

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO  
LUT School of Energy Systems  
Ympäristötekniikan koulutusohjelma  
Kandidaatintyö

## **HYÖNTEISPROTEIININ TUOTANNON YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET**

### **Environmental impacts of the production of insect protein**

Työn tarkastaja:      Professori, KTT Lassi Linnanen  
Työn ohjaaja:        Apulaisprofessori, TkT Ville Uusitalo

Lappeenrannassa 7.5.2018  
Kauri Nordström

## **TIIVISTELMÄ**

Lappeenrannan teknillinen yliopisto  
LUT School of Energy Systems  
Ympäristötekniikan koulutusohjelma

Kauri Nordström

### **Hyönteisproteiinin tuotannon ympäristövaikutukset**

Kandidaatintyö

2018

35 sivua, 2 taulukkoa, 9 kuvaa

Tarkastaja: Professori Lassi Linnanen

Ohjaaja: Apulaisprofessori Ville Uusitalo

Hakusanat: kandidaatintyö, hyönteisruoka, hyönteistuotanto, ruoantuotannon ympäristövaikutukset, ilmastonmuutos, planeettaraja-ajattelu

Keywords: bachelor's thesis, insect food, insect production, environmental impacts of food production, global warming, planetary boundaries

Tämän kandidaatintyön tavoitteena on selvittää, millaisia ympäristövaikutuksia on hyönteisten tuottamisella eläinten ja erityisesti ihmisten ravinnoksi. Lisäksi näitä ympäristövaikutuksia verrataan perinteisen lihantuotannon vaikutuksiin. Työssä kerrotaan myös hyönteisproteiinin käyttökohteista, kuvaillaan massatuotantoon käytettyjä hyönteisiä ja niiden tuotannolle asettamia vaatimuksia. Käsitellään myös hyönteistuotantoon liittyviä riskejä, lainsäädännöllisiä kysymyksiä sekä kerrotaan hyönteistuotannon nykytilasta ja käytössä olevista tekniikoista. Tutkimusmenetelmänä käytetään kirjallisuusselvitystä.

Työn käytännön osuus tehdään laatimalla taulukko, jossa vertaillaan naudanlihan, kananlihan, sirkkojen ja jauhomatojen tuotannon eri ympäristövaikutuksia ja arvioidaan niiden kestävyyttä. Vertailun tulosten perusteella perinteisestä lihantuotannosta erityisesti naudanliha on selvästi vähemmän kestävällä tasolla kaikilla käytetyillä mittarilla. Sen sijaan hyönteistuotannon ympäristövaikutukset ovat lähes joka suhteessa merkittävästi vähäisemmät kuin perinteisellä lihantuotannolla. Tällä hetkellä hyönteistuotanto vaatii kuitenkin lähes vastaavan määrän energiaa tuotettua kiloa kohti kuin naudanlihan tuotanto.

Hyönteistuotanto on yksi potentiaalinen tapa ratkaista tulevaisuuden ruoantuotannon haasteita. Paljon on kuitenkin kiinni siitä, hyväksyvätkö kuluttajat hyönteiset osaksi ruokavaliotaan. Lyhyellä aikavälillä ympäristön kannalta merkittävämpi rooli voikin olla hyönteisten käytöllä eläinten rehuna.

## SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO .....	1
2	RUOANTUOTANNON YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET .....	3
2.1	Planeettaraja-ajattelu .....	3
2.2	Ruoantuotannon kestävyysongelmat .....	5
2.3	Hyönteisproteiinin tuotannon edut .....	7
3	HYÖNTEISPROTEIININ TUOTANTO .....	9
3.1	Hyönteistuotannon nykytila .....	9
3.2	Tuotantomenetelmät ja -teknologiat .....	11
3.3	Massatuotannossahyönteiset ja niiden tuotannolle asettamat vaatimukset .....	13
3.4	Hyönteistuotannon haasteet .....	14
3.5	Hyönteisproteiinin muut käyttökohteet .....	17
3.5.1	Hyönteisten käyttö rehuna .....	17
3.5.2	Hyönteisten käyttö orgaanisen jätteen käsittelyssä .....	18
3.6	Hyönteisten ravitsevuus .....	19
3.7	Hyönteistuotantoa koskeva lainsäädäntö .....	21
3.8	Suomessa toimivia hyönteisalan yrityksiä .....	23
3.9	Hyönteisten hinta .....	25
4	CASE: LIHA- JA HYÖNTEISTUOTTEIDEN VERTAILU .....	25
5	YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET .....	31
	LÄHDELUETTELO .....	33

## 1 JOHDANTO

Hyönteisruoan suosio länsimaissa on kasvamassa. Suomi muutti marraskuussa 2017 tulkintaansa EU:n uuselintarvikkeista. Muutoksen myötä hyönteisten kasvattaminen ja myyminen elintarvikkeena on nykyisin Suomessa sallittua, ja hyönteiset ovat elintarvikevalvonnan piirissä. Aiemmin hyönteisiä on saanut myydä vain koristeiksi. (Evira 2017.)

Hyönteisten kasvattaminen ruoaksi on yksi tapa vastata maailman kasvavan väestön määrän proteiinintarpeeseen. Maailmalla noin kaksi miljardia ihmistä erityisesti köyhissä ja runsasväkisisissä maissa syö jo hyönteisiä säännöllisesti (FAO 2013, 1). Länsimaissa ollaan hyönteisruokaan kuitenkin vasta totuttelemassa. Syynä hyönteisten puuttumiselle länsimaisesta ruokavaliosta on ajateltu olevan sekä niiden puuttuminen perinteisestä länsimaisesta ruokakulttuurista että hyönteisiin kohdistuvat negatiiviset assosiaatiot (FAO 2013, xiii).

Hyönteisproteiinilla on monia etuja esimerkiksi naudanlihaan verrattuna. Hyönteisillä on nautoihin nähden keskimäärin suurempi rehun muuntosuhde (kyky muuntaa ravintoa ruumiin massaksi), ne tuottavat vähemmän kasvihuonekaasupäästöjä ja kuluttavat huomattavasti vähemmän vettä (FAO 2013, 59). Hyönteiset ovat usein kaikkiruokaisia ja pienikokoisia, joten ne eivät vaadi paljon tilaa. Hyönteisille on mahdollista syöttää esimerkiksi ylijäämäruokaa (FAO 2013, 99).

YK:n vuoden 2017 arvion mukaan maailman väkiluku tukee kasvamaan vuonna 2050 9,8 miljardiin ja 11,2 miljardiin vuonna 2100 (YK 2017, 2). Lihan kulutuksen on korkean BKT:n maissa arvioitu kasvavan 9 % vuoden 2000 tasosta (86 kg/asukas/vuosi) vuoteen 2030 mennessä. Kiinassa kasvu on arviolta 50 % vuoden 2000 kulutuksesta (49 kg/asukas/vuosi). Karjankasvatukseen käytetyn rehun tuotannon kannalta tämä tarkoittaisi suurituloisissa maissa 48 % kasvua ja Kiinassa 158 % kasvua. (Van Huis 2013, 564.)

Kysynnän kasvun takia maatalousrehun hinnan oletetaan kasvavan, minkä on arvioitu kasvattavan naudan-, sian- ja kananlihan hintoja yli 30 % vuoden 2000 tasosta. Ilmastonmuutoksen rehuntuotannolle aiheuttamien ongelmien vuoksi hintojen on arvioitu kasvavan vielä ylimääräiset 18-21 %. Ruoan tuotantoa saattavat haitata myös kasvava biopolttoaineiden kysyntä sekä laskeva maatalouden tuottavuus. Myös hintojen nousu nostaa tarvetta etsiä vaihtoehtoisia proteiininlähteitä. (Van Huis 2013, 564.)

Yksi tulevaisuuden keskeisimmistä kysymyksistä on se, miten kasvava populaatio saadaan ruokittua kestäväällä tavalla. Ihmisten ruokkiminen asettaa valtavat paineet ruoan tuotannolle, maankäytölle sekä makean veden, lannoitteiden ja energian käytölle. Tästä syystä tulisi miettiä eri keinoja, miten ihmisten ravinto voidaan tuottaa mahdollisimman tehokkaasti ja mahdollisimman pienillä resursseilla.

Euroopassa ja Suomessa on myös pohdittu keinoja proteiiniomavaraisuuden lisäämiseksi sen ollessa Euroopassa vuonna 2008 23 % (MMM 2010, 17). Suomessa valkuaisrehuomavaraisuus on noin 15 % (MMM 2010, 21). VTT:n tiekartassa Suomen proteiiniomavaraisuuden parantamiseksi nähdään hyönteiset levien ja matojen ohella varteenotettavin tulevaisuuden proteiininlähteinä, jos niiden tuotannon kustannukset saadaan laskettua alas (VTT 2015, 45).

Edellä mainituista syistä on tarpeellista miettiä vaihtoehtoisia keinoja ruoan tuotannolle tulevaisuudessa, jotta kasvava populaatio voitaisiin ruokkia ja samalla vähentää ruoantuotannon ympäristövaikutuksia. Hyönteisten tuottaminen ruoaksi on nähty yhtenä houkuttelevana vaihtoehtona.

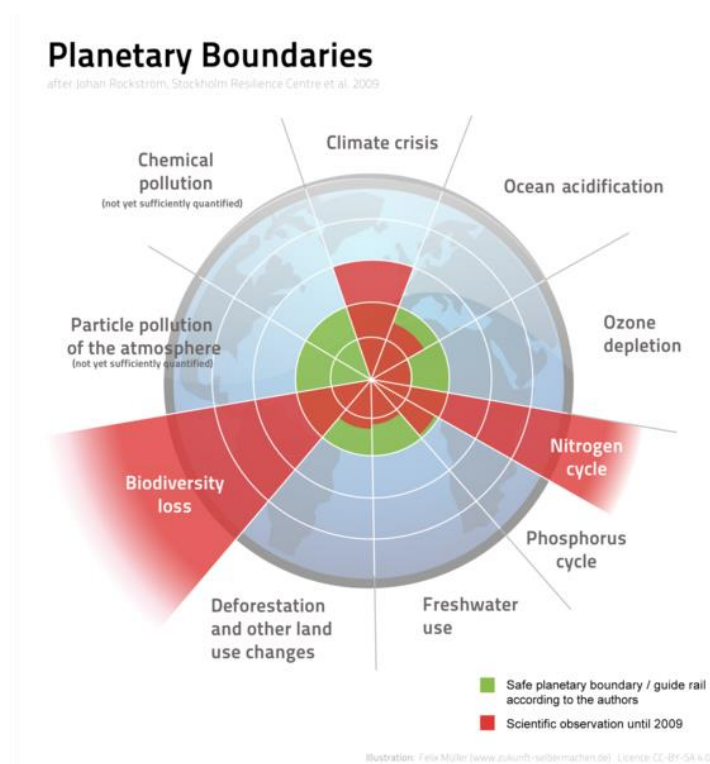
Tämän kandidaatintyön tavoitteena on selvittää, mitkä ovat hyönteisproteiinin tuotannon planeettarajavaikutukset ja ympäristöhyödyt. Työssä vertaillaan hyönteisproteiinin tuotannon ympäristövaikutuksia muihin eläinproteiinin lähteisiin, erityisesti naudanlihaan. Lisäksi selvitetään, millaisia ovat hyönteisproteiinin tuotantomenetelmät ja millainen on tällä hetkellä tuotannon nykytila. Tuotantoa tarkastellaan maailmanlaajuisesti, sillä Suomessa tuotantoa on toistaiseksi vielä suhteellisen vähän.

## 2 RUOANTUOTANNON YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET

Tässä luvussa käsitellään ruoantuotannon, ja erityisesti lihantuotannon, globaaleja ympäristövaikutuksia, kuten vaikutuksia ilmastonmuutokseen, luonnon monimuotoisuuteen, typpi- ja fosforikiertoon, maankäytön muutoksiin ja makean veden käyttöön. Lisäksi esitetään globaaleihin ympäristövaikutuksiin liittyvää planeettaraja-ajattelua. Kerrotaan myös, mitä etuja hyönteistuotannolla on verrattuna perinteisen lihantuotannon ympäristövaikutuksiin.

### 2.1 Planeettaraja-ajattelu

Planeettaraja-ajattelu on malli, joka määrittää maapallon kannalta turvallisen toiminnan rajat ihmiskunnalle. Rajat ovat yhteyksissä planeetan biofyysisiin järjestelmiin ja prosesseihin. Näitä planeettarajoja ovat ilmastonmuutos, merien happamoituminen, ilmakehän otsonikato, typpi- ja fosforikierrot, globaali makean veden käyttö, maankäytön muutokset, luonnon monimuotoisuuden väheneminen, ilmakehän aerosolikuorma, sekä kemialliset saasteet. (Rockström et al. 2013, 472.)



**Kuva 1.** Planeettarajat (Lähde: Rockström et al. 2013)

Nykyään eliölajeja kuolee noin 100-1000 kertaa enemmän kuin minkä on ajateltu olevan luonnollista. Pääsyy lajien kiihtyvään häviämiseen on ihmistoiminta, erityisesti maankäytön muutokset, kun luonnollisia ekosysteemejä muutetaan maatalous- tai asutuskäyttöön. Lisäksi ihmistoiminnan aiheuttama ilmastonmuutos kiihdyttää lajien sukupuuttoon kuolemista entisestään. (Rockström et al. 2013, 474.)

Nykyajan maatalous on yksi suuri tekijä ympäristöpäästöjen aiheuttamisessa, typpi- ja fosforikierron muutokset mukaan luettuna. Koko planeetan mittakaavassa ihmiskunnan tuottaman ylimääräisen typen ja fosforin määrät ovat niin suuria, että ne horjuttavat merkittävästi näiden aineiden luonnollista kiertoa. Ihmistoiminta, erityisesti ruoantuotantoon tarkoitettujen lannoitteiden tuotanto ja palkokasvien kasvatusta, muuttaa vuosittain noin 120 miljoonaa tonnia ilmakehän tyyppiä reaktiivisempiin muotoihin. Tämä on enemmän kuin kaikki maapallon luonnolliset prosessit yhteenlaskettuna. Suurin osa tästä reaktiivisesta tyypestä päätyy ympäristöön saastuttaen vesistöjä ja rannikkoja, kertyen maa-aineksiin, ja lisäksi erilaisten kaasujen päätymistä ilmakehään. (Rockström et al. 2013, 474.)

Planeettarajoissa on syytä huomata se, että vaikka ne on eroteltu omiksi prosesseikseen, ne ovat silti tiiviisti sidoksissa toisiinsa. Ihmiskunta ei voi keskittää korjaustoimiaan vain yhteen planeettarajaan, sillä jos yksi raja on ylitetty, ovat myös muut rajat vaarassa. Esimerkiksi typpi- ja fosforikierron rajan ylittäminen voi johtaa meriekosysteemien kestävyden heikentymiseen, joka puolestaan voi alentaa niiden hiilidioksidinsitomiskykyä ja näin vaikuttaa ilmastonmuutoksen planeettarajaan. (Rockström et al. 2013, 474.)

Vuonna 2017 tehdyn tutkimuksen mukaan ruoantuotanto voi toimia planeetalle turvallisten rajojen sisällä vain käyttämällä yhtä aikaa useita erilaisia menetelmiä. Esimerkiksi pelkät kulutustottumusten muutokset tai hävikin vähentäminen eivät yksin riitä, vaan ruoantuotannossa tarvitaan myös tuotannon tehokkuutta kasvattavia tekijöitä, kuten tuotannon lisäämistä tai ravinnehukan vähentämistä. Keskeistä on yhdistää eri toimenpiteitä, jotta ruoantuotanto pysyy planeettarajojen sisällä. (Conjin et al. 2017, 255)

Hyönteisproteiinin tuotannon kannalta keskeistä on toimia vaihtoehtoisena ratkaisuna nykyiselle lihan tuotannolle, jonka planeettarajavaikutuksia ovat ilmastonmuutos, typpi- ja fosforikierto, veden käyttö, maankäytön muutokset, sekä luonnon monimuotoisuuden väheneminen.

## **2.2 Ruoantuotannon kestävyysongelmat**

Maataloussektori tuottaa arviolta 24 % kaikista ihmisperäisestä kasvihuonekaasupäästöistä. Kasvava populaatio tarkoittaa myös sitä, että maataloustuotanto pysyy korkeana tulevaisuudessakin. Samaan aikaan maataloussektori on myös sidoksissa maankäyttöön, sen muutoksiin, sekä metsiin, joilla on suuri hiilensitomispotentiaali. (Sejian et al. 2015, 35.)

Eläintuotanto on merkittävä metaani- ja dityppioksidipäästöjen aiheuttaja (Sejian et al. 2015, 1). Karjatalous on suurin yksittäinen maapinta-alan käyttäjä. Noin 45 % kaikesta maapallon maapinta-alasta on karjataloustuotannon käytössä. Suurin osa tästä alueesta on kuitenkin hankalissa ympäristöissä, joilla ei ole muuta käyttöä ihmisille (Sejian et al. 2015, 2). Maapallon toiminnan kannalta nämä alueet voivat kuitenkin olla olennaisia esimerkiksi makean veden tuotannon, hiilen sitomisen ja luonnon monimuotoisuuden kannalta.

Lihantuotannossa vallitsee epäsuhta. Liha vastaa arviolta 15 % globaalista ihmisten energiansaannista, mutta lihantuotanto vaatii noin 80 % kaikesta maatalouden käytössä olevasta pinta-alasta. Kasvava lihan kysyntä ja samaan aikaan rajoittuva maapinta-ala pelloille on nostanut kysyntää vaihtoehtoisille proteiininlähteille. (Van Huis et al. 2017, 3.)

Tällä hetkellä maatalous ja ruoantuotanto ja -jakelu aiheuttavat suoraan noin 14 % kaikista kasvihuonekaasupäästöistä. Osittain edellä mainituista tekijöistä johtuva metsäkato aiheuttaa lisäksi noin 18 % päästöistä. Globaali ruokajärjestelmä, sisältäen koko tuotantoketjun lannoitteista pakointiin, aiheuttaa kokonaisuudestaan lähes kolmasosan kaikesta ihmiskunnan aiheuttamista kasvihuonekaasupäästöistä (Sejian et al. 2015, 5). Ruoantuotannon on arvioitu kasvavan 70 % nykyisestä vuoteen 2050 mennessä (Smetana et al. 2016, 741).



Suurimmat kasvihuonekaasupäästöt CO<sub>2</sub>-ekvivalentteina lihatuotteista ovat naudanlihan tuotannolla: Yhden kilogramman naudanlihan tuottaminen aiheuttaa noin 14,8 kg CO<sub>2</sub>-ekvivalentin päästöt. Tämän jälkeen tulevat sianliha, 3,8 kg CO<sub>2</sub>-ekv sekä kananliha 1,1 kg CO<sub>2</sub>-ekv. Maailman kaikesta ihmisperäisestä ilmakehän ammoniakkipäästöistä lähes kaikki on peräisin maataloussektorin toiminnasta, josta 2/3 aiheuttaa naudanlihan tuotanto. (Van Huis 2013, 565.)

Yhden kilogramman naudanlihan tuotanto vaatii noin 50 kertaa enemmän maapinta-alaa kuin vihannesten viljely ja tuottaa noin 100 kertaa enemmän kasvihuonekaasupäästöjä. (Van Huis et al. 2017, 3.) Jokaista tuotettua kiloa hyvälaatuista eläinproteiinia vastaa noin 6 kiloa karjalle syötettyä eläinrehua (Van Huis 2013, 564). Naudanlihan tuotannon voidaan tästä syystä sanoa olevan maailmanlaajuisesti ajateltuna kestäättömällä tasolla.

Ahtaissa tiloissa kasvatettujen eläinten tuotannossa on myös kasvava riski ilmaantua uusia vastustuskykyisiä sairauksia. Tuotantoeläinten tarttuvat sairaudet maksavat vuosittain miljardeja euroja globaalisti. Tuotantoeläinten tauteja ovat esimerkiksi lintuinfluenssa H5N1, suu- ja sorkkataudit, hullun lehmän tauti sekä sikainfluenssa. Korkean BKT:n maissa lihan kulutus on myös sidoksissa ihmisten terveysongelmiin, kuten hullun lehmän tautiin liittyvän Creutzfeldt-Jakobin tautiin, sydän- ja verisuonisairauksiin, sekä syöpään. Eläinperäiset tartunnat ovat kasvamassa ja aiheuttavat uusia uhkia ihmisille, kuten H1N1-influenssan. Koska hyönteiset ovat biologisesti kauempana ihmisistä kuin perinteiset kasvatuseläimet, hyönteisten ihmisille aiheuttamien sairauksien uskotaan olevan epätodennäköisempiä. (Van Huis 2013, 566.)

Perinteisen lihantuotannon vedenkulutus on myös merkittävä. Esimerkiksi karjantuotannon virtuaalinen vedenkulutus (tuotteen koko tuotantoketjun eri vaiheiden yhteenlaskettu vedenkulutus) voi olla 22 000 - 43 000 l/kg. Kiinassa kasvava lihan kysyntä on jo aiheuttanut vesipulaa vuosien 1961 ja 2003 välillä. Hyönteisillä veden tarve on huomattavasti vähäisempi. (Van Huis 2013, 566.)

## 2.3 Hyönteisproteiinin tuotannon edut

Luonnonvarakeskus näkee hyönteiset kiinnostavana vaihtoehtona proteiininlähteenä johtuen hyönteistuotannon ekotehokkuudesta. Hyönteisistä löytyy lajeja, joiden rehunkäyttösuhde on 1:1,7. Lisäksi hyönteiset lisääntyvät nopeasti, niillä on jopa 70 % proteiinipitoisuus ja miltei 100 % hyödynnettävyys ravintona (LUKE 2017, 7). Esimerkiksi naudalla ravinnoksi kelpaava osuus ruumiin massasta on vain noin 40 % (Luke 2017, 8). Hyönteistuotannon tehokkuus on siis huomattavasti parempi kuin perinteisellä lihantuotannolla. Taulukossa 1 esitetään Luonnonvarakeskuksen tekemää vertailua hyönteistuotannon ekotehokkuudesta.

**Taulukko 1.** Hyönteistuotannon ekotehokkuus (Lähde: Luke 2017, 8).

	Jauhopukki	Sirkat	Siipikarja	Sika	Nauta
Ravinnoksi kelpaava osuus (% ruumiin massasta)	-	80 %	55 %	55 %	40 %
Rehunkäytön tehokkuus (kg rehua/kg ruumiin massa)	-	2,1	4,5	9,1	25
Tuotannossa vapautuvien kasvihuonekaasujen määrä kasvua kohden (g/kg)	7,58	1,57	17,72	1330	2850
Ammoniakkipäästöt kasvunlisäystä kohden (mg/vrk/kg)	1	142	-	1920	-
Ilmastonlämpenemisvaikutus tuotantoa kohden (kgCO <sub>2</sub> -eq)	2,65	-	2,67	3,87	12,51
Tuotannon energiankulutus kasvunlisäystä kohden (MJ/kg)	173	-	151	240	275
Pinta-alan tarve tuotantoa kohden (m <sup>2</sup> /kg)	18	-	51	63	254
Vedenkulutus tuotettua proteiinia kohden (l/g)	-	2	34	57	112

Hyönteistuotanto on myös tehokasta maankäytön suhteen, eikä tuotantopaikka ole samalla tavalla sidottu peltopinta-alaan kuin perinteinen lihantuotanto. Tuotantomäärät ovat myös helposti skaalattavissa (Luke 2017, 8).

Hyönteislajeista ainoastaan torakat, termitit ja jotkin kuoriaiset tuottavat metaania. Ihmisten ravinnoksi kasvatettavien jauhomatojen toukkien (*Tenebrio molitor*) ja sirkkojen kasvihuonekaasupäästöt ovat satoja kertoja pienempiä verrattuna sikojen ja nautojen kasvatukseen kasvihuonekaasupäästöihin. Nautojen ja sikojen ulosteet voivat aiheuttaa merkittäviä maaperän ja veden hapettumista ja rehevöitymistä. Lisäksi hyönteisten, kuten jauhomadon toukkien ja sirkkojen, ammoniakkipäästöt ovat merkittävästi pienemmät kuin siantuotannon ammoniakkipäästöt. (FAO 2013, 63.)

Veden käyttö rajoittaa jo tällä hetkellä maatalouden tuotantoa monissa maissa. Arvioiden mukaan vuoteen 2025 mennessä 1,8 miljardia ihmistä elää maissa tai alueilla joissa on kriittinen puute vedestä. Kasvava veden kysyntä uhkaa luonnon monimuotoisuutta, ruoantuotantoa ja muuta ihmisen hyvinvointia. Tällä hetkellä maatalous käyttää noin 70 % kaikesta maailman makeasta vedestä. Yhden kilon eläinproteiinin tuottaminen vaatii noin 5-20 kertaa enemmän vettä kuin yhden kilon kasvirehun tuotanto. Yhden kilon kananlihantuotanto vaatii noin 2300 litraa virtuaalista vettä, sianlihan noin 3500 litraa ja naudanlihan noin 22 000 – 43 000 litraa. (FAO 2013, 64.) Hyönteisten veden tarve on huomattavasti perinteistä lihantuotantoa pienempi, noin viidesosa verrattuna naudanlihaan ja 30-50 % verrattuna kananlihaan (Van Huis et al. 2017, 6-7).

Kun verrataan hyönteisten ja perinteisen lihantuotannon maankäyttöä, nähdään, että esimerkiksi sian- ja kanankasvatus vaatii noin 2-3,5 -kertaisen määrän maapinta-alaa ja naudantuotanto noin 10 kertaisen määrän pinta-alaa. (FAO 2013, 64.)

Ympäristöhyötyjen lisäksi hyönteisten tuotannon etuna on nähty sen potentiaali lisätä valtioiden ja alueiden proteiiniomavaraisuutta vähentämällä tuontiproteiinia. VTT:n tiekartassa Suomen proteiiniomavaraisuuden parantamiseksi on pohdittu keinoja, jolla Suomen proteiiniomavaraisuutta voitaisiin nostaa merkittävästi nykyisestä noin 15 %:sta. Proteiiniomavaraisuus ja siihen liittyvä huoltovarmuus ovat nousseet poliittisessa keskustelussa aikaisempaa näkyvämmälle paikalle johtuen epävarmasta maailmanpoliittisesta tilanteesta, rajusti vaihtelevien sääolosuhteiden takia tuhoutuneista sadoista sekä proteiinin tuotantoon liittyvistä ekologisista ja eettisistä kysymyksistä (VTT 2015, 4).

Tiekartassa nähtiin levien ohella hyönteiset ja madot varteenotettavana tulevaisuuden proteiininlähteenä. VTT:n mukaan niiden tuotannosta tarvitaan kuitenkin vielä lisää tietoa, ennen kuin tuotantokäytöstä voidaan tehdä tarkempia johtopäätöksiä. (VTT 2015, 6-7.) Hyönteisillä katsottiin oleva kasvava merkitys erityisesti pidemmällä aikavälillä, ja niiden katsottiin olevan hyviä korvikkeita rehukäytössä hyvälaatuisten proteiiniensa ansiosta. Hyönteisten käytön lisäämisen haasteiksi katsottiin tuotannon taloudellinen kannattavuus, eli massakasvatuksen toteuttaminen kilpailukykyisesti (VTT 2015, 29).

### **3 HYÖNTEISPROTEIININ TUOTANTO**

Tässä luvussa esitetään, miten hyönteisproteiinia tuotetaan ja millaisia käyttökohteita hyönteisproteiinilla on. Lisäksi kuvataan hyönteistuotantoprosessia, mitä hyönteisiä massatuotannossa käytetään, millaisia vaatimuksia hyönteiset tuotannolle asettavat, sekä millaisia haasteita hyönteistuotantoon liittyy. Lisäksi esitetään hyönteistuotantoon liittyviä lainsäädännöllisiä kysymyksiä.

#### **3.1 Hyönteistuotannon nykytila**

Euroopan ja Pohjois-Amerikan ensimmäisiä kaupallisia tuotteita ovat olleet kokonaiset kuivatut, paahdetut ja maustetut sirkat, heinäsiirakat, jauhomadot, buffalomadot sekä hyönteisjauheet ja niistä valmistetut patukat, keksit, sipsit ja makeiset. (Luke 2017, 9.) Hyönteisraaka-aineen pitoisuudet tuotteissa ovat toistaiseksi muutaman prosentin luokkaa. Hyönteistuotannon laajenemisen myötä raaka-aineen saatavuus helpottaa ja odotetaan, että tulevaisuudessa myös hyönteisraaka-aineiden osuus tuotteissa kasvaa. (Luke 2017, 9.)

Hyönteistuotteiden valmistusmenetelmien kehittäminen on vielä alussa ja kehityksen kohteina ovat erityisesti prosessointimenetelmät ja niiden vaikutukset lopputuotteiden ravintoarvoihin ja säilyvyyteen. (Luke 2017, 10.)

FAO:n päämajassa Roomassa pidetyssä asiantuntijatapaamisessa ”The Expert Consultation Meeting on Assuring Food Security”, laadittiin kokoelma suosituksia hyönteisten kasvatukselle ja tuotannolle. Tapaamisessa esimerkiksi suositeltiin, että trooppisissa maissa

tulisi kasvattaa ensisijaisesti paikallisia hyönteislajeja, koska näin ympäristöriskit olisivat minimaaliset, hyönteiset eivät vaatisi ilmastointia, ja hyönteisten tuotanto saisi todennäköisemmin paikallisten asukkaiden hyväksynnän. (FAO 2013, 103-104.)

Tapaamisessa määriteltiin myös teollisen mittakaavan hyönteistuotannon olevan vähintään yhden tonnin tuorepainoa hyönteisiä päivässä. Massatuotantoon soveltuvien lajien ominaisuuksiksi määriteltiin populaation kasvunopeus, nopea kehityssykli, korkea munien selviytyvyysaste, korkea munimisaste, korkea rehunkäytön tehokkuus, kyky selviytyä suuressa joukossa hyönteisiä, sekä hyvä vastustuskyky. (FAO 2013, 104.)

Sopiviksi lajeiksi katsottiin esimerkiksi musta sotilaskärpänen erityisesti rehuntuotantoon, ja jauhopukki sekä rehuksi että ihmisravinnoksi. Asiantuntijaryhmä suositteli myös, että vain yhden hyönteislajin tuotantoa pyrittäisiin välttämään tuotantojärjestelmien haavoittuvaisuuden vuoksi. Lisäksi ryhmä suositteli säilyttämään vanhempien yksilöiden geenejä siltä varalta, että geneettisten sairauksien vuoksi hyönteispopulaatiot romahtaisivat. (FAO 2013, 104.)

Hyönteisten ravintoa valittaessa keskeistä on se, onko hyönteiset tarkoitettu ihmis- vai eläinravinnoksi. Perusajatuksena on, että ihmisravinnoksi käytettäville hyönteisille hyönteisravinnon kriteerit ovat korkeammat. Ravinnon vaikutuksesta hyönteisiin ei kuitenkaan ole vielä tehty tarpeeksi tutkimusta. Esimerkiksi jätevirtojen käyttäminen hyönteisravintona ei välttämättä ole turvallista lopputuotteen kannalta, mutta tästä ei ole vielä varmuutta. Tärkeitä kriteereitä hyönteisten ravinnolle ovat halpa hinta, paikallinen saatavuus, tasalaatuisuus ja -saatavuus, sekä erityisesti puhtaus hyönteismyrkyistä ja antibiooteista. (FAO 2013, 105.)

Suomen elintarvikelainsäädännön mukaan hyönteisten kasvatuksessa voi käyttää EU:n rehuaineluettelossa (EU/2017/1017) mainittuja kasvipäisiä rehuaineita, kivennäisyhdisteitä, maito- ja munatuotteita, muista kuin märehijöistä saatua hydrolysoitua proteiinia ja gelatiinia, kalajauhoa sekä entisiä elintarvikkeita, jotka eivät sisällä lihaa tai kalaa. Hyönteisiä ei myöskään saa kasvattaa elintarvike- tai rehukäyttöön ruoka- tai

biojätteillä, muulla jätteellä, kuten teuras- ja kalanperkuujätteellä, eikä lannalla. (Evira. 2018a, 12.)

Hyönteistuotannossa keskeistä on lopputuotteen turvallisuus. Esimerkiksi karjankasvatuksessa antibioottien liikakäytön kaltaisia virheitä pitää pyrkiä välttämään. Tautien torjunnan ja ennaltaehkäisyyn tulee olla ensisijaisen tärkeää. (FAO 2013, 105.)

### **3.2 Tuotantomenetelmät ja -teknologiat**

Eri hyönteislajien tuotannolle on erilaisia menetelmiä, ja ne voivat vaihdella suuresti. On kuitenkin tiettyjä prosesseja, jotka ovat yhteisiä tavallisimpien lajien massatuotannossa. Näitä tuotannon kannalta keskeisiä prosesseja ovat munien tuotantovaihe, kasvatusvaihe, lopetus ja käsittely. Tuotanto on mahdollista järjestää siten, että yksi tuottaja hallitsee koko tuotantoketjun, tai tuotanto voidaan jakaa eri toimijoiden kesken. (Luke 2017, 18.)

Munantuotantovaihe on yleensä käsityötä ja tarkkailua vaativa prosessi, jossa vaaditaan myös ymmärrystä tuotantohyönteisen biologiasta. Munitukseen on kehitetty patentoituja menetelmiä, joista suurin osa on käsityövaltaisia. Prosessin automatisointi on kuitenkin vaikeaa. (Luke 2017, 19.)

Hyönteisten ruokintaan ja juottoon on markkinoilla tarjolla vain muutama rehu. Etenkin jauhopukin ja mustasotilaskärpäsen kasvatuksessa rehut sekoitetaan usein itse. Yleisimpiä ainesosia ovat esimerkiksi vehnäleseet, jauhot, kaurahiutaleet, hiiva, tuoreet kasvikset, sekä myynnistä poistetut kasviperäiset elintarvikkeet. Rehuja saatetaan pakastaa ennen ruokintaa kontaminaatioiden ehkäisemiseksi (Luke 2017, 19). Hyönteisten vedentarve on vähäinen, mutta estynyt vedensaanti voi tuhota ison osan populaatiosta. Juottaminen voidaan tehdä esimerkiksi kostuttamalla tarjoiltua rehua tai tarjoilemalla tuoreita vihanneksia. Vesi voidaan myös tarjoilla imukykyisistä kankaista tai synteettisistä vettä imevistä geeleistä (Luke 2017, 19).

Kasvatusvaiheessa on tärkeää erotella ja poistaa joukosta sairaat ja kuolleet yksilöt, jotta tuotantotiloihin ei pääse taudinaiheuttajia. Perinteisesti erottelu tehdään käsin, mutta laajassa tuotannossa on myös käytössä tekniikoita, joilla erilaisilla optisilla sensoreilla ja konenäöllä voidaan seurata hyönteisten liikkeitä. Jos liikettä on vähän, tarkistetaan kuolleet yksilöt. Hyönteiset tulee myös pitää erillään ylijäävästä rehusta, ulosteista ja muusta jätteestä. Tähän tarkoitukseen on käytössä mekaanisia erottelijoita, seuloja ja täriseviä hihnoja. (Luke 2017, 19.)



**Kuva 2.** Sirkkojen tuotantoa Thaimaassa. (Lähde: CNN 2015)

Hyönteisten lopetus voidaan tehdä esimerkiksi viemällä hyönteiset viileään, jossa ne menevät horrokseen, jonka jälkeen hyönteiset lopetetaan pakastamalla. On myös olemassa tekniikoita, joissa hyönteisten lopetukseen käytetään hiilidioksidia tai nopeaa silppuamista. (Luke 2017, 19.)

### **3.3 Massatuotannossa hyönteiset ja niiden tuotannolle asettamat vaatimukset**

Teolliseen massakasvatukseen soveltuvien hyönteislajien ominaisuuksia ovat erityisesti lisääntymiskapasiteetti, kasvunopeus ja tilantarve. Lisäksi käsittelyn, erottelun ja automaation kannalta keskeisiä ominaisuuksia ovat hyönteisten liikkuminen, lentokyky, lisääntymissyklin tasaisuus ja hallittavuus. (Luke 2017, 13.)

Toistaiseksi automatisoituja massakasvatusmenetelmiä on kehitetty Euroopassa ja Yhdysvalloissa erityisesti eläinten rehuksi kasvatettaville lajeille, kuten mustasotilaskärpäselle ja jauhopukille. Myös elintarvikkeeksi kasvatettavien sirkkalajien kehitystä on tehty jo yli 15 vuotta, mutta kehitys on alkanut kiihtyä vasta viime vuosina. (Luke 2017, 13.)

Optimiolosuhteissa hyönteislajit lisääntyvät tehokkaasti. Yleisimpien massatuotantohyönteisten toukkavaihe kestää lajista riippuen 40-200 vuorokautta, ja aikuinen yksilö voi elää 30-140 vuorokautta. Munintavaihe kestää yksilöstä riippuen 40-70 vuorokautta, ja naaraat voivat munia 200-3000 munaa (Luke 2017, 15).

Useat massatuotantoon sopivat hyönteislajit ovat kaikkiruokaisia ja ne voivat tulla toimeen myös optimaalista heikompilaatusella ravinnolla. Kuitenkin juuri johtuen hyönteisten joustavuudesta ravinnon suhteen, optimaalista koostumusta hyönteisten ravinnolle on vaikea määrittää (Luke 2017, 17). Optimaalisia rehuja suunniteltaessa valmistusaineina on käytetty muiden muassa soijaa, maissia, sinimailasta, kasviöljyä, porkkanaa perunaa, hiivoja, maito- ja herajauheita ja kananmunanvalkuaisia (Luke 2017, 17).

Hyönteisten kasvatuksessa on olennaista hallita kasvatusolosuhteet, sillä monet massakasvatettavista lajeista ovat sopeutuneet trooppiseen ilmastoon, eivätkä selviydy viileässä. Myös niillä lajeilla, jotka selviytyvät viileämmässä, optimilämpötila kasvatukselle on noin 30 °C. Lämpötilan lasku optimin alapuolelle näkyy erityisesti kasvunopeuden merkittävänä hidastumisena, ja tätä kautta kasvuajan pitenemisenä, mikä lisää tuotannon kustannuksia. (Luke 2017, 19.)



Liian suuri lämpötila puolestaan lisää hyönteisten stressiä ja kuolleisuutta, heikentää elinvoimaa ja madaltaa kasvattamojen tuottavuutta. Jotkin lajit, kuten jauhopukin tai mustasotilaskärpäsen toukat tuottavat huomattavia määriä lämpöä kasvuvaiheessaan, mikä on otettava huomioon kasvatuslaatikoiden koon ja muodon suunnittelussa. Näitä lajeja kasvattaessa on myös mahdollista tarvita tilojen viilennystä. (Luke 2017, 19.)

Monien hyönteisten kasvatus vaatii myös tavallista huoneilmaa korkeamman ilmankosteuden. Vaatimukset vaihtelevat sekä lajeittain, että lajin sisällä kehitysvaiheen mukaan. Munat tarvitsevat yleensä korkeampaa ilmankosteutta. Kasvatusvaiheen edetessä pienempi ilmankosteus riittää. Ilmankosteus saattaa kuitenkin aiheuttaa esimerkiksi rehun ja jätteiden pilaantumista, sekä epätoivottujen lajien, kuten punkkien runsastumista. (Luke 2017, 20.)

Tuotannossa on myös voitava säätää tilojen kaasupitoisuuksia, sillä hyönteiset tuottavat hiilidioksidia, jonka pitoisuudet etenkin tiheissä populaatioissa voivat kasvaa liian suuriksi. Myös rehut ja ulosteet voivat hajotessaan tuottaa myrkyllisiä kaasuja. (Luke 2017, 20.)

Valon vaikutus vaihtelee hyönteislajista riippuen, ja vaatimukset valoisuudelle vaihtelevat myös kehitysvaiheen mukaan. Esimerkiksi mustakärpäsen toukka ei tarvitse valoa, mutta aikuinen tarvitsee sitä lisääntymiseen ja munimiseen. Sen sijaan esimerkiksi jauhopukki ei tarvitse lainkaan valoa missään kehitysvaiheessa. (Luke 2017, 20.)

Pääsääntöisesti hyönteisten tuotannossa pienemmät kasvattamot pärjäävät pienemmillä vaatimuksilla olosuhteiden kontrolloinnissa. Tuotannon mittakaavan kasvaessa olosuhdevaihteluun tarvitaan kehittyneempää teknologiaa. (Luke 2017, 20.)

### **3.4 Hyönteistuotannon haasteet**

Yksi keskeisimpiä hyönteisten tuotannon haasteita on löytää tasapaino koneistamisen, automatisaation, ihmistyövoiman käytön, investointien ja tuottavuuden välillä. (Dossey et al. 2016, 162.) Tällä hetkellä hyönteisiä tuottavat laitokset eivät ole vielä erityisen korkeasti mekanisoituja, ja tästä syystä markkinoilla olevat hyönteistuotteet ovat usein ylihinnoiteltuja

ja vaihtelevan laatuista. Hyönteisillä voidaan korvata nykyisiä proteiininlähteitä vain, jos tuottajat pystyvät tarjoamaan hyönteistuotteita suuria määriä, luotettavasti, korkealla ja tasaisella laadulla ja kilpailukykyiseen hintaan. Tuottavuuden kasvattamisella ja tätä työvoiman vähentämisen ja hinnan laskun kannalta keskeistä on kyetä koneistamaan hyönteistuotantolaitokset. (Dossey et al. 2016, 163.)

Sisäsiitoksen vaikutuksia hyönteisten immuunipuolustukseen on tutkittu paljon, mutta suoraa yhteyttä immuunipuolustuksen heikentymiselle ei ole havaittu. Sisäsiittoisten yksiköiden on kuitenkin todettu olevan herkempiä hyönteisten välillä tarttuville sienitaudeille. Sisäsiittoisuutta voidaan torjua pitämällä kasvatuksen geeniaines monipuolisena, esimerkiksi aloittamalla kasvatusta useammasta eri kannasta ja sekoittamalla niitä säännöllisin väliajoin toisiinsa. (Luke 2017, 18.)

Hyönteistuotannossa tulee pitää huolta hyvästä hygieniasta, sillä haitallisten patogeenien tai vieraiden eliöiden pääsy tuotantoon voi vaarantaa koko tuotantoprosessin. Tunnetaan esimerkiksi tapauksia Yhdysvalloista ja Hollannista, missä kasvatettavat sirkat saivat densovirusstartunnan, jonka takia suuria määriä sirkkoja kuoli. Tuotantoa on virustartuntojen takia jouduttu keskeyttämään tai lopettamaan, ja tuotettavia lajeja on jouduttu vaihtamaan. Myös saastuneiden kasvattamojen puhdistusprosessi on työläs ja kallis. (Luke 2017, 19.) Lisäksi riittämätön saatavuus voi olla ongelma tuotannolle, varsinkin jos tuotanto on perustettu ulkopuolisten toimittajien varaan. (Luke 2017, 20.)

Hyönteistuotannossa on tärkeää huolehtia tarkasti siitä, että kasvatettavia vierasperäisiä hyönteisiä ei pääse vapautumaan tuotantolaitoksista luontoon, sillä vierasperäiset hyönteiset voivat vaarantaa alueen luonnollisen elinympäristön. Tästä syystä on suositeltavaa käyttää tuotannossa lajeja, jotka esiintyvät myös kyseisen alueen ympäristössä. Hyönteisistä tulee tehdä arvioita, ovatko ne paikallisia, voivatko ne selviytyä alueen luonnossa ja onko niistä riskiä ihmisille, eläimille, kasveille ja biodiversiteetille. Tarpeen mukaan riskialttiiden lajien maahantuontia ja tuotantoa tulee rajoittaa. (Van Huis et al. 2017, 43)

Tuotantolaitosten sijoittaminen Suomen olosuhteisiin tuo mukanaan omia haasteitaan, sillä etenkin talvella laitosten seinissä voi olla jyrkkä lämpötilagradientti sisäilman lämpötilan ollessa 30 °C ja ulkona jopa -30 °C. Tämän takia seinien eristyksen tulee olla paksua. Riskinä on kuitenkin veden tiivistyminen rakenteisiin kastepisteen siirtyessä keskemälle seinää. Suomen olosuhteissa voi olla kustannustehokkainta sijoittaa hyönteiskasvattamo sellaiseen paikkaan, jossa on mahdollista hyödyntää edullista hukkalämpöä, kuten lämmöntuotantolaitosten yhteyteen. (Luke 2017, 24.)

Hyönteisten tuotannon haasteiden lisäksi haasteita liittyy myös niiden kaupallistamiseen. Monessa maassa hyönteiset ovat jo osa tavallista ruokavaliota, mutta etenkin länsimaissa hyönteisruokaan ollaan vasta totuttelemassa. Kuluttajien vastustus on katsottu olevan yksi päätekijä hyönteisten puuttumiselle länsimaisesta ruokavaliosta. Tutkimusten mukaan hyönteisruoan hyväksyntä on myös riippuvainen aiemmista positiivisista kokemuksista, sekä tiedon määrästä hyönteisten syömisen suhteen. (Piha et al. 2016, 1.)

Turun yliopistossa tehdyn kyselytutkimuksen mukaan Pohjois- ja Keski-Euroopan maat eroavat merkittävästi suhtautumisessaan hyönteisten käyttöön ravintonaan. Pohjois-Euroopan maat olivat tutkimuksen mukaan positiivisemmin suhtautuvia ja tietoisempia hyönteisruoasta. Yhtenä syynä nähtiin se, että Pohjois-Euroopassa ei ole yhtä vanha ja vakiintunut ruokakulttuuri kuin Etelä-Euroopassa, ja uutuuden pelko ruoan suhteen on näin pohjoisessa pienempi. Toisena tekijänä nähtiin myös erityisesti Pohjois-Euroopassa hiljattain vallinnut hyönteisruokaa koskeva positiivinen mediahuomio. (Piha et al. 2016, 7.)

Markkinointitoimisto Inveniren tekemän ruoka- ja reuhuönteisiä koskevan markkinaselvityksen mukaan kestävyuden kannalta suurin vaikutus syötävistä hyönteistä saadaan lyhyemmällä aikavälillä todennäköisemmin eläinten rehusta ennemmin kuin ihmisruoaksi tuotettavista hyönteisistä. Keskeisenä argumenttinaan Invenire esittää, että kuluttajien pääsääntöisesti negatiivinen suhtautuminen hyönteisravintoon estää hyönteisruoan markkinoiden kasvamisen niin suureksi, että sillä olisi ympäristön kannalta merkitystä. (Luke 2017, 101.)

### **3.5 Hyönteisproteiinin muut käyttökohteet**

Sen lisäksi, että hyönteisiä kasvatetaan suoraan ihmisravinnoksi, niillä on myös nähty potentiaalia nykyisten eläinrehujen korvaajana. Tämän lisäksi on mietitty mahdollisuuksia orgaanisten jättevirtojen hyödyntämistä hyönteisten kasvatuksessa.

#### **3.5.1 Hyönteisten käyttö rehuna**

FAO:n mukaan vuonna 2011 maailman yhteenlaskettu rehuntuotanto oli arviolta 870 miljoonaa tonnia, ja vuoteen 2050 mennessä määrän on arvioitu kasvavan 70 %, jotta ihmiskunta on mahdollista ruokkia. Lihan tuotannon, mukaan lukien siipikarjan, sian- ja naudanlihan, arvioidaan kaksinkertaistuvan vuoteen 2050 mennessä. Hyönteisten roolista eläinrehuna on keskusteltu vielä melko vähän. (FAO 2013, 89.)

Tällä hetkellä eläin- ja kalarehuun käytetään pääasiassa kalajauhoa, kalaöljyä, soijapapuja, sekä muita viljoja. Keskeisin tekijä tulevaisuuden kehitykselle ovat rehun liian korkeat hinnat, joista liha-, kala- ja soijajauheiden osuudet ovat noin 60-70 % koko tuotannon kustannuksista. Erityisesti kalajauheen hinnat ovat korkeat, ja pienemmillä kalantuottajilla on vaikeuksia hankkia tarpeeksi rehua. Samaan aikaan kalatalous on nopeimmin kasvava eläinten rehua tuottava sektori, ja sen pitää kasvaa merkittävästi pysyäkseen jatkuvasti kasvavan kalan kysynnän mukana. (FAO 2013, 89.)

Myös hyönteisiä käytetään kala- ja karjatalouden rehuna, sekä lemmikkien ruokana. Kalarehun korkea kysyntä ja korkeat hinnat, sekä kalatalouden tuotannon paineet ovat johtaneet tutkimaan hyönteisrehun mahdollisuuksia korvata kalarehun käyttöä kala- ja karjataloudessa. Vaihtoehtoisten ja kestävien proteiinien etsinnälle on suuri tarve lyhyellä aikavälillä, ja hyönteiset nähdään houkuttelevana vaihtoehtona eläinten rehuna. (FAO 2013, 90.)

Kalarehun tuotanto vaatii suhteellisen paljon energiaa ja tuottaa suhteellisen paljon kasvihuonekaasupäästöjä mutta vaatii varsin vähän pinta-alaa. Soijarehun tuotanto puolestaan vaatii paljon kasvatuspinta-alaa mutta vähän energiaa. Soijantuotannon suorat kasvihuonekaasupäästöt ovat suhteellisen pienet. Kun otetaan huomioon kasvavan rehuntuotannon aiheuttama metsäkato, epäsuorat kasvihuonekaasupäästöt ovat kalarehun

tuotantoa suuremmat. Kun verrataan huonekärpäsen toukkien käyttöä rehuna vastaavaan määrään rehua, josta puolet on kalarehua ja puolet soijarehua, hyönteisrehun tuotannon maankäyttö on 98 % vähäisempi, lämmityspotentiaali 61 % pienempi ja energiankäyttö 38 % pienempi. Jos kuitenkin otetaan huomioon se, että hyönteisille syötettyä rehua ei voida käyttää johonkin muuhun käyttöön, hyönteisrehun lämmityspotentiaali on tällöin 40 % korkeampi ja lämmityspotentiaali kaksinkertainen suhteessa kala-soijarehusekoitukseen. Maankäytöntarve on silti edelleen 97 % pienempi. Suurin yksittäinen seikka, joka vaikuttaa hyönteisrehun ympäristövaikutuksiin, on sille syötetty ravinto. Pienimmät ympäristövaikutukset aiheutuvat, kun ravintona käytetään sivutuotteita, kuten kananlantaa. (Van Huis et al. 2017, 7.)

Jos hyönteisillä aiotaan korvata nykyisiä rehuja, tuotannon tulee olla suurta ja korkea- ja tasalaatuista. Rehumarkkinat kasvoivat 14 % vuodesta 2011 vuoteen 2015, mikä vastasi 464 miljoonaa tonnia rehua kanoille, 254 miljoonaa tonnia sioille, 35 miljoonaa tonnia kaloille ja 23 miljoonaa tonnia lemmikeille. Hyönteisten käytölle rehua on suuri potentiaali, mutta keskeistä on selvittää, käyttävätkö hyönteiset merkittävästi vähemmän resursseja kuin perinteinen karja. (Van Huis et al. 2017, 2)

Hyönteisrehut joutuvat kilpailemaan markkinoilla tavallisten rehuainesosien, kuten soijan kanssa, ja hyönteistuotanto on vielä pienimuotoista. Esimerkiksi Alankomaissa vuonna 2011 tehdyn tutkimuksen mukaan sen hetkiselällä tekniikalla jauhopukkien tuotannon kustannukset olivat kuitenkin noin 4,8-kertaiset tavallisen kananrehun tuotantoon verrattuna. Suurimpia kustannustekijöitä olivat erityisesti työvoima- ja tilakustannukset. (FAO 2013, 103.)

### **3.5.2 Hyönteisten käyttö orgaanisen jätteen käsittelyssä**

Vuosittain noin 27 % kaikista tuotetuista maataloustuotteista menee hukkaan. Tästä määrästä syötäväksi kelpaava osuus vastaa noin 1,3 miljardia tonnia ruokaa. Hukan arvoksi on arvioitu jopa 750 miljardia dollaria vuodessa. Yhtenä ratkaisuna hukan hyödyntämisessä on ajateltu näiden orgaanisten sivuainevirtojen käyttöä hyönteisten kasvattamisessa. Lukuisia hyönteislajeja on kasvatettu onnistuneesti käyttäen niiden ravitsemiseen orgaanisia sivuainevirtoja, jolloin hyönteiset ovat muuntaneet matala-arvoisia orgaanisia sivuaineita korkeampiarvoisiksi proteiineiksi. (Van Huis et al. 2017, 8.)

Se, millaiset tuotteet kelpaavat hyönteiselle ravinnoksi riippuu kuitenkin paljon hyönteislajista. Parhaiten tunnettu hyönteislaji jätevirtojen hyödyntämiseen on mustasotilaskärpänen (*Hermetia illucens*). Sen toukat pystyvät käyttämään ravinnokseen esimerkiksi naudan- ja kananlantaa, ruokahävikkiä ja biojätettä, ja pystyvät samalla tuhoamaan biomassasta haitallisia koli- ja salmonellabakteereja ilman että ne itse saastuvat tai levittävät niitä. (Van Huis et al. 2017, 8.)

Mustasotilaskärpäsen toukat myös vähentävät biomassasta nestettä, ilmastavat sitä ja vähentävät hajuhaittoja. Toukat itsessään voidaan myös lopettaa ja jalostaa erilaisiin käyttötarkoituksiin, kuten biopolttoaineeksi. (Luke 2017, 12.)

Hyönteisten käytössä orgaanisen jätteen käsittelyssä on siis suuri potentiaali, mutta sen toteutuminen riippuu vahvasti lainsäädännöstä. Esimerkiksi Euroopan Unionin alueella orgaanisen jätteen käyttö syötäväksi tarkoitettujen hyönteisten kasvatuksessa on tällä hetkellä kiellettyä. Jätteiden käytön turvallisuuden selvittäminen ja siitä varmistuminen vaatii vielä tutkimusta. (Van Huis et al. 2017, 8.)

### **3.6 Hyönteisten ravitsevuus**

Hyönteiset ovat ravintolähteenä kiinnostavia niiden korkean ravintotiheyden vuoksi. Hyönteisillä on korkea proteiinipitoisuus, ja proteiinit sisältävät ihmisille välttämättömiä aminohappoja. Myös hyönteisten rasvoissa on paljon hyvälaatuisia rasvahappoja. Hyönteiset ovat myös arvokas vitamiinien, raudan ja kivennäisten lähde. Ravintoarvot kuitenkin vaihtelevat lajikohtaisesti ja niihin vaikuttavat myös hyönteisten saama ravinto ja kasvatusolosuhteet. (Luke 2017, 9.)

Luonnonvarakeskuksen tekemän selvityksen mukaan hyönteisten ravintosisältöä selvittävien tutkimusten tulokset ovat keskenään ristiriitaisia. Syiksi mainitaan tutkimusmenetelmien kehittymättömyys ja epäyhdenmukaisuus. (Luke 2017, 9.)

Hyönteisruokaa koskevaa tutkimusta on tehty erityisesti ravinnoksi kelpaavien hyönteisten ja näiden ravintoarvojen kartoittamiseksi. Tähän mennessä tunnetaan noin 1900 ravinnoksi kelpaavaa hyönteislajia. Näiden lajien ravitsevuuden on kuitenkin huomattu vaihtelevan paljon, joten yleisiä ravintoarvoja on vaikeaa määrittää. Ravintoarvot riippuvat paitsi lajeista, myös lajien kehitysasteesta sekä niiden saamasta ravinnosta. (Van Huis 2013, 570.)

Vaikka ravitsevuus vaihtelee lajien välillä paljon, monien ravinnoksi kelpaavien hyönteisten on katsottu sisältävän riittävästi energiaa ja proteiinia, ja ne täyttävät ihmisten aminohappotarpeen. Hyönteiset sisältävät yleensä myös runsaasti hivenaineita kuten kuparia, rautaa, magnesiumia, mangaania, fosforia, seleeniä ja sinkkiä, sekä riboflaviinia, pantoteenihappoa, biotiinia, sekä joissakin tapauksissa foolihappoa. (FAO 2013, 67.)



**Kuva 3.** Jauhomadon toukkia. (Lähde: Uncle Jim's Worm Farm 2018)

Hyönteisten kuorten sisältämän kitiinin rooli on herättänyt mielenkiintoa, koska kitiini lisää suoliston bakteerien kasvua ja heikentää patogeenisten mikro-organismien kasvua ja aktiivisuutta. Näin ollen kitiini parantaa vastustuskykyä. Esimerkiksi katkarapujen käyttö siipikarjan ravintona on lisännyt siipikarjan suoliston hyödyllisen lactobacillus-bakteerin määrää ja vähentänyt kolibakteerin ja salmonellan määrää. Hyönteisten osuuden lisääminen eläinten rehuna saattaisi näin korvata antibiootteja sisältävän rehun käyttöä ja vähentää

siipikarjan ja karjan ihmisiin tarttuvien tautien määrää. On myös arveltu, että kitiinin lisääminen lasten ruokavaliossa voi vähentää allergisuutta aikuisella iällä. (Van Huis 2013, 571.)

Vuonna 2002 tehdyssä tutkimuksessa verrattiin jauhopukin toukkien ja naudanlihan ravintoarvoja. Tutkimuksen mukaan naudanlihassa on korkeampi rasvapitoisuus, hieman alempi kosteuspitoisuus ja hieman korkeampi proteiini- ja energiapitoisuus. Naudanlihassa on myös korkeammat pitoisuudet glutamiinihappoa, lysiiniä sekä metioniiniä, mutta pienemmät pitoisuudet isoleusiinia, leusiinia, valiinia, tyrosiinia sekä alaniinia verrattuna jauhopukin toukkiin. Rasvahappojen suhteen naudanlihassa on enemmän palmitoliini-, palmitiini- ja steariinihappoa, mutta jauhopukeissa on huomattavasti enemmän elintärkeää linoleenihappoa. Jauhopukeissa on suurin piirtein saman verran kuparia, natriumia, kaliumia, rautaa, sinkkiä ja seleeniä suhteessa naudanlihaan. Yleisesti ottaen jauhopukeilla on korkeampi vitamiinipitoisuus kuin naudanlihalla, lukuun ottamatta B12-vitamiinia. (FAO 2013, 75.)

Nykytiedon valossa voidaan sanoa, että hyönteiset keskimäärin täyttävät ihmisten ravintotarpeen, ja naudanlihaan verrattuna hyönteisruoan etuna on myös niiden sisältämät vitamiinit, jotka ovat erityisen tärkeitä kehitysmaissa asuvien ihmisten ravinnossa. Hyönteisten tarkkojen laji- ja kehitysasteikohtaisten ravintoarvojen selvittäminen vaatii kuitenkin vielä paljon työtä.

### **3.7 Hyönteistuotantoa koskeva lainsäädäntö**

Länsimaissa lainsäädäntö on ollut merkittävä tekijä, joka on vaikuttanut hyönteisalan hitaaseen kehitykseen. Lakeja ollaan kuitenkin uudistamassa ja hyönteistuotannon ja hyönteisten hyödyntämisen edistäminen on edennyt nopeasti. Euroopan Unionin alueella hyönteiset tulkitaan uuselinarvikkeiksi, ja niiden markkinointiin elintarvikkeina tarvitaan uuselinarvikelupa. Suomessa Maa- ja metsätalousministeriö salli syyskuussa 2017 kokonaisten hyönteisten myynnin uuselinarvikkeina. Uusi laki tuli voimaan vuoden 2018 alusta. Sen myötä EU:n ulkopuolisissa maissa käytössä olevat elintarvikkeet voidaan



hyväksyä markkinoille helpotetulla ilmoitusmenettelyllä. Lisäksi uuselintarvikelupa on yleinen, eikä sitä tarvitse hakea erikseen. (Luke 2017, 43.)

Suomen elintarvikelainsäädännössä ei ole hyönteisiä erikseen koskevia vaatimuksia, vaan niihin sovelletaan yleisiä elintarvikelainsäädännön vaatimuksia ja valvontaa. Lain mukaan ”Tuottajat ovat vastuussa tuotteidensa turvallisuudesta sekä tuotteista annettujen tietojen oikeellisuudesta. Erityisesti toiminnassa on huomioitava eläinten hyvinvointi, hygieeniset toimintatavat ja kuluttajille annetut tiedot.” (Luke 2017, 43.)

Suomen Elintarviketurvallisuusvirasto Eviran julkaiseman listan mukaan Suomessa sallittuja hyönteislajeja ovat ainakin *Acheta domesticus* (kotisirkka), *Apis mellifera* (mehiläinen, kuhnuritoukka), *Tenebrio molitor* (jauhopukki, jauhomato), *Gryllobes gigillatus* (trooppinen kotisirkka), *Alphitobius diaperinus* (buffalomato) ja *Locusta migratoria* (idänkulkusirkka). Eviran mukaan listaa täydennetään sitä mukaan, kun tietoa muissa EU-maissa jo olleista hyönteislajeista saadaan lisää. (Evira, 2018b.)

Evira on julkaissut hyönteisten kasvattamista, myyntiä ja tarjoilua koskevan ohjeen elintarvikeviranomaiselle, kasvattajille ja hyönteiselintarvikkeita valmistaville yrityksille. Ohjeiden mukaan Suomessa on sallittua käyttää vain kasvatettuja kokonaisia hyönteisiä. Kokonaisia hyönteisiä voi kuitenkin rouhia, jauhaa ja kuivata, mutta niistä ei saa poistaa osia, kuten siipiä, jalkoja tai päätä, eikä eristää tai uuttaa aineisosia. (Evira, 2018b.)

Aiemmin markkinoilla olleita koristeina myytyjä hyönteistuotteita ei saa myydä elintarvikkeina, koska niiden turvallisuudesta ei ole voitu varmistua, eikä niiden tuotantoa ole valvottu elintarvikelainsäädännön mukaan. (Evira, 2018b.)

Hyönteisiä on ollut jo aiemmin mahdollista käyttää eläinten rehuna tietyin rajoituksin. Lainsäädäntöä ollaan rehunkäytön osalta kuitenkin uudistamassa. Tällä hetkellä rehuiksi on kasvatettu esimerkiksi mustasotilas- ja huonekärpäsiä, jauhopukkeja ja kotisirkkoja. Eläviä hyönteisiä on mahdollista käyttää eläinten rehuna märehitjöitä lukuun ottamatta. (Luke 2017, 43.)

Hyönteisten pitoa ja lopetusta säätelevät eläinsuojelulaki (247/1996) sekä eläinsuojeluasetus (396/1996). Eläinsuojelulainsäädännössä ei kuitenkaan ole yksityiskohtaisia vaatimuksia eri hyönteislajien pidon ja kohtelun vaatimuksista, joten toiminnan lainmukaisuutta pitää arvioida tapauskohtaisesti. Eläimille ei esimerkiksi saa aiheuttaa tarpeetonta kärsimystä, kipua tai tuskaa, ja niiden ylläpidossa on edistettävä eläinten terveyden ylläpitämistä ja otettava huomioon eläinten fysiologiset ja käyttäytymistarpeet (Evira 2018a, 13). Hyönteistuotannossa tulee myös ottaa huomioon, etteivät kasvatettavat hyönteiset pääse luontoon tai muualle ympäristöön (Evira 2018a, 15).

Kuten hyönteistuotantoa käsittelevässä luvussa kerrottiin, hyönteisille ei saa nykyisen lainsäädännön mukaan syöttää jätteitä tai lantaa, vaikka ne luonnossa esiintyessään käyttäisivätkin vastaavia biomassoja ravinnokseen. Tämä koskee myös hyönteisiä, joita ei ole tarkoitettu ravinnoksi, vaan esimerkiksi energiaksi, kemianteollisuuden raaka-aineeksi tai maanparannukseen. Tämänhetkinen lainsäädäntö siis rajoittaa voimakkaasti hyönteisten käyttöä biomassojen käsittelyssä. (Luke 2017, 44.)

### **3.8 Suomessa toimivia hyönteisalan yrityksiä**

Turussa toimiva pienyritys Entis myy tällä hetkellä kotisirkkaa sisältävää suklaata. Yritys tekee yhteistyötä Kultasuklaan kanssa. Entis myy maitosuklaalla kuorrutettuja kokonaisia sirkoja. Sirkat on kasvatettu Suomessa. Tuotteita myydään tällä hetkellä Prismoissa sekä joissakin K-kaupoissa ympäri Suomen. Suklaan koostumuksesta 7,5 % on keitettyjä ja kuivattuja sirkoja. (Entis, 2018.)

Nordic Insect Economy toimii Kouvolassa. Yritys tarjoaa kokonaisia ja käyttövalmiita ratkaisuja hyönteisten pienestä keskisuuren skaalan tuotantoon. Lisäksi yritys tarjoaa erikoistuneempia itsenäisiä tuotteita vakiintuneemmille toimijoille hyönteistuotannon alalla. Vaihtoehtoina ovat manuaaliset ja automaattiset kasvatustilat ja tuotteet. Tuotteita tarjotaan sekä trooppisiin että leutoihin olosuhteisiin. Tuotteiden konsepti on modulaarinen, eli kasattavista osista koostuva, jossa pienen kokoluokan tuotteet vaativat yhden työntekijän ja suuremmat tuotantotilat enintään kymmenen. Tuotantolaitosten lisäksi NIE tarjoaa myös hyönteisiä raaka-aineeksi. (Nordic Insect Economy, 2018.)

Vuodesta 1958 toiminut Veljekset Mattila/Mattila Bros, joka on aiemmin tarjonnut perinteisempiä lihatuotteita, toi joulukuussa 2017 saataville hyönteisiä sisältäviä tuotteita. Yrityksen ideana on ollut tehdä tuotteistaan suomalaisten helposti lähestyttäviä, ja esimerkiksi Sirkka makkara sisältää enimmäkseen sianlihaa (63 %), mutta osa lihasta (5,6 %) on korvattu kotisirkalla. Yritys tarjoaa myös kasvis-kotisirkkapihvejä, jotka sisältävät 83 % kasviksia ja 4,6 % kuivattua sirkkajauhetta. (Mattila Bros, 2018.)

Espoossa toimiva Entocube tarjoaa kasvatuskontteja, joissa on hyönteisten viljelyä varten säännelty ilmasto. Yrityksen ratkaisu on modulaarinen, jossa tuotantolaitoksen kapasiteettia voidaan kasvattaa useita kontteja kasaamalla. (Entocube, 2018.)



**Kuva 4.** EntoCube-kasvatuskontti (Lähde: Entocube. 2018)

### 3.9 Hyönteisten hinta

Luonnonvarakeskuksen tekemässä selvityksessä tehtiin hinta- ja saatavuuskysely Suomessa. Selvityksen mukaan hintatietoja oli hankala saada, mitä pidettiin ymmärrettävänä liikesalaisuuksiin vedoten. Selvityksessä kuitenkin arveltiin, että hintatietojen salaaminen voi kertoa myös tuotannon ongelmista. (Luke. 2017, 16.)

Luonnonvarakeskuksen selvityksen mukaan halvin hyönteislaji oli jauhopukki, joiden kilohinta vaihteli 10,85 - 35,47 €/kg välillä. Kalleimpia lajeja olivat koti- ja kaksitäpläsirkat, joiden kilohinta vaihteli 40 - 44 €/kg välillä. Jotkin tuottajat tarjosivat myös alennusta säännöllisesti tai suurempia määriä ostettaessa. Hyönteisproteiinin tuotannon kannalta keskeisimpiä kysymyksiä ovat tuotannon mekanisointi, automaatio, menetelmät ja logistiikka, jotta tuotannon kulut saadaan laskettua muiden proteiinien tuotannon tasolle. (Luke 2017, 17.)

## 4 CASE: LIHA- JA HYÖNTEISTUOTTEIDEN VERTAILU

Tämän kandidaatintyön empiirisenä osiona tehdään vertailua perinteisten lihatuotteiden ja hyönteistuotteiden välillä. Tuotteiksi valittiin naudanliha, kananliha, jauhomadot sekä sirkat. Vertailukohtina käytettiin planeettaraja-ajattelun kannalta keskeisiä alueita, kuten ilmastonmuutosta, luonnon monimuotoisuuden häviämistä, veden happamoitumista ja rehevöitymistä, sekä veden- ja maankäyttöä. Lisäksi vertailuun otettiin mukaan energiankäyttö.

Vertailun ympäristövaikutusten arviointiin ja havainnollistamiseen taulukon soluja väritettiin kunkin ympäristövaikutuksen haitallisuuden mukaan. Punaisella värillä merkittiin selvästi liian suurta ympäristövaikutusta, keltaisella värillä kestävän ja kestäättömän rajalla olevia vaikutuksia, ja vihreällä värillä hyväksyttävällä tasolla olevia vaikutuksia.

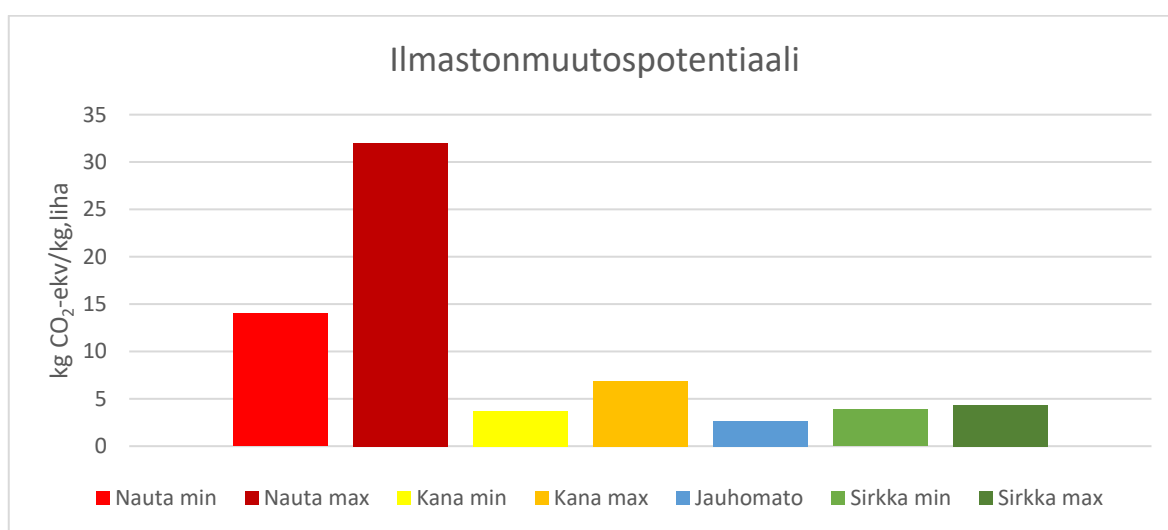
Ilmastonmuutospotentiaalin kohdalla vaikutusten arvioinnin kriteerinä WWF:n lihaoppaan käyttämiä kriteerejä, jossa kestävä taso on alle 4 kg CO<sub>2</sub>-ekv./kg, rajalla oleva taso 4-14 kg CO<sub>2</sub>-ekv./kg ja kestäättömän taso yli 14 kg CO<sub>2</sub>-ekv./kg (WWF Lihaopas 2018). Muiden vertailtavien asioiden kohdalla vertailua tehtiin lihatuotteiden välillä suhteessa toisiinsa.

Vertailu tehtiin karkeasti siten, että kussakin kategoriassa pienin vaikutus merkittiin vihreällä värillä. Jos toinen vaikutus on vihreään vaikutukseen nähden kaksinkertainen, se merkittiin keltaisella värillä. Jos vaikutus on vielä tähänkin nähden kaksinkertainen, se merkittiin punaisella.

**Taulukko 2.** Lihatuotteiden ympäristövaikutusten vertailu.

Vertailtava asia	Yksikkö	Naudanliha	Kana	Jauhomato	Sirkat
Ilmastonmuutos- potentiaali	[kg CO <sub>2</sub> - ekv/kg, liha]	14 - 32	3,7 - 6,9	2,65	3,87 - 4,35
	[kg CO <sub>2</sub> - ekv/kg, prot.]	75 - 170	18 - 36	14	
Luonnon monimuotoisuus	[-]				
Happamoituminen	[kg SO <sub>2</sub> - ekv./kg, liha]	452 - 708	35 - 230		
	[mol H <sup>+</sup> - ekv./kg, liha]	4,20	0,25		0,14
Rehevöityminen	[kg PO <sub>4</sub> - ekv/kg, liha]	153 - 257	2,1 - 63		
	[kg P-ekv./kg, prot.]		0,0011		0,00075
Veden käyttö	[m <sup>3</sup> /kg]	112	34		2
Maankäyttö	[m <sup>2</sup> /kg, liha]	27 - 49	8,1 - 9,2	3,60	
	[m <sup>2</sup> /kg, prot.]	144 - 258	42 - 52	18	
Energiankäyttö	[MJ/kg, prot.]	187 - 273	80 - 152	173	
	[MJ/kg, liha]	34 - 52	15 - 18	34	
Lähde		Lähde: De Vries & De Boer 2009		Lähde: Oonincx et al. 2012	Lähde: Halloran et al. 2017

Vertailua tehtäessä havaittiin, että dataa oli hajanaisesti saatavilla: esimerkiksi Halloran et al. tekemä tutkimus teki vertailua kananlihan- ja sirkkatuotannon välillä Thaimaan olosuhteissa, de Vries & de Boerin tutkimuksessa tehtiin vertailua perinteisten lihatuotteiden välillä, ja Ooninx et al. tutkimus täydensi de Vries & de Boerin tutkimusta lisäämällä vertailuun jauhomadot. Näissä tutkimuksissa kuitenkin vertailtiin osittain eri asioita erilaisilla mittareilla ja yksiköillä, joten tässä työssä tehtyyn taulukkoon jäi joiltain osin puutteita. Jauhomadoilla ja sirkoilla tehdyt tutkimukset kuitenkin täydensivät jossain määrin toistensa puuttuvia tietoja.



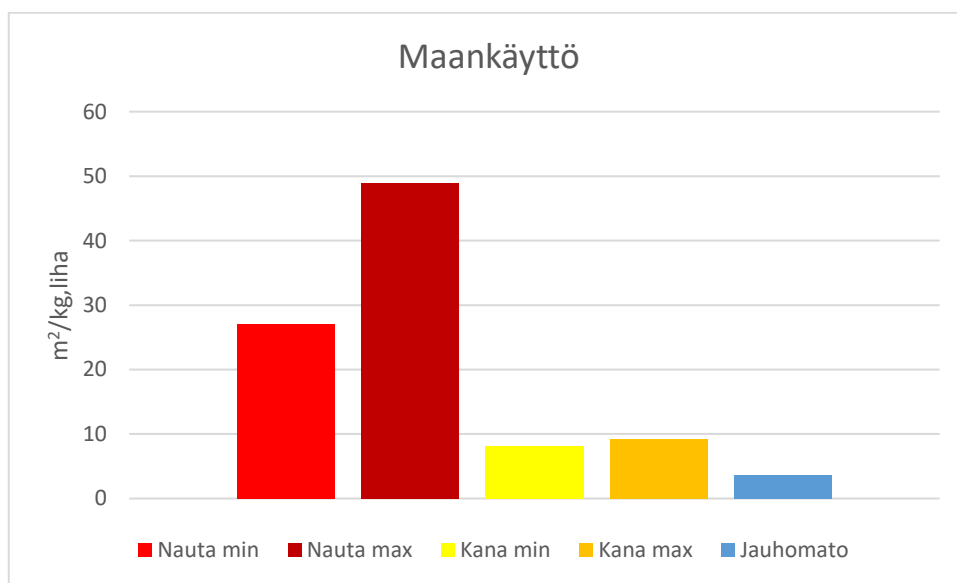
**Kuva 5.** Lihatuotteiden ilmastonmuutospotentiaali.

Vertailun tuloksissa yksi keskeinen huomio on jauhomatojen pieni maapinta-alantarve. Maankäyttö on siksi merkittävä ympäristövaikutus, että esimerkiksi kasvihuonekaasupäästöjä voidaan kompensoida vaikkapa metsittämällä ja energiankulutuksen haitallisuutta voidaan vähentää käyttämällä fossiilisten polttoaineiden sijaan puhtaita ja uusiutuvia polttoaineita, mutta maankäyttö on kiinteä ja rajallinen resurssi. Maatalouden vaatiman pinta-alan kasvu on suuri kasvihuonekaasupäästöjen aiheuttaja etenkin trooppisilla alueilla, ja tämän maa-alan kasvun rajoittaminen on erittäin tärkeää pyrittäessä kestäväan maatalouteen. (Ooninx et al. 2012, 4.)

Yhden gramman kanaproteiinin tuotanto vaatii 2-3 -kertaisen määrän maapinta-alaa ja 50 % enemmän vettä kuin jauhomatojen tuotanto, ja yhden gramman naudanlihan tuotanto vaatii 8-14 -kertaisen määrän maapinta-alaa ja noin 5-kertaisen määrän vettä verrattuna

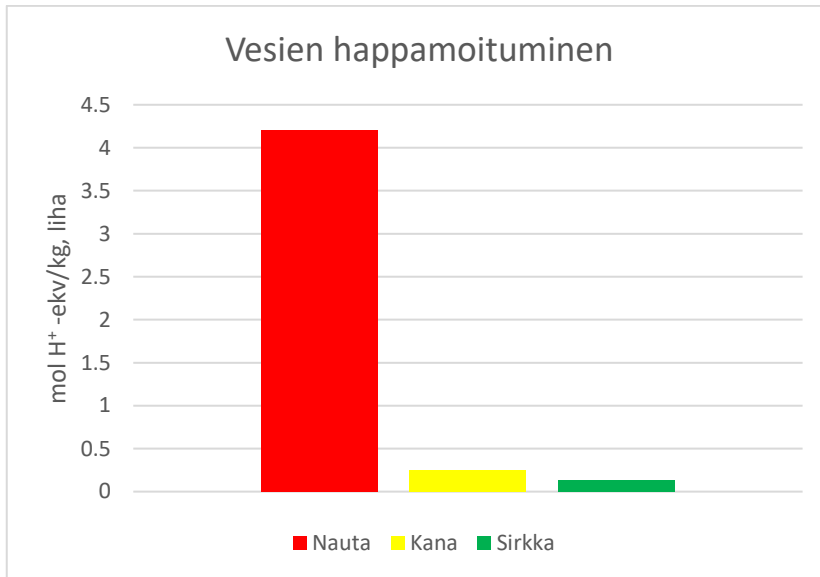
jauhomatojen tuotantoon. Broilerintuotanto tuottaa 32-167 % enemmän kasvihuonekaasupäästöjä ja naudanlihantuotanto 6-12 -kertaisen määrän kasvihuonekaasupäästöjä kuin jauhomatojen tuotanto. (Van Huis et al. 2017, 6-7.)

Valtaosa jauhomatojen maankäytöstä johtuu niiden tarvitseman rehun tuotannon maapinta-alasta: jauhomatojen oma pinta-alantarve vastaa vain noin 0,2 % koko tuotannon maapinta-alan tarpeesta, ja rehuntuotannon pinta-alantarve on koko tarpeesta noin 99 %. (Van Huis et al. 2017, 6-7.)



**Kuva 6.** Lihatuotteiden maankäyttö.

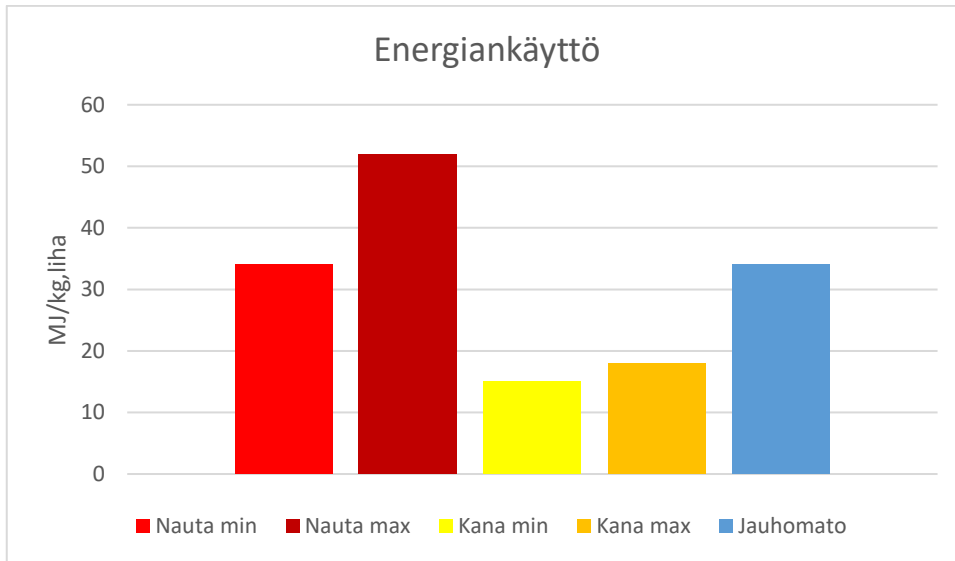
Luonnon monimuotoisuuden häviäminen on planeetan ympäristön kannalta oleellinen huolenaihe. Tähän vertailuun ei kuinkaan löydetty sopivaa mittaria, jolla lihantuotannon vaikutuksia luonnon monimuotoisuuteen olisi voinut tehdä. Tässä vertailussa tehtiin oletus, että luonnon monimuotoisuuden väheneminen korreloi suorimmin maankäytön muutoksen kanssa.



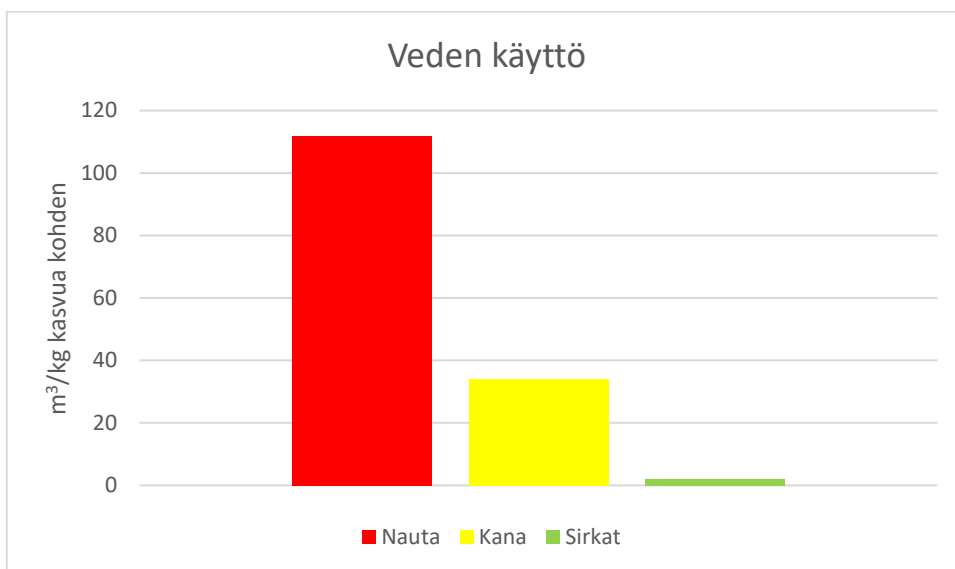
**Kuva 7.** Lihatuotteiden vesien happamoimisvaikutus.

Toinen silmiinpistävä huomio koskee hyönteistentuotannon suhteellisen korkeaa energiankäyttöä. Tutkimusten mukaan hyönteistentuotannon vaatima energia on suuri suhteessa muihin lihatuotteisiin ja vastaa naudanlihan energiankäyttöä. Tämä johtuu siitä, että hyönteisten tuotannossa kasvatusvaihe vaatii suhteellisen korkeita lämpötiloja, mikä puolestaan johtuu hyönteisten vaihtolämpöisyydestä (Van Huis et al. 2017, 6). Tulevaisuudessa tuotantomenetelmien kehittyttyä ja tuotantoskaalan kasvaessa hyönteisten kasvatuksen energiankäyttöä on todennäköisesti mahdollista saada vähennettyä. Yksi tapa lisätä energiankäytön tehokkuutta on sijoittaa hyönteistuotantolaitokset lähelle energiantuotantolaitoksia, jossa energiantuotannon hukkalämpöä voitaisiin hyödyntää hyönteisten kasvatuksessa (Luke 2017, 24).





**Kuva 8.** Lihatuotteiden energiantarve.



**Kuva 9.** Lihatuotteiden vedenkäyttö.

Tämän vertailun valossa näyttää selvältä, että etenkin tämänhetkinen naudanlihantuotanto ei ole kestävällä tasolla millään käytetyllä mittarilla. Hyönteistuotannon ympäristövaikutukset sen sijaan ovat merkittävästi vähäisemmät ilmastomuutospotentiaalin, veden käytön ja happamoitumisen, sekä maankäytön osalta suhteessa perinteiseen lihantuotantoon. Hyönteistuotannon energiantarve on kuitenkin tällä hetkellä huomattavan korkea.

## 5 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä työssä on käyty läpi syitä hyönteisruoan tuotannon hiljattain kasvaneelle suosiolle, ruoantuotannon globaaleja ympäristövaikutuksia, hyönteisproteiinin etuja suhteessa perinteisiin proteiininlähteisiin, sekä hyönteistuotantotekniikoita ja suomalaisia hyönteistuottajia.

Hyönteisruoan etuja perinteisiin lihatuotteisiin ovat alhaisemmat kasvihuonekaasupäästöt, pienempi tuotannon pinta-alantarve, vähäisempi vedenkulutus sekä parempi rehunkäyttöaste. Hyönteistuotannon etuna on myös hyönteisten kaikkiruokaisuus. Tämä on nähty potentiaalisena keinona hyödyntää esimerkiksi jätevirtoja hyönteisten ravintona ja edistää näin kiertotalousajattelua. Esimerkiksi Euroopan Unionin nykyinen lainsäädäntö ei kuitenkaan salli bio- ja ruokajätevirtojen hyödyntämistä hyönteisten ravintona, koska lopputuotteen turvallisuudesta ei ole vielä tarpeeksi tietoa ja varmuutta.

Hyönteisten tuotantoon liittyy myös omia haasteita. Tietyt tuotannon vaiheet, kuten munimisvaihe, ovat työläitä ja vaikeasti automatisoitavissa. Hyönteisillä on myös lajista riippuen erilaisia tarpeita olosuhteiden, kuten riittävän lämpötilan, sekä ravinnonsaannin suhteen.

Työssä tehtiin myös vertailua hyönteisten ja perinteisten lihatuotteiden välillä. Vertailun perusteella hyönteistuotannon ympäristövaikutukset ovat merkittävästi vähäisemmät erityisesti naudanlihaan verrattuna. Tällä hetkellä hyönteisten tuotanto vaatii kuitenkin suhteellisen paljon energiaa. Tuotantomenetelmien kehityksen ja tuotantoskaalan kasvamisen myötä energiantarvetta on kuitenkin todennäköisesti mahdollista laskea.

Tällä hetkellä hyönteistuotanto on alati kasvava bisnes, ja uusia tuotteita tulee kuluttajien saataville jatkuvasti. Hyönteistuotteiden hinta on kuitenkin vielä korkea. Tämä johtuu kehittymättömistä tuotantotekniikoista, alhaisista koneistus- ja automatisaatioasteista, sekä pienistä tuotantovolyymeistä.

Tarvitaan lisää tutkimusta siitä, mitkä ovat hyönteisten laji- ja kehitysastekohtaiset ravintoarvot, jotta niiden asemaa perinteisten lihatuotteiden vaihtoehtona voidaan todella alkaa korostaa. Lisäksi hyönteisruokaa koskeva lainsäädäntö on globaalisti hajanaista ja se vaatii selkeyttä ja yhdenmukaisuutta, jotta hyönteisruokaa voidaan tuottaa ja myydä globaalisti.

Hyönteisruoan tulevaisuus riippuu vahvasti siitä, hyväksyvätkö kuluttajat sen ja saadaanko tuotannon kustannukset laskettua tarpeeksi alhaiselle tasolle, jotta hyönteisruoasta voi tulla taloudellisesti houkutteleva vaihtoehto perinteisten lihatuotteiden tilalle. Lyhyellä aikavälillä hyönteisillä voi olla suurempi merkitys eläinrehun korvikkeena, ja pidemmällä aikavälillä myös ihmisten ruokana.

## LÄHDELUETTELO

Monks, K. 2015. Centipede vodka and fried crickets: Is this the future of food? CNN. [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://edition.cnn.com/2015/07/24/world/edible-insect-food-business/>

Conjin et al. 2017. Can our global food system meet food demand within planetary boundaries? *Agriculture, Ecosystems and Environment* 251, 244-256. Elsevier. 13 s. Saatavissa: [https://ac.els-cdn.com/S0167880917302438/1-s2.0-S0167880917302438-main.pdf?\\_tid=46075c69-f72e-4ded-9831-644ba9a444e2&acdnat=1521724210\\_5edff5370845ee310213bb249bd68ce3](https://ac.els-cdn.com/S0167880917302438/1-s2.0-S0167880917302438-main.pdf?_tid=46075c69-f72e-4ded-9831-644ba9a444e2&acdnat=1521724210_5edff5370845ee310213bb249bd68ce3)

de Vries M. & de Boer I.J.M. 2009. Comparing environmental impacts for livestock products: A review of life cycle assessments. *Livestock Science* 128 1-11. Elsevier. 11 s. Saatavissa:

[https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1871141309003692?\\_rdoc=1&\\_fmt=high&\\_origin=gateway&\\_docanchor=&md5=b8429449ccfc9c30159a5f9aeaa92ffb](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1871141309003692?_rdoc=1&_fmt=high&_origin=gateway&_docanchor=&md5=b8429449ccfc9c30159a5f9aeaa92ffb)

Dossey T., Morales-Ramos J. A., Guadalupe Rojas M. 2016. *Insect Mass Production Technologies*. Teoksessa: *Insects as sustainable food ingredients*. Elsevier. 53 s. ISBN: 978-0-12-802856-8. Saatavissa:

[https://www.researchgate.net/publication/304714699\\_Insect\\_Mass\\_Production\\_Technologies](https://www.researchgate.net/publication/304714699_Insect_Mass_Production_Technologies).

Entis Sirkkasuklaa [verkkosivu]. [viitattu 18.3.2018]. Saatavissa: <https://www.entis.fi/welcome>.

Entocube [verkkosivu]. [viitattu 18.3.2018]. Saatavissa: <https://www.entocube.com/yleisesti-hynteiskasvatuksesta>.

Evira. 2018a. Hyönteiset elintarvikkeina. *Eviran ohje* 10588/2. 42 s. Saatavissa: [https://www.evira.fi/globalassets/tietoa-evirasta/lomakkeet-ja-ohjeet2/elintarvikkeet/eviran\\_ohje\\_10588\\_2\\_fi.pdf](https://www.evira.fi/globalassets/tietoa-evirasta/lomakkeet-ja-ohjeet2/elintarvikkeet/eviran_ohje_10588_2_fi.pdf).

Evira. 2018b. Lista sallituista hyönteislajeista [verkkojulkaisu]. [viitattu 18.3.2018]. Saatavissa: <https://www.evira.fi/elintarvikkeet/valmistus-ja-myynti/elintarvikeryhmat/hyonteiset/lista-sallituista-hyonteislajeista/>

Heinonen et al. 2010. Rehustrategiatyöryhmän raportti. Maa- ja metsätalousministeriö. Helsinki. 81 s. ISBN 978-952-453-595-3 (Verkkojulkaisu). Saatavissa: [http://mmm.fi/documents/1410837/1790797/Rehustrategiatyoryhman\\_raportti\\_final\\_NEW\\_220910.pdf/79736e0e-df0b-4614-93a0-716440787adf](http://mmm.fi/documents/1410837/1790797/Rehustrategiatyoryhman_raportti_final_NEW_220910.pdf/79736e0e-df0b-4614-93a0-716440787adf).

Heiska & Huikuri. 2017. Hyönteistuotannon esiselvitys. Luonnonvarakeskus. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 76/2017. ISBN: 978-952-326-502-8. Helsinki. 146 s. Saatavissa: [http://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/540921/luke-luobio\\_76\\_2017.pdf?sequence=5&isAllowed=y](http://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/540921/luke-luobio_76_2017.pdf?sequence=5&isAllowed=y).

Kaukovirta-Norja et al. 2015. Tiekartta Suomen proteiiniomavaraisuuden parantamiseksi. Grano. Kuopio. 73 s. ISBN 978-951-38-8286-0 (verkko). Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/visions/2015/V6.pdf>.

Mattila Bros [verkkosivu]. [viitattu 18.3.2018]. <http://veljeksetmattila.fi/sirkka.html>.

Nordic Insect Economy [verkkosivu]. [viitattu 18.3.2018]. <http://nie.fi/products-services>.

Ooninx D. & de Boer I. 2012. Environmental Impact of the Production of Mealworms as a Protein Source for Humans – A Life Cycle Assessment. Sustainability of Mealworms as a Food Source Volume 7 Issue 12 e51145. Saatavissa: <https://search-proquest-com.ezproxy.cc.lut.fi/docview/1327154680/?pq-origsite=primo>

Ooninx et al. 2010. An Exploration on Greenhouse Gas and Ammonia Production by Insect Species Suitable for Animal or Human Consumption. Entomophagy and Environment Vol 5 Issue 12 e14445. PloS ONE. Saatavissa: <https://search-proquest-com.ezproxy.cc.lut.fi/docview/1296292262/?pq-origsite=primo>

Piha et al. 2016. The effects of consumer knowledge on the willingness to buy insect food: An exploratory cross-regional study in Northern and Central Europe. Elsevier. 10 s. Saatavissa: <https://www-sciencedirect-com.ezproxy.cc.lut.fi/science/article/pii/S0950329316302646?via%3Dihub>.

Rockström et al. 2009. A safe operating space for humanity. Nature 461. Macmillan Publishers Ltd. 5 s. Saatavissa: [https://www.researchgate.net/publication/44160502\\_A\\_safe\\_operating\\_space\\_for\\_humanity](https://www.researchgate.net/publication/44160502_A_safe_operating_space_for_humanity)

Sejian et al. 2015. Climate Change Impact on Livestock: Adaptation and Mitigation. Springer India. 532 s. ISBN 978-81-322-2264-4. Saatavissa: <https://link-springer-com.ezproxy.cc.lut.fi/book/10.1007%2F978-81-322-2265-1>.

Smetana et al. 2016. Sustainability of insect use for feed and food: Life Cycle Assessment perspective. Journal of Cleaner Production 137 741-751. Elsevier. 10 s. Saatavissa: [https://ac-els-cdn-com.ezproxy.cc.lut.fi/S0959652616310447/1-s2.0-S0959652616310447-main.pdf?\\_tid=72ecb742-3803-410b-a37d-8d2252a52f02&acdnat=1521114602\\_6b5019512201713244fa75994b924e30](https://ac-els-cdn-com.ezproxy.cc.lut.fi/S0959652616310447/1-s2.0-S0959652616310447-main.pdf?_tid=72ecb742-3803-410b-a37d-8d2252a52f02&acdnat=1521114602_6b5019512201713244fa75994b924e30)

Uncle Jim's Worm Farm [verkkodokumentti]. Uncle Jim's Live Mealworms. [viitattu 11.4.2018]. Saatavissa: <https://unclejimswormfarm.com/product/buy-meal-worms/uncle-jims-worm-farm-live-mealworms-1000-count/>

Van Huis A. 2013. Potential of Insects as Food and Feed in Assuring Food Security. Annual Review of Entomology, vol 58, 563-583. ISBN 978-0-8243-0158-3. Saatavissa:

<http://apps.webofknowledge.com.ezproxy.cc.lut.fi/InboundService.do?customersID=ExLibris&mode=FullRecord&IsProductCode=Yes&product=WOS&Init=Yes&Func=Frame&DestFail=http%3A%2F%2Fwww.webofknowledge.com&action=retrieve&SrcApp=Primo1&SrcAuth=ExLibris&SID=D3Cqu3qbkjqdVf3XYQ9&UT=WOS%3A000316406000029>

Van Huis et al. 2013. Edible insects – Future prospects for food and feed security. Rooma. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 201 s. ISBN 978-92-5-107595-1. Saatavissa: <http://www.fao.org/docrep/018/i3253e/i3253e.pdf>.

Van Huis et al. 2017. The environmental sustainability of insects as food and feed. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 2017 37: 43. Springer. 14 s. Saatavissa: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2Fs13593-017-0452-8.pdf>

WWF Lihaopas [verkkosivu]. [viitattu 11.4.2018]. Saatavissa: <https://wwf.fi/lihaopas/>

YK. 2017. World Population Prospects: The 2017 Revision. New York. 53 s. Saatavissa: [https://esa.un.org/unpd/wpp/Publications/Files/WPP2017\\_KeyFindings.pdf](https://esa.un.org/unpd/wpp/Publications/Files/WPP2017_KeyFindings.pdf).