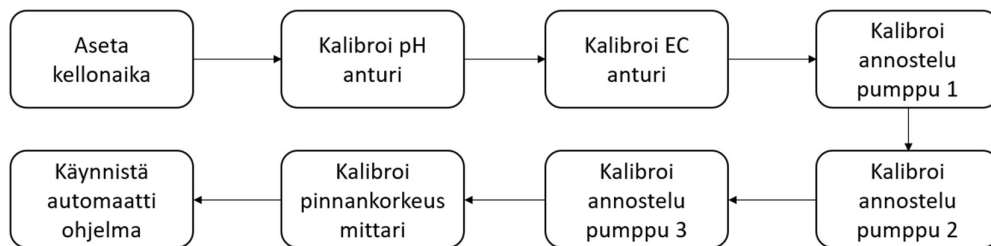
4.6 Ohjelman rakenne

Yksinkertaisuus on avainsana ohjelmaa suunniteltaessa kotitalouskäyttöön. Ohjelma on suunniteltava käytettäväksi mahdollisimman vähäisellä määrällä eri painikkeita ja sen on ilmaistava yksinkertaisesti mitä käyttäjän on kullakin hetkellä tehtävä. Ohjelman rakenne perustuu ATmega2560 syklimäiseen ohjelmakiertoon. Ohjelma toistaa itseään niin kauan, kunnes sen virta katkaistaan. Vuokaa-vion avulla on ohjelman rakenne helpompi ymmärtää ja suunnitella (kuva 27).



Kuva 27. Vuokaavio kasvihuoneen ohjelmakierron pääkohdista (Ville Hämäläinen 2023).

Kasvihuoneen ensimmäisellä käyttökerralla on sen asetukset määriteltävä. Määrittelyvaihe sisältää laitteiden kalibroinnin ja perusasetuksien läpikäynnin (kuva 28). Kasvihuoneen kellonajan asettaminen antaa mahdollisuuden ohjelmalle luoda valaistukselle kellonaikaan pohjautuvia ehtoja. Kasvihuoneen valot voidaan pitää poissa päältä yöaikaan ja sytyttää ne automaattisesti aamulla.



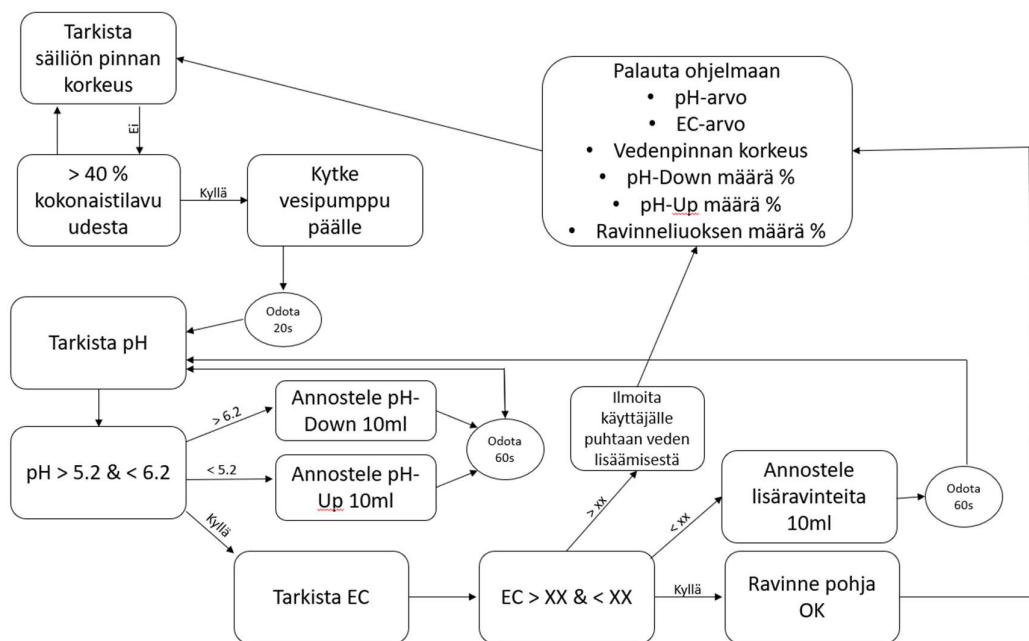
Kuva 28. Laitteiston käyttöönotto ja kalibrointi ohjelman ensimmäisellä kierrolla (Ville Hämäläinen 2023).

Antureiden kalibrointi suoritetaan valmistajan antamien laadukkaiden ohjeiden mukaisesti. Kalibroinnissa luetaan anturilla jonkin vakiodun nesteen arvo ohjelmaan. Kun luettu arvo tasoittuu ohjelmassa, voidaan tämä luettu tulos korvata vakiodulla arvolla. Sama mittaus suoritetaan anturin mittausalueen kolmesta eri pisteestä. pH-anturilla nämä pisteet ovat 4, 7 ja 12.

Annostelupumppujen kalibrointi perustuu samankaltaiseen tyyliin. Ohjelman avulla käsketään pumpun annostella edeltä määritelty määrä nestettä mittalasiin. Mittalasin nesteen määrä tarkistetaan ja toteutunut nesteenmäärä syötetään ohjelmaan. Tämän tiedon avulla pumpun ohjauspiiri osaa kalibroida itsensä.

Ohjelmakierrossa kalibroinnin jälkeen tarkistetaan, onko laitteiston käyttötilaksi asetettu manuaalinen vai automaattinen käyttötila. Manuaalisella laitteen käytöllä helpotetaan laitteen käyttöönottoa, huoltoa ja vianetsintää. Kun manuaalinen käyttötila on asetettuna päälle, voidaan jokaista laitetta käyttää hallitusti.

Automaatti käyttötila on kasvihuoneessa normaaliolosuhteissa yleisemmin käytössä oleva ohjelmaosuus. Tämän toimintaperiaatteen voimme nähdä vuokaavion kuvasta 29. Ohjelmakierron järjestyksellä voimme estää laitteiden tahattoman rikkoutumisen. Aloittamalla vesisäiliön pinnan korkeuden tarkistamisesta, voimme estää vesipumpun pyörimisen kuivana. Pinnankorkeuden mittauksella on myös turvallisuuteen vaikutusta, koska voimme havainnoida vesisäiliön mahdollisen vuodon sekä estää pumpun lämpiämisen.



Kuva 29. Vuokaavio automaatti käyttötilan ohjelmakierrosta (Ville Hämäläinen 2023).

Kasvihuoneen vesipumpun ollessa päällä, pystymme tarkistamaan veden pH-arvon ja sähköjohtavuuden. Jos ohjelmassa asetetut raja-arvot mittauksille eivät täyty, on annostelupumppujen avulla lisättävä veden sekaan lisäaineita ja toistettava mittaus. On kuitenkin huomioitava veden tilavuus ja annettava aikaa arvojen tasaantumiselle ennen uutta mittausta. Jos ohjelma toimii liian nopeasti, saamme aikaiseksi epästabiilia värähtelyä.

Jokainen hallittava asia vaatii ohjelmaan oman säätöpiirin. Säätöpiirin tarkoitus on pitää prosessin mitattava arvo lähellä asetettua arvoa. Ohjelmassa on asetettu esimerkiksi pH-arvon tavoitteeksi pysyä lukemassa 5. Kun mitatuksi arvoksi saadaan 5.1, yrittäisi ohjelma korjata tämän pienemmäksi. Odotettuaan 60 sekuntia mitattaisiin uudeksi arvoksi 4.9 ja jälleen ohjelma yrittäisi korjata arvoa ylemmäksi. Tätä kutsutaan värähtelyksi. Ohjelman tavoitelluksi arvoksi kannattaa asettaa 5.2–6.2 välille. Tällöin ohjelma ei yritä jatkuvasti korjata pH-arvoa ja säästämme lisäaineita.

5 POHDINTA

Tavoite opinnäytetyössä oli suunnitella kasvihuone ja selvittää mahdollisuutta sen tuotteistamiselle. Käyttötarkoitukseltaan kasvihuone suunniteltiin tukemaan kotitaloudessa syntyvän ruokahävikin vähentämistä mausteyrttien kohdalla. Kasvihuone suunniteltiin käyttämään kasvatusmenetelmänä vesiviljelyä, jotta sen toiminta pystyttiin automatisoimaan. Suunnittelutyön tavoitteena oli samalla kehittää omaa ammattitaitoa mekaanisen-, sähköisen- ja automaatio-suunnittelun osalta.

Työn alussa laadittu vaatimusmäärittely helpotti suunnitteluprosessin aikana tehtäviä päätöksiä vaihtoehtojen välillä. Kaikki työn tärkeimmät vaatimusmäärittelyt pystyttiin täyttämään.

Haasteellisuus kasvihuoneen tuotteistamisessa syntyi kopiosuojassa ja hankintahinnassa. Samalla ratkaisupohjalla hankintahinnan pienentäminen olisi vaatinut kaikille valituille laitteille pelkistetyimmän ratkaisun. Koko kasvihuoneen ohjauspiirin pystyisi suunnittelemaan yhdelle piirilevyille, johon integroitaisiin tarvittavat komponentit ja kytkennät. Valaistus olisi korvattu omavalmisteisilla teholedejä hyödyntävällä ratkaisulla. Näillä valinnoilla olisi kasvihuoneen kopiosuojakynnystä saatu nousemaan. On kuitenkin huomioitava vaihtoehtoja miettiessä myös suunnittelun hintaa. Jos laitteen suunnitteluun käytetään huomattavasti enemmän aikaa, nostaa tämäkin sen myyntihintaa.

Tämän opinnäytetyön tuotoksena syntynyt kasvihuone soveltuu parhaiten alasta kiinnostuneille kotiviljelyn harrastelijoille. Kasvihuone antaa helpon tavan lähestyä automatisoitua kasvihuonetekniikkaan. Kaikki kasvihuoneessa käytetyt osat ovat helposti kuluttajan saatavilla alan erikoisliikkeistä ja rakenne valmistettavissa yksinkertaisilla työkaluilla ilman hitsaamistakin.

LÄHTEET

Cannadb. 2020. Vesiviljelyn perusteet. Verkkosivu. Viitattu 7.5.2022. <https://cannadb.org/artikkelit/vesiviljely-101/>

Hartley Botanic. 2015. Way back when: A history of the english glasshouse. Verkkosivu. Viitattu 23.4.2023. <https://hartley-botanic.co.uk/magazine/a-history-of-the-english-glasshouse/>

The Hydroponics Guru. 2021. Types of Hydroponics System. Verkkosivu. Viitattu 7.5.2022. <https://thehydroponicsguru.com/types-of-hydroponics-systems/>

Aalto University. 2019. Vertical farming: the myth of resource efficiency. Verkkosivu. Viitattu 19.2.2023. <https://wdrg.aalto.fi/vertical-farming-the-myth-of-resource-efficiency/>

Bulla, A. 2022. Aquaponics Vs. Hydroponics: What's The Difference And Which is better. Gardening Chores. Verkkosivu. Viitattu 19.2.2023. <https://www.gardeningchores.com/aquaponics-vs-hydroponics/>

Sensorex. 2020. Aquaponics vs hydroponics: Which one is best for you? Verkkosivu. Viitattu 11.2.2023. <https://sensorex.com/2020/03/24/aquaponics-vs-hydroponics/>

Goering, C. 2019. Types of aquaponics designs. Ecolife conservation. Verkkosivu. Viitattu 15.2.2023. <https://www.ecolifeconservation.org/updates/types-aquaponics-systems-design/>

Sanders, J. 2021. The importance of plant roots in a hydroponics system. My garden&greenhouse.com. Verkkosivu. Viitattu 18.2.2023. <https://mygardenandgreenhouse.com/uncategorized/the-importance-of-plant-roots-in-a-hydroponic-system/>

Savela, S. 2018. Näin lohien avulla kasvatetaan salaattia- ravinteet kerätään talteen ja vettäkin säästyy. Yle uutiset 5.9.2018. Viitattu 19.2.2023. <https://yle.fi/a/3-10405338>

Hydrofarm. 2023. Active Aqua Grow Flow 2 gal System w/Controller Unit & ½ ” Tubing. Verkkokauppa. Viitattu 19.2.2023. <https://www.hydrofarm.com/p/active-aqua-grow-flow-2-gal-system-w-controller-unit-1-2-tubing/gfo7kt>

Aerospring Gardens. 2019. Aerospring: The versatile, vertical garden for everyone. Verkkosivu. Viitattu 19.2.2023. <https://www.kickstarter.com/projects/aerospring/aerospring-the-versatile-vertical-garden-for-every>

LetPot. 2022. LetPot LPH-Max: 4-in-1 Automated Hydroponic System. Verkkosivu. Viitattu 19.2.2023 <https://www.indiegogo.com/projects/letpot-lph-max-4-in-1-automated-hydroponic-system#/>

Ponix System. 2019. Herbert-Grow fresh organic food at home. Verkkosivu. Viitattu 19.2.2023. <https://www.kickstarter.com/projects/1706256286/herbert-grow-fresh-organic-food-at-home/description>

Kangas, N. 2018. Kasvihuone vihannesten kasvu on tehokasta. Kehittyvä elintarvike. Verkkosivu. Viitattu 19.2.2023. <https://kehittyvaelintarvike.fi/artikkelit/teemajutut/pakkaukset-materiaalitehokkuus/ke-2-2018-teema-kasvihuonevihannesten-tuotanto-on-tehokasta/>

Science Buddies. n.d. Engineering design projects. Verkkosivu. Viitattu 19.2.2023. <https://www.sciencebuddies.org/science-fair-projects/engineering-design-process/engineering-design-process-steps>

Toikkanen, P. 2016. Kasvistieto: Tilli. Satokausi kalenteri. Verkkosivu. Viitattu 3.3.2023. <https://satokausi.fi/tilli/>

Vantola, U. 2010. Rucolan viljely ja käyttö. Puutarhatalouden koulutusohjelma. Hämeen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. Viitattu 3.3.2023. https://www.theseus.fi/bitstream/10024/13436/2/Vantola_Ulla_1.pdf

Kudjoi, T. 2019. Teholedeillä valaistun automaattisen pienoiskasvihuoneen tuotekehittäminen. Kone- ja tuotantotekniikka. Tampereen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. Viitattu 3.3.2023. <https://www.theseus.fi/handle/10024/8653>

Arduino.cc. 2023. ATmega2560-Arduino Pin Mapping. Verkkosivu. Viitattu 3.3.2023 <https://docs.arduino.cc/hacking/hardware/PinMapping2560>

Dunn, B. & Singh H. 2017. Electrical Conductivity and pH guide for hydroponics. Oklahoma state university. Verkkosivu. Viitattu 3.3.2023. <https://extension.okstate.edu/fact-sheets/electrical-conductivity-and-ph-guide-for-hydroponics.html>

Research, C. 2019. Kastelu, pH ja EC: Johdatus pH-arvoon. Verkkosivu. Viitattu 3.3.2023. <https://www.canna.fi/articles/johdatus-ph-arvoon>

Stanghellini, C. Ooster, B Ven't. & Heuvelink, E. 2019. Green house horticulture. Technology for optimal crop production. Itävalta: Wageningen Academic Publishers, 15–315.

Nettiverstas. n.d. Epoksihartsit & väriaineet. Verkkokauppa. Viitattu 22.4.2023. <https://nettiverstas.fi/fi/category/epoksihartsit-variaineet/1234>

Pavunvarsi. 2022. Verkkokauppa. Viitattu 2.4.2023. <https://pavunvarsi.fi/>

SFS-EN ISO 14159. 2008. Koneturvallisuus. Koneensuunnittelua koskevat hygieniavaatimukset. 2 Painos. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS. Luettu 20.4.2023. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online.sfs.fi/fi/index.html.stx>

SFS-EN 894-1 + A1. 2009. Koneturvallisuus. Merkinantolaitteiden ja ohjaimien suunnittelun ergonomiset vaatimukset. Osa 1: Yleiset periaatteet koskien ihmisen ja merkinantolaitteiden sekä ohjaimien vuorovaikutusta. 2. Painos. Helsinki:

Suomen standardisoimisliitto SFS. Luettu 20.4.2023. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online.sfs.fi/fi/index.html.stx>

SFS-EN 894-2 + A1. 2009. Koneturvallisuus. Merkinantolaitteiden ja ohjaimien suunnittelun ergonomiset vaatimukset. Osa 2: Merkinantolaitteet. 2. Painos. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS. Luettu 20.4.2023. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online.sfs.fi/fi/index.html.stx>

SFS-EN 894-4. 2010. Koneturvallisuus. Merkinantolaitteiden ja ohjaimien suunnittelun ergonomiset vaatimukset. Osa 4: Merkinantolaitteiden ja ohjaimien sijoittaminen ja järjestely. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS. Luettu 20.4.2023. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online.sfs.fi/fi/index.html.stx>

SFS 6000-1. 2022. Pienjännitesähköasennukset. Osa 1: Perusperiaatteet, yleisten ominaisuuksien määrittely ja määritelmät. 5. Painos. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS. Luettu 20.4.2023. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online.sfs.fi/fi/index.html.stx>

SFS 6000-7-713. 2022. Pienjännitesähköasennukset. Osa 7–713: Erikoistilojen ja -asennusten vaatimukset. Kalusteet. 5. Painos. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS. Luettu 20.4.2023. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online.sfs.fi/fi/index.html.stx>

Picot, A. 2023. How many lumens does it take to grow herbs indoors? The Growing leaf. Verkkosivu. Viitattu 4.4.2023. <https://thegrowingleaf.com/how-many-lumens-does-it-take-to-grow-herbs-indoors/>

Suomen siemenperunakeskus Oy. n.d. Aeroponinen tuotanto. Verkkosivu. Viitattu 29.4.2023. <https://www.spk.fi/fi/aeroponinen-tuotanto/>

LIITTEET

Liite 1. Kasvihuoneen vaatimusmäärittely

Taso	Numero	Vaatus	Prioriteetti	Ratkaisu	Testattu
USER_REQ	1.01	Käyttäjän on mahdollista ottaa laite käyttöön ilman työkaluja	3	1.01	
USER_REQ	1.02	Kasvihuone osaa säätää itse kasvua edellyttävät asiat automaattisesti	1	1.02	
USER_REQ	1.03	Käyttäjän on mahdollista nähdä veden sen hetkinen pH-arvo	2	1.03	
USER_REQ	1.04	Käyttäjän on mahdollista nähdä veden sen hetkinen lämpötila	5	1.04	
USER_REQ	1.05	Käyttäjän on mahdollista nähdä veden sen hetkinen EC-arvo	2	1.05	
USER_REQ	1.06	Käyttäjän on mahdollista nähdä vesisäiliön sen hetkinen pinnan korkeus	3	1.06	
USER_REQ	1.07	Käyttäjän on mahdollista säätää kasvihuoneen valaistuksen tilaa ja päällä olo aikaa ilman tietokonetta	2	1.07	
USER_REQ	1.08	Kasvihuoneessa on mahdollista kasvamaan vähintään samanaikaisesti 15 yrttiä tai ruokakasvia.	2	1.08	
USER_REQ	1.09	Kaikki vesijärjestelmän osat on oltava irroitettavissa ilman työkaluja niiden pesemistä ja huoltamista varten	2	1.09	
USER_REQ	1.10	Kasvihuoneen pitää olla turvallinen käyttää, vaikka taloudessa olisi pieniä lapsia tai lemmikkieläimiä	3	1.10	
USER_REQ	1.11	Kasvihuoneen hankinta hinta pitää olla kohtuullinen	1	1.11	
USER_REQ	1.12	Kasvihuoneen pitää sulautua normaaliin kotitalouden ympäristöön	3	1.12	
USER_REQ	1.13	Kaikkia kasvihuoneen laitteita on mahdollista käyttää tarvittaessa manuaalisesti	2	1.13	
USER_REQ	1.14	Kasvihuoneen on oltava mahdollisimman äänetön ja aiheuttamatta suurta valohaittaa asuinhuoneistoon	2		
SYS_REQ	2.01	Järjestelmän käyttöönoton kannalta välttämättömiin laitteisiin on päästävä käsiksi ilman työkaluja	2	1.01, 1.07, 1.09	
SYS_REQ	2.02	Kasvihuoneessa on oltava jokin ohjausyksikkö, joka pystyy ohjaamaan valaistusta, vesipumppuja, lisäraavinpumppuja ja ilmanlämpötilaa	1	1.02, 1.13	
SYS_REQ	2.03	Järjestelmän on näytettävä veden sen hetkinen pH-arvo näytöllä	1	1.03, 1.13	
SYS_REQ	2.04	Järjestelmän on näytettävä veden sen hetkinen EC-arvo näytöllä	1	1.05, 1.13	
SYS_REQ	2.05	Järjestelmän on näytettävä veden sen hetkinen lämpötila näytöllä	3	1.04, 1.13	
SYS_REQ	2.06	Järjestelmän on näytettävä vesisäiliön pinnan korkeus näytöllä	3	1.06, 1.13	
SYS_REQ	2.07	Järjestelmällä on oltava mahdollisuus mitata sen hetkinen veden pH-arvo	1	1.02, 1.03	
SYS_REQ	2.08	Järjestelmällä on oltava mahdollisuus mitata sen hetkinen veden EC-arvo	1	1.02, 1.05	
SYS_REQ	2.09	Järjestelmällä on oltava mahdollisuus mitata sen hetkinen veden lämpötila	3	1.02, 1.04	
SYS_REQ	2.10	Järjestelmällä on oltava mahdollisuus mitata sen hetkinen vesisäiliön pinnan korkeus	3	1.02, 1.06	
SYS_REQ	2.11	Käyttäjällä on oltava mahdollisuus hallita kasvihuoneen eri laitteita jonkin painikkeen, kytkimen tai painonapin avulla	2	1.07, 1.13	
SYS_REQ	2.12	Kasvihuoneen ei tule ylittää yli 50 dB rajaa normaalissa käytössä	4	1.12	
MECH_REQ	3.01	Vesistä on sijoitettava tilaan, joka on varustettu ovella	1	1.01, 1.09, 1.10, 1.12	
MECH_REQ	3.02	Tekniset laitteet ovat sijoitettava tilaan, joka on varustettu ovella	1	1.01, 1.09, 1.10, 1.12	
MECH_REQ	3.03	Kasvihuoneen kasvualustoissa on oltava vähintään 15 ruukun paikkaa	1	1.08	
MECH_REQ	3.04	Yrteillä pitää olla vähintään 30 cm tilaa kasvaa korkeutta	1	1.08	
MECH_REQ	3.05	Vesiputket pitää olla kiinnitettynä työkaluttomilla ratkaisuilla	2	1.09	
MECH_REQ	3.06	Kasvihuoneen ovet pitää olla lukittavissa avaimella	3	1.10	

MECH_REQ	3.07	Kasvihuoneen laitteet on sijoitettava suljettuun tilaan, joka on mahdollista äänieristää	4	1.12	
MECH_REQ	3.08	Kasvihuoneen mekaaniset osat on suunniteltava siten, että niiden valmistaminen on mahdollista hitsaamalla ja käsityökaluja käyttämällä	2	1.11	
MECH_REQ	3.09	Kaikki laitteet on oltava irroitettavissa enintään käsityökaluja käyttäen niiden vaihtoa varten	2		
MECH_REQ	3.10	Kasvihuone ei käytä suurta pinta-alaa	3	1.12	
ELE_REQ	4.01	Sähkönsyöttö laitteelle on suunniteltava toimivaksi pistokkeellisella kaapelilla	1	1.01, 1.10	
ELE_REQ	4.02	Kasvihuoneen sähköt on suunniteltava toimivaksi kotitalouden 240V 50Hz pistorasiasta	1	1.01	
ELE_REQ	4.03	Kasvihuoneeseen on sijoitettava LCD näyttö	2	1.03, 1.04, 1.05	
ELE_REQ	4.04	Kasvihuoneen vesiasiaan on sijoitettava Ph-anturi	2	1.02, 1.03	
ELE_REQ	4.05	Kasvihuoneen vesiasiaan on sijoitettava EC-anturi	2	1.02, 1.05	
ELE_REQ	4.06	Kasvihuoneen vesiasiaan on sijoitettava Lämpötila-anturi		1.02, 1.04	
ELE_REQ	4.07	Kasvihuoneen vesiasiaan on sijoitettava vedenpinnan korkeutta mittaava anturi	3	1.02, 1.06	
ELE_REQ	4.08	Sähköasennuksissa noudatettava SFS 6000 vaatimia määräyksiä turvallisuudesta	1	1.10, 4.02	
ELE_REQ	4.09	Kasvihuoneeseen on sijoitettava vesipumppu	1	1.02	
DEVICE_REQ	5.01	Ohjauksyksikössä pitää olla laajentumiselle varaa	2		
DEVICE_REQ	5.02	Ohjauksyksikön pitää olla ohjelmoitavissa ilman maksullisia sovelluksia	1	1.11	
DEVICE_REQ	5.03	LCD Näytön oltava riittävän iso, jotta kaikki tärkeät tiedot on nähtävissä samalla näkymällä	2	1.13	
DEVICE_REQ	5.04	LCD Näytön on oltava kosketustoiminen	2	1.13	
DEVICE_REQ	5.05	pH-Anturin mittausalue alue on oltava 4-13 pH välillä	3	1.02, 1.03	
DEVICE_REQ	5.06	pH-Anturin on oltava ohjauksyksikön kanssa yhteensopiva	3	1.02, 1.03	
DEVICE_REQ	5.07	EC-Anturin mittausalueen on ulotuttava 0.07 – 50,000 µS/cm välille	3	1.02, 1.05	
DEVICE_REQ	5.08	EC-Anturin on oltava ohjauksyksikön kanssa yhteensopiva	3	1.02, 1.05	
DEVICE_REQ	5.09	Lämpötila-anturin on oltava ohjauksyksikön kanssa yhteensopiva	4	1.02, 1.04	
DEVICE_REQ	5.10	Vedenpinnan korkeusanturi on oltava ohjauksyksikön kanssa yhteensopiva	4	1.02, 1.06	
DEVICE_REQ	5.11	Vedenpinnan korkeusanturi on oltava vähintään 20 cm pituinen	4	1.02, 1.06	
DEVICE_REQ	5.12	Sähköjärjestelmästä on sisällytettävä jännitteen muunnin 240V -> 24V	1	4.02	
DEVICE_REQ	5.13	Sähköjärjestelmästä on sisällytettävä jännitteen muunnin 240V -> 5V	1	4.02	
DEVICE_REQ	5.14	Vesipumpun on kyettävä nostamaan vesi vesiasiaista ylimpään kasvatusalustaan	1	4.09	
PROG_REQ	6.01	Ohjelmassa on mahdollista hallita laitteita manuaalisesti päälle ja pois	1	1.13	
PROG_REQ	6.02	Käyttäjän on mahdollista kalibroida tarvittavat laitteet käyttäen kasvihuoneen näyttöä ja hallinnointi painikkeita	2	1.01	
PROG_REQ	6.03	Ohjelman on pystyttävä mittaamaan veden laatua ja säätämään sitä sen tarvitsemalla tavalla automaattisesti	1	1.02	
PROG_REQ	6.04	Ohjelma on pystyttävä lukemaan kaikkien anturien tiedot reaaliajassa ja ilmaista tiedot näytölle käyttäjälle nähtäväksi	1	1.03, 1.04, 1.05, 1.06, 1.13	
PROG_REQ	6.05	Käyttäjän on mahdollista muuttaa valaistukselle automatiikan aikamäärityksiä näytön ja hallinnointi painikkeita käyttäen	2	1.07	
PROG_REQ	6.06	Käyttäjän on mahdollista vaihtaa laitteen toimintatila automaattisen ja manuaalisen hallinnan välillä	2	1.13	
PROG_REQ	6.07	Ohjelman on pystyttävä säätämään vesipumpun toimintaa	1	1.02	
MANUF_REQ	7.01	Kasvihuone on pystyttävä valmistamaan yksinkertaisilla työkaluilla	3	1.11	
MANUF_REQ	7.02	Materiaalien saatavuus on oltava helppoa	2	1.11	
MANUF_REQ	7.03	Kasvihuoneessa käytettävät laitteet oltava helposti korvattavissa niiden rikkoutuessa	2	1.11	

Liite 2. Ostoslista

Ostoslista		Tilattu Saapunut		Total		1 624,47 €
Numero	Tuote	Määrä	Info	Ostopaikka	Linkki	Hinta
1	Arduino Mega	1		Arduino.cc	Linkki	35,00 €
2	Ph-Anturi	1		whiteboxlabs	Linkki	65,00 €
3	Ph Circuit	1	mA Signaali muunnin	whiteboxlabs	Linkki	37,00 €
4	Whitebox T2	1	Kytentälevy antureille	whiteboxlabs	Linkki	74,00 €
5	E.C.-Anturi	1		whiteboxlabs	Linkki	119,00 €
6	E.C. Circuit	1	mA Signaali muunnin	whiteboxlabs	Linkki	54,00 €
7	Kalibrointi nesteet EC	1		whiteboxlabs	Linkki	11,00 €
8	Kalibrointi nesteet pH	1		whiteboxlabs	Linkki	17,00 €
9	pH säätöaineet	1	pH up ja pH down	whiteboxlabs	Linkki	12,00 €
10	Pinnanmittaus	1	30 cm mittaus väli	whiteboxlabs	Linkki	44,00 €
11	Ilmankosteus anturi	1		whiteboxlabs	Linkki	37,00 €
12	Lämpötila anturi	1		whiteboxlabs	Linkki	58,00 €
13	Annostelu pumppu	3		whiteboxlabs	Linkki	219,00 €
ONNINEN						
14	Asennus kotelo	1	400*400	Onninen	3447364 Linkki	68,35 €
15	Seinäasennussarja	1	Kaapille	Onninen	3460518 Linkki	7,17 €
16	Din kisko	2m		Onninen	1463212 Linkki	5,01 €
17	Riviliitin 1-Kerros Har	15	5 harm. 5 pe ja 5 sin.	Onninen	1927462 Linkki	9,86 €
	Riviliitin 1-Kerros Si				1927463	
	Riviliitin 1-Kerros KEVI				1927464	
18	Riviliitin 2-Kerros	50		Onninen	1923142 Linkki	79,98 €
19	Riviliittimen päätylevy	5		Onninen	1923276 Linkki	2,17 €
20	Riviliittimen 2-kerros p	10		Onninen	1923125 Linkki	4,09 €
21	Holkkitiiviste m12 + vastamutteri	10		Onninen	1711112 Linkki	10,42 €
22	Holkkitiiviste m16 + vastamutteri	10		Onninen	1711116 Linkki	8,31 €
23	Holkkitiiviste m20 + vastamutteri	1		Onninen	1711120 Linkki	0,86 €
24	Päätystopparit	10		Onninen	1976284 Linkki	7,07 €
25	Teholähde 5V	1		Onninen	2721343 Linkki	51,56 €
26	Asennuslevy	1	400*400	Onninen	3460595 Linkki	13,86 €
27	Johdonsuojakatkaisija	1		Onninen	3210106 Linkki	12,55 €
28	Johtokouru 40mm	2m	40x60x2000	Onninen	KKC4060 Linkki	6,05 €
29	Johtokouru 25mm	2m	25x60x2000	Onninen	KKC2560 Linkki	4,94 €
30	Oikosulkusilta 10-os	5		Onninen	1976685 Linkki	12,28 €
31				Onninen	Linkki	- €
32				Onninen	Linkki	- €
33				Onninen	Linkki	- €
VEDENKÄSITTELY						
34	AHF Bloom	1		Pavunvarsi	Linkki	14,00 €
35	AHF Grow	1		Pavunvarsi	Linkki	14,00 €
36	AHF Micro	1		Pavunvarsi	Linkki	15,50 €
37	Vesipumppu	1		Pavunvarsi	Linkki	27,00 €
38	Ilmapumppu	1		Pavunvarsi	Linkki	19,90 €
39	Ilmakivi	1		Pavunvarsi	Linkki	11,90 €
40	Ilmaletku	1m		Pavunvarsi	Linkki	0,80 €
41	Vesiputki 13mm	2		Pavunvarsi	Linkki	2,40 €
42	Vesiputki 4mm	2		Pavunvarsi	Linkki	1,80 €
43	T-Liitin 13mm - 4mm	4		Pavunvarsi	Linkki	2,08 €
44	Sulkutulppa 13mm	1		Pavunvarsi	Linkki	1,00 €
SEKALAISET						
45	Tuuletin		Kotona		Linkki	-
46	L298N				Linkki	-
47	Relekortti			Amazon.de	Linkki	12,29 €
48	Liitäntä johtoja			Amazon.de	Linkki	3,79 €
49	Näyttöpaneeli			Amazon.de	Linkki	29,99 €
50	Arduino mega riviliitinlevy			Amazon.de	Linkki	25,61 €
51	Vanerilevy	1	6,5mm paksu	Bauhaus	Linkki	49,00 €
52	Pleksi	1		Biltema	Linkki	36,90 €
53	Rungon rautaosat	1		Tampereen teräsmyynti	Linkki	70,00 €
54	Rst-levy / Al. Levy				Linkki	200,00 €