



Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 69/2025

Toimintamalli maatilamittakaavan hyönteistuotantoon

Maija Karhapää ja Pertti Marnila (toim.)



Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 69/2025

Toimintamalli maatilamittakaavan hyönteistuotantoon

Maija Karhapää ja Pertti Marnila (toim.)

**Maija Karhapää, Henna Pitkänen, Miika Tapio, Susanne Heiska, Tiina Siimekselä,
Vesa Harjunmaa, Jukka Markkanen, Tomasz Stefański, Tuija Peltomäki,
Jouni Virta, Taina Jalava, Hanna Aromaa ja Pertti Marnila**



Euroopan maaseudun
kehittämisen maatalousrahasto:
Eurooppa investoi maaseutualueisiin



Elinkeino-, liikenne- ja
ympäristökeskus

Viittausohje:

Karhapää, M., Pitkänen, H., Tapio, M., Heiska, S., Siimekselä, T., Harjunmaa, V., Markkanen J., Stefański, T., Peltomäki, T., Virta, J., Jalava, T., Aromaa, H. & Marnila, P. 2025. Toimintamalli maatilamittakaavan hyönteistuotantoon. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 69/2025. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 65 s.

Viittausohje yksittäisiin artikkeleihin:

Tapio, M., Karhapää, M., Pitkänen, H., Marnila, P., Harjunmaa, V., Siimekselä, T. 2025. Tuotantoprosessi ja teknologia. Teoksessa: Karhapää, M., Pitkänen, H., Tapio, M., Heiska, S., Siimekselä, T., Harjunmaa, V., Markkanen J., Stefański, T., Peltomäki, T., Virta, J., Jalava, T., Aromaa, H. & Marnila, P. Toimintamalli maatilamittakaavan hyönteistuotantoon. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 69/2025. Luonnonvarakeskus. Helsinki. ss. 14–22.

Maija Karhapää ORCID ID, <https://orcid.org/0000-0003-4007-7259>



ISBN 978-952-419-101-2 (Verkkójulkaisu)

ISSN 2342-7639 (Verkkójulkaisu)

URN <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-419-101-2>

Copyright: Luonnonvarakeskus (Luke)

Toimittajat: Maija Karhapää ja Pertti Marnila

Kirjoittajat: Maija Karhapää, Henna Pitkänen, Miika Tapio, Susanne Heiska, Tiina Siimekselä, Vesa Harjunmaa, Jukka Markkanen, Tomasz Stefański, Tuija Peltomäki, Jouni Virta, Taina Jalava, Hanna Aromaa ja Pertti Marnila.

Julkaisija ja kustantaja: Luonnonvarakeskus (Luke), Helsinki 2025

Julkaisu vuosi: 2025

Kannen kuva: Henna Pitkänen

Tiivistelmä

Maija Karhapää¹, Henna Pitkänen², Miika Tapio¹, Susanne Heiska¹, Tiina Siimekselä², Vesa Harjunmaa³, Jukka Markkanen¹ ja Pertti Marnila¹

¹ Luonnonvarakeskus Luke, Latokartanonkaari 9, 00790 Helsinki, etunimi.sukunimi@luke.fi

² Jyväskylän ammattikorkeakoulu, Biotalousinstituutti, Tuumalantie 17, 43130 Tarvaala, etunimi.sukunimi@jamk.fi

³ Kaistin Tila Oy, Uudenniityntie 147, 32700 Huittinen, vesa@kaistintila.fi

Kanalle lähitoukkaa -hankkeessa kehitettiin maatilamittakaavaan soveltuva, skaalautuva ja helposti yleistettävä toimintamalli hyönteisproteiinin tuottamiseksi siipikarjan ja sikojen rehuksi. Tavoitteena oli parantaa valkuaisomavaraisuutta, vähentää riippuvuutta tuontiraaka-aineista sekä vahvistaa huoltovarmuutta ja kriisinkestävyttä erityisesti luonnonmukaisessa tuotannossa, jossa soijan ja kalajauhon saatavuus ja hinta muodostavat keskeisiä haasteita. Hyönteistuotannon sivuvirtana syntyvä toukanpuru eli frassi on lisäksi arvokasta luomukelpoista lannoitetta, jonka tuotanto edistää ravinneomavaraisuutta.

Hankkeessa keskityttiin mustasotilaskärpäsen (*Hermetia illucens*, MSK) kasvatukseen, koska laji on taudinkestävä ja pystyy hyödyntämään tehokkaasti kasvintuotannon sivuvirtoja. Sivuvirtojen käyttö parantaa olennaisesti tuotannon ympäristökestävyyttä. Hankkeessa kehitettiin maataloille soveltuva toimintamalli, jossa esitellään tekniset ratkaisut kasvatukseen, seulontaan ja toukkamassan prosessointiin. Lisäksi laadittiin yksityiskohtaiset ohjeet tuotannon aloittamiseen ja skaalaukseen sekä kehitettiin laskentatyökalu tuotannon kannattavuuden arviointiin erilaisissa skenaarioissa. Työkalu sisältää useita osa-alueita, kuten kasvualustan koostumuslaskurin, biologisen tehokkuuden mallinnuksen ja investointien kannattavuusarviot.

Hyönteiskasvattamon suunnittelussa tulee painottaa riskien ja laadun hallintaa, elintarviketurvallisuutta, hygieniää, tuotantotilojen puhdistettavuutta ja työturvallisuutta. Tilat, materiaalit ja ilmanvaihto on hyvä mitoittaa siten, että ne tukevat sekä tuotannon laatua että henkilöstön terveyttä. Erityistä huomiota kannattaa kiinnittää allergia- ja pölyaltistuksen hallintaan, lämpö- ja kosteustekijöihin sekä tapaturmien ehkäisyyn. Frassin eli toukkapurun käyttöön lannoitteena laadittiin ohjeistus sivutuoteasetuksen mukaisesta käsittelystä.

Asiasanat: Hyönteisproteiini, hyönteisrehu, toimintamalli, tuotantoprosessi, mustasotilaskärpäsen, luomutuotanto, substraatti, frassi, tuotantolaitos, kannattavuuden arviointi

Abstract

Maija Karhapää¹, Henna Pitkänen², Miika Tapio¹, Susanne Heiska¹, Tiina Siimekselä², Vesa Harjunmaa³, Jukka Markkanen¹ and Pertti Marnila¹

¹ Natural Resources Institute Finland (Luke), Latokartanonkaari 9, 00790 Helsinki, firstname.surname@luke.fi

² Jamk University of Applied Sciences, Institute of Bioeconomy, Tuumalantie 17, 43130 Tarvaala, firstname.surname@jamk.fi

³ Kaistin Tila Oy, Uudenniityntie 147, 32700 Huittinen, vesa@kaistintila.fi

The aim of the project was to develop an operation model for insect protein production. The model describes a scalable, farm-level insect protein production process suitable for use in pig and poultry feed. The goal was to improve protein self-sufficiency, reduce dependence on imported raw materials, and strengthen food security and resilience, especially in organic production, where the availability and cost of soybean and fishmeal pose major challenges. A by-product of insect production, the larvae frass, also serves as a valuable organic fertilizer and contributes to nutrient self-sufficiency.

The project focused on the production of black soldier fly (*Hermetia illucens*, BSF) larvae due to the species' resistance to disease and its efficiency in utilizing plant-based side streams. Using side-stream based substrates is crucial for environmental sustainability. The farm-adapted operational model includes technical solutions for rearing, harvesting and processing. Detailed guidelines were created to support the initiation and upscaling of production, along with a calculation tool to assess economic feasibility under various scenarios. The tool includes subcomponents such as a substrate composition calculator, a model for biological efficiency, and an investment profitability assessment.

In the design of the insect rearing facility, particular emphasis should be placed on hygiene, cleanability, and occupational safety following principles of food safety. Facility layout, materials, and ventilation systems must be designed to ensure product quality and safeguard worker health. Special attention should be paid to managing exposure to allergens and dust, as well as temperature, humidity, and accident prevention. Guidelines were also developed for the handling of frass as a fertilizer in accordance with the EU Animal By-Products Regulation.

Key words: Insect protein, insect feed, operating model, production process, black soldier fly, organic farming, substrate, frass, production facility, economic feasibility

Sisällys

1. Johdanto	7
2. Mustasotilaskärpäsen kasvatusta.....	8
2.1. Elinkierto	8
2.2. Munien kerääminen.....	9
2.3. Munasta pikkutoukaksi.....	11
2.4. Toukkien massakasvatusta rehuksi.....	11
2.5. Biomassojen käsittely toukkien avulla.....	12
3. Tuotantoprosessi ja teknologia.....	14
3.1. Hyönteisten ruokintaan käytettävät rehuaineet	15
3.2. Pikkutoukkien käsittely.....	16
3.3. Kasvatustaatit ja laatikoiden käsittely	17
3.4. Kasvatustilan talotekniikka	18
3.4.1. Osastointi	18
3.4.2. Sisätilojen jakaminen hygieniatasojen mukaan	19
3.5. Seulominen	21
3.6. EU määräykset toukkien lopettamisesta.....	21
4. Toukkamassan prosessointi.....	23
4.1. Rasvan vähentäminen.....	24
4.2. Märkäprosessointi.....	24
4.3. Kuivaprosessointi.....	24
4.4. Toukanpurun jatkokäsittely ja pakkaus.....	25
5. Mustasotilaskärpäsen toukkien substraatti.....	26
5.1. Esikasvatuksessa käytettävä substraatti.....	27
5.2. Toukkakasvatustaiheen substraatti.....	27
5.2.1. Substraatin kosteus.....	28
5.2.2. Substraatin ravintoainepitoisuus	29
5.2.3. Hiilen ja typen suhde ja proteiini/hiilihydraatti suhde	29
5.2.4. Proteiinipitoisuus	29
5.2.5. Rasvapitoisuus.....	30
5.2.6. Suolapitoisuus ja happamuus.....	31

6. Substraatin koostaminen sivuvirroista – kokemuksia Kanalle lähitoukkaa -hankkeesta	32
6.1. Rehuresepti, saannot ja pilot-prosessien tuotokset.....	32
6.2. Toukkien alkuprosessointi.....	35
6.3. Frassin ravinnepitoisuudet	36
6.4. Toukkien kasvualustan toimivuus	37
6.5. Seulonta ja seulonnan ajankohta	39
7. Toukkien kasvatusprosessin hallinta	42
8. Laskentatyökalut.....	44
9. Tuotantolaitoksen suunnittelu	45
9.1. Tuotantorakennus	46
9.2. Rakennusmateriaalit	47
9.3. Kulkuväylät ja ovet	48
9.4. Materiaalivirtojen ja henkilöstön kulun suunnittelu.....	49
10. Työturvallisuus hyönteisiä käsittelevässä tuotantolaitoksessa	50
10.1. Työskentelyolosuhteet.....	50
10.2. Allergeenit	51
10.3. Ilmanvaihto	51
10.4. Henkilösuojaimet.....	52
10.5. Ergonomia	53
10.6. Tapaturmat ja niiden ehkäisy.....	54
10.7. Laitteet ja koneet	54
10.8. Häätätilanteet	55
10.9. Henkilöstötilat.....	55
Viitteet.....	56

1. Johdanto

Pertti Marnila, Vesa Harjunmaa, Miika Tapio, Maija Karhapää, Henna Pitkänen, Tiina Siimekselä ja Susanne Heiska

Hyönteistuotanto on tunnustettu lupaavaksi mahdollisuudeksi rehun lisävalkuaisen tuottamiseen paikallisia kasvinviljelyn sivuvirtoja hyödyntämällä. Tarve eläinperäisen lisävalkuaisen saannille omalta tilalta tai lähialueelta on tällä hetkellä erityisen suuri luomutuotannossa kala-jauhon ja luomusoijan kalleuden ja saannin vaikeuden takia. Tämän julkaisun tarkoitus on tarjota tietopaketti ja toimintamalli mustasotilaskärpäsien (*Hermetia illucens*, jatkossa MSK) tuottamiseen maatilalla. MSK on tuottoisa, helppohoitoinen, taudinkestävä ja se on yksi niistä kahdeksasta hyönteislajista, joista valmistettua käsiteltyä eläinvalkuaista (PAP = processed animal protein) saa käyttää vesiviljelyeläinten, sikojen ja siipikarjan ruokinnassa. Muiden tuotantoeläinten kuin märehäntien ruokinnassa voi hyönteisiä käyttää elävänäkin (Ruokavirasto 2024a).

Toimintamalli kehitettiin Kanalle lähitoukkaa EIP-hankkeessa (EIP = European Innovation Partnership). Hankkeen tavoite oli edesauttaa kotieläintuotannon rehun lisävalkuaisomavaraisuuden, huoltovarmuuden ja kriisinkestävyysparantamista paikallisen hyönteistuotannon avulla. Toimintamallissa kuvataan tämänhetkisiä tuotantoteknologioita ja menetelmiä MSK:n tuottamiseen käyttäen toukkien ravintona paikallisia kasvintuotannon sivuvirtoja. Osana työtä kehitettiin laskentatyökalut tilakohtaisten MSK-tuotannon kannattavuuslaskelmien laatimiseen. Laskentatyökalut auttavat arvioimaan, millä edellytyksillä tuotanto olisi taloudellisesti kannattavaa tilanteiden ja kustannustekijöiden muuttuessa. Näin voidaan arvioida tulevaisuuden mahdollisia muutostekijöitä, joiden vallitessa hyönteisproteiinin tuotanto on kannattavaa tai jopa välttämätöntä.

Toimintamalli sisältää linkkejä muihin tietolähteisiin. Teknologia ja tuotantomenetelmät ovat parhaillaan voimakkaassa muutostilassa, ja markkinoille tulee koko ajan uusia laitteistoja. Tekstissä on linkkejä tarvikkeita, ratkaisuja ja laitteistoja toimittavien yritysten kotisivuille sekä alaa koskevaan kirjallisuuteen. Katsaukset lainsäädäntöön ja linkit Ruokaviraston ja IPIFF:in (Eurooppalaisten hyönteistuottajien etujärjestö) sivustoille auttavat lukijaa löytämään tietoa uudesta vauhdilla kehittyvästä tuotannon alasta.

Toivomme, että tämä julkaisu tulee lisäämään tietoisuutta ja kiinnostusta MSK-toukan paikalliseen tuotantoon rehuksi ja että tuotannon aloittamisen kynnys madaltuisi, mutta odotukset toiminnan taloudellisesta kannattavuudesta olisivat silti realistiset. Saatavilla oleva suomenkielinen tieto helpottaa tuotannon aloittamista ja skaalaamista. Toisaalta välttää paremmin ryhtymästä tuotantoon, jos se ei ole vallitsevissa olosuhteissa kannattavaa tai riittävät edellytykset puuttuvat.

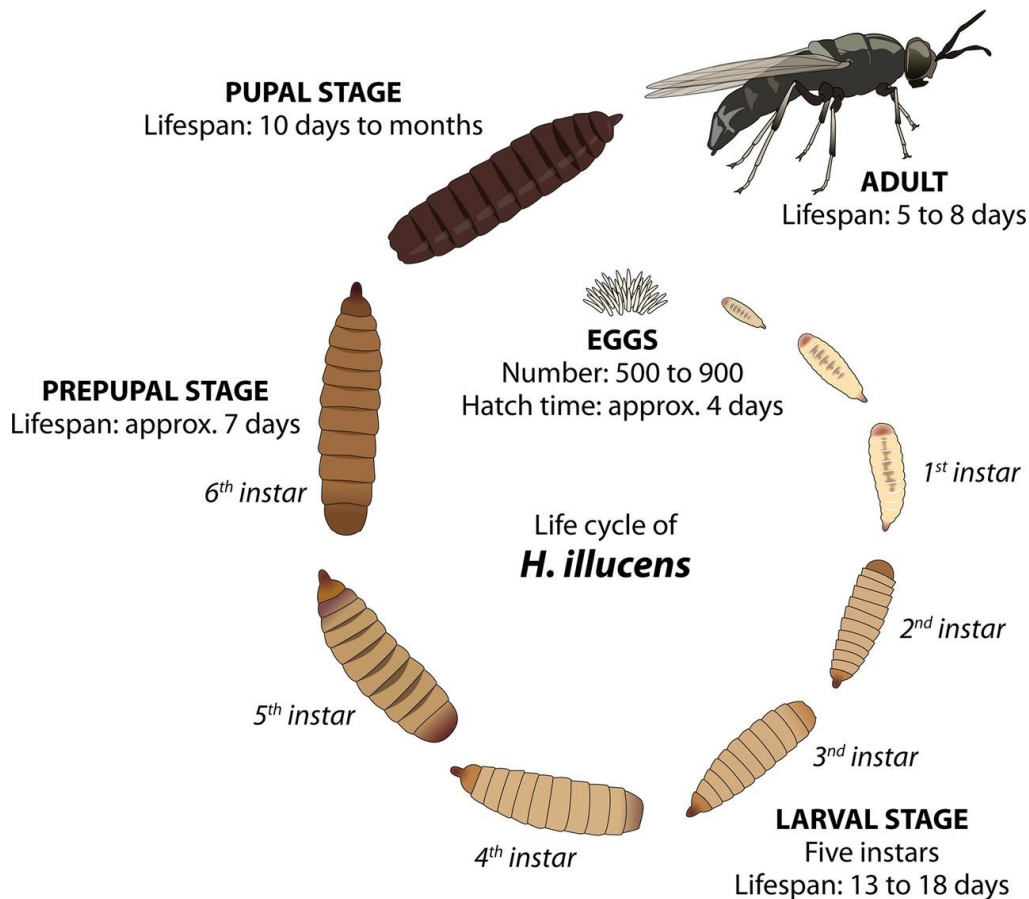
MSK-toukan kasvatuksen sivuvirtojen hyödyntäminen parantaisi myös lannoiteomavaraisuutta. Toukkapuru eli frassi on toukankasvatuksen sivutuote, joka on sellaisenaan korkealaatuista, luomukelpoista fosfori- ja typpilannoitetta. Hyönteisproteiinin tuotanto loisi maaseudulle yhteistyöverkostoja, joissa kasvintuotannon sivuvirrat saataisiin käyttöön hyönteisten ruokintaan ja hyönteistuotannon sivuvirrat lannoitekäyttöön. Jos MSK-toukan kasvatusta yleistyy Suomessa, kuten toivomme, se parantaa suomalaisen kotieläintuotannon valkuaisomavaraisuutta ja eläinten hyvinvointia.

2. Mustasotilaskärpäsen kasvatatus

Henna Pitkänen, Miika Tapio, Maija Karhapää, Tiina Siimekselä, Susanne Heiska, Vesa Harjunmaa ja Pertti Marnila

2.1. Elinkierto

Mustasotilaskärpäsen toukkaa kasvatetaan rehun raaka-aineeksi. Mustasotilaskärpäsen elinkierto (Kuva 1) alkaa aikuisen naaraan munimasta munasta, joka on hyvin pieni, väritön ja läpikuultava. Naaras voi munia jopa 500–1 000 munaa (Kuva 2). Yhdessä grammassa munamassaa on noin 35–40 tuhatta munaa, joista tyypillisesti n. 40–45 % kuoriutuu. Naaras munii munat kasaksi ravinnoksi kelpaavan kostean hajoamistilassa olevan biomassan lähelle. Munan kypsyminen ja toukan kuoriutuminen tapahtuu tyypillisesti 3–4 vrk:n kuluessa, jonka jälkeen vastakuoriutuneet hyvin pienet alle 1 mm pituiset toukat vaeltavat rehumassaan. Hyvissä olosuhteissa kehitys kuoriutumisesta täysikasvuiseksi n. 2 cm pitkäksi ja 6 mm leveäksi toukaksi ja edelleen esikotelovaiheeseen tapahtuu 8–15 vuorokaudessa. Toukkien kasvunopeus ja lopullinen koko riippuu kuitenkin paljolti niiden saaman rehun (kasvualusta, substraatti) laadusta ja muista olosuhteista, kuten kosteudesta ja lämpötilasta, jonka optimi on 25–32 °C. Kasvun aikana toukat luovat nahkansa 5 kertaa. Kuudennen nahanluonnin yhteydessä ne menevät esikotelovaiheeseen, jolloin niihin on kertynyt runsaasti rasvaa ja proteiinia. Usein rehun tuotannossa seulonta ja prosessointi rehuksi ajoitetaan hiukan ennen esikotelovaihetta tai heti esikotelovaiheen alkuun (De Smet ym. 2018).



Kuva 1. Mustasotilaskärpäsen elinkierto (Kuva: De Smet ym. 2018).

Lisäykseen eli munantuotantoon otetut esikotelovaiheeseen ehtineet toukat tyhjentävät suolensa ja poistuvat ravintomassasta koteloitumaan. Kotelovaihe kestää tyypillisesti n. 2 viikkoa, jonka jälkeen aikuiset kärpäset kuoriutuvat kotelostaan. Aikuiset kärpäset eivät juurikaan syö mitään vaan parittelevat, munivat ja 5–9 päivän jälkeen muodonmuutoksesta (metamorfoosi) ne kuolevat. Koska aikuiset MSK:t eivät syö, ne eivät aktiivisesti hakeudu elintarvikkeisiin eivätkä siksi helposti levitä haittamikrobeja. Toukista ja niiden elinkierrosta saa lisää tietoa tutustumalla esim. Manna Insect Oy:n tai Insectschool -sivustoihin (Mannainsect, Insectschool).

2.2. Munien kerääminen

MSK:n kasvatuksessa maatilalla on mahdollista tuottaa tarvittavat kärpäsen munat omasta aikuiskasvatuksesta ja siirtää ne esikasvatukseen alkurehuun. Hyödyllisiä ja hauskoja linkkejä aiheesta löytyy mm. youtubesta hakusanalla black soldier fly. Mustasotilaskärpäsen kasvatuksesta on saatavilla myös englanninkielisiä kasvatusoppaita esim. Dortmans ym. (2017, 2021) ja Park (2016).



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

Aikuiskasvatuksessa rehun tulee riittää pidempään kuin toukkakasvatuksessa, ja sen laadun (ravintoarvot, kosteus, rakenne) sekä tasaisuuden merkitys korostuu. Aikuiskasvatuksessa kärpäset ja munat ovat kosketuksessa ilman kanssa (Kuva 2), joten lämpötilan ja ilman kosteuden hallinta on tarkempaa kuin toukkien massakasvatukseen tähtäävässä tuotannossa. Biomassan käsittelyssä ja toukkakasvatuksessa toukat ovat rehussa, joka pitää ne kosteana ja tasaa lämpöolosuhteita ilman kosteuden tai lämpötilan vaihdellessa.

Myös kanalle lähitoukkaa -hankkeessa tuotettiin omasta aikuiskasvatuksesta munat ja edelleen niistä kuoriutuvat pikkutoukat. Kerätyt munat oli tyypillisesti munittu kahden vuorokauden aikana. Noin 0,3 g (sis. ~ 10 000 munaa) munia punnittiin (Kuva 3) ja laitettiin alkurehun päälle punnituspaperin "lautalle" (Kuva 4).



Kuva 3. Mustasotilaskärpäsen munien punnitseminen. (Kuva: Henna Pitkänen)



Kuva 4. Punnitut munat laitettiin alkukasvatukseen käytetyn rehun pinnalle punnituspaperin päällä. (Kuva: Henna Pitkänen)

Alkukasvatuksen rehu tehtiin n. 25 cm x 25 cm x 15 cm kokoiseen irtokarkkirasioihin sekoittamalla 3 dl Kombi-Nasu possunrehurautaa ja 2 dl vehnäleseraetta viiteen desilitraan 42 °C lämpöistä vettä. Alkurehuun sekoitettiin myös n. 0,8 g sokeria ja 0,025–0,05 g kuivahiivaa. Alkurehuhun annettiin tekeytyä lämpöisessä 27 °C olosuhdehuoneessa peitettynä noin 10–15 minuuttia, jonka jälkeen punnituspaperin päällä olevat munat laitettiin kuohkeutetun alkurehuhun päälle. Rasian päälle laitettiin vielä hengittävä kansi (vain rasian kannen reunat ja väliin käsipaperi, Kuva 5), joka piti kosteuden ja olosuhteet munille tasaisena ja esti ei toivottujen hyönteisten pääsyn rasian sisälle.

Munia ei voi laittaa kuoriutumaan suoraan toukkakasvatusvaiheen kasvatusalustaan, vaan pikkutoukat tulee ensin kasvattaa alkurehussa ennen varsinaista toukkakasvatusta. Jos munat laitetaan suoraan toukkavaiheen kasvatusalustalle, se alkaa nopeasti pilaantumaan ja kuoretumaan, koska pikkutoukat eivät ole vielä riittävän isoja ja tehokkaita hyödyntämään sitä kokonaisuudessaan.



Kuva 5. Alkukasvatusrehua ja munia sisältävän rasian päälle laitettiin hengittävä kansi. (Kuva: Henna Pitkänen)

Munien arvioidaan kuoriutuvan keskimäärin neljän vuorokauden jälkeen muninnasta (Lievens ym. 2021). Kasvatusvuorokausien laskeminen alkaa kuoriutumisesta, mutta usein puhutaan myös vuorokausista munien keräyksen jälkeen. Munia voidaan myös tilata aikuiskasvattajalta, joka tuottaa munia. Hyönteistuotannossa erikoistuminen eri kasvatusvaiheisiin on parhaillaan kehittymässä ja MSK:n muniin erikoistuneita tuottajia alkua Euroopassa olla.

2.3. Munasta pikkutoukaksi

Munista pikkutoukiksi kasvattaminen vaatii hyvin olosuhdehallitut tilat, resurssit ja työpanosta. Kanalle lähitoukkaa -hankkeessa pikkutoukkia kasvatettiin 5–7 vrk ajan 27 °C olosuhdehuoneessa, kunnes ne olivat valmiita varsinaiseen massakasvatukseen. Hyvin esikasvatetut pikkutoukat ovat tasalaatuisia, aktiivisia ja hyvin ravittuja, mikä parantaa jatkokasvatuksen luotettavuutta. Munagrammasta voi kuoriutua jopa 45 000 pikkutoukkaa, ja niistä saadaan noin 2,4 kg proteiinia (Inaturalist). Linkki yhden päivän ikäistä pikkutoukkaa laskevaan toukkalaskuriin löytyy Insect Systems- sivuilta. Pikkutoukkien määrä ja niiden kasvualustan optimointi vaikuttavat merkittävästi kasvuun ja tuotannon tehokkuuteen.

Ennen tuotannon aloittamista kasvattajan on rekisteröidyttävä rehualan toimijaksi ja haettava sivutuoteasetuksen mukainen hyväksyntä (MMM 1/2020, Ruokavirasto 2024b). Kasvatuksen aloittaminen pienimuotoisesti mahdollistaa kokemuksen kartuttamisen, sillä tuotannon tasalaatuisuus ja tehokkuus edellyttävät rehuaineiden tuotantovaikutusten tuntemista ja olosuhdeiden hallintaa.

2.4. Toukkien massakasvatus rehuksi

MSK-toukan massakasvatus aloitetaan 5–7 vuorokauden ikäisillä pikkutoukilla. Toukkien kasvatus rehuksi perustuu tarkasti määriteltyyn kasvualustaan, joka takaa optimaalisen kasvun. Kasvatusprosessiin voidaan käyttää myös sopivaa sivuvirtaa ja noin viikon kasvatuksen jälkeen toukat ovat valmiita prosessoitaviksi rehuaineeksi. Kasvualustan ravintosisältö, rakenne ja kosteus vaikuttavat merkittävästi kasvuun. Kasvatusprosessin tavoitteena on, että rehu on hyödynnetty hiukan ennen esikotelovaihetta (rehun käsittelyaika 5–8 vrk), jolloin toukat ovat

suurimmillaan. Tällöin toukat ovat noin 15 vrk ikäisiä, vaaleita, mutta ne eivät ole vielä esikotelovaiheessa. Toukkien ja frassin tulee olla hyvin seulottavissa erilleen toisistaan. Kun päätaivoite on optimoida toukan tuotanto, kasvatolosuhteet optimoidaan tarkemmin kuin silloin, kun pääpaino on biomassan toukkakäsittelyssä. Tarkinta olosuhdehallinta on munantuotantoon tähtäävässä aikuiskasvatuksessa. Toukanpuru eli frassi hyödynnetään lannoitteena. Frassin käsittelyä koskee mm. sivutuoteasetus (EY N:o 1069/2009), jonka vaatimuksista kerrotaan Ruokaviraston sivuilla (Ruokavirasto 2024e, Frassi lannoitevalmisteena).

Tässä selvityksessä keskitytään MSK-toukan massakasvatukseen ja kasvintuotannon sivuvirtojen käyttöön niiden ravinnoksi, mutta emme käsittele laajemmin aikuisten kärpästen hoitoa ja munantuotantoa. Koko tuotantoketjun kaikkien vaiheiden toteuttaminen itse johtaa näkemyksemme mukaan ainakin maatilamittakaavassa helposti kohtuuttomaan työmäärään ja kestävämpään kustannustasoon. Munia on saatavissa kaupallisesti (esim. <https://www.freezem.com/>) ja tässä toimintamallissa oletuksena on erikoistunut tuotanto, jossa munat ostetaan ja keskitytään toukkien massakasvatukseen. Massakasvatukseen ryhtyvän on kuitenkin syytä perehtyä koko elinkierto.

Tässä selvityksessä ei huomioida mm. koulutus-, hallinnointi-, valvonta- tai kuljetus- ja markkinointikysymyksiä yksityiskohtaisesti. Selvitys keskittyy kasvatukseen, jossa tilalla kasvatetaan munista pientoukka ja se edelleen lähelle esikotelovaihetta, koska tässä vaiheessa muodostuu rehuaineena käytettävä hyönteismassa. Selvitys kuvaa tarjolla olevia ratkaisuja, mutta niitä ei ole testattu tai vertailtu yksityiskohtaisesti.

2.5. Biomassojen käsittely toukkien avulla

Mustasotilaskärpäsen toukkia voidaan käyttää myös monenlaisten orgaanisten massojen käsittelyyn (tekninen käyttö). EntoTek -hankkeessa käsiteltiin biomassoja (Siimekselä 2023) ja Kanalle lähitoukkaa hankkeessa pilotoitiin toukkakasvatusta rehukäyttöön. Käsitteet menevät helposti sekaisin sekä käytännössä, että teoriassa. Toukat käsittelevät biomassan toukkakasvatuksessakin, mutta sillä onko tavoitteena käsitellä biomassaa vai kasvattaa toukkaa, on eroa.

Tekniseen käyttöön kasvatettavia toukkia voitaisiin kasvattaa myös muilla kuin rehukäyttöön sopivilla kasvualustoilla ja näin päästäisiin eroon valikoidusta jätteestä. Teknisellä käytöllä tarkoitetaan toukkien hyödyntämistä esim. liimojen, biopoltoaineiden, muovin korvaajien ja jopa akkuteollisuuden raaka-aineena. Tämä ei kuitenkaan lainsäädännöllisesti ole mahdollista nyt eikä lähitulevaisuudessa, joten toukkakasvatuksella tavoitellaan biomassan käsittelyä enemmän toukkien kasvatusta rehun raaka-aineeksi. Kansainvälisesti aihetta tarkastellessa tulee huomioida, että eri maiden lainsäädännöissä on eroa. Toukkakasvatuksesta jäävä sivuvirta frassi nähdään potentiaalisena lannoitteena tai maanparannusaineena.

Käytännön haasteina ovat lainsäädännön asettamat rajoitukset, taloudellinen kannattavuus ja teknologiset ratkaisut. Tavoitteena on, että biomassa tulee käytettyä kokonaan toukkien ravinnoksi, jolloin biomassa jalostuu ja kevenee (vrt. kompostointi). Biomassan epätasalaatuisuus vaikeuttaa prosessia, joten pikkutoukkia lisätään runsaasti varmistamaan massan käsittely. Biomassan käsittelyaika on yleensä pidempi kuin kasvatettaessa toukkia rehuksi. Biomassan käsittelyssä toukat jäävät usein pieniksi, sillä niitä on paljon suhteessa biomassaan, jonka ravintoarvo ja rakenne voivat olla heikkoja. Ongelmaksi voi muodostua käsiteltävien sivuvirtojen laadun vakiointi eri käsittelyerien välillä. Vaikka kasvualustan rakenteen ja vakioinnin

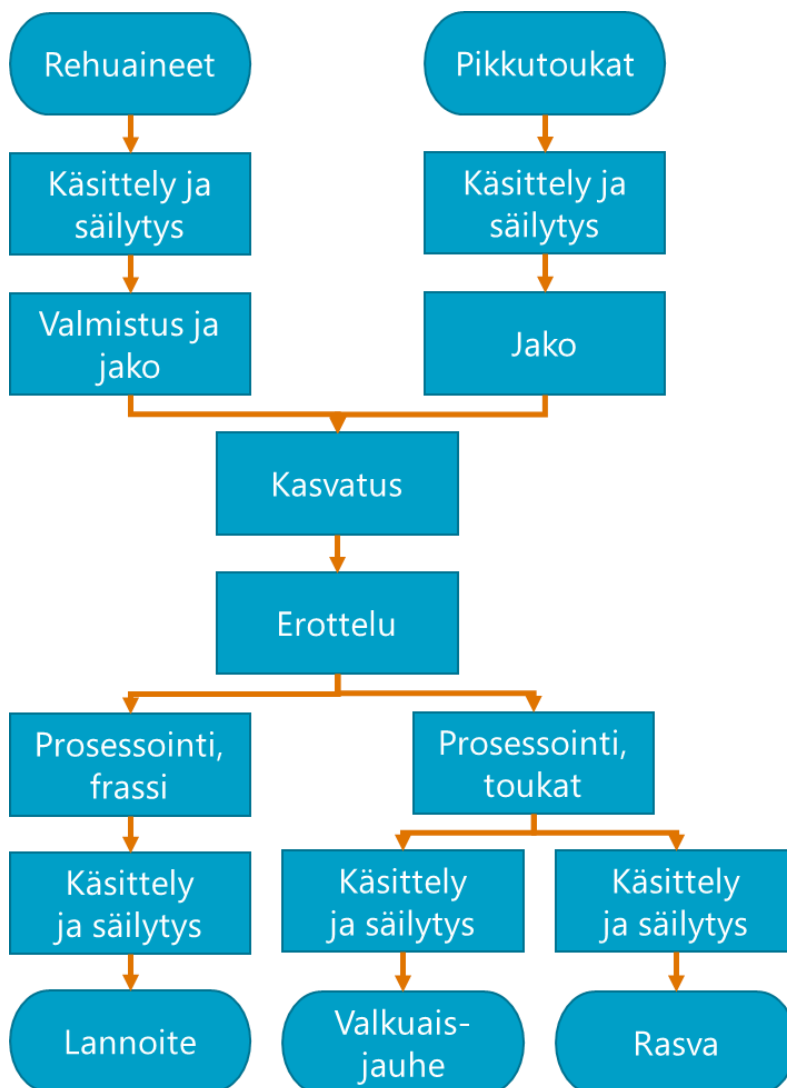
merkitys on keskeinen, sen mittaamiseen ei ole yksiselitteistä menetelmää. Substraatin koostumus, kosteuden imeytyminen ja vakiointi eri tuotantoerissä vaikuttavat toukkatuotokseen ja laatuun. Hygieneninen laatu ja haitta-aineet on otettava huomioon. Joissakin tapauksissa biomassan fermentointi voi parantaa sen säilyvyyttä ja hygieenistä laatua. Toukan ja frassin käyttökohde riippuu toukkien kasvualustana olleen biomassan laadusta.

EU-komissio suhtautuu kielteisesti hyönteisten tekniseen käyttöön. Komission linjauksen mukaan hyönteisten rehuissa saa käyttää vain lainsäädännön sallimia sivuvirtoja, vaikka jokin biojäte voisi olla luonnollinen ja hyvin hyödynnettävissä oleva substraatti. Perusteena on riski, että eläinperäisillä, tuotantoeläinten ruokinnassa kielletyillä sivutuotteilla ruokittujen hyönteisten proteiini päätyisi teknisen käytön sijaan laittomasti rehuketjuun. Lisäksi valvonta olisi komission mukaan liian haastavaa.

3. Tuotantoprosessi ja teknologia

Miika Tapio, Henna Pitkänen, Maija Karhapää, Vesa Harjunmaa, Pertti Marnila, Susanne Heiska, Jukka Markkanen ja Tiina Süimekselä

Toimintamallissa pyritään sijoittamaan toukkien massakasvatuksen prosessit tavanomaiseen eläinten pitoon sopivalle tontille ja tilaan, joka kestää laitteiden, koneiden jne. aiheuttamat ra-
situkset. Eläintiloilla on yleisiä vaatimuksia, ja lähtökohdaksi kannattaa ottaa kanalalle asetetut
vaatimukset. Myös kustannusten arvioinnissa otamme lähtökohdaksi kanaloiden rakennuskul-
lut. Kanaloiden rakennuskulut ovat vähintään luokkaa 350 €/m², mutta rakennusten koot ovat
yleensä tässä esitettyä suurempia. Kustannusten arviointi on kuitenkin vaikea asia, koska se
riippuu suuresti tilojen ja prosessien räätälöinnistä. Siksi lähestymme kustannuksia epäsuoran
arvion kautta. Oletuksena on, että ympäristössä sallitaan eläintuotannolle tyypilliset mahdolli-
set hajuhaivat ja raskaiden koneiden liikkuminen. Oletuksena on myös veden, viemäroinnin ja
sähkön (ml. voimavirta) saatavuus.



Kuva 6. Yksinkertaistettu mustasotilaskärpäsen toukkien kasvatuksen prosessikaavio. (Kaavio: Miika Tapio)

Toukkien massakasvatusprosessin päävaiheet on esitetty kaaviona kuvassa 6. Mustasotilas-kärpäsen toukka hengittää ilmaa ja substraatin rakenne rajoittaa syvyyden, jossa se pystyy elämään. Karkean säännön mukaan yli 7 cm syvyyksissä osa rehusta jää käyttämättä hapettomuuden vuoksi. Toukkatuotantoa rajoittava tekijä on siksi kasvatuspinta-ala. Sen maksimointi tehdään käytännössä kasaamalla matalia kasvatuslaatikoita päällekkäin torneiksi, joita liikutellaan lavoilla tai paleteilla.

Suunnittelussa laskuesimerkkinä voidaan käyttää esim. tilaa, joka tarvitsee kanoille rehun lisävalkuaisena kuivaa MSK:n proteiinia 4 tn kuukaudessa (200 kg per arkipäivä). Koska proteiinia on n. 12 % toukan tuorepainosta, tuoretta toukkaa tarvitaan 1 800 kg/vrk, joka edellyttää kanalle lähitoukkaa hankkeen pilotin tuoton perusteella 500 kpl Beekenkampin (ks. Kuva 7) pinta-alaltaan 0,24 m² kokoa olevaa laatikkoa – täyttöä rehulla, poikasten lisäystä, seulontaa ja pesua kuljetuksineen. Käyttämällä pinta-alaltaan suurempia laatikoita niiden lukumäärä saadaan pienemmäksi – esim. 125:een jos yhden laatikon pinta-ala on n. 1 m², mutta paino muodostuu ongelmaksi.

Jos esimerkkikanalassamme on n. 6 000 kanaa, lisävalkuaisen tuotantoon käytetään vajaat 5 tonnia märkärehua per arkipäivä - riippuen laatikon koosta 125–250 laatikkoa per päivä. Automaatio on välttämätön: hands on -aika on saatava lyhyeksi ja työntekijöiden hartioita säästettävä. Laatikoiden täyttö rehulla, toukkien lisäys, toukkien ja frassin erottelu seulomalla ja laatikoiden pesu on saatava automaattiseksi (esim. ratkaisusta <https://en.schauer-agrotronic.com/insects>).

Tekniset ratkaisut vaikuttavat voimakkaasti tarpeisiin, mutta lähtökohtaisesti olettaen esimerkiksi varsinaisen kasvatusalueen kooksi ~150 m² ja yhdelle neliölle esim. 12 laatikkokerroksessa n. 0,5 miljoonaa toukkaa ja 500 kg rehua, ja kahden viikon kasvatussykli, voidaan käytetyn veden (pääosin pesuvettä) ja sähkön määrä asettaa alustavasti pienen kotitalouden luokkaan (<100 m³ vettä ja <10 kWh energiaa).

3.1. Hyönteisten ruokintaan käytettävät rehuaineet

Rehuaineiden pitkäaikainen varastointi on helppoa kuivana (vesipitoisuus <20 %) tai fermentoituna. Varastointi voidaan tehdä joko tilalla tai varastopalvelun avulla. Hygieniasyistä rehuaineiden kuljetus ja varastointi on pidettävä erillään eläinkasvatustiloista. Irtorehusiilot voivat sijaita ulkona tai rakennuksen sisällä, kunhan täyttöputket vedetään ulkoseinälle. Rehusiilujen hinnat vaihtelevat, uudet 100–200 kuution siilot maksavat 5 000–30 000 euroa riippuen rakenteesta ja varustuksesta (pohjakartiot, kuljettimet jne.). Rahtisekoittajalle varatut rehuaineet varastoidaan tiiviissä, suurilta lämpötilavaihteluilta ja haittaeläimiltä suojatuissa, suljetuissa siiloissa tai tasovarastoissa.

Kuivavarastointia käytettäessä komponenttien prosessointi (esim. jauhatus tai valssaus) voidaan tehdä isoissa erissä joko erillään rehuseoksen muodostamisesta tai yhdessä sen kanssa. Erillään pito säilyttää myöhemmän joustavuuden komponenttien käytössä, mutta vaatii monipuolisemmat säilytystilat. Kuivaratkaisulle on saatavilla valmis kaupallinen ratkaisu ainakin SCHAUER Agrotronic GmbH:n ja VDL Insect Systems:n yhteistyönä kehitettynä (viitattu maaliskuussa 2024, <https://www.schauer-agrotronic.com/fileadmin/Perfect-Insect-Systems-EN-Web.pdf>). Ratkaisu perustuu siiloihin, jotka on varustettu silppuripumpuilla ainesten automaattista kuljetusta varten. Ratkaisuun voidaan liittää automaattinen rehusekoittaja, joka on joustava myös sekoitetun substraatin lämpötilan ja kosteusprosentin suhteen. Rehunjakelu

voidaan tehdä ohjaamalla pumpppausta ihmisvoimin tai hyödyntämällä täysautomaattista rehuannostelijalinjaa.

Erityisesti vähempiarvoisten rehuosien hyödyntämistä voidaan tehostaa valitsemalla aineiden fermentointi. Esim. Science Blog of Black Soldier Fly - EVO Conversion Systems - The Black Soldier Fly Company (evoconsys.com) toukkien substraatti fermentoidaan IBC-säiliöissä sen stabiloinnin ja säilyvyyden vuoksi. Fermentointiprosessissa pH voi laskea 3,2:een, mikä hävittää patogeeneja ja pitää substraatin käyttökelpoisena jopa puoli vuotta.

JM Green (Kiina), Jinjiang Group (Kiina), and EVO Conversion Systems (USA) ovat yhdessä kehittäneet ja hyödyntäneet tapaa ravintolajätteen prosessoinnissa (> 100 tonnia per päivä) (viitattu maaliskuussa 2024, <https://www.evoconsys.com/blog/explanation-of-an-industrial-application-of-black-soldier-fly-converting-food-waste-into-valuable-products>). Kiinassa käytössä olevassa järjestelmässä murskattu jäte ensin desinfioidaan höyrykuumennuksella, ja sitten erotetaan rasva, vesi, kiinteä aine ja haittamateriaalit (muovit jne.). Öljy ja nestejäte käytetään biokaasuprosessissa, ja vain kiinteä jätteä käytetään hyönteistuotannossa sen jälkeen, kun se on probioottisilla mikrobeilla käsitellyn jälkeen fermentoitunut kuutiometrin tankeissa. Hapan (pH ~3,2) rehu on käyttövalmista ja säilyy käytettävänä n. puoli vuotta. Teknologiaan kuuluu myös rehun sekoitus- ja annosteluratkaisu, mikä kuitenkin vaatii mm. raskaiden fermentoitumistankkien siirtelyä piikkikuormaimilla. Siinä rehuerä (600 kg) jaetaan kuuteen suureen kasvatustankkiin kahdessa minuutissa. Fermentointia voidaan hyödyntää mm. ravintoarvoltaan heikompien kasvisjätteen hyödyntämisessä, joissa ongelmia ovat suuri veden ja kuitujen osuus. Märkärehun käsittelyyn löytyy standardiratkaisuja muussa kotieläintuotannossa.

Molemmilla esitetyillä ratkaisuilla on etunsa. Yksi mahdollinen ja suhteessa yksinkertainen tai tehokas ratkaisu suomalaisilla tiloilla voisi pyrkiä yhdistämään kuivakomponentteja hyödyntävän rehunvalmistuksen ja fermentointijärjestelmään kuuluvan painovoimaisen rehunjaon perusratkaisun. Orgaanisiin happoihin perustuvia AIV-tyyppisten liuosten vaikutusta toukkien kasvuun ei tietäksemme ole vielä tutkittu.

3.2. Pikkutoukkien käsittely

Mustasotilaskärpästen pikkutoukkien tuotanto vaatii erikoisosaamista ja on herkempää häiriöille. Lihotuskasvatus alkaa tyypillisesti noin 6 päivän ikäisistä pikkutoukista (6 päivää trooppisissa olosuhteissa). Haasteena on pikkutoukkien herkkyys tiheydelle. Standardi suositus lähettämiseksi joko 3 g 24 h vanhoja muna (0,000027 g/muna, eli ~100 k muna) per puolen litran astia (~25°C, RH 60 %) tai 1 g kahden päivän ikäisiä pikkutoukkia per puolen litran astia (+ ~40 g märkärehua, ~25°C, RH 60 %) (viitattu maaliskuussa 2024, <https://susinchain.eu/wp-content/uploads/2023/06/Best-practice-storage-and-transport-of-BSF-eggs-and-neonates.pdf>).

Käytännössä kuolleisuus on molemmissa ratkaisuissa samalla tasolla per munittu muna, mutta munien lähettäminen käyttää suosituksen perusteella kolmasosan tilavuudesta. Se kuitenkin vaatii joko riittävän kokoiset kasvatustankit (mitoitus 1 000–2 000 toukkaa per kg rehua, eli tyypillinen hävikki mukaan ottaen n 30–50 kg kasvatustankit olettaen 3 g annokset) tai investoinnin pikkutoukkien laskentaan joko työaikana tai automaationa esim. Entisight Neo (<https://entocycle.com/>).

Tällä hetkellä Suomessa ei ole erikoistuneita munien tuottajia. Munia saa kuitenkin Suomeen muista maista mm. Gren Fox (<https://bsf.com.pl/en/home/32-black-soldier-fly-eggs-gren-fox.html>) ja BetaBugs (<https://www.betabugs.uk/black-soldier-fly-products/hiperfly/>) ja Wadudu (<https://wadudu.eu/>) tai munien lisäksi on myös pikkutoukkien tuottajia mm. FreezeM (<https://www.freeze.com/>), joka myy 16 500, 50 000 ja 500 000 toukan annoksia. Kullakin yrityksellä on omat tarkemmat kuljetusratkaisunsa.

Pieni määrä munia maksaa tätä kirjoitettaessa 10–30 euroa per gramma (->3–4 kg toukkia) ilman toimituskuluja ja veroja. Toimituskulut saattavat olla tyypillisessä mittaluokassa n. 100 € per lähetys. Munien ja pikkutoukkien hinnat elävät ja niihin vaikuttaa asiakkuuden tyyppi, joten tarkempia hintoja on tässä mahdotonta antaa. Myyvän yrityksen mukaan valmiiden pikkutoukka-annoksien käyttö tuo säästöjä tuottajalle omaan kasvatukseen verrattuna.

3.3. Kasvatuslaatikot ja laatikoiden käsittely

Kanalle lähitoukkaa hankkeessa mustasotilaskärpäsen toukat kasvatettiin 60 cm × 40 cm × 19 cm kokoisissa, päällekkäin pinottavissa hyönteisten kasvatuslaatikoissa (Beekenkamp Group, Hollanti) (Kuva 7). Laatikoiden on syytä olla elintarviketuotantoon sopivia. Laatikkokasvatus on perinteinen, toimintavarma, kustannustehokas sekä yleistettävissä oleva ratkaisu (Flyktman & Siimekselä 2023, Siimekselä ym. 2023, 2024).

Kanalle lähitoukkaa hankkeessa kasvatuslaatikot pinottiin rullakoihin, joita siirrettiin prosessin edetessä kasvatusrehun täytöstä kasvatukseen ja kasvatuksesta seulontaan. Rullakon (johon mahtuu kaksi rinnakkaista laatikkotornia, noin 9 päällekkäin) sijasta laatikot voidaan pinota viitenä pinona eurolavan päälle, jolloin siirtely onnistuu pumppukärryllä tai trukilla. Eurolavalle kasvatuslaatikoita mahtuu noin 60 kpl. Tästä edistyneempi versio on ”linjasto”, jota pitkin pinot siirtyvät prosessin edetessä.

Hyönteisten kasvatuksessa voidaan käyttää monen kokoisia laatikoita. Tunnetuimpia on 60 x 40 cm kokoa olevat laatikot esim. Beekenkamp (<https://www.beekenkamp.nl>) ja EVO Conversion Systems. Viime vuosina isompia laatikoita on tullut enemmän saataville. On olemassa mm. 60 x 80 cm kokoa esim. Beekenkamp (<https://www.beekenkamp.nl>) ja VDL Insect Systems (<https://www.vdlinsectsystems.com/>) tai 100 x 100 cm, 100 x 200 cm EVO Conversion Systems. Esimerkiksi Beekampin pienempiä laatikoita voidaan latoa 65 kpl per 100 x 120 x 250 cm lava (13 kerrosta, yhteispaino <1,2 t). Isommat kasvatuslaatikot saatetaan esimerkiksi sitoa 3–4 kerroksen korkeisiin yksiköihin irrotettavilla jaloilla, jolloin näitä yksiköitä voidaan kuljettaa piikkikuormaimilla, vaikka täysautomaatio on vaikeampaa kuin kuormalavoihin perustuvissa ratkaisuissa. Myös hyllyratkaisuja on saatavissa esim. InsectEngineers (<https://www.insectengineers.com/>). Laatikoiden hinnat vaihtelevat noin 5–50 €/m² riippuen laatikoin mallista, koosta, materiaalista, hankitusta määrästä jne. Esimerkiksi EVO Conversion System myy neliömetrin kokoista lasikuitulaatikkoa 30 € ja jalallisena noin 50 € hinnalla pienemmissä määrissä.



Kuva 7. Toukkien kasvatuksessa käytetty laatikkomalli. (Kuva: Henna Pitkänen)

3.4. Kasvatustilan talotekniikkaa

Kasvatuksen talotekniikassa voidaan haluttaessa hyödyntää standardiratkaisuja. Suuren mittakaavan tai tiheän kasvatuksen laitoksissa voi olla suurempi tarve välttää eri mittakaavoissa poikkeamista optimilämpötiloista ja kontrolloida kaasujen ja hajujen pitoisuutta ja ylläpitää ennustettavaa kosteuden haihtumista. Kasvatuksen eri vaiheissa haasteet muuttuvat, mm. lämpötilan ylläpidosta siirrytään viilentämiseen. Periaatteessa jokaisen toukkakasvatuskerroksen lämmöntuotto vastaa vastaavan kanalan lämmöntuottoa, joten tiheän tuotannon lämmöntuotto on helposti 10–20 kertainen kanalaan verrattuna kasvatustilan lattiapinta-alaa kohti. Myös haihtuvien orgaanisten yhdisteiden, hiilidioksidin, metaanin ja ammoniakkin muodostuminen vaihtelee ajallisesti ja voi riippua käytetyistä menetelmistä, erityisesti substraattista. Siksi talotekniikkaan on kehitetty myös tarkempaa säätelytekniikkaa (mm. Manna Insect ja Better Insect Solutions) joilla pyritään ennustamaan ilmastointitarvetta ja optimoimaan energian käyttöä.

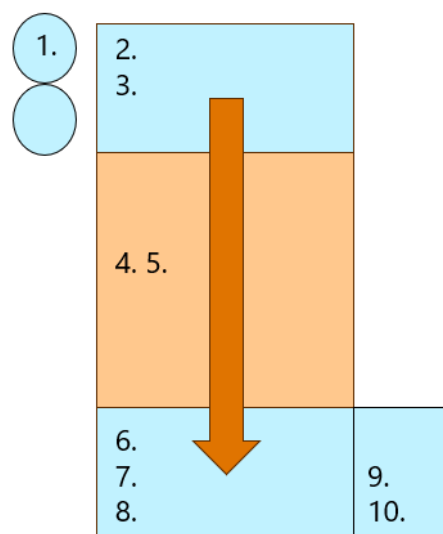
3.4.1. Osastointi

Yksi keskeinen toukkaamon rakenneratkaisu on tilan jakaminen osiin (Kuva 8). Sitä voidaan käyttää rajaamaan olosuhteiden hallintaa pienempiin alueisiin ja tarkemmin suunniteltaessa voidaan esimerkiksi ottaa lämpöä talteen voimakkaan kasvun vaiheen toukkia sisältävistä kasvuhuoneista tai niiden osista ja siirtää lämpöä alkuvaiheen toukkia sisältäviin osiin. Usein pitimmälle viety osastointi monimutkaistaa teknisiä ratkaisuja. Ratkaisu kuitenkin pienentää tuotantopoikkeamien, kuten tuholaisen esiintymisen, vaikutuksia. Tämä on erityisen tärkeää suurissa yksiköissä.

Tilan jakaminen osiin voi tarkoittaa erillisiä kasvatushuoneita tai erillisiä "bioreaktoreja" jotka ovat erilaisia suuria laatikkoja tai laatikostoja tai hyllystöjä. Kasvatustilat ja bioreaktorit voivat olla joko kiinteillä levyillä (ml. kylmiöelementit, kennostot ja liukuovet) rajattuja tai ainakin osin pehmeämmillä ja jopa pressumaisilla esteillä (ml. eristetyt 10 mm pressut, kupla/eristemuovikalvot, PVC-liuskeverhot, heiluriovet, magneettiset verhot) toteutettuja. Tilojen hygieniasoinnin vaivattomuus on otettava huomioon. Perinteisen maatalouden ja teollisuuden piiristä löytyy useita ratkaisuja ja Euroopasta löytyy myös hyönteistuotantoon erikoistuneita insinööri-toimistoja. Vaikka useimmat moduulimaiset ratkaisut ovatkin yritysten omaan käyttöön

rakentamia, valmiita ratkaisuja löytyy ainakin konttimuodossa (Manna Insect, FlyBox) ja suuryrityksimuodossa (esim. EntoProt).

1. Rehuainesäilytys
2. Substraatin teko ja annostelu
3. Pikkutoukkien kuljetus/säilytys
4. Kasvatuslaatikot + laatikoiden/lavojen kuljetus
5. Kasvatus
6. Laatikoiden purku, erottelu, tappo, kuivaus
7. Toukan fraktiointi ja hygienisointi
8. Frassin hygienisointi ja pelletöinti
9. Pesut
10. Pakkaus & säilytys



Kuva 8. Materiaalivirtojen kulku tuotantotiloissa eri prosessivaiheissa. (Kuva: Miika Tapio)

3.4.2. Sisätilojen jakaminen hygieniatasojen mukaan

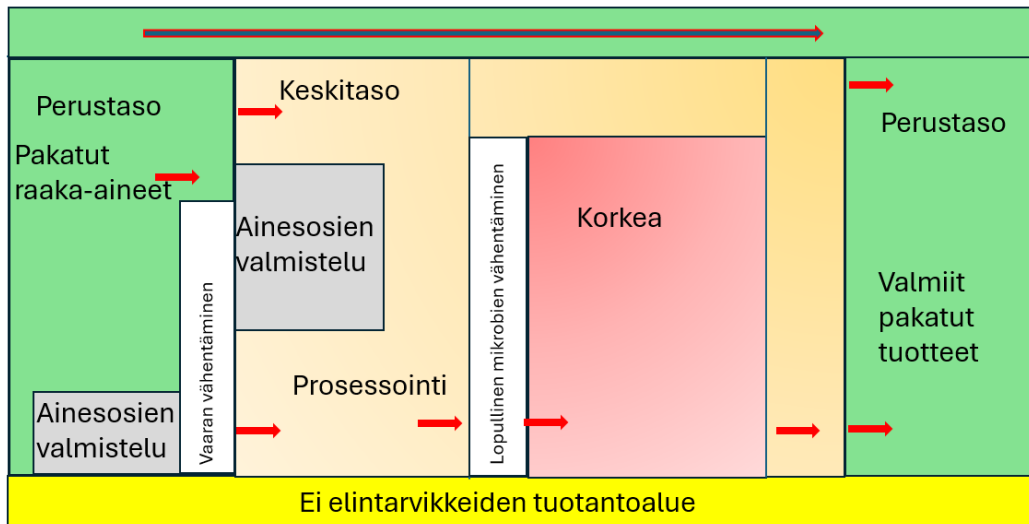
Tuotantotilat järjestetään ja laitteet sijoitetaan niin, että hygieniariskit minimoidaan ja panos- ja tuotosvirrat sekä prosessi ja logistiikka toimivat (Ruokavirasto a, b). Tehokkaassa tilojen käytössä huomioidaan toukkien kasvatusastioiden kulku, ruokinta, käsittelyalueet, ja varastotilat rehulle tai rehuosastoille, toukille ja toukanpurulle. Bioturvallisuusratkaisuilla minimoidaan patogeenien ja tuholaisten aiheuttamat ongelmat, ja toisaalta helpotetaan mahdollisten ongelmien ratkaisemista. Tämä sisältää mm. kulkemisen hallinnan, hygienia- ja puhtaanapitoratkaisut. Yksi bioturvallisuuskysymys on sekä rehujen että hyönteistuotteiden laatu ja myöhemmän pilaantumisen estäminen.

Tuotantolaitoksen tilat jaotellaan perus- ja keskitason ja korkean hygieniatason alueisiin (Kuva 9, EHEDG 2014). Hyönteisten kasvattamiselle, prosessoinnille ja pakkaamiselle suunnitellaan erilliset tilat, joissa otetaan huomioon kunkin tilan vaatima hygieniataso. Puhtaanapito on oltava säännöllistä. Tilojen suunnittelussa otetaan huomioon henkilöliikenne, että voidaan ehkäistä ristikontaminaatoriski ja mahdollistaa tehokas työskentely (Niemi ym. 2020). Perustason hygienia-alueeseen kuuluu mm. tuotantoalueen vyöhykkeet, joissa raaka-aineita esikäsitellään (esim. lajitellaan ja puhdistetaan) tai ainesosia ja valmiita tuotteita varastoidaan niiden ollessa kuluttajapakkausissaan. Keskitason hygienia-alueilla raaka-aineet valmistetaan elintarvikkeiden tai rehujen ainesosiksi ja / tai niitä käsitellään ja pakataan.

Korkean hygieniatason alueella käsitellään sellaisenaan syötäviksi tarkoitettuja tuotteita, joita kuumennetaan ja käsitellään edelleen ennen kuluttajapakkausta. Ennen korkean hygieniatason alueelle pääsyä on sulku. Korkean hygienian alueen työntekijöillä on erilaiset työvaatteet kuin muiden hygieniatasojen työntekijöillä. Korkean hygieniatason tiloissa käytettäviä jalkineita ei käytetä muiden hygieniatasojen alueilla. Ilmavirrat, jätteet ja viemärointi järjestetään niin, että ne virtaavat korkean hygieniatason alueilta alemman hygieniatason alueille.

Jääkaappien ja pakastimien toimintaa valvotaan ja niissä on hälytyslaitteet varmistamassa oikean lämpötilan säilymistä (EHEDG 2014).

Rakennuksen suunnittelussa on huomioitava fyysiset, kemialliset ja biologiset tekijät, joilla estetään kontaminaatioita, kuten luonnonvaraisten hyönteisten, mikrobien, pölyn ja kosteuden kulkeutuminen (EHEDG 2014). Ovet ja ikkunat pidetään suljettuina tai niissä käytetään hyttysverkkoja ja/tai itsestään sulkeutuvia mekanismeja. Ikkunoiden tulee olla helposti puhdistettavia ja rakenteeltaan tiiviitä. Niissä tulee käyttää kestävästä materiaalia kuten karkaistua lasia tai särkymätöntä muovia. Avattavissa ikkunoissa tulee olla hyönteissuoja (EUR 852/2004).



Kuva 9. Elintarviketuotantoalueiden hygieniatasojen kaaviomainen esitys, joka näyttää mahdolliset tuotteen virtausreitit riippuen tuotteen mikrobiologisen suojan tarpeesta tuotantoympäristössä (EHEDG 2014).

Suodatinjärjestelmällä varustetut ilmanottoaukot tulee olla sijoitettu asianmukaisesti kattoon. Ilmanvaihdon on oltava riittävä ja tasainen. Tuloilma-aukkojen sijainnissa tulee huomioida kontaminaatoriskit ja haittaeläinten pääsyn estäminen. Tiloissa on oltava asianmukainen ja riittävä luonnollinen tai mekaaninen ilmanvaihto (EUR 852/2004). Ilman tulisi virrata korkeammalta alemmalle hygieeniselle vyöhykkeelle ja matalammalta pölykuormitetulta alueelta korkeammalle pölykuormitetulle alueelle (EHEDG 2014). Tuotantotilassa tulisi olla lievästi korkeampi ilmanpaine (2–5 Pa) suodattamattoman ilman sisäänpääsyn estämiseksi. Erilaisten hygieniavaatimusten täyttämiseksi (vyöhykeluokitus) satunnainen ilmavirta kerrosten välillä tai portaikkojen, hissien jne. kautta on estettävä asentamalla ilmalukitusjärjestelmät (EHEDG 2014).

Jätehuolto suunnitellaan toimivaksi. Kaikki jätteet on poistettava hygieenisellä ja ympäristöä säästävällä tavalla lainsäädännön mukaisesti (EUR 852/2004). Suunnittelussa otetaan huomioon tehokas biojätteiden käsittely ja hyödyntäminen esimerkiksi lannoitteena (Niemi ym. 2020). Tuhoeläinten torjunnasta huolehditaan käyttämällä tehokkaita torjuntamenetelmiä ja -järjestelmiä. Haittaeläinten, kuten lintujen ja luonnonvaraisten hyönteisten, sisäänkäynti ja pesiminen estetään (EHEDG 2014).

Raaka-aineille, pakkausmateriaaleille, kuiville tai jäädytetyille tuotteille, pakasteille, ja myös siivousvälineille -ja aineille tulee olla omat varastotilat (EHEDG 2014). Rakennuspesu voidaan toteuttaa kuten kanalassa. Laitteiden pesulle täytyy varata oma paikkansa. Erityisesti

kasvatuslaatikkojen pesu on merkittävä tehtävä. Sektorille on saatavilla räätälöityjä pesukoneita esim. UniFortes. Pakastimien lämpötilaa tulee valvoa. Varastotilojen tulee täyttää myös muut viranomaisohjeistukset. Esim. puhdistus -ja desinfiointiaineet tulee pitää lukituissa kaapeissa. Kasvatus-, prosessointi- ja varastointitiloissa tulee olla toiminnalle sopiva lämpötila, jota valvotaan (EHEDG 2014).

3.5. Seulominen

Toukkien korjuu (harvestointi) eli seulominen ja alkuprosessointi tarkoittaa tyypillisesti toukan erottamista kasvatusalustastaan toukkapurusta, toukan tappamista ja puhdistamista, sekä toukkien että tyypillisesti sivutuotteeksi lasketun frassin käsittelyä paremmin säilyväksi ja bioturvalliseksi. Kun hyönteistuotteena optimoidaan rehuaineita, seulominen tapahtuu kiivaimman kasvuvaiheen jälkeen ja ennen esikotelovaihetta.

Erottelu voidaan tehdä esimerkiksi tasotäryseulalla tai rumpuseulalla kuivamuodossa. Tällöin haasteena on varmistaa frassin riittävä kuivuus, jota voidaan edistää esimerkiksi lisäämällä ilmanvaihtoa kasvatuksen loppuvaiheessa, kun toukan syönti on vähentynyt. Toukkaamoilla on käytössä standardiseuloja, ja markkinoilta löytyy myös toukkatuotantoon optimoituja rumpuseuloja (Royal Dutch Kusters). Onnistuneen seulonnan tuotokset ovat toukkamassa ja frassi, joka koostuu toukkien ulosteista, kitiinikuoren kappaleista, kuolleista toukista sekä ravintoalustan jäänteistä ja sulamattomista osista mm. kuiduista, joita toukat eivät ole pystyneet hyödyntämään.

Toukat voidaan lopettaa koneella silppuamalla (kutterointi), kuumalla kaltaamalla, pesemällä ja paseeraamalla linjastolla. Sen jälkeen toukat kuivataan ennen fraktiointia esim. Normit (www.normit.com) (Taulukko1). Pienessä mittakaavassa toukkia on lopetettu mm. pakastamalla, mutta tuotannollisena ratkaisuna se on kallis ja hidas menetelmä. Toukkamassojen pakastus ja sulatus muodostavat mikrobiologisen riskin, sillä haittamikrobit ehtivät lisääntyä suurten massojen jäähtymisen ja sulatuksen aikana. Lisäksi kuluu sähköä.

3.6. EU määräykset toukkien lopettamisesta

EU:ssa säädösympäristö on vielä muotoutumisvaiheessa maatilamittakaavan toukkatuotannossa tapahtuvan lopettamisen ja alkuprosessoinnin osalta. EGTOP-keskusteluissa on ollut esillä erillisten tuotanto-ohjeiden laatiminen elintarvikkeiksi ja rehuiksi tuotetuille hyönteisille. Jäsenvaltioiden kannat eroavat rajanvetokysymyksissä alkutuotannon ja jatkojalostuksen (muun kuin alkutuotannon) välillä. Hyönteisten lopetus ei mahdollisesti jatkossa olisi alkutuotantoa. Lopetusta varten tilalle tarvittaisiin mm. jatkojalostustilat ja HACCP-analyysi (hazard analysis of critical process points = kriittisten prosessin hallintapisteiden vaarojen arviointi), jossa tuottaja kartoittaa turvallisuuden ja laadun kannalta kriittiset prosessin kohdat, tai muuten hyönteiset pitäisi toimittaa elävänä muualle jatkojalostukseen. EU:ssa on järjestö IPIFF, joka edustaa hyönteistuotantosektorin etuja EU:n päättäjille, eurooppalaisille sidosryhmille ja kansalaisille. IPIFF mm. tuo EU-komissiolle hyönteisiä tuottavien ja prosessoivien yritysten ja tutkimusyhteisöjen näkemyksiä säädösympäristön kehittämistä. Säädöstilannetta voi seurata mm. IPIFF:in sivustoilta (<https://ipiff.org/>).

Kanalle lähitoukkaa pilottihankkeessa päädyimme joko silppuamaan toukat koneellisesti (kutterointi) tai kuivaamaan jo pakastetut toukat kokonaisina uunissa. Rehun mikrobiologisen

laadun ja turvallisuuden varmistamiseksi lämpökäsittely on aina välttämätön. EY-asetuksen N:o 1069/2009 mukaan 'käsitellyllä eläinvalkuaisella' tarkoitetaan eläinvalkuaisista, joka on saatu yksinomaan luokkaan 3 kuuluvasta aineksesta ja joka on käsitelty asetuksen liitteessä X olevan II luvun 1 jakson mukaisesti niin, että se soveltuu käytettäväksi suoraan rehuaineena. Tällöin käsitellyn eläinvalkuaisen on oltava jollakin asetuksen liitteessä IV olevassa III luvussa esitetystä käsittelymenetelmästä 1–5 tai 7 käsiteltyä.

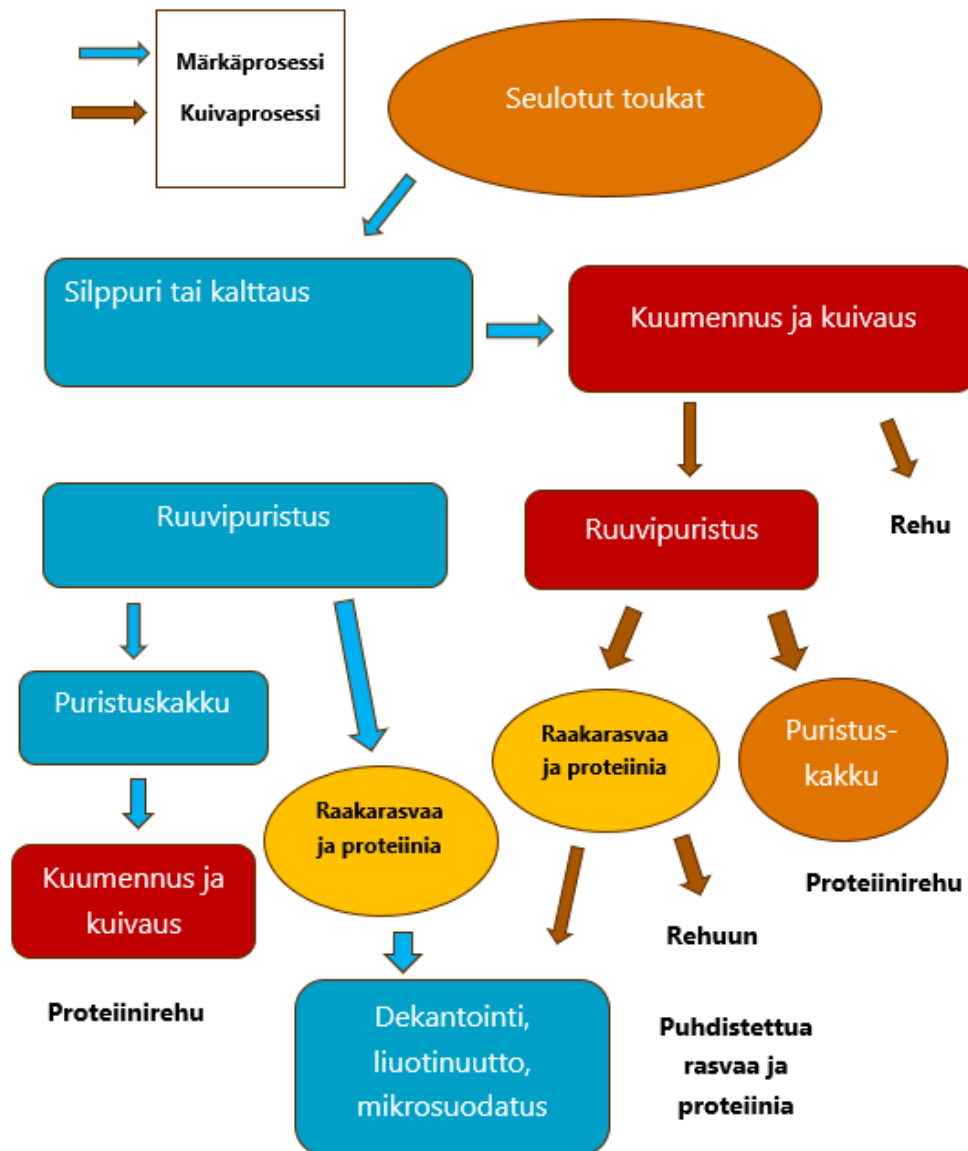
Taulukko 1. Esimerkkejä markkinoilla olevista hyönteiskasvattamon teknisistä ratkaisuista. Lista pyrkii kuvaamaan eurooppalaista tarjoamaa. Globaaleilla markkinoilla on muitakin yrityksiä, mutta osa niiden tuotteista ei välttämättä sovellu Suomen oloihin tai säädöksiin. Lista ei sisällä kaikkia yrityksiä eikä välttämättä listattujen yritysten kaikkia tuotteita.

Yritys	Maa	Kotisivu	Tuotannon vaihe	Laite
EntoProt	Suomi	www.entoprot.com	Kasvatusmateriaali ja massakasvatus	Puoliautomaattinen munien/toukkien tuotanto, bioreaktorirumpu
Manna Insect	Suomi	www.mannainsect.com	Kasvatus, talotekniikka ja kasvatusmoduuli	Kasvatusympäristön kontrollointi, kasvatuskontti
Vienna Scientific Instruments	Itävalta	www.vienna-scientific.com	Kasvatus	Kasvatuslaatikkohyllyt
Better Insect Solutions	Hollanti, Tanska	www.betterinsectolutions.com	Kasvatus (eri vaiheet) ja jatkokäsittely	Kasvatuslaatikot, kasvatusympäristön kontrollointi, ruokinta-automaatio, toukkapurun ja toukkien käsittelykoneistus
FlyBox	Englanti	flybox.bio	Kasvatus ja rehun valmistus	Kasvatusmoduuli, kontti, substraatin valmistuskontti
Reinartz	Saksa	www.reinartz.de	Jatkokäsittely	Toukkarasvapuristimet
ProEnto	Hollanti	www.proento.com	Kasvatusmateriaali	Automaattinen haudonta ja pikkutoukkien jaottelu
Insect-Engineers	Hollanti	www.insectengineers.com	Kasvatus	Rakennustekniikka, ml. aikuistilat, hyllyt, kasvatuslaatikot ja niiden käsittelyn koneistus
Royal Dutch Kusters	Hollanti	www.royaldutchkusters.com	Alkuprosessointi	Rumpuseulat
Normit	Slovakia	www.normit.com	Prosessointi	Toukkien kalttaus, pesu, murskaus, kuivaus
Beekamp	Hollanti	www.beekenkamp.nl	Massakasvatus	Kasvatuslaatikot
VDL Insect Systems	Hollanti	www.vdlinsectsystems.com	Kasvatus	Kasvatuslaatikot ja ruokinta
UniFortes	Hollanti	unifortes.com	Kasvatus	Pesu & kuivauskoneet, laatikkojen käsittelyn koneistus ja pinoaminen, veden suodatus ja kierrätys
Palamatic	USA	www.palamaticprocess.com	Prosessointi	Pakkaaminen

4. Toukkamassan prosessointi

Pertti Marnila, Maija Karhapää, Henna Pitkänen, Tomasz Stefański, Tiina Siimekselä, Vesa Harjunmaa ja Miika Tapio

Ennen rehuntuotannon aloittamista hyönteisten kasvattajan on rekisteröidyttävä rehualan toimijaksi ja haettava sivutuoteasetuksen mukainen hyväksyntä (MMM 1/2020, Ruokavirasto 2024b). Tässä selvityksessä ei tarkastella niitä vaatimuksia, mitä luokan 3. sivutuotelaitokselle asetetaan voimassa olevan sivutuotelainsäädännön perusteella (Ruokavirasto 2024d). On kuitenkin hyvä huomioida, että nykyinen lainsäädäntö on laadittu erityisesti laitoksille, jotka saattavat käsitellä eläinvalkuaista markkinoille.



Kuva 10. Vuokaaviossa on esitetty yleisimmät MSK-toukan proteiinin rikastamisessa käytettävät prosessivaiheet. (Kuva: Pertti Marnila)

4.1. Rasvan vähentäminen

Koska mustasotilaskärpäsen toukan kuiva-aineesta n. 30 % on rasvaa, halutaan sen osuutta vähentää osassa rehuratkaisuja. Esim. kasvatuskaloille näin korkea rasvamäärä ei sovi, mutta sen sijaan munituskanoilla se ei ole ongelma, jos MSK:n osuus pysyy 10 % tai pienempänä rehussa. Korkea rasvapitoisuus voi sotkea laitteita ja haitata MSK:n toukkamassan pelletointia tai tasaista sekoittamista muuhun rehuun. Myös rasvan hapettuminen eli härskiintyminen voi aiheuttaa ongelmia. Kiinnostunut lukija voi katsoa videon MSK:n prosessoinnista linkistä: https://www.youtube.com/watch?v=uCntVmUlz3M&list=PLNG_YQG6XtkXxCFHJCy2AP-fkxYJwsrRrj&index=12.

Yksinkertainen ja kilpailukykyinen menetelmä rasvan määrän vähentämiseksi on ruuvipuristus. Tarkoitukseen soveltuvia laitteita, joita käytetään mm. kalateollisuudessa ja öljyn puristamisessa kasveista sekä pelletöintiin löytyy mm. linkistä: [Insect Meal - Grinding and Packaging | Palamatic Process](#).

4.2. Märkäprosessointi

Märkäprosessissa toukka laitetaan – usein silppuamisen eli kutteroinnin jälkeen – suoraan ruuvipuristukseen (ks. Kuva 10). Märkäpuristuksen tuloksena saadaan usein noin yksi neljäsosa kiinteää jaetta (www.eawag) ja kolme neljäsosaa juoksevaa materiaalia, joka koostuu vedestä, rasvasta ja kiintoaineista, jossa on myös proteiinia. Lämpökäsittely ja kuivaus heti perään ovat välttämättömät mikrobiologisen turvallisuuden ja säilyvyyden sekä rakeistuksen tai jauhamisen mahdollistamiseksi.

Puristuskakun kuivaus on hankalaa ja teollisuudessa siihen käytetään esim. sentrifugia. Myös nestefraktioon jää huomattavasti proteiinia, joten sen kuivaus ja kiintoaineen talteenotto on tarpeen. Emme käsittele tässä selvityksessä enempää noita teknisiä vaiheita, koska Kanalle lähitoukkaa -hankkeen pilotissa tulimme siihen tulokseen, että maatilamittakaavassa emme suosittele märkäprosessia – ainakaan tuotannon alkuvaiheessa. Märkäprosessissa on huomattavasti enemmän mikrobiologisia riskejä, se vaatii jatkuvan tuotantoprosessin ja on teknisesti haastavampi, kuin kuivaprosessi.

4.3. Kuivaprosessointi

Kuivaprosessissa toukka kuumakäsitellään ja kuivataan heti seulonnan ja kutteroinnin jälkeen (Kuva 10). Toukkien kuivaamiseen voidaan käyttää tunnelityyppistä mikroaaltouunia, joka jättää luonnollisen värin. Kuiva toukkamassa menee ruuvipuristimeen. Koska MSK:n rasva on tyydyttynyttä ja huoneenlämmössä jäykkää, on toukan lämmitys ennen puristusta eduksi. Tyypillisesti toukkamassa puristetaan 80–100 °C lämpötilassa (Çetingül & Shah 2022). Puristinlaitteisto voidaan myös esilämmittää esim. ajamalla kuumaa vettä tai rasvaa laitteiston läpi ennen toukan puristusta. Kuivapuristuksessa saadaan tyypillisesti n. 70 % puristuskakua ja 30 % nestejaetta.

Puristuskakkuun jää edelleen rasvaa tyypillisesti n. 7–10 % kuiva-aineesta, mutta suurin osa on proteiinia ja kuitua (kitiiniä). Osa proteiinista menee puristuksessa aina rasvan joukkoon. Rasvan ja proteiinin erottumiseen voi vaikuttaa esikäsittelyillä esim. onko kyseessä kuiva- vai märkäprosessi. Jos käytetään märkäprosessia, niin lisätyn veden määrä, puristusteho ja lämpötila jne. vaikuttavat lopputulokseen. Lämpötila vaikuttaa tuotettavan proteiinijakeen

laatuun merkittävästi (Huang ym. 2019). Kuivapuristuksessa lämmitystavallakin on merkitystä. Mikroaalloilla kuumennetut kuivat toukat ovat rakenteeltaan löyhempiä ja ilmavampia, ja niissä on jäljellä enemmän kosteutta kuin uunissa kuumennetuissa toukissa (www.eawag). Rasvaa saadaan eroteltua puristuskakusta helpommin, kun toukkien kosteus on korkeampi ja rakenne löyhempi.

4.4. Toukanpurun jatkokäsittely ja pakkaus

Toukanpuru eli frassi voidaan rakeistaa kuumakäsittelyn jälkeen sellaisenaan orgaaniseksi lannoitteeksi. Mikäli osa toukkapurusta on liian bioaktiivista (puutteellisesti toukkien käyttämää) tilannetta voi auttaa välikompostointi. Tämä voi olla erityisesti tarpeen, jos tuotetta käytetään pintalevityksenä, esimerkiksi herkällä nurmella. Joissain tapauksissa lopputuotteiden laadun vakioiminen sekoittamalla voi olla järkevää. Tällöin tuotantoeria välivarastoidaan ja lopullinen tuote on erilaatuisten tuotantoerien yhdistelmä.

5. Mustasotilaskärpäsen toukkien substraatti

Maija Karhapää, Henna Pitkänen, Miika Tapio ja Tiina Siimekselä

Mustasotilaskärpäsen on saavuttanut viime aikoina suosiota eloperäisen aineksen kierrättäjänä (Kim ym. 2021, Liu ym. 2022, Lopes ym. 2022). Mustasotilaskärpäsen toukat ovat kaikkiruokaisia ja ne pystyvät hyödyntämään hyvin monipuolisesti erilaisia raaka-aineita (Diener ym. 2009). Tämä ominaisuus on keskeinen sekä toukkatuotannon ympäristö- että taloudellisen kestävyuden kannalta. Elinkaarianalyysien mukaan tuotanto on ekologisesti kestävä, jos toukat pystytään kasvattamaan sivuvirtoja hyödyntämällä (Smetana ym. 2019, 2023). Toukat syövät orgaanista ainesta päivässä noin 25–500 mg/toukka, riippuen toukkien koosta, substraatista ja ympäristöolosuhteista (Makkar ym. 2014). MSK-toukkien avulla pystytään tuottamaan vähäarvoisista kasviperäisistä sivuvirroista ja raaka-aineista korkealaatuista eläinvalkuaista, rasvaa ja muita ravintoaineita, joita voidaan käyttää sekä eläinten rehuksi että ihmisten ravinnoksi (da Silva & Hesselberg 2020), vaikka viimeksi mainittu ei kärpäsen imagoosyistä olekaan yleistynyt. MSK-toukkien kasvualustan (jatkossa ”substraatin”) kustannukset vaikuttavat kuitenkin merkittävästi toukista saatavien rehuraaka-aineiden taloudelliseen kannattavuuteen.

Mustasotilaskärpäsen toukkien kasvuvauhti ja biokonversioaste riippuvat useista tekijöistä, kuten substraatin lämpötilasta ja kosteuspitoisuudesta (Tomberlin ym. 2009, Tomberlin & Sheppard 2002). Toukat voivat vähentää substraatin määrää 50–75 % ja muuntaa jopa 20 % kuiva-aineesta toukkabiomassaksi 14 päivän aikana (Diener ym. 2011, Lalander ym. 2015). MSK-toukat vähentävät substraatin ravinnepitoisuuksia, kuten typen ja fosforin määrää (Myers ym. 2008, Sheppard ym. 2008). Toukat voivat myös muokata substraatin mikrobistoa esim. vähentämällä lannassa olevien haitallisten bakteerien määrää (Erickson ym. 2004, Liu ym. 2008, Lalander ym. 2013). EU:ssa lanta ja suoliston sisältö eivät ole sallittuja tuotantoeläimien rehuissa.

Substraatin ominaisuudet vaikuttavat toukkien kykyyn hyödyntää sitä kasvuunsa tehokkaasti. Näitä ovat substraatin ravintoainekoostumus, kuitupitoisuus, partikkelikoko, substraatin ilmanvaihto, pH, rakenne ja kosteuspitoisuus (Barrett ym. 2023, Cheng ym. 2017, Joly & Niemi 2019, Ma ym. 2018, Yakti ym. 2023, Zhang ym. 2021). Ottamalla huomioon ja optimoimalla nämä substraatin ominaisuudet MSK-toukkien kasvattajat voivat parantaa tehokkuutta ja menestystä varmistamalla samalla MSK-toukan hyvinvoinnin ja tuottavuuden.

Toukkien tehokas kasvaminen ja biokonversio edellyttävät toukkien ravintotarpeiden tunteamista. Toukkien kasvatuksessa käytettävän substraatin optimaaliseen koostumukseen vaikuttaa mm. toukkien kasvatustarkoitus, siis kasvatetaanko toukkia toiselle eläinlajille ravinnoksi, pyritäänkö prosessoimaan biomassoja frassiksi vai tähdätäänkö uuden sukupolven kasvatukseen, jolloin tavoitteena on kärpästen elinvoimaisuus ja kyky tuottaa jälkeläisiä.

Aikuiset siivelliset mustasotilaskärpäset käyttävät hyväkseen toukkavaiheessa varastoimaansa energiaa, joten ne eivät syö mitään (Sheppard ym. 1995). Kärpäset tarvitsevat kuitenkin jonkinlaisen vedenlähteen ja tutkimuksissa on todettu, että veteen lisätty sokeri tai hunaja lisäävät naaraiden elinikää ja munien määrää (Park 2016, Klüber ym. 2023).

5.1. Esikasvatuksessa käytettävä substraatti

Esikasvatusvaiheessa (ensimmäiset 5–7 päivää kuoriutumisesta) toukkien kuolleisuus vaihtelee paljon (20–60 %). Kuolleisuuden määrään voidaan vaikuttaa substraatin ravintoainekoostumuksella. Jos se on toukkien tarpeisiin nähden riittämätön, toukkien kasvu ensin hidastuu ja lopulta suuri osa toukista kuolee (Cohen 2015). Pikkutoukkien esikasvatuksessa, käytetään usein substraattina veteen sekoitettua kanoille tarkoitettua munintarehua (0,3 kg rehua ja 0,7 litraa vettä) tai Gainesville-seosta (kuiva-aineesta 50 % vehnälesestä, 30 % sinimailasta ja 20 % maissia) (Diener ym. 2009, Deruytter ym. 2023).

Deruytter ym. (2023) kokeessa juuri kuoriutuneita pikkutoukkia esikasvatettiin 0–5 päivää Gainesville-seoksessa. Kasvatuslaatikkoon (20 × 30 cm) laitettiin 0,3 kg Gainesville-seosta ja 0,7 litraa vettä. Kasvatuslaatikoihin lisättiin 1 gramma vastakuoriutuneita toukkia, joista kasvoi viidessä päivässä noin 45 000–50 000 toukkaa. Viiden päivän ikäisinä toukkien keskipaino oli n. 3,8 mg (Deruytter ym. 2023). Kasvatustilassa lämpötila oli 27 °C ja ilman suhteellinen kosteus (RH) 60 %. Toukat eivät tarvitse valoa, joten ne voidaan kasvattaa pimeässä.

Halvempaa ja yhtä tehokasta substraattia vastakuoriutuneille MSK-toukille ovat testanneet esim. Woods ym. (2019). Tutkimuksessa testattiin kasviproteiineja sisältävää substraattia yksinään sekä täydennettynä eläinproteiinilla (10 %). Testattujen substraattien ja vertailusubstraatin (kananrehu) proteiinipitoisuus ja energiamäärä olivat samanlaiset. Tulokset osoittivat, että eläinproteiinilisä substraateissa lisäsi toukkien selviytymistä 25 %:lla (Woods ym. 2019). EU-lainsäädäntö kieltää eläinperäisen raaka-aineen käytön tuotantohyönteisten ruokinnassa lukuun ottamatta kalajauhoa ja maito- sekä kananmunaperäisiä raaka-aineita.

5.2. Toukkakasvatusvaiheen substraatti

Esikasvatusvaiheen jälkeen toukat voidaan siirtää varsinaisen toukkavaiheen kasvatukseen substraatile. Toukkien kasvatuskokeissa käytetään kontrollisubstraattina usein siipikarjan (kanojen) tai muiden eläinten rehua, sekä Gainesville-rehua, koska näillä substraateilla toukat kasvavat nopeasti isokokoisiksi (Fitriana ym. 2022, Scala ym. 2020).

Teollisissa toukkatuotannon ratkaisuissa substraateista tehdään kuiva seos torniin tai muuhun säiliöön mikrobiologisen laadun varmistamiseksi sekä kuiva-aineen ja veden kerrostumisen estämiseksi. Vesi lisätään vasta annosteltaessa substraatti kasvatuslaatikoihin esim. automaattisella rehusekoittimella. Ennen laatikoihin laittamista substraatin on hyvä antaa ”tekeytyä” pari tuntia, joiden aikana vesi imeytyy kuivaan substraattiin. MSK-munat lisätään muna-annostelijalla laatikoihin substraatin pinnalle.

Teollisessa MSK-toukkien kasvattamossa kuiva substraatti tehdään valmiiksi säiliöön silppuamalla tai jauhamalla raaka-aineet sopivaan karkeuteen, jonka jälkeen seos sekoitetaan. Joistakin hyvin nestepitoisista raaka-aineista (esim. hedelmät, vihannekset) voi olla tarpeen poistaa nestettä, jotta ne voidaan varastoida. Lopullisen kasvatuksessa käytetyn substraatin vesipitoisuus säädetään n. 60–90 %:iin (Dortmans ym. 2021). Märkää ja kuivaa materiaalia voidaan myös sekoittaa keskenään sopivan substraatin kosteuspitoisuuden saavuttamiseksi (Lohri ym. 2017).

Toukat pystyvät paremmin hyödyntämään substraatin ravintoaineita, jos substraatin partikkelikoko on pieni tai substraatti on nestemäistä tahnaa (Dortmans ym. 2017). Substraatin

rakenne tulee olla sellainen, että toukat voivat ongelmitta liikkua substraatin sisällä. Substraatin ilmastusta on parannettu esimerkiksi lisäämällä siihen kuivia lehtiä, männyn lastuja tai murskattua puuhiiltä (Barry 2004, Perednia 2016). Vaikka nämä paljon selluloosaa sisältävät materiaalit eivät sovellu MSK-toukkien ravinnoksi, ne voivat silti olla hyödyllisiä substraatin raaka-aineena sitomassa vettä ja parantamassa substraatin rakennetta (Laksanawimol ym. 2024, Lohri ym. 2017). Aasiassa on substraattiin lisätty rakenteen ja kosteuden säätämiseksi myös paikallisia kuivia raaka-aineita kuten kookoskuitua, palmuydinjauhoa, maitojauhetta, riisin kuorta, riisileseitä, riisin kuoren tuhkaa, kumi-puun sahanpurua tai käytettyjä kahvinporoja (Dortmans ym. 2017, Laksanawimol ym. 2024).

Substraatin ilmanvaihto on ratkaisevan tärkeää, jotta MSK-toukat voivat hengittää myös substraatin sisällä. Toukat syövät mieluummin substraatin yläosaa 2–4 cm välttämällä syvemmällä olevaa vähähappista tai hapetonta vyöhykettä (Barrett ym. 2023). MSK-toukkien on todettu pysyvän aktiivisina vielä noin 15–20 cm:n syvyydessä substraatin pinnan alapuolella, mutta syvemmällä niiden biokonversiokyky on hyvin alhainen (Givens ym. 2013).

Substraatti voidaan annostella kokonaisuudessaan heti toukkien käyttöön (yksi erä) tai sitten, useammassa erässä (jatkuva ruokintastrategia). Dzepe ym. (2021) kasvatuskokeessa havaittiin jatkuva ruokintastrategia paremmaksi kuin yhden erän annostelu, koska sen katsottiin edistävän paremmin kestävästi pienimuotoista eloperäisen aineksen käsittelyä. Ongelma tässä toimintatavassa on suuri työn määrä. Tavallisin tuotantotapa on annostella substraatti yhdessä erässä laatikoihin ja ladata munat tai pikkutoukat annosteluautomaatilla substraatin pinnalle yleensä nurkkaan ja antaa niiden kasvaa koskematta korjuuseen asti.

5.2.1. Substraatin kosteus

Toukkavaiheen substraatin ominaisuuksista tärkeimpänä pidetään riittävää kosteutta (60–90 %), jotta toukat pystyvät parhaiten syömään ja hyödyntämään substraattia (Dortmans ym. 2017, 2021, Park 2016). Cammackin ja Tomberlinin (2017) mukaan substraatin kosteustaso vaikuttaa toukkien kehitykseen enemmän kuin substraatin proteiini- ja hiilihydraattipitoisuus. MSK-toukkien kasvatuskokeessa substraatin kosteusprosentin ollessa 40 % toukat eivät pystyneet kehittymään lainkaan. Substraatin kosteuden ollessa 70 %, toukat kehittyivät nopeammin, kasvoivat suuremmiksi ja tarvitsivat vähemmän ravintoa kuin ne, jotka kasvatettiin 55 % kosteassa substraatissa (Cammack & Tomberlin 2017). Bekker ym. (2021) toukkien kasvatuskokeessa toukat kehittyivät esikoteloiksi vain, jos substraatin kosteus oli välillä 45–75 %.

Substraatin kosteus vaikuttaa MSK-toukan kaivautumiskäyttäytymiseen eli miten toukat jakautuvat substraattiin pystysuunnassa. Erilaisissa substraateissa MSK-toukat viihtyvät eri syvyyksissä riippuen paljolti vesipitoisuudesta. Liian korkea substraatin kosteus johtaa korkeampaan kuolleisuuteen (Bekker ym. 2021). Dzepe ym. (2020) tutkimuksessa MSK-toukat kasvoivat parhaiten substraatissa, jonka kosteus oli 60 % ja huonoiten substraatissa, jonka kosteus oli 80 %. Jos substraatin kosteus oli alle 80 %, sillä ei ollut vaikutusta toukkien eloonjäämiseen, mutta jos substraatin kosteus oli yli 90 % kuolleisuus lisääntyi (Dzepe ym. 2020, Khairuddin ym. 2022, Lalander ym. 2020). Liian korkea substraatin kosteus vaikeuttaa myös MSK-toukkien erottelua frassista, koska seulominen on hankalaa (Cheng ym. 2017).

Monissa orgaanisissa sivuvirroissa, kuten entisissä elintarvikkeissa, hedelmissä ja vihanneksissa, on korkea vesipitoisuus. Koska substraatin suotuista kosteusprosentti on tärkeä MSK-toukkien kasvulle, on kehitetty erilaisia tekniikoita korkean kosteustason vähentämiseksi.

Esim. automaattinen inkubointijärjestelmä (haudontajärjestelmä) käyttää paineantureita lämpötilan säätämiseen ja substraatin kosteustason ylläpitämiseen 60 %:ssa veden haihtumisen kautta (Erbland ym. 2021). Kasvatusastioiden ilmanvaihdon lisääminen auttaa hallitsemaan ilman lämpötilaa ja suhteellista kosteutta, mikä lopulta vähentää substraatin kosteutta (Cheng ym. 2017).

Lalanderin ym. (2020) tutkimuksessa havaittiin, että liian suuri kosteuspitoisuus huonontaa biomassan muuntotehokkuutta ja pienentää materiaalin vähenemistä. Toukkien eloonjäämisprosentti laski kosteuspitoisuuden kasvaessa. Toisaalta toukkien paino kasvoi, vaikka eloonjäämisprosentti laski. Lalanderin ym. (2020) kehittämä malli voi ennustaa ilmanvaihtotarpeen ruokajätteen käsittelyssä riippuen substraatin kosteuspitoisuudesta. Ilmanvaihdon tehostamisen avulla toukkien kasvatuksessa voidaan käyttää substraatteja, joiden kosteuspitoisuus on noin 80–90 %, mutta jos substraatin kosteus ylittää 90 %, se ei sovi MSK-toukkien kasvatukseen edes tehostetulla ilmanvaihdolla (Lalander ym. 2020).

5.2.2. Substraatin ravintoainepitoisuus

Substraatin ravintoainepitoisuudella on merkittävä rooli MSK-toukan kasvussa, kehityksessä ja koostumuksessa (Barragán-Fonseca ym. 2018, Eggink ym. 2022, Meneguz ym. 2018). Ravintoaineiden keskinäisten suhteiden lisäksi MSK-toukkien kasvatuksessa on tärkeää määrittää jokaisen ravintoaineen optimaalinen taso. MSK-toukat ovat kaikkiruokaisia, joten ne pystyvät käyttämään ravinnokseen hyvin erilaisia substraatteja (Yang 2017). Substraatin sisältämän ravintoaineiden määrä (Diener ym. 2009) ja koostumus (Gobbi ym. 2013) vaikuttavat mm. MSK-toukkien eloonjäämisprosenttiin ja kehittymisnopeuteen.

Tällä hetkellä tietoa toukkien ravitsemuksellisista tarpeista on kuitenkin vielä vähän, niin perusravintoaineiden (proteiinit, hiilihydraatit, rasvat, vitamiinit, kivennäis- ja hivenaineet) kuin mahdollisten ravintoaineiden imeytymistä estävien aineiden osalta (Caruso ym. 2013). Näistä syistä esitämme alla ruokintasuositusten sijasta joukon viime vuosina tehtyjen tutkimusten keskeisiä tuloksia ja päätelmiä rehujen keskeisten ominaisuuksien vaikutuksista toukkien kasvuun.

5.2.3. Hiilen ja typen suhde ja proteiini/hiilihydraatti suhde

Viime vuosina tutkijat ovat keskittyneet erityisesti hiilen (C) ja typen (N) suhteen sekä valkuaisen ja hiilihydraattien suhteen vaikutusten tutkimiseen. Sopivan C/N-suhteen on todettu olevan tärkeä MSK-toukkien biologiselle aktiivisuudelle. Tutkimusten mukaan toukat pystyvät muuntamaan substraattia toukkabiomassaksi tehokkaasti, kun C/N-suhde on 10–40 (Saragi ja Bagastyo 2015, Lalander ym. 2015, Rehman ym. 2017a). Rehman ym. (2017b) mukaan toukat pystyivät hyödyntämään parhaiten substraattia, kun substraatin C/N-suhde on 16,2, jolloin toukat tuottivat eniten biomassaa ja substraatin kuitumäärä väheni tehokkaasti. Beesigamukama ym. (2021) totesi, että C/N-suhteeltaan 15 oleva substraatti on suotuista MSK-toukkien kasvulle ja ravinteikkaan toukanpurun muodostumiselle.

5.2.4. Proteiinipitoisuus

Substraatissa tulee olla riittävästi proteiinia ja helposti sulavia hiilihydraatteja (Dortmans ym. 2017, 2021). Substraatin proteiinipitoisuuden on raportoitu vaikuttavan toukkien kehitykseen, kun substraattina käytetään elintarviketeollisuuden sivuvirtoja. Oonincx ym. (2015) MSK-

toukkien kasvatuskokeessa toukkien kasvu oli nopeinta substraatussa, jossa oli paljon sekä proteiinia että rasvaa (raakaproteiinia 21,9 % ja 9,5 % rasvaa kuiva-aineesta).

Barragán-Fonseca ym. (2019) testasivat substraatteja, joissa oli erilaisia proteiini: hiilihydraatti suhteita (10:35, 10:45, 10:55, 17:35, 17:45, 17:55, 24:35, 24:45, 24:55). Näissä eri vaihtoehdoissa oli sama määrä kananrehua, mutta tärkkelyksen, kaseiinin ja selluloosan määrät vaihtelivat. Näissä kasvatuskokeessa suurimmat toukkasaannot ja toukkien koteloiden paino oli substraatussa, jossa oli korkein hiilihydraattipitoisuus kaikilla kolmella proteiinitasolla (10, 17 ja 24 %). Cammack ja Tomberlin (2017) testasivat toukkien kasvatuskokeessa proteiinien ja hiilihydraattien suhteen (7:35, 21:21 ja 35:7) lisäksi myös substraatin kosteuspuiteisuuden vaikutuksia. Näissä molemmissa tutkimuksissa havaittiin, että substraatin suuret hiilihydraattimäärät hidastivat mustasotilaskärpäsen toukkien kehitystä.

Cammack ja Tomberlin (2017) tutkimuksessa substraatussa, jossa oli sama määrä sekä proteiinia, että hiilihydraattia (21 %) ja kosteusprosentti 70 %, kasvatetut toukat kehittyivät nopeimmin, paremmalla rehuhyötysuhteella ja selvisivät parhaiten esikotelovaiheeseen. Parhaiten toukat kasvoivat ja menestyivät kuitenkin kontrollina käytetyllä substraattilla (Gainesville). Aikuvaihe ja elinikä olivat samanlaisia kaikissa käsitellyissä. Tämä voi viitata siihen, että MSK-toukkien kehitykseen voivat vaikuttaa myös muut tekijät, kuten esim. substraatin sisältämät mikrobit (Cammack & Tomberlin 2017). Substraatin sisältämien ravintoaineiden sulavuus voi lisääntyä, jos bakteerit ja sienet ovat jo esikäsitelleet substraatin raaka-aineita (Bekker ym. 2021, Dortmunds ym. 2021).

Oddon ym. (2022b) MSK-toukkien kasvatuskokeessa arvioitiin viiden erilaisen käytännölläheisen, puolipuhdistetun ja isoenergisien (kaikissa sama energiamäärä) substraatin vaikutuksia MSK-toukkien kasvuun ja kehitykseen. Toukkien kasvatuksessa käytettyjen substraattien proteiinipitoisuus oli 10 %, 14 %, 16 % tai 19 %. Kontrollina oli Gainesville-substraatti. Koko toukkavaihetta tarkasteltaessa substraatti, joka sisälsi 16 % proteiinia (kuiva-aineessa) osoittautui parhaaksi toukkien kasvun ja kehityksen kannalta. Jos toukkia kasvatetaan pidempään (18 päivää) substraatin proteiinitaso voi olla alhaisempi (14 % kuiva-aineesta) (Oddon ym. 2022b).

5.2.5. Rasvapitoisuus

Mustasotilaskärpäsen toukkien kasvuun vaikuttaa myös substraatin rasvapitoisuus ja ilmeisesti myös rasvan laatu. Oddon ym. (2022a) testasivat erilaisten substraatin rasvapitoisuuksien (1–4,5 % kuiva-aineesta) vaikutusta MSK-toukkien kasvuun. Kokeessa todettiin, että jos substraatussa on alle 1 % rasvaa, sillä on negatiivinen vaikutus toukkien kasvuun ja kehitykseen. Tässä kokeessa toukat kasvoivat parhaiten substraatussa, jossa oli korkein rasvapitoisuus (Oddon ym. 2022a).

Li ym. (2022) testasivat toukkien kasvua substraateissa, joissa oli erilaisia rasvaa tai öljyä sisältäviä raaka-aineita. Toukkien loppupaino ja koko kasvoivat, kun substraatin lisärasvataso (pellava-, maapähkinä-, kookos- ja kalaöljy) nousi 5 %:sta 10 %:iin. Jos substraattiin lisättiin sojaöljyä tai laardia, merkittävää kasvua ei kuitenkaan tapahtunut. Ilmeisesti substraatin energiatason lisäksi myös jotkin rasvahapot voivat toimia ratkaisevina ravintoaineina toukkien kasvuun (Li ym. 2022).

5.2.6. Suolapitoisuus ja happamuus

Cho ym. (2020) havaitsivat, että MSK-toukkien kasvuvauhti ja kehitys hidastuu, kun substraatin suolapitoisuus kasvaa (1–3 %). Natriumkloridin (NaCl) lisääminen substraattiin vähensi toukkien painoa, koteloitumisprosenttia ja substraatin biokonversiota. Kwon ja Kim (2016) raportoivat, että yli 4 % NaCl-pitoisuus substraatissa lisäsi MSK-toukkien kuolleisuutta.

MSK-toukat voivat kasvaa ja kehittyä substraatissa, jonka pH-alue voi vaihdella erittäin happamasta erittäin emäksiseen (pH 2,0–10,0). MSK-toukat ovat kasvaneet ja selviytyneet hyvin substraateissa, joiden pH-arvot vaihtelevat eri tutkimuksissa 5–8 välillä (Caruso ym. 2013, Dortmans 2015, Lalander ym. 2015, Rehman ym. 2017a). Ma ym. (2018) mukaan suotuisa lähtöhappamuus toukkien suoliston mikro-organismeille ja korkeammalle biomassan tuotannolle vaihtelee välillä pH 6,0–8,0. Rehman ym. (2017b) mukaan substraatin kyky puskuroida happamuutta (puskurikapasiteetti) on tärkeä toukkien biologiselle aktiivisuudelle.

6. Substraatin koostaminen sivuvirroista – kokemuksia Kanalle lähitoukkaa -hankkeesta

Henna Pitkänen, Tiina Siimekselä, Miika Tapio, Tomasz Stefański, Tuija Peltomäki, Maija Karhapää, Jouni Virta, Susanne Heiska, Vesa Harjunmaa, Hanna Aromaa, Jukka Markkanen, Taina Jalava ja Pertti Marnila

MSK toukkien tuotannon ympäristö- ja taloudellisesta kestävydestä on tehty elinkaarianalyysijä esim. kalankasvatuksen (Mohald & Brekke 2022) ja kananmunan tuotannon (Aldama 2023) näkökulmista. Elinkaarianalyysien mukaan tuotanto on ekologisesti kestävä, jos toukat pystytään kasvattamaan sivuvirtoja hyödyntämällä (Smetana ym. 2019, 2023). Tämä oli huoltovarmuuden ja omavaraisuuden ohella syynä, että Kanalle lähitoukkaa -hankkeessa testasimme substraattien koostamista maatilan kasvituotannon sivuvirroista. Käytimme parhaan osaamisemme mukaan julkaistuja elinkaarianalyysijä luvussa 8. (Laskentatyökalut) esiteltävien talouslaskentatyökalujen kehittämisessä.

Toukkakasvatuksessa substraattina eli kasvualustana voidaan käyttää maatalouden tai elintarviketeollisuuden sivuvirroista koostettua toukille sopivaa seosta, jonka kosteuspitoisuus on riittävä. Sivuvirtojen hyödyntäminen on sekä ympäristön, että toiminnan kannattavuuden kannalta järkevää. Sivuvirrat voivat olla kasviperäisiä aineita, kivennäisyhdisteitä, maito- ja munatuotteita. Hydrolysoitu proteiini ja gelatiini sopivat, kun ne eivät ole lähtöisin märehitöistä sekä kalajauho. Myös entiset elintarvikkeet, jotka eivät sisällä lihaa tai kalaa, ovat sallittuja. Hyönteisiä ei saa kasvattaa ruoka- tai biojätteellä, muulla jätteellä (kuten teuras- ja kalanperkuujäte) tai lannalla (Ruokavirasto 2024a). Esimerkiksi suurkeittiöiden tai ravintoloiden kasvikset, jotka eivät ole olleet tarjolla, sekä teollisuudessa erikseen kerätyt kasvien osat ovat sallittuja rehukäytössä. Hyönteisille syötettävien rehujen tulee olla hyvälaatuisia ja hyönteisten ruokintaan sopivia.

Kanalle lähitoukkaa hankkeessa koostettiin toukille sopiva kasvualusta kasvituotannon, lähinnä viljan lajittelun sivuvirroista ja testattiin se käytännössä toimivaksi. Kasvualustan eli toukille sopivan rehun koostamisen prosessista kerrotaan Suomen Maataloustieteellisen Seuran Tiedotteessa, Kanalle lähitoukkaa (Siimekselä ym. 2024). Rehun koostamisessa tavoiteltiin Kaistin tilalla käytössä olevien valittujen sivuvirtojen hyödyntämistä, toukan hyvää kasvua ja seulontaan sopivaa tuotosta eli toukan sekä frassin erottelun onnistumista. Frassi (Kuva 11) on toinen tuote tai sivuvirta, mikä syntyy toukkien lisäksi toukkakasvatustaprosessissa. Frassia kutsutaan myös toukkapuruksi. Se koostuu toukkien luomista nahkoista, niiden ulosteesta sekä kasvualustan sulamattomista kuiduista, joita toukat eivät ole pystyneet hyödyntämään.

6.1. Rehuresepti, saannot ja pilot-prosessien tuotokset

Kanalle Lähitoukkaa -hankkeessa testattiin 30 erilaista Kaistin tilan kasvinviljelyn lajittelusivuvirtoihin perustuvaa rehureseptiä (Kuva 12). Kasvualustan lajitteet jauhettiin ennen toukkakasvatusta lopputuloksen seulottavuuden sekä rehun hyötysuhteen parantamiseksi. Toukkakäsittelyn jälkeen käsitellyn kasvualustan eli frassin tuli olla seulaverkon läpäistävissä. Kaikkia testattuja kombinaatioita emme tässä käy läpi. Parhaaksi toukkien kasvualustaksi osoittautui karkeasti jauhettu lajittelusivuvirta, joka sisälsi kutakin testilaatikkaa kohden rypsinurmiseosta (lajittelusivuvirtaa, 1 kg), ohraa (2 kg), vehnää (1 kg), hernetä (0,5 kg) ja vettä (5,5 kg).



Kuva 11. Frassia eli toukanpurua. (Kuva: Henna Pitkänen)



Kuva 12. Hankkeessa testattuja erilaisia sivuvirtoja sisältäviä kasvatusalustoja. (Kuva: Henna Pitkänen)

Sivuvirran rakenteella oli merkittävä vaikutus lopputulokseen. Liian suuri raekoko vaikeutti ravinteiden hyödyntämistä ja liian jauhoinen massa kovettui laatikon pohjaan, jolloin se ei ollut toukkien hyödynnettävissä. Optimaalinen kosteus ja kasvualustan rakenne varmistivat toukkien kasvun ja biomassan hyödyntämisen. Esim. liian hienoksi jauhetut rehun raaka-aineet tekevät veden kanssa liian tiiviin massan, josta osa toukista ei saa syötyä eikä kasva isoksi.

Parhaaksi osoittautuneella lajittelusivuvirtojen seoksella (4,5 kg kuiva-ainetta + 5,5 litraa vettä/ laatikko) saatiin kasvatuslaatikosta tuoretta toukkaa $3,38 \pm 0,044$ kg ja frassia $2,41 \pm 0,37$ kg. Tällä reseptillä tuotetut tuoreet kokonaiset toukat sisälsivät raakavalkuaista 123,7 g/kg, joka vastaa hyvin nyrkkisääntöä, että rehuvalkuaista saadaan n. 12 % toukkien tuorepainosta (Taulukko 2).

Taulukko 2. Lajittelusivuvirtoihin perustuvalla rehureseptillä kasvatettujen toukkien peruskoostumus tuoreessa toukassa (g/kg) ja kuiva-ainetta (g/kg ka) kohden. Raakaproteiinin pitoisuuden laskennassa on käytetty tyypianalyysin tuloksena kerrointa 4,76. N-ohutsuolisulavuus on mitattu *in vitro*.

	Raakavalku- aineen g/kg	Raakarasva g/kg	Raakasokeri g/kg	Sulamaton kuitu g/kg	Tuhka g/kg	Vesi g/kg	Ohutsuoli- sulavuus (N) %
Tuore toukka	123,7	159,2	30,6	77,5	37,3	542	85,3 %
Kuiva toukka	270,0	347,6	66,9	169,2	81,4	--	86,2 %

Siipikarjan on saatava rehustaan välttämättömät aminohapot (Alagawany ym. 2021). Välttämättömiä aminohappoja e. m. rehureseptillä kasvatettujen toukkien raakaproteiinissa oli seuraavasti: metioniini 6,0 (g/kg), kysteini/kystiini 2,9 (g/kg), lysiini 22,1 (g/kg), tryptofaani 5,4 (g/kg), treoniini 15,4 (g/kg), arginiini 15,7 (g/kg), isoleusiini 16,3 (g/kg), leusiini 26,0 (g/kg), histidiini 9,8 (g/kg), fenylalaniini 15,2 (g/kg) ja valiini 23,2 (g/kg).

Koska mustasotilaskärpäsen toukan proteiini sisältää kaikki välttämättömät aminohapot, se voisi olla ainakin osaratkaisu mm. metioniinin ja kysteiniin saatavuuteen. Näitä aminohappoja kasviperäisissä rehun raaka-aineissa on liian vähän siipikarjan tarpeeseen verrattuna. Kuitenkin juuri metioniinia ja kysteiniä toukkaproteiini sisältää analyysin mukaan vain vajaa puolet kalajauhon pitoisuudesta. Ilmoitetut kalajauhojen ja MSK:n proteiinien sisältämät metioniinin pitoisuudet vaihtelevat (Lu ym. 2022). Jos esim. halutaan korvata kalajauhon metioniini kokonaan toukkaproteiinilla, toukkaproteiinia pitäisi sisällyttää rehuun vähintään kaksin tai jopa kolminkertainen määrä.

Toukkanaytteiden raakaproteiinipitoisuudet mitattiin Luken laboratorioissa tyypianalyysillä eli ns. Kjeldahl-menetelmällä (Official method AOAC 2001) käyttäen pilkkomiskatalyyttinä kuparia ja mittaamiseen Foss Kjelltec 2400 analysointia (FOSS, Hillerød, Denmark). Kun käytetään tyypianalyysiä toukkien raakaproteiinien mittaamiseen ei laskennassa tule käyttää tavanomaista kerrointa 6,25, koska toukkien kitiinikuori sisältää paljon typpeä. Kokonaisille toukille paremmin kitiinin huomioon ottavaksi kertoimeksi on ehdotettu 4,76 ja uuttamalla saadulle toukan proteiinifraktiolle kerrointa 5,60 (Janssen ym. 2017).

Aminohapot analysoi Eurofins Suomi (Eurofins Scientific Finland) menetelmällä ISO 13903:2005 (EU 152/2009 IC-UV). Muut analyysit tehtiin Luken laboratorioissa. Alkuperäiset

kuiva-aineet saatiin pakkaskuivaamalla näytteet 3-4 vrk ajan aloittaen $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ lämpötilasta ja $0,370\text{ mbar}$ alipaineesta. Analyysikuiva-aine (sekundäärinen k.a.) saatiin kuumentamalla esikuivatut näytteet $105\text{ }^{\circ}\text{C}$:ssa 16 h ajan. Raakasva analysoitiin käyttäen menetelmää Official method AOAC 920.39., raakasokerit kuten kuvattu julkaisussa Somogyi (1945), raakakuitu EY komission direktiivin EEC 92/89 mukaan (European comission 1992), tuhka gravimetrisesti $+510\text{ }^{\circ}\text{C}$ 16 h kuumennuksen jälkeen (Official method AOAC-942.05) ja ohutsuolisulavuus *in vitro* (koeputkessa) kuiva-aineen ja typen sulavuutena kuten kuvattu julkaisussa Boisen ja Fernández (1995).

6.2. Toukkien alkuprosessointi

Kanalle lähitoukkaa -hankkeessa pilotoitiin märkä- ja kuivaprosessointia toukkamassalla, joka oli saatu Jamkin kasvatuskokeista. Toukat oli kasvatettu Kaistin tilan kasvinviljelyn lajittelusivuirroista koostetussa substraatissa. Märkäprosessikokeita varten Jamsissa pakastettu toukkamassa sulatettiin kylmähuoneessa ($+4\text{ }^{\circ}\text{C}$) ja kutteroitiin kylmänä. Esikokeissa dekanttersentrifuugi todettiin toimimattomaksi. Se tukkeutui herkästi riippumatta massan lämmityksestä tai veden lisäyksen määrästä. Sen sijaan vahvalla ruuvipuristimella (Angel, Angelia 8500S) saatiin tuore toukka fraktioitua puristuskakuksi ja juoksevaksi tahnamaiseksi jakeeksi. Märkäprosessia testattiin lämpötiloissa $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, $23\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja $65\text{ }^{\circ}\text{C}$. Kaikissa lämpötiloissa puristuskaunun osuus painosta oli $21\text{--}26\text{ }%$ ja juoksevan faasin osuus $74\text{--}79\text{ }%$. Pääosa proteiinista jäi juoksevaan faasiin yhdessä rasvan kanssa (Taulukko 3). Rehukäyttöä varten molemmat fraktiot tulisi kuumentaa ja kuivata. Juoksevan jakeen korkea rasvapitoisuus todennäköisesti haittaa rakeistamista.

Kuivaprosessikokeita varten toukat kuivattiin kokonaisina kiertoilmauunissa (simuloi linjastokuivuria) $65\text{ }^{\circ}\text{C}$ lämpötilassa 30 h, jonka aikana $64\text{ }%$ niiden painosta oli haihtunut. Vahvalla rypsipuristimella (Oelwerk.com OW500 s-inox) kuivasta toukkamassasta saatiin koneen $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ esilämmityksellä (6 mm siivilä) ja toukkamassan esilämmityksellä n. $100\text{ }^{\circ}\text{C}$:een juoksevaa fraktiota vain $8\text{--}10\text{ }%$ (pelletti $90\text{--}100\text{ }^{\circ}\text{C}$). Alemmilla lämpötiloilla massa ei rypsipuristimella fraktioitunut ollenkaan. Fraktioita ei analysoitu. Sen sijaan vahvalla ruuvipuristimella (Angel, Angelia 8500S) mikroaaltouunissa n. $100\text{ }^{\circ}\text{C}$:een esikuumennetusta toukasta irtosi juoksevaa tahnaa $23\text{ }%$ ja puristuskakua $77\text{ }%$. Rasvan osuus juoksevasta jakeesta oli n. puolitakertainen verrattuna puristuskakkuun (Taulukko 3), mutta sekä rasvaa että proteiinia jäi edelleen merkittäviä määriä kumpaankin jakeeseen. Säättämällä lämpötiloja ja puristusvoimaa sekä veden lisäyksellä suhteeseen voitaisiin ehkä vaikuttaa jonkin verran.

Osa proteiinista meni rasvafraktioon. Rasvan puhdistus edelleen edellyttää joko liuotinuutto-tekniikoita tai mikro-suodatusta, joita käytetään suurissa teollisissa laitoksissa (Caligiani ym. 2018, Smets ym. 2020, Rahman ym. 2024). Käsityksemme mukaan ne eivät sovellu maatilamittakaavan toimintaan. Jakeiden laboratoriotulosten perusteella sekä proteiinirikaste että rasva kannattaa käyttää rehuksi kohde-eläimen ravintovaatimukset huomioiden. Proteiinin ja rasvan saannot vastasivat kirjallisuudessa kuvattuja. Mikrobiologisten riskien hallinnan ja energiankäytön sekä prosessivaiheiden minimoimiseksi toimintamallissa suositellaan kuivaprosessia. Myös kokonainen kuivattu ja lämpökäsittely toukka soveltuvat sellaisenaan hyvin siipikarjalle.

Taulukko 3. Märkä- ja kuivaprosesseista saatujen toukkajakeiden ja syötteiden peruskoostumukset (g/kg). Raakaproteiinin pitoisuuden laskennassa on käytetty tyypianalyysin tuloksen laskennassa kerrointa 4,76.

Märkäprosessi	Osuus massasta %	Raakavalkuainen g/kg	Raakarasva g/kg	Raakakuitu g/kg	Tuhka g/kg	Kuiva-aine %
Tuore syöte 65 °C	100 %	331	355	120	102,6	32,1 %
Puristuskakku	26 %	378	297	306	65,7	44,9 %
Juokseva jae	74 %	342	183	189	90,8	20,7 %
Kuivaprosessi	Osuus massasta %	Raakavalkuainen g/kg	Raakarasva g/kg	Raakakuitu g/kg	Tuhka g/kg	Kuiva-aine %
Kuiva syöte 100 °C	100 %	333	306	180	84,9	98,5 %
Puristuskakku	77 %	268	290	163	73,1	98,1 %
Juokseva jae	23 %	223	488	123	65,6	98,8 %

6.3. Frassin ravinnepitoisuudet

Rehuproteiinin ja rasvan tuotannon ohella tärkeä tuotannon tekijä on MSK-kasvatuksen yhteydessä syntyvä toukanpuru eli frassi, joka parhaimmillaan on kananlannan veroinen lannoite. Frassin koostumus riippuu voimakkaasti toukkien substraatin koostumuksesta. MSK-toukkien kasvatuksen sivutuotteena muodostuvan tyypillisen frassin märkäpainosta 37 % on hiiltä, 3 % typpeä, 1–5 % fosforia ja 0,5–4,1 % kaliumia, joten frassi sopii hyvin biolannoitteeksi (Lopes ym. 2022).

Koska frassi on hyvänä ja lähes hajuttomana lannoitteena haluttua kotipuutarhoissa ja kotitalouksissa, se on hyönteistuottajille tärkeä myyntiartikkeli ja tulonlähde. Tästä syystä yllä kuvattulla lajittelusivuvirtoihin perustuvalla rehureseptillä tapahtuneen tuotantoprosessin jälkeen saadun frassin ravinnepitoisuus tutkittiin Luken laboratorioissa (Taulukko 4).

Liukoisien typen osuus tässä massakasvatuksen frassissa on lähellä kanankakkalannoitteen osuutta (35 %). Liukoinen typpi on tärkeä lyhyellä aikavälillä, mutta kokonaistyyppi on silti kaikkein keskeisin ja sen mukaan lannoitusmäärät lasketaan. Vertailun vuoksi esim. Kekkilän kanankakkalannoite sisälsi tuhatta kuiva-ainekiloa kohden typpeä 23,9 kg, josta liukoista 8,6 kg, fosforia 11 kg ja kaliumia 19 kg. Frassin käyttö lannoitteena elintarviketuotannossa edellyttää sivutuoteasetuksen (EY N:o 1069/2009) mukaisen vähintään 1 h ja 70°C lämpökäsittelyn (Kuva 13).



Kuva 13. Jamkin kasvattamosta saatu toukanpuru kuivattiin ja käsiteltiin sivutuoteasetuksen mukaisesti kuumentamalla 70°C 1 h. (Kuva: Pertti Marnila)

Taulukko 4. Lajittelusivuvirroista tehdyllä rehulla saadun frassin lannoiteominaisuuksiin liittyvät ravinnepitoisuudet. Lukuarvot kg per tonni kuiva-ainetta. Poikastuotannon kasvatusalustan pääkomponentit olivat Combi-Nasu ja vehnänleseeseos.

Frassi	Kokonaistyyppi N	Liukoinen typpi N	Fosfori P	Kalium K
Massakasvatus lajittelusivuvirrat	32,6	9,2	10	12,7
Poikastuotanto alkukasvatus	26,2	10,8	14,3	11,9

6.4. Toukkien kasvualustan toimivuus

Kasvualustan on oltava riittävän kuohkea, jotta toukat pystyvät läpäisemään massaa ja kääntämään sitä kasvaessaan. Vesi tulee imeyttää rehuaineisiin tasaisesti, sillä imeytymätön vesi voi aiheuttaa toukkien karkaamista. Rehuaineet, jotka sitovat hyvin vettä sopivat paremmin toukkien kasvualustan koostamiseen. Optimaalinen kasvualustan koostumus, kosteus ja oikea toukkamäärä varmistavat prosessin käynnistymisen ja biomassan lämpenemisen, mikä edistää toukkien aktiivisuutta ja kasvua.

Virheellinen rehun koostumus, epätasapainoinen kosteus, liian suuri tai pieni toukkamäärä sekä riittämätön ilmanvaihto voivat aiheuttaa rehun pohjaan kovettumista tai pinnan kuoretumista, jolloin toukat eivät voi hyödyntää kasvualustaa täysimääräisesti. Toukille epämieluisat olot saavat ne pyrkimään pois kasvatuslaatikosta. Viileä kasvatusympäristö hillitsi toukkien karkaamista, vaikka rehun optimointi ei kaikissa tapauksissa onnistunut täydellisesti.



Kuva 14.a. Myllyn karkeimmalla säädöllä jauhettua viljan lajittelun sivuvirtaa, ohraa. **Kuva 14b.** Jauhettuja kasvintuotannon lajittelun sivuvirtoja mm. ohraa ja hernettä. **Kuva 14c.** Jauhettua kasvintuotannon lajittelun sivuvirtaa, rypsiä. (Kuvat: Henna Pitkänen)

Parhaat tulokset saavutettiin jauhamalla lajittelusivuvirrat käytössä olevan myllyn karkeimmalla asetuksella, sillä eri jakeiden ominaisuudet loivat sopivan erirakenteisen kasvualustan (Kuva 14). Yhdestä tai hyvin samantyyppisistä sivuvirroista koostettua kasvualustaa kannattaa jauhaa osa karkeammalla ja osa hienommalla säädöllä. Yksittäisen sivuvirran sijaan usean sivuvirran sekoitukset toimivat toukkien kasvatuksessa paremmin, ja sivuvirtojen yhdistelyllä voidaan myös tasapainottaa alustan rakennetta, ravinteita ja kosteutta. Kanalle lähitoukkaa hankkeessa pyrittiin maksimoimaan lajittelusivuvirtojen hyötykäyttö, joten kasvualustassa koekeltiin useita erilaisia sivuvirtoja samanaikaisesti.

Sen jälkeen, kun vesi oli imeytynyt kuiviin rehuaineisiin, lisättiin kasvualustan päälle viiden päivän ikäisiä pikkutoukkia (Kuva 15). Toukat alkavat hyödyntämään biomassaa, jolloin kasvu-alusta lämpenee ja vähitellen kuivuu riittävästi, jolloin se on seulottavaa. Tavoitteena on, että kasvualustan määrä riittää toukille hyvään kasvuun (n. 200 mg), mutta tulee käytettyä ja käsiteltyä seulottavaksi, kun toukkien koko on suurimmillaan.

Kasvatustiheys tulee suhteuttaa rehun sisältöön ja määrään. Tyytyväiset toukat pysyvät kasvatuslaatikossa, mutta liian kostea, etenkin pintaan kerääntynyt vesi saa toukat pyrkimään pois laatikosta. Mikäli karkaamista tapahtuu, voidaan sitä estää ripottelemalla laatikon reunoille kuivaa jauhomaista sivuvirtaa.

Kanalle lähitoukkaa hankkeen rehuja koostaessa vettä lisättiin kuiviin rehuaineisiin. Perunan-kuorimon sivuvirtaan, johon kuorimaprozessissa sekoittuu vettä, tarvitaan lisäksi kuiva-ainetta (esim. leipomon sivuvirtaa) koostettaessa siitä toukille kasvatusalustaa (ellei ylimääräistä vettä saada poistettua). Laitteista, sivuvirroista ja käytännöistä vaihdellen vesi sekä kuivat ainekset sekoitetaan erillisessä säiliössä tai vesi sekä kuivat ainekset jaetaan kasvatuslaatikoihin ilman sekoitusta tekeytymään, jonka jälkeen pikkutoukat lisätään kasvualustan päälle. Rehuaineiden

ja veden lämpötilalla on vaikutusta prosessin käynnistymiseen. Valmiiksi lämmin massa nopeuttaa ja varmistaa prosessin käynnistymistä.



Kuva 15. Esikasvatetut pikkutoukat alkukasvatusrehussa lisätään toukkakasvatuksessa käytettävän kasvualustan päälle. (Kuva: Henna Pitkänen)

Koostetusta rehuseoksesta saatiin riittävän toimiva käytössä olevilla toukilla, toukkamäärillä ja kasvatusolosuhteilla. Optimointia voitaisiin jatkaa paremman kasvun saavuttamiseksi lisäämällä rehumäärää tai vähentämällä rehuun lisättävien pikkutoukkien määrää.

Kasvatuslaatikon kasvualustan paksuus vaikuttaa toukkien kykyyn käsitellä alustaa. Optimaalinen korkeus on noin 7 cm, jotta biomassa käsittely onnistuu tasaisesti laatikon pohjasta alkaen. Laatikon pohjaan kovettumista tapahtui vain vähän ja joissakin laatikoissa, mutta suuremmissa erissä merkitys kasvaa. Kuohkeuden lisäämiseksi voisi kokeilla suurempaa määrää rypsinurmiseosta tai karkeampaa jauhatusta, mikä estää rehun kovettumista ja varmistaa biomassan optimaalisen hyödyntämisen. Tässä esitetty ohje kasvualustan koostamiselle on siis viitteellinen ja rehu tulee aina koostaa uusien rehukomponenttien, tilojen ja olosuhteiden muuttuessa.

Tilakohtaisesti voidaan arvioida, kasvatetaanko toukat mahdollisimman suuriksi vai onko tehokkaampaa kasvattaa määrällisesti enemmän pienempää toukkaa. Työ- ja resurssipanosten lisäksi tulee miettiä, millaista toukan koostumusta tavoitellaan. Toukan koostumus muuttuu sen kasvun ja iän mukaan.

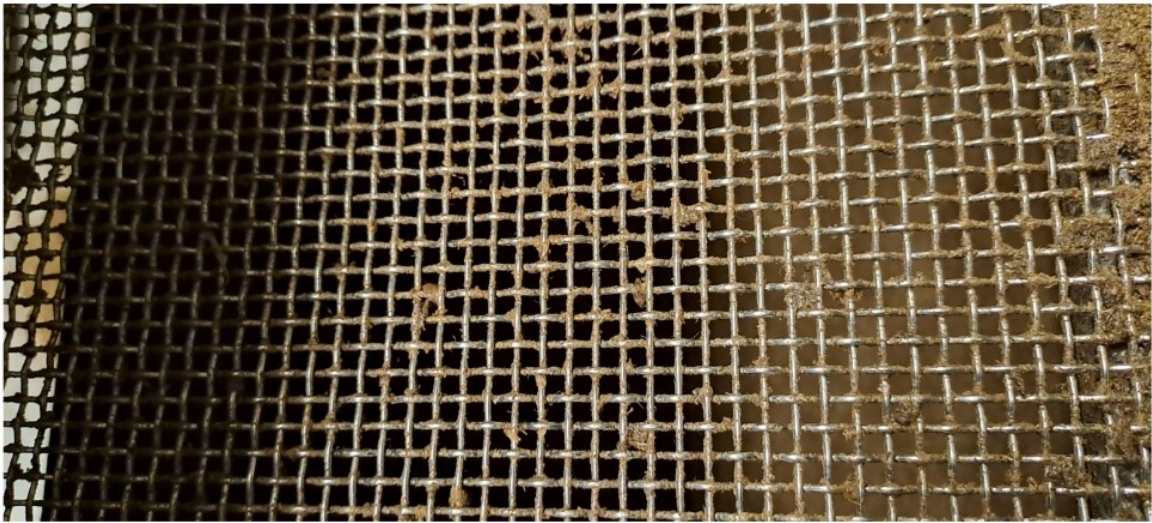
6.5. Seulonta ja seulonnan ajankohta

Hankkeessa tuotetun rehuseptin toukkatuotannon pilotointierät seulottiin eli toukat ja frassi eroteltiin toisistaan. Käytössä oli voimavirralla toimiva/sähkötoiminen täry-/tasoseula (Kuva 16), mikä erottelee jakeet 3 mm seulaverkon (Kuva 17) ylä- ja alapuolelle. Seulonta suoritettiin kuuden päivän kuluttua pikkutoukkien lisääksestä kasvualustaan eli tämän ajanjakson toukat käsittelivät biomassaa. Sivuvirtasubstraatissa kasvaneiden toukkien paino oli seulottaessa 110 ± 7 mg/kpl (verrokissa jopa 300 mg). Yhdestä kasvatuslaatikosta saatiin toukkaa $3,38 \pm 0,044$ kg ja frassia $2,41 \pm 0,37$ kg. Erät olivat hyvin tasalaatuisia, mutta isompaa toukkaa tavoiteltiin. Tämä onnistuisi vähentämällä toukkamäärää, lisäämällä kasvualustaa tai lisäämällä toukan tarvitsemia ravintoaineita rehuseptiin.

Seulonnan ajankohta vaikuttaa tuotannon saantoon ja laatuun. Parhaimmillaan toukat seulotaan silloin, kun ne ovat pulleimmillaan eikä seassa ole vielä esikoteloituneita toukkia. Prosessi on onnistunut, kun toukille on riittänyt ravintoa hyvin kasvuun, mutta samalla biomassa on tullut käsiteltyä ja sen kosteus on laskenut seulottavuuden tasolle. Liiallinen kosteus tai paakkuuntuminen estää frassin menemisen seulaverkosta läpi (Kuva 18). Kasvatusprosessi etenee kasvatuslaatikoissa hieman eri tahtiin. Joidenkin laatikoiden kohdalla seulomisajan kohta ei ole optimaalinen, kun seulonta ajoitetaan samanaikaisesti koko erän kanssa.



Kuva 16. Hankkeessa käytetty täryseula. (Kuva: Henna Pitkänen)



Kuva 17. Seulaverkko 3 mm x 3 mm. (Kuva: Henna Pitkänen)



Kuva 18. Liian kostea frassi jää seulaverkkoon kiinni. (Kuva: Henna Pitkänen)

Kanalle Lähitoukkaa -hankkeessa toukkien biomassan käsittelyaika oli 5–8 vrk, jolloin toukat ja frassi olivat seulottavissa. Käsittelyaikaan vaikuttivat rehuresepti, toukkamäärä ja olosuhteet. Kun toukat ovat valmiita seulottavaksi, niin edeltävänä päivänä ne ovat todennäköisesti olleet kevyempiä ja kasvualusta kostempaa, kun taas sopivaa ajankohtaa seuraavana päivänä toukka alkaa taas kutistumaan ja kasvualusta kuivumaan entisestään. Seulonta ajoittui toisinaan viikonlopulle tai vapaapäivälle, jolloin se siirtyi seuraavaan arkipäivään. Seulonnan jälkeen toukkamassa punnittiin ja toukat lopetettiin pakastamalla $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$:ssa vähintään 24 tunnin ajan. Käsittely inaktivoi toukkamassan vieraslajiasetuksen mukaisesti.

7. Toukkien kasvatusprosessin hallinta

Henna Pitkänen, Maija Karhapää, Miika Tapio, Susanne Heiska ja Tiina Siimekselä

Toukkien kasvatusprosessia hallitaan tarkasti, sillä kasvuun vaikuttavat mm. ilmankierto, lämpötila, lämpötilan ja/tai kaasujen kerrostuneisuus, ilmankosteus, hiilidioksidipitoisuus ja valaistus. Valaistus on olennaista vain aikuiskasvatuksessa. Automaatio säätelee olosuhteita elinkierron eri vaiheisiin sopiviksi, ja tekoäly voi optimoida niitä prosessin edetessä. Alussa on tärkeää, että toukkaprosessi lähtee hyvin käyntiin ja siihen voidaan tarvita lämpöä, kun taas toukkaprosessin käydessä kiivaimmillaan, toukat tuottavat biomassaan niin paljon lämpöä, että ilma-alaa on jäähdytettävä.

Kasvatuksessa voidaan käyttää joko panos- tai jatkuvatoimista menetelmää. Panostoimisesti kasvatettaessa samaan tilaan kasvatuslaatikoihin laitettut toukat kasvatetaan seulottavaksi asti. Tällöin olosuhteita voidaan muuttaa etenevän kasvatusprosessin tarpeiden mukaan. Jatkuva-toimisesti kasvatettaessa kasvatustilaan lisätään esim. päivittäin uusi erä. Tällöin olosuhteet ovat kompromissi eikä niitä voida säätää jokaisen erän tarpeiden mukaan. Tasaisemman työkuorman ja toukan tuottavuuden takaamiseksi panostoiminen ja jatkuvatoiminen kasvatusta voidaan yhdistää toteuttamalla kasvatusta niin, että jokainen erä jaetaan omaan tilaan. Päivittäiset erät erotellaan vähintään muoviliuskaverhoseihin.

Kasvatusmittakaava vaikuttaa olosuhteiden hallinnan tarpeeseen. Suuret biomassamäärät tuottavat lämpöä ja kaasuja, mikä edellyttää tehokasta ilmankiertoa. Liiallinen ilmavirta voi kuitenkin häiritä prosessia ja aiheuttaa toukkien karkaamista laatikoista. Olosuhteisiin tyytyväiset toukat pysyvät laatikossa, mutta pienetkin muutokset saattavat herkistää toukat karkailuun. Oikeanlainen ilmankierto tasaa toukkalaatikkokerrosten olosuhde-eroja mm. lämpötilan ja kaasujen osalta, mikä varmistaa toukkaprosessin tasalaatuisuutta. Kanalle lähitoukkaa - hankkeessa saadun kokemuksen mukaan toukkalaatikkokerrosten välillä voi olla asteenkin ero lämpötilassa. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että alimman laatikon kohdalla ilman lämpötila voi olla 13 °C ja kerroksissa kuudennen laatikon kohdalla 18 °C. Lämpötilaeron vaikutuksesta toukkaprosessi etenee laatikoissa eri tahtiin ja tuo epätasaisuutta ja laatueroa kyseiseen erään.

Toukkien kasvatuskoe tehtiin loppuvuodesta 2023. Tässä hankkeessa simuloitiin maatilamaisia olosuhteita eli toukkia kasvatettiin ilman säädeltyjä ilmasto-olosuhteita (13–19 °C, ilmankosteus 40 %, CO₂-pitoisuus 1300 ppm). Kasvatustilassa oli peruslämpö, mutta olosuhteet vaihtelivat silti ulkolämpötilan ja ilmankosteuden muutoksien mukaan. Normaalisti mustasotilaskärpäsen toukille pyritään luomaan trooppiset olosuhteet. Vaikka kasvatustilan ilman lämpötila oli alhaisempi, toukkien käsittelemä massa pysyi lämpimänä. Kylmä biomassa voi hidastaa prosessia ja aiheuttaa toukkien karkaamista, kun taas liiallinen lämpö voi aiheuttaa toukille stressiä ja saada toukat aktiivisuudellaan kuluttamaan käyttämänsä ravinnon ja kuivattaa massaa liian nopeasti.

Toukkamäärän lisäksi käsiteltävän biomassan määrällä, koostumuksella, rakenteella ja kosteudella on oma osuutensa siihen, kuinka nopeasti toukat saavat massan lämpenemään. Hitaasti käynnistyvä prosessi saa myös biomassan kuorettumaan tai kokkaroitumaan, mikä aiheuttaa haasteita seulontaan, kun kokkareet jäävät toukkien sekaan.

Kanalle lähitoukkaa -hankkeessa todettiin, että toukkia voi kasvattaa aiemmin oletettua alhaisemmassa ilman lämpötilassa ja ilmankosteudessa, kunhan kasvualustan olosuhteet pysyvät optimaalisina. Kasvualustan tulee edelleen olla lämmin ja riittävän kostea. Kun prosessi käynnistyy, niin kasvualusta lämpenee ilman alhaisemmasta lämpötilasta huolimatta. Viileämmässä kasvatustilassa myös toukkien karkailu väheni.

8. Laskentatyökalut

Miika Tapio, Pertti Marnila ja Jukka Markkanen

Toimintamallin tueksi laadittiin skaalattavat laskentatyökalut MSK-kasvatuksen tuotannon ja kustannusten arviointiin. Laskentatyökalut auttavat arvioimaan, millä edellytyksillä tuotanto olisi taloudellisesti kannattavaa eri tilanteiden ja kustannustekijöiden muuttuessa. Mallinnustyökaluun voidaan syöttää erilaisia muuttujia. Sen avulla voidaan laskea rehukustannus ensin toukille, toukan kasvatukselle, prosessoinnille ja sen jälkeen toukkaa sisältävän rehuaineen kustannus. Mallia voidaan käyttää laaja-alaisesti kaikilla tiloilla, joilla käytetään vastaavanlaisia viljelymenetelmiä ja rehuseptejä.

Laskentatyökalussa MSK:n toukkien rehujen tuotannon kustannusten arviointiin (sisältäen laiteinvestoinnit) rehujen peruskomponentteina käytettiin maatilalla viljeltäviä kasveja ja niiden sivuvirtoja. Menetelmänä käytettiin julkaistuja hyönteistuotannon laskentamalleja ja soveltuvien osien olemassa olevia kasvintuotannon kustannuslaskelmapohjia.

MSK:n toukkien rehujen koostamisen suunnittelutyökalut löytyvät taulukon ensimmäiseltä välilehdeltä "Rehut". Tämän välilehden avulla voi luoda reseptin, jonka koostumus on lähellä kasvualustan tavoitetta käyttäen annettuja raaka-aineita. Ilman optimointityökalun ("Solver") käyttöä, välilehti toimii koostumuslaskurina ennalta päätetyille resepteille. Taulukkoon syötetään aiotun rehuraaka-aineen peruskoostumustiedot. Oransseja ruutuja täytetään optimoitaessa haluttuja koostumuksia ilman vettä ja kun vesi on lisätty. Alle vasemmalle saadaan arvioitu kasvatusalustan koostumus, jota verrataan reseptinmukaiseen tavoitteeseen. Erot nähdään sekä eri aineosien painoarvoilla painotettuina tai painottamattomina. Skaalauksessa reseptinmukaiset osuudet jaetaan tavoitteella, jolloin pyritään lukuun 1. Tähän tarvittavia rehuraaka-aineiden koostumustietoja löytyy esim. rehutaulukosta (Luke 2024). Rehut välilehden oikeassa yläreunassa on vertailua varten esitetty tyyppisten MSK-käsittelyssä käytettävien biosivuvirtojen peruskoostumuksien vaihteluvälit ja mediaanit (Gold ym. 2018).

Biologinen tehokkuus -välilehden avulla tuottaja voi omien kasvatustulostensa perusteella arvioida biokonversion ja häviämisen perusteella. Taulukossa on tilaa maksimissaan kuudelle kasvatukselle sekä vertailu- ja viitearvoja. Em. alapuolella voi ennustaa toukan kokoa Kießling ym. (2023) mallin mukaisesti rehuseoksen proteiinin, rasvan ja hiilihydraatin suhteiden perusteella sekä saadaan hiilihydraattien ja proteiinien suhde, joka on tärkeä toukan eloonjäämisen ja rehunkäytön kannalta. Pyritään välille 2–3,5. Alempi suhde huonontaa rehunkäyttöä ja aiheuttaa kuolleisuutta, korkeampi lähinnä heikentää rehun käyttöä (Eggink ym. 2023).

Välilehdellä "Biologinen panostuotos" voi arvioida mahdollisen kasvatusmittakaavan. Saadaan arvio tuotoksesta vuotta ja kuukautta kohden käyttäen lähtökohtina käytettävissä olevaa lattiapinta-alaa, laatikoiden kokoa, kasvatuskerroksia edelleen aina kasvatuksen kiertonopeuden ja kasvatusaikaan.

Laskuri työmäärän arviointiin on välilehdellä "Työmäärä (kk). -välilehdellä. Laskentatyökalun antama työmääräarvio skaalautuu automaattisesti, kun ensin täytetään solujen pyytämät tiedot taulukon ohjeiden mukaisesti.

Kuluvien materiaalien määrien ja kustannusten arviointiin löytyy laskuri "Materiaalit (kk)" välilehdeltä. Jokainen taulukon täytettävä (punertavat) solu antaa erillisen panoksen kunkin rivin summaan. Siellä on mukana käytännössä kaikki muuttuvat kulut (rehu-, poikas-, sähkö yms.).

Kiinteiden kulujen arviointiin (poistot, korot, yms.) on taulukko välilehdellä "Kiinteät kulut". Arvioidut tuotot päivitetään "Tulot-" välilehdelle kulloinkin tiedossa olevien hintojen mukaan.

Laskentataulukoiden sisään kirjoitettiin seikkaperäisempiä ohjeita taulukoiden eri laskentaosien käyttöön mukaan lukien kirjallisuusviitteitä. Pyrkimys oli tehdä laskentamalleista selkeät niin, että asiat löytyvät helposti ja kunkin laskentakaavan vieressä on selostus sen käyttötar-koituksesta ja ennakko-oletuksista. Oletus on, että asiakas on aiemmin käyttänyt tuotanto-kustannuslaskentapohjia. Laskentataulukko löytyy nimellä 'Talouslaskentatyökalu_Mustasoti-laskärpäsen tuotanto' Luken julkaisurekisteri Jukurista <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-419-101-2>.

9. Tuotantolaitoksen suunnittelu

Maija Karhapää, Henna Pitkänen ja Miika Tapio

9.1. Tuotantorakennus

Tuotantolaitoksen sijaintipaikkasuunnitelman tulisi huomioida riskien hallinta osana Hazard Analysis and Critical Control Points (HACCP)-järjestelmän käytänteitä (EY 178/2002, Ruokavirasto 2020). Tuotantolaitos tulisi sijoittaa riittävän kauas saastuttavista teollisuuslaitoksista, niityistä, metsistä, avoimista vesilähteistä ja kaatopaikoista, jotka saattavat houkuttaa lintuja, jyrsijöitä ja luonnonvaraisia hyönteisiä (EHEDG 2014). Tuotantotilan ulkovalaistus tulee sijoittaa etäälle rakennuksen sisäänkäynneistä, jotta vältetään ulkoa tulevien hyönteisten houkuttelemisen sisäänkäyntien läheisyyteen. Luonnonvaraisten hyönteisten mukana hyönteiskasvattamoon voi kulkeutua hyönteisille vahingollisia tauteja aiheuttavia mikrobeja (Niemi ym. 2020). Tuotantolaitoksen ympärillä tulisi olla raja-aita tai muuri, jonka perustus on maanpinnan alapuolella. Se muodostaa esteen eläimille, ihmisille ja tulvavedelle (EHEDG 2014).

Tuotantorakennuksen perustusta suunnitellessa otetaan huomioon maaperätyyppi ja rakenteiden kuorma. Rakennuksen lattiataason tulisi olla ympäröivää maanpintaa korkeammalla. Saavesikourut tulee sijoittaa rakennuksen ulkopuolelle ja niissä tulee olla rakenne, joka estää jyrsijöiden pääsyn rakennukseen. Myös ulkoseinien tulee olla sään, veden, hyönteisten ja jyrsijöiden kestäviä. Seinien lämpöeristämällä vähennetään lämmön karkaamista, kosteuden tiivistymistä ja parannetaan äänieristystä (EHEDG 2014).

Rakennuksen katon tulee olla tiivis ja kaltevuus riittävä. Kattoon tulevat aukot (esim. tuuletusaukot, ilmanottoaukot ja poistoputket) pidetään mahdollisimman pieninä, tiivistetään hyvin ja suojataan sateelta, roskilta ja tuholaisilta. Tasakatto voi houkuttaa lintuja vaakasuorien pintojen takia. Lintupiikkejä voi käyttää pesimisen estämiseksi. Eristetty katto vähentää sisäpuolella tapahtuvaa kosteuden tiivistymistä (EHEDG 2014).

Hyönteiskasvattamon, prosessointi- ja varastointitilojen suunnitelman tulee täyttää kaikki paikalliset, kansalliset ja kansainväliset standardit ja sertifioinnit, jotka koskevat rehururvallisuutta ja hygieniaa (Ruokavirasto a, b). Tuotantorakennusten ja prosessointitilojen suunnittelussa tulisi ottaa huomioon erityisesti sivutuotelainsäädäntö. Käsiteltyä eläinvalkuaista (PAP) voi valmistaa ainoastaan luokan 3 sivutuotteista sivutuoteasetuksen mukaisesti hyväksytyssä luokan 3 käsittelylaitoksessa (Ruokavirasto 2024c).

Rakennukset ja tuotantotilat suunnitellaan huolellisesti niin, että ne ovat helposti puhdistettavissa ja ylläpidettävissä. Suunnittelussa huomioidaan kaikki hygieenisiin olosuhteisiin vaikuttavat tekijät kuten rakenteiden sijoittelu, valaistus, ilmanvaihto ja käytetyt materiaalit. Tiloissa ei saa olla mikrobien lisääntymiselle ja leviämiselle suotuisia paikkoja tai rakennelmia. Tuotantolaitos, prosessointi- ja varastointitilat ja välineet tulee suunnitella ja sijoittaa ja rakentaa siten, että ristikontaminaatio on minimoitu ja toteutus mahdollistaa asianmukaisen kunnossapidon, puhdistuksen ja desinfiointin (EHEDG 2014). Elintarvikkeiden, rehujen tai niiden raaka-aineiden kanssa kosketuksessa olevat pinnat ja niihin käytettyjen materiaalien tulee olla myrkyttömiä, käyttötarkoitukseen soveltuvia, kestäviä ja helppoja pitää puhtaana ja kunnossa. Lämpötilaa ja ilmankosteutta tulee pystyä säätämään tarkoituksenmukaisesti. Haittaeläinten pääsy tuotantotiloihin tulee estää (EHEDG 2014).

9.2. Rakennusmateriaalit

Suuren tehdasmaisen hyönteiskasvattamon, prosessointi- ja varastointitilan rakentamisessa on tärkeää huomioida rakennusmateriaalit. Materiaalien tulee olla helposti puhdistettavissa ja niiden tulee kestää kosteutta ja korroosiota (EHEDG 2014). Pintamateriaalien valinta on keskeistä hygienian ylläpitämisessä. Suositeltavia materiaaleja ovat mm. ruostumaton teräs, kuumapotettu galvanoitu teräs, alumiini, lasikuitu, polyvinyylikloridi ja nailon (EHEDG 2014). Ruostumaton teräs on suositeltava materiaali prosessointilaitteille ja -tiloille, kun taas hyönteiskasvattamossa voi käyttää esim. elintarvikekäyttöön sopivia muovilaatikoita ja rullakoita. Hyönteisten kasvatustiloissa käytettävien materiaalien tulee olla sileitä, pestävissä, helppoja pitää puhtaana, kestäviä ja ei-imukykyisiä (Niemi ym. 2020). Elintarvikkeiden (ja rehujen) käsittelyalueiden pinnat (mukaan lukien laitteiden pinnat) ja elintarvikkeiden kanssa kosketuksiin joutuvat pinnat on pidettävä hyvässä kunnossa, ja niiden on oltava myrkyttömiä, helposti puhdistettavia ja tarvittaessa ne pitää pystyä desinfioimaan (EUR 852/2004).

Lattioiden tulee olla helposti puhdistettavissa ja milloin se on tarpeellista myös kestää kemiallisia aineita, korroosiota ja desinfiointiaineita (EY 852/2004). Lattiat tulee päällystää tiiviillä, ei-imukykyisellä, ei-liukkaalla, myrkyttömällä, helppohoitoisella ja kulutusta kestäväällä materiaalilla. Lattiasaumojen ja reunojen liitokset sekä laitteiden kiinnitykset lattiaan tulee olla huolellisesti tiivistetty (EHEDG 2014). Betonilattia soveltuu perushygieniatason tilaan, mutta koska se on huokoista, se ei sovellu elintarvikkeiden tai rehujen valmistustilaan korkeamman hygieniatason alueelle. Kaakelilattia on helposti puhdistettava ja se soveltuu hyvin myös kosteisiin tiloihin. Lattiamateriaaleiksi sopivat myös esim. epoksi, vinyyli, linoleumi ja kumi, mutta ne eivät ole välttämättä niin kestäviä, koska esim. putoava terävä esine voi vaurioittaa lattiaa (EHEDG 2014).

Rakenteiden ja laitteistojen asennuksessa on otettava huomioon kosteuden kerääntyminen ja homekasvun riski. Laitteistojen ja rakennelmien yläpuolella, alapuolella ja ympärillä tulee olla riittävästi tilaa, että siivoaminen ja kunnossapito on mahdollisimman helppoa (EHEDG 2014). Tuki- ja kehysrakenteet on suunniteltava siten, että niissä on mahdollisimman vähän sellaisia rakenteita, joihin voisi kertyä likaa ja pölyä (EHEDG 2014). Pyöreät, putkilomalliset rakenteet, esimerkiksi kaiteet on hitsattava siten, ettei niihin jää aukkoja ja avoimia päitä.

Viemärointi tulee suunnitella siten, että kaikki jätevesi poistuu tehokkaasti. Viemärit tulee tiivistää huolellisesti, että ei synny rakoja, joista jätevesi voisi päästä alapohjaan (EHEDG 2014). Putkiston ja lattiakaivojen tulee olla ruostumatonta terästä ja hyvin hitsattu ja tiivistetty. Lattiakaivojen tulee olla kullekin hygieniatasolle sopivia ja niissä tulee olla sakka-astioita ja vesilukkoja, jotka voidaan irrottaa ja puhdistaa. Viemärien virtaus tulee suunnitella siten, että virtaus on korkeamman hygieniatason tilasta alemman hygieniatason tilaan. Viemäreissä tulisi olla takaisinvirtauksen esto (EHEDG 2014).

Seinien ja lattioiden väliset liitokset on tiivistettävä kunnolla. Seinän ja lattian välinen liitospaikka tulee olla pyörästetty, jotta ehkäistään lian kerääntyminen ja mahdollisimman helppo puhdistaminen. Seinien tulisi olla väriltään vaaleita, jotta vauriot ja lika voidaan havaita helpommin. Jos seinät maalataan, on käytettävä elintarvike tuotantotiloihin hyväksyttyä maalia (EHEDG 2014).

Sisäkatto ja kattokalusteet (esim. kanavat, putket, portaat ja hissit) on rakennettava ja viimeisteltävä siten, että estetään lian kerääntyminen ja vähennetään kondensoitumista ja hiukkas-ten varisemista (EHEDG 2014). Myös seinän ja sisäkaton liitokset on pyörästettävä

helpottamaan puhdistusta ja estämään lian kertymistä ja halkeamien muodostumista. Rei'itetyjä ja huokoisia materiaaleja ei yleisesti suositella käytettäväksi äänen vaimentamiseen, koska ne keräävät helposti pölyä. Kipsilevyjä ei tulisi käyttää märissä tai kosteissa tiloissa niiden huokoisuuden vuoksi (EHEDG 2014).

Valonlähteet (ja paloilmajärjestelmät) on tiivistettävä sopivalla tavalla kattoon tai seiniin siten, että vältetään ulkonemat, joihin pölyä voi kerääntyä (EHEDG 2014). Vaakasuuria pintoja on vältettävä. Jos valaisin on sijoitettu erilleen, valaisimen yläosa tulisi olla viisto (45°) puhdistuksen mahdollistamiseksi. Valonlähteet (polttimot tai putket) on peitettävä suojakalvolla tai polykarbonaatilla. Valonlähteissä tulisi olla vesitiivis, pölytiivis ja hyönteistiivis kotelo. Puhdistuksen tai huollon helpottamiseksi olisi suositeltavaa, että riippuvat valaisimet olisi helppo irrottaa pistokekiinnityksestä (EHEDG 2014).

Kaapeleiden asennuskiskojen pystysuora kiinnittäminen on suositeltavampaa kuin vaakasuorat asennukset. Mikäli vaakasuuria pintoja ei pystytä välttämään, niiden tulisi kallistua 45 astetta. Kaapelit on asennettava yhteen kerrokseen. Sähkökaapeleiden ja -laitteistojen pintojen on oltava helposti puhdistettavia (EHEDG 2014).

9.3. Kulkuväylät ja ovet

Tavaroiden kuljettaminen ja koneiden liikkuminen tulee ottaa huomioon jo tuotantotilojen suunnitteluvaiheessa (TTK 2016). Tuotantotiloissa ei saa olla korokkeita tai kynnyksiä, mikäli tiloissa on tarkoitus siirrellä kuormia. Jo olemassa olevien kynnysten ja korokkeiden ylle voidaan asentaa kynnysenilytysillat, luiskat tai rampit, jolloin käsin siirrettävien rullakoiden ja vaunujen työntäminen on mahdollista. Tuotantotilojen välisiä kuljetuksia ulkokautta tulisi välttää, ja uudet tuotantotilat tulisi suunnitella siten, että esimerkiksi erillisten huoneiden välillä on katetut käytävät (TTK 2016).

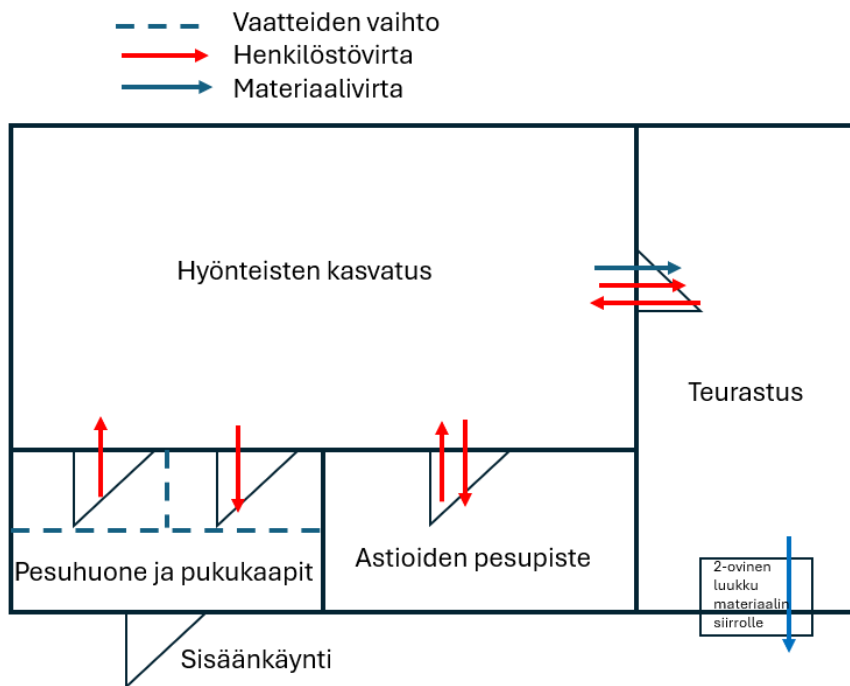
Ovet tulee mitoittaa käytettävien työkonien ja kuljetusyksiköiden mukaan ja ovityypin tulee olla käyttötarkoitukseen sopiva ja helppokäyttöinen. Tuotantotiloissa yleisesti käytössä olevia ovityyppejä ovat nosto-ovet, heiluriovet, liukuovet, rullaovet ja liuskeverhot. Kaikki ovet tulee voida avata myös käsin esimerkiksi sähkövirran katketessa. Tuotantotiloihin asennettavien ovien tulee täyttää eurooppalaiset turvallisuusvaatimukset. Sähkökäyttöisten ovien ja porttien toiminta tulee tarkastaa määräajoin (TTK 2016).

Kaikkien ovien tulisi olla riittävän leveitä ja korkeita ja jysijöiden kestäviä. Myös ovien materiaalin on oltava sellaisia, että ne kestävät puhdistusta ja kulutusta (EHEDG 2014). Kaikissa ovissa tulisi olla potku- tai työntölevy ja itsestään sulkeutuva mekanismi. Ulko-oven tulisi avautua ulospäin, jottei hyönteisiä tai likaa kulkeudu sisälle rakennukseen, eikä se saisi avautua suoraan hyönteisten kasvatustilaan tai rehujen prosessointitilaan (Niemi ym. 2020, EHEDG 2014). Tiiviit sisäovet voivat olla tärkeässä osassa ylipaineen ylläpitämisessä tuotantolaitoksen eri osissa. Ylipaineessa ulkopuolinen lika virtaa ulos, enemmän kuin sisälle huoneeseen. Ulko-ovet tulee pitää lukittuna. Lastauslaiturin käyttö uloskäyntinä vähentää kontaminaatoriskejä, koska tällöin uloskäyntiin muodostuu automaattisesti tarvittava este (EHEDG 2014).

9.4. Materiaalivirtojen ja henkilöstön kulun suunnittelu

Hyönteisten kasvatus-, prosessointi- ja varastointitilat on pidettävä erillään elintarviketuotantoon kuulumattomista tiloista kuten toimisto- ja ruokailutiloista, pukuhuoneista, vessoista, sähkökeskuksista jne. (EHEDG 2014). Kasvatettuja hyönteisiä ei saa päästä luontoon tai muihin tiloihin. Hyönteisten kasvatushuoneen yhteydessä olevat pukuhuoneet, vessat ym. tulee sijoittaa kasvatushuoneen ulkopuolelle (Niemi ym. 2020).

Materiaalivirrat (esim. rehu, jätteet ja hyönteiset) ja henkilövirrat suunnitellaan siten, että ristikkäinen kontaminaatio voidaan rakennuksessa minimoida (Kuva 19). Ristikontaminaatiota vältetään erottamalla toisistaan ilma-, henkilökunta-, tarvike-, tuote- ja jätevirrat (Niemi ym. 2020). Henkilökunnan kulku tiloihin ja poistumien tiloista on kontrolloitua, jolloin vältetään ihmisten välityksellä tapahtuvaa ylimääräistä kontaminaation riskiä. Sisään- ja uloskäyntien lukumäärä tulisi pitää mahdollisimman pienenä paremman hallittavuuden ja kontaminaatorisikin vähentämisen takia (EHEDG 2014). Henkilökunnan sisäänkäyntien yhteydessä tulisi olla sulku, jossa työntekijöiden on mahdollista pestä kädet sekä vaihtaa työvaatteet.



Kuva 19. Esimerkki hyönteiskasvattamosta, jossa henkilöstön ja materiaalin virrat otetaan huomioon (Kuva: Niemi ym. 2020).

Työntekijöiden tulee vaihtaa vaatteet työvaatteisiin ja kenkiin ennen tuotantotilaan menemistä (EHEDG 2014). Henkilöstön pukutilaan tulisi asentaa kaksi ovea, joista toinen on sisäänkäynti tuotantotilaan ja toinen uloskäynti takaisin pukuhuoneeseen (Kuva 19). Kädet pestään kunnolla ja työtiloihin mennään käsien desinfiointipisteen kautta. Käsien kuivaamiseen voi käyttää kertakäyttöisiä paperipyyhkeitä tai käsienkuivainta. Uudelleenkäytettäviä, pestäviä pyyhkeitä ei tule käyttää. Astioiden pesutilat on pidettävä erillään käsienpesutiloista. Henkilöstön WC-tilat sijoitetaan pukuhuoneen yhteyteen, jotta kukaan ei käytä WC-tiloja ennen kuin on vaihtanut työvaatteet arkivaatteisiinsa (Niemi ym. 2020). WC-tiloihin siirrytään hygieniasulun yli ja sen tulee olla erotettu vähintään kahdella ovella ja kahdella käsienpesupaikalla elintarvikekäsittelyalueista (EHEDG 2014).

10. Työturvallisuus hyönteisiä käsittelevässä tuotantolaitoksessa

Maija Karhapää, Henna Pitkänen, Miika Tapio, Pertti Marnila ja Tiina Siimekselä

10.1. Työskentelyolosuhteet

Euroopan elintarviketurvallisuusvirasto (EFSA) kartoitti v. 2015 raportissaan (EFSA, Scientific committee 2015) hyönteistuotannon riskejä sekä hyönteisten ruokinnan että prosessoinnin kannalta. Raportissa käsitellään hyönteistuotannon biologisia (parasiitit, allergeenit) ja mikrobiologisia (bakteerit, virukset, sienet) sekä kemiallisia (raskasmetallit, lääkeaine, hormoni- ja torjunta-ainejäämät yms.), allergeeneja ja pölyaltistusta yms. riskejä. Hyönteiskasvattamon tai prosessointilaitoksen työturvallisuudesta ja riskeistä ei ole Suomessa vielä paljonkaan kokemusta eikä tietoa.

Tuotantotilassa työskentelyä koskevat samat työsuojeluun ja turvalliseen työympäristöön liittyvät lait ja säännökset kuin muutakin työympäristöä. Työturvallisuuslain mukaan työnantajan on selvitettävä, onko työympäristössä sellaisia tekijöitä, mukaan lukien lämpöolot, joista voi olla vaaraa tai haittaa työntekijöiden terveydelle (TTL 738/2002). Lämpöoloille ei ole kuitenkaan säädetty sitovia raja-arvoja. Työnantajan on kuitenkin huolehdittava siitä, että työilman lämpötilasta, kosteudesta ja liikkeestä sekä lämpöä tai kylmää säteilevistä pinnoista aiheutuu mahdollisimman vähän haittaa tai vaaraa työntekijän terveydelle ja turvallisuudelle (www.tyosuojelu.fi).

Hyönteisten kasvatustilassa on hyvin lämmin ja kostea ilma, joten työskentely siellä voi olla haasteellista ja jopa vaarallista työntekijöille (Niemi ym. 2020). Myös EntoTek-hankkeessa tunnistetuista fyysikaalisista vaaratekijöistä merkittävimpana pidettiin kasvatushuoneen korkea lämpötila ja ilmankosteutta, jotka aiheuttavat päänsärkyä, väsymystä ja huonovointisuutta (Siimekselä 2023). Hyönteistuotannossa olosuhteisiin liittyvää riskiä on melko helppo hallita työn tauottamisella ja työn organisoinnilla siten, että kasvatushuoneissa suoritetaan vain pakolliset, hyönteisten hoitoon välittömästi liittyvät toimenpiteet ja kaikki muu työskentely tehdään muissa tiloissa (Siimekselä 2023).

Ensi sijassa työntekijöitä pyritään suojelemaan kuuma- ja kylmätyön haitoilta teknisin ratkaisuin, kuten ilmastoinnin avulla sekä lämpö- tai kylmälähteiden eristämällä. Mikäli tekniset ratkaisut eivät ole mahdollisia, lämpöolojen vaikutusta työntekijään pyritään vähentämään sopivalla vaatetuksella ja työn tauottamisella (www.tyosuojelu.fi). Jos työpaikan ilman lämpötila kuitenkin ylittää 28 °C, työnantajan on rajoitettava työntekijöiden altistumisaikaa kuumalle (www.tyosuojelu.fi).

Työskentely kuumassa voi altistaa työntekijän lämpösairauksille, kuten pyörtymiselle ja lämpöuupumiselle. Ensimmäiset merkit mahdollisesti alkavasta liiallisesta kuuma-altistuksesta ovat väsymys, päänsärky ja huonovointisuus (www.tyosuojelu.fi). Kuuma-altistuksen välittömiä oireita voivat olla kuumaihottuma, alaraajojen turpoaminen, pyörtäminen, lihaskouristukset ja lämpöuupumus. Korkeassa ilmankosteudessa kehon oma jäähdytys ei toimi kunnolla ja kuumuuden aiheuttama kuormitus elimistölle on suurempi kuin alhaisessa ilmankosteudessa (TTK 2016).

10.2. Allergeenit

Hyönteiset ja niiden pöly voivat aiheuttaa hyönteisallergikoille vakavia allergisia reaktioita, kuten ihottumia, nenäontelon, keuhkoputkien ja sidekalvon tulehduksia. Hyönteisten allergeenisovivat aineosat ovat käytännössä aina proteiineja. Yleisimmät allergeenisovivat proteiinit ovat selkärangattomilla esiintyvät muodot tropomyosiinista, arginiinikinaasit, triosifosfaatti-isomeeraasi ja tubuliini (EFSA Scientific committee 2015). Kitiinipöly ei nykykäsityksen mukaan itsessään aiheuta allergiaa, mutta kitiini ja sen pilkkoutumistuotteet voivat voimistaa immuunireaktioita ja siksi lisätä tulehduksellisia oireita (FAO 2013). Allerginen reaktio on mahdollinen myös tuotantoeläimellä, jolle hyönteisrehua syötetään. Tällaisia ei kuitenkaan toistaiseksi ole raportoitu.

Olennaista on merkitä tuotantolaitoksesta ulos menevät materiaalit ja tuotteet, niin MSK:n kuin frassikin – selkeillä merkinnöillä, jotka osoittavat niiden sisältävän hyönteisperäisiä aineosia. Hyönteisallergia voi kehittyä toistuvasta altistuksesta hyönteispölylle tai ruuassa oleville hyönteiskomponenteille (uusi ns. de novo herkistyminen). Esim. suklaatuotteet usein sisältävät torakkaa. Merkittävän riskin muodostavat ristireaktiot, koska muiden selkärangattomien monet proteiinit muistuttavat rakenteeltaan MSK:n proteiineja. Ruoka-allergia ravuille, katkaravuille, simpukoille, mustekaloille yms. muodostaa huomattavan riskin ristireaktioille hyönteisten kanssa. Myös aiempi altistuminen lapamadoille tai muille suolistolisille aiheuttaa riskin ristireaktioille (EFSA Scientific committee 2015). Pölypunkki-allergian ristireaktiosta johtuvia hyönteisallergioita on raportoitu myös (Verhoeckx ym. 2014). Altistus MSK-toukan substraatissa kasvatuksen aikana kasvaville mikrobeille – homeille, hiivoille yms. voi aiheuttaa allergisia reaktioita.

Epäiltäessä hyönteisallergiaa tehdään ensin testit epäilyllä hyönteismateriaalilla koeputkessa in vitro ja altistustestejä in vivo. Tutkittavan henkilön verinäytteellä voidaan tehdä immuunimäärityksiä, kuten Western blotting tai RAST-testi. Jos nämä ovat negatiiviset, voidaan tehdä pric-ihotestit. Jos sekin on negatiivinen, voidaan asian tuntevan lääkärin johdolla tehdä epäilyllä allergeenilla altistustestit. Epäillyn allergeenin lisäksi on syytä tehdä testauksia mahdollisilla ristireaktioita aiheuttavilla allergeeneilla (EFSA Scientific committee 2015).

10.3. Ilmanvaihto

Työturvallisuuslaki määrää, että työpaikalla tulee olla riittävästi kelvollista hengitysilmaa (TTL 738/2002). Työpaikan ilmanvaihdon tulee olla riittävän tehokas ja tarkoituksenmukainen työn luonne huomioon ottaen (TTK 2016). Tehokas ilmastointijärjestelmä varmistaa riittävän ilmanvaihdon ja kosteuden hallinnan. Kasvatus- ja prosessointitiloissa tulee olla tehokas ilmanvaihto ja ilmanpuhdistus, joilla voidaan vähentää pölyn ja allergeenien pitoisuuksia ilmassa ja parantaa ilmanlaatua.

Siimekselä (2023) mukaan teollisen mittakaavan tuotannossa yksi tärkeimmistä haasteista oli mustasotilaskärpäsen toukkakasvattamon ilmanvaihdon suunnittelu toukkakuolemien ehkäisemiseksi ja kasvatustilan työntekijöiden työturvallisuuden varmistamiseksi. Tehokkaan ilmanvaihdon ja riittävän ilmankosteuden varmistaminen on haastavaa, sillä tehokas ilmanvaihto kuivattaa ilmaa, jolloin toukkien rehu/käsiteltävä biomassa kuivuu helposti ja sen pinnalle tulee kova kuori, jolloin toukat eivät pysty enää hyödyntämään biomassaa.

EntoTek-hankkeessa suuren tuotantotason kokeessa havaittiin, että kasvatustilan hiilidioksidipitoisuus (CO₂) kohosi terveydelle haitalliselle tasolle. Toukkien käsitellessä substraattia syntyy vaarallisia kaasuja, joista esimerkiksi ammoniakki (NH₃), hiilidioksidi ja metaani (CH₄) arvioitiin kohtalaisiksi vaaratekijöiksi (Siimekselä 2023). Kasvattamon ammoniakki- ja metaanipitoisuudet eivät kohonneet merkittävästi, mutta hiilidioksidin ja rikkidioksidin (SO₂) pitoisuudet ylittivät terveysraja-arvot. Näistä varsinkin hiilidioksidin korkea pitoisuus ilmassa voi aiheuttaa väsymystä, päänsärkyä ja huonoa oloa, pahimmillaan tajunnanmenetyksen ja jopa kuoleman. Myös typpidioksidin (NO₂) määrä ilmassa ylitti työhygieeniset raja-arvot hetkittäin, lähinnä substraatti-toukkamassan sekoitukseen liittyen. Uusintamittauksissa huomattiin, että korkeat hiilidioksidipitoisuudet liittyivät toukkalaatikoiden substraatti-toukkamassan sekoitukseen ja rikkidioksidin lähteeksi todettiin toukkaprosessi. Rikkidioksidipitoisuudet olivat korkealla varsinkin kotelovaiheessa olevia hyönteisiä sisältävien kasvatuslaatikoiden lähellä. Riittämätön ilmanvaihto aiheutti myös toukkakuolemia varsinkin keskimmissä laatikoissa, joissa ilman vaihtuvuus oli heikointa (Siimekselä 2023).

EntoTek-hankkeessa kerättyjen tietojen mukaan kemialliset vaaratekijät muodostivat merkittävimmän työterveyteen vaikuttavan vaaran mustasotilaskärpästen kasvatuksessa (Siimekselä 2023). Kemiallisia vaaratekijöitä on myös vaikeampi hallita, mitata ja todentaa. Kemiallisiksi vaaratekijöiksi tunnistettiin hankkeessa testattujen materiaalien käsittelyyn liittyen bakteerien ja virusten, hiiva- ja homesienten, alkueläinten, loisten ja hyönteisten, pölyt, kuidut ja kaasut (Siimekselä 2023). Näistä merkittävimmiksi arvioitiin toukkien seulonnasta ja substraattien käsittelystä ilmaan nouseva pöly, joka voi ärsyttää hengitysteitä ja silmiä sekä hiiva- ja homesienten riski, joka liittyi pääasiassa hankkeessa testattujen erilaisten jäte- ja sivuvirtamateriaalien käsittelyyn (Siimekselä 2023).

Kohtalaisen riskin tekijöiksi arvioitiin kasvatushuoneiden rakenteiden mahdollisesta kostumuksesta aiheutuva homesienten riski. Kasvattamossa havaittiin myös raja-arvot ylittäviä formaldehydipitoisuuksia, jotka olivat mahdollisesti peräisin kostuneista seinälevyistä. Työturvallisuuden parantamiseksi EntoTek-hankkeessa kasvattamon ovia pidettiin auki, silloin kun siellä työskentely oli välttämätöntä ja siellä työskenneltiin vain työpareina siten, että toinen henkilö työskenteli huoneen ulkopuolella (Siimekselä 2023).

EntoTek-hankkeessa tunnistetut fysikaaliset ja kemialliset vaaratekijät liittyivät itse hyönteisten kasvatukseen sekä niiden ruokinnassa käytettäviin raaka-aineisiin. Siimekselä (2023) havaintojen mukaan toukkakasvatuksen ja biomassan käsittelyn suurimpiin haasteisiin kuului toukkakasvattamon ilmanlaadun varmistaminen, etenkin suuremman mittakaavan tuotannossa.

10.4. Henkilösuojaimet

Osa työtehtävistä voi olla sellaisia, että erilaisten henkilösuojainten käyttö on perusteltua tai pakollista. Henkilösuojaimen tehtävä on suojata työntekijää mekaaniselta, biologiselta tai kemialliselta vaaratekijöiltä ja altistumiselta ja näin ollen estää tapaturmien ja ammattitautien syntyä. Henkilösuojainten valinta ja käyttö työssä perustuu työturvallisuuslakiin, joka määrää, että työnantajan on ensisijaisesti parannettava työolosuhteita ja poistettava vaara- ja haittatekijät työympäristöstä (TTK 2016). Jos vaaratekijöiden poistaminen kokonaan ei ole mahdollista, tulee työnantajan hankkia ja antaa työntekijöiden käyttöön vaatimukset täyttävät ja tarkoituksenmukaiset henkilösuojaimet. Suojainten oikeanlainen suojaustaso tulee varmistaa, ja suojainten tulee olla CE-merkittyjä ja tyyppihyväksytyjä (TTK 2016).

Hyönteisiä ja erilaisia substraatin raaka-aineita käsitellessä on tärkeää tunnistaa hyönteisten kasvatusta- ja prosessointitiloissa mahdollisesti allergiaa aiheuttavat aineet, kuten hyönteisten eritteet, pöly ja homeet (Siimekselä 2023). Allergioiden välttämiseksi työntekijöiden täytyy käyttää henkilökohtaisia suojavarusteita (esimerkiksi hengityssuojaimet, suojavaatteet ja suojakäsineet) välttääkseen altistumista allergeeneille. Työntekijöille annetaan ohjeistusta ja koulutusta suojavarusteiden käytöstä ja työturvallisuuteen liittyvistä asioista. Työntekijöillä tulee olla mahdollisuus lääkitarkastuksiin ja allergiatesteihin tarpeen mukaan (TTK 2016).



Kuva 20a. Moottoroidun hengityssuojaimen laite sijoittuu lantiolle, selkäpuolelle, eikä haittaa työskentelyä. **Kuva 20b:** Moottoroidun hengityssuojaimen läpi on helppo hengittää ja kokonaamari suojaa myös kasvot. (Kuva 20a: Maiju Kurtti ja 20b Henna Pitkänen)

EntoTek-hankkeessa työntekijät käyttivät hengityssuojaimia ja tarvittaessa myös kertakäyttöhaalareita, kumikäsineitä, suojalaseja ja kuulosuojaimia. Moottoroidut hengityssuojaimet otettiin käyttöön hiilidioksidin ja rikkioksidin pitoisuuksien hallitsemiseksi (Kuvat 20 a ja b). Moottoroitu hengityssuojain ei kuitenkaan lisää hengitysilman happipitoisuutta, joten hiilidioksidin aiheuttamaa vaaraa se ei poista. Mikäli riskinä on HTP (haitalliseksi tunnettu pitoisuus) arvon ylittävä hiilidioksidipitoisuus, työntekijät on suojattava paineilmasuojaimilla, jotka on varustettu ilmaäiläillä. Työntekijöillä tulisi olla myös mukana kuljetettava henkilökohtainen hiilidioksidivaroitin (Siimekselä 2023).

10.5. Ergonomia

Työtehtävät ja -tilat suunnitellaan ergonomisiksi, jolloin vältetään ylimääräiseltä fyysiseltä rasitukselta. Toistuvia yksipuolisia liikkeitä tulisi välttää, koska niistä voi aiheutua rasitusvammoja (TTK 2016). EntoTek-hankkeessa fyysisen kuormittumisen riski arvioitiin kohtalaiseksi tai melko vähäiseksi (Siimekselä 2023). Riski liittyi pääasiassa työskentelyasentoihin ja erilaisiin nostamista tai kantamista vaativiin työtehtäviin sekä työskentelytasojen puutteeseen. Fyysisen kuormittumisen riskiä saatiin merkittävästi pienennettyä hankkeen kuluessa mm. hankkimalla työskentelytasoja ja apuvälineitä taakkojen kuljettamiseen.

10.6. Tapaturmat ja niiden ehkäisy

Tuotantotiloissa tulee olla ensiapukaappi ja siellä tarvittavat varusteet tapaturmien varalle kuten haavanhoito ja sidontavälineet tai silmähuuhde. Työturvallisuuslain mukaan työpaikalla on huolehdittava turvallisuuden ja terveellisuuden edellyttämästä järjestyksestä ja siisteydestä kaikissa työpaikan tiloissa (TTK 2016). Huono järjestys on usein osasyynä vaaratilanteissa ja työtapaturmissa. Säännöllinen siivous ja pintojen puhdistaminen voivat auttaa myös vähentämään allergeenien kertymistä ja leviämistä.

Turvallisiin työskentelyolosuhteisiin kuuluu riittävä valaistus (Vna 577/2003). Liukastumisonnettomuudet vastaavat noin 20 % työtapaturmista (EHEDG 2014). EU-direktiivin 89/391/ETY mukaan työnantajat ovat vastuussa työtapaturmien ehkäisystä. Tuotantotilojen, kylmiöiden ja lastaussiltojen lattiat eivät saa olla liukkaita missään olosuhteissa (Vna 577/2003).

EntoTek-hankkeessa tunnistettiin useita erilaisia tapaturman vaaroja kuten liukastuminen, kompastuminen ja putoaminen, esineiden putoaminen ja kaatuminen, erilaiset haavat ja sähköiskut. Näitä riskejä voidaan vähentää työn suunnittelulla, yleisellä järjestyksen ja siisteyden ylläpidolla sekä käyttämällä oikeita suojaimeja ja turvatoimia esimerkiksi koneita käytettäessä. Hankkeessa tunnistettiin myös psykososiaalisia vaaratekijöitä, kuten työskentely yksin, työtehtäviin sisältyvä vastuu ja valppaana olo kasvattamon etävalvonnasta tulevien hälytysten takia. Näiden arvioitiin aiheuttavan kohtalaisen riskin kasvattamon työntekijöille (Siimekselä 2023).

10.7. Laitteet ja koneet

Työnantajan tulee huolehtia siitä, että työvälineet, -laitteet ja -koneet pidetään kunnossa riittävän huollon ja korjausten avulla. Työvälineiden ja koneiden kuntoa on valvottava ja laitteisiin, jotka tulee huoltaa säännöllisesti, tulee merkitä huoltopäivämäärä ja seuraava määräaikaishuolto (TTK 2016, Vna 403/2008). Työvälineiden ja koneiden kunnossapitoon kuuluvat lisäksi oikeanlaisten työtapojen opettaminen ja noudattaminen sekä järjestyksen, siisteyden ja puhtauden ylläpitäminen koneella ja sen työalueella. Tuotantotiloissa sijaitsevien ohjaustietokoneiden ja -järjestelmien sähkösuojausluokan tulee olla IP 44 (TTK 2016). Työskentelyalueen kaikkien sähköjännitteellä varustettujen osien tulee olla roiskevedenpitäviä (IP-luokka 44). Painepesuria käytettäessä tulisi käyttää kuulonsuojaimia sekä suojalaseja.

Jalankulku liikenne ja liikkuvien koneiden kulkureitit on pyrittävä sijoittamaan erilleen toisistaan. Trukkien kulkureitit voidaan merkitä esim. maalaamalla tai teippauksin (TTK 2016). Liikkuviin työkoneisiin liittyy useita vaaratekijöitä ja vakavia tapaturmariskejä, jotka syntyvät useimmiten silloin, kun kone kaatuu, putoaa tai ajaa ihmisen päälle tai taakka putoaa kuljettajan tai sivullisen päälle (TTK 2016). Trukkia tai muuta liikkuvaa työkonetta saa käyttää vain työntekijä, joka on saanut kyseiseen tehtävään riittävän opastuksen ja jolla on työnantajan antama kirjallinen lupa kyseisen työvälineen käyttöön. Työturvallisuuskeskukselta on saatavilla trukin käyttöopastuksen ja perehdytyksen tarkistuslista, jota voidaan käyttää trukinkäyttöopastuksessa muistilistana, www.ttk.fi/toimialat/teollisuus/trukkiturvallisuus. Polttomoottorilla käyviä koneita ei tule käyttää sisätiloissa, sillä ne pilaavat hengitysilman. Henkilönostoja saa tehdä vain laitteella, joka on hyväksytty siihen tarkoitukseen (TTK 2016).

10.8. Hätätilanteet

Henkilökunnan on tärkeää tietää, miten toimia hätätilanteissa. Tätä varten henkilökunnalle järjestetään opastusta ja koulutusta. Hätäpoistumisteiden, palosammutuslaitteiden ja ensiapuvälineiden sijainti tulee olla kaikkien työntekijöiden tiedossa ja selkeästi merkitty (TTK 2016). Vaaratilanteissa koko henkilökunnan on voitava poistua nopeasti ja turvallisesti kaikista työskentelypaikoista (Vna 577/2003). Hätäpoistumistiet tulee pitää jatkuvasti esteettöminä. Poistumisteiden mahdolliset lukot tulee voida avata sisäpuolelta. Hätäpoistumistiet tulee merkitä opastein, ja niiden tulee olla valaistuja myös silloin, kun muu yleisvalaistus menee epäkuuntoon (TTK 2016).

Tuotanto-, prosessointi-, ja varastotiloissa tulee olla riittävästi hätäpoistumisteitä. Jokaiselta työpisteeltä saa olla korkeintaan 45 metrin matka poistumistiehen, ja jos poistumisteitä on vain yksi, saa matka olla korkeintaan 30 metriä. Edellä mainitut etäisyydet voidaan ylittää, jos poistuminen hätätilanteessa on mahdollista avattavien ikkunoiden kautta maanpinnan tasolla tai jos rakennus on varustettu automaattisella sammutuslaitteistolla (TTK 2016). Jos tiloissa käytetään kemikaaleja, niiden asianmukainen säilytys, käsittely ja hävittäminen on varmistettava. Työntekijöitä opastetaan myös kemikaalien turvallisesta käytöstä ja niiden varoitusmerkinnoistä (TTK 2016).

10.9. Henkilöstötilat

Työpaikalla tai sen välittömässä läheisyydessä on työntekijöiden käytettävissä riittävät ja asianmukaisesti varustellut pukeutumis-, pesu-, WC-, ruokailu- ja lepotilat henkilöstötilat (TTL 738/2002). Miehille ja naisille tulee pääsääntöisesti olla erilliset pukeutumis-, peseytymis- ja WC-tilat. Henkilöstötilojen tulee olla asianmukaisesti varusteltuja, ja kalusteiden ja materiaalien tulee olla tarkoituksenmukaisia). WC-tilan yhteydessä on käsienpesumahdollisuus ja ruokailutiloissa on riittävästi pöytiä, tuoleja, jääkaappi ja ruoan lämmitysmahdollisuus. Kestävät ja helppohoitoiset materiaalivalinnat vähentävät siivoustarvetta ja lisäävät käyttäjien työviihtyvyyttä. Henkilöstötiloihin ei saa päästä työpaikan ilman epäpuhtauksia, pölyjä tai muita vastaavia työpaikan haittatekijöitä (TTK 2016).

Viitteet

- Alagawany, M., Elnesr, S.S., Farag, M.R., Tiwari, R., Yatoo, M.I., Karthik, K., Michalak, I. & Dhama, K. 2021. Nutritional significance of amino acids, vitamins and minerals as nutraceuticals in poultry production and health - a comprehensive review. *Veterinary Quarterly* 41(1): 1–29. <https://doi.org/10.1080/01652176.2020.1857887>.
- Aldama, D.D. 2023. Evaluating the Environmental Performance of Black Soldier Fly Meal and Its Potential Use as a Sustainable Feed Input in the Egg Industry: A Life Cycle Assessment (Doctoral dissertation, University of British Columbia). <https://dx.doi.org/10.14288/1.0438335>
- Barragán-Fonseca, K., Pineda-Mejia, J., Dicke, M. & van Loon, J.J.A. 2018. Performance of the black soldier fly (Diptera: *Stratiomyidae*) on vegetable residue-based diets formulated based on protein and carbohydrate contents. *Journal of Economic Entomology* 111: 2676–2683.
- Barragán-Fonseca, K.B., Gort G., Dicke M. & Van Loon, J.J.A. 2019. Effects of dietary protein and carbohydrate on life-history traits and body protein and fat contents of the black soldier fly *Hermetia illucens*. *Physiological Entomology* 44(2):148–59. <https://doi.org/10.1111/phen.12285>
- Barrett, M., Chia S., Fischer B. & Tomberlin, J. 2023. Welfare considerations for farming black soldier flies, *Hermetia illucens* (Diptera: *Stratiomyidae*): a model for the insects as food and feed industry. *Journal of Insects as Food and Feed* 9: 119–148.
- Barry, T. 2004. Evaluation of the economic, social, and biological feasibility of bioconverting food wastes with the black soldier fly (*Hermetia illucens*). PhD dissertation. University of North Texas.
- Beesigamukama, D., Mochoge, B., Korir, N., Fiaboe, K., Nakimbugwe, D., Khamis, F., Subramanian, S., Musyoka, M., Dubois, T., Ekesi, S. & Tanga, C. 2021. Low-cost technology for recycling agro-industrial waste into nutrient-rich organic fertilizer using black soldier fly. *Waste Management* 119: 183–194. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.09.043>
- Bekker, N.S., Heidelbach, S., Vestergaard, S.Z., Nielsen, M.E., Riisgaard-Jensen, M., Zeuner, E.J., Bahrndorff, S. & Eriksen, N.T. 2021. Impact of substrate moisture content on growth and metabolic performance of black soldier fly larvae. *Waste Management* 127: 73–79.
- Boisen, S. & Fernández, J.A. 1995. Prediction of the apparent ileal digestibility of protein and amino acids in feedstuffs and feed mixtures for pigs by in vitro analyses. *Animal Feed Science and Technology* 51: 29–43. [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(94\)00686-4](https://doi.org/10.1016/0377-8401(94)00686-4)
- Caligiani, A., Marseglia, A., Leni, G., Baldassarre, S., Maistrello, L., Dossena, A. & Sforza, S. 2018. Composition of black soldier fly prepupae and systematic approaches for extraction and fractionation of proteins, lipids and chitin. *Food research international* 105: 812–820. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.12.012>

- Cammack, J.A. & Tomberlin, J.K. 2017. The impact of diet protein and carbohydrate on select life-history traits of the black soldier fly *Hermetia illucens* (L.) (Diptera: *Stratiomyidae*). *Insects*. 8: 56–69. <https://doi.org/10.3390/insects8020056>
- Caruso, D., Devic, E., Subamia, W.I., Talamond, P. & Baras, E. (ed.) 2013. Technical handbook of domestication and production of Diptera Black Soldier Fly (BSF) *Hermetia illucens*, *Stratiomyidae*. PT Penerbit IPB Press, Kampus IPB Taman Kencana Bogor. 159 s. <https://doi.org/10.3390/insects8020056>
- Çetingül, İ.S., & Shah, S.R.A. 2022. Black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae as an ecological, immune booster and economical feedstuff for aquaculture. *Marine Science and Technology Bulletin* 11(1): 52–62. <https://doi.org/10.33714/masteb.1041493>
- Cheng, J.Y.K., Chiu, S.L.H. & Lo, I.M.C. 2017. Effects of moisture content of food waste on residue separation, larval growth and larval survival in black soldier fly bioconversion. *Waste Management* 67: 315–323.
- Cho, S., Kim, C.H., Kim, M.J. & Chung, H. 2020. Effects of microplastics and salinity on food waste processing by black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae. *Journal of Ecology and Environment* 44: 1–9.
- Cohen, A.C. 2015. *Insect diets: science and technology* (2nd Ed.). CRC Press, Boca Raton, FL, USA.
- da Silva, G.D.P. & Hesselberg, T. 2020. A review of the use of black soldier fly larvae, *Hermetia illucens* (Diptera: *Stratiomyidae*), to compost organic waste in tropical regions. *Neotropical Entomology* 49: 151–162.
- Deruytter, D., Gasco, L., Yakti, W., Katz, H., Coudron, C.L., Gligorescu, A., Frooninckx, L., Noyens, I., Meneguz, M., Grosso, F., Bellezza Oddon S., Biasato, I., Mielenz, M., Veldkamp, T., Van Loon, J.J.A., Spranghers, T., Vandenberg, G.W., Oonincx, D.G.A.B. & Bosch, G. 2023. Standardising black soldier fly larvae feeding experiments: an initial protocol and variability estimates *Journal of Insects as Food and Feed*. Special issue article. <https://doi.org/10.1163/23524588-20230008>
- De Smet, J., Wynants, E., Cos, P. & Van Campenhout, L. 2018. Microbial community dynamics during rearing of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) and impact on exploitation potential. *Applied and Environmental Microbiology* 84(9): e02722-17. <https://doi.org/10.1128/AEM.02722-17>.
- Diener, S., Zurbrügg, C. & Tockner, K. 2009. Conversion of organic material by black soldier fly larvae: Establishing optimal feeding rates. *Waste Management & Research* 27: 603–610.
- Diener, S., Studt, S., Nandayure, M., Roa Gutiérrez, F., Zurbrügg, C. & Tockner, K. 2011. Biological treatment of municipal organic waste using black soldier fly larvae. *Waste Biomass Valorisation* 2: 357–363.
- Dortmans, B. 2015. Valorisation of organic waste – effect of the feeding regime on process parameters in a continuous black soldier fly larvae composting system. MSc thesis. SLU, Swedish University of Agricultural Sciences.

- Dortmans, B.M.A., Diener, S. & Verstappen, B.M. 2017. Black soldier fly biowaste processing - a step-by-step guide. Dübendorf, Switzerland: Eawag –Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology. http://www.eawag.ch/fileadmin/Domain1/Abteilungen/sandec/publikationen/SWM/BSF/BSF_Biowaste_Processing_HR.pdf
- Dortmans, B.M.A., Egger, J., Diener, S. & Zurbrügg, C. 2021. Black Soldier Fly Biowaste Processing - A Step-by-Step Guide, 2nd Edition. Eawag: Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology, Dübendorf, Switzerland. https://www.eawag.ch/fileadmin/Domain1/Abteilungen/sandec/schwerpunkte/swm/Practical_knowledge_on_BSF/BSF_Biowaste_Processing_2nd_Edition_LR.pdf
- Dzepe, D., Nana, P., Fotso, A., Tchuinkam, T. & Djouaka, R. 2020. Influence of larval density, substrate moisture content and feedstock ratio on life history traits of black soldier fly larvae. *Journal of Insects as Food and Feed* 6: 133–140.
- Dzepe, D., Nana, P., Kuintche, H.M., Kimpara, J.M., Magatsing, O., Tchuinkam, T. & Djouaka, R. 2021. Feeding strategies for small-scale rearing black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) as organic waste recycler. *SN Applied Sciences* 3: 252. <https://doi.org/10.1007/s42452-020-04039-5>.
- EFSA Scientific Committee. 2015. Risk profile related to production and consumption of insects as food and feed. Scientific opinion. *EFSA Journal* 13:4257. doi:10.2903/j.efsa.2015.4257. <https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.2903/j.efsa.2015.4257>
- Eggink, K.M., Lund, I., Pedersen, P.B., Hansen, B.W. & Dalsgaard, J. 2022. Biowaste and by-products as rearing substrates for black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae: effects on larval body composition and performance. *PLOS ONE* 17: e0275213.
- Eggink, K.M., Donoso, I.G. & Dalsgaard, J. 2023. Optimal dietary protein to carbohydrate ratio for black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae. *Journal of Insects as Food and Feed*, 9(6): 789–798. <https://doi.org/10.3920/JIFF2022.0102>
- EHEDG, European Hygienic Engineering & Design Group 2014. Hygienic Design Principles for Food Factories (DOC 44). EHEDG, Frankfurt. 133 s.
- Erbland, P., Alyokhin, A. & Peterson, M. 2021. An automated incubator for rearing black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) *Transactions of the ASABE* 64:1989-1997.
- Erickson, M.C., Islam, M., Sheppard, C., Liao, J. & Doyle, M.P. 2004. Reduction of *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella enterica* Serovar *Enteritidis* in chicken manure by larvae of the black soldier fly. *Journal of Food Protection* 67(4): 685–690.
- EU 152/2009 IC-UV. Amino acids with acid hydrolysis accredited method ISO 13903:2005.
- EUR 852/2004. Euroopan parlamentin ja neuvoston asetukset (EY) N:o 852/2004, annettu 29 päivänä huhtikuuta 2004, elintarvikehygieniasta <http://data.europa.eu/eli/reg/2004/852/2021-03-24>.
- European commission 1992. Commission Directive EEC 92/89. Determination of Crude Fibre, *Official Journal of European Communities* No L 344/35.

- EY 178/2002. Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EY) N:o 178/2002, annettu 28 päivänä tammikuuta 2002, elintarvikelainsäädäntöä koskevista yleisistä periaatteista ja vaatimuksista, Euroopan elintarviketurvallisuusviranomaisen perustamisesta sekä elintarvikkeiden turvallisuuteen liittyvistä menettelyistä. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?uri=celex%3A32002R0178>.
- EY N:o 1069/2009. Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus, annettu 21 päivänä lokakuuta 2009, muiden kuin ihmisravinnoksi tarkoitettujen eläimistä saatavien sivutuotteiden ja niistä johdettujen tuotteiden terveystäydennyksistä sekä asetuksen (EY) N:o 1774/2002 kumoamisesta (sivutuoteasetus). <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/cd2b6c68-b889-46b0-8edc-5787397a0a40/language-fi>.
- EY direktiivi 89/391/ETY, 1989, toimenpiteistä työntekijöiden turvallisuuden ja terveyden parantamisen edistämiseksi työssä <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/ALL/?uri=celex:31989L0391>
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) 2013. Edible insects. Future prospects for food and feed security. van Huis A, van Isterbeeck, J., Klunder, H., Mertens, E., Halloran, A., Muir, G. & Vantomme, P. Rome, 2013. <http://www.fao.org/docrep/018/i3253e/i3253e00.htm>.
- Flyktman, T. & Siimekselä, T. 2023. Kärpöskasvattamon perustaminen. Teoksessa Kärpösiä ja toukkia - Mustasotilaskärpösten kasvattaminen pilottikasvattamossa. Toim. Siimekselä, T. Jyväskylän ammattikorkeakoulun julkaisu 328_ 25–35. Jyväskylän ammattikorkeakoulu. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/805590/JAMKJULKAISUJA-3282023_web.pdf?sequence=2&isAllowed=y.
- Fitriana, E., Laconi, E., Astuti, D. & Jayanegara, A. 2022. Effects of various organic substrates on growth performance and nutrient composition of black soldier fly larvae: A meta-analysis, Bioresource Technology Reports 18: 101061. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2022.101061>
- Givens, M., Jeffay, N., Pierce, B., Robinson, W. & Mattox, J. 2013. The black soldier fly how-to guide. University of North Carolina, USA. <https://wiki.opensourceecology.org/images/1/1b/Bsf.pdf>
- Gobbi, P., Martínez-Sánchez, A. & Rojo, S. 2013. The effects of larval diet on adult life-history traits of the black soldier fly, *Hermetia illucens* (Diptera: *Stratiomyidae*). European Journal of Entomology 110: 461–468.
- Gold, M., Tomberlin, J. K., Diener, S., Zurbrügg, C. & Mathys, A. 2018. Decomposition of bio-waste macronutrients, microbes, and chemicals in black soldier fly larval treatment: A review. Waste Management 82: 302–318. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.10.022>
- Huang, C., Feng, W., Xiong, J., Wang, T., Wang, W., Wang, C. & Yang, F. 2019. Impact of drying method on the nutritional value of the edible insect protein from black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) larvae: amino acid composition, nutritional value evaluation, *in vitro* digestibility, and thermal properties. European Food Research and Technology, 245: 11–21. <https://doi.org/10.1007/s00217-018-3136-y>.

- Insectschool 2023. <https://www.insectschool.com/biology/understanding-the-life-cycle-of-the-black-soldier-fly/>.
- Insect Systems. Video. https://www.insect.systems/wp-content/uploads/2021/06/20210601-slim_L-NC-C2.mp4? =1.
- IPIFF, International Platform of Insects for Food and Feed <https://ipiff.org/>.
- Janssen, R.H., Vincken, J.P., van den Broek, L.A., Fogliano, V. & Lakemond, C.M. 2017. Nitrogen-to-protein conversion factors for three edible insects: *Tenebrio molitor*, *Alphitobius diaperinus*, and *Hermetia illucens*. Journal of agricultural and food chemistry 65(11): 2275–2278. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b00471>
- Joly, G. & Nikiema J. 2019. Global experiences on waste processing with black soldier fly (*Hermetia illucens*): from technology to business. Colombo: International Water Management Institute (IWMI). CGIAR Research Program on Water, Land and Ecosystems (WLE).
- Khairuddin, D., Ghafar, S.N.A. & Hassan, S.N.F. 2022. Food waste type and moisture content influence on the *Hermetia illucens* (L.), (Diptera: *Stratiomyidae*) larval development and survival. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 1022:012076.
- Kießling, M., Franke, K., Heinz, V. & Aganovic, K. 2023. Relationship between substrate composition and larval weight: a simple growth model for black soldier fly larvae. Journal of Insects as Food and Feed 9(8): 1027–1036. <https://doi.org/10.3920/JIFF2022.0096>
- Kim, C-H., Ryu, J., Lee, J., Ko, K., Lee, J-Y., Park, K.Y. & Chung, H. 2021. Use of black soldier fly larvae for food waste treatment and energy production in Asian countries: a review. Processes 9: 161. <https://doi.org/10.3390/pr9010161>
- Klüber, P., Arous, E., Zorn, H. & Rühl, M. 2023. Protein- and Carbohydrate-Rich Supplements in Feeding Adult Black Soldier Flies (*Hermetia illucens*) Affect Life History Traits and Egg Productivity. Life (Basel) 13(2): 355. <https://doi.org/10.3390/life13020355> PMID: 36836709; PMCID: PMC9966864
- Kwon, J.H. & Kim, J.Y. 2016. Treatment efficiency of food waste by the black soldier fly (*Hermetia illucens*) depending on salinity and moisture contents. Journal of Korea Society of Waste Management 33(6): 590–597.
- Laksanawimol, P., Anukun, P. & Thancharoen, A. 2024. Use of different dry materials to control the moisture in a black soldier fly (*Hermetia illucens*) rearing substrate. PeerJ 12: e17129. <https://doi.org/10.7717/peerj.17129>
- Lalander, C., Diener, S., Magri, M.E., Zurbrügg, C., Lindström, A. & Vinnerås, B. 2013. Faecal sludge management with the larvae of the black soldier fly (*Hermetia illucens*) — from a hygiene aspect. Science of the Total Environment 458–460: 312–318. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.04.033>

- Lalander, C., Fidjeland, J., Diener, S., Eriksson, S. & Vinnerås, B. 2015. High waste-to- biomass conversion and efficient *Salmonella* spp. reduction using black soldier fly for waste recycling. *Agronomy for Sustainable Development* 35: 261–271. https://pub.epsilon.slu.se/12480/7/lalander_c_et_al_150807.pdf
- Lalander, C., Ermolaev, E., Wiklicky, V. & Vinnerås, B. 2020. Process efficiency and ventilation requirement in black soldier fly larvae composting of substrates with high water content. *Science of The Total Environment* 759: 144422. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138968>
- Li, X., Dong, Y., Sun, Q., Tan, X., You, C., Huang, Y. & Zhou, M. 2022. Growth and Fatty Acid Composition of Black Soldier Fly *Hermetia illucens* (Diptera: *Stratiomyidae*) Larvae Are Influenced by Dietary Fat Sources and Levels. *Animals* 12: 486. <https://doi.org/10.3390/ani12040486>
- 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*. <https://doi.org/10.3920/JIFF2020.0081>
- Liu, Q., Tomberlin, J.K., Brady, J.A., Sanford, M.R. & Yu, Z. 2008. Black soldier fly (Diptera: *Stratiomyidae*) larvae reduce *Escherichia coli* in dairy manure. *Environmental Entomology* 37(6): 1525–1530.
- Liu, T., Klammsteiner, T., Dregulo, A.M., Kumar, V., Zhou, Y., Zhang, Z. & Awasthi, M.K. 2022. Black soldier fly larvae for organic manure recycling and its potential for a circular bioeconomy: a review. *Science of The Total Environment* 833: 155122.
- Lohri, C.R., Diener, S., Zabaleta, I., Mertenat, A. & Zurbrügg, C. 2017. Treatment technologies for urban solid biowaste to create value products: a review with focus on low-and middle-income settings. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology* 16: 81–130.
- Lopes, I.G., Yong, J.W.H. & Lalander, C. 2022. Frass derived from black soldier fly larvae treatment of biodegradable wastes. A critical review and future perspectives. *Waste Management* 142: 65–76.
- Lu, S., Taethaisong, N., Meethip, W., Surakhunthod, J., Sinpru, B., Sroichak, T., Archa, P., Thongpea, S., Paengkoum, S., Purba, R.A.P. & Paengkoum, P. 2022. Nutritional Composition of Black Soldier Fly Larvae (*Hermetia illucens* L.) and Its Potential Uses as Alternative Protein Sources in Animal Diets: A Review. *Insects* 13(9): 831. <https://doi.org/10.3390/insects13090831>
- Luke 2024. Rehutaulukot ja ruokintasuositukset. <https://www.luke.fi/fi/luonnonvaratiето/tieto- ja-tietoa/rehutaulukot- ja- ruokintasuositukset>.
- Ma, J., Lei, Y., ur Rehman, K., Yu, Z., Zhang, J., Li, W., Li, Q., Tomberlin, J.K. & Zheng, L. 2018. Dynamic effects of initial pH of substrate on biological growth and metamorphosis of black soldier fly (Diptera: *Stratiomyidae*) *Environmental Entomology* 47: 159–165.

- Makkar, H.P.S., Tran, G., Heuzé, V. & Ankers, P. 2014. State-of-the-art on use of insects as animal feed. *Animal Feed Science and Technology* 197: 1–33.
- Mannainsect. <https://www.mannainsect.com/life-cycle-of-black-soldier-fly/>.
- Meneguz, M., Schiavone, A., Gai, F., Dama, A., Lussiana, C., Renna, M. & Gasco, L. 2018. Effect of rearing substrate on growth performance, waste reduction efficiency and chemical composition of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 98: 5776–5784. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9127>.
- MMM 1/2020, Maa- ja metsätalousministeriön asetus rehualan toiminnanharjoittamisesta annetun maa- ja metsätalousministeriön asetuksen muuttamisesta. <https://finlex.fi/fi/laki/alkup/2020/20200001>.
- Modahl, I.S. & Brekke, A. 2022. Environmental performance of insect protein: a case of LCA results for fish feed produced in Norway. *SN Applied Science* 4: 183. <https://doi.org/10.1007/s42452-022-05065-1>
- Myers, H.M., Tomberlin, J.K., Lambert, B.D. & Kattes, D. 2008. Development of black soldier fly (Diptera: *Stratiomyidae*) larvae fed dairy manure. *Environmental Entomology* 37(1): 11–15.
- Niemi, J.K., Karhapää, M., Mellberg, S., Latomäki, I. & Wirtanen, G. 2020. Hyönteisten kasvatusta ja käyttöä ruokana tai rehuna. *Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus* 49/2020. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 114 s. https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/-546534/luke-luobio_49_2020.pdf?sequence=4&isAllowed=y.
- Oddon, S.B., Biasato, I., Resconi, A. & Gasco, L. 2022a. Determination of lipid requirements in black soldier fly through semi-purified diets. *Scientific Reports* 2: 10922. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-14290-y>.
- Oddon, S.B., Biasato, I. & Gasco, L. 2022b. Isoenergetic-practical and semi-purified diets for protein requirement determination in *Hermetia illucens* larvae: consequences on life history traits. *Journal of Animal Science and Biotechnology* 13: 17. <https://doi.org/10.1186/s40104-021-00659-y>.
- Official Method AOAC 2001.11: Protein (Crude) in Animal Feed, Forage (Plant Tissue), Grain, and Oilseeds. *Official Methods of Analysis of AOAC International* (2019) 21st Ed., AOAC International, Rockville, MD, USA, ISBN 0-935584-89-7.
- Official Method AOAC 920.39 Fat (Crude) or Ether Extract in animal Feed (Official Methods of Analysis of AOAC International (2019) 21st Ed., AOAC International, Rockville, MD, USA, ISBN 0-935584-89-7).
- Official method AOAC-942.05 Ash of Animal Feed (Official Methods of Analysis of AOAC International (2019) 21st Ed., AOAC International, Rockville, MD, USA, ISBN 0-935584-89-7).
- Oonincx, D., van Broekhoven, S., van Huis, A. & van Loon, J. 2015. Feed conversion, survival and development, and composition of four insect species on diets composed of food by-products. *PLoS One*. 10(12):1–7. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0144601>

- Park, H.H. 2016. Black soldier fly larvae manual. Student showcase 14. http://scholarworks.umass.edu/sustainableumass_studentshowcase/14 . University of Massachusetts-Amherst.
- Perednia, D.A. 2016. Using black soldier flies as a tool for rural and community development. Permetia Envirotech. <https://portal.nifa.usda.gov/web/crisprojectpages/1006293-using-black-soldier-flies-asa-tool-for-rural-and-community-development.html>.
- Rahman, M.M., Byanju, B. & Lamsal, B.P. 2024. Protein, lipid, and chitin fractions from insects: Method of extraction, functional properties, and potential applications. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 64(18): 6415–6431. <https://doi.org/10.1080/10408398.2023.2168620>
- Rehman, K., Cai, M., Xia, X., Zheng, L., Wang, H., Soomro, A.A., Zhou, Y., Li, W., Yu, Z. & Zhang, J. 2017a. Cellulose decomposition and larval biomass production from the co-digestion of dairy manure and chicken manure by mini-livestock (*Hermetia illucens* L.). *Journal of Environmental Management* 196: 458–465.
- Rehman, K., Rehman, A., Cai, M., Zheng, L., Xia, X., Soomro, A.A., Wang, H., Li, W., Yu, Z. & Zhang, J. 2017b. Conversion of mixtures of dairy manure and soybean curd residue by black soldier fly larvae (*Hermetia illucens* L.). *Journal of Cleaner Production* 154: 366–373.
- Ruokavirasto a. Ohje/versio: 2229/04.02.00.01/2021/8, voimaantulopäivä 2.1.2023. <https://www.ruokavirasto.fi/tietoa-meista/opaat/oiva-heh/heh-05/05-elintarvikkeiden-tuotantohygienia/>.
- Ruokavirasto b. <https://www.ruokavirasto.fi/elaimet/rehut/lainsaadanto/>. Päivitetty 11.11.2024.
- Ruokavirasto 2024a. Hyönteisiä rehuksi. Viitattu 15.4.2025. <https://www.ruokavirasto.fi/elaimet/rehut/tietoa-rehuista/elainperaiset-sivutuotteet-elintarviketuotantoelainten-ruokinnassa/hyonteiset/>.
- Ruokavirasto 2024b. Käsitelty eläinvalkuainen eli PAP. <https://www.ruokavirasto.fi/elaimet/rehut/tietoa-rehuista/elainperaiset-sivutuotteet-elintarviketuotantoelainten-ruokinnassa/kasitelty-elainvalkuainen-eli-pap/>
- Ruokavirasto 2024c. Eläinvalkuaisen käyttöön liittyvät kiellot ja rajoitukset. <https://www.ruokavirasto.fi/elaimet/rehut/tietoa-rehuista/elainperaiset-sivutuotteet-elintarviketuotantoelainten-ruokinnassa/elainvalkuaisen-kayttoon-liittyvat-kiellot-ja-rajoitukset/>
- Ruokavirasto 2024d. Sivutuotelainsäädäntö. <https://www.ruokavirasto.fi/elaimet/elaimista-saatavat-sivutuotteet-ja-kuolleet-elaimet/elaimista-saatavat-sivutuotteet/sivutuotelainsaadanto/>
- Ruokavirasto 2024e, Frassi lannoitevalmisteena. Ruokavirasto. Viitattu 8.10.2024. <https://www.ruokavirasto.fi/kasvit/lannoitevalmisteet/laatuvaatimukset/kierratysravinteet/frassi/>.

- Saragi, E.S. & Bagastyo, A.Y. 2015. Reduction of organic solid waste by black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae. The 5th Environmental Technology and Management Conference "Green Technology towards Sustainable Environment" November 23–24, 2015, Bandung, Indonesia.
- Scala, A., Cammack, J.A., Salvia, R., Scieuzo, C., Franco, A., Bufo, S.A., Tomberlin, J.K. & Falabella P. 2020. Rearing substrate impacts growth and macronutrient composition of *Hermetia illucens* (L.) (Diptera: *Stratiomyidae*) larvae produced at an industrial scale. *Sci Rep* 10, 19448. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-76571-8>
- Sheppard, D.C. 1995. A value added manure management system using the black soldier fly. *Bioresource Technology* 50: 275-279.
- Sheppard, D.C., Newton, G.L. & Burtle G. 2008. Black soldier fly prepupae a compelling alternative to fish meal and fish oil. Public comment prepared in response to a request by the National Marine Fisheries Service Nov. 15, 2007, NOAA 15/11//2007-29/2/2008.
- Siimekselä, T. 2023. Kärpäsiä ja toukkia - Mustasotilaskärpästen kasvattaminen pilottikasvatamossa. Jyväskylän ammattikorkeakoulu. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-951-830-708-5>. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/805590/JAMKJULKAI-SUJA3282023_web.pdf?sequence=2&isAllowed=y.
- Siimekselä, T., Pitkänen, H., Karhapää, M., Tapio, M., Virta, J., Heiska, S., Markkanen, J., Harjunmaa, V. & Marnila, P. 2024. Kanalle lähitoukkaa. Suomen Maataloustieteellisen Seuran Tiedote. Viitattu 9.10.2024. <https://journal.fi/smst/article/view/143671>.
- 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* 144: 285–296. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.01.042>
- Smetana, S., Bhatia, A., Batta, U., Mouhrim, N. & Tonda, A. (2023). Environmental impact potential of insect production chains for food and feed in Europe. *Animal Frontiers* 13(4): 112–120. <https://doi.org/10.1093/af/vfad033>
- Smets, R., Verbinnen, B., Van De Voorde, I., Aerts, G., Claes, J. & Van Der Borght, M. 2020. Sequential extraction and characterisation of lipids, proteins, and chitin from black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae, prepupae, and pupae. *Waste and Biomass Valorization* 11: 6455–6466. <https://doi.org/10.1007/s12649-019-00924-2>
- Somogyi, M. 1945. A new reagent for the determination of sugars. *Journal of Biological Chemistry* 160: 61–68.
- Tomberlin, J.K., Adler, P.H. & Myers, H.M. 2009. Development of the black soldier fly (Diptera: *Stratiomyidae*) in relation to temperature. *Environmental Entomology* 38: 930–934. <https://doi.org/10.1603/022.038.0347>
- Tomberlin, J.K. & Sheppard, D.C. 2002. Factors influencing mating and oviposition of black soldier flies (Diptera: *Stratiomyidae*) in a colony. *Journal of Entomological Science* 37: 345–352.

- TTK 2016. Työturvallisuus puutarha-alalla. Työturvallisuuskeskus TTK. <https://ttk.fi/wp-content/uploads/2022/06/Tyoturvallisuus-puutarha-alalla.pdf>.
- TTL 738/2002. Työturvallisuuslaki (738/2002). Työturvallisuuslaki 738/2002 - Ajantasainen lainsäädäntö - FINLEX ®.
- www.eawag. Fractioning of Black Soldier Fly Larvae into protein meal and fat. https://www.eawag.ch/fileadmin/Domain1/Abteilungen/sandec/schwerpunkte/swm/Practical_know-how_on_BSF/bsf_factsheet_fractioning.pdf
- Työsuojelu.fi. Työsuojeluhallinnon verkkopalvelu. <https://tyosuojelu.fi/tyoolot/fysikaaliset-tekijat/lampoolot>
- Verhoeckx, K.C., van Broekhoven, S., den Hartog-Jager, C.F., Gaspari, M., de Jong, G.A., Wichers, H.J., ... & Knulst, A.C. 2014. House dust mite (Der p 10) and crustacean allergic patients may react to food containing Yellow mealworm proteins. Food and Chemical Toxicology 65: 364–373. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2013.12.049>
- Vna 577/2003. Valtioneuvoston asetus työpaikkojen turvallisuus- ja terveysturvallisuudesta. Valtioneuvoston asetus työpaikkojen turvallisuus- ja terveysturvallisuudesta (577/2003).
- Vna 403/2008. Valtioneuvoston asetus työvälaineiden turvallisesta käytöstä ja tarkastamisesta. Valtioneuvoston asetus työvälaineiden turvallisesta käytöstä ja tarkastamisesta (403/2008).
- Woods, M.J., Hoffman, L.C. & Pieterse, E. 2019. Artificial diets for neonatal black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae. Journal of Insects as Food and Feed 5(2): 99–105. <https://doi.org/10.3920/JIFF2018.0028>
- Yakti, W., Müller, M., Klost, M., Mewis, I., Dannehl, D. & Ulrichs, C. 2023. Physical properties of substrates as a driver for *Hermetia illucens* (L.) (Diptera: *Stratiomyidae*) larvae growth. Insects 14: 266. <https://doi.org/10.3390/insects14030266>
- Yang, S. 2017. Intensive black soldier fly farming. Symton Black Soldier Fly Blog, entry posted July 30, 2017. <https://symtonbsf.com/blogs/blog>
- Zhang, X., Jiang, D., Zhang, H., Wang, Y., Zhang, Z., Lu, C. & Zhang, Q. 2021. Enhancement of the biohydrogen production performance from mixed substrate by photo-fermentation: effects of initial pH and inoculation volume ratio. Bioresource Technology 319: 124153.



**Löydät meidät
verkosta**

luke.fi



Luonnonvarakeskus (Luke) Latokartanonkaari 9, 00790 Helsinki