



RUOKAVIRASTO
Livsmedelsverket • Finnish Food Authority

Tutkimuksia
3/2021

Kirjallisuustutkimus perunateollisuuden sivuvirtojen lannoitekäytön vaikutuksesta kasvinterveyteen



Ruokaviraston tutkimuksia 3/2021

**Kirjallisuustutkimus
perunateollisuuden sivuvirtojen lannoitekäytön
vaikutuksesta kasvinterveyteen**



RUOKAVIRASTO
Livsmedelsverket • Finnish Food Authority

Omistettu edesmenneelle kollegallemme Asko Hannukkalle.

Projektiryhmä

- Mikko Lehtonen
- Juha Tuomola
- Satu Latvala
- Asko Hannukkala
- Marjo Hokka
- Tarja Alainen
- Jukka Tegel
- Atro Virtanen
- Liisa Maunuksela

Kiitokset

Monet kiitokset hankkeen yhteistyökumppaneille ja raporttia kommentoineille asiantuntijoille. Työ on toteutettu maa- ja metsätalousministeriön makera (MMM päätös 532/03.01.02/2018) ja Ruokaviraston taloudellisella tuella.

Kannen kuva: Canva

Kuvailulehti

Julkaisija	Ruokavirasto
Tekijät	Mikko Lehtonen, Juha Tuomola, Satu Latvala, Asko Hannukkala, Marjo Hokka, Tarja Alainen, Jukka Tegel, Atro Virtanen, Liisa Maunuksela
Julkaisun nimi	Kirjallisuustutkimus perunateollisuuden sivuvirtojen lannoitekäytön vaikutuksesta kasvinterveyteen
Julkaisusarjan nimi ja numero	Ruokaviraston tutkimuksia 3/2021
Julkaisuaika	12/2021
ISBN PDF	978-952-358-031-2
ISSN PDF	2490-1180
Sivuja	41
Kieli	suomi
Asiasanat	Kierrätyslannoite, kasvintuhooja, hygienisointi
Kustantaja	Ruokavirasto
Taitto	Ruokavirasto, käyttäjäpalvelujen yksikkö
Julkaisun jakaja	Sähköinen versio: ruokavirasto.fi

Tiivistelmä

Perunan käsittelyprosesseissa päätuotteen ohessa syntyvät jakeet eli sivuvirrat muodostavat merkittävän osan elintarvikkeena ja teollisuuden raaka-aineena käytettävän perunan kokonaismäärästä. Sivuvirtojen hyödyntäminen, esimerkiksi lannoitteena, on tärkeää ympäristön, ravinteiden kierron ja tuottavuuden kannalta. Lannoitekäyttöön saattaa kuitenkin sisältyä riski kasvintuhoojien leviämisestä lannoitteiden mukana. Kasvinterveyslainsäädäntö ja EU:n teollisuusjärjestöjen sisämaakaupan vaatimukset rajoittavat kasvintuhoojien esiintymistä raaka-aineessa, ja tuhoojien leviämistä lannoitevalmisteiden mukana pyritään ehkäisemään lainsäädännön asettamien käsittelyvaatimusten avulla. Lannoitelainsäädännön vaatimusten mukaiset käsittelyt tehoavat suurimpaan osaan mutteivät kaikkiin perunan, kasvinosien ja maan välityksellä leviäviin kasvintuhoojiin. Lisäksi tutkimattomia kasvintuhoojia on suuri joukko. Sivuvirtojen lannoitekäytön kasvinterveysriskien arviointia vaikeuttavat tietopuutteet kasvintuhoojien esiintymisestä raaka-aineessa, haitallisesta määrästä ja joidenkin kasvintuhoojien osalta eliminointiin tarvittavasta käsittelystä. Jatkossa sivuvirtojen lannoitekäytön hyötyhaittasuhdetta yhteiskunnalle, ympäristölle ja viljelijöille pitäisi selvittää tarkemmin.

Beskrivning

Utgivare	Livsmedelsverket
Författare	Mikko Lehtonen, Juha Tuomola, Satu Latvala, Asko Hannukkala, Marjo Hokka, Tarja Alainen, Jukka Tegel, Atro Virtanen, Liisa Maunuksela
Publikationens titel	Litteraturstudie av hur växthälsan påverkas när biprodukter från potatisindustrin används som gödselmedel
Publikationsseriens namn och nummer	Livsmedelsverkets forskningsrapporter 3/2021
Utgivningsdatum	12/2021
ISBN PDF	978-952-358-031-2
ISSN PDF	2490-1180
Sidantal	41
Språk	finska
Nyckelord	Återvinningsgödsel, växtskadegörare, hygienisering
Förläggare	Livsmedelsverket
Layout	Livsmedelsverket, enheten för interna stödtjänster
Distribution	Elektronisk version: livsmedelsverket.fi

Referat

De fraktioner eller biprodukter som utöver huvudprodukten uppstår i potatishanteringsprocessen utgör en betydande del av den totala mängden potatis som används som livsmedel eller råvara inom industrin. Att biprodukter utnyttjas, exempelvis som gödselmedel, är viktigt för miljön, kretsloppet av näringsämnen och produktiviteten. Användning som gödselmedel kan dock innebära risk för att växtskadegörare sprids med gödseln. Lagstiftningen om växthälsa och de krav som EU:s industriorganisationer ställer på handeln på den inre marknaden begränsar förekomsten av växtskadegörare i råvaran, och hanteringskraven i lagstiftningen strävar efter att förebygga spridning av skadegörare med gödselafabrikat. Hantering enligt kraven i gödsellagstiftningen har effekt på merparten, men inte alla växtskadegörare som sprids med potatis, växtdelar och jord, dessutom finns det många växtskadegörare som inte undersökts. Utvärderingen av vilka risker användning av biprodukter som gödselmedel medför för växthälsan försvåras av bristande information om förekomsten av växtskadegörare i råvaran, den skadliga mängden och beträffande vissa växtskadegörare vilken behandling som krävs för eliminering av dessa. Nyttariskförhållandet för samhället, miljön och odlarna vid användning av biprodukter som gödselmedel bör framöver utredas närmare.

Description

Publisher	Finnish Food Authority
Authors	Mikko Lehtonen, Juha Tuomola, Satu Latvala, Asko Hannukkala, Marjo Hokka, Tarja Alainen, Jukka Tegel, Atro Virtanen, Liisa Maunuksela
Title of publication	Literary research on how fertiliser use of the side streams of potato industry affect plant health
Series and publication number	Finnish Food Authority Research Reports 3/2021
Publications date	12/2021
ISBN PDF	978-952-358-031-2
ISSN PDF	2490-1180
Pages	41
Language	Finnish
Keywords	Recycled fertiliser, plant pests, sanitation
Publisher	Finnish Food Authority
Layout	Finnish Food Authority, In-house Services Unit
Distributed by	Online version: foodauthority.fi

Abstract

In addition to the main product, the processing of potato creates side streams that are a significant part of the total amount of potato used as food and industrial raw material. It is important to utilise the side streams in fertilisation, for example, for the sake of the environment, nutrient cycling and productivity. However, fertilisation may involve a risk of spreading plant pests with the fertilisers. Plant health legislation and the EU requirements for internal trade of industrial organisations restrict the occurrence of plant pests in raw materials, and the processing requirements imposed by legislation aim at preventing the spread of pests through fertiliser products. Processing in accordance with the legislation concerning fertilisers is effective on most plant pests that spread through potatoes, plant components and soil, but not all, and many plant pests have not been studied yet. The risks that using side streams in fertilisers pose on plant health are hard to assess due to lack of information on the occurrence of plant pests in raw materials and their harmful amount, and the level of processing required to eliminate some plant pests. In the future, the risk-benefit ratio of using side streams in fertilisers in relation to the society, environment and farmers should be studied further.

Sisällys

Lyhenteet ja määritelmät	7
1 Johdanto	8
2 Aineisto ja menetelmät	10
3 Tulokset	11
3.1 Kasvintuhoojien esiintyminen perunateollisuuden raaka-aineessa	11
3.2 Lannoitelainsäädännön edellyttämien käsittelyiden vaikutus kasvintuhoojiin.....	14
3.2.1 Kuumennus	21
3.2.2 Kompostointi.....	21
3.2.3 Lämpötila ja aika	22
3.2.4 Muut käsittelymenetelmät.....	25
4 Johtopäätökset	27
4.1 Perunateollisuuden sivuvirroissa voi esiintyä kasvintuhoojia	27
4.2 Lannoitelainsäädännön edellyttämät käsittelyt eivät tehoa kaikkiin kasvintuhoojiin	27
4.3 Perunateollisuuden sivuvirtojen kasvinterveysriskien suuruutta ei tiedetä.....	28
4.4 Kierrätyslannoitteiden kasvinterveysriskien hallinnan kustannushyötysuhde.....	31
5 Lähteet	32

Lyhenteet ja määritelmät

- **Karanteenikasvintuhoojiksi** on luokiteltu kasvitauteja tai tuholaisia, jotka voivat aiheuttaa kasvintuotannolle tai ympäristölle merkittävää vahinkoa. Karanteenikasvintuhoojat on lueteltu kasvinterveyslainsäädännössä, EU:n asetus 2019/2072, liite II.
- **Sivuvirrat** ovat erilaisia jakeita, joita syntyy valmistusprosessissa varsinaisen tuotteen ohella.
- **Sivutuote** on suoraan tai jalostuksen jälkeen käytettävä esine tai asia, joka syntyy tuotantoprosessissa, jonka varsinaisena tarkoituksena ei ole tämän tuotteen valmistus (Jätelaki 646/2011, 5 §).
- **Tyypinimivaatimukset.** Ruokavirasto ylläpitää kansallista lannoitevalmisteiden tyypinimiluetteloa, joka sisältää tiedot tyypinimelle vaadittavista valmistusmenetelmistä, keskeisistä raaka-aineista, ravinteista ja niiden ilmoitustavasta, ravinteiden muodosta ja liukoisuudesta sekä kasvien kasvua ja rakennetta parantavista tai kasvuolosuhteita edistävistä ominaisuuksista. Tyypinimikohtaisista vaatimuksista ollaan siirtymässä tuoteluokka- ja ainesosaluokkakohdaisiin vaatimuksiin uuden kansallisen lainsäädännön myötä kesällä 2022.
- **Säännellyt ei-karanteenituhoojat (RNQP)** ovat yleisesti EU:n alueella esiintyviä kasvintuhoojia, joiden esiintyminen taimiaineistossa ei ole sallittu niiden negatiivisten vaikutusten kasvintuotannon tai metsätalouden laatuun tai arvoon takia, EU:n asetus 2019/2072, liite IV.
- **Suoja-alueuhooja** esiintyy yleisesti EU:ssa paitsi niin sanotuilla suoja-alueilla. Suoja-alueilla on käytössä toimenpiteitä tuhoajan leviämisen ehkäisemiseksi, EU:n asetus 2019/2072, liite III.
- **Hätätoimenpidetuhooja.** EU myöntää jäsenvaltioilleen avustuksia kiireellisten toimenpiteiden toteuttamista varten EU:n asetuksen 652/2014 artiklan 16 mukaisesti tiettyjen kasvintuhoojien hävittämiseksi, hallitsemiseksi tai leviämisen estämiseksi.

1 Johdanto

Suomessa tuotetaan vuosittain noin 600 miljoonaa kiloa ja tuodaan ulkomailta noin 10–20 miljoonaa kiloa ruokaperunaa elintarvikkeeksi ja teollisuuden raaka-aineeksi (Luonnonvarakeskus, 2019; Suomen tullit, 2019). Tästä määrästä noin 70 % hyödynnetään elintarvikkeena, loppuosa on käsittelyprosesseissa syntyviä jakeita eli niin sanottuja sivuvirtoja (Ahokas *et al.*, 2012).

Laitostyyppistä ja tekniikasta riippuen perunateollisuudessa muodostuvat sivuvirrat voidaan karkeasti jakaa multajakeeseen, perunajakeeseen ja vesijakeeseen. Perunan mukana tulevan multajakeen määrä on vähentynyt uusien koneiden myötä, mutta on edelleen noin 10 % sadosta (Panagos *et al.*, 2019). Perunajae muodostuu lajittelutähteistä, joita syntyy 3–17 %, ja kuorimassasta, jota syntyy 25–60 % raaka-aineen laadusta riippuen (Helsky *et al.*, 2006; Ahokas *et al.*, 2012). Tärkkelystehtaissa muodostuu lisäksi kuitujaetta ja solunestettä (Pääkkönen *et al.*, 2004). Perunan pesussa ja kivien erottelussa syntyy multalietettä ja selkeytettyä multavettä, tuotteen huuhtomisesta ja tuotantolinjan pesemisestä huuhteluvettä (Helsky *et al.*, 2006; Ahokas *et al.*, 2012). Näiden sivuvirtojen tuottava hyödyntäminen, esimerkiksi kierrätyslannoitteina, on ympäristön ja tuotannon taloudellisen kannattavuuden kannalta tärkeitä. Lannoitekäytön lisäksi perunajakeita voidaan käyttää esimerkiksi eläinten rehuna (Siljander-Rasi & Valaja, 2008; Ahokas *et al.*, 2012; Finnamyyl Oy, 2017; Välimaa *et al.*, 2017; Pathak *et al.*, 2018), energianlähteenä bioreaktorissa (dos Santos *et al.*, 2012; Izmirioglu & Demirci, 2017) tai erilaisten biokomponenttien valmistuksen lähtömateriaalina (Ahokas *et al.*, 2012; Albishi *et al.*, 2013; Hossain *et al.*, 2015; Jeddou *et al.*, 2016).

Sivuvirtojen lannoitekäyttöön saattaa sisältyä kasvinterveysriskejä. Karanteenikasvintuhoojat ja muut haitalliset kasvintuhoojat voivat levitä, kun sivuvirtoja käytetään lannoitteina kasvintuotannossa (Mikkelsen *et al.*, 2006). Maailmalta löytyy esimerkkejä kasvintuhoojien leviämisestä perunateollisuuden sivuvirtojen mukana. Perunasyöpä (*Synchytrium endobioticum*) on levinnyt Saksassa perunateollisuudesta peräisin olevan multajakeen mukana (Steinmüller *et al.*, 2004) ja Hollannissa, Tanskassa ja Ruotsissa tärkkelysteollisuuden jätteiden välityksellä tehtaiden ympäristöön (Baayen *et al.*, 2006; Nielsen 2017, cit. Boberg & Björklund, 2018). Perunan tummarengasmätä (*Ralstonia solanacearum*) on levinnyt useissa EU:n jäsenvaltioissa teollisuus- ja kotitalousjätteiden välityksellä vesistöihin ja edelleen perunantuotantoon, kun saastunutta vettä on käytetty kasteluun (Mikkelsen *et al.*, 2006). Sloveniassa valkoperuna-ankeroinen (*Globodera pallida*) levisi läheisille laitumille ulkomaista ruokaperunaa käsittelevästä varastosta johdettujen pesuvesien välityksellä (Širca *et al.*, 2012).

Kasvintuhoojien leviämistä kierrätyslannoitteissa pyritään ennaltaehkäisemään lannoitelainsäädännössä määritettyjen toimien avulla. Kansallisen lainsäädännön mukaan lannoitevalmiste ei saa sisältää sellaisia määriä haitallisia eliöitä, että sen käyttöohjeiden mukaisesta käytöstä voi aiheutua vaaraa kasvien terveydelle. Karanteenikasvintuhoojien leviämisen ehkäisemiseksi perunateollisuuden sivutuotteet on siten ennen lannoitekäyttöä joko kompostoitava, lämpökäsiteltävä tai käsiteltävä muulla kasvinsuojeluviranomaisen hyväksymällä menetelmällä. Käsittelyjä ei vaadita, jos sivutuotteet ovat peräisin sellaisilta tuotantopaikoilta, joilla ei ole viiden edeltävän vuoden aikana todettu viranomaistarkastuksissa asetuksen 24/11 (Liite IV, taulukko 3),

mukaisia karanteenikasvintuhoojia tai kasvintuhoojia ei ole todettu käyttöä edeltävissä laboratorioanalyseissa. Peruna-, juurikas- ja juuresteollisuuden sivutuotteista valmistettuja lannoitevalmisteita, jotka ovat pelkästään tyyppinimivaatimusten mukaisesti käsitelty, ei saa käyttää perunatuotannossa olevilla tiloilla.

EU:ssa on käynnissä lainsäädäntöuudistus, jossa on tarkoitus harmonisoida lainsäädäntö orgaanisten lannoitevalmisteiden osalta. Uudistus on osittainen harmonisointi, joten myös kansallista lainsäädäntöä tarvitaan jatkossa. EU-lainsäädännössä ei ole nykyisen kansallisen lain kaltaisia tyyppinimiä, vaan vaatimukset on sidottu toimintaperusteisiin tuoteluokkiin ja ainesosaluokkiin. Lannoitevalmisteiden tuoteluokkia ovat muun muassa lannoitteet, maanparannusaineet ja kasvualustat. Uudistettaessa kansallista lainsäädäntöä vastaamaan EU-lainsäädäntöä myös kansalliseen lannoitelakiin ollaan esittämässä tuoteluokkiin ja ainesosaluokkiin pohjautuvaa rakennetta lannoitevalmisteiden ja lannoitevalmisteen soveltuvien aineiden vaatimuksille.

Nykyisessä tyyppinimijärjestelmässä käsittely- tai turvallisuuskriteereistä on säädetty MMM:n asetuksissa osin tyyppinimiryhmäkohtaisesti ja osin raaka-ainekohtaisesti. Kansallisesti voidaan esimerkiksi asettaa käytönrajoituksia, jos siihen on tarvetta kasvien, ympäristön ja ihmisten terveyden ja turvallisuuden varmistamiseksi. Näiden käyttörajoitusten tarpeellisuuden arvioimisen ja koko lainsäädäntöuudistuksen tueksi olisi tärkeää tietää nykyisessä lainsäädännössä määriteltyjen käsittelyvaatimusten ja levitysrajoitusten tarpeellisuus ja riittävyys ehkäisemään kasvintuhoojien leviämistä kierrätyslannoitteiden käytön seurauksena.

Tässä kirjallisuustutkimuksessa on tarkoitus arvioida nykyisen lannoitelainsäädännön vaatimusten vaikuttavuutta estää kasvintuhoojien leviämistä sivuvirtojen lannoitekäytön seurauksena. Raportissa ei arvioida riskien suuruutta, eli kasvintuhoojien leviämisen todennäköisyyttä ja sen seurausten vakavuutta, mutta siinä tuodaan esiin haasteita ja tietopuutteita, joita näihin asioiden arvioimiseen liittyy. Raportissa käsitellään erityisesti perunalla esiintyviä karanteenikasvintuhoojia ja muita haitallisia tuhojia, mutta viittauksia ja tutkimustuloksia mainitaan myös muiden tuotantokasvien tuhojista.

2 Aineisto ja menetelmät

Kirjallisuustutkimus toteutettiin hakemalla kirjallisuutta neljän eurooppalaisen kasvipatogeenien säilymistä ja jätteiden mukana leviämistä käsittelevän selvityksen englanninkielisistä lähteistä sekä näihin julkaisuihin ja niiden lähteisiin viittaavista uudemmissa julkaisuista Web of Science (Clarivate analytics) ja Google Scholar -tietokannoista. Haku toteutettiin kesällä 2019.

Käytetyt julkaisut olivat Euroopan komission kirjallisuusselvitys kasvintuhoojien tunnistamisesta ja hävittämisestä lietteestä, maa-aineksesta ja biojätteestä (Mikkelsen *et al.*, 2006), Saksan ympäristökeskuksen selvitys erilaisten käsittelyjen vaikutuksista ihmis-, eläin-, ja kasvipatogeenien säilymiseen puhdistamolietteessä (Pietsch *et al.*, 2015), Tanskan maatalous- ja elintarvikekeskuksen selvitys perunateollisuuden jätteiden kasvinterveysriskeistä (Nielsen *et al.*, 2016), sekä Norjan tieteellisen komitean kasvinterveyslautakunnan arvio karanteenikasvintuhoojien leviämisestä peruna- ja vihannespakkaamojen kautta ja vaihtoehtoista riskien vähentämiseksi (Rafoss *et al.*, 2018).

Suomalaisista julkaisuista kirjallisuustutkimuksessa hyödynnettiin hygienia- ja riskitutkimus puhdistamolietteen ja lietevalmisteiden käytöstä maataloudessa (Ali-Vehmas *et al.*, 2001), Suomen ympäristökeskuksen BAT-vertailuasiakirjoja (Best Available Techniques) perunan ja juuresten koneellisesta käsittelystä (Helsky *et al.*, 2006) ja tärkkelysteollisuudesta (Pääkkönen *et al.*, 2004), selvitykset vihannesjätteiden käsittelystä ja käytöstä maataloilla (Lehto *et al.*, 2006) sekä juureskuorimoiden jätteistä ja jätevesistä (Lehto *et al.*, 2007) ja Luonnonvarakeskuksen raportti ohjauskeinoista biomassojen ravinteiden kierrättämiseen (Marttinen *et al.*, 2017).

Lisäksi käytettiin aikaisemmissa kasvinterveyden riskinarviointihankkeissa ”Maa- ja puutarhataloutta uhkaavien uusien kasvintuhoojariskien priorisointimallin kehittäminen ja soveltaminen” (Dnro 2050/311/2011), ”Maa-, metsä- ja puutarhataloutta uhkaavien uusien kasvintuhoojariskien priorisointi FinnPRIO-mallilla” (Dnro 2120/311/2014) ja ”Perunaa vioittavien ankerosten tehostettu torjunta” (Dnro 1721/312/2014) Ruokaviraston riskinarvioinnin yksikköön tuotettua tietokantaa perunan kasvintuhoojista.

3 Tulokset

3.1 Kasvintuhoojien esiintyminen perunateollisuuden raaka-aineessa

Perunalla tunnetaan suuri määrä erilaisia maassa ja perunan mukuloissa tai juuristossa eläviä kasvintuhoojia (Fiers *et al.*, 2012; Ahvenniemi *et al.*, 2017), joita voi esiintyä perunateollisuuden prosesseihin tulevassa raaka-aineessa tai raaka-aineen mukana kulkeutuvassa multajakeessa. Multajakeessa voi kulkeutua myös sellaisia muiden tuotantokasvien tuhoojia, jotka selviävät maassa pitkään ilman sopivaa isäntäkasvia. Perunan yleisimmät tuhoojat on listattu taulukkoon 1. Monet näistä tuhoojista esiintyvät jo Suomessa.

Taulukko 1. Perunan yleisimmät tuhoojat ja niiden merkitys. Muokattu julkaisusta Terve peruna, Perunan hyvän kasvinterveydellisen viljelytavan ja integroidun kasvinsuojelun (IPM) ohjeisto perunan kasvintuhoojien hallitsemiseksi ja leviämisen estämiseksi. ProAgraria, 2014

Tuhoojan nimi	Tieteellinen nimi	Merkitys perunantuotannossa
ANKEROISET		
Keltaperuna-ankeroinen	<i>Globodera rostochiensis</i>	Esiintyy Etelä- ja Länsi-Suomessa, Ruokavirasto valvoo
Valkoperuna-ankeroinen	<i>Globodera pallida</i>	Toistaiseksi vain muutama esiintymä, Ruokavirasto valvoo
BAKTEERITAUDIT		
Märkämätä	<i>Pectobacterium carotovorum</i> ja muut <i>Pectobacterium</i> -lajit	Voi mädättää perunaa märkyydestä kärsivillä pelloilla ja varastoissa
Märkämätä	<i>Dickeya</i> -lajit	Voi mädättää perunaa märkyydestä kärsivillä pelloilla ja erityisesti pian noston jälkeen, ei tuhoja varastolämpötiloissa
Perunarupi	<i>Streptomyces europaeiscabiei</i> (<i>Streptomyces scabies</i>)	Yleinen peltomaiden sädebakteeri, rupiherkillä maalajeilla ja lajikkeilla kuivina vuosina laatutappioita
Pohjan-perunarupi	<i>Streptomyces turgidiscabies</i>	Yleinen peltomaiden sädebakteeri, rupiherkillä maalajeilla ja lajikkeilla laatutappioita
Tumma-rengasmätä	<i>Ralstonia solanacearum</i>	Ei esiinny Suomessa perunalla
Tyvimätä	<i>Pectobacterium atrosepticum</i>	Tappaa yleensä yksittäisiä kasveja, ei leviä nopeasti kasvukaudella
Tyvimätä	<i>Pectobacterium wasabiae</i>	Tappaa yleensä yksittäisiä kasveja, ei leviä nopeasti kasvukaudella, yleistynyt hyvin nopeasti myös Suomessa
Tyvimätä	<i>Dickeya</i> -lajit	Ongelmallisin tyvimädän aiheuttajaryhmä, leviää nopeasti kasvusta toiseen ja voi aiheuttaa suuria satotappioita
Vaalearengasmätä	<i>Clavibacter sepedonicus</i>	Nykyisin harvinainen, ei sinänsä aiheuta tuhoja, mutta johtaa karanteenitoimenpiteisiin
Verkkorupi	<i>Streptomyces</i> -lajit	Edellisiä harvinaisempi peltomaiden sädebakteeri, rupiherkillä maalajeilla ja lajikkeilla laatutappioita

Tuhoajan nimi	Tieteellinen nimi	Merkitys perunantuotannossa
MUNASIEDET		
Perunarutto	<i>Phytophthora infestans</i>	Tuotannon suurimpia uhkia, nykyisillä kasvisuojeluaineilla tuhot pystytään lähes kokonaan estämään
Punamätä	<i>Phytophthora erythroseptica</i>	Yleinen perunamaiden munasieni, pilaa satoa erityisen märkinä ja lämpiminä kesinä perunavaltaisissa kierroissa
Sydänmätä	<i>Globisporangium</i> -lajit (<i>Pythium</i> -lajit)	Yleinen peltomaiden munasieni, pilaa satoa märkinä ja lämpiminä kesinä perunavaltaisissa kierroissa
MÖHÖSIEDET		
Kuorirokko	<i>Spongospora subterranea</i>	Yleinen perunamaissa, levittää maltokaarivirusta, kuorirokko sinänsä useimmiten ulkonäköhaitta
SIENITAUDIT		
Harmaahilse	<i>Helminthosporium solani</i>	Hyvin yleinen ruokaperunan ulkonäön pilaaaja etenkin kevättalvella
Harmaahome	<i>Botrytis cinerea</i>	Tuhoaa joskus yksittäisiä lehdyköitä, ei aiheuta merkittäviä satotappiota
Keltaiaikku	<i>Passalora concors</i> (<i>Cercospora concors</i>)	Joinakin kesinä yksittäisillä lohkoilla tuhonnut alalehdet ennen ruten ilmaantumista
Kuoppalaho	<i>Boeremia</i> -lajit (<i>Phoma</i> -lajit)	Voi aiheuttaa varastotappiota, jos peruna kolhitaan noston ja muun käsittelyn yhteydessä. Taudinaiheuttaja lisääntyy tuleentuneissa varsissa
Kurttulaho	<i>Fusarium</i> -sienet	Voi aiheuttaa varastotappiota, jos peruna kolhitaan noston ja muun käsittelyn yhteydessä
Känsärupi	<i>Polyscytalum pustulans</i>	Satunnaisesti oireita pitkään varastoitavassa ruokaperunassa
Perunan lakaste (näivetyystauti)	<i>Verticillium albo-atrum</i> , <i>V. dahliae</i>	Yleinen peltomaiden sieni, kuivina kesinä perunavaltaisissa kierroissa voi alentaa satoa
Lehtipolte	<i>Alternaria solani</i> ja <i>A. alternata</i>	Ei ole toistaiseksi aiheuttanut Suomessa merkittäviä tuhoja, iskee vasta loppukesällä
Mustapistetauti	<i>Colletotrichum coccodes</i>	Harmaahilsettä muistuttava perunan ulkonäön pilaaaja, yleisyydestä Suomessa ei ole tietoa
Pahkahome (varsikuolio)	<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	Ongelma seuduilla, joilla viljellään öljykasveja ja vihanneksia samoilla peltoaukeilla kuin perunaa
Perunaseitti	<i>Thanatephorus cucumeris</i> (<i>Rhizoctonia solani</i>)	Yleinen peltomaiden sieni, yleinen siemenperunassa, pilaa ruoka- ja ruokateollisuusperunan käyttölaatua
Perunasyöpä	<i>Synchytrium endobioticum</i>	Ei todettu Suomessa yli 30 vuoteen
VIRUSTAUDIT		
Kasvusto-viroosit	Y- ja A-virus	Verraten yleisiä (etenkin Y) virusherkissä ruoka- ja tärkkelysperunalajikkeissa
Kasvusto-viroosit	M-, X-, V-, PLRV- ja S-virus	Lähes hävinneet Suomesta siemenperunan korkean laadun ansiosta
Maltokaariviroosi	Potato mop top virus (PMTV)	Taudin tartuttamia lohkoja esiintyy päätuotantoalueilla, laatuappioita ruoka- ja ruokateollisuusperunalla, todettu noin 1–2 %:ssa sisäänostetuista eristä
Tulppaviroosi	Tupakan Rattle Virus, TRV	Ei tiettävästi esiinny Suomessa

EU:n kasvinterveyslainsäädännön ja teollisuusjärjestöjen sisämaakauppaan liittyvien vaatimusten avulla pyritään ennalta ehkäisemään kasvintuhoojien esiintymistä perunateollisuuden prosesseihin tulevassa raaka-aineessa. EU:n kasvinterveyslainsäädäntö sallii teollisuusperunan tuonnin vain muista Euroopan ja Välimeren maista. Näissä maissa esiintyy kuitenkin useita sellaisia perunaa uhkaavia karanteenituhoojia, joita ei Suomessa esiinny, mutta jotka voivat saapua Suomeen perunateollisuuden prosesseihin tulevassa raaka-aineessa tai raaka-aineen mukana kulkeutuvassa multajakeessa. Euroopassa ja Välimeren maissa esiintyvät perunalle haitalliset karanteenituhoojat ja kasvinterveyslainsäädännössä säännellyt ei-karanteenituhoojat (RNQP, regulated non-quarantine pests), joita voi esiintyä perunateollisuuden raaka-aineessa tai sen mukana kulkeutuvassa multajakeessa on listattu taulukkoon 2.

Taulukko 2. Euroopassa esiintyvät perunalle haitalliset karanteenituhoojat ja kasvinterveyslainsäädännössä säännellyt muut perunan tuhoojat, joita voi esiintyä perunateollisuuden raaka-aineessa tai sen mukana kulkeutuvassa multajakeessa.

Tuhoojan nimi	Karanteenistatus	Esiintykö Suomessa
ANKEROISET		
Kuorilahoankeroinen (<i>Ditylenchus destructor</i>)	Säädely ei-karanteenituhooja	Ei
Valkoperuna-ankeroinen (<i>Globodera pallida</i>)	Unionin karanteenituhooja	Kyllä
Keltaperuna-ankeroinen (<i>Globodera rostochiensis</i>)	Unionin karanteenituhooja	Kyllä
Mukulaäkämäankeroinen (<i>Meloidogyne chitwoodi</i>)	Unionin karanteenituhooja	Ei
Kavalaäkämäankeroinen (<i>Meloidogyne fallax</i>)	Unionin karanteenituhooja	Ei
BAKTEERITAUDIT		
<i>Candidatus</i> Liberibacter solanacearum	Säädely ei-karanteenituhooja	Kyllä*
<i>Candidatus</i> Phytoplasma solani	Säädely ei-karanteenituhooja	Ei
Vaalearengasmätä (<i>Clavibacter sepedonicus</i>)	Unionin karanteenituhooja	Kyllä
Tummarengasmätä (<i>Ralstonia solanacearum</i>)	Unionin karanteenituhooja	Ei
SIENET JA SIENIMÄISET ELIÖT		
Kuorirokko (<i>Spongopora subteranea</i>)	Säädely ei-karanteenituhooja	Kyllä
Perunasyöpä (<i>Synchytrium endobioticum</i>)	Unionin karanteenituhooja	Ei
Perunaseitti (<i>Thanatephorus cucumeris</i> , <i>Rhizoctonia solani</i>)	Säädely ei-karanteenituhooja	Kyllä
VIRUSTAUDIT		
Krysanteemin kitukasvuviroidi (<i>Chrysanthemum stunt viroid</i>)	Säädely ei-karanteenituhooja	Ei
Perunan kierrelehtivirus (Potato leaf roll virus)	Säädely ei-karanteenituhooja	Kyllä
Perunan sukkulamukulaviroidi (Potato spindle tuber viroid)	Säädely ei-karanteenituhooja	Ei
Tomaatin pronssilaikkuvirus (Tomato spotted wilt virus)	Säädely ei-karanteenituhooja	Ei
HYÖNTEISET		
<i>Epitrix cucumeris</i>	Hätätoimenpidetuhooja	Ei
<i>Epitrix papa</i>	Hätätoimenpidetuhooja	Ei
Koloradonkuoriainen (<i>Leptinotarsa decemlineata</i>)	Suoja-alueuhooja	Ei
<i>Tecia solanivora</i>	Unionin karanteenituhooja	Ei

* Ristikukkaisia ja luonnonvaraisia kasveja infektoivat haplotyytit.

Niistä EU:n ulkopuolisista maista, joista perunan tuonti elintarvikkeeksi tai teollisuuden raaka-aineeksi on sallittua, tulee tuotavan perunan täyttää seuraavat vaatimukset

- Multajakeen osuus toimitettavasta erästä on enintään 1 % erän kokonaispainosta.
- Toimitettava erä on peräisin maasta, jossa *Tecia solanivora* -tuhooja ei esiinny, tai alueelta, joka on viranomaisen kyseisestä tuhoojasta vapaaksi perustama.
- Toimitettava erä on peräisin maasta, jossa vaalearengasmätää (*Clavibacter sepedonicus*) ei esiinny, tai lähtömaan kasvinterveyslainsäädäntö on vaalearengasmädän leviämisen ehkäisemiseksi yhteneväinen EU:n lainsäädännön kanssa.
- Toimitettava erä on peräisin alueelta, jolla perunasyövän uusia rotuja ei tiedetä esiintyvän, eikä perunasyövän oireita ole havaittu alueella eikä sen välittömässä ympäristössä, tai lähtömaan kasvinterveyslainsäädäntö on perunasyövän leviämisen ehkäisemiseksi yhteneväinen EU:n lainsäädännön kanssa.
- Toimitettava erä on peräisin tuotantopaikalta, jolla kelta- (*Globodera rostochiensis*) ja valkoperuna-ankeroista ei esiinny.
- Toimitettava erä on peräisin tuotantoalueelta, tai tuotantopaikalta, jolla tummarengasmätää, mukulaäkämäankeroista (*Meloidogyne chitwoodi*) ja kavalaäkämäankeroista (*Meloidogyne fallax*) ei esiinny.

Euroopan perunakauppaliiton säännöt (Rules & Practices of the Inter-European Trade in Potatoes, RUCIP) rajoittavat joidenkin perunan tautien kuten kuorirokon ja perunaruton sallittuja määriä myytävässä perunassa. Elintarviketeollisuuden käyttöön myytävän perunan mukana kulkevan maan määräksi sallitaan enintään 2 % kokonaispainosta (RUCIP, 2021). Tuhoojavapaus osoitetaan laboratoriotesteillä ja kartoituksilla. Nykyinen kansallinen lannoitelainsäädäntö puolestaan edellyttää, että perunateollisuuden sivutuotteet, joita ei ole tarkoitus käsitellä lainsäädännön velvoittamien menetelmin, ovat peräisin sellaisilta tuotantopaikoilta, joilla ei ole viiden edeltävän vuoden aikana todettu viranomaistarkastuksissa perunan karanteenituhooja.

Täyden kasvintuhojavapauden osoittaminen kartoitusten tai muiden viranomaistoimien perusteella on käytännössä mahdotonta (Hannunen & Tuomola, 2020). Esimerkiksi EU:n kasvinterveysviranomaisten peruna-ankeroisten näytteenotolla löydetään ankeroisesiintymä pellolta 90 % todennäköisyydellä, mutta vain jos ankeroisen muodostaman keskeisimmän saastuntapesäkkeen (infestation focus) keskikohdan keskimääräinen populaatiotiheys on vähintään 100 kystaa/kg maata ja kolmen pienemmän pesäkkeen keskikohdan keskimääräinen populaatiotiheys vähintään 50 kystaa/kg maata (Schomaker & Been, 1999). Jos pellon ankeroisesiintymä on edellä kuvattua pienempi, löydetään se kartoituksissa pienemmällä todennäköisyydellä. Tuhoojavapauden osoittamisessa on otettava huomioon myös laboratoriotestien herkkyys. Myöskään mikään laboratoriomenetelmä ei voi täysin taata, etteikö tutkittu erä sisältäisi tiettyä kasvintuhoojaa (Noble & Roberts, 2003).

3.2 Lannoitelainsäädännön edellyttämien käsittelyiden vaikutus kasvintuhoojiin

Karanteenituhoojien leviämisen ehkäisemiseksi perunateollisuuden sivutuotteet on nykyisen kansallisen lainsäädännön mukaan joko kompostoitava (vähintään 55 °C, 40 % kosteus, 2 viikkoa), lämpökäsiteltävä (vähintään 70 °C, 1 tunti, enintään 12 mm palakoko) tai käsiteltävä käyttämällä muuta kasvinsuojeluviranomaisen hyväksymää menetelmää.

Kirjallisuustutkimuksessa läpikäytyjen julkaisujen tulokset vaatimusten mukaisen kompostoinnin ja lämpökäsittelyiden vaikutuksista eri kasvintuhoojien selviytymiseen on koostettu taulukkoon 3. Yhteenvedona tuloksista voidaan todeta, että käsittelyt riittävät tuhoamaan useimmat sivutuotteiden raaka-aineessa tai sen mukana kulkeutuvassa multajakeessa mahdollisesti esiintyvät kasvintuhoojat, mutta eivät kaikkia. Vaadittavat käsittelyt eivät eräiden tutkimusten mukaan riitä tuhoamaan perunan karanteenituhoojista perunasyöpää, vaalearengasmätää eivätkä peruna-ankeroisia (Taulukko 3). Lisäksi käsittelyjen vaikutuksia on tutkittu vain noin puolella niistä perunan tuhoojista, jotka voivat levitä perunan mukuloiden välityksellä tai perunan mukana kulkeutuvassa multajakeessa (Fiers *et al.*, 2012; Ahvenniemi *et al.*, 2017). Perunaa vioittavat maalevintäiset kasvintuhoojat, joihin käsittelyiden vaikutuksista ei löytynyt tietoja kirjallisuudesta on koottu taulukkoon 4.

Kirjallisuustutkimuksen julkaisuissa ei käsitelty yhtäkään perunan tuhohyönteistä. Yleistykseenä voidaan sanoa, että hyönteisten tappamiseen tarvittava aika yli 50 °C asteessa on tunteja ja yli 62 °C asteessa minutteja (Fields, 1992), joten hyönteiset eivät todennäköisesti selviä käsittelyistä ja siten leviä lannoitelainsäädännön mukaisesti käsiteltyjen lannoitevalmisteiden välityksellä. Perunateollisuuden raaka-aineessa mahdollisesti esiintyvät karanteenituhoojahyönteiset *Epitrix cucumeris*, *E. papa*, koloradonkuoriainen (*Leptinotarsa decemlineata*) ja *Tecia solanivora* siis oletettavasti tuhoutuvat lainsäädännön edellyttämässä käsittelyissä.

Taulukko 3. Lannoitevalmisteasetuksen 24/11 mukaisten käsittelyiden tehokkuus kasvintuhoojien eliminoinniseksi. Julkaisujen viitetiedot (numerot) on koottu liitteeseen I. Perunaa vioittavat tuhoojat ovat harmaalla pohjalla taulukossa.

Ryhmä	Kompostointi riittävä*	Kompostointi ei riittävä	Lämpökäsittely riittävä**	Lämpökäsittely ei riittävä	Muu lämpötila/käsittely***
ALKUELÄIMET					
Möhöjuuri (<i>Plasmodiophora brassicae</i>)	20, 34, 57	30	18, 74	–	13, 16, 18, 20, 31, 34, 47, 57, 83, 84, 85, 106, 120
<i>Polymyxa betae</i>	52, 115	–	1, 115	26	26, 52, 115
Kuorirokko (<i>Spongospora subterranea</i>)	–	–	–	–	69
ANKEROISET					
<i>Aphelenchoides ritzemabosi</i>	–	–	–	–	9
<i>Aphelenchoides subtenuis</i>	–	–	119	–	–
Sipulilahoankeroinen (<i>Dithylenchus dipsaci</i>)	–	–	48, 79, 119	–	79
Valkoperuna-ankeroinen (<i>Globodera pallida</i>)	71	–	98, 114	98	93, 98, 110
Keltaperuna-ankeroinen (<i>Globodera rostochiensis</i>)	49, 70, 71, 96	17	32, 96, 113, 114	–	17, 38, 93, 95, 98, 114
Valkojuurikasankeroinen (<i>Heterodera schachtii</i>)	–	–	–	–	83, 84, 85
Mukulaäkämäankeroinen (<i>Meloidogyne chitwoodi</i>)	83	–	–	–	24

* Kompostoitavan massan tulee saavuttaa vähintään 55 °C:n lämpötila 40 % kosteudessa kahden viikon ajan.

** Lämpökäsittely kosteana 70 °C:ssa yhden tunnin ajan, partikkelikoon oltava alle 12 mm.

*** Tutkimuksissa käytettyjen olosuhteiden perusteella ei voi arvioida käsittelyvaatimusten tehokkuutta.

Ryhmä	Kompostointi riittävä*	Kompostointi ei riittävä	Lämpökäsittely riittävä**	Lämpökäsittely ei riittävä	Muu lämpötilä/käsittely***
Kavalaäkämäankeroinen (<i>Meloidogyne fallax</i>)	-	-	-	-	24
Hallaäkämäankeroinen (<i>Meloidogyne hapla</i>)	-	-	39, 60	-	24, 39, 60
<i>Meloidogyne incognita</i>	43, 64	-	40, 116	-	43, 84, 116
<i>Meloidogyne javanica</i>	-	-	40, 60	-	60
Keltalaikkuäkämäankeroinen (<i>Meloidogyne minor</i>)	-	-	-	-	24
Kuoliolaikkuankeroinen (<i>Pratylenchus penetrans</i>)	-	-	39	-	-
<i>Tylenchulus semipenetrans</i>	-	-	-	-	28
BAKTEERIT					
Bakteerilakaste (<i>Clavibacter michiganensis</i> ssp. <i>michiganensis</i>)	-	-	33	-	89, 110, 122
Vaalearengasmätä (<i>Clavibacter sepedonicus</i>)	-	97	-	97	88, 97
<i>Clavibacter xyli</i> ssp. <i>xyli</i>	-	-	80	-	-
Tulipolte <i>Erwinia amylovora</i>	16, 83	-	51	-	51
Tyvimätä, märkämätä (<i>Pectobacterium atrosepticum</i>)	-	-	59, 81	-	-
Märkämätä (<i>Pectobacterium carotovorum</i>)	-	-	29, 59, 81	-	29, 101
Tyvimätä, märkämätä (<i>Dickeya</i> ent. <i>Erwinia chrysanthemi</i>)	45	-	81	-	45
<i>Pseudomonas savastanoi</i> pv. <i>phaseolicola</i>	57	-	57	-	57
Versomätä (<i>Pseudomonas syringae</i> pv. <i>syringae</i>)	-	-	29	-	29, 101
Tummarengasmätä (<i>Ralstonia solanacearum</i>)	83	-	54, 105, 109	-	25, 84, 105, 106
<i>Xanthomonas campestris</i> pv. <i>campestris</i>	72, 73	-	-	-	72
<i>Xanthomonas campestris</i> pv. <i>vesicatoria</i>	-	-	29	-	29

* Kompostoitavan massan tulee saavuttaa vähintään 55 °C:n lämpötila 40 % kosteudessa kahden viikon ajan.

** Lämpökäsittely kosteana 70 °C:ssa yhden tunnin ajan, partikkelikoon oltava alle 12 mm.

*** Tutkimuksissa käytettyjen olosuhteiden perusteella ei voi arvioida käsittelyvaatimusten tehokkuutta.

Ryhmä	Kompostointi riittävä*	Kompostointi ei riittävä	Lämpökäsittely riittävä**	Lämpökäsittely ei riittävä	Muu lämpötila/käsittely***
MUNASIEIENET					
Kuorimätä (<i>Phytophthora cactorum</i>)	-	-	50	-	-
<i>Phytophthora cinnamomi</i>	-	-	11, 50	-	11, 28, 45
Tyvi- ja juurirutto (<i>Phytophthora cryptogea</i>)	-	-	-	-	13
Perunarutto (<i>Phytophthora infestans</i>)	-	-	-	-	13, 94
<i>Phytophthora kernoviae</i>	-	-	111	-	-
<i>Phytophthora megasperma</i>	-	-	50	-	-
Tyvi- ja juurirutto (<i>Phytophthora nicotianae</i>)	72, 73	-	-	-	21, 62, 72, 73
Versopolte (<i>Phytophthora ramorum</i>)	36, 102	-	111	-	42, 102, 108
<i>Pythium irregulare</i>	45	-	-	-	45
Sydänmätä (<i>Pythium ultimum</i>)	72, 73	-	6, 78, 114	-	72, 78, 101
SIEIENET					
Mesisieni (<i>Armillaria mellea</i>)	-	-	67	-	28, 67, 121
Harmaahome (<i>Botrytis aclada</i> (<i>B. allii</i>))	-	-	-	-	13, 118
Harmaahome (<i>Botrytis cinerea</i>)	45, 57	-	57, 92	-	45, 57, 120
Mustapistetauti (<i>Colletotrichum coccodes</i>)	-	-	-	-	13
Tomaatinvarsilaho (<i>Didymella lycopersici</i>)	75	-	-	-	75
Ruskeatyvi (<i>Fusarium culmorum</i>)	-	-	-	-	47
<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>asparagi</i>	-	-	-	-	106
<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>basilici</i>	-	-	-	-	73
<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>callistephi</i>	-	-	-	-	13
<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>dianthi</i>	-	-	-	-	110
<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>lilii</i>	-	-	-	-	13

* Kompostoitavan massan tulee saavuttaa vähintään 55 °C:n lämpötila 40 % kosteudessa kahden viikon ajan.

** Lämpökäsittely kosteana 70 °C:ssa yhden tunnin ajan, partikkelikoon oltava alle 12 mm.

*** Tutkimuksissa käytettyjen olosuhteiden perusteella ei voi arvioida käsittelyvaatimusten tehokkuutta.

Ryhmä	Kompostointi riittävä*	Kompostointi ei riittävä	Lämpökäsittely riittävä**	Lämpökäsittely ei riittävä	Muu lämpötila/käsittely***
Tomaatinnäivete (<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>lycopersici</i>)	72, 73	20	–	–	20, 72
<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>melongenae</i>	–	–	–	–	13
<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>melonis</i>	–	–	–	–	13, 100
<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>narcissi</i>	73	–	–	–	14, 47
<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>pisi</i>	–	–	–	–	22
Tomaatinjuurinäivete <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>radicis-lycopersici</i>	72	–	–	–	72, 73
Kurttulaho (<i>Fusarium proliferatum</i>)	–	–	–	–	7
<i>Fusarium solani</i> f. sp. <i>cucurbitae</i>	–	–	–	–	13
<i>Fusarium verticillioides</i>	–	–	–	–	7
<i>Macrophomina phaseolina</i>	–	–	10	–	10, 56, 65
Lumihome (<i>Microdochium nivale</i>)	–	–	–	–	72, 73
<i>Olpidium brassicae</i>	22	–	19	–	13
<i>Phomopsis sclerotioides</i>	–	–	–	–	13, 118
Tyviläikkä (<i>Oculimacula yallundae</i> (<i>Pseudocercospora</i> <i>herpotricoides</i>))	–	–	–	–	27
Tomaatinkorkkijuuri (<i>Pyrenochaeta lycopersici</i>)	–	–	–	–	13
Perunaseitti (<i>Rhizoctonia solani</i>)	45, 73	20	66, 78	–	7, 13, 20, 45, 78, 121
<i>Rosellinia necatrix</i>	–	–	–	–	103
Lännenmuumiotauti (<i>Monilinia fructigena</i> (<i>Sclerotinia fructigena</i>))	–	–	–	–	94
<i>Sclerotinia minor</i>	–	–	–	–	2
Pahkahome (<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>)	–	–	114	–	7, 13, 27, 28, 43, 47, 114
Sipulin pahkamätä (<i>Sclerotium cepivorum</i>)	23	–	114	–	2, 13, 63, 106

* Kompostoitavan massan tulee saavuttaa vähintään 55 °C:n lämpötila 40 % kosteudessa kahden viikon ajan.

** Lämpökäsittely kosteana 70 °C:ssa yhden tunnin ajan, partikkelikoon oltava alle 12 mm.

*** Tutkimuksissa käytettyjen olosuhteiden perusteella ei voi arvioida käsittelyvaatimusten tehokkuutta.

Ryhmä	Kompostointi riittävä*	Kompostointi ei riittävä	Lämpökäsittely riittävä**	Lämpökäsittely ei riittävä	Muu lämpötila/käsittely***
<i>Sclerotium rolfsii</i>	73, 121	–	–	–	65
<i>Septoria lycopersici</i>	–	–	–	–	94
<i>Stromatinia gladioli</i>	–	–	–	–	13
Perunasyöpä (<i>Synchytrium endobioticum</i>)	52	96	37	76, 96, 117	37, 52, 86, 96, 117
<i>Taphrina deformans</i>	–	–	–	–	94
Tummalaho (<i>Thielaviopsis basicola</i>)	72, 73	–	–	–	41, 72, 78
Intianhaisunoki (<i>Tilletia indica</i>)	–	–	–	–	91
Lakaste (<i>Verticillium albo-atrum</i>)	104	–	66, 68, 104	–	104
Lakaste (<i>Verticillium dahliae</i>)	72, 73	–	114	–	72, 78, 121
VIRUKSET JA VIROIDIT					
Juurikkaan nekroottinen keltasuonivirus (Beet necrotic yellow vein virus)	70	–	–	–	26, 70
Kurkun vihermosaiikkivirus (Cucumber green mottle mosaic virus)	–	–	–	5	5
Kurkun mosaiikkivirus (Cucumber mosaic virus)	–	–	–	–	58, 112
Melonin kuoliolaikkuvirus (Melon necrotic spot virus)	99	–	–	–	99
Paprikan lievä läikkävirus (Pepper mild mottle virus)	–	99	–	–	99
Perunan maltokaarivirus (Potato mop-top virus)	–	–	–	–	69
Perunan sukkulamukulaviroidi (Potato spindle tuber viroid)	–	–	–	–	90
Perunan Y-virus (Potato Y virus)	–	–	–	–	58
Tupakan mosaiikkivirus (Tobacco mosaic virus)	–	20, 44, 47, 72	–	15, 18, 58, 72, 74	4, 8, 18, 20, 41, 43, 47, 72, 77, 83, 84, 85, 105
Tupakan nekroosivirus (Tobacco necrosis virus)	57	–	–	–	3, 57
Tupakan rattlevirus (Tobacco rattle virus)	–	–	–	–	12, 64, 87

* Kompostoitavan massan tulee saavuttaa vähintään 55 °C:n lämpötila 40 % kosteudessa kahden viikon ajan.

** Lämpökäsittely kosteana 70 °C:ssa yhden tunnin ajan, partikkelikoon oltava alle 12 mm.

*** Tutkimuksissa käytettyjen olosuhteiden perusteella ei voi arvioida käsittelyvaatimusten tehokkuutta.

Ryhmä	Kompostointi riittävä*	Kompostointi ei riittävä	Lämpökäsittely riittävä**	Lämpökäsittely ei riittävä	Muu lämpötila/käsittely***
Tomaatin kitukasvuvirus (Tomato bushy stunt virus)	-	-	-	-	107
Tomaatin kloroottinen kääpiökasvuviroidi (Tomato chlorotic dwarf viroid)	-	-	-	-	61
Tomaatin mosaikkivirus (Tomato mosaic virus)	4	-	-	46	4
Tomaatin pronssilaikkuvirus (Tomato spotted wilt virus)	-	-	82	-	82, 99
HYÖNTEISET					
Sipulikärpänen (<i>Delia antiqua</i>)	22, 71	-	-	-	-
Pikkusiplari (<i>Eumerus strigatus</i>)	-	-	53	-	-
Narsissikärpänen (<i>Merodon equestris</i>)	-	-	53	-	-
Porkkanakärpänen (<i>Psila rosae</i>)	71	-	-	-	-
Sipulipunkki (<i>Rhizoglyphus echinopus</i>)	-	-	-	-	53
<i>Tarsonemus myceliophagus</i>	35	-	-	-	-

* Kompostoitavan massan tulee saavuttaa vähintään 55 °C:n lämpötila 40 % kosteudessa kahden viikon ajan.

** Lämpökäsittely kosteana 70 °C:ssa yhden tunnin ajan, partikkelikoon oltava alle 12 mm.

*** Tutkimuksissa käytettyjen olosuhteiden perusteella ei voi arvioida käsittelyvaatimusten tehokkuutta.

Taulukko 4. Perunaa vioittavia maalevintäisiä kasvin tuhoajia, joiden käsittelystä kompostoimalla tai kuumennuksella ei löytynyt tutkimuksia.

Ankeroiset	Bakteerit	Sienet ja sienimäiset eliöt		
*** <i>Belonolaimus longicaudatus</i>	* <i>Clostridium</i> spp.	*Lehtipolte (<i>Alternaria</i> spp.)	*Punamätä (<i>Phytophthora erythroseptica</i>)	*** <i>Mukulanoki</i> (<i>Thecaphora solani</i>)
** <i>Kuorilahoankeroinen</i> (<i>Ditylenchus destructor</i>)	*Tyvi- ja märkämätä (<i>Dickeya</i> spp.)	*Kuoppalahko (<i>Boeremia</i> spp. (<i>Phoma</i> spp.))	*Känsärupi (<i>Polyscytalum pustulans</i>)	
* <i>Nacobbus aberrans</i>	*Verkkorupi (<i>Streptomyces</i> spp.)	*Kumimätä (<i>Dipodascus geotrichum</i>)	*** <i>Puccinia pittieriana</i>	
** <i>Sikariankeroiset</i> (<i>Paratrichodorus</i> spp.)		*Harmaahilse (<i>Helminthosporium solani</i>)	*** <i>Septoria lycopersici</i> var. <i>Malagutii</i>	
** <i>Sikariankeroiset</i> (<i>Trichodorus</i> spp.)		*Keltalaikku (<i>Passalora concors</i>)	*** <i>Stagonosporopsis andigena</i>	

* Esiintyy Suomessa. ** Esiintyy Euroopassa. *** Ei esiinny Euroopassa.

3.2.1 Kuumennus

Lämpötila on selkein mitattava kasvintuhoojien eliminoimiseen vaikuttava tekijä. Perunan karanteenikasvintuhoojista valkoperuna-ankeroinen (Stone & Webley, 1975), perunasyöpä (Weiss & Brierley, 1928; Steinmüller *et al.*, 2012; Pietsch *et al.*, 2015) ja vaalearengasmätä (Steinmüller *et al.*, 2013) voivat eräiden tutkimusten mukaan selvittää lannoitevalmisteasetuksen mukaisesta kuumennuksesta tunniksi 70 °C asteeseen (Taulukko 2). Kirjallisuustutkimuksen mukaan parhaiten kuumuutta kestävät kasvintuhoojat ovat tupakan mosaiikkivirus (TMV, Tobamovirus; 80 °C, 1 tunti; Philipp *et al.*, 2005) ja perunasyöpä (140 °C, 2 tuntia; Pietsch *et al.*, 2015). Tupakan mosaiikkiviruksen hävittämiseksi massa pitää kuumentaa 80 °C asteeseen 2 tunniksi tai 85 °C asteeseen 1–2 tunniksi (Philipp *et al.*, 2005).

Muita tunnin lämpökäsittelystä 70 °C asteessa mahdollisesti selviäviä organismeja ovat juurikkaan nekroottista keltasuonivirusta (BNYVV, Benyvirus) levittävä alkueläin *Polymyxa betae* (Dickens *et al.* 1991, cit. Noble *et al.*, 2009), kurkun vihermosaiikkivirus (CGMMV, Tobamovirus; Avgelis and Manios 1992, cit. Noble & Roberts, 2004) ja tomaatin mosaiikkivirus (ToMV, Tobamovirus; Howles 1961, cit. Noble & Roberts, 2003). Muiden kuin perunasyövän ja TMV:n osalta tiedot kuumuuden kestävydestä perustuvat vain yhteen tutkimukseen (Taulukko 3).

3.2.2 Kompostointi

Perunan kasvintuhoojista keltaperuna-ankeroinen (Bøen *et al.*, 2006), vaalearengasmätä (Steinmüller *et al.*, 2013) ja perunasyöpä (Steinmüller *et al.*, 2012) voivat mahdollisesti selviytyä lannoitevalmisteasetuksen vaatimusten mukaisesta kompostoinnista. Muita kompostoinnista mahdollisesti selviäviä kasvintuhoojia ovat möhöjuuri (*Plasmodiophora brassicae*), *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*, perunaseitti (*Rhizoctonia solani*), paprikan lievä läikkäivirus (PMMoV, Tobamovirus) ja TMV, joista ainoastaan TMV:n osalta on tuloksia useammasta tutkimuksesta (Taulukko 3).

Lämpö on kompostoinnissakin tärkein ja helpoiten määritettävä ja mitattava hygienisoinnin tehokkuutta luotettavasti kuvaava tekijä, mutta tehokkuuteen vaikuttavat lämpötilan lisäksi kosteus, myrkyllisten yhdisteiden muodostuminen, mikrobien tuottamat hajottavat entsyymit, antibiootit ja parasitismi, kilpailu ravinteista, luonnollinen ajasta johtuva elinkyvyn menetys ja yhdisteet, jotka stimuloivat taudinaiheuttajien lepomuotojen ennen aikaista itämistä (Bollen *et al.*, 1989; Elorriota *et al.*, 2003; Noble & Roberts, 2003). Lämpöön ja aikaan perustuva hygienisointivaikutuksen arviointi siis todennäköisesti aliarvioi käsittelyn tehokkuuden mikrobiantagonismin vuoksi (Noble *et al.*, 2009). Lämpövaihe, jonka aikana myös myrkylliset yhdisteet muodostuvat, on kriittinen tekijä kompostoinnissa, kypsymisvaihe yksinään ei riitä tuhoamaan taudinaiheuttajia (Bollen *et al.*, 1989).

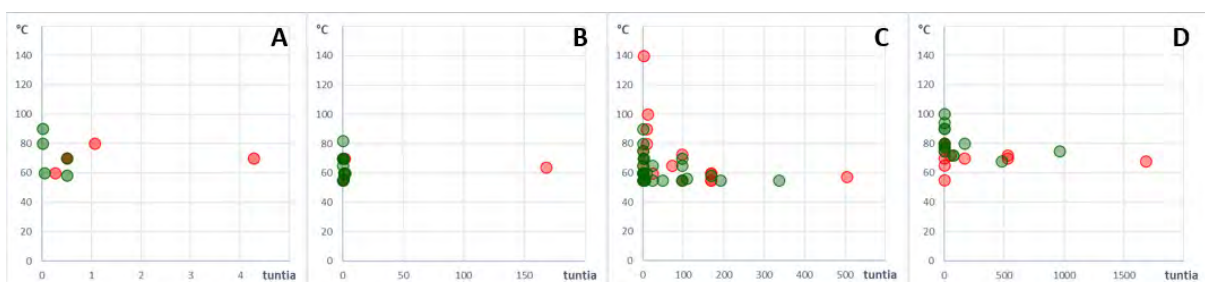
Useimmissa tapauksissa lämpötilalla ja ajalla on suora vaikutus hygienisoinnin tehoon, mutta perunan sukkulamukulaviroidin (PSTVd) tuhoamiseksi kompostissa ei löydetty luotettavaa lämpötila–aika-yhdistelmää (Kerins *et al.*, 2018). Voi olla, että kompostoinnissa tapahtuva mikrobien aiheuttama hajoaminen on viroidien tapauksessa hygienisoimisen kannalta tärkeämpää kuin lämpötila. Kompostin lämpötila ei myöskään riitä kuumuutta kestävien virusten kuten tupakan rattleviruksen (TRV, Tobravirus) tuhoamiseen, mutta tappaa niitä levittävät ankeroidet. Viruksia levittävät ankeroidet ovat kasvien loisia, jotka

eivät ruokaile kuolleella substraatilla, joten kompostin käyttö tällaisessa tapauksessa ei ole ongelma. TRV leviää myös siementen välityksellä ja voi siis levitä kompostista, jos komposti sisältää saastuneiden viljely- tai rikkakasvien eläviä siemeniä (Bollen, 1985). Monet Tombusvirus-sukuun kuluvat lajit voivat levitä maan kautta ilman vektoria (Roberts, 2014).

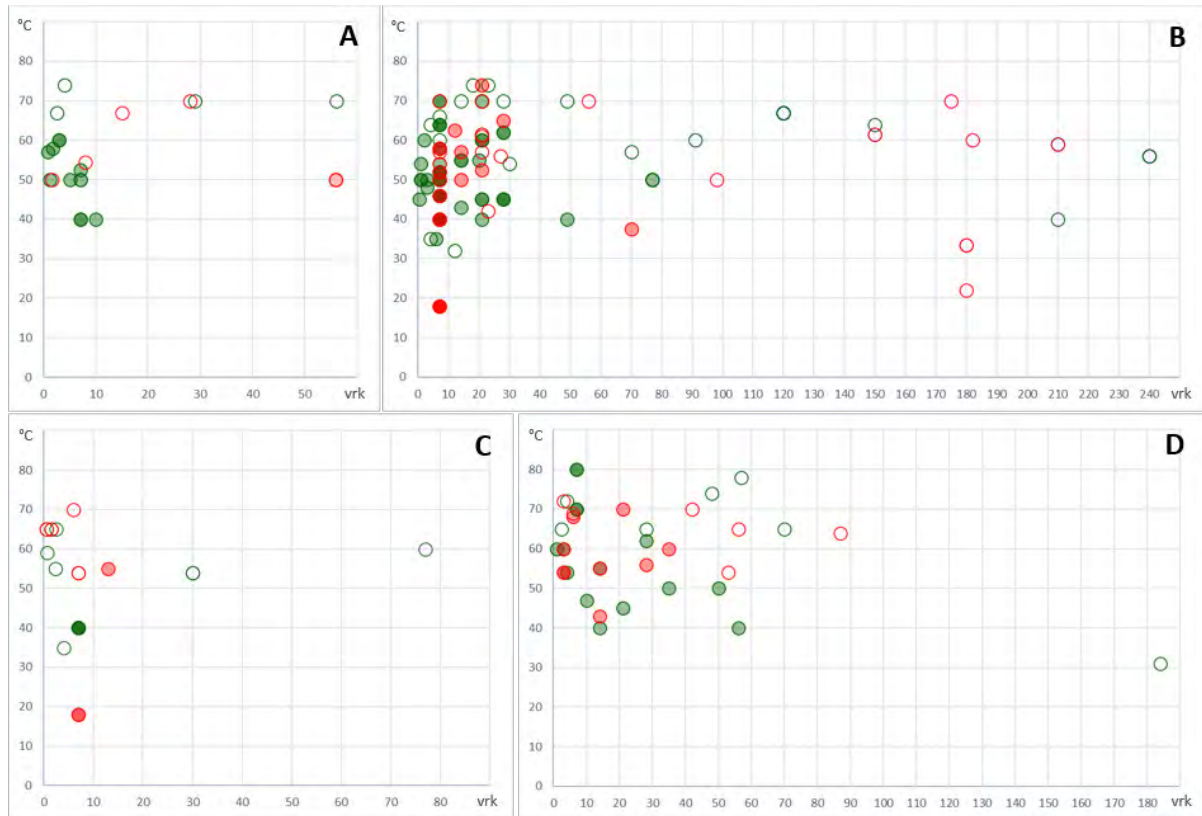
Kompostin lisäys kasvualustaan voi myös tapauskohtaisesti vähentää kasvitauteja. Van Rijnin (2007) väitöskirjatyössä tutkittiin 18 eri kompostin vaikutusta seitsemässä kasvi-kasvintuhooja-vuorovaikutuksessa. Puolessa tapauksista (54 %) komposti ehkäisi kasvitauteja merkittävästi, vajaassa puolessa tapauksista (43 %) komposti ei vaikuttanut, ja 3 %:ssa taudit pahenivat kompostin lisäyksen seurauksena (van Rijn, 2007). Suomessa on saatu vastaavia tuloksia kompostien vaikutuksesta kasvitautien ehkäisyssä (Vestberg *et al.*, 2010). Kompostin lisäyksen on havaittu vähentävän keltaperuna-ankeroisen kystojen ja toukkien määrää maassa (Renčo *et al.*, 2007). Schönfeldin ym. tutkimuksessa (2003) kompostin lisääminen maahan vähensi tumman rengasmädän määriä ja taudinaiheutuskykyä. Käsittely ei poistanut bakteeria, vaan kasveissa ilmeni oireettomia infektoita (Schönfeld *et al.*, 2003). Kompostien vaikutuksia kasvitautien vähentämiseen tutkivassa kirjallisuuskatsauksessa todetaan, että kompostointi tappaa useimmat kasvintuhoojat, mutta kompostin liiallisella kuumenemisella voidaan menettää kompostin kasvintuhoojien kasvua estävä vaikutus (Hoitink & Fahy, 1986).

3.2.3 Lämpötila ja aika

Vain kolmasosa julkaistuista tutkimuksista lämpötilan ja ajan vaikutuksista kasvintuhoojien selviämiseen kasvijätteessä, maa-aineksessa ja vedessä soveltuu lannoitelainsäädännön käsittelyvaatimusten tehokkuuden arviointiin, koska muissa tutkimuksissa käytetyt lämpötila–aika yhdistelmät eivät vastaa vaatimuksia. Taulukon 3 tulokset kuumennuksen tehokkuudesta kasvintuhoojien eliminoimiseen on koottu kuvaan 1 ja kompostoinnin tehokkuudesta kuvaan 2. Kuvassa 2 on ilmoitettu kompostoinnin maksimilämpötila tai vakiolämpötila, jos kompostoitava massa on pysynyt ilmoitetussa lämpötilassa koko kompostoinnin ajan. Kuvista nähdään, ettei tutkimusten perusteella voida päätellä mikä lämpötilan ja ajan yhdistelmä varmasti riittäisi hävittämään kaikki tuhoojat. Kuvat havainnollistavat käytännön tilannetta, jossa ei tiedetä mitä kasvintuhoojia materiaali voi sisältää.



Kuva 1. Kuumennuksen tehokkuus kasvintuhoojien eliminoimisessa. A) ankeroiset, B) bakteerit, C) sienet ja sienimäiset eliöt, D) virukset ja viroidit. Punainen, käsittely ei riittävä; vihreä, käsittely riittävä.



Kuva 2. Kompostoinnin tehokkuus kasvintuhoojien eliminoimisessa. A) ankeriset, B) sienet ja sienimäiset eliöt, C) bakteerit, D) virukset ja viroidit. Punainen, käsittely ei riittävä; vihreä, käsittely riittävä. Avoin ympyrä (○, ●) kuvaa käsittelyn maksimilämpötilaa, värillinen ympyrä keskilämpötilaa.

Aikaan perustuva käsittely eli vanhennus eliminoi kasvintuhoojat, jotka eivät muodosta pitkäikäisiä kestromuotoja tai kykene käyttämään kuollutta orgaanista materiaalia ravintonaan. Kasvintuhoojien säilymisestä on vaikea tehdä yleistyksiä, sillä säilymiseen vaikuttavat tuhoojien omien ominaisuuksien lisäksi ympäristöolosuhteet ja ympäristön muut mikrobit (di Bisceglie *et al.*, 2005; Messiha *et al.*, 2009; Stevens *et al.*, 2017). Perunan kasvintuhoojista valkoperuna-ankeroinen selviää infektiokykyisenä maassa ilman isäntäkasvia ainakin 12 vuotta ja keltaperuna-ankeroinen ainakin 32 vuotta (Holgado *et al.*, 2015). Perunasyövän talvi-itiöt ovat äärimmäisen kestäviä ja voivat säilyä infektiokykyisinä maassa yli 40 vuotta (Przetakiewicz, 2015). Virusten kestävyys ympäristössä vaihtelee päivistä vuosiin. Perunan Y virus (PVY, Potyvirus) säilyy vedessä infektiokykyisenä viikon, pepinon mosaiikkivirus (PepMV, Potexvirus) kaksi viikkoa, ja perunan sukkulamukulaviroidi (PSTVd) seitsemän viikkoa (Mehle *et al.*, 2014). Tupakan mosaiikkivirus (TMV) voi säilyä infektiokykyisenä maitiaisnesteessä jopa kahdeksan vuotta (Brunt *et al.* 1996, cit. Mehle & Ravnkar, 2012). Perunan yleisimpien kasvintuhoojien säilymisajat maassa on listattu taulukossa 5.

Taulukko 5. Perunan yleisimpien tautien säilyminen maassa. Muokattu julkaisusta Terve peruna, Perunan hyvän kasvinterveydellisen viljelytavan ja integroidun kasvinsuojelun (IPM) ohjeisto perunan kasvintuhoojien hallitsemiseksi ja leviämisen estämiseksi. ProAgraria, 2014.

Tuhoojan nimi	Tieteellinen nimi	Säilyy maassa v.
ANKEROISET		
Keltaperuna-ankeroinen	<i>Globodera rostochiensis</i>	yli 10
Valkoperuna-ankeroinen	<i>Globodera pallida</i>	yli 10
BAKTEERITAUDIT		
Märkämätä	<i>Pectobacterium carotovorum</i> ja muut <i>Pectobacterium</i> -lajit	alle 1
Märkämätä	<i>Dickeya</i> -lajit	alle 1
Perunarupi	<i>Streptomyces europaeiscabiei</i> (<i>Streptomyces scabies</i>)	Eloperäinen aines ylläpitää jatkuvasti
Pohjan-perunarupi	<i>Streptomyces turgidiscabies</i>	Eloperäinen aines ylläpitää jatkuvasti
Tumma-rengasmätä	<i>Ralstonia solanacearum</i>	Ei tartuntalähteitä
Tyvimätä	<i>Pectobacterium atrosepticum</i>	alle 1
Tyvimätä	<i>Pectobacterium wasabiae</i>	alle 1
Tyvimätä	<i>Dickeya</i> -lajit	alle 1
Vaalearengasmätä	<i>Clavibacter sepedonicus</i>	2-3
Verkkorupi	<i>Streptomyces</i> -lajit	Eloperäinen aines ylläpitää jatkuvasti
MUNASIEIENET		
Perunarutto	<i>Phytophthora infestans</i>	3-4
Punamätä	<i>Phytophthora erythroseptica</i>	3-5
Sydänmätä	<i>Globisporangium</i> -lajit (<i>Pythium</i> -lajit)	3-5
MÖHÖSIEIENET		
Kuorirokko	<i>Spongospora subterranea</i>	yli 10
SIEIENITAUDIT		
Harmaahilse	<i>Helminthosporium solani</i>	1-2
Harmaahome	<i>Botrytis cinerea</i>	Eloperäinen aines ylläpitää jatkuvasti
Keltaaikku	<i>Passalora concors</i> (<i>Cercospora concors</i>)	1-2
Kuoppalaho	<i>Boeremia</i> -lajit (<i>Phoma</i> -lajit)	1-2
Kurttulaho	<i>Fusarium</i> -sienet	3-4, elää ja lisääntyy erilaisissa satojätteissä
Känsärupi	<i>Polyscytalum pustulans</i>	6-7
Perunan lakaste (näivetystauti)	<i>Verticillium albo-atrum</i> , <i>V. dahliae</i>	<i>V. albo-atrum</i> 3-5, <i>V. dahliae</i> yli 10
Lehtipolte	<i>Alternaria solani</i> ja <i>A. alternata</i>	1-2
Mustapistetauti	<i>Colletotrichum coccodes</i>	3-5
Pahkahome (varsikuolio)	<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	3-5
Perunaseitti	<i>Thanatephorus cucumeris</i> (<i>Rhizoctonia solani</i>)	2-3, elää ja lisääntyy erilaisissa satojätteissä
Perunasyöpä	<i>Synchytrium endobioticum</i>	yli 10

Tuhoojan nimi	Tieteellinen nimi	Säilyy maassa v.
VIRUSTAUDIT		
Kasvusto-viroosit	Y- ja A-virus	alle 1
Kasvusto-viroosit	M-, X-, V-, PLRV- ja S-virus	Ei merkittäviä tartuntalähteitä
Maltokaariviroosi	Potato mop top virus (PMTV)	yli 10
Tulppaviroosi	Tupakan Rattle Virus, TRV	Ei tartuntalähteitä

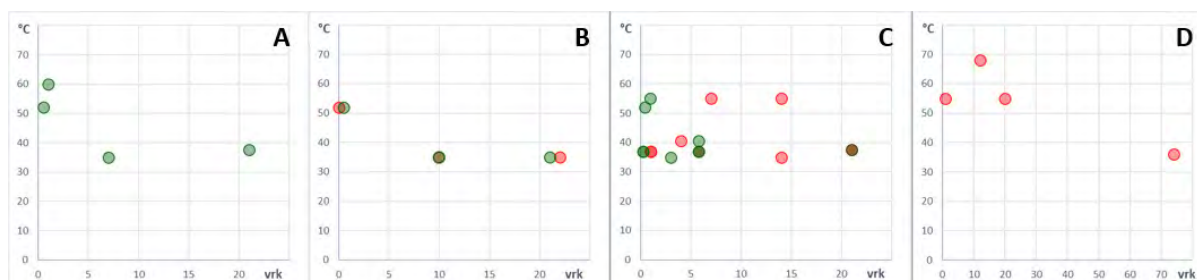
3.2.4 Muut käsittelymenetelmät

Vaikka muita kansallisesti hyväksytyjä käsittelymenetelmiä perunateollisuuden sivuvirtoja sisältävästä kasvimateriaalista valmistetulle lannoitevalmisteelle ei tällä hetkellä ole, lannoitevalmisteasetuksen mukaan kuumennuksen tai kompostoinnin lisäksi perunateollisuuden sivuvirrat voidaan periaatteessa käsitellä käyttämällä muutakin kasvinsuojeluviranomaisen hyväksymää menetelmää.

Mädätys

Mädätyksessä biohajoavat raaka-aineet hajotetaan mikrobiologisesti hapettomissa olosuhteissa termofiilisessä (50–55 °C) tai mesofiilisessä (35–40 °C) prosessissa, jolloin syntyy biokaasua ja mädätysjäännöstä. Termofiilinen prosessi soveltuu hygienisointiin, jos käsittelyaika on riittävän pitkä, mesofiilinen prosessi vaatii yleensä erillisen hygienisoinnin ennen tai jälkeen prosessin (Tampio *et al.*, 2018). Nykyisin termofiilinen hygienisointi on kansallisesti hyväksytty vain muutamille eläinperäisille sivutuotteille.

Termofiilisen mädätyksen vaikutusta perunan kasvintuhoojiin ei ole tutkittu. Mesofiilinen mädätys kolmen viikon ajan 35 °C asteessa tuhoaa keltaperuna-ankeroisen kystat, mutta ei kaikkia valkoperuna-ankeroisen kystoja (Spaull *et al.*, 1989). Perunasyöpäjätteen mesofiilinen mädätys biokaasulaitoksessa 37 °C asteessa 14 vuorokauden ajan ei vaikuttanut perunasyövän elävyyteen (Schleusner *et al.*, 2019). Vaalearengasmätä voitiin hävittää jätevesilietteestä 7 vuorokauden mädätyksessä 35 °C asteessa (Turner *et al.* 1983, cit. Noble & Roberts, 2004). Iso-Britannian kasvintuotannon kehittämissyöryhmän mukaan 48 tunnin mädätys 35–38 °C asteessa tuhoaa perunan tumman rengasmädän (British Potato Council, 2002). Tutkimustuloksia mädätyksen vaikutuksesta kasvintuhoojiin on koottu kuvaan 3.



Kuva 3. Mädätyksen tehokkuus kasvintuhoojien eliminoimisessa. A) bakterit, B) ankeroiset, C) sienet ja sienimäiset eliöt, D) virukset ja viroidit. Punainen, käsittely ei riittävä; vihreä, käsittely riittävä.

Suodatus

Suodatuksessa kiinteä aine erotetaan nesteestä suodattimen avulla. Suodattimen tiheys määrää mitä kasvintuhoojia nesteestä voidaan poistaa, ja suodattimeen kertyvä sakka on edelleen käsiteltävä muilla menetelmillä.

Keltaperuna-ankeeroisen toukka-asteet voidaan poistaa nesteestä esimerkiksi tiheällä (1 µm) polyesterihuopasuodattimella, mutta ilman esisuodatusta liian suodattimeen kertymisestä johtuva paine-ero suodattimen eri puolilla aiheuttaa ankeeroisten läpipääsyn (Moens & Hendrickx, 1992). Kuumennuksen avulla vaikeasti hävitettävä tupakan mosaiikkivirus (TMV) voidaan poistaa hitaan hiekkasuodatuksen (0.15 m/h) avulla (Oki *et al.*, 2017). Tällaisen suodatuksen teho perustuu hiekkasuodattimeen muodostuvaan mikrobihydskuntaan, jonka kypsyminen toimintakuntoiseksi kesti 10–13 viikkoa yllä mainitussa tutkimuksessa. Hiekkasuodattimilla ei voi poistaa eläviä liikkuvia ankeeroisia (Moens & Hendrickx, 1992).

Ruovikkosuodatinjärjestelmien on havaittu poistavan bakteereja tehokkaasti teollisessa mittakaavassa. Suodatus voi myös tehostaa muiden käsittelyjen kuten UV-käsittelyn tehoa tai vähentää tarvittavan hapettavan kemikaalin määrää kemiallisessa puhdistamisessa (British Potato Council, 2002).

UV-käsittely ja hapettavat kemikaalit

Veden sameus ja minkä tahansa UV-säteilyä absorboivan liuennon aineen määrä nesteessä vaikuttavat UV-säteilyn läpäisevyyteen ja siten käsittelyn tehokkuuteen. Teollisuusmittakaavassa ei aina päästä luotettavaan tulokseen edes kiinteän aineen poiston jälkeen, sen sijaan saostuksen ja ruovikkosuodatuksen yhdistelmällä käsitelty neste voidaan hygienisoida tehokkaasti UV-käsittelyllä. Jäteveden käsittely 300J/m² 254 nm aallonpituudella hävittää tummarengasmädän, kun säteilyn läpäisevyys on jatkuvasti vähintään 50 % (British Potato Council, 2002).

Jätevesiliete soveltuu sellaisenaan bakteerien kemialliseen käsittelyyn (peroksygeenit, klooriyhdisteet, otsonointi) mutta nesteen käsittelyyn vaadittava kemikaalin määrä on pienempi kuin lietteen käsittelyyn. Hapettava yhdiste on sekoitettava huolellisesti lietteeseen, ja kriittisen pitoisuuden pitää olla mitattavissa vaadittavan käsittelyajan kuluttua. Vaikuttava annos on laskettava tarkasti, jotta kemikaali on ehtynyt ennen nesteen johtamista purkupaikkaan (British Potato Council, 2002).

Kalkkistabilointi

Kalkkistabiloinnin vaikutuksesta perunan kasvintuhoojiin on julkaistu joitakin tutkimuksia. Pietsch *ym.* (2015) viittaavat Elphinstoneen (2001) ja Langerfeldtiin (1984), joiden mukaan perunan tumma rengasmätä voidaan eliminoida nostamalla pH yli 12 vuorokauden ajaksi, mutta perunasyöpään käsittely ei vaikuta. Kalkkistabilointi vähentää, mutta ei poista valko- tai keltaperuna-ankeeroisen kystojen elävyyttä (Spaull *et al.*, 1989).

Uudet tekniikat

Uusia hygienisointitekniikoita edustavat esimerkiksi pulssikenttä-, paine-, ultraääni-, ja mikroaaltokäsittelyt, mutta näiden vaikutuksia kasvintuhoojiin ei ole juurikaan tutkittu (Liu *et al.*, 2017, 2018). Morin ja Smithin (2019) selvityksessä vesiviljelyjärjestelmien kasvintuhoojien hallinnasta mainitaan ultraäänikäsittely *Pythium aphanidermatum* -munasiemen hävittämiseksi. Tekniikka on toiminut laboratoriomittakaavassa, mutta tehokkuus laitosmittakaavassa tuhansien litrojen tilavuuksissa ei ole varmaa (Mori & Smith, 2019).

4 Johtopäätökset

4.1 Perunateollisuuden sivuvirroissa voi esiintyä kasvintuhoojia

Perunalla tunnetaan suuri määrä erilaisia maassa ja perunan mukuloissa tai juuristossa eläviä kasvintuhoojia, mukaan lukien karanteenikasvintuhoojia, joita voi esiintyä perunateollisuuden prosesseihin tulevassa raaka-aineessa tai raaka-aineen mukana kulkeutuvassa multajakeessa. Kasvinterveyslainsäädännön, lannoitelainsäädännön ja Euroopan perunakauppaliiton edellyttämät toimenpiteet ehkäisevät perunan karanteenituhoojien ja muiden tuhoojien esiintymisen todennäköisyyttä perunateollisuuden käyttämässä raaka-aineessa, mutta eivät voi täysin taata raaka-aineen puhtautta näistä tuhoojista.

Tuhoojien esiintymistodennäköisyyttä perunateollisuuden raaka-aineessa tai sen mukana kulkeutuvassa multajakeessa ei tiedetä, eikä se ole yleistettävissä, vaan vaihtelee aina tapauskohtaisesti, koska siihen vaikuttavat tuotantopaikan viljelykäytännöt, viljelyhistoria ja sääolot, sekä tuhoojien esiintyminen tuotantopaikolla, varastointi- ja kuljetusolosuhteet sekä käytetyn lajikkeen kestävyys eri tuhoojia vastaan. Tuhoojien esiintymisen todennäköisyyden selvittäminen edes tapauskohtaisesti on erittäin haasteellista, koska perunan mukana mahdollisesti leviäviä tuhoojia on paljon ja analyysitekniikoissa on rajoitteita liittyen näytteenottoon, tutkimusmatriiseihin ja kasvintuhoojien kvantifointiin.

4.2 Lannoitelainsäädännön edellyttämät käsittelyt eivät tehoa kaikkiin kasvintuhoojiin

Kirjallisuustutkimuksen tulokset osoittavat, että vaikka nykyisen lannoitelainsäädännön edellyttämät sivuvirtojen käsittelyvaatimukset tehoavat suurimpaan osaan tutkittuja kasvintuhoojia, ne eivät ole riittäviä eliminoimaan kaikkia perunateollisuuden sivuvirroissa mahdollisesti esiintyviä tuhoojia. Esimerkiksi unionin karanteenituhoojista perunas yöpö ja vaalearengasmätä sekä peruna-ankeroiset, voivat eräiden tutkimusten mukaan selvittää vaatimusten mukaisista käsittelyistä. Toisaalta on kasvintuhoojia, joiden suhteen lievemmätkin käsittelyt riittäisivät, kuten esimerkiksi hyönteiset.

Käsittelyvaatimusten riittävyyden arviointiin sisältyy paljon epävarmuuksia ja tietopuutteita. Arviointia hankaloittavat kasvintuhoojien ja niiden kestromuotojen laaja kirjo sekä laboratoriomittakaavassa toteutettujen tutkimusten huono yleistettävyys teolliseen mittakaavaan. Tutkimuksia kasvintuhoojien selviämisestä prosessien eri vaiheissa ei juuri ole, vaan tutkimukset keskittyvät prosessijätteen käsittelyyn. On myös huomattava, että tutkimuksissa ilmoitetut olosuhteet tietyn kasvintuhoojan hävittämiseksi merkitsevät käytännössä pitoisuuden vähenemistä havaitsemisrajan alapuolelle. Tiedot joidenkin kasvintuhoojien osalta perustuvat vain yhteen tai harvoin laboratoriotutkimuksiin ja kaiken kaikkiaan vaikutuksia on tutkittu vain noin puolella maa-aineksen ja kasvijätteen välityksellä leviävistä tunnetuista perunan kasvintuhoojista.

Eri tutkimusten vertailua mutkistavat mittakaava (koeputki/tehdas), erilaiset lämpötilat ja näytteenottoajat, sekä lämpötilan ilmoittaminen (keskiarvo, maksimi, eri mittauspisteissä jne.; Wichuk *et al.*, 2011). Tutkimustuloksia ei voida suoraan sovittaa muihin prosesseihin,

koska prosessien tyypit eroavat toisistaan, esimerkiksi kompostoinnissa ilmastuksen osalta pilotti- ja laitosmittakaavassa (Hultman *et al.*, 2010). Kohdeprosessin valvonta onkin keskeinen tehtävä hygienisoinnin tehokkuuden määrittämiseksi (Fröschle *et al.*, 2015). Haack ym. (2011) esittävät kolmivaiheisen mallin käsittelyvaatimusten asettamiseen, jossa ensin määritetään tappava annos kasvintuhoojan kestävimälle elinmuodolle, toisessa vaiheessa tappavaa annosta testataan laboratoriomittakaavassa tilastollisen varmuuden saamiseksi, ja kolmannessa vaiheessa tulos vahvistetaan laitosmittakaavassa. Prosessin validointia, valvontaa, prosessidatan seurantaa ja lopputuotteen valvontaa ei voi korvata pelkän lopputuotteen valvonnalla vain yhden kasvintuhoojan osalta, koska erilaisten kasvintuhoojien esiintyminen materiaalissa voi vaihdella (Böhm, 2004).

Tutkimusten vertailu osoittaa, että hygienisoinnin teho riippuu lämpötilan ja ajan lisäksi raaka-aineesta ja muista olosuhteista, kuten prosessiteknologiasta, prosessinhallinnan huolellisuudesta ja kasvintuhoojan fysiologisesta tilasta (Fröschle *et al.*, 2015; Noble & Roberts, 2003). Koska kestävyys vaihtelee tuhojayksilöiden välillä, vaadittava käsittely riippuu myös tuhojapopulaation koosta. Useissa tutkimuksissa on käytetty vain yhtä populaatiokokoa, mikä osaltaan selittää tutkimusten välillä havaittua vaihtelua kasvintuhoojan eliminoimiseen tarvittavista lämpötilasta ja ajasta (Noble & Roberts, 2004).

Heinäkuun 2022 puolivälistä alkaen sovellettavassa EU:n lannoiteasetuksessa (2019/1009) mahdollistetaan neljän erilaisen lämpötila-aika-profiilin käyttö kompostoinnissa (70 °C 3 vrk, 65 °C 5 vrk, 60 °C 7 vrk tai 55 °C 14 vrk), sekä vastaava jälkikompostointi mädätteille tietyissä tapauksissa nykyisen pastöroinnin vaihtoehtona. Mikään näistäkään käsittelyvaihtoehdoista ei takaa, että kaikki raaka-aineessa mahdollisesti esiintyvät kasvintuhoojat saadaan eliminoiduksi. On myös huomattava, että asetuksen mukaan EU-lannoitevalmiste voi sisältää kasvintuhoojien elinkykyyn vaikuttamattomilla menetelmillä, kuten leikkaus tai murskaus, käsiteltyjä kasvinosia.

4.3 Perunateollisuuden sivuvirtojen kasvinterveysriskien suuruutta ei tiedetä

Kirjallisuustutkimuksen tulosten perusteella perunateollisuuden sivuvirtojen käyttöön kierrätyslannoitteena sisältyy kasvinterveysriskejä nykyisistä kasvinterveyslainsäädännön, lannoitelainsäädännön ja Euroopan perunakauppaliiton edellyttämistä toimista huolimatta. Näiden riskien suuruuksia ei olemassa olevan tiedon perusteella kuitenkaan voida arvioida kaikkien tuhojien osalta. Merkittäviä tietopuutteita ovat tällä hetkellä se mikä on haitallinen määrä tuhojia (raja-arvo sille, onko kasvinterveysriski hyväksyttävissä vai ei), sisältävätkö raaka-aine ja sen mukana tuleva maa-aines haitallisen määrän tuhojia ja kuinka hyvin lainsäädännön edellyttämät tai muutkaan käytössä olevat käsittelyt vähentävät tuhojia suhteessa haitalliseen määrään? Jos näistä seikoista edes osa tiedettäisiin, voisi perunateollisuuden sivutuotteiden lannoitekäyttöä arvioida kuvassa 4 esitetyn yksinkertaisen kaavion perusteella.

Se mikä on haitallinen määrä tuhojia, riippuu aina tapauskohtaisesti ympäristökijöistä sekä pellolla seuraavina vuosina viljeltävistä kasvilajeista. Esimerkiksi karanteenituhoojat perunasyöpä ja vaalearengasmätä sekä peruna-ankeroiset, jotka voivat tutkimusten mukaan selvitä nykyisen lannoitelainsäädännön vaatimusten mukaisista käsittelyistä, ovat tuhojia vain perunalla, joten näitä tuhojia sisältävän lannoitevalmisteen käyttämisessä esimerkiksi viljan viljelyssä ei näennäisesti ole riskejä, kunhan vain huolehditaan siitä, ettei



Kuva 4. Kasvipäristä raaka-ainetta sisältävän orgaanisen lannoitevalmisteen lannoitekäytön arviointi. Jos raaka-aine sisältää muita kuin viljeltävää kasvilajia vaurioittavia kasvintuhoojia, niiden säilyminen maassa on huomioitava ennen kuin isäntäkasveja aletaan viljellä.

pellossa viljellä perunaa riittävän pitkään aikaan. Perunateollisuuden raaka-aineessa voi esiintyä myös tuhoojia, jotka uhkaavat monia eri tuotantokasveja, eikä kaikkien näiden tuhoojien selviytymistä lainsäädännön edellyttämässä käsittelyssä tunneta. Lisäksi perunan mukana teollisuuslaitoksiin kulkeutuvan maa-aineksen mukana voi myös levitä muitakin kuin perunan kasvintuhoojia. Se, minkä suuruisen kasvinterveysriskin perunateollisuuden sivutuotteista peräisin olevat lannoitevalmisteet aiheuttavat eri kasvien viljelyssä, vaatisi oman selvityksensä. Alle on listattu erilaisia kasvinterveysriskiin vaikuttavia seikkoja:

- **Alkuperä?** Onko raaka-aine kotimaista vai ulkomaista? Tiedetäänkö tuotantopaikoilla esiintyvän kasvintuhoojia? Suomessa raaka-aine on pääasiassa kotimaista. Monet maat ylläpitävät ajankohtaisia listoja alueillaan esiintyvistä kasvintuhoojista.
- **Sivuvirran tyyppi?** Maata sisältävät sivuvirrat voivat sisältää myös muita kasveja kuin perunaa vioittavia kasvintuhoojia.
- **Kasvintuhoojan biologia?** Erytisesti mahdollisuus leviämiseen ja asettumiseen, mikäli on syytä epäillä kasvintuhoojaa, joka ei esiinny Suomessa. Jotkin perunan tuhoojat vioittavat muitakin kasvilajeja.
- **Käsittelyn vaikutus?** Osa sienistä ja bakteereista muodostaa kestäviä lepoitioita, jotkin virukset ja viroidit kestävät kuumuutta hyvin ja jotkin ankeroslajit muodostavat kystoja. Nämä kaikki voivat kestää hyvin erilaisia käsittelyjä ja säilyä kauan maassa tai kasvimateriaalissa. Jos tietoa ei jonkin kasvintuhoojan osalta ole, onko olemassa samankaltaisia lajeja, joihin käsittelyiden vaikutuksista löytyy tietoa.
- **Käyttökohde?** Viherrakentaminen tai käyttö toiselle kasvilajille kuin mistä raaka-aine on peräisin, kuitenkin huomioiden kasvintuhoojien säilymisaika maassa ilman isäntäkasvia. Kasvintuhoojan esiintyminen käyttöpaikalla ennestään.

Taulukkoon 6 on listattu perunateollisuuden raaka-aineessa tai sen mukana kulkeutuvassa multajakeessa mahdollisesti esiintyvien perunan karanteenituhoojien ja säänneltyjen ei-karanteenituhoojien mahdollisuudet levitä käsittelemättömissä ja lainsäädännön mukaisesti käsitellyissä perunateollisuuden sivuvirroissa, jos niitä käytetään kierrätyslannoitteina.

Taulukko 6. Kasvinterveyslainsäädännössä nimettyjen perunan tuhoojien leviämismahdollisuudet perunateollisuuden sivuvirtojen mukana.

Tuhoaja	Karanteenistatus	Voi esiintyä kotimaisessa raaka-aineessa?	Voi levitä käsittelemättömissä sivuvirroissa?	Voi levitä käsitellyissä sivuvirroissa?
ANKEROISET				
Kuorilahoankeroinen (<i>Ditylenchus destructor</i>)	Säädely ei-karanteenituhooja	Ei	Kyllä	Epävarmaa
Valkoperuna-ankeroinen (<i>Globodera pallida</i>)	Unionin karanteenituhooja	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Keltaperuna-ankeroinen (<i>Globodera rostochiensis</i>)	Unionin karanteenituhooja	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Mukulaäkämäankeroinen (<i>Meloidogyne chitwoodi</i>)	Unionin karanteenituhooja	Ei	Kyllä	Epävarmaa
Kavalaäkämäankeroinen (<i>Meloidogyne fallax</i>)	Unionin karanteenituhooja	Ei	Kyllä	Epävarmaa
BAKTEERIT				
<i>Candidatus Liberibacter solanacearum</i>	Säädely ei-karanteenituhooja	Ei	Ei	Ei
<i>Candidatus Phytoplasma solani</i>	Säädely ei-karanteenituhooja	Ei	Ei	Ei
Vaalearengasmätä (<i>Clavibacter sepedonicus</i>)	Unionin karanteenituhooja	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Tummarengasmätä (<i>Ralstonia solanacearum</i>)	Unionin karanteenituhooja	Ei	Kyllä	Ei
SIENET JA SIENIMÄISET ELIÖT				
Kuorirokko (<i>Spongospora subterranea</i>)	Säädely ei-karanteenituhooja	Kyllä	Kyllä	Epävarmaa
Perunasyöpä (<i>Synchytrium endobioticum</i>)	Unionin karanteenituhooja	Ei	Kyllä	Kyllä
Perunaseitti (<i>Thanatephorus cucumeris</i> (<i>R. solani</i>))	Säädely ei-karanteenituhooja	Kyllä	Kyllä	Epävarmaa
VIRUKSET JA VIROIDIT				
Krysanteemin kitukasvuviroidi (<i>Chrysanthemum stunt viroid</i>)	Säädely ei-karanteenituhooja	Ei	Kyllä	Epävarmaa
Perunan kierrelehtivirus (Potato leaf roll virus)	Säädely ei-karanteenituhooja	Kyllä	Ei	Ei
Perunan sukkulamukulaviroidi (Potato spindle tuber viroid)	Säädely ei-karanteenituhooja	Ei	Kyllä	Epävarmaa

Tuhoaja	Karanteenistatus	Voi esiintyä kotimaisessa raaka-aineessa?	Voi levitä käsittelemättömissä sivuvirroissa?	Voi levitä käsitellyissä sivuvirroissa?
Tomaatin pronssilaikkuvirus (Tomato spotted wilt virus)	Säädely ei-karanteenituhoaja	Ei	Kyllä	Epävarmaa
HYÖNTEISET				
<i>Epitrix cucumeris</i>	Hätätoimenpidetuhoaja	Ei	Kyllä	Ei
<i>Epitrix papa</i>	Hätätoimenpidetuhoaja	Ei	Kyllä	Ei
Kolorandonkuoriainen (<i>Leptinotarsa decemlineata</i>)	Suoja-alueituhoaja	Ei	Kyllä	Ei
<i>Tecia solanivora</i>	Unionin karanteenituhoaja	Ei	Kyllä	Ei

4.4 Kierrätyslannoitteiden kasvinterveysriskien hallinnan kustannushyötysuhde

Olemassa olevan tiedon perusteella on mahdotonta arvioida kasvinterveysriskien suuruuksia yleisellä tasolla, koska ne vaihtelevat aina tapauskohtaisesti. Tämä asettaa merkittäviä haasteita lannoitelainsäädännön kehittämisen suhteen, varsinkin kun lainsäädännön ja sen nojalla tapahtuvan riskinhallinnan tavoitteena on tukea kestävään ja resurssitehokkaaseen kansalliseen ruokajärjestelmään siirtymistä huomioiden kuitenkin biologisten riskien hallinnan.

Kasvinterveysriskien tapauskohtainen vaihtelu on otettu EU:n lannoiteasetuksessa (2019/1009) huomioon niin, että valmistajan on suoritettava asianmukainen arviointi lannoitevalmisteiden riskistä tai riskeistä. Tuotevaatimusten mukaan EU-lannoitevalmiste ei saa aiheuttaa riskiä kasvien terveydelle ja vaatimustenmukaisuudesta vastaa valmistaja. Menettely vastaa tämän kirjallisuustutkimuksen johtopäätöksiä tapauskohtaisen arvioinnin tarpeellisuudesta, ja on kustannustehokas ja joustava, kun arvioinnin perusteella kasvinterveysriskin kannalta tarpeettomia käsittelyjä ei tarvitse suorittaa. Poikkeuksena ovat kompostit ja mädätteet, jotka on aina käsiteltävä tietyillä tavoilla. Vaikka riskit tunnistetaan, niiden suuruutta ei monessa tapauksessa voida arvioida kohdassa 4.3 kuvattujen tietopuutteiden takia.

Lannoitelainsäädännön kehittämisen tueksi tulisi seuraavaksi arvioida kierrätyslannoitteen käytöstä saatavaa hyötyä suhteessa viranomaisten ja teollisuuden riskinhallinnasta koituvaan kustannukseen ja kasvinterveysriskeistä aiheutuvaan haittaan. Kustannushyötysuhdetta ei voi arvioida absoluuttisesti vaan niin, että kannattavuuden edellytyksiä verrataan yhteiskunnan, ympäristön ja yksittäisten viljelijöiden näkökulmasta erilaisten skenaarioiden avulla. Vertailu tukisi lainsäädännön kehittämistä suuntaan, jossa huomioidaan tavoitteet kohti kestävää, vastuullista ja kilpailukykyistä kotimaista ruokajärjestelmää.

5 Lähteet

- Ahokas M, Välimaa A-L, Kankaala A, Lötjönen T, Virtanen E. (2012). Perunan ja vihannesten sivuvirtojen arvokomponenttien hyötykäyttö. MTT Raportti 67. 48 s.
- Ahvenniemi P, Hannukkala A, Hiltunen L, Huusela-Veistola E, Istolahti H, Marinova-Toderova M, Nissinen A, Pirhonen M, Rahko J, Rahkonen A, *et al.* (2017). Perunan kasvintuhojoaopas. 112 s.
- Albishi T, John JA, Al-Khalifa AS, Shahidi F. (2013). Phenolic content and antioxidant activities of selected potato varieties and their processing by-products. *Journal of Functional Foods* 5: 590–600.
- Ali-Vehmas T, Honkanen-Buzalski T, Hänninen M-L, Riitta K, Kupiainen N, Marmo S, Maunula L, Pitkälä A, Rainio H, Rimhanen-Finne R, *et al.* (2001). Lietevalmisteiden käyttö maataloudessa. Hygienia- ja riskitutkimus. Maa- ja metsätalousministeriön julkaisuja 2/2001. 34 s.
- Baayen RP, Cochius G, Hendriks H, Meffert JP, Bakker J, Bekker M, van den Boogert PHJF, Stachewicz H, van Leeuwen GCM. (2006). History of potato wart disease in Europe – a proposal for harmonisation in defining pathotypes. *European Journal of Plant Pathology* 116: 21–31.
- di Bisceglie DP, Saccardi A, Giosue S, Traversa F, Mazzucchi U. (2005). Survival of *Ralstonia solanacearum* on wood, high density polyethylene and on jute fabric in cold storage. *Journal of Plant Pathology* 87: 145–147.
- Boberg J, Björklund N. (2018). Synchytrium endobioticum – pathotypes, resistance of *Solanum tuberosum* and management. Swedish University of Agricultural Sciences. Report 2018.2.6-1762. 23 p.
- Bøen A, Hammeraas B, Magnusson C, Aasen R. (2006). Fate of the Potato Cyst Nematode *Globodera rostochiensis* During Composting. *Compost Science & Utilization* 14: 142–146.
- Böhm R. (2004). Investigations on Microbial Indicators and/or Test-Organisms in Supervision of Hygienic Safety in Co-Digestion of Animal Slurry, Biowastes and/or Animal by- Products. International Society for Animal Hygiene, 11–13 October, Saint-Malo, France.
- Bollen GJ. (1985). The fate of plant pathogens during composting of plant residues. In: Elsevier Applied Science. Composting of agricultural and other wastes. London, 282–290 pp.
- Bollen GJ, Volker D, Wijnen AP. (1989). Inactivation of soil-borne plant pathogens during small-scale composting of crop residues. *Netherlands Journal of Plant Pathology* 95: 19–30.
- British Potato Council. (2002). Monitoring and control of the potato rot bacterium in industrial potato washings. Oxford, United Kingdom.
- Elorrieta M, Suarez-Estrella F, Lopez M, Vargas-Garcia M, Moreno J. (2003). Survival of phytopathogenic bacteria during waste composting. *Agriculture Ecosystems & Environment* 96: 141–146.
- Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EU) n:o 652/2014, annettu 15 päivänä toukokuuta 2014, elintarvikeketjuun, eläinten terveyteen ja eläinten hyvinvointiin, kasvien terveyteen ja kasvien lisäysaineistoon liittyvien menojen hallinnointia koskevista säännöksistä, neuvoston direktiivien 98/56/EY, 2000/29/EY ja 2008/90/EY, Euroopan parlamentin ja neuvoston asetusten (EY) N:o 178/2002, (EY) N:o 882/2004, (EY) N:o 396/2005, Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin 2009/128/EY ja Euroopan parlamentin ja neuvoston asetuksen (EY) N:o 1107/2009 muuttamisesta sekä neuvoston päätösten 66/399/ETY, 76/894/ETY ja 2009/470/EY kumoamisesta.
- Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EU) 2019/1009, annettu 5 päivänä kesäkuuta 2019, EU-lannoitevalmisteiden asettamista saataville markkinoilla koskevien sääntöjen vahvistamisesta ja asetusten (EY) N:o 1069/2009 ja (EY) N:o 1107/2009 muuttamisesta sekä asetuksen (EY) N:o 2003/2003 kumoamisesta.
- Fields PG. (1992). The control of stored-product insects and mites with extreme temperatures. *Journal of Stored Products Research* 28: 89–118.
- Fiers, Edel-Hermann, Chatot, Hingrat, Alabouvette, Steinberg. (2012). Potato soil-borne diseases. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 32: 93–132.
- Finnamyyl Oy. (2017). Tärkkelysperunan solunesteen ravinteiden kierrätys lannoitevalmisteiksi – hanke (SOLUNESTE). Loppuraportti 11.9.2017.

- Fröschle B, Heiermann M, Lebuhn M, Messelhäusser U, Plöchl M. (2015). Hygiene and Sanitation in Biogas Plants. In: Guebitz GM, Bauer A, Bochmann G, Gronauer A, Weiss S, eds. *Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology. Biogas Science and Technology*. Cham: Springer International Publishing, 63–99 pp.
- Haack RA, Uzunovic A, Hoover K, Cook JA. (2011). Seeking alternatives to probit 9 when developing treatments for wood packaging materials under ISPM No. 15. *EPPO Bulletin* 41: 39–45.
- Hannunen S, Tuomola J. (2020). Assessing the probability of freedom from pine wood nematode based on 19 years of surveys. *NeoBiota* 58: 75–106.
- Helsky T, Anttalainen M, Palviainen S, Kempainen P, Lehto M, Salo T, Mäkelä M, Tuominen A, Piilo T. (2006). Paras käytettävissä oleva tekniikka (BAT) perunan ja juuresten koneellisessa kuorinnassa ja käsittelyssä. *Suomen ympäristö* 57/2007. 91 s.
- Hoitink HAJ, Fahy PC. (1986). Basis for the Control of Soilborne Plant Pathogens with Composts. *Annual Review of Phytopathology* 24: 93–114.
- Holgado R, Magnusson C, Hammeraas B, Rasmussen I, Strandenaes KA, Heuer H, Knudsen R. (2015). Occurrence, survival and management options for potato cyst nematodes in Norway. *Aspects of Applied Biology* 130: 57–63.
- Hossain MB, Aguiló-Aguayo I, Lyng JG, Brunton NP, Rai DK. (2015). Effect of pulsed electric field and pulsed light pre-treatment on the extraction of steroidal alkaloids from potato peels. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 29: 9–14.
- Hultman J, Vasara T, Partanen P, Kurola J, Kontro MH, Paulin L, Auvinen P, Romantschuk M. (2010). Determination of fungal succession during municipal solid waste composting using a cloning-based analysis. *Journal of Applied Microbiology* 108: 472–487.
- Izmirlioglu G, Demirci A. (2017). Simultaneous saccharification and fermentation of ethanol from potato waste by co-cultures of *Aspergillus niger* and *Saccharomyces cerevisiae* in biofilm reactors. *Fuel* 202: 260–270.
- Jeddou KB, Chaari F, Maktouf S, Nouri-Ellouz O, Helbert CB, Ghorbel RE. (2016). Structural, functional, and antioxidant properties of water-soluble polysaccharides from potatoes peels. *Food Chemistry* 205: 97–105.
- Jäteläki 17.6.2011/646. Finlex. (Viitattu 19.8.2021). Saatavissa: <https://finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2011/20110646>
- Kerins G, Blackburn J, Nixon T, Daly M, Conyers C, Pietravalle S, Noble R, Henry CM. (2018). Composting to sanitize plant based waste infected with organisms of plant health importance. *Plant Pathology* 67: 411–417.
- Komission täytäntöönpanoasetus (EU) 2019/2072, annettu 28 päivänä marraskuuta 2019, Euroopan parlamentin ja neuvoston asetuksen (EU) 2016/2031 täytäntöönpanon yhdenmukaisten edellytysten vahvistamisesta kasvintuhoojien vastaisten suojoitoimenpiteiden osalta, komission asetuksen (EY) N:o 690/2008 kumoamisesta ja komission täytäntöönpanoasetuksen (EU) 2018/2019 muuttamisesta.
- Lannoitevalmistelaki 29.6.2006/539. Finlex. (Viitattu 19.8.2021). Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2006/20060539>
- Lehto M, Salo T, Sorvala S, Kempainen R, Vanhala P. (2006). Peruna- ja vihannesjätteen käsittely ja käyttö maatilalla. *Suomen maataloustieteellisen seuran tiedote* nro 21. 8 s.
- Lehto M, Salo T, Sorvala S, Kempainen R, Vanhala P, Sipilä I, Puumala M. (2007). Peruna- ja juureskuorimon jätteet ja jätevedet. *Maa- ja elintarviketalous* 94. 77 s.
- Liu X, Lendormi T, Boy V, Lanoisellé J-L. (2017). What is the future of the hygienization of biowastes used for anaerobic digestion? 15th IWA World Conference on Anaerobic Digestion, 17–20 October, Beijing.
- Liu X, Lendormi T, Lanoisellé J-L. (2018). A review of hygienization technology of biowastes for anaerobic digestion: effect on pathogen inactivation and methane production. *Chemical Engineering Transactions* 70: 529–534.
- Luonnonvarakeskus. (2019). Maataloustilastot. <https://stat.luke.fi/maatalous>.
- Maa- ja metsätalousministeriön asetus lannoitevalmisteista 01.09.2011 nro 24/11
- Marttinen S, Venelampi O, Iho A, Koikkalainen K, Lehtonen E, Luostarinen S, Rasa K, Sarvi M, Tampio E, Turtola E, *et al.* (2017). Kohti ravinteiden kierrätyksen läpimurtoa: Nykytila ja suositukset ohjaukeinojen kehittämiseksi Suomessa. *Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus* 45/2017. 47 s.
- Mehle N, Gutiérrez-Aguirre I, Prezelj N, Deli D, Vidic U, Ravnikar M. (2014). Survival and Transmission of Potato Virus Y, Pepino Mosaic Virus, and Potato Spindle Tuber Viroid in Water. *Applied and Environmental Microbiology* 80: 1455–1462.
- Mehle N, Ravnikar M. (2012). Plant viruses in aqueous environment – Survival, water mediated transmission and detection. *Water Research* 46: 4902–4917.

- Messiha NAS, van Bruggen AHC, Franz E, Janse JD, Schoeman-Weerdesteijn ME, Termorshuizen AJ, van Diepeningen AD. (2009). Effects of soil type, management type and soil amendments on the survival of the potato brown rot bacterium *Ralstonia solanacearum*. *Applied Soil Ecology* 43: 206–215.
- Mikkelsen L, Elphinstone J, Jensen D. (2006). Horizontal standards on hygienic parameters for implementation of EU directives on sludge, soil and treated Bio-waste. Deliverable 5/2: Literature review on detection and eradication of plant pathogens in sludge, soils and treated biowaste. HORIZONTAL-HYG DL 2/5 Report – SSPI-CT-2004-513660.
- Moens M, Hendrickx G. (1992). Drainwater filtration for the control of nematodes in hydroponic-type systems. *Crop Protection* 11: 69–73.
- Mori J, Smith R. (2019). Transmission of waterborne fish and plant pathogens in aquaponics and their control with physical disinfection and filtration: A systematized review. *Aquaculture* 504: 380–395.
- Nielsen BJ, Enkegaard A, Nicolaisen M. (2016). Planter sundhedsmæssige risici ved deponering af rest- produkter og affald fra industriel forarbejdning og sortering af kartofler samt anbefalinger om restriktioner for deponering, herunder karenstider for planteavl. Report from DCA – Nationalt Center for Jordbrug og Fødevarer. 50 p.
- Nielsen, B. J. (2017). Redegørelse for kategorisering og bestemmelse på europæisk plan af kartoffelsorters resistens overfor *Synchytrium endobioticum* (kartoffelbrok). Report from DCA – Nationalt Center for Jordbrug og Fødevarer. 26 p.
- Noble R, Elphinstone JG, Sansford CE, Budge GE, Henry CM. (2009). Management of plant health risks associated with processing of plant-based wastes: A review. *Bioresource Technology* 100: 3431–3446.
- Noble R, Roberts SJ. (2003). A review of the literature on eradication of plant pathogens and nematodes during composting, disease suppression and detection of plant pathogens in compost. Research Report, The Waste and Resources Action Programme, Oxfordshire, United Kingdom. 42 p.
- Noble R, Roberts SJ. (2004). Eradication of plant pathogens and nematodes during composting: a review. *Plant Pathology* 53: 548–568.
- Oki LR, Bodaghi S, Lee E, Haver D, Pitton B, Nackley L, Mathews DM. (2017). Elimination of Tobacco mosaic virus from irrigation runoff using slow sand filtration. *Scientia Horticulturae* 217: 107–113.
- Pääkkönen J, Vuorikoski S, Pirkanniemi K, Hyytiä H. (2004). Paras käytettävissä oleva tekniikka (BAT) Suomen perunatäkkelysteollisuudessa. *Suomen ympäristö* 729. 81 s.
- Panagos P, Borrelli P, Poesen J. (2019). Soil loss due to crop harvesting in the European Union: A first estimation of an underrated geomorphic process. *Science of The Total Environment* 664: 487–498.
- Pathak PD, Mandavgane SA, Puranik NM, Jambhulkar SJ, Kulkarni BD. (2018). Valorization of potato peel: a biorefinery approach. *Critical Reviews in Biotechnology* 38: 218–230.
- Philipp W, Ade-Kappelmann K, Drca M, Lorenz H, Böhm R. (2005). New hygiene rules for biogas plants-revising German biowaste ordinance. International Congress in Animal Hygiene 4.–8. September, Warszawa, Poland.
- Pietsch M, Schleusner Y, Müller P, Eling R, Philipp W, Hoelzle LE. (2015). Risikoanalyse der bodenbezogenen Verwertung kommunaler Klärschlämme unter Hygieneaspekten. Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau, Germany.
- Przetakiewicz J. (2015). The Viability of Winter Sporangia of *Synchytrium endobioticum* (Schilb.) Perc. from Poland. *American Journal of Potato Research* 92: 704–708.
- Rafoss T, Magnusson C, Sletten A, Wendell M, Sundheim L, Brodal G, Ergon Å, Solheim H, Tronsmo AM. (2018). Assessment of quarantine pest dispersal in waste from potato and root vegetable packing plants in Norway. Opinion of the Panel on Plant Health of the Norwegian Scientific Committee for Food and Environment. VKM report 2018:15. Norwegian Scientific Committee for Food and Environment (VKM), Oslo, Norway.
- Renčo M, D'Addabbo T, Sasanelli N, Papajová I. (2007). The effect of five composts of different origin on the survival and reproduction of *Globodera rostochiensis*. *Nematology* 9: 537–543.
- van Rijn E. (2007). Disease suppression and phytosanitary aspects of compost. Doctoral thesis, Biological Farming Systems Group, Wageningen University, The Netherlands.
- Roberts AG. (2014). Plant Viruses: Soil-borne. In: eLS. John Wiley & Sons, Ltd: Chichester.
- RUCIP. (2021). Rules & Practices of the Inter-European Trade in Potatoes. <https://rucip.eu/>
- dos Santos TC, Gomes DPP, Bonomo RCF, Franco M. (2012). Optimisation of solid state fermentation of potato peel for the production of cellulolytic enzymes. *Food Chemistry* 133: 1299–1304.

- Schleusner Y, Müller P, Bandte M, Heiermann M, Büttner C. (2019). *Synchytrium endobioticum* – risk from biogas plants? EPPO Bulletin 0.
- Schomaker CH, Been TH. (1999). A Model for Infestation Foci of Potato Cyst Nematodes *Globodera rostochiensis* and *G. pallida*. *Phytopathology* 89: 583–590.
- Schönfeld J, Gelsomino A, Overbeek LS van, Gorissen A, Smalla K, van Elsas JD. (2003). Effects of compost addition and simulated solarisation on the fate of *Ralstonia solanacearum* biovar 2 and indigenous bacteria in soil. *FEMS Microbiology Ecology* 43: 63–74.
- Siljander-Rasi H, Valaja J. (2008). Kuivaamaton perunaproteiini lihasikojen rehuna. Suomen Maataloustieteellisen Seuran Tiedote: 1–6.
- Širca S, Stare BG, Strajnar P, Urek G, Lautar IM. (2012). First Report of the Pale Potato Cyst Nematode *Globodera pallida* from Slovenia. *Plant Disease* 96: 773–773.
- Spaul AM, McCormack DM, Pike EB. (1989). Effects of Various Sewage Sludge Treatment Processes on the Survival of Potato Cyst-Nematodes (*Globodera* spp.) and the Implications for Disposal. *Water Science and Technology; London* 21: 909–916.
- Steinmüller S, Bandte M, Büttner C, Müller P. (2012). Effects of sanitation processes on survival of *Synchytrium endobioticum* and *Globodera rostochiensis*. *European Journal of Plant Pathology* 133: 753–763.
- Steinmüller S, Büttner C, Müller P, Beckers S. (2004). Bewertung des Risikos der Verschleppung von Quarantäneschadorganismen mit Abfällen aus kartoffelverarbeitenden Betrieben und praktische Bedeutung. Tagungsband 54. Deutsche Pflanzenschutztagung, Hamburg 20.–23. September 2004, 343.
- Steinmüller S, Müller P, Bandte M, Büttner C. (2013). Risk of dissemination of *Clavibacter michiganensis* ssp. *sepedonicus* with potato waste. *European Journal of Plant Pathology* 137: 573–584.
- Stevens LH, Lamers JG, van der Zouwen PS, Mendes O, van den Berg W, Tjou-Tam-Sin NNA, Jilesen CJT, Spoorenberg PM, van der Wolf JM. (2017). Chemical Eradication of the Ring Rot Bacterium *Clavibacter michiganensis* subsp. *sepedonicus* on Potato Storage Crates. *Potato Research* 60: 145–158.
- Stone LEW, Webley DP. (1975). The Effect of Heat on the Hatch of Potato Cyst Eelworms. *Plant Pathology* 24: 74–76.
- Suomen tullit. (2019). Ulkomaankauppatilasto. <http://tulli.uljas.fi/uljas/>.
- Tampio E, Vainio M, Virkkunen E, Rahtola M, Heinonen S. (2018). Opas kierrätyslannoitevalmisteiden tuottajille. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 37/2018. 73 s. Helsinki.
- Välimaa A-L, Tuunainen P, Siljander-Rasi H. (2017). Rehua perunan käsittelyssä ja juustonvalmistuksessa syntyvistä sivujakeista. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 29/2017. 45 s. Helsinki.
- Vestberg M, Kukkonen S, Parikka P, Yu D, Kurola J, Romantschuk M, Setälä H. (2010). Laitostuotetuissa komposteissa on taudinestokykyä. Suomen Maataloustieteellisen Seuran Tiedote: 1–8.
- Weiss FE, Brierley P. (1928). Factors of spread and repression in potato wart. *USDA Technical Bulletin* 56: 1–13.
- Wichuk KM, Tewari JP, McCartney D. (2011). Plant Pathogen Eradication During Composting: A Literature Review. *Compost Science & Utilization* 19: 244–266.

Liite 1. Taulukon 3 viitetiedot (1–122)

1. Abe H. (1987). Studies on the ecology and control of *Polymyxa betae* Keskin, as a fungal vector of the causal virus (beet necrotic yellow vein virus) of rhizomania disease of sugar beet. Report of the Hokkaido Prefecture Agricultural Experiment Station 60: 1–99. cit. Kerins *et al.* (2018).
2. Adams P. (1987). Effects of soil temperature, moisture, and depth on survival and activity of *Sclerotinia minor*, *Sclerotium cepivorum* and *Sporidesmium sclerotivorum*. Plant Disease 71:170–174.
3. Asjes CJ, Blom-Barnhoorn GJ. (2002). Control of spread of Augusta disease caused by Tobacco Necrosis Virus in tulip by composting residual waste of small bulbs, tunics, root and soil debris. Acta Horticulturae 570: 283–286.
4. Avgelis AD, Manios VI. (1989). Elimination of tomato mosaic virus by composting tomato residues. Netherlands Journal of Plant Pathology 95: 167–170. cit. Mikkelsen *et al.* (2006).
5. Avgelis AD, Manios VI. (1992). Elimination of cucumber green mottle mosaic tobamovirus by composting infected cucumber residues. Acta Horticulturae 302: 311–314.
6. Baker K, Cummings K. (1943). Control of *Pythium* root rot of *Aloe variegata* by hotwater treatment. Phytopathology 33: 736–738. cit. Noble & Roberts (2004).
7. Bandte M, Schleusner Y, Heiermann M, Plöchl M, Büttner C. (2013). Viability of Plant-Pathogenic Fungi Reduced by Anaerobic Digestion. BioEnergy Research 6: 966–973.
8. Bartels W. (1956). Untersuchungen über die Inaktivierung des Tabamosiakvirus. Phytopathologische Zeitschrift 25:113–152. cit. Noble & Roberts (2003).
9. Becker P. (1974). Pests of Ornamental Plants. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food Bulletin 97. London: HMSO. cit. Noble & Roberts (2004).
10. Bega R, Smith R. (1962). Time-temperature relationships in thermal inactivation of sclerotia of *Macrophomina phaseoli*. Phytopathology 52: 632–635. cit. Noble *et al.* (2009).
11. Benson D. (1978). Thermal Inactivation of *Phytophthora cinnamomi* for Control of Fraser Fir Root Rot. Phytopathology 68:1373–1376.
12. Bollen GJ. (1985). The fate of plant pathogens during composting of plant residues. In: Composting of agricultural and other wastes p. 282–290. Elsevier Applied Science: London. cit. Mikkelsen *et al.* (2006).
13. Bollen GJ, Volker D, Wijnen AP. (1989). Inactivation of soil-borne plant pathogens during small-scale composting of crop residues. Netherlands Journal of Plant Pathology 95: 19–30.
14. Bollen GJ, Volker D, Voetberg JW. (1991). Inactivering van schimmels en fungiciden tijdens compostering van resten van bolgewassen. Gewassbescherming 22: 18. cit. Noble & Roberts (2003).
15. Broadbent L. (1965). The epidemiology of tomato mosaic. Annals of Applied Biology 56: 177–205. cit. Noble & Roberts (2003).
16. Bruns C, Gottschall A, Zeller W, Schueler B, Vogtmann H. (1993). Survival rates of plant pathogens during composting of biogenic wastes in commercial composting plants under different decomposition conditions. In: Soil biota, nutrient cycling and farming systems p. 42–51. Lewis Publishers/CRC Press: Boca Raton. cit. Noble & Roberts (2003).
17. Bøen A, Hammersaas B, Magnusson C, Aasen R. (2006). Fate of the Potato Cyst Nematode *Globodera rostochiensis* During Composting. Compost Science & Utilization 14: 142–146.
18. Böhm R. (2004). Investigations on microbial indicators and/or test-organisms in supervision of hygienic safety in co-digestion of animal slurry, biowastes and/or animal by-products. International Society for Animal Hygiene, October 11th – 13th, Saint-Malo, France
19. Campbell RN, Lin MT. (1976). Morphology and thermal death point of *Olpidium brassicae*. American Journal of Botany 63: 826–832. cit. Noble & Roberts (2004).
20. Christensen KK, Carlsbæk M, Kron E. (2002). Strategies for evaluating the sanitary quality of composting. Journal of Applied Microbiology 92: 1143–1158.
21. Coelho L, Mitchell DJ, Chellemi DO. (2001). The Effect of Soil Moisture and Cabbage Amendment on the Thermoinactivation of *Phytophthora nicotianae*. European Journal of Plant Pathology 107: 883–894.
22. Coventry E, Noble R, Whipps JM. (2001). Composting of onion and other vegetable wastes, with particular reference to *Allium* white rot. Report No.: CSA 4862 p. 1–95. Horticulture LINK consortium, Warwick.

23. Coventry E, Noble R, Mead A, Whipps JM. (2002). Control of *Allium* white rot (*Sclerotium cepivorum*) with composted onion waste. *Soil Biology and Biochemistry* 34: 1037–1045.
24. Das S, Perry R. (2010). Survival of juveniles of *Meloidogyne* spp. in the absence of a host plant. Master of Science in Nematology, Ghent University, Belgium.
25. Date H, Nasu H, Hatamoto M. (1993). Thermal Death Range of *Pseudomonas solanacearum* under Various Conditions. *Annals of the Phytopathological Society of Japan* 59:709–713.
26. Dickens J, Reed P, Wright A. (1991). Investigation of the survival of *Polymyxa betae* during vegetable processing. Sugar Beet Research and Education Committee Report: Rhizomania and beet mild yellowing virus studies 1991. Committee Paper No. 2526. cit. Noble *et al.* (2009).
27. Dittmer U, Budde K, Stindt A, Wetzien HC. (1990). Der Einfluss der Kompostierung von Kompostsubstraten und wasserigen Kompostextrakten auf verschiedene Pflanzenkrankheitserreger. *Gesunde Pflanzen* 42: 219–233. cit. Noble & Roberts (2004).
28. Downer AJ, Crohn D, Faber B, Daugovish O, Becker JO, Menge JA, *et al.* (2008). Survival of Plant Pathogens in Static Piles of Ground Green Waste. *Phytopathology* 98:547–554.
29. Elorriota M, Suarez-Estrella F, Lopez M, Vargas-Garcia M, Moreno J. (2003). Survival of phytopathogenic bacteria during waste composting. *Agriculture Ecosystems & Environment* 96: 141–146.
30. Elphinstone J. (2005). Scoping study on sanitisation of biowaste to control pathogens and pest of plant health concern. Report to Defra Plant Health Division, York. cit. Noble *et al.* (2009).
31. Engeli H, Edelmann W, Fuchs J, Rottermann K. (1993). Survival of Plant Pathogens and Weed Seeds during Anaerobic Digestion. *Water Science & Technology* 27: 69–76.
32. Evans K. (1991). Lethal temperatures for eggs of *Globodera rostochiensis*, determined by staining with New Blue R. *Nematologica* 37: 225–240. cit. Bøen *et al.* (2006).
33. Fatmi MB, Schaad NW, Bolkan HA. (1991). Seed treatments for eradicating *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis* from naturally infected tomato seeds. *Plant Disease* 75: 383–385.
34. Fayolle L, Noble R, Coventry E, Aime S, Alabouvette C. (2006). Eradication of *Plasmiodiophora brassicae* during composting of wastes. *Plant Pathology* 55: 553–558.
35. Fletcher JT, White PF, Gaze RH. (1986). *Mushrooms: Pest and Disease Control*. Intercept, Newcastle upon Tyne. cit. Noble *et al.* (2009).
36. Garbelotto M. Composting as a control for Sudden Oak Death disease. (2003). *BioCycle* 44: 53–56. cit. Noble & Roberts (2003).
37. Glynne MD. (1926). The Viability of the Winter Sporangium of *Synchytrium Endobioticum* (schilb.) Perc., the Organism Causing Wart Disease in Potato. *Annals of Applied Biology* 13: 19–36. cit. Steinmüller *et al.* (2012).
38. Goeffeng GJ, Øydivin J, Hammeraas B, Løve A. (1978). Overlevelse av PCN *Globodera rostochiensis* (Woll.) under frilandskompostering av kommunalt avfall. In: *Kongsvingerundersøkelsen K3. Meld. 11, Ås, Norway*. 14 p. (in Norwegian only). cit. Bøen *et al.* (2006).
39. Goheen AC, McGrew JR. (1954). Control of endoparasitic root nematodes in strawberry propagation stocks by hot water treatments. *Plant Disease Reporter* 38: 818–826. cit. Noble & Roberts (2004).
40. Gokte N, Mathur VK. (1995). Eradication of root-knot nematodes from grapevine rootstocks by thermal therapy. *Nematologica* 41: 269–271. cit. Noble *et al.* (2009).
41. Grushevoi SE, Levykh PM. (1940). Possibility of obtaining seed-bed free of infection in compost heaps. *Vsesritniy Nauchnyi Issedovatel'skiy Instyut Tabachno Makhorochnykh Prodyktiv, USSR* 141: 42–48 (in Russian). cit. Noble & Roberts (2003).
42. Harnik TY, Mejia-Chang M, Lewis J, Garbelotto M. (2004). Efficacy of Heat-based Treatments in Eliminating the Recovery of the Sudden Oak Death Pathogen (*Phytophthora ramorum*) from Infected California Bay Laurel Leaves. *HortScience* 39: 1677–1680.
43. Hermann I, Meissner S, Bächle E, Rupp E, Menke G, Grossmann F. (1994). Einfluss des Rotteprozesses von Bioabfall auf das Überleben von phytopathogenen Organismen und von Tomatensamen. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz* 101: 48–65. cit. Noble & Roberts (2004).
44. Hoitink HAJ, Fahy PC. (1986). Basis for the Control of Soilborne Plant Pathogens with Composts. *Annual Review of Phytopathology* 24: 93–114. cit. Noble & Roberts (2004).

45. Hoitink HAJ, Herr LJ, Schmitthenner AF. (1976). Survival of some plant pathogens during composting of hardwood tree bark. *Phytopathology* 66: 1369–1372. cit. Noble & Roberts (2004).
46. Howles R. (1961). Inactivation of Tomato Mosaic Virus in Tomato Seeds. *Plant Pathology* 10: 160–161. cit. Noble & Roberts (2003).
47. Idelmann, M. (2005). Hygienisierung von Kompost; Möglichkeiten zum Nachweis einer erfolgreichen Abtötung von Pathogenen und Unkrautsamen. Ph.D. Thesis. University of Kassel, Germany, 126pp. cit. Noble *et al.* (2009).
48. Jaehn A. (1995). Termoterapia de alho para erradicacao de *Ditylenchus dipsaci*. *Nematologia Brasileira* 19: 93–96. cit. Noble *et al.* (2009).
49. Jensen B. (1992). Kompostering af have- og husholdningsaffald, inaktivering af plantepatogener og kompostens sygdomshæmmende egenskaber. Hovedoppgave. Den kongelige veterinær- og landbohøjskole, Copenhagen, Denmark. 106 p. (in Danish only). cit. Bøen *et al.* (2006).
50. Juarez-Palacios C, Felix-Gastelum R, Wakeman RJ, Paplomatas EJ, DeVay JE. (1991). Thermal sensitivity of three species of *Phytophthora* and the effect of soil solarization on their survival. *Plant Disease* 75: 1160–1164. cit. Noble *et al.* (2009).
51. Keck M, Chartier R, Zislavsky W, Lecomte P, Paulin JP. (1994). Heat treatment of plant propagation material for the control of fire blight. *Plant Pathology* 44: 124–129. cit. Noble & Roberts (2004).
52. Kerins G, Blackburn J, Nixon T, Daly M, Conyers C, Pietravalle S, *et al.* (2018). Composting to sanitize plant based waste infected with organisms of plant health importance. *Plant Pathology* 67: 411–417.
53. Lane A. (1984). Bulb pests. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, Reference Book, vol. 51. HMSO, London. cit. Noble *et al.* (2009).
54. Lee GI, Kim SH, Chang YS, Jin HO, Jee HJ. (1998). Development of an electric heating device to sterilize nutrient solutions for recycling. *RDA Journal of Farm Management & Agri-Engineering* 40: 138–143. cit. Mikkelsen *et al.* (2006).
55. Liu Y, Dong J, Liu G, Yang H, Liu W, Wang L, *et al.* (2015). Co-digestion of tobacco waste with different agricultural biomass feedstocks and the inhibition of tobacco viruses by anaerobic digestion. *Bioresource Technology* 189: 210–216.
56. Lodha S, Sharma SK, Aggarwal RK. (2002). Inactivation of *Macrophomina phaseolina* Propagules during Composting and Effect of Composts on Dry Root Rot Severity and on Seed Yield of Clusterbean. *European Journal of Plant Pathology* 108: 253–261. cit. Noble & Roberts (2004).
57. López-Real J, Foster M. (1985). Plant pathogen survival during composting of agricultural wastes. In: *Composting of Agricultural and Other Wastes* p. 291–300. Elsevier, London.
58. Luvisi A, Panattoni A, Materazzi A. (2015). Heat treatments for sustainable control of soil viruses. *Agronomy for Sustainable Development* 35: 657–666.
59. Mackay JM, Shipton PJ. (1983). Heat treatment of seed tubers for control of potato blackleg (*Erwinia carotovora* subsp. *atroseptica*) and other diseases. *Plant Pathology* 32: 385–393.
60. Martin GC. (1968). Control of *Meloidogyne javanica* in potato tubers. *Nematologica* 14: 441–446. cit. Noble & Roberts (2004).
61. Matsushita Y, Usugi T, Tsuda S. (2009). Host range and properties of Tomato chlorotic dwarf viroid. *European Journal of Plant Pathology* 124: 349–352.
62. McGovern RJ, McSorley R, Urs RR. (2000). Reduction of *Phytophthora* Blight of Madagascar Periwinkle in Florida by Soil Solarization in Autumn. *Plant Disease* 84: 185–191. cit. Noble *et al.* (2009).
63. McLean KL, Swaminathan J, Stewart A. (2001). Increasing soil temperature to reduce sclerotial viability of *Sclerotium cepivorum* in New Zealand soils. *Soil Biology and Biochemistry* 33: 137–143. cit. Noble & Roberts (2004).
64. Menke G, Grossmann F. (1971). Einfluss der Schnellkompostierung von Mull auf Ereger von Pflanzenkrankheiten. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz* 71: 75–84. cit. Noble & Roberts (2004).
65. Mihail JD, Alcorn SM. (1984). Effects of soil solarization on *Macrophomina phaseolina* and *Sclerotium rolfsii*. *Plant Disease* 68: 156–159. cit. Noble *et al.* (2009).
66. Miller PM, Stoddard EM. (1956). Hot-water treatment of fungi infecting strawberry root. *Phytopathology* 46: 694–696. cit. Noble & Roberts (2004).
67. Munnecke DE, Wilbur W, Darley EF. (1976). Effect of heating or drying on *Armillaria mellea* or *Trichoderma viride* and the relation to survival of *A. mellea* in soil. *Phytopathology* 66: 1363–1368. cit. Noble & Roberts (2004).

68. Nelson PE, Wilhelm S. (1958). Thermal death range of *Verticillium albo-atrum*. *Phytopathology* 48: 613–616. cit. Noble & Roberts (2004).
69. Nielsen SL, Mølgaard JP. (1997). Incidence, appearance and development of potato mop-top furovirus-induced spraing in potato cultivars and the influence on yield, distribution in Denmark and detection of the virus in tubers by ELISA. *Potato Research* 40: 101–110. cit. Noble *et al.* (2009).
70. Nishinome Y, Shimizu M, Takakura S, Soma J, Abe H. (1996). Disinfection of beet sugar factory waste soil in the process of composting. *Proceedings of the Japanese Society of Sugar Beet Technologists* 38: 150–159. cit. Bøen *et al.* (2006).
71. Noble R. (2005). Recycling horticultural wastes to produce pathogen suppressant composts for sustainable vegetable crop production. Final Report EU project QLK5-CT-01458. Warwick HRI, University of Warwick, UK. cit. Noble *et al.* (2009).
72. Noble R, Jones PW, Coventry E, Roberts SR, Martin M, Alabouvette C. (2004). Investigation of the Effect of the Composting Process on Particular Plant, Animal and Human Pathogens known to be of Concern for High Quality End-Uses. Report STA0012. The Waste & Resources Action Programme, Banbury, Oxfordshire, UK.
73. Noble R, Elphinstone JG, Sansford CE, Budge GE, Henry CM. (2009). Management of plant health risks associated with processing of plant-based wastes: A review. *Bioresource Technology* 100: 3431–3446.
74. Philipp W, Ade-Kappelmann K, Drca M, Lorenz H, Böhm R. (2005). New hygiene rules for biogas plants - revising German biowaste ordinance. ISAH 2005, Warsaw, Poland.
75. Phillips DH. (1959). The Destruction of *Didymella Lycopersici* Kleb. in Tomato Haulm Composts. *Annals of Applied Biology* 47: 240–253. cit. Noble & Roberts (2003).
76. Pietsch M, Schleusner Y, Müller P, Eling R, Philipp W, Hoelzle LE. (2015) Risikoanalyse der bodenbezogenen Verwertung kommunaler Klärschlämme unter Hygieneaspekten. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, Germany.
77. Price WC. (1933). The thermal death rate of *Tobacco mosaic virus*. *Phytopathology* 23: 749–769. cit. Noble & Roberts (2004).
78. Pullman GS, De Vay JE, Garber RH. (1981). Soil Solarization and Thermal Death: A Logarithmic Relationship Between Time and Temperature for Four Soilborne Plant Pathogens. *Phytopathology* 71: 959–964.
79. Qju J, Westerdahl BB, Giraud D, Anderson CA. (1993). Evaluation of Hot Water Treatments for Management of *Ditylenchus dipsaci* and Fungi in Daffodil Bulbs. *Journal of Nematology* 25: 686–694.
80. Ramallo J, Ramallo NEV de. (2001). Application of hydrothermotherapy to obtain sugarcane seed of controlled hygiene. *Avance Agroindustrial* 22:16–18. cit. Mikkelsen *et al.* (2006).
81. Robinson K, Foster G. (1987). Control of potato blackleg by tuber pasteurisation: the determination of time-temperature combinations for the inactivation of pectolytic erwinia. *Potato Research* 30:121–125. cit. Noble & Roberts (2004)
82. Roggero P, Pennazio S. (1997). Thermal inactivation of tomato spotted wilt tospovirus *in vivo*. *Physiological and Molecular Plant Pathology* 51: 35–40.
83. Ryckeboer J. (2001). Biowaste and yard waste composts: microbiological and hygienic aspects – suppressiveness to plant diseases. Leuven, Belgium: Katholieke Universiteit Leuven, PhD thesis. cit. Noble & Roberts (2004).
84. Ryckeboer J, Cops S, Coosemans J. (2002). The Fate of Plant Pathogens and Seeds During Anaerobic Digestion and Aerobic Composting of Source Separated Household Wastes. *Compost Science and Utilization* 10: 204–216. cit. Noble & Roberts (2004).
85. Ryckeboer J, Cops S, Coosemans J. (2002). The Fate of Plant Pathogens and Seeds During Backyard Composting of Vegetable, Fruit and Garden Wastes. In: Insam H, Riddech N, Klammer S, editors. *Microbiology of Composting*. Berlin, Germany: Springer-Verlag p. 527–537. cit. Noble & Roberts (2004).
86. Schleusner Y, Müller P, Bandte M, Heiermann M, Büttner C. (2019). *Synchytrium endobioticum* – risk from biogas plants? *EPPO Bulletin* 0: 1–12.
87. Schmelzer K. (1957). Untersuchungen über den Wirtspflanzenkreis. *Phytopathologische Zeitschrift* 30: 281–314. cit. Noble & Roberts (2004).
88. Secor GA, DeBuhr L, Gudmestad NC. (1987). Chemical sanitation for bacterial ring rot control. *American Potato Journal* 64: 699–700.
89. Shoemaker PB, Echandi E. (1976). Seed and plant bed treatments for bacterial canker of tomato. *Plant Disease Reporter* 60: 163–166. cit. Noble *et al.* (2009).

90. Singh RP, Bagnall RH. (1968). Infectious nucleic acid from host tissues infected with the potato spindle tuber virus. *Phytopathology* 58: 696–699. cit. Kerins *et al.* (2018).
91. Smilanick JL, Hoffmann JA, Royer MH. (1985). Effect of temperature, pH, light, and desiccation on teliospore germination of *Tilletia indica*. *Phytopathology* 75: 1428–1431. cit. Noble *et al.* (2009).
92. Smith JH. (1923). The Killing of *Botrytis Cinerea* by Heat, with a Note on the Determination of Temperature Coefficients. *Annals of Applied Biology* 10: 335–347. cit. Noble & Roberts (2004).
93. Spaul AM, McCormack DM, Pike EB. (1989). Effects of Various Sewage Sludge Treatment Processes on the Survival of Potato Cyst-Nematodes (*Globodera* spp.) and the Implications for Disposal. *Water Science & Technology* 21: 909–916.
94. Spector WS. (1956). Handbook of biological data. Philadelphia: W.B. Saunders Co. cit. Noble & Roberts (2003).
95. Sprau F. (1967). Das Verhalten von Zysten des Kartoffelnemotoden in Klaranlagen. 121, 39–43. Braunschweig, Germany, Bundesanstalt für Landwirtschaft und Forstwissenschaft. Mitteilungen biologische Bundesanstalt für Landwirtschaft und Forstwissenschaft. Ref Type: (Report). cit. Noble & Roberts (2003)
96. Steinmüller S, Bandte M, Büttner C, Müller P. (2012). Effects of sanitation processes on survival of *Synchytrium endobioticum* and *Globodera rostochiensis*. *European Journal of Plant Pathology* 133:753–763.
97. Steinmüller S, Müller P, Bandte M, Büttner C. (2013). Risk of dissemination of *Clavibacter michiganensis* ssp. *sepedonicus* with potato waste. *European Journal of Plant Pathology* 137:573–584.
98. Stone LEW, Webley DP. (1975). The Effect of Heat on the Hatch of Potato Cyst Eelworms. *Plant Pathology* 24:74–76.
99. Suárez-Estrella F, López MJ, Elorrieta MA, Vargas-García MC, Moreno J. (2002). Survival of phytopathogen viruses during semipilot-scale composting. In: *Microbiology of Composting*. Insam H, Riddech N, Klammer S, editors. pp. 539–548. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag. cit. Noble & Roberts (2003).
100. Suárez-Estrella F, Vargas-García MC, Elorrieta MA, López MJ, Moreno J. (2003). Temperature effect on *Fusarium oxysporum* f.sp. *melonis* survival during horticultural waste composting. *Journal of Applied Microbiology* 94: 475–482.
101. Suárez-Estrella F, Vargas-García MC, López MJ, Moreno J. (2007). Effect of horticultural waste composting on infected plant residues with pathogenic bacteria and fungi: Integrated and localized sanitation. *Waste Management* 27:886–892.
102. Swain S, Harnik T, Mejia-Chang M, Hayden K, Bakx W, Creque J, *et al.* (2006). Composting is an effective treatment option for sanitization of *Phytophthora ramorum*-infected plant material. *Journal of Applied Microbiology* 101:815–827.
103. Szejnberg A, Freeman S, Chet I, Katan J. (1987) Control of *Rosellinia necatrix* in soil and in apple orchard by solarization and *Trichoderma harzianum*. *Plant Disease* 71: 365–369. cit. Noble *et al.* (2009).
104. Talboys PW. (1961). Time-temperature requirements for killing *Verticillium albo-atrum* in hop waste. *Plant Pathology* 10: 162–163. cit. Noble & Roberts (2003)
105. Termorshuizen AJ. (2006). Management of soil health in horticulture using compost. Final Report EU project QLK5-CT-01442. Wageningen-UR, Wageningen, the Netherlands. cit. Noble *et al.* (2009).
106. Termorshuizen AJ, Volker D, Blok WJ, Brummeler E ten, Hartog BJ, Janse JD, *et al.* (2003). Survival of human and plant pathogens during anaerobic mesophilic digestion of vegetable, fruit, and garden waste. *European Journal of Soil Biology* 39: 165–171.
107. Tomlinson JA, Faithfull EM. (1984) Studies on the occurrence of tomato bushy stunt virus in English rivers. *Annals of Applied Biology* 104: 485–495.
108. Tooley PW, Browning M, Berner D. (2008). Recovery of *Phytophthora ramorum* Following Exposure to Temperature Extremes. *Plant Disease* 92: 431–437.
109. Tsang MM, Shintaku M. (1998). Hot air treatment for control of bacterial wilt in ginger root. *Applied Engineering in Agriculture* 14: 159–163.
110. Turner J, Stafford DA, Hughes DE, Clarkson J. (1983). The reduction of three plant pathogens (*Fusarium*, *Corynebacterium* and *Globodera*) in anaerobic digesters. *Agricultura Wastes* 6: 1–11. cit. Noble & Roberts (2004).
111. Turner J, Jennings P, Budge G. (2008). Investigation of Alternative Eradication Control Methods for *P. ramorum* and *P. kernoviae* on/in plants. Defra Project PHE/2122A. Final Report. cit. Noble *et al.* (2009).
112. Walkey DGA, Freeman GH. (1977). Inactivation of cucumber mosaic virus in cultured tissues of *Nicotiana rustica* by diurnal alternating periods of high and low temperature. *Annals of Applied Biology* 87: 375–382. cit. Noble & Roberts (2003).

113. Wallace HR. (1963). The biology of plant-parasitic nematodes. Edward Arnold Publishers Ltd, London, pp. 63–69. cit. Bøen *et al.* (2006).
114. van Loenen MCA, Turbett Y, Mullins CE, Feilden NEH, Wilson MJ, Leifert C, *et al.* (2003). Low Temperature–Short Duration Steaming of Soil Kills Soil-Borne Pathogens, Nematode Pests and Weeds. *European Journal of Plant Pathology* 109: 993–1002.
115. Van Rijn E, Termorshuizen AJ. (2007). Eradication of *Polymyxa betae* by Thermal and Anaerobic Conditions and in the Presence of Compost Leachate. *Journal of Phytopathology* 155: 544–548.
116. Wang K-H, McSorley R. (2008). Exposure Time to Lethal Temperatures for *Meloidogyne incognita* Suppression and Its Implication for Soil Solarization. *Journal of Nematology* 40: 7–12.
117. Weiss FE, Brierley P. (1928). Factors of spread and repression in potato wart. *USDA Technical Bulletin* 56: 1–13.
118. Wijnen AP, Volker D, Bollen GJ. (1983). De lotgevallen van pathogene schimmels in een composthoop. *Gewasbescherming* 14: 5. cit. Noble & Roberts (2003).
119. Woodville HC. Lethal times and temperatures for two species of eelworm. (1964). *Experimental Horticulture* 10: 90–95. cit. Noble *et al.* (2009).
120. Ylimäki A, Toiviainen A, Kallio H, Tikanmäki E. (1983). Survival of some plant pathogens during industrial-scale composting of wastes from a food processing plant. *Annales Agriculturae Fenniae* 22: 77–85. cit. Mikkelsen *et al.* (2006).
121. Yuen G, Raabe RD. (1984). Effects of small-scale aerobic composting on survival of some fungal plant pathogens. *Plant Disease* 68: 134–136.
122. Zanón MJ, Jordá C. (2008). Eradication of *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis* by incorporating fresh crop debris into soil: Preliminary evaluations under controlled conditions. *Crop Protection* 27: 1511–1518.



RUOKAVIRASTO

Livsmedelsverket • Finnish Food Authority

ruokavirasto.fi