

Tiina Siimekselä (Toim.)



# Kärpäsiä ja toukkia

Mustasotilaskärpästen kasvatus  
pilottikasvattamossa



**Kärpäsiä ja toukkia**

TIINA SIIMEKSELÄ  
(TOIM.)

## Kärpäsiä ja toukkia

MUSTASOTILASKÄRPÄSTEN KASVATUS PILOTTIKASVATTAMOSSA



KESKI-SUOMEN LIITTO



Jyväskylän  
ammattikorkeakoulu

# JYVÄSKYLÄN AMMATTIKORKEAKOULUN JULKAISUJA

328

Sarjan vastaava toimittaja • Teemu Makkonen

## KÄRPÄSIÄ JA TOUKKIA

Mustasotilaskärpästen kasvatusta pilottikasvattamossa

Tiina Siimekselä (toim.)

Kannen kuva • Maiju Kurtti  
Ulkoasu • Jamk / Pekka Salminen  
Taitto ja paino • Punamusta Oy • 2023

ISBN 978-951-830-708-5 (PDF)  
ISSN 1456-2332

### KUSTANTAJA

Jyväskylän ammattikorkeakoulu  
[www.jamk.fi/julkaisut](http://www.jamk.fi/julkaisut)

©2023

Tekijät & Jyväskylän ammattikorkeakoulu



Tämä teos on lisensoitu Creative Commons  
Nimeä 4.0 Kansainvälinen -lisenssillä

# SISÄLLYS

<b>TIIVISTELMÄ</b> .....	<b>6</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>7</b>
<b>ALKUSANAT JA KIITOKSET</b> .....	<b>8</b>
 Atso Mehto	
<b>MUSTASOTILASKÄRPÄNEN – HERMETIA ILLUCENS</b> .....	<b>12</b>
 Hanna-Leena Alakomi	
<b>LAINSÄÄDÄNTÖ HYÖNTEISTUOTANNOSSA</b> .....	<b>22</b>
 Teppo Flyktman & Tiina Siimekselä	
<b>HYÖNTEISKASVATTAMON PERUSTAMINEN HANKKEESSA</b> .....	<b>25</b>
 Tiina Siimekselä	
<b>BIOMASSOJEN KÄSITTELY MUSTASOTILASKÄRPÄSEN TOUKKIE AVULLA</b> .....	<b>36</b>
 Hanna-Leena Alakomi	
<b>MUSTASOTILASKÄRPÄSTEN VAIKUTUS PATOGEENISIIN MIKROBEIHIN</b> .....	<b>41</b>
 Tiina Siimekselä	
<b>TYÖTURVALLISUUS HYÖNTEISTUOTANNOSSA</b> .....	<b>43</b>
 Tuure Parviainen	
<b>HYÖNTEISTEOLLISUUDEN NYKYTILA JA TULEVAISUUDEN NÄKYMÄT: KESTÄVÄ PROTEIINI LEMMIKEILLE JA KALANKASVATUKSEEN</b> .....	<b>49</b>
 <b>KIRJOITTAJAT</b> .....	<b>52</b>

# TIIVISTELMÄ

**Tiina Siimekselä (toim.)**

**Kärpäsiä ja toukkia.**

**Mustasotilaskärpästen kasvatusta pilottikasvattamossa.**

**Jyväskylän ammattikorkeakoulun julkaisu, 328**

Hyönteistalous on keino edistää kiertotalouden kehitystä ja proteiiniomavaraisuutta. Suomessa hyönteisten hyödyntäminen on vielä alkutaipaleella, mutta kiinnostus lisääntyy koko ajan ja etenkin rehualalla on tarvetta uusille proteiiniinlähteille. Tällä hetkellä mustasotilaskärpänen vaikuttaa olevan lajeista maailmanlaajuisesti kiinnostavin ja viime vuosina Euroopassa on tehty mittavia investointeja teollisen mittaluokan kasvattamoihin.

Hyönteisalalan kasvun ja kannattavuuden esteisiin etsittiin ratkaisuja EntoTek -hankkeessa, jossa keskityttiin varsinkin mustasotilaskärpäsen aikuistuotannon kehittämiseen. Kärpästen parittelun ja muninnan onnistuminen sekä hyönteisten selviytyminen munista pikkutoukiksi oli havaittu tuotannon kriittisimmiksi vaiheiksi. Lisäksi hankkeessa tutkittiin toukkien kykyä käsitellä erilaisia sivuvirtaperäisiä biomassoja sekä toukkakäsittelyn vaikutusta biomassan patogeenien määrään.

Hyönteistuotantoon ei ole vielä olemassa alan erityispiirteet huomioivia työsuojeluohjeita. Hyönteiskasvattamon olosuhteet sekä biomassoista ja toukkien prosessista syntyvät kaasut ovat suurimmat riskit työturvallisuuden kannalta. Oikeiden suojarusteiden käyttö ja olosuhteiden seuranta prosessin aikana onkin ensiarvoisen tärkeää.

Avainsanat: hyönteistalous, mustasotilaskärpänen, hyönteiset, työturvallisuus, kiertotalous

# ABSTRACT

**Tiina Siimekselä (Editor)**

**Kärpäsiä ja toukkia.**

**Mustasotilaskärpästen kasvatusta pilottikasvattamossa.**

**Publications of JAMK University of Applied Sciences, 328**

The insect economy is a way of promoting development of circular economy and protein self-sufficiency. In Finland utilization of insects is still in the early stages but the interest is growing and especially in the feed industry there is need for new protein sources. Now the black soldier fly seems to be the most interesting of the species worldwide and in recent years.

Solutions to the obstacles for the growth and profitability of insect industry were sought in the EntoTek-project, which focused on especially on the development of adult production of the black soldier fly. The success of mating and egg-laying of the flies and the survival of insects from eggs to larvae were found to be the most critical stages of production. Also, the project researched the larvae's ability to process various side stream-derived biomasses, as well as the effect of larval processing on the number of pathogens in the biomass.

There are still no occupational health and safety guidelines for insect production that consider the special features of the industry. The conditions of the insect breeding facility and the gases generated from the biomass and the larval process are the biggest risks in terms of occupational safety. Using the right protective equipment and monitoring the conditions during the process is of paramount importance.

Keywords: black soldier fly, insects, occupational safety, circular economy

## ALKUSANAT JA KIITOKSET

Jyväskylän ammattikorkeakoulu Jamk ja Teknologian tutkimuskeskus VTT pilotoivat mustasotilaskärpäsien (*Hermetia illucens*) kasvatusta ja erilaisten sivuvirtojen käsittelyä kärpäsentoukkien avulla ensimmäisen kerran VinsectS-hankkeessa vuosina 2018–2019. Kokemukset konttikokoluokan pilotista olivat lupaavia ja herättivät tarpeen kehittää tuotantoa isommassa mittakaavassa kaupallisen toiminnan edellytysten parantamiseksi. Hyönteistuotannon kasvun ja kannattavuuden esteitä ovat olleet muun muassa tuotannon heikko automaatioaste ja kustannustehokkaan tuotantoteknologian puute. Näihin ongelmiin etsittiin ratkaisuja EntoTek – Hyönteistuotannon teknologian kehittäminen ja automatisointi -hankkeessa, joka toteutettiin Jamkin Biotalousinstituutin ja VTT:n yhteistyönä 1.1.2020–31.8.2023.

Hankkeen valmistelussa lähtökohtina olivat pyrkimys vähähiilisiin toimintatapoihin ja sitä kautta ilmastonmuutoksen hidastamiseen, kiertotalouden edistäminen hyödyntämällä alueellisia sivuvirtoja ja niiden sisältämiä ravinteita uusiksi tuotteiksi sekä seutukunnan elinvoimaisuuden edistäminen toteuttamalla alueella innovatiivista ja avointa kehittämistoimintaa. Sivuvirtojen hyödyntäminen, kiertotalous ja ilmastonmuutoksen hillitseminen ovat globaaleja kysymyksiä, joihin etsitään ratkaisuja ympäri maailmaa. EntoTek-hankkeen aikana koettiin lisäksi maailmanlaajuisia kriisejä; Covid -19-koronaviruspandemia ja Venäjän hyökkäyssota Ukrainaan osoittivat huoltovarmuuden ja omavaraisuuden tärkeyden myös nykyisessä globaalissa taloudessa. Hyönteistalous on yksi keinoista, joilla voidaan paitsi edesauttaa kiertotalouden kehitystä, myös varmistaa esimerkiksi rehuntuotannon proteiiniomavaraisuutta. Tällä hetkellä mustasotilaskärpäsen vaikuttaa olevan tuotettavista hyönteisistä maailmanlaajuisesti kiinnostavin, sillä se pystyy hyödyntämään ravinnokseen lähes mitä tahansa orgaanista materiaalia, sen elinkierto on hyvin nopea ja toukkien jatkokäyttömahdollisuudet ovat moninaiset.

EntoTek-hankkeen tavoitteena oli kehittää kestäväää ja kustannustehokasta teknologiaa varsinkin mustasotilaskärpäsien aikuistuotantoon, mikä oli havaittu toukkatuotannon kriittisimmäksi vaiheeksi. Kärpästen parittelun ja muninnan onnistuminen sekä hyönteisten selviäminen munista viiden päivän ikäisiksi toukiksi vaativat eniten asiantuntemusta, oikeanlaisia olosuhteita sekä käsi-työtä ja tämän vaiheen osittainkin epäonnistuminen heijastuu tuotannon jatkovaiheisiin. Lisäksi tavoitteina oli lisätä hyönteistuotannon kannattavuutta



automaatioastetta nostamalla ja luoda toimintamalli yhdyskuntien ja teollisuuden jätevesilietteiden sekä biohajoavien jätteiden käsittelyyn mustasotilaskärpästen toukilla. Niiden on havaittu eri tutkimuksissa pystyvän

poistamaan tai vähentämään esimerkiksi yhdyskuntajätevesilietteiden sisältämiä lääkettämiä, viruksia ja bakteereita, mutta lainsäädäntö ei edelleenkään salli jätteeksi luokiteltujen materiaalien hyödyntämistä toukkien avulla. Siksi hankkeen tarkoituksena oli myös selvittää puolueettomasti patogeenisten tutkimusten avulla toukkakäsittelyn vaikutusta terveydelle haitallisten bakteerien ja virusten määrään. Rehulainsäädännön sallimia sivuvirtoja on Suomessa käytettävissä useampien kasvattamojen tarpeisiin, mutta näiden uusien raaka-aineiden käytön mahdollistaminen lisäisi potentiaalia merkittävästi. Tällä hetkellä vaikuttaa kuitenkin siltä, että ainakaan lähitulevaisuudessa lainsäädäntö ei ole tältä osin muuttumassa vapaampaan suuntaan.

Hankkeessa perustettiin ison pilottikokoluokan hyönteiskasvattamo vuokrattuun hallitilaan Jamkin Biotalousinstituutin läheisyyteen Saarijärvelle. 260 m<sup>2</sup>:n tilaan rakennettiin kaksi olosuhdehallittua kasvatushuonetta, toinen aikuiskasvatusta ja toinen toukkatuotantoa varten. Kasvattamon kapasiteetti mahdollisti biomassan käsittelyn vähintään yhden tonnin (1000 kg) viikkovauhdilla ja valmistuessaan se oli Suomen suurin mustasotilaskärpäsen tuotantolaitos. Hankkeen aikana testattiin yli kolmenkymmenen (30) ravintolapalveluiden, elintarviketeollisuuden, alkutuotannon ja teollisuuden sivuvirransi luokiteltavan materiaalin sopivuutta mustasotilaskärpäsen toukkien ravinnoksi. Yhteensä testijakson 1.11.2021–1.11.2022 aikana käsiteltiin noin 3800 kg erilaisia sivuvirtoja. Testeissä havaittiin, että toukat pystyvät käsittelemään ja hyödyntämään useimpia orgaanisia sivuvirtoja, mutta toukkien kasvu ja biomassan käsittely olivat parempia, kun materiaaleista tehtiin seoksia. Hankkeessa havaittiin myös, että tuotannon skaalaus laboratorio- tai konttikokoluokasta isompaan mittakaavaan edellytti muutoksia lähes kaikkiin kasvatuksen vaiheisiin eikä aiempien, yleensä laboratoriomittakaavassa toteutettujen tutkimusten tuloksia voinut juurikaan hyödyntää isossa mittakaavassa. Elävien olentojen parissa tutkimukseen liittyy myös paljon ennalta-arvaamattomia ja monien, usein selittämättömien, tekijöiden vaikutuksia, joita kaikkia ei pysty hallitsemaan hyvälläkään suunnittelulla.

Hyönteiskasvatus ja hyönteisten hyödyntäminen on Suomessa vielä melko alkutaipaleella ja alalla on vain harvoja toimijoita niin kaupallisella kuin tutkimuksenkin puolella. Kiinnostus varsinkin monipuolista mustasotilaskärpästä kohtaan on kuitenkin koko ajan lisääntynyt ja etenkin rehualalla on tarvetta uusille proteiininlähteille. Lemmikkieläimille, siipikarjalle, sioille ja kaloille hyönteisiä ja niistä eroteltuja proteiini- ja rasvajakeita saa syöttää hyvinkin vapaasti.

Tilastokeskuksen mukaan suomalaiset käyttävät pelkästään koirien ruokaan reilut 130 miljoonaa euroa vuodessa, joten markkinat eivät ole pienet. Hyönteisrehu mielletään ekologiseksi ja eettiseksi vaihtoehdoksi. Lisäksi erilaiset allergiat ja yliherkkyydet ovat lisääntyneet myös lemmikkieläimillä, jolloin hyönteisten proteiini voi tarjota paremmin siedetyn vaihtoehdon. Mustasotilaskärpäsen toukat sisältävät myös erilaisia aminohappoja, joista erityisesti metioniini on tärkeä kanojen terveydelle ja muninnalle. Tällä hetkellä metioniinin lähteenä käytetään pääsääntöisesti ulkomailta tuotavaa kalajauhoa, mutta sen korvaaminen mustasotilaskärpäsen toukilla olisi mahdollista sekä huoltovarmuuden ja omavaraisuuden kannalta järkevää, mikäli toukkaproteiinin hinta saadaan kilpailukykyiselle tasolle. Rehuala lienee helpoin ja nopein väylä tuoda hyönteiset osaksi markkinoita, mutta mustasotilaskärpäsen toukista löytyy mahdollisuuksia moneen muuhunkin, esimerkiksi lääketieteellisuuden ainesosiksi. Eikä sovi unohtaa hyönteistuotannosta syntyvää frassia, jolle on kysyntää kasvualusta- ja lannoitemarkkinoilla. Frassin osuus hyönteiskasvatuksen tulovirrasta voi olla merkittävä.

Teollisen mittakaavan hyönteiskasvattamon perustamiskustannukset ovat korkeat ja vaikka markkinoilta on Euroopassa jo saatavilla korkealaatuista teknologiaa mustasotilaskärpäsen kasvatukseen, ihmistyötä tarvitaan edelleen paljon. Suomen ilmastossa tuotantokustannuksia nostaa myös hyönteisten vaatimien olosuhteiden ylläpito, lämmitys ja kosteudenhallinta. Hyönteistaloudella on paikkansa tulevaisuuden Suomessa, mutta kehitystyötä tarvitaan varsinkin toukkien jatkojalostukseen ja moninaisten käyttömuotojen kartoittamiseen. Kysyntä ja markkinat luovat investointeja. Kysynnän luomiseksi hankkeiden avulla ilman taloudellista riskiä ja tuotto-odotuksia tehtävä kehitystyö ja hankkeista saatavien tulosten avoin julkistaminen on elintärkeää.

EntoTek -hankkeeseen osallistui suuri joukko ihmisiä ja yrityksiä, jotka osaltaan mahdollistivat hankkeen onnistuneen toteutuksen. Suuri kiitos hankkeen rahoittajille: Keski-Suomen liitto; Euroopan aluekehitysrahasto, Lakeuden Etappi Oy ja Sammakkokangas Oy. Lämpimät kiitokset hankkeen ohjausryhmälle: Antero Bäcklund (Lakeuden Etappi Oy), Outi Ruuska (Sammakkokangas Oy), Kirsi-Marja Oksman-Caldentey (VTT Oy), Outi Pakarinen (Keski-Suomen liitto, 04/2022 asti), Antti Reen (Griinsect Oy) ja Minna Lappalainen (JAMK) sekä rahoittajan edustajana alussa Veli-Pekka Päivänen ja myöhemmin Hannu Koponen (Keski-Suomen liitto). Kiitokset Manna Insect Oy:lle ja Entoprot Oy:lle yhteistyöstä ja avunannosta hyönteistuotannon kehittämisessä, Volare Oy:lle yhteistyöstä ja hyönteisalan työpaikkojen luomisesta, Metsä Group Oy:lle yhteistyöstä, kiinnostuksesta ja sivuvirtojen luovuttamisesta kokeita varten, Jauhoniemen Peruna Oy:lle kuorimosivuvirran luovutuksesta kokeita varten ja

toukkien rehuksi sekä lukuisille keskisuomalaisille yrityksille ja yrittäjille, jotka ovat antaneet sivuvirtojaan toukkakokeisiin. Erityiskiitokset Eeron Sähkö Oy:n Eero Tarvaiselle innovatiivisesta heittäytymisestä hyönteisten maailmaan. Lisäksi haluan kiittää Jamkin ja VTT:n henkilökuntaa, jotka antoivat panoksensa EntoTek-hankkeen toteutukseen; suuret kiitokset Sami Virtaselle monivuotisesta yhteistyöstä hyönteishankkeiden parissa, Hanna-Leena Alakomille patogeenisista kokeista, Teppo Flyktmanille olosuhdehallinnan kehittamisestä ja asiantuntija-avusta, sekä kaikille muille työpanostaan ja ammattitaitoaan hankkeelle antaneille. Erityisen suuret ja lämpimät kiitokset hyönteiskasvatamon huipputiimille, jota ilman koko hankkeen toteutuminen ei olisi ollut mahdollista; Henna Pitkäselle vastuunkannosta, idearikkaista ajatuksista ja kasvattamon kehittamisestä, Maiju Kurtille ennakkoluulottomasta asenteesta ja hyvästä työstä, Samuli Lahtelalle kaikesta avusta sekä hankkeen mahtaville kesätyöntekijöille ja harjoittelijoille; Milja Ikoselle, Niina Koivistolle ja Atso Mehtolle.

Tiina Siimekselä

# MUSTASOTILASKÄRPÄNEN – *HERMETIA ILLUCENS*

Atso Mehto

Mustasotilaskärpänen (kuva 1) kuuluu *Stratiomyidae*-heimoon. Alkujaan mustasotilaskärpäsen levinneisyysalue oli Etelä- ja Väli-Amerikka, mutta nykyisin se on levinnyt ihmisten välityksellä trooppisille ja subtrooppisille alueille kautta maailman. Mustasotilaskärpäsellä on neljä kehitysvaihetta: muna (kuva 2), toukka (kuva 3), kotelo (kuva 4) ja aikuinen eli mustasotilaskärpänen käy läpi täydellisen muodonvaihdoksen. Tämän lisäksi mustasotilaskärpäsellä katsotaan usein olevan viides kehitysvaihe eli esikotelo (kuva 5) toukkavaiheen lopussa. (Joly & Nikiema 2019 2–3.)



Kuva 1. Aikuinen mustasotilaskärpänen. (Kuva: Maiju Kurtti)



Kuva 2. Mustasotilaskärpäsen munia. (Kuva: Henna Pitkänen)



Kuva 3. Mustasotilaskärpäsen toukkia. (Kuva: Henna Pitkänen)



Kuva 4. Mustasotilaskärpäsen kotelaita. (Kuva: Henna Pitkänen)

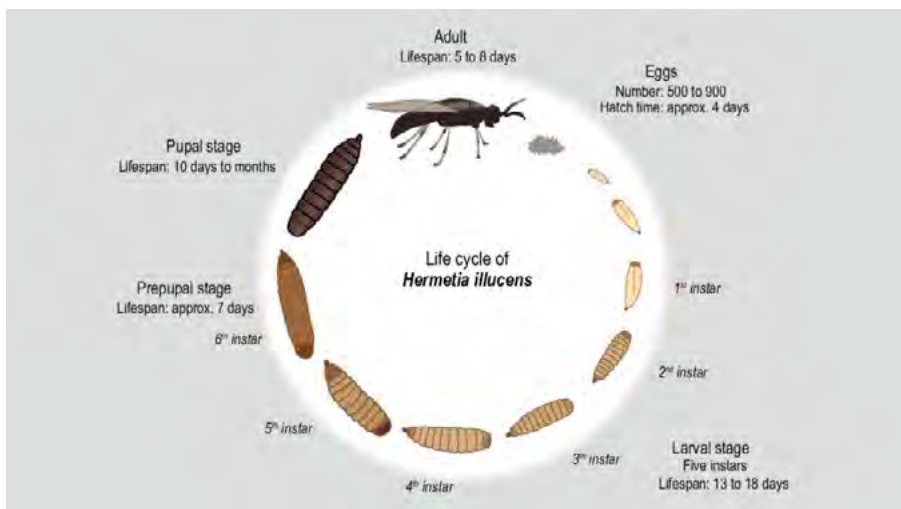


Kuva 5. Mustasotilaskärpäsen esikotelaita. (Kuva: Henna Pitkänen)

## MUSTASOTILASKÄRPÄSEN ELINKAARI

Aikuinen naaras munii kerallaan 320–1000 munaa mätänevän biomassan lähelle, jonne toukat ryömivät kuoriutuessaan. Toukkien kuoriutumisnopeus ja kehitys nopeus on riippuvainen lämpötilasta. Optimi lämpötila kärpästen kehitykseen on 25–32 °C. Esimerkiksi 27 °C asteen lämpötilassa toukat kuoriutuvat munista neljässä vuorokaudessa. Mustasotilaskärpänen syö vain toukkavaiheessa, jolloin ne keräävät tarvitsevansa proteiinin sekä rasvan myöhempiin elintoimintoihinsa. Luonnossa toukat käyttävät ravinnokseen mätäneviä ja hajoavia orgaanisia massoja. Toukat syövät biomassaa ja luovat nahkansa viisi kertaa.

Toukkien koko riippuu käytettävän ravinnon laadusta. Pisimmillään toukat kasvavat 20 mm pituiseksi ja leveydeltään 6 mm. Toukkavaihe kestää neljästä viikosta 5 kuukauteen riippuen kasvatusolosuhteista ja ravinnon saatavuudesta. Esikotelovaiheessa toukat tyhjentävät suolensa ja toukkien suuosat muuttuvat liikkumiseen soveltuvaksi liikuntaraajaksi. Tämän raajan avulla toukat poistuvat massasta ja koteloituvat suojaisessa paikassa. Noin kahden viikon kuluttua aikuiset kärpäset kuoriutuvat kotelostaan. Aikuiset kärpäset parittelevat n. kahden vuorokauden kuluttua. Kahden vuorokauden kuluttua parittelusta naaraat munivat ja kuolevat. Yleisesti aikuiset kärpäset elävät 5–9 päivää. Aikuiset mustasotilaskärpäset eivät levitä tauteja, koska ne eivät etsi ravintoa. (Caruso ym. 2013 2–7.) Mustasotilaskärpäsen elinkierto on esitetty kuviossa 1.



Kuvio 1. Mustasotilaskärpäsen elinkierto. (Lievens ym. 2021.)

## TOUKKIEN KYKY KÄYTTÄÄ RAVINTOA

Mustasotilaskärpäsien toukat ovat tehokkaita hyödyntämään erilaisia ravintolähteitä. Tämä johtuu toukkien voimakkaista leuoista ja erityisestä suolibakteeristosta ja tehokkaista ruoansulatusentsyymeistä. Toukkien vatsan mikrobisto auttaa ravinnon hajottamisen lisäksi taudinaiheuttajien vähentämisessä. Tämä luo mahdollisuuden hyödyntää mustasotilaskärpäsien toukkia erilaisten sivuvirtojen ja jätteiden käsittelyssä ja muokkaamisessa korkeamman arvon toukkamassaksi. (Joly & Nikiema 2019 2–6.)

Käsiteltävällä biomassalla on vaikutus toukkien kehitykseen, kuten toukkien kokoon ja kehityksen nopeuteen. Massan proteiinipitoisuus sekä helposti saatavilla olevat hiilihydraatit ovat massan tärkeimpiä soveltuvuustekijöitä. Tämän lisäksi massan C/N suhteen sopiva määrä tulisi olla 10–40 välillä riippuen massasta. Toukat eivät pysty hyödyntämään liian kuivaa massaa, jonka vuoksi massan kosteuden tulee olla 40–90 %. Toukat voivat kuitenkin poistua liian kosteasta biomassasta (kuva 6). Myös massan partikkelikoolle on merkitystä, koska toukat pystyvät käsittelemään paremmin massaa minkä partikkelikoko on pieni. (Joly & Nikiema 2019 2–6.)



Kuva 6. Toukat poistuvat liian märästä biomassasta. (Kuva: Henna Pitkänen)



Heikommin soveltuvaa biomassaa voidaan käsitellä tai sekoitetaan paremman laatuiseen biomassaan näin parantaen heikon massan käsittelyä ja toukkien kasvukykyä. Biomassan käsittely, esimerkiksi suuri partikkelisen massan jauhaminen ja silppuaminen tai märän massan kuivaaminen parantaa toukkien kykyä käsitellä massaa. (Joly & Nikiema 2019 2–6.)

## TOUKKIEN RAVINTOARVOT

Mustasotilaskärpänen koostumuksesta suuri osa on raakaproteiinia n. 40 % ja lipidejä 35 %. Toukkien syömällä ravinnolla ja kehitysvaiheella on kuitenkin vaikutus näihin pitoisuuksiin. Toukkien raakaproteiinimäärät vaihtelevat yleisesti 35–45 % välillä. Toukkien aminohappokoostumus on tasainen ja ne sisältävät runsaasti lysiiniä, valiinia sekä leusiinia. Tästä syystä toukat sopivat hyvin yksimahaisten eläinten rehuiksi. (Caruso ym. 2013 91–94; Joly & Nikiema 2019 19–20.)

Korkeimmillaan toukkien rasvapitoisuus on juuri ennen koteloitumista, jonka vuoksi lipidimäärät voivat vaihdella 14–50 % välillä riippuen keruujakohdasta. Toukkien rasvahappokoostumus muodostuu pääosin ravinnosta, esimerkiksi kalanperkuujätteen syöttö nostaa toukkien omega-3 happojen pitoisuutta. Toukkien sisältämät rasvahapot ovat yleensä tyydyttyneessä muodossa ja rasvahapoista yleisimpiä ovat lauriinihappo, oleiinihappo sekä palmitiinihappo. Toukkien koostumuksesta tuhkaa on yli 10 %, ja tuhka koostuu kitiinistä, kalsiumista, fosforista ja kaliumista. (Caruso ym. 2013 91–94; Joly & Nikiema 2019 19–20.)

## TOUKKIEN KÄYTTÖ

Ravintoarvojensa vuoksi mustasotilaskärpäsen toukat soveltuvat yksimahaisten eläinten ruokintaan ja toukkarehulla voitaisiin korvata kalajauhetta tai soijarouheita. Toukkarehun sisältämät rasvat ja kitiini luovat kuitenkin ongelmia sulavuuden sekä kasvuongelmien vuoksi. Tähän ongelmaan on kehitetty keinoja erottaa kitiini ja ylimääräinen rasva toukkaproteiinista. Tämän lisäksi toukkien keruujakohdalla voidaan vaikuttaa toukkien koostumukseen, etenkin kitiinin määrään, koska toukissa on kitiiniä sitä enemmän mitä lähempänä toukat ovat esikotelovaihetta. (Joly & Nikiema 2019, 20–21.)

Mustasotilas kärpäsen toukkien koostumuksen vuoksi niitä voidaan myös hyödyntää teknisessä käytössä. Etenkin toukkien rasvapitoisuus ja rasvahappo-ominaisuuksien vuoksi toukkien rasvaa voidaan hyödyntää eri tavoin. Biodiesel on yksi potentiaalisin tekninen tuote, jota voitaisiin valmistaa touk-

kien rasvasta. Mustasotilaskärpäsien toukista valmistettu biodiesel vastaa ominaisuuksiltaan rypsiä valmistettavaa biodieseliä ja se täyttää EN 14214 standardin. Aasiassa toukkia hyödynnetään jo tähän tarkoitukseen. Toukkia voidaan ruokkia eri biomassoilla, kuten jätteillä, lannalla ja sivuvirroilla. Tällöin näille biomassoille saadaan myös lisäarvoa. (Joly & Nikiema 2019, 21–22.) Mustasotilaskärpäsien rasvaa hyödynnetään jo kosmetiikkateollisuudessa ja sitä voidaan myös hyödyntää kemianteollisuudessa (Van Huis 2022, 1–2).

Toukkien proteiinista on kehitteillä erilaisia tuotteita, kuten biomuovien raaka-aineita. Toukkien kuorissa olevaa kitiiniä ja jatkojalostettua kitosaania voidaan hyödyntää lääketeollisuudessa mm. haavansitomistarvikkeissa ja tekoihona. (Van Huis 2022, 1–2.)

Mustasotilaskärpäsien toukilla on biopuhdistajan ominaisuuksia, jonka vuoksi niitä voidaan hyödyntää likaisten massojen puhdistukseen (Van Huis 2022, 2). Tällöin toukkakäsittelyllä voidaan vähentää haitta-aineita, kuten raskasmetalleja (Wang ym. 2020, 3–8), antibiootteja sekä muita lääkettäjämiä tai kemikaalijäämiä (Lalander ym. 2016, 5–7) ja taudinaiheuttajia (Lalander ym. 2014, 5–10) tai nopeuttaa niiden hajoamista biomassoista.

## MUSTASOTILASKÄRPÄSEN FRASSI

Frassi (kuva 7) on hyönteisten ulosteen, rehun jäänteiden, hyönteisten osien ja kuolleiden hyönteisten seos. Syntyvä frassin koostumus riippuu toukkien käyttämästä ravinnosta. Toukkakäsittely yleisesti nostaa biomassan fosforipitoisuuksia. Toukkakäsittelyllä on ammoniumin muotoisen typen lisäävä vaikutus ja se parantaa myös typen mineralisaatiota. Toukkakäsittely nostaa myös biomassan pH:ta käsittelyn aikana sekä sillä on biomassaa kuivattava vaikutus. Toukkien nahanluonnin yhteydessä frassiin jää kitiiniä, jolla on havaittu olevan kasvinterveyttä parantavia vaikutuksia. Syntyvää frassia voidaan hyödyntää orgaanisena lannoitteena tai maanparannusaineena. (Joly & Nikiema 2019, 22; Klammsteiner ym. 2022, 5–8.)



Kuva 7. Mustasotilaskärpäsän frassia, eli hyönteisten ulosteen, rehun jäänteiden, hyönteisten osien ja kuolleiden hyönteisten seosta. (Kuva: Henna Pitkänen)

Mustasotilaskärpäsän frassi tulee käsitellä, koska se sisältää usein runsaasti mikrobeja. Nämä mikrobit voivat heikentää kasvien kasvua kilpaillessaan ravinnoista kasvien kanssa. Tämä johtuu kasvatusolosuhteista, jotka ovat myös mikrobikasvulle optimit. Frassin kuumentaminen 70°C tunniksi on havaittu riittävän vähentämään mikrobien määrää turvallisille rajamäärille. (Van Looveren ym., 1–13.) Myös lyhyet toukkien kasvatusajat eivät riitä stabiilin frassin luomiseen, jonka vuoksi frassia tulee jatkokäsitellä, jotta frassi stabiloituu ja ravinnetasapaino toteutuu. Frassia voidaan myös jatko käsitellä muilla keinoilla, kuten mädättämällä tai kompostoinnilla. (Dortmans ym. 2017, 54.)

## LÄHTEET

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. Bogor: PT Percetakan IPB Press. Viitattu 2.6.2023. [https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins\\_textes/divers17-11/010063336.pdf](https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers17-11/010063336.pdf).

Dortmans, B., Diener, S., Verstappen, B. M. & Zurbrügg, C. 2017. Black soldier fly biowaste process a step-by-step guide. Eawag. Viitattu 2.6.2023. [https://www.eawag.ch/fileadmin/Domain1/Abteilungen/sandec/publikationen/SWM/BSF/BSF\\_Biowaste\\_Processing\\_LR.pdf](https://www.eawag.ch/fileadmin/Domain1/Abteilungen/sandec/publikationen/SWM/BSF/BSF_Biowaste_Processing_LR.pdf)

Joly, G. & Nikiema, J. 2019. Global experiences on waste processing with black soldier fly (*Hermetia illucens*): from technology to business. Resource recovery & reuse series 16. Viitattu 2.6.2023. [https://www.iwmi.cgiar.org/Publications/wle/rrr/resource\\_recovery\\_and\\_reuse-series\\_16.pdf](https://www.iwmi.cgiar.org/Publications/wle/rrr/resource_recovery_and_reuse-series_16.pdf).

Klammsteiner, T., Turan, V., Juárez, M F-D., Oberegger, S. & Insam, H. 2020. Suitability of Black Soldier Fly Frass as Soil Amendment and Implication for Organic Waste Hygienization. *Agronomy*, 10, 10. Viitattu 2.2.2023. <https://www.proquest.com/docview/2545588049/fulltextPDF/419BF2904D81465EPQ/1?accountid=11773>

Lalander, C., Fidjeland, J., Diener, S., Eriksson, S. & Vinnerås, B. 2014. High waste-to-biomass conversion and efficient *Salmonella* spp. reduction using black soldier fly for waste recycling. Viitattu 2.6.2023. <https://doi.org/10.1007/s13593-014-0235-4>

Lalander, C., Senecal, J., Gros Calvo, M., Ahrens, L., Josefsson, S., Wiberg, K. & Vinnerås, B. 2016. Fate of pharmaceuticals and pesticides in fly larvae composting. *Science of The Total Environment*, 565, 279–286. Viitattu 2.6.2023. <https://doi.org/10.1007/s13593-014-0235-4>

Lievens, S., Poma, G., De Smet, J. & Van Der Borght, M. 2021. Chemical Safety of Black Soldier Fly Larvae (*Hermetia Illucens*), Knowledge Gaps and Recommendations for Future Research: a Critical Review. *Journal of insects as food and feed*, 1–14. Viitattu 9.6.2023. <https://doi.org/10.3920/JIFF2020.0081>

Van Huis, A. 2022. Edible insects: non-food and non-feed industrial applications. *Journal of Insects as Food and Feed*, 8, 447–450. Viitattu 2.6.2023. <https://edepot.wur.nl/575785>.

Van Looveren, N., Vandeweyer, D. & Van Campenhout, L. 2022. Impact of Heat Treatment on the Microbiological Quality of Frass Originating from Black Soldier Fly Larvae (*Hermetia illucens*). *Insects*, 13, 1. Viitattu 15.5.2023. <https://www.proquest.com/docview/2621313469/fulltextPDF/A4A63EACEC72478C/PQ/1?accountid=11773>.

Wang, X., Wu, N., Cai, R., Geng, W. & Xu, X. 2020. Changes in speciation, mobility and bioavailability of Cd, Cr and As during the transformation process of pig manure by black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*). *Journal of Integrative Agriculture* 20. Viitattu 2.6.2023. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095311920633330>.

# LAINSÄÄDÄNTÖ HYÖNTEISTUOTANNOSSA

Hanna-Leena Alakomi

Mustasotilaskärpästen kasvatuksessa sekä rehu- tai elintarvikekäyttöön tulee noudattaa kuhunkin sovellukseen liittyvää Euroopan unionin (EU) ja Suomen kansallista lainsäädäntöä, esimerkiksi rehulainsäädännön mukaan kasvattajan tulee rekisteröityä rehuntuottajaksi. Elintarvikesovelluksissa hyönteiset ovat uusielintarvikelainsäädännön alaisuudessa. Euroopan ruokaturvallisuusvirasto (EFSA) ja Suomessa Ruokavirasto valvovat lainsäädännön toteuttamista. Tuottajan tulee noudattaa hyvää tuotantohygieniaa sekä laatia omavalvontasuunnitelma, jossa huomioidaan vaarojen arviointi, hygieniavaatimukset ja kriittiset hallintapisteet (Hazard Analysis of Critical Control Points). Hygieniavaatimukset ovat lakisääteisiä ja sekä rehu- että elintarvikesovelluksia hygieniaan tulee kiinnittää erityistä huomiota, ja vaatimusten noudattaminen on tuottajan vastuulla. Mustasotilaskärpänen on vieraslaji ja sen pääsy luontoon tai elävänä vapaaksi tuotantotilojen ulkopuolelle tulee estää.

Ruokavirasto on laatinut hyönteisten kasvattamista, myymistä ja tarjoilua koskevan ohjeen, joka on tarkoitettu sekä elintarvikevalvontaviranomaisille, hyönteisten kasvattajille, että hyönteiselintarvikkeita valmistaville yrityksille (Hyönteiset elintarvikkeina 2022).

Elintarviketurvallisuus näkökulmasta tarkasteltuna hyönteisissä saattaa esiintyä kuumennusta kestäviä itiöllisiä bakteereita (esimerkiksi *Bacillus*- ja *Clostridium* -suvun mikrobitt), jotka voivat lisääntyä, mikäli tuotteen kuumennus ei ole ollut riittävä (Vandemweyer ym. 2021). Hyönteisissä voi olla myös laaja joukko muita mikrobeja riippuen etenkin tuotantotilojen puhtaudesta ja ruokinnassa käytettävästä rehusta. Hyvä tuotantohygienia ja hyvälaatuinen ravinto vähentävät mikrobien määrää.

Toistaiseksi hyönteisten elintarvike- ja rehukäytön kemiallisia riskejä tunnetaan vähän. EFSA totesi raportissaan (2015), että hyönteisiin saattaa kertyä raskasmetalleja kuten kadmiumia, lyijyä, elohopeaa ja arseenia. Riippuen ruokinnasta ja kasvatusolosuhteista hyönteiset saattavat myös sisältää lääkeainejäämiä, mykotoksiineja tai itse tuottamia haitallisia yhdisteitä (FAO 2021; Risk profile related to production and consumption of insects as food and feed 2015; Vandemweyer ym. 2021). Hyönteisten proteiinit ovat samankaltaisia äyriäisten proteiinien kanssa ja myös hyönteisproteiineille voi herkistyä (Liguori ym. 2022). Allergeenisyyden mekanismeja ei vielä tarkkaan tunneta ja aihepiiri vaatii lisätutkimusta.

Alan järjestöt, kuten esimerkiksi International Platform of Insects for Food and Feed (Promoting Insects for Human Consumption & Animal Feed – IPIFF), seuraavat myös lainsäädännön kehitystä sekä laativat oppaita hyönteiskasvattajille. Euroopassa hyönteiset menevät uuselintarvikelainsäädännön alle ja tällä hetkellä uuselintarvikelupahakemukset on jätetty taulukossa 1 mainituista hyönteisistä. Euroopan komission sivuilta löytyy hakemustyhteenvedot uuselintarvikkeista Summary of applications and notifications (europa.eu).

#### TAULUKKO 1. Hyönteiselintarvikkeet, joista on jätetty uuselintarvikelupahakemus Euroopan komissiolle.

*Acheta domesticus* (kotisirikka)

*Aegiale hesperiaris* (*Aegiale hesperiaris* -perhonen, toukka, ”maguey-mato”)

*Alphitobius diaperinus larvae* (kanatunkkari, toukka, ”buffalomato”)

*Apis mellifera male pupae* (mehiläinen, kuhnuritoukka)

*Gryllodes sigillatus* (trooppinen kotisirikka)

*Hermetia illucens larvae* (mustasotilaskärpänen, toukka)

*Liometopum apiculatum larvae, pupae* (*Liometopum apiculatum* -muurahainen, toukka, kotelo)

*Liometopum occidentale larvae, pupae* (*Liometopum occidentale* -muurahainen, toukka, kotelo)

*Locusta migratoria* (idänkulkusirkka)

*Schistocerca gregaria* (aavikkokulkusirkka)

*Tenebrio molitor larvae* (jauhopukki, toukka, ”jauhomato”)

## LÄHTEET

Risk profile related to production and consumption of insects as food and feed. 2015. EFSA Journal, 13, 4257. Viitattu 17.8.2023. doi:10.2903/j.efsa.2015.4257

Liguori, B., Sancho, A. I., Poulsen, M. & Lindholm Bøgh, K. 2022. Novel foods: allergenicity assessment of insect proteins. EFSA Journal, 20, S2, e200910. Viitattu 17.8.2023. doi: 10.2903/j.efsa.2022.e200910

FAO. 2021. Looking at edible insects from a food safety perspective. Challenges and opportunities for the sector. Rome. Viitattu 17.8.2023. <https://doi.org/10.4060/cb4094en>

Hyönteiset elintarvikkeina. 2022. Ruokaviraston verkkosivusto. Viitattu 17.8.2023. <https://www.ruokavirasto.fi/elintarvikkeet/elintarvikeala/elintarvikkeiden-alkutuotanto/elaimista-saatavat-elintarvikkeet/hyonteiset/>

Vandeweyer, D., De Smet, J., Van Looveren, N. & Van Campenhou, L. 2021. Biological contaminants in insects as food and feed. *Journal of Insects as Food and Feed*, 807- 822. Viitattu 17.8.2023. <https://www.wageningenacademic.com/doi/epdf/10.3920/JIFF2020.0060?role=tab>

## LAKITIETOA

Asetus elintarvikehygieniasta, <http://data.europa.eu/eli/reg/2004/852/2009-04-20>

Elintarvikelaki, <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2021/20210297>

Laki eläimistä saatavien elintarvikkeiden elintarvikehygieniasta, <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/1996/19961195>

Laki rehulain muuttamisesta, <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2022/20220018>

Maa- ja metsätalousministeriön asetus rehualan toiminnanharjoittamisesta, <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2020/20201266>



# HYÖNTEISKASVATTAMON PERUSTAMINEN HANKKEESSA

Teppo Flyktman & Tiina Siimekselä

Mustasotilaskärpäsen, kuten muidenkin trooppisten lajien, kasvatusta vaatii Suomen oloissa tarkoitukseen sopivan sisätilan ja keinotekoisesti aikaansaadut olosuhteet. Mustasotilaskärpäsellä varsinkin aikuiskasvatus ja munantuotanto edellyttävät onnistuakseen tarkkaa olosuhteiden, lähinnä lämpötilan ja ilmankosteuden sekä valaistuksen, hallintaa. Toukkavaiheen kasvatusta onnistuu heikommissakin olosuhteissa, sillä toukat eivät tarvitse valoa, ne tuottavat itse runsaasti lämpöä ja ilmankosteus pysyy yllä rehusta haihtuvan kosteuden ansiosta.

EntoTek-hankkeessa rakennettiin hyönteiskasvattamo kokonaispinta-alaltaan noin 260 neliömetrin kokoiseen, lämmitettyyn, tuotantotilaksi rakennettuun halliin. Hallin sisälle rakennettiin kaksi olosuhdehallittua huonetta; aikuiskasvatusta varten 60 m<sup>2</sup> ja toukille 40 m<sup>2</sup>. Huoneista tehtiin lämpöeristettyjä. Huoneiden seinät ja katot rakennettiin OSB-rakennuslevystä ja eristettiin lasivillalla. OSB-levyyn päädyttiin lähinnä kustannussyistä; rakennusurakka kilpailutettiin ja edullisin tarjous hyväksyttiin. Hankkeen aikana huomattiin, että pysyvämpiin rakenteisiin suositeltavampaa olisi käyttää esimerkiksi valmiita metallipintaisia seinäelementtejä, jotka on tarkoitettu kestämaan kosteita olosuhteita. Hankkeessa tutkittiin kasvattamon ilmaa FTIR-spektroskopiamentauksilla sekä toukkahuoneen toimiessa täydellä kapasiteetilla että pienellä volyyymilla, ja molemmissa mittauksissa ilmassa havaittiin kohonneita formaldehydipitoisuuksia, joiden lähteeksi epäiltiin seinärakenteiden kostuneita rakennuslevyjä.

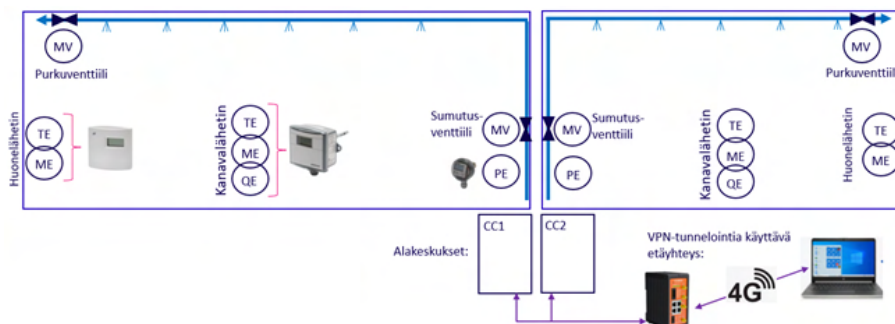
## OLOSUHTEIDEN HALLINTA

Mustasotilaskärpäsen kasvattaminen edellyttää sopivia olosuhteita. Niiden menestykselliseen lisääntymiseen vaatii lämpimän ja kostean ilman sekä tietynlaisen valaistuksen. Oikeanlainen valaistus on erityisen tärkeää parittelun onnistumiselle ja sopiva lämpötila sekä ilmankosteus muna- ja kotelovaiheiden kannalta.

Kasvatustiloihin suunniteltiin ja rakennettiin etävalvottava ja -ohjattava olosuhdehallinta, joka perustui ohjelmoitaviin logiikoihin. Automaattikalla ohjattiin

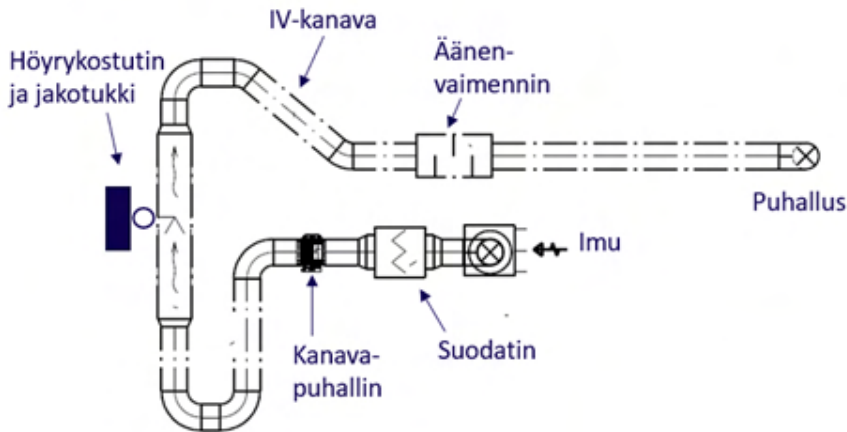
ja valvottiin mm. kasvatushuoneiden lämpötilaa, ilmankosteutta ja aikuiskasvattamossa paritteluvalojen (EVO Conversion Systems, JM GREEN Black Soldier Fly Breeding LED 150W) toimintaa. Olosuhdehallintaan liitettiin kattava määrä mittauksia: kasvatustiloissa mitattiin mm. lämpötilaa, ilman suhteellista kosteutta sekä hiilidioksidipitoisuutta useista mittauspisteistä. Osaa näistä mittauksista käytettiin olosuhteiden säätämiseen ja osaa ainoastaan seuranta- ja hälytystarkoituksiin. Kasvatustiloilla oli yhteinen operointipaneeli, mutta omat erilliset alakeskukset. Järjestelmää pystyttiin seuraamaan ja operoimaan etänä VPN-yhteydellä ja lisäksi järjestelmän modeemi lähetti automaattisesti tekstiviestihälytykset kasvattamotyöntekijöiden puhelimiin tietyistä poikkeamista, kuten liian matalasta lämpötilasta tai ilmankosteudesta. Järjestelmän asetuksia, kuten lämpötilan asetusarvoa tai paritteluvalojen aikaohjelmaa, oli mahdollista muuttaa paikallista operointipaneelia tai etäyhteyttä käyttämällä. Myös kaikki keskeiset mittausrvo sekä hälytykset olivat nähtävissä operointipaneelista tai etäyhteydellä.

Kosteudenhallinnassa kokeiltiin ensin yksinkertaista onttokartiosuuttimin perustuvaa vesijohtoverkoston paineella toimivaa järjestelmää, jossa sumutusta ohjattiin magneettiventtiileillä (kuvio 1). Tässä menetelmässä ongelmaksi muodostui pisaroiden heikko sekoittuminen ilmaan ja jossain määrin myös suutinten tukkeutuminen. Osittain matalasta huonekorkeudesta ja osittain suutinten luontaisesta toimintaperiaatteesta johtuen osa sumutetusta vedestä päätyi lätäköiksi tilan lattialle ja tasopinnoille. Ongelmaa pahensi se, että kasvattamon tehokas ilmanvaihto vaati kohtuullisen suuren vesimäärän tuottamista tilaan aikayksikköä kohden, jotta ilman suhteellinen kosteus saatiin säilymään riittävän korkealla tasolla myös talvikaudella. Laskelmien perusteella arvioitiin, että kostutusjärjestelmän tulee tuottaa enimmillään noin 3–4 kg/h vettä huoneilmaan, jotta kosteus pysyy riittävällä tasolla myös talvella. Talvipakkasilla ulkoilman kosteussisältö on pieni ja tämän seurauksena kasvatushuoneissa 25–30 asteiseksi lämmitetty ilma on suorastaan rutikuivaa jo matalatehoisellakin ilmanvaihdolla, ellei tilassa ole tehokasta kostutusta.



Kuvio 1. Alkuperäinen ontokartiosuuttimiin ja magneettiventileihin perustuva kostutusjärjestelmä.

Ottokartiosuuttimiin ja magneettiventileihin perustuvassa järjestelmässä havaittujen ongelmien vuoksi selvitettiin erilaisia menetelmiä ilmankosteuden hallintaan. Näistä tarkasteltiin tarkemmin erityisesti korkeapainesumutusta ja höyrykostutinta. Tilojen mittasuhteiden ja siellä olevien esteiden, mm. lentohäkkien, vuoksi valinta kallistui höyrykostuttimeen ja erilliseen kiertoilmakoneeseen (kuvio 2). Kiertoilmakoneella tavoiteltiin kosteuden jakamisen lisäksi mahdollisimman tasaisia olosuhteita myös lämpötilajakauman suhteen kasvatustilassa. Kosteus tuotettiin höyrykostuttimella suoraan kiertoilmakoneesta kasvatushuoneeseen johtavaan ilmanjakokanavaan, josta se levisi tasaisesti ympäri kasvatushuonetta. Sopivalla höyrykostuttimella saadaan tuotettua varsin tasainen ja korkea suhteellinen kosteus, mutta sitä käytettäessä on hyvä muistaa menetelmän tilaa lämmittävä vaikutus, jolla saattaa olla merkitystä kesäajan lämpötilanhallinnalle.



Kuvio 2. Hörykostuttimeen ja kiertoilmakoneeseen perustuva kostutusjärjestelmä.

Lämmitys toteutettiin tavanomaisilla sähkötoimisilla lämmityspattereilla, joita ohjattiin tilan lämpötilamittausten perusteella. Tämä oli kokonaisuuden kannalta hyvä ja kustannustehokas ratkaisu väliaikaiseen kasvattamoon, jossa oli jo olemassa ilmanvaihtojärjestelmä ja mahdollisuudet energiatehokkaampiin ratkaisuihin olivat rajalliset. Pysyväisluonteisessa käytössä lämmityksen energiatehokkuus tulee huomioida paremmin ja selvittää soveltuvat lämmöntalteenoton ratkaisut. Suositeltavaa onkin käyttää asiantuntevaa LVI(A)-suunnittelijaa jo kasvattamon suunnittelun alkuvaiheessa, jotta saavutetaan optimaaliset sisäolosuhteet mahdollisimman energiatehokkaasti.

## AIKUISKASVATUS

Aikuiskasvatus on mustasotilaskärpäsen tuotannossa kriittisin ja vaativin vaihe. Parittelun ja muninnan onnistuminen sekä munien kuoriutuminen ja selviäminen viiden päivän ikäisiksi pikkutoukiksi vaativat niin oikeanlaisia olosuhteita kuin tarkkaa ja huolellista käsittelyä. EntoTek-hankkeen yhtenä tavoitteena olikin parantaa aikuiskasvatuksen tuloksellisuutta ja toimintavarmuutta teknologiaa hyödyntäen sekä kehittämällä toimintatapoja ja työrutiineja tuottavammiksi.

Aikuisten kärpästen kasvatus tapahtui lento- eli valohäkeissä (kuva 1), jotka teetettiin paikallisessa ompelimossa. Häkkien koko oli 100 cm x 100 cm

x 100 cm, eli ne olivat tilavuudeltaan 1 m<sup>3</sup>. Ensimmäiset häkit valmistettiin jäykähköstä hyönteisverkosta, mutta myöhemmin siirryttiin käyttämään pehmeämpää verkkokangasta, joka kesti paremmin konepesua ja oli helpommin käsiteltävissä myös pesun jälkeen kosteana. Häkit kiinnitettiin nauhoilla samankokoiseen, puurimoista valmistettuun kehikkoon (kuva 2), jolloin häkkikangas oli helppo irrottaa kehikosta pesua varten. Hankkeen kuluessa kehikoiden alle lisättiin renkaat häkkien siirtelyn helpottamiseksi sekä teräsverkko tukevoittamaan rakennetta. Teräsverkkoon myös voitiin kiinnittää häkin ulkopuolelle tuleva houkutusliuos ja juoma-astia, mikä helpotti häkkien siivoamista ja päivittäistä hoitoa, kun suurin osa huoltotoimista voitiin tehdä häkin ulkopuolelta. Lentohäkit sijoitettiin kasvattamossa pöytien päälle sopivalle työkorkeudelle kasvattamohenkilöstön työergonomian parantamiseksi.



Kuva 1. Valohäkit sijoitettiin pöydille oikean työskentelykorkeuden saamiseksi. (Kuva: Henna Pitkänen)



Kuva 2. Lentohäkin kehikko. (Kuva: Sami Virtanen)

Munankeräiminä käytettiin ohuista puulistoista koottuja keräimiä (kuva 3). Muitakin vaihtoehtoja, kuten pahvista valmistettuja keräimiä (kuva 4) kokeiltiin, mutta puiset keräimet osoittautuivat toimivimmiksi. Munamassa oli niistä helppo kerätä lastan tai veitsen avulla, keräimet oli helppo pitää puhtaina ja kärpäset munivat niihin mielellään. Kerätystä munamassasta punnittiin laboratoriovaakaalla tarvittava määrä muniä jatkokasvatukseen. Jatkokasvatus toteutettiin muovisissa karkkilaatikoissa alkurehussa (kuva 5), joihin punnittiin 0,3 g muniä/laatikko. Alkurehuna käytettiin seosta, jossa oli possunrehua, vehnänleseettä, vettä, hiivaa ja sokeria. Alkukasvatuksesta pikkutoukat siirrettiin varsinaisiin kasvatuslaatikoihin 5–7 päivän ikäisinä.



Kuva 3. Munankeräimet valmistettiin ohuista puulistoista kiinnittämällä kaksi listaa toisiinsa kuminauhoilla. Keräimien pinnoilla näkyy munamassaa. (Kuva: Niina Koivisto)



Kuva 4. Pahvista valmistettuja munankeräimiä. (Kuva: Sami Virtanen)



Kuva 5. Pikkutoukkia alkurehussa. (Kuva: Henna Pitkänen)

Paritteluvalot ajastettiin palamaan kasvattamohenkilökunnan työaikojen ulkopuolella, millä vältettiin työntekijöiden altistumista UV-säteilylle. Tämä myös helpotti häkkien sisällä tapahtuvaa työskentelyä, kuten munien keräämistä, sillä kärpäset pysyivät paremmin aloillaan paritteluvalojen ollessa pimeinä.



Kasvatushuoneissa oli paritteluvalojen lisäksi työskentelyvaloina normaalit loisteputkivalaisimet.

Hankkeen aikana aikuiskasvatus ja munantuotanto saatiin toimimaan luotettavasti ja varmasti. Lentohäkkien kehitystyö auttoi vähentämään lentävien kärpästen karkailua ja munintaa esimerkiksi häkkien saumoihin. Myös paritteluvalojen tarkan suuntaamisen havaittiin vähentävän munintaa väriin paikkoihin. Häkkien alle asennetut renkaat osoittautuivat toimivaksi ratkaisuksi ja mahdollistivat häkkien siirtelyn pöydillä ja kiertävän kasvatusmallin, jossa vanhimmat kärpäset siirtyivät aina uuden häkin täytyessä lähemmäs kasvattamon ovea. Näin kasvattamossa pystyttiin pitämään jatkuvasti eri-ikäisiä ja eri kehitysvaiheessa olevia kärpäsiä ja munantuotanto saatiin tasaiseksi.

Kasvatuksessa kiinnitettiin paljon huomiota työhygieniaan ja kasvattamon puhtauteen. Lentohäkit pestiin pesukoneessa jokaisen kärpäserän jälkeen ja toukkalaatikot sekä pikkutoukkien kasvatusasiat pestiin jokaisen käytön jälkeen suurkeittiöön tarkoitettulla astianpesukoneella. Kasvattamon pöytätasot ja lattiat puhdistettiin useita kertoja viikossa. Lattioiden puhdistukseen käytettiin ajoittain lattianpesukonetta. Mustasotilaskärpästen kasvatuksessa hajuilta ja lialta ei voi täysin välttyä, mutta jatkuvalla siisteyden ja puhtauden ylläpidolla työhygienia saatiin kuitenkin hyvälle tasolle.

## TOUKKAKASVATUS

Hankkeessa kartoitettiin ja pohdittiin useita vaihtoehtoja perinteiselle laatikko-kasvatusmallille toukkien kasvatuksessa, mutta edullista ja varmatoimista vaihtoehtoa ei löydetty. Hankkeessa kasvatusmäärät olivat melko pieniä, joten toukkakasvatus, laatikoiden täyttö, siirtely ja tyhjennys onnistui hyvin käsi-työnä. Isossa teollisen mittakaavan tuotannossa työvaiheiden automatisointi lienee välttämätöntä ja siihen onkin jo markkinoilla kaupallisia ratkaisuja.

Kasvatuslaatikkoina käytettiin pinottavia Beekenkampin laatikoita (BSF Breeding box), jotka olivat kooltaan 600 mm x 400 mm x 190 mm. Laatikot pinottiin rullakoihin mm. liikuttelun helpottamiseksi (kuva 6). Perusrehuna toukkakasvatuksessa käytettiin pääosin possunrehu-leseseosta, yhteensä noin 3 kg / laatikko veteen sekoitettuna (vettä noin 6 kg). 5–7 päivän ikäiset toukat lisättiin turvotettuun rehuseokseen jäljellä olevan alkurehunsa kanssa alkukasvatusrasiasta (kuva 7). Jokaiseen kasvatuslaatikkoon käytettiin 0,3 grammasta munia kasvatettuja pikkutoukkia.



Kuva 6. Kasvatuslaatikot pinottiin rullakoihin siirtelyn helpottamiseksi. (Kuva: Niina Koivisto)



Kuva 7. Pikkutoukat lisättiin kasvatuslaatikkoon rehun päälle alkurehussa. (Kuva: Sami Virtanen)

Toukkien kasvatus 5–7 päivän ikäisistä esikotelovaiheeseen kesti pääsääntöisesti noin kymmenen päivää. Tämän jälkeen toukat, joita ei käytetty aikuiskasvatukseen, lopetettiin pakastamalla. Koska hankkeessa ei ollut suunniteltuja toimenpiteitä toukkamassan tai frassin jatkojalostukseen, sekä pakastetut toukat että pakastamalla inaktivoitu frassi toimitettiin hävitettäväksi paikalliseen jätehuolto-yhtiöön.

# BIOMASSOJEN KÄSITTELY MUSTASOTILASKÄRPÄSEN TOUKKIEN AVULLA

Tiina Siimekselä

Mustasotilaskärpäsen toukkien on useissa tutkimuksissa havaittu kykenevän hyödyntämään ravintonaan hyvin monenlaisia orgaanisia massoja. Jamkin ja VTT:n yhteisessä VinsectS-hankkeessa (2018–2019) tutkittiin mm. toukkien kykyä hyödyntää erilliskerättyä biojätettä sekä catering-jätettä, ja tulosten mukaan toukat kasvoivat näillä yhtä hyvin tai jopa paremmin kuin verrokkina käytetyllä kananrehulla. Lainsäädäntö estää tällä hetkellä jätteeksi luokiteltujen ainesten käytön toukkien rehuna riippumatta siitä, mikä toukkien loppukäyttö on. EntoTek-hankkeessa testattiin koeluonteisesti yli kolmenkymmenen (30) erilaisen biomassan käsittelyä mustasotilaskärpäsen toukkien avulla. Suurin osa testatuista materiaaleista oli rehukelpoisia, mutta joukossa oli myös jätteiksi luokiteltavia aineita, kuten yhdyskuntajätevesilietettä, biokaasulaitoksen mädätettä, lihanleikkujätettä ja lantaa.

Hyönteiskasvattamo mitoitettiin rakennusvaiheessa mahdollistamaan jatkuvatoiminen hyönteiskasvatus ja tuotantokapasiteetti, jolla voitiin käsitellä noin 1 tonni biomassaa viikossa. Kasvatuksessa sovellettiin perinteistä laatikkokasvatusta, koska edullista ja varmatoimista korvaavaa vaihtoehtoa ei löytynyt. Kasvatuslaatikkoina käytettiin Beekenkampin laatikoita (BSF Breeding box), jotka olivat kooltaan 600 mm x 400 mm x 190 mm. Kasvatuslaatikot täytettiin käsin.

Tuotantoa testattiin täydellä kapasiteetilla noin kolmen viikon ajan 1.6.–20.6.2022. Täyden kapasiteetin testeissä toukkien rehuna, toisin sanoen käsiteltävänä biomassana, käytettiin perunankuorimon ja leipomoiden sivuvirtoja seoksena, josta noin  $\frac{3}{4}$  oli perunankuorimon sivuvirtaa ja noin neljännes leipomosivuvirtaa (kuva 1). Sekoitussuhde vaihteli jonkun verran kuorimosivuvirran märkyuden mukaan, sillä kuorintaprosessissa käytettävä vesi laskeutui kuljetuskontin pohjalle, jolloin alempaa otettu kuorimosivuvirta oli vetisempää ja vaati enemmän kuiva-ainetta leipomosivuvirrasta toukille sopivan kosteuden varmistamiseksi.



Kuva 1. Biomassan käsittelykokeissa massana käytettiin perunankuorimon ja leipomoiden sivuvirroista tehtyä seosta. (Kuva: Niina Koivisto)

Testaus toteutettiin jatkuvatoimisena. Käytännössä kasvattamoon syötettiin kahden viikon ajan viitenä päivänä viikossa (arkipäivisin) 200 kg biomassaa jaettuna laatikoihin, n. 11 kg/laatikko. Biomassaan laitettiin 5–7 päivän ikäiset pikkutoukat. Kasvattamossa oli kokeen aikana kerrallaan enimmillään noin 1600 kg biomassaa, sillä toukat olivat käsitelleet ensimmäiset biomassaerät jo toisen testausviikon alkupuolella. Keskimääräinen käsittelyaika oli noin 10 päivää, jonka jälkeen laatikossa ei ollut enää käsiteltävää biomassaa ja toukat olivat valmiita seulottaviksi. Toukat lopetettiin ja frassi inaktivoitiin pakastuskontissa, joka vuokrattiin koetta varten. Testissä käytetystä biomassaseoksesta noin 60 % (600 kg/tn) poistui vetenä, toukkamassaa saatiin noin 19 % (190 kg/tn) ja frassia jäi noin 21 % (210 kg/tn). Seulomisen ajankohdalla havaittiin olevan suuri merkitys saadun toukkamassan määrään ja laatuun. Jos seulonta jäi liian myöhäiseksi ja toukat olivat ehtineet syödä kaiken saatavilla olevan ravinnon, niiden paino alkoi nopeasti laskea ja kitiinin osuus painosta nousta.

Täyden kapasiteetin kokeessa havaittiin, että vaikka toukkakasvattamon pinta-ala olisi mahdollistanut isommankin biomassamäärän käsittelyn ja kas-

vatuslaatikot pystyttiin asettelemaan tilaan melko väljästi, tilan ilmanvaihto ei ollut riittävä ja ilman hiilidioksidipitoisuus (CO<sub>2</sub>) kohosi terveydelle haitalliseksi. Myös rikkidioksidin (SO<sub>2</sub>) pitoisuus ilmassa ylitti työhygieeniset raja-arvot, samoin hetkellisesti, lähinnä massan kääntöön liittyen, typpidioksidi (NO<sub>2</sub>). Riittämätön ilmanvaihto oli paitsi työntekijöiden työturvallisuuteen liittyvä ongelma, se myös aiheutti toukkakuolemia varsinkin keskimmaisissa laatikoissa, joissa ilman vaihtuvuus oli heikointa.

Jatkuvatoimisessa kokeessa havaittiin, että kasvattamoon ensin ja viimeisenä laitetut toukat tarvitsisivat erilaiset olosuhteet kosteuden, lämmön ja ilmanvaihdon suhteen. Koska kaikki toukkaerät olivat kuitenkin samassa tilassa, jouduttiin olosuhteiden hallinnassa tekemään kompromisseja, jotka saattoivat heikentää toukkien kasvua ja massankäsittelyn tehokkuutta. Pannostoimisesti toimiva kasvattamo mahdollistaisi paremmin oikeanlaisten olosuhteiden ylläpidon toukkaerän kehitysvaiheen mukaisesti. Jatkuvatoimisessa kasvatuksessa tilan osastointi parantaisi olosuhdehallinnan toimivuutta.

EntoTek-hankkeessa tutkittiin myös yhdyskuntajätevesilietteen käsittelyä mustasotilaskärpäsen toukkien avulla. Tulosten perusteella mustasotilaskärpäsen toukat pystyvät käsittelemään jätevesilietettä ja vähentävät joidenkin taudinaiheuttajien ja raskasmetallien määrää lietteessä. Toukat pystyivät käsittelemään liete-leivänmuru ja liete-biojäte-seoksia paremmin, kuin pelkkää lietettä. Tutkimus tehtiin opinnäytetyönä ja sen tarkempi kuvaus ja tulokset ovat katsottavissa opinnäytetöiden julkaisuportaalista: [theseus.fi](https://theseus.fi) > Jyväskylän ammattikorkeakoulu > Puhdistamolietteen käsittely mustasotilaskärpäsen toukilla ja sen vaikutus lietteen ominaisuuksiin. Atso Mehto.

Erilaisten biomassojen hyödynnettävyyttä mustasotilaskärpäsen toukilla kokeiltiin ja testattiin koetoimintaluvalla noin vuoden ajan 1.11.2021–21.10.2022. Toukat pystyivät käsittelemään ja hyödyntämään lähes kaikkia testattuja materiaaleja, mutta parhaiten toimivat pääsääntöisesti erilaiset kahden tai useamman biomassan seokset. Samaa materiaalia sisältävien kasvatuslaatikoiden välillä havaittiin eroja esimerkiksi toukkien karkailussa (kuva 2) ja käsittelemättä jäävän materiaalin määrässä. Osittain erot todennäköisesti johtuivat testattujen materiaalien heterogeenisuudesta, jolloin rinnakkaisten laatikoiden sisältöä ei saatu täysin yhteneväisiksi (esimerkiksi biojäte). Lisäksi täsmälleen saman toukkamäärän mittausta laatikoihin oli jonkinlainen haaste, varsinkin täyden kapasiteetin kokeessa. Toisaalta laatikoiden välillä saattoi olla eroja silloinkin, kun käytetty rehu, rehun määrä ja rehu-vesi-suhde oli täysin sama, esimerkiksi teollista possunrehua käytettäessä. Ulkoiset tekijät, kuten ilmanvaihdon kohdistuminen eri tavoin kasvatushuoneen tai laatikkopinon eri osiin tai lämmönlähteen läheisyys selittänevät osan laatikkokohtaisista

eroista, mutta osa eroista vaikutti täysin sattumanvaraisilta. Hankkeen aikana toukkakasvatuksessa edistyi kuitenkin paljon, toukkien poistuminen kasvatuslaatikoista väheni merkittävästi ja massankäsittely saatiin stabiloitua eniten testatuilla materiaaleilla.



Kuva 2. Toukkien karkaamista kasvatuslaatikoista esiintyi ajoittain, mutta hankkeen kuluessa vähenevässä määrin. (Kuva: Henna Pitkänen)

Toukkakasvatuksen ja biomassan käsittelyn suurimmat haasteet hankkeen tulosten perusteella vaikuttivat olevan käsiteltävän biomassan saaminen riittävän homogeeniseksi tasalaatuisen toukkatuotannon aikaansaamiseksi sekä toukkakasvattamon ilmanlaadun varmistaminen, etenkin isomman mittakaavan tuotannossa. Tehokkaan ilmanvaihdon ja riittävän ilmankosteuden varmistaminen on haastavaa, sillä ilmanvaihto pääsääntöisesti samalla kuivattaa ilmaa. Tällöin myös toukkien rehu/käsiteltävä biomassa kuivuu helposti ja sen pinnalle tulee kova kuori, jota toukat eivät pysty käsittelemään. Teollisen mittakaavan tuotannossa yksi tärkeimmistä kysymyksistä lieneekin toukkakasvatuksen ilmanvaihdon suunnittelu toukkakuolemien ehkäisemiseksi ja toukkaamon työntekijöiden työturvallisuuden varmistamiseksi.



# MUSTASOTILASKÄRPÄSTEN VAIKUTUS PATOGEENISIIN MIKROBEIHIN

Hanna-Leena Alakomi

Entotek-projektin aikana tutkittiin taudinaiheuttajabakteerien vaikutus mustasotilaskärpäsiin kontrolloiduissa olosuhteissa VTT:n patogeenilaboratoriossa (bioturvaluokan 2 laboratorio) Otaniemessä. Kokeissa keskitytään *salmonella*-bakteeriin, jota pidetään suurimpina mikrobiologisena riskinä rehu- ja ruokatuotteissa. Rehuna koesarjoissa käytettiin kaupallista rehua, joka saastutettiin *salmonella*-bakteerilla. Esikokeessa selvitettiin kasvatusolosuhteiden sopivuus ja varsinaisessa koesarjassa tutkitaan kaksi salmonellan saastutustasoa (matala ja alhainen). Vertailunäytteenä käytettiin saastuttamatonta rehua. Mustasotilaskärpäsen toukat ja rehu saatiin Jamkista. Koeasetelma tehtiin pienen mittakaavan kasvatusrasioissa, joissa kukin käsittely (200 toukkaa/rasia) oli omassa erillisessä laatikossa ristikontaminaation estämiseksi.

Koesarjassa seurattiin salmonella määrää seitsemän vuorokauden kasvatuksen aikana alku- ja lopputilanteessa sekä kasvatusalustassa että toukissa. *Salmonella* määritettiin sekä rehusta että toukista. Koesarjan aikana toukkien kasvatuslämpötila oli 25 °C.

Viljelypohjaisilla menetelmillä kokeissa ei pystytty todentamaan mustasotilaskärpästen vähentävän salmonellan määrää siirrostetuissa näytteissä. Kokeissa havaittiin, että mustasotilaskärpäsillä on korkea taustamikrobiston määrä. Tämän projektin aikana ei tutkittu tuotanto-olosuhteiden vaikutusta salmonellan määrään. Rehun kosteus ja kasvatuslämpötila vaikuttavat myös taudinaiheuttajien kykyyn selviytyä. Aiemmissä tutkimuksissa (De Smet ym. 2021) on raportoitu vastaavasti, ettei siirrostuskokeissa salmonella tuhoutunut kuuden päivän aikana kananrehu -kasvatusalustassa. Aiemmissä ruotsalaisissa tutkimuksissa on raportoitu, että mustasotilaskärpäset vähensivät salmonellaa rehussa (Gabler 2014). Lisätutkimusta tarvitaan vielä, jotta saataisiin näyttöä mustasotilaskärpästen kyvystä vähentää taudinaiheuttajien määrää kasvatusalustassaan.

Rehun mikrobiologisen ja kemiallisen laadun tulee olla hyvä, jotta lopputuotteen laatu on myös hyvä. Kasvatuksissa käytetyn rehun tulee olla salmonella vapaata.

## LÄHTEET

De Smet, J., Vandeweyer, D., Van Moll, L., Lachi, D., Van Campenhout, L. 2021. Dynamics of *Salmonella* inoculated during rearing of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*). Food Research International. Viitattu 17.8.2023. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110692>

Gabler, F. 2014. Using Black Soldier Fly for waste recycling and effective *Salmonella* spp. reduction. Project Thesis. Sveriges lantbruksuniversitet. Swedish University of Agricultural Sciences. Department of Energy and Technology. Viitattu 17.8.2023. <https://www.slu.se/globalassets/ew/org/inst/energy-technology/research/environmental-engineering/kretsloppsteknik/cecilia-l/gabler-2014-using-black-soldier-fly-for-waste-recycling-and-effective-salmonella-spp.-reduction.pdf>

# TYÖTURVALLISUUS HYÖNTEISTUOTANNOSSA

Tiina Siimekselä

Hyönteistuotannon työturvallisuudesta ja toimintaympäristön työturvallisuuteen vaikuttavista riskeistä ei ole (Suomessa) vielä paljonkaan kokemusta eikä tietoa. Hyönteiskasvattamossa työskentelyä koskevat luonnollisesti samat työsuojeluun ja turvalliseen työympäristöön liittyvät lait ja säännökset kuin mitä tahansa työympäristöä, mutta alan erityispiirteet, kuten altistusriski mahdollisille hyönteisistä peräisin oleville mikrobeille, kaipaavat lisää selvityksiä ja tietoa. Lisäksi eri hyönteislajien aiheuttamat riskit ovat todennäköisesti hie- man erilaisia mm. lajityypillisten olosuhteiden eroavaisuuksien vuoksi. Tässä tekstissä käsitellään työturvallisuutta mustasotilaskärpäsen kasvatuksessa, eikä kaikkia havaintoja voi yleistää muihin hyönteislajeihin.

## RISKIEN ARVIOINTI

EntoTek-hankkeessa perustetun hyönteiskasvattamon työturvallisuuteen liit- tyviä riskejä arvioitiin työsuojelun toimintaohjelman mukaisesti käyttäen apuna tarkoitusta varten kehitettyä riskienhallintasovellusta. Riskien arvioinnissa työympäristöstä tunnistettiin sekä fysikaalisia että kemiallisia vaaratekijöitä, fyysisen ja psykososiaalisen kuormituksen riskejä sekä tapaturmariskit. Lisäksi tunnistettiin joitakin hallinta ja toimintatapoihin liittyviä riskejä, kuten puutteita hätäpoistumisteiden merkinnöissä, jotka korjattiin pikaisesti niiden tultua ilmi.

Tunnistetut fysikaaliset ja kemialliset vaaratekijät liittyivät itse hyönteisten kasvatukseen sekä niiden ruokinnassa käytettäviin materiaaleihin. Fysikaali- sista vaaratekijöistä merkittävimpänä tunnistettiin kasvatushuoneissa vallitse- vat olosuhteet; korkeahko työskentelylämpötila ja suuri ilmankosteus, joiden yhteisvaikutus kuormittaa elimistöä. Oireita voivat olla päänsärky, väsymys ja huonovointisuus. Riskin suuruus arvioitiin kohtalaiseksi, sillä vaikka sen todennäköisyys olikin suuri, vaikutusten arvioitiin jäävän vähäisiksi. Kasvatta- mon olosuhteet ovat vaaratekijä yleensäkin hyönteisten kasvatuksessa, sillä pääosa kasvatettavista hyönteisistä vaatii melko korkean lämpötilan ja ilman- kosteuden. Sama riski on olemassa esimerkiksi kasvihuonetyöskentelyssä, jossa työskentelyajat lämpimässä ja kosteassa ilmassa ovat huomattavasti pidempiä kuin yleisesti ottaen hyönteiskasvatuksessa. Hyönteistuotannossa olosuhteisiin liittyvää riskiä on melko helppo hallita työn tauottamisella ja työn organisoinnilla siten, että kasvatushuoneissa suoritetaan vain pakolliset, hyön-

teisten hoitoon välittömästi liittyvät toimenpiteet ja kaikki muu työskentely tehdään muissa tiloissa.

Hyönteistuotannossa tunnistettuja kemiallisia vaaratekijöitä on vaikeampi hallita ja myös vaikeampi mitata ja todentaa. Hankkeen kasvattamossa riskeiksi tunnistettiin bakteerit ja virukset, hiiva- ja homesienet, alkueläimet, loiset ja hyönteiset, pölyt ja kuidut, sekä kaasut. Näistä merkittäviksi vaaratekijöiksi arvioitiin toukkien seulonnasta ja rehujen käsittelystä ilmaan nouseva pöly, mikä voi ärsyttää hengitysteitä ja silmiä sekä hiiva- ja homesienten riski, mikä liittyi pääasiassa hankkeessa testattujen erilaisten jäte- ja sivuvirtamateriaalien käsittelyyn. Itse toukkaprosessissa muodostuvat kaasut, esimerkiksi ammoniakki, hiilidioksidi ja metaani arvioitiin kohtalaiseksi vaaratekijäksi. Näistä varsinkin hiilidioksidin korkea pitoisuus ilmassa voi aiheuttaa väsymystä, päänsärkyä ja huonoa oloa, pahimmillaan tajunnanmenetyksen ja jopa kuoleman, mutta riskin toteutumista ei pidetty kovin todennäköisenä. Kohtalaisen riskin tekijöiksi arvioitiin myös kasvatushuoneiden rakenteiden mahdollisesta kostumisesta aiheutuva homesienten riski sekä hankkeessa testattujen materiaalien käsittelyyn liittyen virusten, bakteerien, alkueläinten, loisten ja hyönteisten aiheuttamat riskit.

Fyysisen kuormittumisen riskit arvioitiin kohtalaisiksi tai melko vähäisiksi. Ne liittyivät pääasiassa työskentelyasentoihin ja erilaisiin nostamista tai kantamista vaativiin työtehtäviin sekä työskentelytasojen puutteeseen. Fyysisen kuormittumisen riskejä saatiin merkittävästi pienennettyä hankkeen kuluessa mm. hankkimalla työskentelytasoja ja apuvälineitä taakkojen kuljettamiseen. Erilaisia tapaturman vaaroja tunnistettiin useita, mm. liukastuminen, kompastuminen ja putoaminen, esineiden putoaminen ja kaatuminen, erilaiset haavat ja sähköiskut. Niiden riskit arvioitiin kuitenkin vähäisiksi tai korkeintaan kohtalaisiksi ja kohtalaisen helpoksi välttää työn suunnittelulla, yleisellä järjestyksen ja siisteyden ylläpidolla sekä käyttämällä oikeita suojaimia ja turvatoimia esimerkiksi koneita käytettäessä. Myöskään psykososiaalisia vaaratekijöitä ei pidetty merkittävänä riskeinä hankkeen hyönteiskasvatuksessa, vaikkakin niitä tunnistettiin. Yksintyöskentelyn, työtehtäviin sisältyvän vastuun ja valppaana olon kasvattamon etävalvonnasta tulevien hälytysten takia arvioitiin aiheuttavan kohtuullisen riskin kasvattamon työntekijöille.

## RISKIEN TOTEUTUMINEN JA TYÖSUOJELUTOIMENPITEET

Kemiallisten vaaratekijöiden aiheuttamat riskit osoittautuivat hankkeen kuluessa olevan merkittävien työterveyteen vaikuttava asia mustasotilaskärpästen kasvatuksessa. Toukkaprosessissa muodostuvat kaasut arvioitiin riskien kartoituksessa vain kohtalaiseksi vaaratekijäksi, mutta käytännössä

ne muodostivat merkittävän riskin työntekijöiden terveydelle. Varsinkin täydellä kapasiteetilla tehdyn kokeen aikana, kun toukkakasvattamossa oli muutamien viikkojen ajan tavallista enemmän toukka- ja muuta biomassaa, useiden kaasujen pitoisuudet kasvatushuoneen ilmassa ylittivät terveellisen työskentelyn raja-arvot (HTP 15 min ja HTP 8 h). Riskiarviosta poiketen ammoniakki ( $\text{NH}_3$ )- ja metaanipitoisuudet ( $\text{CH}_4$ ) eivät kohonneet merkittävästi. Sen sijaan hiilidioksidin ( $\text{CO}_2$ ) pitoisuus kohosi terveydelle haitallisiin lukemiin ja niin ikään rikkidioksidin ( $\text{SO}_2$ ) pitoisuus ylitti työhygieeniset raja-arvot. Myös typpidioksidin ( $\text{NO}_2$ ) määrä ilmassa ylitti työhygieeniset raja-arvot hetkittäin, lähinnä massan kääntöön liittyen. Ennakoimaton havainto oli formaldehydin kohonnut pitoisuus, joka ylitti toukkien kasvatushuoneessa työhygieeniset raja-arvot täyden kapasiteetin kokeen aikana. Ilman sisältämiä kaasuja mitattiin FTIR-analysaattorilla useista mittauspisteistä.

Toukkaprosessin kemiallisten vaaratekijöiden tarkemmaksi selvittämiseksi FTIR-mittaukset uusittiin myöhemmin toukka- ja aikuiskasvatuksen ollessa hankkeen normaalissa mittakaavassa. Uusintamittauksissa hiilidioksidin ja typpidioksidin työhygieeniset raja-arvot eivät ylittyneet, mutta varsinkin hiilidioksidipitoisuuden havaittiin kohoavan toukkalaatikoiden massaa kääntäessä. Myös rikkidioksidin pitoisuudet olivat aiempaa mittausta selvästi alhaisemmat, mutta edelleen korkeita vastaten lähes täsmälleen työhygieenistä raja-arvoa (HTP 15 min). Rikkidioksidin lähteeksi epäiltiin aluksi hallitilan taustakuormitusta, mutta tarkemmissa mittauksissa lähteeksi havaittiin itse toukkaprosessi. Rikkidioksidipitoisuudet olivat korkealla varsinkin kotelovaiheessa olevia hyönteisiä sisältävien kasvatuslaatikoiden lähellä. Myös formaldehydin pitoisuus ilmassa oli uusintamittauksissa pienempi kuin täyden kapasiteetin kokeen aikana tehdyissä mittauksissa, mutta ylitti toukkakasvattamossa edelleen sekä HTP 15 min että HTP 8 h työhygieeniset raja-arvot. Koska formaldehydiä käytetään yleisesti liima-aineena rakennuslevyissä, on todennäköistä, että kohonneiden pitoisuuksien lähde oli toukkien kasvatushuoneen kostuneissa seinälevyissä. Mielenkiintoinen havainto oli, että toukkahuoneesta puhtaaseen toimistotilaan siirretyt toukat nostivat myös muutoin formaldehydistä vapaan tilan formaldehydipitoisuutta joksikin aikaa.

Täyden kapasiteetin kokeen aikana (kesällä) kasvattamon työntekijöiden työturvallisuutta pyrittiin parantamaan ja turvaamaan jatkuvalla tuuletuksella ja pitämällä hallin isoja nosto-ovia auki työpäivien ajan. Lisäksi toukkakasvattamossa pyrittiin työskentelemään niin vähän kuin mahdollista, käytännössä huoneeseen vain vietiin tai sieltä haettiin toukkarullakoita. Huoneen ovi pidettiin avoimena siellä työskennellessä ja siellä työskenneltiin vain työpareina siten, että toinen valvoi huoneen ulkopuolella. Työntekijät käyttivät hengityssuojaimia sekä

tarpeen mukaan, esimerkiksi lietekokeen aikana, myös kertakäyttöhaalareita, kumikäsineitä ja silmäsuojuksia (Kuva 1). Työntekijöillä oli myös mahdollisuus pitää taukoja aina halutessaan tai tuntiessaan siihen tarvetta. Mikäli työskentely kyseisissä olosuhteissa olisi ollut pidempiaikaista, lisätoimet, kuten paineilmasuojainten käyttö, työntekijöiden suojaamiseksi olisivat olleet välttämättömiä.



Kuva 1. Lietekoetta tehdessä työntekijät pukeutuivat suojahaalareihin, silmä- ja hengityssuojaimiin sekä käyttivät paksumpia kumikäsineitä. Lietekokeen ajan hallin ja kasvattamon likaiset alueet oli merkitty lattioihin huomioteipillä. (Kuva: Niina Koivisto)

Koska myös uusintamittauksissa havaittiin hiilidioksidin ja rikkioksidin (sekä formaldehydin) osalta kohonneita pitoisuuksia kasvatushuoneissa, kasvattamotyöntekijöiden suojaamista parannettiin ottamalla käyttöön moottoroidut hengityssuojaimet (Kuvat 2 ja 3). Ne suodattavat ilman kaasut ja epäpuhtaudet pois hengitysilmaasta ja puhaltavat suodatettua ilmaa maskin sisään hengitettäväksi. Myös mustasotilaskärpäsille ominaiset hajuhaitat suodattuvat. Korkeissa hiilidioksidipitoisuuksissa työskennellessä em. kaltaiset suojaimet eivät ole käyttökelpoisia, sillä ne kierrättävät tilan ilmaa suodattimen läpi eivätkä lisää hengitysilman happipitoisuutta. Mikäli riskinä on HTP arvot ylittävä hiilidioksidipitoisuus, työntekijät on suojattava paineilmasuojaimilla, jotka on varustettu ilmasäiliöillä. Lisäksi henkilökohtaisen, mukana kuljetettavan hiilidioksidivaroittimen käyttö on perusteltua.

Hyönteistuotantoon liittyy melko pitkälti samoja työturvallisuusriskejä ja -näkökohtia kuin muihinkin alkutuotannon työtehtäviin. Lisää tutkimustietoa kaivataan hyönteistuotannon ominaispiirteistä, esimerkiksi hyönteisprosesseissa muodostuvista kaasuihin, jotta alalle voitaisiin laatia ohjeita työsuojeluun ja työturvallisuuteen. Hengitystiesairaudet ja erilaiset allergiat lienevät todennäköisimmät hyönteisalan ammattitaudit tulevaisuudessa. Vaikka – ja varsinkin – kun tietoa eri riskitekijöistä ei vielä juurikaan ole, on suositeltavaa noudattaa varovaisuusperiaatetta ja suojautua mieluummin liikaa kuin liian vähän.



Kuva 2. Kasvattamossa työskennellessä käytettiin moottoroituja, kasvot peittäviä henkilösuojaimia. Kuvassa ovat Henna Pitkänen ja Maiju Kurtti. (Kuva: Henna Pitkänen)



Kuva 3. Henkilönsuojaimen moottori ja suodattimet kiinnitettiin vyötärölle. (Kuva: Maiju Kurtti)



# HYÖNTEISTEOLLISUUDEN NYKYTILA JA TULEVAISUUDEN NÄKYMÄT: KESTÄVÄ PROTEIINI LEMMIKEILLE JA KALANKASVATUKSEEN

Tuure Parviainen

Hyönteisteollisuuden nykytila on lupaava, ja tulevaisuudessa sen kehitysnäkymät ovat valoisat. Hyönteisten tuotanto tarjoaa kestävä ja tehokkaan ratkaisun kasvavaan globaaliin rehu- ja lemmikkieläinten proteiinien kysyntään. Globaalisti alan yrityksiin on sijoitettu yli 1500 miljoonaa euroa viime vuosina. Suomessa yrityksemme on yksi alan pioneereista.



Kuva 1. Järvenpään valmistuva kaupallisen mittakaavan tuotantolaitos, havainnekuva.

Aloitamme kaupallisen mittakaavan tuotantolaitoksen rakentamisen Järvenpäässä tänä vuonna. Tämä on merkittävä askel kohti tavoitettamme, jossa hyönteisteollisuudella on tärkeä rooli Suomen rehu- ja lemmikinruokateollisuudessa. Arvioiden mukaan hyönteistuotteiden globaali markkina-arvo vuonna 2030 tulee olemaan noin 96 miljardia euroa.

Seuraavan viiden vuoden aikana meidän on keskityttävä teollisuuden kehittämiseen ja skaalautumiseen. Tavoitteenamme on lisätä tuotantoa, optimoida tuotantoprosesseja sekä kouluttaa henkilöstöä. Tulemme investoimaan hyönteisteollisuuteen merkittävästi; tavoitteenamme on rakentaa Eurooppaan useita tehtaita vuoteen 2030 mennessä.

Hyönteisten ravintoarvon, jalostuksen ja käyttömahdollisuuksien niin rehuna kuin lemmikinruokana sekä kuluttajakäyttämisen osalta on tärkeää tehdä enemmän tutkimusta ja kehitystyötä. Myös koulutus ja tietämyksen kasvattaminen ovat avainasemassa hyönteisteollisuuden kehityksessä. Tulevaisuudessa tarvitaan hyönteistalouden osaajia, jotka ymmärtävät niin tuotannossa tarvittavaa biologiaa kuin teknologiaakin. On tärkeää, että kuluttajat ymmärtävät hyönteisten tarjoamat mahdollisuudet rehuna ja lemmikkieläinten ruokana. Lisäksi meidän on myös työskenneltävä lainsäädännön parissa, jotta hyönteisten käyttöä voitaisiin edistää tehokkaammin.

Lopuksi haluan korostaa, että hyönteisteollisuus ei ole vain liiketoimintamahdollisuus. Se on myös vastuullinen ja kestävä tapa vastata maailmanlaajuisesti kasvavaan proteiinin kysyntään. Meidän tehtävämme on johtaa tätä muutosta ja osoittaa, että Suomi on tämän tärkeän teollisuudenalan edelläkävijä.

## Kirjoittajat

# KIRJOITTAJAT

**Tiina Siimekselä,**

projektipäällikkö, Jyväskylän ammattikorkeakoulu, Biotalousinstituutti

**Teppo Flyktman,**

lehtori, Jyväskylän ammattikorkeakoulu, IT, Institute of Information Technology

**Atso Mehto,**

agrologi (AMK)

**Tuure Parviainen,**

CEO, Volare Oy

**Hanna-Leena Alakomi,**

Research Team Leader, VTT Technical Research Centre of Finland Ltd

# Jyväskylän ammattikorkeakoulun julkaisut.



Avoimet julkaisumme tekevät tunnetuksi  
Jamkin laajaa ja monialaista  
opetus-, tutkimus- ja kehittämistyötä.

▶ [jamk.fi/julkaisut](https://jamk.fi/julkaisut)

**jamk** | Jyväskylän  
ammattikorkeakoulu



## Jyväskylän ammattikorkeakoulu

PL 207, 40101 Jyväskylä  
Rajakatu 35,  
40200 Jyväskylä  
Puh. +358 20 743 8100  
Fax. +358 14 449 9694

**jamk.fi**

# Jamkin julkaisut tutkittua tietoa sinulle.

Hyönteistalouden kiinnostavuus on lisäänty-  
mässä varsinkin rehualan uusien proteiinin-  
lähteiden tarpeen myötä. Mustasotilaskär-  
pänen on tällä hetkellä lajeista maailman-  
laajuisesti kiinnostavin sen monipuolisten  
hyödyntämismahdollisuuksien vuoksi. Ento-  
Tek -hankkeessa etsittiin ratkaisuja hyön-  
teisan kasvuun ja kannattavuuden esteisiin  
ja tutkittiin mustasotilaskärpäsen toukkien  
kykyä käsitellä erilaisia sivuvirtaperäisiä bio-  
massoja sekä toukkakäsittelyn vaikutusta  
biomassan patogeeneihin.

Tämä julkaisu on katsaus mustasotilas-  
kärpäsestä ja sen kyvystä hyödyntää erilai-  
sia biomassoja. Julkaisussa kerrotaan myös  
hyönteiskasvattamon perustamisesta hank-  
keessa ja hyönteiskasvattamon työturvalli-  
suuteen liittyvistä seikoista.

Julkaisu on tuotettu Euroopan aluekehi-  
tysrahaston rahoittaman EntoTek – Hyönteis-  
tuotannon teknologian kehittäminen ja au-  
tomatisointi -hankkeen (2020–2023) loppu-  
julkaisuna.

ISBN 978-951-830-708-5

**jamk**