

Juurikäävän aiheuttaman tyvilahon riskikartoitus Suomessa ja täsmätorjunta metsikkötasolla (TyviTuho)

Loppuraportti

Eero Holmström, Tapio Räsänen, Henna Höglund, Juha Honkaniemi, Susanne Suvanto, Jarkko Hantula, Tuula Piri, Anssi Ahtikoski, Aleksi Lehtonen, Juha Heikkinen, Tuomas Rajala, Kirsi Riekkö, Juha-Antti Sorsa, Juho Kokkonen, Mikko Peltoniemi



Kuva: Jarkko Hantula.

Sisällysluettelo

1. Hankkeen esittely	2
1.1. Perustiedot hankkeesta	2
1.2. Hankkeen tavoitteet.....	2
1.3. Yhteenveto hankkeesta	3
2. Hankkeen toteutus ja toteutusvaiheen arviointi	6
2.1. Menetelmät ja aineisto	6
2.2. Aikataulu ja resurssit.....	7
2.3. Kustannukset ja rahoitus.....	7
2.4. Raportointi, julkaisut ja seuranta	7
2.5. Toteutusvaiheen arviointi.....	9
3. Tulokset ja niiden arviointi.....	9
3.1. Tulosten esittely.....	9
3.1.1. Lahontunnistusmenetelmä	9
3.1.2. Lahotiedon tuottaminen, jakelu ja käyttö.....	13
3.1.3. Tutkimusaineistojen koostaminen	16
3.1.4. Metsänsuunnittelutyökalu kuusenjuurikäypäisen metsikön uudistamisen optimoimiseksi...17	
3.1.5. Metsänsuunnittelun optimointi maisematasolla, kun osa maisemasta on kuusenjuurikäävän saastuttamaa.....	23
3.1.6. Ennustemalli ja riskikartta tyvilahon esiintymiselle	26
3.1.7. Neuvonta- ja viestintäkonsepti juurikäävän torjumisen edistämiseksi ja tuhoriskejä koskevan tietoisuuden lisäämiseksi	30
3.2. Tulosten vieminen käytäntöön	31
3.2.1. Lahontunnistusmenetelmä	31
3.2.2. Lahotiedon omistus, jakelu ja käyttö.....	32
3.2.3. Metsänsuunnittelutyökalu	33
3.2.4. Tyvilahon riskikartta.....	34
3.2.5. Juurikäävän torjunnan neuvonta- ja viestintäkonsepti vaatii jatkuvaa ylläpitoa ja päivittämistä	35
3.3. Tulosten merkitys ja jatkotoimenpiteet	35
3.3.1. Tulosten uutuusarvo ja merkitys kansainvälisesti	35
3.3.2. Tulosten jalkauttaminen ja hyödyntäminen.....	36
3.3.3. Jatkotutkimusten suuntaaminen	37

1. Hankkeen esittely

1.1. Perustiedot hankkeesta

Tämä dokumentti on Maa- ja metsätalousministeriön (MMM) Hiilestä kiinni -ilmastotoimenpiteiden kokonaisuuden kehittämishankehaussa rahoitetun *Juurikäävän aiheuttaman tyvilahon riskikartoitus Suomessa ja täsmätorjunta metsikkötasolla (TyviTuho)* -hankkeen loppuraportti. TyviTuho toteutettiin Luonnonvarakeskuksen, Metsäteho Oy:n ja Suomen metsäkeskuksen yhteishankkeena 1.4.2021–30.6.2024. Hankkeen vastuullisena johtajana toimi Mikko Peltoniemi (Luke) ja organisaatioissa projektipäällikköinä toimivat Lukessa Eero Holmström, Metsätehossa Tapio Räsänen ja Suomen Metsäkeskuksessa Pekka Kuitunen (04/2021–04/2022) sekä Henna Höglund (04/2022–06/2024). Hankkeen MMM:n myöntämä kokonaisbudjetti oli 507 000 euroa. Myönnetyt rahoitukset ja haetut maksatukset on esitetty luvussa 2.3.

1.2. Hankkeen tavoitteet

Suomessa esiintyy kaksi juurikääpälajia: kuusenjuurikääpä ja männynjuurikääpä. Lahottaessaan eläviä havupuita juurikäävät heikentävät metsien kasvua, hiilinieluja ja hiilivarastojen pysyvyyttä. Kuusia vaivaavasta tyvilahosta valtaosa on kuusenjuurikäävän aiheuttamaa. Kuusen saatua tartunnan, sieni kasvaa ylöspäin rungossa lahottaen samalla puuainesta. Laho voi nousta rungossa pahimmillaan 10–12 m korkeudelle maanpinnasta. Kuusenjuurikääpä aiheuttaakin merkittäviä tappioita metsätaloudessa ja heikentää metsien kykyä hillitä ilmastonmuutosta. Sieni on laajalti levinnyt Etelä-Suomessa, ja se uhkaa yleistyä entisestään ilmaston lämmetessä.

Hakkuukoneiden tuottamasta katkontatiedosta voidaan runkokohtaisesti päätellä, oliko kaadettu kuusirunko laho. Tämä lahotieto voidaan yhdistää kunkin kaadetun rungon sijaintiin. Koska kuusenjuurikääpä on pääasiallinen kuusen lahottaja, voitaisiin lahotietoa käyttää suunniteltaessa kustannustehokkaita tapoja torjua ja tukahduttaa kuusenjuurikääpää metsää uudistettaessa. Lisäksi lahotiedon avulla voitaisiin tuottaa ajantasaista ja tarkkaa tietoa juurikäävän leviämisestä sienen esiintymisen ennustamiseksi riskikartan muodossa. Nämä sovellukset tukisivat sekä ilmastonmuutoksen hillintä- ja sopeutumistoimien että kestävä metsänhoidon suunnittelua.

TyviTuho-hankkeen alkuperäisenä tavoitteena oli

- Suunnitella algoritmi tyvilahon toteutukseksi kuusirunkojen katkontatiedon perusteella hakkuukonepohjaisen lahotiedon tuottamiseksi.
- Laatia metsäalan sidosryhmätyönä yhteiset pelisäännöt lahotiedon jakamiseksi ja hyödyntämiseksi.
- Tuottaa ja julkaista koneoppimiseen perustuva optimointimenetelmä kuusenjuurikääpäisen metsikön uudistamiseksi lahotiedon perusteella.
- Tuottaa ja julkaista juurikäävän esiintymistodennäköisyyttä Suomessa kuvaava riskikartta lahotiedon perusteella.

- Rakentaa viestintä- ja neuvontakonsepti, jolla tieto juurikäävästä, sen aiheuttamista haasteista, esiintymisriskistä sekä juurikäävän torjuntaratkaisuksista voidaan viestiä tiedon tarvitsijoille. Konsepti perustuisi hankkeen tuotoksiin eli lahotietoon, kuusenjuurikääpäisen metsikön uudistamisen optimointiin sekä yleiseen juurikäävän riskitasoon.

Hankkeessa selvitettiin mahdollisuuksia viedä lahotietoa laajemmin hyödynnettäväksi siten, että lahotieto siirtyisi tiedon omistajilta Suomen metsäkeskukseen jaettavaksi ja kehitettävien sovellusten sekä viestintäkonseptin pohjaksi. Hankkeen edetessä kuitenkin ilmeni, että tähän ei löytyisi hyväksyttävää ratkaisua hankkeen aikana. Siten osaa hankkeen tavoitteista täsmennettiin (2. ja 5. tavoite) hankkeen ohjausryhmän valvonnassa. Täsmennetyt tavoitteet olivat:

- Laatia pelisäännöt lahotiedon hyödyntämiseksi rajoitetussa muodossa erikseen määriteltyjen käyttötapauksien kautta sidosryhmien kanssa (ns. hakkuukonetiedon pelityöryhmä). Lisäksi tavoitteena oli pilotoida lahotiedon keräämistä Suomen metsäkeskuksen sijaan Metsätehoon sekä tiedon hyödyntämistä Metsätehossa kuusenjuurikäävän levinneisyyttä kuvaavien, julkaistavien karttojen muodossa.
- Rakentaa uusi viestintä- ja neuvontakonsepti, jolla tieto juurikäävästä, sen aiheuttamista ongelmista, esiintymisriskistä sekä juurikäävän torjuntaratkaisuksista voidaan viestiä tiedon tarvitsijoille.

Maankäyttösektorin Hiilestä kiinni -ilmastotoimenpiteiden kokonaisuuden tarkoituksena on tukea Suomen 2035 hiilineutraaliustavoitteen toteutumista. Rahoitetuilla hankkeilla edistetään kestävä kehityksen periaatteiden mukaisia tavoitteita kokonaiskestävästi. Tavoitteena on

- 1) ylläpitää ja vahvistaa hiilinieluja ja -varastoja lyhyellä ja pitkällä aikavälillä;
- 2) vähentää kasvihuonekaasujen päästöjä;
- 3) edistää maa- ja metsätalouden sopeutumista ilmastonmuutokseen;
- 4) tuottaa tietoa ilmastotoimien tueksi ja edistää kyseisen tiedon käyttöä.

TyviTuho-hanke pyrki vastaamaan näistä tavoitteisiin 1, 3 ja 4.

1.3. Yhteenveto hankkeesta

Juurikäävän aiheuttaman tyvilahon riskikartoitus Suomessa ja täsmätorjunta metsikkötasolla -hanke eli TyviTuho kehitti hakkuukonetietoon perustuvia menetelmiä juurikäävän levinneisyyden kartoittamiseen ja juurikäävän täsmätorjuntaan metsikkötasolla. Molempien sovellusten pohjaksi laadittiin algoritmi, jonka avulla lahot ja terveet puut voidaan tunnistaa hakkuukoneiden tuottaman katkontatiedon perusteella. Ennustekartan ja torjuntaan tähtäävän uudistusmenetelmän lisäksi kehitettiin niihin perustuva viestintä- ja

neuvontakonsepti tiedon viemiseksi metsänomistajien ja muiden toimijoiden tietoon ja edelleen käytäntöön, sekä keskusteltiin sidosryhmien kanssa tiedon pitkäaikaisesta ja keskitetystä tallentamisesta ja jakamisesta.

Hankkeessa oli ensinnäkin tavoitteena luoda ja arvioida menetelmä tyvilahon automaattiseksi havaitsemiseksi runkokohtaisen, hakkuukoneesta saadun, kuusirungon toteutuneen katkontatiedon perusteella. Tähän liittyen tavoitteena oli lisäksi luoda pelisäännöt lahotiedon saattamiseksi laajasti hyödynnettäväksi ja Suomen metsäkeskukseen jaettavaksi. Toiseksi hankkeessa oli tavoitteena luoda kuusenjuurikääpäisen metsikön uudistamisen suunnittelun tueksi laskennallinen menetelmä, jossa lahotiedon perusteella kuusenjuurikäävän saastuttamiksi todettuihin metsikön osiin istutetaan muuta puulajia kuin kuusta. Lisäksi tarkoitus oli suorittaa maisematason analyysi puulajivalintojen optimoimiseksi uudistamisessa kuusimetsäalueella, jossa osa metsiköistä on kuusenjuurikäävän saastuttamia. Tavoitteena oli myös tuottaa tilastollinen malli tyvilahon esiintymistodennäköisyydelle siellä, missä lahotilanteesta ei ole vielä tietoa, sekä luoda tähän malliin perustuva juurikäävän riskikartta. Tulosten jalkauttamiseksi hankkeessa oli tavoitteena luoda uusi neuvonta- ja viestintäkonsepti juurikäävän haittojen vähentämiseksi ja juurikäävän torjumisen edistämiseksi. Konseptin oli tarkoitus perustua lahotietoon, kuusenjuurikääpäisen metsikön uudistamisen optimointiin sekä riskikartan ennustamaan yleiseen juurikäävän riskitasoon. Tavoitteena oli järjestää sidosryhmätilaisuuksia ja monipuolista viestintää näiden hankkeen tulosten käytäntöön saattamiseksi.

Hankkeessa tuotettiin pelisäännöt lahotiedon käyttämiseksi tarkasti määriteltyjen käyttötapauksen muodossa. Käyttötapaukset kuvaavat sitä, miten eri toimijat voisivat hyödyntää lahotietoa toiminnassaan ja metsänomistajille tarjoamissaan palveluissa. Lisäksi toteutettiin pilotointi, jossa lahotietoa kerättiin Suomen metsäkeskuksen sijaan Metsätehoon ja tiedolla tuotettiin juurikäävän levinneisyyttä kuvaava havaintokartta. Automaattinen menetelmä lahon tunnistamiseksi kuusirunkojen katkontatiedon perusteella suunniteltiin ja algoritmin toimivuus arvioitiin kenttämittauksilla. Tulokset osoittivat, että algoritmi toimii hyvin.

Hankkeessa luotiin menetelmä kuusenjuurikääpäisen, kuusivaltaisen metsikön uudistamisen optimoimiseksi. Menetelmä käyttää hakkuukonetietoon perustuvaa kuvausta päätehakatusta metsiköstä, sisältäen katkontatiedoista päätellyn lahotiedon kuusirungoille. Tämän jälkeen menetelmä rajaa kuusenjuurikäävän saastuttamat alueet metsikössä automaattisesti ja antaa uudistamisen puulajisuositukset terveille ja saastuneille alueille. Alueiden rajaaminen perustuu koneoppimiseen ja tilastolliseen mallintamiseen. Puulajisuositus perustuu metsikkösimulaatioihin ja taloudellisiin laskelmiin. Tavoitteena on antaa käyttäjän valinnan mukaan suositus, joka maksimoi joko metsikön taloustuloksen tai puuston toteuttamien hiilidioksidin nettopoistojen määrän sillä vaatimuksella, että kasvupaikka samalla puhdistuu kuusenjuurikäävästä. Menetelmä arvioitiin 269 äskettäin hakatun metsikön perusteella. Optimoitu suositus taloustulosta maksimoitaessa oli istuttaa mäntyä MT-kasvupaikoille sekä

lahoihin alueisiin OMT-kasvupaikoilla. Terveisiin alueisiin OMT-kasvupaikoilla menetelmä suosittaa kuusta. Puuston hiilensidonnan maksimoimiseksi suositellaan myös koivua lahosta kärsiville alueille. Suositusten toteuttaminen tuottaa merkittävää taloudellista hyötyä verrattuna siihen, että metsikkö uudistettaisiin kuuselle. Menetelmä tukee metsiemme puulajivalikoiman monipuolistamista ja siten metsien monimuotoisuutta ja terveyttä sekä metsien resilienssiä metsätuhoille ja sopeutumista ilmastomuutokseen. Menetelmä on julkaistu avoimena lähdekoodina, ja siitä on tuotettu tieteellinen käsikirjoitus.

Maisematason analyysi puulajin optimoimiseksi osin kuusenjuurikäävän tartuttamalla alueella osoitti, että uudistamisessa optimaalisen puulajin valinta hiilivaraston koon maksimoimiseksi ja samanaikaisesti taloustuloksen heikkenemisen minimoimiseksi riippuu alueen lämpösummasta sekä juurikäpäätartunnan vakavuudesta ja laajuudesta. Juurikäpäisen maiseman uudistamisen optimointi ei ole siis suoraviivainen tehtävä. Tästä työstä on julkaistu tieteellinen artikkeli.

Hankkeessa tuotettiin tilastollinen malli ja siihen perustuva riskikartta tyvilahon esiintymisen ennustamiselle. Mallin selittäjinä on sekä metsän ja kasvupaikan ominaisuuksia että yleisempiä metsien käytön historiaan liittyviä tekijöitä. Näiden lisäksi malli hyödyntää hakkuukonetietoon perustuvia laohavaintoja ennustaessaan tyvilahon esiintymistä. Mallin avulla luotua riskikarttaa arvioitiin riippumattomalla testiaineistolla, ja sen todettiin toimivan luotettavasti. Tyvilahoriski ja siten juurikäävän esiintyminen Suomessa kartoitettiin siis onnistuneesti. Malli osoittaa, että juurikäävän aiheuttaman tyvilahon esiintymisen todennäköisyyttä lisäävät järeä puusto, kasvupaikan ravinteikkaus sekä intensiivinen metsänkäyttöhistoria alueella. Kun riskiä ennustetaan tietyssä pisteessä, hakkuukonetietoon perustuvien laohavaintojen sisällyttäminen lähialueilta lisää mallin ennustetarkkuutta merkittävästi. Tämä tarkastelu osoitti, että jatkuvasti kertyvät hakkuukonetiedot voisivat tulevaisuudessa johtaa hyvinkin tarkkaan ymmärrykseen juurikäävän levinneisyydestä. Mallin perusteella tuotettu riskikartta julkaistiin Luken Metsätuhoriskikartta-alustalla. Riskimallia voidaan käyttää ennakoimaan juurikäpä tappioita kuusivaltaisissa metsissä metsänkäytön suunnittelemisen tueksi. Lisäksi voidaan ennakoida metsien altistumista juurikäävän seurannaistuhonille kuten tuuli- ja kirjanpaina jatuhonille. Työstä on tuotettu tieteellinen käsikirjoitus.

Viestintä- ja neuvontakonsepti juurikäävän riskien tiedostamisen ja torjumisen edistämiseksi toteutettiin monikanavaisena viestintänä. Konseptissa painotettiin lahotiedon teknisen toteutuksen sijaan laajasti metsätuhotietoisuuden lisäämisen tarpeellisuutta ja juurikäpärisikin huomioimista sekä kuusen- että männynjuurikäävän osalta. Hankkeessa tuotettiin itsenäisiä neuvonta- ja koulutusmateriaaleja, joita markkinoitiin sekä omina että toisiaan tukevin kokonaisuuksina. Metsätuhotietoisuuden lisäämisessä kannustettiin yhteisvastuullisuuteen metsätuhon torjunnassa. Konseptia kehitettiin vuorovaikutuksellisten koulutusten ja osallistujapalautteiden avulla. Suomen metsäkeskus järjesti erilaisia koulutustilaisuuksia kehitetyllä Jäytääkö juurikäpä -konseptilla sekä eri hankkeiden

yhteistyönä. Näin saavutettiin yksittäisiä tapahtumia laajempia yleisöjä ja monipuolisempia sisältöjä. Koulutustilaisuuksissa markkinoitiin tuotettuja materiaaleja (oppaat, verkkokurssi, videot, podcastit), jotka on listattu tarkemmin luvussa 2.4. Osana viestintäkonseptia juurikääpä sidottiin vahvemmin osaksi Metsäkeskuksen viestintää. Hankkeen tuloksista viestittiin aktiivisesti, ja juurikääpä näkyi sekä Metsäkeskuksen että metsämedioiden lehti- ja uutisartikkeleissa.

TyviTuhon tulokset vastaavat hyvin alkuperäisistä sopeutettuja tavoitteita. Hankkeessa on tuotettu menetelmä tyvilahon automaattiseksi havaitsemiseksi hakkuutiedosta, ja menetelmällä tuotetun lahotiedon esittämistä havaintokarttoina on pilotoitu. Menetelmä on ensimmäinen laatuaan ja mahdollistaa lahohavaintojen laajan ja automaattisen keräämisen. Pelisäännöt lahotiedon hyödyntämiseksi on määritelty käyttötapauksina.

Metsänsuunnittelutyökalun ja riskikartan muodossa hanke on tuottanut avoimia työkaluja juurikäävän haittojen vähentämiseksi sekä sieneen liittyvien riskien ennakoinniseksi.

Parannuksena aiempiin vastaavin metsänsuunnittelutyökaluihin, huomioidaan kehitetyssä työkalussa useampia puulajeja ja metsän hiilivarastot sekä pyritään torjumaan juurikääpää. Vastaavaa riskikarttaa ei puolestaan ole aiemmin julkaistu. Viestintä- ja neuvontakonsepti on kannustanut metsänomistajia ja muita toimijoita kiinnostumaan hakkuukoneperäisestä lahotiedosta ja sen tuomista hyödyistä, mukaan lukien kehitettyjen työkalujen soveltaminen metsänsuunnittelussa ja liiketoiminnassa.

Kokonaisuudessaan hanke on tuonut juurikääpään liittyviä ongelmia yhä laajempaan tietoisuuteen sekä tuottanut työkaluja sienien tuhojen vähentämiseksi ja välttämiseksi sekä metsiemme puuston monipuolistamiseksi. Tämä palvelee maankäyttösektorin ilmastotoimenpidekokonaisuuden tavoitteiden saavuttamista siten, että hiilivarastojen pysyvyys (tavoite 1, ks. luku 1.2) sekä metsiemme häiriönsietokyky ja sopeutuminen ilmastomuutokseen vahvistuvat (tavoite 3). Lisäksi hanke on tuottanut tietoa ilmastotoimien tueksi ja edistää kyseisen tiedon käyttöä julkaistujen työkalujen sekä monipuolisesti toteutetun viestinnän kautta (tavoite 4).

2. Hankkeen toteutus ja toteutusvaiheen arviointi

2.1. Menetelmät ja aineisto

Hankkeessa toteutettiin kenttäkokeita tyvilahon automaattisen tunnistamisen luotettavuuden arvioimiseksi (luku 3.1.1). Metsänsuunnittelutyökalun ja riskimallin kehittämiseksi ja arvioimiseksi kerättiin laaja aineisto hakkuukonetietoa sekä yksittäisten runkojen että hakkuulohkojen tasolla (luku 3.1.3). Kehitetty suunnittelutyökalu hyödyntää mm.

koneoppimista, metsän ja juurikäävän kehitystä kuvaavia simulaatioita, Bayes-mallinnusta ja Monte Carlo -menetelmiä (luku 3.1.4). Optimoitaessa metsänsuunnittelua maisematasolla (luku 3.1.5) käytettiin iteratiivisia optimointimenetelmiä sekä metsän ja juurikäävän kehitystä kuvaavia simulaatioita. Riskimallin luomisessa käytettiin klassista tilastollista mallintamista sekä kattavaa paikkatietoanalyysiä (luku 3.1.6). Viestintä- ja neuvontakonseptin kehittäminen

koostui mm. koulutuskierroista, verkkokurssista, oppaiden päivityksestä, podcasteista, koulutusvideoista sekä sidosryhmätapaamisista (luku 3.1.7).

2.2. Aikataulu ja resurssit

Hanke toteutettiin Luken, Suomen metsäkeskuksen ja Metsäteho Oy:n yhteistyönä. Metsäteho Oy vastasi lahontunnistusalgoritmin kehittämisestä, lahotiedon pelisääntöjen laatimisesta, lahohavaintokartan pilotoinnista sekä lahotietoaaineistojen toimittamisesta Luken käyttöön. Luke vastasi metsäsuunnittelutyökalun kehittämisestä juurikäävän torjumiseksi taloudellisesti ja hiilensidonnasta kannalta optimaalisella tavalla, lahoriskikartan kehittämisestä ja julkaisemisesta, sekä maisemataso-analyysin suorittamisesta metsän uudistamisen optimoimiseksi. Suomen metsäkeskus vastasi hankkeen viestinnästä ja tiedon jalkauttamisesta käytännön arkeen. Metsäkeskuksen tehtävänä oli myös kehittää uusi neuvonta- ja viestintäkonseptin juurikäävän torjumisen edistämiseksi. Hankkeella oli ohjausryhmä, joka kokoontui kaksi-kolme kertaa vuodessa tarkastelemaan hankkeen etenemistä ja haastamaan ja ideoimaan suoritettavaa työtä. Vuoden 2023 puolivälissä alkoi näyttää siltä, että kovasta työnteosta huolimatta hanke tarvitsisi hieman lisää aikaa työn viimeistelemiseksi. Erityisesti tulosten vienti käytäntöön oli aikataulullisesti haastava ja riippuvainen hankkeen muiden tehtävien etenemisestä. MMM myönsi hankkeen rahoituksen käytölle puoli vuotta lisää aikaa vuoden 2024 puolelle. Hanke toteutettiin hyvässä hengessä ja asetetut tavoitteet saavutettiin.

2.3. Kustannukset ja rahoitus

Lukelle myönnetty MMM:n rahoitus oli 320 000 euroa. Myönnetty rahoitus laskutettiin neljässä erässä vuosina 2021–2024. Summat olivat 11 550 euroa, 94 840 euroa, 196 657 euroa ja 16 954 euroa, yhteensä 320 000 euroa.

Metsäkeskukselle myönnetty MMM:n rahoitus oli 134 000 euroa. Myönnetty rahoitus laskutettiin neljässä erässä vuosina 2021–2024. Summat olivat 1666 euroa, 11290 euroa, 61687 euroa ja 57970 euroa, yhteensä 132 613 euroa.

Metsäteholle myönnetty MMM:n rahoitus oli 53 000 euroa. Myönnetty rahoitus laskutettiin kolmessa erässä vuosina 2021–2023. Summat olivat 7 682 euroa, 22 610 euroa ja 17 450 euroa, yhteensä 47 742 euroa.

2.4. Raportointi, julkaisut ja seuranta

Hankkeessa tuotettiin tieteellisiä julkaisuja, tieteellisiä käsikirjoituksia ja muita julkaisuja seuraavasti:

- **Tieteellinen vertaisarvioitu julkaisu** metsän uudistamisen optimoinnista maisematasolla, kun alueella on kuusenuurikääpää: Ahtikoski, A., Honkaniemi, J., Holmström, E., & Peltoniemi, M. (2024). Optimal species composition for stand establishment in root-rot infected forest areas. *New Forests*, 1–14.
<https://doi.org/10.1007/s11056-024-10046-w>

- **Tieteellinen vertaisarvioitu julkaisu** männynjuurikäävän aiheuttaman tyvitervastaudin automaattisesta havaitsemista rungon päätykuvassa: Holmström, E., Kainulainen, H., Raatevaara, A., Pohjankukka, J., Piri, T., Honkaniemi, J., ... & Lehtonen, A. (2024). Automatic detection of root rot and resin in felled Scots pine stems using convolutional neural networks. *International Journal of Forest Engineering*, 35(2), 153–165. <https://doi.org/10.1080/14942119.2024.2327247>
- **Tieteellinen käsikirjoitus** juurikäävän esiintymisen ennustamisesta VMI (valtion metsien inventointi) -datan ja historiallisen paikkatiedon avulla: Juha Honkaniemi, Juha Heikkinen, Helena M. Henttonen, Mikko Peltoniemi. Management legacies shape the root rot risks in coniferous forests.
- **Tieteellinen käsikirjoitus** kuusenjuurikäävän saastuttaman metsän uudistamisen optimoinnista lahotietoa hyödyntävällä suunnittelutyökalulla: Eero Holmström, Juha Honkaniemi, Anssi Ahtikoski, Tuomas Rajala, Jarkko Hantula, Tuula Piri, Juha Heikkinen, Susanne Suvanto, Tapio Räsänen, Juha-Antti Sorsa, Kirsi Rieki, Henna Höglund, Aleks Lehtonen, Mikko Peltoniemi. Optimizing the regeneration of spruce-dominated stands infected by *Heterobasidion* root rot in Finland.
- **Tieteellinen käsikirjoitus** tyvilahon esiintymistodennäköisyyden ennustamisesta paikkatiedon ja hakkuukonepohjaisten laohavaintojen avulla: Susanne Suvanto, Juha Heikkinen, Juha Honkaniemi, Eero Holmström, Tuomas Rajala, Tuula Piri, Jarkko Hantula, Tapio Räsänen, Harri Hytönen, Henna Höglund, Aleks Lehtonen, Mikko Peltoniemi. Rot or not? Quantifying of the risks and drivers of spruce root rot with harvester data.
- **Päivitetty versio oppaasta** Juurikääpätuhojen tunnistaminen ja torjunta (2024). Tuula Piri, Henna Höglund, Annikka Selander ja Jarkko Hantula. ISBN 978-952-283-084-5. Suomen Metsäkeskus.
<https://www.metsakeskus.fi/sites/default/files/document/juurikaapatuhojen-tunnistaminen-ja-torjunta.pdf>, ruotsiksi
<https://www.metsakeskus.fi/sites/default/files/document/juurikaapatuhojen-tunnistaminen-ja-torjunta-sv.pdf>
- **Verkkokurssi** juurikäävän tunnistamisesta ja torjunnasta yhteistyössä Metsätuhot kuriin Kaakkois-Suomessa -hankkeen kanssa [Metsäkeskuksen avoimena kurssina](#).
- **Artikkelit Metsätuhot vuonna 2023 -raportissa** "Kantokäsittelyn hyvä laatu vaatii tarkkaavaisuutta" ja "Tyvitervastaudin havainnot metsänkäyttöilmoituksella". Metsätuhot vuonna 2023. Tiina Ylioja ja Suvi Sutela (toim.). Luonnonvarakeskus.
<http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-906-2>
- **Kartta** kuusenjuurikäävän esiintymisen todennäköisyydestä Luonnonvarakeskuksen [karttapalveluna](#).
- **Videot** [Metsäkeskuksen YouTube-kanavan Metsätuhot-soittolistalle](#) :
 - [Lahotiedon hyödyntäminen metsänuudistamisessa](#)
 - [Tyvitervastaudin tunnistaminen ja torjunta männikössä](#) (ruotsiksi [tekstitettynä](#))

- [Tyvitervastaudin hillitseminen saartamalla männyn taimikossa](#) (ruotsiksi [tekstitettynä](#))
- **Podcastit** Metsätuhoista pitää puhua -sarjaan [Metsäkeskuksen Mättäällä podcastiin](#) (jaksot 8, 10 ja 11).
- **Artikkelit, uutiset ja blogitekstit** eri metsämedioissa, yhteensä 21 kpl (Liite 1).

2.5. Toteutusvaiheen arviointi

Hankkeen toteuttaminen sujui kokonaisuudessaan hyvin. Kehitettävät sovellukset, eli metsänsuunnittelutyökalu ja riskikartta, oli alun perin tarkoitettu toimimaan jatkuvasti Suomen metsäkeskukseen kerättävään lahotietoon perustuen. Hankkeen aikana kävi ilmi, että lahotietoa ei tulla hankkeen aikana saamaan tähän käyttöön. Riski oli tiedostettu jo hankesuunnitelmassa, ja siihen mukauduttiin. Sovellukset kehitettiin ja arvioitiin käyttäen staattisia tutkimusaineistoja, jotka Metsäteho toimitti Lukelle tätä tarkoitusta varten. Metsänsuunnittelutyökalu julkaistiin esimerkkiaineiston kanssa. Riskikartta julkaistiin staattisena dynaamisesti päivittyvän sijaan.

Erityisesti tulosten vienti käytäntöön oli aikataulullisesti haastavaa tavoitteiden täsmennyttyä. Aikataulua kuitenkin mukautettiin ohjausryhmän ja MMM:n hyväksynnällä siten, että hanke sai puoli vuotta jatkoaikaa.

3. Tulokset ja niiden arviointi

3.1. Tulosten esittely

Tässä osiossa esitellään hankkeen tulokset. Luvussa 3.1.1. kuvataan kehitetty menetelmä kuusen tyvilahon automaattiseksi tunnistamiseksi hakkuukonetiedosta. Luvussa 3.1.2. kuvataan selvitystyö lahotiedon jakelusta ja käytöstä sekä lahotiedon keräämisen ja lahohavaintokarttojen tuottamisen pilotointi. Luvussa 3.1.3. kuvataan lahotietoa sisältävien tutkimusaineistojen koostaminen hankkeen sovelluskehityksen ja analyysien tarpeisiin. Tämän jälkeen luvussa 3.1.4. kuvataan kehitetty metsänsuunnittelutyökalu kuusenjuurikäpäisen metsikön uudistamisen optimoimiseksi. Luvussa 3.1.5. esitellään maisematason optimointi kuusimetsän uudistamiselle, kun alueella on kuusenjuurikäävän saastuttamia kuusikoita. Luvussa 3.1.6. esitellään kuusen tyvilahon esiintymisen todennäköisyyden ennustava riskimalli ja siitä johdettu riskikartta. Lopuksi luvussa 3.1.7. esitellään kehitetty monikanavainen neuvonta- ja viestintäkonsepti juurikäpätuhojen tunnistamiseen ja torjuntaan.

3.1.1. Lahontunnistusmenetelmä

Hankkeessa kehitettiin hakkuukoneen mittaus- ja katkontatietoihin perustuva lahontunnistusmenetelmä. Menetelmän tarkoituksena on päätellä, onko hakkuussa kaadettu kuusi ollut lahon vaivaama vai terve. Periaatteena on, ettei tulkinta edellytä hakkuukoneen kuljettajalta mitään erityistoimenpiteitä ja että se voidaan tehdä hakkuun jälkeen automaattisesti nykyisin käytössä olevan hakkuun tuotantoraportoinnin tietosisältöön perustuen ilman muita tietolähteitä metsäyhtiön tai muun toimijan tietojärjestelmässä.

Hakkuukoneissa ei ole kuljettajaa katkonnassa avustavia tai automaattisia lahontunnistusmenetelmiä.

Lahon tunnistus perustuu katkottujen pölkkyjen puutavaralajin tulkintaan ja pölkyn sijaintiin rungolla. Lahontulkinta tehtiin korjuulohkokohtaisesti, mutta se voidaan tehdä mille vain alueelle, jolta runkokohtaiset mittaustiedot ovat olemassa. Korjuulohko voi rajaukseltaan poiketa metsävarakuviosta tai sisältää useita kuvioita. Hakkuukonetiedosta tunnistetaan puun läpimitan ja pituuden mittaustietojen perusteella tukkipuukokoiset rungot. Pölkkyjen puutavaralajitietoa käyttäen määritetään, onko rungon tyviosasta menetelmässä asetetulta tarkastelupituudelta katkottu jotain muuta puutavaralajia (kuitupuu, energiapuu tai hylkykappale) kuin tukkia. Tarkastelupituutena käytettiin kahta metriä. Tukkipuurungon määrittämiseksi menetelmästä toteutettiin kolme erilaista versiota, joita kaikkia käytettiin tutkimusaineistojen muodostamisessa.

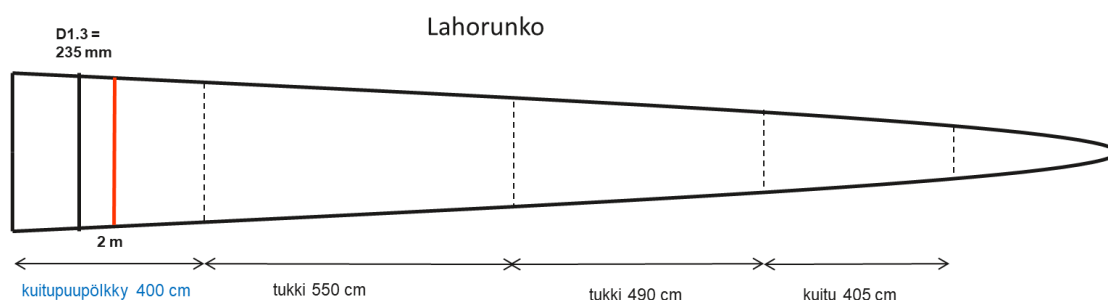
Kuitupuukokoisille rungoille puutavaralajiin perustuvaa lahontunnistusmenetelmää ei voida käyttää. Jatkossa niille sekä lahontunnistusmenetelmän lisätietona on mahdollista käyttää hakkuukoneiden erikoismerkintäkoodia, jota ollaan Suomessa ottamassa käyttöön koneiden mittalaiteohjelmistojen päivittymisen myötä. Kesällä 2024 julkaistussa erikoismerkintäkoodien käyttösuosituksessa on varattu koodi juurikäävän infektoimille puille ([Suositus hakkuukoneen erikoismerkintäkoodien käyttöön – Metsäteho \(metsateho.fi\)](https://metsateho.fi/suositus-hakkuukoneen-erikoismerkintäkoodien-kayttöön)).

Hakkuukone tallentaa runkojen ja pölkkyjen mittaustiedot ja toteutuneen katkonnan StanForD 2010 -standardin mukaiseen HPR-tiedostoon. Jokaisesta käsitellystä rungosta tallennetaan katkotut pölkkyt tyveltä alkaen ja kaikista pölkkyistä vähintään pituus, latvaläpimitta, tilavuus ja pölkyn puutavaralaji. Hakkuukoneen katkonta-automatiikka ehdottaa koneen kuljettajalle, mistä kohtaa runkoa pölkky katkaistaan. Kuljettaja voi poiketa automatiikan ehdotuksesta ja valita itse katkaisukohdan. Näin toimitaan erityisesti runkoihin liittyvien laatusyiden takia. Kuusella laho on yleisin tyviosan katkontaan vaikuttava laatutekijä. Muita katkontaan ja tukkitavaralajin vaihtumiseen alempiarvoiseen puutavaralajiin vaikuttavia laatusyitä ovat mutka, lenkous, monihaaraisuus ja tyvilaajentuma sekä käsittelyä haittaavat olosuhteet, mm. puun hankala kasvupaikka. Koska kuusella voi olla muitakin poikkeavaan katkontaan vaikuttavia tekijöitä kuin tyvilaho, ei lahorungon tulkinta ole täysin varmaa. Lisäksi osa lahoista rungoista voi jäädä tunnistamatta, mikäli kuljettaja ei havaitse lahoa ja tee sen mukaisesti puutavaralajin valintaa.

Lahontunnistusmenetelmästä toteutettiin algoritmi, jossa lahotulkinnan päättelysääntöjä voidaan muuttaa. Menetelmässä tyvilahoiseksi tulkitaan kuusitukkirunko, jonka tyveltä ei ole kahden metrin matkalta katkottu tukkipölkkyä, vaan jotain muuta puutavaralajia. Jos tyveltä on eri syistä katkottu lyhyt leikko (yleensä alle 50 cm), mutta sen jälkeen tarkastelualueen matkalla tyveltä (tutkimuksessa 2 m) on katkottu kuitenkin tukkia, ei tällaista runkoa vielä tulkita tyvilahoiseksi. Tukkirungon päättelemiseksi algoritmiin toteutettiin kolme eri tapaa:

Rotten200	Tukkikokoiseksi määritellään runko, joka on menetelmässä käytettävän tukin minimipituuden 430 cm etäisyydellä tyvestä läpimitaltaan vähintään 160 mm.
Rotten200DBH190	Tukkikokoiseksi määritellään runko, joka on menetelmässä käytettävän tukin minimipituuden 430 cm etäisyydellä tyvestä läpimitaltaan vähintään 160 mm ja lisäksi sen rinnankorkeusläpimitta ≥ 190 mm.
Rotten200WithSawLog	Tukkikokoiseksi määritellään runko, joka on menetelmässä käytettävän tukin minimipituuden 430 cm etäisyydellä tyvestä läpimitaltaan vähintään 160 mm ja lisäksi rungosta on katkottu vähintään yksi tukkipölkky.

Lahontunnistustavat on yllä esitelty järjestyksessä, joista ensimmäinen tuottaa eniten mahdollisia tyvilahorunkoja ja viimeinen taas vähiten. Kuvassa 1 on havainnollistettu tyvilahon tunnistamista rungosta.



Kuva 1. Esimerkki tukkirungosta, jossa tyveltä on lahon vuoksi katkottu kuitupuupölkky.

Lahontunnistusmenetelmä validoitiin pienellä maastoaineistolla, jossa Luken juurikäpätutkijat selvittivät hakkuukoneen kuljettajan tekemän lahohavainnon ja puutavaralajivalinnan sekä kantopinnasta tulkittavan lahon esiintymisen välistä korrelaatiota kolmella kuusivaltaisella päätehakkukohteella juurikäävän levinneisyysalueella Etelä-Suomessa. Kullakin kohteella tutkittiin n. 100 kuusirungon kantoa, joista arvioitiin lahon tyyppi, sijainti ja aste, lahonaiheuttaja (juurikäpä tai mesisieni) sekä kuvattiin kannot. Havainnot yhdistettiin hakkuukoneen HPR-tiedoston runkokohtaisiin mittaus- ja katkontatietoihin. Lahontunnistusmenetelmän antamat luokitustulokset on esitetty Taulukossa 1. Kuvassa 2 on annettu esimerkkejä validointiaineiston kannoista.

Taulukko 1. Lahontunnistusmenetelmän validointitulokset.

Tutkimuskohde	Oikeinluokitusprosentti			
	Pitkälle edennyt laho	Alkava tai pieni laho, kaarilaho ja laholaikut	Terveet	Kaikki rungot
Inkoo	100 %	58 %	88 %	65 %
Hamina	82 %	29 %	98 %	79 %
Karkkila	76 %	38 %	59 %	60 %
Kaikki kohteet	90 %	42 %	80 %	75 %

Pitkälle edenneen lahon sekä toisaalta täysin terveet puut hakkuukoneen kuljettajat tunnistivat hyvin. Sen sijaan eriaisteiset alkavat ja pienialaiset lahot olivat kuljettajille hankalampia tunnistaa, ja ne saattoivat sekoittua rungossa olevaan värivikaan, lylyyn tai runkovaurioon. Yhdellä kohteista oli runsaasti tuuli- ja kirjanpainajatuhoja, minkä vuoksi poikkeavan katkonnan tulkinta pelkästään juurikäävän aiheuttamaksi tyvilahoksi ei ollut yksiselitteistä.



Pehmeä laho sydänpuussa



Pieni laholaikku



Terve

Kuva 2. Lahontunnistusalgoritmin validoinnissa tutkittuja kantoja.

Olennainen osa hakkuukoneiden tuottamaa lahotietoa on myös juurikäpäisten runkojen sijainti hakkuualueella. Koneissa on nykyisin laajasti käytössä GNSS-paikannus, jonka sijaintitarkkuus on n. 2–5 metriä. Runkojen tallennettu sijainti perustuu vielä toistaiseksi koneen työpisteen sijaintiin, josta yksittäisen puun paikka voi poiketa puomin ulottuvuuden mukaan joitakin metrejä suuntaan tai toiseen. Hakkuukoneissa ollaan kuitenkin ottamassa käyttöön puomin ja hakkuulaitteen anturointiin perustuvaa paikannusta, jossa puun sijainti tallennetaan kaatohetkellä ja saadaan siten selville nykyistä tarkemmin – arviolta n. 0,5 metrin tarkkuudella. Yleistyessään tämä mahdollistaa myös tarkemman juurikäpäpesäkkeiden kartoittamisen.

3.1.2. Lahotiedon tuottaminen, jakelu ja käyttö

TyviTuho-hankkeen yhtenä tavoitteena oli kehittää tietopohja ja toimintamallit juurikääpään liittyvän riski- ja torjuntatiedon viemisestä käytäntöön, jossa niitä voidaan soveltaa mm. metsänomistajaneuvonnassa, viranomaistoiminnassa tai toimijoiden sähköisissä palveluissa. Tavoitteena oli sidosryhmätyöskentelynä laatia pelisäännöt hakkuukoneiden tuottaman lahotiedon hankintaan, käsittelyyn ja jakeluun siten, että paikannettu lahotieto saadaan laajaan käyttöön erilaisissa tietopalveluissa ja sovelluksissa. Lisäksi nähtiin tarpeelliseksi selvittää lahotiedon käyttömahdollisuuksia tutkimus-, viestintä- ja ohjeistustarkoituksiin.

Hakkuukoneiden tuottaman ja niissä käytettävien tietojen omistus- ja käyttöoikeuksista on sovittu metsäteollisuuden, konevalmistajien ja Koneyrittäjät ry:n kesken v. 2017 julkaistussa metsäkonetietoja koskevassa suosituksessa. Sitä ylläpidetään Metsätehon metsäkonetiedon pelisääntötyöryhmässä, jossa edustettuina ovat nykyisin em. tahojen lisäksi MTK ja Suomen metsäkeskus. Koska lahotiedon tuottamiseen, jakeluun ja hyödyntämiseen liittyy omistus- ja käyttöoikeuskysymyksiä sekä reunaehtoja ja mahdollisesti puun myyjien ja ostajien välisiä sopimuksia, tavoitteeksi asetettiin selvittää eri toimijoiden näkemykset niistä metsäkonetiedon pelisääntötyöryhmän puitteissa. Keskeinen kysymys oli, voidaanko lahotietoa jakaa avoimesti tai onko rajoitettu jakelu mahdollista.

Tätä varten Metsätehon ja Metsäkeskuksen yhteistyönä laadittiin lahotiedon käyttötapauskuvaukset, joihin toimijoita pyydettiin antamaan palautteensa (Kuva 3). Käyttötapauskuvausten tarkoituksena oli toimia myös palveluiden, sovellusten ja järjestelmien välisten rajapintojen kehittämisen tiekarttana sekä niiden vaatimusmäärittelyiden sekä teknisen ratkaisun pohjana.

Käyttötapaukset ryhmiteltiin seuraavasti:

A. Lahotiedon tuottamisen, käsittelyn ja jakelun käyttötapaukset

1. Hakkuukonetiedon hallinta, lahotiedon prosessointi ja siirto toimijoiden tietojärjestelmissä
2. Lahotiedon vastaanotto, jakaminen ja säilytys Metsäkeskuksen tietopalveluissa

B. Avoimen lahotiedon käyttötapaukset

1. Tieto hakkuussa todetusta lahosta Metsäkeskuksen viestintänä metsänomistajalle
2. Juurikäävän esiintymisen avoin karttapalvelu
3. Juurikäävän riskikartta
4. Muut

vakuusarvojen määrittämisessä sekä tietojen väärinkäyttömahdollisuuksissa, jos lahotieto olisi täysin avointa. Lahotiedon välittäminen Metsäkeskuksen julkisiin metsävaratietoihin tulisi perustua metsänomistajan nimenomaiseen tähän käyttötarkoitukseen antamaan lupaan. Metsäyhtiöiden näkemys oli, että metsänomistajat eivät välttämättä lupaa antaisi tai että niiden määrä voisi jäädä pieneksi. Tietojen siirtolupaa ei tulisi myöskään yhdistää metsävaratietojen päivityksen toimenpidetiedon siirtoon Kaato-palveluun, eikä siten riskeerata sen kattavuutta.

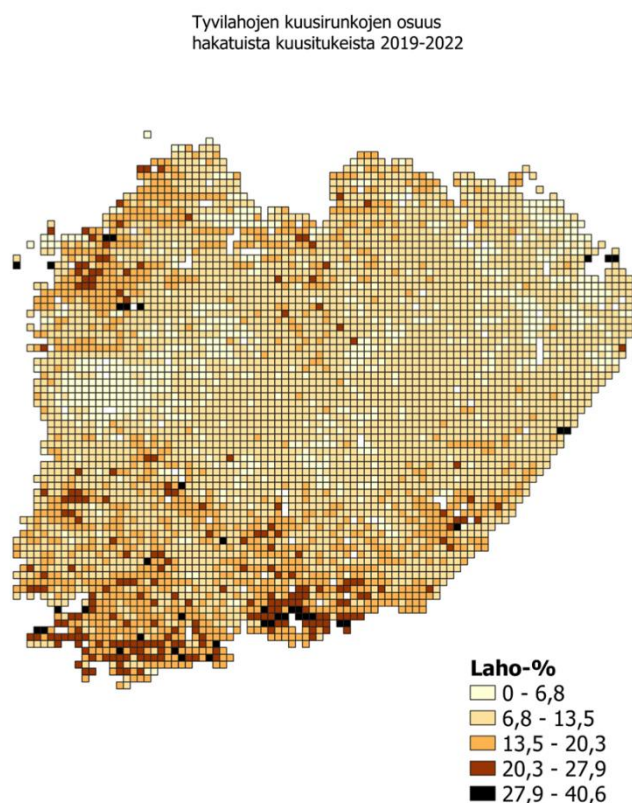
Metsäyhtiöt eivät nähneet lahotiedon rajoitettua käyttöä Metsäkeskuksen palveluna mahdollisena, koska metsätietolaki ei mahdollista Metsäkeskukseen siirretyn metsävaratiedon rajoitettua jakelua. Samaan tulkintaan päätyi myös Metsäkeskus sisäisessä arvioinnissaan. Lahotiedon siirto Metsään.fi-palvelun käyttöön voisi metsäyhtiöiden näkökulmasta kuitenkin olla mahdollista edellyttäen, ettei metsätietolaki sitä estä. Metsäkeskus on arvioinut, että lahotietojen haku ulkoisesta tietovarastosta Metsään.fi-palveluun metsänkäsittelyn vaihtoehtojen ja toimenpide-ehdotusten muodostusta varten voisi olla tähän mahdollinen ratkaisu. Sitä varten olisi kuitenkin ensin perustettava lahotietoa kokoava tietovarasto ja luotava tiedon tuottamisen toimintamalli ja sopimus pohja. Lahotiedon tuotannon tulisi lisäksi olla riittävän laajaa.

Metsäyhtiöiden puunkorjuun, metsänhoidon ja metsäpalveluiden toiminnoissa lahotiedon hyödyntäminen nähdään tärkeänä kehityskohteenä. Tieto juurikäävän esiintymisestä korjuukohteella voitaisiin välittää metsänomistajalle hakkuun jälkeen. Tieto voitaisiin esittää puukohtaisena sijaintina tai mikrokuviointiin perustuvana paikkatietona sovelluksissa tai kartoilla. Lahotiedon käyttö operaatioiden ohjauksessa omassa ja korjuuyrittäjien toiminnassa arvioitiin myös keskeiseksi. Hakkuukonetietoon perustuvan lahontulkintamenetelmän yhtiöt voisivat toteuttaa omiin tietojärjestelmiinsä itsenäisesti, mutta muidenkin vaihtoehtojen arvioitiin olevan mahdollisia. Menetelmän implementointi edellyttää muutoksia nykyiseen HPR-tietojen vastaanottoon ja hallintaan.

Hankkeen suunnitelmassa varauduttiin määrittelemään tekniset tiedonsiirtorajapinnat lahotietojen siirtämiseksi toimijoiden välillä, erityisesti siirtoon metsäyhtiöistä Metsäkeskuksen avoimen lahotiedon palveluun. Koska käyttötapausselvityksessä päädyttiin siihen, ettei lahotietoa voida jakaa avoimena, ei tiedonsiirtorajapintoja määritetty eikä niitä ole otettu mukaan metsätietostandardiin.

Käyttötapausselvityksen jälkeen keskustelua lahotiedon jakelusta ja käytöstä on jatkettu Metsätehon puuntuotannon kehittämisryhmässä. Palautteen pohjalta ilmeni tarve juurikäävän esiintymistä kuvaavien karttojen pilotoinnille. Metsäteho toteutti lahokarttojen muodostuksen TyviTuho-hankkeen ulkopuolella alkuvuoden 2024 aikana. Lahokartat tehtiin Metsätehon hakkuukonetietovarastossa oleville vuosien 2019–2022 juurikäävän levinneisyysalueen päätehakkuiden ja myöhempien harvennusten kohteille. Aineistossa oli kaikkiaan 102 000 korjuulohkoa ja 169 miljoonaa runkoa. Lahontunnistusmenetelmiä

Rotten200 ja Rotten200WithSawLog käytettiin. Lahokartat tehtiin maakunta-, kunta- ja hilaruutuperusteisina (UTM-10-karttalehtijaon 6 km x 6 km hilaruutu). Kuvassa 4 näytetään esimerkki lahokartasta. Kartat tullaan jakamaan avoimesti Metsätehon verkkosivuilla viimeistelyn jälkeen. Alustavasti on sovittu, että kartat päivitetään kahden vuoden kuluttua, mikäli uutta hakkuukonetietoa on tuolloin riittävästi käytettävissä.



Kuva 4. Lahojen kuusitukkirunkojen osuus 6 km x 6 km hiloilla lahokarttapilotissa.

3.1.3. Tutkimusaineistojen koostaminen

Metsätehon tehtävänä oli koota tutkimus- ja testausaineistot Luken kehittämän metsänsuunnittelutyökalun ja tyvilahon riskikartan sekä maisematason metsänuudistamisanalyyysien pohjaksi. Aineistot valittiin Metsätehon hakkuukonetietovaraston hakkuukohteista koko Suomesta (pl. Ahvenanmaan, Kainuun, Pohjois-Pohjanmaan ja Lapin maakunnat). Tutkimusaineistossa oli mukana kolmen suurimman metsäyhtiön hakkuukohteita vuosilta 2017–2021. Aineistoon otettiin mukaan erilaiset päätehakkutavat ja myöhemmät harvennukset. Ensiharvennuksia ei sisällytetty, koska lahontulkintamenetelmällä ei voida tunnistaa kuitupuukokoisia lahorunkoja. Korjuulohkon minimikoko oli 200 runkoa.

Valintaehdoilla tietovarastosta löytyi n. 40 000 korjuulohkoa, joista Lukelle toimitettuun aineistoon valittiin 14 664 kohdetta. Puita oli yhteensä 21,7 miljoonaa, joista 12,9 milj.

kuusirunkoa (joista edelleen 5,6 milj. kuusitukkirunkoa). Kohteiden valinnassa käytettiin maakuntakohtaista poimintaprosenttia, jotta saataisiin mukaan riittävästi lohkoja myös niille alueille, joilta hakkuukonetietoa on suhteellisesti vähemmän ja joilla juurikäävän levinneisyys on suurempaa. Painotus oli kuusivaltaisissa korjuulohkoissa, mutta mukaan otettiin myös mänty- ja lehtipuuvaltaisia kohteita mm. lahoriskikartan menetelmäkehitystä varten. Yhtenä valintatekijänä käytettiin kuusen osuutta kokonaistilavuudesta, jonka mukaan korjuulohkot jaettiin 11 luokkaan. Valinta tehtiin lopulta maakuntakohtaisesti satunnaisotantana, jossa ositustekijöinä olivat hakkuutaparyhmä ja kuusen tilavuusosuusluokka. Eniten korjuulohkoja aineistossa oli Etelä-Savosta, Pirkanmaalta ja Keski-Suomesta (1500–1800 per maakunta). Juurikäävän pahimmilta levinneisyysalueilta (Uusimaa, Varsinais-Suomi, Kanta-Häme ja Kymenlaakso) lohkoja oli 800–1000 kustakin maakunnasta.

Tutkimusaineisto jakautui korjuulohkokohtaisiin ja puukohtaisiin tietoihin sekä osa aineistoa hakkuukonekuviointeihin. Lohkotiedoissa olivat mukana mm. kunta, karkea sijainti ensimmäisen hakatun rungon koordinaatteina, hakkuuajankohta, hakkuutapa, kokonaispoistuman sekä puulajeittaiset summa- ja keskitunnukset ja kuusista lisäksi potentiaalisten kuusitukkirunkojen lukumäärä sekä kolmella eri menetelmällä lahoiksi tunnistettujen kuusitukkirunkojen lukumäärät ja osuudet. Puukohtaisissa tiedoissa olivat koordinaatit (hakkuukoneen työpisteen sijainti, osassa lohkoja lisäksi hakkuulaitteen mukainen kannon sijainti), puulaji, rinnankorkeusläpimitta, rungon ja käyttöosan mittaus- ja tilavuustiedot sekä kuusilla lahorunkotulkinta kolmella eri menetelmällä. Lisäksi puukohtaisiin tietoihin haettiin kasvupaikkaa kuvaavat tiedot kasvupaikkaluokasta, maalajista, korjuukelpoisuusluokasta sekä korkeus merenpinnasta hyödyntämällä Metsäkeskuksen hila-aineistoja ja Maanmittauslaitoksen maastotietokantaa.

Metsätehon paikkatietopohjaisella hakkuukonekuviointimenetelmällä teetettiin kaikille korjuulohkoille hakkuualueen kuviorajaukset, ja nämä liitettiin Lukelle toimitettuihin aineistoihin. Varsinaisen tutkimusaineiston lisäksi toimitettiin syksyllä 2023 lahoriskikartan validointia varten erillinen 500 päätehakkuuleimikon aineisto, jossa mukana olivat myös vastaavat puukohtaiset tiedot kuin tutkimusaineistossa.

3.1.4. Metsänsuunnittelutyökalu kuusenjuurikäpäisen metsikön uudistamisen optimoimiseksi

Hankkeessa kehitettiin laskennallinen menetelmä kuusenjuurikäpäisen metsikön uudistamisen suunnittelemiseksi siten, että metsikkö puhdistuu kuusenjuurikäävästä ja lisäksi metsikölle ennustettu taloustulos tai puuston biomassaa vastaavat nettohiilidioksidipoi-
stot maksimoidaan. Toisin sanoen, metsikön taloustulos tai hiilitulos maksimoidaan sillä vaatimuksella, että samalla metsikkö puhdistuu juurikäävästä. Menetelmä on toteutettu avoimena Python-koodina (<https://doi.org/10.5281/zenodo.13132120>). Tarkoituksena on, että menetelmää sovelletaan metsänomistajan päätöksenteon tukena metsää uudistettaessa,

kun päätehakkuussa on paljastunut kuusenjuurikääpää. Menetelmästä on valmisteltu tieteellinen käsikirjoitus, joka julkaistaneen lähiaikoina.

Kuusenjuurikääpä leviää uusiin puihin kahden eri mekanismin kautta. Ensimmäinen näistä on ilmateitse tapahtuva tartunta, kun sienen itiöt laskeutuvat kuusen kantopinnoille tai muille vaurioituneille pinnoille. Toinen mekanismi on tartunta sienirihmaston kasvaessa juuristoyhteyksiä pitkin saastuneesta kuusesta tai saastuneen kuusen kannosta ympäröiviin terveisiin kuusiin. Kantokäsittely on oikein toteutettuna tehokas tapa torjua itiöiden kautta tapahtuvia tartuntoja. Siten hankkeessa keskityttiin juuristoyhteyksien kautta tapahtuvien tartuntojen torjumiseen.

Lähtökohtana torjuntatyökalun suunnittelemisessa oli se, että kuusenjuurikäävän saastuttama kuusikko voidaan puhdistaa sienestä ja juuristoyhteyksien kautta tapahtuvat tartunnat seuraavaan puusukupolveen estää vaihtamalla puulajiksi joko mänty tai koivu. Hakkuukoneesta saatavan runkokohtaisen lahotiedon avulla olisi mahdollista paikallistaa kuusenjuurikäävän saastuttamat alueet metsikön sisällä. Tällöin puulajin vaihto voitaisiin kohdistaa näihin saastuneisiin alueisiin. Vertailemalla eri puulajivaihtoehtoja metsikön terveeseen osaan ja saastuneeseen osaan voitaisiin etsiä kullekin metsikölle sellainen uudistamissuunnitelma, jossa metsikkö puhdistetaan kuusenjuurikäävästä ja samalla saavutetaan joko mahdollisimman korkea taloustulos tai hiilidioksidipoiستot, metsänomistajan mieltymyksen mukaan.

Menetelmässä lähdetään liikkeelle siitä, että päätehakatusta metsiköstä saatu hakkuukonedata (StanForD 2010 -standardin HPR-data) prosessoidaan lahontunnistusalgoritmilla (luku 3.1.1) ja täten tuotetaan ”kartta”, joka näyttää lahoksi ja terveeksi todetut kuusitukkirungot leimikolla. Koska kyseessä on kuusi ja tarkastelussa on eteläisen Suomen alue, voidaan melko turvallisesti olettaa, että tyvilaho johtuu kuusenjuurikäävästä. Seuraavaksi lahojen ja terveiden runkojen sijaintien perusteella rajataan kuusenjuurikäävän saastuttamat ja terveet alueet erillisiksi mikrokuvioiksi. Rajaaminen tehdään soveltamalla tartunnan saaneiden puiden kantojen sijainteihin klusterointimenetelmää (DBSCAN, Ester et al. 1996), joka rajaa tautikeskittymät omiksi ryppäikseen ja näiden ulkopuolelle jäävät saastuneet kannot yksittäisiksi saastuneiksi alueiksi. Hankkeessa toteutettiin myös vaihtoehtoinen tapa tehdä metsikön mikrokuviointi, joka perustui todennäköisyyspohjaisella mallinnuksella (Bayes) tuotettuun arvioon tulevaisuuden tartuntariskistä metsikön eri osissa. Tässä jälkimmäisessä lähestymistavassa huomioitiin myös kuitukokoisten runkojen mahdollinen juurikääpätartunta, johon itse lahontunnistusalgoritmi ei ota kantaa (ks. luku 3.1.1).

Jotta voitaisiin vertailla eri puulajivaihtoehtojen antamia talous- ja hiilituloksia metsikölle, työssä tuotettiin ennuste sille, miten kukin puulaji kasvaisi tietyllä kasvupaikkatyypillä, tietyn lämpösumman alaisena ja tietyllä edellisen puusukupolven juurikääpäisyydellä. Tämä

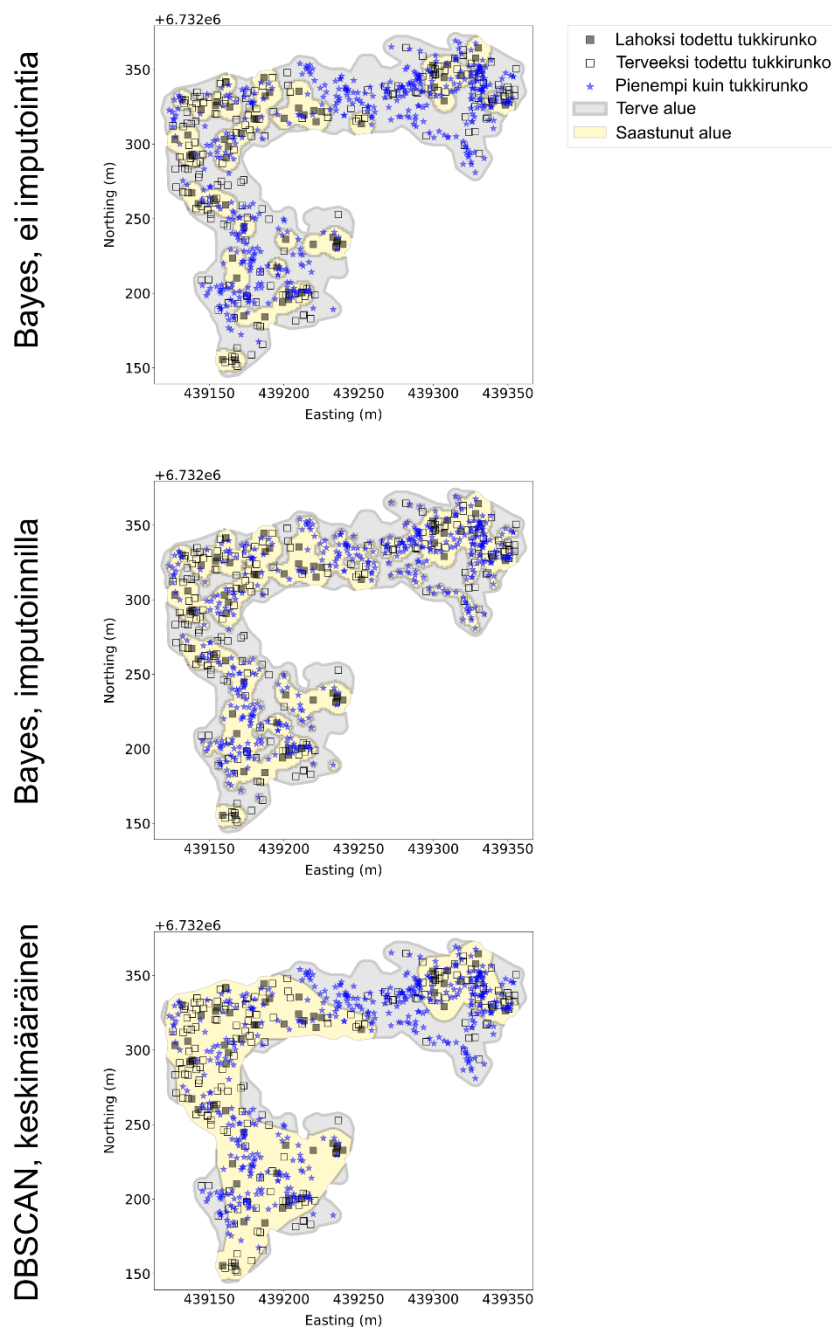
toteutettiin suorittamalla suuri määrä simulaatioita eri puulajien kasvusta terveillä alueilla (Motti, ks. Salminen et al. 2005, Hynynen et al. 2015, Juutinen et al. 2018) sekä kuusenjuurikäävän saastuttamilla alueilla (Motti+Hmodel, jossa Hmodel mallintaa juurikäävän käyttäytymistä metsikössä, ks. Honkaniemi et al. 2014, 2017). Simuloiduille metsiköille käytettiin taloustuloksena paljaan maan arvoa (BLV) 2 %:n korkokannalla (euroa/ha) ja hiilituloksena hiilidioksidin nettopoistoja elävän biomassan toimesta (tCO_2/ha). Simulaatioissa metsänhoito suoritettiin Tapion metsänhoitosuositusten mukaisesti. Nämä tulokset yleistettiin siten, että kullekin vaihtoehtoiselle puulajille (kuusi, mänty, koivu, kuusi-koivu-sekametsä) voitiin ennustaa taloustulos ja hiilitulos MT- ja OMT-kasvupaikoilla hehtaaria kohden, lämpösummilla noin 1000 ja 1300 d.d.:n välillä sekä eri asteisille kuusenjuurikääpätartunnoille eli saastuneiden kantojen osuuksille edellisessä eli juuri päätehakatussa puusukupolvessa.

Näiden askelten pohjalta menetelmä toimi siten, että luettuaan sisään päätehakatun metsikön tiedot, metsikkö jaettiin terveeseen ja saastuneeseen osaan, ja sitten käytiin läpi yhteensä 10 eri puulajikombinaatiota metsikölle. Kombinaatioita olivat esimerkiksi männyn istuttaminen koko metsikköön, tai sitten koivun istuttaminen saastuneille alueille ja kuusen istuttaminen terveille alueille. Kullekin uudistamisvaihtoehdolle laskettiin talous- ja hiilitulos yleistettyjen simulaatiotulosten perusteella. Sitten vaihtoehdot asetettiin järjestykseen taloustuloksen suhteen ja näistä valittiin paras. Seuraavaksi vaihtoehdot asetettiin järjestykseen hiilituloksen suhteen ja näistä valittiin paras. Täten metsänomistajalle voidaan päätöksenteon tueksi tarjota parhaat vaihtoehdot erikseen taloustuloksen ja hiilituloksen suhteen.

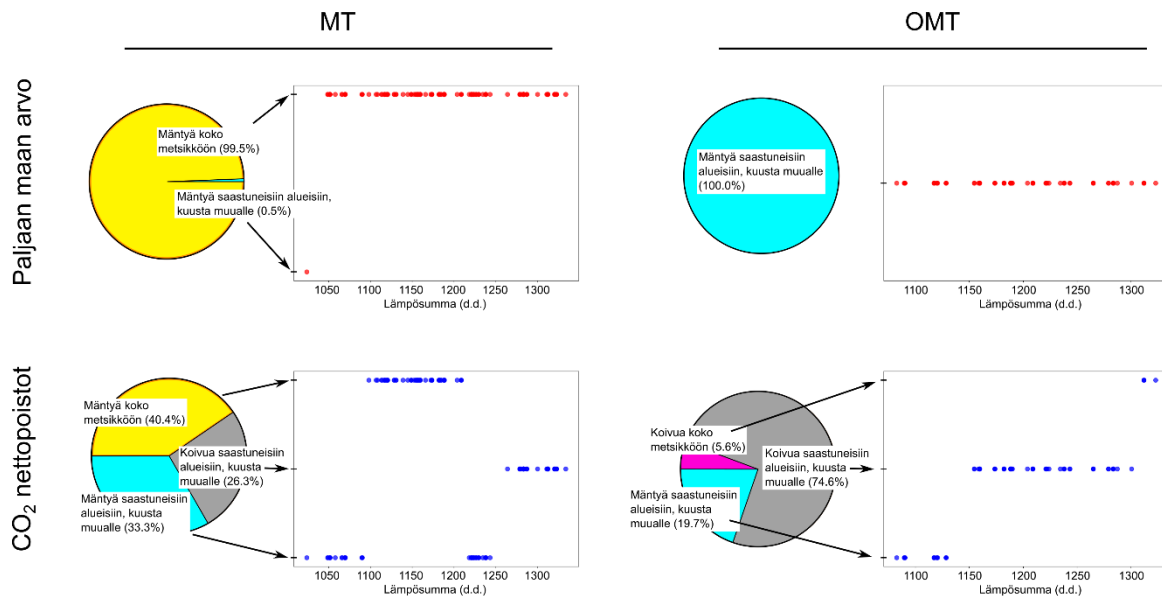
Menetelmää arvioitiin soveltamalla sitä 269 äskettäin (2019–2021) päätehakatun metsikön muodostamaan aineistoon. Tässä laskennallisessa kokeessa sovellettiin kolmea eri vaihtoehtoa lahojen kantojen klusteroimiseksi lahoiksi alueiksi (DBSCAN), joissa klustereiden koko vaihteli pienestä keskiisuureen ja yhä suurempaan. Lisäksi käytettiin todennäköisyyspohjaista lähestymistapaa (Bayes) joko huomioiden nk. imputoinnin kautta kuitukokoisten kuusirunkojen mahdollinen juurikääpäisyys tai jättäen se huomiotta (Kuva 5). Kaikki 269 metsikköä analysoitiin siis viidellä eri lähestymistavalla mikrokuviointiin. Tuloksina määritettiin menetelmän tuottamien puulajisuositusten jakauma sekä arvio menetelmän tuottamasta hyödystä taloustuloksessa ja hiilituloksessa suhteessa pelkälle kuuselle uudistamiseen. Lisäksi tutkittiin, puhdistako taloudellisesti optimaalinen metsäkäsittely metsikön kuusenjuurikäävästä, ja jos ei, mikä olisi puhdistamisen vaatimisesta seuraava taloudellinen tappio.

Analyysi osoitti, että taloustuloksen maksimoimiseksi ja kuusenjuurikäävän torjumiseksi menetelmä suosittelee MT-kasvupaikoille käytännössä aina männyn istuttamista koko metsikköön. OMT-kasvupaikoille suositus on sen sijaan istuttaa mäntyä metsikön saastuneisiin alueisiin ja kuusta muualle metsikköön. Hiilituloksen maksimoimiseksi

menetelmä suosittaa mm. koivua lahoalueisiin ja kuusta muualle, suosituksen riippuessa vahvasti lämpösummasta (Kuva 6).



Kuva 5. Esimerkkejä tyvilahosen metsikön jakamisesta terveiksi ja kuusenjuurikäävän saastuttamiksi mikrokuvioiksi. Kussakin kuvassa on esitetty kullekin kuusirungolle sijainti ja lahontunnistusalgoritmin (3.3.1) antama tulos. Ylimmän kuvan lopputulos saadaan, kun käytetään Bayes-mallinnusta tartuntariskin ennustamiseksi ja jätetään kuitukokoisten runkojen mahdollinen lahoisuus huomiotta. Keskellä oleva tulos saadaan, kun Bayes-mallinnuksessa otetaan kuitukokoisten runkojen mahdollinen lahoisuus huomioon. Alimpana oleva tulos saadaan yksinkertaisemmalla, puhtaasti lahoksi todettujen kuusirunkojen sijaintiin perustuvalla DBSCAN-lähestymistavalla, kun menetelmä klusteroi lahot kannot keskisuuriksi klustereiksi.



Kuva 6. Metsänsuunnittelutyökalun antamien puulajisuositusten jakauma testiaineiston 269 metsikössä. Tulokset on annettu erikseen kullekin kasvupaikkatyypille (MT, OMT) sekä maksimoitavalle suurelle (paljaanmaanarvo eli BLV tai hiilidioksidin nettopoistuma ilmakehästä elävään biomassaan).

Verrattuna siihen, että kukin metsikkö uudistettaisiin aina kuuselle, MT-kasvupaikoilla suosituksen toteuttaminen eli koko metsikön istuttaminen männylle tuottaa keskimäärin noin 1300 euroa/ha hyötyä verrattuna metsikön istuttamiseen kuuselle (Taulukko 2). Menetelmän soveltaminen OMT-kasvupaikoilla tuotti puolestaan keskimäärin noin 400–800 euroa/ha hyötyä taloustulosta optimoitaessa. Hyöty OMT-kasvupaikoilla riippui siitä, miten kuusenjuurikäävän saastuttamat alueet rajattiin metsikössä, tässä kokeessa sovellettavia menetelmiä ollen viisi (kolme DBSCAN-lähestymistapaa, kaksi Bayes-lähestymistapaa). Mitä suurempi saastuneen alueen raja, sitä suurempi osuus OMT-metsiköstä istutettiin männylle, jättäen vähemmän tilaa runsaasti tuottavalle kuuselle. Tuloksia tulkitessa on pidettävä mielessä, että DBSCAN-lähestymistavassa ei huomioida kuitukokoisten puiden mahdollista juurikääpäisyyttä, joten taloustulokset ovat sikäli optimistisia. Myös Bayes-lähestymistavassa tulokset ovat jossain määrin optimistisia, sillä kantojen paikkojen epävarmuutta ei ole huomioitu mallinnuksessa, mikä johtaa pienempiin lahoaluerajauksiin. Bayes-menetelmä on parempi lähestymistapa siinä mielessä, että siinä huomioidaan myös kuitukokoisten puiden mahdollinen kääpäisyys, jolloin juurikäävän torjuminen tehdään perusteellisemmin. Toisaalta DBSCAN-lähestymistavan käyttäminen on yksinkertaisempaa, ja tämän menetelmän tuottamat mikrokuvioinnit ovat muodoltaan yksinkertaisempia ja siten helpompia toteuttaa käytännössä.

Hiilitulosta maksimoitaessa saatiin tulos, että menetelmän soveltaminen tuottaa keskimäärin hieman pienemmät hiilidioksidipoistot elävään biomassaan kuin pelkälle kuuselle uudistaminen. Syy tähän on ensinnäkin se, että simulaatioissa seurataan metsänhoidon suosituksia, mikä tarkoittaa pienempää harvennusten lukumäärää kääpäisille kuusikoille ja siten suurta puumassaa metsikössä. Toiseksi simulaatioissa hieman yliarvioidaan

kuusenjuurikäävän tartuttamien kuusien hiilisisältöä. Tämän tuloksen tulkitsemisessa tulee lisäksi ottaa huomioon se, että kuusenjuurikäpä lisää muiden metsätuhojen, erityisesti tuulituhojen ja kirjanpainajan todennäköisyyttä, mikä puolestaan heikentää puuston hiilivaraston pysyvyyttä. Lisäksi laho kuusipuu päätyy kuitu- tai energiapuukäyttöön tukkipuun sijaan, mikä voi heikentää metsän käytön ilmastovaikutuksia. Ilmastomuutoksen edetessä kuivuus ja kirjanpainajatuhot aiheuttavat ongelmia erityisesti kuusivaltaisille metsiköille. Puulajiston monipuolistaminen on yksi ratkaisu tähän. Näistä syistä kehitetyn menetelmän soveltaminen metsikön uudistamiseen on silti suositeltavaa, myös hiilitulosta optimoitaessa.

Taulukko 2. Erotus optimoidun uudistusratkaisun taloustuloksessa ja hiilituloksessa, kun optimoinnissa vaaditaan että kuusenjuurikäpä tulee torjutuksi, verrattuna siihen, että metsikkö uudistettaisiin pelkälle kuuselle. Keskiarvo ja keskiarvon keskivirhe on laskettu validointiaineiston (269 metsikköä) yli. Taloustulokset on annettu tapaukselle, jossa maksimoidaan taloustulos. Hiilitulokset on annettu tapaukselle, jossa maksimoidaan hiilitulos.

	Bayes, ei imputointia	Bayes, imputoinnilla	DBSCAN, fragmentoitunut	DBSCAN, keskimääräinen	DBSCAN, lavea
Kuusenjuurikäävän saastuttaman alueen pinta-alan suhde koko metsikön pinta-alaan (OMT-kohteet)	0.34 ± 0.02	0.41 ± 0.03	0.53 ± 0.02	0.64 ± 0.03	0.69 ± 0.03
Keskimääräinen hyöty paljaanmaan-arvossa, MT (euroa/ha)	1320 ± 40	1320 ± 40	1320 ± 40	1320 ± 40	1320 ± 40
Keskimääräinen hyöty paljaanmaan-arvossa, OMT (euroa/ha)	810 ± 70	710 ± 60	560 ± 70	420 ± 70	360 ± 80
Keskimääräinen hyöty CO ₂ -poistoissa, MT (tCO ₂ /ha)	-3.9 ± 1.5	-5 ± 2	-7 ± 2	-9 ± 2	-10 ± 2
Keskimääräinen hyöty CO ₂ -poistoissa, OMT (tCO ₂ /ha)	-15.6 ± 1.5	-19 ± 2	-24 ± 2	-29 ± 2	-31 ± 2

Kun unohdetaan vaatimus metsikön puhdistamisesta juurikäävästä, on taloudellisesti optimaalinen uudistussuunnitelma MT-kasvupaikoilla yhä sellainen, joka myös puhdistaa metsikön juurikäävästä. Tällöin metsikön puhdistamisen ”hintaa” uudistamisessa on nolla euroa. OMT-kasvupaikoilla sen sijaan on niin, että joissakin tapauksissa taloudellisesti optimaalinen uudistussuunnitelma on istuttaa koko metsikkö kuuselle, jolloin metsikkö ei puhdistu juurikäävästä. Useimmissa tapauksissa taloudellisesti optimaalinen suunnitelma OMT-kasvupaikoillakin kuitenkin on sellainen, jossa metsikkö myös puhdistuu juurikäävästä (mäntyä saastuneisiin alueisiin, kuusta terveisiin). Koko 269 metsikön yli laskettuna taloustuloksen erotus optimaalisen uudistamissuunnitelman ja parhaan uudistussuunnitelman niistä, joissa metsikkö puhdistuu juurikäävästä välillä on muutamia

kymmeniä euroja hehtaaria kohden, riippuen valitusta mikrokuviointimenetelmästä. Täten kuusenjuurikääpäisen metsikön puhdistamisen "hinnan" voidaan todeta olevan häviävän pieni.

3.1.5. Metsänsuunnittelun optimointi maisematasolla, kun osa maisemasta on kuusenjuurikäävän saastuttamaa

Metsikkötason tarkastelun lisäksi tutkittiin kuusikoista koostuvan maiseman uudistamisen optimointia koko maiseman tasolla. Lähtökohtana työssä oli se, että osa alueen kuusikoista on kuusenjuurikäävän saastuttamia ja loput ovat terveitä. Asetelma oli se, että maiseman saastunut osa uudistetaan edelleen kuuselle, mutta maiseman terveen osan metsiköille etsitään sellaiset puulajivalinnat, joilla koko maisematasolla samanaikaisesti minimoidaan taloustuloksen väheneminen ja maksimoidaan hiilivaraston koko suhteessa siihen, että koko maiseman kattaisi terve kuusikko. Taustana oli se, että vaikka saastuneen kuusikon uudistaminen toiselle puulajille on suositeltu lähestymistapa, saastuneen kuusikon läheisyydessä olevien terveiden metsiköiden uudistamisen optimointia ei ole aiemmin tutkittu. Työstä on julkaistu vertaisarvioitu tieteellinen artikkeli (Ahtikoski et al. 2024).

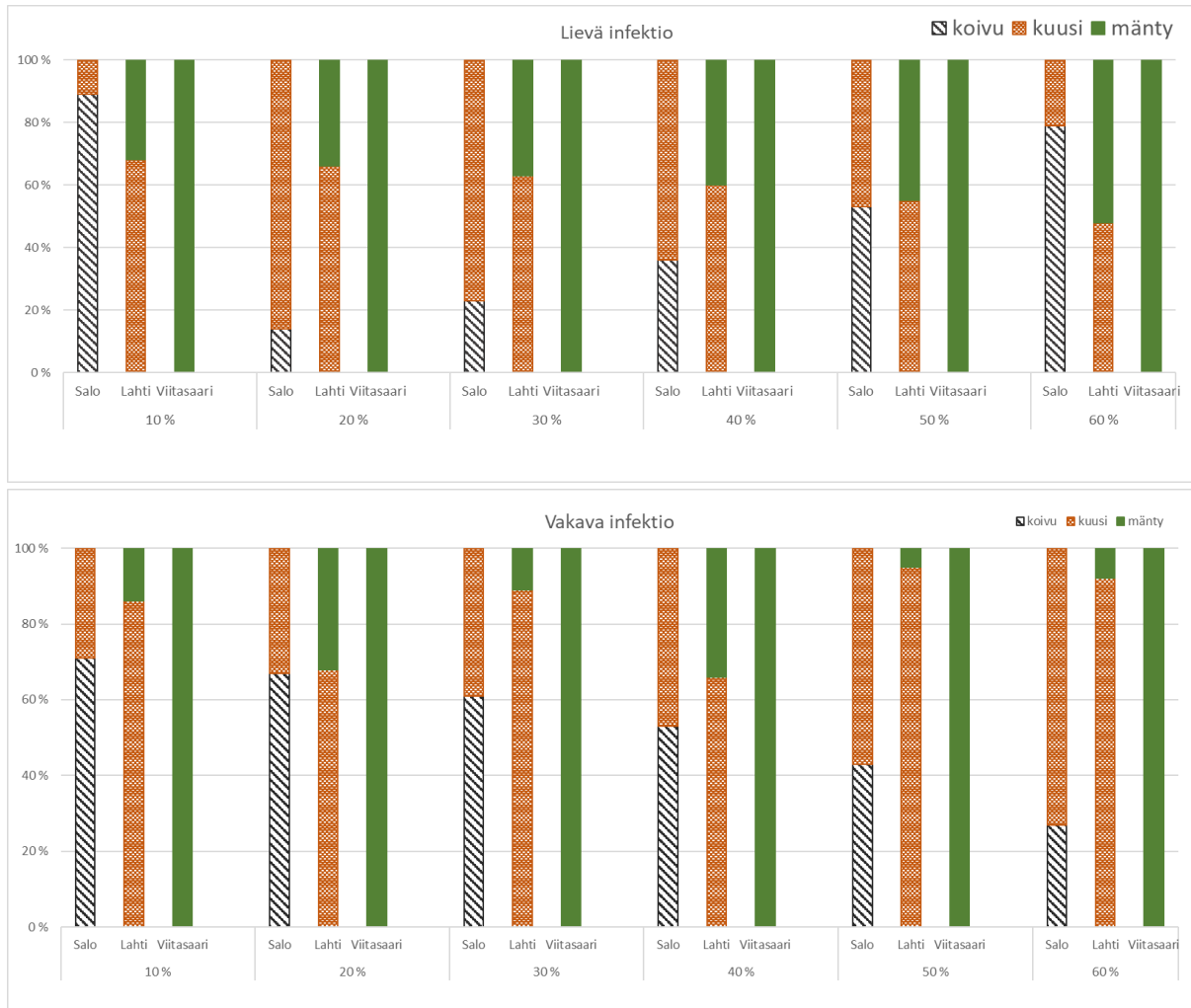
Työ perustui samoihin Motti ja Motti+Hmodel -simulaatioihin kuin metsikkötason optimointityö (luku 3.1.4) laajentaen tarkastelun metsikkötasolta maisematasolle. Analyysissä tarkasteltiin eri skenaarioita juurikääpätartuntojen suhteen, jotta saatettiin tutkia juurikääpäinfektion laajuuden, eli juurikäävän saastuttaman metsän osuutta koko maisemasta, sekä vakavuuden, eli edellisen puusukupolven juurikääpäisten kuusien osuutta kaikista sukupolven kuusista ja itiöpaineen merkitystä optimaaliselle uudistamisstrategialle maisematasolla. Lisäksi tutkittiin maantieteellisen sijainnin vaikutusta optimointituloksiin tarkastelemalla simulaatioiden paikkakuntina Saloa, Lahtea ja Viitasaarta. Metsätyyppi oli MT. Taloustuloksen metriikkana oli jälleen BLV 2 %:n laskentakorkokannalla.

Optimointi tehtiin seuraavasti. Tarkasteluun otettiin 100 ha:n metsäalue, jossa kukin metsikkö oli 1 ha kokoinen. Taso, johon optimoinnin tuloksia verrattiin oli BLV tilanteessa, jossa koko maisema uudistettaisiin terveiksi kuusikoiksi, eli olettaen, että alueella ei ole lainkaan kuusenjuurikääpätartuntoja. Optimointi suoritettiin iteratiivisesti siten, että yksittäisten metsiköiden puulajivalintoja käytiin läpi, tavoitteena samanaikaisesti minimoida maisemataso BLV:n erotus täysin terveen kuusimaiseman BLV:n nähden ja maksimoida koko maiseman hiilivaraston koko. Näiden kahden tavoitteen samanaikainen käsitteleminen teki optimoinnista epätriviaalia.

Tulokset osoittavat, että optimaalinen puulajivalinta riippuu merkittäväällä tavalla infektion laajuudesta (Kuva 7), infektion vakavuudesta (Kuva 8) sekä alueen lämpösummasta (Kuva 7).

Pohjoisimmassa tarkastellussa sijainnissa eli Viitasaassa mänty dominoi optimaalisissa puulajivalinnoissa, kun taas eteläisimmässä sijainnissa eli Salossa kuusi on vahva valinta. Tämä heijastaa kyseisten puulajien sopivuutta kyseisiin ilmasto-olosuhteisiin.

Herkkyysanalyysinä toteutettiin tarkastelu myös 4 %:n laskentakorkokannalla. Analyysi osoitti, että laskentakorkokannalla on vaikutus tuloksiin esimerkiksi siten, että Salossa kuusen osuus pienenee ja koivun osuus kasvaa, kun korkokanta nostetaan 2%:sta 4%:n. Tämä selittyy sillä, että vaikka hiilitulos on riippumaton korkokannasta, taloustulos riippuu vahvasti korkokannasta ja koivulla tulos pienenee vähemmän kuin kuusella (per ha) kun korkokantaa nostetaan. Kaiken kaikkiaan tämän maisematason tarkastelun tulokset ilmentävät sitä, ettei metsänkäsittelyn optimoiminen kuusenjuurikääpäisen metsän tapauksessa ole suoraviivaista.



Kuva 7. Optimaalinen puulajikombinaatio maiseman terveissä metsiköissä, kun kuusenjuurikääpäinfektio on alueen saastuneissa metsiköissä joko lievä (10% edellisen puusukupolven kuusista saastuneita ja itiöpaine 200 itiötä/m²/h, yllä) tai vakava (30% edellisen puusukupolven kuusista saastuneita ja itiöpaine 800 itiötä/m²/h, alla). Tulokset on annettu eri infektioituneen metsäalueen osuuksille koko maisemasta (10%, 20%, ..., 60%).



Kuva 8. Optimaalinen puulajikombinaatio maiseman terveissä metsiköissä, kun infektoituneen metsäalueen osuus koko maisemasta on 30% (yllä) tai 60% (alla). Kuvasta nähdään, että infektion vakavuus (lievä, eli 10% edellisen puusukupolven kuusista saastuneita ja itiöpaine 200 itiötä/m²/h tai vakava, eli 30% edellisen puusukupolven kuusista saastuneita ja itiöpaine 800 itiötä/m²/h) vaikuttaa merkittävästi optimaaliseen puulajivalintaan.

3.1.6. Ennustemalli ja riskikartta tyvilahon esiintymiselle

Hankkeessa kehitettiin tilastollinen malli, joka ennustaa lahojen runkojen osuutta tukkikokoisista kuusista metsän ja kasvupaikan ominaisuuksien, ihmisen toimintaa kuvaavien muuttujien sekä lähietäisyydellä sijaitsevien hakkuukonedatasta saatujen lahohavaintojen perusteella. Mallin perusteella tuotettiin eteläiselle Suomelle (eli koko Suomi pl. Lapin, Pohjois-Pohjanmaan ja Kainuun maakunnat) kuusen lahoriskikartta Luken Metsätuhoriskien karttapalveluun (<https://luonnonvaratieto.luke.fi/kartat?panel=metsatuhot>). Kartasta on valmisteltu tieteellinen käsikirjoitus, joka julkaistaneen lähiaikoina.

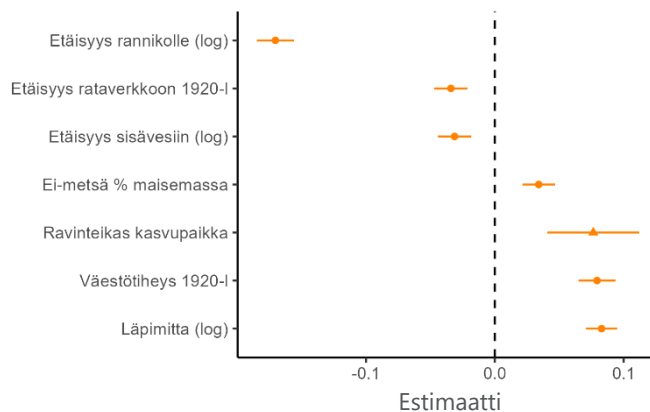
Ennustemallin luominen tyvilahon ja siten juurikäävän esiintymiselle nähtiin tärkeänä, koska olemassa oleva tieto juurikäävän levinneisyydestä perustui joko VMI-kenttämittauksiin, jotka

kärsivät suuresta epävarmuudesta kuusenjuurikäävän havaitsemiseen liittyen elävissä puissa, tai juurikäypään keskittyviin kenttämittauksiin, joissa otoskoot ovat pieniä. Hankkeen käytössä ollut hakkuukonepohjainen lahotieto nähtiin merkittävänä uutena tietolähteenä näiden ongelmien ratkaisemiseksi. Juurikäävän esiintymisen ennustaminen ja parempi kartoittaminen nähtiin tärkeänä metsätuhojen seurannan sekä metsänhoidon toimenpiteiden suunnittelemisen tukemiseksi lahon ennakoimisen kautta. Lisäksi haluttiin tuottaa uutta tietoa siitä, mitkä tekijät vaikuttavat kuusenjuurikäävän esiintymiseen, mihin kattava hakkuukonepohjainen aineisto toi aiempaa paremmat edellytykset.

Kehitetty malli koostui kahdesta osasta. Näistä ensimmäinen oli kiinteä osa, tässä lineaarinen malli, joka ennusti lahojen kuusitukkirunkojen osuuden kaikista kuusitukkirungoista tietyllä hakkuukoneaineiston metsikölle. Mallin selittäjinä tutkittiin metsikköä ja kasvupaikkaa kuvaavia muuttujia (rinnankorkeusläpimitta, kuusen osuus metsiköstä, kasvupaikkatyyppi, mineraali- vai turvemaa) sekä metsän käsittelyä kuvaavia muuttujia (etäisyys merenrannasta, etäisyys vanhoista sahoista ym.). Lisäksi tarkasteltiin maisematason ominaisuuksia, kuten vesistöjen osuutta ennustepisteen ympäristössä.

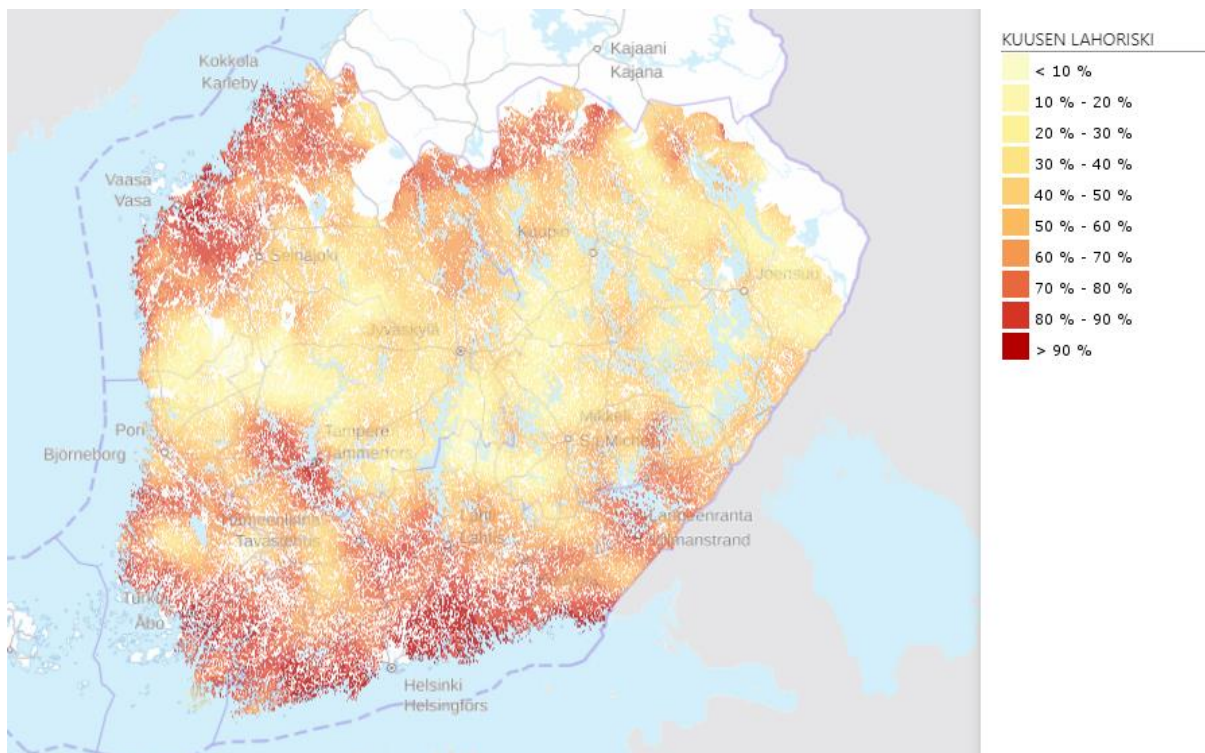
Mallin toinen osa oli satunnaisosa, jolla mallinnettiin kiinteän osan ennusteen residuaalien alueellista käyttäytymistä. Residuaaleille sovitettiin semivariogrammi, jonka avulla saatiin ennuste residuaalille paikan funktiona sekä arvio ennusteen epävarmuudesta. Satunnaisosalla päästiin kiinni siihen alueelliseen vaihteluun metsiköiden lahoasteessa, jota ei pystytty selittämään kiinteässä mallissa mukana olevilla selittäjillä. Satunnaisosan kautta menetelmä huomioi siis kiinteiden selittäjien lisäksi myös lähialueella olevien metsiköiden havaitun lahotilanteen ja säättää ennustetta tämän mukaisesti. Tämä mahdollisti ennusteen parantamisen pelkkään kiinteään osaan verrattuna. Lopullinen lahoriskin ennuste tuotettiin yhdistämällä kiinteän osan ja satunnaisosan ennusteet ja tuottamalla näiden perusteella arvio todennäköisyydestä, jolla tietyssä sijainnissa lahojen kuusitukkirunkojen osuus kaikista kuusitukkirungoista on vähintään 10%.

Noin 10 000 metsiköstä koostuvaan aineistoon sovitetussa lopullisessa mallissa lahoriski riippui vahvasti historiallista metsienkäyttöä kuvaavista tekijöistä. Näitä olivat etäisyys Itämeren rannalle ja etäisyys 1920-luvun rautatieverkostoon, jotka kuvaavat yhteyksiä puun kuljetusreitteihin. Lisäksi merkittäviä metsien käyttöön liittyviä selittäjiä olivat 1920-luvun väestöntiheys sekä muun kuin metsän osuus tarkasteltavasta maisemasta. Metsien ominaisuuksista tärkeimmät olivat puuston keskimääräinen rinnankorkeusläpimitta ja kasvupaikkatyyppi. Korkeampi rinnankorkeusläpimitta sekä ravinteikkaampi kasvupaikka nostivat lahoriskiä. Tekijöiden vaikutus riskiin on visualisoitu Kuvassa 9.



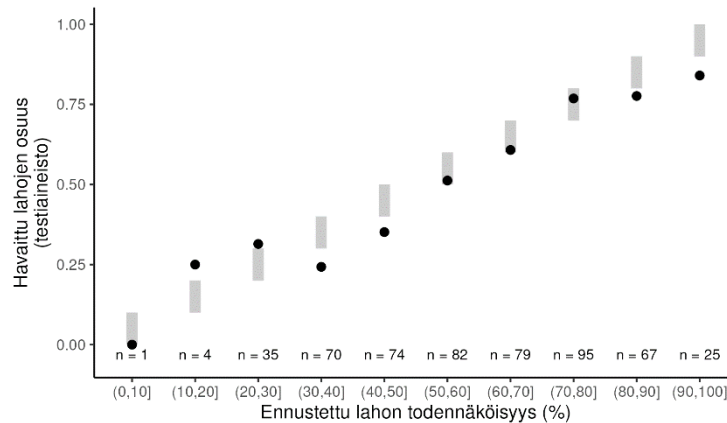
Kuva 9. Tyvilahon esiintymistodennäköisyyttä ennustavan mallin kiinteän osan selittäjien kertoimet. Janan pituus esittää 95%:n luottamusväliä.

Mallin avulla luotiin kuusen lahoriskikartta, joka kuvaa todennäköisyyden, että tietyssä sijainnissa olevassa metsässä olevista kuusitukkirungoista vähintään 10% kärsii tyvilahosta (Kuva 10). Karttaa tuotettaessa puuston rinnankorkeuslämpömitta asetettiin mallissa kiinteästi suureen keskiarvoon aineistossa, jotta laskettu lahoriski kuvaisi selkeämmin alueellista riskiä. Kartan tuottamiseksi riskimalli ajettiin kiinteän osan muuttujien aineistoille ja hakkuukoneaineiston metsikkökohtaisille lahohavainnoille eteläisen Suomen alueelle 16 m x 16 m hilassa. Karttaa luotaessa varmistettiin, että lahohavainnot ei voida lopullisesta kartasta tarkasti paikantaa. Kartasta nähdään, että lahoriski on suuri etelärannikolla ja Helsingistä itään. Lisäksi Turun seudulla, Pohjanmaalla ja Tampereen seudulla riski on korkea.



Kuva 10. Riskimallilla tuotettu kuusen lahoriskikartta Luken Luonnonvaratieto-palvelussa.

Mallin tuottamien karttaennusteiden paikkansapitävyys arvioitiin riippumattomalla noin 500 metsikön otoksella, jota ei käytetty mallin luomisessa. Mallin ennuste laskettiin kullekin tämän testidatan metsikölle, ja tulosta verrattiin hakkuukonedatan antamaan lahotietoon. Tässä yhteydessä mallin rinnankorkeusläpimitta asetettiin testidatan keskiarvoon. Validointi osoitti, että mallin antamat ennusteet ovat varsin tarkkoja kaikilla eri lahoasteilla (Kuva 11).



Kuva 11. Testiaineisto on tässä analyysissä jaettu eri kategorioihin sen perusteella, minkä riskin, eli minkä todennäköisyyden sille, että vähintään 10% kuusitukkirungoista on lahoa, malli ennusti. Vaaka-akselilla on esitetty kukin kategoria, ja harmaa palkki näyttää kullekin kategorialle sitä vastaavan riskien välin pystyvakioilla. Pystyvakioilla on piirretty mustalla pallolla se osuus testidatan metsiköistä kussakin kategoriassa, joissa vähintään 10% kuusitukkirungoista on lahoja.

Tuloksissa saatiin vahvistusta sille ajatukselle, että pitkä metsänkäyttöhistoria nostaa kuusen tyvilahon ja siten juurikäävän ja erityisesti kuusenjuurikäävän esiintymisen todennäköisyyttä. Metsän puulajijakauma ei osoittautunut analyysissä merkittäväksi tyvilahon esiintymisen kannalta, vaikka aiemmassa tutkimuksessa (Piri et al. 1990) todettiin, että sekametsissä on hieman vähemmän tyvilahoa kuusissa kuin yksilajisissa metsissä. Monet analyysissä tutkituista metsänkäyttöön ja ilmastoon liittyvistä muuttujista korreloivat vahvasti keskenään, mikä tekee tyvilahon ja siten juurikäävän esiintymiseen vaikuttavien tekijöiden tulkinnasta haastavaa.

Työssä nähtiin selvästi, että hakkuukoneperäisten lahohavaintojen tuominen ennusteeseen kiinteiden selittäjien lisäksi paransi lahoriskiennusteen tarkkuutta. Tämä korostaa lahotiedon merkitystä metsänkäsittelyn ja -tutkimuksen tarpeissa. Lahotietoa käytettäessä on kuitenkin huomioitava, että osalla rungoista lahohavainto johtuu muista syistä kuin juurikäävästä, esimerkiksi kirjanpainaajasta, lenkoudesta tai jostakin muusta lahoittajasienestä. Useimmissa tapauksissa laho johtunee kuitenkin nimenomaan kuusenjuurikäävästä, erityisesti mitä etelämmässä ollaan.

3.1.7. Neuvonta- ja viestintäkonsepti juurikäävän torjumisen edistämiseksi ja tuhoriskejä koskevan tietoisuuden lisäämiseksi

Alkuperäinen tavoite lahotiedon jakamiseen perustuvasta neuvonta- ja viestintäkonseptista nojasi käytäntöön saatavaan lahotietoon sekä siihen pohjautuviin menetelmiin. Koska lahotiedon jakeluun ei löydetty edellytyksiä, jouduttiin teknisestä toteutuksesta sekä siihen pohjautuvasta neuvonta- ja viestintäkonseptista luopumaan. Hankkeen viestinnässä sekä koulutus- ja neuvontamateriaaleissa keskityttiin lahotiedon tunnettavuuden edistämiseen.

Tuhotietoisuuden lisäämiseksi kehitettiin Jäytääkö juurikääpä? -tapahtumakonsepti, jossa metsänomistajia ja metsäammattilaisia kannustettiin päivittämään osaamista juurikääpätuhojen tunnistamisesta sekä torjunnasta. Sisällöissä läpileikkaavana teemana oli metsätuhojen kokonaisvaltainen huomioiminen. Tuotetut ja päivitetty materiaalit (oppaat, verkkokurssit, videot, podcastit) suunniteltiin käytettäväksi sekä itsenäisesti että toisiaan täydentäen. Koulutuksilla ja tapahtumilla oli merkittävä rooli myös neuvonta- ja koulutusmateriaalin laadinnassa, sillä sisältöjä kehitettiin vastaamaan kuulijoiden tarpeita aktiivisella osallistamisella sekä saadun palautteen perusteella. Materiaalien tulevat päivitystarpeet ja elinkaari pyrittiin ennakoimaan jo suunnittelussa. Myös hankkeen sidosryhmätapaamiset ja loppuseminaari järjestettiin Jäytääkö juurikääpä -konseptilla, jotta se jalkautuisi tiiviimmin osaksi käytäntöä.

Koulutustapahtumia järjestettiin yhteensä 38 kpl (Liite 2). Osa tapahtumista pidettiin hankkeen omina, osassa tehtiin hankeyhteistyötä valtakunnallisesti tai alueellisesti. Tapahtumia pidettiin maastossa, työpajoissa, luokkakoulutuksina, verkossa sekä webinaareina ja niistä tehtyinä tallenteina. Monipuolisella tarjonnalla ja hankeyhteistyöllä pyrittiin aiheelle löytämään myös uusia yleisöjä. Yhteistyötapahtumissa juurikäävän huomioiminen sisällytettiin kuhunkin teemaan, esimerkiksi kirjanpaina jatuhoiden rinnalle, talousmetsien luonnonhoitoon tai taimikonhoitotöihin.

Hankkeessa kehitetyt sovellukset juurikäävän täsmällisempään torjuntaan sisällytettiin materiaaleihin yleisellä tasolla menetelmiä tutuksi tehden. Lahotiedon hyödyntäminen metsänuudistamisessa toteutettiin videoituna maastodemonstraationa. Videot tuotettiin myös männynjuurikäävän aiheuttamasta tyvitervastaudista ja sen torjunnasta.

Monikanavaisen viestintäkonseptin materiaalien löydettävyyttä ja tunnettavuutta seurattiin koko hankkeen ajan. Materiaalien markkinoinnin huomattiin olevan pitkäjänteistä ja paljon toistoja vaativaa. Myös sidosryhmiä osallistettiin materiaalien markkinointiin. Potentiaaliinsa nähden materiaalit eivät vielä hankeaikana löytäneet niin laajaa käyttäjäkuntaa, kuin metsänomistajissa, oppilaitoksissa ja metsäammattilaisissa käyttäjinä voisi olla (Taulukko 3).

Taulukko 3. Julkaistujen materiaalien käytön seuranta.

Materiaali	Julkaisuajankohta	käyttö (krt) -06/24
Juurikääpäopas (fi & sv)	aiempi v. 2019, päiv. 04/2024	529, 532
Juurikääpä-verkkokurssit (fi & sv)	04/2023	230
Mättäällä podcast/Jäytääkö juurikääpä	10/23	282
Mättäällä podcast/Joutavatko vanhat käytänteet ja uskomukset metsätuhojen torjunnasta romukoppaan	11/23	224
Mättäällä podcast/Metsätuhojen seuranta kuuluu kaikille	11/23	276
Lahotiedon hyödyntäminen metsänuudistamisessa	10/23	511
Tyvitervastaudin hidastaminen saartamalla männyn taimikossa (fi & sv)	12/23 & 04/24	836+140
Tyvitervastaudin tunnistaminen ja torjunta (fi & sv)	12/23 & 04/24	605+97
Jäytääkö juurikääpä -tallenne (30 min)	06/23–06/24	287

Osallistuminen MeTuKka-hankkeen sidosryhmätapaamiseen ruotsalaisten kollegojen kanssa sekä hankkeen omista sidosryhmätapaamisista saadut kokemukset norjalaisten juurikäävän torjunnasta toivat hankkeeseen uusia näkökulmia. Ruotsinkieliset materiaalit olivat hyvä pohja tiedon vaihtoon, ja sekä verkkokurssia, opasta että maamme tapaa kiinnittää huomiota juurikäävän torjuntaan kiiteltiin erinomaiseksi. Lahotiedon hyödyntämistä jatkossa pohjustettiin käyttötapauskuvauksilla sekä selvityksellä Metsäkeskuksen valmiuksista ja tarpeista lahotiedon vastaanottamiseen sekä julkaisuun liittyen.

3.2. Tulosten vieminen käytäntöön

3.2.1. Lahontunnistusmenetelmä

Lahotiedon hyödyntämisen edellytys on, että hakkuukonetietoon perustuva lahontunnistusmenetelmä toteutetaan metsäyhtiöiden puunhankinnan tietojärjestelmiin tai lahotiedot tuotetaan menetelmää käyttäen laskentapalveluna. Hakkuun jälkeisen lahotilanteen selvittämisen sekä myös tiedonhallinnan näkökulmista luontevinta olisi implementoida menetelmä HPR-tietojen vastaanoton yhteyteen automaattiseksi prosessiksi vastaavalla tavalla kuin nykyisin muodostetaan Kaato-palveluun toimitettavat tiedot. Vaihtoehtoisesti lahontunnistus voidaan tehdä korjuukohteille jälkikäteen erillislaskentana. Laskenta voidaan tehdä kaikille hakkuukohteille tai rajata se esimerkiksi hakkuutavan ja juurikäävän levinneisyysalueen mukaan.

Mittaus-, katkonta- ja sijaintitietojen sekä tiedonsiirron osalta lahontunnistuksen edellytykset ovat täysin jo olemassa nykyisissä hakkuukoneiden tietojärjestelmissä. Kaadettavien puiden

paikannustarkkuuden parantuminen tulee jatkossa tarkentamaan lahorunkojen sijaintia. Jatkossa hakkuukoneen kuljettaja voi lisäksi merkitä lahorungon erikoismerkintäkoodilla, mikä parantaa lahontunnistusta mm. pieniläpimittaisilla puilla. Erikoismerkintäkoodien käyttö edellyttää urakanantajan ohjeistusta sekä muutosta tiedon vastaanottoon puunhankinnan järjestelmissä. Lahontunnistuksessa käytetään yhtiökohtaisia puutavaralajikoodeja, jotka ovat tyypillisesti muuttuvia tietoja. Sovellukseen on siksi toteutettava ajantasainen puutavaralajien hallinta, minkä vuoksi laskentaa voi olla hankala ulkoistaa.

Lahontunnistusmenetelmä on sovitettava kunkin toimijan tietojärjestelmäympäristöön. Jos se toteutetaan ulkoisena palveluna, on rakennettava integraatiot järjestelmien välille. Lahontunnistuksen tulostiedot on lisäksi jatkokäsiteltävä toimijan haluamalla tavalla paikkatiedoksi, kartoiksi ja raporteiksi, jotka voidaan edelleen siirtää esimerkiksi yhtiön puunhankinnan sovellusten tai metsänomistajien tietopalveluiden käyttöön. Mikäli laskennassa käytettävää dataa tai laskennan tulostietoja siirretään eri toimijoiden tai tietojärjestelmien välillä, lisääntynee myös tarve lahotietojen tietosisältöjen yhteiseksi määrittämiseksi ja niiden sisällyttämiseksi metsätietostandardiin. Implementointia varten lahontulkintamenetelmän kuvaus (pseudoalgoritmi) sekä tarvittava tuki on saatavissa Metsätehosta.

3.2.2. Lahotiedon omistus, jakelu ja käyttö

Hankkeessa selvitettiin puunhankinnan toimijoiden näkemykset avoimen tai rajoitetun lahotiedon jakelua ja käyttöä koskien. Hakkuukoneen mittaus- ja tuotantotietojen omistusoikeus on metsäkonetiedon pelisääntöjen mukaan sillä toimijalla, joka on hakkuutyön urakanantaja ja käytännössä aina myös puun ostaja. Toimijalla on käytössään lahotiedon muodostamiseksi tarvittava data, joten sillä on myös lähtökohtaisesti omistus- ja käyttöoikeus muodostamiinsa lahotietoihin. Toisaalta voidaan ajatella, että lahotieto, joka kohdennetaan hakkuukohteena olevaan metsikkökuvioon tai sille jääneisiin kantoihin on metsänomistajan metsästä kerättyä tietoa, jonka käytöstä ja luovuttamisesta muille toimijoille tulisi päättää metsänomistaja.

Toimijoiden varsin yhteinen näkemys oli, että lahotietoja ei voida jakaa avoimena metsävaratietona. Nykyinen metsätietolaki ei myöskään mahdollista sitä, että Metsäkeskukseen toimitettua lahotietoa voitaisiin jakaa rajoitetusti. Koska muutakaan julkista tai yksityistä tahoa tai tietopalvelua lahotiedon rajoitettuun ja käyttöoikeuksilla hallittavaan jakamiseen ei ole ainakaan tällä hetkellä näköpiirissä, ensivaiheen vaihtoehdoksi jäänee, että metsäyhtiöt toteuttavat omien tavoitteidensa mukaisen ratkaisun tarkan lahotiedon välittämiseksi metsänomistajalle siten, että metsänomistaja saa myös täyden hyödyn tiedosta. Tätä ja jatkohyödyntämistä ajatellen eri toimijoiden tuottaman lahotiedon kannattaisi kuitenkin olla sisällöltään yhdenmukaista ja standardisoitua.

Toivottavaa olisi, että metsänomistajille olisi jatkossa tarjolla sellaisia metsäomaisuuden hallintapalveluita ja sovelluksia, joissa lahotietoa voitaisiin säilyttää ja käyttää toimenpiteiden

suunnittelussa pitkäaikaisesti osana muuta metsävarakuvio- ja puustotietoa. Juurikäävän levinneisyyden seuraamiseksi on mahdollista muodostaa tarkasta lahotiedosta sijainniltaan karkeistettua joko avointa tai rajoitettua tietoa niin, että metsänomistajien omaisuuden suoja ei vaarannu. Tarkan lahotiedon käyttämiseksi muuhun tarkoitukseen on kuitenkin syytä tarkentaa omistus- ja käyttöoikeuksia koskevia periaatteita yhdessä metsänomistajien, puun ostajien ja tiedon käyttäjien kesken.

3.2.3. Metsänsuunnittelutyökalu

Hankkeessa kehitetty menetelmä kuusenjuurikäpäisen metsikön uudistamisen optimoimiseksi on toteutettu avoimena Python-koodina (<https://doi.org/10.5281/zenodo.13132120>). Koodi on siten niin metsänomistajien kuin muidenkin metsäalan toimijoiden vapaasti hyödynnettävissä. Käytännössä lahotiedon siirtyminen urakanantajan ja metsänomistajan välillä on vielä vähäistä, jolloin todennäköisin käyttötapaus menetelmälle lähitulevaisuudessa on se, että uudistamisesta vastaava yhtiö tuottaa mikrokuviointeja koodilla ja hyödyntää simulaatioiden antamia ennusteita suunnitellessaan uudistamista ja neuvoessaan metsänomistajaa. Täten koodi ja menetelmä tarjoavat mahdollisuuksia uuden liiketoiminnan syntymiselle. Koodin dokumentaatiossa suositellaan vahvasti lahotiedon paljastamien juurikäävän saastuttamien alueiden viestimistä metsänomistajalle.

Käytännössä kehitetyn optimointimenetelmän soveltaminen edesauttaisi kuusenjuurikäävän leviämisen hidastamista tai jopa pysäyttämistä siellä, missä menetelmää käytetään. Tämä parantaisi metsiemme terveyttä. Lisäksi merkittävä seuraus olisi puulajisuhteiden monipuolistuminen männyn ja koivun käytön lisääntymisen myötä, mikä parantaisi metsien monimuotoisuutta ja sitä kautta metsiemme resilienssiä monille muillekin metsätuhoille sekä sopeutumista ilmastonmuutokseen. Menetelmä ohjaa vähentämään juurikäpäisiä kuusikoita metsissämme ja siten vahvistaa metsien hiilivarastojen pysyvyyttä. Menetelmän avoin julkaiseminen ja sen markkinointi edistävät menetelmän ja sen tuottamien, mikrokuviointiin perustuvien metsänkäsittelysuositusten hyödyntämistä käytännön metsätaloudessa. Täten menetelmä palvelee ilmastotoimenpidekokonaisuuden tavoitteita 1, 3 ja 4 (ks. luku 1.2).

Sovellettaessa metsänsuunnittelutyökalua käytäntöön on muistettava, että mikäli kohteella esiintyy männynjuurikäpää, mäntyä sisältävät uudistussuunnitelmat eivät tule kyseeseen. Lisäksi mikäli alueella on merkittävä hirvipopulaatio, ei koivun taimien istuttaminen ole suositeltavaa. On myös huomioitava, että mikäli alueella on maisematasolla paljon kuusenjuurikäpää, niin kuusen istuttaminen edes metsikön terveisiin osiin ei ole suositeltavaa. Tämä siksi, että tulevissa harvennushakkuissa juurikäpä saattaa tarttua herkästi metsikköön. Menetelmä antaa käyttäjälle uudistussuunnitelmat paremmuusjärjestyksessä, erikseen taloustuloksen ja hiilituloksen suhteen, joten käyttäjä voi valita helposti vaihtoehdoisen suunnitelman tällaisissa tapauksissa. On myös tärkeää, että uudistussuunnitelmaa arvioidaan maastokäynnillä. Tällöin voidaan mm. varmentaa kasvupaikkatyyppi sekä todeta mahdollinen tilanne, jossa kohteella on muitakin metsätuhoja

kuin kuusenuurikäp (esim. kirjanpainaja, tuulituhot), jotka heikentävät hakkuukoneella tuotetun tyvilahotiedon luotettavuutta. Mikrokuviointiin perustuvan suosituksen toteuttaminen vaatii usein merkittäviä määriä eri puulajien taimia. Tyvilahon riskikartta (luku 3.1.6) voisi auttaa tämän tarpeen ennakoinnissa hyvissä ajoin ennen uudistushakkuuta.

3.2.4. Tyvilahon riskikartta

Tyvilahon esiintymistodennäköisyys Suomessa kartoitettiin onnistuneesti. Kehitetty riskimalli selventää, mitkä tekijät ennustavat tyvilahon ja siten juurikäävän esiintymistä. Käytännön kannalta vielä merkityksellisempää on se, että riskimallin pohjalta tuotettu riskikartta näyttää suoraan, missä juurikäpää todennäköisesti esiintyy (<https://luonnonvaratieto.luke.fi/kartat?panel=metsatuhot>). Riskikartan pohjalta juurikäpää voidaan ottaa aiempaa paremmin huomioon tehtäessä päätöksiä metsien käsittelyn suhteen. Tämä voi olla varsin merkityksellistä esimerkiksi pohdittaessa, olisiko jollakin kohteella sopivaa siirtyä jatkuvan kasvatuksen metsänhoitoon. Juurikäpää leviää tehokkaasti yhdestä infektoituneesta puusukupolvesta toiseen, joten siellä missä on korkea juurikäävän riski, ei jatkuvaa kasvatusta voida suositella. Aiempaa parempi käsitys juurikäpärisistä ja juurikäävän levinneisyydestä voi tukea myös viranomaisten säädösvalmistelua juurikäävän huomioimiseen liittyen metsätaloudessa.

Juurikäpärisin ennakoinninen riskikartan avulla tukee myös metsien uudistamiseen valmistautumista osoittamalla todennäköisen tarpeen mänty- tai koivutaimille, mikäli kohteella on korkea juurikäpäriski. Tämä tieto voi olla hyödyllistä myös toteutetun metsäsuunnittelutyökalun antamien uudistussuositusten toteuttamisen kannalta, sillä useat menetelmän antamat suositukset sisältävät muita puulajeja kuin kuusta (luku 3.1.4). Juurikäävän riskikartta voi auttaa myös harvennusten ajoituksen ja lukumäärän suunnittelussa sekä juurikäävän seurannaistuhon, erityisesti tuuli- ja kirjanpainajatuhojen, ennakoinnissa. Riskikartta on metsäsuunnittelutyökalun ohella osoitus siitä, että hakkuukonepohjaisen lahotiedon avaaminen laajasti hyödynnettäväksi, tässä tapauksessa kartan pohjatietojen päivittämiseksi, olisi erittäin hyödyllistä. Tämä edistää keskustelua ja toimenpiteitä lahotiedon laajemmaksi hyödyntämiseksi.

Lahoriskikartan voidaan toivoa herättävän metsänomistajia ja alan toimijoita panostamaan juurikäävän torjuntaan entistä enemmän, vahvistaen hiilivarastoja lyhyellä ja pitkällä aikavälillä. Sitä kautta riskikartta myös tukisi maa- ja metsätalouden sopeutumista ilmastonmuutokseen, sillä juurikäpää tulee yleistymään ilmaston lämmetessä. Kartta myös tuottaisi täten tietoa ilmastotoimien tueksi ja edistäisi juurikäävän torjuntaan liittyvän tiedon ja osaamisen käyttöä. Mikäli näin tapahtuu, riskikartta palvelee maankäyttösektorin ilmastotoimenpidekokonaisuuden tavoitteita 1, 3 ja 4 (ks. luku 1.2).

3.2.5. Juurikäävän torjunnan neuvonta- ja viestintäkonsepti vaatii jatkuvaa ylläpitoa ja päivittämistä

Viestintä- ja neuvontakonseptin kehittäminen ja tulosten vieminen käytäntöön olivat toisiaan tukeva kokonaisuus. Jäytääkö juurikääpä -tapahtumakonsepti vakiinnutti paikkansa osana Metsäkeskuksen koulutustarjontaa ja sen toteuttaminen on jatkunut alueellisissa hankkeissa TyviTuhon päätyttyä. Tapahtumakonseptia on hyödynnetty myös Metsäkeskuksen koulutusten kehittämisessä.

Juurikäävän tunnistamisen ja torjunnan materiaalit ovat metsänomistajien ja metsäammattilaisten saatavilla toistaiseksi osana Metsäkeskuksen koulutus- ja materiaalarjontaa. Päivitetyt sisällöt kannustavat aktiiviseen juurikäävän torjuntaan sekä juurikääpäriskin huomioimiseen kaikenikäisissä metsiköissä. Aiheen aktiiviseen ja pitkäjänteiseen viestintään on panostettava myös hankkeen päättymisen jälkeen. Materiaalien löydettävyyteen ja tunnetuksi tekemiseen tarvitaan panoksia, jotta juurikääpäriskien huomiointi arkipäiväistyy osana metsän- ja luonnonhoitoa.

3.3. Tulosten merkitys ja jatkotoimenpiteet

3.3.1. Tulosten uutuusarvo ja merkitys kansainvälisesti

Hankkeessa ja sen yhteydessä tuotettiin merkittävää uutta tietoa juurikäävän esiintymisestä Suomessa. Juurikäävän aiheuttaman tyvilahon tunnistaminen kuusipuissa hakkuukonetiedon perusteella on uusi menetelmä juurikääpähavaintojen tuottamiseksi tehokkaasti normaalin hakkuutyön sivutuotteena. Tällä tavoin kerätty lahotieto mahdollisti suuren mittakaavan lahohavaintokarttojen luomisen (luku 3.1.2). Nämä kartat ovat ensimmäiset laatuaan Suomessa ja kansainvälisesti.

Kerätty lahotieto mahdollisti myös kahden juurikäävän haittojen vähentämiseen tähtäävän sovelluksen luomisen: metsäsuunnittelutyökalun kuusenjuurikääpäisen metsikön puhdistamiseksi uudistamisessa (luku 3.1.4) sekä tyvilahon esiintymistä ennustavan riskimallin ja siihen perustuvan riskikartan (luku 3.1.6). Hieman samankaltainen suunnittelumenetelmä on aiemmin kehitetty Norjassa (Aza et al. 2022), mutta TyviTuho vei asiaa huomattavasti pidemmälle. Ensinnäkin, kehitetyssä työkalussa keskeisenä vaatimuksena on kuusenjuurikäävän torjuminen uudistamisessa. Toiseksi, puulajivalikoima, jota uudistamisessa käsitellään on aiempaa laajempi, ja mukana on myös puuston toteuttamien hiilidioksidipoistojen maksimointi. TyviTuhossa kehitetyn menetelmän antamat puulajisuositukset taloustulosta maksimoitaessa ovat selkeitä: MT-kasvupaikoille suositellaan mäntyä, OMT-kasvupaikoille suositellaan juurikääpäisiin alueisiin mäntyä ja terveisiin alueisiin kuusta. Suositukset tulee toki arvioida tapauskohtaisesti asiantuntijan toimesta, ja esimerkiksi männyn mahdollinen laadunalenema rehevillä kasvupaikoilla sekä erityisesti mäntyä uhkaavat tuhot, kuten männynjuurikääpä, on hyvä pitää arvioissa mukana. Maisematason analyysi metsäalueen puulajien optimoimiseksi, kun osa alueesta on kuusenjuurikäävän saastuttamaa (luku 3.1.5) on ensimmäinen laatuaan maailmassa.

Kehitetty tyvilahon riskimalli osoittaa, että tyvilahon ja siten juurikäävän esiintymistodennäköisyys riippuu puuston rinnankorkeusläpimitasta, kasvupaikan ravinteikkuudesta sekä metsän ja maankäytön historiasta alueella. Näistä puuston läpimita ja kasvupaikan ravinteikkuus on tunnistettu merkittäviksi tyvilahon esiintymisen kannalta metsäinventaarioihin perustuvassa aiemmassa mallinnuksessa (Thor et al. 2005, Mattila et al. 2007). Lisäksi Norjassa on äskettäin kehitetty juurikäävän lahottaman kuusipuun tilavuutta metsässä ennustava tilastollinen malli (Räty et al. 2021), jossa erityisesti puuston pituuteen liittyvät muuttujat nousivat merkittäväksi juurikäävän esiintymisen selittäjäksi. Ja edelleen Norjassa (Räty et al. 2023) on todettu hakkuukonedataa analysoimalla, että tyvilahon vaivaamat puut ovat tyypillisesti järeämpiä ja pidempiä kuin muut puut metsikössä. Siten TyviTuhossa todettu puuston rinnankorkeusläpimitan yhteys tyvilahon esiintymiseen tukee näitä aiempia tuloksia, joiden mukaan käytännössä puuston koko ja ikä selittävät tyvilahon ja siten juurikäävän esiintymistä. TyviTuhossa tyvilahoriskin alueellisen vaihtelun selittäminen aiempaa ihmistoimintaa kuvaavien muuttujien avulla on puolestaan uusi tulos. Aiemmat tutkimukset ovat tuoneet esiin mm. harvennusten ja aiemman maankäytön merkityksen kohonneelle tyvilahoriskille (Piri et al. 1990, Garbelotto ja Gonthier 2013), mutta hankkeen tuloksissa pystyttiin sitomaan tyvilahon esiintyminen eri puolilla maata historiallista ihmistoimintaa kuvaaviin muuttujiin, korostaen metsien käytön vaikutusta juurikäävän leviämislle metsissämme.

Hakkuukonepohjaista lahotietoa voitaisiin myös hyödyntää pohdittaessa, kannattaisiko tietyllä kohteella siirtyä jaksollisesta metsänkasvatuksesta jatkuvaan kasvatukseen. Mikäli kohteella on havaittu juurikääpä, ei jatkuvaan kasvatukseen siirtymistä suositella. Tämä siksi, että jatkuvassa kasvatuksessa metsä ei koskaan puhdistu juurikäävästä.

Tulosten kansainvälinen arvo on merkittävä. Hankkeessa on tuotettu yhteensä viisi tieteellistä käsikirjoitusta, joista kaksi on julkaistu kansainvälisissä vertaisarvioituissa sarjoissa (luku 2.4). Juurikääpä on Suomen lisäksi ongelma esimerkiksi Ruotsissa, Norjassa sekä Keski-Euroopassa. Hankkeessa tuotettu tieto ja kehitetyt menetelmät ovat siten relevantteja laajasti Suomen ulkopuolellakin.

3.3.2. Tulosten jalkauttaminen ja hyödyntäminen

Metsäteho julkaisee laohavaintokartat avoimesti saataville. Kartoista tiedotetaan Metsätehon verkostojen kautta julkaisemisen yhteydessä. Samalla mainostetaan jo julkaistua lahoriskikarttaa, edesauttaen sen jalkauttamista niin metsänomistajien kuin metsäalan muidenkin toimijoiden käyttöön. Lahohavaintokartat on tarkoitus päivittää kahden vuoden päästä, mikäli uutta lahotietoa saadaan kerättyä riittävästi siihen mennessä.

Metsänsuunnittelumenetelmästä ja riskikartasta tuotetut käsikirjoitukset on tarkoitus saada julkaistua korkeatasoisissa kansainvälisissä tieteellisissä sarjoissa, joka osaltaan edesauttaa tietoisuuden kasvamista juurikäävän esiintymisestä, torjumisesta ja riskeistä. Kyseiset artikkelit tekevät myös jo julkaistun metsänsuunnittelutyökalun koodin ja julkaistun

riskikartan paremmin tunnetuksi tutkimus- ja tiedeyhteisössä. Sovellukset on kuvattu myös osana tuotettuja juurikäävän tunnistamisen ja torjunnan koulutus- ja neuvontamateriaaleja. Hankkeen tieteellisten käsikirjoitusten kuvaamia tuloksia on esitelty kansainvälisissä tieteellisissä kokouksissa, mm. IBFRA 2023:ssa, FORMEC 2023:ssa sekä IUFRO 2024:ssä.

Lahohavaintokarttoja tullaan hyödyntämään mm. Metsätehon osakkaiden eli monien Suomen metsäalan suurimpien toimijoiden toimesta. Kartoista hyötyisivät myös metsänomistajat metsiensä tulevaisuutta suunnitellessaan, sillä lahohavaintokartat samoin kuin lahoriskikartta voivat auttaa metsänomistajaa varautumaan juurikääpään ja tyvilahoon tulevassa päätehakkuussa ja metsän uudistamisessa.

Metsänsuunnittelutyökalun käyttö edellyttää lahotiedon hyödyntämistä. Luodut edellytykset juurikäävän täsmätorjunnalle laajemmin vaativat metsäalan organisaatioilta uusien toimintatapojen omaksumista sekä lahotiedon hyödyntämisessä että metsänuudistamisen valinnoissa.

Tuotettujen materiaalien tunnettavuuteen ja levittämiseen luotiin pohjaa koko hankeajan. Juurikäävän tunnistamisen ja torjunnan materiaaleja on markkinoitu sekä yleisesti että kohdennetusti eri kohderyhmille. Jatkuvuutta materiaalien hyödyntämiselle suunniteltiin turvattavan liittämällä juurikääpätuhojen tunnistaminen ja torjunta kokonaisvaltaisemmin osaksi Metsäkeskuksen viestintää. Samaan pyrittiin aktiivisesti myös hankeyhteistyöllä ja sidosryhmien osallistamisella. Jäytääkö juurikääpä -konsepti on jatkunut metsätuhotietoisuutta lisäävissä koulutushankkeissa.

3.3.3. Jatkotutkimusten suuntaaminen

Hankkeen alkuperäisenä tavoitteena oli hakkuukoneella kerätyn lahotiedon saattaminen laajasti hyödynnettäväksi metsänomistajien, tutkimuksen ja kehitystyön tarpeisiin. Tämä ei toteutunut hankkeen aikana, mutta se on edelleen tavoite, jota kohti tulisi pyrkiä. TyviTuhossa osoitettiin, kuinka tärkeillä ja mielenkiintoisilla tavoilla lahotietoa on mahdollista hyödyntää metsäalan sovelluksissa. Mikäli lahotietoa alettaisiin kerätä jatkuvasti ja sen hyödyntäminen sallittaisiin tiedon omistajien lisäksi muillekin, voitaisiin tuotettua riskikarttaa päivittää jatkuvasti uusien lahohavaintojen kertyessä. Tämä parantaisi lahoriskiennusteita ja tekisi riskikartasta entistä hyödyllisemmän. Kuusenjuurikäävän saastuttamien metsiköiden uudistamista voitaisiin suunnitella siten, että metsiköt puhdistuvat juurikäävästä ja metsänomistaja hyötyy taloudellisesti.

Lahotieto tuottaisi suurta hyötyä ollessaan metsänomistajien käytössä helposti, digitaalisesti ja pitkäkestoisesti. Lahotiedon säilyvyys ja saatavuus pitkällä aikavälillä tulisikin varmistaa. Lahotiedon sekä suoritettujen metsänhoitotoimenpiteiden ylisukupolvinen säilyminen olisi tärkeää niin perhemetsätalouksien kannalta kuin yleisemminkin. Lahotiedon siirtyminen puun ostajilta metsäpalveluyrityksille tulisi myös olla sujuvaa metsänomistajien päätöksenteon tukemiseksi mm. uudistamista suunniteltaessa. Lahotiedon keräämistä, automatisoitua tulkintaa ja siihen liittyvää neuvontaa sekä pysyvää tallentamista tulisikin edistää samalla, kun

hakkuukonetiedon keräämistä ja hyödyntämistä laajennetaan tulevaisuudessa hakkuiden korjuulaadun ja luontotiedon pariin. Myös lahon takia tehdyt torjuntatoimenpiteet olisi syytä tallentaa järjestelmiin pysyvästi.

Lahohavaintokarttojen tuottaminen puutavaralajimenetelmällä suoritettujen hakkuiden hakkuukonetiedosta on jatkossa suoraviivaista, kun lahontunnistusalgoritmi on valmis ja olemassa. Tämä tarkoittaa, että lahohavaintokarttoja olisi mahdollista kohtuullisella panostuksella tuottaa myös muissa maissa kuin Suomessa, esimerkiksi muissa Pohjoismaissa sekä Keski-Euroopassa.

Kuitupuukokoisille rungoille puutavaralajiin perustuvaa lahontunnistusmenetelmää ei voida käyttää. Jatkossa niille sekä lahontunnistusmenetelmän lisätietona on mahdollista käyttää hakkuukoneiden erikoismerkintäkoodia, jota ollaan Suomessa ottamassa käyttöön koneiden mittalaiteohjelmistojen päivittymisen myötä. Kesällä 2024 julkaistussa erikoismerkintäkoodien käyttösuosituksessa on varattu koodi juurikäävän infektoimille puille ([Suositus hakkuukoneen erikoismerkintäkoodien käyttöön – Metsäteho \(metsateho.fi\)](https://metsateho.fi/suositus-hakkuukoneen-erikoismerkintäkoodien-kayttöön)). Erikoismerkintäkoodin käyttöönotto tulee johtamaan lahotiedon paranemiseen entisestään. Lahon tunnistaminen voitaneen tulevaisuudessa tehdä myös konenäköön perustuvalla automaattisella menetelmällä. Näiden kehityskulkujen ansiosta lahotietoa voitaisiin kerätä kaikenkokoisista rungoista eikä ainoastaan tukkirungoista, jolloin myös harvennuksista saataisiin runsaasti hyödyllistä lahotietoa. Lisäksi näiden lähestymistapojen myötä voitaisiin kerätä tietoa lahon aiheuttajasta sekä laajemminkin muista metsätuhoista.

Tällä hetkellä vain osa hakkuukoneista tuottaa tarkkaa sijaintitietoa kaadetuista puista eli kaadetun puun kannon koordinaatit. On odotettavissa, että tarkka paikantaminen yleistyy hakkuukoneissa konekannan päivittyessä, jolloin tarkkoja uudistamissuunnitelmia voitaisiin laatia lähes kaikille hakatuille metsiköille.

Metsän eri uudistamisvaihtoehtoja vastaavaa taloustulosta ja hiilensidontaa arvioitaessa voitaisiin pyrkiä huomioimaan tilastollisen mallinnuksen avulla se, että edellisestä puusukupolvesta johtuva juurikäpätartunnan todennäköisyys ei koskaan laske aivan nolnaan metsikössä. Tämä voitaisiin mallintaa ja siten tuottaa entistä tarkempia talous- ja hiilituloksen ennusteita eri uudistamisvaihtoehdoille.

Viitteet

- Ahtikoski, A., Honkaniemi, J., Holmström, E., & Peltoniemi, M. (2024). Optimal species composition for stand establishment in root-rot infected forest areas. *New Forests*, 1-14.
- Aza, A., Kallio, A. M. I., Pukkala, T., Hietala, A., Gobakken, T., & Astrup, R. (2022). Species selection in areas subjected to risk of root and butt rot: Applying Precision forestry in Norway. *Silva Fennica*, 56(3).
- Ester, M., Kriegel, H. P., Sander, J., & Xu, X. (1996, August). A density-based algorithm for discovering clusters in large spatial databases with noise. In *kdd* (Vol. 96, No. 34, pp. 226-231).
- Garbelotto, M., & Gonthier, P. (2013). Biology, epidemiology, and control of *Heterobasidion* species worldwide. *Annual review of phytopathology*, 51(1), 39-59.
- Honkaniemi, J., Ojansuu, R., Piri, T., Kasanen, R., Lehtonen, M., Salminen, H., ... & Mäkinen, H. (2014). Hmodel, a *Heterobasidion annosum* model for even-aged Norway spruce stands. *Canadian Journal of Forest Research*, 44(7), 796-809.
- Honkaniemi, J., Piri, T., Lehtonen, M., Siipilehto, J., Heikkinen, J., & Ojansuu, R. (2017). Modelling the mechanisms behind the key epidemiological processes of the conifer pathogen *Heterobasidion annosum*. *Fungal Ecology*, 25, 29-40.
- Hynynen, J., Salminen, H., Ahtikoski, A., Huuskonen, S., Ojansuu, R., Siipilehto, J., ... & Eerikäinen, K. (2015). Long-term impacts of forest management on biomass supply and forest resource development: a scenario analysis for Finland. *European Journal of Forest Research*, 134, 415-431.
- Juutinen, A., Ahtikoski, A., Lehtonen, M., Mäkipää, R., & Ollikainen, M. (2018). The impact of a short-term carbon payment scheme on forest management. *Forest Policy and Economics*, 90, 115-127.
- Mattila, U. & Nuutinen, T. (2007). Assessing the incidence of butt rot in Norway spruce in southern Finland. *Silva Fennica*, 41(1), 473.
- 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(1-4), 113-125.
- Räty, J., Breidenbach, J., Hauglin, M., & Astrup, R. (2021). Prediction of butt rot volume in Norway spruce forest stands using harvester, remotely sensed and environmental data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 105, 102624.

Räty, J., Hietala, A. M., Breidenbach, J., & Astrup, R. (2023). An analysis of stand-level size distributions of decay-affected Norway spruce trees based on harvester data. *Annals of Forest Science*, 80(1), 2.

Salminen, H., Lehtonen, M., & Hynynen, J. (2005). Reusing legacy FORTRAN in the MOTTI growth and yield simulator. *Computers and electronics in agriculture*, 49(1), 103-113.

Thor, M., Ståhl, G., & Stenlid, J. (2005). Modelling root rot incidence in Sweden using tree, site and stand variables. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 20(2), 165-176.

TyviTuho-hankkeen näkyminen medioissa 2022–2024:

- [Hakkuukoneen lahotieto voisi auttaa juurikäävän torjunnassa](#) (Metsäkeskuksen verkkosivut), myös Metsälehti ja Maaseudun Tulevaisuus uutisoivat aiheesta
- [Kinkkinen juurikäpä paljastuu yleensä vasta hakkuussa: Metsäkoneiden keräämä tieto auttaa riskin ennustamisessa](#) (Maaseudun Tulevaisuus)
- [Uudessa tutkimushankkeessa haetaan juurikäävän torjuntaan apua katkontatiedoista](#) (Metsälehti)
- Katkontatieto avuksi juurikäävän torjunnassa (Metsälehti Makasiini 7/2022)
- [Metsien kasvavaan tuhoriskiin on syytä varautua](#) (Puumies 8/22)
- [Tukijärjestelmiä vai täsmämetsätaloutta](#) (Jarkon blogi 11/22)
- [Katkontatieto mukana juurikäpätuhojen arvioinnissa](#) (Luke 04/23)
- [Juurikäpätuhojen tunnistus ja torjunta- verkkokurssi on julkaistu – opiskele omatoimisesti ja varaudu tuhoihin](#) (Metsäkeskus 4/23)
- [Juurikäpäriski maapuissa](#) (Jarkon blogi 2/23)
- [Puustotuhojen torjuntaa kausiflunssasta tutuin keinoin](#) (Hennan blogi 2/23)
- [Juurikäävän torjunta edellyttää lisää joustavuutta taimikaupassa](#) (Jarkon blogi 8/23)
- [Kuollut puu on hyvä kaksoisagentti](#) (Hennan blogi 10/23)
- [Juurikäpä kuriin katkontatiedolla](#) (Metsälehti 27.10.2023)
- [Juurikäävästä ja kirjanpainajasta keskustellaan Mättäällä](#) (Hiilestä Kiinni -uutiskirje 6/23)
- [Kantokäsittelyn hyvä laatu vaatii tarkkaavaisuutta ja Tyvitervastaudin havainnot metsänkäyttöilmoituksella](#) (Metsätuhoraportti 2023, Luke)
- [Juurikäpäopas auttaa tunnistamaan ja torjumaan tuhoja](#) (Metsäkeskus 04/24)
- [Kuinka kauan pohdit metsän uudistamista?](#) (Hennan blogi 04/24)
- [Uusi taimikko alulle – suunnittele, ennakoi ja seuraa kasvua](#) (Metsään-lehti 04/2024)
- [Näkymätön sieni syö puut Suomesta – aiheuttaa jo yli puolet kaikista metsätuhoista](#) (Yle 4.6.2024)
- Projektipäällikkö Henna kertoo juurikäävästä osana [Metsäliigaa](#) (Metsämiesten säätiön viestintähanke)
- Sekapuusto pienentää juurikäpäriskiä (Maatilan Pellervo 07/24)
- Näkymätön lahottaja (Aarre 07/24)

LIITE 2

Jäytääkö juurikäpää? -tapahtumakonseptissa järjestettiin yhteensä 38 koulutustapahtumaa seuraavasti. TyviTuho oli konseptissa mukana levittämässä juurikäpätietoutta.

Vuosi	Tapahtumat	Osallistujat
2024	11	808
2023	26	798
2022	1	47
yhteensä	38	1653

Koulutuspalautteista saatiin kooste vuoden 2024 tapahtumista. Koulutuksen toteutus sekä sisältö saivat arvosanan 4,6 (asteikko 1–5), koulutusten suositteluindeksi oli 79 / 100. Palautekyselyn vastausprosentti oli 27.

	Pvm	Tapahtuma	Osallistujat	Järjestäjä
38	11.6.2024	Tietoisku vieraslajeista ja metsien tuhohyönteisistä (webinaari + tallenne ilmoittautuneille 2 vko)	276	ELY, valtakunnallinen ilmastoyksikkö, TyviTuholla metsätuhotietoutta ja juurikäpämateriaaleja
37	5.6. 2024	Maastokoulutus, Tornator (maasto)	27	Tornator, TyviTuholta osa sisällöstä koulutukseen
36	30.5.2024	Jäytääkö juurikäpää, StoraEnso (Teams)	97	StoraEnso yritys vastuun aamukahvit, vierailuluento TyviTuholta tapahtumasta tallenne 537 hlö
35	24.5.2024	Ilmasto muuttuu, muuttuuko metsänhoito -työpaja, Punkaharju (maasto)	35	Ilmasto-kestävän metsätalouden suunnannäyttäjät & Luke, TyviTuho viemässä juurikäpätietoutta metsänomistajille
34	29.4.2024	Jäytääkö juurikäpää, verkko ilta (Teams)	59	TyviTuho
33	29.4.2024	Jäytääkö juurikäpää, verkko aamupäivä (Teams)	58	TyviTuho
32	26.4.2024	Jäytääkö juurikäpää, seminaari (hybridi) (live+ Teams)	47	TyviTuho
31	23.4.2024	Jäytääkö juurikäpää, Metsäkeskus (Teams)	24	TyviTuho
30	22.3.2024	Oppia kaikenikäisille, Itä-Karjalan kansanopisto (live)	20	Kansalaisopisto, TyviTuho vieraana viemässä juurikäpätietoutta metsänomistajille

29	21.3.2024	Taimikonhoito webinaari/juurikääpätuhojen torjunta taimikossa (verkko)	115	Toimeksi-hanke, TyviTuho mukana juurikääpäteemalla
28	12.3.2024	Tulevaisuuden metsä, ilta naismetsänomistajille, Kuopio (live)	50	
27	3.10.2023	Metsätuhot ja kuolleen puun turvallinen säästäminen Monimetsä: Metsätuhot ja kuolleen puun turvallinen säästäminen, webinaari – YouTube	130	SPRUCERISK & TyviTuho, yhteistyössä MONIMETSÄ (tallenteen katselut 302 kpl, katselukertoja ei ole laskettu osallistujamääriin)
26	28.9.2023	Juurikääpä suometsissä	71	TyviTuho, yhteistyössä Hiiliviisas suometsien hoito ja Monitaitoinen metsänomistaja sekä SuoHITU
25	20.9.2023	JJKK maasto Jyväskylä	27	SPRUCERISK & TyviTuho, yhteistyössä Ilmastokestävä metsätalous Keski-Suomessa
24	6.9.2023	JJKK verkko	13	SPRUCERISK & TyviTuho
23	6.9.2023	JJKK live Huittinen	18	SPRUCERISK & TyviTuho, yhteistyössä Hyvinvointia metsän elinkeinoista
22	6.9.2023	JJKK live Tampere	12	SPRUCERISK & TyviTuho, yhteistyössä Metsien hiilinielu kasvuun Pirkanmaalla
21	6.9.2023	JJKK live Kuopio	13	SPRUCERISK & TyviTuho, yhteistyössä
20	6.9.2023	JJKK live Jyväskylä	23	SPRUCERISK & TyviTuho, yhteistyössä Ilmastokestävä metsätalous Keski-Suomessa
19	6.9.2023	JJKK verkko	7	SPRUCERISK & TyviTuho,
18	6.9.2023	JJKK live Joensuu	12	SPRUCERISK & TyviTuho,
17	6.9.2023	JJKK live Seinäjoki	6	SPRUCERISK & TyviTuho, yhteistyössä Ilmastoviisaat pohjalaismetsät

LIITE 2

16	30.8.2023	JJKK maasto Turku	36	SPRUCERISK & TyviTuho, yhteistyössä Hyvinvointia metsän elinkeinoista
15	15.6.2023	JJKK maasto Vihti kunnat	10	SPRUCERISK & TyviTuho yhteistyössä alueellinen SMK metsänhoitotiimi
14	15.6.2023	JJKK maasto Vihti metsänomistajat	24	SPRUCERISK & TyviTuho, yhteistyössä Ilmastoviisas metsänomistaja – Klimatsmart skogsägare
13	15.6.2023	JJKK	35	SPRUCERISK & TyviTuho, yhteistyössä Metsien hiilinielu kasvuun Pirkanmaalla
12	7.6.2023	JJKK maasto Savonlinna	20	SPRUCERISK & TyviTuho
11	16.5.2023	JJKK sisä + maasto Lahti	17	SPRUCERISK & TyviTuho
10	26.4.2023	JJKK verkko	30	SPRUCERISK & TyviTuho
9	26.4.2023	JJKK live Turku	34	SPRUCERISK & TyviTuho, yhteistyössä Hyvinvointia metsän elinkeinoista
8	26.4.2023	JJKK live Lappeenranta	10	SPRUCERISK & TyviTuho, yhteistyössä MeTuKka
7	26.4.2023	JJKK live Joensuu	20	SPRUCERISK & TyviTuho
6	26.4.2023	JJKK live Laukaa	16	SPRUCERISK & TyviTuho, yhteistyössä Ilmastokestävä metsätalous Keski-Suomessa
5	26.4.2023	JJKK verkko	28	SPRUCERISK & TyviTuho
4	26.4.2023	JJKK live Savonlinna	17	SPRUCERISK & TyviTuho
3	26.4.2023	JJKK live Kuopio	14	SPRUCERISK & TyviTuho, yhteistyössä
2	31.3.2023	JJKK pilotti mhy Etelä-Savo	80	SPRUCERISK & TyviTuho,
1	19.9.2022	sidosryhmätilaisuus, TyviTuho	47	TyviTuho