

Mustasotilaskärpäsen (Hermetia illucens) ruokintakokeet ja kasvatusolosuhteet pilottikasvattamossa

Sami Virtanen

Opinnäytetyö

Toukokuu 2019

Luonnonvara- ja ympäristöala

Agrologi (AMK), maaseutuelinkeinojen tutkinto-ohjelma

Tekijä(t) Virtanen, Sami	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä 15.5.2019
	Sivumäärä 58	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi Mustasotilaskärpäsen (<i>Hermetia illucens</i>) ruokintakokeet ja kasvatusolosuhteet pilottikasvattamossa		
Tutkinto-ohjelma Agrologi (AMK), maaseutuelinkeinojen tutkinto-ohjelma		
Työn ohjaaja(t) Riihinen, Arto		
Toimeksiantaja(t) Siimekselä, Tiina (JAMK), VinsectS – Hyönteistalous osana Viitasaari-Saarijärvi seutukunnan kiertotaloutta-hanke		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyössä tutkittiin mustasotilaskärpästen (<i>Hermetia illucens</i>) kykyä hyödyntää maatalouden, elintarviketeollisuuden ja yhdyskuntien biomassajakeita ja ravinesivuvirtoja. Opinnäytetyön tilaajana toimi VinsectS-hanke. Opinnäytetyön tavoitteena oli määrittää erilaisten biomassojen soveltuvuus mustasotilaskärpästen ravinnoksi ja tutkia niiden vaikutuksia kärpästen kasvuun, ravinteiden hyödyntämiseen ja kuolleisuuteen. Lisäksi hyönteiskasvattamon sisäisiä olosuhteita ja ulkoisten olosuhteiden vaikutuksia tarkkailtiin 8 kuukauden ajan.</p> <p>Tutkimus toteutettiin kvantitatiivisesti käyttäen ruokintakokeita ja systemaattisia mittauksia. Ruokintakokeissa mustasotilaskärpäsiä ruokittiin vakio-olosuhteissa vakiomäärällä biomassaa vakioajan, minkä jälkeen toukat ja jäljelle jäänyt biomassa punnittiin ja niiden kuiva-aineet määriteltiin. Biomassoja verrattiin verrokkirehuun (kaupallinen kananrehu). Hyönteiskasvattamon olosuhteita tarkkailtiin lämpötilaa, ilmankosteutta ja ilman kaasuja seuraavien anturien avulla. Opinnäytetyössä hyödynnettiin VinsectS-hankkeen demonstraatiohyönteiskasvattamoa.</p> <p>Tutkimuksista selvisi ilmankosteuden tärkeys hyönteiskasvattamossa. Lämpötilan muutokset olivat odotettua pienempiä ja hallittavissa, mutta alhainen ilmankosteus aiheutti ongelmia niin ylläpidossa kuin ruokintakokeissa. Tuloksista oli tulkittavissa, että hyönteiskasvattamoa suunnitellessa ilmankosteutuksen suunnittelu on tärkeää. Ruokintakokeissa ei saatu luotettavia tuloksia suuren kuolleisuuden takia. Tuloksista oli kuitenkin tulkittavissa elintarviketehojen biomassojen soveltuvuus mustasotilaskärpäsen ravinnoksi. Opinnäytetyö tuotti uutta tietoa mustasotilaskärpäsen kasvattamisesta ja biomassojen hyödyntämisestä, jota voidaan hyödyntää jatkohankkeissa ja kasvattamoa perustaessa.</p>		
Avainsanat (asiasanat) Mustasotilaskärpänen, <i>Hermetia illucens</i> , hyönteistalous, kiertotalous, sivuvirrat, ruokahävikki.		
Muut tiedot (salassa pidettävät liitteet)		

Author(s) Virtanen, Sami	Type of publication Bachelor's thesis	Date 15.5.2019 Language of publication: Finnish
	Number of pages 58	Permission for web publication: x
Title of publication Feeding experiments and growing conditions of Black soldier fly (<i>Hermetia illucens</i>) on pilot insect farm		
Degree programme Bachelor of Natural Resources, Degree programme in Agricultural and Rural Industries		
Supervisor(s) Riihinen, Arto		
Assigned by Siimekselä, Tiina (JAMK), VinsectS – project		
Description <p>In the study the black soldier fly's (<i>Hermetia illucens</i>) ability to utilize agricultural, food industrial and municipal biomasses and side streams was studied. The study was assigned by VinsectS-project. The purpose was to define the suitability of different biomasses as insect feed and study their effects on the black soldier flies' growth, use of nutrients and survival. Furthermore, the internal conditions of the insect farm and the effects of external conditions were observed for a duration of 8 months.</p> <p>The study was conducted as quantitative research using feeding experiments and systematic measurements. In the feeding experiments the black soldier flies were fed in standard conditions with uniform amount of biomass for uniform duration, after which the larvae and remaining feed were weighted, and their dry matter measured. The biomasses were compared to control feed (commercial chicken feed). The conditions of the insect farm were observed via sensors measuring temperature, humidity and gases. The thesis used the demonstration insect farm of VinsectS-project.</p> <p>The study revealed the importance of correct humidity on the insect farm. The changes in the temperature were lower than expected and within control, but low humidity caused problems in both upkeep and feeding experiments. The results show the importance of humidification when planning an insect farm. Due to high mortality, the feeding experiment results are not reliable. However, it is interpretable from the results that food-based biomasses are suitable for black soldier fly feed.</p> <p>The study generated new knowledge of rearing black soldier flies and utilizing biomasses, which can be applied to the follow-up projects and in establishing an insect farm.</p>		
Keywords/tags (subjects) Black Soldier Fly, <i>Hermetia illucens</i> , insect economy, circular economy, side streams, food waste.		
Miscellaneous (Confidential information)		

Sisältö

Sisältö	1
1 Opinnäytetyön keskeisten käsitteiden määrittely	4
2 Johdanto	6
3 Tutkimusasetelma	7
4 Tutkimusmenetelmät ja -aineisto	8
4.1 Tutkimustyön menetelmät.....	8
4.1.1 Olosuhteiden tarkkailu	8
4.1.2 Ruokintakokeet.....	14
4.2 Aineiston kerääminen ja tutkimusajanjakso	20
4.3 Aineiston analysointi	20
4.3.1 t-testi.....	21
4.3.2 Yhdensuuntainen varianssianalyysi.....	21
4.3.3 P-arvo.....	21
5 Tietoperusta	22
5.1 Opinnäytetyön tietoperusta.....	22
5.1.1 Mustasotilaskärpänen	22
5.1.2 Elinkierto.....	23
5.1.3 Kasvatusolosuhteet	25
5.1.4 Ravintoarvo.....	26
5.1.5 Mustasotilaskärpästen hyödyntäminen	28
5.1.6 Kasvattamo	30
6 Tutkimustulokset	34
6.1 Kasvatusolosuhteet	34
6.2 Ruokintakokeet	36

	2
6.3 Tulosten merkittävyys	41
7 Johtopäätökset.....	45
7.1 Kasvatusolosuhteet	45
7.2 Ruokintakokeet	46
8 Pohdinta.....	48
8.1 Opinnäytetyön rajaus	49
8.2 Tutkimuksen luotettavuus ja pätevyys.....	50
8.3 Jatkotutkimuskohteet	50
Lähteet	52
Liitteet.....	55
Liite 1. Demonstraatiokasvattamon suunnitelma.....	55
Kuviot	
Kuvio 1. Ruuvi Tag avattuna	9
Kuvio 2. Ilmankosteus- ja lämpötilakuvaajia Grafanan käyttöliittymässä	9
Kuvio 3. Vanha ja uusi ilmankostutin	11
Kuvio 4. Kaasuanalysointilaite	12
Kuvio 5. Aikuispuolen päivänvalolamppu	13
Kuvio 6. Ruokintakokeen kasvatusastioita.....	15
Kuvio 7. Rehuseoksien tasaus samaan kosteuteen.....	16
Kuvio 8. Ruokintakokeen 1 rehuseoksien koevedos.....	17
Kuvio 9. Ruokintakokeen toukkia eroteltuna rehuseoksesta ja menossa pakastukseen	18
Kuvio 10. Ruokintakoe 2 rehuseokset.....	19
Kuvio 11. Mustasotilaskärpänen ja toukkia	22
Kuvio 12. Hyönteiskasvattamon ilmankosteus	34
Kuvio 13. Hyönteiskasvattamon lämpötila	35
Kuvio 14. Hyönteiskasvattamon ilman hiilidioksidipitoisuus.....	35

Kuvio 15. Hyönteiskasvattamon ilman ammoniakkipitoisuus	36
Kuvio 16. Ruokintakokeiden 1 tulokset.....	37
Kuvio 17. Ruokintakoe 1 Toukkien tuore- ja kuivapainot eri rehuseoksilla.....	38
Kuvio 18. Ruokintakoe 1 Annettu rehumäärä ja loppujäännös	38
Kuvio 19. Ruokintakoe 1 Toukkien kuolleisuus eri rehuseoksilla.....	39
Kuvio 20. Ruokintakoe 2 tulokset.....	40
Kuvio 21. Ruokintakoe 2 Toukkien tuore- ja kuivapaino eri rehuseoksilla	40
Kuvio 22. Ruokintakoe 2 Annettu rehumäärä ja loppujäännös	41
Kuvio 23. Ruokintakoe 2 Toukkien kuolleisuus eri rehuseoksilla.....	41
Kuvio 24. Toukkapainon muutoksen hajonta	43
Kuvio 25. Rehupainon muutoksen hajonta	43
Kuvio 26. Toukkien kuolleisuuden hajonta	44

1 Opinnäytetyön keskeisten käsitteiden määrittely

5-dol	Viisipäiväinen mustasotilaskärpäsensetoukka
Aminohapot	Proteiinien rakenneosia, sisältää aminogrupin ja karboksyyliyhdyntäm
Anaerobinen	Hapeton eliö, elinympäristö tai kemiallinen reaktio
Biomassa	Eloperäinen materiaali tai aines
Eggie	Mustasotilaskärpäsensetoukkan munien keruuseen käytettävä alusta
Evira	Suomen Elintarvikevirasto
IoT	Internet of things, esineiden internet, esineiden ja koneiden liittyminen verkkoon
Kalajauho, kalarehu	Kuivattua ja jauhettua roskakalaa, ravinnerikas eläinrehun raaka-aine
Kitiini	Polysakkarideista muodostuva eloperäinen materiaali, muodostaa hyönteisten ja äyriäisten suojakuoren
Komposti	Hapekkaissa olosuhteissa hajonnut biomassa
Kuiva-aine	Aineen massa, josta poistettu vesi kuumennuksen avulla
Lipidit	Yhteisnimi rasvoille ja rasvamaisille yhdyntöille
MDR-bakteeri	Multiple-drug-resistant, usealle lääkkeelle vastustuskykyinen bakteeri
Paritteluhäkki, valohäkki	Valoisa, verkosta rakennettu häkki, jossa aikuiset mustasotilaskärpäset parittelevat ja munivat

Pimeähäkki	Valolta peitetty häkki, jossa mustasotilaskärpäsen kotelot kuoriutuvat aikuisiksi
Saprofagi	Eliö, joka käyttää ravinnokseen kuollutta, hajonnutta orgaanista ainesta
Sivuvirta, jae, jakeet	Pääomaisen tuotannon yhteydessä syntyvä tuote tai tuotannon jäljiltä jäävä materiaali
Substraatti	Väliaine, jossa eliö elää tai saa ravintonsa
Turve	Sammalten ja putkilokasvien jätteistä kosteissa oloissa syntynyt eloperäinen aines
Täydellinen muodosvaihdos	Hyönteinen käy elinkaarensa aikana neljä kehitys vaihdetta lävitse: muna, toukka, kotelo, aikuinen
Verrokki, kontrolli	Testiryhmän vertailuryhmä

2 Johdanto

Agrikulttuuri on lähestymässä murrosvaihdetta väestönkasvun jatkuessa ja ravinnon, etenkin proteiinien, kysynnän kasvaessa. Käytettävissä olevaa viljelysmaata on rajautusti ja se ei riitä vastaamaan kysyntään. Suurin osa viljelysmaasta on käytössä tuotantoeläinten rehujen kasvatukseen. Myös tekstiiliteollisuus kilpailee samoista pintaaloista puuvillan ja muiden kasvukuitujen käyttäessä viljelykelpoista maata. Ruoantuotantoketjut ovat tehottomia, eivät vain laadukkaiden ja energiapitoisten viljelyskasvien rehukäytön takia, vaan myös koska puolet tuotantoketjun läpi kulkevasta ravinnosta päätyy hävikiksi kaatopaikoille (Global Food: Waste Not, Want Not 2013). Yksi nousevista trendeistä ongelmien ratkaisemiseksi on hyönteistalous, jonka alustavat tulokset resurssien tehokkaammasta hyötykäytöstä ja proteiiniomavaraisuudesta ovat lupaavia. Länsimaista Suomi on hyönteistalouden edelläkävijöiden joukossa. Evira on sallinut tiettyjen hyönteisten käytön eläinten rehuna ja ihmisravintona. Samoin EU on uudistanut uuselintarvikelainsäädäntöään huomioimaan hyönteiset. Opinnäytetyössään Otso Heinsola muistuttaa hyönteisravinnon olleen osana ruokakulttuuria Aasian ja Afrikan maissa vuosituhania (Heinsola 2018.) Mutta nämäkin alueet kärsivät tehottomista tuotantoketjuista ja ruokahävikistä sekä ovat siirtymässä kohti lihapitoisempaa ruokalautasta. Kiinassa vahva talouskasvu ja valtaväestön siirtyminen keskiluokkaan on kasvattanut lihankysyntää valtavasti. Emme pysty enää kannattavasti viljelemään ruokalautasta, jossa liha on arkiruokaa.

Korkealaatuisesta ja teollisesta hyönteisten kasvatuksesta sekä sivuvirtojen hyväksikäyttämisestä on saatavilla rajautusti tietoa, joten uuden tietopohjan luominen on tärkeää. Hyönteistalous on nopeasti kehittyvä ala ja varsinkin kokemuspohjaista tietoa eri hyönteislajien kasvattamisesta ja hyödyntämisestä tarvitaan. Sivuvirtojen ja nykyisellään hukkaan menevien biomassojen hyödyntäminen ja jatkojalostus rehuksi lisää proteiiniomavaraisuutta ja tukee kiertotalouden ehtoja hävikin pienentämisestä sekä resurssien tehokkaammasta käytöstä. Hyönteistalouden tiedon ja taidon lisääminen varmistaa Suomen asemaa alan kärkimaiden joukossa ja mahdollistaa taloudellisen hyödyn niin kansainvälisesti kuin kotimaassakin. Hyönteistalous on Suomessa keskittynyt pääasiallisesti sirkkoihin, joten tieto ja kokemus muiden lajien kasvattamisesta

on tarpeellista toimialan laajentamiseksi. Opinnäytetyön yhteydessä syntynyttä tietopohjaa voidaan hyödyntää hyönteistalouden opinnoissa ja uusien hyönteisalan yrittäjien koulutuksessa sekä tiedotuspakettien luonnissa.

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää ulkoisten olosuhteiden vaikutuksia hyönteiskasvattamon sisäisiin olosuhteisiin sekä tutkia erilaisten biomassojen ja sivuvirtojen soveltuvuutta mustasotilaskärpästen (*Hermetia Illucens*) ravinnoksi ruokintakoikeita käyttäen. Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi EAKR:n rahoittama ja VTT:n hallinnoima VinsectS – Hyönteistalous osana Viitasaari-Saarijärvi seutukunnan kiertotaloutta -hanke, jossa JAMK oli osatoteuttajana. Opinnäytetyön yhteydessä erityisharjoitteluna kehitettiin merikonttiin sijoitettua demonstraatio-hyönteiskasvattamoa (liite 1), jota Biotalousinstituutin on mahdollista käyttää mustasotilaskärpäsen kasvatukseen ja joka jatkohankkeissa tai opetuksessa soveltuu muidenkin lajien kasvatukseen.

Opinnäytetyön tulosten ja havaintojen luomalla tietopohjalla voidaan luoda koulutusmateriaalia hyönteistalouden uusien yrittäjien kouluttamiseen. Opinnäytetyön avulla saadaan myös tietoa mustasotilaskärpäsen kasvattamisen onnistumisesta ja tuottavuudesta. Myös erilaisten sivuvirtojen ja biomassojen hyödyntämisestä saadaan lisänäkemystä. Opinnäytetyön ja hankkeen seurauksena Viitasaari-Saarijärvi seutukunnalle saattaa syntyä uutta hyönteistaloutta ja kiertotaloutta edistävää toimintaa.

3 Tutkimusasetelma

Opinnäytetyön tutkimiskysymyksinä olivat seuraavat:

1. Mitkä ovat olosuhteiden vaatimukset hyönteiskasvattamolta?
2. Kuinka vaihtuvien vuodenaikojen ulkoiset olosuhdetekijät vaikuttavat hyönteiskasvattamon olosuhteisiin?
3. Soveltuvatko paikallisten yrittäjien ja yritysten tarjoamat biomassat mustasotilaskärpästen rehuksi?

Opinnäytetyö rajattiin hyönteiskasvattamon olosuhteiden tarkkailuun ja niihin vaikuttavien tekijöiden säätelyyn (lämmitys, kosteus, ilmanlaatu) sekä ruokintako-

keissa tuloksien osalta punnituksiin. Ruokintakokeissa käytettyjen biomassojen vaikutuksia mustasotilaskärpästen toukkien ravintoainekoostumukseen ei tutkittu. Myöskään ruokintakokeissa käytettyjen biomassojen taloudelliseen kannattavuuteen ei oteta kantaa.

4 Tutkimusmenetelmät ja -aineisto

4.1 Tutkimustyön menetelmät

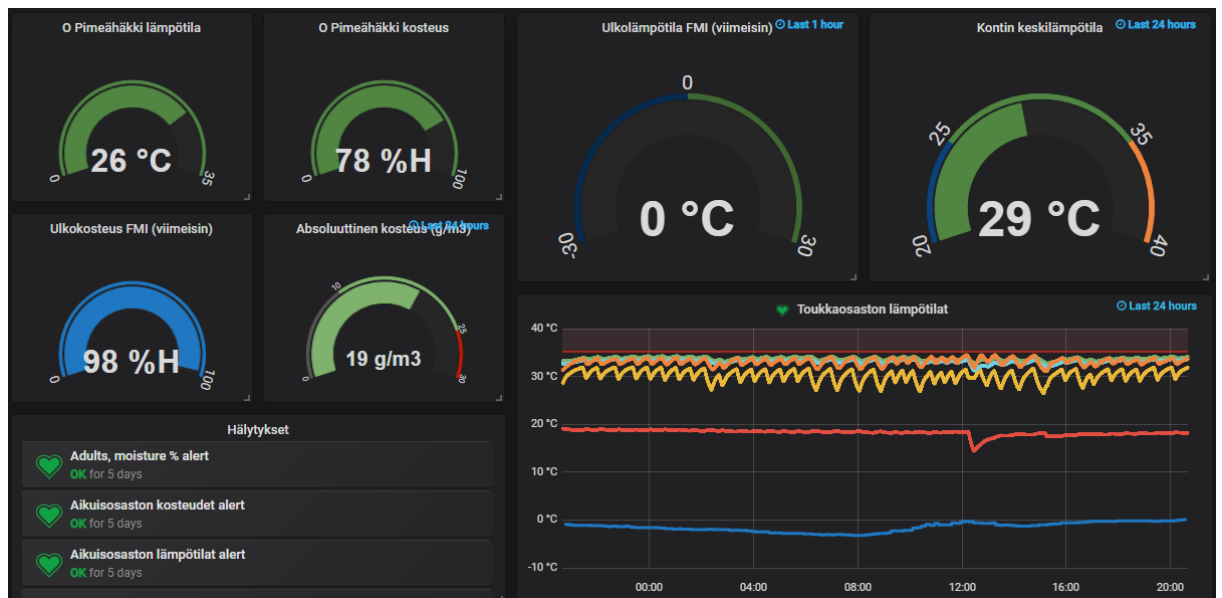
4.1.1 Olosuhteiden tarkkailu

Kasvatusolosuhteita ei tarvinnut määrittää kokeellisesti, vaan asiasta löytyi kattavasti kirjallisuustietoa aiemmista tutkimuksista. Kasvattamon olosuhdetavoitteiksi valittiin kirjallisuustiedon perusteella 27°C lämpötila ja 40 % ilmankosteus. Lämpötila vaikuttaa mustasotilaskärpästen toukkien aktiivisuuteen ja kuolleisuuteen. Korkeampi lämpötila olisi nopeuttanut elinkiertoa ja rehun prosessointia, mutta lisännyt myös kuolleisuutta. Lisäksi se olisi heikentänyt kasvattajien työmuokavuutta. Ilmankosteus oli tärkeää varsinkin aikuispuolella, jossa munat ovat erityisen herkkiä olosuhteille ja niiden vaihteluille. Toukat saivat tarvitsemansa kosteuden rehusta, mutta munat eivät saaneet päästä kuivumaan, joten tilan ilmankosteuden tuli olla korkea. Optimaalisesti ilmankosteuden olisi pitänyt olla vielä korkeampi kuin asetettu 40 % tavoite, mutta alemman tavoitteenkin saavuttaminen tuotti haasteita.

Olosuhteita tarkkailtiin Ruuvi Innovations:in langattomilla Ruuvi Tag-sensoreilla, jotka olivat yhteydessä Grafana Labs:in datapilvipalveluun. (Ruuvi Innovations 2018; Grafana Labs 2018) Molemmat edustivat IoT-teknologiaa, sallien kasvattamon langattoman tarkkailun etänä. Kasvattamon sisätiloihin asennettiin 20 kappaletta Ruuvi Tag-geja mittaamaan olosuhteita tasaisesti ympäri kasvattamo. Ruuvi Tagit (kuvio 1) keräsivät lämpötila- ja ilmankosteusarvoja puolen sekunnin välein ja lähettivät datan Grafanaan, jossa siitä pystyi luomaan graafisia taulukoita tulkitsemisen helpottamiseksi (kuvio 2). Yleisimmin olosuhteita tarkkailtiin viivadiagrammien avulla, jotka näyttivät kaikkien tai valittujen sensorien mittausdatan viimeisen 24 tunnin ajalta, mutta ohjelmalla pystyi tekemään myös hälytyksiä asetettujen arvojen ylittyessä tai alittuessa, jolloin olosuhteiden muutoksiin pystyi reagoimaan nopeammin.



Kuvio 1. Ruuvi Tag avattuna



Kuvio 2. Ilmankosteus- ja lämpötilakuvaaja Grafanan käyttöliittymässä

Kasvattamon ilmankosteutus toteutettiin käyttämällä ultraäänisumuttajia (kuvio 3). Sumuttajan kalvo väräisi ääntä nopeammin, jonka seurauksena syntyi hyvin hienoa su-

mua (pisarakoko <5 mikrometriä). Sumuttimet asetettiin finnfoamiseen kiekkoon, johon oli leikattu sumuttimen korille mentävä aukko. Sumutin asetettiin koriin, jolloin se kiekon kelluessa asettui noin 2 senttiä vedenpinnan alle. Vesiastianä käytettiin seinään kiinnitettyä 10 litran ämpäriä. Ensimmäinen muutos kosteutusjärjestelmään oli vesiastian vaihtaminen suurempaan. Sumuttimien pienestä kulutuksesta huolimatta vesiastiaa joutui täyttämään kahden-kolmen päivän välein. Jos astia pääsi tyhjentyneeseen, sumuttimet jatkoivat toimintaansa ilman vettä, mikä vähensi niiden käyttöä. Vesiastiat vaihdettiin tilavampiin 20 litran ämpäreihin, joka pidensi täyttöväliä kerran viikkoon.

Kolmen kuukauden kuluttua kasvattamon perustamisesta ensimmäinen sumutin näytti merkkejä kulumisesta. Sumuttimien vesiastioissa käytettiin tislattua vettä kalkkeutumisen ja orgaanisten epäpuhtauksien välttämiseksi, mutta vesiastioiden avoimuuden seurauksena veteen pääsi hyönteisiä sekä orgaanisia yhdisteitä ilmasta. Sumuttimien arveltiin tukkeutuvan ja niitä puhdistettiin pesemällä kalvopintoja harjalla ja liuottamalla niitä etikassa, mutta ne eivät näyttäneet elpymisen merkkejä. Viimeisen sumuttimen menettäessä tehonsa, ne päätettiin korvata tehokkaammalla suihkuttavalla vesipumpulla. Uusi kosteutusjärjestelmä pumppasi vettä pienireikäisten suuttimien lävitse (kuvio 3). Pisarakoko oli suurempi ja vettä tiivistyi pinnoille enemmän, mutta suurempi paine varmisti etteivät kostuttimet tukkeutuneet. Aiemmat sumuttimet olivat päällä jatkuvasti, uudempi järjestelmä kytkettiin etäohjaukseen käynnistymään 15 sekunniksi kerran 5 minuutissa, jos kasvattamon ilmankosteus ei vastannut asetettua tavoitearvoa. Tällä menetelmällä kasvattamossa saavutettiin asetettu 40 % ilmankosteus, mutta suuremman kulutuksen seurauksena palattiin kahden-kolmen päivän vesiastian täyttöväliin.



Kuvio 3. Vanha ja uusi ilmankostutin

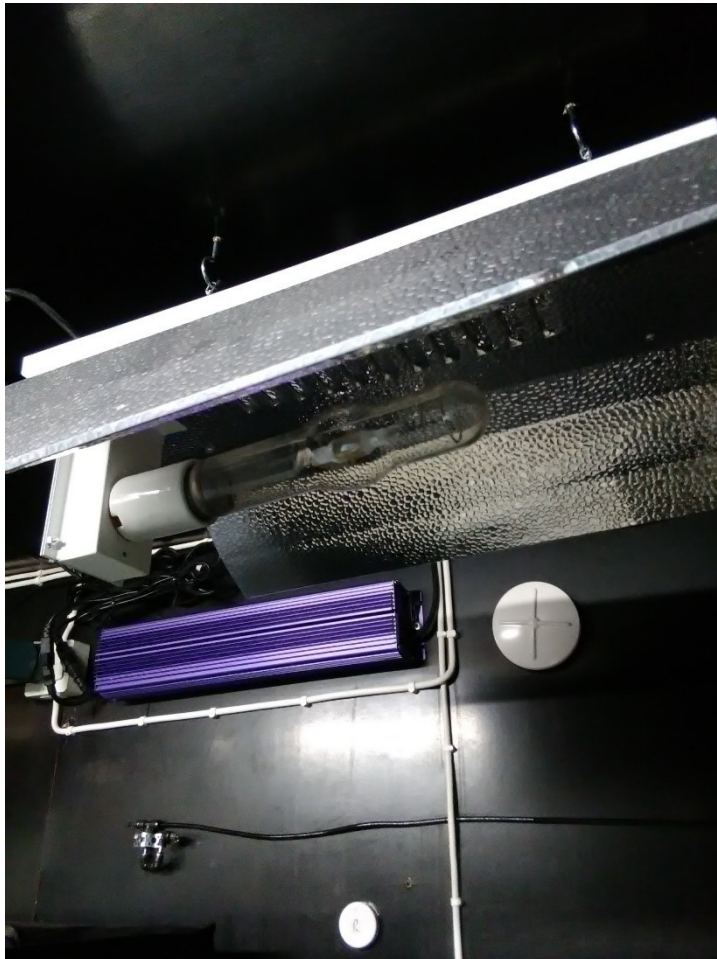
Lämpötilan ja ilmankosteuden lisäksi kasvattamosta mitattiin ilman kaasupitoisuuksia käyttäen Libelium Smart Enviroment Pro analysaattoria (kuvio 4). (Libelium, 2018) Ilman hiilidioksidi- ja ammoniakkipitoisuuksilla pystyttiin tarkkailemaan toukkien aktiivisuutta rehussa sekä kasvattamon ilmanlaatua kasvattajien turvallisuuden kannalta. Myös analysaattori oli yhdistetty Grafana-palveluun, jolloin ilmanlaatu oli helposti tarkastettavissa ja hälytysarvot asetettavissa. Ilmanlaatua ja lämpötiloja säädeltiin ilmanvaihdolla, joka koostui kahdesta tuulettimesta, passiivisesta tuloilmasta ja ohjelmoiduista poistoilmapuhaltimista. Tuulettimet oli ajastettu puhaltamaan 10 minuutiksi kerran tunnissa ympäri vuorokauden. Näin kasvattamon olosuhteita saatiin taastettua sekä varmistettua toukkien kasvatusastioiden ilmanvaihto. Poistoilmapuhaltimet oli ohjelmoitu käynnistymään asetettujen raja-arvojen ylittyessä. Ohjelmointi luki Grafanaan saapuvaa dataa ja käynnisti poistoilmapuhaltimen, jos kasvattamon osaston lämpötila nousi yli 30 asteeseen tai ilmankosteus saavutti yli 70 %.



Kuvio 4. Kaasuanalysaattori

Kattava sensoriverkosto salli nähdä olosuhde-erot kasvattamon eri tilojen välillä ja antoi myös varmemman keskiarvon. Olosuhteiden säätäminen oli helpompaa runsaan datan ansiosta. Lämpöpatterit oli varustettu termostaateilla, jotka ylläpitivät asetettua lämpötilaa, mutta ilmastointi ja ilmankosteutus toteutettiin yhdistämällä niiden pistorasiat etäyhteyden päässä oleviin kytkinrasioihin, joita kontrolloitiin olosuhdedatan perusteella. Kasvattamo oli alusta alkaen suunniteltu käyttämään avoimen pohjakoodin ohjelmistoja. Näin kasvattamon ohjelmoinnin pystyi itse koodaamaan ja muokkaamaan tarpeiden mukaisesti. Kasvattamolla käytettiin python-pohjaista ohjelmistoa, jonka VTT:n tutkijat olivat koodanneet. Ohjelmisto oli saavutettavissa virtuaalisen työpöydän kautta, mikä mahdollisti sen muokkaamisen missä vain. Sen ansiosta ohjelmistoon liittyvät ongelmat pystyivät ratkaisemaan nopeasti ilman että VTT:n tutkijoiden tarvitsi matkustaa hyönteiskasvattamolle.

Koska aikuiset mustasotilaskärpäset tarvitsivat luonnonvaloa paritteluun, kasvattamon aikuispuoli varustettiin suurpainenatriumlampulla, joka ajastettiin 12 tunnin rytmiin (ks. kuvio 5). Lämpötilan tasaamiseksi ja työskentelymukavuuden vuoksi valorytmi käännettiin yölle ja pimeävaihe päivälle. Toukka-aiheella käytettiin hyödyksi kasvattamon katossa sijaitsevia loisteputkia rajoittamaan toukkien liikettä. Toukat olivat valonarkoja, joten pitämällä kattovaloja päällä ympäri vuorokauden toukat saatiin pysymään rehuseoksessa ja välttämään niiden luonnollista käyttäytymistä, jossa ne pyrkivät ryömimään pois ruoanlähteestä valmistautuessaan koteloitumaan. Kasvattamossa oli käytössä myös siirrettävä työvalo, jota hyödynnettiin tarpeen mukaan esimerkiksi 5dol-toukkien siivilöinnissä.



Kuvio 5. Aikuispuolen päivänvalolamppu

4.1.2 Ruokintakokeet

Ruokintakokeissa tutkittiin erilaisten biomassojen sopivuutta mustasotilaskärpästen rehuksi. Ruokintakoeasetelmassa sataa (100) kappaletta 5dol-toukkia ruokittiin kolmen (3) päivän välein vakiomassalla rehuseosta kasvatusastioissa kuusi (6) kertaa kolmen viikon aikana. Jokaisesta rehuseoksesta oli neljä rinnakkaista koetta ja rehuseoksia verrattiin verrokkirehuna käytettyyn kananrehuun. Toukkien saavutettua koteloitumisasteensa, kasvatusastia ja sen sisältö eroteltiin ja punnittiin. Toukkien paino, kuolleisuus ja jäljelle jääneen rehun määrä kertoivat toukkien kasvusta ja rehun syönnistä ja siten määrittivät biomassan soveltuvuuden mustasotilaskärpäsen rehuksi.

Ruokintakokeiden biomassat kerättiin paikallisilta yrityksiltä ja yrittäjiltä. Ruokintakokeissa käytetyt biomassat löytyvät tutkimustuloksista. Ruokintakokeita valmisteltiin jauhamalla biomassat tasalaatuisiksi lihamyllyllä. Mustasotilaskärpäsen toukat syövät hajonnutta biomassaa ja hajoavassa biomassassa elävää bakteerimassaa, jolloin biomassojen pieni partikkelikoko edesauttoi hajoamistoimintaa. Biomassojen tasalaatuinen partikkelikoko varmisti rehuseoksien tasaisen syönnin. Esikäsitellyt biomassat säilöttiin pakasterasioissa jääkaapissa. Biomassoista määriteltiin kuiva-ainepitoisuudet kuivaamalla kaksi rinnakkaista 300 gramman biomassanäytettä lämpökaapissa 24 tunnin ajan 105°C, jonka jälkeen näytteet punnittiin ja haihtuneen kosteuden määrä laskettiin. Ruokintakokeet suoritettiin valmistamalla biomassoista rehuseoksia, jotka olivat laskennallisesti valmistettu samaan kuiva-ainepitoisuuteen. Ruokintakokeissa käytettiin Marjukka 1 litran pakasterasioita (mitoiltaan 11,15 x 8,15 x 11 cm), joiden kansissa olivat verkkopäällysteiset ilma-aukot (kuvio 6).



Kuvio 6. Ruokintakokeen kasvatusastioita

Mustasotilaskärpäsen toukkien koteloitumisasteen näki toukkien värityksestä. Toukat vaihtavat kuortaan kasvun aikana vaaleasta tummaan ja toukan tummuus kertoo sen valmiudesta koteloitua. Koteloitumaan valmistautuvat toukat lakkaavat syömästä ja siten kasvamasta. Tuotannossa toukat hyödynnettäisiin tässä vaiheessa, joten tuloksien tarkoituksenmukaisuuden vuoksi myös ruokintakokeissa tummakuorisia toukkia sisältävät koeastiat poistettiin ruokinnasta ja punnittiin, vaikka jaettavaa rehua olisi ollut vielä jäljellä.

Ensimmäisessä ruokintakokeessa biomassoina olivat kirjolohen päät ja pyrstöt (kalanperkuu 1), kirjolohen sisälmykset (kalanperkuu 2), leipomon sivuvirtaa (leipäjae), keskuskeittiön sivuvirtaa (biojae) ja verrokkina kananrehu (Rehux). Kirjolohen perkuut jauhettiin lihamylyllä tasalaatuisen massan saamiseksi. Leipomon sivuvirta oli valmiiksi pienipartikkeleista, suurikokoiset palat kerättiin pois silmämääräisesti. Myös

keskuskeittiön biojäte jauhettiin lihamyllällä. Seokset tasattiin matalimpaan lähtökosteuteen eli tässä tapauksessa biojätteen kosteuteen, jotta välttyttäisiin biomassojen kuivaamiselta ennen seoksien valmistamista (kuvio 7). Biomassa ja vesi lisättiin painon perusteella. Vaa'alla punnittiin astiaan ensin biomassa laskettuun painoon, johon lisättiin vettä, kunnes haluttu paino saavutettiin. Rehuseos sekoitettiin tasaiseksi massaksi ja säilöttiin jääkaapissa suljetussa rasiassa.

Testi 1	Yksikkö	pää, pyrstöt			sisälmykset		Todellinen kuiva-aine 20,7%		yhteensä
		Kalanperkuu 1	Kalanperkuu 2	Leipäjäe	Biojäte	Kananrehu			
	N	4	4	4	4	4	4	20	
%	Kuiva-aine	0.39	0.55	0.84	0.21	0.88			
%	Tavoite kuiva-aine	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21			
%	Nykyinen kosteus	0.61	0.45	0.16	0.79	0.12			
g	Syöttömäärä	1	1	1	1	1			
g	kuiva-aine	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21			
g	vesi	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79			
%	syötettä	0.54	0.38	0.25	1.00	0.24			
%	vettä	0.46	0.62	0.75	-	0.76			
g	Yhteensä	1114.44	1114.44	1114.44	1114.44	1114.44			
g	syötettä	603.18	423.21	277.29	1114.44	265.95			
g	vettä	511.27	691.24	837.15	0.00	848.50			

Kuvio 7. Rehuseoksien tasaus samaan kosteuteen

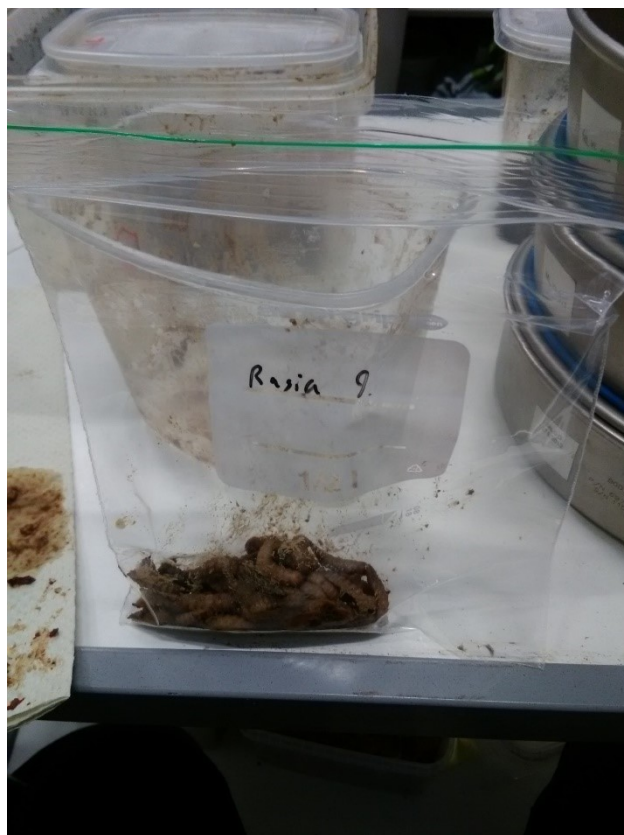


Kuvio 8. Ruokintakokeen 1 rehuseoksien koevedos

Jokaisesta biomassasta valmisteltiin neljä rinnakkaista erää sisäisen standardin parantamiseksi. Jaettava rehuannos laskettiin toukkien lähtöpainon, rehun muuntosuhteen ja rehuseoksen kosteuden perusteella. Kerta-annokseksi muodostui 40,8 g, joka lisättiin jokaiseen rasiaan kolmen päivän välein. Annostelua varten rehuseosta punnittiin dekanterilasiin kerta-annoksen verran, jonka jälkeen rehuannos kaavittiin kasvatusastiaan. Rehuseokset sekoitettiin uudelleen ennen annoksien punnitusta tasalaatuisuuden varmistamiseksi.

Kuten kuviosta 8 näkyy, kalanperkuu 2 sisälsi runsaasti rasvaa. Rasva kerrostui rehuseoksen pintaan kasvatusastioissa. Toukat eivät pystyneet prosessoimaan rasvaa tehokkaasti ja rasvakerros kasvoi rehulisäyksien yhteydessä. Lopulta toukat hukkivat rasvakerrokseen. Sen takia kalanperkuu 2 koe-erät todettiin kuolleiksi viikon päästä ruokintakokeen aloittamisesta ja poistettiin kokeesta. Kalanperkuu 1-rehuseosta jatkettiin kahden viikon ajan, mutta senkin todettiin epäonnistuneeksi punnitusten yhteydessä kaikkien toukkien löydyttyä kuolleena. Jäljelle jääneet rehut ei-

vät tuottaneet ongelmia. Biojae ja kananrehu koe-erät saavuttivat koteloituvia toukkia 11 päivän kuluttua ruokintakokeen aloittamisesta ja ne siirrettiin punnitukseen. Leipäjae koe-erässä koteloituvia toukkia havaittiin 18. päivänä. Punnituksessa rasioiden rehujäännös ja toukat eroteltiin toisistaan. Toukat laskettiin, punnittiin ja pussitettiin pakastepusseihin teurastamista varten (kuvio 9). Toukkien kuolleisuus saatiin astiasta löytyneiden täysikasvuisten toukkien määrästä. Rehujäännökset punnittiin ja niistä mitattiin kuiva-ainepitoisuudet. Pakastuneet toukat murskattiin kitiinikuorien hajottamiseksi ja niistä mitattiin kuiva-ainepitoisuudet.



Kuvio 9. Ruokintakokeen toukkia eroteltuna rehuseoksesta ja menossa pakastukseen

Toinen ruokintakoe toteutettiin käyttäen samoja menetelmiä. Biomassoina olivat ohra, biojae Sammakkokankaalta, seos edellisen ruokintakokeen leipäjakeesta ja kalan sisälmyksistä (leipä + kala) ja kananrehu verrokkina (kuvio 10). Ohra oli kuorittua rehuohraa, joka jauhettiin jauhoksi. Leipäjae ja kirjolohen sisälmykset sekoitettiin keskenään suhteessa seitsemän osaa leipäjaetta ja 3 osaa kalan sisälmyksiä ennen

varsinaisen rehuseoksen valmistamista. Sammakkokankaan biojäte jauhettiin lihamylyllä tasalaatuisiksi.

Testi 2		Ohra	Biojäte S	Kala+leipä	Kananrehu	yhteensä
Yksikkö	N	4	4	4	4	16
%	Kuiva-aine	0.86	0.28	0.76	0.88	
%	Tavoite kuiva-aine	0.28	0.28	0.28	0.28	
%	Nykyinen kosteus	0.14	0.72	0.24	0.12	
g	Syöttömäärä	1	1	1	1	
g	kuiva-aine	0.28	0.28	0.28	0.28	
g	vesi	0.72	0.72	0.72	0.72	
%	syötettä	0.33	1.00	0.37	0.32	
%	vettä	0.67	-	0.63	0.68	
g	Yhteensä	790.50	790.50	790.50	790.50	
g	syötettä	257.37	790.50	292.78	251.52	
g	vettä	533.13	0.00	497.72	538.98	

Kuvio 10. Ruokintakoe 2 rehuseokset

Tässä ruokintakokeessa törmättiin useampaan ongelmaan, jotka heikensivät tuloksien luotettavuutta. Ongelmien syyt olivat monitahoisia, niin tutkimus- kuin olosuhteilähtöisiä. 5dol olivat pienempiä verrattuna ensimmäiseen ruokintakokeeseen. Vastakuoriutuneiden toukkien ruokinta ja olosuhteet ovat erittäin tärkeitä toukkien myöhemmän kasvun ja rehun käsittelykyvyn kannalta. Tavoitteena oli, että toukka saavuttaisi viidessä päivässä koon, jossa se pärjäisi varsinaisessa rehussa. Kuoriutumisen jälkeisinä päivinä toukkien kasvu on nopeinta. Siksi munien keruu, kuoriutuminen ja 5dol-toukkien käsittely pitäisi ajoittaa oikein. Olikin todennäköistä, että ensimmäisessä ruokintakokeessa 5dol-toukat olivat kuusi- tai seitsenpäiväisiä kokeen alettua. 5dol-toukkien lähtöpaino vaikutti myös jaettuun rehuannoksen kokoon, joka toisessa ruokintakokeessa oli pienempi, 29,1 g. Pienempi kerta-annos rehuseosta kuivui nopeammin, jonka seurauksena rehuannokset, varsinkin kuitupitoisemmat rehuseokset, muodostivat kovia laattoja kasvatusastian pohjalle. 5dol-toukat ovat herkkiä olosuhteiden muutoksille ja tarvitsevat rehuseoksien tuomaa kosteutta selviytyäkseen. Rehuannoksien lisäyksien yhteydessä kasvatusastioihin lisättiin ylimääräistä vettä kosteuden parantamiseksi, mutta siitäkin huolimatta rehuseokset kuivuivat liikaa.

4.2 Aineiston kerääminen ja tutkimusajanjakso

Opinnäytetyön teoriapohja kerättiin jo olemassa olevasta tietopohjasta, joka koostui kansainvälisistä tutkimuksista. Tutkimusaineistoa kerättiin omatoimisena tiedonhankintana käyttäen hyödyksi tieteellisiä verkkojulkaisuja ja hankkeen suunnittelussa jaettua tutkimusmateriaalia. Teoriapohjan keräämisen ajanjaksolla suoritettiin vierailu oululaiseen Entoprot Oy:ön, jossa nähtiin mustasotilaskärpäsen tutkimustyötä jo toiminnassa. Vierailusta saatiin näkemystä opinnäytetyön tulevaan kokeelliseen osuuteen.

Opinnäytetyön kokeellinen osuus suoritettiin Biotalousinstituutin kampukselle rakennetussa demonstraatiokasvattamossa. Kasvatuskontti toimi itsenäisenä yksikkönä, jossa onnistui hyönteisten kasvattaminen sekä niiden alustava tutkiminen. Tutkimuksessa käytettiin myös Biotalousinstituutin laboratoriotiloja ja työkaluja.

Teoriapohja kerättiin kevään 2018 aikana ja opinnäytetyön suunnitelma esiteltiin 29.5. Kokeellinen osuus aloitettiin alkukesästä 2018 demonstraatiokasvattamon valmistuttua ja ensimmäisen mustasotilaskärpäskannan saavuttua. Kasvattamon olosuhteiden tarkkailua ja säätämistä suoritettiin koko tutkimusajanjakson aikana. Ensimmäinen ruokintakoe suoritettiin 7.9—27.9 ja toinen ruokintakoe 29.10—23.11. Tutkimuksen tuloksien koonti ja analysointi suoritettiin talvella 2019 ja opinnäytetyö kirjoitettiin vuoden ensimmäisen neljänneksen aikana.

4.3 Aineiston analysointi

Kasvattamon olosuhdedata tuli reaaliajassa Grafana-pilvipalveluun, jossa datasta pystyi muokkaamaan graafisia kuvaajia tulkinnan helpottamiseksi. Ruokintakokeiden tuloksista muodostettiin taulukoita ja kuvaajia. Ruokintakokeiden tuloksien luotettavuutta analysoidaan anova ja t-testillä. Opinnäytetyön aikana kerääntyvä aineisto oli laadultaan numeraalista, joten analysoinnissa voitiin hyödyntää kvantitatiivisen tutkimuksen menetelmiä. Opinnäytetyö itsessään oli kuitenkin kehitystutkimusta.

4.3.1 t-testi

T-testi on tilastollinen testi, joka noudattaa Studentin t-jakaumaa. Sillä määritetään normaalijakautuneiden satunnaismuuttujien merkittävyyttä. Ennen t-testiä tulisi määrittää näytteen normalisuus ja stabiilisuus. T-testillä voidaan testata yhden otoksen keskiarvoa nollahypoteesiin tai kahden riippumattoman tai riippuvan otoksen keskiarvojen yhtäsuuruutta. T-testi suoritetaan laskemalla t-arvo ja vertaamalla sitä t-jakaumasta poimittuun raja-arvoon. Raja-arvo valitaan merkittävyytason perusteella. Yleisesti käytetään 95 % merkittävyyssarvoa (alfariski 0,05). T-testi määrittää näytteen keskiarvon vaihtelua hypoteesikeskiarvoon (tavoitearvon) verrattuna. Jos ero (t-arvo) on suuri, sillä on tilastollista merkitystä, jos pieni, ero ei ole todennäköisesti tilastollisesti merkitsevä. (Karjalainen 2014.)

4.3.2 Yhdensuuntainen varianssianalyysi

Varianssianalyysilla voidaan testata ryhmien keskiarvojen välisiä eroja ja merkittävyyttä. Varianssianalyysi käyttää 95 % merkittävyyssarvoa (p-arvo 0,05). Verrattavien ryhmien eron ollessa alle p-arvon, ryhmien välillä on merkittävää eroa. Mitä suurempi ryhmien välinen ero on verrattuna ryhmien sisäiseen eroon (verrokkien samankaltaisuus), sitä merkittävämpi ero on. Varianssianalyysin käyttö edellyttää vertailtavien ryhmien olevan toisistaan riippumattomia, ryhmien keskiarvojen seurata normaalijakaumaa ja ryhmien varianssien olla saman suuruisia. (Taanila 2012a.)

4.3.3 P-arvo

P-arvo kuvaa todennäköisyyttä, jolla otoksen tulos poikkeaa nollahypoteesista, kun nollahypoteesin oletetaan pitävän paikkansa. P-arvo voidaan myös tulkita olevan todennäköisyys, jolla havaittu poikkeama nollahypoteesista voidaan selittää pelkästään otantavirheellä. P-arvona yleensä käytetään 5 % eli 0,05 rajaa, mutta p-arvon rajaa voidaan muuttaa tapauskohtaisesti luotettavuusvaatimuksen mukaan. Mitä pienempi otannon p-arvo on, sitä luotettavammin tulos ei johdu satunnaisvirheestä. (Taanila 2012b.)

5 Tietoperusta

5.1 Opinnäytetyön tietoperusta

5.1.1 Mustasotilaskärpänen

Mustasotilaskärpänen, *Hermetia illucens*, on tropiikissa elävä *Stratiomyidae*-suvun sotilaskärpänen (kuvio 11). Sitä esiintyy maailmanlaajuisesti tropiikin ja subtrooppisilla alueilla 40 ja 45 leveyspiirin välillä. Laji on alun perin kotoisin Etelä-Amerikasta, mutta nykyisellään levinnyt joka puolelle maailmaa. Mustasotilaskärpästä ei lasketa tuhoeläimeksi tai tartunnanlevittäjäksi, eikä sillä ole havaittu olevan tauteja. Toukat syövät ja hajottavat kuollutta orgaanista ainesta ja palauttavat ravintoaineita maaperään. Aikuiset kilpailevat elintilasta muiden kärpäslajien kanssa ja siten vähentävät niiden määrää. Mustasotilaskärpänen ei ole kiinnostunut ihmisravinnosta, eikä kykene puremaan tai pistämään ihmistä. (Caruso, Devic, Subamia, Talamod & Baras 2013, 19–20.)



Kuvio 11. Mustasotilaskärpänen ja toukkia

Mustasotilaskärpänen käy lävitse täydellisen muodonmuutoksen. Toukat ovat saprofaageja, eli syövät kuollutta ja mädäntyvää ravintoa (kuvio 11). Ne ovat myös valonarkoja ja pyrkivät kaivautumaan ravintoon tai maahan välttääkseen kirkasta valoa.

Mustasotilaskärpäsen toukat elävät ravinnossaan ja syövät koteloitumiseen asti, jolloin ne etsivät syrjäisen paikan koteloitumista ja kuoriutumista varten. Toukilla on vahvat leuat, joita ne käyttävät syömisen lisäksi liikkumiseen. Toukan keho jakaantuu 11 jaokkeeseen, jotka ovat harjaksien peittämiä. Toukat voivat kasvaa 20 mm pitkiksi ja 6 mm leveiksi. Toukkien väriytyy muuttuu vaalean beigestä ruskeaksi niiden elinkaaren aikana ja koteloituessaan tumman ruskeaksi. (Caruso ym. 2013, 20–21.)

Mustasotilaskärpänen on täysikasvuisena 13–20 mm pitkä. Sen keho on musta, heijastaen sinisen ja vihreän sävyjä. Siivet ovat mustansavuiset. Päässä mustasotilaskärpäsellä on pitkät tuntosarvet. Jalat ovat mustat valkoisilla tai keltaisilla nilkoilla. Koiraat ovat naaraita pienempiä. Mustasotilaskärpäsen sukupuolen erottaa peräpäässä olevista sukuelimistä. Aikuisella mustasotilaskärpäsellä ei ole leukoja, mutta se voi nauttia nesteitä imupillin avulla. (Caruso ym. 2013, 21.)

Mustasotilaskärpänen on mimikry kärpänen, eli se pyrkii imitoimaan toisen, vaarallisemman lajin ulkonäköä suojaeina. Mustasotilaskärpänen imitoi *Trypoxlon politum*-lajin ampiaisia. Mustasotilaskärpänen on hyvin lähellä kyseisen ampiaisen kokoa ja ulkonäköä, varsinkin mustasotilaskärpäsen tuntosarvet ja sen kyljissä olevat ”ikkunat”, jotka saavat sen vyötärön muistuttamaan ampiaisten kapeaa vyötäröä, saavat sen näyttämään kyseisen lajin ampiaiselta. (Diclaro II & Kaufman 2009.)

5.1.2 Elinkierto

Mustasotilaskärpäsen elinkierto alkaa ja päättyy munimiseen; munittuaan 320–1000 munaa pieneen, kuivaan, suojaan onkaloon tai substraattiin lähelle mätänevää biomassaa naaras kuolee. Onkalo suojelee munia pedoilta, auringonpaisteelta ja kuivumiselta. Biomassan läheisyys varmistaa toukkien ensimmäisen aterian. Munat kuoriutuvat keskimäärin 4 päivän kuluttua munienlaskusta vain muutaman millimetrin pituisina ja kuoriutuneet toukat hakeutuvat lähimpään mätään biomassaan, jota ne alkavat ahmia. Toukat ovat kyltymättömiä 21–24 päivää kuoriutumisestaan. Mätänevä biomassaa on kosteaa, joten toukkien ei tarvitse huolehtia kuivumisesta. Jos

kosteus nousee kuitenkin liian korkeaksi, toukat pyrkivät pois kohti kuivempaa biomassaa. Aktiivisen syömisvaiheen aikana mustasotilaskärpäsen toukat syövät 40–80 % biomassasta ja hyödyntävät siinä olevia typpi- ja fosforivarantoja. Toukat eivät käyttäydy kannibalismisesti edes ravinnon loppuessa. Toukilla on vahvat leuat, joilla ne jauhavat mätänevää biomassaa. Toukat myös jauhavat biomassaa liikkeellään. Toukkalaumassa esiintyy sisäistä kiertoliikettä, jossa keskellä olevat toukat siirtyvät reunoille syötyään ja liikkuessaan biomassaa hankautuu toukkien välissä. Lisäksi toukien ruuansulatuksessa on tehokkaita entsyymejä ja bakteereja, jotka edesauttavat biomassan hajoamista ja mätänemistä. (Caruso ym. 2013, 22–25.)

Optimioloissa ja -ravinnolla toukat saavuttavat koteloitumisvaiheen 14–16 päivässä. Mustasotilaskärpänen on myös hyvin sietokykyinen laji, epäsuotuisissa oloissa se pysyy pidentämään elinkiertoaan ja koteloitumaan myöhemmin. Olosuhteista riippuen luonnossa koteloitumisvaiheen saavuttamisessa kestää 4 viikosta 5 kuukauteen. Mustasotilaskärpänen syö ainoastaan toukkavaiheessa, joten sen pitää kerätä tarpeeksi rasvaa ja proteiineja selviytyäkseen koteloitumisesta, aikuistumisesta, parittelusta ja muninnasta. (Caruso ym. 2013, 23.)

Toukkavaiheen aikana mustasotilaskärpäsen toukka luo kuorensa viidesti ennen koteloitumistaan. Jokaisen luonnin jälkeen toukka muuttuu asteittain tummemmaksi, kunnes koteloituu tumman ruskeaan koteloon. Lähestyessään koteloitumista, toukka kömpii pois mätänevästä biomassasta koukkumaiseksi muuttuneella suullaan ja kaivautuu sopivaan materiaaliin koteloitumaan. Kotelot ovat 12–25 mm pitkiä ja liikkumattomia. Muodonmuutos kestää keskimäärin 2 viikkoa. Koiraat kuoriutuvat naaraista aikaisemmin. Kuoriuduttuaan mustasotilaskärpäsen tarvitsee kuivattaa siipiään ennen lentoa lähtöä. Parittelu tapahtuu 2 päivää kuoriutumisen jälkeen, jota seuraa muninta 2 päivän kuluttua onnistuneesta parittelusta. Aikuinen mustasotilaskärpänen elää 5–21 päivää, riippuen sen energiavarastoista ja saatavilla olevasta vedestä tai medestä. Koiraat ovat alueellisia ja puolustavat reviiriään muita koiraita vastaan, kunnes löytävät naaraan. Mustasotilaskärpäset parittelevat ilmassa; koiras tarttuu ohitse lentävään naaraaseen jaloillaan ja koukkumaisella sukuelimellään. Parittelu kestää 20–30 minuuttia ja voi tapahtua jopa 1,5 metrin korkeudessa. Pari laskeutuu maahan lennon jälkeen ja jatkaa parittelua, mutta tällä kertaa osoittaen vastakkaisiin

suuntiin peräpäässä sijaitsevien sukuelinten lukkiutuessa yhteen. Parittelu tapahtuu vain valoisaan aikaan. (Caruso ym. 2013, 24—27.)

5.1.3 Kasvatusolosuhteet

Mustasotilaskärpästen kasvatusolosuhteita on tutkittu ympäri maailmaa ja useimmat tutkimustulokset muodostavat rajatun haarukan, jossa kasvun pitäisi olla optimaalista. Tärkeintä kasvatuksessa ovat tasaiset olosuhteet. Mustasotilaskärpäset sietävät epäsuotuisia olosuhteita, mutta vaihtelevat olosuhteet häiritsevät niiden kasvua. Kannattavuuden kannalta optimaalisten kasvuolosuhteiden määrittäminen on oleellista. Kasvattajien kannalta olosuhteet ovat trooppiset (kuuma ja kostea), joten työturvallisuuden ja laitteiden käyttöturvallisuuden pitää kiinnittää huomiota kasvattamoa suunnitellessa.

5.1.3.1 Lämpötila

Mustasotilaskärpäset ovat tropiikin laji ja siten ympäristön lämpötila vaikuttaa niiden metaboliaan ja elinikään. Ideaali lämpötila toukkien kasvatukseen olisi 24—30 asteen välillä. Korkeampi lämpötila nopeuttaa niiden elinkiertoa eli toukat kuoriutuvat ja kasvavat nopeammin, mutta matalammissa lämpötiloissa toukat kasvavat suuremiksi ja kuolleisuusprosentti on matalampi. Jeffrey Tomberlinin suorittamassa kokeessa 27 asteessa kasvatetut mustasotilaskärpäset painoivat 5 % enemmän ja elivät noin 10 % pitempään kuin 30 asteessa kasvatetut. 27 asteessa kasvatetut toukat kuitenkin vaativat 4 päivää enemmän kotelovaiheen saavuttamiseen. Koska mustasotilaskärpäsen syö vain toukkavaiheessa, pidentynyt toukkavaihe takaa paremman selviytymismahdollisuuden aikuisille mustasotilaskärpäksille, mikä on nopeampaa elinkiertoa tärkeämpi. (Tomberlin, Adler & Myers 2009.)

5.1.3.2 Ilmankosteus

Mustasotilaskärpäset kasvavat parhaiten niiden luonnollista ympäristöä vastaavassa kosteudessa. Alhainen ilmankosteus kuivattaa munia ja alentaa syntyvyyttä. Toukat eivät pysty liikkumaan kuivassa ravinnossa, mutta hukkuvat liian kosteassa. Liikaa kosteus voi myös aiheuttaa biomassan anaerobista käymistä, mikä lisää hajuhaittoja kasvatuksen yhteydessä. Toukille 70 % kosteus kasvumateriaalissa on sopiva. Aikuisille 30—90 % ilmankosteus on sopiva parittelua varten. Aikuiset sietävät laajempia

kosteusoloja sopeutumiskykynsä ansioista. Munimisen kannalta korkeampi ilmankosteus on parempi. (Park 2015, 8.)

5.1.3.3 Valaistus

Mustasotilaskärpäsen toukat ovat valonarkoja ja pyrkivät kaivautumaan syvemmälle biomassaan tai etsimään varjoa piiloutuakseen kirkkaalta valolta. Aikuiset puolestaan tarvitsevat valoa voidakseen paritella. Luonnossa parittelu tapahtuu aktiivisemmin aamuisin. Ympärivuotisessa kasvatuksessa tulee käyttää keinovalaistusta paritteluvietin aktivoimiseksi. Suositeltavan keinovalon tulisi olla 450–700 nm aallonpituudeltaan ja $135 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ voimakkuudeltaan. (Park 2015, 8–9.)

5.1.3.4 Ravinto

Mustasotilaskärpäsen toukat voivat hyödyntää lähes kaikkea biomassaa, kunhan se on kosteudeltaan ja partikkelikooltaan sopivaa. Eläinperäisten tuotteiden kuten lihan ja rasvan on havaittu tuottavan prosessointivaikeuksia. Proteiini- ja hiilihydraattipitoinen ravinto tuottaa parhaan kasvun. Mustasotilaskärpäsiä on käytetty jätteenkäsittelyssä niiden syömiskyvyn ja ravinteiden hyödyntämiskyvyn takia. Toukat voivat syödä jopa 80 % biomassasta, mikä vähentää hävitettävän biomassan tai lannan määrän huomattavasti sekä vähentää tautien leviämistä. Biomassa on sopivaa ravintoa mustasotilaskärpäsen toukille, varsinkin jos biomassassa on jo osittain mädäntynyt bakteeri- tai sienitoiminnan seurauksena. Koska toukilla ei ole jauhavia suun osia, ravinnon partikkelikoko vaikuttaa sen syömisnopeuteen. Toukkien ravinto tulisikin tarjota jauhettuna tai vellimäisessä muodossa. Kuten muillakin hyönteisillä, toukille tarjottu ravinto vaikuttaa niiden ravintoainekoostumukseen ja makuun. Evira on hyväksynyt kananrehuun pohjautuvan hyönteisrehun käytön hyönteisten ruokinnassa. (Dortmans, Diener, Verstappen & Zurbrügg 2017, 7–8.)

5.1.4 Ravintoarvo

Mustasotilaskärpästen toukkien ravintoarvoihin vaikuttaa ravinto, jolla niitä on ruokittu ja missä vaiheessa elinkiertoa ne on kerätty (ikä, koko, kehitysvaihe). Mustasotilaskärpäsen hyödynnetään toukkavaiheessa, myöhemmän vaiheet ovat ravintoarvoiltaan ja koostumukseltaan epäsuhtaisempia. Koteloitumisen jälkeen toukka vain

kuluttaa energiavarastojaan ja sisältää enemmän kitiiniä. Mustasotilaskärpäsien touk-
kien kuiva-aine pitoisuus on noin kolmannes niiden painosta, esimerkiksi palmun yti-
millä ruokittuna 36,8 % (Caruso ym. 2013, 108).

5.1.4.1 Proteiini

Proteiinia toukat sisältävät 40–45 %, mutta proteiinipitoisuus voi vaihdella 30–55 %
välillä olosuhteista, käytetystä rehusta ja keräysajankohdasta riippuen. Rasvanpois-
tolla proteiinien osuus kuiva-aineesta voidaan nostaa yli 60 %. Aminohappoprofiili on
hyvin tasapainoinen ja muistuttaa kalajauhon profiilia, vain rikki- ja tauriinissa on vajavuutta. (McCusker, Buff, Yu &
Fascetti, 2014; Caruso ym. 2013, 108.)

5.1.4.2 Lipidit

Lipidejä toukissa on 30–45 %. Rasvojen ja proteiinien välinen suhde riippuu saata-
villa olevasta ravinnosta ja sen määrästä. Yltäkyläisessä ravinnossa toukissa on
enemmän rasvoja kuin proteiineja verrattuna säännöstelltyyn ruokintaan. Rasvapitoi-
suuteen vaikuttaa myös toukan kehitysvaihe; toukan rasvapitoisuus nousee 13 pro-
sentista 40 prosenttiin toukkavaiheen aikana, huipun ollessa koteloitumishetkellä.
Tutkimuksissa on havaittu, että mustasotilaskärpäsien toukat kalajätteellä ruokittuna
pystyvät prosessoimaan kalaöljyjä ja ravinteita omega-3 rasvahapoiksi, saavuttaen 1-
3 % omega-3 rasvahappopitoisuuden kuiva-aineestaan (Park 2015, 11). Onkin suosi-
teltavaa, että toukkia ruokittaisiin kalajätteellä 24 tuntia ennen keräämistä ravintoar-
von parantamiseksi. (Caruso ym. 2013, 109.)

5.1.4.3 Kivennäiset

Mustasotilaskärpäsien toukkien tuhkapitoisuus on 10–15 %. Kitiiniä toukissa on
4,5–9 %. Kitiinillä on havaittu olevan terveydellisiä vaikutuksia suolistoflooralle (Se-
lenius 2017, 30–33.), mutta se myös rajoittaa syöntiä ja kasvua rehukäytössä. Puris-
tamalla mustasotilaskärpäsien toukkia ”toukkamaidoksi” voidaan vähentää kitiinipi-
toisuutta, kitiinin jäädessä toukkien ulkoiseen tukirankaan. Raakakuitua toukissa on 7
%, kalsiumia 5 % ja fosforia 1,5 %. Muihin hyönteisiin ja kalarehuun verrattuna mus-
tasotilaskärpäsissä on moninkertaisesti kalsiumia. Niissä esiintyy myös vitamiineja
runsaammin kuin muissa hyönteisissä. Tässäkin asiassa ruokinnassa käytetyllä bio-
massalla on vaikutuksensa. (Park 2015, 11; Wang & Shelomi 2017.)

5.1.5 Mustasotilaskärpästen hyödyntäminen

5.1.5.1 Sivuvirtojen käsittely

Mustasotilaskärpäset ovat eläneet luontaisilla asuinseuduillaan ihmisen kumppanina maataloudessa vuosisatoja. Eläinten lannan runsas esiintyminen navetoissa on luonut niille suotuisat olosuhteet, jossa esiintyy kosteutta, lämpöä ja ravintoa ympärivuotisesti. Luonnollisessa elinkierrossaan mustasotilaskärpäset munivat lannan läheisyyteen, toukat syövät lantaa, kunnes kömpivät suojaansa paikkaan koteloitumaan ja kuoriutumaan. Mustasotilaskärpäsisistä ei ole haittaa eläimille tai ihmisille ja ne vähentävät lannan määrää. Lisäksi siipikarja ja siat ovat voineet käyttää niitä virikervinnokseen.

Koska mustasotilaskärpänen pystyy hyödyntämään laajaa biomassaskaalaa, on sitä ehdotettu ratkaisuksi useiden eri sivuvirtojen käsittelyyn. Varsinkin urbaanissa ympäristössä, jossa ei ole tilaa jätteelle ja kostean biojätteen kuljettaminen on kallista, sen käsittely hyönteisillä kuten mustasotilaskärpäisillä on lupaava ratkaisu. Ravintoloiden ylijäämäruoka ja ruokakauppojen biomassat pystyttäisiin käsittelemään tehokkaammin ja hyödyntämään sen sisältämät ravinteet, vähentäen kaatopaikoille menevän biomassan määrää. Hyönteiskäsittely myöskin nopeuttaa biomassan hajoamista. Samoin alhaisemman infrastruktuurin ja viemäröinnin maissa tautien, kuten ripulin, leviämistä voitaisiin hallita käsittelemällä ulosteet hyönteisten avulla (Banks 2014, 190—196). Tämä pidentäisi kuoppakäymälöiden käyttöikä, halventaisi huoltoa sekä parantaisi terveellisyttä. Mustasotilaskärpästen käsittelemä biomassa sopii lannoitteeksi tai kompostoitavaksi, joten prosessissa ei synny käyttökeltontaa ainesta. Lisäksi on havaittu, että biomassan hyönteiskäsittely nopeuttaa lääke- ja torjunta-ainejäämien hajoamista ilman että ne kerääntyisivät prosessin aikana (Lalander, Senecal, Gros Calvo, Ahrens, Josefsson, Wilberg & Vinnerás 2016). Biomassojen ja sivuvirtojen käsittelykyky saattaakin olla mustasotilaskärpäsen tärkein ominaisuus proteiinin ja rasvojen tuottamisen sijaan. (Čičková, Newton, Lacy & Kozánek 2015, 7—8.)

5.1.5.2 Hyönteisrehu

Mustasotilaskärpäsen toukkia voidaan käyttää eläinten rehuna. Niillä on korkeaa proteiini- ja rasvapitoisuus ja niiden aminohappoprofiili on tasapainoinen. Toukkia voi-

daan käyttää kaikkien tuotantoeläinten ravintona, mutta varsinkin siipikarjan ja kalojen, joiden luontaiseen ruokavalioon hyönteiset kuuluvat. Kaloja on kokeiltu ruokkia hyönteisillä 1980-luvulta lähtien ja tulokset ovat vaihtelevia, johtuen niin eri kalalajeista kuin hyönteisistäkin. Hyönteisrehu ei ole superravinto, joka mullistaisi kalatalouden. Korkea rasvapitoisuus ja kitiini rajoittavat sen määrää rehussa ja korkeat hyönteispitoisuudet rehussa hidastavat kalojen kasvua. Kuitenkin joillakin kalalajeilla, kuten *O. niloticus* ja *Osphronemus gouramy*, hyönteisrehu nopeutti kasvua. Lisäksi pitää huomioida kalarehun ja eläinproteiinien jatkuvasti kallistuva hinta. Yleinen mielipide onkin, että osan kalarehusta voi korvata hyönteisrehulla. Siipikarjan, sikojen ja turkiseläinten ruokinnassa hyönteisrehua on kokeiltu soijan ja kalajauhon korvauksena, niiden samankaltaisten ravintoarvojen seurauksena. Kokeilut ovat olleet vielä pienimuotoisia, mutta negatiivisia vaikutuksia ei ole raportoitu. Kitiinin- ja rasvanpoistomenetelmien kehittyessä hyönteisrehun sopivuus tuotantoeläinten rehuksi paranee. (Fischer, Heckmann, Dahl, Hannemann, Jensen, Sørensen, Larsen & Byskov 2018, 19–23; Park 2015, 11–12; Caruso ym. 2013, 112–117.)

5.1.5.3 Biodiesel

Mustasotilaskärpäsien toukilla on korkea rasvapitoisuus ja niistä erotellusta rasvasta voidaan jatkojalostaa biodieseliä, joka vastaa ominaisuuksiltaan rypsiä valmistettua biodieseliä ja täyttää standardin EN 14214 vaatimukset. Sivuvirtojen käsittely nousee esiin tässäkin, sillä toukille voidaan syöttää esimerkiksi joko eläinten lantaa, tai jo kertaalleen öljypuristettua kiinteää jäännösfraktiota, jolloin biomassasta saadaan kaksinkertainen hyöty irti. Kiinalaisissa tutkimuksissa lannalla ruokitut mustasotilaskärpäsien tuottivat 35,5 g (karjanlanta), 57,8 g (sianlanta) ja 91,4 g (kananlanta) jalostettua biodieseliä 1000 toukkaa/ 1kg biomassaa kohden. Biodiesel koostui lauriinihapon estereistä (35,5 %), oleiinihapon estereistä (23,6 %) ja palmitiinihapon estereistä (14,8 %). Jäännösfraktiolla ruokitut toukat tuottivat 23,6 g biodieseliä 100 toukkaa/ 1 kg biomassaa kohden. Biodiesel koostui oleiinihapon estereistä (27,1 %), lauriinihapon estereistä (23,4 %) ja palmitiinihapon estereistä (18,2 %). Toukista saatu biodiesel määrä vastasi lähes alkuperäisestä puristuksesta saatua biodieselin määrää. Kehitetynä menetelmä voisi kaksinkertaistaa nykyisen biodiesel saannin biomassoista. (Zhen, Li, Zhang & Yu 2012; Li, Zheng, Cai, Garza, Yu & Zhou 2011.)

5.1.5.4 Entsyymit

Mustasotilaskärpäsien toukkien ruuansulatuksessa on useita teollisuutta ja tiedettä kiinnostavia entsyymejä, ja varsinkin selluloosaa ja ligniiniä hajottavat entsyymit ovat herättäneet kiinnostusta. Entsyymien esiintyvyyden on havaittu riippuvan toukille syötetystä biomassasta. Nykyiset *in vitro* kokeet pyrkivät määrittämään entsyymien aktiivisuutta. (Müller, Wolf & Gutzelt 2017, 5–6.)

5.1.5.5 Kitiini

Proteiinien ja rasvojen erotuksen jälkeen jäljelle jää mustasotilaskärpäsien ulkoinen tukikuori. Kuten kaikilla hyönteisillä, se muodostuu kitiinistä, joka on polysakkaridi. Kitiiniä voidaan jalostaa kitosaaniksi, joka on myrkytön, biohajoava ja antimikrobinen sokeriyhdiste. Useat tieteen ja teollisuuden alat, kuten kosmetiikkateollisuus ja lääketiede, ovat kiinnostuneet kitosaanin ominaisuuksista. Kitosaanin on raportoitu auttavan syövän, lihavuuden ja Alzheimerin hoidossa. Lisäksi sillä on kudosta ja tulehduksia parantavia vaikutuksia. Tällä hetkellä kitosaania valmistetaan äyriäisten kuorista, mutta hyönteistalous voi tarjota vaihtoehdoisen lähteen. (Müller ym. 2017, 6.)

5.1.5.6 Antimikrobiset peptidit

Yleisesti tiedetään, että hyönteisillä on pitkälle kehittynyt immuunisysteemi ja mustasotilaskärpäsien, joka elää ja syö mätänevässä biomassassa ja joka yleisesti sisältää runsaan joukon mikrobeja ja sieniä, immuunisysteemin arvioidaan sisältävän antimikrobisia peptidejä. Nämä peptidit herättävät kiinnostusta lääketieteessä, sillä niistä voidaan kehittää tehokkaita fungisideja ja antibiootteja. Varsinkin tarve uusille antibiooteille MDR-bakteerien yleistyessä on kiireellinen. (Müller ym. 2017, 6–10.)

5.1.6 Kasvattamo

5.1.6.1 Munien keruu

Keskeytyksettömän toiminnan takaamiseksi kasvattamon tulisi tuottaa jatkuvasti uusia mustasotilaskärpäsien toukkia. Siksi osan toukista tulisi antaa kasvaa täysikasvuisiksi aikuisiksi, jotka pariutuvat ja munivat. Keräämisen ja kasvattamisen helpottamiseksi naaraille tulisi tarjota keinotekoisia alustoja, ”eggies”, munintaa varten. Naaraat munivat suojaisiin koloihin, joten eggien voi valmistaa aaltopahvista, yhteen sidotuista puutikuista tai ”bioball”-mallisista akvaariosuodattimista. Koska munien määrä lasketaan painon perusteella, muoviset eggiet antavat varmemman tuloksen

olosuhteiden, kuten kosteuden, vaikuttaessa vähemmän niiden omaan massaan. Muovisia eggieitä on myös helppo käyttää uudelleen ja puhdistaa. Eggiet asetetaan aikuisten karpästen paritteluhäkkiin. Paritelleet naaraat munivat niihin ennen kuolemaansa. Kun eggien oma paino tiedetään ja mustasotilaskarpäsen munien paino pysyy keskimäärin samana, voidaan eggien painosta laskea munien määrä. Munien tiedetyn määrän avulla voidaan ennakoida ja kontrolloida syntyvien mustasotilaskarpästen toukkien määrää. Munat ovat herkkiä ja häiriötekijät, kuten liikuttelu tai kuivuminen, alentaa syntyvyyttä. Munia ei kannata kerätä päivittäin, sillä munien on havaittu houkuttelevan muita naaraita munimaan niiden läheisyyteen. Munien keruu vaatii kasvattamolta vaakaa ja eggieitä, muttei erillistä tilaa, sillä munien keruu tapahtuu pariutumishäkissä. (Dortmans ym. 2017, 11–12.)

5.1.6.2 Munien kuoriutuminen

Kerätyt eggiet asetetaan telineisiin ruoka-astian päälle, jossa on korkeampi laatuista rehua (esimerkiksi kananrehu). Munat kuoriutuvat parin päivän sisään muninnasta ja toukat putoavat poikasastiaan, jossa ne aloittavat syömisen saman tien. Toukkien samanikäisyys helpottaa niiden kasvatusta populaation ollessa samankokoista ja tarvitteiden saman verran ravintoa. Erän saman ikäisyyttä voi säädellä kuoriutuvien eggien vaihtotiheydellä. Toukkia kasvatetaan poikasastiassa viisi päivää, jonka jälkeen ne kerätään, lasketaan ja jaetaan prosessointiastioihin ja uuden populaation kasvatusastioihin. Uutta populaatiota kasvatetaan rehulla aikuisuuteen asti korkean syntyvyyden ja laadun takaamiseksi. Viisipäivästen toukkien, 5-DOL, määrä lasketaan pienestä näytteestä (2 g), jonka avulla lasketaan koko astian toukka määrä. Munien kuoriutumista varten kasvattamalla tulisi olla erillinen tila poikasastioille, korkeampi laatuista rehua, kasvatusastioita, telineitä eggieille, vaaka ja laskuri. (Dortmans ym. 2017, 12–13.)

5.1.6.3 Koteloituminen

Koteloitumisvaiheen lähestyessä toukat pyrkivät ryömimään kuivaan, suojaan paikkaan. Tätä luonnollista ominaisuutta voidaan hyödyntää mustasotilaskarpästen kasvatuksessa asettamalla kasvatusastiaan tai kasvatusastian ympärille turvetta sisältävä astia, johon toukat ryömivät ja kaivautuvat ennen koteloitumistaan. Koteloituneet toukat siirretään ”pimeähäkkiin”, koteloitumishäkkiin, joka on ympäröity ver-

kolla ja täysin pimeä sisältä. Lisäksi pimeähäkki suojaa kotelota olosuhteiden muutoksilta. Kahden viikon kuluttua kotelot kuoriutuvat ja aikuiset kärpäset kömpivät esiin turpeesta. Ne aloittavat lentämisen, mutta pysyvät verhotun pimeähäkin sisällä. Aikuiset eivät aloita pariutumisasiitejä pimeässä, vaan pysyvät liikkumattomina. Aikuisten kuoriutuminen alkaa kymmenen päivän päästä koteloitumisesta ja seuraa normaalijakaumaa, viimeisten aikuisten kuoriutuessa 25 päivän päästä. Koteloitumista varten kasvattamo tarvitsee erillisen tilan pimeähäkeille, turvetta koteloitumista varten ja koteloitumisastioita. (Dortmans ym. 2017, 13–15.)

5.1.6.4 Parittelu

Parittelua varten pimeähäkki yhdistetään paritteluhäkkiin verkkotunnelin avulla. Tunnelista näkyvä valo houkuttaa aikuisia pimeähäkistä ja ne lentävät paritteluhäkkiin. Paritteluhäkkeihin yhdistetään 3–4 pimeähäkkiä toiminnan tasaisuuden takaamiseksi. Saman ikäisten populaatioiden yhdistäminen takaa myös varmemman parittelun ja munimisen, jolloin uuden populaation kasvattaminen onnistuu varmemmin ja kasvattamon sisäinen elinkierto toimii ennustettavasti ja hallittavasti. Valoisuus aktivoi aikuisten paritteluvietin ja ne lentävät etsien itselleen paria. Paritteluhäkissä on kostea kangas aikuisten veden tarvetta varten ja eggieitä munien keruuta varten. Kuolleet kärpäset kerätään paritteluhäkistä säännöllisesti. Paritteluhäkki sijaitsee samassa tilassa pimeähäkkien kanssa. (Dortmans ym. 2017, 15.)

5.1.6.5 Sivuvirtojen käsittely

Ennen prosessointia ruokateollisuuden sivuvirrat tai muu ravinnoksi käytettävä biomassa pitää käsitellä sopivampaan muotoon. Riippuen biomassan laadusta, kasvattamolla tulisi olla biomassan vastaanottoon, varastointiin ja käsittelyyn sopivat tilat ja laitteet. Biomassan kosteus tulisi olla 70 %, joten tarvittaessa siitä pitää poistaa tai lisätä vettä. Biomassan partikkelikoon tulisi olla yhtenäistä ja pientä, joten kasvattamolla tulisi olla mylly tai murskain biomassan käsittelyyn. (Dortmans ym. 2017, 16–17.)

5.1.6.6 Prosessointitila

Valmisteltu biomassa siirretään prosessointiastioihin, joihin lisätään mustasotilaskärpäsen toukkia. Biomassaa lisätään toukkien kasvun ja syönnin mukaan. Liika ruokinta jättää prosessoimatonta biomassaa, joka voi alkaa käymään, toimia kasvualustana

sienille tai houkuttaa muita hajottajia. Liian vähäinen ruokinta hidastaa kasvua ja kasvattamon prosessointikykyä. Tasainen, säännöllinen ruokinta takaa kasvattamon toiminnan. Myös biomassakerroksen paksuus prosessointiastiassa vaikuttaa prosessiin. Liian paksu kerros biomassaa jättää astian pohjalle prosessoimattoman kerroksen. Prosessointitilassa tulisi olla koneellinen ilmastointi, sillä biomassan prosessointi tuottaa hiilidioksidia ja ammoniakkiyhdisteitä. Lisäksi ilmastointi auttaa lämpötilan ja ilmankosteuden hallinnassa. Ilmastoinnin ansiosta prosessointiastioita voidaan myös koota päällekkäin, kunhan astioiden välissä on tarpeeksi suuri rako. Ilmastointi auttaa myös kasvatuksen viimeisinä päivinä kuivattamaan biomassaa toukkien erotelua varten. Prosessointitila voi olla jatkuvatoiminen tai erillisiä astioita käyttävä. Esimerkki jatkuvatoimisesta prosessointitilasta on perinteinen navetta, jossa lantaa syntyy jatkuvasti, jota mustasotilaskärpäset sitten syövät ja kuoriutuvat itsestään. Jatkuvatoiminen prosessi on helppohoitoisempi, mutta toukkien kerääminen perustuu niiden omaan toimintaan ja prosessin laajentaminen on hankalaa. Lisäksi ongelmat voivat pysäyttää koko toiminnan. Erillisiin astioihin perustuva prosessi puolestaan vaatii enemmän työpanosta, mutta kontrolloiminen on helpompaa ja prosessia voidaan laajentaa helpommin. (Dortmans ym. 2017, 17–19.)

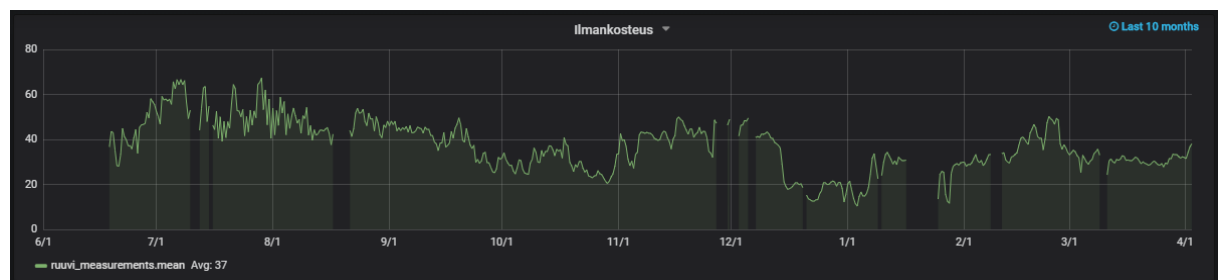
5.1.6.7 Toukkien kerääminen

12 päivän biomassan käsittelyn jälkeen prosessointiastiat siirretään käsittelyyn. Tässä vaiheessa toukat ovat syöneet itsensä täyteen, mutta eivät ole vielä aloittaneet koteloitumista, joten ravintoarvoiltaan ne ovat optimaalisessa vaiheessa. Toukat erotellaan biomassasta käyttäen seulaa. Biomassaa ravistellaan seulalla ja se valahtaa seulan rei'istä toukkien jääden seulalle. Biomassa kerätään seulan alla oleviin astioihin ja toukat ohjataan seulaa kallistamalla omaan keräysastiaansa. Seulonnassa voidaan käyttää manuaalista tai automaattista seulaa. Jos biomassaa on erittäin kosteaa, voidaan toukat seuloa käyttämällä passiivista seulaa. Siinä vesi ja toukat valuvat seulan läpi biomassan jäädessä päälle. Toukat pyrkivät välttämään auringonvaloa ja ryömivät seulan läpi. Antamalla kerättyjen toukkien ryömiä sahanpurussa tai kookoksen kuiduissa puhdistaa niiden kuorta ja tyhjentää niiden suolen, parantaen lopputuotteen laatua. Riippuen käyttötarkoituksesta, kerätyt toukat voidaan sitten kuivattaa, puristaa, pakastaa, jauhaa tai muuten käsitellä vaaditulla tavalla. Tappamista varten toukat voidaan kastaa kiehuvaan veteen tai pakastaa. (Dortmans ym. 2017, 19–21.)

6 Tutkimustulokset

6.1 Kasvatusolosuhteet

Kuvioissa 12 ja 13 näkyvät tyhjät kohdat johtuivat datakatkoksista sensorien ja palvelimen välillä. Tutkimusjaksolla keskimääräinen ilmankosteus oli 37 %. Tutkimuksen alussa tavoitteeksi oli asetettu 40 %, eli tavoitetta ei täysin saavutettu. Tutkimusjakson alkupuolelta on havaittavissa ilmankosteuden runsaita vaihteluita, 15–20 prosenttiyksikköä (kuvio 12). Samanlaisia vaihteluita esiintyy myös lämpötilojen puolella (kuvio 13). Kesäkaudella kasvattamo kuivui ja kuumeni päivällä ja kostui ja viileni yöllä. Kesäkaudella ilmanvaihtoputkien ollessa avoimillaan ulkoiset olosuhteet vaikuttavat kasvattamoon eniten. Syksyllä kasvattamon ilmankostutinjärjestelmää vaihdettiin ja ilmankosteutus keskitettiin aikuispuolelle, jolloin toukokuun ilmankosteus aleni. Toukat saivat tarvitsemansa kosteuden rehuista, joten koko kasvattamon ilmankosteuden aleneminen ei kuvaa todellista tilannetta. Vuodenvaihteen ilmankosteuden lasku selittyy kasvattamon alasajolla, toukokuun tyhjyydellä ja kuivalla pakkasilmalla.



Kuvio 12. Hyönteiskasvattamon ilmankosteus

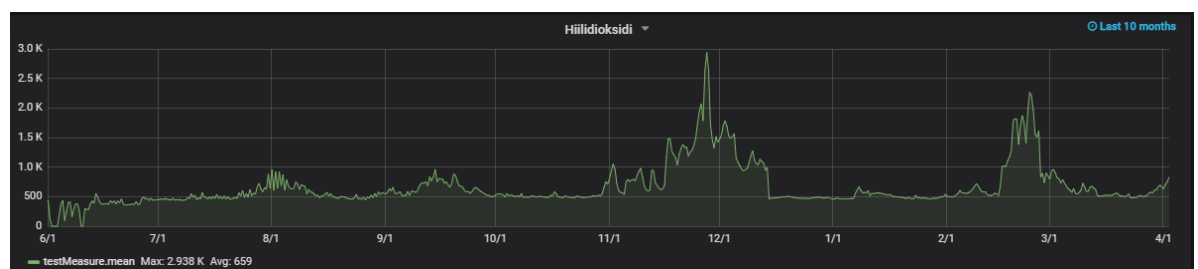
Kuviolta 13 on havaittavissa kuuman kesän aiheuttama sisälämmön nousun yli 27 asteen tavoite lämpötilan. Kesäkaudella esiintyi myös suuria lämpötilan vaihteluita, jotka esiintyvät piikkeinä kuviossa. Kuten ilmankosteuden yhteydessä selitetty, kesällä ulko-olosuhteet vaihtelevat suuresti vuorokauden aikana ja vaikuttavat konttiin hyönteiskasvattamoon. Syksyllä ulkoiset olosuhteiden muutokset lakkasivat vai-

kuttamasta kasvattamoon ja lämpötila tasaantui asetettuun tavoitteeseen. Talvikaudella pakkanen alensi lattiatason lämpötiloja. Kontin lattian eristeiden riittävyys ja jäätyminen olikin tutkimuksen yksi huolenaiheista. Hyönteiskasvattamon keskilämpötila kuitenkin pysyi tutkimusjakson ajan 27 asteessa, eli tavoitteeseen päästiin ja siinä pysyttiin talvipakkasista huolimatta.



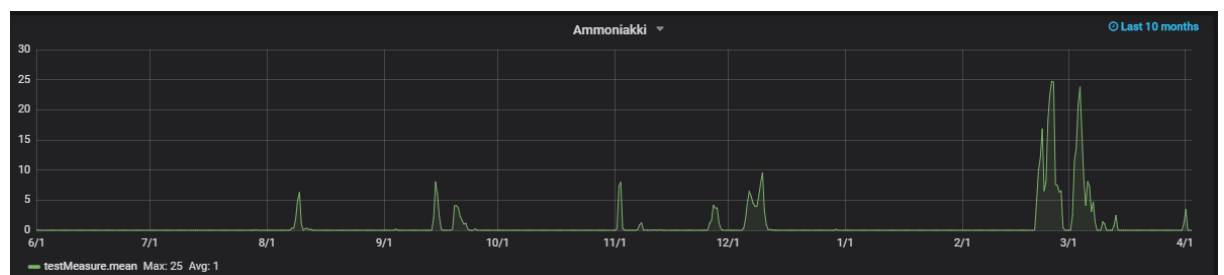
Kuvio 13. Hyönteiskasvattamon lämpötila

Kasvattamon hiilidioksidipitoisuudet pysyivät tutkimusjakson aikana alle suositeltujen sisäilman hiilidioksidin raja-arvojen. Sisäilman ohjearvo on 1500 ppm ja sisäilmatoluokituksen enimmäisarvot ovat 700 ppm S1-luokalle, 900 ppm S2-luokalle ja 1200 ppm S3-luokalle (Pietiko Oy n.d.). Mustasotilaskärpäset eivät aiheuta suuria hiilidioksidipitoisuuksia edes suljetussa tilassa. Suurimmat yksittäiset piikit kuviossa ovat selitettävässä avoimien ovien tapahtumina ja mediahaastatteluina, joiden aikana kasvattamossa oli tavallista enemmän ihmisiä pitkiä aikoja (kuvio 14). Eli kasvattajan läsnäolo kasvattamossa ja läheisyys ilmanlaatumittaria kasvatuksen yhteydessä näkyy pieninä piikkeinä ja lyhyemmällä aikavälillä ihmisen hengityksen vaikutus on vielä selkeämmin havaittavissa.



Kuvio 14. Hyönteiskasvattamon ilman hiilidioksidipitoisuus

Tutkimusjakson aikana hyönteiskasvattamossa ei havaittu huomattavia ammoniakkipitoisuuksia ilmassa (kuvio 15). Kasvattamossa käsiteltiin hajoavaa biomassaa ja runsaasti proteiinia sisältäviä rehuja, jolloin ammoniakkipäästöjen mahdollisuus oli realistinen. Mustasotilaskärpästen toukkien biomassan prosessoinnissa ei kuitenkaan syntynyt ammoniakkaa, vaan tutkimusjakson yksittäisten ammoniakkipitoisuus piikkien lähteenä oli puutteellisesta biomassan prosessoinnista johtunutta käymistöimintää. Populaation ruokinnassa käytettiin proteiinipitoista kananrehua, jonka typpi vapautuu ammoniakkinä bakteeritoiminnan seurauksena. Kasvattamon keskimääräinen ammoniakkipitoisuus oli 0 ppm ja korkein piikki 25 ppm, jolloin ilman ammoniakkipitoisuus alkaa ärsyttämään hengityselimiä. Raja-arvot työpaikan ammoniakkipitoisuudelle ovat 20 ppm/ 8 tuntia tai 50 ppm/ 15 minuuttia (Työterveysliitto 2017).



Kuvio 15. Hyönteiskasvattamon ilman ammoniakkipitoisuus

6.2 Ruokintakokeet

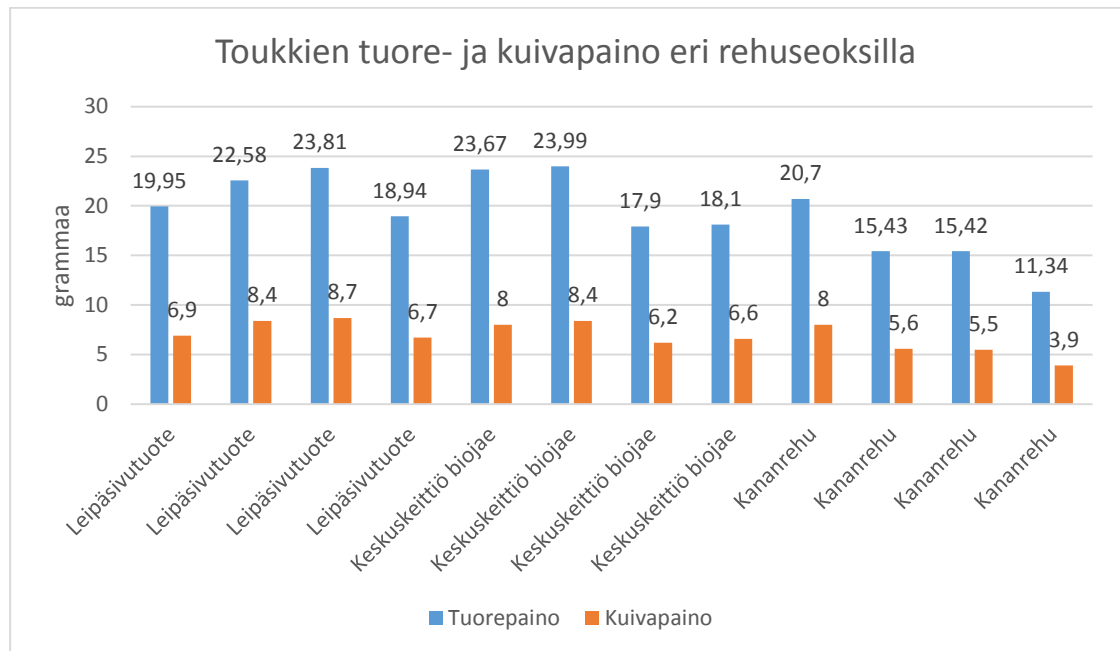
Kuviosta 16 on nähtävissä, että leipäjakeella ja biojakeella ruokitut toukat kasvoivat suuremmiksi kuin verrokkina olleella kananrehulla (kuvio 17). Leipäjakeen toukkien tuorepainon keskiarvo oli 21,32 g, biojakeen 20,92 g, kananrehun 15,72 g. Leipäjakeella rehujäännös, 56,98 g, oli pienin, eli toukat söivät sitä eniten. On kuitenkin huomioitava leipäjakeen 7 päivää pitempi koeaika ja kaksi lisäruokintaa muihin verrattuna (kuvio 18). Leipäjakeen annetun rehuseoksen ja rehujäännöksen välinen suhde

(0,199) kertoo leipäjakeen syöntiasteen olleen korkea. Toisaalta pitempi koeaika kertoo, että leipäjakeella ruokituilla toukilla kesti kauemmin siirtyä koteloitumisvaiheeseen. Biojakeen rehujäännös, 81,47 g, olivat samaa luokkaa kananrehun, 85,21 g, kanssa. Samoin annetun ja syödyn rehuseoksen välinen suhde, 0,399 biojakeella ja 0,417 kananrehulla, olivat saman kaltaiset. Biojakeella ruokitut toukat siirtyivät koteloitumisvaiheeseen samassa ajassa kuin verrokkirehulla ruokitut (11 päivää).

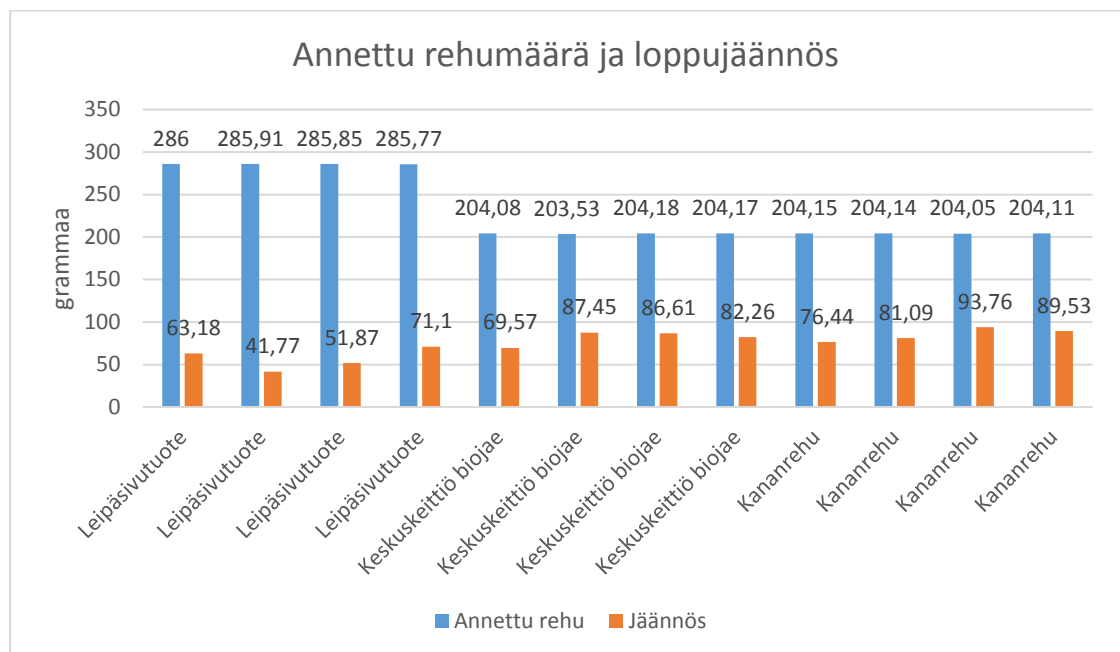
Kuolleisuuksista biojakeella ruokitut toukat saavuttivat alhaisimman tuloksen, 15 kuollutta toukkaa 100 toukkaa kohden, leipäjakeen ollessa toinen, 27,75 kuollutta toukkaa 100 toukkaa kohden, ja kananrehun ollessa kolmas, 37,5 kuollutta toukkaa 100 toukkaa kohden (kuvio 19). Molemmat kalanperkuurehut saavuttivat täyden kuolleisuuden, 100 kuollutta toukkaa 100 toukkaa kohden. Näitä kuolleisuuksia ei ole merkitty taulukoihin, vaan näytteet poistettiin kokeesta ennen punnitsemista. Kalanperkuurehut tuottivat myös runsaita hajuhaittoja, jotka vaikuttivat negatiivisesti kasvattamon ilmanlaatuun ja viihtyisyyteen.

nimi	g	g	g	g	g	g	kpl	päiviä
Rehutyyppi	Annettu rehu	Jäännös	100 kpl toukkien tuorepaino, alussa	100 kpl toukkien tuorepaino, lopussa	100 kpl toukkien paino, kuiva	100 kpl toukkien kuiva- aine	Kuolleiden toukkien määrä	Aika
kalasivutuote 1: päät pyrstöt	244,96	51,52	0,92	8,08	3,10	40,80 %	27	16
kalasivutuote 1: päät pyrstöt			0,82					
kalasivutuote 1: päät pyrstöt			0,92					
kalasivutuote 1: päät pyrstöt			0,94					
kalasivutuote 2: sisälmykset			0,92					
kalasivutuote 2: sisälmykset			1					
kalasivutuote 2: sisälmykset			1,11					
kalasivutuote 2: sisälmykset			0,95					
Leipäisivutuote	286	63,18	0,91	19,95	6,90	36,90 %	37	18
Leipäisivutuote	285,91	41,77	0,96	22,58	8,40	29,20 %	21	18
Leipäisivutuote	285,85	51,87	1	23,81	8,70	38,20 %	19	18
Leipäisivutuote	285,77	71,1	0,91	18,94	6,70	36,80 %	34	18
Keskuskeittiö biojæe	204,08	69,57	0,85	23,67	8,00	37,60 %	0	11
Keskuskeittiö biojæe	203,53	87,45	0,8	23,99	8,40	36,20 %	9	11
Keskuskeittiö biojæe	204,18	86,61	0,74	17,9	6,20	36,30 %	26	11
Keskuskeittiö biojæe	204,17	82,26	0,84	18,1	6,60	37,30 %	25	11
Kananrehu	204,15	76,44	0,79	20,7	8,00	22,10 %	22	11
Kananrehu	204,14	81,09	0,74	15,43	5,60	33,30 %	33	11
Kananrehu	204,05	93,76	0,51	15,42	5,50	34,20 %	40	11
Kananrehu	204,11	89,53	0,81	11,34	3,90	32,80 %	55	11

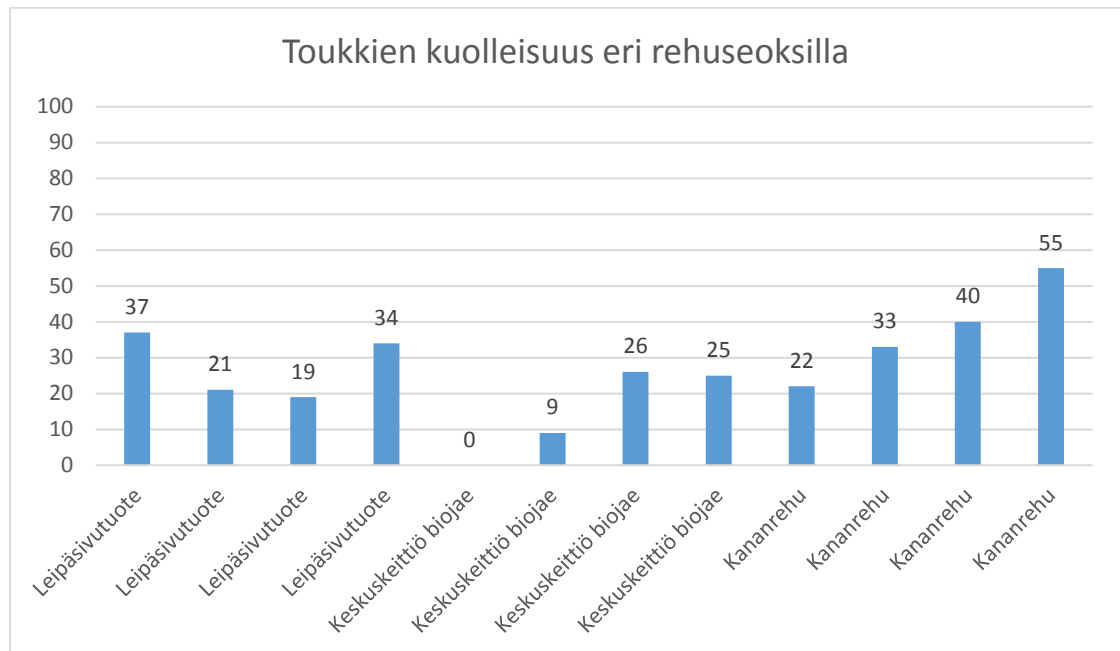
Kuvio 16. Ruokintakokeiden 1 tulokset



Kuvio 17. Ruokintakoe 1 Toukkien tuore- ja kuivapainot eri rehuseoksilla



Kuvio 18. Ruokintakoe 1 Annettu rehumäärä ja loppujäännös

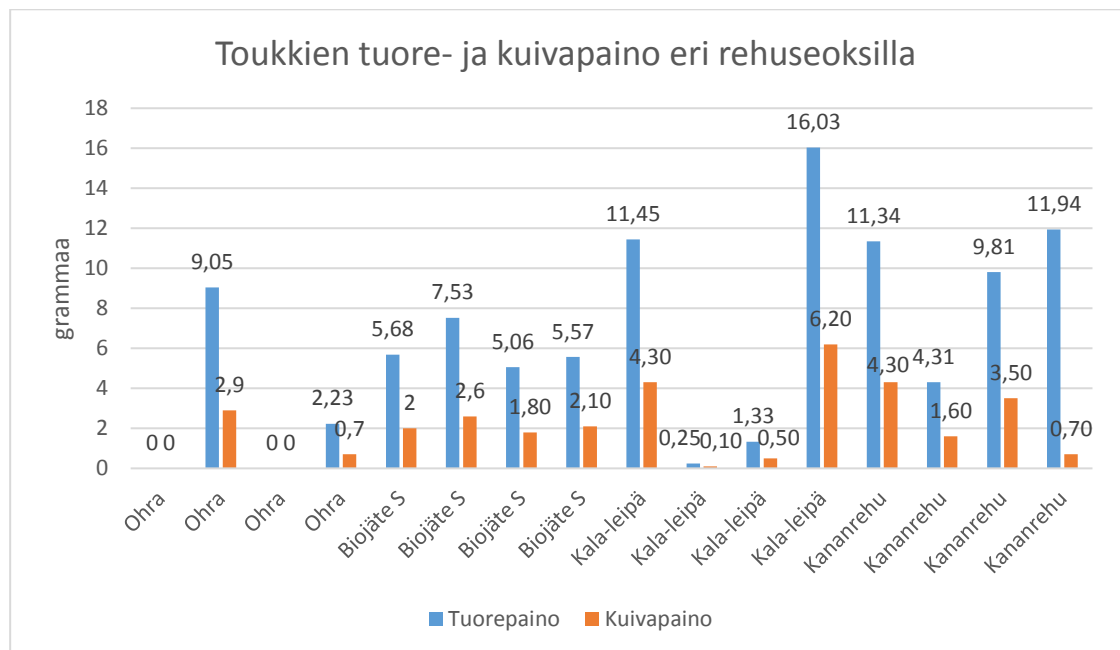


Kuvio 19. Ruokintakoe 1 Toukkien kuolleisuus eri rehuseoksilla

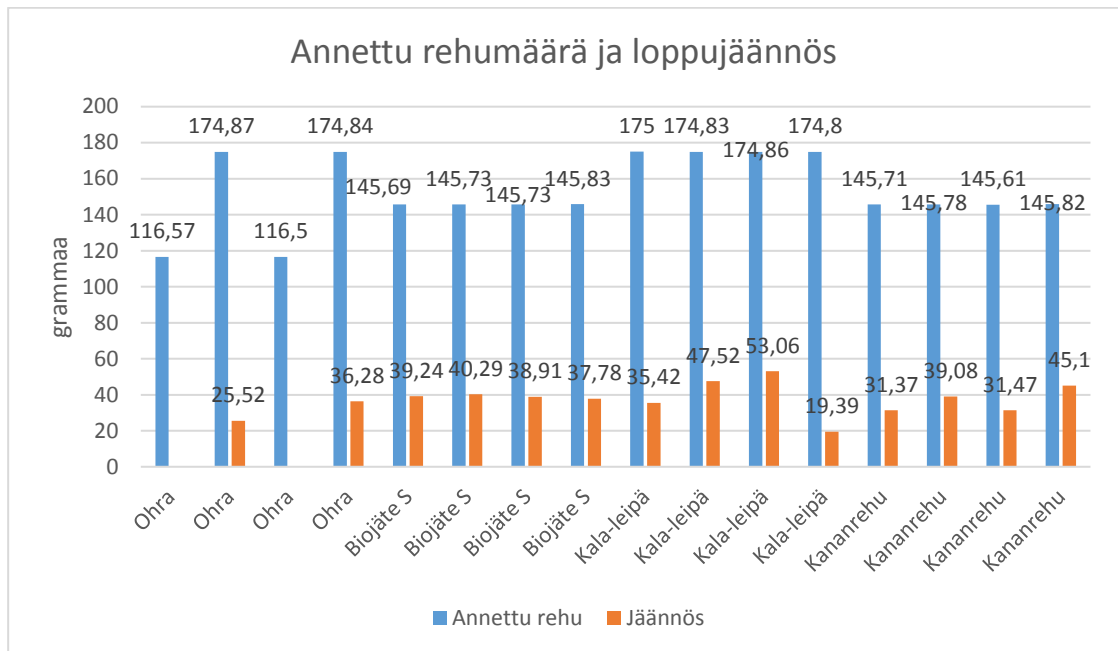
Toisessa ruokintakokeessa (kuvio 20) kananrehulla ruokitut toukat kasvoivat parhaiten, tuorepainon keskiarvo 9,35 g. Kala-leipäseoksella ruokitut toukat tulivat toiseksi, 7,27 g, mutta niiden rinnakkaisilla näytteillä olivat myös suurimmat erot (kuvio 21). Ohralla ja biojakeella kasvatetut olivat lähellä toisiaan, ohra 5,64 g ja biojae 5,96 g. Kananrehun rehujäännös oli 36,76 g ja suhde annetun rehun määrän verrattuna 0,252. Kala-leipäseoksella rehujäännös oli 38,85 g ja suhde jäännöksen ja annetun rehun välillä 0,222. Kala-leipäseosta annettiin kuitenkin yksi annos enemmän (kuvio 22). Biojakeella jäännös oli 39,06 g ja suhde jäännöksen ja annetun rehun välillä 0,268. Ohran jäännös oli 30,9 g ja suhde jäännöksen ja annetun rehun välillä 0,212. Biomassoista ohralla oli paras rehun syönti, mutta alhaisin kasvu korkean kuolleisuuden takia. Kaksi ohran rinnakkaisista kasvatusastioista todettiin kuolleiksi kesken kokeen. Kaikilla biomassoilla kuolleisuus ylitti 50 %, minkä seurauksena tulokset hylättiin epäluotettavina (kuvio 23). Ohralla kuolleisuus oli 71,5 kuollutta toukkaa 100 toukkaa kohden, biojakeella 63 kuollutta toukkaa 100 toukkaa kohden, kala-leipäseoksella 58,25 toukkaa 100 toukkaa kohden ja kananrehulla 63,25 kuollutta toukkaa 100 toukkaa kohden.

nimi	g	g	g		g	g	kpl	päiviä
	Annettu	Jäännös,	Jäännös,		100 kpl	100 kpl	100 kpl	
Rehutyyppi	rehu	Jäännös	kuiva-aine	kuiva-aine %	toukkien	toukkien	toukkien	Kuolleiden
					tuorepaino,	tuorepaino,	paino,	toukkien
					alussa	lopussa	kuiva-aine	määrä
								Aika
Ohra	116,57	0	0,00 %	0,15	0	0	0	100
Ohra	174,87	25,52	17,27	67,67 %	0,11	9,05	2,9	53 24
Ohra	116,5	0	0,00 %	0,10	0	0	0	100
Ohra	174,84	36,28	23,95	66,01 %	0,16	2,23	0,7	90 24
Biojäte S	145,69	39,24	29,07	74,08 %	0,08	5,68	2	63 22
Biojäte S	145,73	40,29	28,75	71,36 %	0,11	7,53	2,6	52 22
Biojäte S	145,73	38,91	29,99	77,08 %	0,12	5,06	1,80	71 22
Biojäte S	145,83	37,78	27,92	73,90 %	0,07	5,57	2,10	66 22
Kala-leipä	175	35,42	30,29	85,52 %	0,1	11,45	4,30	32 24
Kala-leipä	174,83	47,52	34,42	72,43 %	0,09	0,25	0,10	99 24
Kala-leipä	174,86	53,06	34,89	65,76 %	0,11	1,33	0,50	94 24
Kala-leipä	174,8	19,39	16,64	85,82 %	0,11	16,03	6,20	8 24
Kananrehu	145,71	31,37	25,39	80,94 %	0,07	11,34	4,30	29 22
Kananrehu	145,78	39,08	25,54	65,35 %	0,11	4,31	1,60	83 22
Kananrehu	145,61	31,47	23,2	73,72 %	0,1	9,81	3,50	49 22
Kananrehu	145,82	45,1	29,12	64,57 %	0,14	11,94	0,70	92 22

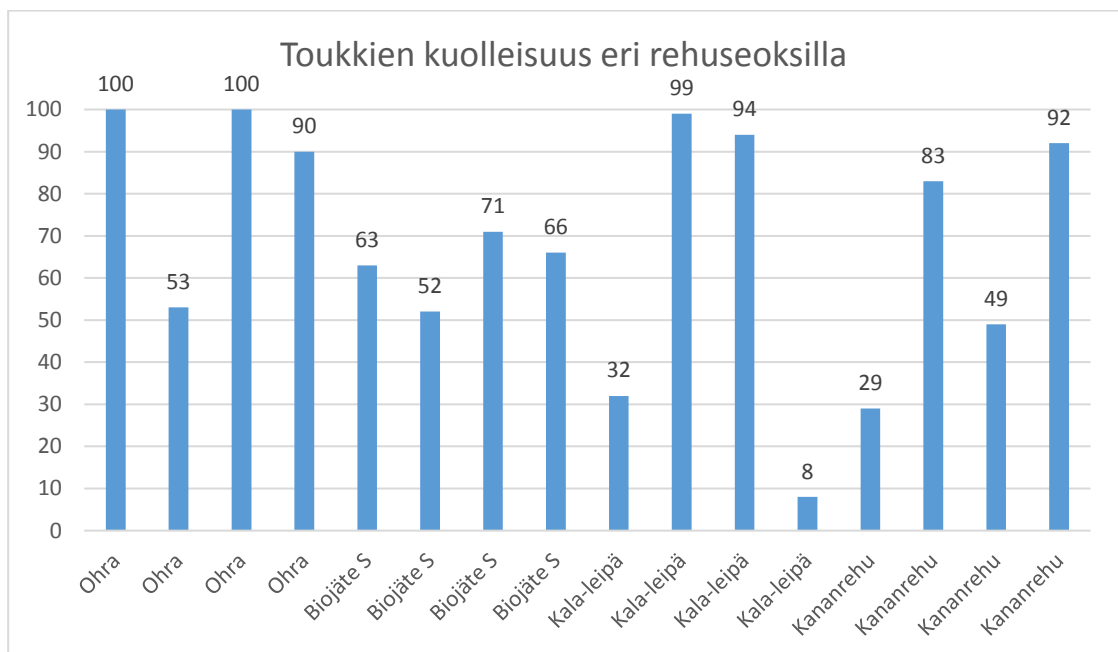
Kuvio 20. Ruokintakoe 2 tulokset



Kuvio 21. Ruokintakoe 2 Toukkien tuore- ja kuivapaino eri rehuseoksilla



Kuvio 22. Ruokintakoe 2 Annettu rehumäärä ja loppujäännös



Kuvio 23. Ruokintakoe 2 Toukkien kuolleisuus eri rehuseoksilla

6.3 Tulosten merkittävyys

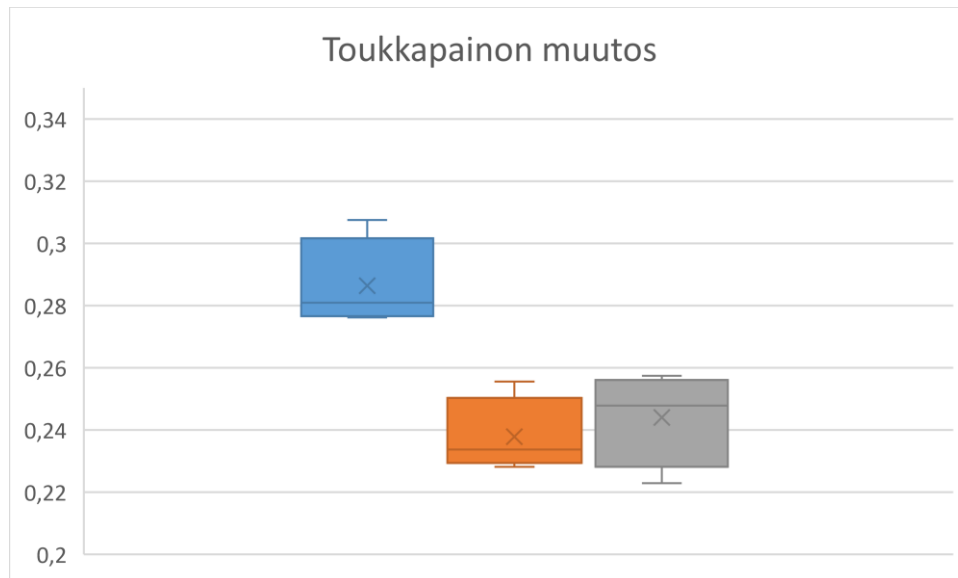
Ensimmäisen ruokintakokeen merkittävyyttä arvioidessa ei huomioitu kalanperkuu 1 ja kalanperkuu 2 biomassoja, koska koe-erät poistettiin kokeesta kuolleisuuden

vuoksi ennen kokeen määräaika. Toisen ruokintakokeen kuolleisuus oli niin suurta, ettei tuloksia analysoitu, vaan ne todettiin suoraan epäluotettaviksi. Varianssianalyysin nollahypoteesina on että toukat kasvoivat yhtä hyvin kaikilla rehuilla. P-arvon alitussa rehujen välillä on eroja ja nollahypoteesi voidaan hylätä.

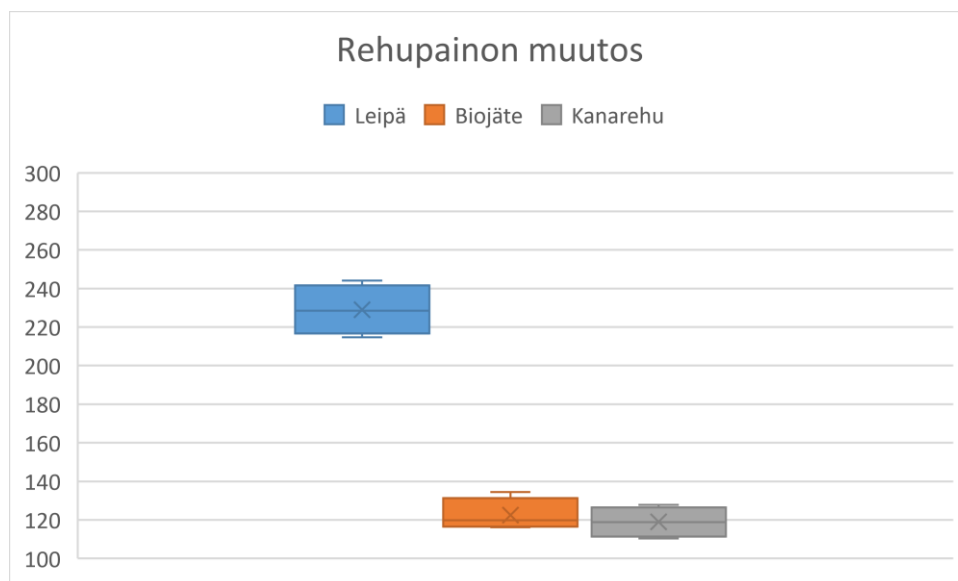
Yksisuuntaista anovaa käyttämällä ensimmäisestä ruokintakokeesta saadaan seuraavat arvot: toukkien kasvulle $F(2,9)=14,21621$, p-arvo 0,00162, $\eta^2=0,7601$, rehun muuntosuhteelle $F(2,9)=157,0242$, p-arvo 0,0000001006, $\eta^2=0,9721$ ja toukkien kuolleisuudelle $F(2,9)=3,5208373$, p-arvo 0,0742, $\eta^2=0,4389$. Ruokintakokeen tulokset ovat erittäin merkittävät rehun muunnon suhteen, eli eri biomassojen ryhmien välillä oli runsaasti eroja samalla kun biomassojen rinnakkaisten näytteiden välillä niitä ei esiintynyt. Samoin toukat kasvoivat rinnakkaisissa näytteissä samaa tahtia samalla kun biomassojen välillä oli eroja. Tuloksien luotettavuutta kuitenkin heikentää toukkien kuolleisuus. Kuolleisuuden p-arvo ylittää 0,05 raja-arvon. Korkea kuolleisuus ja rinnakkaisten näytteiden välinen eroavaisuus aiheuttavat, ettei tuloksista voi päätellä aiheutuuko kuolleisuus syötetyistä biomassoista vai ulkoisista olosuhteista.

Yksisuuntaisella parittaisella t-testillä saatiin toukkien kasvulle seuraavat arvot: toukkien kasvussa leipä & biojake-parille 0,0137, leipä & kananrehu-parille 0,00221, biojake & kananrehu-parille 0,338. Tulokset osoittavat, että leivän ja biojakeen sekä leivän ja kananrehun erot ovat tilastollisesti merkitseviä, kun taas biojakeen ja kananrehun erot eivät ole. Rehun muuntosuhteessa paritetut vertailut saivat seuraavat arvot: leipä & biojake 0,000763, leipä & kananrehu 0,000311 ja biojake & kananrehu 0,191. Kuten toukkien kasvussa, leivän ja biojakeen sekä leivän ja kananrehun väliset erot ovat tilastollisesti merkitseviä ja biojakeen ja kananrehun ei ole. Kuolleisuudella arvot olivat seuraavat: leipä & biojake 0,128, leipä & kananrehu 0,168 ja biojake & kananrehu 0,00324. Kuolleisuudessa vain biojakeen ja kananrehun välinen ero oli tilastollisesti merkitseviä, leivän ja biojakeen sekä leivän ja kananrehun väliset erot eivät.

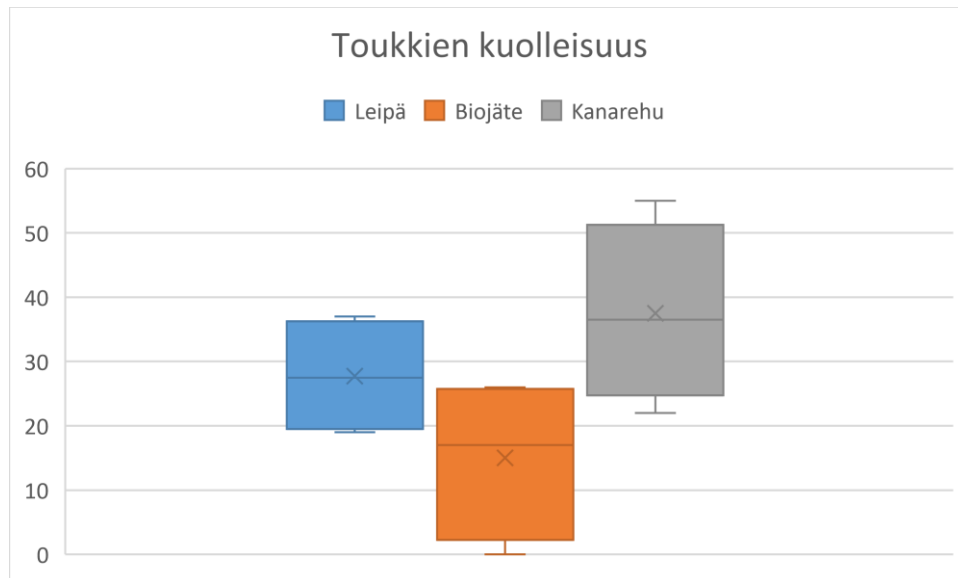
Toukkapainon muutoksessa (kuvio 24) leipäsivuvirralla ruokituilla toukilla oli suurin kasvu. Biojakeella oli pienin hajonta. Leipäsivuvirralla rehupainon muutoksen (kuvio 25) hajonta oli suurin rehuseoksista. Rehua myös annettiin enemmän kuin muita. Toukkien kuolleisuudessa (kuvio 26) kaikilla rehuilla esiintyi runsasta hajontaa, kananrehulla suurinta.



Kuvio 24. Toukkapainon muutoksen hajonta



Kuvio 25. Rehupainon muutoksen hajonta



Kuvio 26. Toukkien kuolleisuuden hajonta

7 Johtopäätökset

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää ulkoisten olosuhteiden vaikutuksia hyönteiskasvattamon sisäisiin olosuhteisiin sekä tutkia erilaisten biomassojen ja sivuvirtojen soveltuvuutta mustasotilaskärpästen (*Hermetia Illucens*) ravinnoksi ruokintakokeita käyttäen. Tutkimusprosessin aikana kohdattiin kattavasti erilaisia olosuhteita ja kolme vuodenaikaa, jotka antoivat kuvan lähes koko vuoden ulkoisista ja sisäisistä olosuhteista ja niiden muutoksista. Yleisellä tasolla hyönteiskasvattamo suoritti tehtävänsä hyväksytysti eli tarjosi tasaiset kasvatusolosuhteet ulkoisista tekijöistä huolimatta. Tutkimusjakson aikana ei kohdattu suuria vastoinkäymisiä ja työntilaajankin mielestä ongelmia ilmeni yllättävän vähän.

7.1 Kasvatusolosuhteet

Kasvattamon rakennusvaiheessa huolena oli pystyisikö kasvattamista jatkamaan ympäri vuoden, miten kasvattamo kestäisi kylmää. Poikkeuksellisen kuiva ja kuuma kesä kuitenkin toi päinvastaisen haasteen kasvattamon lämpötilojen noustessa korkeiksi. Kasvattamon eristeet varasivat itseensä päivän auringonpaisteen ja vapauttivat sen illasta. Mustasotilaskärpäset trooppisena lajina sietävät korkeita lämpötiloja, joten lämmön nousu ei tuottanut itsessään ongelmia ja ilmanvaihto oli tarpeeksi kattava lämpötilojen säätämiseksi. Sen sijaan korkea lämpötila ja kuiva ulkoilma johtivat kasvattamon ilmankosteuden alhaisuuteen. Tämä näkyi rehujen kuivumisena. Kuiva rehu vaikeutti toukkien liikkumista ja vähensi syöntiä. Toukkien aktiivisuuden laskiessa rehumassa alkoi myös käymään paksumpina kerroksina. Ongelmaa paikattiin lisäämällä vettä rehuseoksiin tarpeen mukaan, mikä ei kuitenkaan suuremmassa mitakaavassa ja teollisessa tuotannossa ole kannattavaa. Toukkamäärien kasvaessa rehumassat myös kasvoivat, vähentäen alhaisen ilmankosteuden vaikutusta. Syksyllä ulkolämpötilojen laskiessa ja ulkoilman ollessa kosteampaa kuivumisesta päästiin eroon. Talvella pakkasten saavuttua kasvattamon kylmänsieto selvisi. Lattiantasolla havaittiin alhaisempia lämpötiloja, mutta kasvattamon keskilämmöt saatiin pysymään tavoitellussa arvossa lämpöpatterien avulla, sallien ympärivuotisen kasvatus-toiminnan. Vaihtamalla tuulettimien ohjelmointia lattian ja katonrajan lämpötilaeroja saatiin tasattua ja kasvattamon olosuhteita parannettua.

Kolmas tarkkailtu olosuhdetekijä, ilmanlaatu, ei kokenut huomattavia muutoksia sisäisistä tai ulkoisista vaikuttajista. Hyönteiskasvattamon ilmanlaatu oli verrattavissa ulkoilmaan (Ilmatieteen laitos 2018). Hyönteisten toiminnasta ei aiheutunut suuria CO₂-pitoisuuksia, erot tyhjän toukkuapuolen ja toukkakasvatuksen välillä olivat 200-300 ppm. Suurimmat hiilidioksidin piikit tuotti kasvattaja itse. Mittausdatasta oli havaittavissa milloin kasvattaja saapui hyönteiskasvattamon sisälle ja kauanko hän työskenteli siellä. On huomioitava kuitenkin, että tilanne päti kasvattamon sen hetkiseen tilaan. Hyönteis- ja rehumassojen kasvaessa myös niiden ilmanlaadulliset vaikutukset tulevat kasvamaan. Onkin todennäköistä, että kasvattamon toimiessa täydellä kapasiteetilla ilmanlaatua tulee arvioida uudelleen.

Opinnäytetyön tuloksien valossa on pääteltävä, että hyönteiskasvattamon suunnitteluvaiheessa tulee huomioida ulkoiset olosuhteet koko vuoden ajalta. Yksittäisiin olosuhteisiin varustautuminen on lyhytnäköistä laajemmalla aikavälillä. Opinnäytetyön olosuhdetarkkailun tuloksia voidaan hyödyntää tutkimuksessa käytetyn hyönteiskasvattamon kehittämisessä sekä ohjeistaa tulevia samantyyllisiä kasvattamoratkaisuja olosuhdehallinnassa. Kokemuspohjaisen tiedon kartuttaminen edesauttaa uusien kasvattajien koulutuksissa, joka oli osana opinnäytetyön tilaajana toimineen hankkeen tavoitteita.

7.2 Ruokintakokeet

Opinnäytetyön aikana suoritettiin kaksi ruokintakoetta, joissa yhteensä oli seitsemän erilaista sivuvirtaa tai niiden sekoituksia. Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää niiden soveltuvuutta mustasotilaskärpäsen ravinnoksi ja verrata niiden suoriutumista optimoitua teollista rehua vastaan.

Ruokintakokeissa hyönteiskasvattamon olosuhteiden ongelmat kärjistyivät huomattavasti. Ruokintakokeiden aikana hyönteiskasvattamossa oli alhainen ilmankosteus ja kokeessa käytetyt rehumäärät olivat pieniä, jolloin ne kuivuivat helpommin. Ruokintakokeissa kärsittiin korkeasta kuolleisuudesta ja jälkimmäisessä kohdattiin jopa koko koe-erän kuolleisuutta, yleisenkin kuolleisuuden ollessa yli 50 % jälkimmäisessä kokeessa. Tämä heikentää huomattavasti tuloksien luotettavuutta. Pelkästään olosuh-

teiden syyksi ongelmia ei voi vierittää. Ensimmäisessä ruokintakokeessa havaittiin kalaperäisen biomassan korkean rasvapitoisuuden olevan haitallista toukille. Toukat eivät kyenneet prosessoimaan nestemäistä rasvaa samalla tavalla kuin kiinteää biomassaa ja tukehtuivat siihen. Vaikka kalaperäisissä rehuseoksissa oli kuiva-ainetta samassa suhteessa kuin muissakin biomassoissa, nestemäinen rasva luettiin kuiva-aineksi määrittystavan takia.

Jatkotutkimuksia varten ruokintakokeiden olosuhteisiin tulisi kiinnittää enemmän huomiota ja varmistaa ilmankosteuden riittävyys. Suurin kuolleisuuden aiheuttaja oli rehujen liiallinen kuivuminen, mikä aiheutti toukilla liikkumisen ja syömisen vaikeutta, johtaen pienikasvuisuuteen ja lopulta kuolemaan. Koska toukat saavat myös tarvitsemansa kosteuden rehusta, kuivunut rehu johti niiden sisäisen nestetasapainon heikkenemiseen ja kuolemaan.

Ensimmäisen ruokintakokeen tuloksia tarkasteltiin myös tilastollisesti. Tilastollisista arvoista ei suoraan voida tulkita ruokintakokeiden merkityksiä niiden ollessa yhdenkertaisia, vaan niitä pitää katsoa punnitustaulukkojen kanssa. Yhdensuuntaisuuden takia ei voida tietää johtuuko eroavaisuus verrokkiin paremmasta vai huonommasta tuloksesta. Punnitustuloksista nähdään eroavaisuuksien suuntaus. Tilastollisesti ruokintakokeissa käytetty leipäsivuvirta ja keskuskeittiön biojake ovat mustasotilaskärpäsien rehuna vähintään yhtä hyvää kuin verrokkina ollut kananrehu. Leipäsivuvirralla toukat kasvoivat suuremmiksi, mutta hitaammin muihin rehuihin verrattuna. Leipäsivuvirralla rehua kului myös muita enemmän. Biojake suoriutui kananrehun tavoin, mikä näkyy t-testien merkittävyyksissä. Biojakeen tulokset yleisesti olivat samanarvoisia tai parempia kuin kananrehulla. Optimoituna kaupallisena rehuna kananrehun tuloksien olisi olettanut sisältävän häviten hajontaa tasalaatuisuuden vuoksi, mutta ruokintakokeessa kananrehun hajonta oli sivuvirtoja suurempaa. Tämäkin viittaa olosuhteiden vaikuttaneen ruokintakokeen tuloksiin biomassoja enemmän, joka vaikeuttaa tuloksien tulkitsemista.

Ensimmäisen ruokintakokeen tuloksista voidaan päätellä elintarvikepohjaisten biomassojen soveltuvan mustasotilaskärpästen ruokintaan. Elintarvikepohjaisella biomassalla ruokitut toukat suoriutuivat teollisilla rehulla ruokittuja toukkia paremmin ja kasvoivat suuremmiksi. Toukat myöskin syövät enemmän annettua rehua elintarvikepohjaisilla biomassoilla, jättäen vähemmän rehujäännöstä kuin teollisella rehulla.

Opinnäytetyön toisen ruokintakokeen tulokset eivät ole tarpeeksi luotettavia tulkin-tojen tekemiseen.

8 Pohdinta

Hyönteistalouden saralla on tapahtunut paljon vuoden aikana, jona opinnäytetyötä kirjoitettiin. Hyönteistalous on ollut näkyvillä mediassa lähes viikoittain, useat yritykset ovat kokeilleet jäätä tuomalla hyönteistuotteita markkinoille pienimuotoisesti, keskustelu lihankäytön vähentämisestä ja vaihtoehtoisista proteiininlähteistä on lisännyt hyönteiset varteenotettavaksi vaihtoehdoksi, mustasotilaskärpäsellekin ehdittiin hakea elintarvikelupaa. Aktiivisen keskustelun yhteydessä ei kuitenkaan saa antaa tietotaidon jäädä jälkeen. Tietopohjan ongelmista ja mahdollisuuksista sekä kokemuksen ja taidon kasvatustoiminnasta täytyy vastata kysyntään. Muuten markkinoiden innostus ehtii taantua ennen kuin tuotanto saadaan käyntiin.

Opinnäytetyössä tutkittiin hyönteiskasvattamon olosuhteita eri vuodenaikoina ja erilaisten biomassojen soveltuvuutta mustasotilaskärpäsien ruokintaan. Kasvatusolosuhteet ja rehu ovat molemmat oleellisia ja tärkeitä tekijöitä hyönteiskasvatuksessa. Molemmat vaikuttavat hyönteisten kasvunopeuteen, tuottavuuteen ja kuolleisuuteen, mikä näkyy hyönteiskasvattamon kannattavuudessa. Aiemmissä tutkimuksissa oli alhaisen ilmankosteuden havaittu vähentävän mustasotilaskärpästen syntyvyyttä ja lisäävän munien ja toukkien kuivumista (Holmes, Vanlaerhoven & Tomberlin 2012). Holmesin tuloksista ilmenee mustasotilaskärpästen kärsineen suuremmasta kuolleisuudesta ja hitaammasta kehityksestä alhaisessa ilmankosteudessa. Munien ja koteloiden kuoriutumista tutkittiin 25 %, 40 %, 50 %, 60 % ja 70 % ilmankosteuksissa ja tuloksista on selvästi havaittavissa korkeamman ilmankosteuden vaikutus toukkien selviytymiseen. Opinnäytetyön aikana hyönteiskasvattamon ilmankosteus vastasi suurimman osan tutkimusjaksoa Holmesin tutkimuksessa esiintyvää 40 % ilmankosteutta. Siitä on tulkittavissa hyönteiskasvattamon toimineen alatehoisesti ja ilman-kosteutta nostamalla kasvattamon mustasotilaskärpästen syntyvyyttä ja selviytymis-astetta saataisiin korotettua nykyistä suuremmaksi.

Ruokintakokeiden tulokset ovat yhdenmukaisia aiempien tutkimuksien kanssa. Ruotsissa SPROUT-hankkeessa 2018 suoritettiin samankaltainen koe, jossa testattiin laajempaa valikoimaa erilaisia sivuvirtoja ja biomassoja (Lalander, Diener, Zurbügg, & Vinnerås 2018). Heidänkin tuloksissaan elintarviketehojaiset biomassat tuottivat lupaavia tuloksia. Lalanderin tutkimuksessa avaintekijöiksi nousivat biomassan helposti saatavalla oleva hiili ja korkea proteiinipitoisuus.

Lisäksi, käyttämällä biomassoja hyönteiskasvatuksessa rehuina, ei paranneta vain hyönteiskasvatuksen kannattavuutta, vaan toteutetaan kiertotaloutta hyödyntämällä sivuvirtoja. Hyönteistaloutta tulisikin kehittää kiertotalouden näkökulma huomioiden. Alankomaalaisen Protixin tekemä elinkaarianalyysi vahvistaa mustasotilaskärpäsperustaisen proteiini-, rasva- ja lannoitetuotannon olevan kestävämpää kuin perinteisemmät eläinperustaisen tuotannon. Kasvipohjaiseen tuotantoon verrattuna mustasotilaskärpäksillä on tarkkailuluokasta riippuen korkeampi ympäristövaikutus, mutta veden ja maan käytön suhteen kasvipohjaista tuotantoa tehokkaampi. Tärkeimpinä tekijöinä elinkaarianalyysi mainitsee hyönteisten rehun ja kasvatuksen energian tarpeen. Kuten opinnäytetyössäkkin tutkittiin, mustasotilaskasvatuksessa tulisi käyttää hyödyntämättömiä sivuvirtoja hyönteisten rehuina. Energian käytöstä elinkaarianalyysi mainitsee uusiutuvan energian mustasotilaskärpästen kasvatuksessa, jota ei elinkaarianalyysissä päästy testaamaan. Tässä saattaisi olla mahdollisuus Suomelle, jossa on runsaasti uusiutuvan energian osaamista. (Smetana, S. Schmitt, E. & Mathys, A. 2019).

8.1 Opinnäytetyön rajaus

Opinnäytetyö rajattiin suunnitteluvaiheessa hyönteiskasvatustalon olosuhteiden tarkkailuun ja ruokintakokeiden suunnitteluun, toteuttamiseen ja analysointiin. Opinnäytetyöhön valittiin kaksi teemaa opinnäytetyön laajuuden varmistamiseksi, mutta molempia teemoja rajattiin liiallisen työkuorman rajoittamiseksi. Jälkiviisaana opinnäytetyössä olisi voitu valita vain toinen teemoista, jota olisi tutkittu laajemmin. Opinnäytetyön tietoperusta on laaja, mutta päätin aiheen uutuuden ja yleisen tuntemattomuuden vuoksi sisällyttää opinnäytetyöhön kattavan tietoperustan lukijan tutustuttamiseksi aiheeseen. Ruokintakokeiden otantojen määrä perustui opinnäytetyön

aikana saatavalla olleisiin biomassojen määrään ja mustasotilaskärpästen elinkiertoihin. Hyönteiskasvattamo perustettiin opinnäytetyön alussa ja mustasotilaskärpäspopulaatio perustettiin pienestä alkupopulaatiosta. Mustasotilaskärpäsen kasvatus oli opinnäytetyön aikana kokeellista ja sitä ei vielä ollut saatu optimoitua, joten ruokintakokeiden suunnittelu ja mustasotilaskärpäsen elinkiertojen yhteensovittaminen rajoitti suoritettujen ruokintakokeiden määrää.

8.2 Tutkimuksen luotettavuus ja pätevyys

Opinnäytetyön ruokintakokeissa kohdattiin suurta kuolleisuutta, joka heikentää tuloksien luotettavuutta, varsinkin kun kuolleisuuden epäillään johtuneen koeolosuhteista, eikä kokeiltavista rehuista. Biomassojen vaikutuksista mustasotilaskärpästen toukkien kasvuun ja kuolleisuuteen ei voida erottaa olosuhteiden vaikutuksista. Sen takia biomassojen soveltuvuuksia mustasotilaskärpäsen rehuksi ei voida vertailla. Jälkimmäisessä ruokintakokeessa saavutetut kuolleisuudet aiheuttavat tuloksien hylkäyksen. Ensimmäisenkin ruokintakokeen tuloksia tulisi tarkkailla suuntaa antavina. Koeasetelma oli kuitenkin luotettava. Punnitukset suoritettiin tarkasti ja kirjattiin ylös. Lisäksi tutkimuksen aikana pidettiin laboratoriopäiväkirjaa. Tutkimuksen suorittajan aiempi koulutus takasi hyvän laboratorionkäytännön. Näytteistä oli riittävästi rinnakkaisia määrityksiä. Rehuseoksien lisäykset suoritettiin suunnitelman mukaisesti säännöllisesti. Tutkimuksen toimenpiteistä syntyvää systemaattista virhettä pyrittiin minimoimaan suorittamalla kaikki työvaiheet samankaltaisesti kaikkien näytteiden kanssa. Tutkimus myös suoritettiin alusta loppuun saman henkilön toimesta, jolloin systemaattinen virhe pysyi kaikilla näytteillä vakiona.

8.3 Jatkotutkimuskohteet

Opinnäytetyössä tutkittiin vain seitsemää biomassaa tai niiden seosta. Tutkimuksen voisi toistaa erilaisilla biomassoilla, sillä kaikkia paikallisia sivuvirtoja ei opinnäytetyössä hyödynnetty, puhumattakaan kansallisista sivuvirroista. Ulkomailla on myös tutkittu epätyypillisempiä sivuvirtoja, kuten lantaa ja lietteitä (Lalander ym. 2018). Tutkimuksessa tarkkailtiin mustasotilaskärpäsen toukkien kasvua vain painon ja biomassojen soveltuvuutta jäännöksen painon perusteella. Tutkimuksessa ei huomioitu

toukkien ravintoaineiden koostumusta tai koko elinkaarta aikuiseksi saakka. Myöskään rehujäännöksiä ei analysoitu ravintoaineiden kannalta. Jatkotutkimuksissa voitaisiin syventyä tarkemmin eri biomassojen vaikutuksiin mustasotilaskärpäsen toukissa. Lisäksi jälkimmäisen ruokintakokeen korkea kuolleisuus osoittaa, etteivät peruskoeolosuhteetkaan ole vielä optimaaliset. Jatkotutkimuksien kannalta ruokintakokeiden luotettavuutta tulisi saada varmistettua ja parannettua vähentämällä olosuhteiden vaikutusta koetuloksiin. Opinnäytetyön tuloksien perusteella voitaisiin myös tutkia hyönteistalouden kannattavuutta. Taloudellisessa jatkotutkimuksessa vertailemalla kaupallisen rehun ja biomassojen hintoja, kasvunopeutta ja loppupainoa saataisiin selville eri rehujen vaikutus hyönteiskasvatuksen kannattavuudelle.

Opinnäytetyön aikana saatiin kattava otanta hyönteiskasvattamon olosuhteista; kesä-syky-talvi. Jatkotutkimuksissa saatua dataa voitaisiin hyödyntää uuden hyönteiskasvattamon suunnittelussa. Lisäksi tutkimuksen aikana ilmenneiden ilmankosteusongelmien ratkaisemiseen voitaisiin keskittyä. Toimivalla ilmankosteutuksella on suuri vaikutus hyönteiskasvattamon toimintaan. Opinnäytetyössä käytetyn hyönteiskasvattamon toiminta ja kasvatus oli koeluonteista. Hyönteiskasvattamon toiminnan automatisoinnin ja optimoinnin saralla on vielä paljon tutkittavaa.

Lähteet

Banks, I. J. 2014. *To assess the impact of black soldier fly (Hermetia illucens) larvae on faecal reduction in pit latrines*. Väitöskirja. London School of Hygiene and Tropical Medicine. Viitattu 18.5.2018. <http://researchonline.lshtm.ac.uk/1917781/>.

Caruso, D. Devic, E. Subamia, I. A. Talamod, P. Baras, E. 2013. *Technical handbook of domestication and production of Diptera Black Soldier Fly (BFS), Hermetia illucens, Stratiomyidae*. Ensimmäinen painos. Joulukuu 2013. Bogor: PT Percetakan IPB Press. Viitattu 17.5.2018. <https://ued-formation-aquaculture.cirad.fr/content/download/4328/32130/version/3/file/BLACK+SOLDIER+Technical+Handbook.pdf>.

Čičková, H. Newton, G. L. Lacy, R. C. Kozánek, M. 2015. *The use of fly larvae for organic waste treatment*. Waste Management, volume 35, tammikuu 2015. Viitattu 18.5.2018. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X14004486?via%3DiHub>.

Diclaro II, J. W. Kaufman, P. E. 2009. *Black soldier fly – Hermetia illucens*. Floridan yliopiston julkaisu. Julkaistu kesäkuussa 2009. Muokattu huhtikuussa 2018. Viitattu 17.5.2018. http://entnemdept.ufl.edu/creatures/livestock/black_soldier_fly.htm.

Dortmans, B. M. A. Diener, S. Verstappen, B. M. Zurbrügg, C. 2017. *Black Soldier Fly Biowaste Processing – A Step-by-step Guide*. Eawag - Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology. ISBN 978-3-906484-66-2.

Fischer, C. H. Heckmann, L-H. L. Dahl, M. Hannemann, P. Jensen, J. W. Sørensen, F. G. Larsen, P. F. Byskov, K. 2018. *WICE - Waste, Insects and Circular Economy*. Miljø- og Fødevareministeriet. ISBN: 978-87-93710-13-9.

Grafana Labs. 2018. Grafana pilvipalvelun verkkosivu. Viitattu 15.1.2019. <https://grafana.com/>.

Global Food: Waste Not, Want Not. 2013. Institution of Mechanical Engineers. Julkaistu tammikuussa 2013. Viitattu 12.1.2019. <https://www.imeche.org/docs/default-source/default-document-library/global-food--waste-not-want-not.pdf?sfvrsn=0>.

Heinsola, O. 2018. *Hyönteisistä hyödyksi*. Opinnäytetyö. Jyväskylän ammattikorkeakoulun. Julkaistu joulukuussa 2018. Viitattu 13.1.2019. <https://www.theseus.fi/handle/10024/158508>.

Holmes, L.A. Vanhaerhoven, S.L. Tomberlin, J.K. 2012. *Relative humidity effects on the life history of Hermetia illucens (Diptera: Stratiomyidae)*. Entomology Society of America. Julkaistu Environmental Entomology 41(4):971-978 lehdessä 1.8.2012. Viitattu 19.2.2019. <https://doi.org/10.1603/EN12054>.

Ilmatieteen laitos. 2018. *Kasvihuonekaasujen pitoisuudet*. Ilmatieteen laitoksen mittaustuloksia Suomen ulkoilmanlaadusta. Julkaistu 7.12.2018. Viitattu 4.4.2019. <https://ilmatieteenlaitos.fi/kasvihuonekaasujen-pitoisuudet>.

- Karjalainen, T. 2014. *t-testi tutuksi!*. Artikkelit Quality Knowhow Karjalaisen sivuilla. Julkaistu 1.6.2014. Viitattu 22.5.2018. <http://www.qk-karjalainen.fi/fi/artikkelit/t-testi/>.
- Lalander, C. Senecal, J. Gros Calvo, M. Ahrens, L. Josefsson, S. Wilberg, & K. Vinnerås, B. 2016. *Fate of pharmaceuticals and pesticides in fly larvae composting*. Science of Total Environment. Julkaistu verkkoon 10.5.2016. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S004896971630849X?via%3Dihub>.
- Lalander, C. Diener, S. Zurbügg, C. & Vinnerås, B. 2018. *Effects of feedstock on larval development and process efficiency in waste treatment with black soldier fly (Hermetia Illucens)*. Journal of Cleaner Production, volume 208. Julkaistu verkkoon 9.8.2018. Viitattu 22.3.2019. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.017>.
- Li, Q. Zheng, L. Cai, H. Garza, E. Yu, Z. & Zhou S. 2011. *From organic waste to biodiesel: Black soldier fly, Hermetia illucens, makes it feasible*. Fuel, volume 90, issue 4, toukokuu 2011. Viitattu 18.5.2018. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016236110006307>.
- Libelium. 2018. Libeliumin verkkosivut. Viitattu 15.1.2019 <http://www.libelium.com/>.
- McCusker, S. Buff, P. R. Yu, Z. & Fascetti, A. J. 2014. *Amino acid content of selected plant, algae and insect species: a search for alternative protein sources for use in pet foods*. Journal of Nutritional Sciences. Julkaistu verkkoon 30.4.2014. Viitattu 18.5.2018. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4473169/>.
- Müller, A. Wolf, D. & Gutzelt, H. 2017. *The black soldier fly, Hermetia illucens – a promising source for sustainable production of proteins, lipids and bioactive substances*. Zeitschrift für Naturforschung C. Julkaistu 25.7.2017. Viitattu 18.5.2018. <https://www.degruyter.com/view/j/znc.2017.72.issue-9-10/znc-2017-0030/znc-2017-0030.xml>.
- Park, H. H. 2015. *The Black Soldier Fly Larvae Manual*. Massachusetts Amherstin yliopisto. Viitattu 17.5.2018. https://scholarworks.umass.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1015&context=sustainablemass_studentshowcase.
- Pietiko Oy. n.d. *Hiilidioksidipitoisuus sisäilman laadun mittarina*. Pietiko Oy:n verkkosivu. Viitattu 2.4.2019. <https://www.pietiko.fi/mittaustieto/hiilidioksidipitoisuus-sisailman-laadun-mitta>.
- Ruuv Innovations. 2018. Ruuvi Tagin esittelysivu Ruuvi Innovationsin verkkosivuilla. Viitattu 15.1.2019. <https://ruuvi.com/ruuvitag-specs/>.
- Selenius, O. 2017. *Hyönteiset ihmisen ravintona : kitiinin ravitsemuksellinen merkitys ja vaikutus suolistobakteereiden (Lactobacillus rhamnosus GG ja Escherichia coli TG) kasvuun*. Pro gradu-tutkielma. Turun Yliopisto. 22.6.2017. Hyväksytty 25.8.2017 Viitattu 18.5.2018. https://www.utupub.fi/bitstream/handle/10024/144067/Pro%20gradu_Hy%C3%B6nteiset%20ihmisen%20ravintona_Selenius.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- Smetana, S. Schmitt, E. & Mathys, A. 2019. *Sustainable use of Hermetia Illucens insect biomass for feed and food: Attributional and consequential life cycle assessment*.

Resources, Conservation and Recycling, volume 144, pages 285-296. Julkaistu 12.2.2019. Viitattu 2.4.2019. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.01.042>.

Taanila, A. 2012a. *Yksisuuntainen varianssianalyysi*. Akin Menetelmä-blogi. Julkaistu 28.9.2012. Päivitetty 25.10.2013. Viitattu 3.4.2019. <https://tilastoapu.wordpress.com/2012/09/28/yksisuuntainen-varienssianalyysi/>.

Taania, A. 2012b. *P-arvo*. Akin Menetelmä-blogi. Julkaistu 14.2.2012. Päivitetty 25.10.2013. Viitattu 3.4.2019. <https://tilastoapu.wordpress.com/2012/02/14/p-arvo/>.

Tomberlin, J. K. Adler, P. H & Myers, H. M. 2009. *Development of the Black Soldier Fly (Diptera: Stratiomyidae) in Relation to Temperature*. Environmental Entomology, volume 38, Issue 3, sivut 930-934. Julkaistu 1.7.2009. Viitattu 17.5.2018. <https://academic.oup.com/ee/article/38/3/930/552525>.

Työterveyslaitos. 2017. *OVA-ohje: Ammoniakki*. Työterveysliiton turvallisuusohje. Päivitetty 6.11.2017. Viitattu 2.4.2019. <https://www.ttl.fi/ova/ammoni.pdf>.

Wang, Y-S. Shelomi, M. 2017. *Review of Black Soldier Fly (Hermetia illucens) as Animal Feed and Human Food*. Foods, 91. Julkaistu 6.8.2017. Viitattu 22.5.2018. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5664030/>.

Zhen, L. Li, Q. Zhang, J. Yu, Z. 2012. *Double the biodiesel yield: Rearing black soldier fly larvae, Hermetia illucens, on solid residual fraction of restaurant waste after grease extraction for biodiesel production*. Renewable Energy, volume 41, toukokuu 2012. Viitattu 18.5.2018. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148111005696>.

Liitteet

Liite 1. Demonstraatiokasvattamon suunnitelma.

