

Kuusen tyvilahon merkitys Etelä- Suomessa 2016-2017

Mikko Onali

Skogsbruksingenjörs (YH)-examen

Bioekonomi

Raseborg 2019



EXAMENSARBETE

Författare: Mikko Onali

Utbildning och ort: Utbildning i bioekonomi, Raseborg

Inriktningsalternativ/Fördjupning: Skogsbruk (YH)

Handledare: Britt-Mari Fagerström, Patrik Byholm

Titel: Rotrötans betydelse i granbestånd i södra Finland 2016–2017

Datum 14.3.2019

Sidantal 49

Bilagor 0

Abstrakt

Målsättningen med examensarbetet är att utreda förekomsten och utbredningen av rotröta hos gran i södra Finland. Dess ekonomiska betydelse baserat på uppgifter från Stora Ensos slutavverkningar undersöks också. Tidigare studier har genomförts i Finland under årtionden och resultaten har visat att rotröta för varje år sprider sig längre in i landet.

I litteraturgranskningen utforskar jag granens biologi och faktorer som påverkar rotrötans spridning. Moderna metoder för bekämpning lyfts också fram.

I min undersökning beräknar jag den procentuella andelen rotröta i granstammarna baserat på uppgifter från Stora Ensos slutavverkningar i södra Finland. Den ekonomiska betydelsen har beräknats med hjälp av genomsnittliga priser i e-boken Mat och Livsmedel och fasta priser för en del sortiment. Materialets tillförlitlighet beträffande variationen i förekomsten av rotröta hos gran har testats. Resultaten som erhållits genom studien har jämförts med resultat, som erhållits tidigare.

Resultaten visar att rotröta i granstammar är ett mycket allvarligt problem för skogsbruket, särskilt i närheten av södra Finlands kust. Den minsta förekomsten av rotröta hittades i Päijänne-Tavastland (cirka 5 %) och största förekomsten i Nyland (cirka 11 %). På grund av förändringar i sortimentsfördelningen med minskad timmerandel förorsakas ännu värdeminskning som i Päijänne-Tavastland uppgår till cirka 4,2 % och i Nyland till cirka 10 %.

Språk: Finska

Nyckelord: gran, heterobasidion, rotröta, picea abies

OPINNÄYTETYÖ

Tekijä: Mikko Onali

Koulutus ja paikkakunta: Biotalouden koulutusohjelma, Raasepori

Suuntautumisvaihtoehto/Syventävät opinnot: Metsätalous (AMK)

Ohjaaja(t): Britt-Mari Fagerström, Patrik Byholm

Nimike: Kuusen tyvilahon merkitys Etelä-Suomessa 2016-2017

Päivämäärä 14.3.2019

Sivumäärä 49

Liitteet 0

Tiivistelmä

Opinnäytetyön tavoitteena on selvittää Stora Enson päätehakkuuaineiston perusteella kuusen tyvilahon levinneisyys ja sen taloudellinen merkitys Etelä-Suomessa. Aikaisempia tutkimuksia on suoritettu Suomessa jo vuosikymmeniä ja niistä saadut tulokset ovat kertoneet juurikäävän leviävän vuosi vuodelta entistä kauemmaksi sisämaahan.

Teoriaosassa on selvitetty kuusen tyvilahon biologiaa, leviämiseen vaikuttavia tekijöitä ja nykyaikaiset torjuntamenetelmät.

Tutkimuksessa on laskettu kuusen tyvilahoprosentti Stora Enson Etelä-Suomen päätehakkuuaineiston avulla. Taloudellinen merkitys on laskettu Luonnonvarakeskuksen Ruoka- ja elintarviketilastojen e-vuosikirjan keskihintojen ja kiinteiden puutavarahintojen avulla. Aineiston luotettavuus kuusen tyvilahon esiintymisvaihtelun osalta on testattu. Tutkimuksen avulla saatuja tuloksia on vertailtu aikaisemmin saatuihin tutkimustuloksiin.

Tuloksista selviää, että kuusen tyvilaho on metsätaloudelle erittäin vakava ongelma erityisesti Etelä-Suomen rannikkoalueen läheisyydessä. Vähiten kuusen tyvilahoa todettiin Päijät-Hämeessä (noin 5 %) ja eniten Uudellamaalla (noin 11 %).

Arvonmenetystä puutavaralajisiirtymän vuoksi aiheutui Päijät-Hämeessä noin 4,2 % ja Uudellamaalla noin 10 %.

Kieli: Suomi

Avainsanat: heterobasidion, juurikäätä, metsäkuusi, tyvilaho

BACHELOR'S THESIS

Author: Mikko Onali

Degree Programme: Degree Programme in Bioeconomy, Raasepori

Specialization: Forestry (UAS)

Supervisor(s): Britt-Mari Fagerström, Patrik Byholm

Title: Butt rot in Norway spruce and the effects in 2016-2017 in Southern Finland

Date 14.3.2019

Number of pages 49

Appendices 0

Abstract

The aim of the thesis is to find out the distribution of butt rot in Norway spruce and the economic significance of the pathogen in Southern Finland based on Stora Enso's clearcutting material. Previous studies have been carried out in Finland for decades and the results have shown that it has spread further inland over the years.

The theoretical part explores the biology of butt rot in Norway spruce, the factors affecting distribution and modern methods of control.

The study of research indicates butt rot frequency of Norway spruce and it is calculated using Stora Enso's data originating in Southern Finland. The economic significance was calculated by means of the average prices and fixed timber prices of the Food and Food Statistics e-book. Material reliability of butt rot variation in distribution has been tested. The results obtained by the study was compared with the results obtained in the past.

The results show that butt rot in Norway spruce is a very serious problem for forestry, especially in the vicinity of the coastal area of Southern Finland. The smallest frequency of butt rot of Norway spruce was found in Päijät-Häme (about 5 %) and the biggest frequency in Uusimaa (about 11 %). Due to the change in timber species to other species, Päijät-Häme accounted for about 4.2 % and Uusimaa for about 10 %.

Language: Finnish

Key words: butt rot, heterobasidion, Norway spruce

Sisällysluettelo

1	Tutkimusongelma ja taustatiedot.....	1
1.1	Tutkimusongelma	1
1.2	Tausta.....	2
2	Teoria.....	2
2.1	Kuusi (<i>Picea abies</i>).....	2
2.2	Lahottajat ja taudin aiheuttajat.....	4
2.2.1	Käävät ja sienet.....	7
2.2.2	Kuusenjuurikäpää (<i>Heterobasidion parviporum</i>).....	9
2.2.3	Mesisienet (<i>Armillaria</i> spp.).....	15
2.2.4	Männynjuurikäpää (<i>Heterobasidion annosum</i> s.s.).....	18
2.2.5	Siperiankäpää (<i>Phellinus abietis</i>)	19
2.2.6	Verinahakka (<i>Stereum sanguinolentum</i>)	20
2.3	Kuusen tyvilahon aiheuttamat laatuongelmat.....	21
2.4	Kuusen tyvilahosta aiheutuva taloudellinen merkitys	25
2.5	Kuusen tyvilahon levinneisyys.....	26
2.6	Torjuntamenetelmät	32
3	Tutkimusmenetelmä ja aineisto	35
4	Aineiston analysointi ja raportointi	36
5	Tulosten julkaisu ja hyödyntäminen	36
6	Tulokset	37
6.1	Kuusen tyvilahon levinneisyys.....	37
6.2	Kuusen tyvilahon taloudellinen merkitys.....	41
6.3	Aineiston testaaminen.....	43
6.4	Tulosten vertailu	47
7	Pohdinta.....	48
8	Kiitokset.....	48
	Lähdeluettelo.....	49

Käytetyt termit ja lyhenteet

Abioottinen	Elottomat tekijät; esimerkiksi kemialliset yhdisteet ja lämpötila.
Bioottinen	Elolliset tekijät; esimerkiksi bakteerit ja sienet.
Epidermi	Päällysketto; kasvin uloin solukerros.
Eutrafentti	Kasvi, joka vaatii runsasravinteisen maan.
Indusoida	Aiheuttaa reaktio.
Intersteriliteettiryhmä	Rotu, joka on saatu selvitettyä paritustestien avulla.
Itiöemä	Sienen maanpäällinen osa.
Kantaitiö	Kantasien suvullinen itiö.
Kliimaksivaihe	Elinympäristön loppuvaihe, jossa ympäristö ei enää juurikaan muutu.
Kloroplasti	Viherhiukkanen.
Kolonisoida	Vallata.
Konidio	Kuromaitiö. Kuroutumalla muodostunut suvuton itiö.
Konstitutiivinen	Jatkuvatoiminen.
Korroosiolaho	Valkolahoihin kuuluva ja riisiryymäiseltä näyttävä laho.
Kuromankannatin	Kuromaitiöpesäkkeen varsinainen osa, josta kuromaitiöt muodostuvat.
Kyljestäminen	Umpeen kasvaminen.
Ligniini	Polyfenoli, jota puukin sisältää.
Maannousema	Vanha nimitys juurikäävälle.
Mantopuu	Rungon uloin puuaines.

Mikrosieni	Sienilaji, jonka itiöemä on havaittavissa selvästi vain suurennuslasin tai mikroskoopin avulla; esimerkiksi home.
Mesofyytti	Kasvi, jolla ei ole erityisiä kasvuolosuhdevaatimuksia.
Mikrobioflora	Bakteerikasvusto.
Monokulttuuri	Yhden lajin viljeleminen.
Monoterpeeni	Orgaaninen yhdiste, jota on esimerkiksi pihkassa.
Mykorrhitsa	Sienijuuri.
Nektrotrofi	Toisia eliöitä ravinnoksi hyödyntävä eliö.
Patogeeninen	Taudinaiheuttamiskykyinen.
Pioneerilaji	Ensimmäisten joukossa tuhoutuneelle alueelle tuleva eliö.
PMP	Pystymitta.
Polyfaaginen	Erilaisruokainen; esimerkiksi juurikääpä voi lahottaa ja käyttää ravinnonlähteenä lähes kaikkia kasvinosia.
Polykulttuuri	Usean lajin viljely.
Rajalinja	Estovyöhyke.
Saprotrofi	Kuolleella orgaanisella materiaalilla elävä eliö.
Sydänlaho	Sydänpuussa oleva laho.
Symbioosi	Organismien yhteistoiminta, josta on hyötyä molemmille osapuolille.
Valkolaho	Lahoa, jossa valkoinen selluloosa jää lahoprosessissa jäljelle kun sienet lahottavat ligniinin.
Virulentti	Taudinaiheutuskykyinen.

1 Tutkimusongelma ja taustatiedot

1.1 Tutkimusongelma

Tutkittavana aiheena on kuusen (*Picea abies*) tyvilaho Etelä-Suomessa. Tutkimuksen avulla saadaan selvitettyä kuusen tyvilahon aiheuttamien laatuongelmien taloudellinen merkitys Etelä-Suomessa, sekä tämänhetkinen leviämialue kunta- ja maakuntatasolla. Tutkimustuloksista ilmenevät vain primäärisesti aiheutuneet taloudelliset vahingot. Tutkimuksessa keskitytään kuusen tyvilahon aiheuttaman laatutappion taloudellisen merkityksen käsittelyyn ja levinneisyysalueen vertaamiseen aikaisempiin tutkimustuloksiin.

Luonnonvarakeskuksen (2014) mukaan kuusen tyvilahon aiheuttavat Etelä-Suomessa pääasiassa kuusenjuurikäpää (*Heterobasidion parviporum*), männynjuurikäpää (*Heterobasidion annosum* s.s.), nuijamesisieni (*Armillaria cepistipes*), pohjanmesisieni (*Armillaria borealis*) ja verinahakka (*Stereum sanguinolentum*). Mäkelän, Lipposen ja Sainion (1998) mukaan kasvavan puun saadessa lahottajasienitartunnan, puu alkaa lahota ja syntyy tyvilahoa. Luonnonvarakeskuksen (2005) mukaan kuusen tyvilaho aiheuttaa puun elintoimintojen ja juurten heikkenemistä, sekä rungon kestävyysongelmia. Sairaus alkaa yleensä noin 40 vuoden iässä. (Luonnonvarakeskus 2014 MetINFO - Metsien terveys, kuusen ja männyn tyvilahoisuus ja sen torjunta, kuusen tyvilaho; Luonnonvarakeskus 2005 MetINFO - Metsien terveys, kuusen tyvilaho (*Heterobasidion parviporum*); Mäkelä, Lipponen ja Sainio 1998.)

Luonnonvarakeskuksen (2014) mukaan kuusen tyvilaho on juuristosta runkoon nouseva lahovika, jota esiintyy kasvavissa kuusikoissa. Lahoaminen alkaa tyven sydänpuusta, josta se etenee ylemmäs ja laajemmalle rungossa. Patogeenin kliimaksissa rungossa esiintyy pihkavuotoja ja latvus harsuuntuu. Lopulta puu kuolee. Lahojuurisen ja -tyvisen puun elintoimintojen heikkenemisen ja mahdollisen kuoleman viimeistelyn tekee joko tuuli tai kaarnakuoriaiset. (Luonnonvarakeskus 2014 MetINFO - Metsien terveys, kuusen ja männyn tyvilahoisuus ja sen torjunta, kuusen tyvilaho)

Etelä-Suomeen kuuluu viisi maakuntaa: Etelä-Karjala, Kanta-Häme, Kymenlaakso, Päijät-Häme ja Uusimaa. Etelä-Suomi on jakautunut 62 kuntaan ja kaupunkiin. Kaupunkien ja kuntien lukumäärä maakunnittain: Etelä-Karjala 9, Kanta-Häme 11, Kymenlaakso 7, Päijät-Häme 9 ja Uusimaa 26. (Wikipedia 2017 Etelä-Suomen lääni; Wikipedia 2018 Itä-

Uudenmaan maakunta; Tilastokeskus Kunnat maakunnittain 2016; Tilastokeskus Kunnat maakunnittain 2017).

1.2 Tausta

Stora Ensolle oli ajankohtaista saada tietoa tyvilahon merkityksestä. Tuoreen ja hyvälaatuisen raaka-aineen saaminen on tärkeää metsäteollisuudelle. Tutkimuksen avulla kartoitetaan tyvilahon aiheuttamien alueellisten riskien painottumisen merkitystä Etelä-Suomen puunhankinta-alueella. Oikein suoritetuilla torjuntakeinoilla saadaan minimoitua riskit raaka-aineen laadun takaamiseksi.

2 Teoria

2.1 Kuusi (*Picea abies*)

Luonnonvarakeskuksen Ruoka- ja luonnonvaratilastojen e-vuosikirjan (2017) mukaan metsien kokonaistilavuudesta (lähes 2500 miljoonaa m³) kuusta on 30 %. Vuonna 2016 maksettu kantohinta on ollut keskimäärin 55,3 euroa kuusitukista ja 17,3 euroa kuusikuidusta kiintokuutiolta. Kuusitukin reaalihintaa jäi edeltävän 10 vuoden vertailujaksosta -3,7 %:n ja kuusikuidun -15 %:n tasolle. Hankintahinta oli 57,2 euroa kuusitukista ja kuusikuidusta 30 euroa kiintokuutiolta. Kuusitukin reaalihintaa aleni edeltävän 10 vuoden vertailujaksosta -1,1 % ja kuusikuidun -7,6 %. (Luonnonvarakeskus Ruoka- ja luonnonvaratilastojen e-vuosikirja 2017.)

Metsäteollisuuden käyttämä kuusitukin määrä 2016 oli 14,3 miljoonaa m³. Vuosina 1996-2013 kotimaisen kuusitukin käyttö on vaihdellut noin 9 ja 16 miljoonan kiintokuution välillä. Keskimäärin sitä käytettiin noin 13,5 miljoonaa kiintokuutiota vuodessa. Kotimaista kuusikuitua on käytetty vajaan 7 ja lähes 12 miljoonan kiintokuution välillä. Keskimäärin sitä käytettiin noin 9,4 miljoonaa kiintokuutiota vuodessa. Kummassakin tapauksessa alin taso saavutettiin vuonna 2009 ja ylin vuonna 2000. Metsäteollisuus käytti vuosien 1980 ja 2013 välisenä aikana keskimäärin noin 12,5 miljoonaa kiintokuutiota kuusitukia ja noin 9,9 miljoonaa kiintokuutiota kuusikuitua vuodessa. (Luonnonvarakeskus Ruoka- ja luonnonvaratilastojen e-vuosikirja 2017; Metsäntutkimuslaitos Metsätilastollinen vuosikirja 2014.)

Sarvaksen (2002) mukaan kuusen levinneisyysalue on hyvin laaja, mikä on havaittavissa myös kuva 1:n mukaan kartalla. Kuusia esiintyy esimerkiksi lähes kokonaan Pohjois-

Euroopan havumetsävyöhykkeellä ja suuressa osassa Länsi- ja Luoteis-Venäjää. Merkittäviä alueita, joilta kuusi puuttuu tai sen esiintyminen on hyvin vähäistä, sijaitsevat Norjan Bergenissä, Etelä-Ruotsissa (erityisesti Skånessa), merellisillä alueilla Länsi-Euroopassa ja Pohjois-Saksassa. Huomion arvoista on myös, että aivan pohjoisella metsän rajalla Norjassa ja Suomessa kuusi ei menesty. (Sarvas 2002).



Kuva 1 Kuusen (*Picea abies*) luontainen levinneisyysalue (Euforgen *Picea abies*, Norway spruce).

Esiintymisestä voidaan päätellä kuusen olevan jossain määrin mantereinen puulaji, olematta kuitenkaan sellainen todella mantereisilla alueilla. Kuusi kasvaa yleensä sekametsinä, tavallisimpia sekapuulajeja ovat haapa (*Populus tremula*), koivu (*Betula verrucosa* ja *B. pubescens*) ja mänty (*Pinus sylvestris*). Kuusi suosii verhopuustona edellä mainittuja pioneerilajeja, erityisesti täydellisten luonnontuhojen jälkeen. (Sarvas 2002.)

Alangon ja Lagerströmin (2006) ja Sarvaksen (2002) mukaan kuuset kasvavat mielellään alikasvoksena. Ajan kuluessa kuusi valtaa lopullisesti kasvualan. Alikasvoksena kasvamisen aiheuttaa se, että kuusi on nuorena hallanarka ja hidaskasvuinen. Kliimaksivaihe on useasti täysin kuusivaltainen. Kuusi kestää hyvin varjoa, mutta ei kuitenkaan siinä määrin, että se voitaisiin luokitella varsinaisiin varjopuulajeihin. Kuusi on melko vaateliias kasvualustan suhteen. Tarkemmin sanottuna se on sekä mesofyytti että eutrafentti. Kuusi harvenee itsestään melko huonosti, ja tästä syystä käsittelemättömissä kuusikoissa runko jää usein hoikaksi. Juuristo on kehittynyt melko pintamaahan, joten se ei kestä juurikaan pahoja myrskyjä. Kuusi ottaa ravinteensa ohuemmasta maakerroksesta kuin muut puulajit. (Sarvas 2002; Alanko & Lagerström 2006.)

Tjoelker ym. (2007) tutkimuksen mukaan Przybylski on kertonut kuoren olevan melko ohut ja suomuinen. Kuoren paksuutta tulee iän myötä lisää, ja kasvuun vaikuttaa myös kasvuympäristö. Sarvaksen (2002) mukaan kuori on vielä vanhetessaankin ohut ja vanhoilla

puilla kuoren on havaittu olevan myös levymäinen ja suomumainen. (Sarvas 2002; Tjoelker, Boratynski & Bugala 2007.)

Tjoelker ym. (2007) tutkimuksen mukaan Przybylski on kertonut, että kuuselta puuttuu pääjuuri. Juuret kasvavat sivusuunnassa ja ne ovat melko matalalla noin 40 cm:n syvyydessä. Puhtaassa metsikössä juuret sijaitsevat pääosin noin 10 cm:n syvyydessä ja sekapuumetsikössä 35 cm:n syvyydessä. Kalliokosken (2011) mukaan kuusen juuret kasvavat pinnallisemmin kuin koivun (*B. pendula*) tai männyn (*P. sylvestris*). (Kalliokoski 2011; Tjoelker, Boratynski & Bugala 2007.)

Kalelan (1961) mukaan kuusella ei kasva paalujuurta juuri koskaan. Pinnallisesti kasvava ja vaakasuora juuristo on tärkein juuriston osa. Kasvupaikan ja maaperän ei ole todettu vaikuttavan juuriston pinnallisuuteen. Pinnallisesti kasvava juuristo vaatinee hyvää ilmanvaihtoa. Olosuhteista johtuen liian syvälle kasvava juuristo kuolee, mutta sen tilalle muodostuu myöhäisjuuria. Myöhäisjuuret muodostuvat juurenniskan yläpuolelle ja mahdollistavat kuusen kasvamisen normaalisti. Mitä karumpi kasvupaikka, sitä suuremmalle alueelle juuristo levittäytyy. (Kalela 1961.)

Laineen (2013) mukaan kuuselle paras kasvupaikka on tuoreilla kankailla. Sen lisäksi se valtaa hoitamattomissa lehdossa maaperän hyvin nopeasti. Äärevät vesiolosuhteet eivät sovellu kuuselle, mutta se on siitäkin huolimatta korvissa valtapuuna. Kurkelan (1994) mukaan kuusen juuret voivat kestää keskitalvella jopa -15 – (-25) °C. Kuusi ei kestä juurikaan suolan vaikutuksia, joita saattaa esiintyä esimerkiksi teiden läheisyydessä. Otsoni, joskus kombinaationa rikkidioksidin kanssa, saattaa aiheuttaa kuivuudenkestävyysongelmia. (Kurkela 1994; Laine 2013.)

2.2 Lahottajat ja taudin aiheuttajat

Kasasen (2009) mukaan lahottajilla on iso rooli metsäekosysteemissä, koska ravinteiden kiertokulku helpottuu niiden ansiosta. Yleisimmin lahottajat ovat saprotrofeja, mutta ne voivat olla myös nektrotrofeja. Kotirannan ja Niemelän (1993) mukaan käävät ovat yleensä saprotrofeja. (Kasanen 2009; Kotiranta & Niemelä 1993.)

Kasasen (2009) mukaan orgaanisen aineen hajotessa vapautuu hiilidioksidia, ravinteita ja vettä. Tästä johtuen jotkut sienet pystyvät saamaan kaiken tarvittavan veden puusta. Liiallinen veden määrä ei ole kuitenkaan hyväksi, koska sen takia happea ei ole riittävästi saatavilla. Joidenkin teorioiden mukaan kosteus on lahoamisen tärkeimpiä estäviä tekijöitä.

Uotila ym. (2015) mukaan hapen puute voi vaikuttaa merkittävästi sienirihmaston kasvamiseen. Kuitenkin lähes jokaiseen kosteusolosuhteeseen on olemassa oma lahottajalaji, olettaen että happea on riittävästi saatavilla. (Kasanen 2009; Uotila, Kasanen, & Heliövaara 2015.)

Kasasen (2009) mukaan infektiosta aiheutunut haitta perustuu siihen, että kasvitauti aiheuttaa haitallisen poikkeaman normaalista fysiologisesta toiminnasta. Toiminnan heikentyessä esimerkiksi kasvu voi vähentyä, jälkeläisten tuottaminen vaikeutuu tai kasvi kuolee kokonaan. Bioottiset taudinaiheuttajat ovat mikrobeja, ja niitä löytyy useimpien eliöiden pinnalta tai solukon sisältä lukematon määrä. (Kasanen 2009.)

Uotila ym. (2015) ja Kasasen (2009) mukaan elävät solukot pystyvät puolustautumaan ja tunnistamaan vieraan eliön tunkeutumisen solukkoon tai vioittumisen. Puun solukkoon pääsemiseen vaaditaan mikrobeilta puolustusmekanismien läpäiseminen. Puilla on konstitutiivisiä puolustusmekanismeja. Lisäksi infektiot käynnistävät indusoituvia vasteita. Ainoastaan murto-osa mikrobeista pääsee puun kuoren, juuren epidermin tai lehtien pinnan läpi. Iäkkään ja järeän puun hidas kehittyminen asettaa suuret vaatimukset puolustusmekanismeille. Yksivuotisille kasveille tai kasvinosille, toimintakyvyn kestoksi riittää jopa muutama kuukausi. Puun runkoon päässeeseen haitallisen mikrobin pysäyttäminen voi vaatia jopa satoja vuosia, välttämättä ennen aikaisen kuoleman. (Kasanen 2009; Uotila, Kasanen & Heliövaara 2015.)

Puun ja juurien kuori toimii hyvänä suojana lahottajia sekä patogeenejä vastaan. Yleensä näkyvät vauriot riittävät lahon sisäänpääsyreitiksi, parhaiten pääsy onnistuu kun pintapuu paljastuu. Havu- ja lehtipuiden puolustusreaktiot ovat samanlaisia, lukuun ottamatta muutamaa yksityiskohtaa. Vaurion tullessa puu yrittää kyljestää syntyneen vauriokohdan. Arvioiden mukaan jopa 70 % kuoren läpäisevistä vaurioista aiheuttaisi runkoon lahoa. (Kasanen 2009; Uotila, Kasanen & Heliövaara 2015.)

Kasasen (2009) mukaan maaperä on monimutkaisempi ympäristö kuin ilma. Kasvi ja patogeenit joutuvat tekemisiin maaperässä lukuisten abioottisten sekä bioottisten tekijöiden kanssa. Patogeenipopulaatioon vaikuttavat kolme asiaa: maaperän rakenne, orgaanisten aineiden määrä ja ravinteikkuus. Patogeeneille on tärkeänä tekijänä samassa tilassa elävät juuriston mikrobiot ja mykorritsat. Maaperässä on todettu useiden asioiden vaikuttavan yhdessä ja toisiinsa. Tutkimukset osoittavat, että mikrobien aktiivisuus ennustaa patogeenien kehittymistä. Runsas mikrobitoiminta yleensä hidastaa patogeenien kehittymistä.

Nykytietämys on, että patogeenin soluseinämän erit tai yhdiste aktivoi tunnistusreaktion, joka herättää puolustusreaktion. (Kasanen 2009; Uotila, Kasanen & Heliövaara 2015.)

Kotirannan ym. (2009) mukaan lahottajat eivät ole kovinkaan tarkkoja ympäristövaatimuksistaan. Käävökkäitä ja jakokantaisia taksoneita on löydetty Suomesta 980 erilaista. Kurkelan (1994) mukaan puut altistuvat patogeeneille olosuhteiltaan epäedullisina kasvukausina. Juuristotaudit vaikeuttavat puiden veden ja ravinteiden ottoa, ja huono yhteyttämistulos voi aiheuttaa ongelmia taudinkestävyydessä. Yhteisenä tekijänä on olosuhteista aiheutunut stressi. Seurauksena tästä voi olla lakastuminen tai nopeasti tapahtuva kasvun pysähtyminen. Rungossa ja oksistossa saattaa aiheutua nesteen kulkeutumiseen liittyviä häiriöitä, jos patogeenit ovat vaurioittaneet niissä kulkevaa solukkoa. (Kotiranta, Saarenoksa & Kytövuori 2009; Kurkela 1994.)

Kurkelan (1994) mukaan rakentamisen jälkeen vesien kulkeminen saattaa olla muuttunut rakennetulla alueella. Aiemmin hyvin kasvanut puusto joutuu kärsimään kuivuudesta, erityisesti vanha puusto tarvitsee melko vakaatasoisen pohjaveden pinnan. Pohjaveden pintaa saattaa alentaa esimerkiksi kaupungeissa pintavesien ohjaaminen sadevesiviemäriin. Maanteitä rakentaessa valutussuunnat saattavat kärsiä: toisessa paikassa vettä on liikaa ja toisessa puut kärsivät kuivuudesta. Tiivisrakenteisilla mailla pitkään jatkuneet sateet aiheuttavat juurien hapen puutetta, josta on todettu koituvan herkkyyttä eri patogeeneille. (Kurkela 1994.)

Useasti bioottinen tekijä aiheuttaa infektion abioottisen tekijän heikentämään puuhun. Patogeeneille altistavana tekijänä toimii pääasiassa abioottiset tekijät. Mineraaliravinteiden epätasapaino kasvupaikassa altistaa useasti puun bioottisille patogeeneille. Tiedetyt patogeeniryhmät viihtyvät elinvoimaisissa isäntäkasveissa ja toiset, nektorofit, ympäristötekijöiden heikentämissä yksilöissä. (Kurkela 1994.)

Von Schoultzin (1980) mukaan mikrobeita esiintyy kaikkialla ja lukumääräisesti niitä on todella paljon, yleensä runsaimmin neutraalin happamuusasteen ympäristössä. Esimerkiksi grammassa metsämaata on 10^7 – 8^8 kappaletta bakteereja ja useita metrejä sienirihmastoja sekä lisäksi alkueläimiä ja leviä. Mikrobit ovat vallitsevin, dominoivin, eliöryhmä koko maapallolla. Mikro-organismeilla on monisoluisiin eliöiden massaansa verrattuna jopa 20-kertainen kokonaismassa. (Von Schoultz 1980.)

Mikrobit elävät pieninä eloyhteisöinä. Ekologiset olosuhteet voivat vaihdella eloyhteisöiden välillä suppeallakin alueella suurestikin. Eloyhteisöissä mikroilmasto on tasainen ja

mikrobeille suotuisa, lämpötilan kohoamisen saattaa havaita mikrobien aktivoitumisella. Hajotustoiminnan kannalta esimerkiksi hiilen ja typen välinen suhde on tärkeä, samoin yleinen ravinteiden saatavuus. Kevät ja syksy ovat parhaita aikoja; ravinteita on saatavilla runsaasti, kosteutta on riittävästi, kasvit eivät ole parhaassa kasvussa ja muita kilpailijoita on kyseisinä vuodenaikoina vähiten. (Von Schoultz 1980.)

Nevalaisen ja Liukkosen (1988) mukaan lahottajasienet näyttävät hyötyvän ilman epäpuhtauksien vuoksi heikentyneistä puista. Ainakin juurikäpää ja mesisienet hyötyvät vastaavanlaisista metsiköistä, mesisieni vielä selkeämmin. Suomessa kaupunkien keskimääräiset rikkidioksidipitoisuudet voivat vaurioittaa puita ja stimuloida juurikäpäsienen rihmaston kasvua. Saksassakaan mitatut rikkidioksidi- tai otsonipitoisuudet eivät estäneet sienien kehitystä. Luonnossa on mahdollista, että normaalisti vähemmän virulentit sienikannat pääsevät lisääntymään isäntäkasvin vaurioitumisesta johtuen. (Nevalainen & Liukkonen 1988.)

Rönnerbergin (1999) mukaan Ruotsissa 1996-1997 tehtyjen avohakkuiden jälkeen tehdyissä tyvilahotuskuksissa todettiin patogeenin leviävän tehokkaammin hakkuiden jälkeisten kantopintojen kautta kuin juurien kautta. Syynä lienee tehokkuudelle sopivampi kosteus. Joka tapauksessa vauriot olivat aiheutuneet hakkuukoneiden vaikutuksesta. Juurikäpää pääsee leviämään tuoreessa kantopinnassa vaihtelevan kosteuden ansiosta. Korkeasta kosteudesta johtuen aiheutuu hapenpuutetta ja juurikäpää pääsee poistamaan fenolisia aineita. Juurikäpää hyötyy poikkeavasta olosuhteesta ja siitä johtuen se voi hyödyntää ligniiniä. Paras paikka patogeenille on pinta- ja sydänpuun välinen alue. (Rönnerberg 1999.)

Jokisen (1983) mukaan lannoituksella on kasvattavaa vaikutusta mykorritsasienten frekvenssiin metsäolosuhteissa niukkaravinteisilla maaperillä. Mykorritsasienten frekvenssi pienenee hyvillä kasvupaikoilla lannoittaessa. Lannoituksesta voi aiheutua mykorritsojen määrän lisääntymisen lisäksi myös mykorritsatyyppien erilaistumista. Aiheutuneiden muutosten vaikutuksia ei tunneta puun resistenssin suhteen. Eri lähteiden mukaan on vaihtelua juurikäpäsienen tarvitsemasta ravinteiden lukumäärästä, mutta se asettuneen 15–20 välille. Normaaleissa olosuhteissa kasvavat puut tarvitsevat ainakin 16 eri ravinnettä. (Jokinen 1983.)

2.2.1 Käävät ja sienet

Niemelän (2005 ja 2016) mukaan käävät ovat muodostuneet kahdesta osasta. Itiöemästä ja sienirihmastosta. Kääpämäinen rakenne liittyy selviytymisstrategiaan. Kääpien

ominaisuuksiin kuuluvat yleensä tukevat itiömät, monivuotisuus ja itiöiden tuottavan rakenteen muodostuminen pilleistä. Ominaisuudet saattavat liittyä siihen, että useimmiten ne kasvavat puussa. Puussa kasvavan rihmaston on helpompi puolustaa selvärajaista tilaa, toisin kuin maassa kasvavilla mykorritsasienillä, jossa rajoja ei tunneta. Maaperässä kasvavien sienien itiöt on tuotettava nopeasti, koska kilpailutilanne muuttuu jatkuvasti. Käävät pystyvät investoimaan enemmän itiöemiinsä ja tästä johtuen ajoittaa itiöintimaksimin sopivaan hetkeen. Hyviä ajankohtia ovat esimerkiksi myöhäissyky, varhaiskevät tai sateiden jälkeiset poutajaksot. (Niemelä 2005, 2016.)

Kasanen (2009) mukaan sienet on luokiteltu mikrobiryhmäksi, joka on tärkein metsäpuiden patogeeni. Metsän sienitaudit eivät yleensä esiinny yksinään luonnossa, vaan ovat yksi tekijä metsätuhoissa. Esimerkiksi tuulisella säällä kaatuu tyvilahon heikentämää kuusikkoa. Kaatuneet puut houkuttelevat paikalle kaarnakuoriaisia, jotka toimivat vektoreina sinistäjäsenille. Tästä johtuen puiden tappaminen toteutuu yhteistyössä. (Kasanen 2009.)

Sienien kasvaminen koostuu kolmesta eri asiasta; happi, kosteus ja ravinteet. Useimmat sienet vaativat lämpötilan olevan reilusti $+0^{\circ}\text{C}$ yläpuolella, mutta poikkeaviakin lajeja on, jotka kykenevät kasvamaan aivan nollan tuntumassa. Kasvu on nopeinta $+15\text{--}25^{\circ}\text{C}$. Kosteus on infektion alkuvaiheessa suuressa roolissa, mutta sen jälkeen sienet selviävät puun oman kosteuden avulla. (Kasanen 2009.)

Sienillä ei ole kloroplasteja, ja ne voivat lisääntyä joko suvullisesti tai suvuttomasti. Kasvu tapahtuu yleensä haaroittuvana rihmastona. Metsäpatologian perinteisestä näkökulmasta sienet ovat puiden loisia, jonka vuoksi ne koetaan haitallisiksi. Sienien yksi tärkeimmistä tehtävistä on kasvisolukon tappaminen ja hajottaminen. Mikrosienistä useimmat kykenevät elämään symbioottisesti tai neutraalisti isäntäkasvinsa kanssa. Yhteistä kaikissa elämän muodoissa on, että sienien tarvitsee ensin aiheuttaa infektio. Edellä mainittu vaihe on sienien elinvaiheiden kannalta kaikkein kriittisin. (Kasanen 2009.)

Itiöiden itämisen, iturihman kasvattamisen ja isäntäkasvin solukkoon tunkeutumisen tulee tapahtua nopeasti, koska itiöt kykenevät selviämään elinkelpoisina vain rajallisen ajan. Infektio ei yleensä onnistu, ei edes sopivan isäntäkasvin pinnalle päätyvien itämiskykyisten itiöiden avulla, koska isäntäkasvilla on puolustusmekanismeja. Voidaan kuitenkin olettaa, että esimerkiksi yleisimpien lahottajasienten itiöitä esiintyy joka paikassa, koska niiden lukumäärä on todella suuri. (Kasanen 2009.)

Niemelä ym. (2012) ja Niemelän (2001) mukaan lahoaminen johtuu aina sienestä. Lahoaminen on hidas ja vuosia kestävä prosessi, jonka tulokset näkyvät vasta vuosien jälkeen. Puun lahoamiseen vaikuttaa myös sattuma, että toinen puu lahoaa, mutta toinen ei. Kasvupaikka ei suoraan vaikuta lahoamisen leviämismenoon, mutta voimakkaasti kasvava puu kykenee kyljestämään paremmin kuin kituva puu. Epäedulliset olosuhteet voivat aiheuttaa infektiokerkkyyttä. Hickinin (1963) mukaan tyvilahon pääasiallisena aiheuttajana toimivat sienet. Levinneisyys johtuu pääasiallisesti itiöiden vaikutuksesta. (Hickin 1963; Niemelä 2001; Niemelä, Terho & Kiema 2012.)

Von Schoultzin (1980) mukaan lahottajasienet ovat Suomessa biologisesti puun suurimmat tuholaiset. Kuuselan ja Heikkilän (1983) mukaan bakteerien lisäksi myös sienet ovat tärkeitä hajottajia. Sienet pystyvät omilla entsyymeillään hajottamaan hiilihydraatteja, rasvoja ja valkuaisaineita. Varsinainen lahoaminen alkaa lahottajasienien toimesta bakteerien ja homesientien esikäsiteltyä puuta. Hajotettavia hiilihydraatteja voivat olla esimerkiksi ligniini ja selluloosa, jotka ovat suurimolekyyllisiä ja vaikeasti hajoavia. Sieniä esiintyy metsämaassa ylimmissä osissa humuskerrosta. Sienet tulevat toimeen alhaisemmassa pH:ssa kuin muut mikrobit, useasti sienet jopa laskevat aineenvaihduntatuotteiden avulla pH:ta. (Von Schoultz 1980; Kuusela & Heikkilä 1983.)

Sienet voivat myös toimia karikkeiden hajottajina typpiravinteiltaan köyhemmissä olosuhteissa kuin bakteerit. Metsänhoidollisilla toimenpiteillä on todettu olevan vaikutusta mikrobimäärän kasvuun; kalkitus, lannoitus ja maanmuokkaus kombinaationa moninkertaistavat sen. Tuhkan on todettu lisäävän mikrobitoimintaa. Tarkemmin sanottuna tuhka kasvattaa typpivaroja, vaikka sisältönä ei ole lainkaan typpipitoista ainesta. (Von Schoultz 1980.)

2.2.2 Kuusenjuurikäpää (*Heterobasidion parviporum*)

Hartig (1878) oli ensimmäinen, joka kuvaili, kuinka juurikäpää infektoi puiden haavojen kautta. Se on myös myöhempi leviämistapa ympäröiviin puihin juuriyhteyksien kautta. Karsten (1880) työskenteli Suomessa ja havaitsi ensimmäisenä patogeenin pohjoismaisissa puissa, todeten sen olevan hyvin harvinainen. (Bendz-Hellgren 1997.)

Rennerfelt (1945) kertoi juurikäävän olevan yksi kuusen tärkeimmistä taudeista Ruotsissa, ollen kuitenkin sellainen ennen 1940-lukua. Ruotsissa Molin (1957) havaitsi ensimmäisenä, että patogeeni saattaa aiheuttaa tartunnan kuusen kannoissa ja leviää ilmaventeisenä vanhoista kannoista seuraavaan sukupolveen. Merkittävä edistysaskel oli

myös Korhosen (1978) havaitsema ero isäntäryhmissä, tästä johtuen patogeeni voitiin jakaa eri intersteriliteettiryhmiin. Meredith (1959) totesi itiötuotannon loppuvan kun lämpötila laskee alle 0 °C. Kallio (1979) huomasi Suomessa itiölaskeuman jatkuvan kolmen viikkoa kun lämpötila on laskenut alle 0 °C ja keskeytyneen itiötuotannon jatkuvan kolmen viikon päästä keskilämpötilan noustessa yli 0 °C. (Bendz-Hellgren 1997.)

Müller ym. (2018) mukaan *H. parviporum* on harvinainen, mutta sitä esiintyy koko kuusen levinneisyysalueella Keski- ja Pohjois-Suomessa. Pohjanmaalla ja Kainuussa *Heterobasidion* spp. ei ole kovin yleinen, vaikka tyvilaho on niillä alueilla melko yleinen ja erityisesti kuusissa esiintyy lahoisuutta. Useilla Pohjois-Suomen alueilla juurikäävän esiintyminen voidaan selittää maan orgaanisen kerroksen alhaisella pH:lla ja aikaisemmalla puunkorjuun historialla. (Müller, Henttonen, Penttilä, Kulju, Helo & Kaitera 2018.)

Niemelän (2005 ja 2016) mukaan pahimmat maannousematuhot ovat etelärannikolta Keski-Suomeen, vaikka levinneisyysalue ulottuuikin Lappiin. Säilyneissä vanhoissa metsäsaarekkeissa esimerkiksi Kotisten aarnialueella Lammin Evolla ja Vesijaon luonnonpuistossa Padasjoella patogeenejä ei ole todettu esiintyvän juurikaan, vaikka ympäröivissä alueissa sitä on todettu runsaastikin. Metsien hakkuilla näyttää siis olevan merkitystä patogeenien leviämiseen ja se aiheuttaa sitä enemmän vahinkoa mitä hyväkasvuisempi kuusimetsä on kyseessä. Kuusenjuurikäpä on monivuotinen patogeeni, joka muistuttaa männynjuurikäpää, mutta on rakenteeltaan hieman hennompi. (Niemelä 2005, 2016.)

Uotila ym. (2015) mukaan tyvilahoa esiintyy eniten alueilla, joissa on pisin metsänkätön historia. Toisin sanoen maan eteläosa, rannikkoseutu ja sisämaassa vesikulkureittien läheisyydessä olevat metsiköt. Kasanen (2009) mukaan kuusen juurikäpä on levinnyt kaikkialle, jossa metsiä on käytetty metsätalouden tarpeisiin. Juurikäävät ovat yleensä monivuotisia, mutta saattavat olla joskus yksivuotisia. Hakkuun yhteydessä metsään jääneet lumpit ovat hyvä kasvualusta itiöemille. (Kasanen 2009; Uotila, Kasanen.& Heliövaara 2015.)

Kurkelan (1994) mukaan juurikäpä on merkittävin kuusen tyvilahon aiheuttaja. Juurikäpä on polyfaaginen lahottaja ja sitä on tavattu yli 180 puu- tai kasvilajilla. Tärkeimpinä isäntäpuina ovat havupuut. Levinneisyys on tapahtunut maailmanlaajuisesti, ainoastaan pohjoisten havumetsien kylmimmät osat ja trooppiset alueet ovat säilyneet infektiolta. (Kurkela 1994.)

Pirin (2017) mukaan suurin osa itiöistä jää välittömään läheisyyteen, mutta marginaalisen osuuden on todettu leviävän jopa satojen kilometrien etäisyydelle alkuperäisestä paikasta. Uotila ym. (2015) mukaan ilman lämpötilan ollessa yli +5 °C itiöt kykenevät leviämään ja tartuttamaan tuoreita kantopintoja tai juuristovaurioisia puita. Ruotsissa tehtyjen tutkimusten mukaan juurikäävän rihmasto kykenee läpäistä kuorisolukon, erityisesti kun puu on kärsinyt kuivuudesta. Kasanen (2009) mukaan kylmän ja lumisen talven vaikutus juurikääpään on merkittävä. Lumi estää itiöiden leviämisen, vaikka lämpötila antaisi siihen mahdollisuudet. Pakkanen aiheuttaa itiötuotannon keskeytymisen. Juurikäävän leviämisen on epäilty johtuvan kahdesta asiasta; ilmastonmuutoksesta ja metsien käyttötavoista. (Kasanen 2009; Uotila, Kasanen & Heliövaara 2015; Piri 2017.)

Niemelän (2005 ja 2016) ja Salo ym. (2006) mukaan patogeeni ei yleensä tapa puuta kokonaan vaan se aiheuttaa sydänlahoa. Laho voi levitä korkealle puuhun. Patogeeni aiheuttaa elävien puiden juuriston pettämistä; yhteisvaikutuksena on tuulisella säällä kuusien kaatuminen ja runkojen murtumiset. Itiöemät syntyvät elävien puiden juurten alapinnoille tai useita vuosia maassa olleiden pölkkyjen alasivustoille. Suurimmillaan ne voivat olla useiden kämmenien kokoisia. Juurikäävät ovat sukua haperoille ja rouskuille. Se hyötyy muutamien muiden puiden lahosienien kanssa tasaikäisistä, -laatusista ja väljistä metsistä. Hyötyminen johtuu siitä, että sen kaltaisissa talousmetsissä eri kääpälajeja on hyvin vähän. (Niemelä 2005, 2016; Salo, Niemelä & Salo 2006.)

Kasanen (2009) mukaan juurikääpä täyttää käytännössä maalevinnäisen patogeenin tunnusmerkit. Siitäkin huolimatta, että se kolonisoi ainoastaan isäntäkasvin juuria, eikä menesty saprofyyttinä maaperässä. Myös Uotila ym. (2015) on maininnut, ettei sieni voi levitä maaperässä. (Kasanen 2009; Uotila, Kasanen.& Heliövaara 2015.)

Kasanen (2009) mukaan juurikääpä tutkimuksissa on jo 1960-luvun alussa saatu selville, että sienien etenemistä puussa edeltävänä tekijänä on reaktiovyöhykkeen muodostuminen. Reaktiovyöhyke pyrkii ilmeisesti rajoittamaan sienirihmaston leviämistä. Siihen kertyy usein esimerkiksi pihkaa. Soluseinämiä paksuneminen ja ligniinin kertyminen tehostavat reaktiovyöhykkeiden toimintaa. (Kasanen 2009.)

Von Schoultzin (1980) mukaan juurikääpä lisääntyy tehokkaasti, mutta leviäminen ei tapahdu kuitenkaan aivan esteettömästi. Metsämaassa on hyvin yleinen karikkeiden hajottaja, vaillinaissieniin kuuluva *Trichoderma viride*, joka on sille antagonistinen. Juurikäävän kasvun estäminen metsämaassa tapahtuu sen mykosidisilla aineenvaihduntatuotteilla. (Von Schoultz 1980.)

Pirin (2003) mukaan maanmuokkauksen vaikutusta patogeeniin on tutkittu melko vähän. Sen aikaisten tutkimusten mukaan on kuitenkin havaittu, että maanmuokkaus saattaa edistää patogeenin leviämistä. Stenlidin (1987) mukaan maanlämpötilalla on merkitystä samoin kuin pH:illakin; mitä korkeampi arvo, sitä suotuisimmat olosuhteet patogeenille. Mattilan ja Nuutisen (2007) mukaan maannousemaa esiintyy enemmän ojitetuilla turvekankailla kuin ojittamattomilla. Kivennäismaiden ojitus lisää juurikäävän aiheuttamaa vaurioita, koska juuristo kärsinee kuivuuden vaihteluista. (Mattila & Nuutinen 2007; Piri 2003; Stenlid 1987.)

Muun muassa Graberin (1994) ja Piri ym. (1990) mukaan sekapuuston käyttö patogeenin leviämiseen on ajateltu johtuvan pidemmistä etäisyyksistä herkästi altistuvien puulajien välillä. Kuitenkin osittain sen uskotaan johtuvan maaperän ominaisuuksista, koska monokulttuurisen ja polykulttuurisen metsiköiden maaperät eroavat toisistaan. (Piri, Korhonen. & Sairanen 1990; Graber 1994.)

Skellyn (1991) ja Yde-Andersenin (1977) mukaan kalkituksella ei ole suurta vaikutusta, mutta runsas kalsiumin käyttö nostaa riskiä saada infektio. Useiden tutkimusten mukaan typpellä lienee hieman parantava vaikutus infektion saaneilla mailla, mutta liialla käytöllä on negatiivisia vaikutuksia. Isomäen ja Kallion (1974) mukaan lannoitus tekee puusta nopeampikasvuista, joka aiheuttaa paksut vuosirenkaat, joten puu on pehmeämpää. Tällöin sieni kasvaa nopeammin. (Isomäki & Kallio 1974 ym.; Skelly 1991 ym.; Yde-Andersen 1977.)

Korhosen, Delatourin, Greigin ja Schönharin mukaan tämän lisäksi latvuksen koko kasvaa typen ansiosta, joten tuulituhot yleistyvät juurivaurioisissa metsissä. On hyvä kuitenkin miettiä, kompensoiko tuottavuus tuhoja. Yhteenvetona voidaan sanoa, että lannoitus ei itsessään lisää sienien riskiä ja se voi parantaa jopa puiden vastustuskykyä. Huomiota on kiinnitettävä jo tartunnan saaneissa metsissä, jos lannoitusta halutaan tehdä; tuulituhojen ynnä muiden vaikutus. (Woodward, Stenlid, Karjalainen & Hutterman 1998.)

Nevalaisen ja Liukkosen (1988) tutkimuksen mukaan ilmanpuhtauden vaikutus kohdistuu epäsuorasti maaperästä puihin. Vesitalous- ja/tai ravinneongelmiin vaikuttanee eniten typen määrän muutokset maaperässä, ravinteiden huuhtoutuminen ja raskasmetallit, erityisesti alumiini. Happamat sateet aiheuttanee metsämaassa alumiinin ja magnesiumin vapautumista, joiden ionien ylimäärä voi aiheuttaa hienojuurien tuhoutumista. Hienojuurten vaurioituminen aiheuttaa puiden herkkyyttä kuivumiselle ja helpottanee myös juuripatogeenien pääsyä juurisolukoihin. (Nevalainen & Liukkonen 1988.)

Laboratorio-olosuhteissa on testattu, että alhainen rikkidioksidipitoisuus stimuloi juurikäävän rihmaston kasvua, erityisesti kun altistus kestää yli viisi vuorokautta. Rikkidioksidille altistuneena juurikääpä ei pysty kuitenkaan puskuroida kasvualustansa happamuutta. Laboratorio-oloissa on saatu myös testattua, että alhaisetkin otsonipitoisuudet vähentävät juurikäävän kuromatuotantoa. Kantaitiöt ovat kuitenkin leviämisen kannalta tärkeämpiä kuin kuromat. (Nevalainen & Liukkonen 1988.)

Jokisen (1983) mukaan juurikääpä pystyy hyödyntämään typpilähteenä muun muassa erilaisia aminohappoja, ammoniumsuoloja ja nitraatteja. Fosforin ja kaliumin puuttumisen on osoitettu hidastavan erityisen paljon sienen kasvua. Muita merkittäviä aineita ovat kalsium, kupari, magnesium, rauta ja sinkki. Kuitenkin koboltin ja sinkin lisäämisen kasvualustaan on todettu voivan pysäyttää kokonaan sienen kasvun, tämä johtunee ilmeisesti herkkyydestä yhdisteiden myrkkyyvaikutuksille. (Jokinen 1983.)

Toisaalta fosfori, kalium ja typpi osoitettiin toisen tutkimuksen mukaan vähentäneen rihmaston kasvua. Ylisuuren typpilannoituksen on todettu aiheuttaneen kuitenkin eräässä kokeessa nilan heikentyneitä resistenttiä patogeeniä vastaan. Typeä pidetään näin ollen vaarallisimpana ravinteena. (Jokinen 1983.)

Nevalaisen ja Liukkosen (1988) mukaan terveiden juurten reagoiminen esimerkiksi juurikäävän infektiioon etenee seuraavalla tavalla: fenolipitoisuus nousee infektiokohdan välittömässä läheisyydessä ja useiden entsyymien sekä tärkkelyksen määrä vähenee. Infektion jälkeen muodostuu ajan myötä muuta puuainesta kuivempi reaktiovyöhyke, jossa fenolipitoisuus nousee lähes tervettä sydänpuuta vastaavalle pitoisuustasolle. Heikentyneiden puiden juuret saattavat olla alttiimpia juurikääpäinfektiolle kuin terveiden. Mäkelä ym. (1994) mukaan patogeeni leviää infektoituneista puista ja kannoista juuriyhteyksien avulla terveisiin puihin. Tästä johtuu laikuttainen esiintyminen metsikössä. (Mäkelä, Lipponen & Sainio 1994; Nevalainen & Liukkonen 1988.)

Pirin (2017 ja 2018) mukaan maannousema etenee kuusen rungossa noin 20 cm vuodessa ja yleensä leviäminen rajoittuu 3–6 metrin korkeudelle. Joskus laho voi nousta jopa 10–12 metrin korkeudelle runkoon. Bendz-Hellgrenin (1997) mukaan juurikäävän leviämistä mitattiin juurissa 1–3 vuoden iässä. Kantojen juurissa todettiin kasvua 25 cm vuodessa, vastaa noin 2,5–3 kertaa puiden juurissa olevaa kasvun määrää. Edellisellä maankäytön historialla ei todettu olevan merkitystä. Tyvissä luontaisella tavalla infektoituneen patogeenin kasvua todettiin 30 cm vuodessa. (Bendz-Hellgren 1997; Piri 2017, 2018.)

Rönnerbergin (1999) mukaan Rönnerbergin juurikäävän kasvu vaihtelee paljon tyvissä ja juurissa, mutta se on yleisesti noin 30–60 cm vuoden aikana. Juurikääpä voi esiintyä saprofyytinä jopa 60 vuoteen asti ja Kurkelan (1988) mukaan sen infektiokerkyys säilyy vuosikymmeniä. Vanhoilla viljelysalueilla on suurempi riski patogeenille verrattuna vanhoihin havupuu- tai lehtipuumetsiköihin. Syynä lienee antagonistien tai patogeeniä vastaan kilpailukykyisten sienien pieni määrä viljelysmailla. Patogeeniriski on suuri muun muassa hiekkamailla, orgaanisen aineen vähäisestä määrästä olevalla maaperällä, matalalla maaperällä, vaihtelevalla vesitasolla olevalla maaperällä ja jyrkänkeisellä maaperällä. Pirin (2016) mukaan juurikäävän on todettu leviävän myös turvemaidella. (Kurkela 1988; Piri, 2016; Rönnerberg 1999.)

Jokisen (1983) mukaan kuusen juurien on osoitettu lahoavan runkokuusta nopeammin, koska juurissa on enemmän tyypeä. Kalikonsentraation on todettu olevan korkeampi lahoissa puissa kuin terveissä. Korkean pitoisuuden selitettiin johtuvan todennäköisesti elävän sienirihmaston haihduntaa lisäävästä vaikutuksesta. (Jokinen 1983.)

Mangaanipitoisuuden on todettu nopeuttaneen lahoamisprosessia. Mangaanin puutteesta kärsivät puut erittävät pihkaa vähemmän kuin mangaanikylläiset. Pihkan on todettu vaikuttavan resistenttisesti sientä vastaan. Kalkitulla alueella sienen infektiotyhteyden on todettu olevan jopa kolminkertainen kalkitseemattomaan alueeseen verrattuna. Kalkitsemisella on vaikutusta myös itiöemien määrän lisääntymiseen. (Jokinen 1983.)

Pirin (2017) mukaan pitkälle edenneen lahon hyvänä tunnusmerkkinä on puussa olevaa lahoaluetta ympäröivä violetin värinen rengas. Juurikäävän aiheuttama laho kuusessa on esitetty Kari Korhosen kuva 2:n mukaan. Pitkälle edennyt laho aiheuttaa useasti muun muassa latvuksen harsuuntumista, rungossa pihkavuotoja ja tuulenkaatoja. Kääpiä voi löytää esimerkiksi tuulenkaatojen juurakoista tai metsässä olevista vanhoista lahoista kuusista. (Piri 2017.)



Kuva 2. Juurikäävän aiheuttama lahovaurio kuusessa (Luonnonvarakeskus MetINFO - Metsien terveys. Kuusen ja männyn lahovikaisuus ja sen torjunta, juurikäpä kuusella).

Uotila ym. (2015) mukaan maannouseman vaivaaman kuusen tunnusmerkkinä on yleensä harsuuntuminen ja tyvilaajentuma, mutta niitä ei voida pitää kovin luotettavana tunnistamistapana, koska ne ovat voineet aiheutua myös jostakin muusta taudista tai tuholaisesta. (Uotila, Kasanen & Heliövaara 2015.)

2.2.3 Mesisienet (*Armillaria* spp.)

Uotila ym. (2015) mukaan mesisienet ovat tyvilahoisten kuusikoiden pahimpia lahottajia juurikäävän jälkeen. Tartunta aiheuttaa yleensä runsasta pihkavuotoa, koska kuusen pintapuu kärsii lahovauriosta. Tartunnan saaneet puut ovat yleensä jollakin tavalla stressaantuneita, eikä tauti aiheuta lhomista kovin korkealle rungossa. Itiöt leviävät elosyyskuussa tuoreisiin kantopintoihin ja korjuuvauroista syntyneisiin kohtiin. (Uotila, Kasanen & Heliövaara 2015.)

Kasasen (2009) mukaan kantasieniin kuuluvat mesisienet aiheuttavat kasvitauteja ympäri maailmaa. Lajien välinen patogeenisuus vaihtelee hyvinkin paljon. Tällä hetkellä lajeja on jo yli 40, ja Suomessa esiintyy mäntymesisieni (*A. ostoyae*), nevamesisieni (*A. ectypa*), nuijamesieini (*A. cepistipes*) ja pohjanmesisieni (*A. borealis*). (Kasanen 2009.)

Rönnerbergin (1999) mukaan mesisientä on todettu esiintyvän kuusitaimikoissa, jotka on perustettu vanhoihin lehtipuumetsiin. Erityisesti kuivina kesinä patogeenin aiheuttamat infektiot juuriin korostuvat, koska on todettu kuusten kuolevan lähinnä vedenpuutteeseen. Monoterpeenien on todettu heikentävän rihmaston ja ritsomorfiin kasvua, sen sijaan juurissa olevat muutamat juurikäypään vaikuttavat aineet eivät tehoa mesisieniin. (Rönnerberg 1999.)

Kasasen (2009) mukaan mesisieni leviää lakista vapautuvien itiöiden avulla infektioiden kantoja ja vaurioituneita juuria. Ritsomorfit ovat kuitenkin tehokkain leviämistapa. Puiden juuristosta ja lahoavan materiaalin mikrobitoiminnasta syntyy yhdisteitä, joihin ritsomorfit reagoivat. Näitä ovat hiilidioksidi-, etikkahappo- ja etanolipitoisuus. Ritsomorfit kykenevät kasvamaan kärkiosassa ilman happea ja ravinteita. Lämpötila on kuitenkin merkittävässä osassa leviämistä, optimilämpötilan on todettu olevan 20 °C. Varjostuksen on todettu lisäävän puiden herkkyttä infektiolle. Mesisienet ovat opportunisteja patogeeneja, jotka hyödyntävät esimerkiksi hyönteisten tai kuivuuden heikentämiä puita. (Kasanen 2009.)

Foxin (2000) mukaan (Thermorhuizenin artikkeli) mesisieniä tavataan sekä kuolleista että elävistä puista. Patogeeni leviää 0,2–2,5 metriä vuodessa ja sen vaikutuksista seuraa tuulenkaatoja. Tietyissä maatyypeissä ja korkeissa lämpötiloissa mykorritsojen kilpailukyky saattaa estyä. Patogeeni voi levitä juuriyhteyksien kautta myös terveisiin puihin, jos juuristo on yhteydessä mesisienirihmatoon. Patogeeniä on tavattu useanlaisista metsistä, sekä viljelysmailta. Kun hapen ja hiilidioksidin konsentraatiot ovat alhaiset, vuosittainen vedentaso ylemmissä maaperän kerroksissa säätelee vertikaalista levinneisyyttä. Runsain ritsomorfiin esiintyminen on todettu noin 10–20 cm syvyydessä. Puut ovat alttiimpia infektiolle juurenniskassa tai sen välittömässä läheisyydessä olevista osista verrattuna syvemmillä tai kauempana oleviin juuriin. (Fox 2000.)

Kurkelan (1994), Hubertuksen ja Klingströmin (1976 & 1990) ja Kallion (1979) mukaan mesisienet voivat kasvaa juurikäävän kanssa samassa puussa lahottajina. Ritsomorfiin avulla on mahdollista siirtää ravinteita yli kymmenen metriä saprofyttisenä ravinteena toimivasta kannosta. Ligniini- ja selluloosapitoisuuksien on todettu lisäävän pituuskasvua, mutta vähentävän vastaavasti lukumäärää sekä haaroittumista. Suomesta on löydetty jopa yhden hehtaarin kokoisia mesisieniklooneja. Infektio tapahtuu juuristoon tai tyveen tulevien

vaurioiden vuoksi. Tyypillisin primääri-infektio tapahtuu ensiharvennuksen yhteydessä. Infektiot ovat runsaimmillaan happamassa hiekassa ja vähäisintä alkalisessa savessa. Turpeen on todettu olevan jopa niinkin haitallista mesisienelle, että ritsomorfit kuolevat. Puun rajalinjalle mesisieni muodostaa useasti tumman rajalinjan, jonka tehtävänä on muun muassa estää toisten sienien kasvua ja hidastaa veden haihtumista puusta. (Hubertus & Klingström 1976, 1990; Kallio 1979; Kurkela 1994.)

Mesisien aiheuttama lahovaurio kuusessa on esitetty Kari Korhosen ottaman kuva 3:n mukaan. Valokuvasta voidaan todeta lahon puun ja kovan puun rajautuvan jyrkästi. Luonnonvarakeskuksen (2013) mukaan rungon tyvi tulee lopputuloksena ontoksi. (Luonnonvarakeskus MetINFO - Metsien terveys. Kuusen ja männyn lahovikaisuus ja sen torjunta, muita kuusen lahottajia.)



Kuva 3. Mesisien aiheuttama lahovaurio kuusessa (Luonnonvarakeskus MetINFO - Metsien terveys. Kuusen ja männyn lahovikaisuus ja sen torjunta, muita kuusen lahottajia).

Kurkelan (1994) ja Jukkan (1988) mukaan lahovaurio voi nousta kuudessa kantoleikkauspinnan yläpuolelle. Mesisieni lahottaa puuntyveä aiheuttaen näin puutavaralajisiirtymää. Lahovika on haitallinen, koska se aiheuttaa kestävyysongelmia myrskyissä. Voimakasvuisten nuorten kuusikoiden on todettu olevan herkimpiä infektiolle. (Jukka 1988; Kurkela 1994.)

2.2.4 Männyjuurikäpää (*Heterobasidion annosum* s.s.)

Müller ym. (2018) mukaan *H. annosum* on suurelta osin poissa Keski- ja Pohjois-Suomen alueilta. Itiöitä oletetaan olevan vain vähäisiä määriä pohjoisen mäntymetsissä. Uotila ym. (2015) mukaan tyvitervastauti vaivaa männiköitä laikuttain erityisesti Kaakkois-Suomessa. Parhaiten itiöemän löytää repimällä kuolleen katajan maasta. Tyvitervastauti aiheuttaa harsuuntumista ja siitä kärsivät puut kaatuvat hyvin todennäköisesti lähivuosina. Taudin aiheuttamana juuristo lahoaa. Pihka-aineet yrittävät estää taudin leviämisen ja tästä johtuen puuaineeseen muodostuu tervalta tuoksuva tähtimäinen kuvio. (Müller, Henttonen, Penttilä, Kulju, Helo, & Kaitera 2018; Uotila, Kasanen & Heliövaara 2015.)

Niemelän (2005) mukaan männyjuurikäpää on monivuotinen sieni. Levinneisyys on keskittynyt Etelä- ja Järvi-Suomeen, mutta taloudellisessa merkityksessä vahingot ovat suurimmat Kaakkois-Suomessa ja Salpausselän harjumänniköissä. Levinneisyysalue ulottuu Vaasan-Kuopion alueelle. (Niemelä 2005.)

Pirin (2017) mukaan tyvitervas aiheuttaa tuhoja mäntyihin ikäkehityksestä tai koosta riippumatta. Erityisen vakava ongelma niillä kasvupaikoilla, joihin ainoastaan mänty soveltuu. Taudin tunnistaa latvuksen kuolemista, joka on ensin väriltä kellertävä ja se muuttuu ajan myötä puna-ruskeaksi. Ensimmäiset turvemaalla todetut tyvitervashavainnot tehtiin 2016. Niemelän (2005) mukaan patogeenia ei ole todettu rämeillä. (Mitä metsänomistaja voi tehdä juurikäpätuhojen torjumiseksi 2017; Niemelä 2005.)

Niemelän (2005) mukaan männyjuurikäpää aiheuttaa tyvitervasta; lahottaa juuristoa ja juurenniskaa. Tarkempi määritelmä lahotyypille on valkolaho. Patogeeni aiheuttaa puiden nopeaa pystyyn kuolemista, joka johtaa yllättäviin kaatumisiin ja metsän aukkoisuuteen. Isäntäpuuna on useimmiten mänty (*Pinus*), mutta sitä esiintyy myös muissa puulajeissa. Esimerkiksi Lipponen (1999) on korostanut männyjuurikäävän olevan moni-isäntäinen. (Lipponen 1999; Niemelä 2005.)

Rönnerbergin ym. (1997) mukaan juurikäpää (*Heterobasidion annosum*) on todettu esiintyvän lähes 150 lajilla. Se on jaettu kolmeen eri intersteriliteettiryhmään; F, P ja S. Niemelän ja Korhosen mukaan niitä pidetään nykyisin omina lajeinaan: F=pihdanjuurikäpää (*H. abietinum*), P=männynjuurikäpää (*H. annosum*) ja S=kuusenjuurikäpää (*H. parviporum*). (Rönnerberg, J. Vollbrecht, G. & Thomsen, A.M. 1997; Woodward, Stenlid, Karjalainen & Hutterman 1998.)

Kurkelan (1994) mukaan juurikäpäää pidetään patogeenisenä tilanteessa, jossa se infektoi runko- ja juurivaurioita. Leviäminen tapahtuu kantaitiöiden ja kuromien avulla. Kuromankannattimia muodostuu kostealla säällä tuoreisiin lahon puun leikkaus- ja murtopintoihin. Sieni muodostaa sileäpintaista konidioita rihmastoja kasvavissa kuromankannattimissa. Esimerkiksi kesähakkuiden aikana syntyy kuromien kehitykselle sopivia kantopintoja puiden ollessa sienien infektoimat. (Kurkela 1994.)

Itiöitä muodostuu ja leviää tuulen mukana koko sulan maan ajan. Esiintymisessä on havaittu selvä vuorokautinen jaksollisuus. Itiöitä muodostuu ja vapautuu eniten kun ilma on kostea, sekä mahdollisesti myös kun esiintyy kastetta. Lämpimän säätyypin vallitessa, kesähakkuut edistävät infektioiden leviämistä terveisiin metsiin, sekä lisäävät sitä sairaisissa metsissä. (Kurkela 1994.)

Jokisen (1988) mukaan lannoitus, erityisesti typpilannoitus, saattaa samanaikaisesti vaikuttaa patogeeniin sekä estävästi että edistävästi. Korjuuvauriot aiheuttavat useasti uloimpien solukerrosten erityisen pahaa vioittumista, josta aiheutuu, ettei suojaominaisuuksista ole apua. Juurikäävän kasvu riippuu edellä mainitussa tapauksessa muun muassa puun erittämän pihkan määrästä. (Jokinen 1988.)

Maan pH:n kohoamisesta on todettu olevan hyötyä juurikäävälle. Typpilannoitusta suurempi vaikutus leviämiseen voi tulla kalkituksella. Toisaalta joidenkin tulosten mukaan kalkitus lisäsi mäntyjen kestävyyttä juurikäpää vastaan, vaikka pH nousi kalkituksen seurauksena melkein juurikäävän kasvamiselle olevaa optimi pH:ta. (Jokinen 1988.)

2.2.5 Siperiankäpää (*Phellinus abietis*)

Niemelän (2016) mukaan siperiankäpää on vanhojen metsien tunnuslajeihin kuuluva monivuotinen sieni. Esiintyy koko maassa, mutta yleisenä ja metsätaloudellisesti merkittävänä lahottajana vain Pohjois- ja Itä-Suomessa. Isäntäpuuna on joko kuusi tai lehtikuusi. Itiöemiä esiintyy elävissä puissa oksantynkien kohdalla korkeallakin ja kuolleissa

rungoissa niitä kasvaa runsaasti. Se on valkolahottaja ja tunnusmerkkinä on punaruskeassa puussa riisiryyninkokoisia pehmeitä taskuja, jotka lopulta muuttuvat valkoisiksi. Lähimmät sukulaislajit ovat kuusenkäöpä (*P. chrysoloma*) ja männynkäöpä (*P. pini*). (Niemelä 2016.)

Niemelän mukaan pitkän aikaa kuusenkäöpää pidettiin yhtenä lajina, mutta se jakaantui kahdeksi erilliseksi lajiksi hiljattain. Lajien tarkentumisen vuoksi lähes kaikki kuusenkääväksi (*P. chrysoloma*) aikaisemmin Suomessa tunnistetut ovat siperiankääpiä (*P. laricis*). Kuusenkäöpää esiintyy lähinnä rannikkoseudulla ja yleisempänä Keski-Euroopassa kuin siperiankäöpää. Kuusenkäöpää on löytynyt harvakseltaan myös sisämaasta. Tomsofsky ym. (2010) mukaan lajit saatiin erotettua toisistaan molekyylibiologisin menetelmin. Tutkimuksessa käytetään nimiä kuusenkäöpä (*P. chrysoloma*) ja siperiankäöpä (*P. laricis*), mutta Niemelän työryhmä löysi vanhemman tieteellisen nimen siperiankäävälle. (Niemelä, sähköpostiviestinä, 14.12.2018; Tomsofsky, Sedlák & Jankovský 2010.)

Niemelän (2005 ja 2016) mukaan kuusenkäöpä saattaa olla yksi tai pari-kolme vuotinen, joka on vanhojen metsien tunnuslajeja. Uotila ym. (2015) mukaan se on monivuotinen aarnimetsien laji. Esiintyy elävissä puissa oksantynkien kohdalla ja kuolleissa rungoissa itiöemiä kasvaa runsaasti. Levinneisyys on harvalukuisena pitkin etelärannikkoa ja sisämaassa Mäntsälä-Sipoo korkeudelle. Alue saattaa ulottua Pohjanlahden rannikkoa myöten Ouluun asti. (Niemelä 2005, 2016; Uotila, Kasanen & Heliövaara 2015.)

Jukkan (1988) mukaan kuusenkäöpä on monivuotinen sieni, jota voi esiintyä niin lämpimissä olosuhteissa kuin pakkasellakin. Sieni lahottaa sydänpuuta ja aiheuttaa valkolahoihin kuuluvaa korroosiolahoa. Laho voi levitä latvukseen saakka. Puu on pitkälle lahonneena ruskea, johon on muodostunut riisiryynimäisiä valkeita laikkuja. Kuusenkäävän isäntäpuuna on kuusi, johon kuusenkäöpä leviää oksantynkien kautta korkeallekin. (Jukka 1988.)

2.2.6 Verinahakka (*Stereum sanguinolentum*)

Kurkelan (1994) mukaan verinahakka on sieni, joka kasvaa puiden pintaosissa. Verinahakka on ehkä toiseksi tai kolmanneksi yleisin Suomessa kasvavien havupuiden lahottaja, etenkin kuusen. Etelä-Suomessa verinahakka kuuluu tuoreiden kantopintojen yleisimpiin lahottajiin ja sen tiedetään olevan hyvin kilpailukykyinen muiden sienien kanssa. (Kurkela 1994.)

Verinahakka on aktiivisimmassa vaiheessa noin kahdentoista vuorokauden päästä tartunnasta. Rihmaston tunkeutuminen etenee yli 5 millimetriä vuorokaudessa. Puutavaraan leviäminen havaitaan noin kuuden vuorokauden päästä syntyneiden värimuutosten vuoksi.

Osittain värimuutokset johtuvat kuitenkin fenolisten aineiden hapettumisesta elävän mantopuun vauriokohdissa. Hapettumistuotteiden on arvioitu jopa rajoittavan sienien leviämistä puussa. Mantopuu kestää melko hyvin infektiota, mutta sydänpuussa leviäminen on hyvin nopeaa. Lahon eteneminen tapahtuu erittäin voimakkaasti rungon pituussuunnan myötäisesti, vuosiluston rajoja pitkin. (Kurkela 1994.)

Uotila ym. (2015) mukaan se on merkittävä vaurioituneiden pystypuiden lahottaja sekä Petterssonin ja Samuelssonin (1995) mukaan myös hakatun puutavaran pilaaja. Muun muassa Kurkelan (1994) ja Kallion (1979) mukaan yleisimpiä voittumisen syitä ovat muun muassa myrskyt, pakkanen, sekä lumi- ja korjuuvauriot. Verinahakka voi lahottaa kasvavien puiden lisäksi myös lehtipuita ja puutavaraa. Jokisen ja Laineen (1990) mukaan verinahakka etenee nopeasti tartunnan saaneessa rungossa, mutta pidemmällä aikavälillä se ei ole kuitenkaan yhtä vaarallinen kuin juurikäpää. Sen ei ole todettu elävän vuosikymmeniä juuristoissa, eikä se kykene aiheuttamaan tartuntoja uuteen puusukupolveen. (Jokinen & Laine 1990; Kallio 1979; Kurkela 1994; Pettersson & Samuelsson 1995; Uotila, Kasanen & Heliövaara 2015.)

2.3 Kuusen tyvilahon aiheuttamat laatuongelmat

Riihimäen (2012) mukaan Kymenlaakson tutkimusalueella todettiin vähiten lahokuusta kuusirungoissa Iitissä 2,3 % ja eniten Pyhtää-Loviisa alueella 10,3 %. Koko alueella todettiin lahoa 4,6 % ja sen todettiin olevan suurinta rannikon kunnissa. Tutkimus toteutettiin päätehakkuilta, joissa kuusi on selvästi vallitseva puulaji. Tutkimusalueen yhteispinta-ala oli 168,6 hehtaaria. Yhteensä tutkimusajankohtana hakattiin 74 kuviota, joista pienimmän kuvion hakattu puun kokonaismäärä oli noin 125 m³ ja suurimman noin 2300 m³. Yhteensä puun kokonaismäärä oli noin 53 000 m³, joista saatiin tutkimustulokseksi kuusen jakautuminen eri puutavaralajeihin. Apteeraus suoritettiin kuusesta tukiksi, pikkutukiksi, kuitupuuksi ja lahokuuseksi. (Riihimäki 2012.)

Alenin (2000) mukaan Etelä-Hämeen, Tammelan ja Forssan alueilla suoritetussa tutkimuksessa kuusisahatavaran saanto väheni 9,8 %. Vaihteluväli oli 1,2 %–38,6 %. Talvihakkuin suoritetuissa se väheni 5,9 % ja kesähakkuin 16,8 %. Leimikoiden keski-ikä oli 98 vuotta. Lahoisuudelle iällä ei ollut merkitystä. Tutkimus suoritettiin valitsemalla 50 kappaletta päätehakkuukuusikoita. Kallion ja Norokorven (1972) mukaan pohjoishämäläisellä avohakkuuna toteutetulta leimikolta todettiin lahovikaa kuusissa noin

28 %. Metsikkö oli noin 75-vuotiasta, maaperä oli kivistä hiesumoreenia ja metsätyyppi oli pääasiassa OMT (80 %), sekä osittain MT (20 %). (Alen 2000; Kallio & Norokorpi 1972.)

Kaarna-Vuorisen (2000) mukaan Kaakkois-Suomessa pätehakkuuvaiheessa olevissa, kokonaismäärästä vähintään 20 % kuusen tilavuus, leimikoissa keskimääräinen sulfaatti- ja ylilahon osuus oli 9,9 %. Kuusipuutavaran tilavuudella painotettuna 10,7 %. Suurin korjuulohkossa todettu lahoisuus oli Pernajassa (38,2 %) ja pienimillään (1 %) Valkealassa sekä Miehikkälässä. (Kaarna-Vuorinen 2000.)

Lahoisuuden noustessa tukkimittaisen lahon puutavaran osuus nousi ja samassa suhteessa kun kuusipuuston järeys väheni alkoi laho kuitupuu lisääntyä. Tukkipuun saannon menetys oli lähes samaa luokkaa kuin lahoprocenttikin mediaaniin asti. Lahoisuuden kasvaessa menetys jäi alle lahoprocentin. Tukkirungosta mitatun lahon puutavaran osuus oli puutavaran kokonaistilavuudesta noin 53,2 %. (Kaarna-Vuorinen 2000.)

Vehkalahti-Miehikkälä lahon osuus vaihteli 6–9 % välillä. Luumäki-Jaala todettiin vähälahoiseksi ja siellä lahoa esiintyi vain alle 5 %. Lahoisuuden todettiin nousevan iän myötä. Myös soilla havaittiin olevan lahoa enemmän mitä aikaisemmissa tutkimuksissa on saatu osoitettua. (Kaarna-Vuorinen 2000.)

Lahoisilla alueilla tehtiin useinmiten lahopuutavaralajeja lahon ollessa suuri läpimittaista. Vähälahoisilla apteerauksessa sen sijaan syntyi useinmiten vain lumppeja. Runsaan pätkimisen vuoksi lahoprocentti on voinut pienentyä todellisesta määrästä. Samalla lumppien teossa on ollut vaikutusta myös eri puutavaralajien apteeraukseen ja sen vuoksi saantoon sekä arvoon. Toisaalta, jos lumppeja ei ole haluttu tehdä lahon ollessa lyhyttä on tervettäkin puutavaraa voinut joutua lahopuutavaraan. Lumpin tekemisen jälkeen on voitu saada heti tukkia, jolloin arvon menetys on pieni. Toisaalta lumpin katkaisun jälkeen on voitu joutua katkaisemaan uusi lumppi tai sahata sulfaattipölkky. (Kaarna-Vuorinen 2000.)

Pasanen (1974) on saanut saman suuntaisia tuloksia pienellä aineistolla Vehkalahti-Luumäki alueelta. Kuusniemi (1991) on saanut Kotkan ja Pyhtään alueelta sekä Mäkelä (1990) tutkimusaluetta lännempänä olevien rannikkokuntien keskimääräisiksi lahoprocenteiksi suurempia arvoja. (Kaarna-Vuorinen 2000.)

Pirin (2018) mukaan Etelä-Suomen pätehakkuukuusikoissa lahopuun osuus voi olla jopa 20–40 % korjatun puuston kokonaismäärästä. Mäkelän, Lipposen ja Sainion (1998) mukaan tyvilahoa sisältävää kuusta havaittiin Etelä-Suomessa 4,0 % kaikesta hakatusta puutavarasta ja 6,9 % kuusesta. Tutkimuksen mukaan 1996 lahovikaista kuusta hakattiin alueelta yli 600

000 m³. Hakatun puun määrässä todettiin suurta vaihtelua mitatuilta 22 leimikoilta, vaihteluväliksi saatiin 3,3–29,8 %. Tutkittavalla alueella saatiin selvitettyä, että järeän lahovikaisen kuusen osuus eteläsuomalaisen sellutehtaan luontaisessa raaka-ainevirrassa on noin 17 %. (Granens rotträta orsakar stora förluster för skogsbruket; Mäkelä, Lipponen & Sainio 1998.)

Tutkimuksessa selvitettiin soveltuuko lahovikainen puu sulfaattisellun valmistukseen. Menetelmää varten hankittiin eriasteisesti tyvilahosta kärsineitä kuusipölkkyjä, joista suurimmassa osassa patogeeninä oli juurikäpää. Kaikki tyvilahon vaivaamat pölkkyt pystyttiin käsittelemään tehdasmittaisessa kuorinta- ja haketusprosessissa. Kuorinnan puuhukassa tai saadun hakkeen palakokojakaumassa ei huomattu poikkeavuutta verrattuna terveeseen puuhun. (Mäkelä, Lipponen & Sainio 1998.)

Lahon vaikutus näkyi selvästi ja systemaattisesti vasta luokassa, joka sisälsi eniten lahoa. Sulfaattikeitossa havaittiin eniten pehmeää lahoa sisältäneen kuusen keittyminen hitaimmin. Käytännön tilanteessa huomattiin pölkkyjen seassa olevien terveiden pölkkyjen aiheuttavat sen, että lopputuloksesta lahoisuus ei ilmene selvästi laadussa tai prosessoitavuudessa. (Mäkelä, Lipponen & Sainio 1998.)

Tammisen (1985) mukaan kuusenrunkotilavuudella painotettu tyvilahofrekvenssi oli avohakkuuaineistossa 18,5 % ja VMI-aineistossa 8,6 %. Sahapuun saanto aleni leimikkoaineistossa keskimäärin 8,5 %. Tyvilahokuusten huomattiin kasvaneen huomommin kuin terveet yksilöt, ero huomattiin ainakin runkomuodossa. (Tamminen 1985.)

Tuimalan (1979) mukaan Etelä-Hämeessä ja Uudellamaalla suoritetussa tutkimuksessa puutavaralajisiirtymää yrityksellä I tapahtui kuusitukista alempiarvoiseen puutavaralajiin keskimäärin 36,7 m³ leimikkoa kohti. Siirtymä oli lähinnä mäntykuitupuuhun, kuusikuitupuuhun siirtyi ainoastaan 1,8m³. Leimikon pystymittatuloksen ollessa 627,4 m³ kuusitukia, tilavuudella painotetun puutavaralajisiirtymäksi saatiin 5,84 % kuusitukin tilavuudesta. Yrityksellä II keskimääräinen siirtymä oli 21,2 m³ kuusitukista mäntykuitupuuksi. Leimikon pystymittatuloksen ollessa keskimäärin 194,8 m³ tilavuudella painotettu tavaralajisiirtymä oli 10,87 % kuusitukien pystymittatusta tilavuudesta. (Tuimala 1979.)

Tutkimuksessa havaittiin erään tuhoalueen puulajisiirtymässä olleen isoja muutoksia, 20 m³ kuusikuitua oli siirtynyt mäntykuitupuuksi. Leimikossa 39,5 % kuusitukista siirtyi mäntykuitupuuhun ja kuusikuitupuuhun 38,5 %. Suureen siirtyvyyteen vaikutti

tasaikäisyys, koska osa puista on mitä ilmeisimmin kasvanut vallittuna ja tästä johtuen ei ole saavuttanut tukkipuun mittoja. Toiselta yksittäin mainitulta leimikolta keskimääräinen tilavuudella painotettu siirtymä oli 3,5 % kuitupuurunkojen tilavuudesta ja koko kuusen kuitupuu tilavuudesta 2 %, sen lisäksi ilmoitettiin leimikkokohtaisten siirtymien aritmeettisen keskiarvon olleen 4,9 %. Yhteensä alueilla tapahtui kahdeksalla leimikolla tavaralajisiirtymää. (Tuimala 1979.)

Menetelmä oli periaatteessa samanlainen mittaustapa kuin Kallio ym. (1972 ja 1974). Sen aikaisilla kauppamenetelmillä leimikolla olevista puista tehtiin ensin pystymittaus ja lopullinen mittaustodistus oli samanlainen, jos tavaralajivaihtelua ei tapahtunut. Tavaralajimuutosta tapahtuessa tyveyksien vuoksi, mittaustodistukseen kirjattiin tässä menetelmässä oikaisu, josta ilmeni todellinen kuutiotilavuus. Välittömät kantohintamenetykset voitiin laskea toteutuneiden tilavuuksien ja yksikkökantohintojen avulla. Lahosta aiheutuneet muutokset nykyisten puutavaralajien tilavuuksissa saatiin PMP- eli pystymittatulosteesta olevista mittaustodistuksen kuusipuutavaralajien tilavuuksista. (Kallio 1972; Kallio & Norokorpi 1972; Kallio & Tamminen 1974; Tuimala 1979.)

Aineistona käytössä oli PMP-tulosteesta yhden leimikon kuutiomäärä, mittaustodistuksen mukaisia puutavaralajien tilavuuksia sekä kuusitukin, kuusikuitupuun ja mäntykuitupuun välisiä kantohintaeroja. Tiedustelu koski ainoastaan piiri- tai hankinta-alueella pystykaupalla ostettuja järeää kuusta sisältäviä leimikoita tutkittavana ajankohtana. Aineiston leimikot olivat keski-ikältään 81–120 vuotiaita kuusivaltaisia sekametsiä. (Tuimala 1979.)

Kohteiden kasvupaikat olivat tuoretta kangasta ja korpea. Pystymittatulosten mukaan leimikoissa oli kuusta hieman yli 16 000 m³, puuston kokonaismäärä reilut 23 000 m³. Määrästä kuusitukkia oli vajaa 12 500 m³. Kuusitukkirunkojen keskitilavuus oli yhteensä lähes 1300 dm³, josta tukkiosuutta lähes 1100 dm³. (Tuimala 1979.)

Etelä-Hämeen ja Uudenmaan tutkimusalueesta saatuja tietoja kerättiin kahden eri yrityksen avulla 36 leimikolta, josta tutkittavaksi otettiin 26 avohakkuuleimikkoa. Tutkimusalueeseen kuului 14 kaupunkia tai kuntaa: Espoo, Hausjärvi, Hyvinkää, Hämeenlinna, Kirkkonummi, Lammi (nykyisin Hämeenlinna), Lohja, Loppi, Nummela, Nurmijärvi, Orimattila, Siuntio, Tenhola (nykyisin Raasepori) ja Tuusula. (Tuimala 1979.)

Isomäen ja Kallion (1974) mukaan juurivaurioiden kautta levinneen patogeenin on todettu selkeästi vähentäneen pituuskasvua. Sen lisäksi vaikutusta on myös paksuuskasvuun.

Kallion (1979) ja Kallion ja Tammisen (1974) mukaan lahojen puiden kapeneminen johtuu siitä, että paksuuskasvu keskittyy enemmän tyvelle patogeenin saastuttamissa puissa kuin terveissä. Muun muassa Kallion ja Norokorven (1972) mukaan lahon tilavuuden on todettu olevan sitä suurempi mitä pehmeämpää laho on. Pirin (2003) mukaan Länsi-Suomessa 22–23 -vuotiaiden kuusten näkyvää lahoa mitattiin 170–350 cm. (Isomäki & Kallio 1974; Kallio 1979; Kallio & Norokorpi 1972; Kallio & Tamminen 1974; Piri 2003.)

Bendz-Hellgrenin (1997) mukaan viisivuotisen kokeen kuusten läpimitassa menetettiin lahon vuoksi keskimäärin 8–10 %. Ensimmäisen tutkimusalueen menetys oli 23 % ja toisella alueella ei aiheutunut lainkaan menetyksiä. Aineisto oli koottu läpimitan menetystä koskien Ruotsin valtakunnallisen metsän inventoinnin aineiston mukaan. Volyymien menetys saatiin kahdelta eri koealueelta. (Bendz-Hellgren 1997.)

2.4 Kuusen tyvilahosta aiheutuva taloudellinen merkitys

Mäkelän, Lipposen ja Sainion (1998) mukaan lahovikaiselle puulle on aiheellista määrittää tervettä matalampi arvo, koska laho alentaa koko sellutuotannon laatutasoa. Laatu heikkenee, koska puun tiheys on tervettä puuta pienempi ja lisää tästä johtuen puun kulutusta sellutonnin kohden. Samoin kemikaalien kuluttaminen lisääntyy sekä keitossa että valkaisussa. Arvon alenemiseen vaikuttaa myös se, että huippulujuuksia vaativiin sellulaatuihin lahovikaista raaka-ainetta ei voida käyttää. Muun muassa Prattin ja Greigin (1988) sekä Kallion (1979) ja Kallion ja Tammisen (1974) mukaan laho aiheuttaa välillisiä tappioita johtuen erilaisesta runkomuodosta, kasvun heikkenemisestä ja kiertoajan lyhenemisestä. (Kallio 1979; Kallio & Tamminen 1974; Mäkelä, Lipponen & Sainio 1998; Pratt & Greig 1988; Tamminen 1985.)

Piri ym. (2017) mukaan Etelä-Suomen päätehakkukuusikoissa 10 % lahoa kokonaismäärästä aiheuttaa noin 800 euron tappion, 20 % lahoa 2000 euroa ja 40 % lahoa 4000 euroa. Mäkelän, Lipposen ja Sainion (1998) mukaan vuonna 1998 Etelä- ja Länsi-Suomessa keskimäärin joka kuudes päätehakkuiäinen kuusi on lahovikainen, itäisellä Uudellamaalla ja Ahvenanmaalla paikoitellen joka kolmas. On odotettavissa, että lahon puun määrä tulee vielä lisääntymään lähivuosisikymmenien aikana, sillä valtaosa järeän kuusen tyvilahosta eteläisen Suomen talousmetsissä on kesähakkuiden seurauksena leviävän juurikäävän aiheuttamaa. Tutkimuksen aikaan tyvilahon aiheuttama taloudellinen menetys on ollut huomattava. (Piri, Selander & Hantula 2017; Mäkelä, Lipponen, & Sainio 1998.)

Kaarna-Vuorisen (2000) mukaan tukkipuun arvo aleni noin 7,2 %. Suurimmillaan arvonmenetystä todettiin 27,1 % ja pienimmillään 0,8 %. Mediaani oli 5,9 %. Lahoisuus nousi samassa suhteessa kuin arvonmenetykskin. Kuusipuutavaran kokonaismyyntiarvon menetys oli noin 7,4 %. Suurimmillaan menetys oli 32,2 % ja pienimmillään 0,7 %. Mediaani oli 5,7%. (Kaarna-Vuorinen 2000.)

Vähälahoisilla alueilla tukkipuun saannonmenetys oli lähes yhtä suuri kuin lahoprocentti. Lahoisimmissa leimikoissa tukkipuun saannonmenetys ja arvonmenetys vähenivät suhteellisesti, koska tukkipuukertymä oli pienempi ja kuitupuumittaista puuta kertyi sitä vastoin enemmän. Tästä johtuen kokonaismenetykset olivat vain hieman isommat lahoisimmilla alueilla kuin vähemmän lahoilla. (Kaarna-Vuorinen 2000.)

Tammisen (1985) mukaan kuusenkantoarvo aleni 2,9–4,8 % puutavaralajien hintasuhteista riippuen. Tuimalan (1979) mukaan kahden eri yrityksen suorittamilla hakkuilla 1977–78 havaittiin kuusitukin määrän vähentyneen 5,84 % ja 10,87 % painotettuna tilavuuteen. Yritysten ilmoittamien hakkuuvuoden keskikantohintojen mukaisilla hintasuhteilla laskettuna taloudellinen menetys oli lahon vuoksi 2,87 % ja 5,75 %. Hehtaarikohtaisesti pahin menetys tapahtui 4,7 hehtaarin alalla, jossa kuusitukin määrä väheni lahon vuoksi 39,5 %. (Tamminen 1985; Tuimala 1979.)

Tuimalan (1979) mukaan Kallio ja Pasanen (1974) ovat todenneet, että tavaralajisiirtymisistä aiheutuneita tappioita alettiin tutkia Etelä-Suomessa vasta 1970-luvulla. Saman ajankohdan ovat maininneet tutkimuksissaan myös Kallio ja Tamminen (1974) sekä Kallio (1972). Hyppösen ja Norokorven (1979) mukaan Tikka (1934, 1938 ja 1947) on tehnyt tutkimuksia Pohjois-Suomessa jo 1930-luvulta alkaen. (Hyppönen & Norokorpi 1979; Kallio 1972; Kallio & Tamminen 1974; Tuimala 1979.)

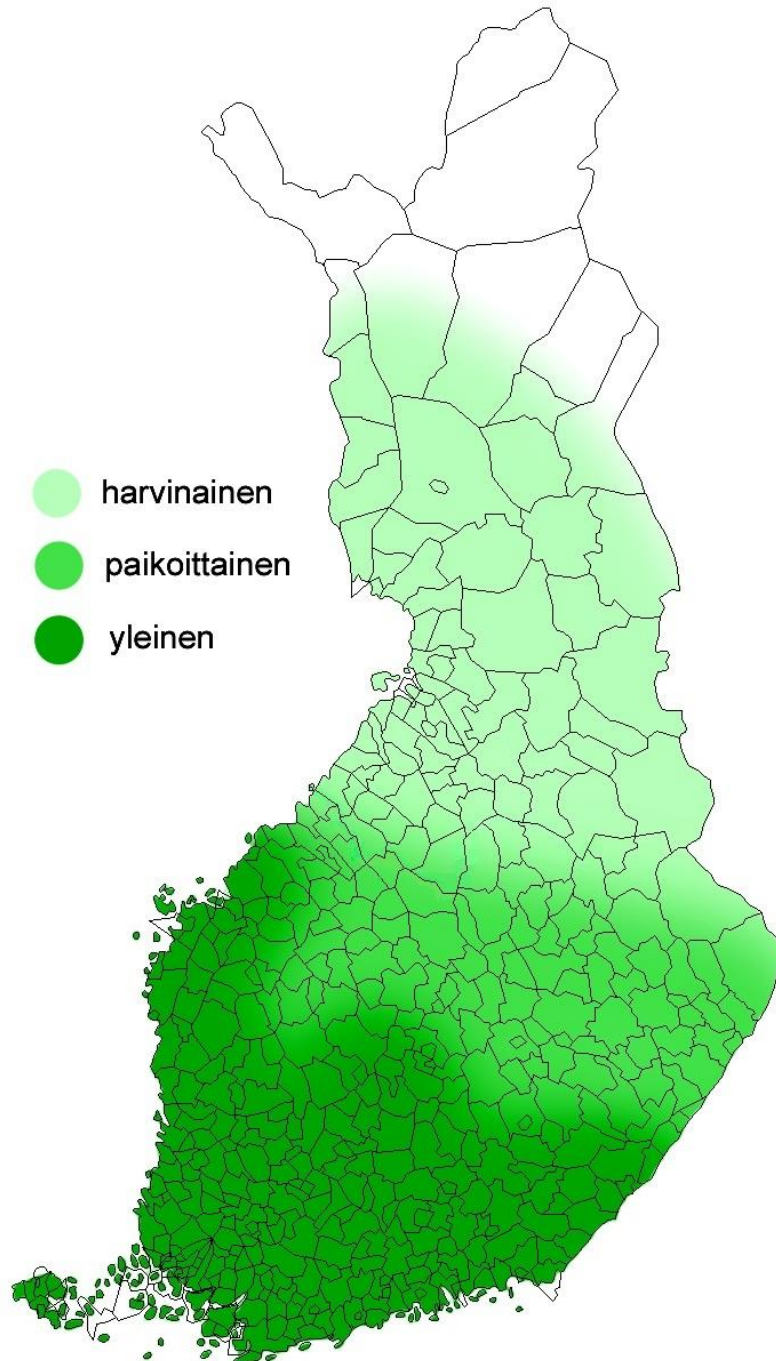
2.5 Kuusen tyvilahon levinneisyys

Kaarna-Vuorisen (2000) mukaan lahoisuus todettiin yleisimmäksi rannikolla, jossa sitä havaittiin olevan erityisesti sen länsiosassa. Pohjoiseen ja itään se väheni. Lahoisuuden vaihtelu oli suurimmillaan tutkimusalueen keskiosissa ja pienempää tapahtui rannikolla ja länsiosissa. Pohjoisosissa vaihtelua ei tapahtunut kuin vähäisessä määrin. Orimattila-Miehikkälä alueella lahoisuuden todettiin vaihtelevan huomattavasti. (Kaarna-Vuorinen 2000.)

Kivisellä maalla lahoprocentin keskiarvo oli suurempi (14 %) kuin vähäkivisemmillä (9,5 %). Lehtomaisilla kankailla todettiin olevan muita kasvupaikkoja enemmän lahoa. Käsittelytavoillakin oli vaikutusta. Lannoitetuilla lohkoilla todettiin lahoa 7,8 % ja lannoittamattomilla 9,2 %. Lannoitetut lohkot ovat olleet mitä ilmeisimmin esimerkiksi terveyden tilaltaan hyvin elinvoimaisia. Voimalinjan välittömässä läheisyydessä lahoa oli 14,7 % ja niiden vaikutusalueen ulkopuolella 9,6 %. Erilaisten maalajien ja kasvupaikkojen lahon osuuden yhtäsuuruuden testaaminen yksisuuntaisella varianssianalyysillä osoitti, ettei niissä ollut eroja 0,05 merkitsevyystasolla. Ojituksella tai metsäautoteiden rakentamisella ei todettu myöskään olevan vaikutusta. (Kaarna-Vuorinen 2000.)

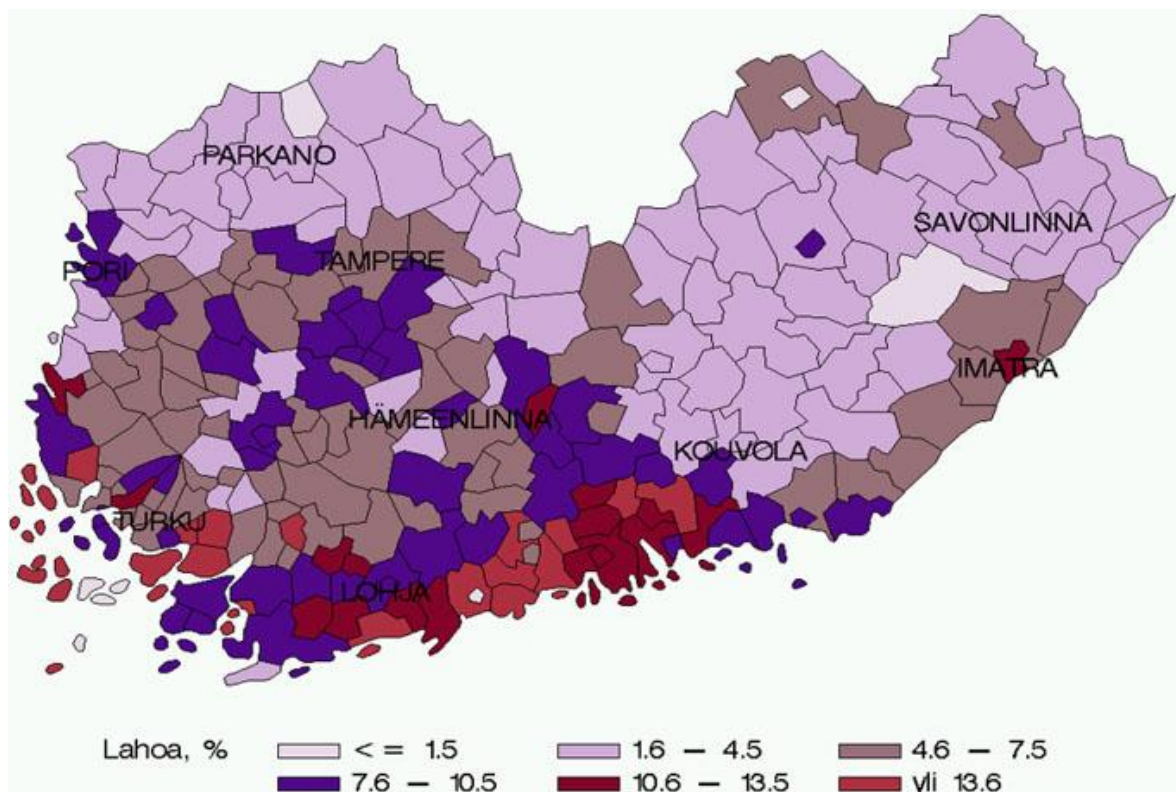
Mäkelän, Lipposen ja Sainion (1998) mukaan tutkimuksen aikaan suhteellisesti eniten lahoa havaittiin etelärannikolla ja vähiten Savossa kun lahon osuus huomioitiin vain kuusipuutavarasta. Metsätoimihenkilöille kohdennetun haastattelun tulokset kertoivat tyvilahon vaivaavan Länsi-Suomessa erityisesti kliimaksissa olevissa kuusikoissa. (Mäkelä, Lipponen & Sainio 1998.)

Luonnonvarakeskuksen kartassa kuva 4:n mukaan kuusen juurikäpä on todettu hyvin yleiseksi melko tarkasti koko Pohjanmaan ja Etelä-Karjalan välisen alueen eteläisellä puolella. Paikoittaisena sitä esiintyy jotakuinkin Keski-Pohjanmaan, Etelä-Savon ja Pohjois-Karjalan pohjoisosien korkeudelle asti. Harvinaisena sitä on todettu Kittilään asti pohjoisessa.



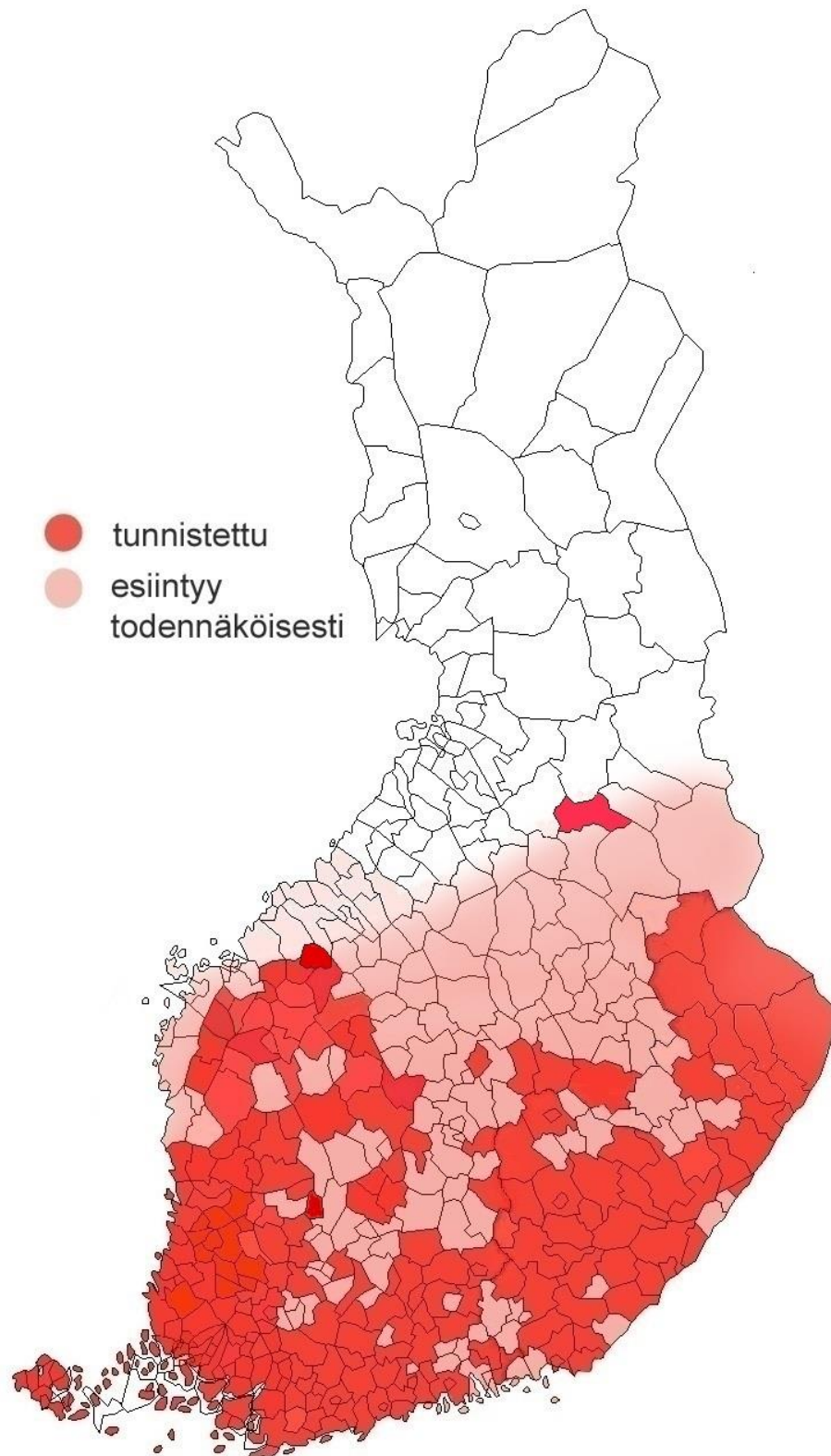
Kuva 4 Kuusenuurikäävän (*Heterobasidion parviporum*) levinneisyys 2017 (Piri, sähköpostiviestinä, 5.12.2018).

Kuusen tyvilahoisuus kuva 5:n mukaan on yleisintä rannikolla ja sitä on todettu Pori-Kouvola-Tampere-Imatra eteläisellä puolella lähes poikkeuksetta vähintään 4,6 %. Metsäntutkimuslaitoksen tulos on saatu korjatusta kuusipuusta, joten se perustuu hakkuukoneilta ja tehtaiden vastaanotosta kerättyyn aineistoon. Mukaan ei ole otettu teollisuudelle kelpaamatonta, mutta energiakäyttöön soveltuvaa hylkypuuta. (Luonnonvarakeskus 2014 MetINFO – Metsien terveys, kuusen ja männyn lahovikaisuus ja sen torjunta, kuusen tyvilaho.)



Kuva 5 Mäkelän ja Lipposen (1998) mukaan tyvilahoa sisältävän kuusen osuus Etelä-Suomessa. Maanmittauslaitos, lupa nro 6/MYY/06. (Luonnonvarakeskus 2014 MetINFO - Metsien terveys, kuusen ja männyn lahovikaisuus ja sen torjunta, kuusen tyvilaho.)

Luonnonvarakeskuksen kartan kuva 6:n mukaan männynjuurikäpää on todettu lähes Oulun korkeudella asti. Riskialueeseen kuuluu Eteläinen ja Keskinen Suomi.



Kuva 6 Männynjuurikäävän (*Heterobasidion annosum* s.s.) levinneisyys 2017 (Piri, sähköpostiviestinä, 5.12.2018).

Yli 70 % vastanneista kertoi patogeenin vaivaavan sekametsissä enemmän kuusi-mänty- kuin kuusi-koivu- tai kuusi-koivu-mäntysekametsissä. Havaintoa selittänee ainakin osittain se, että juurikäävän leviämismahdollisuuksia lisäävä kesäaikainen puunkorjuu on todennäköisesti ollut maaston kantavuudesta johtuen kuusi-mäntysekametsissä yleisempää kuin kosteammilla kasvupaikoilla kasvavissa sekametsissä. Ajoittainen kuivuus voi myös altistaa kuusia tyvilaholle kuusimäntysekametsissä kuivahkoilla kasvupaikoilla. (Mäkelä, Lipponen & Sainio 1998.)

Turvemailla ja istutusmetsiköissä tyvilahoa on metsätoimihenkilöiden vastausten (yli 80 %) perusteella vähemmän kuin havaintoalueella keskimäärin. Tyvilahoa näyttää toistaiseksi esiintyvän Länsi-Suomessa vähän myös entisillä pelloilla, vaikka niillä juurikäävän leviämiskäynnin on todettu suureksi esimerkiksi Ruotsissa. Metsikön sisällä tyvilahovikaiset kuuset löytyvät varmin rinteiltä (80 % vastauksista), erityisesti pohjoisrinteiltä. Tiiviillä hiesu-savimailla tyvilahopesäkkeet ovat havaintojen mukaan yleisempiä notkelmissa kuin rinteillä tai mäkien päällä. (Mäkelä, Lipponen & Sainio 1998.)

Norjassa juuri- ja tyvilaho vaivaavat rannikolta puurajalle asti. Norjan metsäntutkimuslaitoksen kanssa yhteistyönä 5000 metsänomistajaa laski uudistushakkuilta tyvilahon merkityksen. Tulos oli, että tyvilahoa löytyi 27,8 % ja dominoivin patogeeni oli juurikääpä. (White rot fungi in living Norway spruce trees at high elevation in southern Norway with notes on gross characteristics of the rot.)

Skogsstyrelsenin mukaan Ruotsissa juurilaho vaivaa koko maassa. Arvioiden mukaan noin 10 % puista on juurilahon vaivaamia. Juurilahon suosimaa aluetta on erityisesti Etelä-Ruotsissa. Alue ulottuu Itämeren, Hallandin ja Skånen rannikolla Storsjön ympäri Jämtlannissa. Samansuuntaisen tuloksen on saanut Johansson (2000); keskimäärin 8 % kuusista oli viallisia. Suunnilleen pohjoiselta Götanmaalta ylös Norlannin rajalle on todettu 9,7 % koepuuna olleista kuusista olleen viallisia. Vähiten tutkimuksessa esiintyi viallisuutta, 6,3 %, Värmlannin-, Taalainmaan- ja Gävleborgin lääneissä. (Johansson 2000; Rotröta.)

Tammisen (1985) mukaan tyvilahon määrä arvioitiin 1974–1982 146:n kuusivaltaisen avohakkuuleimikon ja VMI7 kuusikoepuiden mukaan. Leimikot sijaitsivat Helsingin, Lounais-Suomen, Satakunnan, Uudenmaan-Hämeen, Pirkka-Hämeen, Itä-Hämeen ja Vaasan piirimetsälautakuntien alueilla. Tyvilaho oli yleisintä tutkimusalueen eteläosien vanhoissa kuusikoissa.

Tuimalan (1979) mukaan lahoisuuden todettiin olevan runsaampaa tutkimusalueen eteläisessä osassa kuin sisämaassa. Yritysten I ja II välillä eroavuudet selitettiin usealla teorialla. Ensinnäkin lahoa on esiintynyt aikaisemmissa tutkimuksissa vähemmän sisämaassa ja toisekseen Lohjanharjun seudulla on tyvilaholle suotuisampi kalkkipitoinen maaperä. Näiden lisäksi vielä yksi teoria, että mitä vähemmän metsänkäsittelyjä on tehty, sitä epätodennäköisempää on löytää lahoa. Tutkimuksessa ilmeni, että leimikoittain tutkiessa löydettiin yhteensä 5 tai 6 poikkeavan lahoa kohdetta. Tätä laikuittain ilmenemistä ovat tutkimuksissa maininneet muun muassa Kallio (1979), Laiho (1966) ja Kangas (1952). Laikuittainen tuhoalue saattaa vaikuttaa radikaalisti saatavaan tulokseen, koska Suomessa leimikot ovat melko pienialaisia. (Kangas 1952; Kallio 1979; Tuimala 1979.)

2.6 Torjuntamenetelmät

Uotila ym. (2015) mukaan juurikäypää voidaan torjua tehokkaimmin suorittamalla hakkuut talviaikaan. Kesähakkuilla tartuntojen estäminen voidaan suorittaa käsittelemällä tuoreet sahauspinnat joko harmaaorvakan itiösuspensiolla (Rotstop) tai urealiuoksella. Torjuntateho on lähes täydellinen kun noudatetaan valmistajan ohjeita. Niemelän (2016) mukaan juurikäypä on osoittautunut nopeasti leviäväksi, mutta olevan heikosti kilpailukykyinen. Juurikäävän rihmastot jäävät luonnonmetsissä häviölle kilpailevien sienten paineessa. Harmaaorvakka (*Phlebiopsis gigantea*) on osoittanut erittäin tehokkaaksi kilpailijaksi juurikäävälle. (Niemelä 2016; Uotila, Kasanen & Heliövaara 2015.)

Pirin (2017) ja Piri ym. (2017) mukaan kantokäsittely voidaan toteuttaa harmaaorvakkavalmisteella tai urealla. Käsittelyjen toimivuus on kuitenkin ongelmallista pieniläpimittaisissa kannoissa. Taimikon harvennus kannattaa tehdä aikaisessa vaiheessa lämpötilan ollessa nollan alapuolella ja suosia sekapuustoa; erityisesti lehtipuita. Riski tartuntaan on aina sitä suurempi mitä tiheämpi taimikko ja mitä enemmän vanhoja kantoja on. Toisekseen pieniläpimittaisen kannon leikkauspinnalle on epätodennäköisempää laskeutua kaksi juurikäävän itiötä, jotka pariuduttuaan keskenään muodostavat sienirihmaston. (Piri 2017; Piri, Selander & Hantula 2017.)

Taudin torjuntaa on suoritettava aktiivisesti ja ennakoimalla niitä. Esimerkiksi suoritetaan kantokäsittely Pohjois-Suomessa. Terveitä tasaikäisiä kuusikoita on suositeltavaa harventaa kahdesti ja pahoin juurikäävän vaivaamissa vain kerran ennen aikaistettua päätehakkuuta. Mahdollisuuksien mukaan kannattaa vaihtaa puulajia. Tällä tavalla saadaan juurikääpätuhot vähenemään pitkällä aikavälillä. Päätehakkuikäisissä hakkuissa on todettu lahoa olevan

vähemmän kun sekapuun osuus on noin kolmannes kokonaisuudesta tai sitä suurempi. Sen lisäksi sekapuustoisuudesta on hyötyä, koska tulevassa sukupolvesta on vähemmän tartunnan saaneita kuusenkantoja aiheuttamassa taudin etenemistä. Eri-ikäisrakenteista metsän kasvatusta kannattaa suosia ainostaan terveissä kasvuympäristöissä. Alikasvoskuusikon on todettu olevan erityisen herkkä juurikäävälle ja se saattaa näyttää ulkoisesti hyvältä, mutta olla todellisuudessa täysin sairastunut. (Piri 2017; Piri, Selander & Hantula 2017.)

Piri ym. (2017) mukaan torjunta on erittäin tärkeää, koska tyvilaho ja tyvitervastauti voivat tulla pahimmillaan kroonisiksi taudeiksi, jolloin metsänterveys saattaa heiketä huomattavasti aiheuttaen puusukupolvesta toiseen entistä vakavampia ongelmia. Kerran tartunnan saaneen metsikön torjuntamahdollisuuksien on todettu olevan rajalliset. Juurikäpä voi säilyä kasvupaikalla jopa satoja vuosia, jos lahotettavaksi soveltuvaa puulajia löytyy kaiken aikaa. Kaikista suurin hyöty saadaan kun torjunta suoritetaan terveissä metsiköissä, mutta se on tärkeässä roolissa myös tyvilahoisissa kuusikoissa. Vähitellen metsikkö alkaa tervehtyä kun vanhat pesäkkeet vanhentuvat ja juurikäpärihmastoa kuolee. Terveet metsiköt kannattaa käsitellä aina talvella ja ajankohta on paras myös tyvilahon vaivaamilla alueilla. Kuusen pinnallisesta juuristosta ja ohuesta kuoresta johtuen erityisesti kasvukauden alussa korostuu mekaanisten vaurioiden aiheuttaminen. Tyveen tai juurenniskaan aiheutuneet syvät vauriot ovat kaikista pahimpia. Korjuuvaurioita voidaan yrittää välttää muun muassa tekemällä ajouraverkosto maasto ja olosuhteet huomioon ottaen sekä suorittamalla ennen hakkuuta ennakkoraivaus. (Piri, Selander & Hantula 2017.)

Uotila ym. (2015) mukaan booriyhdisteitä on käytetty ulkomailla ja saatu niiden avulla hyviä tuloksia. Sekapuustoisuuden on todettu tutkimustulosten perusteella vähentävän ainakin jossain määrin taudin leviämistä. Muiden lahottajien aiheuttamia tuhoja voidaan torjua ainakin pitämällä kuusikot elinvoimaisina ja välttämällä puiden vaurioittamista. Pirin (2017) ja Piri ym. (2017) mukaan harmaaorvakan toiminta perustuu nopeakasvuisuuteen. Urean toimintaperiaatteena on pH-arvon nostaminen juurikäävän itämiselle liian korkeaksi. (Piri 2017; Piri, Selander & Hantula 2017; Uotila, Kasanen & Heliövaara 2015.)

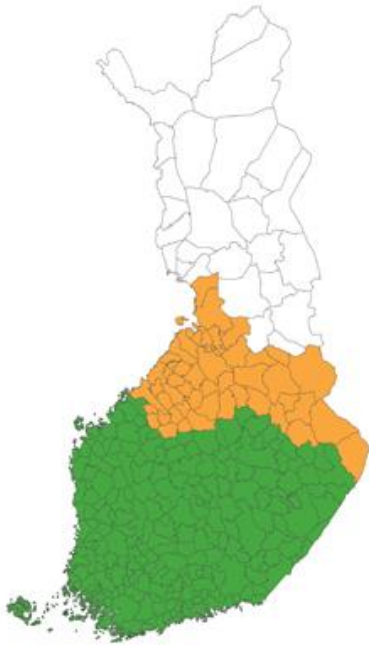
Kasasen (2009) mukaan patogeenit rajoittavat kiertoaikaa, puulajisuhteita ja hoitomuotoja. Etelä-Suomessa olisi erityisen tärkeää hoitaa luonnon monimuotoisuutta, mutta erityisesti juurikäpä rajoittaa sitä. Niin kutsuttu eri-ikäisrakenteinen metsä suosii juurikäpää, koska juuriverkostosta pääsee siirtymään patogeeni suoraan uuteen taimiainekseen. Müller ym. (2018) mukaan tulevaisuuden varalta on kiinnitettävä huomiota ilmastolämpenemisen ja

tehometsätalouden yhteisvaikutuksiin. Maaperän alhainen pH saattaa hidastaa juurikäävän leviämistä. (Kasanen 2009; Müller, Henttonen, Penttilä, Kulju, Helo, & Kaitera 2018.)

Alenin (2000) mukaan talvihakkuuna käsitellyt metsiköt osoittautuivat poikkeuksetta terveemmiksi kuin kesähakkuilla käsitellyt. Erityisesti juurikäävän vaivaamissa metsiköissä eteläisen rannikkoalueella on suositeltavaa suorittaa metsänkäsittelyä vain talvella. Sekapuustoisuudella ei ollut merkitystä juurikäävän esiintymiselle kun sen osuus oli alle 30 %. Tosin sen arviointi ei ollut aineistosta johtuen kovin kattava. (Alen 2000.)

Juurikääpä on torjuttava lain mukaan sen leviämisen riskialueilla toukokuun alun ja marraskuun lopun välisenä aikana, jos kivennäismaalla on enemmän kuin 50 % metsikön puustontilavuudesta kuusta tai mäntyä tai turvemaalla on kuusta yli 50 % puuston kokonaistilavuudesta. Torjunnassa hyväksytyjä menetelmiä ovat kantokäsittely hyväksytyllä kasvinsuojeluaineella, puulajin vaihtaminen lehtipuuksi uudistushakkuun jälkeen tai muu vaikutukseltaan samanlainen toimenpide. Kantojen nosto tai kulotus eivät ole luokiteltu hyväksyttäväksi torjuntamenetelmiksi. Kantokäsittelyssä on käsiteltävä kaikki yli 10 cm:n kantopinnat ja kasvinkäsittelyaineen pitää peittää vähintään 85 % jokaisen kannon pinnasta. Hakkuiden yhteydessä ei ole velvoitetta tehdä kantokäsittelyä, jos terminen kasvukausi ei ole alkanut, hakkuuajankohtana alin lämpötila on alle 0°C, maassa on yhteinäinen lumipeite tai hakkuun kohteena olevan metsän sijaintikunnassa alin lämpötila on ennen hakkuuta ollut edeltävän kolmen viikon jakson aikana ollut alle -10°C. (Laki metsäntuhojen torjunnasta annetun lain muuttamisesta 228/2016; Valtioneuvoston asetus juurikäävän torjunnasta 264/2016.)

Juurikäävän riskialueet on jaettu vihreällä värillä merkittyyn eteläiseen Suomeen ja keltaisella merkittyyn keskiseen Suomeen kuva 7:n mukaan.



Kuva 7 Juurikäävän lakisääteinen torjunta-alue (Suomen metsäkeskus Juurikäävän torjunta)

3 Tutkimusmenetelmä ja aineisto

Tutkimus on kvantitatiivinen eli määrällinen tutkimus, koska aineistona käytetään Stora Enson tilastoja. Tutkimus suoritetaan kuusesta (*P. abies*), joka täyttää vähintään ensiharvennuksella käytössä olevat Stora Enson puutavaralaatuvaatimukset. Eli toisin sanoen pienissä taimissa esiintyvää tyvilahoa ei huomioida tässä tutkimuksessa. Arvokkaimmasta puun osuudesta tulee tukkia ja sitä alhaisemmat vaatimukset täyttävä puutavaralaji on kuitupuu. Hakkuualueilta kerätään myös järeätä ötökkäpuuta. Lahosta kuusipuutavarasta käytetään nimeä sellukuusi. Aineistossa käytetty tyvilahon määrittely perustuu Stora Enson puutavaralaatuvaatimuksiin.

Kuusen tyvilahoprosentti lasketaan päätehakuilta tarkasteltavan ajanjakson aikana. Tyvilahoprosentti saadaan laskemalla prosentuaalinen sellukuusen määrä kuusipuutavarasta. Kunnittain tarkastellaan maakunnan sisäisesti prosenttiosuuksiltaan erityisen poikkeavia tapauksia.

Taloudellinen merkitys selviää, kun lasketaan kantohinnoilla kuusen tyvilahon aiheuttama myyntitappio. Tappio lasketaan käyttämällä Metsäntutkimuslaitoksen vuoden 2016 keskihintoja kuusikuidulle ja -tukille sekä Stora Enson antamia kiinteitä hintoja sellukuuselle ja järeälle ötökkäpuulle tilanteessa, jossa tiedetään päätehakuilla kuusipuun jakautuneet määrät eri puutavaralajeihin. Sellukuuselle on tässä työssä annettu kiinteä hinta

13 euroa kiintokuutiolta ja järeälle ötökkäpuulle 5 euroa. Havainnollistamisen vuoksi tutkimuksessa esitetään kuusen kokonaisuusmyynti taloudellisesta näkökulmasta tarkasteltavan ajanjakson aikana, maakunnittain tarkasteltuna.

Kuusen tyvilahon levinneisyys tutkitaan päätehakkuiden aineiston pohjalta. Aineisto kootaan Stora Enson metsätietojärjestelmästä. Maakuntakohtaiset tiedot saadaan laskemalla kuntakohtaiset tulokset yhteen maakuntajaoilla työssä käytetyn seurantajakson aikana. Tulos havainnollistetaan väreillä maakuntakohtaisesti kartalle.

Aineiston perusteella tutkitaan kuusen tyvilahon vaihtelua alueellisesti. Päätehakuuleimikoita tutkimalla voidaan tehdä päätelmiä metsien terveydestä. Tutkimuksen avulla selviää Stora Enson asiakkaiden arvioitu taloudellinen menetys puutavaralajisiirtymän perusteella määritellyn ajanjakson aikana. Kuusen tyvilahosta kärsivät niin metsänomistaja kuin metsäteollisuuskin. Metsänomistaja saa puutavaralajisiirtymän vuoksi kuusen tyvilahon vaivaamasta puusta huonomman hinnan, eikä metsäteollisuus voi hyödyntää viallisia puita esimerkiksi lautojen valmistamiseen. Tutkimustuloksia vertaillaan aikaisempiin samankaltaisiin tutkimuksiin, jotka on esitetty teoriaosuudessa. Aineistona käytetään Luonnonvarakeskuksen ja Stora Enson metsätietojärjestelmiä.

4 Aineiston analysointi ja raportointi

Paikkatietoanalyysi tehtiin ArcGIS-ohjelmistolla. Aineisto esikäsiteltiin Excel-taulukkolaskentaohjelmalla, jota myös käytetään tulosten koostamisessa raportointia varten. Kuviot luotiin PSPP-ohjelmalla.

5 Tulosten julkaisu ja hyödyntäminen

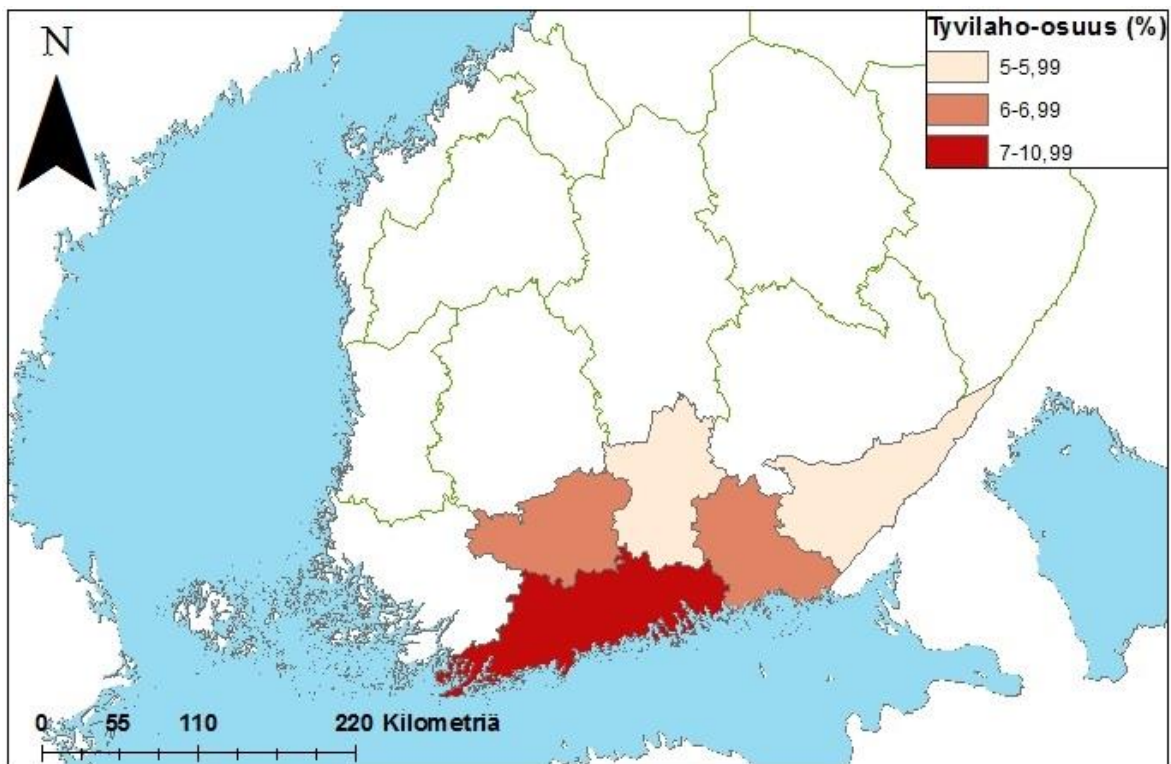
Yritys voi hyödyntää tutkimustulosta esimerkiksi puunhankinnassa ja investointeja tehdessä. Ulkopuolinen lukija saa käsityksen, kuinka vakava asia tyvilaho on metsien terveyden kannalta. Lukijalle tulee kattava tieto tyvilahon aiheuttajista ja niiden vaikutuksista Suomessa. Tekijän hyödyksi voidaan lukea ammatillinen kehittyminen; tuhojen aiheuttajat tulevat tutuksi ja tulosten analysointi kehittää tietotaitoa.

6 Tulokset

6.1 Kuusen tyvilahon levinneisyys

Aineistossa ei huomioitu kaupunkeja tai kuntia, joissa ei ole ollut yhtään päätehakkuuta tutkittuna ajankohtana: Helsinki, Järvenpää, Kauniainen ja Kerava. Maakunnan tasosta yli yhden prosenttiyksikön poikkeavia kaupunkeja ja kuntia pidetään tässä tutkimuksessa merkittävästi poikkeavina. Yli kahden prosenttiyksikön poikkevuutta pidetään erittäin merkittävänä.

Kuusen tyvilaho on kuva 8:n mukaan erittäin yleinen Uudellamaalla. Yleinen se on Kanta-Hämeessä ja Kymenlaaksossa. Etelä-Karjalassa ja Päijät-Hämeessä se on lähes yhtä yleinen. Levinneisyys on saatu molemmissa tapauksissa laskemalla maakunnan sisäinen keskiarvo. Maakunnan sisäinen keskiarvo oli Etelä-Karjalassa noin 5 %, Kanta-Hämeessä noin 6,5 %, Kymenlaaksossa noin 6 %, Päijät-Hämeessä noin 5 % ja Uudellamaalla noin 11 %.



Kuva 8 Kuusen tyvilahon levinneisyysalue Etelä-Suomessa

Etelä-Karjalassa tyvilahon jakautuminen on melko tasaista taulukko 1:n mukaan. Jostakin syystä Lappeenrannassa ja Parikkalassa on todettu hieman maakunnan keskiarvoa enemmän tyvilahoa. Etelä-Karjalassa kuusen päätehakkUILta saatu havaintoaineisto on koostunut vähintään 10 000 m³:n hakkuumäärästä jokaisessa kaupungissa tai kunnassa. Kuusen kokonaishakkuumäärät on jaettu kolmeen eri luokkaan taulukoissa 1–5. Luokka 1 = 0–999,99 m³, luokka 2 = 1000–9999,99 m³ ja luokka 3 = yli 10 000 m³.

Taulukko 1 Kuusen tyvilaho Etelä-Karjalassa

Kaupunki/kunta	Tyvilaho-%	Poikkeavuus %-yks	Kuusen kokonaishakkuumäärä
Imatra	5,2 %	0,06 %	3
Lappeenranta	6,2 %	1,08 %	3
Lemi	5,5 %	0,31 %	3
Luumäki	4,2 %	-0,95 %	3
Parikkala	6,3 %	1,16 %	3
Rautjärvi	4,3 %	-0,83 %	3
Ruokolahti	4,9 %	-0,29 %	3
Savitaipale	4,6 %	-0,56 %	3
Taipalsaari	5,8 %	0,68 %	3

Kanta-Hämeen tyvilahon jakautumisessa on useita kaupunkeja tai kuntia, jotka poikkeavat taulukko 2:n mukaan erittäin merkittävästi maakunnan keskiarvosta. Forssassa tai Riihimäellä ei ole todettu juurikaan tyvilahoa ja ne poikkeavat erittäin merkittävästi keskiarvosta. Tyvilaho on suurimmillaan Hattulassa ja Jokioisissa. Kanta-Hämeessä on tapahtunut paljon vaihtelua kaupunki- ja kuntakohtaisella tasolla kuusen päätehakkuiden kokojen osalta. Luokka 1 = 0–999,99 m³, luokka 2 = 1000–9999,99 m³ ja luokka 3 = yli 10 000 m³.

Taulukko 2 Kuusen tyvilaho Kanta-Hämeessä

Kaupunki/kunta	Tyvilaho-%	Poikkeavuus %-yks	Kuusen kokonaishakkuumäärä
Forssa	4,1 %	-2,40 %	2
Hattula	8,5 %	1,99 %	2
Hausjärvi	6,5 %	-0,03 %	2
Humppila	6,2 %	-0,30 %	3
Hämeenlinna	7,1 %	0,58 %	3
Janakkala	6,5 %	0,05 %	3
Jokioinen	8,1 %	1,60 %	2
Loppi	5,5 %	-0,99 %	3
Riihimäki	2,4 %	-4,09 %	1
Tammela	6,1 %	-0,41 %	2
Ypäjä	7,4 %	0,89 %	2

Kymenlaaksossa Miehikkälässä ei todettu taulukko 3:n mukaan kovin suurta tyvilahoisuutta verrattuna maakunnan tason keskiarvoon. Iitissä ja Pyhtäällä tyvilahon osuus on erittäin paljon maakunnan keskiarvoa suurempi. Kymenlaaksossa kuusen päätehakkUILta saatu havaintoaineisto on koostunut vähintään 10 000 m³ hakkuumäärästä jokaisessa kaupungissa tai kunnassa. Luokka 1 = 0-999,99 m³, luokka 2 = 1000–9999,99 m³ ja luokka 3 = yli 10 000 m³.

Taulukko 3 Kuusen tyvilaho Kymenlaaksossa

Kaupunki/kunta	Tyvilaho-%	Poikkeavuus %-yks	Kuusen kokonaishakkuumäärä
Hamina	6,7 %	0,67 %	3
Iitti	8,3 %	2,32 %	3
Kotka	6,0 %	-0,02 %	3
Kouvola	5,0 %	-0,97 %	3
Miehikkälä	4,8 %	-1,21 %	3
Pyhtää	9,3 %	3,34 %	3
Virolahti	6,6 %	0,57 %	3

Päijät-Hämeessä tyvilahon esiintyminen taulukko 4:n mukaan vaihtelee erittäin suuresti. Hartola, Padasjoki ja Sysmä ovat alle keskiarvon. Sen sijaan Hollola ja erityisesti Lahti sekä Orimattila ovat yli maakunnan sisäisen keskiarvon. Päijät-Hämeessä kuusen päätehakkUILta kertynyt aineisto on vähintään 10 000 m³ jokaisessa kaupungissa tai kunnassa, lukuun ottamatta ensimmäiseen luokkaan kuuluva Lahtea. Luokka 1 = 0-999,99 m³, luokka 2 = 1000–9999,99 m³ ja luokka 3 = yli 10 000 m³.

Taulukko 4 Kuusen tyvilaho Päijät-Hämeessä

Kaupunki/kunta	Tyvilaho-%	Poikkeavuus %-yks	Kuusen kokonaishakkuumäärä
Asikkala	4,0 %	-1,00 %	3
Hartola	2,6 %	-2,37 %	3
Heinola	4,0 %	-0,93 %	3
Hollola	6,5 %	1,50 %	3
Kärkölä	6,4 %	1,46 %	3
Lahti	12,2 %	7,21 %	1
Orimattila	7,3 %	2,34 %	3
Padasjoki	3,5 %	-1,51 %	3
Sysmä	3,9 %	-1,05 %	3

Uudellamaalla alueiden välinen eroavuus on taulukko 5:n mukaan muodostunut suureksi. Poikkeavan vähän lahoa maakuntatasoon verrattuna havaittiin yhteensä seitsemällä paikkakunnalla: Hangossa, Hyvinkäällä, Karkkilassa, Mäntsälässä, Pukkilassa, Tuusulassa ja Vantaalla. Erityisen lahoisia paikkakuntia olivat Askola, Espoo, Inkoo, Kirkkonummi, Myrskylä ja Siuntio. Uudellamaalla on tapahtunut paljon vaihtelua kaupunki- ja kuntakohtaisella tasolla kuusen päätehakuiden kokojen osalta. Luokka 1 = 0-999,99 m³, luokka 2 = 1000–9999,99 m³ ja luokka 3 = yli 10 000 m³.

Taulukko 5 Kuusen tyvilaho Uudellamaalla

Kaupunki/kunta	Tyvilaho-%	Poikkeavuus %-yks	Kuusen kokonaishakkuumäärä
Askola	13,1 %	2,13 %	3
Espoo	15,1 %	4,09 %	1
Hanko	7,8 %	-3,20 %	2
Hyvinkää	4,0 %	-6,93 %	2
Inkoo	14,8 %	3,86 %	2
Karkkila	6,0 %	-4,96 %	2
Kirkkonummi	13,4 %	2,41 %	2
Lapinjärvi	9,9 %	-1,02 %	2
Lohja	10,6 %	-0,39 %	3
Loviisa	10,7 %	-0,30 %	3
Mäntsälä	8,6 %	-2,33 %	3
Myrskylä	15,3 %	4,29 %	2
Nurmijärvi	10,5 %	-0,45 %	2
Pornainen	10,9 %	-0,08 %	3
Porvoo	12,1 %	1,16 %	3
Pukkila	8,1 %	-2,84 %	2
Raasepori	12,4 %	1,44 %	3
Sipoo	12,4 %	1,46 %	3
Siuntio	14,1 %	3,08 %	2
Tuusula	8,0 %	-2,94 %	2
Vantaa	8,8 %	-2,18 %	2
Vihti	9,4 %	-1,59 %	3

Tuloksista voidaan päätellä, että on erittäin epätodennäköistä suorittaa päätehakkuu tutkimuksen paikkakunnissa ilman tyvilahosta aiheutuvaa puutavaralajin vaihtelua. Esimerksi Hämeenlinnassa lahoa on tutkimuksen mukaan 7,1 %, Lahdessa 12,2 %, Kouvolassa 5 % ja Lappeenrannassa 6,2 %. Maakuntiin jaoteltuna Etelä-Suomessa tyvilahoa on keskimääräiseltä arvolta vähiten Päijät-Hämeessä (noin 5 %) ja eniten Uudellamaalla (noin 11 %).

6.2 Kuusen tyvilahon taloudellinen merkitys

Metsäntutkimuslaitoksen Metsätilastollisen vuosikirjan (2014) mukaan markkinapuuta hakattiin kuusitukin osalta 2013 Etelärannikolla lähes 0,3 miljoonaa kiintokuutiota, Häme-Uudellamaalla hieman yli 2 miljoonaa kiintokuutiota ja Kaakkois-Suomessa lähes 1,3 miljoonaa kiintokuutiota. Sen lisäksi markkinapuuksi tarkoitettua kuusikuitua hakattiin 2013 Etelärannikolla yli 0,2 miljoonaa kiintokuutiota, Häme-Uudellamaalla hieman yli 1 miljoonaa kiintokuutiota ja Kaakkois-Suomessa lähes 0,8 miljoonaa kiintokuutiota. (Metsäntutkimuslaitos Metsätilastollinen vuosikirja 2014.)

Etelä-Suomessa teollisuuspuuksi 2016-2017 yksityismetsistä hakatun kuusitukin arvo on yhteensä noin 381,6 miljoonaa euroa ja kuusikuidun arvo noin 73,7 miljoonaa euroa. Metsäteollisuuden ja valtion metsistä hakatun kuusitukin arvo on noin 23,4 miljoonaa euroa ja kuusikuidun arvo noin 6,7 miljoonaa euroa. Taulukko 6:n mukaan Etelä-Suomessa on hakattu yhteensä yksityismetsistä kuusitukia 6,9 miljoonaa kiintokuutiota ja kuusikuitua lähes 4,3 miljoonaa kiintokuutiota. Taulukko 7:n mukaan metsäteollisuuden ja valtion metsistä Etelä-Suomessa on hakattu kuusitukia yhteensä 423 000 kiintokuutiota ja kuusikuitua 385 000 kiintokuutiota. Taulukko 8:n mukaan yksityismetsissä aiheuneet tappiot Etelä-Suomessa ovat teollisuuspuun puutavaralajisiirtymästä johtuen yli 20,9 miljoonaa euroa ja taulukko 9:n mukaan metsäteollisuuden ja valtion metsissä tappiot ovat yli 1,2 miljoonaa euroa. Kuusen tyvilahosta aiheutuneet tappiot ovat metsäteollisuuden, yksityismetsien ja valtion hakkuissa Etelä-Suomessa keskiarvona yli 11 miljoonaa euroa vuodessa. (Luonnonvarakeskus tilastotietokanta. Teollisuuspuunhakkuut omistajaryhmittäin ja maakunnittain.)

Aineistona edellä mainitun kappaleen laskuissa on käytetty Luonnonvarakeskuksen tilastotietokantaa ja laskutoimituksissa on käytetty tutkimuksessa aiemmin mainittuja hintoja kuusitukille (55,3 €/m³), kuusikuidulle (17,3 €/ m³) ja sellukuuselle (13 €/ m³). Kuusen tyvilahon aiheuttama tappio on saatu laskemalla olettamalla, että maakuntakohtaisessa kuusitukin ja kuusikuidun määrässä esiintyy kuusen tyvilahoa aiemmin tutkimustulokseksi saatu määrä. (Luonnonvarakeskus tilastotietokanta. Teollisuuspuunhakkuut omistajaryhmittäin ja maakunnittain.)

Taulukko 6 Teollisuuspuun hakkuut yksityismetsistä 2016-2017. Yksikkö 1000 m³.

MAAKUNTA	KUUSITUKKIA (m³)	KUUSIKUITUA (m³)
Etelä-Karjala	1191	827
Kanta-Häme	1443	753
Kymenlaakso	1183	779
Päijät-Häme	1668	773
Uusimaa	1415	1129

Taulukko 7 Teollisuuspuun hakkuut metsäteollisuuden ja valtion metsistä 2016-2017.

MAAKUNTA	KUUSITUKKIA (m³)	KUUSIKUITUA (m³)
Etelä-Karjala	111 000	112 000
Kanta-Häme	114 000	138 000
Kymenlaakso	89 000	57 000
Päijät-Häme	74 000	45 000
Uusimaa	35 000	33 000

Taulukko 8 Kuusen tyvilahon vuoksi sellukuuseksi muuttuneen puun aiheuttamat tappiot yksityismetsien hakkuilta kertyneestä teollisuuspuusta 2016-2017.

Maakunta	Sellukuusen aiheuttamat tappiot (€)
Etelä-Karjala	2 775 000
Kanta-Häme	4 166 000
Kymenlaakso	3 205 000
Päijät-Häme	3 667 000
Uusimaa	7 098 000

Taulukko 9 Kuusen tyvilahon vuoksi sellukuuseksi muuttuneen puun aiheuttamat tappiot valtion ja metsäteollisuuden hakkuilta kertyneestä teollisuuspuusta 2016-2017.

Maakunta	Sellukuusen aiheuttamat tappiot (€)
Etelä-Karjala	266 000
Kanta-Häme	351 000
Kymenlaakso	241 000
Päijät-Häme	165 000
Uusimaa	180 000

Stora Enson päätehakkuuaineiston mukaan kertynyt kuusen kokonaismäärä oli Etelä-Suomessa yhteensä noin 1,6 miljoonaa kiintokuutiota tutkittuna ajankohtana. Kun arvioitiin sellukuusen jakautuminen ilman lahoisuutta tukki- ja kuitupuuksi, jaoteltiin kokonaismäärästä 80 % tukiksi ja 20 % kuitupuuksi. Arvioidun jakautumisen mukaan taloudelliset menetykset ovat tutkimusalueella tutkimusajankohtana yhteensä noin 3,6 miljoonaa euroa. Kanta- ja Päijät-Hämeessä maakuntakohtaiset menetykset ovat alle 500 000 euroa. Etelä-Karjalassa ja Kymenlaaksossa ne ovat noin 800 000–900 000 euroa. Uudellamaalla oli hieman yli yhden miljoonan euron tappiot tutkimusalueilla

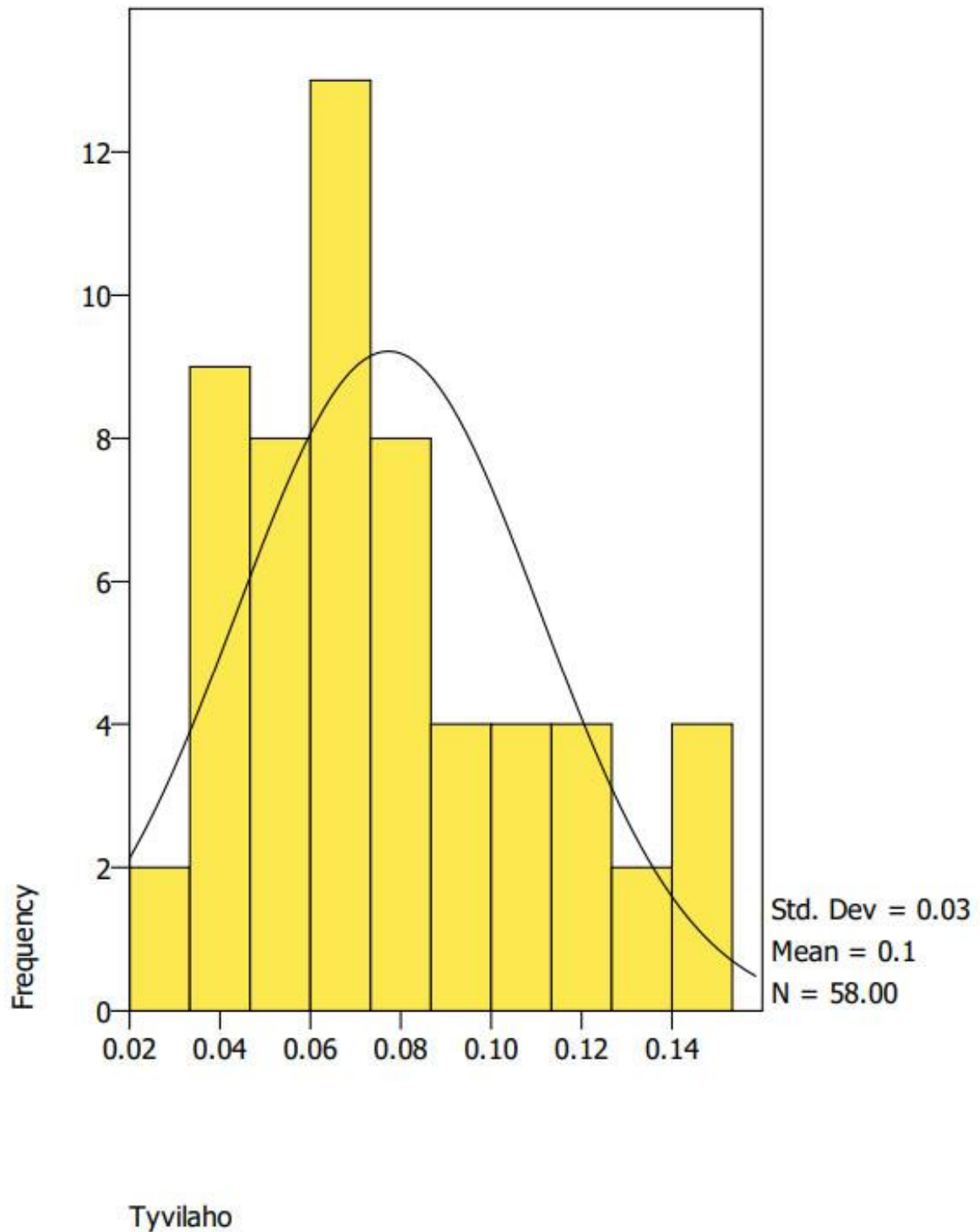
tutkimusajankohtana, ja tulos on samaa luokkaa kuin ötökkäpuusta aiheutuneet tappiot yhteensä kaikilla tutkimusalueilla tutkittuna ajankohtana tilanteessa jolloin ötökkäpuun oletetaan sisältävän kokonaismäärästä 75 % tukkia ja 25 % kuitupuuta. Arvonmenetystä aiheutti kuusikuidun ja -tukin puutavaralajisiirtymisestä sellukuuseksi Etelä-Karjalassa 4,3 %, Kanta-Hämeessä 5,3 %, Kymenlaaksossa 5,2 %, Päijät-Hämeessä 4,2 % ja Uudellamaalla 10 %.

6.3 Aineiston testaaminen

Aineistoa testattiin, koska haluttiin tietää onko aineisto luotettava kertomaan kuusen tyvilahon vaihtelusta. Kuvioissa 1-3 esiintyviä lukuja ei ole muutettu prosenttimuotoon.

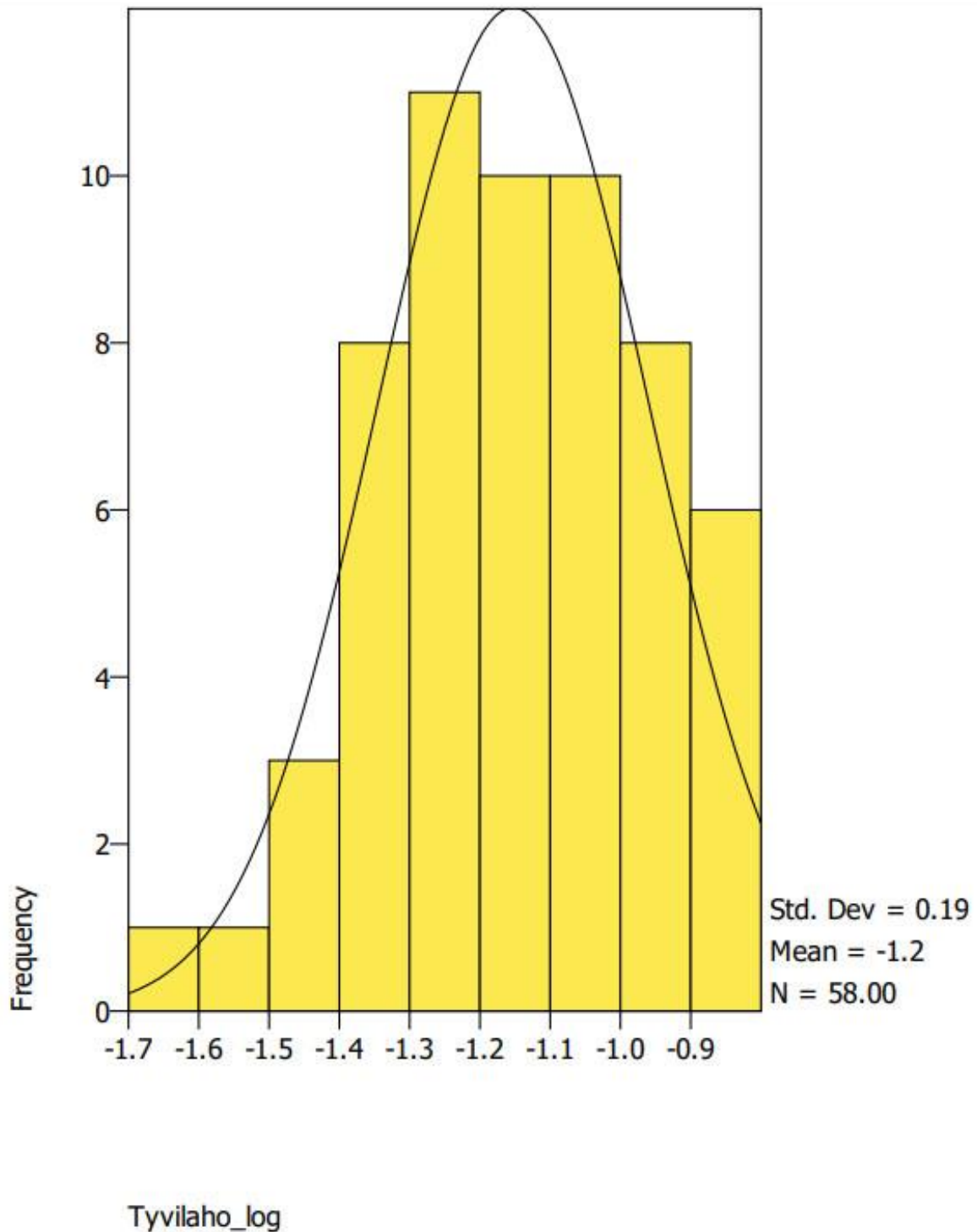
Raaka-aineiston normaalijakautuneisuus on kuvio 1:n mukaan jakautunut melko tasaisesti. Keskiarvo on 0,1 ja keskihajonta 0,03. Tulos on saatu laskemalla 58 havaintoa.

Kuvio 1 Kuusen tyvilahoaineiston normaalijakautuneisuus



Logaritmin käyttäminen tasoitti hieman normaalijakautuneisuutta, mutta aineisto oli poikkeuksellisen tasaisesti jakautunut jo raaka-aineistossa ottaen huomioon biologisen ilmiön. Normaalijakautuneisuus on haivainnollistettu kuvio 2:n mukaan, josta voidaan tulkita keskiarvon olevan -1,2 ja keskihajonnan 0,19. Tulos on saatu laskemalla 58 havaintoa.

Kuvio 2 Kuusen tyvilahoaineiston normaalijakautuneisuus logaritmilla



Varianssien yhtäsuuruistestin, Test of Homogeneity of Variances -taulukon, Sig-sarakkeessa oleva p-arvo on suurempi kuin 0,05, joten varianssien voidaan olettaa olevan yhtä suuria. Testi on havainnollistettu kuvio 3:n mukaan. ANOVA taulukossa p-arvo on pienempi kuin 0,05, joten ryhmien välillä on merkitseviä eroja.

Kuvio 3 Anova kuusen logaritmilla käsitellystä tyvilahoaineisosta

Descriptives

		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean	
						Lower Bound	Upper Bound
Tyvilaho_log	1	9	-1.29	.07	.02	-1.34	-1.24
	2	11	-1.23	.16	.05	-1.33	-1.12
	3	7	-1.19	.11	.04	-1.28	-1.09
	4	9	-1.30	.21	.07	-1.46	-1.14
	5	22	-.99	.14	.03	-1.05	-.93
	Total	58	-1.15	.19	.03	-1.20	-1.10

		Minimum	Maximum
Tyvilaho_log	1	-1.38	-1.20
	2	-1.62	-1.07
	3	-1.32	-1.03
	4	-1.59	-.91
	5	-1.39	-.82
	Total	-1.62	-.82

Test of Homogeneity of Variances

	Levene Statistic	df1	df2	Sig.
Tyvilaho_log	2.12	4	53	.091

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Tyvilaho_log	Between Groups	1.02	4	.25	12.29	.000
	Within Groups	1.10	53	.02		
	Total	2.11	57			

Aineistoa testattiin myös toisella menetelmällä aineiston luotettavuuden selvittämiseksi. Siinä jätettiin huomioimatta kaupunkeja tai kuntia, jotka eivät ole edustavia tulosten kannalta erittäin pienen kertymän vuoksi. Tuloksiin laskettiin mukaan vain ne paikkakunnat, joissa päätehakkuuta on suoritettu yli 3000 kiintokuutiota tutkitun ajankohdan aikana. Huomioimatta jätettiin 2016–2017 yhteensä 12 kaupunkia tai kuntaa, jotka olivat Kanta-Hämeessä Forssa, Riihimäki ja Tammela, Päijät-Hämeessä Lahti, Uudellamaalla Espoo, Hanko, Helsinki, Järvenpää, Kauniainen, Karkkila, Kerava ja Tuusula. Lopputulos oli, etteivät hakkuumäärät vaikuttaneet saatuihin tuloksiin.

Tutkimuksessani esiintyi kuntien välillä suurta vaihtelua maakunnan sisäisesti tarkasteltuna. Tämän vuoksi esimerkiksi kuntakohtaisen kuusen tyvilahon levinneisyyskartan esittäminen on enemmän disinformaatiota kuin informaatiota.

6.4 Tulosten vertailu

Aikaisemmat tutkimustulokset tukivat tässä tutkimuksessa saatuja tutkimustuloksia, että tyvilaho on suurin ongelma Uudellamaalla ja se tulee Etelä-Suomessa sitä pienemmäksi haitaksi mitä kauemmaksi mennään sisämaahan. Tulokset ovat aikaisempiin tutkimuksiin verrattuna samankaltaisia lähes jokaisella paikkakunnalla lukuunottamatta muutamia poikkeuksia.

Riihimäen (2012) mukaan Iitissä todettiin huomattavasti vähemmän tyvilahoa kuin minun tutkimustuloksissani. Pyhtää-Loviisa tulokset osoittavat molemmissa tutkimuksissa, että alue on tyvilahon vaivaamaa. Mäkelän, Lipposen ja Sainion (1998) mukaan tyvilahoista kuusikkoa on Etelä-Suomessa hieman enemmän (0,2 %-yksikköä). Vaihteluväli on minun tuloksissani huomattavasti pienempi. (Mäkelä, Lipponen & Sainio 1998; Riihimäki 2012.)

Tammisen (1985) mukaan tyvilahoisuutta esiintyi runsaammin Etelä-Suomessa ja tutkimuksessa tyvilahon osuus oli huomattavasti suurempi kuin minun tutkimuksessani. Tuimalan (1979) tutkimustulokset ovat melko samankaltaisia kuin tämän tutkimuksen. Alenin (2000) mukaan 1990-luvulla metsien monimuotoisuuteen alettiin kiinnittää huomiota ja kasvatusohjeet alkoivat suositella sekapuustoisuutta. Tämä saattaa olla syynä siihen, että tuloksissa on saatu aivan erilaisia tuloksia aikaisempiin verrattuna, ennen kaikkea kun lahoa on todettu nykyisin aikaisempia vuosia vähemmän. (Alen 2000; Tamminen 1985; Tuimala 1979.)

7 Pohdinta

Tutkimuksessa suurin ongelma oli, että sellukuusi sisältää muuta kuin tyvilahopuuta. Toisaalta sama virhe toistuu jokaisella alueella. Lisätäkseeni tyvilahon täsmällinen määrittelemine alueellisesti lienee täysi mahdottomuus ja toisekseen sillä ei ole ainakaan maanomistajalle suurta merkitystä, koska pienelläkin alueella tyvilahon osuus saattaa vaihdella todella paljon. Tutkimusalue saatiin rajattua mielestäni hyvin, mutta se olisi voinut jatkua kuitenkin enemmän länteen.

Kuusen tyvilahon levinneisyyden syitä voidaan miettiä vain kokeneiden henkilöiden antamista lausunnoista, koska oma tutkimustulos ei antanut mitään tietoja leimikkokohtaisesti. Useat henkilöt ovat maininneet juurikäävän levinneisyyden olevan aiheutuneen jollakin tavalla ihmisen toiminnasta. Muun muassa Kallio (1979, 1981) ja Niemelä (sähköpostiviestinä, 14.12.2018), ovat maininneet muun muassa egyptinparrun tekemisen yhdeksi syyksi. Olisi erittäin mielenkiintoista tietää miksi Etelä-Suomestakin löytyy todella poikkeavia alueita, joissa lahoa ei ole juurikaan todettu. Tyvilahon huolellinen tutkiminen on kuitenkin erittäin työlästä, aikaa vievää ja se vaatii taloudellisiakin resursseja. (Kallio 1979, 1981.)

Tällä hetkellä pieniläpimittaisten kantojen käsitleminen on koettu haastavaksi. Tietävästi nykyään ei ole saatavilla raivaussahaan minkäänlaista sarjatuotantoon rakkennettua kantokäsittelylaitetta. Aikakautena, jolloin vesakontorjunta oli erittäin aktiivista kehitettiin raivaussahoihin sopivia käsittelylaitteistoja, mutta ne eivät ole juurikääväntorjuntaan tarkoitettujen aineiden levittämisessä varmaankaan paras vaihtoehto. Mielestäni kaikki sellaiset alueet, joissa kantokäsittelyssä ei saada riittävän hyviä tuloksia pieniläpimittaisten kantojen vuoksi, pitäisi metsänhoitotyöt tehdä ajankohtana jolloin juurikääpä ei kykene leviämään. Riittävän ajoissa ja huolellisesti suoritettut taimikonhoitotyöt edesauttavat tulevaisuudessa tehtäviä kantokäsittelyjä.

8 Kiitokset

Lopuksi haluan kiittää onnistuneesta tutkimuksesta Kalle Kärhää (Stora Enso), Jouko Tuovolan säätiötä, metsänhoitaja Juho Lahtea, Kari Korhosta, Tuomo Niemelää, Tuula Piriä ja Ari Taposta.

Lähdeluettelo

- Alanko, P. & Lagerström, M. 2006. Havupuut ja –pensaat puutarhassa. Tammi: Helsinki
- Alen, M. 2000. Hakkuuajankohdan, sekapuuston ja iän vaikutus kuusenjuurikäpätuhoihin ja niiden aiheuttamiin taloudellisiin tappioihin. Helsingin yliopisto: Helsinki
- Bendz-Hellgren, M. 1997. Heterobasidion annosum root and butt rot of Norway spruce, *Picea abies*; colonization by the fungus and impact on the three growth. Swedish University of Agricultural Sciences: Uppsala, Ruotsi
- Euforgen *Picea abies*, Norway spruce. 13.9.2013. [Kuvankaappaus]. [Viitattu 18.12.2017]. Saatavissa: <http://www.euforgen.org/species/picea-abies>
- Fox, R. T. V. (toim.) 2000. Armillaria Root Rot: Biology and Control of Honey Fun-gus. Intercept Ltd.: Andover, Englanti
- Graber, D. 1994. Die Fichtenkernfäule in der Nordschweiz: Schadenausmass, ökologische Zusammenhänge und Waldbauliche Massnahmen. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 145, 905-925.
- Hickin, N. E. 1963. Ensimmäinen painos. The Insect Factor in Wood Decay. Hutchinson & co. Ltd.: Lontoo, Englanti
- Hubertus, H. & Eidman, A. K. (toim.) 1976. Ensimmäinen painos. Skadegörare i skogen. LTs förlag: Tukholma, Ruotsi
- Hubertus, H. & Eidman, A. K. (toim.) 1990. Toinen painos. Skadegörare i skogen. LTs förlag: Tukholma, Ruotsi
- Hyppönen, M. & Norokorpi, Y. 1979. Lahoisuuden vaikutus puutavaran saantoon ja arvoon Peräpohjolan vanhoissa kuusikoissa : The effect of decay on timber yield and value of the old Norway spruce stands in northern Finland. Metsäntutkimuslaitos: Helsinki. Folia Forestalia.
- Isomäki, A. & Kallio, T. 1974. Consequences of injury caused by timber harvesting machines on the growth and decay of spruce (*Picea abies* (L.) Karst). Suomen Metsätieteellinen Seura: Helsinki

Johansson, L. 2000. Rötröta i Sverige enligt riksskogstaxringen. [Verkkoartikkeli]. Sveriges Lantsbruksuniversitet: Ruotsi, Umeå. [Viitattu 29.11.2016]. Saatavana: http://stud.epsilon.slu.se/4460/1/johansson_1_120404.pdf

Jokinen, K. 1983. Metsänlannoituksen vaikutus juurikäävän esiintymiseen - Kirjallisuuskatsaus. Metsäntutkimuslaitos: Helsinki

Jokinen, K. 1988. Metsänlannoituksen vaikutus puiden tuhonkestävyyteen - Kirjallisuuskatsaus. Metsäntutkimuslaitos: Helsinki

Jokinen, K. & Laine, L. Ympärivuotinen puunkorjuu - uhka metsiemme terveydelle?. Metsä ja puu 1/1990

Jukka, L. (toim.) 1988. Metsäntarveysopas -Metsätuhot ja niiden torjunta. Samerka Oy: Helsinki

Kaarna-Vuorinen, L. 2000. Kuusen (Picea abies) (L.) Karst.) lahoisuus, sen taloudelliset vaikutukset ja syyt Kaakkois-Suomen päätehakkuuleimikoissa. Helsingin yliopisto: Helsinki

Kalela, E. K. Metsät ja metsien hoito. 1961. Toinen painos. Porvoo

Kallio, T. 6.4.1972. Esimerkki kuusikon lahovikaisuuden Etelä-Suomessa aiheuttamasta taloudellisesta menetyksestä. Summary; An example on the economics loss caused by decay in growing spruce timber in South Finland. Suomen Metsätieteellinen Seura: Helsinki.

Kallio, T. 1979. Kuusen tyvilaho ja männyn tyvitervastauti. Kansallis-Osake-Pankin taloudellinen katsaus, B-painos. Kansallis-Osake-Pankki: Helsinki

Kallio, T. & Norokorpi, Y. (toim.) 1.2.1972. Kuusikon tyvilahoisuus. Suomen Metsätieteellinen Seura: Helsinki

Kallio, T. & Tamminen, P. 1974. Decay of spruce (Picea abies (L.) Karst.) in the Åland Islands, Ahvenanmaan kuusien lahovikaisuus. Suomen Metsätieteellinen Seura: Helsinki

Kallio, Tauno (1981) Kesähakkuut elättävät itiöitä. Metsälehti 3.9.1981, 39

Kalliokoski, T. 2011. Root system traits of Norway spruce, Scots pine, and silver birch in mixed boreal forests: an analysis of root architecture, morphology, and anatomy. Metsätieteiden laitos: Helsinki

Kangas, E. 1952. Maannousemasiemen (Polyporus annosus Fr.) esiintymisestä, tartunnasta ja tuhoista Suomessa. Valtioneuvoston kirjapaino: Helsinki

Kantokäsittely koneellisessa hakkuussa. Maaliskuu 1994. Metsäteho

Kasanen, R. 2009. Metsäpuiden sienitaudit. Metsäkustannus Oy: Helsinki

Korhonen, K. 1978. Juurikäävän risteymissuhteet. Metsäntutkimuslaitos: Helsinki

Kotiranta, H. & Niemelä, T. 1993. Uhanalaiset käävät Suomessa. Vesi- ja ympäristöhallitus: Helsinki

Kotiranta, H. Saarenoksa, R. & Kytövuori, I. 2009. Aphyllophoroid fungi of Finland. A check-list with ecology, distribution, and threat categories - Suomen kääväkkäiden ekologia, levinneisyys ja uhanalaisuus. Luonnontieteellinen keskusmuseo LUOMUS: Helsinki

Kurkela, T. 1994. Metsän taudit, metsäpatologian perusteet. Otatieto Oy: Tampere.

Kuusela, S. & Heikkilä, T. (toim.). 1983. Uudenmaan metsäopas Nylands skogsguide. Uudenmaan ympäristönsuojelupiiri r.y.: Forssa

Laine, L. J. 2013. Neljäs painos. Suomen luonto: tunnistusopas. Otava: Helsinki

Laki metsätuhojen torjunnasta annetun lain muuttamisesta 228/2016. 8.4.2016. Helsinki. [Verkojulkaisu]. [Viitattu 22.2.2019]. Saatavana: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2016/20160228>

Lipponen, K. 1999. Etelä-Suomen kuusikot pahimmassa vaarassa. TerveMetsä 09/1999

Luonnonvarakeskus MetINFO - Metsien terveys. Kuusen ja männyn lahovikaisuus ja sen torjunta, juurikääpä kuusella. Päivitetty 5.9.2013. [Verkkosivu]. [Viitattu 8.3.2019]. Saatavana: <http://www.metla.fi/metinfo/metsienterveys/lahontorjunta/kuusi-juurikaapa.htm>

Luonnonvarakeskus MetINFO - Metsien terveys. Kuusen ja männyn lahovikaisuus ja sen torjunta, kuusen tyvilaho. Päivitetty 24.4.2014. [Verkkosivu]. [Viitattu 2.11.2016]. Saatavana: <http://www.metla.fi/metinfo/metsienterveys/lahontorjunta/kuusi-tyvilaho.htm>

Luonnonvarakeskus MetINFO - Metsien terveys. Kuusen ja männyn lahovikaisuus ja sen torjunta, muita kuusen lahottajia. Päivitetty 5.9.2013. [Verkkosivu]. [Viitattu 8.3.2019]. Saatavana: <http://www.metla.fi/metinfo/metsienterveys/lahontorjunta/kuusi-muut.htm>

Luonnonvarakeskus MetINFO - Metsien terveys. Kuusen tyvilaho (Heterobasidion parviporum). Päivitetty 14.1.2005. [Verkkosivu]. [Viitattu 9.11.2016]. Saatavana: http://www.metla.fi/metinfo/metsienterveys/lajit_kansi/heanns-n.htm

Luonnonvarakeskus MetINFO - Metsien terveys. Männyntyvitervastauti (Heterobasidion annosum). Päivitetty 19.12.2012. [Verkkosivu]. [Viitattu 5.1.2017]. Saatavana: http://www.metla.fi/metinfo/metsienterveys/lajit_kansi/heannp-n.htm

Luonnonvarakeskus tilastotietokanta. Teollisuuspuun hakkuut omistajaryhmittäin ja maakunnittain. Ei päiväystä. [Verkkosivu]. [Viitattu 11.3.2019]. Saatavana: http://statdb.luke.fi/PXWeb/pxweb/fi/LUKE/LUKE_04%20Metsa_02%20Rakenne%20ja%20tuotanto_08%20Teollisuuspuun%20hakkuut%20alueittain/01a_Teollisuuspuun_hakkuut_maak_v.px/?rxid=dc711a9e-de6d-454b-82c2-74ff79a3a5e0

Luonnonvarakeskus *Ruoka- ja luonnonvaratilastojen e-vuosikirja 2017*. Joulukuu 2017. [Verkkokirja]. [Viitattu 1.5.2018]. Saatavana: https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/540980/luke-luobio_81_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Mattila, U. & Nuutinen T. (toim.) 2007. Assessing the Incidence of Butt Rot in Norway Spruce in Southern Finland. [Verkkoartikkeli]. Metsätutkimuslaitos: Joensuu. Silva Fennica. [Viitattu 29.11.2016]. Saatavana: <http://metla.eu/silvafennica/full/sf41/sf411029.pdf>

Metsäntutkimuslaitos *Metsätilastollinen vuosikirja 2014*. [Verkkokirja]. [Viitattu 5.1.2017]. Saatavana: http://stat.luke.fi/sites/default/files/vsk14_koko_julkaisu.pdf

Müller, M. M., Henttonen, H. M., Penttilä, R., Kulju, M., Helo, T. & Kaitera, J. 2018. Distribution of Heterobasidion butt rot in northern Finland. Forest Ecology and Management 425: 85-91

Mäkelä, M., Lipponen, K. & Sainio, M. 13.3.1998. Tyvilahoa sisältävän kuusen määrä, laatu ja käyttömahdollisuudet sellun raaka-aineena. [Verkkoartikkeli]. Metsäteho. [Viitattu 8.11.2016]. Saatavana: http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/02/metsatehon_raportti_050.pdf

Nevalainen, S. & Liukkonen, K.M.H. 1988. Ilman epäpuhtauksien vaikutus bioottisiin metsätuhoihin kirjallisuuskatsaus. Metsäntutkimuslaitos: Helsinki

Niemelä, T. 2001. Käävät Helsingin puissa. Helsingin kaupungin rakennusvirasto, viherosasto: Helsinki

Niemelä, T. 2005. Käävät puiden sienet. Luonnontieteellinen keskusmuseo, kasvimuseo: Helsinki

Niemelä, T. 2016. Suomen käävät. Luonnontieteellinen keskusmuseo LUOMUS: Helsinki

Niemelä, T. 14.12.2018. Sähköposti.

Niemelä, T. Terho, M. & Kiema, S. 2012. Sienet ja laho Helsingin puissa. Tornio: Helsingin kaupunki, rakennusvirasto

Pettersson, B. & Samuelsson, H. 1995. Skador på barrträd. Skogsstyrelsens förlag: Jönköping, Ruotsi.

Piri, T. 2003. Silvicultural control of Heterobasidion root rot in Norway spruce forest in southern Finland. Regeneration and vitality fertilization of infected stands. Metsäntutkimuslaitos: Vantaa

Piri, T. 18.5.2016. Juurikäpä ja hakkuut -missä ja milloin torjuntaa tulisi tehdä. [Verkkoartikkeli]. Luonnonvarakeskus: Helsinki. [Viitattu 7.1.2019]. Saatavissa: https://www.metsakeskus.fi/sites/default/files/tpiri_juurikaapa_ja_hakkuut_18.5.2016.pdf

Piri, T. 8.3.2017. Mitä metsänomistaja voi tehdä juurikäpätuhojen torjumiseksi?. [Verkkoartikkeli]. Luonnonvarakeskus: Helsinki. [Viitattu 7.1.2019]. Saatavissa: http://www.pkmo.org/wp-content/uploads/TPiri_PSMO_2017.pdf

Piri, T. (toim.). Granens rotröta orsakar stora förluster för skogsbruket. [Verkkoartikkeli]. Metsätutkimuslaitos: Helsinki. Silva Fennica. [Viitattu 12.12.2018]. Saatavana: <http://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/541794/faktakort-granens-rotr%C3%B6ta.pdf?sequence=1>

Piri, T., Korhonen, K. & Sairanen, A. 1990. Occurrence of Heterobasidion annosum in pure and mixed spruce stands in Southern Finland. Scandinavian Journal of Forest Research 5, 113-125

Piri, T., Selander, A. & Hantula, A. (toim.). 2017. Identifiering och bekämpning av rotröta. Luonnonvarakeskus: Helsinki ja Metsäkeskus: Lahti

Pratt, J.E. & Greig, J.W. 1988. Heterobasidion annosum: development of butt rot following thinning in two young first rotation stands of Norway spruce. [Verkkokirja]. Forestry commission: Roslin, Skotlanti. [Viitattu: 13.1.2017]. Saatavana: http://oup.silverchair-cdn.com/oup/backfile/Content_public/Journal/forestry/61/4/10.1093/forestry/61.4.339/2/61-4-339.pdf?Expires=1484667552&Signature=JZtHim6UHvaG4tf71pw9HshDcET9W~XNBWixViFq8b6ZCbcNBuuopYxqjuAdMhPW3gV44rJjDnVPKU03lyYBuRtt6-BA6nxqjlyptHIY5JqtHpMf2S06b7wAYzWHMXXkb~98yU3zcE7FX18id17MLQq~pMV-KVTq7gZN9jz~R20mg2Qelm6PBvOQXITi6ZW0UZgurIVA0DimJ-M403dBxRh3e5YYkvhfAl67yn1yBCj4m1QyO3J9C33zSR4aBwYE9RvsbEIEswIS~sdYqB6XjxLnqhjffZGSr4FNY2SYapS-o61R6Y0invbXr0nHIX5gURjI6m9om5czBu2QFhaySA_&Key-Pair-Id=APKAIUCZBIA4LVPAVW3Q

Riihimäki, I. Tukkiprosentti Havesa Timberin päätehakkuukuusikoissa. [Opinnäytetyö]. Kymenlaakson ammattikorkeakoulu. [Viitattu 16.12.2018]. Saatavana: http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/44798/Riihimaki_Ilpo.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Rotröta. Ei päiväystä. [Verkkosivusto]. Skogstyrelsen: Jönköping, Ruotsi. [Viitattu: 23.11.2016]. Saatavana: <http://www.skogsstyrelsen.se/Aga-och-bruka/Skogsbruk/Skador-pa-skog/Svampar/Rotrota/>

Rönnerberg, J., Vollbrecht, G. & Thomsen, A.M. 14.11.1997. Incidence of Butt Rot in Three Species Experiment in Northern Denmark. Swedish University of Agricultural Sciences, Southern Swedish Forest Research Centre: Alnarp, Ruotsi

Rönnerberg, J. 1999. Incidence of root and butt rot in consecutive rotations, with emphasis on *Heterobasidion annosum* in Norway spruce. Swedish University of Agricultural Sciences, Southern Swedish Forest Research Centre: Alnarp, Ruotsi

Salo, E. 1954. Puiden teknillinen vikaisuus ja sen vaikutus puuston arvoon. Suomen Metsätieteellinen Seura: Helsinki

Salo, P., Niemelä, T. & Salo, U. 2006. Suomen sieniopas. Luonnontieteellinen keskusmuseo, kasvimuseo: Helsinki

Sarvas, R. 2002. Havupuut. Näköispainos 1964 ilmestyneestä WSOY:n kustantamasta 1. painoksesta. Metsälehti: Hämeenlinna

Skelly, J.M. 1991. Incidence of *Heterobasidion annosum* in Norway spruce on a Mg-limed and nonlimed soil in the Black Forest, FRG. *European Journal of Forest Pathology* 21, 321-324

Stenlid, J. 1.1.1987. Controlling and Predicting the Spread of *Heterobasidion annosum* from Infected Stumps and Trees of *Picea abies*. *Scandinavian Journal of Forest Research*, Vol.2(1-4), 187-198

Suomen metsäkeskus Juurikäävän torjunta. [Kuvankaappaus]. [Viitattu 15.2.2019]. Saatavana: <https://www.metsakeskus.fi/juurikaavan-torjunta>

Tamminen, P. 1985. Butt-rot in Norway spruce in Southern Finland. Metsäntutkimuslaitos: Helsinki

Tilastokeskus Kunnat maakunnittain 2016. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 30.4.2018]. Saatavana: https://www.stat.fi/meta/luokitukset/kunta/001-2016/kunta_mk.html

- Tilastokeskus Kunnat maakunnittain 2017. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 30.4.2018]. Saatavana: https://www.stat.fi/meta/luokitukset/kunta/001-2017/kunta_mk.html
- Tjoelker, M. G. (toim.), Boratynski, A (toim.) & Bugala, W. (toim.) 2007. Biology and Ecology of Norway Spruce. Springer: Dordrecht, Alankomaat
- Tomsovsky, M., Sedlák, P. & Jankovský, L. 11.10.2009. Species recognition and phylogenetic relationships of European *Porodaedalea* (Basidiomycota, Hymenochaetales). [Verkkoartikkeli]. Mycological Progress 9: 225-233. [Viitattu: 8.1.2019]. Saatavissa: https://www.researchgate.net/publication/225620646_Species_recognition_and_phylogenetic_relationships_of_European_Porodaedalea_Basidiomycota_Hymenochaetales
- Tuimala, A. 1979. Kuusen lahon aiheuttamista puutavaralajisiirtymistä ja kantohintamenetyksistä. [Verkkoartikkeli]. Suomen Metsätieteellinen Seura: Helsinki. [Viitattu: 1.1.2019]. Saatavana: https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/14908/13-No%204_Tuimala.pdf?sequence=1
- Uotila, A., Kasanen, R. & Heliövaara, A. 2015. Metsätuhot. Metsäkustannus Oy: Jelgava Printing House, Latvia
- Valtioneuvoston asetus juurikäävän torjunnasta 264/2016. 14.4.2016. Helsinki. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 15.2.2019]. Saatavana: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2016/20160264>
- Von Scoultz, M. 1980. Metsämikrobiologian luentomoniste
- White rot fungi in living Norway spruce trees at high elevation in southern Norway with notes on gross characteristics of the rot. Ei päiväystä. [Verkkoartikkeli]. Norwegian Forest Research Institute: Norja. [Viitattu: 23.11.2016]. Saatavana: http://www.skogoglandskap.no/filearchive/solheim_fra_aktuelt_2006-1.pdf
- Wikipedia 2017 Etelä-Suomen lääni. Päivitetty 14.2.2017. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 1.5.2018]. Saatavana: https://fi.wikipedia.org/wiki/Etel%C3%A4-Suomen_l%C3%A4%C3%A4ni

Wikipedia 2016 Itä-Suomen lääni. Päivitetty 3.1.2016. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 9.11.2016]. Saatavana: https://fi.wikipedia.org/wiki/It%C3%A4-Suomen_l%C3%A4%C3%A4ni

Wikipedia 2018 Itä-Uudenmaan maakunta. Päivitetty 1.12.2018. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 25.1.2019]. Saatavana: https://fi.wikipedia.org/wiki/It%C3%A4-Uudenmaan_maaakunta

Woodward, S., Stenlid, J., Karjalainen, R. ja Huttermann A. (toim.) 1998. Heterobasidion annosum Biology, Ecology, Impact and Control. CAB International: Wallingford

Yde-Andersen, A. 1977. Attacks by Fomes annosus in spruce stands in relation to planting methods and fertilization with lime and phosphate. Det Forstlige Forsogsvaesen i Danmark 35, 39-60