



Pölytystehokkuuden parantaminen ympärivuotisessa tomaatinviljelyssä

Puutarhatalouden opinnäytetyö
Puutarhatalous, hortonomi (AMK)

Kevät 2025

Matilda Mattsson

Koulutus	Puutarhatalous	
Tekijä	Matilda Mattsson	Vuosi 2025
Työn nimi	Pölytystehokkuuden parantaminen ympärivuotisessa tomaatinviljelyssä	
Ohjaaja	Eija Lankinen	

Kimalaiset ovat tehokkaita pölyttäjiä, ja niiden käyttö kasvihuoneissa, erityisesti tomaatin viljelyssä, on yleistynyt 1980-luvun lopusta lähtien. Kimalaispölytys parantaa sadon laatua ja määrää verrattuna mekaaniseen pölytykseen. Suomessa tomaatteja viljellään ympärivuotisesti noin 30 hehtaarin alalla, ja vuosittain Suomeen tuodaan noin 10 000 kimalaispesää pölytystarkoituksiin. Energiakriisin ja vihreän siirtymän seurauksena LED-valojen käyttö on nousussa.

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, mitkä tekijät vaikuttavat kimalaispölytykseen ja miten pölytystehokkuutta voidaan parantaa ympärivuotisessa tomaatinviljelyssä. Aineisto kerättiin haastatteleamalla neljää kasvihuoneviljelijää, jotka käyttivät joko HPS-valoja tai hybridivalotusta. Haastatteluissa ilmeni, että LED-valojen käyttöönoton jälkeen ilmeni pölytysongelmia, vaikka LED-valot tuottavat enemmän sinistä valoa, joka on kimalaisille välttämätöntä. Talvikauden luonnonvalon puute aiheuttaa myös haasteita pölytykselle.

LED-valojen käytön vaikutuksia on vaikea arvioida, koska viljelyyn liittyvät tekijät ovat tiiviisti sidoksissa toisiinsa, eivätkä käyttökokemukset ole pitkiä. Talvikauden pimeys ja luonnonvalon puute ovat merkittäviä haasteita pölytykselle. Kasvin terveydentila, lannoitus, pesien terveys ja määrä sekä ravinnonhakuajat ovat keskeisiä pölytyksen onnistumiselle. Optimaalinen ilmankosteus kimalaisille olisi noin 60–75 %, ja lämpötilan tulisi pysyä alle 28 asteen. Kasvihuoneiden verhojen käyttö ja niiden ajoitus ovat myös tärkeitä pölytyksen parantamiseksi. Pölytystehokkuuden parantaminen vaatii monien tekijöiden huomioon ottamisen, kuten valon määrän ja laadun, lämpötilan ja ilmankosteuden. Tutkimuksessa todettiin, että pölytyshaasteet ilmenevät eniten talvikaudella, ja viljelijät joutuvat tukeutumaan lisäpölytykseen. Työssä tultiin siihen lopputulokseen, että lisätutkimuksia kimalaisten pölytystehokkuuden parantamiseksi tarvitaan.

Avainsanat Kimalainen, pölytys, ympärivuotinen viljely, tomaatin pölytys
Sivut 20 sivua ja liitteitä 2 sivua

DP Horticulture
Author Matilda Mattsson
Subject Improving Pollination in Year-round Tomato Cultivation
Supervisors Eija Lankinen

Year 2025

Bumblebees (*Bombus*) are efficient pollinators, and their use in greenhouses, especially for tomato cultivation, has become widespread from the late 1980s onwards. Bumblebee pollination improves yield quality and quantity compared to mechanical pollination. In Finland year-round tomatoes are grown on approximately 30 hectares and import of bumblebee hives is about 10,000 annually. With the energy crisis and the concern for sustainability, LED lights are on the rise.

The aim of this study was to determine which factors affect bumblebee pollination and how pollination efficiency can be improved in year-round tomato cultivation. The data was collected by interviewing four greenhouse growers who used either HPS lights or hybrid lighting. The interviews revealed that after the introduction of LED lights, pollination problems occurred, even though LED lights produce more blue light, which is essential for bumblebee vision. The lack of natural light during the winter season also poses challenges for pollination.

The effects of using LED lights are difficult to assess because cultivation factors are closely related, and the lack of LED usage. The lack of natural light in the winter season causes significant challenges for pollination. The health of the tomato plant, fertilization, the health and number of hives, and foraging time are crucial factors to take into consideration for successful pollination. The optimal relative humidity for bumblebees is around 60–75%, and the temperature should remain below 28 degrees Celsius. The use and timing of greenhouse curtains are also important for improving pollination. Improving pollination efficiency requires consideration of many factors, such as the amount and quality of light, temperature, and humidity. The study found that pollination challenges are most prevalent during the winter season, and growers must rely on additional pollination. The study concluded that further research to improve bumblebee pollination is needed.

Keywords Bumble bee, Pollination, Greenhouse cultivation, tomato pollination.
Pages 20 pages and appendices 2 pages

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Kimalaiset	2
2.1	Kimalaisen elinkaari	2
2.2	Ravinto.....	3
2.3	Kimalaisen näkö ja lento	3
3	Kimalaispölytykset	5
3.1	Pölytykseen vaikuttavat tekijät	5
3.2	Lämpötila ja pesän lämpö	6
3.3	Suhteellinen ilmankosteus.....	7
3.4	Valon määrä ja laatu	8
3.5	Radiotaajuudet ja sähkömagneettiset kentät.....	9
4	Aineisto ja menetelmät	10
4.1	Aineiston hankinta ja käsittely	10
5	Tulokset	11
5.1	Viljelystä.....	11
5.2	Valotuksesta	12
5.3	Kimalaisista.....	13
5.4	Tyytyväisyys ostokimalaisiin.....	14
6	Tulosten tarkastelu.....	14
6.1	Pesien terveys, määrä ja ravinnonhakuajat vaikuttavat pölytykseen	15
6.2	Pölytykset talvella	17
7	Johtopäätökset.....	19
8	Pohdinta.....	20
	Lähteet.....	21

Liitteet

Liite 1. Haastattelukysymykset (LED)

Liite 2. Haastattelukysymykset (HPS)

1 Johdanto

Kimalaiset ovat tunnettuja tehokkuudestaan ja tärkeydestään viljelykasvien pölyttäjinä. Kimalaiset ovat jo 80-luvun loppupuolella otettu pölytyskäyttöön kasvihuoneissa ja etenkin tomaatin viljelyssä. Kimalaispölytys lisää sadon laatua ja määrää huomattavasti verrattuna mekaaniseen pölytykseen (Nicola & Pignata, 2017). Tomaatti on yksi merkittävimmistä viljeltävistä kasvihuonevihanneksista ja sitä tuotetaan 30 hehtaarin pinta-alalla ympärivuotisesti (Kauppapuutarhaliitto, n.d.). Suomeen tuodaan pölytystarkoituksiin vuosittain noin 10 000 kimalaispesää (Asikainen, 2020).

Ympärivuotisessa viljelyssä keinovalon käyttö on välttämätöntä ja perinteisesti valonlähteenä on käytetty suurpainenatriumvalaisimia (lyhennetään SNP- tai HPS-valaisin; tässä opinnäytetyössä käytetään lyhennettä HPS). Energiakriisin takia viljelijät ovat siirtyneet tai harkitsevat siirtymistä LED-valotukseen (loistediodi tai light-emitting diode; lyhennettä LED käytetään tästä eteenpäin tässä työssä). LED-valot käyttävät vähemmän watteja saavuttaakseen saman tai jopa korkeamman tehon verrattuna HPS valoihin (Signify, 2015). Vihreässä siirtymässä LED-valot ovat energiatehokkuuden lisäksi ympäristöystävällisempiä, sillä ne eivät sisällä haitallisia aineita ja ovat helpommin hävitettävissä. ELY-keskuksen vuoden 2022 maatalojen energiainvestointituen voimaantulo on myös lisännyt viljelijöiden halukkuutta investoida LED-valoihin. (V2, 2024)

Viljelijän haastattelussa ilmeni, että LED-valojen käyttöönotto on aiheuttanut pölytysongelmia (Henkilökohtainen tiedonanto, 19.9.2024) Kimalaiset tarvitsevat UV-valoa löytääkseen kukille, minkä vuoksi talviaikaan saatetaan joutua turvautumaan kukkien mekaaniseen pölytykseen toivotun satotason saavuttamiseksi. Pohjoismaisista olosuhteista ei ole saatavilla runsaasti tutkimuksia aiheesta, sillä suurin osa kirjallisuudesta koskee alueita, joissa säteilyn määrä on korkeampi talvella. Latviassa tehdyssä tutkimuksessa havaittiin, että kimalaiset eivät ole aktiivisia HPS-valotuksen aikana, jos kasvihuoneeseen ei tule auringon säteilyä (Ozols ym., 2022).

Tässä työssä keskityttiin tomaatin pölytykseen kasvihuoneissa, sillä tomaatti on merkittävä viljelykasvi ympärivuotisessa viljelyssä. Työn tutkimusaineisto kerättiin haastattelumenetelmällä, ja haastateltavina olivat joukko kasvihuoneviljelijöitä. Työn tarkoituksena oli kerätä kaikki tarvittava tieto kasvihuoneviljelijälle pölytykseen vaikuttavista tekijöistä ja pohtia, miten pölytystehokkuutta voitaisiin parantaa, varsinkin talvikaudella.

Työ alkoi osana Suomen Mehiläishoitajainliiton hanketta, mutta epäonnistuneen koeosuuden takia aihe muuttui ajankohtaiseen kimalaispölytykseen. Aihe tarkentui viljelijöiden pyynnöstä, kun LED-valotukseen siirtymisen yhteydessä ilmeni ongelmia. Työ muokkautui edelleen LED-valotuksen vaikutusten tarkastelusta laajemmin pölytykseen vaikuttavista tekijöistä.

Opinnäytetyössä vastataan tutkimuskysymyksiin: Mitkä tekijät vaikuttavat kimalaisten pölytykseen ja toimintaan? ja Miten pölytystehokkuutta voidaan parantaa ympärivuotisessa tomaatinviljelyssä?

2 Kimalaiset

Kimalaiset (*Bombus*) ovat Apidae-heimoon kuuluvia hyönteisiä, jotka kuuluvat *Bombini*-sukukuntaan. Kimalaisia esiintyy koko Suomessa ja maassamme on tavattu 37 kimalaislajia. Euroopassa lajeja on noin 80 ja maailmanlaajuisesti niitä on havaittu noin 260, joista 30 ovat loiskimalaisia (*Psithyrus* subsp.). (Parkkinen 2022, ss. 8–9) Kimalaiset ovat yhteiskuntia rakentavia, sosiaalisia mesipistiäisiä (*Anthophila*). Kimalaisyhteiskunta jaetaan kolmeen kastiin; kuningatar, työläinen ja koiras. Jokaisella kastilla on oma tehtävänsä yhteiskunnassa. (Huikkonen & Järvi, n.d.)

2.1 Kimalaisen elinkaari

Tulevat kimalaiskuningattaret syntyvät syksyllä ja talvehtivat maakoloissa. Alkukevästä pakkasen hellittäessä edellisenä vuonna hedelmöittyneet kuningattaret heräävät ja alkavat etsiä paikkaa pesälleen. Luonnossa kimalaiset voivat pesiä vanhoihin jyräjoiden koloihin, rakennuksiin, kantoihin tai heinätuppaisiin. Kuningatar tutustuu valitun pesän ympäristön ja menee keräämään ravintoa itselleen. Kimalaiskuningatar tekee keräämästä siitepölystään kennon, johon se munii 8–16 munaa. Kimalaistoukan kehitysaikaan menee noin kaksi viikkoa. (Huikkonen & Järvi, n.d.; Parkkinen ym., 2022, ss. 15–18)

Kuningattaren munimat toukat kehittyvät työläisiksi, minkä vuoksi kuningattaren ei tarvitse poistua pesästä. Työläiset keräävät pesään tarvittavan ravinnon ja kuningatar voi keskittyä vain munimiseen. Työläissukupolvia on useita ja loppukesästä syntyykin sekä tulevia kuningattaria että koiraita, jotka lähtevät pesästä. Joissain harvoissa tilanteissa, jos pesän kuningatar on heikkokuntoinen, joku tulevista kuningattarista voi yrittää valloittaa pesän.

Kontukimalaiset ovat kookkaita kooltaan, ja luonnossa niiden pesät voivat kauden aikana sisältää jopa sata yksilöä. (Huikkonen & Järvi, n.d.; Parkkinen ym., 2022, s. 130)

2.2 Ravinto

Kimalaiset käyttävät ravinnoksi siitepölyä ja mettä. Kimalaisilla on etujaloissansa koukut, jolla ne putsaavat turkin siitepölystä (Huikkonen & Järvi, n.d.) Siitepöly toimii proteiininlähteenä toukille, kun taas mesi toimii energianlähteenä lentämiseen ja kennojen rakentamiseen pesässä (Meyer-Rochow, 2019, s. 112). Kimalaispesä selviää vain pari päivää ilman ravintoa, ja nälkäiset toukat erittävät tuoksuviestejä työläisille houkutellessaan työläiset tuomaan ruokaa. Kimalaispesä tarvitsee arvioltaan noin 20 g siitepölyä ja 40–50 g mettä vuorokaudessa. (Parkkinen ym., 2022, ss. 37, 38) Vaikka kimalaiset yrittävät löytää ravintoa mahdollisimman läheltä pesää, on kimalaisten havaittu lentävän puolentoista kilometrin päähän pesästään (Nikku, 2022). Kontukimalaisten on puolestaan todettu lentävän ainakin viiden kilometrin päähän, ja teoriassa ne voisivat lentää kymmenen kilometrin matkan. (Parkkinen ym., 2022, s. 30)

2.3 Kimalaisen näkö ja lento

Kimalaisten näkö on kolmivärinen. Kimalaisilla on viidet silmät, joista kaksi on verkkosilmiä ja kolme pistesilmiä. Verkkosilmät muodostuvat noin 6 000 ommatideista, eli keilamaisista osasilmistä, joissa on monta valoreseptoria. Nämä reseptorit ovat herkkiä UV-(100–400 nm) siniselle (430 nm) ja vihreälle (540 nm) valolle. (Huvermann ym., 2023) Verkkosilmien avulla kimalainen pystyy hahmottamaan maisemia, maamerkkejä ja polarisoitua valoa, joita se hyödyntää suunnistamisessa. Kimalainen tarvitsee verkkosilmiä lentääkseen, sillä niiden avulla se hahmottaa tiellänsä olevat esteet, löytää kukat ja pystyy laskeutumaan niiden päälle. (Huvermann ym., 2023; Meyer-Rochow, 2019, ss. 107, 109)

Pimeässä kimalainen ei pysty lentämään, mutta se pystyy ryömimään ja hahmottamaan etäisyyden pesäänsä (Meyer-Rochow, 2019, s. 109; Chitkka ym., 1999) Kolmet pienemmät yksilinsiset silmät ovat herkkiä UV-valolle ja jossain määrin vihreälle valolle sekä valointensiteetin vaihtelulle. Pistesilmien avulla kimalainen pystyy hahmottamaan polarisoitua valoa. Pelkästään pistesilmillä kimalainen ei kuitenkaan pysty muodostamaan hyödyllistä kuvaa. Kimalaiset eivät lainkaan näe punaista valoa. (Meyer-Rochow, 2019, ss. 109, 110)

Yksi syy siihen, että kimalaiset tarvitsevat UV valoa pölyttämiseen, on se, että kukat merkitsevät siitepölyn sijainnin UV-merkintöjen avulla. Tämä tarkoittaa sitä, että ilman UV-valoa kimalaisilla on vaikeuksia laskeutua oikeaan kohtaan kukalla (Huvermann ym., 2023). Kimalainen näkee tomaatinkukan siten, että UV- ja vihreä valo heijastuu sen pinnalta, kun taas sininen valo imeytyy kukan pigmenttiin. Koska pigmentti imee sinistä valoa, kukka näyttää ihmisen silmälle keltaiselta. (Dyer & Chittka, 2004., van der Kooi ym., 2019)

Ensimmäiset lennot pesän lähistöllä ovat kimalaiselle kriittisen tärkeitä. Alkulennot ovat monille hyönteisille tyypillistä lentokäyttäytymistä ja muistuttavat toisiaan. Kimalainen lentää lyhyitä matkoja ympyrässä pesän aukon ympärillä. Kontukimalaisten on havaittu opetuslennoillaan kääntyvän pesää kohti, kun ne ovat sopivassa ilmansuunnassa, joka on yleensä pohjoiseen päin. Ilmansuuntaan vaikuttavat pesän läheisyydessä olevat esineet, ja tämä on suhteessa niiden sijaintiin. Tämä on havaittu kasvihuoneissa, joissa valon määrä on heikentynyt ja maamerkkejä on vähemmän. Kimalainen toimii näin, jotta se oppisi tunnistamaan maiseman ja löytääkseen takaisin pesälle lentäessään (Collett ym., 2023). Kimalaisen opetuslennon voi jakaa kahteen vaiheeseen. Ensimmäisessä vaiheessa se lentää lähellä maata ja pesää, sillä pesät sijaitsevat luonnossa usein maan tasalla tai alla. Tämä vaihe on vain noin 5 cm pesän aukosta. Toisessa vaiheessa, kimalainen lentää korkeammalla, kauemmas ja poispäin ja takaisinpäin ovaalin muotoisella lentoradalla. (Collett ym., 2023., Huvermann ym., 2023) Jokaisella kierroksella kimalainen lentää hieman kauemmas pesästä. (Huvermann ym., 2023)

Tutkimukset ovat osoittaneet, että suuremmat työläiskimalaiset etsivät ravintoa eri tavalla kuin pienemmät yksilöt. Suuremmat yksilöt hakevat ja löytävät ravintoa tehokkaammin. Ne lähtevät lentämään aikaisemmin ja huonommissa valo-olosuhteissa (Hall ym., 2021). Suuremmilla yksilöillä on kookkaammat silmät, jotka mahdollistavat paremman näön erittelykyvyn (Spaethe & Chittka, 2003) ja lentämisen epäsuotuisissa valo-olosuhteissa (Kapustjanskij ym., 2007). Suuremmilla yksilöillä on myös mahdollisesti paremmat suunnistustaidot. Ne voivat hyödyntää aurinkoa suunnistuksessa vahvemman vuorokausirytmensä ansiosta. Pienimillä yksilöillä voi kuitenkin olla etuja esimerkiksi lämpötilan suhteen, sillä niillä on pienempi haihdutuspinna. (Chole ym., 2019). Kimalaiset pystyvät reseptoreillansa avulla haistamaan onko kukissa käynyt joku, onko siellä siitepölyä ja onko se ylipäättänsä saavutettavissa (Huvermann ym., 2023).

3 Kimalaispölytys

Kimalaispölytystä käytetään kasvihuoneissa pääasiassa tomaatin viljelyssä, ja pienemmässä määrin paprikan ja mansikan viljelyssä. Tässä työssä keskitytään kimalaispölytykseen erityisesti tomaatin viljelyssä. Tomaatti (*Solanum lycopersicum*) on itsepölytteinen kasvi, mutta myös toisen tomaatin siitepöly soveltuu pölytykseen. (Burst, 2024) Tomaatinkukka tarvitsee jonkun elollisen tai elottoman tekijän viemään heteen emiin luodille (Jacobson & Cockshull, n.d.). Ennen kimalaispölytyksen hyödyntämistä käytettiin mekaanisia pölytyskeinoja, kuten lankojen täristämistä tai sähköllä väriseviä sauvoja, esimerkiksi sähköhammasharjoja. Nayakin mukaan mekaaninen pölytys vie kuitenkin aikaa eikä ole kustannustehokasta. (Nayak ym., 2020, s. 1328) On todettu, että hedelmä muodostuu paremmin ja suuremmaksi verrattuna mekaanisesti pölytettyihin kukkiin. Lisäksi hedelmän paino ja siemenmäärä ovat suurempia kimalaispölytyksen ansiosta. Kimalaispölytyksen ansiosta hedelmissä ilmenee myös vähemmän epämuodostumia kuten turvonneisuutta. (Nayak ym., 2020, s. 1331)

Kimalaiset ovat tehokkaita pölyttäjiä, sillä ne voivat käydä tunnin ravinnonhaun aikana yli tuhannessa kukassa (Vries ym., 2020). Parkkisen mukaan, normaalilla haulalla ne käyvät 10–20 kukassa yhden minuutin aikana (Parkkinen, 2022, s. 41). Kaupallisesti myydyt kimalaispesät pölyttävät aktiivisesti noin kuusi viikkoa ja elävät kahdeksasta kymmeneen viikkoon (Royal Brinkman, n.d.). Kun kimalainen lentää kukalle ja tarttuu siihen kiinni leuallaan, puremajäljet ilmenevät ruskeina merkkeinä kukassa 1–4 h myöhemmin. Näiden puremajälkien avulla viljelijät voivat seurata pölytyksen onnistumista. (Koppert, n.d.-b). Tomaatin kukat avautuvat noin tunti valotuksen alkamisen jälkeen ja pysyvät auki noin 10 tuntia (Huvermann ym., 2023).

3.1 Pölytykseen vaikuttavat tekijät

Suurin osa pölytyksen vaikuttaviin tekijöihin ja optimointiin liittyvästä tiedosta tulee yrityksiltä, jotka myyvät joko kimalaisia tai muita tuotteita. Työssä on huomioitu tämä ja pyritty lähdekriittisyyteen, vaikka valtaosa aiheeseen liittyvästä tiedosta on näiden tahojen julkaisemia. Yrityksillä on ymmärrettävistä syistä omat taloudelliset intressinsä, mutta usein myös ajankohtaisin tieto sekä mahdollisuus rahoittaa tarvittavia alalle tärkeitä tutkimuksia.

Pölytykseen vaikuttavat monet tekijät ja kaikki nämä ovat tärkeää ottaa huomioon, jotta pölytys onnistuu mahdollisimman hyvin. Huvermann toteaa, että helpoiten havaittavat

pölytykseen vaikuttava tekijä on itse kimalaisten, pesän terveys ja sen sijoitus (Huvermann, 2023). Pesän sijoituksessa tai sijainnissa tulee välttää ulkoisia ääriolosuhteita, kuten sadetta, kondensaatiota, paahdetta ja kylmyyttä (Huvermann ym., 2023, Koppert n.d.-b., -c). Koppert kirjoittaa, että pesä ei saisi sijaita suorassa auringonvalossa, mutta talvella se kannattaa asettaa mahdollisimman valoisaan paikkaan. Kesäisin hyvin kuumalla säällä, pesä saattaa tarvita lisäviilennystä. (Koppert n.d.-b)

Huvermann muistuttaa, että pesän terveyteen vaikuttavat tekijät vaihtelevat vuodenajan mukaan. Esimerkiksi talvisin pesiin ja kimalaisiin on kiinnitettävä erityistä huomiota. Lentoaukkojen suunta on hyvä asettaa ilmansuunnan mukaan vuodenaikojen mukaisesti. Talvisin lentoaukot tulisi suunnata auringonnousua kohti. (Huvermann ym., 2023.). Koppert toteaa, että pesät kärsivät, jos enemmän kuin kaksi pesää sijoitetaan vierekkäin (Koppert n.d.-b.,-c). Koska tomaatti ei tuota itse mettä, on varmistettava, että pesissä on riittävä määrä sokerivettä. Kaupallisissa pesissä sokerivesi tulee mukana, eikä viljelijän siitä tarvitse huolehtia. Aiheesta ei löydy paljon tutkimuksia, mutta Whittingtonin mukaan kimalaiset (*Bombus occidentalis*) eivät kärsi ravinnonpuutoksesta (Whittington & Winston., 2003).

Tomaatin terveys ja kukan laatu vaikuttavat merkittävästi pölytykseen. Tekijät niin kuin virukset, tuholaiset, ravinnonpuutokset tai epätasapainot, vesistressi tai epätasapaino, voivat kaikki vaikuttaa kukkien määrään ja laatuun. Tietyt kasvinsuojeluaineet voivat myös vaikuttaa kimalaisten terveyteen. (Koppert n.d.-b). Joissain lajikkeissa, esimerkiksi Pepinon mosaiikkiviruksen (*Potexvirus pepini*) resistensseissä lajikkeissa esiintyy vähemmän siitepölyä, mikä voi tehdä kukista vähemmän houkuttelevia kimalaisille (Jacobson & Cockshull, n.d.)

Tomaatin terveyden lisäksi myös sen lannoitus voi vaikuttaa pölytyksen tasoon. Lannoitteet voivat vaikuttaa kukan piirteisiin ja siten sen houkuttelevuuteen pölyttäjille. Eräässä tutkimuksessa havaittiin, että kimalaiset hakevat ravintoa mieluummin tomaatilta, joka on kasvatettu vähäisemmän fosforimäärän avulla. (Martínez-Andújar ym., 2023, ss. 293–294)

3.2 Lämpötila ja pesän lämpö

Tomaatinviljelyssä tavoiteltu lämpötila on 21–27 astetta päivisin ja 17–18 astetta öisin (Bayer Vegetables Australia, 2019). Yli 30 asteen lämpötila vaikuttaa negatiivisesti tomaatin kehitykseen vähentämällä siitepölyn tuottoa (Jacobson & Cockshull, n.d.).

Viljelylämpötila vaikuttaa kimalaisten terveydentilaan ja lentotehokkuuteen. Työläiset pyrkivät pitämään pesän lämpötilan 28 asteessa. Jos lämpötila kasvihuoneessa nousee tämän yli, kimalaisten energia menee pesän viilentämiseen. (Koppert, n.d. -b) Jos pesän lämpötila nousee yli 32 astetta, pesä voi vaurioitua ja kehitys kärsii. 33 asteessa työläisiä syntyy vähemmän ja ne, jotka syntyvät, eivät lennä yhtä aktiivisesti tai tehokkaasti kun matalammassa lämpötilassa syntyneet. (Gérard ym., 2022)

Kenna kirjoittaa, että kimalaisten optimaalinen lentolämpötila on 12–25 Celsiusastetta, ja lämpötilan noustessa tämän rajan yli niiden poistuminen pesästä vähenee. Tutkimusten mukaan kimalaisen potentiaalisin lentolämpötila yli sadan metrin lennoissa on 27 astetta. (Kenna ym., 2021) Parkkinen puolestaan kirjoittaa, että kimalaisten on havaittu lentävän 0–35 asteen lämpötilassa (Parkkinen ym., 2022, s. 29). Cholen mukaan pienemmät kimalaiset kestävät paremmin lämpöä kuin suuret yksilöt (Chole ym., 2019).

3.3 Suhteellinen ilmankosteus

Suhteellinen ilmankosteus eli relative humidity (käytetään jatkossa lyhennettä RH), on yleinen tapa ilmaista ilmankosteuden määrän ilmassa. RH perustuu vesihöyryn määrän prosentuaalisesti, suhteutettuna lämpötilaan. (Geelen ym., 2021) Tomaatinviljelyssä suositeltu suhteellinen ilmankosteus on 60–85 %, RH:n suurta vaihtelua lyhyessä ajassa tulee välttää laadukkaan sadon takaamiseksi. Pölytyksen kannalta suositeltu RH on 70 %. Yli 80 % RH-arvossa siitepöly alkaa paakkuuntua, kun taas 60 % tai tätä matalammalla tasolla emin luotti voi kuivua, mikä heikentää pölytystasoa. Korkea ilmankosteus lisää myös tautiriskejä.

Myös höyrypaineen vajeus, lyhennettynä VPD (Vapor pressure deficit), vaikuttaa kasvin terveyteen ja määrittää, mikä suhteellisen ilmankosteuden RH:n tulisi olla. VPD on lukema, joka ilmaisee prosentuaalisen eron lehden sisäisestä ja ulkoisesta kosteudesta. Bayerin mukaan optimaalinen VPD on 4–8 mbar². Heidän mukaansa sopiva ilmankosteus on öisin, jotta saavutetaan optimaalinen VPD, on 60–80 % RH ja päivisin 70–85 % RH. (Bayer Vegetables Australia, 2019) Suomessa VPD-arvoon perustuva mittaaminen ei ole toistaiseksi laajasti käytössä.

Suhteellinen ilmankosteus sekä kukan kosteus vaikuttavat pölytykseen. Kukan kosteus on yleensä korkeampi kuin ilmankosteus (Harrison & Rands, 2022) Jotkin tutkimukset osoittavat, että kimalaiset valitsevat mieluummin kukkia, joissa on korkeampi kosteus

(Harrap ym., 2021). Harrison tutkimuksessa havaittiin, että kimalaisilla on vaikeuksia arvioida kosteiden kukkien suotuisuutta, kun suhteellinen ilmankosteus on korkea. Kimalaisten tuntosarvet mahdollistavat herkän kosteuden havaitsemisen. Tuntosarviensa reseptoreissa on soluja, jotka tunnistavat kosteuden läsnäolon ja kosteuden puuttumisen. Ulko-olosuhteissa kimalaiset eivät lennä sateella. (Parkkinen ym., 2022, s. 30)

3.4 Valon määrä ja laatu

Valotuksella on keskeinen rooli ympärivuotisessa tomaatinviljelyssä ja se mahdollistaa viljelyn ympäri vuoden. Pimeinä talvikuukausina valotuksen määrä lisääntyy. Myös kimalaismäärä lisääntyy talvella. Kimalaisten suunnistusongelmat esiintyvät 4–10 viikkoa ennen ja jälkeen vuoden pimeintä päivää (Koppert, n.d.-a). Koska Suomi sijaitsee hyvin pohjoisessa, nämä ongelmat ilmenevät lähempänä kymmentä viikkoa.

Pimeinä päivinä kun suurin osa valosta on keinotekoisista, saattaa tulla ongelmia pölytystehokkuuden kanssa. Tämä johtuu HPS- tai LED-valojen spektreistä ja tehosta. Keinotekoisessa valossa harvemmin esiintyy UV-valoa. Niin kuin kappaleessa 2.3 kimalaisen näöstä kerrottiin, kimalaiset näkevät sinistä, vihreää ja UV-valoa. Huvermannin mukaan on tutkimuksia, jotka väittävät kimalaisten löytävän tai jopa nopeasti oppivan etsimään ravintoa ilman UV-aaltopituuksia (Huvermann ym., 2023; Dyer & Chittka, 2004, s. 1683).

Kasvivaloja valmistava suomalainen yritys Valoyan on kokeissaan onnistunut saamaan onnistuneen pölytyksen ilman UV-valoa. Koe toteutettiin yöllä, joten luonnonvaloa ei ollut. (Valoya n.d.-a) Kyseinen kasvatusvalo oli LED-valo, AP67, jonka aallonpituudet eli spektrit ovat UV 0 %, sinistä 12 %, vihreätä 16 %, punaista 57 % ja kaukopunaista 15 %. PAR- (photosynthetic active radiation) valoa spektrissä on 85 % (Valoya n.d.-b). Kokeessa HPS-valon alla olevista pesistä kimalaiset lähtivät lentoon vasta kun aamuaurinko tuli esiin. (Valoya, n.d.-a).

Ravinnon hakuun ja aktiivisuuteen kimalaiset tarvitsevat vähintään 30 mikromoolia sinistä ja vihreätä valoa sekä auringonvaloa. 30 mikromoolia on yleisesti saavutettavissa LED-valoilla, jos tehokkuus on tarpeeksi korkealla. Kimalaisten tarvitseman valomäärän voi myös ilmaista 28 W per neliometri PAR valoa pesän lähistöllä. (Huvermann ym., 2023) Toisen tutkimuksen mukaan pienin vaadittu määrä valoa kimalaisille on 110–154 J cm⁻² päivässä (Ozols ym., 2022).

Tomaatin kasvatusvaloissa on yleisesti sinistä ja punaista valoa. Yhteyttämiseen, eli vegetatiiviseen kasvuun, tomaatti tarvitsee sinistä valoa ja kukkimiseen, eli generatiiviseen kasvuun, tomaatti tarvitse punaista valoa. Vihreää aallonpituutta lisätään valoihin, jotta se olisi ystävällisempää ihmisten silmille (Runkle, 2017). Kasvatusvalot sisältävät yleisesti eniten punaista valoa (630–660 nm), toiseksi eniten sinistä valoa (440–480) ja 5–8 % vihreää valoa (540 nm). Tarkkoja aallonpituusalueita ei ole julkisesti saatavilla, sillä yritykset haluavat pitää ne todennäköisesti liikesalaisuuksina.

3.5 Radiotaajuudet ja sähkömagneettiset kentät

Sähkömagneettinen säteily on hyvin tiheää aaltopituutta, jota säteilee nykypäivän tietoteknistä päätelaitteista, kuten esimerkiksi älypuhelimista ja Wi-Fi-laitteista. Teknologian kehittymisen ja 5G mukana on noussut huoli niiden vaikutuksista pölyttäjiin. Tutkimuksia niiden vaikutuksesta kimalaisiin ei ole tehty. Sen sijaan tutkimuksissa mehiläisille ja muille pölyttäjiille on todettu erilaisia haittavaikutuksia eri määrissä (Thill ym., 2023 & Treder ym., 2023).

Sähkömagneettiset taajuudet voidaan karkeasti jakaa kahteen osaan mataliin ja korkeisiin aaltopituuksiin. LF-EMF eli low frequency electromagnetic field on 50–60 Hz. LF-EMF esiintyy korkeajännitteisissä ilmajohtoissa. Nämä vaikuttavat varsinkin luontaisiin pölyttäjiin mutta voivat mahdollisesti vaikuttaa kasvihuoneisiin, jos näitä ilmajohtoja kulkee kasvihuoneen läheisyydessä tai päällä. Thillin meta-analyysissä todettiin matalien aaltopituuksien vaikuttavan 133 tutkimuksessa 29 % pölyttäjien käytökseen, 12 % niiden aineenvaihduntaan ja 11 % lisääntymiskykyyn. Vain 6 % tutkimuksissa ei havaittu vaikutuksia. (Thill ym., 2023) Toinen tutkimus havaitsi negatiivista vaikutusta pölyttäjien stressi- ja käytösgeeneihin sekä lämpösokkiproteiineihin ja antioksidanttiaktiivisuuteen vaikuttaviin geeneihin (Molina-Montenegro ym., 2023). Kolmas tutkimus huomasi matalien aallonpituuksien negatiivisia vaikutuksia pölyttäjien lentoon, oppimiseen, ruoan hakuun ja syömiseen (Shepherd ym., 2018).

Noin 900 MHz on huomattu vaikuttavan stressi geeneihin ja entsyymi aktiivisuuteen (Migdal ym., 2023). Pitkäaikaisen altistumisen 2,4 ja 5,8 GHz:lle vaikutti pesälle löytämiseen (Treder ym., 2023). Meta-analyysissä, jossa katsottiin 238 tutkimusta yli yhden GHz altistumista, joissa 37 % havaitsi ongelmia lisääntymisessä, 18 % käytöksen muutosta, 10 % oxidatiivista stressiä. 7 % löytyi DNA-vauriota, 5 % kehitysongelmia ja 10 % tutkimuksista ei huomattu vaikutusta. Meta-analyysin mukaan altistuminen korkeammille

aaltopituuksille on haitallisempaa kuin matalalle. Thillin mukaan haitallisinta on kumminkin yhdistelmä matalia ja korkeita aaltopituuksia. (Thill ym., 2023)

Tähän mennessä kokeita kimalaisten vaikutusten selvittämiseen ei ole tehty ja aineistoa löytyy aallonpituuksien vaikutuksesta pelkästään mehiläisiin ja muihin pölyttäjiin. Opinnäytetyötä tehdessä kimalaisia ja 5G vaikutusta on alettu tutkia Haagin ammattikorkeakoulussa Alankomaissa. Mehiläisillä on havaittu aaltopituuksien vaikuttavan sosiaaliin rakenteisiin. Niiden käyttäytyminen kuitenkin eroaa jossain määrin kimalaisten käyttäytymisestä.

4 Aineisto ja menetelmät

Opinnäytetyö on deduktiivinen ja laadullinen. Haastattelumetodina on käytetty teemahaastattelua. Laadullinen tutkimus on aineistoon ja sen analysointiin perustuva tutkimus (Juhila, 2021). Teemahaastattelu valittiin haastattelumetodiksi, koska se mahdollistaa luonnollisen vuorovaikutuksen. Metodi tarjoaa tutkijalle vapauden esittää lisäkysymyksiä sekä muokata kysymysten järjestystä ja muotoilua. Metodi mahdollistaa myös vapaata keskustelua tai kommentointia.

Koska haastatteluiden aihe oli joillekin yrityksille sensitiivinen, johtuen siitä, että yritykset eivät mielellään kerro haasteistaan, pyrin että haastattelu olivat mahdollisimman rentoja. Teema-alueet olivat: viljelytoiminnan perustiedot, valotuksesta, viljelystä, ilmankosteudesta ja kimalaisista. Teemahaastattelu on toteutettu yksilöhaastatteluina. Kaksi haastattelua toteutettiin paikan päällä, kolmas videopuhelun välityksellä ja neljäs puhelimitse. Haastateltavat saivat haastattelukysymykset etukäteen sähköpostitse voidakseen valmistautua. Opinnäytetyön tuloksissa hyödynnetään lisäksi aiemmissa luvuissa esiteltyä kirjallisuuskatsausta.

4.1 Aineiston hankinta ja käsittely

Työn aineisto kerättiin haastattelemalla viljelijöitä. Haastateltavien yhteydenotto tapahtui puhelimitse soittamalla. Työssä haastateltiin neljä ympärivuotista tomaatinviljelijää, joiden viljelypinta-ala vaihteli 1 300 m² ja 1,5 ha välillä. Haastateltavilla kahdella oli hybridivalotus ja kahdella tavanomaiset suurpainenatriumvalot (HPS). Haastateltavat olivat Etelä- ja Länsi-Suomesta. Haastatteluihin osallistuneet viljelijät ilmaistaan tutkimustuloksissa siten, että ensimmäinen on (V1), toinen (V2), kolmas (V3) ja neljäs haastateltava (V4).

Työn käynnistyessä, tarkoituksena oli löytää LED- tai hybrdivalotuksen omaavia viljelmiä. Mutta LED-valotuksella viljelevien viljelijöiden haastateltavien vähyyden takia, haastateltavia laajennettiin myös HPS-valoilla viljelevät viljelmät. Tämän takia haastattelukysymyslomakkeita on kaksi erilaista, yhden LED-viljelijöille ja toinen HPS-viljelijöille (Liite 1 ja Liite 2). Haastatteluja varten ei laadittu lisäkysymyksiä. Tiedon kattavuuden varmistamiseksi haastateltaville ilmoitettiin, että mahdolliset jatkokysymykset voidaan esittää tarvittaessa jälkikäteen.

Jokainen haastattelu kesti 0,5–1 tuntia. Paikan päällä toteutetut haastattelut nauhoitettiin ja litteroitiin. Videopuhelun välityksellä toteutettu haastattelu nauhoitettiin Microsoft Teamsin avulla ja litteroitiin. Puhelimen välityksellä toteutettua haastattelua ei nauhoitettu haastateltavan pyynnöstä, joten vastaukset kirjoitettiin ylös. Nauhoitettujen haastattelujen aikana muistiinpanoja kirjoitettiin aihealueista, jotka nousisivat erityisesti esille. Aineistoa käsitellään relevanssin mukaisesti. Tämän takia kaikkia haastattelukysymyksiä (Liite 1 ja 2) ei käsitellä tuloksissa tai niiden tulkinnassa. Haastattelukysymyksiä vastauksien tulkinnassa käytetään harkintaa ja lähdekriittisyyttä.

5 Tulokset

Haastatteluiden vastaukset käsitellään kysymys tai aihealue kerrallaan. Tässä luvussa käsiteltävät kysymykset ovat olennaisia tämän työn kannalta ja merkittäviä haastatteluaineiston tulosten sekä aiheen muokkautumisen vuoksi. Teemahaastattelu koostui kahdesta osasta. Ensimmäinen osa liittyi viljelyyn, valotukseen ja kimalaisiin. Toinen osa haastattelukysymyksistä liittyi viljelijöiden tyytyväisyyteen pölytykseen, osana Suomen mehiläishoitajainliiton Kotimaisia pölyttäjiä kaupallisille puutarhaviljelmille - hanketta.

5.1 Viljelystä

Haastattelun alussa kartoitettiin haastateltavien asema yrityksissä. Vastaajien asemat olivat: tuotantopäällikkö, yrittäjä ja toimitusjohtaja. Kasvihuoneviljelmien ikä vaihteli 20–55 vuoden välillä. Kaikki viljelmät kasvattivat suuria tomaatteja ja kirsikkatomaatteja ympärivuotisesti. Viljelmät istuttavat tomaatit heinä-syyskuussa ja jättävät kahdesta neljään viikkoon purkuun ja desinfiointiin. Viljelmien pinta-alat olivat 1 300 (V1), 1 650 (V2), 2 300 (V3) ja 15 000 m² (V4).

Vastanneiden viljelijöiden viljelmien keskilämpötilat, joita he tavoittelivat, olivat 20 °C (V2, V4), 20–21 °C (V3) ja 22–23 °C (V1). Tavoiteltu suhteellinen ilman kosteus oli 60–80 % (V2), alle 80 % (V1), 75–85 % (V4) ja tavoiteltu RH 60 % mutta nousi luultavasti 75 % päivällä (V3). Kaikki vastanneet olivat havainneet, että kun on liian kosteaa, kimalaiset lopettavat lentämisen. Jotkut haastateltavista suosittelivat ilmankosteusrajoja kimalaisille.

5.2 Valotuksesta

Viljelijöillä oli vaikeuksia muistaa tarkkoja tietoja valotuksen spektreistä ja tehosta. Hybridivalotuksella yksi viljelijöistä kertoi määrän olevan 480 µmol neliometriä kohden (V1). Haastatelluista puolet käyttivät hybridivalotusta, eli valot koostuvat LED-valoista ja HPS-valoista. Haastateltavista kahdella oli hybridivalotus, joista yhdellä valotus jakautui puolet LED-valoja ja puolet HPS-valoja. Toisella haastateltavalla suhde oli noin 40 % LED-valoja ja 60 % HPS-valoja. Kahdella muulla haastateltavalla oli HPS-valot, näistä yksi oli kiinnostunut LED-valotuksen käyttämisestä tulevaisuudessa. Toinen puolestaan sanoi, ettei ollut harkinnut vaihtavansa ja tiesi LED-valojen aiheuttavan ongelmia pölytykselle.

Viljelmät, joissa oli hybridivalotus käytössä, hankkivat LED-valot kesällä (V1) ja syksyllä (V2) vuonna 2023. Haastattelun ajankohtana valot olivat olleet käytössä noin 1–1,5 vuotta. Molempien haastateltavien syy LED-valoihin siirtymisestä oli niiden energiatehokkuus (V1, V2) ja kannattavuuden kannalta ja investointituen läpimeneminen (V1). LED-valojen käytössä havaittu vähemmän niin sanotusti kärähtäneitä kimalaisia, kuin HPS valoilla. Pelkkien LED-valojen käyttö ei vaikuta kimalaisiin eri tavalla kuin pelkkien HPS-valojen tai hybridivalotuksen käyttö (V2). Yhdellä viljelijällä muutos suurpainenatriumlampuista hybridivalotukseen ei vaikuttanut viljelmän kosteuteen ja lämpötilaan, kun taas toisella muutos oli yllättäen vaikuttanut ilmankosteuteen ja lämpötilaa oli jouduttu nostamaan.

Viljelijät eivät osanneet arvioida LED-valojen vaikutusta sadon määrään tai laatuun, sillä ne eivät ole olleet käytössä tarpeeksi kauan. Yhdellä viljelijällä esiintyi laatuongelmia keväällä 2024, mutta nämä saattoivat johtua kovista pakkasista, pimeydestä ja muista kasvihuoneen olosuhteista. V1 kommentoi, että LED-valot eivät ainakaan lisänneet sadon määrää.

Kaikki haastateltavat tavoittelevat valotusrytmissään 16 h tunnin valoajaksoon ja 8 h pimeyteen. V2 käyttää pörssisähköä, joten valotuksen määrä riippuu täysin sähkön hinnasta. V4 kertoi, että joskus yöjakso voi olla tunnin normaalia pidempi. Haastateltavien mukaan LED-valojen käyttöönotto ei ole muuttanut valotuksen määrää.

Energiatohokkuuden takia LED-valoja kuitenkin käytetään mieluummin silloin, kun sähkö on kallista. Haastateltavien tiloilla valotuksen päivärytmit vaihtelivat siten, että valotus aloitettiin klo 00:00 ja 05:00 välillä.

5.3 Kimalaisista

Haastatteluissa ilmeni, että kaikki viljelmät ovat käyttäneet kimalaisia pölyttäjinä niin kauan kuin ne olivat olleet toiminnassa - tai niin kauan, kun niitä oli saanut kaupallisesti hankittua. Viljelmien pesät on hankittu joko Koppertilta (V1, V3, V4) tai Agrobíolta (V2). Vuosittainen kimalaispesien määrä viljelmillä on 30–300. Kun haastateltavilta kysyttiin, onko heillä ollut haasteita kimalaisten kanssa tietyissä olosuhteissa tai kasvukauden vaiheissa, niin kaikkien haasteet liittyivät joko LED-valotukseen tai talvikauden pimeyteen.

LED-valotukseen vaihtaessa yhdellä haastateltavalla oli ilmennyt haasteita kimalaisten kanssa, ja sanoi ettei tällaisia vaivoja ollut HPS-valojen kanssa. Ongelmat johtivat siihen, että pesien määrä oli jouduttu kaksinkertaistamaan. Toinen haastateltavista sanoi, etteivät LED-valot ole tuoneet mitään uusia haasteita. V4 kertoi, että talviaikana, kun kimalaistarve on suurempi, käytetään yhtä pesää 1 500 m² kohden ja pesät vaihdetaan viikoittain. V2 puolestaan kertoi, että heillä on neljä pesää per 2 300 m² ja pesät vaihdetaan kolmen viikon välein. V1 käyttää kolmea pesää per 1 300 m² ja vaihtaa pesät joka toinen viikko. V3 puolestaan vaihtaa pesät viikoittain ja vie kuolleet pesät pois epäsäännöllisesti. Näistä käytänteistä voidaan tehdä johtopäätös ja laskea, että viljelijät käyttävät talvikuukausina keskimäärin 0,9–1,7 pesää viikoittain 1500m² viljelypinta-alaa kohden.

Kimalaispesät ovat auki talvisin klo 09:00–14:00 tai 15:00, syksyllä 08:00–15:00 tai 16:00 (V1). Viljelijöiltä kysyttiin myös, millä korkeudella ja missä kasvihuoneessa kimalaispesät sijaitsivat. Kaikki viljelijät kertoivat kimalaispesien olevan käytävän luona noin metristä puoleentoista korkeudella. Pesän aukot osoittivat käytävää ja tomaatteja päin. Kesällä lisävalotuksen ollessa tarpeettomat pesät ovat koko ajan auki. Talvella ne avataan ja suljetaan päivävalolla, jotta kimalaiset löytävät takaisin pesille (V2). Pesät avataan noin tunti auringonnousun jälkeen ja noin tuntia ennen auringonlaskua (V4). V3 kertoi, että pesät avataan vähän auringonnousun jälkeen ja vähän ennen auringonlaskua (V3). Kaikki haastateltavat kertoivat, että he seuraavat kimalaisten pölytystä säännöllisesti etsimällä puremajälkiä kukista. Yksi haastateltava totesi, että seuranta voisi mahdollisesti tehdä useammin. Toinen haastateltavista kertoi jatkuvasti tarkkailevan kasvihuoneessa työntekijöidensä kanssa kimalaisten toimintaa.

5.4 Tyytyväisyys ostokimalaisiin

Kaikki haastateltavat olivat tyytyväisiä ostokimalaisiin ja kokivat, että ongelmia esiintyi vain harvoin. Silloin kun ongelmia ilmeni, ne liittyivät logistiikkaan, kuten pesän kaatumisen ja jäätyneen kuljetuksen aikana. Viljelijät kokivat, että ongelmat eivät johtuneet kimalaisista vaan muista tekijöistä, kuten esimerkiksi ilmankosteudesta tai lämpötilasta. Kolme neljästä haastateltavasta hyödynsi talvisin lisäpölytystä ongelmista huolimatta, ja sitä tehtiin vähintään kolme kertaa viikossa. Lisäpölytykseksi kutsutaan toimenpidettä, jossa kasveja pölytetään mekaanisesti kimalaispölytyksen tukemiseksi.

6 Tulosten tarkastelu

Tässä työssä käsiteltiin kahta tutkimuskysymystä: Mitkä asiat vaikuttavat kimalaispölytykseen suomalaisessa ympärivuotisessa tomaatinviljelyssä, ja miten kimalaispölytystä voidaan parantaa. Tässä osiossa käsitellään pölytyksen ongelmakohtia ja keinoja niiden parantamiseksi. Haastatteluiden tukena hyödynnetään kirjallisuuskatsausta tulosten tarkastelussa.

Viljelijöiden haastatteluissa nousi esiin, että osan haastateltavien mielestä pölytysongelmat ilmaantuvat erityisesti LED-valojen käyttöönoton yhteydessä. Se, että pölytysongelmat ilmenivät LED-valojen vaihtamisen jälkeen, on ristiriidassa kirjallisuuden kanssa. Asiantuntijoiden mukaan LED-valot tuottavat enemmän sinistä valoa, joka on kimalaisille välttämätöntä ja jota HPS-valoissa ei esiinny (Huvermann ym., 2023). LED-valotusta käyttävät viljelijät kokivat, että lyhyt käyttökokemus esti niiden vaikutuksen havaitsemisen esimerkiksi sadon määrään tai laatuun. Eräs viljelijä oli kohdannut ongelmia keväällä, mutta totesi itsekkin, ettei tiennyt poikkeaman syytä. LED-valojen käytön lisääntyessä negatiiviset tai positiiviset vaikutukset tulevat paremmin esille. Pelkästään LED-valojen vaikutusta on kuitenkin vaikea arvioida, sillä viljelyyn liittyvät tekijät ovat tiiviisti sidoksissa toisiinsa, eikä selkeää erittelyä ole mahdollista tehdä.

Myös Suomen pitkät pimeät talvet ovat aiheuttaneet viljelijöille ongelmia pölytyksen suhteen. Haastatteluissa selvisi, että viljelijät olivat tyytyväisiä kimalaisiin, mutta kolme neljästä käytti lisäpölytystä joko tärisyttämällä tai lankoja ravistamalla taatakseen sadon. Viljelijät kokivat, että vaikka kimalaiset vaikuttavat pölyttävän hyvin, talvella luonnonvalo ei yksinkertaisesti riitä onnistuneeseen pölytykseen. Viljelijöiden tietämys aallonpituuksista ja niiden vaikutuksesta on melko rajallinen. Ozolsin Latviassa tekemän tutkimuksen mukaan

pölytys oli joului- ja tammikuussa heikompi, kun päivittäinen auringon säteily laski alle 110 J cm^2 päivässä (Ozols ym., 2022). Huvermannin mukaan kimalaiset tarvitsevat $30 \mu\text{mol}$ vihreätä ja sinistä valoa, joka vastaa 30 nwaH per neliömetri päivänvaloa (Huvermann ym., 2023).

Ensimmäinen pölytykseen vaikuttava tekijä on kasvin terveydentila. Jos tomaatti voi huonosti, sen kukinnot eivät houkuttele kimalaisia, eivätkä ne välttämättä tuottaisi hedelmää pölytyksen tapahtuessa. Myös lannoitus voi vaikuttaa tomaatin kukkien houkuttavuuteen kimalaisille. Eräässä tutkimuksessa havaittiin, että vähäinen fosforilannoitus vaikutti positiivisesti. Kimalaisten havaittiin pitävän matalafosforisista tomaatin kukista enemmän verrattuna kontrolliryhmään. Sen sijaan, kun kasvilla oli NPK-vaje, se ei enää ollut yhtä houkutteleva kimalaisille. (Martínez-Andújar ym., 2023, ss. 293–294) Pölytysviljelyssä on myös tärkeä varmistaa, että mahdolliset kasvinsuojeluaineet ovat yhteensopivia kimalaisten kanssa.

6.1 Pesien terveys, määrä ja ravinnonhakuajat vaikuttavat pölytykseen

Pesät kannattaa asettaa näkyville paikoille vähintään kahden metrin päähän käytävistä. Enemmän kuin kahta pesää ei tulisi sijoittaa vierekkäin. Pesät asetetaan vaakasuoraan ja vierekkäin, siten että niiden aukot osoittavat pois päin kasvustosta ja toisistaan. Pesät on suojattava ääriolosuhteilta, kuten kesäsiin auringonpaisteelta, mikä voidaan toteuttaa asettamalla pesät $20\text{--}60 \text{ cm}$ korkeudelle maasta ja käytävän eteläisimmälle puolelle. Lisäksi pesät tulee suojata sateelta ja kondensaatiolta (Koppert n.d.-c).

Koska siitepöly toimii toukkien proteiininlähteenä, sen puute voi estää uusien työläisten syntymisen ja pesän kehittymisen. Lisäsiitepölylle on tarvetta ainoastaan silloin, kun kimalaisten keräilyaika jää alle neljän tunnin – eli talvisin (Huvermann ym., 2023). Toisaalta työläisten ravinnonhauat voivat olla vähäisiä koska pesällä ei juuri silloin ole tarvetta ravinnolle (Parkkinen ym., 2022, s. 31).

Haastatellut viljelijät ilmoittivat tavoitelluiksi suhteellisiksi ilmankosteuksiksi $60\text{--}80 \%$. Siitepölyn kannalta ilmankosteuden tulisi olla $50\text{--}80 \%$ välillä, kun taas kimalaisille optimaalinen ilmankosteus on noin $60\text{--}75 \%$ (Koppert n.d.-b). Suurin osa haastateltavista tunsivat nämä suositukset. Yoon mainitsee tutkimuksessa, että pesän optimaalinen ilmankosteus kehityksen kannalta tulisi olla 65% ja lämpötilan 27 asteessa (Yoon ym., 2002). Optimaalisen ilmankosteuden saavuttamiseksi sen tarkkailu on tärkeää. Tarkkailun

kannalta sensoreiden tulisi sijaista mahdollisimman lähellä lehdistöä eri kohdissa kasvustoa, jotta mittaustulokset olisivat mahdollisimman realistisia. (Huvermann ym., 2023)

Kasvihuoneen lämpötilan ei tulisi nousta yli 28 asteen (Koppert n.d.-b). Kirjallisuuden mukaan kimalaisille paras lentolämpötila on vaikuttaa olevan 25–27 asteen välillä (Kenna ym., 2021). Viljelijöiden ilmoittamat tavoitellut keskilämpötilat olivat 20–23 välillä. Lämpötilojen kanssa voi ilmetä ongelmia, jos suhteellinen ilmankosteus nousee ja lämpötilaa täytyy nostattaa kosteuden poistamiseksi. Haastateltavien mukaan pölytysongelmia on esiintynyt LED-valojen käyttöönoton yhteydessä, varsinkin silloin, kun kosteutta ei ole huomioitu. Tämä johtuu siitä, että perinteiset HPS-valot säteilevät runsaasti lämpöä ja laskevat ilmankosteutta. Vaikka suhteellinen ilmankosteus olisi 80 %, pölytysongelmia voi silti esiintyä. Ne voivat johtua esimerkiksi kasvien juuripaineen tai latvuston lehtien lämpötilan epätasapainoisuudesta, jolloin kimalaiset kyllä lentävät, mutta eivät hakeudu kukille, koska ne aistivat, ettei siitepölyä irtoa. (Huvermann ym., 2023)

Jos viljelmälle suunnitellaan joko täysin LED-valotusta tai hybridivalotusta, on tärkeää ottaa huomioon mahdollisten ilmankosteusongelmien ilmeneminen ja lämmityskustannusten nousu. Yksi vaihtoehto on hankkia kasvihuoneeseen ilmankosteudenpoistaja, mutta tämä on merkittävä investointi. Hybridivalotus mahdollistaisi valotuksen säätelyn, erityisesti jos viljelmällä on käytössä pörssisähkö. Ilmankosteuden seurannassa on tärkeää varmistaa, että antureiden sijainti antaa realistisen kuvan tilanteesta. Antureiden tulisi sijaita lähellä kukkia, jotta antaisivat tarkkoja ja luotettavia arvoja. (Huvermann ym., 2023)

Kasvihuoneissa käytetään verhoja kasvihuoneen lämpötilan, energiakulutuksen, varjostuksen ja valojaksojen säätelyyn osana optimaalisten viljelyolosuhteiden hallintakeinoja. Verhojen avulla voidaan pitää lämpö sisällä talvikautena ja kuumuus ulkona kesäkaudella. Talviaikaan voi kuitenkin ilmetä ongelmia, koska UV-valoa pitäisi saada sisään kasvihuoneeseen ja pitää vuorostaan kylmyys ulkona. Markkinoilla on tarjolla verhoja, jotka päästävät UV-valoa sisään mutta pitävät lämmön sisällä, mutta tämä ratkaisu nostaa investointeja viljelijälle. Jos kasvihuoneessa on verhot, jotka ei päästä UV-valoa läpi, on niiden avaaminen ja sulkeminen suunniteltava. Verhojen käytön ajoitus riippuu verhomalleista kuin myös kasvihuoneen ulkoisista ja sisäisistä tekijöistä.

Tutkimukset, esimerkiksi Thillin meta-analyysissä ja Flipped Median dokumentaarissa ilmenevät, jotka ovat osoittaneet, että eri sähkömagneettisilla aallonpituuksilla voi olla negatiivisia vaikutuksia pölyttäjiin. Jotkut tutkimukset, jotka ovat tutkineet mehiläisiä ja havainneet, että tietyt aallonpituudet vaikuttavat niiden sosiaaliseen käyttäytymiseen.

(Flipped Media, 2021; Thill, 2023) Näissä Tutkimuksissa on kuitenkin hyvä huomioida, että kimalaiset ovat sosiaalisesti erilaisia kuin mehiläiset. Tästä voidaan tehdä päätellä, että kimalaisiin kohdistuvia tutkimuksia kasvihuoneympäristössä ei ole riittävästi. Viljelijät voivat harkita WiFi-reitittimen siirtämistä kauemmaksi kimalaispesistä kasvihuoneella vähentääkseen sen mahdollisia sivuvaikutuksia.

Haastateltavat myönsivät kimalaisseurannan olevan vähäistä, mikä saattaa osin johtua rajallisesta tiedosta seurantatavoista. Pölytysseuranta vaikutti olevan viljelijöiden keskuudessa osittain laiminlyötyä, vaikka he kertoivat etsivänsä aktiivisesti puremajälkiä. Aktiivinen ja suunniteltu pölytysseuranta voisi auttaa saavuttamaan onnistuneen pölytyksen vuodenajasta riippumatta. Pölytysseuranta vähentää yllätyskustannuksia, kuten mekaaniseni pölyttämisen tarvetta tai ylimääräisten pesien hankintaa. Pölytysseuranta voi tehdä esimerkiksi etsimällä puremajälkiä kukista. Tätä tehdään joka toinen päivä. Kukassa, joka on ollut auki yli päivän, voi esiintyä yhdestä viiteen puremajälkeä. Jos puremajäljet ovat laskeneet yhteen tai kahteen per kukka, pesien lisääminen voi olla suotuisaa (Koppert n.d.-b). Lisäksi kävelemällä ympäri kasvihuonetta voi seurata kimalaisten lentoa. Pesän terveyden tarkkaileminen on tärkeää, sillä se mahdollistaa nopean reagoinnin pesän kunnan heikentyessä. Pölytystilanteen kartoittamiseksi voidaan kerätä noin 20 suljettua kukkaa ympäri kasvihuonetta – hyvässä pölytystilanteessa kaikista kukista löytyy puremajälkiä. (Koppert n.d.-b). Ilmanseura voi joutua käyttämään enemmän pesiä.

6.2 Pölytys talvella

Pesien lentoaukot kannattaisi avata valoisimpaan aikaan talvella. Pesien kannattaisi avata 0,5–1 tuntia auringonnousun jälkeen ja 1,5 tuntia ennen auringonlaskua tai verhojen sulkemista. Huvermannin mukaan lumipäivinä pesiä ei tulisi avata laisinkaan. Kesäisin pesiä ei tarvitse sulkea, jos valotusta ei käytetä, sillä kimalaiset pystyvät hyödyntämään auringonvaloa suunnistukseen (Huvermann ym., 2023). Talvisin pesät tulee suojella kylmyydeltä ja asettaa niiden pesänaukot aamuaurinkoa päin eli kaakkoon. Lisäksi pesät kannattaa nostaa kasvuston latvan korkeudelle, vähintään 1,4 metrin korkeuteen. (Koppert n.d.-b,-c) Kymmenentenä viikkona, pesiä voi alkaa siirtää kauemmas auringosta (Huvermann ym., 2023). Yli 100 metrisissä pitkissä pesäriveissä, pesät kannattaa asettaa rivien päätyjen yläpuolille, jotta pölytys säilyy jatkuvana, sillä pidemmällä riveillä pölytys voi heikentyä (Koppert, 2024).

Tutkimukset viittaavat siihen, että kimalaisten värinäön pysyvyys ei ole täydellinen, mikä tarkoittaa, että eri valon määrillä tai laaduilla kimalaiset näkevät kukat eri tavalla tai mahdollisesti huomattavasti erityisesti UV-valon puuttuessa (Spaethe & Chittka, 2003; Dyer & Chittka 2004). Yksi keino pölytystehokkuuden parantamiseksi on UV-spektriä sisältävien LED-valojen hankkiminen kasvihuoneeseen. Suullisessa tiedonannossaan Hämeen ammattikorkeakoulun puutarhatalouden lehtori Eija Lankisen mukaan kyseisen teknologian vähäinen suosio johtuu ensisijaisesti korkeista hankintakustannuksista. Lisäksi hän toi esiin, UV-spektrin vaikutus aiheuttaa muovin nopean kellastumisen, minkä vuoksi valaisimet tulisi valmistaa lasista. Tämä puolestaan nostaa tuotantokustannuksia (henkilökohtainen tiedonanto, 28.4.2025).

Valoyan koe ja Dyerin tutkimus viittaisivat siihen, että ilman UV-valoa on mahdollista saavuttaa riittävä pölytysmäärä (Valoya n.d.-a., Dyer & Chittka, 2004). Dyerin tutkimuksessa kimalaisilla oli aluksi vaikeuksia löytää kukille ilman UV-valoa, sillä se erosi niiden tottumuksista. Kokeessa ne lensivät kukkien lähelle, mutta eivät laskeutuneet niille. Jossain vaiheessa kimalaiset kumminkin oppivat laskeutumaan kukille Tutkimuksen lopputulos oli se, ettei UV valon läsnäolo muuttanut kimalaisten käyttäytymistä. Valoyan kokeessa kimalaiset, jotka pölyttivät menestyksekkäästi, saivat tarvittavan valon LED-valoista lentääkseen, eivätkä olleet koskaan käyneet ravinnonhauilla auringonvalossa (Valoya n.d.-a). Tämä havainto viittaisi siihen, että yöpölytys riittävällä valomäärällä saisi talvipölytyksen onnistumaan.

Bee-Tech-Groupin tutkimuksessa paprikan siitepölyn laatu laski huomattavasti talvella. Tutkimuksessa havaittiin, että niiden kesäkaudella tuotettu siitepöly oli 73 % laadukkaampaa mutta talviaikaan se poikkesi 7,5 kertaa kesälaatuun verrattuna. Bee-Techin tutkimuksen lopputulos on, että talviaikanakasvien terveyttä tulee tarkkailla huolellisesti ja niiden stressitekijät tulee pyrkiä poistamaan, jotta saadaan laadukas ja runsas siitepölymäärä. Kasvin stressitekijöitä ovat lannoitus- ja ravinne-epätasapainoisuudet sekä huonot viljelytoimenpiteet. (Bee-Tech, 2025)

Koppertin talviovhjeiden mukaan lokakuun puolesta välistä marraskuun loppuun pesien määrää kuuluisi lisätä 1,5–2,5 kertaa hehtaaria kohden viikoittain. Koppert suosittelee myös pesien lisäämistä ennen kuin päivät ja pölytystunnit ovat lyhentyneet, jotta kimalaiset ehtivät tottua päivän pituuteen ja kasvihuoneen ilmastoon. 100 metriä ylittävillä riveillä kannattaa Koppertin mukaan lisätä vielä 2 pesää hehtaaria kohden viikottain. Viljelijän olisi hyvä laskea ja suunnitella etukäteen tarvitsemansa pesämäärä sillä pesien kasvattamiseen

kuluu aikaa noin kymmenen viikkoa. Pesät kannattaa tilata etukäteen, jolloin viljelijä voi ennaltaehkäistä yllätystilanteet sekä mekaanisen pölytyksen tarvetta. (Koppert, 2024)

7 Johtopäätökset

Tutkimuksessa selvitettiin, mitkä tekijät vaikuttavat kimalaisten toimintaan ja miten pölytystehokkuutta voidaan parantaa ympärivuotisessa tomaatinviljelyssä Suomessa. Tutkimuksessa käytettiin tutkimusmenetelmänä laadullista haastattelumenetelmää ja kirjallisuuskatsausta. Haastatteluissa selvisi, että kasvihuoneiden pölytyksessä on haasteita, vaikka kaikki haastateltavat eivät sitä suoraan ilmaisseet. Näitä haasteita ilmenee eniten talvikaudella marras-helmikuussa, ja viljelijät joutuvat pölyttämään mekaanisesti ravistamalla lankoja tai käyttämällä tärhistintä.

Tutkimuksessa voidaan todeta, että keskeisimmät pölytystehokkuuteen vaikuttavat tekijät liittyvät kasvihuoneen valotukseen, ilmankosteuteen sekä kimalaispesien sijaintiin ja kuntoon. Huomionarvoista on, että näistä aiheista ei löydy vielä paljoakaan tutkimuksia. Joitain tutkimuksia on tehty etelämmässä sijaitsevilla maissa, joissa talvet ovat lämpimämpiä ja kasvihuoneet saavat enemmän auringon säteilyä. Työn tuloksia voidaan soveltaa viljelmillä muistilistana siitä, että mitä pitää niissä tuleen ottaa huomioon pölytyksen onnistumiseksi.

Tutkimuksen perusteella voidaan todeta, että aihetta olisi tarpeellista tutkia lisää - erityisesti pohjoismaisissa olosuhteissa. Yhtenä jatkotutkimuksena voisi selvittää esimerkiksi valon eri aallonpituuksien todellista vaikutusta kimalaisiin. Aikaisemmin tehdyissä LED-valo - tutkimuksissa, joissa kimalaiset pysyivät aktiivisina, LED-valot sisälsivät hyvin vähän punaista valoa verrattuna tavallisesti tomaatinviljelyssä käytettyihin valoihin. Toiseksi myös ei-kaupallinen lisätutkimus ilman valojen tai pölyttäjien myynti-intressiä voisi olla hyödyllinen puutarha-alalle, sillä tämänhetkiset tutkimukset positiivisilla tutkimustuloksilla ovat yritysten teettämiä. Kolmantena jatkotutkimusaiheena voisi olla selvittää maamerkkien lisäämisen tarpeellisuuskäytävillä tai eripuolille kasvihuonetta, mikäli ne hyödyttäisivät kimalaisten suunnistamista heikoissa valo-olosuhteissa. Pölytystulosten parantaminen Suomen sääoloissa vaatii vielä lisää useita tutkimuksia. Esimerkiksi yöpölytyksestä voitaisiin tutkia lisää. Sen lisäksi olisi hienoa nähdä tutkimuksia, jotka eivät ole kimalais- tai LED-valojen myyvien yritysten rahoittamia.

Tämän tutkimuksen kyselyyn ei saatu mukaan viljelijää, joka viljelee tomaattia pelkillä LED-valoilla. Tämä olisi voinut täydentää näkemystä valotuksen vaikutuksesta kimalaispölytykseen. Yhteenvetona voidaan lopuksi todeta, että pölytystehokkuuden parantaminen vaatii monien tekijöiden huomioon ottamista, kuten valon määrää ja laatua, lämpötilaa ja ilmankosteutta. Ottamalla huomioon nämä seikat, ympärivuotisen tomaatinviljelyn pölytyksestä voidaan saada tehokkaampaa.

8 Pohdinta

Tutkimuksen aihe muuttui työn tekijästä riippumattomista syistä ja muokkaantui työn aikana ja osittain haastatteluiden jälkeen. Tästä syystä haastattelukysymykset ja vastaukset olisivat voineet olla käytettyä kattavammat. Tulokset perustuvat haastateltujen näkökulmiin, jotka ovat subjektiivisia ja vastaukset voivat vaihdella riippuen henkilön mielialasta ja kiinnostuksesta haastattelukysymyksiin. Myös suuri osa tutkimuksista on pölytys- tai valotusyritysten laadittuja ja rahoittamia – vaikkei tämä välttämättä vähennä tulosten uskottavuutta, on mielestäni hyvä nostaa esiin intressinäkökulmat teetettyjen ja tekemättä jääneiden tutkimusten taustalla. Pölytysneuvonnassa on yleensä myös tapana osoittaa sormea viljelijään päin, eikä tuotteeseen. On mahdollista, että viljelijät eivät seuraa riittävästi pölyttäjäien laatutekijöitä mikä voi myös laajentaa pölytysongelmaa entisestään.

Tutkimusta ei voida pitää täysin luotettavana haastatteluutannan koon pienuuden takia. Se antaa kuitenkin osviittaa ongelmasta, varsinkin LED-valojen käytön lisääntyessä ja toisaalta nostaa esiin tarpeen useille lisätutkimuksille. Tutkimusongelmaa ei ratkaistu, mutta tämän työn myötä, työ listaa kaikki ne tekijät, jotka vaikuttavat haasteelliseen pölytystehokkuuteen. Toivon, että viljelijät hyötyvät työstä, joka pohjautuu käytettävissä oleviin tutkimustuloksiin. Työn ongelman ratkaisemisprosessissa ilmeni useita haasteita aiheen moniulotteisuuden vuoksi. Toisaalta tästä syystä koen, että kehityin ammatillisesti tutkimusprosessin aikana ja tietomääräni kasvoi erityisen mielenkiintoisella aihealueella. Koen, että pölytystehokkuuden parantamisen menetelmät ja siihen liittyvän tutkimusalueen ei vain henkilökohtaisesti, ammatillisesti vaan myös koko Suomen tomaatinviljelyalalla kuin myös kimalaisten nimissä, erittäin tärkeäksi ja merkitykselliseksi.

Lähteet

Asikainen, H. (2020). Kotimaisen tomaatin pölyttää hollantilainen kontukimalainen -pölyttäjähönteiset kasvavat yhä useammin tehdashallissa. *Yle*. Haettu 1.11.2024 osoitteesta:

<https://yle.fi/aihe/artikkeli/2020/06/26/kotimaisen-tomaatin-polyttaa-hollantilainen-kontukimalainen-polyttajahyonteiset>

Bayer Vegetables Australia (18.9.2019). *Temperature, Humidity, and Water in Protected Culture Tomatoes*. Haettu 5.1.2025 osoitteesta: <https://www.vegetables.bayer.com/au/en-au/resources/growing-tips/cultivation-insights/temperature--humidity--and-water-in-protected-culture-tomatoes.html>

Bee-Tech. (2025). Pepper Case Study: Seasonal Climate Impact on Pollen Viability. LinkedIn. Haettu 20.4.2025 osoitteesta: <https://www.linkedin.com/feed/update/urn:li:activity:7307677517639786496/>

Burst, G. (2024). *University of Maryland Extension*. Problems with Pollination in High Tunnel Tomatoes. Haettu 24.2.2025 osoitteesta: <https://extension.umd.edu/resource/problems-pollination-high-tunnel-tomatoes/>

Chittka, L., Williams, N. M., Rasmussen, H. & Thomson, J. (1999) Navigation without vision: bumblebee orientation in complete darkness. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, (266), 45-50. <https://doi.org/10.1098/rspb.1999.0602>

Chole, H., Woodard, S. H., & Bloch, G. (2019). Body size variation in bees: regulation, mechanisms, and relationship to social organization. *Current Opinion in Insect Science*, (35), 77-87. <https://doi.org/10.1016/j.cois.2019.07.006>

Cockshull, K., Prince, G. & Jacobson, R. (n.d.). *AHDB*. Fruit set and pollen viability. Haettu 5.1.2025 osoitteesta: <https://horticulture.ahdb.org.uk/knowledge-library/fruit-set-and-pollen-viability>

Collett, T. S., Robert, T., Frasnelli, E., Philippides, A., & Hempel de Ibarra, N. (2023). *How bumblebees coordinate path integration and body orientation at the start of their first learning flight*. <https://doi.org/10.1242/jeb.245271>

Dyer, AG., Chittka, L. (2004). Bumblebee search time without ultraviolet light. *Journal of Experimental Biology*, (207), 1683–1688. <https://doi.org/10.1242/jeb.00941>

Flipped Media (30.9.2021) *Something Is In The Air* – The cellphone radiation documentary [video].
Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=Q89Gv2P3RH8>

Geelen, P.A.M., Voogt, J.O., van Weel, P.A. (2021). *Plant Empowerment the basic principles*. (3. Painos). Plant Empowerment Academy.

Gérard, M., Cariou, B., Henrion, M., Descamps, C. & Baird, E. (2022). Exposure to elevated temperature during development affects bumblebee foraging behavior. *Behavioral Ecology*, (33), 816–824.
<https://doi.org/10.1093/beheco/arac045>

Hall, K., Robert, T., Gaston, K. & Hempel de Ibarra, N. (2021). Onset of morning activity in bumblebee foragers under natural low light conditions. *Ecology and Evolution*, (11), 6536-6545.
<https://doi.org/10.1002/ece3.7506>

Harrap, M. J., Hempel de Ibarra, N., Knowles, H. D., Whitney, H. M., & Rands, S. A. (2021). Bumblebees can detect floral humidity. *Journal of Experimental Biology*, 224. <https://doi.org/10.1242/jeb.240861>

Harrison, A. S., Rands, S. A. (2022). The Ability of Bumblebees *Bombus terrestris* (Hymenoptera: Apidae) to Detect Floral Humidity is Dependent Upon Environmental Humidity. *Environmental Entomology*, (51), 1010-1019. <https://doi.org/10.1093/ee/nvac049>

Huikkonen, I-M. & Järvi, J.(n.d.) Laji.fi. Kimalaiset. Haettu 20.11.2024 osoitteesta:
<https://laji.fi/taxon/MX.53474/biology>

Huermann, R., Arkesteijn, P. & Andre, S. (Asiantuntijat). (7.12.2023). *Free Webinar: Successful tomato pollination in winter*. [webinaari] Plant Empowerment. Haettu 4.11.2024 osoitteesta:
<https://knowledge.plantempowerment.com/courses/take/free-webinar-successful-tomato-pollination-in-winter/lessons/50842626-webinar-successful-pollination-in-winter>

Jacobson, R. & Cockshull, K. (n.d.). *AHDB*. Tomato structure and fertilization. Haettu 5.1.2025 osoitteesta: <https://horticulture.ahdb.org.uk/knowledge-library/tomato-flower-structure-and-fertilisation>

Juhila, K. (2021). Laadullinen tutkimus ja teoria. *Laadullisen tutkimuksen verkkokäsikirja*. Tampere: Yhteiskuntatieteellinen tietoarkisto. Haettu 15.1.2025 osoitteesta:
<https://www.fsd.tuni.fi/fi/palvelut/menetelmaopetus/kvali/mita-on-laadullinen-tutkimus/laadullinen-tutkimus-ja-teoria/>

Kapustjanskij, A., Streinzer, M., Paulus, H. F., & Spaethe, J. (2007). Bigger is better: implications of body size for flight ability under different light conditions and the evolution of alloethism in bumblebees. *Functional Ecology*, (21), 1130–1136. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2435.2007.01329.x>

Kauppapuutarhaliitto (n.d.). Tietoa kasvihuonealasta. Tomaatti. Haettu 1.11.2024 osoitteesta:

<https://kauppapuutarhaliitto.fi/tietoa-kasvihuonealasta/vihannesten-viljely-kasvihuoneissa/tomaatti/>

Kenna, D., Pawar, S. & Gill, R.J. (2021). Thermal flight performance reveals impact of warming on bumblebee foraging potential. *Functional Ecology*, (35), 2359-2614. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.13887>

Koppert (2024). Optimizing bumblebee hive schedules in winter. Haettu 22.4.2025 osoitteesta:

https://www.koppert.com/content/global/docs/Pollination_White_paper/Pollination_advise_-_grow_lights_-_hive_scheduling_-_Whitepapers_EN_-_Koppert_20240658_-_DEF.pdf

Koppert (n.d.-a). *Artificially lit crops pollination advice*. Haettu 7.1.2025 osoitteesta:

<https://www.koppert.com/bumblebee-pollination/best-practices/artificially-lit-crops-pollination-advice/>

Koppert (n.d.-b) *Tomato checklist*. Haettu 5.12.2024 osoitteesta: <https://www.koppert.com/news-information/knowledge-documents/pollination-checklist-tomato/>

Koppert (n.d.-c) *Optimal placement of bumblebee hives*. Haettu 30.1.2025 osoitteesta:

<https://www.koppert.com/bumblebee-pollination/best-practices/optimal-placement-of-bumblebee-hives/>

Martínez-Andújar, C., Youssef, R. B., Prudencio, Á. S., Ormazabal, M., Martín-Rodríguez, J. Á., Albacete, A., Martínez-Melgarejo, P. & Pérez-Alfocea, F. (2023). Bumblebees sense rootstock-mediated nutrition and fertilization regime in tomato. *Plant and Soil*, (486), 293–306.

<https://doi.org/10.1007/s11104-023-05868-0>

Meyer-Rochow, V. B. (2019). Eyes and vision of the bumblebee: a brief review on how bumblebees detect and perceive flowers. *Journal of Apiculture*, (34), 107-115.

<https://doi.org/10.17519/apiculture.2019.06.34.2.107>

Migdal, P., Bieńkowski, P., Cebrat, M., Berbeć, E., Plotnik, M., Murawska, A., Przemysław Sobkiewicz, P., Łaskiewicz, A. & Latarowski, K. (2023). Exposure to a 900 MHz electromagnetic field induces a response of the honey bee organism on the level of enzyme activity and the expression of stress-related genes. *PloS one*, (18). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0285522>

Molina-Montenegro, M. A., Acuña-Rodríguez, I. S., Ballesteros, G. I., Baldelomar, M., Torres-Díaz, C., Broitman, B. R., & Vázquez, D. P. (2023). Electromagnetic fields disrupt the pollination service by honeybees. *Science advances*, (9). <https://doi.org/10.1126/sciadv.adh1455>

Nayak, R. K., Rana, K., Bairwa, V. K., Singh, P., & Bharthi, V. D. (2020). A review on role of bumblebee pollination in fruits and vegetables. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, (9), 1328-1334.

<https://doi.org/10.22271/phyto.2020.v9.i3v.11494>

Nicola, S., & Pignata, G. (2017). 9. Profitability, marketing, and vegetable loss and waste. Good Agricultural Practices for greenhouse vegetable production in the South East European countries - Principles for sustainable intensification of smallholder farms. Plant production and protection paper, (230), 245–267.

https://www.researchgate.net/publication/317180515_Profitability_marketing_and_vegetable_loss_and_waste

Nikku, K. (2022). Kimalaisten (Bombus) lajiston ja populaatiokokojen arviointi linjalaskentamenetelmällä. Pro Gradu. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:juu-202204082213>

Ozols, N., Gailis, J., Jakobija, I., Jaško, J., & Zagorska, V. (2022). Bumblebee pollination activity in a commercial tomato greenhouse during the winter season. *Rural Sustainability Research*, (48), 45-53.

<https://doi.org/10.2478/plua-2022-0015>

Parkkinen, S., Paukkunen, J. & Teräs, I. (2022). *Suomen kimalaiset*. (3. Painos). Docendo.

Royal Brinkman (n.d.) Bumblebee hive. Haettu 22.4.2025 osoitteesta: <https://royalbrinkman.com/crop-protection-disinfection/biological-crop-protection/bumblebee-hives/bumblebee-hive-210205210>

Runkle, E. (2017). *Michigan State University, MSU Extension*. Growing Plants with Green Light. Haettu 24.4.2025 osoitteesta: <https://www.canr.msu.edu/resources/growing-plants-with-green-light>

Shepherd, S., Lima, M. A. P., Oliveira, E. E., Sharkh, S. M., Jackson, C. W., & Newland, P. L. (2018). Extremely low frequency electromagnetic fields impair the cognitive and motor abilities of honey bees. *Scientific reports*, (8), 1–9. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-26185-y>

Signify (2015) Philips GreenPower LED toplighting.

https://www.assets.signify.com/is/content/PhilipsConsumer/PDFDownloads/Global/Horticulture/ODLI20160825_001-UPD-en_AA-PHIL_153723_CL_toplighting_EN_INT_V1_A02.pdf

Spaethe, J., & Chittka, L. (2003). Interindividual variation of eye optics and single object resolution in bumblebees. *Journal of Experimental Biology*, (206), 3447–3453. <https://doi.org/10.1242/jeb.00570>

Thill, A., Cammaerts, M-C. & Balmori, A. (2023) Biological effects of electromagnetic fields on insects: a systematic review and meta-analysis. *Reviews on Environmental Health*, (39).

<https://doi.org/10.1515/reveh-2023-0072>

Treder, M., Müller, M., Fellner, L., Traynor, K., & Rosenkranz, P. (2023). Defined exposure of honey bee colonies to simulated radiofrequency electromagnetic fields (RF-EMF): Negative effects on the homing ability, but not on brood development or longevity. *Science of The Total Environment*, (896).

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.165211>

Valoya. (n.d.-a). Valoya's Horticultural LED Lights Enable Pollinator Bees to Operate without Natural Light. Haettu 20.1.2025 osoitteesta: <https://www.valoya.com/valoyas-horticultural-led-lights-enable-pollinator-bees-to-operate-without-natural-light/>

Valoya (n.d.-b) Valoya's spectra. Haettu 20.1.2025 osoitteesta: <https://www.valoya.com/spectra/>

van der Kooi, C. J., Dyer, A. G., Kevan, P. G., & Lunau, K. (2019). Functional significance of the optical properties of flowers for visual signaling. *Annals of Botany*, (123), 263-276.

<https://doi.org/10.1093/aob/mcy119>

Vries, L., van Langevelde, F., van Dooremalen, C., Kornegoor, I., Lankheet, M., van Leeuwen, J., Naguib, M. & Muijres, F. (2020). Bumblebees land remarkably well in red–blue greenhouse LED light conditions. *Biology Open* (9) <https://doi.org/10.1242/bio.046730>

Whittington, R., & Winston, M. L. (2003). Are bumble bee colonies in tomato greenhouses obtaining adequate nutrition? *The Canadian Entomologist*, (135), 883-892. <https://doi.org/10.4039/N02-121>

Yoon, H. J., Kim, S. E., & Kim, Y. S. (2002). Temperature and humidity favorable for colony development of the indoor-reared bumblebee, *Bombus ignitus*. *Applied Entomology and Zoology*, (37), 419–423.

<https://doi.org/10.1303/aez.2002.419>

HAASTATTELUKYSYMYKSET (LED)

PERUSTIEDOT

1. Haastateltavan nimi ja titteli
2. Kasvihuoneen perustiedot (pinta-ala, toiminnan ikä yms.)
3. Tomaatinviljelyn perustiedot (pinta-ala, toiminnan ikä, lajikkeet yms.)
4. Kimalaisten käytön perustiedot (mistä tilaavat, kauan käytetty?)

TEKNISET TIEDOT

5. Onko hybridi vai vaihdettu täysin LED?
6. Milloin muutos on tehty?
7. Syy vaihtoon?
8. Mitkä valot ovat käytössä?
9. Valon spektrit (jos tiedossa)?
10. Valon teho?

VALOTUKSESTA

11. Valotusajanjakso/valotusrytmi?
12. Onko valotusrytmiyksessä tehty muutoksia käyttöönoton jälkeen?

KIMALAISISTA

13. Mihin aikaan valotukseen nähden kimalaiset ovat lennossa?
14. Onko kimalaisten käytös muuttunut sen jälkeen, kun siirrytte led-valotukseen tai hybridivalotukseen?
15. Onko ollut haasteita kimalaisten kanssa tietyissä olosuhteissa tai kasvukauden vaiheissa?
16. Hakeutuvatko kimalaiset LED-valoihin samalla tavalla kuin HPS-valoihin?
17. Onko kosteuden muuttuessa havaittu muutosta kimalaisissa?
18. Seurataanko kimalaisten toimintaa säännöllisesti ja jos seurataan, niin miten?

19. Kuinka monta pesää on pölytystyössä per 1 000m² (Vaihtoehtoisesti kuinka monta pesää käytetään kerralla)

20. Kuinka usein pesät vaihdetaan?

21. JOS HYBRIDI – ja pelkät LED-valot käytössä, lentävätkö kimalaiset silloin?

MUUTOKSET

22. Miten muutos suurpainenatriumlampuista hybridivalotukseen tai pelkästään led valotukseen on vaikuttanut kosteuteen ja lämpötilaan?

23. Onko LED-valot vaikuttaneet mitenkään siitepölyn irtoamiseen?

24. Onko sadon määrä ja laatu muuttunut muutoksen seurauksena?

25. Mitkä ovat ylipäättänsä olleet haasteet LED-valoihin vaihtaessa?

26. Onko muita tekijöitä, jotka ovat voineet aiheuttaa ongelmia (esim. uusi kasvualusta jne.)?

Suomen Mehiläishoitajainliiton kysymykset

1. Minkälainen suhtautuminen kotimaisiin kimalaisiin, onko mitään odotuksia

2. Oletko ollut tyytyväinen ostokimalaisiin?

3. Jos olet kohdannut ongelmia kimalaisten kanssa, millaisia ongelmat ovat olleet? Voit vastata esimerkiksi kimalaisten laadun, logistiikan ja käyttökokemuksen kannalta.

4. Montako ostokimalaispesää käytät vuodessa? Jos vuosien välillä on vaihtelua, voit ilmaista vaihteluvälin tai kertoa tarkempia vuosittaisia lukuja.

5. Olisitko halukas tai kiinnostunut käyttämään kotimaisia kimalaisia pölyttäjinä, jos kotimaista kimalaistuotantoa olisi?

6. Kuinka paljon olisit valmis maksamaan kotimaisesta kimalaispesästä?

7. Mitä kotimaisuus merkitsee sinulle?

HAASTATTELUKYSYMYKSET (HPS)

PERUSTIEDOT

1. Haastateltavan nimi ja titteli
2. Kasvihuoneen perustiedot (pinta-ala, toiminnan ikä yms.)
3. Tomaatinviljelyn perustiedot (pinta-ala, toiminnan ikä, lajikkeet yms.)
4. Kimalaisten käytön perustiedot (mistä tilaavat, kauan käytetty?)

TEKNISET TIEDOT

5. Mitkä valot ovat käytössä?
6. Valon spektrit (jos tiedossa)?
7. Valon teho?

VALOTUKSESTA

8. Valotusajanjakso/valotusrytmi?
9. Onko valotusrytmyksessä tehty muutoksia käyttöönoton jälkeen?

KIMALAISISTA

10. Mihin aikaan valotukseen nähden kimalaiset ovat lennossa?
11. Onko ollut haasteita kimalaisten kanssa tietyissä olosuhteissa tai kasvukauden vaiheissa?
12. Onko kosteuden muuttuessa havaittu muutosta kimalaisissa?
13. Seurataanko kimalaisten toimintaa säännöllisesti ja jos seurataan, niin miten?
14. Kuinka monta pesää on pölytystyössä per 1 000m² (Vaihtoehtoisesti kuinka monta pesää käytetään kerralla)
15. Kuinka usein pesät vaihdetaan?
16. Onko muita tekijöitä, jotka ovat voineet aiheuttaa ongelmia (esim. uusi kasvualusta jne.)?

Suomen Mehiläishoitajainliiton kysymykset

1. Minkälainen suhtautuminen kotimaisiin kimalaisiin, onko mitään odotuksia
2. Oletko ollut tyytyväinen ostokimalaisiin?
3. Jos olet kohdannut ongelmia kimalaisten kanssa, millaisia ongelmat ovat olleet? Voit vastata esimerkiksi kimalaisten laadun, logistiikan ja käyttökokemuksen kannalta.
4. Montako ostokimalaispesää käytät vuodessa? Jos vuosien välillä on vaihtelua, voit ilmaista vaihteluvälin tai kertoa tarkempia vuosittaisia lukuja.
5. Olisitko halukas tai kiinnostunut käyttämään kotimaisia kimalaisia pölyttäjinä, jos kotimaista kimalaistuotantoa olisi?
6. Kuinka paljon olisit valmis maksamaan kotimaisesta kimalaispesästä?
7. Mitä kotimaisuus merkitsee sinulle?