



Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 14/2021

Insektisidiruiskutusten vaikutuksista peltoympäristön pölyttäjiin

PIENPÖLY-hanke

Jarmo Ketola, Lotta Kaila, Elena Rosa, Sakari Raiskio, Katri Siimes
ja Kati Hakala

Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 14/2021

Insektisidiruiskutusten vaikutuksista peltoympäristön pölyttäjiin

PIENPÖLY-hanke

Jarmo Ketola, Lotta Kaila, Elena Rosa, Sakari Raiskio, Katri Siimes ja Kati Hakala

Viittausohje:

Ketola, J., Kaila, L., Rosa, E., Raiskio, S., Siimes, K. & Hakala, K. 2021. Insektisidiruiskutusten vaikutuksista peltoympäristön pölyttäjiin : Pienpöly-hanke. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 14/2021. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 71 s.

Viittausohje yksittäiseen artikkeliin:

Laitinen, P. & Mattsoff, L. 2021. Kasvinsuojeluaineiden käyttö Suomessa. Julkaisussa: Ketola, J., Kaila, L., Rosa, E., Raiskio, S., Siimes, K & Hakala, K. Insektisidiruiskutusten vaikutuksista peltoympäristön pölyttäjiin : Pienpöly-hanke. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 14/2021. Luonnonvarakeskus. Helsinki. s. 8–16.

Jarmo Ketola, ORCID ID, <https://orcid.org/000-0001-8833-364>

2. Korjattu painos. 8.3.2021



ISBN 978-952-380-167-7 (Verkkójulkaisu)

ISSN 2342-7639 (Verkkójulkaisu)

URN <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-167-7>

Copyright: Luonnonvarakeskus (Luke)

Kirjoittajat: Jarmo Ketola, Lotta Kaila, Elena Rosa, Sakari Raiskio, Katri Siimes ja Kati Hakala

Julkaisija ja kustantaja: Luonnonvarakeskus (Luke), Helsinki 2021

Julkaisuvuosi: 2021

Kannen kuva: Sakari Raiskio

Tiivistelmä

Jarmo Ketola¹, Lotta Kaila^{1, 2}, Elena Rosa¹, Sakari Raiskio¹, Katri Siimes³ ja Kati Hakala⁴

¹Luonnonvarakeskus, Latokartanonkaari 9, 00790 Helsinki

²Helsingin yliopisto Latokartanonkaari 7, 00790 Helsinki;

³Suomen Ympäristökeskus, Latokartanonkaari 11, 00790 Helsinki;

⁴Ruokavirasto, Mustialankatu 3, 00790 Helsinki

Hyönteisten merkitys pölyttäjinä ja ruokaturvan varmistajina on kiistanon. Suuri osa maapallon tärkeimpien ravintokasvien sadosta hyötyy eläinpölytyksestä. Hyönteiset ovat lajimäärältään suurin biologinen luokka. Jotkin hyönteislajit runsain määrin esiintyessään voivat olla viljelykasveja ja niiden sadonmuodostusta haittaavia, jolloin ne ovat tuohyönteisiä. Silloin ne ovat kasvintuhoojia kuten kasvitaudit ja rikkakasvit. Useista varotoimista huolimatta tuohyönteisten kemiallinen torjunta aiheuttaa usein riskiä ja suoraa sekä välillistä altistumista myös monille pellon ja peltoympäristön hyönteisille kuten pölyttäjille.

Ympäristöministeriön rahoittamassa hankkeessa pureuduimme yhteen tunnistettuun pölyttäjäkantojen vähenemisen syyhyn: kemiallisiin kasvinsuojeluaineisiin. Hankkeemme tavoitteena oli tutkia lambda-syhalotriini –nimisen insektisidin (tuohyönteisten torjuntaan käytetty kasvinsuojeluaine) jäämiä tarhamehiläisen keräämässä siitepölyssä ja läheisessä vesistössä. Ruis-kutukset tehtiin Turvallisuus- ja kemikaaliviraston hyväksymien käyttöohjeiden mukaan. Teimme tutkimuksen kahdella öljykasvilohkolla ja kahdella kuminalohkolla, joiden välittömään läheisyyteen asetimme kaksi tarhamehiläispesää. Analysoimme kasvinsuojeluaineiden jäämät tarhamehiläisten keräämästä siitepölystä, jota otimme näytteeksi kasvinsuojeluainekäsittelyn jälkeisinä päivinä. Lisäksi otimme yhden lohkon läheisestä vesistöstä vesinäytteitä, joista tutkimme kasvinsuojeluaineet. Hankkeemme tulosten perusteella lambda-syhalotriinin pitoisuus siitepölyssä jäi koepelloillamme pölyttäjiä turvalliselle tasolle. Havaitimme kuitenkin siitepölyssä korkeita pitoisuuksia koepeltojemme ulkopuolella käytettyä tiaklopridi-nimistä insektisidiä. Kyseisellä pitoisuudella on saattanut olla välittömästi tappavaa annosta pienempiä vaikutuksia eli kroonisia ja subletaaleja vaikutuksia siitepölyä syöneisiin tarhamehiläisiin ja mahdollisesti myös muihin pölyttäjiin. Kasvinsuojeluaineiden kroonisia ja subletaaleja vaikutuksia, kuten esimerkiksi heikentynyttä ruoanhankintakykyä, on kuitenkin tutkittu vähän. Krooninen ja subletaali altistuminen kasvinsuojeluaineille saattaa välillisesti heikentää pölyttäjäkantoja, vaikka pölyttäjät eivät välittömästi kuolisikaan.

Varsinaisen tutkimuskokonaisuuden lisäksi tuotimme tähän raporttiin taustatietoa kasvinsuojeluaineiden käyttömääristä Suomessa, kasvinsuojeluaineiden riskinarviointi- ja hallintatoimenpiteistä sekä pölyttäjien altistumisreiteistä kasvinsuojeluaineille. Näiden kokonaisuuksien kirjoittajat on mainittu erikseen kyseisten kappaleiden alussa aihealueen asiantuntijoina. Lopuksi koostimme selkeitä toimenpidesuosituksia, joiden avulla paikattaisiin akuutteja tiedonpuutteita torjunta-aineiden käytössä ja niiden vaikutusten seurannassa.

Asiasanat: Torjunta-aineet, tuohyönteiset, torjunta-ainejäämät, pölyttäjät, tarhamehiläinen, rapsi, kumina, vesianalyysi

Abstract

Jarmo Ketola¹, Lotta Kaila^{1, 2}, Elena Rosa¹, Sakari Raisio¹, Katri Siimes³ and Kati Hakala⁴

¹Natural Resources Institute Finland (Luke), Latokartanonkaari 9, FI-00790 Helsinki;

²University of Helsinki, Latokartanonkaari 7, FI-00790 Helsinki;

³Finnish Environment Institute, Latokartanonkaari 11, FI-00790 Helsinki;

⁴Finnish Food Authority, Mustialankatu 3, FI-00790 Helsinki

The importance of insects as pollinators and food security providers is undeniable. Much of the crop of the earth's most important food crops benefits from animal pollination. Insects are the largest biological class in terms of species, and at least thousands of different species of insects are known in Finland as well. Some insect species, when present in abundance, can be detrimental to crops and their crop formation, making them insect pests along with other pests such as plant diseases and weeds. Despite several precautions, chemical pest control often poses a risk and direct and indirect exposure to many field and field insects, such as pollinators. In a project funded by the Ministry of the Environment, we addressed one identified cause of the decline in pollinator strains: chemical plant protection products. The aim of our project was to study the residues of an insecticide called lambda-cyhalothrin (a plant protection product used to control insect pests) in pollen collected by a honeybee and in a nearby body of water. The injections were performed according to the instructions approved by the Finnish Safety and Chemicals Agency. We conducted the study on two oilseed rape fields and two caraway fields, in the immediate vicinity of which we placed two beehives. We analyzed residues of plant protection products from pollen collected by honeybees, which we sampled in the days after plant protection product treatment. In addition, we took water samples from the water body near one field, from which we examined plant protection products. Based on the results of our project, the concentration of lambda-cyhalothrin in pollen remained at a safe level for our pollinators in our test fields. However, we found high concentrations of an insecticide called thiacloprid used in pollen outside our experimental fields. This concentration may have had less than immediate lethal effects, i.e. chronic and sublethal effects on pollen-eating honeybees and possibly other pollinators. However, the chronic and sublethal effects of plant protection products, such as impaired food supply, have been little studied. Chronic and sublethal exposure to plant protection products may indirectly impair pollinator strains, even in the absence of immediate death. In addition to the actual research unit, we provided background information for this report on the amounts of plant protection products used in Finland, the risk assessment and management measures for plant protection products, and the routes of exposure of pollinators to plant protection products. The authors of these ensembles are mentioned separately at the beginning of these paragraphs as experts in the field.

Key words: Plant protection products, insect pests, pesticide residues, pollinators, honeybees, rapeseed, caraway, water analysis

Sisällys

Tiivistelmä.....	3
Abstract.....	4
1. Pienpöly-hankkeen tausta.....	7
1.1. Johdanto hankkeen merkityksestä pölyttäjien suojelussa.....	7
1.2. Kasvinsuojeluaineiden käyttö Suomessa.....	8
1.3. Pölyttäjien altistumisreitit kasvinsuojeluaineille.....	16
1.3.1. Tarhamehiläisten elintavat ja ravinnon vaikutus altistumiseen.....	17
1.3.2. Kontukimalaisten käyttäytyminen ja ravinnon vaikutus altistumiseen.....	18
1.3.3. Erakkomehiläisen käyttäytyminen ja ravinnon vaikutus altistumiseen.....	18
1.3.4. Muiden pölyttäjärühmien käyttäytyminen ja ravinnon vaikutus altistumiseen.....	19
2. Hankkeen tavoitteet.....	21
3. Kenttäkokeet.....	22
3.1. Koelohkot.....	22
3.2. Tutkimuksessa käytetyt mehiläisyhteiskunnat.....	22
3.3. Koekäsittelyt.....	23
3.4. Näytteiden otto.....	23
3.4.1. Siitepölynäytteet.....	23
3.4.2. Haavintänäytteet.....	24
3.4.3. Pintavesinäytteet.....	25
3.5. Näytteiden analysointi.....	26
3.5.1. Siitepölynäytteiden alkuperän tunnistaminen.....	26
3.5.2. Siitepölyjen kasvinsuojeluainejäämät.....	27
3.5.3. Pintavesien kasvinsuojeluainejäämät.....	27
4. Kokeiden tulokset.....	28
4.1. Kasvinsuojeluainejäämät mehiläisten keräämässä siitepölyssä.....	28
4.2. Pölyttäjien määrät koelohkoilla.....	35
4.3. Siitepölyjen alkuperä koelohkojen mehiläispesissä.....	40
4.4. Kasvinsuojeluainejäämät pintavedessä.....	47
4.4.1. Vesinäytteistä havaitut aineet.....	47
4.4.2. Havaittujen pitoisuuksien haitallisuus.....	50
5. Johtopäätökset.....	51
6. Toimenpidesuosituksset.....	53

7. Kiitokset.....	55
Viitteet.....	56
Liitteet.....	63

1. Pienpöly-hankkeen tausta

1.1. Johdanto hankkeen merkityksestä pölyttäjien suojelussa

Pölyttäjien merkitys ruuantuotannossa on kiistanalainen. IBPES-raportin (2016) mukaan lähes 90 % kukkakasveista tarvitsee pölyttäjiä ja yli 75 % maapallon tärkeimmistä ravintokasveista on sadon määrän ja/tai sadon laadun suhteen riippuvaisia tai hyötyvät eläinpölytyksestä. Tutkimustulokset ja havainnot kuitenkin kertovat ongelmista pölyttäjien esiintymisessä ja pölyttäjälajien vähentymisestä viime vuosikymmenien aikana.

Hyönteiset on lajimäärältään suurin biologinen luokka. Jotkin hyönteislajit avomaalla kuten pelloilla ja puutarhoissa sekä kasvihuoneissa runsain määrin esiintyessään haittaavat viljelykasvien kasvua, jolloin ne ovat niin sanottuja tuhohyönteisiä. Niiden ohella muita kasvintuhoojia ovat kasvitautit ja rikkakasvit, jotka vähentävät sadon määrää ja heikentävät sen laatua toisinaan merkittävästikin. Kasvintuhoojien tuho vaikutusten ehkäisemiseksi tarvitaan kasvinsuojelua. Sadon turvaamiseksi kasvintuhoojia vastaan käytetään moninaisia torjuntakeinoja, kuten biologisia, kemiallisia ja mekaanisia menetelmiä. Kasvinsuojelun tavoitteena on turvata kasvien sato, jolloin hyvän sadon ohella esimerkiksi ravinteita pääsee vesistöihin mahdollisimman vähän, koska kasvi hyvin kasvaessaan pystyy aineenvaihduntansa kautta sitomaan viljelymaasta ravinteita mahdollisimman tehokkaasti. Kasvinsuojelun varotoimista huolimatta tuhohyönteisten kemiallinen torjunta voi aiheuttaa suoraa tai välillistä riskiä ja haittaa monille pellon ja peltoympäristön viljelykasvin hyönteisille kuten pölyttäjille.

Yksi pölyttäjiä uhkaava asia on pelloilla ja puutarhoissa tehdyt kemialliset kasvinsuojeluainekuukaudet (IPBES 2016). Kasvinsuojeluaineiden pakkausselosteissa on annettu käyttäjiä sitovat ohjeet aineiden turvalliseen käyttöön. Ohjeita annetaan myös tarhamehiläisten suojelemiseksi, jos kyseinen aine on arvioitu tarhamehiläisille haitalliseksi. Varotoimenpiteistä huolimatta yksittäisiä kasvinsuojeluaineiden aiheuttamia laajoja tarhamehiläiskuolemia on tullut Turvallisuus- ja kemikaaliviraston (Tukes) tietoon vuosina 2015 ja 2017. Lisäksi hiljattain julkaistu ranskalaistutkimus maaperän kasvinsuojeluainejäämistä osoittaa, että riskinarviointi ei aina ole pettämätön (Pelosi ym. 2020). Kyseisessä tutkimuksessa havaittiin useamman tehoaineen pitoisuuksien olevan maaperässä korkeammat kuin viranomaisten riskinarviointien perusteella pitäisi olla.

Tutkimusta pölyttäjien altistumisesta kasvinsuojeluaineille on tehty Suomessa vasta vähän. Maassamme on tehty vain yksi aiheeseen liittyvä tutkimus (Ketola ym. 2016). Kyseinen tutkimus rajautui neonikotinoidi-ryhmän kasvinsuojeluaineisiin ja yhteen pölyttäjälajiin, tarhamehiläiseen.

Tässä hankkeessa tutkimme synteettisten pyretroidien ryhmään kuuluvan lambda-syhalotriini-nimisen tehoaineen jäämiä tarhamehiläisten keräämässä siitepölyssä ja läheisessä vesistössä, kun tehoainetta sisältävää valmistetta käytettiin Tukesin hyväksymien käyttöohjeiden mukaan. Lambda-syhalotriinia käytetään tuhohyönteisiä vastaan silloin kun ne ovat kasvustossa. Öljykasveilla torjutaan rapsikuoriaista ja kuminalla vastaavasti kuminakoita. Molemmilla kasveilla ruiskutuksia voidaan tehdä vielä juuri ennen viljelykasvin kukinnan alkamista. Tällöin kukinnan läheisyys lisää myös pölyttäjien riskiä altistua kasvinsuojeluaineille etenkin, jos ruiskutettavan kasvin kukinta alkaa pian kasvinsuojeluruiskutuksen jälkeen.

Hankkeemme on ensimmäinen tutkimus Suomessa, joka selvittää kasvinsuojeluaineiden referenssitasoja siitepölyssä. Lisäksi hanke on ensimmäinen, joka huomioi kasvinsuojeluaineiden

ympäristöjäämien tutkimuksessa useamman ympäristötekijän tuomalla mukaan tutkimukseen pölyttäjien lisäksi kasvinsuojeluainejäämät läheisessä vesistössä. Aikaisemmin ei ole myöskään tarkasteltu, miten mehiläisten keräämän siitepölyn kasvilajisto vaikuttaa mehiläisten altistumiseen kasvinsuojeluaineille.

Hankkeemme vastaa osaltaan kasvinsuojeluaineisiin ja pölyttäjiin liittyvään tiedonpuutteeseen selvittämällä pölyttäjien altistumista kasvinsuojeluaineille. Lisäksi hankkeemme edistää tulevaa pölyttäjätutkimusta tuottamalla tietoa pölyttäjien altistumisesta kasvinsuojeluaineille ja uusia menetelmiä aiheen tutkimiseksi. Tunnistamamme haasteet ja pullonkaulat kasvinsuojeluaineiden ympäristöjäämien ja pölyttäjien tutkimuksessa auttavat kohdentamaan toimenpiteitä kattavien pölyttäjätutkimusten suorittamiseksi.

Hanke jatkaa vuonna 2018 tekemäämme ympäristöministeriön rahoittamaa esitutkimusta. Julkaisemme vuoden 2020 tulokset tieteellisenä artikkelina, joka on osa aiheeseen liittyvää väitöskirjaa tekevän Helsingin yliopiston Lotta Kailan tutkimusta. Pienpöly-hankkeen on rahoittanut Suomen ympäristöministeriö.

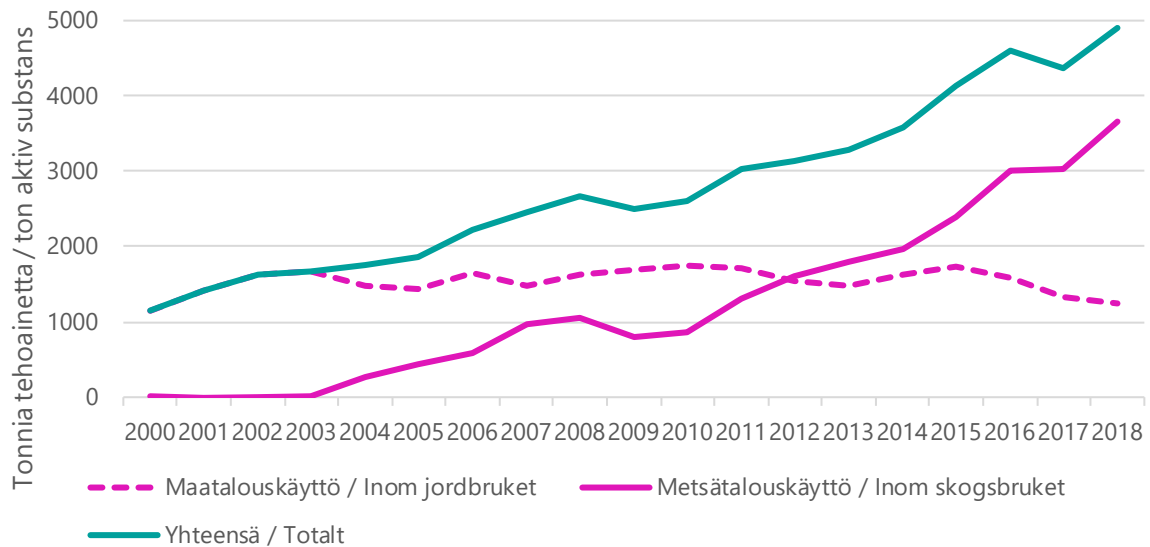
1.2. Kasvinsuojeluaineiden käyttö Suomessa

Pauliina Laitinen ja Leona Mattsoff, Turvallisuus ja kemikaalivirasto (Tukes)

Kasvinsuojeluaineiden myynti maatalouskäyttöön Suomessa on viime vuosina tasoittunut reiluun 1500 tehoainetoniin (Kuva 1). Kasvinsuojeluaineiden metsätalouskäyttö sen sijaan on kasvussa, sillä urean käyttö juurikäävän torjunnassa nostaa myyntilukuja. Hakkuiden yhteydessä havupuiden kannot käsitellään urealla. Käsitelty kantopinta tuskin houkuttelee pölyttäjiä eikä urea-almisteiden riskinarvioinnissa ole todettu haittavaikutuksia pölyttäjiin, joten tässä yhteydessä ei tarkastella urean käyttömääriä sen tarkemmin. Tukes kerää myyntimäärätiedot kaikilta kasvinsuojeluaineiden myyntilupien haltijoilta vuosittain ja julkaisee ne nettisivuillaan.

Suomessa kasvinsuojeluaineiden maatalouskäyttö on maltillista verrattuna useisiin muihin EU-jäsenmaihin. Maa- ja puutarhatalouskäytössä olevien aineiden myyntimäärät peltohehtaaria kohti ovat alhaisimmasta päästä, noin 0,6 kg tehoainetta / ha. Suurimmalla osalla jäsenmaista myyntimäärä on alle 3 kg tehoainetta / ha, mutta enimmillään jopa 9 kg tehoainetta / ha. Tiedot käyvät ilmi [Luken julkaisemista](#) kasvinsuojeluaineiden EU-tason myyntitilastoista (kg_{a.i.}) maatalouskäytössä olevaa peltopinta-alaa (ha) kohti.

Luke julkaisee viiden vuoden välein [kasvinsuojeluaineiden todelliset käyttömäärät](#) merkittävimmiltä viljelykasveilta. Tietoja on kerätty vuosina 2013 ja 2018. Viiden vuoden välein tehtävässä tilastoinnissa vuosittaiset vaihtelut vaikuttavat voimakkaasti kasvikohtaisiin käyttömääriin, joten käyttömääriä koskevien johtopäätöksiä tekeminen vaatii pidemmän ajanjakson. Myös EU-tasolla jäsenmaakohtaisten käyttömäärien vertailua vaikeuttaa se, että jäsenmaat raportoivat tulokset viiden vuoden ajalta haluamanaan vuotena ja valitsemiltaan kasveilta.



Kuva 1. Kasvinsuojeluaineiden myynti Suomessa maa- ja metsätaloudessa 2000–2018.

Tavoitteena vähentää kasvinsuojeluaineiden käyttöä

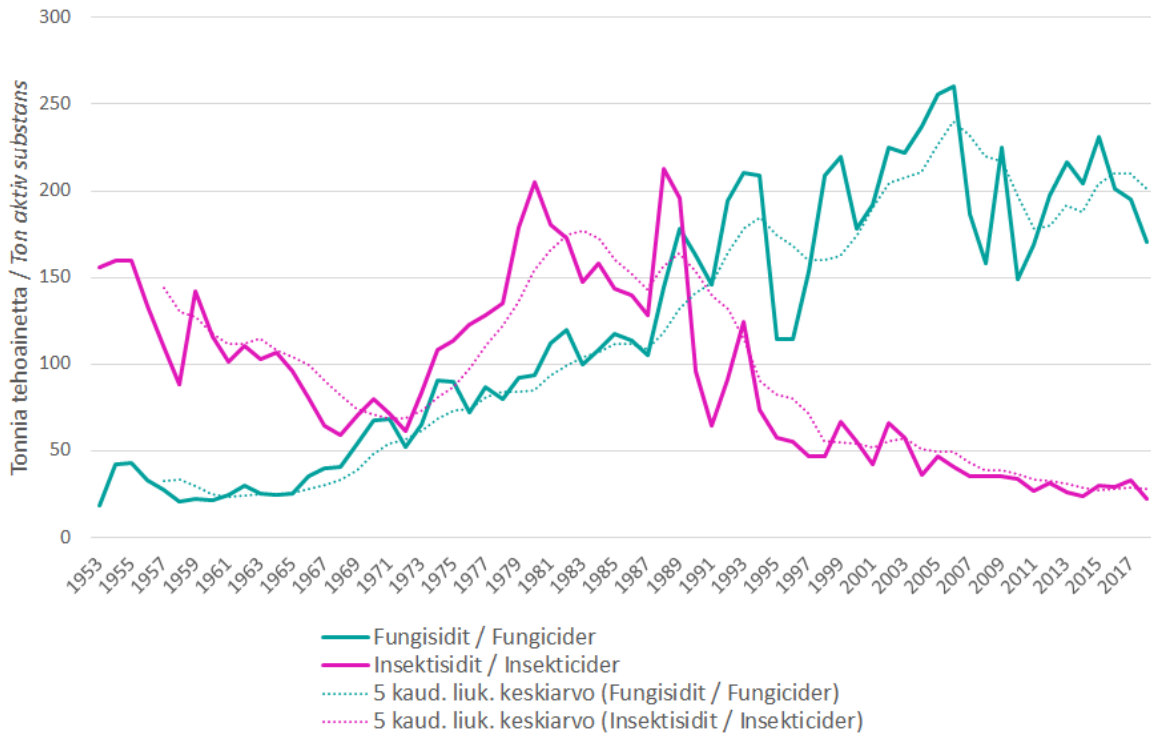
EU-tason Pelloilta Pöytään ja Biodiversiteetti -strategioiden yhtenä tavoitteena on **vähentää** kemiallisten torjunta-aineiden käyttöä ja niiden aiheuttamaa riskiä **50 %** vuoteen 2030 mennessä. EU-tilastoissa ei toistaiseksi eritellä kasvinsuojeluaineiden maa- ja metsätalouskäyttöä erikseen. Strategian käytännön toteutus on vielä työn alla. Tavoitteen saavuttamiseksi mm. uudistetaan torjunta-aineiden kestävän käytön puitedirektiivi ja tarkastellaan kasvinsuojeluaineiden käytön tilastointia.

Insektisidien myyntimäärä laskenut, fungisidien nousut

Pölyttäjille merkittävien insektisidien myyntimäärä vaihteli 1990-luvulle tultaessa voimakkaasti ja kääntyi sen jälkeen selvään laskuun (Kuva 2). Viimeisen kymmenen vuoden aikana insektisidien myyntimäärä on tasoittunut noin 25 tehoainetoniin. Myyntimäärän laskua selittää monet tekijät, mm. käytettävissä oleva tehoainevalikoiman kaventuminen, käyttömäärien pienentyminen, ruiskutusten tarpeenmukaisuuden arviointi ja muutokset viljeltyjen kasvinen pinta-aloissa. Kasvintuhoojille on kehittynyt myös kasvinsuojeluaineita kestäviä kantoja, mikä voi johtaa kasvinsuojeluaineiden käytön lisääntymiseen, ellei vaihtoehtoisia torjuntamenetelmiä ole tarjolla.

Fungisidien myyntimäärä sen sijaan on nousujohteinen vuodesta 1953 alkaen ja tasoittuu 1990-luvun alkupuolelta alkaen parinsadan tehoainetonnin tuntumaan. Fungisidivalikoima on kasvanut 1980-luvulta eteenpäin. Samaan aikaan kasvitauteja esiintyy aiempaa enemmän esimerkiksi viljoilla (Jalli ym. 2011).

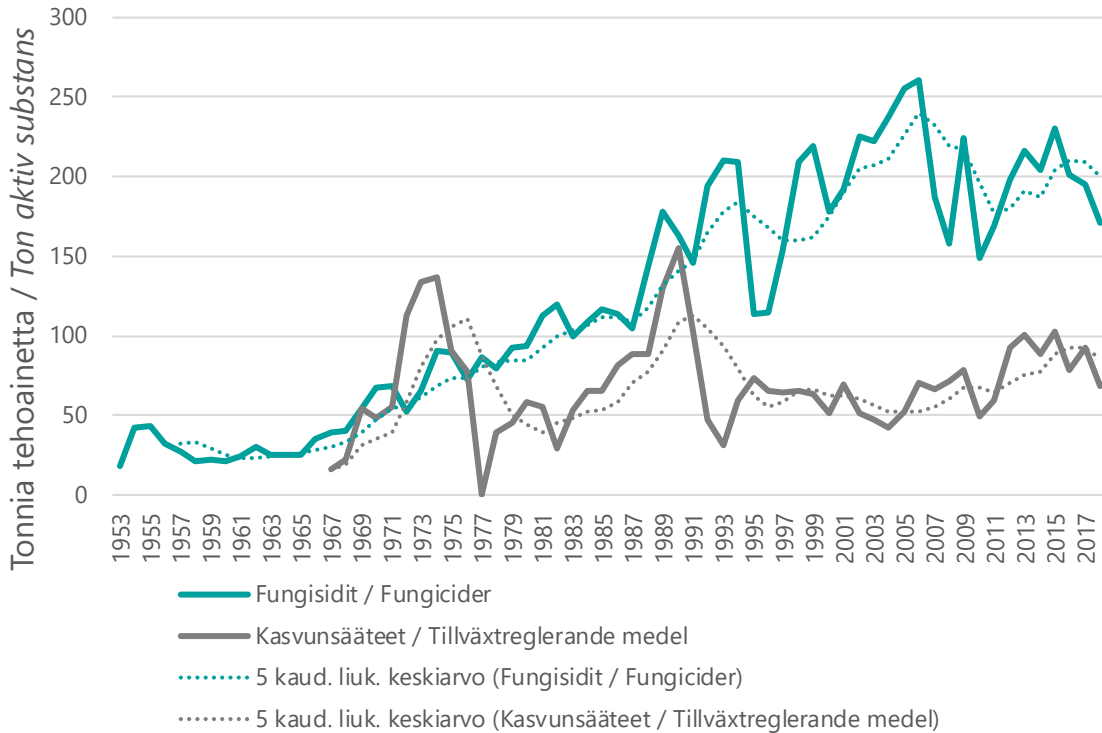
Maa- ja puutarhataloudessa käytettävien insektisidien ja fungisidien myynti Suomessa
 / Försäljning av insekticider och fungicider som används inom jordbruket och
 trädgårdsbranschen i Finland
 1953 - 2018



Kuva 2. Maa- ja puutarhataloudessa käytettävien insektisidien ja fungisidien myynti Suomessa 1953–2018.

Kasvien kasvua säätelevien kasvunsäätteiden myyntitilastot alkavat vuodesta 1967. Kuvassa 3 kasvunsäätteet esitetään fungisidien kanssa myyntimäärätason havainnollistamiseksi.

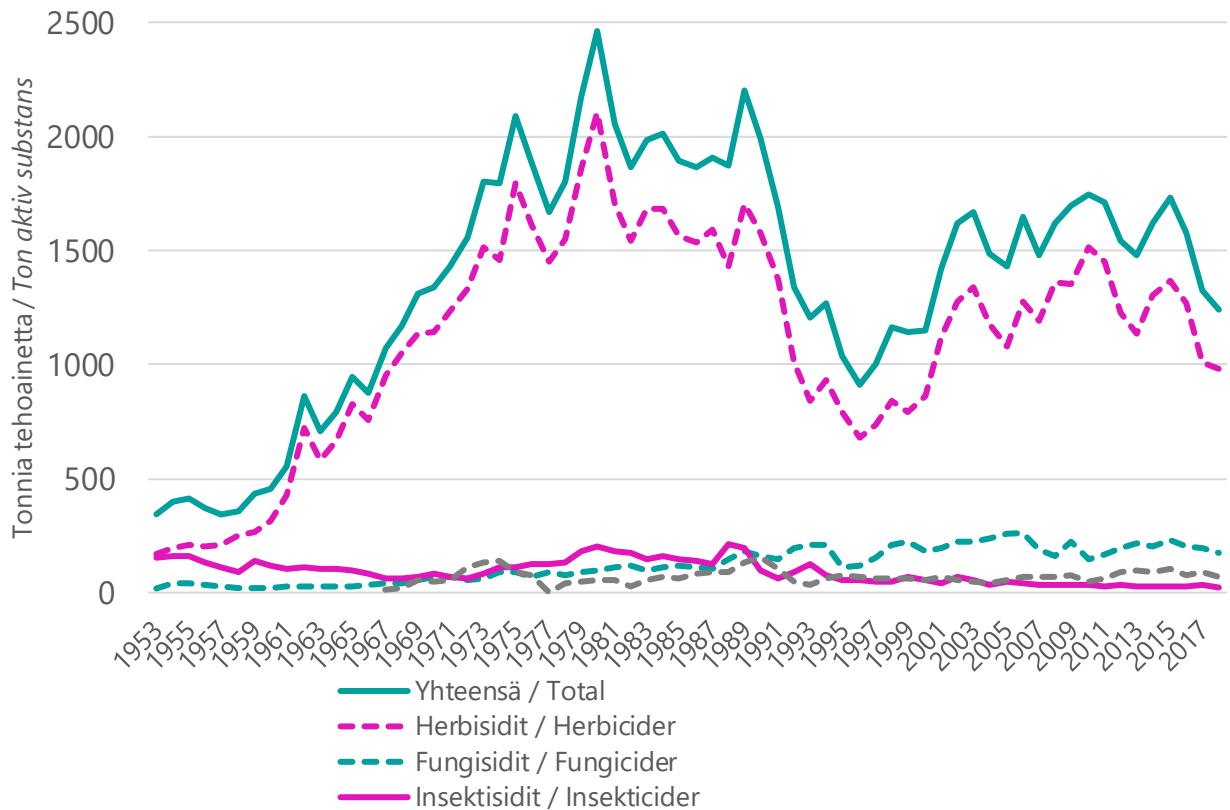
Maa- ja puutarhataloudessa käytettävien fungisidien ja kasvunsäätien myynti Suomessa / Försäljning av fungicider och tillväxtreglerande medel som används inom jordbruket och trädgårdsbranschen i Finland 1953–2018



Kuva 3. Maa- ja puutarhataloudessa käytettävien fungisidien ja kasvunsäätien myynti Suomessa 1953–2018.

Maa- ja puutarhatalouskäyttöön myytyjen kasvinsuojeluaineiden tilastoja on kerätty vuodesta 1953 lähtien (Kuva 4). Eniten myydään rikkakasvien torjunta-aineita eli herbisidejä. Niiden myyntimäärä on 75–80 % kokonaismyyntimäärästä. Korkeimmillaan kasvinsuojeluaineiden myyntimäärät olivat 1980-luvulla ja ne laskivat voimakkaasti 1990-luvulle tultaessa.

Maa- ja puutarhataloudessa käytettävien kasvinsuojeluaineiden myynti Suomessa / Försäljning av växtskyddsmedel som används inom jordbruket och trädgårdsbranschen i Finland 1953–2018

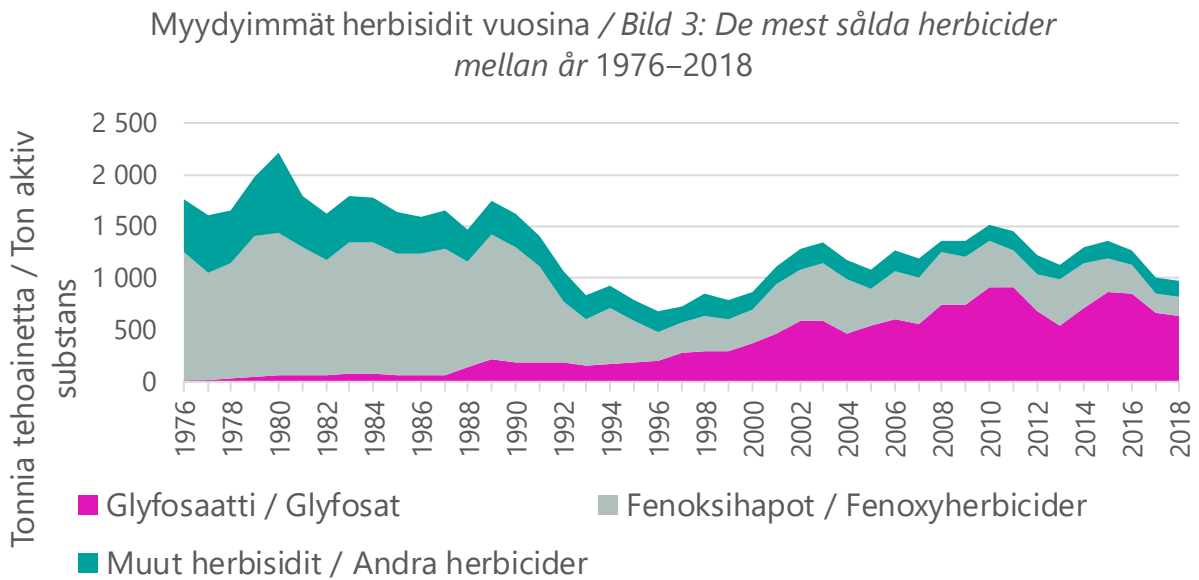


Kuva 4. Maa- ja puutarhataloudessa käytettävien kasvinsuojeluaineiden myynti Suomessa 1953–2018.

Yksi syy myyntimäärien laskuun 1990-luvulla löytyy herbisideistä. Fenoksihappoherbisidien tehoaineesta poistettiin rakenteeltaan hieman erilaiset isomeerit, joilla ei ollut tehoa rikkakasveihin (Kuva 4). Näin myyntimäärä ja samalla kemikaalikuorma käytännössä puolittui. Samoihin aikoihin luotiin ensimmäisiä tavoitteita kasvinsuojeluaineiden käytön vähentämiseksi. Lisäksi 1990-luvun alun lama ja EU:hun liittyminen toivat yleistä epävarmuutta, joka vähensi kasvinsuojeluaineiden käyttöä. Sittemmin myyntimäärät ovat asettuneet nykyiselle tasolle reiluun 1500 tehoainetoniin. Vuosittainen vaihtelu johtuu mm. sääolosuhteista ja sato-odotuksista.

Maatalouskäytössä glyfosaatti myyntitilastojen kärjessä

Maatalouskäyttöön myytyjen herbisidien kärkisijaa pitää glyfosaatti, jonka viime vuosien myyntimäärät ovat olleet 500–900 tehoainetonia. Glyfosaatti on maailmalla ja EU:ssa eniten käytetty herbisidi ja sitä on käytetty vuosikymmeniä. Glyfosaatin hyväksyminen EU:ssa on voimassa 15.12.2022 asti. Glyfosaatin käytöstä aiheutuvien riskien uudelleenarviointia tekevät yhteistyössä Ranska, Unkari, Alankomaat ja Ruotsi. Lisätietoja uudelleenarvioinnista on Euroopan Komission [nettisivuilla](#) englanniksi.



Kuva 5. Myydyimmät herbisidit vuosina 1976–2018.

Pölyttäjät kasvinsuojeluaineiden riskinarvioinnissa ja riskinhallintatoimenpiteet pölyttäjien suojelemiseksi

Kasvinsuojeluaineasetus (1107/2009/EY¹) edellyttää, että valmisteen hyväksymisen yhteydessä arvioidaan käytöstä aiheutuvat riskit mm. tarhamehiläisille. Asetuksen kohdassa 3.8.3 sanotaan, että tehoaine hyväksytään vain, jos yhteisön riskinarvioinnin tai kansainvälisten yleisohjeiden perusteella katsotaan, että tätä tehoainetta sisältävän kasvinsuojeluaineen käyttö ehdotetuissa käyttöolosuhteissa 1) johtaa tarhamehiläisten merkityksettömään altistumiseen, tai 2) ei kohdistu tarhamehiläisyhteiskunnan selviämiseen ja kehittymiseen kohtuuttomia akuutteja tai kroonisia vaikutuksia, mukaan lukien tarhamehiläisten toukkiin ja tarhamehiläisten käyttäytymiseen kohdistuvat vaikutukset.

Jo ennen 2009 annettua kasvinsuojeluaineasetusta ja asetuksen antamisen jälkeen pölyttäjäriskejä on arvioitu vain tarhamehiläisille komission ohjeen² mukaisesti. Riskit arvioidaan kaikille tehoaineille EU-tasolla ja valmisteille kansallisesti. Hakijan tulee toimittaa tehoaineen ja valmisteen hyväksymistä varten 48 h tunnin akuutit toksisuuskokeet, joissa altistus tapahtuu joko ravinnon kautta tai kosketusvaikutteisena. Mikäli käyttömäärän (g/ha) ja toksisuuden (µg/mehiläinen) riskisuhde (HQ=hazard quotient) ylittää hyväksymisasiasetuksen eli "Uniform principles" (EU/ 546/2011³) mukaisen raja-arvon 50, käytöstä aiheutuvat riskit tarhamehiläisille ylittyvät. Laboratoriokokeiden raja-arvo on validoitu kenttäkokeiden perusteella. Mikäli valmistetta haetaan kukkiville kasveille, hakija voi yrittää tarkentaa riskinarvioinnissa oletettua altistumista esim. mittaamalla tehoaineen pitoisuutta medestä ja siitepölystä, mutta toistaiseksi näitä

¹ EUROOPAN PARLAMENTIN JA NEUVOSTON ASETUS (EY) N:o 1107/2009, annettu 21 päivänä lokakuuta 2009, kasvinsuojeluaineiden markkinoille saattamisesta sekä neuvoston direktiivien 79/117/ETY ja 91/414/ETY kumoamisesta

² DRAFT Working Document Guidance Document on Terrestrial Ecotoxicology Under Council Directive 91/414/EEC. SANCO/10329/2002 rev 2 final 17 October 2002

³ KOMISSIION ASETUS (EU) N:o 546/2011, annettu 10 päivänä kesäkuuta 2011, Euroopan parlamentin ja neuvoston asetuksen (EY) N:o 1107/2009 täytäntöönpanosta kasvinsuojeluaineiden arvioimista ja hyväksymistä koskevien yhdenmukaisten periaatteiden osalta

tutkimuksia on tehty hyvin vähän. Yleensä hakija toimittaa tuloksia telta- (semifield) tai kenttäkokeista, joiden tarkoituksena on osoittaa, että valmisteen käyttö ei aiheuta pidempiaikaista riskiä mehiläisyhdyskunnan selviytymiselle normaalissa peltokäytössä. Telttakokeet tehdään yleensä tarhamehiläisiä houkuttelevilla kasveilla, hunajakukalla tai rapsilla. Kenttäkokeet voidaan tehdä edellä mainituilla kasveilla tai haetulla viljelykasvilla.

EFSA julkaisi uuden pölyttäjien riskinarviointiohjeen vuonna 2013⁴. Kehittämistyön sysäsi liikkeelle neonikotinoidi-ryhmään (nikotiinin synteettisiä johdannaisia) kuuluvista tehoaineista kertyvä tieteellinen näyttö, joka osoitti, että ympäristössä esiintyvillä pitoisuuksilla voi olla subletaaleja vaikutuksia mm. mehiläisten ravinnonhakuun, muistiin, oppimiseen ja tautialttiuteen. Neonikotinoidien käyttö oli lisääntynyt huomattavasti ja syrjäyttänyt muiden insektisidien käyttöä, koska neonikotinoidit eivät olleet yhtä myrkyllisiä selkärangkaisille kuin muut insektisidit. Pitää kuitenkin muistaa, että muillakin insektisideillä on haitallisia vaikutuksia mehiläisiin.

EFSan 2013 ohjeessa suojelun tavoitteeksi on asetettu pölytyspalvelu ja ohje kattaa tarhamehiläiset, kimalaiset ja erakkomehiläiset. EFSAn ohjeessa suojelutaso yhdistettiin mehiläisyhdyskunnan kokoon siten, että työläismehiläisten kuolleisuus ei saa ylittää 7 % tietyn ajanjakson aikana. Lisäksi tutkimusvaatimusasetuksia tehoaineille ((EU) No 283/2013)⁵ ja valmisteille (EU/284/2013)⁶ uudistettiin samalla niin, että kroonisista vaikutuksia aikuisiin (10 vrk) ja toukkien kehitykseen (22 vrk) selvittävät laboratorikokeet tulivat pakollisiksi. Ohjeen mukaan valmisteen vaikutuksia pölyttäjille arvioidaan altistumisesta käsitellystä kasvustosta, viereisellä pellolla olevasta viljelykasvista, rikkakasveista pellossa, kasveista pellon pientareilla sekä seuraavan vuoden viljelykasvista (tehoaineet saattavat hajota hitaasti maassa ja imeytyä kasviin seuraavana vuonna).

EFSan ohjetta ei ole kuitenkaan monista yrityksistä huolimatta saatu hyväksyttyä jäsenmaiden komiteassa (ScoPaff). Ohjetta valmisteltiin kovassa poliittisessa paineessa ja tämän takia suojelun taso asetettiin niin korkealle, että suurin osa tehoaineista (jopa vähän myrkylliset yhdisteet) ei läpäise ensivaiheen riskinarviointia eli laboratoriokevaihetta, jolloin niillä joudutaan tekemään laajat kenttäkokeet. Jos kenttäkokeen pitää erottaa >7 % vaikutus suhteessa kontrolliin, riittävän tilastollisen erottelukyvyn takaamiseksi kokeessa tarvitaan 196 mehiläispesää (28 peltoa, ≥ 4 km välimatkalla) /per tehoaine. Lisäksi kimalaisille ja erakkomehiläisille ei vielä ole olemassa standardoituja kenttäkoeohjeita. Näiden ongelmien vuoksi komissio on antanut vuonna 2019 EFSAlle mandaatin päivittää ohjetta.

Tänä vuonna jäsenmaat ovat sopineet, että suojelutaso asetetaan tarhamehiläisten yhdyskunnan koon satunnaisvaihtelun perusteella. Tätä satunnaisvaihtelua on mallinnettu BEEHAVE-mallilla, jonka EFSA on arvioinut ja katsonut riittävän luotettavaksi⁷. Vaihtelua on mallinnettu

⁴ EFSA Guidance Document on the risk assessment of plant protection products on bees (*Apis mellifera*, *Bombus* spp. and solitary bees). EFSA Journal 2013;11(7):3295.

⁵ COMMISSION REGULATION (EU) No 283/2013 of 1 March 2013 setting out the data requirements for active substances, in accordance with Regulation (EC) No 1107/2009 of the European Parliament and of the Council concerning the placing of plant protection products on the market

⁶ COMMISSION REGULATION (EU) No 284/2013 of 1 March 2013 setting out the data requirements for plant protection products, in accordance with Regulation (EC) No 1107/2009 of the European Parliament and of the Council concerning the placing of plant protection products on the market

⁷ Statement on the suitability of the BEEHAVE model for its potential use in a regulatory context and for the risk assessment of multiple stressors in honeybees at the landscape level. 25 June 2015. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2015.4125>

19 skenaariossa, joissa ilmasto ja muut parametrit vaihtelevat eri EU alueiden mukaisesti⁸. Seuraavaksi jäsenmaiden on tarkoitus päättää uudelleen suojelun tasosta, joka toimii kenttäkokeiden raja-arvona ja jonka avulla kalibroidaan laboratoriotestien tulkinnessa käytettävät raja-arvot. Vielä tässäkin vaiheessa EFSA:n uudistettavassa riskinarviointiohjeessa ei pystytä määrittämään suojelun tasoa kimalaisille ja erakkomehiläisille, koska tieteellinen tutkimus ei ole riittävää.

Koska EFSA:n ohjeen uudistaminen on kestänyt kauan, EU:n pohjoisella vyöhykkeellä päätettiin vuonna 2020 arvioida riskit myös mehiläisten kroonisten ja kimalaisten akuuttien tutkimusten perusteella. Hakija voi käyttää kroonisessa riskinarvioinnissa EFSA:n 2013 ohjetta tai EPPO⁹/ECPA 2017¹⁰ ohjetta. Vyöhykkeellä on myös kehitetty laskuri, joka perustuu ruiskutettavien valmisteiden osalta edellä mainittuun ECPA ohjeeseen ja siemenpeittausainekäsittelyssä EPPO ohjeeseen. Riskinarviointi tehdään vain viljelykasvilla, jossa altistuminen on suurinta.

Riskinhallintatoimenpiteet pölyttäjien suojelemiseksi ruiskutettavilla valmisteilla

Ruiskutettavien valmisteiden käytöstä mahdollisesti tarhamehiläisille aiheutuvia kohtuuttomia riskejä voidaan estää riskinhallintausekkeiden avulla. Jos ruiskutettavien valmisteiden akuutit tai krooniset riskit tarhamehiläisille tai akuutit riskit kimalaisille menevät läpi ensivaiheen riskinarvioinnissa eli laboratorioskokeiden perusteella, riskinhallintaa ei tarvita. Sen sijaan peittausaineina käytettävät systeemiset insektisidit kulkeutuvat meteen ja siitepölyyn ja siten riskinhallintaa esim. valmisteen käyttökielto tarhamehiläisten lentoaikana ei poista mahdollisesta altistumisesta aiheutuvaa riskiä. Peittausainekäytössä riskiä voidaan tarkentaa esim. mittaamalla tehoaineen todellista pitoisuutta medessä ja siitepölyssä ja/tai telta- (semifield) tai kenttäkokeilla, joilla pitää osoittaa, että valmisteen käytöstä ei aiheudu kohtuutonta pitkäaikaista haittaa tarhamehiläisille.

Jos valmisteen akuutit tai krooniset riskit tarhamehiläisille tai akuutit riskit kimalaisille eivät mene läpi ensivaiheen riskinarvioinnissa, valmisteen myyntipäällykseen laitetaan merkintä: 'Valmiste on vaarallista mehiläisille ja muille pölyttäjille' ja siinä tapauksessa osaa tai kaikkia alla esitettyjä riskinhallintakeinoja tarvitaan. Tukes suunnittelee myös 'kuolleen mehiläisen' kuvan lisäämistä tarhamehiläisiä ja muita pölyttäjiä suojelevan riskinhallintausekkeen eteen.

Tällä hetkellä olemassa olevia riskinhallintakeinoja ovat 1) valmisteen käyttökielto kukkivilla viljelykasveilla, 2) valmisteen käyttökielto mehiläisten lentoaikana ja 3) käytön rajoitus mehiläispesien lähetyksillä.

1. Valmisteen käyttö kukkivilla kasveilla kielletään, mikäli laboratorioskokeiden perusteella valmisteen käytöstä aiheutuu riskiä, eikä telta- tai kenttäkokeita ole toimitettu. Valmisteen käyttö kukkivilla kasveilla kielletään, mikäli telta- tai kenttäkokeet osoittavat, että valmisteen käytöstä aiheutuu pidempiaikaista riskiä mehiläistoukille ja yhdyskunnan koolle. Mikäli valmistetta haetaan useammalle kukkivalle kasville, mutta hakija on

⁸ Supporting document for Risk Managers consultation on Specific Protection Goals for bees Analysis of background variability of honeybee colony size 17 December 2020- Preliminary report – <https://www.efsa.europa.eu/sites/default/files/topic/review-guidance-document-bees-specific-protection-goals.pdf>

⁹ EPPO 2010: Environmental risk assessment scheme for plant protection products. https://www.researchgate.net/publication/258276693_Environmental_risk_assessment_scheme_for_plant_protection_products_-_Chapter_10_Honeybees

¹⁰ Proposal for a protective and workable regulatory European bee risk assessment scheme based on the EFSA bee guidance and other new data and available approaches. POS/17/LO/28028, 09 June 2017.

toimittanut kenttäkokeet vain esim. kukkivalla mansikalla ja kenttäkokeet osoittavat, että kohtuutonta riskiä ei aiheudu mansikalla, valmisteen käyttö kielletään muilla kukkivilla kasveilla paitsi mansikalla.

2. Ruiskutus sallitaan vain mehiläisten lentoaktiivisuuden jälkeen eli klo 22–06 välisenä aikana, mikäli valmisteen akuuttien laboratorioskokeiden perusteella lasketut HQ arvot ylittyvät riippumatta siitä, vaikka kenttäkokeet osoittavat, että pitkäaikaiset riskit olisivat hyväksyttävällä tasolla. Tässä tapauksessa pölyttäjiä suojellaan kuitenkin akuutilta kuolemalla.
3. Rajoituslauseke 'Käyttö lähempänä kuin 60 metriä mehiläispesistä kielletty ilman mehiläishoitajan suostumusta' laitetaan kaikkiin valmisteisiin, mikäli valmisteen akuuttien laboratorioskokeiden perusteella lasketut HQ arvot ylittyvät riippumatta siitä, vaikka kenttäkokeet osoittavat, että pitkäaikaiset riskit olisivat hyväksyttävällä tasolla. Tässäkin tapauksessa mehiläisiä suojellaan kuitenkin akuutilta kuolemalla.

Tukes suunnittelee tällä hetkellä myös pientareiden pölyttäjiä suojelemista edellyttämällä tarpeen vaatiessa pellon sisäisiä suojakaistoja ja/tai tuulikulkeumaa alentavien suuttimien käyttöä. Rajoituslauseke olisi muotoa: "Pölyttäjiä suojelemiseksi on jätettävä x m suojakaista ja käytettävä x % tuulikulkeumaa alentavia suuttimia tai jätettävä x m suojakaista". Hanketta on tarkoitus viedä eteenpäin lähiaikoina.

1.3. Pölyttäjiä altistumisreitit kasvinsuojeluaineille

Lotta Kaila, Helsingin yliopisto ja Luonnonvarakeskus; Elena Rosa, Luonnonvarakeskus

Pölyttäjät voivat altistua kasvinsuojeluaineille monin eri tavoin, mihin vaikuttaa muun muassa kasvinsuojeluaineiden käyttötapa sekä pölyttäjälajin elintavat ja fysiologia. Riippuen altistumismäärästä aineet voivat tappaa pölyttäjät välittömästi tai heikentää niiden kuntoa ja sitä kautta vaikuttaa kantojen elinvoimaisuuteen.

Kasvinsuojeluaineiden levityksen yhteydessä pölyttäjät voivat joutua kasvinsuojeluainesumun tai ne voivat syödä tai käsitellä kontaminoitua siitepölyä, mettä tai vettä. (Special Report 15/2020: Protection of wild pollinators in the European Commission initiatives have not borne fruit, 2020). Osa pölyttäjistä on toukkavaiheessa petoja, kuten esimerkiksi eräät kirvoja syövät kukkakärpäslajit, jotka ovat merkittäviä kirvakantojen heikentäjiä (Ramsden ym. 2017). Kirvojen ja muiden saaliiden kautta pedot voivat altistua kasvinsuojeluaineille, vaikka kyseessä ei olisi-kaan niin sanottu pölyttäjiä houkutteleva kasvusto, jolla usein tarkoitetaan tarhamehiläistä houkuttelevia kukkivia kasvustoja. Lisäksi jalattomat toukat, kuten esimerkiksi kukkakärpäsen toukat, altistuvat kasvinsuojeluaineille kasvustossa kulkiessaan suoraan epiderminsä kautta, toisin kuin jalalliset hyönteiset, joiden kosketuspinta on pienempi.

Suoran altistumisen lisäksi pölyttäjät voivat joutua kosketuksiin kasvinsuojeluaineiden kanssa, vaikka alueella ei juuri sillä hetkellä käytettäisikään kasvinsuojeluaineita tai käsitelty kasvi ei houkuttele pölyttäjiä. Jäämiä kertyy maahan ja vesistöön, minkä lisäksi kasvinsuojeluaineita voi levitä käsitellyn alueen ulkopuolisiin kasveihin. Pölyttäjät voivat altistua myös näille jäämille (Benuszak ym. 2017; Bonmatin ym. 2015), sillä monet lajit tekevät pesänsä maahan (kuten suurin osa luonnonvaraisista mehiläisistä (Cane 1997; Michener 2000) ja esimerkiksi tiettyjen kukkakärpäslajien toukkavaihe on vedessä (Gilbert 1986). Lisäksi pölyttäjät voivat altistua rikkakasviruiskutusten yhteydessä, jos torjuttavat rikkakasvit houkuttelevat pölyttäjiä (Special Report 15/2020: Protection of wild pollinators in the EU — Commission initiatives have not borne fruit 2020).

Pölyttäjien elintavat vaikuttavat siihen, miten ne joutuvat kosketuksiin kasvinsuojeluaineiden kanssa. Pölyttäjälajeja on paljon erilaisia, joten niiden elintavat myös eroavat toisistaan. Tutkimuksessamme keskityimme ensimmäisenä hankevuonna tarhamehiläiseen (*Apis mellifera*), minkä lisäksi tarkoituksenamme on tutkia jatkossa kontukimalaisen (*Bombus terrestris*) altistumista kasvinsuojeluaineille. Syvennymme siis tekstissäkkin näihin lajeihin tarkemmin. Huomionarvoista kuitenkin on, että mehiläis- ja kimalaislajeja on huomattavasti enemmän Suomessa kuin nämä kaksi lajia. Suomessa mehiläislajeja on yli kaksi sataa (Suomen lajitietokeskus, no date b) ja kimalaislajeja on 37 (Suomen lajitietokeskus, no date a). Etenkin Suomen luonnonvaraiset mehiläislajit eroavat huomattavasti tutkimusmehiläisestämme, sillä ne eivät muodosta tarhamehiläisen kaltaisia isoja yhdyskuntia, minkä lisäksi lajit toimivat eri tavalla erilaisissa ympäristöissä (Gathmann & Tscharrntke 2002) ja säätiloissa (Vicens & Bosch 2000; Sarah ym. 1993). Luonnonvaraisten mehiläistemme tärkeyttä korostaaksemme omistamme yhden kappaleen erakkomehiläisille. Tarkastelemme erityisesti *Osmia*-suvun kahta lajia, sillä niiden altistumista kasvinsuojeluaineille on jonkin verran tutkittu. Kumpikaan näistä lajeista ei edusta Suomen endeemisiä eli kotoperäisiä lajeja, mutta reitit altistua kasvinsuojeluaineille ovat kyseisen suvun mehiläisillä hyvin samankaltaisia. Toinen lajeista, rusomuurarimehiläinen (*Osmia bicornis*), on tavattu Suomessa ensimmäisen kerran 2000-luvulla, mutta toista lajia *Osmia cornutaa*, ei ole Suomessa vielä tavattu. Haluamme myös korostaa, että pölyttäjäryhmiä on mehiläisten ja kimalaisten lisäksi useampia. Jotta kaikkien pölyttäjäryhmien merkitys luonnon monimuotoisuuden kannalta ei unohtuisi, annamme tekstissämme tilaa mehiläisten ja kimalaisten lisäksi myös muille pölyttäjähönteisryhmille.

1.3.1. Tarhamehiläisten elintavat ja ravinnon vaikutus altistumiseen

Tarhamehiläiset elävät isoissa yhdyskunnissa, joissa kesäaikaan elää noin 50 000 mehiläisistä (Tautz ym. 2008). Ne vierailevat ahkerasti kukilla keräämässä mettä ja siitepölyä (Benuszak ym. 2017). Yksi tarhamehiläinen voi vierailla jopa 3000 kukalla päivässä (Tautz ym., 2008). Kun tarhamehiläiset havaitsevat uuden ruokalähteen, ne ilmoittavat ruoan tarkan sijainnin pesänsä muille lajitovereille, jotka lähtevät keräämään ruokaa (Riley ym., 2005). Tarhamehiläiset voivat lentää enintään kymmenen kilometriä pesästä, mutta ne tavallisesti lentävät noin kahdesta neljään kilometriä pesästä. Yhdellä ruoanhakumatkalla ne tavallisesti keräävät joko siitepölyä tai mettä. Tarhamehiläiset lähtevät pesästä keräämään ruokaa tavallisesti yhdestä kolmeen kertaa päivässä, mutta päivittäiset keruukerrat saattavat nousta jopa kymmeneen (Tautz ym. 2008). Vaikka tarhamehiläiset pystyisivät keräämään sekä mettä että siitepölyä samalla retkellä (Page ym. 2006), ne tavallisesti keräävät vain toista näistä (Page 2000) (Hunt ym. 1995). Jokaisella ruoanhakumatkalla tarhamehiläiset keräävät siitepölyä vain yhdestä kasvinlajista (Grant 1950, mutta vrt. Gruter ym. 2011). Lajispesifinen keruutyylillä nostaa tarhamehiläisen riskiä altistua torjunta-aineille verrattuna niihin pölyttäjiin, jotka keräävät ruokaa useammalta kasvilta (Grant 1950), etenkin jos korjuuinto kohdistuu kasvinsuojeluaineilla käsiteltyihin satokasveihin.

Tarhamehiläiset voivat yhdellä keruureissulla kerätä mettä mesimasuunsa melkein puolet niiden kehöpainosta (Tautz ym. 2008). Ne keräävät siitepölyhiukkasia takaraajoissa oleviin siitepölyvasuihin käyttäen sylkeä ja mettä siitepölypallojen sidosaineena (Campos ym. 2008). Työläismehiläiset syövät päivittäin medestä saatua sokeria arviolta 32–128 mg/mehiläinen ja siitepölyä 6,5–12 mg/mehiläinen. Toukat taas syövät medestä saatua sokeria viidessä päivässä arviolta 59,4 mg/toukka ja siitepölyä 1,5–2 mg/toukka (European Food Safety Authority, 2013). Meden osuus ravinnosta on huomattavasti korkeampi kuin siitepölyn, sillä esimerkiksi rapsin mesi sisältää noin 30 % sokeria (Pierre ym. 1999). Mehiläiset säilyttävät kerätyn siitepölyn mehiläispesässä proteiinilähteenä (Sammataro & Avitable 1986). Kuningatar laskee munat mehiläispesän kennoihin siitepölyn läheisyyteen (Pitts-Singer 2004), jotta työläiset voivat muuttaa

siitepölyn kuningatarhyitelöksi toukkia varten (Tautz ym. 2008). Nuoret työläiset syövät runsaasti siitepölyä kehittyäkseen kunnolla, mutta myös käsittelevät sitä ruokkiakseen muita pesän asukkaita (Carroll ym. 2017; Tautz ym. 2008). Ravinnon kautta siitepölyssä olevat mahdolliset kasvinsuojeluaineet vaikuttavat koko mehiläispesään.

1.3.2. Kontukimalaisten käyttäytyminen ja ravinnon vaikutus altistumiseen

Toisin kuin monituhapäinen tarhamehiläispesä, kontukimalaispesässä asuu kymmenistä satoihin kimalaista. Kontukimalaiset keräävät kukilta siitepölyä ja mettä. Ne vierailevat jokaisella ruoanhakumatkalla noin 490–720 kukalla (Cresswell ym. 2002). Tarhamehiläisten tavoin ne viestivät pesän lajitovereille uudesta ruokalähteestä, mutta tarhamehiläisestä poiketen ne eivät kerro löytämiensä kukkien sijaintia. Tiedon saatuaan muut pesän kimalaiset lähtevät etsimään ruokaa kentältä tuoksumerkkien perusteella (Dornhaus & Chittka 2001). Normaalisti kontukimalaiset lentävät 276–800 m pesästä (Goulson 2010c), mutta voivat lentää jopa 10 km päähän (Cresswell ym. 2000). Toisin kuin mehiläiset, kontukimalaiset keräävät säännöllisesti sekä mettä että siitepölyä samalla matkalla (Konzmann & Lunau 2014). Keruumatkallaan ne myös saattavat kerätä useammasta kasvilajista ruokaa. Yhdessä tutkimuksessa havaittiin, että yhdellä keruureissulla 76 % kontukimalaisista keräsi ruokaa vain yhdeltä kasvilta, kun taas loput keräsivät ruokaa useammalta kasvilta (Leonhardt & Blüthgen 2011). Monipuolisemman ruokavalion ansiosta kontukimalaiset saattavat altistua kasvinsuojeluaineille eri tavoin kuin samalla alueella elävät tarhamehiläiset.

Kontukimalaistyöläiset keräävät mettä mesimasuunsa kuljettaakseen ravintoa pesään, mutta ne saattavat käyttää mesimasun mettä myös energiana lentämiseen (Goulson 2010b). Kuten tarhamehiläiset, kontukimalaisetkin pakkaavat siitepölyä palloksi syljellä (Bumblebee.org, 2020). Työläiskimalaiset syövät päivittäin medestä saatua sokeria arviolta 73–149 mg/kimalainen ja siitepölyä 26,6–30,3 mg/kimalainen. Toukat taas syövät medestä saatua sokeria päivittäin arviolta 23,8 mg/toukka ja siitepölyä 10,3–39,5 mg/toukka (European Food Safety Authority 2013). Kuten tarhamehiläisellä, myös kontukimalaisella meden osuus ravinnosta on huomattavasti korkeampi. Pesää perustaessaan kuningattaret tuovat siitepölyä pesäänsä ja laskevat munansa siihen (Goulson 2010a). Kuningatar ja kontukimalaistyöläiset ruokkivat toukkia siitepölyn, veden ja syljen seoksella (Goulson 2010a). Siitepöly on pääasiassa toukkien ravintoa, mutta aikuiset kontukimalaiset syövät sitä myös kehittyäkseen täysin tai arvioidessaan toukille antamansa siitepölyn ravintosisältöä (Pereboom 2000; Pereboom ym. 2003; Cresswell ym. 2002). Lisäksi talvehtivat kuningattaret syövät siitepölyä ja mettä (Bumblebee Conservation Trust 2020). Niin kuin tarhamehiläispesässä, torjunta-aineiden saastuttama siitepöly lopulta vaikuttaa koko kimalaispesään.

1.3.3. Erakkomehiläisen käyttäytyminen ja ravinnon vaikutus altistumiseen

Toisin kuin tarhamehiläis- ja kimalaispesissä erakkomehiläisillä naaras perustaa pesän yksin toimien siten sekä kuningattarena että työläisenä (Gorton & Linsey 1958). *Osmia bicornis* ja *O. cornuta* -lajien erakkomehiläisillä pesät muodostuvat onkalosta, joka on väliseinin erotettu pienimmiksi "huoneiksi". *O. bicornis* suosii pesinään esimerkiksi ruokoja, puissa olevia koloja (Ivanov 2006) tai jopa rakennusten seiniä (Raw 1972). *O. cornuta* taas rakentaa pesänsä maahan (Bosch 1994). Erakkomehiläispesän onkalon jokaisessa huoneessa kehittyy yksi uusi erakkomehiläinen (Bosch 1994). Pesä on tarhamehiläisten ja kimalaisten pesään nähden kovin pieni. *O. bicornis* -lajin pesässä on arvioitu olevan 1–27 huonetta (Raw 1972), tosin yksi naaras perustaa useampia pesiä kasvukauden aikana (Ivanov 1994). Molemmat lajit käyttävät mutaa pesiensä rakennusmateriaalina ja sulkeakseen ne talvehtimisen ajaksi (Ivanov 2006; Bosch 1994). Pesän

rakentamisessa käytetty kontaminoitunut maaperä tai kontaminoituneeseen maahan tehty pesä ovat yksi väylä erakkomehiläiselle altistua kasvinsuojeluaineille.

Erakkomehiläiset ovat yleensä hyviä pölyttäjiä, sillä ne eivät tarhamehiläisen ja kimalaisen tavoin pakkaa siitepölyä vasuihinsa, vaan siitepöly kulkeutuu takaruumiin karvoissa (Bumblebee.org, 2020). Karvoista siitepöly kulkeutuu helpommin kukan emiin. Pesässä erakkomehiläiset tekevät siitepölystä ja medestä seoksen, johon ne munivat munansa (Ivanov 2006; Bosch 1994; Raw 1972). Erakkomehiläisistä pölyttävät laajasti erilaisia kasveja (Gruber ym. 2011; Wilkaniec & Radajewska 1997; Bosch 1994), myös esimerkiksi rapsia (Teper & Biliński 2009). *O. cornuta* -lajin yksilöiden on arvioitu vierailevan noin 60 kukassa jokaisella ruoanhakumatkallaan (Bosh 1994). Erakkomehiläisistä *Osmia bicornis* ja *O. cornuta* syövät päivittäin medestä saatua sokeria arviolta 18 mg/erakkomehiläinen ja siitepölyä 10.2 mg/erakkomehiläinen. Toukat taas syövät medestä saatua sokeria 30 päivässä arviolta 54 mg/toukka ja siitepölyä 387 mg/toukka (European Food Safety Authority 2013). Edelleen kuten tarhamehiläisellä ja kontukimalaisella myös erakkomehiläisellä meden osuus ravinnosta on huomattavasti korkeampi. Kotimaiset lajimme vaihtelevat kokoluokassaan paljon, mikä myös vaikuttaa niiden ravinnonkulutukseen. Toisin kuin tarhamehiläiset ja kimalaiset, erakkomehiläiset eivät lennä kovin kauas pesästään. *O. bicornis* ja *O. cornuta* pysyttelevät noin 50–100 metrin säteellä pesästään (Gruber ym. 2011), mutta kookkaammat lajit saattavat lentää useampien satojen metrien päähän (Gathmann & Tschardt 2002). Tästä johtuen niiden suosiminen satokasvien läheisyydessä saattaa varmistaa niiden pölytyksen paremmin kuin suuremman reviirin omaavien tarhamehiläisten ja kimalaisten. Toisaalta taas pieni reviiri saattaa altistaa erakkomehiläisiä voimakkaammin kasvinsuojeluaineille, jos niiden pesät ovat kasvinsuojeluaineilla käsiteltyjen peltojen läheisyydessä.

1.3.4. Muiden pölyttäjäryhmien käyttäytyminen ja ravinnon vaikutus altistumiseen

Päiväperhoset vierailevat kukilla syömässä mettä, siitepölyä ne syövät vain harvoin (Jennersten 1984; Watt ym. 1974). Ne voivat altistua kasvinsuojeluaineille etsiessään munimiseen soveltuvia kasveja. Munat ja nuoret kasveilla ruokailevat perhosentoukat voivat altistua aineille, sillä ne eivät pääse pakenemaan kasvustosta ruiskutusten aikana.

Yöperhoset altistuvat kasvinsuojeluaineille samalla tavalla kuin perhoset mutta ne eroavat sillä tavalla, että toisin kuin monet pölyttäjät, yöperhoset ovat aktiivisia yöllä (Hahn and Brühl, 2016). Tiettyjä kasvinsuojeluaineita saa ruiskuttaa vain yöaikaan, joten yöperhosten altistuminen aineille on mahdollista.

Kovakuoriaiset etsivät ruokaa kukista, minkä lisäksi ne parittelevat ja taistelevat kukkien päällä tai etsivät sopivia lämpötiloja kukista (Bernhardt 2000).

Kovakuoriaisten lailla **kärpäset** etsivät mettä, siitepölyä ja sopivia lämpötiloja kukista tai parittelevat niillä (Holloway 1976). Kärpäsisistä merkittävin pölyttäjäryhmä on todennäköisesti kukkakärpäset (Ssymank ym. 2008). Pitkäaikainen tutkimus Saksassa havaitsi, että **kukkakärpäset** vierailevat 80 % tietyn alueen kukkivista kasveista (Ssymank ym. 2008). Lisäksi osa kukkakärpälajeista viettää osan kehitysvaiheestaan vedessä (Gilbert 1986), kun taas toiset lajit kasvustossa. Aktiivinen kukilla vierailu saattaa vaikuttaa niiden altistumiseen, sillä myös rikkakasvit houkuttelevat niitä. Lisäksi vedessä vietetty toukkavaiheen takia ne saattavat altistua kasvinsuojeluaineille, jos vesistöön päätyy aineita.

Ampiaiset erikoistuvat yleensä tiettyihin kasveihin muodostaen niiden kanssa mutualismin. ja niiden ravinto riippuu täydellisesti erikoiskasvista. Esimerkkejä ampiaisten pölyttämistä kasvista

Euroopassa ovat *Scrophularia umbrosa* (Brodmann ym. 2012) ja orkidea, joka löytyy myös Suomessa, *Epipactis helleborine* (Brodmann ym. 2008).

Ripsiäiset vierailevat tavallisesti kukissa etsimään siitepölyä ja mettä sekä munimassa (Ananthkrishnan 1982). Ripsiäiset pölyttävät useita kasvilajeja kuten kanervaa (Hagerup 1950) ja kellokanervaa (Else & Hagerup 1953).

2. Hankkeen tavoitteet

Hankkeemme tavoitteena oli tuottaa tietoa kasvinsuojeluainejäämistä tarhattujen mehiläisten siitepölyssä sekä läheisessä vesistössä, kun kasvinsuojeluaineruiskutukset tehdään Tukesin hyväksymien sitovien ohjeiden mukaan. Lisäksi tavoitteenamme oli selvittää tarhamehiläisen altistumisreittejä kasvinsuojeluaineille sekä tarhamehiläisen että luonnonvaraisten pölyttäjien esiintymistä kasvinsuojeluaineilla käsitellyillä lohkoilla.

Hankkeemme koostui viidestä tutkimusasetelmasta

1. Selvitimme lambda-syhalotriinin referenssitasoja neljän koelohkon vieressä sijaitsevien mehiläispesien keräämässä siitepölyssä, kun kasvinsuojeluaineruiskutukset on tehty Tukesin hyväksymien sitovien käyttöohjeiden mukaan. Kasvustoina olivat kumina, syys- ja kevätropsi.
2. Selvitimme yhden koelohkon läheisestä purosta ja sen valtaojasta kasvinsuojeluainejäämät ja niiden tasot ennen ja jälkeen koepeltojen kasvinsuojeluainekäsittelyitä.
3. Selvitimme koelohkojen vieressä sijaitsevien mehiläispesien keräämän siitepölyn kasvilajit.
4. Selvitimme neljän pölyttäjäryhmän, mehiläiset, kimalaiset, kukkakärpäset ja perhoset, runsautta tutkimuspelloilla tehtävillä linja laskennoilla.
5. Kehitimme uuden menetelmän mehiläisten keräämän siitepölyn kasvilajien tunnistamiseen.

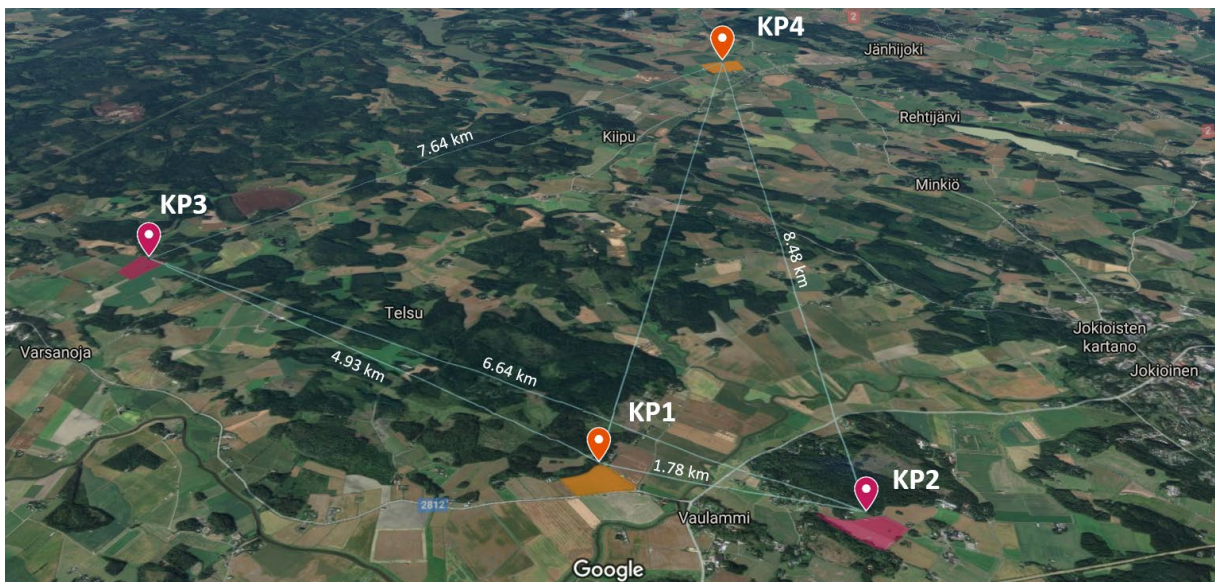
Tavoitteenamme oli, että hankkeen tuloksia voidaan hyödyntää, kun arvioidaan, mitä tutkimustietoa Suomen olosuhteissa ensisijaisesti tarvitaan kasvinsuojeluaineiden pölytyshaittojen minimoinniksi ja ehkäisemiseksi. Lisäksi tavoitteenamme oli tuottaa viranomaiselle tietoa siitä, kuinka paljon siitepölystä löytyy jäämiä, kun tutkimaamme insektisidiä käytetään viranomaisten hyväksymien käyttöohjeiden mukaisesti. Tätä vertailutasoa viranomaiset voivat hyödyntää esimerkiksi silloin, kun selvitetään, johtuuko laajat mehiläiskuolemat kasvinsuojeluaineiden virheellisestä käytöstä. Tavoitteenamme oli myös lisätä keskustelua ja tiedonvaihtoa alan eri toimijoiden kesken.

Ympäristöministeriön myöntämän PienPöly-hankkeen rahoituksen lisäksi hankkeen tuotoksia ovat tukeneet Manner-Suomen maaseudun kehittämissuunnitelma 2014–2020 ja Savonia ammattikorkeakoulun rahoittama Satoa ja laatua pölytyspalvelulla (SaLaPöly)-hanke, maa- ja metsätalousministeriön rahoittaman Maa- ja metsätalouden vesistövaikutusten seuranta -hankkeen (MaaMet) pintavesien torjunta-aineisiin liittyvä osahanke ja Helsingin yliopisto Lotta Kailan tohorintutkimusta varten myöntämällä rahoituksella.

3. Kenttäkokeet

3.1. Koelohkot

Järjestimme hankkeen koelohkot kasvukaudelle 2019 kasvilajipareittain, jolloin meillä oli tutkimusparina kaksi kuminalohkoa ja kaksi öljykasvilohkoa. Öljykasvilohkoilla oli toisella viljelyssä kevätrapsia ja toisella syysrapsia. Kokeet sijoitimme sekä yksityisten viljelijöiden että Luken pelloille Lounais-Hämeessä Jokioisilla ja Ypäjällä (Kuva 6). Kaikkia koelohkoja viljeltiin integroidun viljelyn (IP, Integrated Production) mukaisesti. Kumpikin kuminalohko oli pinta-alaltaan noin 8 hehtaarin suuruinen ja öljykasvilohkojen pinta-alat olivat kooltaan syysrapsi 6 hehtaaria sekä kevätrapsi 1,2 hehtaaria. Kaikki koelohkojemme kasvinsuojeluruiskutukset tehtiin kasvukauden 2019 ajankohtaisten kasvinsuojeluohjeiden ja koepaikan todennetun torjuntatarpeen mukaisesti noudattaen Tukesin hyväksymiä valmistekohtaisia käyttöohjeita. Tutkimuksessamme seurattavaksi tehoaineeksi valittiin lambda-syhalotriini, jota käytetään yleisesti tuhohyönteisten torjuntaruiskutuksissa kuminalla ja öljykasveilla. Torjuntaruiskutukset tehtiin myöhäisimmässä käyttöohjeen mukaan sallitussa viljelykasvin kehitysvaiheessa eli juuri ennen viljelykasvin kukinnan alkamista. Koelohkojen kasvinsuojeluruiskutusten tiedot sekä Koepaikka 4:n lähistöllä sijainneiden rypsi- ja rapsilohkojen kasvinsuojelu kokonaisuudessaan on kuvattu Liitteissä (Taulukko 9).



Kuva 6. Hankkeen koelohkot. Syys- ja kevätrapsi koelohkot (KP1 ja 4) on merkitty oranssilla ja kumina koelohkot (KP2 ja 3) on merkitty punaisella. Koelohkot olivat 1,8–8,5 km etäisyydellä toisistaan. Pohjakartta Google.

3.2. Tutkimuksessa käytetyt mehiläisyhteiskunnat

Kullekin koelohkolle sijoitettiin kaksi mehiläisyhteiskuntaa 1–2 päivää ennen tutkimussuunnitelman mukaisia kukinnan alkamista edeltäviä insektisidiruiskutuksia. Mehiläisyhteiskunnat olivat keskenään tasavahvuisia, siirtovaiheessa kahdella pesäosastolla varustettuina. Suunnitelman mukaisesti kukinnan keräyspäivän aamuna asetettiin mehiläisten tutkimuspesien lentoaukoille siitepölykeräimet, jotka otettiin pois aina jokaisen keräyspäivän iltapäivällä. Tutkimuksen aikana mehiläisyhteiskuntia hoidettiin tavanomaisten hoitotoimenpiteiden mukaisesti.

3.3. Koekäsittelyt

Koekäsittelyt tehtiin koesuunnitelman mukaan tavoitteena tehdä rapsikuoriaisten (*Meligethes aenus*) torjuntaruiskutus rapsilla sekä kuminakoin (*Depressaria daucella*) torjuntaruiskutus kuminalla juuri ennen edellä mainittujen viljelykasvien kukintaa. Seurattavaksi insektisidiksi valittiin 100 g/l lambda-syhalotriinia tehoaineena sisältävä Karate Zeon -niminen kauppavalmiste. Kaikkien koelohkojen torjuntaruiskutukset tehtiin koesuunnitelman mukaisesti traktoriruiskutuksena. Lohkojen KP1, KP2 ja KP3 ruiskutukset suoritti alan urakoitsija, lohkon KP4 ruiskutuksesta vastasi Luke. Koepaikan 2 (KP2) kuminalohko ruiskutettiin kahdessa osassa kummankin ruiskutuksen ajoittuessa varhaiseen aamuun peräkkäisinä päivinä (Taulukko 1). Kunakin ruiskutusaikana vallitsi ruiskutukseen sopiva säätila.

Taulukko 1. Koelohkojen ruiskutusajankohdat ennen viljelykasvin kukintaa, valmisteiden nimet ja tehoaineet. KP2 ruiskutettiin kahdessa osassa siten, että puolet pellostä ruiskutettiin 3.6. ja toinen puoli 4.6. On huomioitava, että kevätrapsi KP4:lla ei ollut kukkinut siitepölykeräyksen aikana.

Koe- paikka	Ruiskutuspäivä	Kauppaval- miste	Tehoaine (g/l)	Kauppaval- misten käyttö- määrä ml/ha
KP 1	20.05.2019 klo 22:00	Karate Zeon	lambda-syhalotriini (100)	37
KP 2	03.06. ja 04.6.2019 klo 04:00	Karate Zeon	lambda-syhalotriini (100)	60
KP 3	04.06.2019 klo 05:00	Karate Zeon	lambda-syhalotriini (100)	75
KP 4	25.06.2019 klo 11:00	Karate Zeon	lambda-syhalotriini (100)	37
	01.07.2019 klo 10:00	Karate Zeon	lambda-syhalotriini (100)	37

3.4. Näytteiden otto

3.4.1. Siitepölynäytteet

Mehiläiset vierailevat päivän aikana usealla eri kasveilla, kun ne keräävät siitepölyä ja mettä. Sijoitimme kokeessa kunkin koepellon viereen kaksi mehiläisten tutkimuspesää, joista keräsimme mehiläisten pesään tuomaa siitepölyä mehiläispesien lentoaukkojen eteen sijoitetuilla siitepölykeräimillä. Siitepölynäytteet kerättiin koelohkojen viereen sijoitetuilta mehiläispesiltä siten, että siitepölykeräin kiinnitettiin keräystä varten paikalleen mehiläispesän lentoaukon suulle kunkin keräyspäivän aamuna ja otettiin pois samana päivänä noin klo 16 mennessä (Kuva 7). Siitepölykeräimistä ravisteltiin päivän aikana kertynyt siitepöly valmiiksi numeroituihin säilytyspurkkeihin, jotka pakastettiin siitä muutaman tunnin kuluessa. Siitepölynäytteistä tehtiin kasvien alkuperä- ja kasvinsuojeluainejäämäanalyysit.



Kuva 7. Tutkimuksessa käytetyt tutkimuspesät (ylempi kuva) sekä siitepölypalleroita siitepölykeräimessä (alempi kuva).

3.4.2. Haavintänäytteet

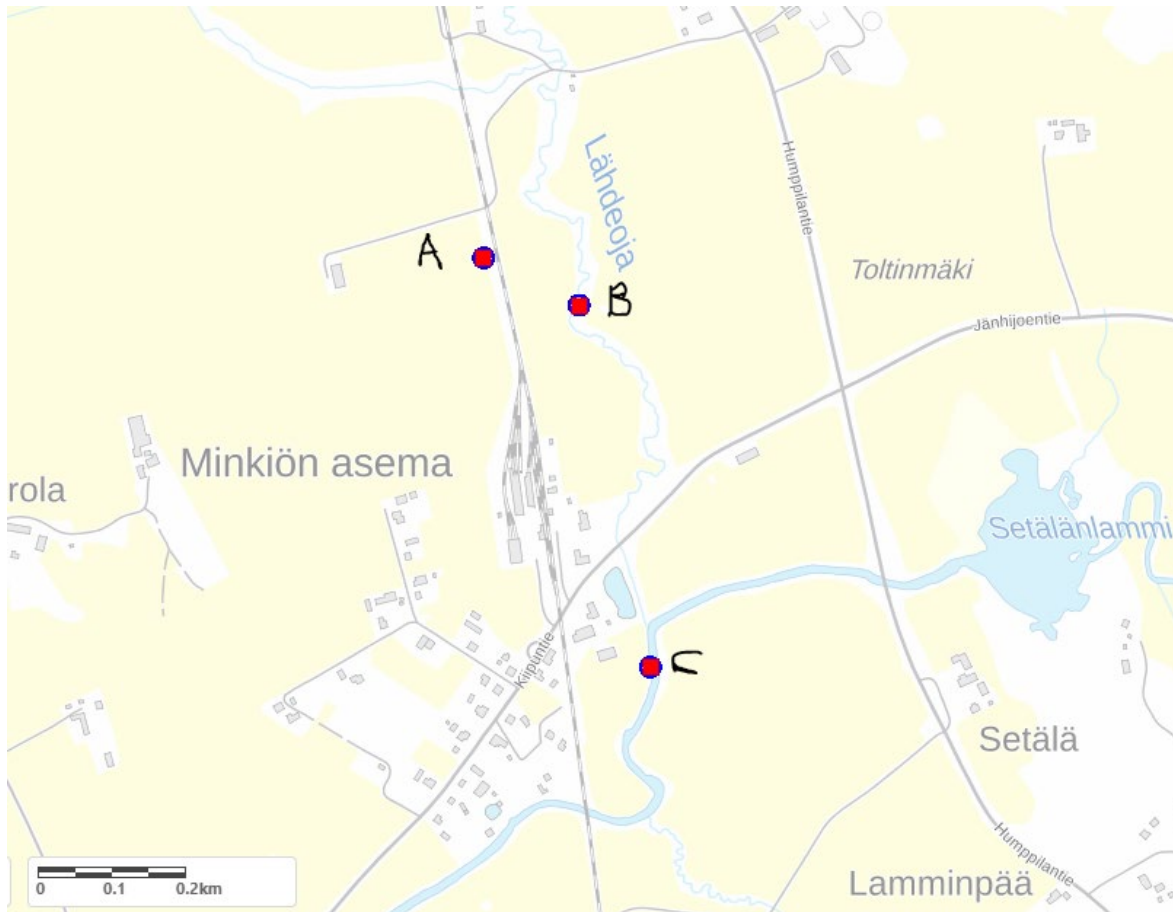
Hankkeessa pölyttäjien lukumäärät havainnoitiin tekemällä linjalaskentoja. Pölyttäjät luokiteltiin laskennassa seuraaviin ryhmiin: mehiläiset, kimalaiset, kukkakärpäset ja perhoset. Yksilömäärät laskettiin yhteensä 100 m pituisella laskentalinjalla (2 x 50 m). Linjoja oli neljä tai viisi joka pellolla. Laskentalinjat mitattiin ja merkittiin linjaviitoilla etukäteen. Laskentalinjat pysyivät

samoina joka laskentakerralla. Laskennat pyrittiin tekemään poutasäällä puolenpäivän aikaan – iltapäivän alussa, kun sää oli aurinkoinen tai puolipilvinen.

3.4.3. Pintavesinäytteet

Pintavesinäytteet kerättiin KP4 sijaintipeltolohkon reunaojasta (Nummela1_oja), sen alapuolisesta valtaojasta (Lähdeoja) ja Jänhijoesta (Jänhijoki) (Kuva 8). Näytepaikoista Nummela1_oja sijaitsi koekentän vieressä, mutta oja oli osan tutkimuksesta kuivana. Lähdeoja 0,5 ja Jänhijoki 7,5 kuuluvat Jänhijoen valuma-alueeseen, joka laskee Loimijokeen. Näytteet otettiin ennen ensimmäistä rapsikuoriaisten torjuntaruiskutusta ja viisi kertaa sen jälkeen niin, että näytteenototväli kasvoi syksymmälle mentäessä. Viimeiset näytteet otettiin marraskuussa. Näytteenotopäivät on esitetty tulosten yhteydessä.

Vesinäytteet otettiin ojista suoraan näytepulloihin, Jänhijoessa käytettiin näytteenotinta. Näytteenotin ja pullot huuhdeltiin ensin näytevedellä. Pullot laitettiin heti viileään kylmälaukkuun, jossa ne toimitettiin laboratorioon.



Kuva 8. Vesinäytteiden paikat: a) Nummela1_oja, b) Lähdeoja 0,5 ja c) Jänhijoki 7,5 paikoilta. Jänhijoki laskee kuvassa lounaaseen kohti Loimijokea. Pohjakartta Kansalaisen Karttapaikka.

3.5. Näytteiden analysointi

3.5.1. Siitepölynäytteiden alkuperän tunnistaminen

Siitepölynäytteiden visuaalinen analysointi

Analyysin tavoitteena oli arvioida tarhamehiläisten (*Apis mellifera*) pölytysaktiivisuutta eri kasvilajeilla neljällä eri koepaikalla (KP1 - syysrapsi Hauniontie, KP2 - kumina Ypäjä, KP3 - kumina Aaltosentie ja KP4 - kevätropsi Nummela). Näytteet koostuivat mehiläisten keräämistä, erivärisistä "siitepölypalloista". Näytteet punnittiin ja valokuvattiin pesä- ja päiväkohtaisesti merkityissä muovirasioissa, jonka jälkeen ne siirrettiin kylmiöön pakkasäilytykseen (-20°C). Valokuvauksen jälkeen mahdolliset erot valkotasapainon ja/tai muiden sävyerojen osalta korjattiin GIMP-kuvankäsittelyohjelmassa (versio 2.8.14, The GIMP Team).

Näytteissä esiintyvien kasvilajien siitepölyjakaumat määritettiin valokuvista silmämääräisesti niissä esiintyvien värien perusteella. Määrittäminen tapahtui tietokoneella käyttäen kuvankäsittelyohjelmaa: kuhunkin näytteestä otettuun valokuvaan piirrettiin mahdollisimman edustava ja samankokoinen neliönmuotoinen alue, jonka sisältä jakaumat laskettiin. Jos näytteen kokonaispaino (=siitepölypallojen määrä) oli pieni eikä neliötä sen vuoksi voinut piirtää, laskettiin kaikki näytteessä olleet siitepölypallo. Otosten koko vaihteli välillä 46–250 kpl. Näytteissä esiintyviä värejä verrattiin siitepölykarttaan (Suomen Mehiläishoitajain Liitto ry., 2019), jonka perusteella tehtiin tulkinta pölytetystä kasvilajista. Lopuksi tiedot siirrettiin Microsoft Excel-taulukointiohjelmaan. Taulukointiohjelmassa jokaiselle näytteelle laskettiin karkea siitepölyjakauma, joka ilmaistiin prosenttiosuuksina (Taulukko 6).

Tulosten tulkinnassa tulee huomioida, että näytteiden analysoinnissa haasteita muodostivat muun muassa tekniset haasteet valokuvauksen yhteydessä, kokoerot näytteiden välillä ja arvioinnin subjektiivisuus eri päivinä. Näytteitä valokuvatessa pyrimme muodostamaan mahdollisimman tasaiset valaistusolosuhteet ja korjaamaan mahdolliset eroavaisuudet kuvankäsittelyohjelmalla esim. valkotasapainon tai muiden sävyerojen osalta. Siitä huolimatta kuvissa esiintyvien näytteiden värit erosivat hieman toisistaan, todennäköisesti keinovalaistuksesta johtuvan häiriön ja näytteiden sulamisesta johtuvien värimuutosten vuoksi. Näytteiden kokonaispaino myös vaihteli laajalti (vaihteluväli 0,85–256,33 g), mikä vaikeutti edustavan otannan valitsemista kuvista. Lisäksi näytteiden suuren määrän vuoksi niiden läpikäyntiin ja arviointiin kului paljon aikaa. Katkonainen arviointi johti siihen, että siitepölynäytteiden värien tulkinta ja oikean pölytyskasvin valitseminen saattoivat aiheuttaa subjektiivisia virhearviointeja siitepölyjakaumien laskennassa.

Mikroskooppinen tunnistus

Siitepölyjen mikroskooppisen tunnistusmenetelmän ovat kehittäneet Tarja Ollikka ja Anneli Salonen Suomen Mehiläishoitajain Liitosta (SML). Koska mehiläinen on kukkauskollinen, sen keräämässä siitepölyrakeessa on vain yhden kasvilajin siitepölyä, mutta sen sijaan kimalaisella saattaa siitepölyvasussa olevassa rakeessa olla monen eri kasvilajin siitepölyä, koska kimalainen kerää siitepölyä samalla keruulennolla eri kasveista. Menetelmän haaste ja käytettävyys perustuu siihen, että mehiläiset ehtivät keräämään yhden päivän aikana siitepölyä monesta lähteestä, joten keräimellä päivän aikana kerätyssä näytteessä on suuri määrä eri kasvien siitepölyä. Menetelmä on käytännössä siksi melko hidas, koska kasvilajien erottelu ja tutkiminen mikroskooppilla vie varsin paljon aikaa. Työvaiheen nopeuttamiseksi kukin siitepölynäyte lajiteltiin etukäteen siitepölyjen värien mukaan ja SML:n analyysiin toimitettiin osanäytteet, jotka edustivat

3–4 suurinta siitepölyväriyhmää. Seuraavissa kappaleissa kuvataan SML:ssä tehdyn tunnistamisen työvaiheet pääpiirteittäin.

Jokaisessa näyteputkessa oli vähintään noin 10 samanväristä siitepölyraetta, joista muutamia siitepölyrakeita otettiin työpöydälle, hajotettiin ja sekoitettiin keskenään, jolloin saatiin mikroskooppilevyille kattava näyte näyteputkessa olevista siitepölyrakeista eli kasveista, joiden siitepölyä nuo rakeet sisälsivät. Saatu seos katsottiin mikroskoopilla (suurennos: okulaari 10 ja objektiivi 40), josta pyrittiin tunnistamaan näytteessä olevat siitepölyt. Mehiläisen keräämän siitepölyn värilajittelu on hankalaa, koska lähes saman värisiä siitepölyjä on paljon.

Analyysituloksissa jokaisen näytteen kohdalle merkittiin ne kasvit, joiden siitepölyä siinä näyteputkessa oli. Ensimmäisenä mainittiin suurin siitepölyryhmä. Jos näytteessä oli yhtä paljon kahden eri kasvin siitepölyä, mainittiin tuloksissa kummatkin kasvilajit. Johtopäätöksenä analyysientekijä toteaa, että kasvien tunnistus lajilleen on hankalaa pelkän valomikroskoopin avulla ja edellyttää kokenutta tulkitsijaa, jotta kasvilaji pystytään määrittämään.

3.5.2. Siitepölyjen kasvinsuojeluainejäämät

Jäämäanalyysit siitepölystä tehtiin Ruokaviraston kemian yksikön laboratoriossa. Siitepölynäytteet homogenisoitiin ja jäämät uutettiin ulossuolauksen avulla asetoni-triiliin. Uute puhdistettiin heksaanuuutolla ja dispersiivisellä kiinteäfaasiuutolla (faasina Supel™ QuE Citrate). Jäämät (yhteensä 108 yhdistettä) analysoitiin nestekromatografi massaspektrometrillä (LC-MS/MS) tai kaasukromatografi massaspektrometrillä (GC-MS/MS) riippuen yhdisteestä. Kalibrointi tehtiin standardilisäyksin siitepölyyn (jossa ei mitattavia yhdisteitä) valmistettua viiden pisteen kalibrointisuoraa (ns. proseduraalinen kalibrointi). Menetelmän toteamisraja on kaikille analysoituille yhdisteille vähintään 1 µg/kg. Menetelmän validoitu määrittäysraja (kvantitointiraja) on lähes kaikille yhdisteille 10 µg/kg ja suhteellinen mittausepävarmuus on 50 %. Huomioitavaa on, että taulukossa 10. esitetyt analysoidut pitoisuudet, jotka ovat ≤ 10 µg/kg, ovat semikvantitatiivisia, suuntaa antavia pitoisuuksia. Analysoidut tehoaineet ovat luetteloituina liitteissä (Taulukko 10).

3.5.3. Pintavesien kasvinsuojeluainejäämät

Vesinäytteet analysoitiin Eurofinns Analytics Lahden laboratoriossa käyttäen pintavesien torjunta-aineseurannassa käytettäviä monijäämämenetelmiä. Näillä menetelmillä saa määritettyä laajan kirjon yhdisteitä (274 yhdistettä), mutta niitä ei ole optimoitu kokeessa käytettyjen insektisidien analyysiin.

Laboratoriossa vesinäytteisiin lisättiin isotooppileimatut sisäiset standardit. Näytteet uutettiin kiinteäfaasiuutolla (SPE) ja utteista määritettiin osa aineista nestekromatografisesti SPE-LC-MS/MS ja osa kaasukromatografisesti SPE-GC-MS/MS. Menetelmät perustuivat modifioituihin ISO 10695 ja ISO/TS 28581 standardein ja valtaosa analyysimenetelmistä oli akkreditoituja. Analysoituja aineiden määrittäysrajat ovat luetteloituna liitteissä (Taulukko 11). Menetelmän mittausepävarmuudet vaihtelivat aineittain 20 % ja 45 % välillä. Toteamisrajaa ei ole annettu erikseen.

4. Kokeiden tulokset

4.1. Kasvinsuojeluainejäämät mehiläisten keräämässä siitepölyssä

Tutkimuksessa havaitsimme tutkimusaineena käytettyä lambda-syhalotriinia heti ruiskutuksen jälkeisenä päivänä syysrapsilohkon viereisen mehiläispesän keräämästä siitepölystä pitoisuuksien ollessa <math><10 \mu\text{g}/\text{kg}</math>, joka oli tehoaineiden analyysimenetelmien määrittämissä raja-arvoissa (Taulukko 2). Kevätrapsilohkon viereisestä pesästä ei löytynyt lambda-syhalotriinijäämiä, mutta käsitelty lohko ei kukkinutkaan siitepölykeräyksen aikana. Ensimmäisen päivän jälkeen lambda-syhalotriinia ei löytynyt mistään näytteistä. Lambda-syhalotriinin lisäksi havaitsimme neljää muuta tehoainetta, joita ei ollut ruiskutettu koepelloillemme (Taulukko 2).

Vertasimme tutkimuksessamme havaittuja tehoainejäämätasojen kansainvälisiin tutkimuksiin. Kasvinsuojeluainejäämiä mehiläisten keräämässä siitepölyssä sekä niiden vaikutuksia tarhattuun mehiläiseen (*Apis mellifera*) ja kontukimalaiseen (*Bombus terrestris*) on tutkittu Suomen rajojen ulkopuolella jonkin verran. Näissä tutkimuksissa koeasetelmat eivät vastanneet hankkeessa toteutettua koeasetelmaa, mutta tutkimukset antavat kuitenkin kuvaa siitä, kuinka paljon jäämiä siitepölystä on löytynyt. Kansainvälisten tutkimusten perusteella Jokioisten kesän 2019 kokeissa kerätystä siitepölystä löytyi erityisen korkeita pitoisuuksia tiaklopridia. Muiden löydettyjen tehoaineiden pitoisuudet ovat kirjallisuuskatsauksen perusteella samalla tai alhaisemmalla tasolla kuin muissa tutkimuksissa on havaittu. Huomioitavaa on, että tutkimustulosten perusteella mehiläiset eivät keränneet siitepölyä vain satokasveilta, mikä osaltaan vaikuttaa siitepölyssä löytyneisiin kasvinsuojeluainejäämiin. Kokeessamme kuminanäytteet, joista löytyi lambda-syhalotriinia, sisälsivät vain 10 % (KP3) ja 12% (KP2) kuminan siitepölyä. Rapsilohkoilla rypsin osuus siitepölystä oli 45 % (KP1) ja 66,7 % (KP4).

Saadaksemme käsityksen siitepölynäytteistämme löytyneiden kasvinsuojeluainejäämien tasoista laskimme tarhamehiläisten altistumisen tehoaineille siitepölyn kautta (taulukko 3). Tutkimuksemme siitepölyssä havaitut jäämämäärät jäivät huomattavasti alle oraalin akuutin toksisuuden rajan. Laskimme pitoisuuden sen mukaan, että hyönteiset söisivät maksimimäärän kyseisellä tehoaineella eniten saastunutta siitepölyä. Vertasimme altistumistasoa löydettyjen tehoaineiden akuutin toksisuuden rajaan. Koska jatkotutkimuksissa tulemme tutkimaan tarhamehiläisen lisäksi kontukimalaista, laskimme myös tämän lajin altistumisen tehoaineille siitepölyn kautta. Euroopan elintarviketurvallisuusviranomaisen tekemässä pölyttäjäohjeessa (European Food Safety Authority, 2013) on tarhamehiläisen ja kimalaisen lisäksi tiedot erakkomehiläisen ruoankulutuksesta. Laskimme myös kyseisen pölyttäjäryhmän altistumisen tutkimuksessamme havaituille tehoaineille, vaikka emme tätä ryhmää peltokokeissa tutkikaan. Kimalaisen ja erakkomehiläisen altistumismäärät on laskettu tarhamehiläisen keräämän siitepölyn jäämäpitoisuuden perusteella. Laskuissa käytimme apuna Euroopan elintarviketurvallisuusviranomaisen ohjetta pölyttäjiä käyttävän siitepölyn osalta (European Food Safety Authority 2013) ja akuutin toksisuuden rajoina käytimme EU pesticide databasesta saatuja arvoja (EU Pesticide Database n.d.).

Oraalin akuutin toksisuuden lisäksi selvitimme lambda-syhalotriinin ja tiaklopridin kroonisia ja subletaaleja vaikutuksia tarhamehiläiselle ja kimalaiselle jo tehtyjen tutkimusten perusteella (Taulukko 3). Muiden tehoaineiden osalta emme löytäneet tutkimuksia näistä vaikutuksista. Tutkimusten perusteella siitepölyssä havaitsemillamme lambda-syhalotriini-tasoilla ei ole todettu kroonisia tai subletaaleja vaikutuksia tarhamehiläiseen. Siitepölyssämme havaittu

tiaklopridi-pitoisuus on kuitenkin lähellä pitoisuutta, jonka on todettu aiheuttavan tarhamehiläiselle kroonisia ja subletaaleja vaikutuksia. Huomioitavaa kuitenkin on, että eri tutkimuksissa hyönteisen altistumisen kesto tehoaineelle vaihteli, joten niiden suora vertaaminen keskenään on haastavaa.

Taulukko 2. Kenttäkokeiden siitepölynäytteistä havaitut tehoaineet ja vastaavat arvot kirjallisuudessa. Viivalla on merkitty tehoaineet, joiden ruiskutusajankohtaa ei tiedetä ja tehoaineet, joista ei löytynyt kansainvälistä tutkimusta jäämätasosta siitepölyssä. *Koska KP4 ei kukkinut näytteenottoaikaan, taulukkoon on merkitty lähipellolla tehdyt tiaklopridiruiskutukset.

	Siitepölyn keräyspäivä	Aika ruiskutuksesta (pv)	Havaittu tehoaine	Jokioinen 2019 (µg/kg)	Kansainvälinen tutkimus (µg/kg)	Lähteet
KP 1 syys-rapsi	21.5.2019	1	lambda-syhalotriini	<loq	-	-
KP 2 kumina	4.6.2019	0	lambda-syhalotriini	<loq	-	-
		-	atsoksistrobiini	<loq	0,3–560,5	Beyer ym. 2018; Niell ym. 2015; Pohorecka ym. 2012; Böhme ym. 2018
	10.6.2019	-	atsoksistrobiini	<loq	0,3–560,5	Beyer ym. 2018; Niell ym. 2015; Pohorecka ym. 2012; Böhme ym. 2018
KP 3 kumina	4.6.2019	0	lambda-syhalotriini	<loq	-	-
		-	tebukonatsoli	<loq	2,91–484,5	Beyer ym. 2018.; Böhme ym. 2018.
KP 4* kevät-rapsi	25.6.2019	5	tiaklopridi	1484	0,57–1002,2	Beyer ym. 2018; Pohorecka ym. 2012. Böhme ym. 2018.
		.	indoksakarbi	<loq	20	Böhme ym. 2018.
	26.6.2029	.	tiaklopridi	698	0,57–1002,2	Beyer ym. 2018; Pohorecka ym. 2012. Böhme ym. 2018.
	28.6.2019	.	tiaklopridi	247	0,57–1002,2	Beyer ym. 2018; Pohorecka ym. 2012. Böhme ym. 2018.
	3.7.2019	.	tiaklopridi	77	0,57–1002,2	Beyer ym. 2018; Pohorecka ym. 2012. Böhme ym. 2018.
	12.7.2019	.	tebukonatsoli	<loq	2,91–484,5	Beyer ym. 2018.; Böhme ym. 2018.

Taulukko 3. Tarhamehiläisen, kimalaisen ja erakkomehiläisen (aikuisen ja toukan) laskennallinen altistuminen tutkimuksessa havaituille tehoaineille siitepölyn kautta. Siitepölylle altistuminen on laskettu maksimitason mukaisesti: suurin havaittu jäämäärä siitepölynäytteissä on kerrottu hyönteisten maksimiravintomäärällä. Todetuille, mutta analyysimenetelmän kvantifioimisrajaa pienemmille pitoisuuksille käytettiin seuraavia arvoja: lambda-syhalotriini 7,8 µg/kg, indoksakarbi 2,5 µg/kg ja atsoksistrobiini 3,8 µg/kg. Aikuisten hyönteisten ja kimalaistoukan ruoankulutus on laskettu päiväkohtaisesti (vrk). Tarhamehiläistoukan ruoankulutus on laskettu viittä päivää kohden ja erakkomehiläisen toukan kulutus 30 päivää kohden. Akuutti toksisuus kertoo aineen LD₅₀-arvon aikuiselle mehiläiselle.

	Tarhamehiläinen		Kimalainen		Erakkomehiläinen		Oraali akuutti toksisuus (µg/hyönteinen) ²
	Aikuinen	Toukka	Aikuinen	Toukka	Aikuinen	Toukka	Aikuinen tarhamehiläinen
Tarkastelujakso	ter vrk	per 5 vrk	per vrk	per vrk	per vrk	per 30 vrk	
Hyönteisen syömä siitepöly (mg) ¹	6,5–12	1,5–2	26,6–30,3	10,3–39,5	10,2	387	
Altistuminen siitepölyn kautta maksimissaan (µg/hyönteinen/tarkastelujakso)							
Lambda-syhalotriini	0,000094	0,000016	0,00024	0,00031	0,00008	0,003	0,91
Tiaklopridi	0,018	0,003	0,045	0,059	0,015	0,57	17,32
Indoksakarbi	0,00003	0,000005	0,000076	0,000099	0,000026	0,00097	0,26
Aktsoksistrobiini	0,000046	7,6E-06	0,00012	0,00015	0,000039	0,0015	25
¹ European Food Safety Authorityn mukaan							
² EU pesticides databasen mukaan							

Taulukko 4. Tehoaineiden (lambda-syhalotriinin ja tiaklopridin) aiheuttamat krooniset ja subletaalit vaikutukset tarhamehiläiselle ja kimalaiselle tieteellisen kirjallisuuden perusteella. Taulukossa ovat tutkittu hyönteislaji; pitoisuus LD₅₀-arvoon nähden; altistuksen kesto; pitoisuus hyönteisen ruuassa ja altistus hyönteistä kohden (laskenta: pitoisuus pölyttäjän ruuassa x syöty määrä, jona käytetty tarhamehiläiselle 12 mg ja kimalaiselle 30,3 mg*); tutkitun tehoaineen vaikutukset sekä lähdeviite. Kaikissa mehiläistutkimuksissa ja osassa kimalaistutkimuksia hyönteiset altistettiin tehoaineelle sokeriveden kautta. MFRC (Maximum Field Recommended Concentration) tarkoittaa laskennallisesta tehoainepitoisuutta pellolla.

Hyönteinen	Altistustaso	Kesto	Pitoisuus mg/kg	Altistus µg/hyönteinen/vrk	Vaikutukset	Lähteet
Lambda-syhalotriini						
mehiläinen	LD ₅₀ /2	3 pv	2,9839	0,036	lyhyempi elinikä sekä heikentynyt muisti ja paluukyky pesään	Liao ym. 2018.
mehiläinen	LD ₅₀ /4	3 pv	1,4919	0,018	heikentynyt muisti kontrolliin verrattuna, heikompi paluukyky pesään kuin LD50/8	Liao ym. 2018.
mehiläinen	LD ₅₀ /8	3 pv	0,7459	0,009	sama kuin kontrolli	Liao ym. 2018.
kimalainen		3 pv/vk x 14 vk	0,247	0,0075	pienemmät työläiset Huom. tehoaine ruiskutettiin siitepölyyn.	Baron ym. 2014.
kimalainen	MFRC/10	7 vk	3,75	0,11	80% suurempi työläisten kuolleisuus, 36% pienempi sokerinkulutus, 49% pienempi lisääntyminen, 35% pienempi kehomassa; kuolleisuus oli jopa korkeampaa toisessa kokeessa kasvihuoneessa (2 viikon koe). Samassa kokeessa havaittiin häiriötä kimalaisten liikkumisessa.	Ceuppens ym. 2015
kimalainen	MFRC/20	7 vk	1,88	0,06	45% suurempi työläisten kuolleisuus, 32% pienempi lisääntyvyys	Ceuppens ym. 2015
kimalainen	MFRC/40	7 vk	0,94	0,028	sama kuin kontrolli	Ceuppens ym. 2015
kimalainen	MFRC/100	7 vk	0,38	0,012	sama kuin kontrolli	Ceuppens ym. 2015
Tiaklopridi						
mehiläinen		1 pv	2	0,024	matalampi immuunivaste	Brandt 2016
mehiläinen		1 pv	0,2	0,0024	matalampi immuunivaste	Brandt 2016
mehiläinen		19 tai 29 pv	4,5	0,054	heikentynyt ruoanhankintakyky, paluukyky pesään, navigointi ja kommunikatio sekä lyhyempi elinikä	Tison ym. 2016

Seuraavassa käymme läpi havaittuja torjunta-aine pitoisuuksia suhteessa aiempiin tutkimuksiin.

Lambda-syhalotriini

Kirjallisuuskatsauksessamme emme löytäneet muita tutkimuksia, joissa olisi todettu lambda-syhalotriinia siitepölystä tai tutkittu sen vaikutuksia tarhamehiläiseen. Kyseisen tehoaineen kroonisia ja subletaaleja vaikutuksia on kuitenkin tutkittu, mutta tutkitut pitoisuudet jäivät alle tutkimuksessamme havaittujen pitoisuuksien (Taulukko 4).

Tiaklopridi

Tutkimuksessamme havaitsimme tiaklopridia vain kevätropsilohkon viereisen mehiläispesän siitepölystä. Kyseinen lohko ei kukkinut siitepölykeräyksen aikana, joten mehiläiset ovat keränneet siitepölyn todennäköisesti ympäristön rypsi- ja rapsipelloilta (Kuva 9). Tiaklopridia oli ruiskutettu viisi päivää ennen ensimmäistä siitepölynäytteenottoa (20.6.2019) 1,2 kilometrin päässä olevalla rypsilohkolla. Todennäköisesti jäämät ovat peräisin tältä lohkolta.

Siitepölystä todettiin tiaklopridia 1484, 698, 247 ja 77 µg/kg. Siitepölyn jäämäpitoisuus laski joka näytteenotokerta, joka osaltaan viittaa siihen, että jäämät ovat peräisin samalta ruiskutekäsitellyltä pellolta pitoisuuden laskiessa sitä mukaa kun aikaa kului kasvinsuojeluainekäsittelystä. Tutkimuksessamme todetut tiaklopridijäämät ovat huomionarvoisen korkeita muihin tutkimuksiin verrattuna (taulukko). Tehoaineen oraalin akuutin toksisuuden raja ei ylittynyt, mutta tutkimuksessamme havaittujen määrien on havaittu aiheuttavan kroonisia ja subletaaleja vaikutuksia tarhamehiläiselle (Taulukko 4).

Luxemburgilaisessa tutkimuksessa Beyer ym. (2018) löysivät monijäämäanalyseissa tiaklopridia mehiläistarhojen keräämästä siitepölystä 0,57–133,05 µg/kg. Samaisessa tutkimuksessa seurattiin mehiläispesien selviytymistä kolmen tutkimusvuoden ajan. Yksikään mehiläispesä, jonka siitepölystä todettiin tiaklopridia yli 23 µg/kg ei selvinnyt elossa kolmen vuoden tutkimusjaksoa. Mehiläispesät olivat toki altistuneet myös muille tehoaineille kuin tiaklopridille. Puolalaisessa tutkimuksessa Pohorecka ym. (2012) mehiläispesät olivat taas sijoitettu rapsilohkon äärelle, joka käsiteltiin muun muassa tiaklopridilla. Tässä tutkimuksessa havaittiin hyvin poikkeavia määriä tiaklopridia mehiläisten keräämässä siitepölyssä. Mediaanina oli 4,1 µg/kg, kun huippulukema kipusi 1002,2 µg/kg. Mielenkiintoisesti tuo huippulukema todettiin kontrollipesästä, jota ei ollut sijoitettu tiaklopridilla käsitellyn peltolohkon viereen. Siitepölyanalyysien perusteella jäämät olivat peräisin *Prunus*, *Malus* ja *Rubus* –suvun kasveilta eli kenties hedelmä- ja marjatarhoilta. Rapsipeltojen viereisiltä mehiläispesiltä kerätyissä siitepölyissä tiaklopridipitoisuus vaihteli 2–369 µg/kg. Saksalaisessa (Böhme ym. 2018) tutkimuksessa seurattiin mehiläistarhojen siitepölyn jäämiä viiden vuoden ajan. Kyseisessä tutkimuksessa suurin todettu tiaklopridipitoisuus oli 470,4 µg/kg.



Kuva 9. KP4 (oranssi lohko) kukki myöhemmin kuin näytteenottohetkellä samalla peltoaukealla olleet muut kevättrypsi- tai rapsipellot (keltaiset lohkot). Lohkot sijaitsivat 782–2150 metrin etäisyydellä tutkimuspesistä. Näistä lohkoista vain yhdellä oli käytetty tiaklopridia. Lohko on merkitty mustalla kukkasymbolilla. Siniset nuolet osoittavat vesinäytteiden keräyspaikat. Pohjakartta Google.

Tebukonatsoli

Tutkimuksessamme havaitsimme tebukonatsolia kuminalta ja kevättrypsilta selvästi alle määrittämissä (<10 µg/kg) olevia pitoisuuksia. Havaitut määrät vaikuttavat pieniltä muihin tutkimuksiin verrattuna.

Luxemburgilaiset Beyer ym. (2018) havaitsivat tutkimassaan mehiläistarhojen siitepölyssä tebukonatsolia tiaklopridin lisäksi. Määrät olivat moninkertaisia oman tutkimuksemme näytteisiin verrattuna ollen 2,91–10,54 µg/kg. Saksalaiset Böhme ym. (2018) taas löysivät enimmillään 484,5 µg/kg tebukonatsolia.

Indoksakarbi

Tutkimuksessamme havaitsimme indoksakarbia kevättrypsilta alle määrittämissä (<10 µg/kg). Tutkimuksessa havaitsemamme määrää on vaikea arvioida, sillä löysimme kirjallisuuskatsauksessa vain yhden tutkimuksen, jossa oli havaittu indoksakarbia siitepölyssä Böhme ym. (2018) havaitsivat saksalaisten mehiläistarhojen keräämästä siitepölystä suurimmillaan 20 µg/kg indoksakarbia. Tutkimuksessa ei ole raportoitu muuta kuin maksimimäärä. Muissa tutkimuksissa ei ollut havaittu tai analysoitu kyseistä tehoainetta.

Atsoksistrobiini

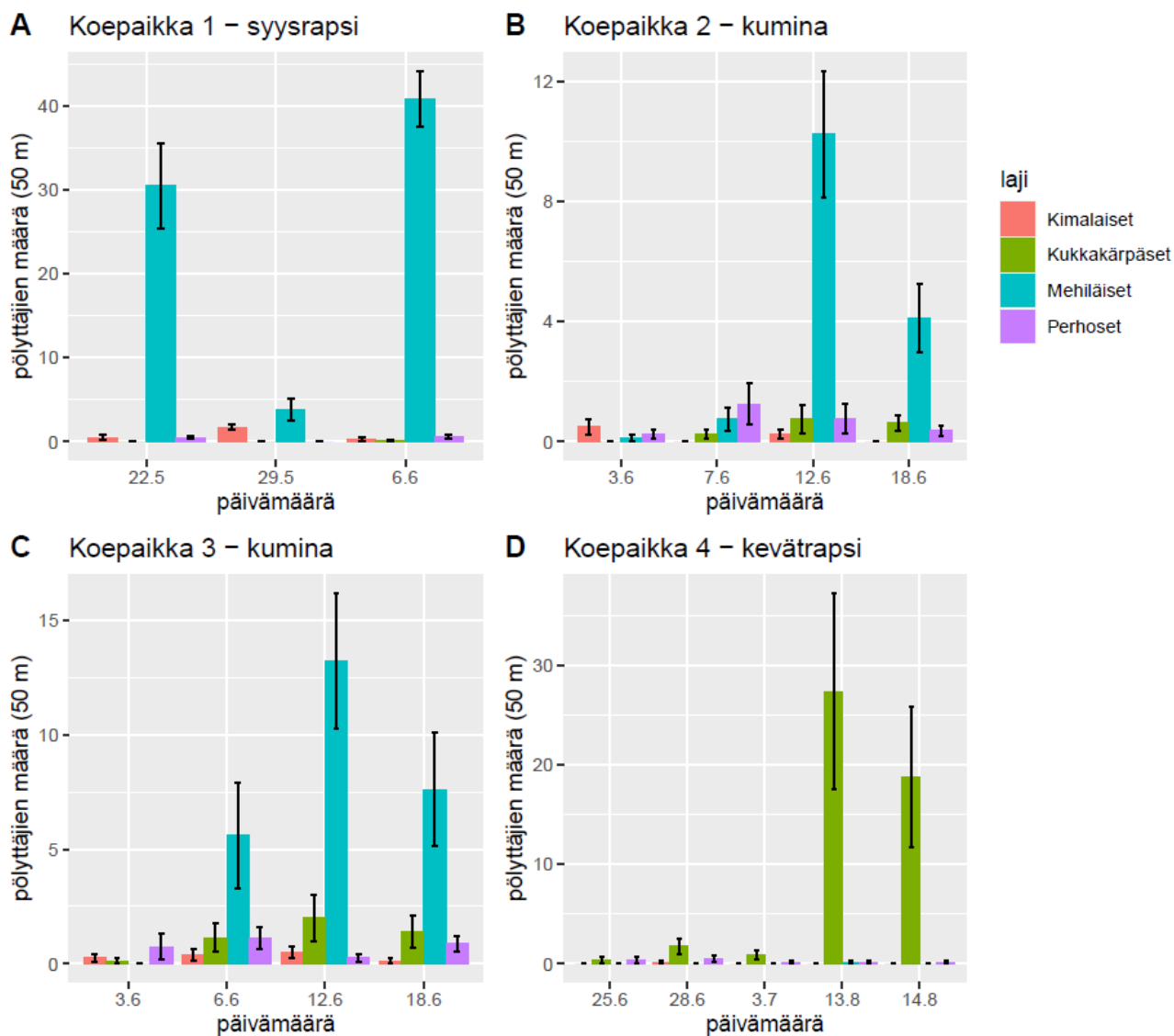
Atsoksistrobiinia havaitsimme tutkimuksessamme kuminalta alle määrittämissä (<10 µg/kg). Tutkimuksessa havaitsemamme määrät vaikuttavat pieniltä tai normaaleilta muissa tutkimuksissa havaittuihin määriin nähden, eikä akuutin toksisuuden raja ylittynyt. Tutkimusta atsoksistrobiinin kroonisesta toksisuudesta tai subletaaleista vaikutuksista ei kuitenkaan ole tehty.

Beyer ym. (2018) havaitsivat Luxemburgissa mehiläistarhojen siitepölystä suurempia ja pienempiä pitoisuuksia kyseistä tehoainetta. Atsoksistrobiinipitoisuus kyseisen tutkimuksen siitepölynäytteissä oli 0,44–22,77 µg/kg. Uruguayssa Niell ym. (2015) totesivat mehiläistarhojen siitepölystä atsoksitrobiinia 0,3–11,0 µg/kg. Kyseisessä tutkimuksessa siitepöly kerättiin mehiläiskennoista, ei siitepölykeräimellä pesän ulkopuolella, kuten omassa tutkimuksessamme. Kennoista kerätty siitepöly on vanhempaa siitepölyä kuin siitepölykeräimellä kerätty, mikä saattaa vaikuttaa jäämätuloksiin. Pohorecka ym. (2012) havaitsivat atsoksitrobiinia mehiläistarhoilta kerätyistä medestä, mutta eivät analysoidusta siitepölystä. Saksalaisessa tutkimuksessa Böhme ym. (2018) havaitsivat siitepölystä erikoisen korkean määrän atsoksitrobiinia. Korkein mitattu pitoisuus kipusi 560,5 µg/kg.

4.2. Pölyttäjien määrät koelohkoilla

Lähes kaikilla peltolohkoilla mehiläiset olivat määrällisesti suurin pölyttäjryhmä (Kuva 10). Muita pölyttäjiä havaitsimme vain yksittäisinä esiintyminä. Poikkeuksen kuitenkin teki kevät-rapsipelto (KP4), jolla emme havainneet linjalaskennoissa mehiläisiä lainkaan, mutta kukkakärpäsiä havaitsimme runsaasti. Kyseinen rapsikasvusto kukki vasta elokuussa eli tavanomaista huomattavasti myöhemmin.

Kukkien määrä ja niiden houkuttelevuus pölyttäjille eli ravinnon saatavuus vaikuttaa pölyttäjien esiintymiseen alueella. Rapsi- ja rypselloilla oli enemmän pölyttäjiä kuin kuminapelloilla. Syysrapsilohko (KP1) kukki hyvin, toisin kuin kevät-rapsi (KP4). Kevät-rapsin viljelyaukealla oli useita kukkivia rypsi- ja rapsipeltoja, jotka todennäköisesti houkuttelivat alkukesästä tutkimuspesien mehiläisiä koelohkon rapsin sijaan (Kuva 10). Toisella kuminapellolla (KP3) oli kuminan seassa runsaasti kukkivaa valkoapilaa. Peltoukutteli pölyttäjiä, mutta ne vierailivat kuminan sijaan apilalla. Kuminalohko KP2 taas kukki ilman aluskasvillisuutta, mutta kuivuus ja lämmin sää lyhensivät kukinta-aikaa. Kyseisellä lohkoilla mehiläiset olivat kiinnostuneita kuminasta vain lyhyen aikaa.

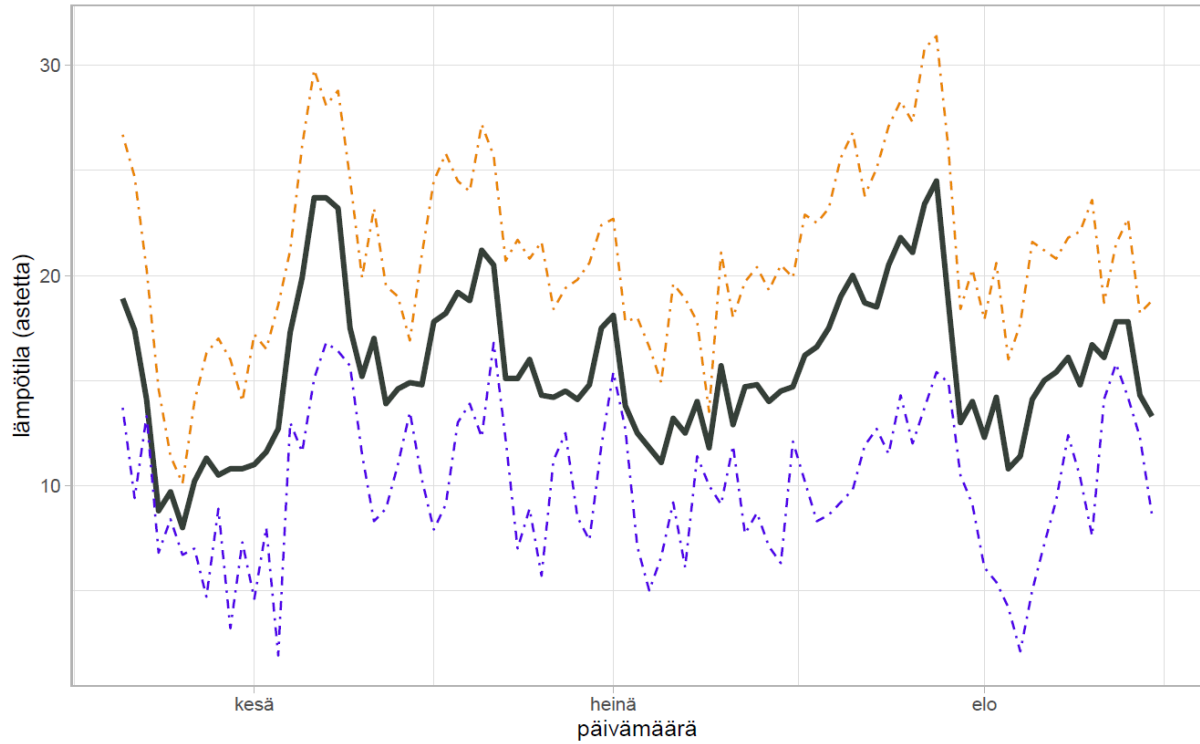


Kuva 10. Pelloilla vierailleet pölyttäjät linjalaskennan perusteella. Kevätropsipelto koepaikalla 4 ei kukkinut kokeen aikana. Kaikilla kukkivilla pelloilla (KP 1, 2 ja 3) oli runsaasti mehiläisiä.

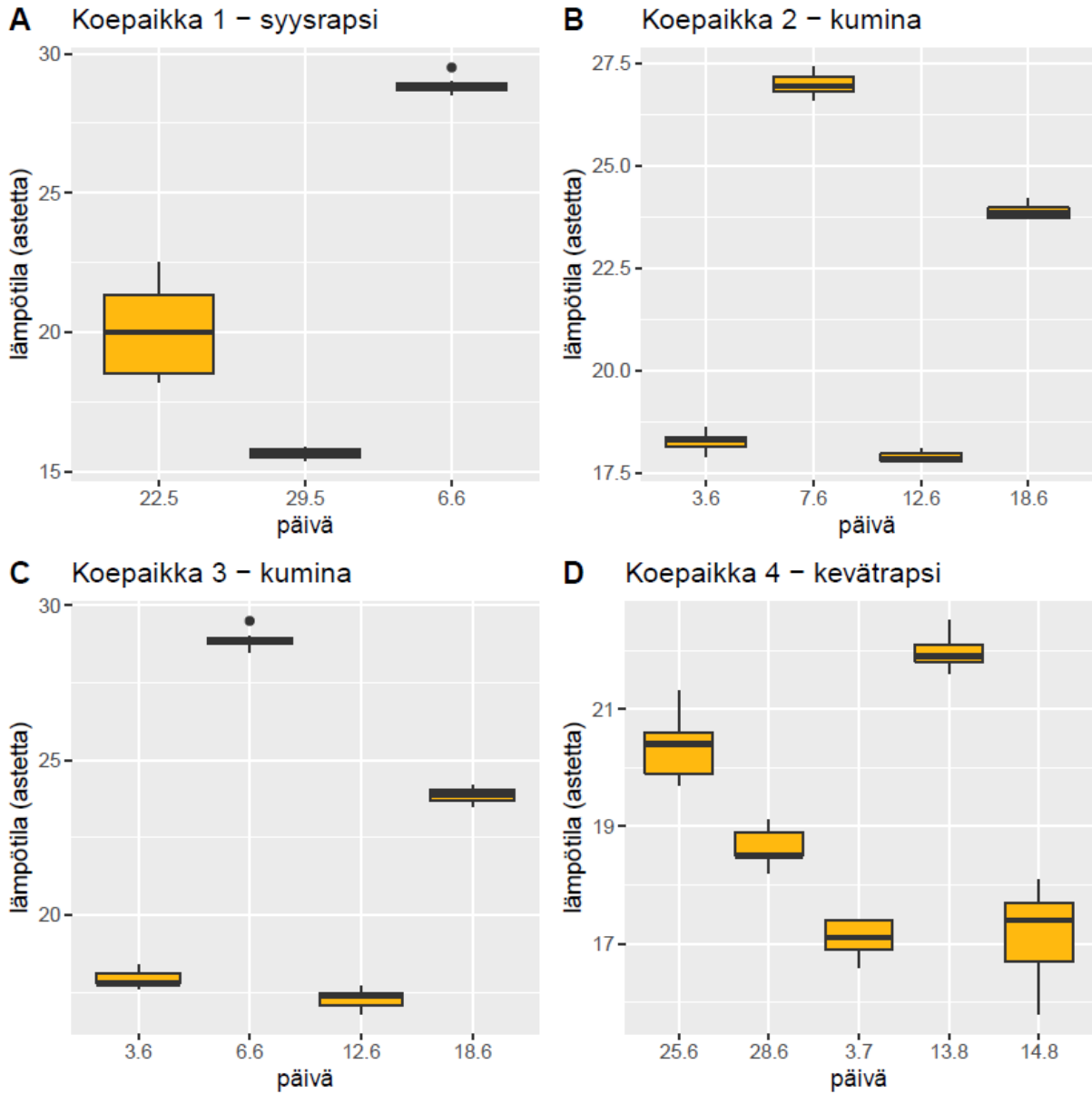
Koepaikka 1 (A) oli ruiskutettu 20. toukokuuta (klo 22:00); koepaikka 2 (B) oli ruiskutettu 3. kesäkuuta (klo 4:00 aamulla) ja 4. kesäkuuta (klo 4:00 aamulla); koepaikka 3 (C) oli ruiskutettu 4. kesäkuuta (klo 5:00 aamulla). Koepaikka 4 (D) oli ruiskutettu 18. kesäkuuta ja 4. heinäkuuta. Ruiskutuksen ja kukinnan välisen pitkän ajanjakson ansiosta mehiläiset eivät todennäköisesti altistuneet torjunta-aineille. Pylväät kaaviossa edustavat päivittäin havaitun pölyttäjien määrään keskiarvoa. Pystysuorat mustat viivat edustavat keskiarvon keskivirhettä.

Linjalaskennat on pyrittävä tekemään pölyttäjille suotuisaan aikaan tynnellä, poutaisella ja lämpimällä säällä. Sääolosuhteiden tulisi olla tasaiset, jotta muutoksia eri peltolohkojen ja laskentakertojen välillä voidaan havaita. Käytännössä kuitenkin laskennat tehtiin vaihtelevassa säässä lämpötilan ollessa kylmimmillään +16°C ja lämpimimmillään +28°C (Kuva 12). Lämpötila vaihteli havaintojakson aikana (Kuva 12), joten sääolosuhteet todennäköisesti vaikuttivat pölyttäjien määrään koepelloilla. Tuulisina ja viileämpinä päivinä havaitsimme vain muutamia pölyttäjiä koepaikalla 1 (Kuvat 10A, 12A, 13A, 14A). Koepaikalla 2 taas havaitsimme enemmän pölyttäjiä, kun tuuli oli heikompaa ja taivas oli pilvetön (Kuvat 10B, 12B, 13B, 14B). Sääolosuhteiden lisäksi vuorokauden aika vaikuttaa pölyttäjien esiintymiseen pellolla. Peltolohkomme sijaitsivat etäällä

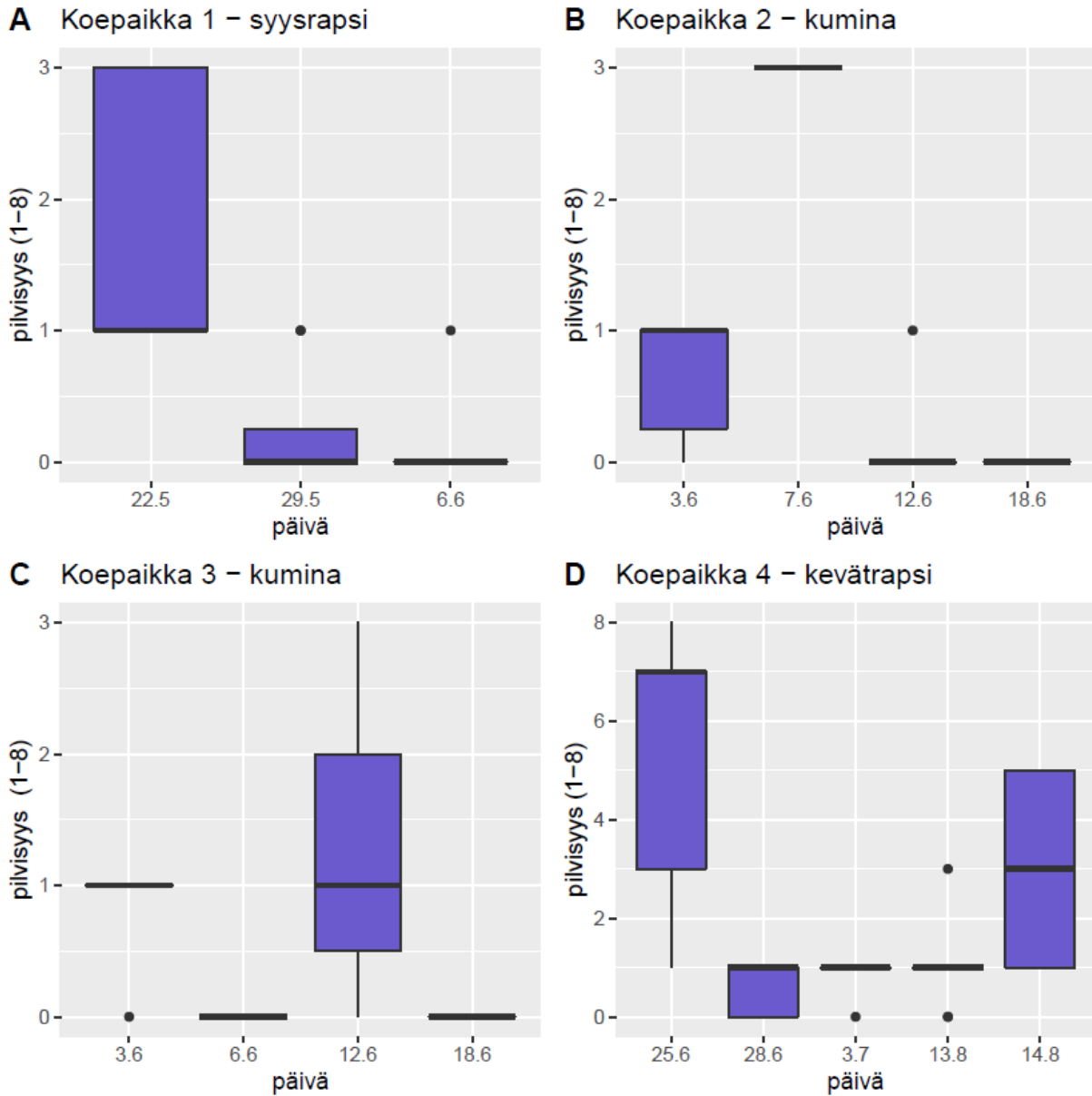
toisistaan, minkä vuoksi emme voineet havainnoida kaikkia lohkoja samaan vuorokauden aikana.



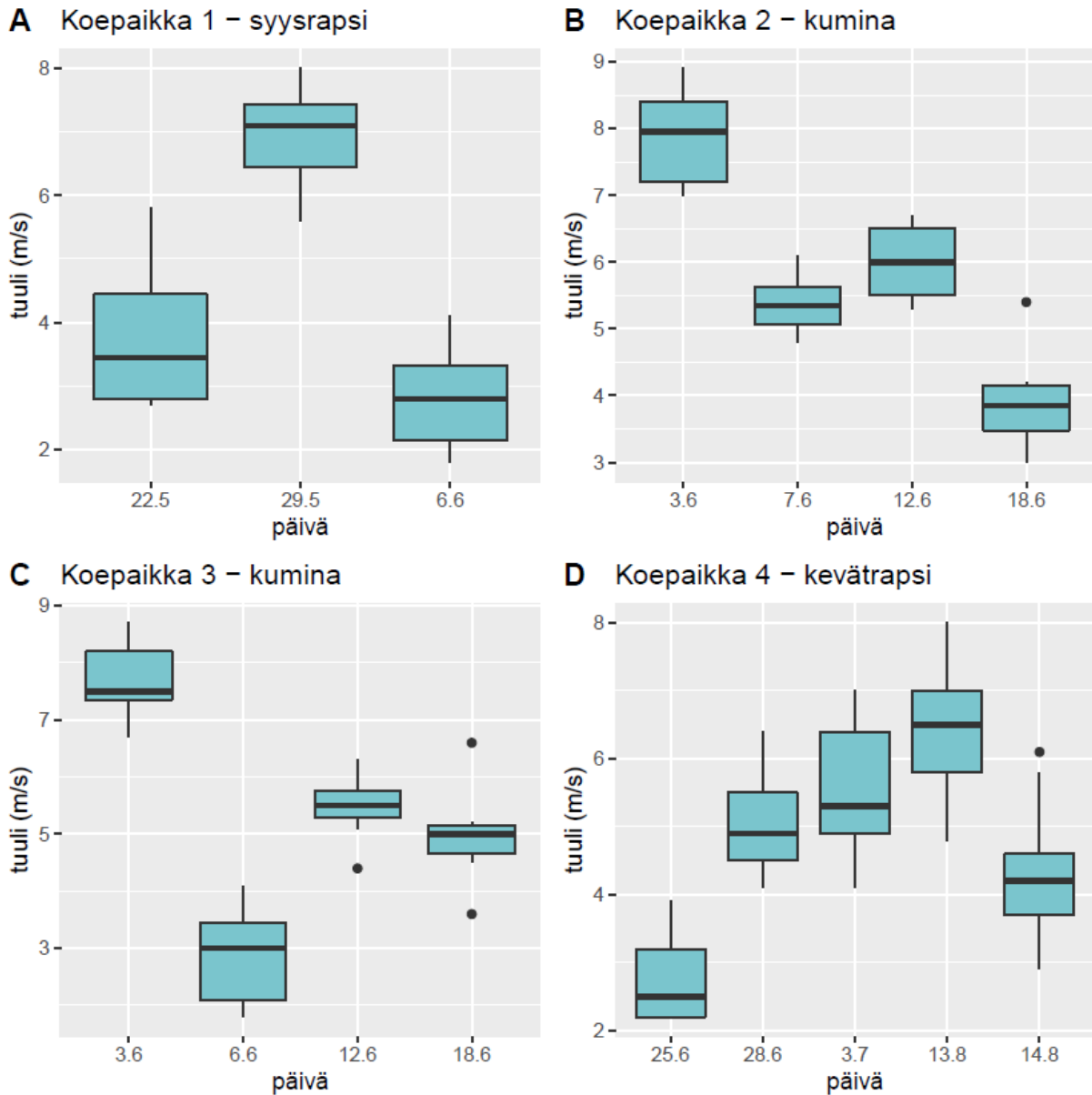
Kuva 11. Vuorokausikohtaiset lämpötilat Ilmatieteen laitoksen Jokioisten ilmatieteellisen observatorion mittausdatan mukaan. Musta viiva kuvaa lämpötilojen keskiarvoja vuorokaudessa ja oranssit sekä siniset katkoviivat kuvaavat ylintä ja alinta vuorokauden lämpötilaa. Säätietoja voidaan pitää edustavina hankkeen eri tutkimuslohkoilla linjalaskentojen laskenta-ajankohtina. Kuitenkin tulee huomioida, että kesäaikaan esimerkiksi sadekuuroja voi esiintyä paikallisesti. Linjalaskentojen ajankohtina ei tutkimuslohkoilla esiintynyt sadekuuroja.



Kuva 12. Päiväkohtaiset lämpötilatiedot linjalaskentojen laskenta-ajankohtina. Laatikot edustavat kvartiilien välistä aluetta 25–75 prosentin välillä. Vaakasuorat viivat edustavat mediaaniarvoja. Pystyviivat edustavat 1,5 kertaa kvartiilien välistä aluetta. Pisteet edustavat poikkeavuuksia.



Kuva 13. Päiväkohtaiset pilvisuus tiedot linjalaskentojen laskenta-ajankohtina. Laatikot edustavat kvartiilien välistä aluetta 25–75 prosentin välillä. Vaakasuurat viivat edustavat mediaaniarvoja. Pystyviivat edustavat 1,5 kertaa kvartiilien välistä aluetta. Pisteet edustavat poikkeavuuksia.



Kuva 14. Päiväkohtaiset tuulitiedot linjalaskentojen laskenta-ajankohtina. Laatikot edustavat kvartiilien välistä aluetta 25–75 prosentin välillä. Vaakasuurat viivat edustavat mediaaniarvoja. Pystyviivat edustavat 1,5 kertaa kvartiilien välistä aluetta. Pisteet edustavat poikkeavuuksia.

4.3. Siitepölyjen alkuperä koelohkojen mehiläispesissä

Tunnistimme siitepölyn kasvilajin alkuperän tässä hankkeessa kehitetyn valokuvausmenetelmän avulla. Vertasimme valokuvausmenetelmien tuloksia siitepölylajien määrittäisiin, jotka oli tehty valomikroskoopilla SML:ssä. Vertailun perusteella valokuvaustekniikalla pystyttiin tunnistamaan lähes aina rapsin tai rypsin siitepöly, mutta muiden kasvilajien kohdalla valokuvaustekniikka ei tunnistanut oikeaa kasvilajia. Valokuvaustekniikka ei siis ainakaan nykyisellään sovellu siitepölylajien tarkkaan analyysiin. Kuitenkin sen avulla saatiin käsitys helposti tunnistettavien satokasvien, kuten esimerkiksi keltaisena erottuvien rypsin ja rapsin siitepölyn, osuudesta näytteistä. Lisäksi valokuvauksen perusteella saatiin kuva eri kasvilajien runsaudesta. Lajien määrän tunnistamiseen ei päästä valomikroskooppitunnistuksella yhtä nopeasti.

Taulukko 5. Vertailu: valokuvaustekniikalla ja valomikroskoopilla siitepölynäytteistä tunnistetut kasvit. Mikroskoopilla on tunnistettu jokaisesta näytteestä 3–4 yleisintä lajia. Taulukossa näkyy valokuva-analyysin perusteella tunnistetut kolme yleisintä lajia. Kasvilajit, joille nämä kaksi menetelmää tuottivat samat tulokset, on alleviivattu.

KP	Pvm.	Valokuva-analyysi (Luke)	Valomikroskooppianalyysi (SML)
1 (syys-rapsi)	23.5. 2019	rypsi/mesikkä	Ristikukkaiskasvit (rapsi/rypsi), myös pyökkikasvit (tammi);
		rantakukka	Ruusukasvit (hedelmäpuut);
		vuohenherne	Ruusukasvit (hedelmäpuut)(orapihlaja), myös pyökkikasvit (tammi);
	4.6. 2019	mesiangervo	Ristikukkaiskasvit (rapsi/rypsi) ja sarjakukkaiskasvit (kumina);
		rantakukka	Ruusukasvit (pihlaja), myös muita ruusukasveja ja ristikukkaiskasveja;
		rypsi/mesikkä	Ruusukasvit (pihlaja), myös muita ruusukasveja;
	6.6.2019	mesiangervo	Ristikukkaiskasvit (rapsi/rypsi);
rypsi/mesikkä		Ruusukasvit (pihlaja)(hedelmäpuut), myös muita ruusukasveja;	
2 (kumina)	6.6. 2019	mesiangervo	Unikkokasvit (unikko);
		rantakukka	Sarjakukkaiskasvit (kumina), myös vähän ristikukkaiskasvit (rapsi/rypsi);
		voikukka	Ristikukkaiskasvit, myös ruusukasvit (pihlaja), sekä muita ruusukasveja;
	10.6. 2019	mesiangervo	Unikkokasvit (unikko) ja kanervakasvit (puolukka);
		rentukka	Ristikukkaiskasvit, myös ruusukasvit (ruusu);
		koiranputki/kumina	Hernekasvit (valkoapila), myös ruusukasvit (kellukka);
		puna-/valkoapila	Sarjakukkaiskasvit (kumina);
	12.6. 2019	mesiangervo	Leinikkikasvit (leinikki) ja kanervakasvit (puolukka);
		rentukka	Ruusukasvit (ruusu);
		koiranputki/kumina	mm. hernekasvit (valkoapila), ruusukasvit (kellukka) ja kurjenpolvikasvit (kurjenpolvi);
3 (kumina)	5.6. 2019	mesiangervo	Sarjakukkaiskasvit (kumina), myös saippuamarjakasvit (vaahtera);
		rentukka	Ristikukkaiset (rapsi/rypsi);
		rantakukka	Ruusukasvit (pihlaja), myös muita ruusukasveja;
	6.6. 2019	paju	Saippuamarjakasvit (vaahtera);
		mesiangervo	Ristikukkaiskasvit (rapsi/rypsi);
		rypsi/mesikkä	Ruusukasvit (pihlaja), myös muita ruusukasveja;
	11.6. 2019	rantakukka	Sarjakukkaiskasvit (kumina), myös vähän ristikukkaiskasvit (rapsi/rypsi) ja kanukkakasvit (kanukka);
		rypsi/mesikkä	Ristikukkaiskasvit (rapsi/rypsi);
		paju	Leinikkikasvit (leinikki), myös öljypuukasvit (syreeni);
		koiranputki/kumina	Ristikukkaiskasvit;
	12.6.2019	rentukka	Ristikukkaiskasvit ja hernekasvit (valkoapila);
		rantakukka	Sarjakukkaiskasvit (kumina);
			rypsi/mesikkä

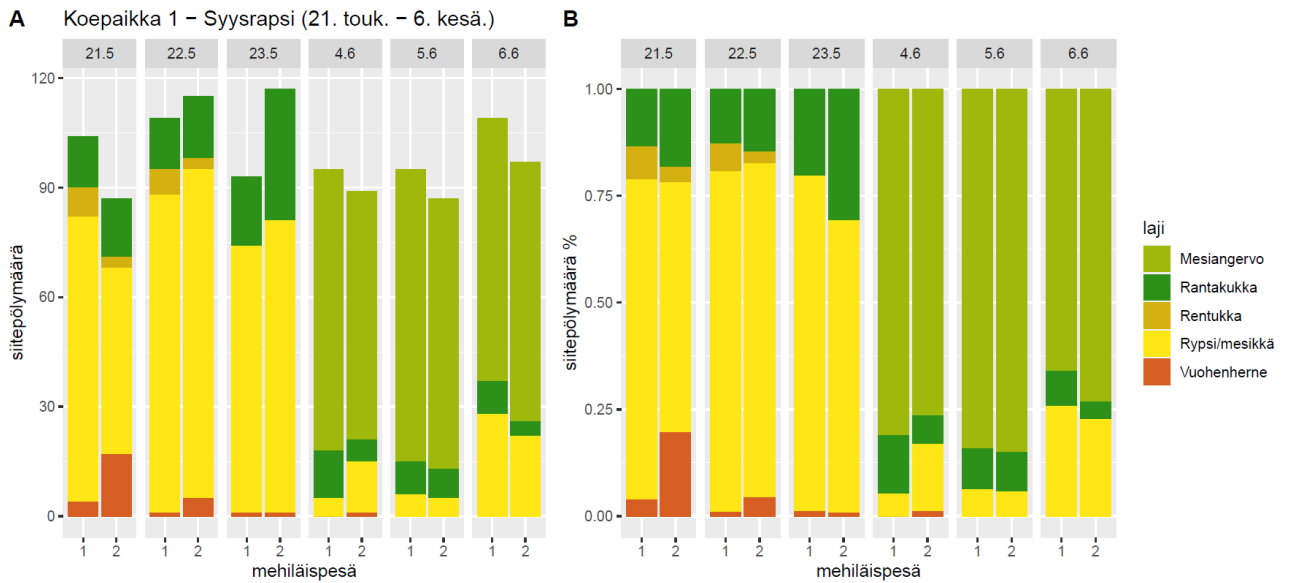
4 (kevät-rapsi)	26.6. 2019	horsma	Hernekasvit (härkäpapu);
		hunajakukka/sini-lilja	Liljakasvit ja asterikasvit (mm. saunakukka/päivänkakkara/kärsämöt);
		voikukka	Horsmakasvit (horsma);
	28.6. 2019	rypsi/mesikkä	Ristikukkaiskasvit (rapsi/rypsi);
		horsma	Ruusukasvit (mesiangervo);
		mesiangervo	Hernekasvit (härkäpapu);
		hunajakukka/sini-lilja	Horsmakasvit (horsma);
	3.7. 2019	rypsi/mesikkä	Ristikukkaiskasvit (rapsi/rypsi);
		horsma	Horsmakasvit (horsma);
		mesiangervo	Hernekasvit (härkäpapu);
		rentukka	Ruusukasvit (mesiangervo);
	12.7. 2019	rypsi/mesikkä	Ristikukkaiskasvit (rapsi/rypsi);
		vuohenherne	Hernekasvit (härkäpapu);
		hunajakukka/sini-lilja	Hernekasvit (valkoapila)(puna-apila);
		mesiangervo	Ruusukasvit (mesiangervo);

Valokuvamenetelmän perusteella mehiläiset keräsivät siitepölyä 14 kasvilajilta (Taulukko 5). Peltojen ja erilaisten mehiläispesien välillä oli eroja niiden keräämässä siitepölyssä, vaikka kunkin koelohkon tutkimuspesät sijaitsivat vain muutaman metrin päässä toisistaan. Mehiläiset keräsivät siitepölyä myös muilta kuin koepeltojen kasveilta: Lajimäärällisesti mehiläiset keräsivät enemmän luonnonvaraisten kasvien siitepölyä kuin satokasvien siitepölyä. Määrällisesti mehiläiset kuitenkin keräsivät siitepölyä enemmän rypsilta tai rapsilta kuin luonnonvaraisilta kasveilta (Kuva 6). Kerätty siitepöly ja sen osuus mehiläisen ravinnosta vaikuttaa kyseisten hyönteisten altistumiseen kasveissa oleville mahdollisille kasvinsuojeluaineille.

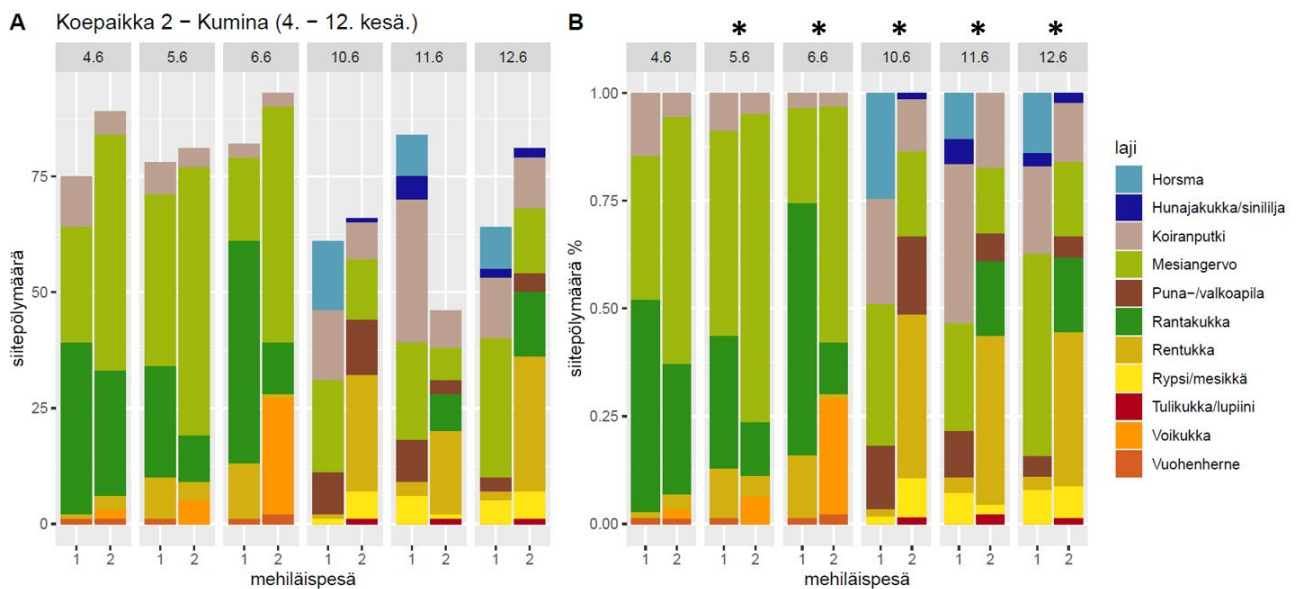
Taulukko 6. Siitepölynäytteiden kokonaismäärä jokaisella koepaikalla, summa ja prosenttiosuus kokonaismäärästä. Vaaleankeltaisella värillä on merkitty kolme kokeessa eniten havaittua kasvinlajia. Lihavoidulla fontilla on merkitty isoin kasvinlaji jokaisella koepaikalla (KP). Viljelykasvit on alleviivattu.

Koepaikkojen mehiläis-pesien (2 kpl) siitepölyn alkupe-räkasvit	KP 1 syysrypsi Siitepölypalloja kpl	KP 2 kumina Siitepölypalloja kpl	KP 3 kumina Siitepölypalloja kpl	KP 4 kevätropsi Siitepölypalloja kpl	Yhteensä koepaikat: Siitepölypalloja kpl	Siitepölyn koostumus % kasvilaji
Mesiangervo	442	345	396	38	1221	30,76
Rypsi/ mesikkä	539	25	165	467	1196	30,13
Rantakukka	165	179	233	-	577	14,53
Koiranputki/ kumina	-	119	119	-	238	5,99
Rentukka	21	108	91	18	238	5,99
Paju	-	-	140	-	140	3,53
Horsma	-	33	-	72	105	2,64
Vuohen-heme	30	6	28	32	96	2,42
Hunaja-kukka/ sinililja	-	10	-	43	53	1,34
Puna-/ valkoapila	-	40	-	10	50	1,26
Voikukka	-	32	1	15	48	1,21
Tulikukka/ Lupiini	-	3	-	1	4	0,10
Idän-unikko	-	-	-	3	3	0,08
Ahde-/ruiskau- nokki	-	-	-	1	1	0,03
YHTEENSÄ kpl	1197	900	1173	700	3970	-

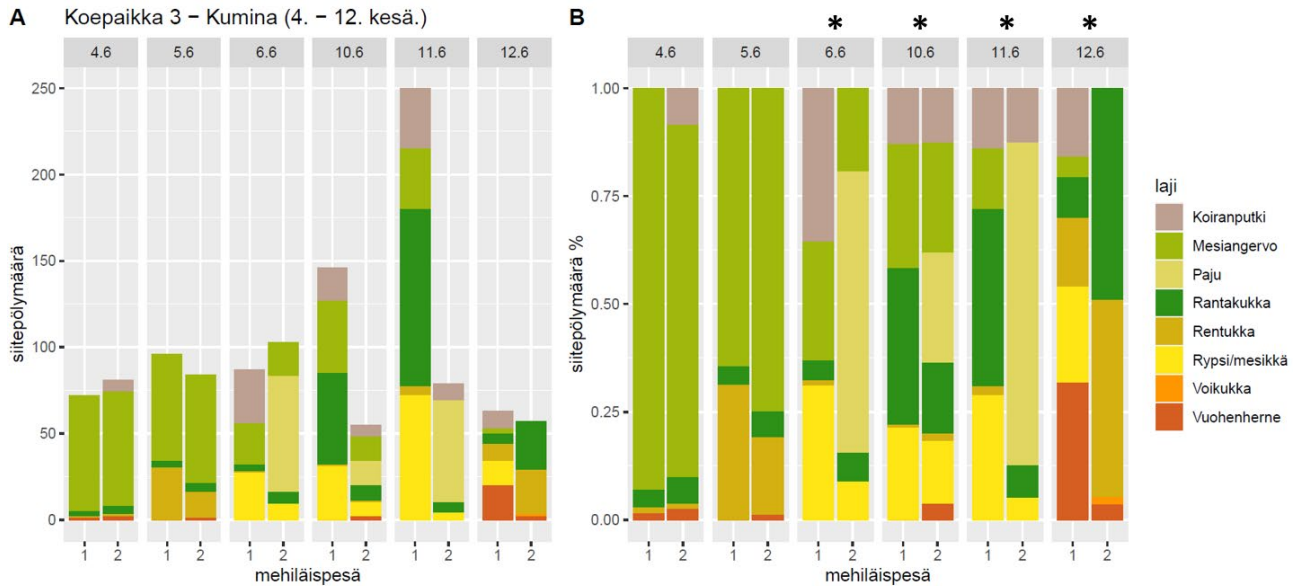
Mehiläispestistä kerättyjen siitepölypalleroiden määrät havainnollistetaan **kuvissa 15–19**.



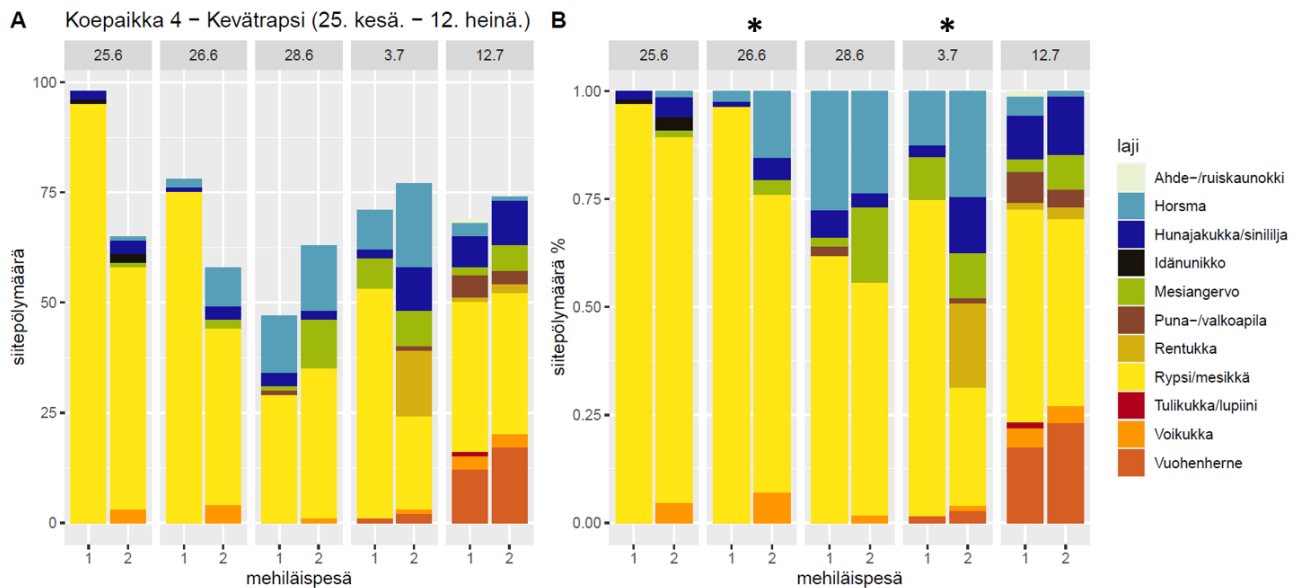
Kuva 15. Mehiläispestistä kerättyjen siitepölypalleroiden määrät koelohkolla 1 (syysrapsi): (A) summa; (B) prosenttia kokonaismäärästä. Merkittäviä erot pesien välillä (eli joiden χ^2 -analyysin p -arvo oli <0.001) ovat merkitty tähdellä (*).



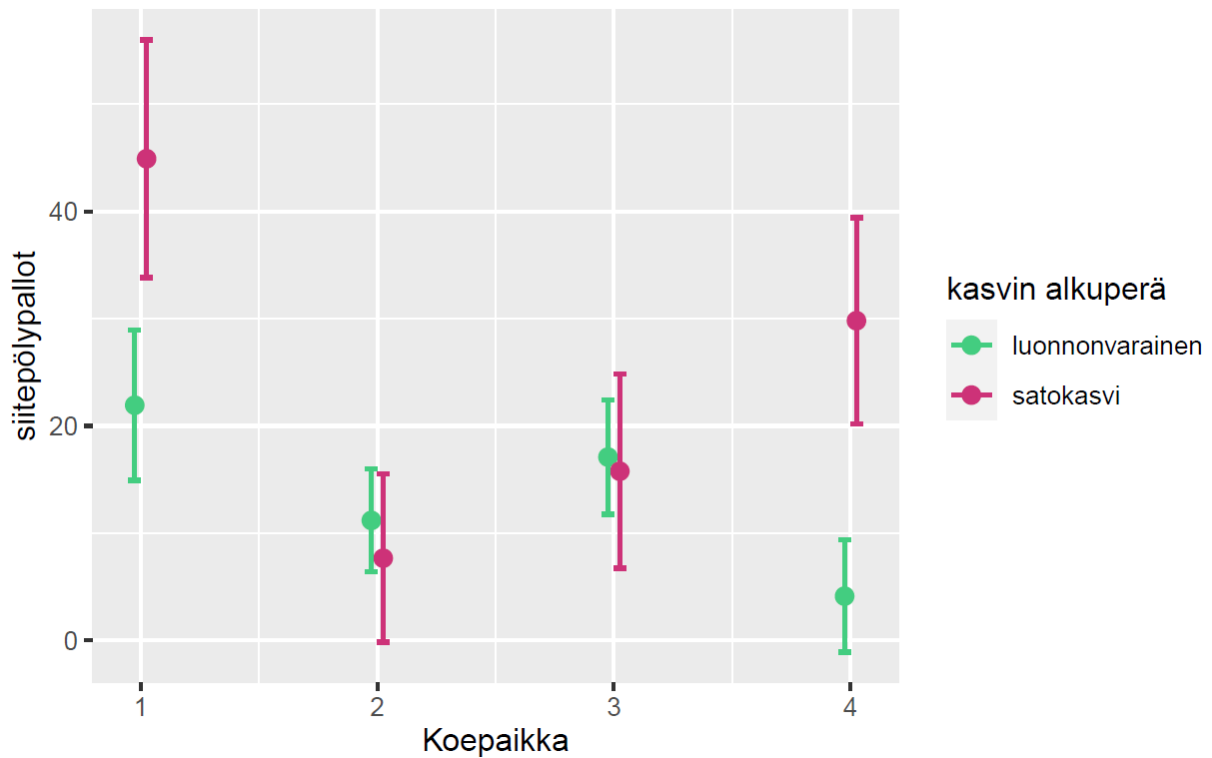
Kuva 16. Mehiläispestistä kerättyjen siitepölypalleroiden määrät koelohkolla 2 (kumina): (A) summa; (B) prosenttia kokonaismäärästä. Merkittävät erot pesien välillä (eli joiden χ^2 -analyysin p -arvo oli <0.001) ovat merkityt tähdellä (*).



Kuva 17. Mehiläispesistä kerättyjen siitepölypalleroiden määrät koelohkolla 3 (kumina): (A) summa; (B) prosenttia kokonaismäärästä. Merkittävät erot pesien välillä (eli joiden χ^2 -analyysin p -arvo oli <0.001) ovat merkityt tähdellä (*).



Kuva 18. Mehiläispesistä kerättyjen siitepölypalleroiden määrät koelohkolla 4 (kevätrapsi): (A) summa; (B) prosenttia kokonaismäärästä. Koelohko ei ollut kukkinut siitepölykeräysten aikana. Merkittävät erot pesien välillä (eli joiden χ^2 -analyysin p -arvo oli <0.001) ovat merkityt tähdellä (*).



Kuva 19. Mehiläispesien lentoaukkojen eteen sijoitettuihin siitepölykeräimiin kertyneiden siitepölypalleroiden määrät luonnonvaraisista ja satokasveista kaikilla neljällä koepaikalla. Koepaikoissa 1 ja 4 mehiläiset olivat keränneet enemmän siitepölynäytteitä satopelloista. Koepaikoilla 1 ja 4 viljeltiin rapsia ja koepaikoilla 2 ja 3 kuminaa. Kevätrapsilohko koepaikalla 4 ei ollut kukkinut siitepölykeräyksen aikana. Satokasvit analyysissä ovat rapsi ja apila. Koska koiranputki oli todennäköisesti kumina, sitäkin pidettiin mehiläisten satokasvina tässä analyysissä. Kun koiranputki pidettiin luonnonvaraisena kasvina tulokset eivät muutu. Ero luonnonvaraisten ja satokasvien välillä oli merkittävä lohkoilla 1 ja 4, eli öljykasvilohkoilla (KP1: $F_{1,40}=5.2$, $P=0.03$; KP2: $F_{1,86}=1.3$, $P=0.3$; KP3: $F_{1,67}=0.04$, $P=0.8$; KP4: $F_{1,68}=40.4$, $P<0.0001$).

4.4. Kasvinsuojeluainejäämät pintavedessä

4.4.1. Vesinäytteistä havaitut aineet

Vesinäytteistä havaittiin kasvinsuojeluaineita (8 herbisidiä, 2 fungisidia); hyönteiskarkoitteiden tehoainetta (DEET) ja kahta vuosia sitten kiellettyä yhdistettä (heksaklooribentseeni & pentaklooribentseeni). Havaitut pitoisuudet ovat **taulukossa 7**.

Vesinäytteistä ei havaittu KP4 mehiläispesien siitepölynäytteistä löytyneitä insektisidejä (tiaklopridiä ja indoksikarbina) tai fungisidia (tebukonatsolia). Vesistä ei myöskään havaittu KP1-KP3 siitepölynäytteistä havaittua lambda-syhalotriinia. Sen määritysraja vesinäytteissä oli 50 kertaa suurempi kuin pintavedelle arvioitu haitaton pitoisuus (predicted no effect concentration, PNEC). Kaikkien analysoitujen aineiden määritysrajat on esitetty Liitteissä (Taulukko 11).

Yksittäisistä vesinäytteistä havaittiin 0–8 eri yhdistettä. Eniten aineita havaittiin heinäkuun näytteissä, jolloin myös pitoisuudet olivat useimmilla aineilla suurimmillaan. Koepellon viereisen ojan ainekirjo erosi muiden paikkojen vastaavista. Lähdeojasta ja Jänhijoesta havaitut aineet olivat keskenään samoja.

Yleisimmin vesistä havaittiin herbisidejä: Tritosulfuronia ja bentatsonia havaittiin puolesta vesinäytteistä (9/18) ja MCPA:ta kolmanneksesta (6/18). Lisäksi havaittiin metatsakloria neljässä, mekopropia (sisältäen myös mekopropi-P:n), metributsiinia ja sen hajoamistuotetta sekä propoksikarbatsonia kutakin kolmessa, fluroksipyriä kahdessa ja florasulamia yhdessä vesinäytteessä.

Vesistä havaittiin kahta fungisidia: Atsoksistropiinia havaittiin 4/18 vesinäytteistä ja metalaksyyliä havaittiin määritysrajaa pienempi pitoisuus 3/18 vesinäytteestä. Metalaksyylin hajoamistuotteita (CGA 108906 & CGA 62826) ei havaittu.

Hyönteiskarkoitteissa käytettävää DEET:iä havaittiin 4/18 vesinäytteistä eli sitä havaittiin vesistä harvemmin kuin suomalaisissa pintavesien kartoituksissa keskimäärin. Siimes ja Vähä (2019) kokosivat DEET:iin liittyvää tietoa yhteen ja arvioivat karkeasti saatavilla olevan ekotoksisuustiedon perusteella pintavesille PNEC-arvon. DEET:iä ei havaittu siitepölynäytteistä.

Nummela1-ojasta havaittiin marraskuun näytteessä heksaklooribentseeniä (HCB) ja pentaklooribentseeniä (PeCB). Niitä on käytetty kasvinsuojeluaineina 1970-luvulle asti, mutta aineita on käytetty myös teollisuudessa, puunsuoja-aineina ja niitä on syntynyt sivutuotteina/vahingossa mm. polttoprosesseissa. Molempien aineiden kaikki käyttö on kielletty kansainvälisesti Tukholman sopimuksella. Suomalaisissa pintavesissä HCB:tä on havaittu määritysrajan ylittävänä pitoisuutena edellisen kerran vuonna 1990 (ympäristöhallinnon tietokanta, syke.avoindata.fi). PeCB:n pitoisuustuloksia vedestä on ympäristöhallinnon tietokannassa vasta vuodesta 2007 lähtien. eikä sitä ole kertaakaan havaittu vesinäytteistä (n=1120). PeCB:tä on havaittu kerran passiivikeräimellä Savijoelta vesinäytteiden määritysrajaa pienempänä pitoisuutena (Ahkola & Siimes 2019). Molempia on havaittu kaloista (esim. Junttila ym. 2019). Näitä hyvin pysyviä ja jo vuosikymmeniä sitten käytöstä poistuneita aineita on saattanut päätynyt maahan ojan vieressä kulkevan museorautatien ratapölkkyistä tai varikkoalueelta. Maan jäätyminen ja sulaminen ovat saattaneet edesauttaa niiden huuhtoutumista ojaan. Näytteenottajien mukaan oja oli näytteenottohetkellä sula, mutta näytteenottoa oli edeltänyt pakkasjakso.

Suurimmat vedestä havaitut pitoisuudet ja havaittujen aineiden PNEC:t ovat **taulukossa 8**.

Taulukko 7. Vesinäytteistä havaitut yhdisteet (Nummela1 oja, Lähdeoja ja Jänhijoki).

Merkinnät: F=fungisidi, H=herbisidi, Hh = herbisidin hajoamistuote ja M =muu; <MR = ainetta on todettu kvantifioimisrajaa pienempi pitoisuus; nd = ainetta ei ole havaittu ja - = ei näytettä

Havaitut aineet (ryhmä)	17.6. 2019	25.6. 2019	8.7. 2019	29.7. 2019	26.8. 2019	30.9. 2019	11.11. 2019	Havaitsemiskerrat
Nummela_1 oja KP4 ja museorautatien välissä								
Metalaksyyli (F)	<0,010	-	Nd	-	<0,01	Nd	<0,01	2/5
Bentatsoni (H)	Nd	-	0,160	-	0,029	0,040	0,024	5/5
Florasulami (H)	Nd	-	0,017	-	Nd	Nd	Nd	1/5
Fluroksipyryri (H)	Nd	-	1,50	-	Nd	Nd	0,14	2/5
MCPA (H)	0,130	-	Nd	-	Nd	Nd	0,012	1/5
Mekoproppi + mekopropi-p (H)	0,570	-	0,220	-	Nd	0,012	Nd	3/5
Metatsakloori (H)	<0,010	-	58	-	<0,010	0,037	Nd	4/5
Tritosulfuroni (H)	Nd	-	<0,010	-	0,018	Nd	Nd	3/5
Pentaklooribentseeni (PeCB) (M)	Nd	-	Nd	-	Nd	Nd	<0,005	1/5
Heksaklooribentseeni (HCB) (M)	Nd	-	Nd	-	Nd	Nd	0,023	1/5
Havaitut aineet (lkm)	4	-	6	-	4	3	6	3-6
Lähdeoja – valtaoja								
Atsoklistropiini (F)	-	Nd	0,014	Nd	Nd	0,011	<0,005	3/6
Bentatsoni (H)	-	Nd	0,084	Nd	Nd	Nd	0,011	2/6
MCPA (H)	-	0,022	0,150	Nd	0,014	Nd	Nd	2/6
Metributsiini (H)	-	Nd	0,310	Nd	Nd	0,023	Nd	2/6
Metributsiini-des-amino (Hh)	-	Nd	0,060	Nd	Nd	0,010	Nd	2/6
Propoksikarbasoni (H)	-	Nd	0,011	Nd	Nd	Nd	0,010	2/6
Tritosulfuroni (H)	-	Nd	0,018	Nd	Nd	Nd	Nd	1/5
DEET (M)	-	Nd	0,023	Nd	Nd	Nd	Nd	1/6
Havaitut aineet (lkm)	-	1	8	0	1	3	3	0-8
Jänhijoki – Loimijoen sivujoki								
Atsoklistropiini (F)	Nd	Nd	<0,005	Nd	Nd	Nd	Nd	1/7
Bentatsoni (H)	0,024	Nd	0,022	Nd	Nd	Nd	<0,010	2/7
MCPA (H)	Nd	<0,010	0,066	Nd	Nd	Nd	Nd	3/7
Metributsiini (H)	Nd	Nd	0,054	Nd	Nd	Nd	Nd	1/7
Metributsiini-des-amino (Hh)	Nd	Nd	0,010	Nd	Nd	Nd	Nd	1/7
Propoksikarbasoni (H)	0,014	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	<0,01	1/7
Tritosulfuroni (H)	0,008	<0,010	0,030	0,012	0,014	Nd	Nd	5/7
DEET (M)	3	Nd	0,015	Nd	<0,005	Nd	Nd	3/7
Havaitut aineet (lkm)	3	2	7	1	2	0	2	0-7

Taulukko 8. Yhteenvedo siitepölystä ja vedestä havaittujen aineiden esiintymisestä.

Siitepöly: ainetta havaittu koepelloilta (KP1-4), Nd=ei havaittu, NA=ei analysoitu; Mx: suurin vesinäytteistä havaittu pitoisuus; PNEC: vesiympäristölle arvioitu haitaton pitoisuus (lähteet alaviitteissä), HCB:llä enimmäispitoisuuden laatu normi; Mx>PNEC=merkintä "!"; Pintavedet 2016-2020: ympäristöhallinnon tietokannan (syke.avoindata.fi) arvoista lasketut pitoisuudet Kv=kvantifioitu/analysoitu, mx=suurin muualta havaittu pitoisuus (ei Jokioinen 2019).

Aine	Siitepöly	Mx µg/l	PNEC µg/l	Mx>PNEC	Havainnot tässä hankkeessa ja muut huomiot	Pintavedet 2016–2020
Atsoksistropiini	KP2-3	0,014	0,95 ^{A)}		Lähdeoja 3/6, Jänhijoki 1/7	Kv 48/396 mx 0,100 µg/l
Bentatsoni	NA	0,16	80 ^{A)}		Nummela_1 oja 5/5, Lähdeoja 2/6, Jänhijoki 2/7	Kv 132/394 mx 1,4 µg/l
DEET	Nd	0,023	50 ^{B)}		Lähdeoja 1/6, Jänhijoki 3/7	Kv 233/417 mx 0,42 µg/l
Florasulami	NA	0,017	0,005 ^{A)}	!	Nummela_1 oja 1/5	Kv 3/392 mx 0,100 µg/l
Fluroksipyri	NA	1,5	460 ^{A)}		Nummela_1 oja 2/5	Kv 50/392 2.: 0,67 µg/l
Heksaklooribentseeni (HCB)	Nd	0,023	0,05 ^{*C)}		Nummela_1 oja 1/5; *enimmäispit. laatu normi. Tukholman sop.	Kv 1/414 (tämä hanke)
Indoksakarbi	KP4	Nd	0,168 ^{D)}		Riskit pintavesissä arvioitu pieniksi (EFSA 2018)	Kv 0/132
lambda-syhalotriini	KP1-3	Nd	0,0002 ^{A)}	?	määritysraja 0,01 µg/l	Kv 0/395
MCPA	NA	0,15	1,6 ^{C)}		Nummela_1 oja 1/5, Lähdeoja 2/6, Jänhijoki 3/7	Kv 157/406 mx 1,9 µg/l
Mekoproppi (&-P)	NA	0,22	44 ^{A)}			
Metalaksyli	NA	<0,01	0,12 ^{*A)}		Nummela_1 oja 2/5, *PNEC metalaksyli-M:lle	Kv 0/392
Metatsakloori	NA	58	0,4 ^{A)}	!	Nummela_1 oja 4/5, myös Ka > PNEC	Kv 15/392 3.: 0,09 µg/l
Metributsiini	NA	0,31	0,058 ^{A)}	!	Lähdeoja 2/6, Jänhijoki 1/7 (myös hajoamistuotetta)	Kv 18/398 2.: 0,13 µg/l
Pentaklooribentseeni (PeCB)	NA	<0,005	0,007 ^{C)}		Nummela_1 oja 1/5; Tukholman sop.	Kv 0/414
Propoksikarbasoni	NA	0,011	0,88 ^{A)}		Lähdeoja 2/6 & Jänhijoki 1/7	Kv 37/344 mx 0,17 µg/l
Tebukonatsoli	KP3-4	Nd	0,24 ^{E)}		Havaittu KP4 siitepölystä	Kv 10/396 mx 0,034 µg/l
Tiaklopridi	KP4	Nd	0,01 ^{F)}		Lähin ruiskutettu pelto vesinäytepaikoista alajuoksulla	Kv 6/439 mx 0,10 µg/l
Tritosulfuroni	NA	0,03	0,75 ^{A)}		Nummela_1 oja 3/5, Lähdeoja 1/6, Jänhijoki 5/7	Kv 106/394 mx 1,9 µg/l

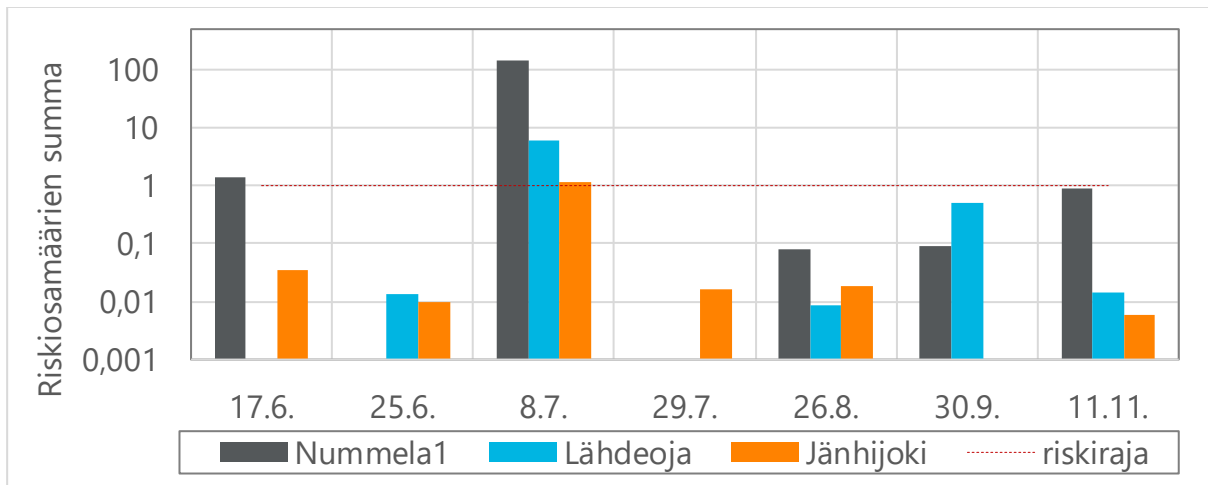
A) Kontiokari & Mattsoff 2011 (poimittu ehdotukset vuosikeskiarvon laatu normeiksi); B) Siimes & Vähä 2019; C) Vn:n asetus vesiympäristölle vaarallisista ja haitallisista aineista 1022/2006 (liitteet 1C ja 1D); D) PNEC, jota käyttivät mm. Berggren ym. 2018; E) Gomez Cortes ym. 2020; sama arvo myös määritysrajavaatimuksena (EU 2020/1161); F) Loos ym. 2018.

4.4.2. Havaittujen pitoisuuksien haitallisuus

Aineiden haitallisuutta arvioitiin vertaamalla havaittuja pitoisuuksia haitattomiin pitoisuuksiin (Taulukko 8). Florasulamin, metatsaklorin ja metributsiinin yksittäisten näytteiden pitoisuudet ylittivät PNEC-arvon. Vertailuarvona käytetty PNEC oli kuitenkin määritetty krooniselle haitallisuudelle, joka vastaisi paremmin havaittujen aineiden keskiarvoa (paitsi heksaklooribentseenin kohdalla). Metatsaklorin ja florasulamin keskiarvopitoisuudet ylittivät PNEC:n kentän viereisessä Nummela_1 ojassa. Ojan valuma-alue on niin pieni, ettei sitä lasketa vesilain mukaan vesistövedeksi.

Kaikkein haitallisimpien aineiden, esimerkiksi lambda-syhalotriinin, esiintymistä haitallisena pitoisuutena ei voitu tulosten perusteella arvioida. Lambda-syhalotriini vaikuttaa pintavesissä jo hyvin pieninä pitoisuuksina vedessä eläviin selkärangattomiin kuten hyönteisiin ja vesikirppuihin. Se on myrkyllinen myös kaloille.

Kunkin aineen havaitun pitoisuuden ja PNEC arvon suhdetta kutsutaan riskiosamääräksi. Kun riskiosamäärä on suurempi kuin yksi, pitoisuutta ei voida pitää turvallisena. Tässä hankkeessa eri aineiden yhteisvaikutuksia arvioitiin karkeasti olettamalla vaikutukset additiivisiksi eli laskeamalla saman näytteen eri aineiden riskiosamäärät yhteen (Kuva 20). Mukaan otettiin vain kvantifioitujen pitoisuuksien summat. Todellisuudessa vesissä oli paljon muitakin aineita, jotka saattoivat vaikuttaa kokonaisuuteen, vaikka määritysrajat eivät ylittyneet.



Kuva 20. Kaikkien vesinäytteistä kvantifioitujen aineiden riskiosamäärien summat. Huomaa kuvan logaritminen asteikko. Puuttuvat palkit kuvaavat joko puuttuvia näytteitä tai lasketua riskiosamäärän arvoa nolla (Jänhijoen 30.9. ja Lähdeojan 29.7. näytteet).

Suurimmat riskiosamäärien summat olivat heinäkuun alun näytteissä. Tällöin myös Lähdeojan ja Jänhijoen näytteissä riskiosamäärät ylittivät yhden. Nummela1_ojassa riskiosamäärien summa vaihteli <0,1:stä lähes 150:een. Ojan kemiallinen kuormitus lienee jatkuvaa /joka vuodesta, sillä oja kuormittavat sekä maatalous että museorautatie ja sen varikko. Ojan eliöstö on todennäköisesti pitkäaikaisen kuormituksen seurauksena sopeutunut vallitseviin oloihin ja herkimpiä eliöitä ei ojasta luultavasti tavata.

Schäfer ym. (2007) arvioivat, että Suomessa kasvinsuojeluaineet vaikuttavat maatalousvaltaisten ojien pohjaeläimistöön vähemmän kuin Saksassa tai Ranskassa. Tietoa on kuitenkin varsin vähän ja yksittäisissä ojissa /jopa suuremmissa vesistöissä voi olla ongelmia. Haitallisten aineiden biologisista vaikutuksista tarvittaisiin lisää tietoa.

5. Johtopäätökset

Tämä hanke on tuottanut merkittävää uutta tietoa kasvinsuojeluaineiden ympäristöjäämistä ja pölyttäjäistä. Havaitsemamme lambda-syhalotriini -pitoisuus mehiläisten keräämässä siitepölyssä kertoo suuntaa antavasti kyseisen tehoaineen jäämistä siitepölyssä, kun ainetta on käytetty Tukesin hyväksymien käyttöohjeiden mukaisesti. Tutkimuksessamme havaitsemamme kasvinsuojeluainemäärät siitepölyssä jäivät alhaisiksi, ainakin jos pitoisuuksia verrataan tehoaineiden oraalien akuutin toksisuuden rajaan pölyttäjäillä. Tutkimuksessa havaituilla määrillä on kuitenkin osoitettu olevan kroonisia ja subletaaleja vaikutuksia tarhamehiläiseen, mutta julkaisuja tutkimuksia on vähän. Tutkimuksemme tulosten perusteella voidaan sanoa, että Tukesin tekemä riskinarviointi lambda-syhalotriinia sisältävälle valmisteelle ja viljelijöiden tekemät riskinhallintatoimenpiteet kasvinsuojeluaineruiskutuksissa suojelivat koepelloillamme pölyttäjiä voimakkaalta altistumiselta lambda-syhalotriinille.

Lambda-syhalotriinia ei havaittu vesinäytteistä, mutta analytiikan korkean määritysrajan johdosta kokeissa ei saatu varmaa tietoa siitä, esiintyikö aine vesieliöille haitallisena pitoisuutena. Pintavesistä havaittiin useita muita kasvinsuojeluaineita ja vaikka yksittäisten aineiden pitoisuudet eivät osoittaneet suurta varaa, aineiden yhteisvaikutukset olivat jo mahdollisesti haitallisella tasolla kentän viereisessä ojassa – varsinkin kun kasvinsuojeluainejäämien lisäksi alueelle tuli kemiallista kuormitusta myös museoradalta/-asemalta.

Kansainväliset tutkimukset osoittivat, että siitepölystä löytyvät kasvinsuojeluaineet ja niiden määrät vaihtelevat niin eri tutkimusten välillä kuin yhden tutkimuksen sisälläkin. Jäämiin vaikuttaa mm. näytteenottoaika, mistä näyte otetaan (siitepöly, mesi ja vaha sisältävät eri määrän jäämiä) ja vuodenaika. Omassa tutkimuksessamme havaitsimme tarhamehiläisten keräävän runsaasti eri kasvilajien siitepölyä, mutta määrällisesti mehiläiset keräsivät eniten siitepölyä rypsilä. Havaitsimme myös, että kaksi vierekkäin olevaa mehiläispesää saattoivat kerätä siitepölyä erilaisista kasveista. Satokasvien suosiminen saattaa lisätä niiden riskiä altistua kasvinsuojeluaineille, mutta myös osoittaa tarhamehiläisen merkitystä satokasvien pölytyspalveluiden tarjoajana. Kasvilajien monipuolinen hyödyntäminen näkyi myös siitepölyssä havaittuina jääminä. Siitepölystä löytyi viiden eri tehoaineen jäämiä, vaikka koelohkoilla oli käytetty vain lambda-syhalotriinia. Tarhamehiläiset olivat siis keränneet siitepölyä muiltakin kasveilta kuin koepelloillamme. Hieman yllättävästi yhden koepellon laidalla olevien mehiläisten keräämästä siitepölystä löytyi kansainvälisiin tutkimuksiin verrattuna korkea pitoisuus tiaklopridia, vaikka kyseistä tehoainetta ei käytetty mehiläispesien viereisellä koelohkolla. Tiaklopridi oli todennäköisesti peräisin reilun kilometrin päässä olevalta lohkolta, jolla sitä oli käytetty viisi päivää ennen siitepölyn keruuta. Tiaklopridin käyttö avomaalla ei ollut sallittu Suomessa vuoden 2020 jälkeen.

Linjalaskentojen perusteella pölyttäjäryhmistä tarhamehiläistä esiintyi koelohkoilla eniten. Havaitsimme kuitenkin sääolosuhteiden vaikuttavan linjalaskentojen tuloksiin, joten suoraa johtopäätöksiä pölyttäjien vaihteluista tutkimuspelloilla ei voida tämän tutkimuksen perusteella tehdä. Pölyttäjien määrän tutkiminen koeasetelmassamme vaatisi linjalaskentojen sijaan tai rinnalle uusien menetelmien, joihin esimerkiksi koneäly voisi tarjota ratkaisuja. Siitepölyn lajien tunnistamiseen kehittämämme valokuvausmenetelmä näytti potentiaalia satokasvien tunnistamisessa luonnonkasvien joukosta. Jatkokehityksen myötä tätä menetelmää voidaan hyödyntää mehiläistarhaajien tarjoamien pölytyspalveluiden onnistumisen varmistamisessa. Tarkkaa siitepölyn lajinmäärittystä kyseisellä valokuvausmenetelmällä ei kuitenkaan voida tehdä, vaan käyttöön tulisi ottaa DNA-tunnistukseen perustuvia menetelmiä.

Lopuksi haluamme tuoda esille, että tiedontarve kasvinsuojeluaineiden vaikutuksista pölyttäjiin on tätä hanketta suurempi. Hankkeen puitteissa pystyimme tekemään kokeet vain vähäisellä

määrällä lohkoja, emmekä pystyneet huomioimaan vuosien välistä vaihtelua. Lisäksi pystyimme huomioimaan vain siitepölyn kautta tapahtuvan altistumisen; meden, veden ja suoran kontaktin jäädessä tutkimatta. Tarhamehiläisten, kimalaisten ja erakkomehiläisten ensisijaista ravintoa on mesi, joten sen sisällyttäminen oraalin akuutin toksisuuden arviointiin olisi ensisijaisen tärkeää. Pölyttäjryhmistä tutkimme koepelloilla vain tarhamehiläistä (ja vuonna 2020 kontukimalaista), vaikka pölyttäjälajien kirjo kattaa useamman sataa hyönteislajia. Nämä lajit eroavat elintavoiltaan tutkimuslajeistamme, minkä vuoksi myös niiden altistusta kasvinsuojeluaineille tulisi tutkia. HavaitSIMME myös, että kasvinsuojeluaineiden käytön yhteydessä pölyttäjiä houkuttelevilla kasvustoilla tarkoitetaan usein tarhamehiläistä houkuttelevia kukkivia kasvustoja. Kirjallisuuskatsauksemme perusteella tätä termiä tulisi laajentaa myös muihin kasvustoihin, sillä esimerkiksi kukkakärpästen toukat elävät muun muassa viljakasvustoissa.

Tiedon puute toi tutkimuksemme tulosten tulkintaan haasteita. Vertailua kotimaisiin aikaisempiin tutkimustuloksiin ei voitu tehdä, sillä tietoa kasvinsuojeluainejäämistä pölyttäjissä ei juurikaan ole. Kansainvälisiä tutkimuksia aiheesta löytyi jonkin verran, mutta näissäkin koeasetelmat vaihtelivat huomattavasti. Lisäksi kasvinsuojeluaineiden kroonisia ja subletaaleja vaikutuksia on tutkittu vain vähän, kuten myös eri tehoaineiden yhteisvaikutuksia. Aineiden yhteisvaikutusten sekä kroonisten ja subletaalien vaikutusten tutkiminen olisi erityisen tärkeää, sillä ne voivat osaltaan olla merkittävä tekijä pölyttäjäkantojen heikkenemisessä.

Pölyttäjät ovat osa ekosysteemiä, jonka pitää kokonaisuudessa olla kestävä, jotta pölyttäjätkin voivat hyvin. Lisäksi pölyttäjien ja muun ympäristön altistuminen kasvinsuojeluaineille on riippuvainen paikasta, sääolosuhteista ja vuodenajasta. Pölyttäjien (ja muun ekosysteemin sen ympärillä) suojelemiseksi tarvitaan kasvinsuojeluaineiden jäämien pitkäaikaista seurantatietoa koko ympäristöstä, ei vain pölyttäjistä.

6. Toimenpidesuosituksukset

Hankkeessamme tunnistimme merkittäviä tietoaukkoja pölyttäjien altistumisesta kasvinsuojeluaineille Suomessa. Yksittäisen kasvinsuojeluaineen vaikutusten tarkastelun ohella olisi tarpeellista selvittää pölyttäjiin kohdistuvia eri kasvinsuojeluaineista johtuvia yhdysvaikutuksia nykyistä laajemmissa tutkimushankkeissa. Kun tutkimuskenttää laajennetaan edelleen, on selvitusten tavoitteeksi asetettava ympäristölle aiheutuvan kasvinsuojeluaineiden käytön kokonaisriskin vähentäminen. Tässä hankkeessa yhdistettiin pölyttäjäriskiin liittyvä hanke ja kasvinsuojeluaineiden seuranta pintavesistä samalle maantieteelliselle alueelle. Hankkeet tukevat toisiinsa ja osaltaan lisäävät ymmärrystä ympäristökuormituksesta. Näiden tietoaukkojen täyttämisen on tärkeä askel kohti nykyistä kestävämpää kasvinsuojeluaineiden käyttöä ja samalla pölyttäjästrategiaa. Tietoaukkojen perusteella suosittelemme viranomaisille neljää toimenpidettä toteutettavaksi.

1 Pitkäaikainen kasvinsuojeluaineiden ympäristöjäämien seurannan käynnistäminen

Suomessa on käynnistettävä kasvinsuojeluaineiden ympäristöjäämien pitkäaikainen ja kattava seurantaohjelma. Hankkeemme on yksi harvoista pioneereista kasvinsuojeluaineiden ympäristöjäämien seurannassa, vaikka kyseisiä aineita on käytetty maassamme lähes sata vuotta. Hankkeemme tunnistetut tietoaukot osoittavat, että tiedonpuute on valtava. Pitkäaikaisten ja kattavien jäämäseurantatietojen avulla viranomaiset ja tutkijat voisivat tehokkaammin kohdentaa kasvinsuojeluaineiden riskinarvioinnin ja –hallinnan resursseja Suomessa haastavimmiksi osoittautuneille aineille. Pitkäaikaisseurannan jatkuva rahoitus tulee taata, sillä yksittäisiin apurahoihin nojautuneena seuranta jää helposti pirstaleiseksi.

2 Kasvinsuojeluainejäämien analytiikan saatavuuden varmistaminen

Suomeen tarvitaan lisää resursseja kasvinsuojeluaineiden ympäristöjäämien analysointiin, analytiikan kehittämiseen ja tulosten tulkintaan. Kasvinsuojeluaineiden jäämien analysoinnin osaaamiselle on hyvä pohja elintarvikkeiden ja rehujen valvontaohjelmien ansiosta, mutta tämä tieto ei ole suoraan sovellettavissa ympäristöjäämiin. Elintarvikkeille ja rehuille käytettävät menetelmät soveltuvat usein suoraan tai pienin muutoksin myös esimerkiksi kasvusto, hyönteis-, mesi ja siitepölynäytteille. Merkittävin ero on kuitenkin usein se, että vaadittu määritysraja eli pitoisuustaso, jolla yhdistettä on relevanttia mitata, on usein huomattavasti, jopa tuhatkertaisesti, alhaisempi. Hyvin alhaisien pitoisuuksien luotettava määrittäminen on välttämätöntä, kun tutkitaan erityisen toksisia yhdisteitä ja niiden subletaaleja ja kroonisia vaikutuksia eliöihin. Toinen haaste on usein pieni näytemäärä, esimerkiksi ympäristöstä on mahdollista kerätä vain tietty määrä hyönteisiä. Näytemäärä vaikuttaa merkittävästi analyysin luotettavuuteen ja siihen, miten alhaisia pitoisuuksia on näytteestä mahdollista havaita. Kemikaalien ympäristövaikutuksia ja esimerkiksi pölyttäjien altistumista kemikaaleille tutkittaessa on erittäin tärkeää tietää, mitä analytiikalta vaaditaan. Usein universaalit ”kaiken kattavat” menetelmät eivät sovellu käytettäväksi, joten menetelmänkehitys on välttämätöntä.

Analytiikan saatavuuden ja laadun varmistamiseksi tulisikin huomioida alla olevat kysymykset.

- Kuuluuko analyysipakettiin yhdisteet, joista halutaan tietoa?
- Mikä on menetelmän määritysraja, onko se riittävän alhainen?
- Mitä näytteitä halutaan tutkia?
- Paljonko näytettä on oltava ja mikä on näytteen edustavuus?
- Onko olemassa nollamateriaalia?

3 Tutkimusteemat

Hankkeemme perusteella tarvitsemme lisää tutkimusta kasvinsuojeluaineiden ympäristöjäämistä. Luonnonvaraisten pölyttäjien suojelemiseksi tarvitsemme lisää tietoa luonnonvaraisista pölyttäjistä ja niiden altistumisesta kasvinsuojeluaineille. Lisäksi meidän pitää ymmärtää paremmin kasvinsuojeluaineiden subletaaleja vaikutuksia, kuten vaikutuksia pölyttäjien ruoanhankintakykyyn, kommunikaation ja immuunivasteeseen.

Kasvinsuojeluaineiden ympäristöjäämien seurantaan ja tutkimiseen tarvitaan uusia menetelmiä. Hankkeessamme tunnistimme muun muassa tarpeen pölyttäjien reaaliaikaiseen seurantaan nykyisen säästä, hetkestä ja ihmisestä riippuvan linjalaskennan rinnalle. Tunnistimme myös tarpeen tunnistaa siitepölyn kasvilajin valomikroskooppitunnistusta nopeammin ja edullisemmin. Mahdollisia menetelmiä ovat siitepölyn tunnistaminen DNA:n avulla tai värien avulla valokuvaustekniikkaa hyödyntäen. Tarve uusien kasvinsuojelumenetelmien tutkimukseen, kuten kasvinsuojeluaineille vaihtoehtoiset menetelmät tuholaisten torjuntaan, tuhohyönteisten enustemenetelmät – ja mallit torjuntatarpeen optimointiin sekä lajikekestävyys, varmasti lisääntyy sen myötä, kun kasvinsuojeluaineiden ympäristöjäämien tutkimusta tehdään lisää.

4 Viestintä

Yleistä keskustelua kasvinterveyden merkityksestä ja kasvintuhoojien hallintakeinoista tarvitaan. Kuten tutkimus, niin keskustelu ja viestintäkin kaipaavat kokonaisvaltaista otetta eri vaikuttavien tekijöiden ymmärryksen lisäämiseksi.

On tärkeä viestiä eri kasvinsuojeluaineista, niihin liittyvästä lainsäädännöstä ja eri tehoaineiden ominaisuuksista ja näiden riskeistä. Viestinnässä oleellista on sen nojautuminen tutkittuun tietoon.

Viljelijäneuvonnassa on myös entistä kattavammin keskusteltava tehtävien toimenpiteiden riskeistä pölyttäjille ja erityisesti keinoista, joilla näitä riskejä voidaan minimoida.

7. Kiitokset

Hankkeen kenttätöyövaiheen töistä haluamme kiittää seuraavia henkilöitä Luonnonvarakeskuksessa: Jaana Grahn, Matti Eskola, Niko Jalava, Samuli Klemelä, Sami Uusitalo ja Heikki Hiisilä sekä Helsingin yliopiston harjoittelijoita: Arttu Mäkinen, Eliisa Koskinen ja Konsta Kulmala. Samoin kiitämme yhteistyöstä jokioislaisia rapsi- ja kuminapeltojen viljelijöitä Hannu Mattilaa ja Mauri Kujanpäättä sekä siitepölyn lajimäärityksistä Suomen Mehiläishoitajain Liittoa ja Tarja Ollikkaa. Hankkeen rahoituksesta kiitämme Ympäristöministeriötä ja neuvottelevaa virkamies Eeva Nurmea. Loppuraportin käsikirjoituksen kommentteista kiitos Puskuri-ohjelman tutkimuspäällikkö MMT Markus Melinille. Hankkeen ohjauksesta kiitämme Luonnonvarakeskuksen Kasvinterveysten ryhmäpäällikköä erikoistutkija Marja Jallia.

Viitteet

- Ahkola, H. & Siimes, K. 2019. Torjunta-ainepitoisuuksien vertailu passiivikeräimien ja vesinäyttein tehdyssä seurannassa maatalousvaltaisilla alueilla: Siimes, K., Vähä, E., Junttila, V., Lehtonen, K. & Mannio, J. (toim.) Haitalliset aineet Suomen vesissä: tilanne ja seurannan suuntaviivat. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 8/2019. s. 61–65 ja liitesivut 166–186. Saatavissa internetistä: <http://hdl.handle.net/10138/301460>
- Ananthakrishnan, T. N. 1982. Thrips and pollination biology. *Current Science* 51(4): 168–172.
- Beyer, M., Lenouvel, A., Guignard, C., Eickermann, M., Clermont, A., Kraus, F. & Hoffman, L. 2018. Pesticide residue profiles in bee bread and pollen samples and the survival of honeybee colonies—a case study from Luxembourg. *Environmental Science and Pollution Research* 25: 32163–32177. Saatavissa internetistä: <https://doi-org.libproxy.helsinki.fi/10.1007/s11356-018-3187-4>
- Benuszak, J., Laurent, M. & Chauzat, M.-P. 2017. The exposure of honey bees (*Apis mellifera*; Hymenoptera: Apidae) to pesticides: Room for improvement in research. *Science of The Total Environment* 587–588: 423–438. Saatavissa internetistä: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.02.062>
- Berggren, K., Boström, G., Gufreund, C., Gönczi, M. & Kreuger, J. 2018. Jämförelser av PEC och PNEC från EFSA med riktvärden och uppmätta halter av växtskyddsmedel i ytvatten. Underlagsrapport till Naturvårdsverket 2018. Kompetenscentrum för kemiska bekämpningsmedel CKB, Sveriges lantbruksuniversitet. Uppsala. 33 s. Saatavissa internetistä: <https://www.slu.se/globalassets/ew/org/centrb/ckb/publikationer/mo-rapporter/jamforelser-av-pec-och-pnec-fran-efsa-med-riktvarden-och-uppmatta-halter-av-vaxtskyddsmedel-i-ytvatten---final.pdf>
- Bernhardt, P. 2000. Convergent evolution and adaptive radiation of beetle-pollinated angiosperms. *Plant Systematics and Evolution*. 222(1–4): 293–320. doi: 10.1007/BF00984108.
- Bonmatin, J.-M., Giorio, C., Girolami, V., Goulson, D., Kreuzweiser, D.P., Krupke, C., Liess, M., Long, E., Marzaro, M., Mitchell, E.A.D., Noome, D.A., Simon-Nelson, N. & Tapparo, A. 2015. Environmental fate and exposure; neonicotinoids and fipronil. *Environmental Science and Pollution Research* 22(1): 35–67. doi: 10.1007/s11356-014-3332-7.
- Bosch, J. 1994. The nesting behaviour of the mason bee *Osmia cornuta* (Latr) with special reference to its pollinating potential (Hymenoptera, Megachilidae). Teoksessa: *Apidologie*, 25(1): 84–93. doi: 10.1051/apido:19940109.
- Brodmann, J., Twele, R., Francke, W., Hölzler, G., Zhang, Q.-H. & Ayasse, M. 2008. Orchids Mimic Green-Leaf Volatiles to Attract Prey-Hunting Wasps for Pollination. *Current Biology* 18(10): 740–744. doi: 10.1016/j.cub.2008.04.040.
- Brodmann, J., Emer, D. & Ayasse, M. 2012. Pollinator attraction of the wasp-flower *Scrophularia umbrosa* (Scrophulariaceae): Pollinator attraction in *Scrophularia umbrosa*. *Plant Biology*, 14(3): 500–505. doi: 10.1111/j.1438-8677.2011.00525.x.
- Bumblebee Conservation Trust 2020. Saatavissa internetistä: <https://www.bumblebeeconservation.org/lifecycle/>
- Bumblebee.org 2020. Saatavissa internetistä: <https://www.bumblebee.org/bodyLegs.htm>

- Böhme, F., Bischoff, G., Zebitz, C.P.W., Rosenkranz, P. & Wallner, K. 2018. Pesticide residue survey of pollen loads collected by honeybees (*Apis mellifera*) in daily intervals at three agricultural sites in South Germany. Teoksessa: Plos ONE 13 (7) e0199995. Saatavissa internetistä: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0199995>
- Campos, M.G.R., Bognadov, S., de Almeida-Muradian, L.B., Szczesna, T., Mancebo, Y., Frigerio, C. & Ferreira, F. 2008. Pollen composition and standardisation of analytical methods. *Journal of Apicultural Research* 47(2): 154–161. doi: 10.1080/00218839.2008.11101443.
- Cane, J.H. 1997. Ground-nesting bees: The neglected pollinator resource for agriculture. *Acta Horticulturae* (437): 309–324. doi: 10.17660/ActaHortic.1997.437.38.
- Carroll, M.J., Brown, N., Goodall, C., Downs, A.M., Sheenan, T.H. & Anderson, K.E. 2017. Honeybees preferentially consume freshly-stored pollen. Teoksessa: Plos ONE 12 (4) e0175933. doi: 10.1371/journal.pone.0175933.
- Ceuppens, B., Eraerts, M., Vleugels, T., Cnops, G., Roldan-Ruiz, I. & Smagghe, G. 2015. Effects of dietary lambda-cyhalothrin exposure on bumblebee survival, reproduction, and foraging behavior in laboratory and greenhouse. Teoksessa: *J Pest Sci* 88: 777–783.
- Christen, V. 2019. Fungicides chlorothanolin, azoxystrobin and folpet induce transcriptional alterations in genes encoding enzymes involved in oxidative phosphorylation and metabolism in honeybees (*Apis mellifera*) at sublethal concentrations. *Journal of Hazardous Materials*: 12.
- Claudianos, C., Ranson, H. & Johnson, R.M. 2006. A deficit of detoxification enzymes: pesticide sensitivity and environmental response in the honeybee. *Insect Molecular Biology* 15(5): 615–636. doi: 10.1111/j.1365-2583.2006.00672.x.
- Cresswell, J. E., Osborne, J. L. & Bell, S. A. 2002. A model of pollinator-mediated gene flow between plant populations with numerical solutions for bumblebees pollinating oilseed rape. *Oikos*, 98(3): 375–384. doi: 10.1034/j.1600-0706.2002.980302.x.
- Cresswell, J. E., Osborne, J. L. & Goulson, D. 2000. An economic model of the limits to foraging range in central place foragers with numerical solutions for bumblebees. *Ecological Entomology* 25(3): 249–255. doi: 10.1046/j.1365-2311.2000.00264.x.
- Dornhaus, A. & Chittka, L. 2001. Food alert in bumblebees (*Bombus terrestris*): possible mechanisms and evolutionary implications. *Behavioral Ecology and Sociobiology* 50(6): 570–576. doi: 10.1007/s002650100395.
- Easton, A.H. & Goulson, D. 2013. The Neonicotinoid Insecticide Imidacloprid Repels Pollinating Flies and Beetles at Field-Realistic Concentrations. Teoksessa: Plos ONE 8(1) e54819. doi: 10.1371/journal.pone.0054819.
- Else and Hagerup, O. 1953. Thrips pollination of *Erica tetralix*. *New Phytologist* 52(1): 1–7. doi: 10.1111/j.1469-8137.1953.tb05199.x.
- Enkegaard, A., Kryger, P. & Boelt, B. 2016. Determinants of nectar production in oilseed rape. *Journal of Apicultural Research* 55(1): 89-99. doi:10.1080/00218839.2016.1192341
- Environmental Protection and Agency (EPA) 2013. Thiacloprid. *Pesticide Tolerances* 78: 25.

- EU 2020/1161: Komission täytäntöönpanopäätös (EU) 2020/1161, annettu 4 päivänä elokuuta 2020, Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin 2008/105/EY mukaisen unionin laajuista seuranta varten laadittavan tarkkailtavien aineiden luettelon hyväksymisestä. Saatavissa internetistä: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=uriserv:OJ.L_.2020.257.01.0032.01.ENG&toc=OJ:L:2020:257:TOC .
- EU pesticides database (no date). Saatavissa internetistä: <https://ec.europa.eu/food/plant/pesticides/eu-pesticides-database/public/?event=homepage&language=EN>.
- European Food Safety Authority (EFSA) 2018. Conclusion on the peer review of the pesticide risk assessment of the active substance indoxacarb. EFSA Journal 16(1): 5140. doi: 10.2903/j.efsa.2018.5140.
- European Food Safety Authority (EFSA) 2019. Peer review of the pesticide risk assessment of the active substance thiacloprid. EFSA Journal, 17(3). doi: 10.2903/j.efsa.2019.5595.
- Gathmann, A. & Tschamntke, T. 2002. Foraging ranges of solitary bees. Journal of Animal Ecology 71: 757–764.
- Gill, R.J. & Raine, N.E. 2014. Chronic impairment of bumblebee natural foraging behaviour induced by sublethal pesticide exposure. Functional Ecology 28: 1459–1471.
- Gilbert, F.S. 1986. *Hoverflies*. Cambridge: University Press.
- Gomez Cortes, L., Marinov, D., Sanseverino, I., Navarro Cuenca, A., Niegowska, M., Porcel Rodriguez, E. & Lettieri, T., 2020. Selection of substances for the 3rd Watch List under the Water Framework Directive, EUR 30297 EN, Luxembourg. Publications Office of the European Union 2020. ISBN 978-92-76-19426-2. doi:10.2760/194067,JRC121346.
- Gorton Linsey, E. 1958. The ecology of solitary bees. Hilgardia 27(19).
- Goulson, D. 2010a. Chapter 1: Introduction Teoksessa: Bumblebees Behaviour, Ecology, and Conservation. Oxford University Press.
- Goulson, D. 2010b. Chapter 3: Social Organization and Conflict. Bumblebees Behaviour, Ecology, and Conservation. Oxford University Press.
- Goulson, D. 2010c. Chapter 6: Foraging Economics. Bumblebees Behaviour, Ecology, and Conservation. Oxford University Press.
- Goulson, D. 2010. Chapter 12: Bumblebees as Pollinators. Bumblebees: Behaviour, Ecology and Conservation. Oxford University Press.
- Grant, V. 1950. The flower constancy of bees. The Botanical Review 16(7): 379–398. doi: 10.1007/BF02869992.
- Groulx, A.F. & Forrest, J.R.K. 2018. Nesting aggregation as a predictor of brood parasitism in mason bees (*Osmia* spp.). Influence of aggregation on brood parasitism. Ecological Entomology 43(2): 182–191. doi: 10.1111/een.12484.
- Gruber, B., Eckel, K., Everaars, J. & Dormann, C.F. 2011. On managing the red mason bee (*Osmia bicornis*) in apple orchards. *Apidologie*, 42, pp. 564–576.

- Gruter, C., Moore, H., Firmin, N., Helanterä, H. & Ratnieks, F.L.W. 2011. Flower constancy in honeybee workers (*Apis mellifera*) depends on ecologically realistic rewards. *Journal of Experimental Biology* 214(8): 1397–1402. doi: 10.1242/jeb.050583.
- Hagerup, O. 1950. Thrips pollination in *Calluna*. DET KGL. DANSKE VIDENSKABERNES SELSKAB BIOLOGISKE MEDDELELSER XVIII: 4.
- Hahn, M. & Brühl, C. A. 2016. The secret pollinators: an overview of moth pollination with a focus on Europe and North America. *Arthropod-Plant Interactions* 10: 8.
- Holloway, B. A. 1976. Pollen-feeding in hoverflies (Diptera: *Syrphidae*). *New Zealand Journal of Zoology* 3(4): 339–350. doi: 10.1080/03014223.1976.9517924.
- Hunt, G.J., Page, R.E., Fondrk, M.K. & Dullum, C.J. 1995. Major Quantitative Trait Loci Affecting Honeybee Foraging Behavior. *Genetics* 141: 1537–1545.
- Ivanov, S. P. 2006. The nesting of *Osmia rufa* (L.) (*Hymenoptera, Megachilidae*) in the Crimea. Structure and composition of nests. *Entomological Review* 86(5): 524–533. doi: 10.1134/S0013873806050046.
- Jennersten, O. 1984. Flower visitation and pollination efficiency of some North European butterflies. *Oecologia* 63(1): 80–89. doi: 10.1007/BF00379789.
- Junttila, V., Vähä, E., Leppänen, M., Kankaanpää, H., Siimes, K. & Mannio, J. 2019. Ainekohtaiset tarkastelut vesipolitiikan puitedirektiivin prioriteettiaineille. Siimes, K., Vähä, E., Junttila, V., Lehtonen, K, Mannio, J. (toim.). Haitalliset aineet Suomen vesissä: tilanne ja seurannan suuntaviivat. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 8/2019: 66–99. Saatavissa internetistä: <http://hdl.handle.net/10138/301460>
- Kasvinsuojeluteollisuus ry (2020) TUKES: EU:n komissio kielsi tiaklopridin käytön kasvinsuojeluna. Saatavissa internetistä: <https://www.kasvinsuojeluteollisuus.fi/ajankohtaista/tukes-eu-n-komissio-kielsi-tiaklopr/>.
- Ketola, J., Hakala, K., Ruottinen, L., Ojanen, H., Rämö, S., Jauhiainen, L., Raiskio, S., Kukkola, M., Heinikainen, S. & Pelkonen, S. The Impact of the Use of Neonicotinoid Insecticides on Honeybees in the Cultivation of Spring Oilseed Crops in Finland in 2013–2015. Luonnonvarakeskus 2016. Saatavissa internetistä: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-142-6>
- Kontiokari, V. & Mattsoff, L. 2011. Proposal of environmental quality standards for plant protection products. *The Finnish Environment* 7/2011. Suomen ympäristökeskus. ISSN: 1796–1637. Saatavissa internetissä: <http://hdl.handle.net/10138/37029>
- Konzmann, S. & Lunau, K. 2014. Divergent Rules for Pollen and Nectar Foraging Bumblebees – A Laboratory Study with Artificial Flowers Offering Diluted Nectar Substitute and Pollen Surrogate. *Plos ONE* 9(3): 10.
- Lapied, B., Grolleau, F. & Sattelle, D. B. 2001. Indoxacarb, an oxadiazine insecticide, blocks insect neuronal sodium channels: DCJW blocks neuronal Na⁺ channels. *British Journal of Pharmacology* 132(2): 587–595. doi: 10.1038/sj.bjp.0703853.
- Leonhardt, S. D. & Blüthgen, N. 2011. The same, but different: pollen foraging in honeybee and bumblebee colonies 16.

- Lewis, K.A., Tzilivakis, J., Warner, D.J. & Green, A. 2016. An international database for pesticide risk assessments and management. *Human and Ecological Risk Assessment. An International Journal* 22(4): 1050–1064. doi: 10.1080/10807039.2015.1133242.
- Loos, R., Marinov, D., Sanseverino, I., Napierska, D. & Lettieri, T. 2018. Review of the 1st Watch List under the Water Framework Directive and recommendations for the 2nd Watch List. EUR 29173 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, ISBN 978-92-79- 81839-4, doi:10.2760/614367, JRC111198 (wl_report_jrc_2018_04_26_final_online.pdf)
- Luonnonvarakeskus 2018. Kasvinsuojeluaineiden käyttö maatalous- ja puutarhatuotannossa 2018. Saatavissa internetissä: <https://stat.luke.fi/tilasto/4081>
- Luonnonvarakeskus 2020. Kasvinsuojeluaineiden käyttö. Saatavissa internetissä: https://www.luke.fi/ruokafakta/peltomaan_kasvit/kasvinsuojeluaineiden-kaytto/
- Michener C.D. 2000. *The Bees of the World*. The Johns Hopkins University Press, Baltimore, MD.
- Niell, S., Jesus, F., Perez, C., Mendoza, Y., Diaz, R., Franco, J., Cesio, V. & Heinzen, H. 2015. QuEChERS Adaptability for the Analysis of Pesticide Residues in Beehive Products Seeking the Development of an Agroecosystem Sustainability Monitor. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 63(18): 4484–4492. Saatavissa internetissä: <https://doi-org.lib-proxy.helsinki.fi/10.1021/acs.jafc.5b00795>
- Osborne, J.L., Martin, A.P., Carreck, N.L., Swain, J.L., Knight, M.E., Goulson, D., Hale, R.J. & Sanderson, R.A. 2008. Bumblebee flight distances in relation to the forage landscape. *Journal of Animal Ecology* 77(2): 406–415. doi: 10.1111/j.1365-2656.2007.01333.x.
- Page, R.E. 2000. Genetic dissection of honeybee (*Apis mellifera* L.) foraging behavior. *Journal of Heredity* 91(6): 474–479. doi: 10.1093/jhered/91.6.474.
- Page, R.E., Scheiner, R., Erber, J. & Amdam, G.V. 2006. The Development and Evolution of Division of Labor and Foraging Specialization in a Social Insect (*Apis mellifera* L.). *Current Topics in Development Biology* 74: 253-286. Saatavissa internetissä: [https://doi.org/10.1016/S0070-2153\(06\)74008-X](https://doi.org/10.1016/S0070-2153(06)74008-X)
- Pelosi, C., Bertrand, C., Daniele, G., Coeurdassier, M., Benoit, P., Nélieu, S., Lafay, F., Bretagnolle, V., Gaba, S., Vulliet, E. & Fritsch, C. 2020. Residues of currently used pesticides in soils and earthworms: A silent threat? *Agriculture, Ecosystems and Environment* 305: 107–167.
- Pereboom, J.J.M. 2000. The composition of larval food and the significance of exocrine secretions in the bumblebee *Bombus terrestris* 47: 10.
- Pereboom, J.J.M., Duchateau, M.J. & Velthuis, H.H.W. 2003. The organisation of larval feeding in bumblebees (*Hymenoptera, Apidae*) and its significance to caste differentiation. *Insectes Sociaux*, 50(2): 127–133. doi: 10.1007/s00040-003-0639-7.
- Pierre, J., Mesquida, J., Marilleau, R., Šgue, M. H., & Renard, M. 1999. Nectar secretion in winter oilseed rape, *Brassica napus* - quantitative and qualitative variability among 60 genotypes. *Plant Breeding* 118: 471–476.

- Pitts-Singer, T.L. 2004. Examination of "pollen balls" in nests of the alfalfa leafcutting bee, *Megachile rotundata*. *Journal of Apicultural Research* 43(2): 40–46. doi: 10.1080/00218839.2004.11101108.
- Pohorecka, K., Skupida, P., Miszczak, P., Semkiw, P., Sikorski, P., Zagibajlo, K., Teper, D., Koltowski, Z., Skubida, M., Zdanska, D. & Bober, A. 2012. Residues of neonicotinoid insecticides in bee collected plant materials from oilseed rape crops and their effects on bee colonies. *Journal of Apicultural Science* 56(2):115. doi: 10.2478/v10289-012-0029-3.
- Ramsden, M., Menendez, R., Leather, S & Wäckers, F. 2017. Do natural enemies really make a difference? Field scale impacts of parasitoid wasps and hoverfly larvae on cereal aphid populations. *Agricultural and Forest Entomology* 19: 139-145.
- Riley, J.R., Greggers, U., Smith, A.D., Reynolds, D.R. & Menzel, R. 2005. The flight paths of honeybees recruited by the waggle dance. *Nature* 435(7039): 205–207. doi: 10.1038/nature03526.
- Raw, A. 1972. The biology of the solitary bee *Osmia rufa* (L.) (*Megachilidae*). *Transactions of the Royal entomological society of London* 124(3): 213–229.
- RIKTVÄRD 2020 Kemi.se. Saatavissa internetistä: [Revision av riktvärden för växtskyddsmedel 2007 \(kemi.se\)](https://www.kemi.se/riktvard/2020)
- Sammataro, D. & Avitable, A. 1986. *The Beekeeper's Handbook*. Cornell University Press.
- Schäfer, R., Caquet, T., Siimes, K., Mueller, R., Lagadic, L., & Liess, M. 2007. Effects of pesticides on community structure and ecosystem functions in agricultural streams of three biogeographical regions in Europe. *Science of The Total Environment* 382(2): 272–285.
- Siimes K. & Vähä, E. 2019. Torjunta-aineiden kartoitus virtavesissä. Teoksessa: Siimes, K., Vähä, E., Junntila, V., Lehtonen, K, Mannio, J. (toim.) Haitalliset aineet Suomen vesissä: tilanne ja seurannan suuntaviivat. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 8/2019. s. 52–60. Saatavissa internetissä: <http://hdl.handle.net/10138/301460>
- Special Report 15/2020: Protection of wild pollinators in the EU- Commission initiatives have not borne fruit 2020. s. 61.
- Ssymank, A., Kearns, C.A., Pape, T. & Thompson, F.C. 2008. Pollinating Flies (*Diptera*): A major contribution to plant diversity and agricultural production. *Biodiversity* 9(1–2): 86–89. doi: 10.1080/14888386.2008.9712892.
- Suomen lajitietokeskus (no date b) Mesipistiäiset – Anthophila. Saatavissa internetistä: <https://laji.fi/taxon/MX.289375>
- Suomen lajitietokeskus (no date a) Kimalaiset – Bombus. Saatavissa internetistä: <https://laji.fi/taxon/MX.53474>
- Suomen Mehiläishoitajain Liitto ry. 2019. Siitepölyjen värejä siitepölyvasussa. Saatavissa internetistä: [Siitepölyjen värejä.pdf \(directo.fi\)](https://www.mehilaiset.fi/mediatiedotteet/Siitepölyjen_vareja_siitepölyvasussa.pdf)
- Tautz, J., Heilmann, H.R. & Sandeman, D.C. 2008. *The Buzz about Bees: Biology of a Superorganism*. Springer.

- Teper, D. & Biliński, M. 2009. Red Mason bee (*Osmia rufa* L.) as a pollinator of rape plantations. *Journal of Apicultural Science* 53(2): 115–120.
- Tison, L., Holtz, S., Adeoye, A., Kalkan, Ö., Irmisch, N.S., Lehmann, R.M. 2017. Effects of sublethal doses of thiacloprid and its formulation Calypso® on the learning and memory performance of honeybees. *Journal of Experimental Biology*. 12.
- United States Environmental Protection Agency and Office of Prevention, Pesticides and Toxic Substances 1997. Pesticide Fact Sheet: Azoxystrobin Conditional Registration.
- Watt, W.B., Hoch, P.C. and Mills, S.G. 1974. Nectar Resource Use by *Colias* Butterflies. *Teoksessa: Oecologia* (14): 353–374.
- Wilkaniac, Z. and Radajewska, B. 1997. Solitary bee *Osmia rufa* L. (*Apoidea, Megachilidae*) as pollinator of strawberry cultivated in an unheated plastic tunnel. *Acta Horticulturae* 439: 489–494.
- Winfrey, R., Bartomeus, I. & Cariveau, D. P. 2011. Native Pollinators in Anthropogenic Habitats. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 42(1): 1–22. doi: 10.1146/annurev-ecolsys-102710-145042.

Liitteet

Taulukko 9. Nummelan koepaikan 4 ympäristön kevätrypsin ja -rapsin kasvinsuojeluaineiden käyttö 25.5.–20.6.2019. Kasvinsuojelutiedot kysytyt suoraan viljelijöiltä. Nummelan pölyttäjälohkon (KP4) mehiläispesät sijaitsivat aivan koelohkon vieressä. Koelohko tosin kukki kuitenkin paljon myöhemmin kuin samalla peltoaukealla olleet muut kevätrypsi- tai rapsipellot. Mehiläiset vierailivatkin todennäköisesti juuri näillä peltoaukean pelloilla keräämässä siitepölyä ja mettä. Yksityisten viljelijöiden öljykasvipellot sijaitsivat 760–2100 metrin etäisyydellä tutkimuspesistä. Torjunta-ainejäämät siitepölynäytteissä voidaan siksi katsoa olevan peräisin ympäristön pelloilla käytetyistä kasvinsuojeluaineista. Seuraavassa taulukossa on kuvattu yksityisten viljelijöiden kasvinsuojeluaineiden käyttö kevätrypsillä ja -rapsilla samalla peltoaukealla.

Koepaikan 4 ympäristön rypsi- ja rapsipellot T1-T4	Peltojen T1-T4 torjuntaruiskutusten pvm.	T1-T4 ruiskutuksessa käytetty kauppavalmiste, tehoaine, tehoainepitoisuus g a.i. / l	Kauppavalmisteen käyttömäärä l/ha, kg/ha	Peltojen T1-T4 etäisyys mehiläispesistä metriä
T1	25.5.	Decis Mega EW (deltametriini 50)	0,15 l	760
T1	30.5.	Karate Zeon	0,037 l	760
		(lambda-syhalotriini 100) +Neko		
T1	31.5.	Galera (klopyralidi 267 + pikloraami 67)	0,3 l	760
		+Dassoil kiinnite	0,2 l	
T1	8.6.	Avaunt 150 EC (indoksakarbi 150)	0,17 l	760
		+Agil 100 EC (propakvitsafoppi)	1,5 l	
T2	3.6.	Mavrik (tau-fluvalinaatti 240)	0,2 l	820
T2	6.6.	Decis Mega EW (deltametriini 50)	0,15 l	820
T2	11.6.	Glamox (metatsaklori 375 + imatsamoksi 17,5)	1,8 l	820
T2		+Dash -kiinnite	1,0 l	820
T2	18.6.	Avaunt 150 EC (indoksakarbi 150)	0,17 l	820

T2	4.7.	Mospilan (asetamipridi 200)	0,15 kg	820
T3	4.6.	Galera (klopyralidi 267 + pikloraami 67)	0,3 l	1400
		+Dassoil kiinnite	0,3 l	
T3	6.6.	Karate Zeon	0,037 l	1400
		(lambda-syhalotriini 100)		
T3	13.6.	Karate Zeon	0,037 l	1400
		(lambda-syhalotriini 100)		
T3	20.6.	Biscaya OD 240 (tiaklopridi 240)	0,3 l	1400
T4	7.6.	Zetrola (propakvitsafoppi 100)	1,5 l	2100
T4	11.6.	Karate Zeon	0,035 l	2100
		(lambda-syhalotriini 100)		
T4	17.6.	Avaunt 150 EC (indok-sakarbi 150)	0,17 l	2100
		+Juventus 90 (metkonatsoli)	0,75 l	

Taulukko 10. Ruokaviraston monijäämäanalyysissa analysoimat siitepölynäytteiden tehoaineet yhteensä 108 tehoainetta.

LC-MS/MS yhdisteet	Määritysraja (µg/kg)	GC-MS/MS yhdisteet	Määritysraja (µg/kg)
Amiratsi	10	4,4'-Metokskloori	10
Asetamipridi	10	Aldriini	20
Atsoksistrobiini	10	alfa-endosulfaani	10
Carbetamide	10	alfa-HCH	10
Diatsinoni	10	Atsinfossi-etyyli	40
Dimetoaatti	10	Atsinfossi-metyyli	10
Dimetomorfi	10	beta-endosulfaani	10
Dimoksistrobiini	10	beta-HCH	10
Etoprofossi	10	Bifentriini	10
Famoksadoni	40	Biksafeeni	10
Fenheksamidi	10	Boskalidi	10
Fenpropidiini	10	Bromopropylaatti	10
Fosaloni	10	Buprofetsiini	10
Heptenofossi	10	cis-klordaani	10

Imatsaliili	10	DEET	10
Imidaklopridi	10	Deltametriini	40
Indoksakarbi	10	Dieldriini	20
Karbendatsimi	10	Difenokonatsoli	10
Klordimeformi	10	Endosulfaani-sulfaatti	10
Klorpyrifossi	10	Endriini	20
Klotianidi	10	Epoksikonatsoli	10
Malaoksoni	10	Esfenvaleraatti	40
Malationi	10	Etofenproksi	10
Metaflumitsoni	10	Fenpropimorfi	10
Metiokarbi	10	Fenvaleraatti	40
Myklobutaniili	10	Flukinkonatsoli	10
Parationi	10	Flusilatsoli	10
Pirimifossi-metyyli	10	Flutriafoli	10
Pirimikarbi	10	HCB	10
Pirimikarbi-des-metyyli	10	Heptakloori	10
Prokloratsi	10	Heptaklooriek-soopoksidi	10
Propargiitti	10	Heptakloorien-doepoksidi	10
Protiokonatsoli	10	Indoksakarbi	40
Pyraklostrobiini	10	Kinometionaatti	10
Spinosadi	10	Klorfenvinfossi	10
Spiroksamiini	10	Klorobentsilaatti	10
Symiatsoli	10	Klorprofaami	10
Sypermetriini	10	Klorpyrifossi-metyyli	10
Syprodiini	10	Kumafossi	10
Tiaklopridi	10	Lambda-syhalotriini	10
Tiametoksaami	10	Lindaani	10
Tiofanaattimetyyli	10	Metidationi	10
Trifloxystrobiini	10	Oksiklordaani	10
		op-DDT	10
		Parationi-metyyli	10
		Pendimetalini	10
		Penkonatsoli	10
		Permetriini	40
		pp-DDD	10

		pp-DDE	10
		pp-DDT	10
		Profenofossi	10
		Pyratsofossi	10
		Pyrimetaliini	10
		Resmetriini	10
		Syflutriini	40
		Syprokonatsoli	10
		tau-fluvalinaati	10
		Tebukonatsoli	10
		Tertbutyyliatsiini	10
		Tetrakonatsoli	10
		trans-klordaani	10
		Triadimefoni	10
		Triatsofossi	10
		Vinclozolin	10

Taulukko 11. Pintavedestä analysoidut yhdisteet (SPE-LC-MS/MS menetelmällä 178 yhdistettä ja SPE-GC-MS/MS menetelmällä 95 yhdistettä) ja niiden määrittämissärajat (MR)

Rivin nro	Yhdisteet SPE-LC-MS/MS -menetelmällä	MR (µg/l)	Yhdisteet SPE-GC-MS/MS -menetelmällä	MR (µg/l)
1	2,4,5-trikloorifenoksietikkahappo	0,01	2,4-dikloorifenoli	0,005
2	2,4-dikloorifenoksietikkahappo	0,01	4,4'-DDM	0,005
3	2,4-DP	0,01	4,4'-DDMU	0,005
4	4,5-dikloori-2-n-oktyyli-4-isotiatoliini-3- oni	0,005	4-kloori-2-metyylifenoli	0,005
5	Aklonifeeni	0,01	4-kloori-3-metyylifenoli	0,005
6	Alakloori	0,01	Akrinatriini	0,005
7	Amidosulfuroni	0,01	Aldriini	0,0025
8	Aminopyralidi	0,05	Alfa-endosulfaani	0,002
9	Amisulbromi	0,01	Alfa-Heksakloorisykloheksaani	0,001
10	Asetamipridi	0,01	Alfa-klordaani	0,005
11	Atratsiini	0,005	Alletriini (-D)	0,1
12	Atsoksistropiini	0,005	Antrakiniini	0,01
13	BAM (2,6-diklooribentsoamidi)	0,01	Beta-endosulfaani	0,002
14	Bentatsoni	0,01	Beta-Heksakloorisykloheksaani	0,001
15	Bentsovindiflupyyri	0,01	Bifenatsaatti	0,01
16	Biksafeeni	0,01	Bifenoksi	0,01
17	Bitertanoli	0,1	Bifentriini	0,005
18	Boskalidi	0,01	DEET, n,n-dietyyli-m-toluamidi	0,005
19	Bromasiili	0,01	Delta-Heksakloorisykloheksaani	0,001
20	Bromoksiini	0,01	Deltametriini	0,01
21	Bronopoli	0,2	Dieldriini	0,0025
22	Buprofetsiini	0,01	Diklobeniili	0,005
23	Dalaponi	0,1	Dikofoli	0,001
24	DEDIA (atratsiini, -desetyyli- desisopropyli)	0,01	Ekso-heptakloriepoksidi	0,005
25	Desetyyliatratsiini	0,01	Endo-heptakloriepoksidi	0,005
26	Desisopropyliatratsiini	0,01	Endosulfaanisulfaatti	0,005
27	Desmedifaami	0,01	Endriini	0,002
28	Difenokonatsoli	0,01	Endriinaldehydi	0,005
29	Diflubentsuroni	0,01	Endriiniketoni	0,005
30	Diflufenikaani	0,01	Epoksikonatsoli	0,005
31	Dikamba	0,02	Esfenvaleraatti	0,05
32	Diklofluanidi	0,01	Etofumesaatti	0,005

Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 14/2021

Rivinvro	Yhdisteet (SPE-LC-MS/MS)	(µg/l)	Yhdisteet (SPE-GC-MS/MS)	(µg/l)
33	Diklorproppi + diklorproppi-P	0,01	Etofumesaatti-2-keto	0,01
34	Diklorvossi	0,0005	Etylaani (etyyli-DDD, Pertaani)	0,005
35	Dimethomorfi	0,01	Fenotriini (cis- ja trans-)	0,02
36	Dimetooaatti	0,01	Fenvaleraatti	0,05
37	Dinosebi	0,01	Flusytrinaatti	0,005
38	Dinoterbi	0,01	Heksaklooribentseeni	0,01
39	Diuroni	0,01	Heksaklooributadieeni	0,005
40	Etyliparationi	0,02	Heksakloorisykloheksaani	0,004
41	Famoksadoni	0,01	Heptakloori	0,005
42	Fenamidoni	0,01	Hydroksikloridaani	0,005
43	Fenheksamidi	0,01	Irgaroli	0,002
44	Fenitrotioni	0,02	Isodriini	0,002
45	Fenmedifaami	0,01	Kaptaani	0,02
46	Fenoksaproppi-p-etyyli	0,01	Klooribensidi	0,005
47	Fenpyratsamiini	0,01	Klordekoni	0,005
48	Flamproppi-isopropyli	0,01	Klorfensoni	0,005
49	Flonikamidi	0,01	Klormefossi	0,005
50	Florasulami	0,01	Kloroneb	0,005
51	Fluatsifoppi-p-butyli	0,01	Kloropropylaatti	0,005
52	Fluatsinami	0,01	Klorotaloniili	0,005
53	Fludioksoniili	0,01	Kvintotseeni	0,005
54	Fluksapyroksadi	0,01	Lambda-syhalotriini	0,01
55	Fluopikolidi	0,01	Lindaani, Gamma-HCH	0,001
56	Fluopyraami	0,01	Mepanipyriimi	0,005
57	Fluroksipyryri	0,01	Metiokarbi	0,002
58	Flutolaniili	0,01	Metoksikloori	0,005
59	Foramsulfuroni	0,01	Metoksikloori, 4,4'-, -olefiini	0,005
60	Fuberidatsoli	0,01	Metoksikloori, o,p'-	0,005
61	Furatiokarbi	0,01	Metolakloori-s	0,005
62	Halauksifeeni-metyyli	0,01	Metyylitriklosaani	0,005
63	Heksatsinoni	0,01	Mireksi	0,005
64	Heksytiatsoksi	0,01	Nonakloori, cis-	0,005
65	Hymeksatsoli	0,1	o,p'-DDD (o,p'-Diklooridifenyli- dikloorietaani)	0,001
66	Imatsamoksi	0,01	o,p'-DDE (o,p'-Diklooridifenyli- dikloorieteeni)	0,001
67	Imidaklopridi	0,01	o,p'-DDT (o,p'-Diklooridifenyli- litrikloorietaani)	0,001

Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 14/2021

Rivinro	Yhdisteet (SPE-LC-MS/MS)	(µg/l)	Yhdisteet (SPE-GC-MS/MS)	(µg/l)
68	Indoksakarbi	0,02	Oksadiatsoni	0,005
69	Iprodioni	0,01	p,p-DDD (p,p'-Diklooridifenyylidikloorietaani)	0,001
70	Isoksabeeni	0,01	p,p-DDE (p,p'-Diklooridifenyylidikloorieteeni)	0,001
71	Isoproturoni	0,01	p,p-DDT (p,p'-Diklooridifenyylitrikloorietaani)	0,001
72	Jodosulfuroni-metyyli	0,01	Pentakloorianisoli	0,005
73	Karbofuraani	0,005	Pentaklooribentseeni	0,005
74	Karfentratsoni-etyyli	0,01	Permetriini	0,005
75	Kinoklamiini	0,01	Permetriini, cis-	0,005
76	Kinometionaatti	0,01	Permetriini, trans-	0,005
77	Klopyralidi	0,05	Piperonylibutoksidi	0,005
78	Klorfenvinfossi	0,01	Pirimikarbi	0,005
79	Kloridatsoni	0,01	Prokloratsi	0,2
80	Kloridatsoni-desfenyyli	0,2	Prometryyni	0,005
81	Kloridatsoni-metyyli-desfenyyli	0,02	Pyrimetaniili	0,005
82	Kloroksiuroni	0,01	Syflutriini	0,005
83	Klorprofaami	0,01	Sypermetriini	0,005
84	Klorpyrifossi	0,01	Syprodiini	0,005
85	Klorsulfuroni	0,01	Tau-fluvalinaatti	0,05
86	Klotianidiini	0,01	Tedion	0,005
87	kresoksimmi-metyyli	0,01	Teflutriini	0,005
88	Kvinmerakki	0,01	Teknatseeni	0,005
89	Kvinoksifeeni	0,01	Terbutryyni	0,005
90	Kvitsalofoppi-p-etyyli	0,01	Tetrametriini	0,005
91	Lenasiili	0,01	Transflutriini	0,005
92	Linuroni	0,01	trans-klordaani	0,005
93	Malationi	0,01	Trans-nonakloori	0,005
94	Mandipropamidi	0,01	Trifluraliini	0,005
95	MCPA (metyylikloorifenoksisietikkahappo)	0,01	Triklosaani	0,005
96	MCPB	0,05	Vinklotsoliini	0,005
97	Mekopropi + mekopropi-p	0,01		
98	Mesosulfuroni-metyyli	0,01		
99	Metabentstiatsoni	0,01		
100	Metaflumitsoni	0,05		
101	Metalaksyyli	0,01		
102	Metalaksyylin hajoamistuote CGA 108906	0,01		

Rivinro	Yhdisteet (SPE-LC-MS/MS)	(µg/l)
103	Metalaksyylin hajoamistuote CGA 62826	0,02
104	Metamitroni	0,01
105	Metamitroni-desamino	0,01
106	Metatsakloori	0,01
107	Metkonatsoli	0,01
108	Metoksiuroni	0,01
109	Metributsiini	0,01
110	Metributsiini-desamino	0,01
111	Metributsiini-desaminodiketo	0,01
112	Metributsiini-diketo	0,05
113	Metsulfuroni-metyyli	0,01
114	Metyyliatsinofossi	0,01
115	Metyyliparationi	0,02
116	Mevinfossi	0,01
117	Napropamidi	0,01
118	Nikosulfuroni	0,01
119	Ometoaatti	0,01
120	Pakloputratsoli	0,01
121	Pendimetalini	0,01
122	Penflufeeni	0,01
123	Penkonatsoli	0,01
124	Pikloraami	0,02
125	Pikoksistrobiini	0,01
126	Pinoksadeeni	0,01
127	Primsulfuroni-metyyli	0,01
128	Proheksadioni	0,1
129	Prokinatsidi	0,01
130	Pronamidi	0,005
131	Propakloori	0,01
132	Propakvitsafoppi	0,01
133	Propatsiini	0,01
134	Propikonatsoli	0,01
135	Propoksikarbatsoni	0,01
136	Prosulfokarbi	0,01
137	Pymetrotsiini	0,01
138	Pyraklostrobiini	0,01
139	Pyretriini 1	0,01

Rivinro	Yhdisteet (SPE-LC-MS/MS)	(µg/l)
140	Pyridaatti	0,01
141	Pyriofenoni	0,01
142	Pyroksilaami	0,01
143	Rimsulfuroni	0,01
144	Sedaksaani	0,01
145	Simatsiini	0,01
146	Spirodiklofeeni	0,01
147	Spirotetramaatti	0,01
148	Sulfosulfuroni	0,01
149	Sulfoteppi	0,01
150	Syanitsiini	0,005
151	Syatsofamidi	0,01
152	Sykloksidiimi	0,05
153	Symoksaniili	0,01
154	Syprokonatsoli	0,01
155	Tebukonatsoli	0,01
156	Teflubentsuroni	0,01
157	Tepraloksidimmi	0,01
158	Terbasiili	0,01
159	Terbutylatsiini	0,005
160	Terbytylatsiini, -desetyyli	0,01
161	Thifensulfuronimetyyli	0,01
162	Tiaklopridi	0,01
163	Tiametoksaami	0,01
164	Tienikarbatsoni	0,02
165	Tolklofossi-metyyli	0,01
166	Tolyylifluanidi	0,01
167	Tralkoksidimmi	0,01
168	Triadimefoni	0,01
169	Triadimenoli	0,01
170	Triallaatti	0,005
171	Triasulfuroni	0,001
172	Trifloksistrobiini	0,01
173	Triflusulfuroni-metyyli	0,01
174	Triklorfoloni	0,01
175	Trineksapakki-etyyli	0,01
176	Tritikonatsoli	0,01
177	Tritosulfuroni	0,01
178	Tsoksamidi	0,02



luke.fi

Luonnonvarakeskus
Latokartanonkaari 9
00790 Helsinki
puh. 029 532 6000