

Metsä- ja porotalouden yhteensovittaminen Lapissa – luppojäkälien esiintymiseen vaikuttavat tekijät jatkuvan kasvatuksen metsissä

Taru Rikkonen

791619S

Pro gradu -tutkielma

Oulun yliopisto

Maantieteen tutkimusyksikkö

17.5.2021

| | | |
|---|---|---|
| Yksikkö: Maantieteen tutkimusyksikkö | Pääaine: Maantiede | |
| Tekijä (Sukunimi ja etunimet, myös entinen sukunimi): Rikkonen Taru Tuula Päivikki | Opiskelija-numero: 2439501 | Tutkielman sivumäärä: 78 s. + II liit. |
| Tutkielman nimi (suomeksi; muun kielinen nimi ilmoitetaan vain jos se on tutkielman kieli): Metsä- ja porotalouden yhteensovittaminen Lapissa – loppojäkälien esiintymiseen vaikuttavat tekijät jatkuvan kasvatuksen metsissä | | |
| Asiasanat: maankäyttö, metsienkäytön yhteensovittaminen, metsätalous, porotalous, jatkuva kasvatusta, loppojäkälä | | |
| Tiivistelmä (kirjoitetaan vapaamuotoisesti, selväsanaisesti ja lyhyin lauserakentein, ks. ohje seuraavalla sivulla): Metsä- ja porotalouden yhteensovittamisesta on kiistelty Lapissa jo pitkään, ja erimielisyyksiä on syntynyt erityisesti metsätalouden aiheuttamista vahingoista porojen talviravinnolle, loppojäkälälle. Jatkuvan kasvatuksen menetelmien on osoitettu olevan varteenotettavia vaihtoehtoja metsä- ja porotalouden yhteensovittamiselle. Tässä pro gradu -tutkielmassa selvitetiin, mitkä asiat vaikuttavat loppojäkälän esiintymiseen jatkuvan kasvatuksen metsissä. Tutkimus toteutettiin analysoimalla vuosina 2019 ja 2020 kerättyjä aineistoja 28:lta Metsähallituksen jatkuvan kasvatuksen kokeiluhakkuulta Lapin metsätalousalueelta. Aineistoon oli kerätty puusto- ja kasvillisuustiedot sekä arvioitu loppojäkälän määrä puista kolmessa eri korkeusvyöhykkeessä (<2, 2-5 ja >5 m). Aineiston analysoinnissa hyödynnettiin yleistettyä lineaarista sekamallia (GLMM), ja mallit laadittiin R-ohjelmistolla. Analyysissä testattiin 37 muuttujaa, joiden lisäksi alueen, puulajin, hakkuutavan ja rungon osan vaikutukset sekä kahdenkeskiset yhdysvaikutukset testattiin. Tulosten tärkeimmät havainnot olivat, että hakkuista kuluneiden vuosien määrä, rungon paksuus ja metsikön pohjapinta-ala kasvattivat loppojäkälän esiintymisen todennäköisyyttä. Lisäksi alueen kuivuutta indikoiva maajäkälän peittävyys vähensi loppojäkälän todennäköisyyttä. Kuudessa esiintyi suurimmalla todennäköisyydellä loppojäkälää, ja alueittain suurin todennäköisyys saavutettiin Etelä- ja Länsi-Lapissa. Pienaukkohakkuu ylläpiti loppojäkälää hieman poimintahakkuuta paremmin. Tutkielma osoittaa, että metsä- ja porotalouden yhteensovittamiseksi Lapin talousmetsissä tulisi pyrkiä säästämään suuria puita, jonka lisäksi pohjapinta-alaa ja hakkuukiertoa tulisi pitää mahdollisimman korkeina. Koska jatkuvan kasvatuksen lähtökohtana ovat lyhyet hakkuukierrot, tulisi jäkäläriskialueita säästää hakkuilta ja porojen pääsy niihin turvata. Tulosten mukaan pienaukkohakkuut voisivat olla metsä- ja porotalouden yhteensovittamisen kannalta toimiva menetelmä, sillä ne pitävät ainakin osan metsiköstä kauemmin koskemattomana. Monikäyttömetsissä tulisi aina pyrkiä valitsemaan metsänkayttömenetelmä sen mukaan, mihin kyseinen metsikkö parhaiten soveltuu. Lisäksi eri metsänkayttömenetelmien vaihtelu on tärkeää, sillä mikään yksi menetelmä ei toimi kaikkialla ja kaikkia tavoitteita ajatellen. | | |
| Muita tietoja: | Pro gradu -tutkielma tehty osana <i>Public-Private-Partnership</i> -projektia | |
| Päiväys: | 17.5.2021 | |

Sisällys

| | |
|---|----|
| 1 Johdanto | 5 |
| 2 Metsien monikäyttö Lapissa..... | 9 |
| 2.1 Metsätalous..... | 10 |
| 2.2 Porotalous | 12 |
| 3 Jatkuvan metsänkasvatuksen menetelmät | 14 |
| 3.1 Poimintahakkuut..... | 18 |
| 3.2 Pienaukkohakkuut | 19 |
| 4 Luppojäkälät..... | 20 |
| 4.1 Lupot (<i>Bryoria</i> , <i>Alectoria</i>)..... | 23 |
| 4.2 Naavat (<i>Usnea</i>)..... | 24 |
| 4.3 Luppojäkäliden esiintymiseen vaikuttavat tekijät | 24 |
| 4.4 Metsätalouden vaikutukset luppojäkälille | 26 |
| 4.5 Jatkuvan kasvatuksen mahdollisuudet luppojäkälille..... | 28 |
| 5 Tutkimusalue..... | 30 |
| 5.1 Maa- ja kallioperä..... | 31 |
| 5.2 Ilmasto | 32 |
| 5.3 Kasvillisuus | 33 |
| 6 Aineisto ja menetelmät..... | 34 |
| 6.1 Puusto- ja jäkäläaineisto | 38 |
| 6.2 Kasvillisuusaineisto | 39 |
| 6.3 Tilastolliset analyysit..... | 40 |

| | |
|---|----|
| 7 Tulokset..... | 42 |
| 7.1 Tulokset luppojäkälän ainakin vähäiselle esiintymiselle (runsausluokka vähintään 1) . | 42 |
| 7.2 Tulokset luppojäkälän runsaalle esiintymiselle (runsausluokka vähintään 2)..... | 48 |
| 7.3 Tulokset luppojäkälän hyvin runsaalle esiintymiselle (runsausluokka 3)..... | 53 |
| 8 Tulosten tarkastelu ja pohdinta | 55 |
| 8.1 Luppojäkälän esiintymiseen vaikuttavat tekijät aineistossa | 55 |
| 8.1 Metsä- ja porotalouden yhdistäminen tulosten perusteella..... | 58 |
| 8.2 Jatkuva kasvatus osana metsien monikäyttöä..... | 62 |
| 10 Yhteenveto ja johtopäätökset | 64 |
| 11 Lähteet..... | 67 |
| Liitteet | 79 |

1 Johdanto

Lapissa kiistellään jatkuvasti kahden alueelle tärkeän elinkeinon, metsä- ja porotalouden, yhteensovittamisesta. Metsä- ja porotalous käyttävät osaksi samoja metsien resursseja, joten yhteensovittamiselta ei voida aina välttyä (Järvenpää 2018). Maankäyttö on aiheuttanut kiistoja Lapissa jo yli sadan vuoden ajan, ja tilanne on kärjistynyt Ylä- Lapissa jopa konflikteihin (Turunen ym. 2020). Samoja ongelmia koetaan Ruotsin Lapissa ja Pohjois-Amerikassa karibujen suhteen (Stevenson & Coxson 2003; Kivinen ym. 2010). Vaikeuksia syntyy erityisesti siitä syystä, että metsätalous keskittyy usein metsikkötasolle, eikä ota huomioon laajempia vaikutuksia, mikä voi vaikuttaa porotalouteen. Suurimpana ongelmana porotalouden näkökulmasta pidetään metsätalouden aiheuttamaa vahinkoa porojen talviresursseille, jäkälille, ja erityisesti puiden rungoilla ja oksilla eläville riippuville epifyyttijäkälille, johon kuuluvat lupot (*Alectoria*, *Bryoria*) ja naavat (*Usnea*). Tässä pro gradu -tutkielmassa näistä jäkälistä käytetään nimitystä luppojäkälät. Talvi 2019–2020 oli Lapissa todella runsasluminen, ja tällaisina vuosina porojen pääsyn tärkeys talviresursseihin korostuu (Kumpula ym. 2020; Talvien lumesta ja lumisuudesta 2020).

Metsänkätösuunnittelijat ovat jo pitkään yrittäneet löytää ratkaisua, miten metsä- ja porotalous saataisiin toimimaan samalla alueella siten, että haitta kummallekin säilyisi pienenä, mutta taloudellinen tuotto ja ekosysteemien toimivuus olisi turvattu (Turunen ym. 2020). Haastetta lisäävät kummankin elinkeinon kokemat suuret muutokset viimeisten vuosikymmenten aikana (Kivinen ym. 2010: 269). Jotta metsätalouden vaikutuksia porotalouteen voitaisiin arvioida objektiivisemmin ja elinkeinojen yhteensovittaminen onnistuisi paremmin, tarvitaan eri metsänkäsittelymenetelmien laajemmista vaikutuksista enemmän tietoa (Kumpula 2003; Kivinen ym. 2010: 270).

Myös metsät ja niiden käyttö ovat muuttuneet runsaasti 1900-luvun alusta lähtien, (Hortskotte ym. 2011; Pukkala ym. 2011). Moderni metsätalous on aiheuttanut merkittäviä muutoksia boreaalisten metsien koostumuksissa ja toiminnoissa, ja avohakkuiden haitallisista vaikutuksista on puhuttu jo pitkään (esim. Valkeapää 2009). Merkittävin luppojäkälille haittaa aiheuttava metsätaloustekijä on erityisesti metsien nuortuminen (Dettki & Esseen 1998; Kivinen ym. 2010: 270; Kumpula ym. 2010). Tämänhetkiset metsätalouden trendit ovat muun luonnon monimuotoisuuden vähentymisen ohessa vähentäneet myös luppojäkälien määrää metsissä varsinkin siitä syystä, että jäkälät suosivat vanhoja metsiä (Esseen ym. 1996; Kuusinen & Siitonen 1998; Peura ym. 2018). Metsänkäsittelymenetelmien valintaa vaikeuttaa lisäksi se, ettei

kumpikaan vaihtoehto – metsien täysivaltainen suojeleminen tai maksimipuuntuotto – ole sosiaalisesti hyväksyttyjä. Vaikka luppojäkälät ovat merkittäviä ekosysteemien toiminnolle, niiden vasteista eri metsätalouden menetelmille ei tiedetä kovin paljoa. Lisäksi jäkälien biomassa- ja kasvutietoa on hankala kerätä (Stevenson & Coxson 2003).

Kehitysskeleitä kohti kestävämpiä metsätalouden menetelmiä on tehty esittelemällä jatkuvan kasvatuksen menetelmiä, kuten poiminta- ja pienaukkohakkuut (esim. Valkonen 2020). Jatkuvalle kasvatukselle voidaan joidenkin tutkimusten mukaan puuntuotannon ohella säilyttää metsien kulttuuriset, sosiaaliset ja ekologiset arvot, ja turvata metsien monikäyttöä (Pukkala ym. 2011: 192; Valkonen 2020). Myös Kumpula ym. (2019: 48) ovat todenneet, että jatkuvan kasvatuksen kehittäminen ja laajempi käyttöönotto toisi todennäköisesti merkittäviä hyötyjä myös poronhoidolle pitkällä aikavälillä erityisesti siksi, että menetelmien on huomattu soveltuvan luppojäkälän kasvun ylläpitämiseen (esim. Dettki & Esseen 1998; Lewis 2004; Stevenson & Coxson 2007). Jatkuvan kasvatuksen menetelmien tuoreudesta kertoo se, ettei käsitteistö ole vielä kokonaan vakiintunut. Menetelmistä käytetään vaihtelevasti erilaisia nimityksiä, kuten jatkuva kasvatusta, peitteinen metsätalous ja erirakenteinen tai eri-ikäinen metsänkasvatusta (Valkonen 2010; 2020). Aiemmin nämä luonnollisia häiriökaavoja jäljittelevät hakkuumenetelmät olivat Suomen laissa kiellettyjä, joten käytännön kokemuksesta jatkuvasta kasvatuksesta on vielä suhteellisen vähän (Valkonen 2020: 11–12). Vuoden 2014 metsälain uudistuksen jälkeen menetelmät ovat alkaneet ottamaan jalansijaa metsätaloudessa (metsälaki 1093/1996). Toisaalta on hyvä muistaa, että niin sanottu määrämittaharsinta, joka on menetelmänä suhteellisen lähellä poimintahakkuuta, oli alkuperäinen syy siihen, miksi Suomen johtavat metsäasiantuntijat julkaisivat vuonna 1948 niin sanotun ”Harsintajulkilausuman” (Appelroth ym. 1948), joka osaltaan johti menetelmän kieltämiseen. Harsinnan katsottiin olevan pääsyy huoleen metsävarojen riittävydestä, mikä oli puolestaan todettu kahdessa ensimmäisessä Valtakunnan metsien inventoinnissa.

Vaikka metsätalouden kahdesta päälinjasta, tasa- ja eri-ikäismetsänkasvatuksesta on käyty kiivastakin keskustelua jo sadan vuoden ajan, vertailevia tutkimuksia on tehty hyvin vähän. Jotta metsä- ja porotalous saataisiin mukautumaan samalle alueelle, tulisi selvittää, millä metsätalouden menetelmillä on vähiten haitallisia vaikutuksia porotaloudelle (Kivinen ym. 2010: 276). Tähän tarvitaan tutkimusta jäkälien leviämisen ja kasvuun vaikuttavista tekijöistä myös pidemmällä aikavälillä (Armleder & Stevenson 1994). Elinkeinojen yhteensovittamisen vuoksi on tärkeää tutkia, voiko porojen talviravinnoksi käyttämät luppojäkälät kasvaa

tehokkaasti metsikössä uudelleen metsätaloustoimenpiteiden jälkeen, ja minkälaiset toimenpiteet ylläpitävät luppojäkälän kasvua parhaiten (Turunen ym. 2019: 2). Jatkuvan kasvatuksen tullessa yhä suositummaksi metsienkäsittelymuodoksi (Jouslehto 2020), on sen tutkiminen hyvin ajankohtaista. Tämä pro gradu -tutkielma auttaa selvittämään, minkälaisilla metsätaloustoimintamillä metsien monikäyttöä tukeva metsä- ja porotalouden yhdistäminen onnistuu parhaiten. Tutkielmassa selvitetään, mitkä asiat vaikuttavat luppojäkälän leviämiseen jatkuvan kasvatuksen metsissä, ja minkälaisissa metsiköissä luppojäkälän ylläpito onnistuu parhaiten. Samalla tutkielma tuo kaivattua lisätietoa jatkuvan kasvatuksen hyödyistä metsien monikäytölle ja metsien eri käyttökohteiden yhdistämiselle. Tuloksia voidaan käyttää koko Fennoskandian porotalousalueilla ja Pohjois-Amerikan karibualueilla.

Luppojäkälän ja metsätalouden suhdetta on tutkittu eniten Pohjois-Ruotsissa ja Pohjois-Amerikassa, ja jotkin tutkimuksista ovat keskittyneet myös jatkuvaan kasvatukseen (esim. Rominger ym. 1994; Esseen & Renhorn 1998; Dettki ym. 2000; Coxson ym. 2003; Lewis 2004; Stevenson & Coxson 2007). Suurin osa aihealueen tutkimuksesta syventyy vain lyhyen aikavälin tutkimukselle tai suppealle alueelle, eikä jatkuvan kasvatuksen hyödyistä luppojäkälän leviämiseen näin laajalla alueella ole juuri tietoa. Lisäksi monet aiheeseen liittyvät tutkimukset ovat jo vanhoja ja puutteellisia, tai koskettavat vain maajäkälää. Tämä pro gradu -tutkielma tuo myös pidemmän aikavälin vaikutukset esille, sillä tutkielmassa luppojäkälän vasteita jatkuvan kasvatuksen hakkuisiin tutkitaan 12–35 vuoden päästä hakkuista. Tutkimuskysymykset ovat:

1. Mitkä tekijät vaikuttavat luppojäkälän esiintymiseen paikallisesti ja alueellisesti jatkuvan kasvatuksen metsissä Lapin maakunnassa?
2. Minkälaisia eroja luppojäkälän esiintymisissä on alueellisesti jatkuvan kasvatuksen metsissä?
3. Kumpi menetelmä – poimintahakkuu vai pienaukkohakkuu – soveltuu paremmin luppojäkälän ylläpitämiseen Lapin talousmetsissä?
4. Yllä oleviin kysymyksiin vastaamalla etsitään vastausta myös siihen, millä keinoin metsä- ja porotalouden yhdistämistä voidaan edistää talousmetsissä.

Lisäksi tutkielmassa selvitetään, millä korkeudella puuta luppojäkälää esiintyy eniten, ja miten puun eri osat vaikuttavat luppojäkälän esiintymiseen. Tämä on kiinnostavaa esimerkiksi siitä syystä, että porot yltyvät syömään luppojäkälää vain alimmilta rungon osilta, mutta ylemmistä rungon osista tuulen aiheuttama niin sanottu lupposadanta voi pudottaa luppojäkälää porojen ulottuville.

Tutkimushypoteeseina aikaisempien tutkimusten perusteella oletetaan, että metsikön ikä, suurten puiden esiintyminen, pohjapinta-ala ja hakkuista kulunut aika lisäävät luppojäkälien määrää, ja että suurin määrä luppojäkälää esiintyy kuusissa. Nämä hypoteesit perustuvat siihen, että luppojäkälien leviäminen ja kasvu on hidasta, ja ne esiintyvät runsaimmin vanhoissa metsissä (Dettki & Esseen 1998: 621; Ylisirniö & Hallikainen 2017). Osittain samasta syystä ja tutkimusten mukaan (Lewis 2004; Stone ym. 2008) hakkuista kulunut aika vaikuttaa positiivisesti luppojäkälien esiintymiseen. Metsikön pohjapinta-alaan oletetaan vaikuttavan luppojäkälien määrään positiivisesti, koska kasvupaikan saatavuus on yksi merkittävimmistä luppojäkälien leviämiseen vaikuttavista tekijöistä (Dettki ym. 2000; Dettki & Esseen 1998: 621; Jaakkola ym. 2006). Jaakkola ym. (2006) huomasivat, että suurin luppojäkälien määrä saavutettiin kuusissa, joissa tosin biomassakin on suurempi kuin esimerkiksi männyissä (Esseen ym. 1996). Siksi suurimman määrän luppojäkälää oletetaan löytyvän kuusista. Toisaalta tutkimusalue ulottuu osaksi kuusen kasvurajan yläpuolelle.

Jaakkola ym. (2006) huomasivat, että luppojäkälää kasvaa runsaimmin ravinteikkaimmilla alueilla Etelä- ja Keski-Lapissa, ja siksi oletetaan, että luppojäkälää esiintyy eniten tutkimusalueen ravinteikkaimmilla osilla alueen eteläosissa (Etelä- ja Länsi-Lappi). Poiminta- ja pienaukkohakkuiden eroista ja soveltuvuudesta luppojäkälien ylläpitämiselle on kahdenlaista tietoa: Stevenson ja Coxsonin (2003) sekä Stonen ym. (2008) tutkimusten mukaan poimintahakkuut säästivät luppojäkälää enemmän, sillä poimintahakkuissa koko metsikkö pysyy enemmän peitteisenä. Toisaalta Stevenson ja Coxson (2004) totesivat pienaukkohakkuiden soveltuvan luppojäkälille paremmin, sillä pienaukot jättävät alueelle myös täysin koskemattonta metsää.

2 Metsien monikäyttö Lapissa

Metsät ovat yksi suomalaisen elämänmuodon perusta, ja niillä on monia kulttuurisia ja sosiaalisia merkityksiä (Pukkala ym. 2011: 192). Metsä tuottaa monia hyötyjä, eli ekosysteemipalveluita (Pukkala ym. 2011: 132). Ekosysteemipalveluihin kuuluvat säätely-, ylläpito- ja tukipalvelut, joita ovat esimerkiksi veden kiertokulku, pölytys, lajistollisen monimuotoisuuden ja geenivarojen ylläpito ja hiilen varastointi (Pukkala ym. 2011: 132; Salo 2015: 5). Metsien monikäyttö tarkoittaa metsissä eri käyttömuotojen yhteensovittamista. Perinteisiä metsienkäyttömuotoja ovat esimerkiksi puun tuotanto, riistanhoito ja metsästys, marjastus ja sienestys, luontomatkailu ja luonnonsuojelu (Salo 2015: 5). Jokamiehen oikeuksien ansiosta ihmiset saavat vapaasti liikkua metsässä ja kerätä sieltä luonnontuotteita, mikä on tärkeä osa metsien monikäyttöä (Äijälä ym. 2019). Lappi on maailman suurin luomukeruualue (Huusko 2015). Metsien monikäytön merkitys tulonlähteenä tulee korostumaan metsien ekosysteemipalvelujen tuottamisen myötä, kun uudet metsätuotteet, kuten kompensatiometsät ja elämysmatkailu, tarvitsevat tuekseen talousmetsissä tapahtuvaa luonnonhoitoa (Saaristo & Vanhatalo 2016: 22).

Puut muodostavat metsäekosysteemin kantavan osan, ja puuntuotanto on taloudellisesti merkittävin ekosysteemipalvelu Suomessa (Saastamoinen 2015: 17–18; Saaristo & Vanhatalo 2016: 14–16). Puuntuotanto, laaja ekosysteemipalvelutarjonta ja metsäluonnon monimuotoisuuden turvaaminen on mahdollista sovittaa yhteen metsän- ja luonnonhoidon keinoilla (Saaristo & Vanhatalo 2016). Metsäekosysteemissä kaikki puulajit koko- ja ikävaihteluineen ovat tärkeitä, ja monimuotoisuus lisääntyy puulajien lukumäärän ja muuttujien vaihteluiden mukaan (Pukkala ym. 2011: 29). Puustoltaan ja rakenteeltaan monimuotoiset metsät ylläpitävät hyviä ominaisuuksia monikäyttömetsille (Pukkala ym. 2011: 29; Äijälä ym. 2019: 192–196). Julkisomisteisissa metsissä tilanne on monikäytön suhteen eri kuin yksityismetsissä (Pukkala ym. 2011: 132). Tämä johtuu siitä, että julkisomisteisten metsien kohdalla valtio ja kunnat ohjaavat usein metsien käyttöä mahdollisimman kattavaan ekosysteemipalveluiden turvaamiseen.

Lapin maakunta on porotaloutensa vuoksi elävä esimerkki suomalaisesta silvapastoralismista – metsänkasvatuksen ja porolaidunnuksen yhteiselosta (Saastamoinen 2015: 18, ks. Saastamoinen 1982). Poro- ja metsätalous ovat Lapissa merkittäviä elinkeinoja niin taloudellisesti kuin alueen elinvoimaisuuden kannalta (Järvenpää 2018: 4). Nämä kaksi elinkeinoa toimivat samoilla maantieteellisillä alueilla, hyödyntäen samoja luonnonvaroja. Metsätaloustoimilla vaikutetaan poronhoidon toimintaedellytyksiin, mutta toisaalta myös poronhoito vaikuttaa osaltaan metsätalouteen. Metsä- ja porotalouden yhteensovittaminen vaikuttaa Suomen

poronhoitoalueen suurimman metsäomaisuuden haltijan, Metsähallituksen, toimintaan suuresti, ja porotalouden velvoitteiden huomioonottaminen laskee metsätalouden kannattavuutta. Lapissa on metsätalouden, porotalouden ja matkailun takia poikkeuksellisen runsaasti kilpailevia metsänkäyttömuotoja (Hyppönen 2002). Hakkuut heikentävät ja vähentävät porojen laituksia, ja porot estävät koivun uudistumisen laidunalueillaan. Metsien monikäyttö ja luonnonvarojen hyödyntäminen kestävästi vaativat yhteistyöhön perustuvia hallintamenetelmiä, joihin kaikkien osakkaiden on osallistuttava. Tällöin luonnonvarat voidaan jakaa kestävästi toimijoiden kesken, minimoiden haitalliset vaikutukset (Castro & Nielsen 2001). Eriävät ja vastakkaiset vaatimukset eri toimijoilta edellyttävät kompromisseja.

Poronhoitolaissa (848/1990, 53 §) säädetään, että valtion viranomaisilla on valtion mailla neuvotteluvollisuus toimenpiteissä, jotka vaikuttavat olennaisesti poronhoidon toimenpiteisiin. Paliskuntain yhdistys ja Metsähallitus ovat solmineet vuonna 2013 sopimuksen (Paliskuntain yhdistys / Metsähallitus sopimus 2013), jossa on sovittu Metsähallituksen toiminnan ja poronhoidon yhteensovittamisesta. Lisäksi Metsähallituksen käyttämä metsäsertifiointi (Programme for the Endorsement of Forest Certification [PEFC]) vaatii poronhoidon edellytysten turvaamisen ja saamelaiskulttuurin ja saamelaisten perinteisten elinkeinojen toimintaedellytysten turvaamisen (PEFC-metsäsertifiointin kriteerit 2014). Näiden lisäksi Metsähallituksen Metsätalous Oy sopii vuosittain yhteydenpidosta paliskuntien kanssa, joilla varmistetaan paliskuntien tietoisuus Metsähallituksen tulevista toimenpiteistä (Kaukonen ym. 2011: 70). Näiden sopimusten turvin valtion mailla tehtävät metsätaloustoimet ottavat huomioon poronhoidon edellytykset ja niitä koskevista rajoituksista neuvotellaan. Poronhoitolain (848/1990, 34 §) mukaan porojen aiheuttama vahinko metsätaloudelle tulee korvata, mutta ei silloin, jos vahinko on tapahtunut valtiolle tai kunnalle.

2.1 Metsätalous

Metsätalous on Suomessa ja Lapin maakunnassa tärkeä taloudenala. Lapissa metsäteollisuuden puunkäyttö on noin kuusi miljoonaa kuutiometriä vuodessa, minkä arvo on noin 1,3 miljardia euroa (Huusko 2015). Vuonna 2019 Lapissa hakattiin noin 95 000 hehtaaria metsää, joka on noin 2,4 % puuntuotannon pinta-alasta (Huusko 2015; Korhonen ym. 2017). Yleisimmät hakkuut ovat Lapin maakunnassa edellisessä kymmenenvuotiskaudella olivat ensiharvennus, taimikonperkaus ja/tai harvennus ja uudistushakkuu keinollista uudistamista varten (Korhonen ym. 2017). Lapissa metsätalouden osuus maa-alasta on 98 %, josta taas runsaat 50 % on

metsämaata (Korhonen ym. 2017: 21). Metsätalousmaata on kaikki sellainen maa, jolla ei ole muuta pääasiallista käyttötarkoitusta esimerkiksi maatalousmaana, rakennettuna alueena, liikenneväylänä tai sähkölinjana (Ihalainen 2019: 43–44). Metsätalousmaa jaetaan puuntuotoksen perusteella metsä-, kitu- ja joutomaahan, joista metsämaa on yleensä puuntuotannossa. Metsätalousmaahan sisältyvät puuntuotantoon käytettävissä olevan maa-alan lisäksi alueet, joilla ei harjoiteta metsätaloutta esimerkiksi suojelun takia.

Lapissa metsätalous poikkeaa muualla Suomessa harjoitettavasta metsätaloudesta luonnonolojen, metsänomistuksen ja metsätalouden harjoittamisen edellytysten kannalta (Hypönen 2002). Metsätaloutta harjoitetaan Lapissa ankarissa ja vaihtelevissa ilmasto-olosuhteissa, laajoilla, syrjäisillä, seuduilla, joissa kuljetusmatkat ovat pitkiä. Puuston kasvu on Lapissa erityisen hidasta, hakkuukiertoaika on pitkä ja hakkuukertymä hehtaaria kohti on pieni. Olosuhteista huolimatta, metsätalous Lapissa on intensiivistä, ja valtamenetelmänä käytetään uudistushakkuita, voimakasta maanmuokkausta ja metsänviljelyä (Korhonen ym. 2017).

Puuntuotanto perustuu metsänkasvun mahdollistaviin tekijöihin ja puulajeista muodostuvien metsiköiden kasvattamiseen (Saaristo & Vanhatalo 2016: 14–16). Vaikka metsien kasvu on Lapissa suhteellisen hidasta, se on parantunut viime vuosikymmeninä metsien kasvua parantavien muutosten, kuten lannoitusten, takia (Pukkala ym. 2011; Korhonen ym. 2017). Lapin metsien puuvarat ovat puolitoistakertaistuneet 1970-luvulta, ja puuvarojen ennustetaan kasvavan edelleen (Huusko 2015: 13; Korhonen ym. 2017). Puuaineen käyttö materiaalina on ollut aina tunnettua, ja se on nykyään yhä ajankohtaisempaa (Saastamoinen 2015: 17–18). Metsätalouden kasvanut paine tehokkaampaan metsienkäyttöön on kasvanut muun muassa viimeaikaisien toteutuneiden ja suunniteltujen biojalostuslaitosten takia (Turunen ym. 2019). Tämän lisäksi metsien merkitys ilmastomuutoksen torjunnassa ja luonnon monimuotoisuuden ylläpitäjänä on merkittävä (Huusko 2015: 8).

Valtion omistamia metsätalousalueita hallinnoi Metsähallitus, joka on valtion omistama yritys, mutta valtaosa Suomen puuraaka-aineesta korjataan yksityismetsistä (Huusko 2015: 8; Turunen ym. 2019: 2). Muusta Suomesta poiketen, suurin osa Lapin maakunnan metsistä kuuluu valtiolle. Alueelle on ominaista myös suuri yhteismetsien määrä, joiden pinta-alat voivat olla isoja. Metsätaloutta säädellään ja ohjataan voimassa olevien lainsäädäntöjen avulla (mm. metsälaki, luonnonsuojelulaki, poronhoitolaki). Metsälain (12.12.1996/1093, 1 §) mukaan lain tarkoituksena on ”edistää metsien taloudellisesti, ekologisesti ja sosiaalisesti kestävää hoitoa ja käyttöä siten, että metsät antavat kestävästi hyvän tuoton samalla, kun niiden

biologinen monimuotoisuus säilytetään”. Metsähallituksen metsien käsittelyä määräävät ja ohjaavat lainsäädännön lisäksi Metsähallituksen metsätalouden ympäristöopas (Kaukonen ym. 2011), luonnonvarasuunnitelmat, metsäsertifioinnin kriteerit ja muut ohjeistukset (Paliskuntain yhdistys / Metsähallitus sopimus 2013). Metsähallitus kuuluu Maa- ja metsätalousministeriön hallinnonalaan, ja Metsäkeskus valvoo metsälain noudattamista (metsälaki 12.12.1996/1093; Maa- ja metsätalousministeriön hallinnonala 2020).

Puuntuotantopalveluilla on Suomessa pitkä historia, ja sen jäljet näkyvät monin paikoin luonnon monimuotoisuuden köyhtymisenä ja ekosysteemipalvelutarjonnan muutoksina (Saaristo & Vanhatalo 2016: 14–16). Metsätalous vaikuttaa metsien monikäyttömahdollisuuksiin niin myönteisesti kuin kielteisesti (Äijälä ym. 2019: 33). Yhteiskunnassa alettiin kiinnittää laajemmin huomiota metsien tilaan 1980-luvulla, jolloin metsätalouden toimijat havahtuivat tunnistamaan toimintansa ympäristövaikutuksia (Saaristo & Vanhatalo 2016: 9). Ekologinen kestävyys ja monimuotoisuus otettiin huomioon metsälaisissa vuonna 1996 (metsälaki 1093/1996), mutta vielä silloinkaan pehmeämmän metsän käsittelyn, jatkuvan kasvatuksen, menetelmät eivät olleet sallittuja. Metsänkasvatuksessa voidaan päättää, mitä metsänkäyttömuotoa halutaan painottaa, ja monipuolinen metsänhoito on perusteltua erityisesti lajiston ylläpitämisen ja metsätuhoriskien vähentämisen kannalta (Saaristo & Vanhatalo 2016: 14–16). Metsätalous on jo muuttunut 1970-luvun yksipuolisen viljelymetsätalouden ajoilta kohti vaihtelevampia ja monimuotoisempia metsikkörakenteita (Valkonen ym. 2010: 25). Ensimmäiset metsäsertifikaatit tulivat mukaan metsätalouteen 1990-luvun lopulla, ja tällä hetkellä valtaosa suomalaisista talousmetsistä on sertifioitu PEFC- tai Forest Stewardship Council (FSC) -sertifioinnilla (Saaristo & Vanhatalo 2016: 9).

2.2 Porotalous

Villi tunturipeura ja myöhemmin siitä kesytetty poro (*Rangifer tarandus*) on ollut merkittävä kasvinsyöjänisäkäs tunturi- ja metsäluonnossa jo jääkauden jälkeen (Pääkkö ym. 2018: 238–287). Poronhoidon alkuvaiheessa poromäärät olivat suhteellisen pienet, ja poroja siirrettiin kuhunkin vuodenaikaan nähden sopiville laidunalueille (Pääkkö ym. 2018: 238–287). Talvisin poroja paimennettiin jäkäläkankailla, mutta usein kevättalvisin porot päästettiin laiduntamaan loppometsiin (kuva 1). Porojen ravinto sisältää jopa satoja kasvilajeja, sieniä, varpuja ja jäkäliä, ja ravinnon saatavuus ja laatu vaihtelevat vuodenajan mukaan (Turunen & Vuojala-Magga 2011: 12–13; Pääkkö ym. 2018: 284).



Kuva 1. Poroja luppojäkälämetsässä. Kuva: Martti Rikkonen.

Poronhoito perustuu porojen vapaaseen laidunnusoikeuteen poronhoitoalueella, maan omistustai hallintaoikeudesta riippumatta (poronhoitolaki 848/1990; Opas poronhoidon tarkasteluun maankäyttöhankkeissa 2014). Poronhoito on luontaiselinkeino, ja sen kannattavuus perustuu laajoihin luonnonlaitumiin. Poronhoitoalue kattaa 36 prosenttia Suomen pinta-alasta, ja siihen kuuluu lähes koko Lapin maakunta ja Pohjois-Pohjanmaan ja Kainuun maakunnan pohjoisosia. Paliskuntien suurin sallittu poromäärä vaihtelee paliskunnan koosta ja sijainnista riippuen 300 ja 12 00 eloporon välillä (Kumpula ym. 2019: 66–67). Poronhoitoalueella poroja on yhteensä noin 191 000 kappaletta ja poronomistajia noin 4400 (Forsman ym. 2019: 39). Suomessa jokainen suomalainen voi toimia poronomistajana, kun taas Norjassa ja Ruotsissa se on pääosin mahdollista vain saamelaisille (Turunen ym. 2019: 2).

Poronhoidolla on Suomelle ja Lapin maakunnalle korkea kulttuurinen ja imagollinen merkitys, ja koko Fennoskandiassa poronhoito on suuressa merkityksessä alueen alkuperäiskansalle, saamelaisille (Castro & Nilsen 2001; Huusko 2015; Järvenpää 2018: 4). Poronhoito mahdollistaa monipuolisen elinkeinon harjoittamisen, sillä vaikka perinteinen poronlihanmyynti on poronomistajien tärkein tulonlähde, tuottaa poronhoito työllisyyttä esimerkiksi lihanjalostuksen, matkailun ja käsitöiden alalle (Järvenpää 2018; Poronhoito Suomessa 2020). Poronhoidolla ja sen välillisesti tuottamalla työllisyydellä on suuri merkitys Lapin taloudelle

(Huusko 2015; Poronhoito Suomessa 2020). Poronhoitovuonna 2018 poronhoitoalueella tuotettiin 1,8 miljoonaa kilogrammaa poronlihaa, ja poronhoidosta tulevat vuositulot olivat yhteensä noin 40 miljoonaa euroa (Huusko 2015; Forsman ym. 2019). Lisäksi Lapin matkailun merkityksen korostuessa, matkailu luo useille poronomistajille merkittävän tulonlähteen poronhoidon rinnalle. Poroelinkeino turvaa myös Lapin syrjäseutujen pitämistä asuttuina (Huusko 2015).

Vaikka poro on puolikesy eläin, vaikuttavat monet ihmisen aiheuttamat häiriöt porojen laidunnukseen ja laidunalueiden valintaan (Kumpula ym. 2019: 26). Havumetsäalueella tapahtunut vanhojen metsien väheneminen ja pirstoutuminen metsätalouden ja muiden maankäyttömuotojen ohella on vähentänyt porojen tärkeiden laidunalueiden, jäkälä- ja luppolaidunten, määrää (Pääkkö ym. 2018: 238–287). Tämä on vähentänyt myös porojen luontaista vuorottelua laidunalueiden välillä. Toisaalta porojen laidunnus myös itsessään vähentää jäkälien määrää (Akujärvi ym. 2014). Nykyään porotalous eroaa Suomessa muista pohjoismaista siten, että Suomessa poroja ei siirretä merkittävästi vuodenajoittain eri laidunalueille (Kumpula ym. 2019). Porojen laidunkiertoa ohjaavat ravinnon ja sen saatavuuden lisäksi poronhoitajien pystyttämät laidunkiertoaidat (Opas poronhoidon tarkasteluun maankäyttöhankeissa 2014). Viime vuosikymmenten aikana poronhoito on muuttunut ja tehostunut, mikä on parantanut porokannan elinkykyä ja tuottavuutta. Poroja tarhataan tai lisäruokitaan nykyään talvisin lähes koko Suomen poronhoitoalueella, mutta paliskunnissa, missä porot laiduntavat ilman lisäruokintaa, talvilaitumilla on suuri merkitys (Kumpula ym. 2019; Turunen ym. 2020). Aikaisemmin lisäruokinnalle ei ollut tarvetta, sillä porot elivät jäkälien avulla runsaslumisinkin talvina (Helle & Jaakkola 2008). Toisaalta tällöin porokanta oli pienempi.

3 Jatkuvan metsänkasvatuksen menetelmät

Keskustelu siitä, tulisiko metsiä uudistaa avohakkuilla ja sitä seuraavalla keinotekoisella uudistamisella, vai luontaisesti, on jatkunut jo vuosikymmeniä (Valkonen 2011). Keskustelu liittyy eritoten metsien uudistumiskykyyn (Kivinen ym. 2010). Kiinnostus avohakkuuttomaan metsätalouteen ja metsän peitteisyyden säilyttäviin menetelmiin on kasvanut viime aikoina, ja valtion omistamissa talousmetsissä on pyritty kehittämään sellaisia menetelmiä, joilla voitaisiin vähentää metsätalouden aiheuttamia negatiivisia vaikutuksia (Kumpula 2003; Valkonen ym. 2010: 9). Tällaisia menetelmiä ovat esimerkiksi jatkuvan kasvatuksen menetelmät. Näillä toimilla on

pyritytty muokkaamaan metsänkäsittelymenetelmiä enemmän luontaisia uudistumisprosesseja mukaileviksi.

Jatkuva kasvatus tarkoittaa avohakkuutonta metsänkasvatusta, jossa suuri osa puustosta jätetään paikoilleen eri tarkoituksia varten. Samalla hakkaamaton metsikkö ja puusto ylläpitävät metsän muita ekosysteemipalveluita, tukien metsien monikäyttöä (Valkonen ym. 2011: 531). Yleisimpiä jatkuvan kasvatuksen menetelmiä ovat poiminta- ja pienaukkohakkuut (Valkonen 2020). Jatkuvan kasvatuksen menetelmät ovat tasaikäiskasvatusta toimivampia muun muassa luonnon monimuotoisuuden, metsien monikäytön ja hiilensidonnan kannalta (Pukkala ym. 2011). Menetelmien käyttöä perustellaan usein mahdollisilla ympäristöhyödyillä, (Juutinen ym. 2020: 7) mutta luonnon monimuotoisuuden osalta vaikutukset riippuvat kuitenkin esimerkiksi mittaustavasta ja kohdelajista. Pukkala ym. (2011: 3) tiivistävät jatkuvan kasvatuksen olevan metsän säilyttämistä jatkuvasti puustoltaan peitteisenä ja erirakenteisena (erikäisenä), välttämällä kustannuksia aiheuttavia hoitotoimia. Siirtyminen avohakkuista kohti ympäristöpainotteisempaa metsätaloutta on esimerkki trendistä kohti luonnollisempia menetelmiä.

Suomessa metsät ovat luontaisesti erirakenteisia ja ne kehittyvät luontaisesti jatkuvan kasvatuksen metsien kaltaisiksi, joissa kasvaa yhtäaikaista monen ikäisiä ja kokoisia puita (Pukkala ym. 2011: 8, 179; Korhonen ym. 2017). Luonnonmukaiset metsät kasvavat ja uudistuvat samanaikaisesti, kun taas avohakkuuperusteisessa tasaikäismetsätaloudessa puuston ajatellaan joko kasvavan tai uudistuvan. Jatkuvan kasvatuksen ideana on tuottaa lisätilaa uuden puusukupolven kehittymiselle (Stevenson & Coxson 2006: 156), jolloin esimerkiksi taimia ei tarvitse istuttaa tai kylvää (Valkonen 2020). Metsän uudistuminen perustuu jo olemassa olevaan taimikkoon, joka on syntynyt luontaisesti joko valtapuuston alle tai hakkuiden jälkeen (Äijälä ym. 2019: 34–35; Valkonen 2020: 44). Tasarakenteisesta metsänkasvatuksesta poiketen jatkuvassa kasvatuksessa uudistamis- ja kasvatusvaiheet limittyvät, mikä tekee puuston ikä- ja kokojakaumasta vaihtelevan (Äijälä ym. 2019: 34–35). Useiden poiminta- ja pienaukkohakkuiden jälkeen tuloksena on erirakenteinen, ryhmittäinen puusto, jossa kasvaa sekaisin eri-ikäisiä ja -kokoisia puita (Valkonen 2020: 10–11). Tasaikäismetsätaloudellekin ominaiset monimuotoisuutta edistävät toimet, kuten säästö- ja lahoppuuston säilyttäminen sekä sekapuuston ylläpito, kuuluvat myös jatkuvan kasvatuksen piiriin (Äijälä ym. 2019: 34–25).

Jatkuva kasvatus oli ennen avohakkuuperusteista, eli tasarakenteista, metsätaloutta yleinen menetelmä koko maailmassa (Kuuluvainen ym. 2012). Metsätalouden siirtyessä enemmän maataloustyypiksi, intensiiviseksi, metsätaloudeksi, toimenpiteet alkoivat olemaan

hyvin erilaisia luonnollisiin prosesseihin verrattuna, ja suurin osa talousmetsistä muuttui tasarakenteisiksi (O'Hara 2009: 432; Kuuluvainen ym. 2012). Ennen vuotta 2014 peitteisen metsätalouden menetelmät olivat käytännössä kiellettyjä, mutta lakimuutoksen jälkeen vaatimukset avohakkuuttoman metsätalouden sallimiseksi metsätaloudessa tulivat mahdollisiksi (metsälaki 1093/1996; Valkonen 2020: 8). Pukkalan ym. (2011: 3) mukaan jo kohta sadan vuoden ajan tehdyt valtakunnan metsien inventoinnit osoittavat sen, että jatkuvan kasvatuksen menetelmät olivat aikaisemmin valtamenetelmä myös Suomessa. Sotien jälkeen puuntuotannon merkitys Suomen kansantaloudelle oli suuri, mutta puutavaran taloudellinen merkitys on nykyään pienentynyt (Pukkala ym. 2011: 20). Tämän vuoksi ympäristö- ja monikäyttöarvojen merkitys on kasvanut. Viime aikoina nämä luonnollisia prosesseja mukailevat menetelmät ovat alkaneet palata tärkeänä vaihtoehtona ja jopa korvaajana avohakkuille. Taustalla halukkuuteen säilyttää metsän peitteisyys, ovat maisema- ja ympäristöarvojen lisäksi puutavarasta taloudellisen riippuvuuden vapautuminen ja metsätulojen merkityksen väheneminen sekä metsäteollisuuden rakennemuutokset (Valkonen ym. 2010: 9). Avohakkuiden on osoitettu heikentävän myös ihmisen mahdollisuuksia perinteisiin käyttömuotoihin, mikä on Pukkalan ym. (2011) mukaan sosiaalisen kestävyuden edellytys.

Metsälain näkökulmasta peitteisen metsätalouden menetelmät ovat kasvatushakkuita (metsälaki 1093/1996, 2 §). Kasvatushakkuu tarkoittaa puunkorjuuta, mikä tehdään alueelle jäljelle jäävän puuston kasvattamista, tai sen ohella uuden taimiaineksen syntymistä, edistävällä tavalla. Metsälain (1093/1996, 5 §) mukaan ”kasvatushakkuu on tehtävä siten, että kasvatushakkuun jälkeen käsittelyalueelle jää riittävästi kasvatuskelpoista puustoa tasaisesti jakautuneena”. Jos hakattu avoin alue on korkeintaan 0,3 hehtaaria, ei metsänuudistamisvelvoitetta ole, eli aluetta ei tarvitse istuttaa tai kylvää. Yli 0,3 hehtaarin aukot pitää joko kylvää tai istuttaa, mikäli luontainen uudistaminen esimerkiksi reunametsän tuottaman siemenen avulla ei onnistu. Uusi metsälaki antaa metsänomistajalle valinnan päättää itse hakkuukierron pituudesta ja hakkuumenetelmän valinnasta (Turunen ym. 2019: 12). Jatkuvan kasvatuksen mahdollistavien hakkuumenetelmien salliminen on parantanut ja monipuolistanut mahdollisuuksia tuottaa erilaisia palveluita samasta metsästä, kuten luonnontuotteita, maisema- ja virkistyskäyttöarvoja, sekä muuta metsienkäyttöä, kuten porotaloutta, tukevia palveluita (Miina ym. 2020: 10–11).

Jatkuvan kasvatuksen taloudellisesta kannattavuudesta keskustellaan paljon (esim. Tahvonen & Rämö: 2016; Juutinen ym. 2020). Tasaikäismetsätaloutta perustellaan usein paremmilla taloudellisilla hyödyillä (Tahvonen & Rämö 2016: 891–892), mutta esimerkiksi

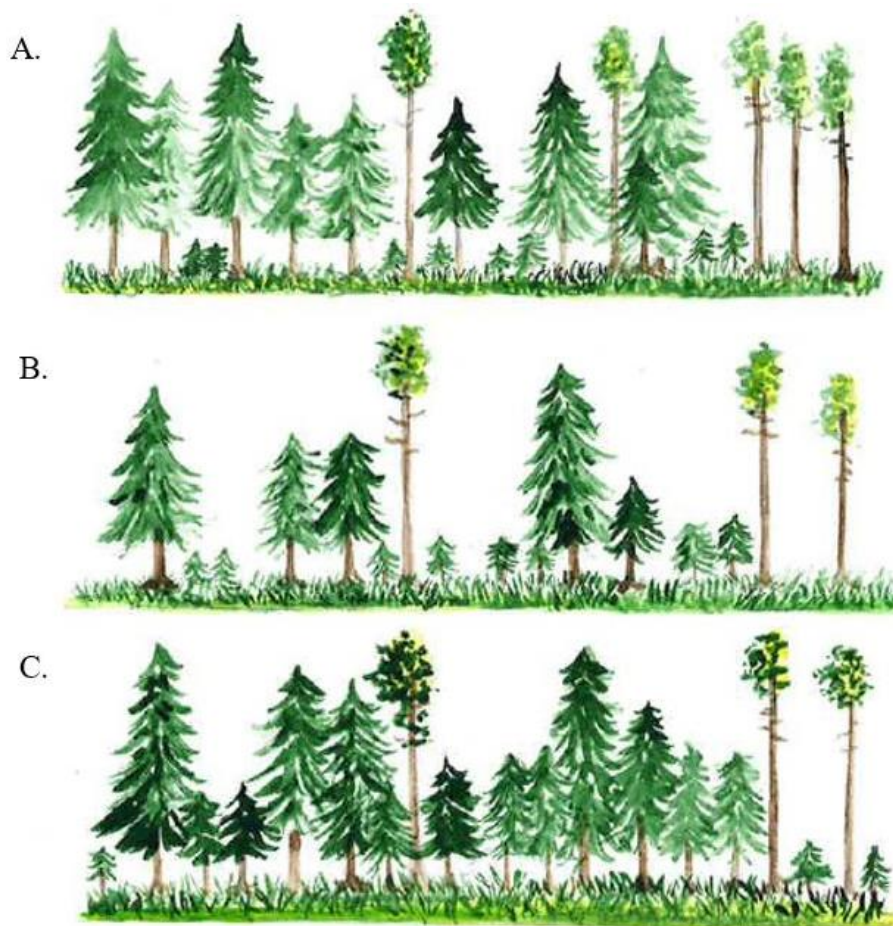
Peuran ym. (2018) mukaan kannattavuus vaihtelee laskutavan mukaan. Jatkuva kasvatus on monimutkaisempaa kuin tasaikäiskasvatus, joten taloudellisten mallien luominen jatkuvalle kasvatukselle on haastavaa (Tahvonen & Rämö 2016). Jatkuvassa kasvatuksessa taloudellisia säästöjä syntyy luontaisen uudistamisen hyödyntämisellä, jolloin uudistamistoimenpiteitä tai taimikonhoitoa ei tarvitse tehdä (esim. Äijälä ym. 2019; Juutinen ym. 2020). Valkosen (2020: 97–103) mukaan jatkuvan kasvatuksen korjuukustannukset taas ovat hieman suuremmat kuin tasaikäisen metsän harvennuksissa. Jatkuvassa kasvatuksessa hakkuukertymät ovat tasaisempia kuin tasaikäismetsätaloudessa, sillä hakkuita suoritetaan useammin, mutta toisaalta puuta kertyy kerralla vähemmän (Tahvonen & Rämö 2016). Lisäksi puiden kehitys jatkuvan kasvatuksen menetelmillä on hitaampaa ja hakkuiden suunnittelu ja toteutus kalliimpaa kuin tasaikäiskasvatuksessa (Armleder & Stevenson 2003; Pukkala ym. 2011). Jatkuvan kasvatuksen menetelmien käytön määrää Suomessa ei tiedetä, sillä aiheeseen liittyvä terminologia on osittain sekavaa, eikä tilastointia tehdä. Norokorven (2021) mukaan tilastoinnissa on virhe, sillä esimerkiksi metsänkäyttöilmoitus ei tunne termiä jatkuva kasvatus.

Hakkuukiertojen pituudet Suomessa vaihtelevat sijainnin ja kasvupaikan mukaan, Etelä-Suomen 15 vuodesta Pohjois-Suomen 50 vuoteen (Pukkala ym. 2011: 174). Pukkala ym. (2011: 139–140) tiivistävät, että monikäyttömetsätaloudessa jatkuva kasvatus on tasaikäismetsätaloutta selkeästi kannattavampaa, mitä enemmän muita tuotantopalveluita otetaan laskuissa huomioon. Jatkuvalle kasvatuksella on lisäksi tasaikäismetsätaloutta suurempi potentiaali tuottaa yhtäaikaaisesti enemmän hyötyjä metsistä (Peura ym. 2018). Jatkuvan metsänkasvatuksen hakkuista saatava hyöty on suurin ja epäonnistumisen riski pienin sellaisissa metsissä, missä puuntuotos ja taloudellinen tuotto eivät ole metsikön tärkeimmät tavoitteet (Valkonen ym. 2010). Tulee kuitenkin muistaa, ettei erirakenteisen metsän kasvattamisen riskien suuruutta tai seurauksia vielä kunnolla tunneta.

Poiminta- ja pienaukkohakkuiden erot eivät ole luonnossa aina selviä, sillä jatkuvan kasvatuksen metsien koostumus voi vaihdella harvan ja tiheän välillä (Tahvonen & Rämö 2016). Menetelmien selvimpänä erona voidaan pitää hakkuiden lähtökohtaa: Poimintahakkuut suunnitellaan puuyksilöä ja sen lähiympäristöä tarkastelemalla, kun taas pienaukkohakkuissa huomio keskittyy pieniin alueisiin, jotka hakataan avohakkaamalla (Valkonen ym. 2010). Usein jatkuvassa metsänkasvatuksessa tehdään pienaukkohakkuita poimintahakkuiden lisäksi ja rinnalla.

3.1 Poimintahakkuut

Poimintahakkuut ovat jatkuvan kasvatuksen käytössä oleva yleinen hakkuumenetelmä (Valkonen 2020). Suuret puut hallitsevat metsikön ylimpiä kerroksia, joten ne vaikuttavat kilpailullaan voimakkaasti pienempien puiden kasvuun (Valkonen ym. 2010: 15). Tämän takia suuria puita ei voi olla kovin paljoa, jotta uudistuminen olisi tehokasta. Poimintahakkuissa poistetaan pääasiassa suuria puita (kuva 2), millä tehdään tilaa pienempien puiden ja uusien taimien kehittymiselle, niiden saadessa enemmän valoa ja ravinteita (Äijälä ym. 2019; Valkonen 2020). Myös osa suuremmista hyvälaatuisista puista jätetään paikoilleen tuottamaan siemeniä (Äijälä ym. 2019: 148). Lisäksi hakkuissa poistetaan vialliset ja sairaat puut koosta ja iästä riippumatta, ja tarvittaessa pienempien puiden tiheitä ryhmiä harvennetaan (Valkonen ym. 2010; Valkonen 2020).



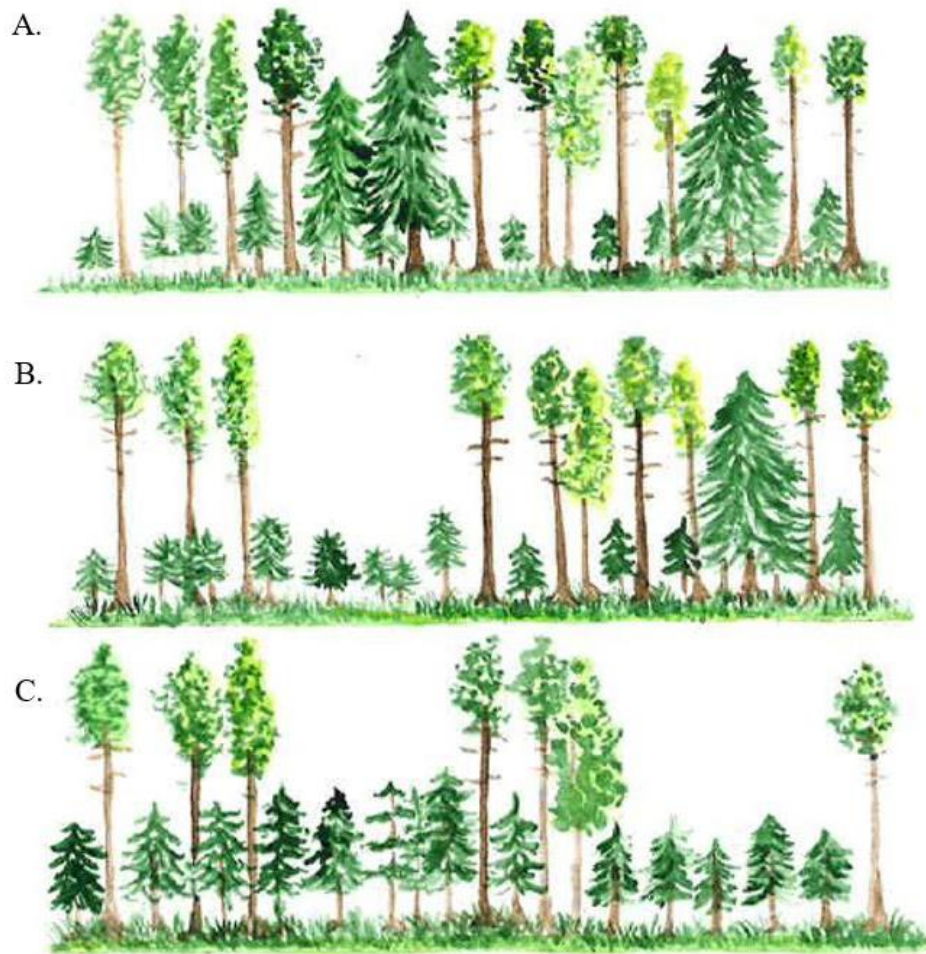
Kuva 2. Poimintahakkuu ennen hakkuuta (A), hakkuiden jälkeen (B) ja 10–20 vuotta hakkuiden jälkeen (C). Kuva: Jonna Hänninen Pienaukkohakkuut ja poimintahakkuut (2021) mukaan.

Poimintahakkuut suoritetaan säännöllisin väliajoin, yleensä noin 10–20 vuoden välein, ja kattavan alueen tyyppi ja metsikön kasvun nopeus vaikuttavat siihen, kuinka suuri poistettava puumäärä on (Valkonen ym. 2010: 15–20; Sirén ym. 2015). Hyppösen (2002) mukaan Pohjois-Suomessa tehdyt epäsäännölliset poimintahakkuut ovat usein luoneet pienaukkohakkuiden kaltaisia aukkoja.

3.2 Pienaukkohakkuut

Pienaukkohakkuissa koko metsikkö uudistetaan vähitellen hakkaamalla sinne pieniä aukkoja avohakkuumenetelmällä, jotta ne taimettuisivat luontaisesti (kuva 3; Valkonen ym. 2010: 55; Valkonen 2020: 10–12). Samalla suurin osa metsiköstä jätetään tuottamaan siemeniä ja ylläpitämään metsän muita hyödykkeitä. Kun aiemmin hakatut aukot ovat taimettuneet, voidaan hakkuualaa laajentaa ja luoda uusia aukkoja (Valkonen & Siitonen 2016: 271). Pienaukkojen koolle ei ole määriteltävissä standardikokoa (Valkonen 2020:16–17), mutta metsälain (1093/1996) mukaan vain alle 0,3 hehtaarin kokoisilla aukoilla ei ole uudistamisvelvoitetta. Eri olosuhteisiin ja tilanteisiin sopivat eri kokoiset aukot, joten hakatun aukon koko ja määrä riippuu hakkuiden tavoitteista ja olosuhteista (Hallikainen ym. 2019: 115; Valkonen ym. 2010: 21–22).

Pienaukoille ominaista ovat aukon aiheuttamat reunavaikutukset, jotka vaikuttavat aukon ja sen ympäröivän metsikön olosuhteisiin (Valkonen ym. 2011; Valkonen 2020: 16–17). Hyvin pienissä aukoissa olosuhteet eivät poikkea paljoa ympäröivästä metsästä, mutta suuremmissa aukoissa reunavaikutukset voivat ulottua jopa 20 metrin päähän reunasta (Valkonen 2020). Joissain tapauksissa pienaukkohakkuissa on tarpeen tehdä maanmuokkausta tai ympäröivän metsän harventamista (Valkonen 2020: 55).



Kuva 3. Pienaukkohakkuut ennen hakkuita (A), hakkuiden jälkeen (B) ja 10–20 vuotta hakkuiden jälkeen (C). Kuva: Jonna Hänninen Pienaukkohakkuut ja poimintahakkuut (2021) mukaan.

4 Luppojäkälät

Suomea voi hyvällä syyllä kutsua jäkälien maaksi, ja jäkälätutkimusta on tehty Suomessa jo 1850-luvulta lähtien (Stenroos ym. 2011: 7). Jäkälät ovat eräänlaisia pieniä ekosysteemejä, joissa mykobiontti, eli sieniosakas, elää symbioosissa fotobiontin, eli viherlevän tai syanobakteerin, kanssa (Stenroos ym. 2011: 13). Jäkälän sienet muodostavat levän kanssa yhteisiä sekovarsia (Rikkinen 2010: 8). Fotobiontti tuottaa auringonvalosta ja hiilidioksidista yhdisteitä itselleen ja sieniosakkaalle, ja sieniosakas antaa jäkälälle fyysisen suojan ja tarjoaa sille vettä ja ravinteita (Lohtander 2011: 13). Jäkälät luokitellaan sieniosakkaan mukaan, ja ne luetaan kuuluvaksi sieniin. Jäkäliä esiintyy maailmassa noin 15 500–20 000 lajia, joista Suomessa noin

1500 lajia. Jäkälät ovat yksi kestävimmistä ja sitkeimmistä eliöryhmistä (Rämä 2011: 50). Jäkälät jaetaan kasvutapansa mukaan rupi-, lehti- ja pensasjäkäliin (Myllys 2011a: 17–23). Suurin osa jäkälistä kasvaa epifyytteinä puiden tai muiden kasvien päällä (Nash 2008: 4–5). Jäkälät eivät silti ime puun ravinteita, vaan ainoastaan kiinnittyvät siihen (Karlsson 2015). Epifyyttijäkälät saavat kaiken tarvitsemansa ravinteen sadevedestä ja ilmasta. Puussa kasvavilla epifyyttijäkälillä, kuten luppojäkälillä, on monia tärkeitä rooleja metsäekosysteemissä. Näitä ovat muun muassa koostumuksellisen monimutkaisuuden lisääminen, vesisuhdanteiden muokkaaminen, ravinteiden kiertoon vaikuttaminen ja habitaattien, ruoan ja pesintämateriaalinen tuottaminen monille eläimille (Galloway 1992).

Jäkälät ovat hyvin hidaskasvuisia, ja ne lisääntyvät joko suvullisesti tai suvuttomasti (Lohtander 2011: 13; Myllys 2011a: 27–28). Monella jäkälälajilla tavataan yleisesti kumpaakin lisääntymistapaa. Lähes kaikki jäkälät kuuluvat kotelosieniin, joilla itiöt kehittyvät itiöemissä sijaitseissa itiökoteloissa. Suvuton lisääntyminen tapahtuu siten, että sieniosakas ja fotobiontti kulkevat yhdessä mikroskooppisen pieninä jäkälämuruina, soredioina, tai hieman isoimpina sekovarren ulokkeina, isidioina (Myllys 2011a: 27–28; Rikkinen 2019: 8–9). Jäkälämurut leviävät tehokkaasti esimerkiksi tuulen tai veden mukana (Rikkinen 2010: 9). Suvuton lisääntyminen on jäkälille edullista, sillä kasvulliset leviäimet pystyvät sopivalla kasvualustalla muodostamaan heti uuden sekovarren. Suvullisen sieni-itiön on taas löydettävä sopiva fotobiontti ennen uuden sekovarren muodostamista (Myllys 2011a: 27–28). Epifyyttijäkälien kasvuvauhti on riippuvainen siitä ajasta, minkä ne ovat kosteina (Stevenson & Coxson 2004: 4). Jäkälillä ei ole juuria, joten ne ovat rajoittuneita veden säilömissä ja ovat fysiologisesti aktiivisia vain, jos vettä on suoraan saatavilla puun oksilla.

Pensasjäkäliin kuuluvat lajit nousevat aina kasvualustastaan koholle (Büdel & Scheidegger 1996: 46–48), mutta pensasjäkäliin kuuluvien luppojäkälien, eli luppojen (*Alectoria*, *Bryoria*) ja naavojen (*Usnea*), kasvumuoto on riippuva (Myllys 2011b: 17–23). Lapin metsien luppojäkälät ovat yleisesti enimmäkseen luppojen muodostamia, mutta naavat ovat pääosin eteläisiä lajeja (Vuokko 2005: 152; Lohtander ym. 2011). Luppojäkälien määrittäminen on haastavaa, ja siihen tarvitaan usein mikroskooppia (Halonen 2011a: 53). Lisäksi luppojäkälillä voi olla useita alalajeja.

Luppojäkälät ovat häiriöille yksi herkimmistä lajiryhmistä johtuen niiden hitaasta leviämisestä ja kasvusta, ja siitä, että ne ovat täysin riippuvaisia sopivasta kasvualustasta (Esseen ym. 1996; Dettki & Esseen 1998). Vanhojen metsien jäkälälajeja on taantunut sadan viime

vuoden aikana runsaasti (Lommi 2011: 40–43). Taantumiset johtuvat sopivien kasvupaikkojen ja -alustojen vähentymisestä, ja siitä, että jäljellä olevien kasvupaikkojen etäisyys toisistaan on liian suuri. Luppojäkälät ovat kärsineet erityisesti vanhojen metsien häviämisestä. Monet ilmansaasteet ovat haitallisia useille jäkälälajeille, ja myös luppojäkälien taantuminen erityisesti saasteisilla alueilla on ainakin osaksi ilmansaasteiden syytä (Lommi 2011: 42; Rämä 2011: 50). Ilmansaasteet hävittivät epifyyttijäkälät kaupunkien keskustoista ja teiden varsilta 1800-luvulla, ja tilanne paheni teollisuuden ja liikenteen kasvaessa (Karlsson 2015). Muutos parempaan alkoi 1980-luvulta, jolloin saasteita alettiin puhdistamaan. Rikkidioksidin vähenemisen myötä myös luppojäkälät palasivat osittain takaisin kaupunkeihin (Jääskeläinen 2011: 46).

Luppojäkälän määrä puussa riippuu niiden kasvunopeuden ja jäkäläkarikkeena menetetyt biomassan tasapainosta (Stevenson & Coxson 2004: 4). Tähän tasapainoon vaikuttavat luppojäkälien leviäminen puuhun ulkopuolelta, niiden kulutus eläinten toimesta ja esimerkiksi tuulen vaikutus (Esseen & Renhorn 1998; Stevenson & Coxson 2004: 4). Jotta luppojäkälien ylläpito onnistuu pitkällä aikavälillä, tulee niiden kasvunopeuden olla tasapainossa, tai ylittää, menetetyt jäkäläkarikkeiden määrä (Stevenson & Coxson 2004). Yleensä suurin määrä luppojäkälää kasvaa latvuston keskiosilla, missä jäkälien esiintymiseen vaikuttavat muuttujat, kuten valo ja kosteus, ovat tasapainossa (Coxson & Coyle 2003: 171).

Suuren hiilihydraattipitoisuuden ja hyvän sulavuuden vuoksi jäkälät ovat talvella tärkeä energiaravinnon lähde havumetsäalueella poroille (*Rangifer tarandus*) ja sen lähisukulaisille, kuten karibuille (Helle & Saastamoinen 1979; Rytönen ym. 2013: 10; Kumpula ym. 2015). Talvisin porot syövät pääasiassa maajäkälää, mutta luppojäkälät ovat tärkeässä asemassa talvesta selviytymisessä. Jos lumiolosuhteet ovat jäiset tai muuten hankalat, maajäkälään pääsy estyy, ja porot joutuvat turvautumaan lähes täysin luppojäkälään (Helle & Saastamoinen 1979; Rominger ym. 1990). Alueilla, missä lunta on enemmän, luppojäkälien saatavuuden tärkeys korostuu (Helle & Saastamoinen 1979). Puiden alaoksilla ja rungolla kasvavan luppojäkälän ohella puista putoavalla jäkälällä, eli niin sanotulla lupposadannalla, on suuri merkitys poroille (Rytönen ym. 2013: 11). Lupposadannan määrä kasvaa erityisesti myrskyjen aikaan (Helle & Saastamoinen 1979). Viime vuosina talvilaidunten ja luppojäkälien merkitys poronhoidolle on pienentynyt korvaavien ruokintamenetelmien takia (Turunen ym. 2019: 2).

4.1 Lupot (*Bryoria*, *Alectoria*)

Luppoihin kuuluvat *Bryoria*-suvun tummalupot ja *Alectoria*-suvun viherlupot (Jahns 1996: 176). Lupot ovat pensasmaisia, kasvutavaltaan pystyjä, riippuvia tai harvoin alustanmyötäisiä (kuva 4; Mylly & Velmala 2011: 69). Useimmat luppoihin kuuluvista lajeista muistuttavat naavoja (*Usnea*), sillä ne riippuvat naavamaisesti puilla ja kallioilla. Jotkut luppolajeista kasvavat puskamaisesti. Luppojen haaroittuminen on epäsäännöllistä, ja ne muodostavat sotkuisia tupsuja (Vuokko 2005: 152). Luppojen selvin erottava tuntomerkki naavoihin nähden on valkean keskusjanteen puute, mikä naavoilla näkyy venyttäessä (Vuokko 2005: 152; Halonen 2011a: 53). Tummaluppojen (*Bryoria*) sekovarren väri vaihtelee vihertävän harmaasta tummanruskeaan tai mustaan, joidenkin lajien ollessa kirjavia. Viherlupot (*Alectoria*) ovat väriltään vihreitä sisältämänsä usniinihapon takia (Halonen 2011a: 53). Viherluppojen fotobiontti on aina viherlevä.

Luppoja esiintyy Suomessa 18 lajia (Stenroos ym. 2011), joista Lapissa esiintyy 12 lajia (Halonen 2011a: 53; Mylly & Velmala 2011: 69–81). Näistä kymmenen kuuluu tummaluppoihin ja kaksi viherluppoihin. Merkittävimpiä porojen talvirehuja ovat erityisesti tummaluppoihin kuuluva tummaluppo (*Bryoria fuscescens*) ja korpiluppo (*Alectoria sarmentosa*). Tummaluppo on yksi yleisimmistä luppolajeista Lapissa, ja korpiluppo on viherluppoihin kuuluva laji. Korpiluppo viihtyy matalammalla puiden oksistossa, kun taas tummaluppo suosii korkeampia kasvupaikkoja (Coxson & Coyle 2003).



Kuva 4. Tummaluppoa (*Bryoria*) männyn oksilla.

4.2 Naavat (*Usnea*)

Naavat (*Usnea*) ovat liereärankaisia, yleensä tiheähaaraisia, pensasmaisesti harittavia tai riippuvia (kuva 5; Halonen 2011b: 474). Naavat ovat väriltään kellanvihreitä, ja niiden kuoressa on viherluppojen (*Alectoria*) tavoin usniinihappoa. Viherluppojen fotobionttina toimii viherlevä. Myös useimmat naavalajeista riippuvat puulla tai kivellä (Jahns 1996: 178). Lupoista poiketen, naavoilla näkyy rankaa venytettäessä sitkeä, valkea, keskusjänne. Vihreänkeltaiset naavalajit voivat sekoittua viherluppoihin (Halonen 2011b: 474). Suomessa esiintyy yhteensä 12 naavalajia, ja niiden esiintyminen on eteläpainotteinen (Halonen 2011b: 474). Lapissa naavoja esiintyy 11 lajia.



Kuva 5. Naavaa (*Usnea*) männyn rungolla.

4.3 Luppojäkälien esiintymiseen vaikuttavat tekijät

Merkittävimmät luppojäkälien leviämiseen vaikuttavat tekijät ovat niiden heikko leviäminen, ja vanhojen, jäkälärikkaiden, metsien toimiminen luppojäkälien lähteenä (Dettki ym. 2000). Luppojäkälien huonon leviämisen vuoksi habitaatin koostumuksella on niille suuri vaikutus (Dettki & Essees 1998). Luppojäkälät tarvitsevat kasvualustan kasvaakseen, joten ne ovat riippuvaisia niiden isäntäpuista (Jaakkola ym. 2006; Hortskotte ym. 2011). Monet luppojäkälälajit

vaativat kasvualustakseen vanhoja puita, sillä vanhan puun kaarnan ominaisuudet ovat erilaisia verrattuna nuoren puun kaarnaan, ja vasta, kun kaarnan ominaisuudet ovat muuttuneet sopivaksi kyseiselle lajille, se voi levitä tälle paikalle (Lommi 2011: 40–43). Luonnollisesti kuolleet ja vaurioituneet puut ovat tärkeitä kasvualustoja monille jäkälälajeille. Luppojäkälien esiintymiseen ja kasvualustojen saatavuuteen vaikuttaa merkittävästi metsikön ikä, ja luppojäkälät esiintyvät lajirikkaampana yli satavuotiaissa metsiköissä (esim. Esseen ym. 1996). Siksi luppojäkälä kasvaa runsaana vanhoissa metsissä, ja harvalukuisempana kasvatetuissa, nuorissa, metsissä (Stevenson 1998: 1).

Pääongelmat jäkälien leviämisessä koskevat nuorten metsiköiden kolonisaatiota, mikä on luppojäkälille hankalaa (Helle 2005). Jäkälät leviävät melko huonosti, sillä niiden leviämismatka on suhteellinen lyhyt (Dettki ym. 2000). Paikallisesti luppojäkälät voivat levitä noin 200 metrin päähän (Dettki ym. 2000). Luppojäkälien leviäminen riippuu vanhojen metsiköiden ja suurten puiden määrästä, jotka toimivat tärkeinä uusien jäkälien ja jäkälämurujen lähteinä (Stevenson 1988; Campbell & Coxson 2001). Yleensä suurin määrä luppojäkälää esiintyy isoissa puissa (Coxson ym. 2003: 839). Luppojäkälien leviämisessä tarvittavien jäkälämurujen määrä vähenee nopeasti siirryttäessä kauemmaksi metsänreunasta (Helle 2005). Nuorissa metsissä, jotka sijaitsevat yli 400 metrin päässä jäkäläriikkaan metsän reunasta, on jo hyvin pieni todennäköisyys luppojäkälien esiintymiselle (Stevenson 1990).

Sopivan kasvualustan löytymisen lisäksi tietyn jäkälälajin esiintymiseen vaikuttavat muun muassa lajin aiempi levinneisyys ja leviämiskyky (Lommi 2011: 35–38). Näihin vaikuttavat esimerkiksi ilmasto, vuorovaikutus muiden lajien kanssa ja sattuma. Rakenteeltaan monimutkaisissa metsiköissä on enemmän luppojäkälää kuin yksinkertaisissa metsiköissä (Lewis 2004). Metsikön pohjapinta-alalla, eli metsikön tiheydellä, ja metsikön spatiaalisella rakenteella, on osoitettu olevan merkitys luppojäkälien määrään (Jaakkola ym. 2006; Hortskotte ym. 2011). Pohjapinta-ala peilaa kasvualustan saatavuutta (Dettki & Esseen 1998: 621). Lisäksi jäkälien leviämiseen ja alueellisiin vaihteluihin vaikuttavat mikroilmastolliset tekijät, kuten valon määrä, lämpötila ja kosteus sekä näiden suhteet (Armstrong 2015). Koska jäkälät leviävät jäkälämuruista, tuulisempi ympäristö voi edistää murujen irtoamista ja täten edesauttaa jäkälien leviämistä myös hakkuuaukoille (Stevenson & Coxson 1997: 163).

Esseenin ym. (1996) mukaan luppojäkälä esiintyy eniten vanhoissa havumetsissä, jotka ovat yleensä kuusen (*Picea abies*) dominoimia. Suomessa luppojäkälä esiintyy eniten kuusirajan yläpuolella vanhoissa männyissä (*Pinus sylvestris*), ja kuusirajan alapuolella

tuoreiden kankaiden kuusissa (Jaakkola ym. 2006). Joidenkin tutkimusten mukaan luppojäkälälien pituus kasvaa, mitä pohjoisempana jäkälä elää, indikoiden pohjoisten olosuhteiden olevan parempia luppojäkälälien biomassan kasvamiselle. Talousmetsissä luppojäkälälien kasvu voi olla rajoittunutta kasvualustan huonon laadun takia, kun oksat ovat liian pieniä ja nuoria (Esseen ym. 1996). Jäkäläbiomassan määrään poronhoitoalueella vaikuttavat selvimmin porolaidunnuksen vuodenaikainen ajoittuminen ja porotiheydet, sekä metsätalouden aiheuttamat muutokset metsien rakenteessa ja vanhojen metsien määrässä (Kumpula ym. 2019).

4.4 Metsätalouden vaikutukset luppojäkälille

Metsätalous on merkittävin häiriötekijä, joka vaikuttaa boreaalisten metsien ekosysteemin koostumukseen, toimintoihin ja puulajisuhteisiin (Haila 1999: 234; Sandström ym. 2006). Metsätalous on Suomen Jäkäläoppaan mukaan jäkälälien merkittävin uhanalaisuuden syy (Jääskeläinen 2011: 46). Erityisesti luppojäkälät ovat herkkiä metsätaloudelle (esim. Esseen ym. 1996; Dettki & Esseen 1998; Kumpula ym. 2019). Lapissa 1940-luvulta 1990-luvulle jatkunut intensiivinen metsätalous on vähentänyt vanhojen (kypsien) metsien määrää noin 75 %:a, mikä näkyy suoraan myös luppojäkälälien määrässä (Jaakkola ym. 2006: 2963). Metsätalouden vaikutukset ulottuvat puu-, metsikkö- ja aluetason muuttujiin ja ominaisuuksiin, sekä mikroilmastolisiin tekijöihin (Dettki & Esseen 1998; Ylisirniö & Hallikainen 2007). Metsätalouden vaikutuksia on hankala arvioida pitkällä aikavälillä, sillä metsiköt kasvavat hitaasti, ja häiriöt muokkaavat metsäekosysteemin koostumuksia ja dynamiikoita eri tavalla (Oliver & Larson 1990). Lisäksi prosessit, jotka muokkaavat metsädynamiikoita, vaikuttavat suurilla maantieteellisillä ja temporaalisilla skaaloilla (Spies & Turner 1999). Metsätalouden vaikutukset luppojäkälille vaihtelevat suuresti siitä riippuen, tarkastellaanko vaikutuksia paikallisella vai alueellisella tasolla (Dettki & Esseen 1998).

Metsiköissä, joissa suoritetaan avohakkuuta ja tasaikäistä metsänkasvatusta, on mahdollon tukea monimuotoista luppojäkäläyhdyskuntaa (Dettki & Esseen 1998: 621). Metsätalouden nopeasti ja äkillisesti tapahtuvat toiminnot, ja sitä seuraavat lyhyet hakkuuvälit, ohittavat metsien ja jäkälälien hitaat kasvudynamiikat (Hortskotte ym. 2011). Luppojäkälät tarvitsisivat hakkuiden jälkeen pidemmän ajan palautuakseen kuin mitä hakkuuvälit yleensä ovat (Armleder & Stevenson 1994: 141). Luppojäkälä katoaa hakkuualueilta eniten korjattavan puuston mukana, mutta usein myös alueelle jäävässä puustossa on hakkuun seurauksena vähemmän jäkälää kuin ennen hakkuuta (Rytkönen ym. 2013). Avohakkuista seuraa jäkälille sopivien habitaattien

vähentäminen ja nuorten metsien valta, josta seuraa valonpuute metsikössä ja vanhojen metsien vähentäminen ja sirpaloituminen (Haila 1999: 234; Kivinen ym. 2010: 275). Kertaalleen hakatut, laaja-alaisesti käsitellyt, kasvatusmetsät eivät vastaa ominaisuuksiltaan aikaisempia, luonnontilaisia, vanhoja metsiä.

Vanhojen metsien jäkälälajit vaativat laajan metsäpeitteen turvaamaan pienilmaston jatkumoa, ja eivätkä pienen varttuneen metsän laikut riitä sitä turvaamaan (Jääskeläinen 2011:46). Puustoaukot suljetussa latvustossa voivat muuttaa koko metsikön mikroilmastoa ja koostumusta, ja hakkuut vaikuttavat esimerkiksi metsikön kuivumiseen suuresti (Esseen & Renhorn 1998). Myöhemmin muun muassa rakenteelliset ja mikroilmastolliset muutokset esimerkiksi valaistus-, kosteus- ja lämpöolosuhteissa laskevat loppojäkälien määrää (Stevenson & Coxson 2004: 4; Rytkönen ym. 2013). Jos metsikön sirpaloituminen muuttaa ympäristöä paljon, ovat paikoillaan elävät organismit, kuten jäkälät, vaarassa kadota kokonaan, koska ne eivät voi siirtyä muualle (Haila 1999:248; Dettki & Esseen 2003).

Loppojäkälien määrä on vähentynyt arvokkaiden habitaattien ja vähentyneen kytkeytyneisyyden myötä (Hortskotte ym. 2011). Metsän reunahabitaatin kasvu on yksi merkittävimmistä metsien sirpaloitumista seuraavista tekijöistä (Esseen & Renhorn 1998; Haila 1999). Kun hakkuiden seurauksena metsikköön syntyy uusi reuna, alkavat reunavaikutukset muokkaamaan ympäristön abioottisia ja bioottisia olosuhteita (Renhorn ym. 1996; Haila 1999). Reunavaikutukset hidastavat jäkälän leviämistä, sillä jäkälämurujen määrä vähenee äkisti metsänreunassa (Esseen & Renhorn 1998; Dettki ym. 2000). Lisäksi loppojäkälän pituus ja määrä on merkittävästi pienempi metsänreunalla kuin metsän sisällä, mikroilmaston vaihtelun ja kasvupaikan saatavuuden takia (Esseen 2006). Hakkuualueiden puusto on lisäksi alttiimpi tuulelle myrskyn aikana, jolloin puustosta kasvava jäkäläkasvusto voi irrota herkemmin (Esseen & Renhorn 1998; Kumpula 2003).

Loppojäkälät reagoivat hakkuisiin monella tapaa, ja vasteet vaihtelevat riippuen etäisyydestä hakkuiden reunaan ja häiriöstä kuluneeseen aikaan (Coxson ym. 2003: 835). Metsätalouden vaikutukset vaihtelevat myös jäkälälajin mukaan (Dettki & Esseen 1998: 622). Erityisen herkkiä metsätaloudelle ovat ne lajit, joilla on tarkka habitaatti, kuten vanhat puut, jotka taas ovat usein harvinaisia intensiivisesti kasvatetuissa metsissä (Kuusinen & Siitonen 1998: 283). Joissain tapauksissa jäkälän lajirikkaus kasvaa vielä siihen asti, kunnes metsikön ikä saavuttaa 120 vuotta (Kuusinen & Siitonen 1998). Toisaalta Dettki ja Esseen (1998: 622) huomauttavat, että jotkin lajit voivat olla jopa yleisempiä hoidetuissa metsissä, sillä niissä puuston pohjapinta-

ala on korkeampi. Kun metsä ylittää 200 vuoden iän, alkaa jäkälien lajirikkaus yleensä vähene-
mään (Dettki & Esseen 1998).

Laajojen avohakkuiden vaikutukset ovat edelleen näkyvissä nykyisissä kasvatusmet-
sissä Lapissa (Kumpula ym. 2019: 48). Toisaalta hakkuiden luomat elinympäristöt voivat hyö-
dyttää sellaisia lajeja, jotka tarvitsevat varhaisen sukkessiovaiheen kasvupaikkoja (Hunter
1999: 8). Nykyään vanhoja metsiä on kuitenkin vaarallisen vähän, jolloin siellä elävät lajit uh-
kaavat hävitä vanhojen metsien mukana. Lisäksi varhaisen sukkessiovaiheen lajeja on vähem-
män kuin myöhäisen sukkessiovaiheen lajeja. Jos vanha metsä muutetaan nuoreksi metsäksi,
voi lajimäärä ja erityisesti lajien tasaisuus (*evenness*) vähentyä, jolloin generalistilajit yleistyvät
edelleen, ja harvinaiset lajit voivat kadota kokonaan.

4.5 Jatkuvan kasvatuksen mahdollisuudet luppojäkälille

Avohakkuuton metsätalous, eli jatkuva kasvatus, on hyväksi sellaisille lajeille, jotka vaativat
varjoisia olosuhteita tai elävät esimerkiksi lahopuissa (Valkonen ym. 2010: 9). Tärkeiden
elinympäristöjen pirstoutuminen on ongelma esimerkiksi luppojäkäliden menestymiselle, ja jat-
kuvalla kasvatuksella näitä pirstoutumisia voitaisiin vähentää (Valkonen 2020: 12, 115). Jat-
kuva kasvatus tarjoaa sellaisia elinympäristöjä, joita avohakkuuperusteisessa metsätaloudessa
ei esiinny lainkaan. Jatkuvan kasvatuksen eri-ikäisten sekametsien vaihtelevat valo- ja sätei-
lyolot, mikroilmasto ja puusto tarjoavat vaihtelevia elinympäristöjä erilaisille lajeille yhden
metsikön sisällä (Äijälä ym. 2019: 40; Valkonen 2020: 12). Tällöin myös varjossa viihtyville
lajeille jää enemmän sopivia kasvupaikkoja. Jatkuvan kasvatuksen menetelmät tuottavat enem-
män habitaatteja lajeille, jotka ovat riippuvaisia esimerkiksi lehtipuista tai vanhan metsän ra-
kenteesta (Peura ym. 2018). Menetelmillä on mahdollista saada tyydyttäviä tuloksia luppojäkä-
lien kasvuun talousmetsissä, mikä tarkoittaa sitä, että laji säilyy alueella tai sen määrä jopa
kasvaa (Stevenson & Coxson 2003). Erityisen hyvin menetelmä toimii luppojäkäliden ylläpitä-
miseksi silloin, kun hakkuuvolyymi pysyy suhteellisen pienenä. Liian suuri puiden poistuma
voi aiheuttaa luppojäkäliden vähenemisen, joka selittyy osaksi nuorten puiden määrällä ja laa-
dulla, ja osaksi rajoittuneella leviämällä (Coxson ym. 2003). Alhaisen tason jatkuvan kasva-
tuksen menetelmät voivat vastata niin lyhyen kuin pitkän aikavälin tavoitteisiin ylläpitää lup-
pojäkäliden saatavuutta porojen ravinnoksi (Stevenson & Coxson 2004; Stone ym. 2008).

Jopa varovaiset hakkuut yleensä vähentävät jäkäläbiomassan määrää talousmetsissä
verrattuna koskemattomaan metsään. Hakkuut lisäävät puiden etäisyyttä toisistaan, mikä voi

hankaloittaa luppojäkälien leviämistä, kun etäisyys jäkälän lähteestä kasvaa (Dettki ym. 2000; Stevenson & Coxson 2006: 156). Yleensä jatkuvan kasvatuksen hakkuiden jälkeen on havaittavissa lisäys jäkäläkarikkeen määrässä (Stevenson Coxson 2003). Vaikutukset jäävät kuitenkin pienemmiksi kuin esimerkiksi avohakkuissa (Coxson ym. 2003). Jatkuvan kasvatuksen hakkuut luovat tilaa uudelle puusukupolvelle, ja ajan kuluessa jäkälän kasvuympäristöt lisääntyvät uusien taimien kasvaessa (Stevenson & Coxson 2006: 156). Jatkuvan kasvatuksen hakkuiden säästämässä jäännöspuissa ei välttämättä ole suurta eroa luppojäkälän määrässä verrattuna luonnontilaiseen metsään, mutta jäkäläbiomassan määrä on silti yleensä metsikkötasolla pienempi (Coxson ym. 2003). Toisaalta jäkälän pienempi määrä jatkuvan kasvatuksen metsissä johtuu osaksi myös siitä, että jatkuvan kasvatuksen metsissä isojen puiden määrä on pienempi (Stevenson ym. 2001).

Luppojäkälän kasvuun jäännöspuissa vaikuttavat kasvupaikan laatu (puulaji, puun ikä), ympäristölliset tekijät (esim. kosteus ja rinteenkalltevuus) sekä lajin morfologiset ja fysiologiset ominaisuudet (Ylisirniö & Hallikainen 2018). Luppojäkälän leviämisen mahdollistavien jäkälämurujen määrään vaikuttavat lisäksi hakkaamattoman metsikön, eli jäännösmetsikön, koko, muoto ja sijainti alueella (Dettki ym. 2000). Jotta luppojäkälän määrää talousmetsäalueilla saadaan ylläpidettyä, tulee myös puiden taimiin kohdistuvan jäkäläkolonisaation onnistua (Coxson ym. 2003: 839). Tämä voidaan saavuttaa vain, jos hakkuiden viereiset metsiköt ovat jäkälärikkaita. Pienaukkojen säilyttäminen pienenä on tärkeää luppojäkälän leviämiseksi, sillä jäkälämurujen määrä laskee jo noin kymmenen metrin päässä reunasta (Dettki ym. 2000; Stevenson & Coxson 2004). Määrä vähenee jo puoleen, jos etäisyys jäkälämurujen lähteestä kasvaa yli sataan metriin. Tarpeeksi suurissa jäännösmetsiköissä voidaan ylittää jopa yhtä suuriin luppojäkälämääriin kuin vanhoissa, hakkaamattomissa, metsiköissä.

Luppojäkälän reagoiminen jatkuvan kasvatuksen hakkuihin on laji- ja paikkakohtaista (esim. Lewis 2004). Jotkin lajit hyötyvät valon lisääntymisestä, toiset taas kasvavat paremmin, mitä suuremmaksi metsikön pohjapinta-ala jätetään. Lisääntynyt auringonvalo voi kuivattaa jäkälää liikaa, jolloin ne eivät pysty kasvamaan (Stevenson & Coxson 2004: 4; Lewis 2004; Boudreault ym. 2013; Esseen ym. 2016). Toisaalta lisääntynyt auringonvalo voi olla osalle luppojäkälälajeista hyödyksi, jolloin kyseessä olevat lajit voivat hyötyä varovaisesta harvennuksesta, jos kosteus- ja tuuliolosuhteet eivät muutu radikaalisti (Kumpula 2003; Armstrong 2015). Valon lisääntynyt määrä voi lisäksi kompensoida muuten liian kostean alueen vaikutusta (Coxson & Stevenson 2007). Luppojäkälän kasvu voi joissain tapauksissa olla nopeampaa lähellä

hakkuiden reunaan kuin metsikön sisällä. Tämä johtuu siitä, että puiden oksissa elävät loppojäkälät saavat enemmän valoa reunasta ja ilmanvaihto on tehokkaampaa, mutta ne ovat silti tarpeeksi suojassa esimerkiksi tuulelta (Rominger ym. 1994; Esseen & Renhorn 1998). Jatkuvan kasvatuksen hakkuut voivat lisäksi hieman muuntaa loppojäkälälajisuhteita. Esimerkiksi Waterhouse ym. (2007) ja Rominger ym. (1994) ovat huomanneet, että tummalupot (*Bryoria*) voivat menestyä jatkuvan kasvatuksen metsissä tehokkaammin kuin viherlupot (*Alectoria*). Tämä voi johtua siitä, että viherlupot viihtyvät paremmin varjossa (Rominger ym. 1994).

Poiminta- ja pienaukkohakkuiden vaikutusten eroista loppojäkäliin on eriäviä tutkimustuloksia. Stevenson ja Coxson (2003, 2004) vertasivat poiminta- ja pienaukkohakkuiden vaikutuksia loppojäkäliin, eivätkä he huomanneet eroa menetelmien välillä. Ainoastaan lyhyellä aikavälillä huomattiin, että poimintahakkuissa loppojäkäliä hävisi enemmän hakkuiden aikana, mutta jäkälien määrä palautui hakkuiden jälkeen. Pienaukkohakkuiden jälkeen taas oli havaittavissa, että aukkojen keskellä jäkälän määrä oli alhaisempaa kuin muulla. Stone ym. (2008) taas raportoivat neljä vuotta jatkuvan kasvatuksen hakkuiden jälkeen poimintahakkuiden säästävän enemmän loppojäkäliä kuin pienaukkohakkuut.

Vaikka jatkuvan kasvatuksen menetelmät yleensä vähentävät loppojäkälien määrää metsikössä ainakin hetkellisesti, joissain tapauksissa jäkälän kasvu voi olla yhtä tehokasta tai jopa tehokkaampaa kuin hakkaamattomilla alueilla (Rominger ym. 1994; Lewis 2004). Sellaisissa vanhoissa peitteisen metsätalouden metsissä, missä pohjapinta-ala on jätetty suureksi (yli 15 m²/ha), loppojäkälien määrä voi jopa ylittää hakkaamattomien alueiden loppojäkäläbiomassan, jossa pohjapinta-ala on pienempi (Lewis 2004). Tämän takia hakkuissa menetetty loppojäkälä on mahdollista saada takaisin tehostuneessa kasvussa muutamien vuosien päästä (esim. Rominger ym. 1994).

5 Tutkimusalue

Tutkimusalueena on Lapin maakunta ja siellä sijaitsevat metsätalousalueet. Lapin maakunta sijaitsee suunnilleen 66. ja 70. leveyspisteiden välillä, ja se on Suomen pohjoisin maakunta (kuva 6). Suurin osa Lapista sijaitsee napapiirin pohjoispuolella, ja alueelle on tyypillistä kylmä ja karu ilmasto (Tikkanen 2005). Lapin maakunnan muodostavat 21 kuntaa, joista neljä ovat kaupunkeja (Kemi, Kemijärvi, Rovaniemi ja Tornio) (Kulttuurista kartalla 2012). Maakunnan väkiluku vuonna 2017 oli noin 179 000 (SVT 2017). Lapin maakunta on harvaanasuttua:

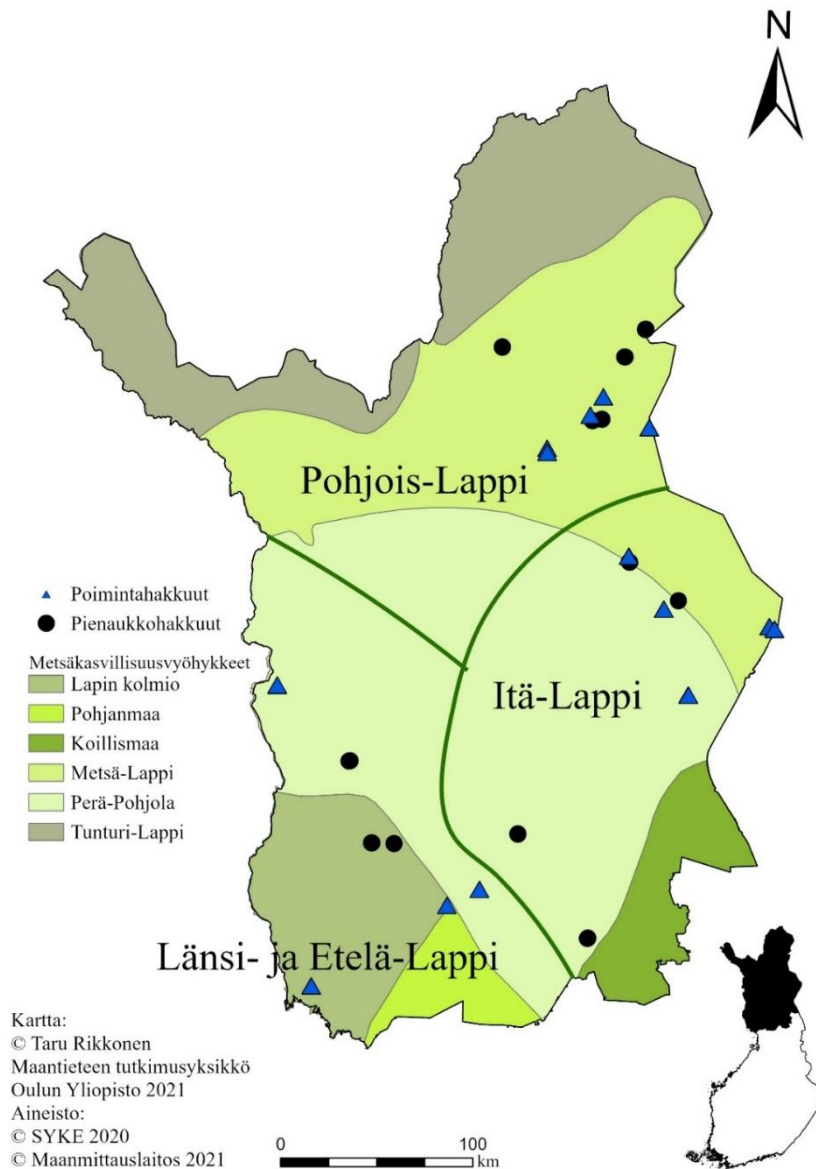
Väestötiheys alueella on noin kaksi asukasta neliökilometrillä, maakunnan pinta-alan ollessa noin 100 370 neliökilometriä (Lappi lukuina 2019; Pinta-alat kunnittain 2021). Pinta-alasta maata on noin 93 670 neliökilometriä. Lapin maakunta käsittää noin 30 % koko Suomen pinta-alasta, mutta koko Suomen väestöstä alueen asukkaiden osuus on vain noin 3 %.

Koska Lapin maakunta on niin laaja, eroavat sen eri alueet toisistaan niin ilmastoltaan, kasvillisuudeltaan, maankäyttömuodoiltaan ja elinkeinoiltaan (Kumpula ym. 2019). Lapille ominaista on eri maankäyttömuotojen yhteensovittamisen suuri merkitys, kun matkailu, porotalous, metsätalous ja muu maankäyttö hyödyntävät samoja alueita (Yhdyskuntarakenne – Lappi 2019). Matkailu on nykyään yksi Lapin merkittävimmistä elinkeinoista sen tukeututuessa erityisesti luontoon ja laskettelumahdollisuuksiin. Matkailun lisäksi metsä-, energia- ja kaivosteollisuudet ovat Lapin liikevaihdon kannalta merkittävässä asemassa.

5.1 Maa- ja kallioperä

Yli puolet Lapin pinta-alasta kuuluu ylänköön (yli 200 m merenpinnan yläpuolella [mpy]) (Johansson & Kujansuu 2005: 211). Lapin korkokuvan pohjana on noin 1,75–2,7 miljardia vuotta vanha peruskallio, joka muotoutui nykyiseen muotoonsa Prekambriajalla (Johansson & Kujansuu 2005: 15–16, 211). Alueen pohjoisimman osan suuret korkeuserot johtuvat pääosin Kölin vuorijonon syntymisestä ja samanaikaisista lohkoliikunnoista. Lapin kallioperä kuuluu Käsi-varren kärkeä lukuun ottamatta Fennoskandian kilpeen, joka koostuu pääosin arkeeisista ja varhaisproterotsooisista kivilajeista (Korsman ym. 1997; Johansson & Kujansuu 2005: 17–18). Arkeinen kallioperä koostuu suurimmaksi osaksi migmatiitti-granitoidialueista, joiden sisällä kulkee vihreäkivivyöhykkeitä ja kiilleliuske-paragneissialueita (Johansson & Kujansuu 2005: 17). Suuri osa alueen varhaisproterotsooisesta kallioperästä koostuu laaajoista liuskejaksoista, jotka sisältävät vaihtelevasti vulkaanista ja sedimenttistä kiviaineista. Lapin päävedenjakaja, Maanselkä, kulkee alueen pohjoispuolella ja jakaa vesistöt Jäämereen ja Itämereen laskeviin (Johansson & Kujansuu 2005: 15–16).

Maalajipeite Lapissa on syntynyt jääkaudella ja sen jälkeisinä aikoina (Kalliola 1973: 68). Alueen maaperästä yli puolet on Suomen yleisintä maaperäaineista, moreenia (Johansson & Kujansuu 2005: 26–27). Muita yleisiä alueen maaperätyyppejä ovat turve, kallio ja louhikko, sekä hiekka ja sora. Mannerjätikön kulku on muokannut Lapin maaperää runsaasti, luoden virtaviivaisia muotoja, kuten moreenimuodostumia (Johansson & Kujansuu 2005: 34).



Kuva 6. Kolmeen osaan jaettu tutkimusalue, koealat ja hakkuutyypit, sekä metsäkasvillisuusvyöhykkeet.

5.2 Ilmasto

Köppenin ilmastoluokituksen (1936) ja siitä päivitetyn version (Peel ym. 2007) mukaan Lapin maakuntaa kuuluu lumi- ja metsäilmastoon, jolle tyypillistä ovat kosteat ja kylmät talvet. Alueen ilmastollisia olosuhteita säätelevät sen pohjoinen sijainti, ja Jäämeren, Golf-virran sekä Aasian mantereiden vaikutukset (Autio & Heikkinen 2002: 1). Jäämeri viilentää aluetta, ja Skandit tuovat osaltaan kuivaa ja lämmintä ilmaa osaan Lappia (Tikkanen 2005: 97). Pohjoisemmissa

osissa Lappia ilmastolle on tyypillistä sen merellisyys, kun taas itäosissa aluetta vallitsee manta-
tereisempi ilmasto (Autio & Heikkinen 2002: 1).

Lapin maakunnan keskilämpötilat vaihtelevat 3 °C ja – 3 °C välillä, ollen suurimmat etelämpänä ja matalimmat Tunturi-Lapissa (Pirinen ym. 2012: 82). Sademäärä on Lapin maakunnassa pienempi kuin muualla Suomessa, mutta lämpötilojen mataluus aiheuttaa alueella ilmastollisesti kosteammat olosuhteet verrattuna muihin Suomen osiin (Kalliola 1973: 175; Autio & Heikkinen 2002: 2). Keskisademäärät Lapissa vaihtelevat noin 650 millimetrin ja 400 millimetrin välillä vuositasolla, ollen pienimmät alueen pohjoisimmissa osissa (Pirinen ym. 2012: 83). Yötön yö ja kaamos korostavat vuodenaikojen välisiä vaihteluja valo-olosuhteissa (Tikkanen 2005: 98). Lumipeitteen rooli korostuu sen suuren heijastuskyvyn (albedo), makean veden lähteenä toimimisen ja alhaisen lämmönjohtokyvyn takia (Moberg ym. 2005: 123).

5.3 Kasvillisuus

Siirryttäessä leveyspiirejä pohjoiseen, Lapin ilmasto viilentyy ja kasvukausi lyhenee, aiheuttaen alueen kasvillisuudelle tyypillisen vyöhykkeisyyden (Heikkinen 2005). Kuvassa 6 on kuvattu metsäkasvillisuusvyöhykkeet Suomen ympäristökeskuksen (SYKE) aineiston mukaan, joka pohjautuu Kalelan (1961) metsäkasvillisuuden aluejakoon ja Ahdin ym. (1968) Luoteis-Euroopan kasvimaantieteelliseen aluejakoon. Ahti ym. (1968) ovat luokitelleet yleisesti käytössä olevan kasvillisuusvyöhykkeiden, jonka mukaan Lapin maakunta kuuluu keskiboreaaliseen ja pohjoisboreaaliseen kasvillisuusvyöhykkeeseen. Kalela (1961) taas on luokitellut metsäkasvillisuusvyöhykkeet, joiden mukaan Lapin maakunta kuuluu Pohjanmaa-Kainuun, Peräpohjolan, Metsä-Lapin ja Tunturi-Lapin vyöhykkeisiin. Kontula ja Raunio (2018: 9) ovat lisänneet Kalelan (1961) luokitteluun muun muassa Lapin kolmion alueen, joka on kasvillisuudeltaan reunitavaa ympäristöä rehevämpää. Kuvan 6 mukaan tutkimusalueen koealat sijoittuvat metsäkasvillisuusvyöhykkeillä Lapin kolmion, Pohjanmaan, Peräpohjolan ja Metsä-Lapin alueille.

Boreaalisen kasvillisuusvyöhykkeen valtalajit ovat kuusi (*Picea abies*) ja mänty (*Pinus sylvestris*) (Heikkinen 2005: 185). Eteläisissä osissa Lapin maakuntaa kasvillisuus on rehevämpää ja puusto tiheämpää, mutta pohjoisemmassa ilmaston muuttuessa vähittäisesti karummaksi, myös metsät muuttuvat harvemmaksi ja puuston kasvu hitaammaksi (Kalliola 1973: 175–210). Osa kasvi- tai puulajeista jopa katoaa kokonaan, niiden saavuttaessa pohjoisrajansa. Samalla eteläisiä lajeja korvautuu osittain uusilla, pohjoisilla, lajeilla, mutta kuitenkin siten, että eliöstö kokonaisuudessaan köyhtyy, mitä pohjoisemmaksi siirrytään. Pohjoisboreaaliseen

vyöhykkeeseen kuuluvan Metsä-Lapin ja sen pohjoispuolisten alueiden yksi merkittävimmistä piirteistä on se, ettei kuusi ole vielä levinnyt alueelle juuri lainkaan. Tunturi-Lapille ominaista ovat ilmaston kylmyydestä johtuva tunturikoivikoiden ja alpiinisten paljakoiden valta-asema (Kalliola 1973: 217–218).

Koko boreaalisen havumetsävyöhykkeen jäkälälajisto on yllättävän yhtenäinen (Rikinen 2010: 21). Luppolaitumiksi luokiteltujen varttuneiden ja vanhojen metsien määrä vaihtelee Lapin alueella paljon (Kumpula ym. 2019: 39–40). Varttuneiden ja vanhojen metsien osuus on Metsä-Lapin ja Peräpohjolan alueella enemmistönä, kun taas nuoret kasvatusmetsät ja hakkuualueet hallitsevat maakunnan eteläosia. Eniten jäkälä- ja luppolaitumia sijaitsee niillä Metsä-Lapin metsäalueilla, missä porot laiduntavat vain talvisin, ja missä ei tapahdu muuta merkittävää maankäyttöä. Tällaisia alueita ovat eritoten laajat suojelualueet.

6 Aineisto ja menetelmät

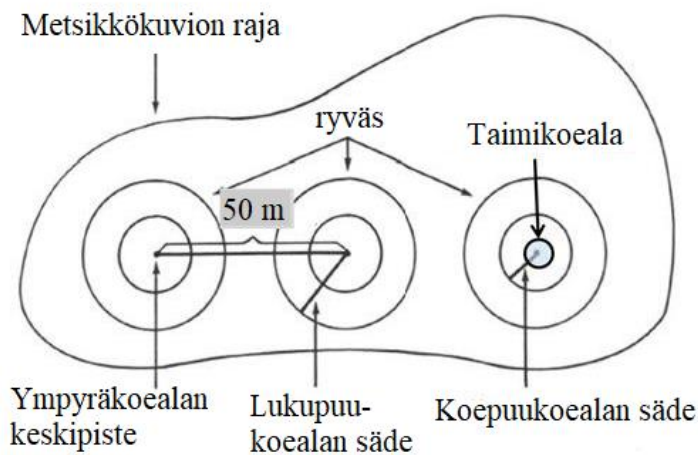
Tutkielmassa käytetyt aineistot kuuluvat Luonnonvarakeskuksen *Public-Private-Partnership*-projektiin, jossa ovat yhteistyössä Metsähallitus, Maa- ja metsätaloustuottajain Keskusliitto (MTK ry), Pohjois-Suomen metsänhoitoyhdistykset ry, Stora Enso oyj ja Sallan ja Värriön yhteismetsät. Aineistojen keräys toteutettiin Luonnonvarakeskuksen toimesta mäntyvaltaisilta metsiköiltä Lapin maakunnan metsätalousalueelta. Koemetsiköt valikoituivat satunnaisotannalla noin tuhannesta eri puolilla Lapin talousmetsäalueita tehdyistä jatkuvan kasvatuksen koekieluhakkuista. Hakkuut olivat poiminta- ja pienaukkohakkuita, jotka oli toteutettu Metsähallituksen toimesta vuosina 1985–2007. Kohteet oli laserkeilattu, ja osaksi myös mitattu aiempina vuosina, joten puustosta oli olemassa tietoa ennakkoon. Aineistoon kuuluu 28 metsikköä, eli koealarypystä, joihin jokaiseen kuuluu kolme koealaa (kuva 7).

Maastotyöt suoritettiin lumettomana aikana vuosina 2019 ja 2020, käyttäen ohjeena Luonnonvarakeskuksen ERIKA-mittausohjeita (Hallikainen & Repola 2019) ja Metsikkökokeiden maastotyöohjeita (Vuokila ym. 1987). Jokaiseen metsikköön ($n=28$) perustettiin kolmesta ympyräkoestalasta koostuva ryväs (kuva 7). Ensimmäisen koealan paikka koordinaattien määritettiin satunnaisesti ilmakuvista ennen maastotöiden aloittamista. Ryppään toinen koeala sijoitettiin ensimmäisestä koealasta 50 metriä pohjoiseen. Jos näin saatu toinen keskipiste ei kuulunut enää kyseiseen metsikköön, paikka hylättiin, ja siirryttiin ensimmäisestä

koestalasta 50 metriä itään, etelään tai länteen kunnes koestalasta saatiin sijoitettua metsikköön. Jos pääilmansuunnat eivät riittäneet, siirryttiin väli-ilmansuuntiin ja edelleen niiden puolittamiseen.

Koestalojen koot määräytyivät niissä olevien puumäärien perusteella. Koko koestalan puumäärän tuli olla noin 30–35 puuta, ja koko koestalaryppään (3 koestala) puumäärän tuli olla noin sata puuta. Puuksi laskettiin kaikki rinnankorkeudelta (1,3 m) yli 4,5 senttimetriä paksut puut. Koestalan keskipisteen ympärille perustettiin lukupuukoestala, jolta laskettiin metsikön ja puuston yleistiedot, koepuukoestala tarkempaa puustomittausta ja luppojäkäliden arviointia varten, sekä taimikoestala, jolta laskettiin kasvillisuuden peittävyys kasvillisuusruuduilta. Koestalat eivät saaneet osua päällekkäin, joten lukupuukoestalan maksimisäde oli 25 metriä. Koepuukoestalan säde määräytyi lukupuukoestalan säteen mukaan (taulukko 1), jonka tuli olla vähintään 1/3 lukupuukoestalan pinta-alasta. Koepuukoestalan sattuessa turvemaalle, koestala siirrettiin 25 metriä ensin pääilmansuuntiin, tai tarvittaessa väli-ilmansuuntiin, kunnes koestalasta saatiin kivennäismaalle. Koestaloille perustettiin myös erityisesti muita tutkimustarkoituksia varten 50 m²:n taimikoestalat (kuva 7), jotka sijoitettiin koestalojen keskikohtaan. Tässä tutkielmassa taimikoestaloja käytettiin kasvillisuuden peittävyksien arviointiin kasvillisuusruutujen avulla. Sekä lukupu-, koepuu- ja taimikoestaloja tuli yhteen metsikköryppääseen yhteensä kolme kappaletta.

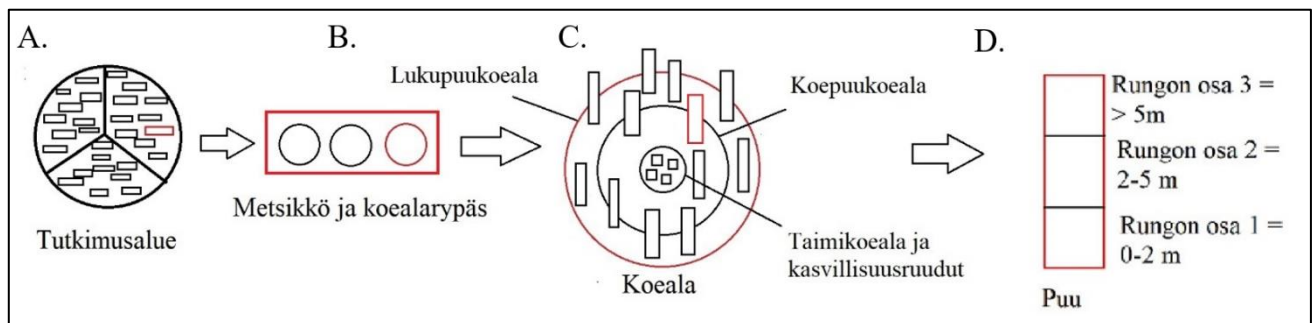
Koko aineisto jaettiin lopuksi kolmeen maantieteelliseen osaan: Itä-Lappi, Etelä- ja Länsi-Lappi sekä Pohjois-Lappi (kuva 6). Jako tehtiin osittain puun kasvun erottavien tekijöiden takia. Lisäksi Länsi- ja Etelä-Lappi yhdistettiin, jotta kyseiseen osaan saatiin tarpeeksi koestaloja. Kaikki analyysissä testatut muuttujat on kuvattu taulukossa 2, ja koko aineiston hierarkisuus (alue, metsikkö, koestalasta, puu, rungon osa) on kuvattu kuvassa 8.



Kuva 7. Koelarypäs, eli metsiköissä olevat kolme koekalaa. Kuva: Hallikainen & Repola (2019) muokkauksin.

Taulukko 1. Koepuukoekoealan säde lukupuukoekoealan säteen mukaan.

| | | | | | | | | | | | |
|-----------------|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Lukupuusäde (m) | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| Koepuusäde (m) | 2,9 | 3,5 | 4,0 | 4,9 | 5,2 | 5,8 | 6,4 | 6,9 | 7,5 | 8,1 | 8,7 |
| Lukupuusäde (m) | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 |
| Koepuusäde (m) | 8,7 | 9,2 | 9,8 | 10,4 | 11,0 | 11,5 | 12,1 | 12,7 | 13,3 | 13,9 | 14,4 |



Kuva 8. Aineiston eri hierarkiatasot. Tutkimusalue (Pohjois-Lappi, Itä-Lappi, Etelä- ja Länsi-Lappi) (A), kolmesta koelasta koostuva koelarypäs (metsikkö) (B), koekalan jakautuminen lukupuukoekoealaan, koepuukoekoealaan ja taimikoekoealaan (C) ja niissä sijaitsevat kasvillisuusruudut, sekä puun rungon jako kolmeen osaan (D).

Taulukko 2. Aineiston analyyseissä testatut muuttujat ja niiden perustunnusluvut.

| | Minimi | Maksimi | Keskiarvo | Mediaani |
|---------------------------------------|---------------|----------------|------------------|-----------------|
| Metsikkötason muuttujat, n=28 | | | | |
| Vuotta hakkuusta | 12 | 34 | 21,5 | 20 |
| Runkoluku 2019 | 157,9 | 1769,9 | 673 | 627,8 |
| Pohjapinta-ala 2019, m ² | 2,3 | 28,4 | 12,2 | 12,3 |
| Kuutiomäärä 2019 | 11,2 | 229,8 | 80,0 | 78,5 |
| Tukkilukumäärä 2009 | 0 | 668,8 | 162,0 | 132,3 |
| Runkoluku 2014 | 32,9 | 1769,9 | 590,9 | 523,3 |
| Pohjapinta-ala 2014, m ² | 0,9 | 26,5 | 10,6 | 11,03 |
| Kuutiomäärä 2014 | 3,1 | 153,2 | 53,1 | 51,6 |
| Tukkilukumäärä 2014 | 0 | 509,6 | 104,7 | 78,7 |
| Runkoluku 2009 | 0 | 1062,0 | 345,4 | 331,9 |
| Pohjapinta-ala 2009, m ² | 0 | 23,7 | 7,8 | 8,5 |
| Kuutiomäärä 2009 | 0 | 88,2 | 32,5 | 30,2 |
| Tukkilukumäärä 2009 | 0 | 183,9 | 51,3 | 39,3 |
| Koelatason muuttujat, n=84 | | | | |
| Rahkasammalet, peittävyys % | 0 | 27,75 | 0,79 | 0 |
| Muut sammalet, peittävyys % | 4,25 | 98 | 68,6 | 80 |
| Jäkälät, peittävyys % | 0 | 53,75 | 8,72 | 3 |
| Karike ja laho maapuu, peittävyys % | 1,25 | 74,5 | 19,17 | 10 |
| Paljas humuspinta, peittävyys % | 0 | 23,75 | 0,7 | 0 |
| Paljas kivennäismaa, peittävyys % | 0 | 2,75 | 0,07 | 0 |
| Pintakivet, peittävyys % | 0 | 23 | 1,05 | 0 |
| Kanto- maa- ja pystypuu, peittävyys % | 0 | 12 | 0,95 | 0 |
| Mustikka, peittävyys % | 0 | 20,5 | 4,66 | 2,625 |
| Puolukka, peittävyys % | 1,5 | 43,75 | 13,82 | 9,875 |
| Juolukka, peittävyys % | 0 | 28,25 | 1,54 | 0 |
| Variksenmarja, peittävyys % | 0 | 38,75 | 10,57 | 5,625 |
| Kanerva, peittävyys % | 0 | 51,25 | 6,52 | 0 |
| Suopursu, peittävyys % | 0 | 10 | 0,95 | 0 |
| Heinät ja sarat, peittävyys % | 0 | 7,5 | 0,62 | 0 |
| Muut putkilokasvit, peittävyys % | 0 | 8,75 | 0,24 | 0 |
| Vaivaiskoivu, peittävyys % | 0 | 1 | 0,01 | 0 |
| Hakkuutähteet, peittävyys % | 0 | 3 | 0,08 | 0 |
| Kivisyys, cm. | 3 | 70 | 21,41 | 16 |
| Humuskerros, mm. | 9,75 | 113,25 | 32,02 | 28 |

| Puutason muuttujat | n | Minimi | Maksimi | Keskiarvo | Mediaani |
|------------------------------|----------|---------------|----------------|------------------|-----------------|
| Kuoren paksuus, mm. | 934 | 1 | 47 | 11,09 | 10 |
| Puun ikä, v. | 191 | 17 | 250 | 68,02 | 61 |
| Rungon läpimitta (d1,3), mm. | 934 | 42,5 | 438 | 150,9 | 137 |
| Puun pituus, dm. | 933 | 11 | 236 | 105 | 100 |

6.1 Puusto- ja jäkäläaineisto

Puustoaineisto koostuu jokaisen koealaryppään koealojen sisällä olevista puista, eli lukupuun- ja koepuukoealan puista, joita oli aineistossa yhteensä 3015 kappaletta. Lukupuukoealojen puista mitattiin puuston yleistiedot kuten rinnankorkeusläpimitta, ja määritettiin puulaji (taulukko 3). Näistä, ja edellisinä mittauskertoina kerätyistä tiedoista, saatiin metsikön kuvailutiedot, joiden perusteella on laskettu esimerkiksi metsiköiden pohjapinta-alat (taulukko 2). Koepuukoealojen puista mitattiin muun muassa puun pituus, ja osasta mitattiin puun ikä ja sädekasvu kairaamalla, sekä kuoren paksuus. Lisäksi jokainen koepuukoealan puu jaettiin jäkäläaineiston vuoksi kolmeen eri korkeusvyöhykkeeseen. Korkeusvyöhykkeet jaettiin Hallikaisen ja Repolan (2009) maastomittausohjeiden mukaan seuraavasti: 1 = alle 2 metriä, 2 = 2–5 metriä, 3 = yli 5 metriä. Jokaiselta koepuukoealan puun osalta arvioitiin luppojäkälien määrä. Koska porot syövät sekä loppoja (*Bryoria*, *Alectoria*) että naavoja (*Usnea*) (Stenroos ym. 2011), ja luonnossa nämä kaksi lajiryhmää on vaikea erottaa toisistaan, kaikki kasvumuodoltaan riippuvat luppojäkälät arvioitiin yhdessä. Arviointi tehtiin Kumpulan ym. (2006) mukaan, jossa luppojäkälien määrä arvioitiin koepuiden oksistosta ja rungolta korkeusvyöhykkeittäin seuraavissa luokissa:

0 = ei luppojäkälää; luppojäkälää ei havaita oksissa ja rungolla lyhyen silmäilyn perusteella

1 = vähän luppojäkälää; luppojäkälää on lyhyinä kasvustoina (pituus noin sentin) tai tuppaina paikoittain oksistossa ja rungolla

2 = kohtalaisesti luppojäkälää; luppojäkälää havaitaan melkein kauttaaltaan edellistä luokkaa pidempinä kasvustoina ja tuppaina (pituus noin 2–5 cm) oksistossa ja rungolla

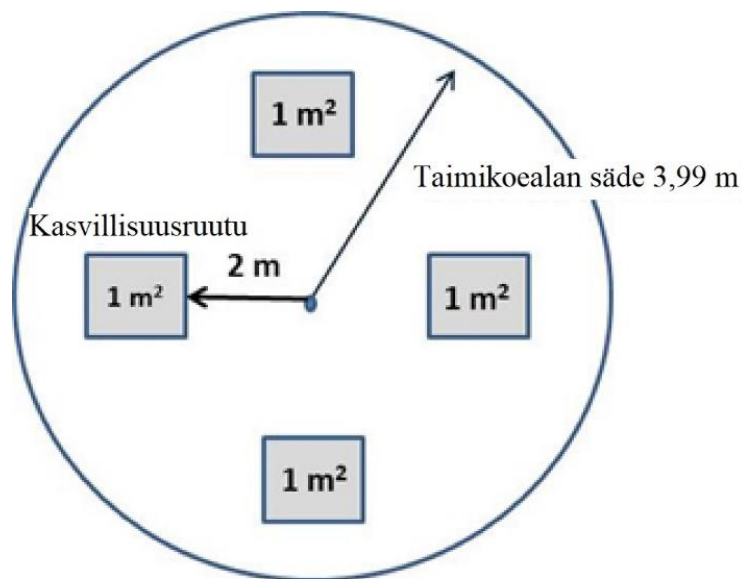
3 = runsaasti luppojäkälää; luppojäkälää kasvaa yleisesti tai kauttaaltaan pitkäkökinä tai pitkinä kasvustoina tai tuppaina (pituus yli 5 cm, usein yli 10 cm) oksistossa ja rungolla.

Taulukko 3. Aineiston puulajijakauma niistä puista, mistä luppojäkälät oli arvioitu.

| Puulaji | n | % |
|----------------|----------|----------|
| Mänty | 765 | 81,9 |
| Kuusi | 83 | 8,9 |
| Lehtipuu | 86 | 9,2 |
| yht. | 934 | 100 |

6.2 Kasvillisuusaineisto

Kasvillisuuden peittävyys arvioitiin taimikoealoihin perustettavilla 1 m^2 :n kokoisilta kasvillisuusruuduilta. Ruutuja perustettiin neljä koealaa kohti, ja ne sijoitettiin pääilmansuuntiin kahden metrin etäisyydelle koealankeskipisteestä (kuva 9). Mikäli kasvillisuusruutu sattui kohtaan, jossa pintakivien peittävyys oli yli 30 %, tai jos ruudulle osui kanto, siirrettiin sitä hieman eteenpäin taimikoealan keskustasta. Kasvillisuuden peittävydet arvioitiin prosentteina (0–100). Pohjakerroksesta määritettiin peittävydet seuraaville ryhmille: rahkasammalet, muut sammalet, jäkälät, paljas kivennäismaa, pintakivet ja paljas, kasviton tai karikkeen peittämä humuspinta. Kenttäkerroksesta määritettiin mustikan, puolukan, juolukan, variksenmarjan, kannervan, suopursun, heinien ja sarojen, sekä niiden putkilokasvien, joita ei erikseen arvioitu, peittävydet. Kasvillisuusruuduilta määritettiin myös kivisyys kivisyysrassilla. Lisäksi ruutujen ulkopuolelta määritettiin kantojen ja maapuiden peittävydet sekä pinnalla näkyvien kivien peittävyys osuutena taimikoealasta (%). Yhteensä kasvillisuusaineisto kattaa 336 kasvillisuusruutua.



Kuva 9. Kasvillisuusruudut taimikoealoilla. Kuva: Hallikainen & Repola (2019) muokkauksin.

6.3 Tilastolliset analyysit

Luppojäkälien arvioinnissa käytettyjä luokkia oli neljä (0, 1, 2, 3), ja niiden tulkinta oli järjestyksasteikollinen. Mallinnuksessa ilmiö jaettiin kolmeen runsausluokkaan: luppojäkälää on ainakin vähän (runsausluokka vähintään 1), luppojäkälää on runsaasti (runsausluokka vähintään 2) ja luppojäkälää on hyvin runsaasti (runsausluokka 3) (taulukko 4). Tämän lähestymistavan etuna oli se, että malliperhe huomioi eri selittäjien erilaisen vaikutuksen luppojäkäliden esiintymiseen eri runsausluokissa. Malli eroaa logistisesta regressiosta siten, että se sisältää niin jatkuvia luokkamuuttujia, kuin jatkuvia selittäviä muuttujia, ja näin ollen sitä voidaan kutsua yleistetyksi lineaariseksi malliksi. Sekamalla jouduttiin käyttämään, koska aineisto oli hierarkkinen (alue, metsikkö, koeala, puu, rungon osa). Mikäli aineiston hierarkkiatasoja ei kuvattaisi mallin satunnaisosassa, keskivirheet ja merkitsevyystasot olisivat virheellisiä pseudoreplikaation vuoksi. Mallit laadittiin R-ohjelmiston paketilla MASS (Venables & Ripley 2002), funktiolla glmmPQL, joka on joustava ja mahdollistaa ennustekuvien helpon tuottamisen luottamusväleinen R-ohjelmiston paketilla effects (Fox 2003; Fox & Weisberg 2019). Käytetty R-koodi on esitetty liitteessä 1.

Taulukko 4. Luppojäkäliden runsausluokat koko tutkimusaineistossa rungon osittain (n = 2686).

| Runsausluokka | Luppojäkälää ei esiinny luokan mukaan | Luppojäkälää esiintyy luokan mukaisesti |
|--|---------------------------------------|---|
| Luppojäkälää ainakin vähän (runsausluokka vähintään 1) | 40,70 % | 59,30 % |
| Luppojäkälää runsaasti (runsausluokka vähintään 2) | 83,50 % | 16,50 % |
| Luppojäkälää hyvin runsaasti (runsausluokka 3) | 96,00 % | 4,00 % |

Tilastollinen malli voidaan esittää muodossa:

$$y_{ijkl} \sim \text{binomial}(n_{ijkl}, \pi_{ijkl}), \quad (1)$$

$$\text{logit}(\pi_{ijkl}) = \ln\left(\frac{\pi_{ijkl}}{1 - \pi_{ijkl}}\right) = f(X_{ijkl}, \beta) + \mu_i + \mu_{ij} + \mu_{ijk} + \mu_{ijkl} \quad (2)$$

, missä y_{ijk} on tapahtuman todennäköisyys, eli luppojäkälää esiintyy rungon osalla runsausluokan osoittaman määrän verran. *Binomial* (n, π) tarkoittaa binomijakaumaa parametrein ja n_{ijkl}, π_{ijkl} kuvaa otoskokoa, tässä tapauksessa puiden rungon osien kokonaismäärää. π kuvaa

todennäköisyyttä tai osuutta, että rungon osassa on luppojäkälää tietty määrä. $\ln\left(\frac{\pi_{ijkl}}{1-\pi_{ijkl}}\right)$ on logit-linkkifunktio ja $f(.)$ kuvaa lineaarista funktiota, jossa X_{ijkl} kuvaa muuttujien kertoimia (muuttujat voivat olla mitattu tasoilta i, j, k tai l). β kuvaa muuttujien kertoimia. μ_i kuvaa metsiköiden välistä, μ_{ij} metsikössä sijaitsevien koealojen varianssia ja μ_{ijk} koealoilla olevien puiden varianssia. Alimman tason hajontaa (*dispersion parameter* tai ”*pseudo residual*”, [ks. Browne ym. 2005]) kuvataan mallissa termillä μ_{ijkl} .

Parhaan mallin sopivuutta arvioitiin Area Under Curve (AUC) -arvon avulla, joka jää Relative Operating Characteristic (ROC) -käyrän alle. Kyseisen alueen koko kuvaa mallin hyvyttä siten, että mitä lähempänä AUC-arvo on arvoa 1, sitä paremmin malli luokittaa tapahtumat vaihtelevalla leikkauspisteellä (*cutpoint*, ks. Fawcett 2006). ROC-käyrä laskettiin R-ohjelmiston paketilla pROC (Robin ym. 2011).

Malleihin testattiin 37 jatkuvaa muuttujaa (taulukko 2), ja neljää luokkamuuttujaa, jotka olivat alue (Pohjois-Lappi, Länsi- ja Etelä-Lappi ja Pohjois-Lappi), puulaji, hakkuutapa (pienaukkohakkuu, poimintahakkuu) ja rungon osa (<2 m, 2-5 m, >5 m). Koska kyseessä ei ollut järjestetty koe, vaan niin sanottu havaintoaineisto (inventointiaineisto), oli mitattava ja malleissa testattava useita mahdollisia selittäjiä, jotka voisivat vaikuttaa luppojäkäliden esiintymiseen. Monista muuttujista malleja rakennettaessa huomioitiin muuttujien keskinäiset vuorovaikutussuhteet, sekä muuttujien ekologinen mielekkyys, Lisäksi muuttujien valinta perustui muuttujien ja niiden yhdysvaikutusten merkitsevyyksiin < 5 %:n riskitasolla. Muuttujien vaikutuksia ja runsausluokkien eroja tarkasteltaessa huomioitiin myös malleilla laskettujen ennusteiden 95 %:n luottamusvälit. Lisäksi mallien toiminta ja hyvyys pystyttiin arvioimaan kyseisessä aineistossa.

Malleihin testattiin taulukon 2 muuttujia. Ensiksi testattiin päävaikutukset, joista valikoituneilla muuttujilla jatkettiin mallien rakentamista testaamalla kaikki mahdolliset kahdenväliset yhdysvaikutukset. Malleihin jätettiin kaikki muuttujat, joiden päävaikutukset tai yhdysvaikutukset olivat merkitseviä (p-arvo <0,05), ja malleihin jätettiin myös ne tilastollisesti ei-merkitsevät muuttujat, jotka olivat merkitseviä joissain yhdysvaikutuksessa. Mallit ovat ennen kaikkea selitysmalleja, mutta testaamalla niitä vastaavissa ulkopuolisissa aineistoissa, voidaan niitä kehittää myös ennustemallien suuntaan. Malleja luotiin lopulta kolme: luppojäkäliden esiintyminen ainakin vähän (runsausluokka vähintään 1), luppojäkäliden esiintyminen runsaasti (runsausluokka vähintään 2) ja luppojäkäliden esiintyminen hyvin runsaasti (runsausluokka 3).

7 Tulokset

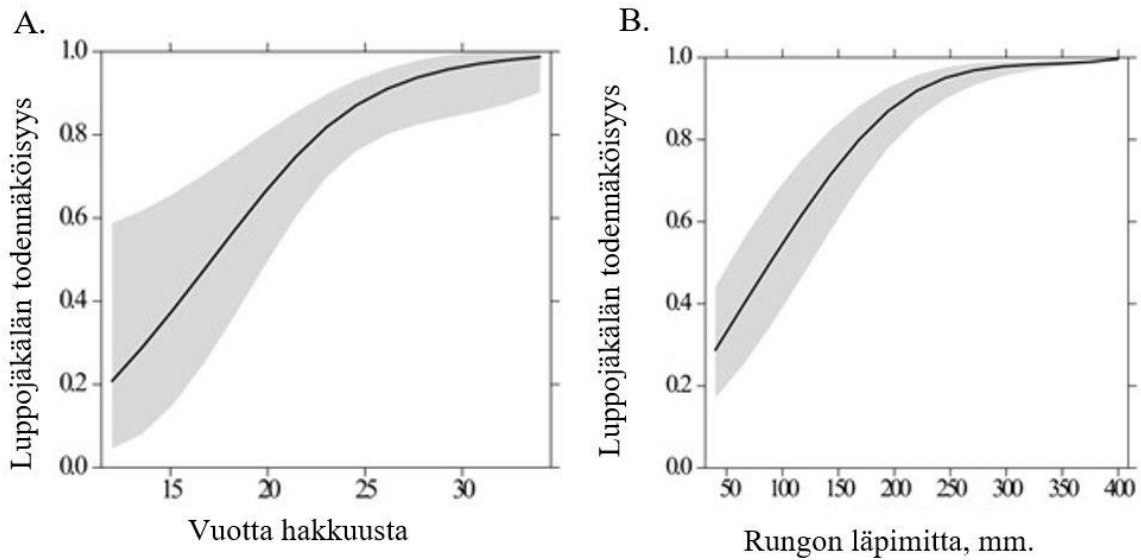
Luppojäkälän määrä arvioitiin puun kolmessa eri korkeusvyöhykkeessä (<2 m, 2-5 m, >5 m), ja niiden määrä ennustettiin kolmessa eri runsausluokassa: luppojäkälää ainakin vähän (runsausluokka vähintään 1), luppojäkälää runsaasti (runsausluokka vähintään 2) ja luppojäkälää hyvin runsaasti (runsausluokka 3). Tilastollinen mallinnus tehtiin erikseen jokaiselle runsausluokalle, koska luokkia 2 ja (etenkin) 3 esiintyi huomattavasti vähemmän kuin runsausluokkaa 1. Tämän takia myös tulokset on jaettu kolmeen osaan. Taulukoihin 5–7 on koottu eri runsausluokkien malleihin tilastollisen merkitsevyyden perusteella valikoituneet muuttujat ja kahdenkeskiset yhdysvaikutukset.

7.1 Tulokset luppojäkälän ainakin vähäiselle esiintymiselle (runsausluokka vähintään 1)

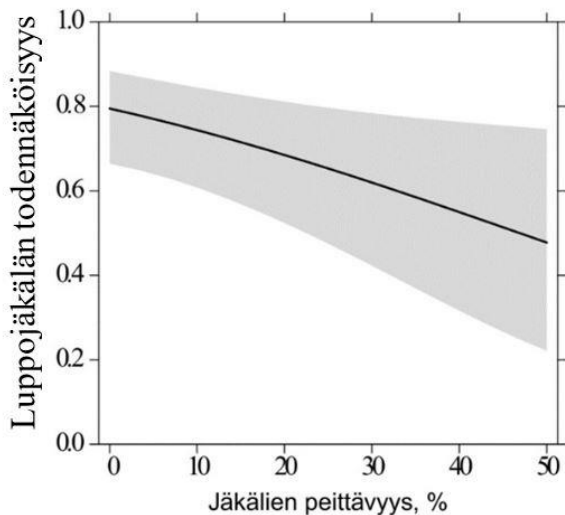
Taulukko 5 osoittaa luppojäkälän ainakin vähäisen esiintymisen (runsausluokka vähintään 1) -malliin valikoituneet muuttujat. Malliin valikoitui kahdeksan muuttujaa, jotka olivat tilastollisesti merkitseviä sinällään (päävaikutus $p < 0,05$) tai mukana tilastollisesti merkitsevissä yhdysvaikutuksissa. Malliin valikoitui lisäksi neljä tilastollisesti merkitsevää yhdysvaikutusta. Jatkuvista muuttujista luppojäkälän ainakin vähäiseen esiintymisen todennäköisyyteen (runsausluokka vähintään 1) vaikuttivat merkitsevästi vuotta hakkuusta (kuva 10A), rungon läpimitta (kuva 10B) ja jäkälän peittävyys (kuva 11) -muuttujat. Hakkuista kulunut aika (vuotta hakkuusta) ja rungon läpimitta -muuttujat lisäsivät luppojäkälän todennäköisyyden määrää merkittävästi (kuva 10). Kun hakkuista oli kulunut 30 vuotta, oli todennäköisyys luppojäkälän esiintymiselle lähes varma (1 = 100 %) (kuva 10A). Kun taas puu oli kasvanut tarpeeksi suureksi, eli rungon läpimitan ylittäessä 250 millimetriä, oli todennäköisyys luppojäkälän esiintymiselle melkein 100 %. Jäkälän peittävyys -muuttuja pienensi luppojäkälän esiintymisen todennäköisyyttä (kuva 11). Jos maajäkälä ei esiintynyt koealalla lainkaan, oli todennäköisyys luppojäkälille suhteellisen suuri (0,8 = 80 %), mutta maajäkälän peittävyyden kasvaessa luppojäkälän esiintymisen todennäköisyys pieneni.

Taulukko 5. Luppojäkälän esiintyminen ainakin vähän (runsausluokka vähintään 1) -malliin valikoituneet muuttujat. Jatkuvien muuttujien (vuotta hakkuusta, pohjapinta-ala, jäkälän peittävyys, rungon läpimitta) estimaatti osoittaa, paljonko luppojäkälän esiintymisen todennäköisyys muuttuu, kun ko. muuttuja kasvaa yhden yksikön. Luokkamuuttujien (hakkuutapa, alue, rungon osa, puulaji) estimaatti osoittaa, kuinka suuri ero luppojäkälän todennäköisyydelle on kontrollitasoon verrattuna. Luokkamuuttujien tasot on ilmoitettu suluissa ja vertailutaso *kursiivilla*.

| Muuttuja | Estimaatti | Keskivirhe | Vapausaste | t/Chi | p-arvo |
|---|------------|------------|------------|---------|--------|
| Kiinteä osa | | | | | |
| Vakio | -5,143 | 2,446 | 1806 | -2,103 | 0,036 |
| Vuotta hakkuusta | 0,258 | 0,084 | 21 | 3,083 | 0,006 |
| Pohjapinta-ala 2019 | 0,097 | 0,059 | 52 | 1,653 | 0,104 |
| Hakkuutapa (<i>pienaukko</i> , poiminta) | | | 1 | 3,445 | 0,063 |
| - poiminta | -2,035 | 1,101 | 21 | -1,848 | 0,079 |
| Alue (<i>itä</i> , pohjoinen, etelä/länsi) | | | 2 | 12,568 | 0,002 |
| - pohjoinen | -0,704 | 1,471 | 21 | -0,478 | 0,638 |
| - etelä/länsi | 5,130 | 1,774 | 21 | 2,892 | 0,009 |
| Jäkälän peittävyys | -0,029 | 0,013 | 52 | -2,299 | 0,026 |
| Rungon läpimitta, (d1.3) | 0,018 | 0,001 | 884 | 13,995 | <0,001 |
| Rungon osa (<2 m, 2-5 m, >5 m) | | | 2 | 35,109 | <0,001 |
| - 2–5 m | -0,769 | 0,789 | 1806 | -0,975 | 0,330 |
| - >5 m | -4,355 | 0,875 | 1806 | -4,978 | <0,001 |
| Puulaji (<i>kuusi</i> , lehtipuu, mänty) | | | 2 | 77,711 | <0,001 |
| - lehtipuu | -4,824 | 0,816 | 884 | -5,913 | <0,001 |
| - mänty | -2,131 | 0,787 | 884 | -2,708 | 0,007 |
| Rungon osa * Alue | | | 4 | 46,601 | <0,001 |
| - 2–5 m * pohjoinen | -1,078 | 0,275 | 1806 | -3,927 | <0,001 |
| - >5 m * pohjoinen | -1,123 | 0,308 | 1806 | -3,648 | 0,000 |
| - 2–5 m * etelä/länsi | -1,056 | 0,273 | 1806 | -3,862 | 0,000 |
| - >5 m * etelä/länsi | 0,308 | 0,318 | 1806 | 0,969 | 0,333 |
| Alue * Pohjapinta-ala | | | 2 | 8,575 | 0,014 |
| - pohjoinen * pohjapinta-ala | 0,072 | 0,082 | 52 | 0,887 | 0,379 |
| - etelä/länsi * pohjapinta-ala | -0,174 | 0,088 | 52 | -1,987 | 0,052 |
| Rungon osa * Puulaji | | | 4 | 152,107 | <0,001 |
| - 2–5 m * lehtipuu | 4,226 | 0,844 | 1806 | 5,006 | 0,000 |
| - >5 m * lehtipuu | 4,785 | 0,892 | 1806 | 5,368 | 0,000 |
| - 2–5 m * mänty | 0,821 | 0,771 | 1806 | 1,065 | 0,287 |
| - >5 m * mänty | 1,047 | 0,852 | 1806 | 1,229 | 0,219 |
| Alue * Hakkuutapa | | | 2 | 6,603 | 0,037 |
| - pohjoinen * poimintahakkuu | 3,213 | 1,483 | 21 | 2,166 | 0,042 |
| - etelä/länsi * poimintahakkuu | -0,464 | 1,738 | 21 | -0,267 | 0,792 |
| Satunnaisosa | Varianssi | | | | |
| Metsikkö | 2,311 | | | | |
| Koela | 0,227 | | | | |
| Puu | 2,515 | | | | |
| Hajontaparametri | 0,496 | | | | |



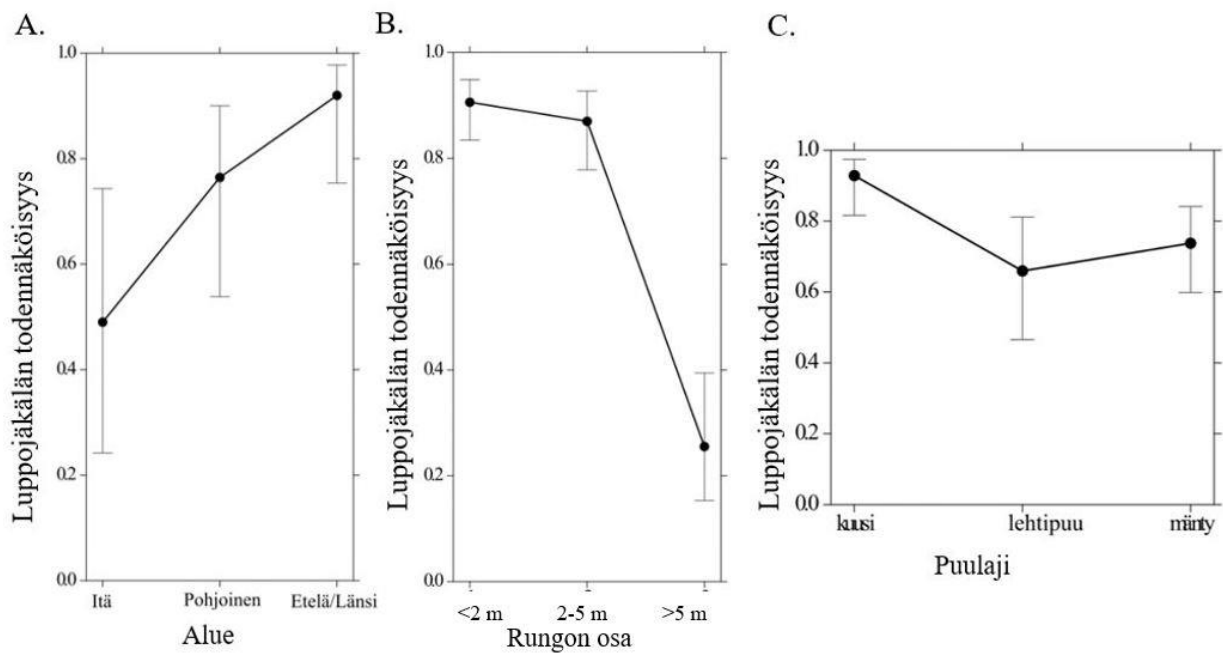
Kuva 10. Todennäköisyys sille, että loppojäkälää esiintyy ainakin vähän (runsausluokka vähintään 1) hakkuusta kuluneen ajan (vuotta hakkuusta (A) ja rungon paksuuden (rungon läpimitta, mm.) (B) funktiona. Harmaa alue kuvaa 95 % luottamusväliä.



Kuva 11. Todennäköisyys sille, että loppojäkälää esiintyy ainakin vähän (runsausluokka vähintään 1) maajäkälän peittävyuden funktiona. Harmaa alue kuvaa 95 % luottamusväliä.

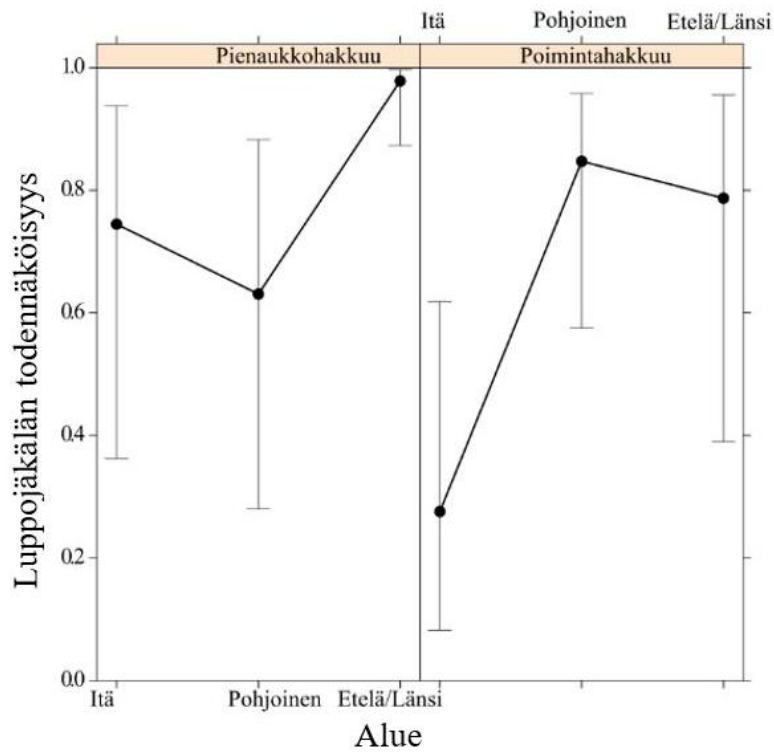
Luokkamuuttujista loppojäkälän todennäköisyyteen esiintyä rungon osalla vaikuttivat merkitsevästi ($p < 0,05$) alue (kuva 12A), rungon osa (kuva 12B) ja puulaji (kuva 12C). Alueelliset erot olivat merkitseviä Itä-Lapin ja Länsi- ja Etelä-Lapin välillä (kuva 12A): Korkein loppojäkälän esiintymisen todennäköisyys saavutettiin Etelä- ja Länsi-Lapissa, todennäköisyyden ollessa noin 0,9 (90 %), ja pienin todennäköisyys oli Itä-Lapissa. Rungon osan vaikutus on havainnollistettu kuvassa 12B. Rungon osista alin ja keskimäinen (<2 ja 2–5 m) saivat selkeästi

korkeimmat todennäköisyydet. Ylimmällä rungon osalla (>5 m) todennäköisyys luppojäkälän ainakin vähäiselle esiintymiselle oli huomattavan pienin. Puulajeista kuudessa todennäköisyys luppojäkälän esiintymiselle oli merkittävän suuri, lähellä yhtä (100 %), kun taas lehtipuilla ja männyillä todennäköisyys oli hieman alhaisempi (kuva 12C).

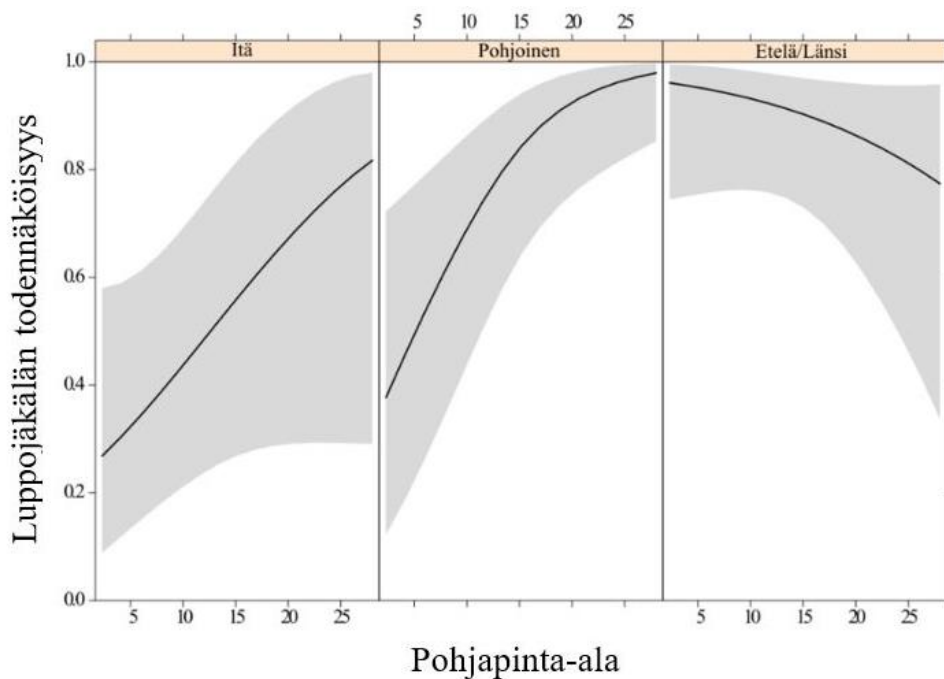


Kuva 12. Todennäköisyys sille, että luppojäkälää esiintyy ainakin vähän (runsausluokka vähintään 1) alueen (A), rungon osan (B) ja puulajin (C) funktiona. Harmaa alue kuvaa 95 % luottamusväliä.

Hakkuutapa ei ollut tilastollisesti merkitsevä muuttuja sinällään, mutta alueittain vaihtelut olivat merkitseviä (taulukko 5; kuva 13). Suurin todennäköisyys luppojäkälän esiintymiselle ainakin vähän (runsausluokka vähintään 1) oli Etelä- ja Länsi-Lapin pienaukkohakkuilla. Metsikön pohjapinta-alan vaikutus ei sinällään ollut merkitsevä (taulukko 5), mutta Pohjois-Lapissa pohjapinta-ala lisäsi luppojäkälän todennäköisyyttä esiintyä ainakin vähän, mutta muualla tutkimusalueella pohjapinta-alalla ei ollut tilastollisesti merkitsevää vaikutusta luppojäkälän esiintymiseen (kuva 14).

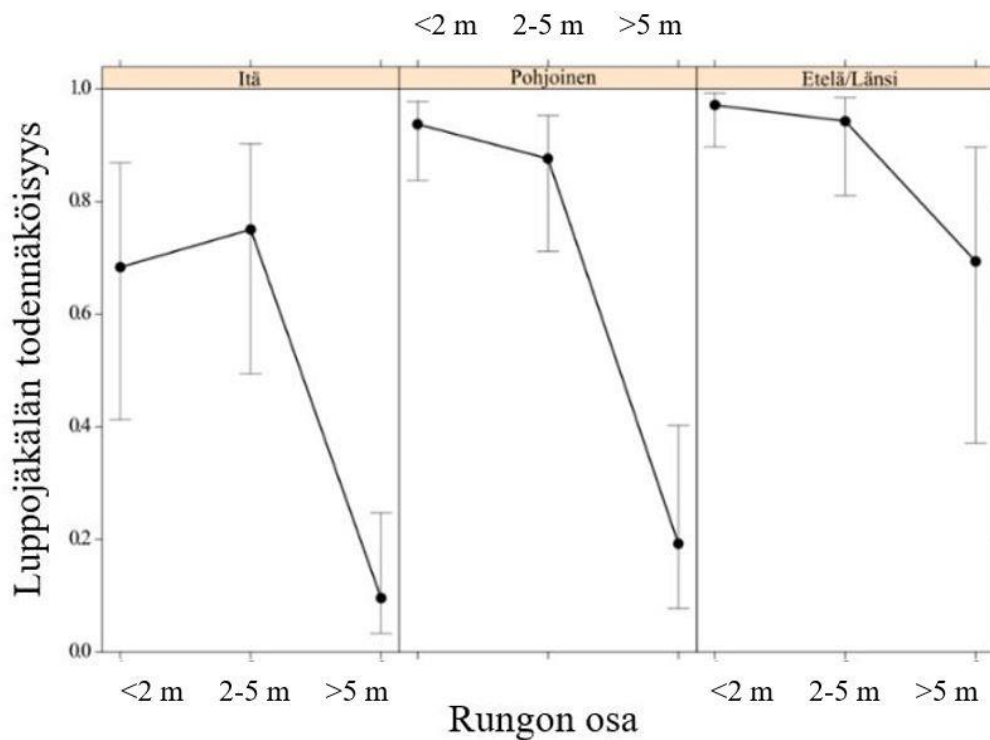


Kuva 13. Hakkuutavan vaikutus alueellisesti luppojäkälän todennäköisyyteen esiintyä ainakin vähän (runsausluokka vähintään 1), ja 95 % luottamusvälit.

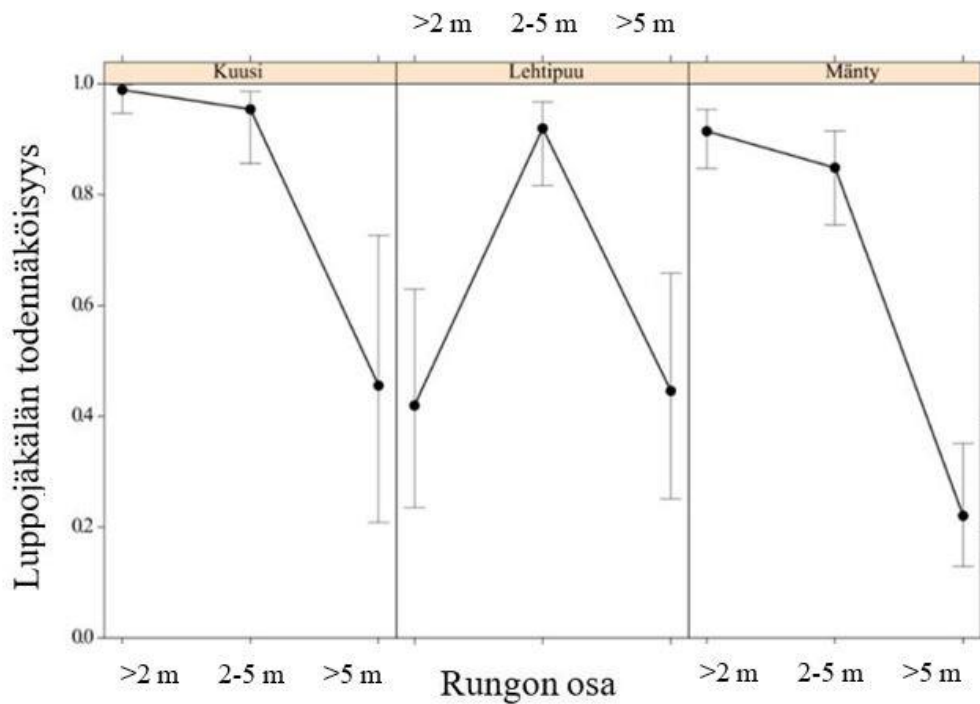


Kuva 14. Metsikön pohjapinta-alan vaikutus luppojäkälän esiintymiseen eri alueilla. Harmaalla 95 % luottamusvälit.

Rungon osan vaikutus siihen, että luppojäkälää esiintyi ainakin vähän (runsausluokka vähintään 1) vaihteli alueen ja puulajin mukaan (kuvat 15 ja 16). Kahdella alimmalla rungon osalla (<2 m ja 2-5 m) luppojäkälän esiintymistodennäköisyys oli suurin kaikilla alueilla, mutta Etelä- ja Länsi-Lapissa myös rungon ylimmässä osassa (>5 m) luppojäkälää esiintyi suhteellisen suurella todennäköisyydellä. Muilla alueilla todennäköisyys luppojäkälän esiintymiselle ainakin vähän rungon ylimmällä osalla oli hyvin pieni. Rungon osan vaihtelu luppojäkälän todennäköisyyksille puulajeittain on esitetty kuvassa 16. Lehtipuilla suurin todennäköisyys luppojäkälän esiintymiselle ainakin vähän oli selkeästi suurin keskimmaisella rungon osalla (2–5 m), kun taas kuusella ja männyllä todennäköisyys oli suurin rungon kahdella alimmalla osalla (<2 m ja 2–5 m). Mänty ja kuusi näyttävät kuvan 15 mukaan toteuttavan samaa trendiä, kun taas lehtipuut käyttäytyvät luppojäkälän suhteen eri tavalla. Ensimmäisen mallin (ainakin vähäisen luppojäkälän esiintymisen todennäköisyys) hyvyttä testattiin ROC-käyrän avulla. Malli sai AUC-arvon 0.8576 (liite 2).



Kuva 15. Rungon osan vaikutus luppojäkälän esiintymiseen alueen mukaan, ja 95 % luottamusvälit.

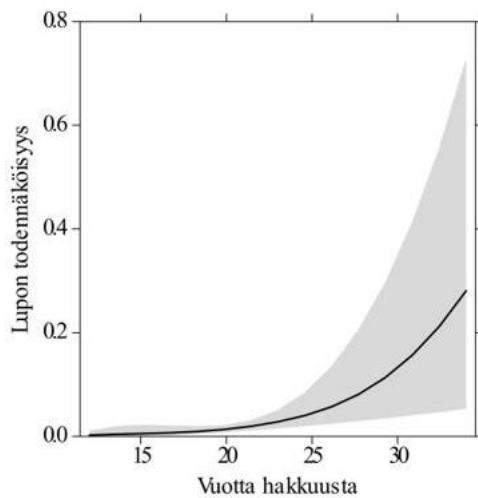


Kuva 16. Rungon osan vaikutus luppojäkälän esiintymiseen puulajin mukaan, ja 95 % luottamusvälit.

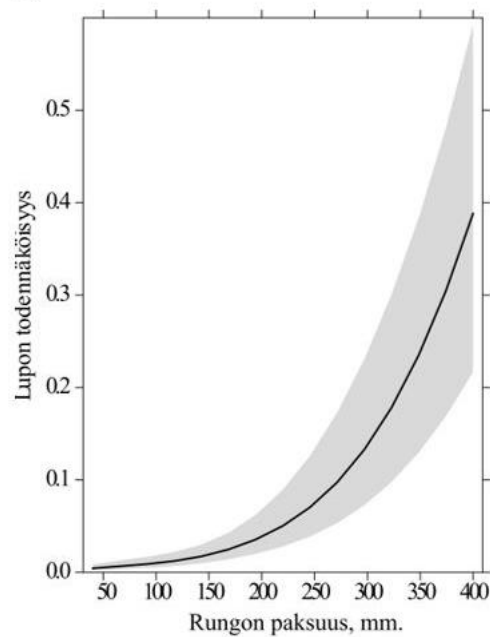
7.2 Tulokset luppojäkälän runsaalle esiintymiselle (runsausluokka vähintään 2)

Taulukko 6 osoittaa luppojäkälän runsaan esiintymisen (vähintään runsausluokka 2) -malliin valikoituneet muuttujat. Tähän malliin valikoitui p-arvon ($<0,05$) mukaisesti kuusi muuttujaa, jotka olivat tilastollisesti merkitseviä sinällään (päävaikutus $p<0,05$), tai mukana tilastollisesti merkitsevissä yhdysvaikutuksissa. Malliin valikoitui lisäksi kolme tilastollisesti merkitsevää yhdysvaikutusta. Jatkuvista muuttujista luppojäkälän esiintymiseen runsaasti (runsausluokka vähintään 2) vaikuttivat merkitsevästi hakkuista kulunut aika ja rungon läpimitta -muuttujat (kuva 17). Mitä pidempi aika hakkuista oli kulunut, sitä suuremmalla todennäköisyydellä luppojäkälää esiintyi runsaasti, eli vähintään runsausluokan 2 verran (kuva 17A). Rungon läpimitta -muuttuja kasvatti taas luppojäkälän esiintymisen todennäköisyyttä siten, että kun rungon paksuus ylitti 300 millimetriä, nousi luppojäkälän runsaan esiintymisen todennäköisyys selvästi (kuva 17B).

A.



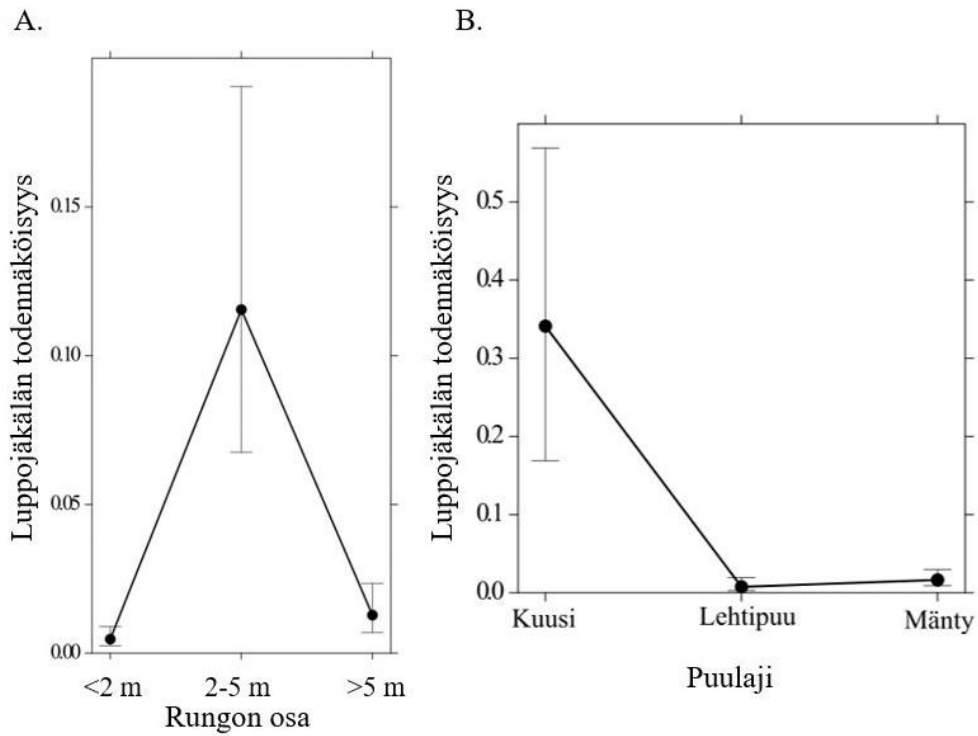
B.



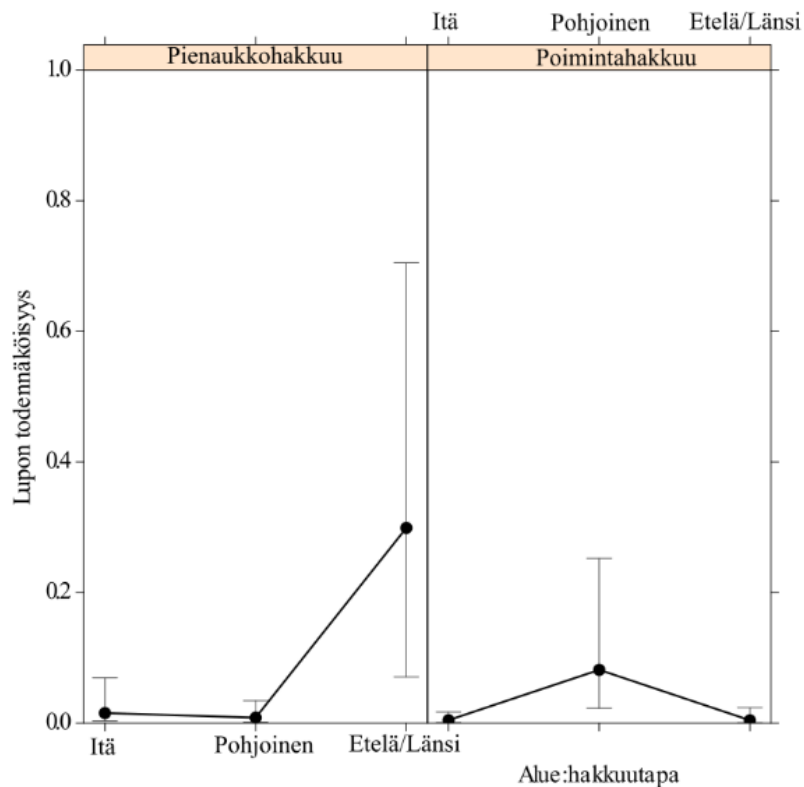
Kuva 17. Todennäköisyys sille, että loppojäkälää esiintyy runsaasti (runsausluokka vähintään 2) hakkuusta kuluneen ajan (vuotta hakkuusta) (A) ja rungon paksuuden (B) funktiona. Harmaa alue kuvaa 95 % luottamusväliä.

Luokkamuuttujista loppojäkälän todennäköisyyteen esiintyä runsaasti (runsausluokka vähintään 2) vaikuttivat merkitsevästi ($p < 0,05$) rungon osa ja puulaji (taulukko 6; kuva 18). Rungon osista selkeästi suurin todennäköisyys loppojäkälän esiintymiselle saavutettiin 2–5 metrissä (Kuva 18A). Tässä kuitenkin todennäköisyys oli pieni, alle 0,15 (15 %). Lisäksi yli viidessä metrissä todennäköisyys loppojäkälän runsaalle esiintymiselle oli hieman suurempi kuin alle kahdessa metrissä. Puulajeista kuusella oli suurin todennäköisyys esiintyä runsaasti (Kuva 18B). Mänty ja lehtipuut saivat molemmat hyvin pieniä, mutta merkitseviä, todennäköisyyksiä.

Hakkuutapa ei ollut tilastollisesti merkitsevä muuttuja yksinään, mutta sen alueelliset erot olivat tilastollisesti merkitseviä (taulukko 6; kuva 19). Korkein todennäköisyys loppojäkälän runsaalle esiintymiselle (runsausluokka vähintään 2) saavutettiin Etelä- ja Länsi-Lapin pienaukkohakkuissa. Pohjois-Lapissa taas poimintahakkuu sai suurimman todennäköisyyden loppojäkälän esiintymiselle.

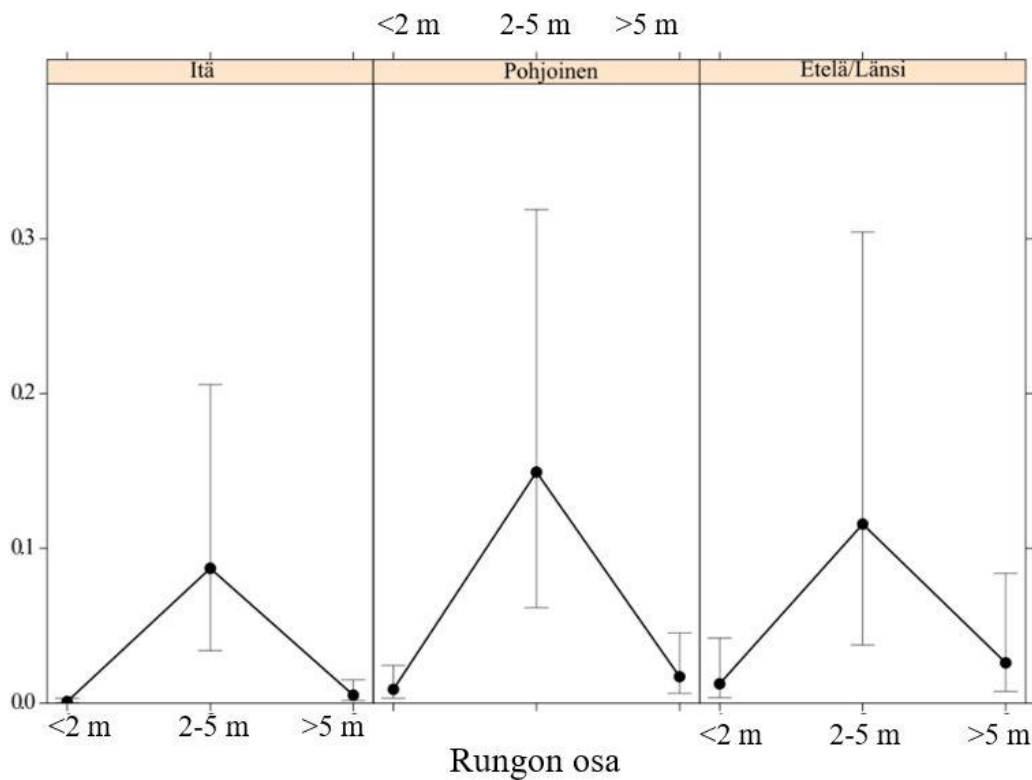


Kuva 18. Rungon osan (A) ja puulajin (B) vaikutus luppojäkälän esiintymiseen runsaasti (runsausluokka vähintään 2).

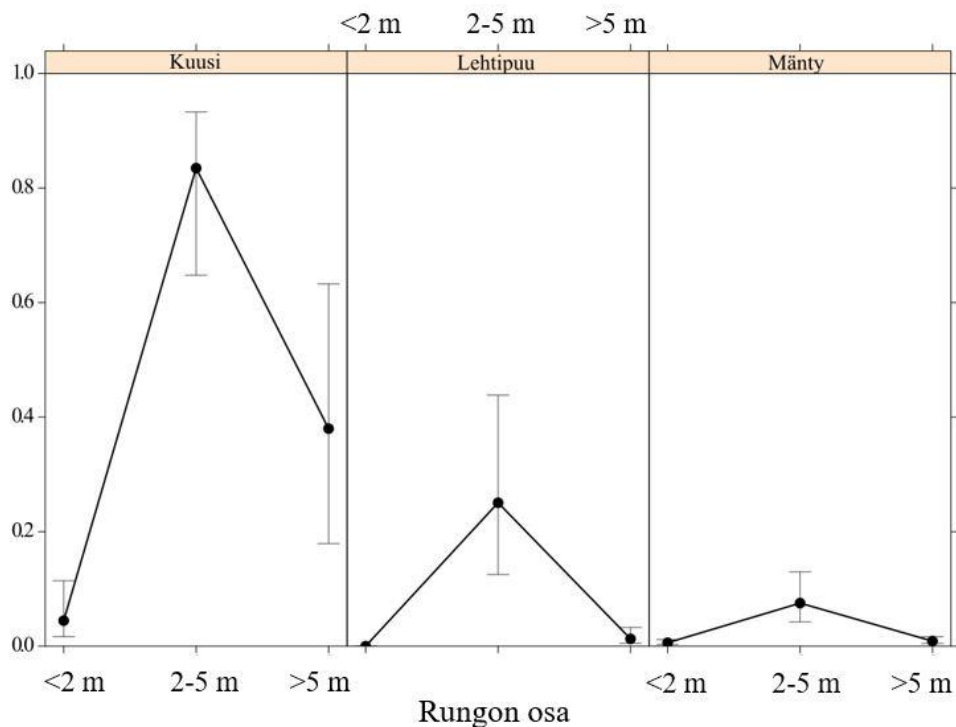


Kuva 19. Hakkuutavan vaikutus luppojäkälän runsaalle (runsausluokka vähintään 2) esiintymiselle eri alueilla, ja 95 % luottamusväli.

Rungon osan vaikutus luppojäkälän todennäköisyydelle esiintyä runsaana (runsausluokka vähintään 2) vaihtelu oli merkitsevää (taulukko 6, kuva 20). Keskimmaisessä (2–5 m) rungon osassa oli selkeästi suurin todennäköisyys luppojäkälän esiintymiselle muihin rungon osiin verrattuna. Etelä- ja Länsi-Lapissa keskimmaisen rungon osan ero muihin rungon osiin ei ole niin selvä kuin muualla tutkimusalueella. Puulajien kohdalla rungon osan vaikutus on kuvan 21 mukaan huomattava: kaikissa puulajeissa keskimmainen rungon osa (2–5 m) saa selkeästi suurimman todennäköisyyden, mutta kuusessa tämä todennäköisyys on yli 0,8 (80 %), kun taas esimerkiksi männyllä todennäköisyys on alle 0,1 (10 %). Lisäksi kuusessa jopa ylin rungon osa (> 5 m) saa suuremman todennäköisyyden kuin lehtipuiden tai mäntyjen korkein todennäköisyys millään rungon osalla on. Tämä mallin hyvyttä testattiin ROC-käyrällä (liite 2), ja ROC-käyrä sai AUC-arvon 0.8531.



Kuva 20. Rungon osan vaikutuksen alueelliset erot luppojäkälän runsaaseen esiintymiseen (runsausluokka vähintään 2) ja 95 % luottamusvälit.



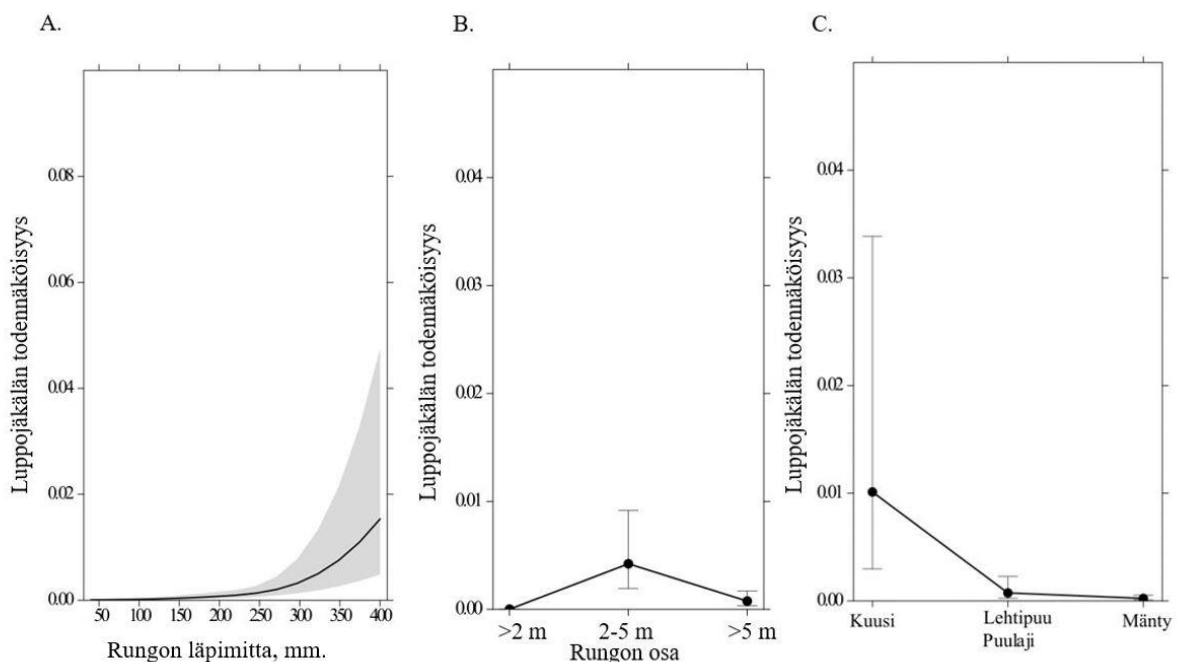
Kuva 21. Rungon osan vaikutus puulajeittain runsaan luppojäkälän esiintymiseen (runsausluokka vähintään 2) ja 95 % luottamusvälit.

7.3 Tulokset luppojäkälän hyvin runsaalle esiintymiselle (runsausluokka 3)

Malliin, joka selittää luppojäkälän esiintymistä hyvin runsaasti (runsausluokka 3) valikoituivat taulukon 7 mukaisesti vain kolme muuttujaa: rungon läpimitta, rungon osa ja puulaji. Muuttujien vähäinen määrä johtuu erityisesti siitä, että havaintoja runsausluokasta 3 (luppojäkälää esiintyy hyvin runsaasti) oli hyvin vähän, vain 4 % aineistosta (taulukko 2). Rungon läpimitta eli rungon paksuus lisäsi luppojäkälän esiintymisen todennäköisyyttä rungon osalla (kuva 22A), mutta todennäköisyys pysyi silti hyvin pienenä. Rungon osa vaikutti kuvan 22B mukaisesti: Keskimmaisella rungon osalla (2–5 m) oli suurin todennäköisyys sille, että luppojäkälää esiintyi hyvin runsaasti (runsausluokka 3). Todennäköisyys oli kuitenkin vain maksimissaan 0,01 (1 %). Puulajien vaikutus on osoitettu kuvassa 22C. Puulajeista suurimman todennäköisyyden saavuttaa hyvin runsas määrä luppojäkälää oli kuusella. Silti luottamusvälit ovat suuret ja todennäköisyys tällekin todella alhainen. Luppojäkälän hyvin runsasta esiintymistä selittävän mallin hyvyttä testattiin ROC-käyrällä (liite 2), ja mallin ROC-käyrä sai AUC arvoksi 0.8438

Taulukko 6. Luppojäkälän esiintyminen hyvin runsaasti (runsausluokka 3). -malliin valikoituneet muuttujat. Jatkuvan muuttujan (rungon läpimitta) estimaatti osoittaa, paljonko luppojäkälän esiintymisen todennäköisyys muuttuu, kun ko. muuttuja kasvaa yhden yksikön. Luokkamuuttujien (rungon osa, puulaji) estimaatti osoittaa, kuinka suuri ero luppojäkälän esiintymistodennäköisyydessä on kontrollitasoon verrattuna. Luokkamuuttujien tasot on ilmoitettu su-luissa ja vertailutaso *kursiivilla*.

| Muuttuja | Estimaatti | Keskivirhe | Vapausaste | t/Chi | p-arvo |
|---|------------|------------|------------|---------|--------|
| Kiinteäosa | | | | | |
| Vakio | -10,032 | 0,729 | 1814 | -13,755 | <0,001 |
| Rungon läpimitta, (d1.3) | 0,015 | 0,002 | 884 | 7,327 | <0,001 |
| Rungonosa (<2 m, 2-5 m, >5 m) | | | 2 | 532,823 | <0,001 |
| - 2-5 m | 5,641 | 0,265 | 1814 | 21,284 | <0,001 |
| - >5 m | 3,926 | 0,259 | 1814 | 21,284 | <0,001 |
| Puulaji (<i>kuusi</i> , lehtipuu, mänty) | | | 2 | 41,132 | <0,001 |
| - lehtipuu | -2,624 | 0,676 | 884 | -3,884 | <0,001 |
| - mänty | -3,793 | 0,597 | 884 | -6,349 | <0,001 |
| Satunnaisosa | | | | | |
| | Varianssi | | | | |
| Metsikkö | 3,231 | | | | |
| Koela | 0,000 | | | | |
| Puu | 6,864 | | | | |
| Hajontaparametri | 0,113 | | | | |



Kuva 22. Luppojäkälän esiintymiseen hyvin runsaasti (runsausluokka 3) vaikuttavat tekijät: rungon paksuuden vaikutus (A), rungon osan vaikutus (B) ja puulajin vaikutus (C).

8 Tulosten tarkastelu ja pohdinta

8.1 Luppojäkälän esiintymiseen vaikuttavat tekijät aineistossa

Tulosten mukaan luppojäkälän esiintymisen todennäköisyyteen jatkuvan kasvatuksen metsiköissä vaikuttivat hakkuista kuluneiden vuosien määrä (vuosia hakkuusta), rungon läpimitta, jäkälän peittävyys ja metsikön pohjapinta-ala (taulukot 5–7; kuvat 10–22). Lisäksi tulokset vaihtelivat alueen, rungon osan ja puulajin mukaan. Selkeimmät tulokset koskettivat hakkuista kuluneiden vuosien määrää ja puun rungon läpimittaa, jotka kasvattivat luppojäkälien määrää kaikissa runsausluokissa (kuvat 10, 17, 22). Nämä tulokset ovat yhteneviä hypoteesien kanssa, joiden mukaan hakkuista kuluneen ajan (Lewis 2004; Stone ym. 2008) ja rungon läpimitan (puun paksuus, joka kertoo puun iästä), on todettu kasvattavan luppojäkälän määrää (Dettki & Esseen 1998: 621; Ylisirniö & Hallikainen 2017). Maajäkälän peittävyys (jäkälän peittävyys -muuttuja) vähensi luppojäkälän esiintymisen todennäköisyyttä esiintyä edes vähän (kuva 11). Maajäkälän peittävyys indikoi alueen kuivuutta (Kouki ym. 2018), josta voidaan päätellä, että metsikön kuivuus vähentää luppojäkälän todennäköisyyttä. Tuloksissa pohjapinta-ala kasvatti luppojäkälän todennäköisyyttä esiintyä ainakin vähän (runsausluokka vähintään 1) Pohjois-Lapissa. Tämä oli myös hypoteesin mukainen tulos, jonka mukaan metsikön pohjapinta-ala peilaa luppojäkälän kasvupaikan saatavuutta, ja siten lisää luppojäkälän esiintymisen todennäköisyyttä (Dettki & Esseen 1998; Jaakkola ym. 2006).

Puulajeista kuusella oli kaikissa runsausluokissa korkein todennäköisyys luppojäkälän esiintymiselle, ja todennäköisyyden ero muihin puulajeihin korostui, mitä runsaammasta luppojäkälän määrästä oli kyse (kuvat 12C, 18B, 22C). Tulokset ovat puulajinkin osalta yhteneviä hypoteesien kanssa, joiden mukaan suurin luppojäkälän biomassa on kuudessa (Esseen ym. 1996). Tämä voi johtua siitä, että luppojäkälän esiintyminen on vahvasti korreloitunut oksien massan ja halkaisijan kanssa (Esseen & Renhorn 1998), ja kuusissa on runsaasti oksia, joihin luppojäkälät voivat kiinnittyä. Täytyy kuitenkin huomioda, että havaintoja hyvin runsaasta luppojäkälän määrästä (runsausluokka 3) oli aineistossa vain neljä prosenttia (taulukko 2). Lisäksi tulee muistaa, ettei kuusia esiinny käytännössä lainkaan pohjoisimmassa osassa tutkimusaluetta (Kalliola 1973), mikä voi osaltaan hieman vääristää tuloksia. Koko aineistossa oli kuusia vain yhdeksän prosenttia (taulukko 3), mikä voi lisäksi olla syynä siihen, miksi puulajin ja alueen yhdysvaikutukset eivät olleet tilastollisesti merkitseviä. Lisäksi ei ole varmuutta siitä, onko kuusia hakattu kokeiluhakkuiden aikana ollenkaan pois, sillä kyseiset metsiköt olivat

mäntyvaltaisia. Kuitenkin myös männyissä ja lehtipuissa havaittiin suhteellisen suuret todennäköisyydet ainakin vähäiselle luppojäkälän esiintymiselle (kuva 12C). Alueittain suurin todennäköisyys luppojäkälän esiintymiselle oli Etelä- ja Länsi-Lapissa (kuva 12A), mikä oli myös hypoteesin mukainen tulos. Etelä- ja Länsi-Lapin ravinteikkaampi ympäristö on ilmeisesti myös luppojäkälille suotuisa (Kalliola 1973: 175–210). Pienin todennäköisyys luppojäkälän esiintymiselle oli Itä-Lapissa (kuva 12A).

Hakkuutapa ei ollut sinällään tilastollisesti merkitsevä muuttuja missään runsausluokassa, mutta alueellisesti erot olivat merkitseviä, kun tarkasteltiin luppojäkälän todennäköisyyttä esiintyä ainakin vähän (runsausluokka vähintään 1) ja runsaasti (runsausluokka vähintään 2) (kuvat 13 ja 19). Etelä- ja Länsi-Lapissa todennäköisyys luppojäkälän esiintymiselle oli suurempi pienaukkohakkuissa kuin poimintahakkuissa (kuva 13). Lisäksi Pohjois-Lapissa tulokset näyttäisivät olevan hieman sen suuntaiset, että poimintahakkuut toimisivat siellä luppojäkälän ylläpitoa ajatellen paremmin (kuva 19). Pienaukkohakkuu näyttäisi toimivan luppojäkälän ylläpitoon kuitenkin selkeästi poimintahakkuita paremmin ainakin Etelä- ja Länsi-Lapissa. Toisaalta Lapissa, ja erityisesti Pohjois-Lapissa, metsät ovat luonnostaan melko harvoja, joten muutaman puun poisto voi saada aikaan pienen aukon, ja pienaukko- ja poimintahakkuiden erot ovat siksi häilyviä.

Suurin todennäköisyys luppojäkälän esiintymiselle ainakin vähän (runsausluokka vähintään 1) oli kahdella alimmalla rungon osalla (<2 m ja 2–5 m) (kuva 12b), mutta runsaasti ja hyvin runsaasti (runsausluokat 2–3) luppojäkälää esiintyi suurimmalla todennäköisyydellä keskimmaisella rungon osalla (2–5 m) (kuvat 18A ja 22B). Myös Coxson ja Coyle (2003: 171), Jaakkola ym. (2006) ja Kumpula ym. (2009) ovat havainneet, että suurin määrä luppojäkälää löytyy yleensä puun keskiosilta, sillä siellä kilpailevat muuttajat ovat tasapainossa. Suuren luppojäkälän määrän puun keskiosissa voi selittää myös se, että puissa on yleensä vähemmän oksia alle kahdessa metrissä, ja sinne myös porot yltävät parhaiten. Lisäksi yli viiteen metriin oli hankala arvioida luppojäkälän määrää.

Rungon osan vaikutus vaihteli kuitenkin alueen ja puulajin mukaan (kuvat 15, 16, 20 ja 21). Todennäköisyys sille, että luppojäkälää esiintyi ainakin vähän (runsausluokka vähintään 1), oli suurin kaikilla alueilla kahdella alemmalla rungon osalla (0–2 ja 2–5 m) (kuva 15). Etelä-Lapissa kuitenkin myös ylin rungon osa (>5 m) sai suhteellisen suuren todennäköisyyden luppojäkälän esiintymiselle. Jotta luppojäkälää esiintyi runsaasti (runsausluokka vähintään 2), oli todennäköisyys kaikilla alueilla selkeästi suurin keskimmaisella rungon osalla

(2–5 m) (kuva 20). Rungon osan vaikutus vaihteli myös puulajeittain (kuva 16): Jotta luppojäkälää esiintyi ainakin vähän (runsausluokka vähintään 1), noudattivat mänty ja kuusi samantyyppistä trendiä, missä suurin todennäköisyys luppojäkälän esiintymiselle oli alimmalla ja keskimmaisella rungon osalla (<2 m ja 2–5 m), ja pienin todennäköisyys saavutettiin yli viidessä metrissä (kuva 16). Lehtipuissa selkeästi suurin todennäköisyys oli keskimmaisella (2–5 m) rungon osalla. Ero oli merkittävä, kun tarkasteltiin niitä rungon osia, joilla luppojäkälää esiintyi runsaasti (runsausluokka vähintään 2) (kuva 21). Tässä tapauksessa kaikkien puulajien kohdalla suurin todennäköisyys oli keskimmaisella (2–5 m) rungon osalla, mutta kuusella todennäköisyys sille oli selkeästi suurin. Lehtipuilla luppojäkälän alhainen määrä rungon alimmalla osalla (kuvat 16 ja 21) voi johtua siitä, että lehtipuut ovat hyvin sileärunkoisia, joten luppojäkälät pystyvät tarttumaan paremmin kiinni vasta lehtipuiden ylempänä rungolla oleviin lehvästöihin.

Aineisto sisälsi 28 metsikköä (koealarypystä), ja luppojäkälät mitattiin 934 puusta (taulukko 3). Puukohtainen aineisto on kattava, mutta metsikköjä olisi voinut olla tutkimusalueen laajuuden vuoksi enemmän. Aineistosta muodostettiin kolme mallia kolmen eri runsausluokan mukaan, ja mallien hyvyys tarkistettiin AUC-käyrän ja ROC-arvon avulla. Kaikki kolme mallia saivat hyvät ROC-arvot (liite 2), joten mallit toimivat hyvin, ja niiden ennustekyky on kiitettävä (Hosmer ym. 2017: 133). Vaikka tuloksissa on tutkittu ja selvitetty useiden eri muuttujien vaikutusta luppojäkälän esiintymiseen, ei kaikkia vaikuttavia tekijöitä voida saada selville. Tuloksia voidaan silti näiden aineistojen ja tulosten perusteella yleistää melko hyvin koko Lapin alueelle, sekä Fennoskandian havumetsävyöhykkeelle. Lisäksi voidaan olettaa, että samankaltaisia tuloksia voitaisiin saada esimerkiksi Pohjois-Ruotsissa suoritetussa samantyyppisessä tutkimuksessa.

Tutkielmassa käytettyjen muuttujien lisäksi luppojäkälän määrään voivat vaikuttaa luonnon ääri-ilmiöt, kuten myrskyt, runsaslumiset talvet ja herbivoria (Stevenson & Coxson 2004). Talvi 2019–2020 oli Lapissa todella runsasluminen (Talvien lumesta ja lumisuudesta 2020), mikä voi vaikuttaa osittain niihin tuloksiin, jotka oli mitattu kesällä 2020. Osa luppojäkälästä on voinut tulla oksilta lumimassan takia. Lisäksi luppojäkälät ja niihin vaikuttavat muuttujat voivat muuttua ajan kuluessa, mikä voi luoda jälleen uusia vaikuttavia muuttujia (Stevenson 1988: 44). Analyysissä käytettyihin muuttujiin olisi mielenkiintoista lisätä esimerkiksi alueen keskilämpötila tai korkeus merenpinnasta, ja tutkia miten ne vaikuttaisivat tuloksiin. Vaikka metsätalouden toimet voivat vaikuttaa olevan homogeenisiä metsikkötasolla, voivat luppojäkälät kokea suuriakin häiriöitä esimerkiksi yhdellä oksalla (Campbell & Coxson

2003). Koska luppojäkäliden kasvuun ja leviämiseen vaikuttavat myös mikroilmastolliset tekijät, tulisi luppojäkäliden kokemiin häiriöihin ja muutoksiin tehdä myös hyvin pienipiirteistä tutkimusta (Stevenson 1988).

Tuloksiin voi vaikuttaa myös se, että luppojäkäliden arviointi on hankalaa, ja arviointia suorittivat useat eri henkilöt kahden eri vuoden aikana. Erityisesti korkeampiin latvustoihin oli hankala nähdä ja arvioida luppojäkälän määrää, kun taas alimmille rungon osille pienenkin määrän jäkälää havaitsi helpommin. Myös viiveet häiriöiden ilmenemisessä voivat olla suurempia kuin tässä pro gradu -tutkielmassa oleva aikaväli on (hakkuut suoritettu 12–35 vuotta ennen analyysijä). Jotta pidemmän aikavälin muutoksia voitaisiin tutkia ja ottaa huomioon suunnittelussa, voisi siihen hyödyntää historiallisia muutoksia, jotka voisivat selittää osaksi tällä hetkellä tapahtuvia asioita (Lindborg & Eriksson 2004). Koska vanhimmat hakkuut tässä tutkielmassa olivat 35-vuotiaita, ei jatkuvan kasvatuksen pitkän ajan vaikutuksia saatu selville. Uusi kartoitus olisi mielenkiintoinen esimerkiksi 20 vuoden päästä. Toisaalta jatkuvan kasvatuksen lähtökohtana ovat nimenomaan lyhyet hakkuukierrot, joten luppojäkäliden ylläpitäminen tulisi lähtökohtaisesti tapahtua muilla tavoin (Valkonen 2020).

8.1 Metsä- ja porotalouden yhdistäminen tulosten perusteella

Metsienkäytön vaikutukset ovat poronhoidon kannalta monitahoiset, mutta aiheesta on silti suhteellisen vähän tutkimustietoa (Kumpula 2003: 3). Koska metsätalouden vaikutukset porotaloudelle tiivistyvät eritoten talvilaidunalueiden vähenemiseen ja pirstoutumiseen sekä talviravinnonsaannin heikentymiseen (Kumpula 2001; Rytönen ym. 2013), on tekijöillä, jotka ylläpitävät talvilaitumia ja ravinnonsaantia, suuri merkitys porotalouden kannattavuudelle. Jäkälälaitumiin vaikuttavat metsätalouden lisäksi merkittävästi suuret, pitkäaikaiset, poromäärät, mutta metsien uudistaminen heikentää laidunten tilaa entisestään (Rytönen ym. 2013; Akujärvi ym. 2014). Jotta metsä- ja porotalous saataisiin sopeutumaan yhteen samalla alueella, tulee luppojäkäliden kasvua ylläpitää, ja jo metsätalouden suunnitteluvaiheessa tulisi huomioida jäkäliden saatavuus, ja porojen pääsy niihin (Kivinen ym. 2010: 274–275).

Tämän pro gradu -tutkielman tulosten perusteella luppojäkäliden määrää Lapin jatkuvan kasvatuksen metsissä lisäsivät puun rungon paksuus (mikä kertoo puun iästä) ja hakkuista kuluneiden vuosien määrä. Siksi luppojäkäliden ylläpitämiseksi vanhojen puiden säästämistä tulee suosia ja hakkuukiertoa pitää tilanteen mukaan mahdollisimman pitkänä. Varsinkin

poimintahakkuissa on yleensä poistettu nimenomaan suuret ja vanhat puut (Valkonen 2020), mutta tulosten mukaan se ei ole paras menetelmä luppojäkälien ylläpitoa ajatellen. Ainakin osa suurista puista tulisi varta vasten säästää. Tästä herää myös kysymys siitä, että jos vanhoja puita tai lahoppuita säästettäisiin myös avohakkuihin perustuvassa metsätaloudessa, olisiko menetelmien välillä silloin eroa luppojäkälän suhteen. Stevenson ja Coxson (2006) sekä Hortskotte ym. (2011) ehdottavat lisäksi, että ainakin osan porojen käyttämisestä metsiköistä tulisi saavuttaa 60–80 vuoden ikä, jotta luppojäkälän kolonisaatio ja kasvu olisi turvattu. Tämä on tärkeää siksi, koska luppojäkälän kolonisaatio nuoriin metsiin suurten alueiden läpi on hyvin hidasta ja luppojäkälät ovat hidaskasvuisia (Jaakkola ym. 2006). Koska pienaukkohakkuu säästää alueita koskemattomana pitempään kuin poimintahakkuu, joka poimii koko alueelta jatkuvasti puita, voisi pienaukkohakkuu myös sen takia olla toimivampi menetelmä luppojäkälän ylläpidolle. Haila (1999: 254) on pohtinut sitä, minkä kokoinen metsikkö, olisi pienin mahdollinen, jotta sitä voitaisiin vielä kutsua metsiköksi. Kaiken kokoiset metsiköt palvelevat joitain eliöitä, mutta tieto siitä, minkä kokoinen metsikkö olisi tarpeeksi suuri luppojäkälän ylläpidon ja leviämisen turvaamiseksi, olisi mielenkiintoinen tutkimuskohde. Metsälaisissa (1093/1996) on määritelty ainoastaan suurimman mahdollisimman pienaukon koko (0,3 ha), mitä ei tarvitse uudistaa.

Koska luppojäkälän kasvu rajoittuu metsänrajalta, tulisi niiden ylläpitämiseksi säilyttää vanhoja, jäkälärikkaita, metsiköitä alueellisella tasolla (Dettki ym. 2000). Erityisen tärkeää tämä olisi lähellä hakkuuta, jotta luppojäkälän leviäminen ja ylläpito olisi turvattu myös nuorissa metsissä. Kumpula (2003: 57) ehdottaa, että metsänkäsittelymenetelmiä valittaessa tulisi luppojäkälän siirtyminen lähdepuustosta taimikkoon varmistaa, jotta myös nuoret metsiköt sisältäisivät luppojäkälää. Tämä tukisi vahvasti metsä- ja porotalouden yhdistämistä (Kumpula ym. 2019). Luppojäkälän ylläpitämiseksi Stevenson (1988) ja Lidén ym. (2004) ovat ehdottaneet yhtenä mahdollisuutena jäkälän ”rokottamisen” puihin, jos matka vanhojen ja nuorten metsiköiden välillä on liian suuri.

Tulosten mukaan myös pohjapinta-alan kasvun lisäämisellä voitaisiin saavuttaa parannuksia luppojäkälän kasvussa, tulisi myös siihen kiinnittää metsätalouden suunnittelussa huomiota. Koska suuret puunpoistumat (hakkuut) metsiköissä aiheuttavat luppojäkälän häviämistä, ei olisi suositeltavaa hakata yli 30 % puustosta jäkälärikkailta alueilla (Stevenson ym. 1994; Armleder & Stevenson 1994; Stevenson ym. 2001). Stevensonin ja Coxsonin (2007) mukaan luppojäkälän ylläpito onnistuisi talousmetsissä tehokkaimmin silloin, kun säteilyn määrä

lisääntyä, mutta poistettujen puiden määrä pysyy matalana. Jos hakkuualueille jätetään merkittävä määrä puustoa, hakevat porot Kumpulan ym. (2003) mukaan luppojäkälää tällöin myös käsitellyiltä alueilta. Tärkeää olisi myös ylläpitää luontaisesti tiheässä kasvavia puuryhmiä, sillä ne ylläpitävät luppojäkälää tehokkaasti puiden oksilla (Campbell & Coxson 2001). Toisaalta Kumpula ym. (2015: 24) huomauttavat tarpeeksi harvan puuston tärkeystä: liian tiheä puusto voi olla epäsuotuisa luppojäkälän leviämiskyvylle. Kivinen ym. (2010) lisäävät, että avoimemmat metsiköt voivat edistää luppojäkälän kasvua lisäämällä valon ja kosteuden määrää. Luppojäkälän kasvua voidaan parantaa myös lisäämällä metsikössä koostumuksellisen monimutkaisuuden määrää (Dettki & Esseen 1998), johon myös jatkuvan kasvatuksen menetelmät ovat sopivia. Metsikön sisäisen vaihtelun kasvattaminen luo habitaatteja spesialistilajeille, joille erityisesti kelot ja vanhat lehtipuut ovat tärkeässä asemassa (Kuusinen 1995; Kuusinen & Siitonen 1998). Lehtipuiden ylläpito talousmetsissä olisi luppojäkälän kannalta suotuisaa myös tämän tutkielman tulosten perusteella.

Vaikka luppojäkälät saataisiin menestymään talousmetsissä, on poroille sopivien laidunmaiden levinneisyydellä ja sijoittumisella vaikutusta siihen, tulevatko porot käyttämään näitä alueita (O'Neill ym. 1988). Todella eristäytyneeseen metsikköön on hankala päästä, ja niitä on muutenkin hankalampi käyttää porotaloudessa verrattuna suuriin, yhtenäisiin, alueisiin. Mitä laajempia alueita porojen käyttöön jätetään, sen paremmin porotaloudessa pystytään näitä alueita hyödyntämään. Koska erityisesti avohakkuut ja kyntäminen ovat olleet hyvin vahingoittavia porotaloudelle (Turunen ym. 2019), tulisi kevyempiä metsätalousmenetelmiä suosia erityisesti poroille tärkeillä alueilla. Tällöin myös metsikön ikä ja pohjapinta-ala olisivat suotuisimmat luppojäkälän kasvua ja ylläpitoa ajatellen. Vanhojen puiden ylläpitämisen, hakkuukierron pidentämisen ja pohjapinta-alan kasvattamisen lisäksi poro- ja metsätalouden yhteensovittamisessa olisi hyvä välttää metsän pohjaan koskemista mahdollisuuksien mukaan (Stevenson 2001). Myös porojen käyttämiä ydinalueita tulisi jäkälärikkaiden alueiden lisäksi säästää hakkuilta, jotta metsätalouden haitat porotaloudelle säilyisivät mahdollisimman pieninä (Armlender & Stevenson 1994: 146). Tärkeää olisi myös mahdollistaa linkkialueiden syntyminen siten, että porot pystyvät liikkumaan eri alueiden välillä, ja että niiden yhteys toisiinsa säilyy (Stevenson 2001). Kumpulan (2003) mukaan porot kuitenkin voivat tottua metsäalueen muutoksiin, kunhan löytävät tarpeeksi ravintoa talveksi eri-ikäisistä metsistä. Tätäkin tarvetta voidaan tosin kompensoida antamalla poroille talvisin lisäravintoa.

Jatkuvan kasvatuksen vaikutukset porotaloudelle ovat vielä osittain tuntemattomia, ja vaikutukset voivat olla monitasoisia (Stevenson & Coxson 2004; Valkonen 2020). Jatkuva kasvatusta voi vaikuttaa ravinnon saatavuuden muuttumisen lisäksi porojen predaatioon ja petopopulaatioihin, lumen määrän jakautumiseen ja lumen ominaisuuksiin, jolloin porojen pääsy raintoon voi muuttua (Stevenson & Coxson 2004). Lisäksi esimerkiksi pienaukkojen taimettuessa ajan kuluessa, tapahtuu metsikön dynamiikoissa muutoksia. Jotkin metsänkäsittelymenetelmät voivat jopa osaltaan hyödyttää poroja, sillä Kumpulan (2001) mukaan kesä- ja syysravinnon määrä voi runsastua joidenkin toimenpiteiden seurauksena. Luppojäkälien suhteen jatkuva kasvatusta voi aiheuttaa lisäksi sen, että luppojäkälien lajisuhde tulee muuttumaan jatkuvan kasvatuksen metsissä viherluppoista (*Alectoria*) tummaluppoihin (*Bryoria*), mutta tällä ei pitäisi olla poroille merkitystä.

Vaikka metsätalous on merkittävin uhanalaisuuden uhka luppojäkälille (Jääskeläinen 2011: 46), luovien rakentaminen, porojen ylilaidunnus, hirvieläinkanta, vieraslajit ja ilmastonmuutos merkittäviä uhkatekijöitä luppojäkälille tulevaisuudessa (Pykälä ym. 2019: 264). Ilmastonmuutos voi muuttaa luppojäkälien kasvua ja niihin vaikuttavia tekijöitä, joko heikentäen tai parantaen niiden kasvua (Esseen ym. 2016; Sandström ym. 2016). Toisaalta ilmastonmuutoksen edetessä ja talvien lyhentyessä ja lauhtuessa, kylmällä ilmalla suoritettavien poimintahakkuiden puunkorjaukset tulevat vaikeutumaan (Valkonen ym. 2010: 12). Tulevaisuus näyttää, miten luppojäkälien esiintyminen muuttuu metsälajisuhteiden ja metsiköiden rakenteiden muuttuessa ilmastonmuutoksen seurauksena.

Metsätalouden suunnitteluvaiheessa tulisi pyrkiä mahdollisimman hyvään lopputulokseen kaikkien toimijoiden kannalta. Metsien eri käyttömuotoja yhdisteltäessä ja suunniteltaessa tulee muistaa, että hakkuurajoitukset luovat taloudellisia menetyksiä metsätaloudelle (Rytönen ym. 2013). Hakkuurajoitukset voivat aiheuttaa sen, että metsätaloudessa joudutaan käsittelemään laajempaa aluetta, saadakseen saman puumäärän. Metsänkäsittelyalueiden suurentuessa tieverkostojen määrää jouduttaisiin luultavasti lisäämään, ja tälläkin on vaikutuksia porotalouteen. Tukiin ja verotuksiin tulisi kiinnittää huomioita, jotta yhteiskunnan kannalta paras metsätalousmenetelmä olisi myös yksityismetsänomistajalle kannattavinta (Pukkala ym. 2011: 132).

Taloudellisten seuraamusten analysointi ja optimointimallien kehittäminen olisi tärkeää jatkuvan kasvatuksen aiheuttaman muuttuneen puutavarasaannin jälkeen (Hortskotte ym. 2011). Kumpula ym. (2015) esittävät eri alojen tutkimustiedon yhdistämistä laajaksi ratkaistavaksi optimointimalliksi, joilla voitaisiin laskea biologisten ja elinkeinojen toimintaan ja

talouteen liittyvien tekijöiden keskinäisiä vaikutuksia luonnonvarojen hyödyntämisessä. Paikkatietojärjestelmät voisivat tarjota ratkaisuja alueiden käytön ongelmiin, sillä ne tuottavat hyödyllisiä työkaluja maankäytön suunnitteluun laajoilla maantieteellisillä alueilla (Kivinen ym. 2010: 274–275). Järvenpää (2018: 28) ehdottaa poropaikkatiedon, niin sanotun POROGIS-aineiston, hyödyntämisen alueiden monikäytön ongelmien ratkaisemiseen, mihin päivitetäisiin muun muassa porojen tärkeät vasonta- ja laidunalueet, kulkureitit ja aidat. Metsätalouden ja muun maankäytön suunnittelijat voisivat hyödyntää näitä aineistoja tehdessään maankäyttöön liittyviä suunnitelmia. Porojen GPS-pantojen yleistyminen voisi tulevaisuudessa tuoda tähän lisän, jolloin porojen liikkumista voitaisiin seurata paremmin. Turunen ym. (2019) ovat ehdottaneet eräänlaisen konsultaatiojärjestelmän perustamista, missä puolueettomat toimijat voisivat tehdä objektiivisia metsienkäytön ratkaisuja. Ratkaisuissa otettaisiin huomioon niin ekologiset kuin taloudellisetkin intressit, sekä sosiopoliittiset tekijät, joita ovat esimerkiksi alkuperäiskansojen tarpeet (Hortskotte ym. 2011).

Jatkuvan metsänkasvatuksen menetelmien esittelyn ja käyttöönoton lisäksi muitakin kehitysaskelaita kohti kestävämpiä metsätalousmenetelmiä on otettu, kun Metsähallitus on luopunut aurauksen käyttämisestä maanmuokkausmenetelmänä kokonaan (Kivinen ym. 2010). Näiden muutosten myötä valtion metsien ja poronhoidon suhteet ovat parantuneet viime vuosikymmenten aikana, ja Metsähallitus käyttää nykyään vuorovaikutteisempaa lähestymistapaa metsätalouden suunnitteluun poronhoitoalueella. Valtion mailla on käytössä metsäsertifikaatteja (esim. PEFC ja FSC), joiden avulla myös porotalouden toimintaa turvataan metsätalousalueilla (PEFC-metsäsertifioinnin kriteerit 2014). Vaikka valtion metsissä kehitys on ollut hyvää, tulisi myös yksityismetsien ja muun metsienkäytön kannattavuuden ja suhteiden parantamiseen kiinnittää huomiota.

8.2 Jatkuva kasvatusta osana metsien monikäyttöä

Metsätaloudessa jatkuvaan kasvatukseen siirtymisellä ja loppojäkälän ylläpitämisellä voitaisiin edistää porotalouden lisäksi muitakin metsän tarjoamia hyötyjä, kuten luonnon monimuotoisuutta ja ekosysteemipalveluiden tarjontaa (Miina ym. 2020; Valkonen 2020: 115). Miinan ym. (2020) mukaan merkittävin ero jatkuvassa kasvatuksessa verrattuna tasaikäismetsänkasvatukseen ovat sen tuottamat useammat ekosysteemipalvelut. Jatkuvan kasvatuksen metsät ylläpitävät enemmän ekologisia käytäviä eri eliöille, ja niissä voi olla pienempi riski laajoille

metsätuhoille (Pukkala ym. 2011). Myös luppojäkälät ovat merkittävässä asemassa porotalouden lisäksi metsien ekologiassa, sillä ne lisäävät luonnon monimuotoisuutta ja voivat toimia esimerkiksi muiden lajien habitaatteina tai pesintämateriaaleina (Galloway 1992).

On ilmeistä, ettei kaikkien ekosysteemipalveluiden tuotantoa pystytä maksimoimaan saman metsikön sisällä (Miina ym. 2020: 12). Jatkuva kasvatus ei voi yksissään tarjota kaikkien ekosysteemipalveluiden tuotantoa ja luonnon monimuotoisuuden ylläpitoa, mutta se on tärkeä osa kohti kestävämpää metsätaloutta. Metsätalousmenetelmiä valittaessa tulisi pitää mielessä metsän käyttötarkoitus, ja kussakin metsikössä olisi järkevää keskittyä tuottamaan sellaisia palveluita, joiden tuottamiseen kyseinen metsikkö soveltuu parhaiten (Peura ym. 2018: 11). Siksi metsänkäsittelymenetelmiä tulisi vaihdella monipuolisesti, sillä mikään yksi menetelmä ei voi soveltua kaikkiin tarkoituksiin (Äijälä ym. 2019). Joillain alueilla myös avohakkuu voi olla sopivin menetelmä, mutta tällöinkin alueiden muu käyttö, kuten poronhoito, tulisi ottaa huomioon (Armleder & Stevenson 1994). Luonnon monimuotoisuuden aleneminen ja ilmastonmuutos vaativat metsien ekonomisten mallien monipuolistamista, ja jatkuvan kasvatuksen mallien kehittäminen on tässä avain asemassa (Tahvonen & Rämö 2016: 900). Metsätalouden monipuolistaminen eri menetelmillä on kustannustehokas tapa lisätä ekosysteemipalveluiden tuotantoa ja luonnon monimuotoisuutta (Miina ym. 2020). Jatkuva kasvatus on tosin tasaikäiskasvatusta monimutkaisempaa, ja mallien luominen menetelmille on siksi haastavaa (Tahvonen & Rämö 2016). Tämän takia jatkuvan kasvatuksen mallien ja menetelmien optimoinnille on vielä runsaasti tarvetta, ja koko alan tutkimusta on kehitettävä.

Koska Pukkala ym. (2011: 132) esittävät, että jatkuva kasvatus on metsien kaikkien hyötyjen huomioon ottaen paras vaihtoehto, tulisi tukipolitiikan ja ohjeistuksen edistää jatkuvan kasvatuksen laajaa käyttöönottoa. Pukkala ym. (2011: 106–116) huomauttavat, ettei jatkuvassa kasvatuksessa mahdollisesti menetettyä puun hintaa kohti tarvita montaakaan ruokasientä tai marjalittraa, jotta luonnontuotteiden arvo olisi suurempi kuin puuntuotannon arvo. Myös virkistyskäytöllisesti jatkuva kasvatus on suotuisa menetelmä, ja jatkuvan kasvatuksen hakkuut koetaan maisemallisesti paremmiksi kuin esimerkiksi avohakkuut (Pukkala ym. 2011: 106–116). Toisaalta myös sopivasti sijoitetut pienaukot voivat avata matkailijoiden ja virkistyskäyttäjien toivomia kaukonäkymiä.

Riippumatta siitä, mihin Suomen metsiä tulevaisuudessa käytetään, on ekologisesti, sosiaalisesti ja taloudellisesti kannattavaa alkaa suosimaan monikäyttömetsiä (Pukkala 2011: 185–186). Näin on mahdollista tuottaa muiden hyötyvaikutusten (ks. Miina ym. 2020) kanssa

samanaikaisesti puuta, jota tarpeen mukaan voitaisiin käyttää mihin tarkoitukseen tahansa. Suomen metsäala tulee muuttumaan tulevaisuudessa merkittävästi (Kansallinen metsästrategia 2025 2015), joten metsien käsittely ja käyttö sekä niistä saatava hyvinvointi tulee siitäkin syystä monipuolistumaan. Uudet investoinnit tulevat lisäämään puun kysyntää tulevaisuudessa ja edistämään yhteiskunnan siirtymistä uusiutuvien raaka-aineiden käyttöön. Samalla metsäalan palveluiden ja luonnontuotealan kysynnän odotetaan kasvavan.

Boreaalisten metsien rooli maailman hiilitaseesta on suuri, sillä ne ylläpitävät noin kolmasosan maailman hiilivarastoista (Bradshaw & Warkentin 2015). Avohakkuiden ja maanmuokkausten jälkeen hiilen vapautuminen ilmakehään nopeutuu, mutta jatkuvan kasvatuksen hakkuissa nämä toimet suurimmaksi osaksi vältetään (Valkonen ym. 2010; Äijälä ym. 2019). Jatkuvan kasvatuksen vaikutuksista hiilensidontaan on silti vielä vähän tietoa, ja tutkimusta kaivattaisiin lisää (Äijälä ym. 2019: 41). Joka tapauksessa monipuoliset, elinvoimaiset, metsät pystyvät sopeutumaan muuttuvaan ilmastoon parhaiten, ja myös siksi jatkuvan kasvatuksen metsien laajempaa käyttöönottoa tulisi edistää (Saaristo & Vanhatalo 2016: 12).

10 Yhteenveto ja johtopäätökset

Tämän pro gradu -tutkielman lähtökohtana oli tarve metsä- ja porotalouden yhteensovittamisen parantamiselle poronhoitoalueella. Ongelmia kahden elinkeinon välillä on syntynyt siitä syystä, että metsä- ja porotalous käyttävät osittain samoja resursseja, ja metsätalous vähentää porojen käyttämän talviravinnon, erityisesti luppojäkälän, määrää. Luppojäkälät ovat kärsineet varsinkin metsien nuorentumisesta. Jatkuvan metsänkasvatuksen menetelmien on osoitettu olevan varteenotettava vaihtoehto metsienkäytön yhdistämisessä. Jotta metsä- ja porotalous saataisiin toimimaan samalla alueella, on tärkeää tutkia, voiko porojen talviravinnoksi käyttämät luppojäkälät kasvaa tehokkaasti jatkuvan kasvatuksen metsissä uudelleen metsätaloustoimenpiteiden jälkeen. Lisäksi on tärkeää tietää, mitkä asiat luppojäkälän kasvuun vaikuttavat, ja mitä asioita metsienkäyttöä suunniteltaessa monikäyttömetsissä tulee ottaa huomioon.

Tässä pro gradu -tutkielmassa selvitettiin luppojäkälän esiintymiseen vaikuttavia tekijöitä jatkuvan kasvatuksen metsissä Lapissa. Metsät oli hakattu kokeiluhakkuina Metsähallituksen toimesta vuosina 1985–2007, ja menetelminä oli käytetty pienaukko- ja poimintahakkuita. Aineisto kerättiin vuosina 2019 ja 2020, ja siihen kuului 28 metsikköä. Metsiköt koostuivat kolmesta koealasta, joista mitattiin puusto- ja kasvillisuustiedot, ja 934 puusta arvioitiin

luppojäkälän määrä kolmessa eri korkeusvyöhykkeessä (<2, 2-5 ja >5 m). Aineisto analysoitiin R-ohjelmistolla, ja siinä hyödynnettiin yleistettyä lineaarista sekamallia (GLMM), jolla luotiin kolme mallia: luppojäkälän todennäköisyys esiintyä ainakin vähän, runsaasti ja hyvin runsaasti. Analyysissä testattiin 37 muuttujaa, joiden lisäksi alueen, puulajin, hakkuutavan ja rungon osan vaikutukset sekä kahdenkeskiset yhdysvaikutukset testattiin.

Tämän pro gradu -tutkielman tulokset antavat työkaluja siihen, miten porojen talviraivintoa, luppojäkälää, voitaisiin ylläpitää paremmin metsätalousalueilla. Tutkielma helpottaa metsätalouden suunnittelemista siten, että metsien monikäyttö ja metsä- ja porotalouden yhteensovittaminen olisi helpompaa. Tulokset antavat lisäksi merkittävää ja kaivattua ajankoh- taista tietoa jatkuvan kasvatuksen vaikutuksista luppojäkäliin. Tulosten mukaan luppojäkälän esiintymiseen jatkuvan kasvatuksen metsissä vaikuttivat merkittävimmin hakkuista kuluneiden vuosien määrä, puun iästä kertova rungon paksuus ja metsikön tiheyttä indikoiva pohjapinta- ala, jotka kasvattivat luppojäkälän esiintymisen todennäköisyyttä. Lisäksi metsikön kuivuutta indikoiva maajäkälän peittävyys vähensi luppojäkälän esiintymisen todennäköisyyttä. Suurin todennäköisyys luppojäkälän esiintymiselle puulajeittain havaittiin kuudessa, ja alueittain suu- rin todennäköisyys luppojäkälille saavutettiin Etelä- ja Länsi-Lapissa. Hakkuutavoista pienauk- kohakkuu ylläpiti luppojäkälää hieman poimintahakkuista paremmin ainakin Etelä- ja Länsi- Lapissa, mutta koska metsät ovat Lapissa luonnostaankin harvoja, ovat erot kahden eri mene- telmän välillä häilyviä. Suurin todennäköisyys luppojäkälän esiintymiselle ainakin vähän saa- vutettiin alimmalla ja keskimmaisella (<2 m ja 2–5 m) rungon osalla, mutta runsaimmat määrät luppojäkälää esiintyi rungon keskimmaisella osalla (2–5 m). Lisäksi tuloksissa havaittiin vaih- teluita alueellisesti, sekä puulajin, hakkuutavan ja rungon osan mukaan.

Metsä- ja porotalouden yhteensovittamiseksi Lapin talousmetsissä tulisi pyrkiä sääs- tämään suuria puita, mikä on tärkeää, sillä jatkuvan kasvatuksen menetelmillä tämä ei itsestään toteudu. Tämän lisäksi metsikön pohjapinta-alaa tulisi pitää mahdollisimman korkeana, sillä se lisää luppojäkälän kasvupaikkojen saatavuutta. Hakkuukierron pitäminen mahdollisimman pit- känä olisi luppojäkälän ylläpidolle suotuisaa, jotta metsikkö ja puusto ehtisivät vanhentua lup- pojäkälille sopivimmiksi. Mutta koska jatkuvan kasvatuksen lähtökohdaksi ovat suhteellisen ly- hyet hakkuukierrat, tulisi luppojäkälän menestymistä talousmetsissä ylläpitää muilla keinoilla, kuten suurten puiden ja jäkälärikkaimpien metsiköiden säästämällä. Erityisen tärkeää olisi säilyttää jäkälärikkaita metsiköitä lähellä hakkuista, jotta luppojäkälän leviäminen nuoriin met- siköihin olisi mahdollista.

Sellaisissa monikäyttömetsissä, missä metsä- ja porotalous yhdistyvät, pitäisi jo suunnitteluvaiheessa huomioida poroille tärkeät alueet, ja säästää merkittävät laidunalueet hakkuilta. Lisäksi porojen pääsy tärkeille laidunalueille tulisi turvata. Vaikka jatkuvan kasvatuksen avulla saataisiinkin metsä- ja porotalouden yhdistämistä helpotettua, tulee muistaa, että hakkuurajoitukset luovat aina taloudellisia menetyksiä metsätaloudelle. Siksi muutokset tukipolitiikassa tai verotuksessa tulisi olla sellaisia, että jatkuvan kasvatuksen menetelmien käyttäminen olisi taloudellisesti kannattavaa. Jotta tähän päästäisiin, olisi tärkeää tutkia jatkuvaa kasvatusta enemmän ja luoda taloudellisia optimointimalleja.

Jatkuvan kasvatuksen ja metsien käyttömuotojen yhteensovittamisen tutkimukselle on vielä runsaasti tarvetta. Tämän pro gradu -tutkielman tuloksia olisi relevanttia verrata luonnon-tilaisten metsiköiden sisältämään luppojäkälän määrään, ja selvittää, miten eri alueet eroavat luppojäkälän määrässä. Koska pro gradu -tutkielma on niin rajattu, tässä tutkielmassa on käsitelty metsien monikäyttöä vain metsä- ja porotalouden näkökulmasta. Olisi silti erittäin tärkeää tutkia aihetta ja jatkuvaa kasvatusta myös muun metsien käytön, kuten matkailun tai luonnon-tuotealan, näkökulmasta. Suomessa ei myöskään ole ollut systemaattisesti mitattuja, pitkään jatkuvapeitteisenä säilytettyjä, talousmetsiä, mutta Luonnonvarakeskus ja Metsähallitus ovat viime vuosien aikana perustaneet muutamia tutkimusalueita nimenomaan jatkuvan kasvatuksen tutkimuskäyttöön (Luke on aloittanut metsänkäsittelymenetelmiä... 2020; Työ vasta alussa: Metsähallitus jatkaa... 2021). Tämä on hyvä askel eteenpäin jatkuvan kasvatuksen tutkimuksessa Suomessa.

Vaikka jatkuva kasvatusta on monien metsienkäyttömuotojen suhteen erittäin toimiva menetelmä, tulisi metsänkäsittelymenetelmä valita sen mukaan, mihin kyseinen metsikkö parhaiten soveltuu. Eri metsänkäsittelymenetelmien vaihtelu on tärkeää, sillä mikään yksi menetelmä ei voi toimia kaikkialla ja kaikkia metsänkäsittelytavoitteita ajatellen. Joka tapauksessa sellainen kehitys yhteiskunnassa, missä talous ei olisikaan ensisijainen lähtökohta metsienkäytön suunnittelulle, olisi metsien monikäytön ja luonnon monimuotoisuuden ylläpitämiseksi ihanteellisin.

11 Lähteet

- Ackzell, L. (1994). Natural regeneration on planted clear-cuts in Boreal Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research* 9(1–4), 245–250.
- Ahti, T., Hämet -Ahti, L. & Jalas, J. (1968). Vegetation zones and their sections in northwestern Europe. *Annales Botanici Fennici* 5: 169–211.
- Akujärvi, A., Hallikainen, V., Hyppönen, M., Mattila, E., Mikkola K. & Rautio, P. (2014). Effects of reindeer grazing and forestry on ground lichens in Finnish Lapland. *Silva Fennica* 48(3). <http://dx.doi.org/10.14214/sf.1153>
- Appelroth, E., Heikinheimo, O., Kalela, E. K., Latakari, E., Lindfors J. & Sarvas R. (1948). Julkilausuma. *Metsätaloudellinen Aikakauslehti* 11, 315–316.
- Armleder, H. M. & Stevenson, S. K. (1994). Using Alternative Silvicultural Systems to Integrate Mountain Caribou and Timber Management in British Columbia. *Rangifer* 16(4) 141–148.
- Armstrong, R. A. (2015). The Influence of Environmental Factors on the Growth of Lichens in the Field. *Recent advances in lichenology: Modern methods and approaches in biomonitoring and bioprospection, volume 1*, 1–18.
- Autio, J. & Heikkinen, O. (2002). The climate of northern Finland. *FENNIA* 180(1–2) 61–66.
- Boudreault, C., Coxson, D., Bergeron, Y., Stevenson S. & Bouchard M. (2013). Do forests treated by partial cutting provide growth conditions similar to old-growth forests for epiphytic lichens? *Biological Conservation* 159 458–467.
- Bradshaw, C. J. A. & Warkentin I. G. (2015). Global estimates of boreal forest carbon stocks and flux. *Global and Planetary Change* 128 24–30.
- Browne W., Subramanian, S., Jones, K. & Goldstein, H. (2005). Variance partitioning in multilevel logistic models that exhibit overdispersion. *Journal of the Royal Statistical Society* 168 599–613.
- Büdel, B. & Scheidegger, C. (1996). Thallus Morphology and Anatomy. Teoksessa Nash, T. H., (toim.) *Lichen biology*. Cambridge University Press, New York.
- Campbell, J. & Coxson, D. (2001). Canopy microclimate and arboreal lichen loading in subalpine spruce-fir forest. *Canadian Journal of Botany* 79(5) 537–555. NRC Research Press, Ottawa.
- Castro, A. P. & Nielsen, E. (2001). Indigenous people and co-management: implications for conflict management. *Environmental Science & Policy* 4(4) 229–239.

- Coxson, D. S. & Coyle, M. (2003). Niche partitioning and photosynthetic response of alectorioid lichens from subalpine spruce–fir forest in North-Central British Columbia, Canada: the role of canopy microclimate gradients. *The Lichenologist* 35(2), 157–175.
- Coxson, D., Stevenson, S. & Campbell, J. (2003). Short-term impacts of partial cutting on lichen retention and canopy microclimate in an Engelmann spruce -- subalpine fir forest in north-central British Columbia. *Canadian Journal of Forest Research* 33(5) 830–841.
- Dettki, H. & Esseen, P. (1998). Epiphytic macrolichens in managed and natural forest landscapes: A comparison at two spatial scales. *Ecography* 21(6) 613–624.
- Dettki, H. & Esseen, P. (2003). Modelling long-term effects of forest management on epiphytic lichens in northern Sweden. *Forest Ecology and Management* 175(1) 223–238.
- Dettki, H., Klintberg, P. & Esseen, P. (2000). Are epiphytic lichens in young forests limited by local dispersal? *Écoscience* 7(3) 317–325.
- Esseen, P., Ekström, M., Westerlund, B., Palmqvist, K., Jonsson, B. G., Grafström, A. & Ståhl, G. (2016). Broad-scale distribution of epiphytic hair lichens correlates more with climate and nitrogen deposition than with forest structure. *Canadian Journal of Forest Research* 46(11) 1348–1358.
- Esseen, P. (2006). Edge influence on the old-growth forest indicator lichen *Alectoria sarmentosa* in natural ecotones. *Journal of Vegetation Science* 17(2) 185–194.
- Esseen, P., Ehnström, B., Ericson, L. & Sjöberg K. (1997). Boreal Forests. *Ecological Bulletins* 46, 16–47.
- Esseen, P. & Renhorn, K. (1998). Edge Effects on an Epiphytic Lichen in Fragmented Forests. *Conservation Biology* 12: 6, 1307–1317.
- Esseen, P., Renhorn, K. & Pettersson, R. B. (1996). Epiphytic Lichen Biomass in Managed and Old-Growth Boreal Forests: Effect of Branch Quality. *Ecological Applications* 6(1) 228–238.
- Fawcett, T. (2006). An Introduction to ROC Analysis. *Pattern Recognition Letters*. 27(8) 861–874.
- Forsman, L., Outa-Pulkkinen, P., Salo-Kauppinen, R., Söderkultalahti, P. & Torvelainen, J. (2019). *Ruoka- ja luonnonvaratilastojen e-vuosikirja 2019: Tilastoja maataloudesta, metsäsektorilta sekä kala- ja riistataloudesta*. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus, 86.
- Fox, J. (2003). Effect Displays in R for Generalised Linear Models. *Journal of Statistical Software*, 8(15) 1–27.

- Fox, J & Weisberg, S. (2019). *An R Companion to Applied Regression*, 3rd Edition. SAGE Publishing. Thousand Oaks, Los Angeles.
- Galloway, D. J. (1992). Biodiversity: a lichenological perspective. *Biodiversity & Conservation* 1(4), 312–323.
- Gordon, I., Hester, A. & Festa-Bianchet M. (2004). REVIEW: The management of wild large herbivores to meet economic, conservation and environmental objectives. *Journal of Applied Ecology* 4, 1021–1031.
- Haila, Y. (1999). Islands and Fragments. Teoksessa Hunter, M. L. J. (toim.) *Maintaining biodiversity in forest ecosystems*, 234–265. Cambridge University Press, Cambridge.
- Hallikainen, V., Hökkä, H., Hyppönen, M., Rautio, P. & Valkonen, S. (2019). Natural regeneration after gap cutting in Scots pine stands in northern Finland. *Scandinavian Journal of Forest Research* 34(2) 115–125.
- Hallikainen, V. & Repola, J. Maastomittaukset / pienaukot ja poimintahakkuut.
- Halonen, P. (2011a). Viherlupot. Teoksessa Stenroos, S., T. Ahti, K. Lohtander & L. Mylly (toim.) *Suomen jäkäläopas*, 43–55. Kasvimuseo, Luonnontieteellinen keskusmuseo, Helsinki.
- Halonen, P. (2011b). Naavat. Teoksessa Stenroos, S., T. Ahti, K. Lohtander & L. Mylly (toim.) *Suomen jäkäläopas*, 474–485. Kasvimuseo, Luonnontieteellinen keskusmuseo, Helsinki.
- Heikkinen, O. (2005). Boreal Forests and Northern and Upper Timberlines. Teoksessa Seppälä, M. (toim.) *The physical geography of fennoscandia*, 185–200. Oxford University press, Eastbourne.
- Helle, T. (2005). Vanhojen metsien merkitys porotalouteen. *Poromies* 3, 19–20.
- Helle, T. & Saastamoinen, O. (1979). *The winter use of food resources of semi domestic reindeer in northern finland*. Metsäntutkimuslaitos, Helsinki.
- Helle, T. & Jaakkola, L. (2008). Transitions in Herd Management of Semi-Domesticated Reindeer in Northern Finland. *Annales Zoologici Fennici* 452(2) 81–101.
- Horstkotte, T., Moen, J., Lämås, T. & Helle T. (2011). The Legacy of Logging-Estimating Arboreal Lichen Occurrence in a Boreal Multiple-Use Landscape on a Two Century Scale. *PLOS ONE* 6(12). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0028779>
- Hosmer, D. W., Lemeshow, S. & Sturdivant, R. X. (2013). *Applied Logistic Regression*. 3 p. Wiley, New York.

- Hunter, M. L. J. (1999; toim.). *Maintaining biodiversity in forest ecosystems*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Huusko, U. (2015). Lapin metsäohjelma 2016–2020. Suomen Metsäkeskus, Lahti.
- Hyppönen, M. (2002). Lapin metsätalouden erityispiirteet. *Metsätieteen aikakauskirja* 4, 647–650.
- Ihalainen, A., Hirvelä, H., Mäki-Simola, E., Peltola, A., Sauvula-Seppälä, T., Torvelainen J.,...& Ylitalo E. (2019). Metsätilastot. Teoksessa Forsman, L., P. Outa-Pulkinen, R. Salo-Kauppinen, P. Soderkultalahti & J. Torvelainen (toim.) *Ruoka- ja luonnonvaratilastojen e-vuosikirja 2019: Tilastoja maataloudesta, metsäsektorilta ja kala- ja riistataloudesta* 44–79. Luonnonvarakeskus, Helsinki.
- Jaakkola, L. M., Helle, T. P., Soppela, J., Kuitunen, M. T. & Yrjönen, M. J. (2006). Effects of forest characteristics on the abundance of alectorioid lichens in northern Finland. *Canadian Journal of Forest Research* 36(11) 2955–2965.
- Jahns, H. M. (1996). *Sanikkaiset, sammalet, jäkälät*. Otava, Helsinki.
- Johansson, P. & Kujansuu, R. (2005; toim.) Pohjois-Suomen maaperä. Geologian tutkimuskeskus, Espoo.
- Jouslehto, M. (2020). Jatkuvan kasvatuksen hakkuut pienessä kasvussa - osuus silti vain pari prosenttia hakkuista. Maaseudun tulevaisuus 24.11.2020. <https://www.maaseuduntulevaisuus.fi/metsa/artikkeli-1.1248707>
- Juutinen, A. Ahtikoski A. & Rämö J. (2020). Puuntuotannon kannattavuuteen vaikuttavat tekijät jatkuvapeitteisessä metsänkasvatuksessa. *Metsätieteen aikakauskirja* 10313 <https://doi.org/10.14214/ma.10313>
- Järvenpää, J. (2018). *Poro ja poronhoito talousmetsissä*. Suomen Metsäkeskus. Oulu.
- Kalela, A. (1961). Waldvegetationszonen Finnlands und ihre klimatischen Paralleltypen. *Archivum Societatis Zoologicae Botanicae Fennicae* 16, 65–83.
- Kalliola, R. (1973). *Suomen kasvimaantiede*. WSOY, Porvoo.
- Kansallinen metsästrategia 2025* (2015). Valtioneuvoston periaatepäätös 12.2.2015. Maa- ja metsätalousministeriö 6/2015.
- Karlsson, A. (2015). Naava vai lупpo? Suomen Luonto 2/2015, 14.3.2021 <https://suomenluonto.fi/uutiset/viikon-laji-naava-ja-luppo/>

- Kaukonen, M., Eskola, T., Herukka I., Karppinen, H., Karvonen, L., Korhonen, I.,... & Ervola, A. (2011). *Metsähallitus Metsätalous Oy:n ympäristöopas*. 2.p. Metsähallitus Metsätalous Oy.
- Kivinen, S., Berg, A., Moen, J. Östlund, L. & Olofsson, J. (2012). Forest Fragmentation and Landscape Transformation in a Reindeer Husbandry Area in Sweden. *Environmental Management* 49(2) 295–304.
- Kivinen, S., Moen, J., Berg, A. & Eriksson, Å. (2010). Effects of Modern Forest Management on Winter Grazing Resources for Reindeer in Sweden. *Ambio* 39(4) 269–278.
- Kontula, T. & Raunio, A. (2018; toim.). *Suomen luontotyyppien uhanalaisuus 2018. Luontotyyppien punainen kirja. Osa 1: Tulokset ja arvioinnin perusteet*. Suomen ympäristökeskus ja ympäristöministeriö, Helsinki.
- Korhonen, K. T., Ihalainen, A., Ahola, A., Heikkinen, J., Henttonen, H. M., Hotanen, J.,... & Viiri, H. (2017). *Suomen metsät 2009–2013 ja niiden kehitys 1921–2013*. Luonnonvarakeskus (Luke), Helsinki.
- Korosuo, A., Sandström, P., Öhman, K. & Eriksson, L. O. (2014). Impacts of different forest management scenarios on forestry and reindeer husbandry. *Scandinavian Journal of Forest Research* 29, 234–251.
- Korsman K, Koistinen, T., Kohonen, J., Wennerström, M., Ekdahl, E., Honkamo, M.,... & Pekkala Y. (1997). *Suomen kallioperäkartta 1: 1 000 000*. Geologian tutkimuskeskus, Espoo.
- Kouki, J., Junninen, K., Mäkelä, K., Hokkanen, M., Aakala, T., Hallikainen, V.,... & Virkkala, R. (2018). Metsät. Teoksessa Kontula, T. & A. Raunio (toim.) *Suomen luontotyyppien uhanalaisuus 2018. luontotyyppien punainen kirja – osa 1: Tulokset ja arvioinnin perusteet*, 171–202. Suomen ympäristökeskus ja Ympäristöministeriö, Helsinki.
- Kulttuuria kartalla (2012). Valtion osarahoittamien kulttuuripalvelujen sijainti ja kulttuurin kustannukset Suomen kunnissa. Opetus- ja kulttuuriministeriön julkaisuja, 32.
- Kumpula, J. (2003). *Metsänkäsittelyjen vaikutukset porolaitumiin*. Kala- ja riistaraportteja 286.
- Kumpula, J., Siitari, J., Kurkilahti, M., Heikkinen, J. & Oinonen, K. (2019). Poronhoitoalueen talvilaitumet vuosien 2016–2018 laiduninventoinnissa. *Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus*, 29, 1–84.

- Kumpula, J., Pekkarinen, A., Tahvonen, O. & Rasmus, S. (2015). Poronhoidon tuottavuus ja ekonomia erilaisissa laidun- ja ympäristöolosuhteissa - yhteenveto tutkimushankkeesta. *Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus*, 68, 1–30.
- Kumpula, J., Tanskanen, A., Colpaert, A., Anttonen, M., Törmänen, H., Siitari, J. & Siitari S. (2009). *Poronhoitoalueen pohjoisosan talvilaitumet vuosina 2005–2008 – laidunten tilan muutokset 1990-luvun puolivälin jälkeen*. Riista- ja kalatalous: tutkimuksia, 3, 1–48.
- Kumpula, J., Colpaert, A., Nieminen, M. (2003). *Metsänkäsittelyjen ja lumiolosuhteiden vaikutus porojen laidunten käyttöön Ivalon paliskunnassa*. Kala- ja riistaraportteja, 271, 1–39.
- Kumpula, J., Colpaert, A. & Anttonen, M. (2007). Does forest harvesting and linear infrastructure change the usability value of pastureland for semi-domesticated reindeer (*Rangifer tarandus tarandus*)? *Annales Zoologici Fennici* 44(3) 161–178.
- Kumpula, J., Colpaert, A., Tanskanen, A., Anttonen, M., Törmänen, H. & Siitari, J. (2006). *Porolaidunten inventoinnin kehittäminen - Keski-Lapin paliskuntien laiduninventointi vuosina 2005–2006*. Kala- ja riistaraportteja, 397.
- Kumpula, J., Jokinen, M., Siitari, J. & Siitari, S. (2020). Talven 2019–2020 sää-, lumi- ja luonnonolosuhteiden poikkeuksellisuus ja vaikutukset poronhoitoon. *Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus*, 58, 1–57.
- Kuusinen, M. & Siitonen, J. (1998). Epiphytic lichen diversity in old-growth and managed *Picea abies* stands in southern Finland. *Journal of Vegetation Science* 9(2), 283–292.
- Köppen, W. (1936). Das Geographische System Der Klimate. Teoksessa Köppen, W. & Geiger, R. (toim.). *Hand-Buch Der Klimatogie* 1–44. Gebrüder Borntraeger Verlagsbuchhandlung, Berliini.
- Lappi lukuina* (2019). Lapin liitto, Rovaniemi. 3.5.2021. <https://lapinluotsi.fi/wp-content/uploads/2019/10/lappilukuina2019web.pdf>
- Lewis, D. (2004). *Arboreal lichens in natural and managed high elevation spruce-fir forests of the the north thompson valley, British Columbia*. Pro gradu -tutkielma. University College of the Cariboo, School of Resource and Environment Management. <https://core.ac.uk/download/pdf/56371847.pdf>
- Lidén, M., Pettersson, M., Bergsten, U. & T. Lundmark (2004). Artificial dispersal of endangered epiphytic lichens: a tool for conservation in boreal forest landscapes. *Biological Conservation* 118(4) 431–442.

- Lindborg, R. & Eriksson, O. (2004). Historical Landscape Connectivity Affects Present Plant Species Diversity. *Ecology* 85(7) 1840–1845.
- Lohtander, K. (2011). Mitä Jäkälät Ovat? Teoksessa Stenroos, S., Ahti, T., Lohtander K. & Myllys, L. (toim.) *Suomen jäkäläopas*, 13–15. Kasvimuseo, Luonnontieteellinen keskusmuseo, Helsinki.
- Lommi, S. (2011). Jäkäliden Elinympäristöt. Teoksessa Stenroos, S., Ahti, T., Lohtander, K. & Myllys, L. (toim.) *Suomen jäkäläopas*, 35–43. Kasvimuseo, Luonnontieteellinen keskusmuseo, Helsinki.
- Luke on aloittanut metsänkäsittelymenetelmiä vertailevan tutkimuksen Lapissa (2020). Luonnonvarakeskus, Helsinki. 22.4.2021. <https://www.luke.fi/uutinen/luke-on-aloittanut-metsankasittelymenetelmia-vertailevan-tutkimuksen-lapissa>
- Maa- ja metsätalousministeriön hallinnonala (2020). Maa- ja metsätalousministeriö, Helsinki. 7.5.2021. <https://mmm.fi/ministerio/hallinnonala>
- Miina, J., Tolvanen, A., Kumpula, J. & Tyrväinen, L. (2020). Metsien luonnontuotteet, virkistyskäyttö ja porolaitumet jatkuvapeitteisessä ja jaksollisessa kasvatuksessa. *Metsätieteen aikakauskirja*. <https://doi.org/10.14214/ma.10345>
- Metsälaki 12.12.1996/1093
- Moberg, A., Tuomenvirta, H. & Nordli, O. (2005). Recent Climatic Trends. Teoksessa Seppälä, M. (toim.) *The physical geography of fennoscandia*, 113–133. Oxford University press, Eastbourne.
- Myllys, L. (2011a). Jäkäliden Rakenne. Teoksessa Stenroos, S., Ahti, T., Lohtander, K. & Myllys, L. (toim.) *Suomen jäkäläopas*, 17–23. Kasvimuseo, Luonnontieteellinen keskusmuseo, Helsinki.
- Myllys, L. & V. (2011b). Tummalupot. Teoksessa Stenroos, S., Ahti, T., Lohtander, K. & Myllys, L. (toim.) *Suomen jäkäläopas*, 69–81. Kasvimuseo, Luonnontieteellinen keskusmuseo, Helsinki.
- Nash, T. H. III (2008; toim.). *Lichen biology*. 2. p. Cambridge University Press, Cambridge.
- Norokorpi, Y. (2021). Lukijalta: Tilastovirhe jatkuvasta kasvatuksesta. *Metsälehti*, Tapio Oy, Helsinki. 10.5.2021. <https://www.metsalehti.fi/lehti/artikkeli/lukijakysymys-tilastovirhe-jatkuvasta-kasvatuksesta>
- O'Hara, K. L. (2009). Multiaged silviculture in north america. *Journal of Forest Science* 55(9) 432-436.

- O'Neill, R. V., Milne, B. T., Turner, M. G. & Gardner, R. H. (1988). Resource utilization scales and landscape pattern. *Landscape Ecology* 2, 63–69.
- Oliver, C. D. & Larson, B. C. (1990). *Forest stand dynamics*. McGraw-Hill Book Company, New York.
- Opas poronhoidon tarkasteluun maankäyttöhankkeissa* (2014). Lapin Liitto & Paliskuntain yhdistys. Pohjolan Painotuote Oy, Rovaniemi.
- Paliskuntain yhdistys / Metsähallitus sopimus (2013). 10.5.2021. https://paliskunnat.fi/py/wp-content/uploads/2015/05/paliskuntain_yhdistys_metsahallitus_yhteistyosopimus.pdf
- Peel, M. C., Finlayson, B. L. & McMahon, T. A. (2007). Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrology and earth system sciences*, 11(5) 1633–1644.
- PEFC-metsäsertifioinnin kriteerit (2014). PEFC Suomi, Helsinki. 21.4.2021. <https://www.esitteemme.fi/pefc/MailView>
- Peltonen, L., Kangasoja, J., Luoma, E., Turunen J.-P. & Lahdenperä S. (2020). Saamelaisen kotiseutualan valtion metsien käytön ristiriidat ja ratkaisumahdollisuudet: Konfliktikartoitus. Metsähallitus, Helsinki.
- Peura, M., Burgas, D., Eyvindson, K., Repo, A. & Mönkkönen, M. (2018). Continuous cover forestry is a cost-efficient tool to increase multifunctionality of boreal production forests in Fennoscandia. *Biological Conservation* 217, 104–112.
- Pirinen, P., Simola, H., Aalto, J., Kaukoranta, J. P., Karlsson, P., & Ruuhela, R. (2012). *Tilastoja Suomen ilmastosta 1981–2010*. Ilmatieteen laitos, Helsinki.
- Pinta-alat kunnittain* (2021). Maanmittauslaitos, Helsinki. 25.2.2021. <https://www.maanmittauslaitos.fi/tietoa-maanmittauslaitoksesta/organisaatio/tilastot>
- Poimintahakkuut ja pienaukkohakkuut (2021). Metsä Forest, Helsinki. 21.4.2021. <https://www.metsaforest.com/fi/Metsanhoito/Pages/Poimintahakkuut-ja-pienaukkohakkuut.aspx>
- Poronhoitolaki 14.9.1990/848.
- Poronhoito suomessa (2020). Maa- ja metsätalousministeriö, Helsinki. 7.5.2021. https://mmm.fi/lisatietojaporonhoidosta?p_p_id=com_liferay_journal_content_web_portlet_JournalContentPortlet_INSTANCE_PZHKaIQlqJZ&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&com_liferay_journal_content_web_portlet_JournalContentPortlet_INSTANCE_PZHKaIQlqJZ_languageId=fi_FI

- Pukkala, T. (2006). Optimising the semi-continuous cover forestry of Finland. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung* 177(8–9) 141-149.
- Pukkala, T., Lähde, E. & Laiho, O. (2011). *Metsän jatkuva kasvatus*. Joen Forest Program Consulting, Joensuu.
- Pykälä, L., Jääskeläinen, K., Rämä, H., Launis, A., Vitikainen, O. & Puolasmaa, A. (2019). Jäkälät. Teoksessa Hyvärinen, E., Juslén, A., Kemppainen, E., Uddström, A. & Liukko U.-M. (toim.) *Suomen lajien uhanalaisuus: Punainen kirja 2019*, 263–312. Ympäristöministeriö & Suomen ympäristökeskus, Helsinki.
- Pääkkö, E., Mäkelä, K. Saikkonen, A. Tynys, S. Anttonen, M. Johansson, P.,... Väre, H. (2018). Tunturit. Teoksessa Kontula, T. & A. Raunio (toim.) *Suomen luontotyyppien uhanalaisuus 2018. luontotyyppien punainen kirja - osa I: Tulokset ja arvioinnin perusteet*, 255–308. Suomen ympäristökeskus & Ympäristöministeriö, Helsinki.
- Renhorn, K., Esseen, P., Palmqvist, K. & Sundberg, B. (1996). Growth and vitality of epiphytic lichens. *Oecologia* 109, 1–9.
- Rikkinen, J. (2010). *Jäkälät & sammalet*. Otavan Kirjapaino Oy, Keuruu.
- Robin, X., Turck, N., Hainard, A., Tiberti, N., Lisacek, F., Sanchez, J.-C. & Müller, M. (2011). pROC: an open-source package for R and S+ to analyze and compare ROC curves. *BMC Bioinformatics*, 12(77). <https://doi.org/10.1186/1471-2105-12-77>
- Rominger, E. M., Allen-Johnson, L. & Oldemeyer, J. L. (1994). Arboreal lichen in uncut and partially cut subalpine fir stands in woodland caribou habitat, northern Idaho and southeastern British Columbia. *Forest Ecology and Management* 70(1) 195-202.
- Rominger, E. M., Robbins, C. T. & Evans, M. A. (1996). Winter Foraging Ecology of Woodland Caribou in Northeastern Washington. *The Journal of Wildlife Management* 60(4) 719-728.
- Rytkönen, A., Saarikoski H., Kumpula, J., Hyppönen, M. & Hallikainen, V. (2013). *Metsätalouden ja poronhoidon väliset suhteet Ylä-Lapissa – synteesi tutkimustiedosta. Riista- ja kalatalous, tutkimuksia ja selvityksiä*, 6.
- Rämä, H. (2011). Jäkälät Ja Ihminen. Teoksessa Stenroos, S., Ahti, T., Lohtander, K. & Mylly, L. (toim.) *Suomen jäkäläopas*, 48–50. Kasvimuseo, Luonnontieteellinen keskusmuseo, Helsinki.
- Saaristo, L. & Vanhatalo, K. (2016; toim.). *Hyvän metsänhoidon suositukset - Talousmetsien luonnonhoito, työopas*. Metsäkustannus, Helsinki.

- Saastamoinen, O. (1982). Economics of multiple use forestry in Saariselkä forest and fell area. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 104, 1-102.
- Saastamoinen, O. (2015). Metsien monikäytöstä ekosysteemipalveluihin. Teoksessa Salo, K. (toim.) *Metsä. monikäyttö ja ekosysteemipalvelut*, 23–330. Luonnonvarakeskus, Helsinki.
- Salo, K. (2015; toim.). *Metsä: monikäyttö ja ekosysteemipalvelut*. Luonnonvarakeskus, Helsinki.
- Sandström, C., Moen, J., Widmark, C. & Danell, Ö. (2006). Progressing toward co-management through collaborative learning: forestry and reindeer husbandry in dialogue. *International Journal of Biodiversity Science & Management* 2(4) 326–333.
- Sandström, P., Cory, N., Svensson, J., Hedenås, H., Jougda, L. & Borchert, N. (2016). On the decline of ground lichen forests in the Swedish boreal landscape: Implications for reindeer husbandry and sustainable forest management. *Ambio* 45, 415–429.
- Sirén, M., Hyvönen, J. & Surakka, H. (2015). Tree Damage in Mechanized Uneven-aged Selection Cuttings. *Croatian Journal of Forest Engineering* 36(1), 33–42.
- Spies, T. A. & Turner, M. G. (1999). Dynamic Forest Mosaics. Teoksessa Hunter, M. L. J. (toim.) *Maintaining biodiversity in forest ecosystems*, 95–202. Cambridge University Press, Cambridge.
- Stenroos, S., Ahti, T., Lohtander, K. & Mylly, L. (2011; toim.). *Suomen jäkäläopas*. Kasvimuseo, Luonnontieteellinen keskusmuseo, Helsinki.
- Stevenson, S. K. (1988). *Dispersal and colonization of arboreal forage lichens in young forests*. British Columbia Ministry of Environment and British Columbia Ministry of Forests. Victoria, Brittiläinen Kolumbia.
- Stevenson, S. K. & Coxson, D. S. (2004). *Short-term effects of partial cutting on arboreal forage lichens at Pinkerton mountain*. Forest Research Update, 3. Silvifauna Research & Biology Program, University of Northern British Columbia, Prince George.
- Stevenson, S. K. & Coxson, D. S. (2006). Arboreal forage lichens in partial cuts - a synthesis of research results from British Columbia, Canada. *Rangifer Special Issue* 17, 155–165.
- Stevenson, S. K. & Coxson, D. S. (2003). Litterfall, growth, and turnover of arboreal lichens after partial cutting in an Engelmann spruce – subalpine fir forest in North-Central British Columbia. *Canadian Journal of Forest Research* 33(12) 2306–2320.

- Stevenson, S., Child, K., Watts, G. & Terry, E. (2001). The Mountain Caribou in Managed Forests Program: Integrating forestry and habitat management in British Columbia. *Rangifer Special Issue* 11(7) 130–136.
- Stone, I., Ouellet, J., Sirois, L., Arseneau, M. & St-Laurent, M. (2008). Impacts of silvicultural treatments on arboreal lichen biomass in balsam fir stands on Québec's Gaspé Peninsula: Implications for a relict caribou herd. *Forest Ecology and Management* 255(7) 2733–2742.
- SVT 2017 = *Suomen virallinen tilasto*, Väestön ennakkotilasto. ennakkoväkiluku ja väestönlisäys maakunnittain 2017. Tilastokeskus, Helsinki 2018. 25.1.2021. https://www.stat.fi/til/vamuu/2017/12/vamuu_2017_12_2018-02-15_tau_001_fi.html
- Tahvonen, O. & Rämö, J. (2016). Optimality of continuous cover vs. clear-cut regimes in managing forest resources. *Canadian Journal of Forest Research* 46(7) 891–901.
- Talvien lumesta ja lumisuudesta (2020). Ilmatieteenlaitos, Helsinki. 20.4.2021. <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/lumitilastot>
- Tikkanen, M. (2005). Climate. Teoksessa Seppälä, M. (toim.) *The physical geography of Fennoscandia*, 113–133. Oxford University press, Eastbourne.
- Turunen, M. & Vuojala-Magga, T. (2011). *Poron ravinto ja talvinen lisäruokinta muuttuvassa ilmastossa*. Arktisen keskuksen tiedotteita, 56.
- Turunen, M. T., Rasmus, S., Järvenpää, J. & Kivinen, S. (2020). Relations between forestry and reindeer husbandry in northern Finland – perspectives of science and practice. *Forest Ecology and Management* 457(117677) 1–22. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.117677>
- Työ vasta alussa: Metsähallitus jatkaa jatkuvan kasvatuksen seurantaa ja tutkimusta (2021). Metsähallitus, Helsinki. 22.04.2021. <https://www.metsa.fi/tiedotteet/tyo-vasta-alussa-metsahallitus-jatkaa-jatkuvan-kasvatuksen-seurantaa-ja-tutkimusta>
- Valkeapää, A., Paloniemi, R., Vainio, A., Helkama, K., Karppinen, H., Kuuluvainen, J.,... & Vehkalahti, K. (2009). *Suomen metsät ja metsäpolitiikka - kansalaisten näkemyksiä*. Helsingin yliopisto, Metsäekonomian laitos, Tutkimusraportteja, 55.
- Valkonen, S. (2020). *Metsän jatkuvasta kasvatuksesta*. Metsäkustannus, Helsinki.
- Valkonen, S., Sirén, M. & Piri, T. (2010). *Poiminta- ja pienaukkohakkuut*. Metsäkustannus Oy, Tampere.

- Valkonen, S., Koskinen, K., Mäkinen, J. & Vanha-Majamaa, I. (2011). Natural regeneration in patch clear-cutting in *Picea abies* stands in Southern Finland. *Scandinavian Journal of Forest Research* 26(6) 530–542.
- Valkonen, S. & Siitonen, J. (2016). Tree regeneration in patch cutting in Norway spruce stands in northern Finland. *Scandinavian Journal of Forest Research* 31(3) 271–278.
- Venables, W. N. & Ripley, B. D. (2002). *Modern Applied Statistics with S*. 4 p. Springer, New York.
- Vuokila, Y., Isomäki, A., Niemistö, P., Varmola, M., Mielikäinen, K., Gustavsen, H.,... & Veijalainen, H. (1987). *Metsikkökokeiden maastotyöohjeet*. Metsäntutkimuslaitos, Helsinki.
- Vuokko, S. (2005). *Metsien yleiset kasvit*. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio, Helsinki.
- Waterhouse, M., Armleder, H. M. & Nemeč, A. F. L. (2007). Arboreal forage lichen response to partial cutting of high elevation mountain caribou range in the Quesnel Highland of eastcentral British Columbia. *Rangifer* 27(17) 141–153.
- Yhdyskuntarakenne - lappi. (2019). Lapin ELY-keskus, Rovaniemi. 10.5.2021. [https://www.ymparisto.fi/fi//FI/Elinymparisto_ja_kaavoitus/Yhdyskuntarakenne/Yhdyskuntarakenne__Lappi\(28061](https://www.ymparisto.fi/fi//FI/Elinymparisto_ja_kaavoitus/Yhdyskuntarakenne/Yhdyskuntarakenne__Lappi(28061)
- Ylisirniö, A. & Hallikainen, V. (2018). Retention patches maintain diversity of epiphytic and epixylic indicator lichens more effectively than solitary trees. *Scandinavian Journal of Forest Research* 33(4) 320–331.
- Äijälä, O., Koistinen, A., Sved, J., Vanhatalo, K. & Väisänen, P. (2019; toim.). *Metsänhoidon suositukset*. Tapio Oy, Helsinki.

Liitteet

Liite 1. Käytetty R-koodi

```
library(foreign)
library(car)
library(nlme)
library(MASS)
library(nlme)
library(cplm)
library(lme4)
library(lmerTest)
library(lattice)
library(lsmeans)
library(effects)
library(glmmTMB)
library(gdata)
library(psych)
library(gplots)
library(piecewiseSEM)
library(MuMIn)
library(ordinal)
d2<-d[,c(1:5,7:35,61:119)] # Select variables
dat$L_luokka<-factor(dat$Luppoluokka)
# Data transformations
dat$L_luokka<-factor(dat$Luppoluokka)
dat$Stand<-factor(dat$Koeavain)
dat$Plot<-factor(dat$Koeala)
dat$Tree<-factor(dat$Puunro)
dat$L_level1<-ifelse(dat$Luppoluokka>0,1,0)
dat$L_level2<-ifelse(dat$Luppoluokka>1,1,0)
dat$L_level3<-ifelse(dat$Luppoluokka>2,1,0)
dat$Region<-factor(dat$Region,labels=c("Northern","Eastern","Southern, western"))
dat$rosa<-factor(dat$Luppopuu_korkeus) #rosa = rungonosa
dat$shakkuutapa<-factor(dat$shakkuutapa,labels=c("pienaukko","poiminta"))
pl<-recode(dat$Puulaji,"1=1;2=2;3:100=3")
dat$Plaji<-factor(pl,labels=c("mänty","kuusi","lepu"))
mydat<-drop.levels(subset(dat,L_luokka=="0"|L_luokka=="1"|L_luokka=="2"|L_luokka=="3"))
# Binomial logistic models, different models for the categories of the response variable (>0, >1, >2)
```

```

sd<-na.omit(dat[,c("Stand","Plot","Tree","L_luokka","D1.3_ka","rosa","G2019","Re-
gion","L_level2","L_level1","L_level3","N2009","avg_kk_mustikka","puulaji","Vhak-
kuusta","Etäisyys_cm","H_dm","X2xkuori_mm","AVG_PK_jakalat","AVG_PK_muut_sam-
malet","avg_PK_kanto_maa_ja_pystypuu","avg_PK_karike_laho_maapuu","avg_PK_pal-
jas_kivennaismaa","avg_kk_puolukka","avg_kk_variksenmarja","avg_kk_suo-
pursu","avg_kk_muut_putkilokasvit","avg_kk_hakkuutahteet","avg_hu-
mus_mm","avg_kk_juolukka","avg_PK_pintakivet","AVG_PK_rahkasamma-
let","avg_kk_vaivaiskoivu","avg_PK_paljas_humuspinta","avg_kk_kanerva","avg_kk_hei-
nat_sarat","avg_kivisyys_cm","tukki_lkm2009","tukki_lkm2014","N2019","Plaji","hakkuu-
tapa"))]
sd2<-droplevels(subset(sd,Luppopuu_korkeus==2))
fit1<-glmmPQL(L_level1 ~ rosa+Region+D1.3_ka+rosa:Region+Vhakkuusta+G2019+Re-
gion:G2019+Plaji+Plaji:rosa+AVG_PK_jakalat+hakkuutapa+Region:hakkuutapa,ran-
dom=~1|Stand/Plot/Tree,family="quasibinomial",data=mydat)
summary(fit1)
Anova(fit1,type="III")
fit2<-glmmPQL(L_level2 ~ rosa+Region+D1.3_ka+rosa:Region+rosa+Vhak-
kuusta+Plaji+Plaji:rosa+hakkuutapa+Region:hakkuutapa,random=~1|Stand/Plot/Tree,fa-
mily="quasibinomial",data=mydat) # >
summary(fit2)
Anova(fit2,type="III")
fit3<-glmmPQL(L_level3 ~ rosa+D1.3_ka+Plaji,random=~1|Stand/Plot/Tree,family="quasi-
binomial",data=mydat) # >2
summary(fit3)
Anova(fit3,type="III")
# Effects plots, with confidence intervals (95 %)
require(lattice)
axis.text<-trellis.par.get("par.axis.text")
par.ylab.text<-trellis.par.get("par.ylab.text")
par.xlab.text<-trellis.par.get("par.xlab.text")
add.line <- trellis.par.get("add.line")
axis.text$cex<-1
par.ylab.text$cex<-1.3
par.xlab.text$cex<-1.3
trellis.par.set("axis.text",axis.text)
trellis.par.set("par.ylab.text",par.ylab.text)
trellis.par.set("par.xlab.text",par.xlab.text)
#PLOT
#Vaihda fit oikeaksi (1,2 tai 3) ja tarvittaessa ylim=c(0,1) paremmaksi
plot(effect("rosa",fit3,confidence.level=0.95,transformation=list(link=logit,inverse=func-
tion(x) 1/(1+exp(-x))))),rescale.axis=FALSE,layout=c(3,1),main="",xlab="Rungon
osa",ylab="Lupon todennäköisyys",par.strip.text=list(cex=1.3),rug=FALSE,ylim=c(0,0.05),li-
nes=list(col=c("black","grey30")),lwd=c(2),symbols=list(pch=16,cex=1.5)) # Plot for rosa
plot(effect("D1.3_ka",fit2,confidence.level=0.95,transformation=list(link=logit,inverse=func-
tion(x) 1/(1+exp(-x))))),rescale.axis=FALSE,layout=c(1,1),main="",xlab="Puun paksuus,
mm.",ylab="Lupon todennäköisyys",par.strip.text=list(cex=1.3),rug=FALSE,ylim=c(0,0.6),li-
nes=list(col=c("black","grey30")),lwd=c(2),symbols=list(pch=16,cex=1.5)) # Plot for D1.3_ka

```



```

plot(effect("Region",fit2,confidence.level=0.95,transformation=list(link=logit,inverse=function(x) 1/(1+exp(-x))),rescale.axis=FALSE,layout=c(3,1),main="",xlab="Alue",ylab="Lupon todennäköisyys",par.strip.text=list(cex=1.3),rug=FALSE,ylim=c(0,0.2),lines=list(col=c("black","grey30")),lwd=c(2),symbols=list(pch=16,cex=1.5)) # Plot for Region
plot(effect("Vhakuusta",fit2,confidence.level=0.95,transformation=list(link=logit,inverse=function(x) 1/(1+exp(-x))),rescale.axis=FALSE,layout=c(1,1),main="",xlab="Vuotta hakuusta",ylab="Lupon todennäköisyys",par.strip.text=list(cex=1.3),rug=FALSE,ylim=c(0,0.8),lines=list(col=c("black","grey30")),lwd=c(2),symbols=list(pch=16,cex=1.5)) # Plot for Vhakuusta
plot(effect("G2019",fit1,confidence.level=0.95,transformation=list(link=logit,inverse=function(x) 1/(1+exp(-x))),rescale.axis=FALSE,layout=c(1,1),main="",xlab="Pohjapinta-ala 2019",ylab="Lupon todennäköisyys",par.strip.text=list(cex=1.3),rug=FALSE,ylim=c(0,1),lines=list(col=c("black","grey30")),lwd=c(2),symbols=list(pch=16,cex=1.5)) # Plot for G2019
plot(effect("Plaji",fit1,confidence.level=0.95,transformation=list(link=logit,inverse=function(x) 1/(1+exp(-x))),rescale.axis=FALSE,layout=c(1,1),main="",xlab="Puulaji",ylab="Lupon todennäköisyys",par.strip.text=list(cex=1.3),rug=FALSE,ylim=c(0,1),lines=list(col=c("black","grey30")),lwd=c(2),symbols=list(pch=16,cex=1.5)) # Plot for Plaji
plot(effect("AVG_PK_jakalat",fit1,confidence.level=0.95,transformation=list(link=logit,inverse=function(x) 1/(1+exp(-x))),rescale.axis=FALSE,layout=c(1,1),main="",xlab="Jäkälien peittävyys",ylab="Lupon todennäköisyys",par.strip.text=list(cex=1.3),rug=FALSE,ylim=c(0,1),lines=list(col=c("black","grey30")),lwd=c(2),symbols=list(pch=16,cex=1.5)) # Plot for AVG_PK_jakalat
plot(effect("hakuutapa",fit1,confidence.level=0.95,transformation=list(link=logit,inverse=function(x) 1/(1+exp(-x))),rescale.axis=FALSE,layout=c(1,1),main="",xlab="Hakuutapa",ylab="Lupon todennäköisyys",par.strip.text=list(cex=1.3),rug=FALSE,ylim=c(0,1),lines=list(col=c("black","grey30")),lwd=c(2),symbols=list(pch=16,cex=1.5),x.var="hakuutapa") # pienaukko ja poimintahakkuu
#Yhdysvaikutukset:
plot(effect("rosa:Region",fit2,confidence.level=0.95,transformation=list(link=logit,inverse=function(x) 1/(1+exp(-x))),rescale.axis=FALSE,layout=c(3,1),main="",xlab="Rungonosa:Alue",ylab="Lupon todennäköisyys",par.strip.text=list(cex=1.3),rug=FALSE,ylim=c(0,0.4),lines=list(col=c("black","grey30")),lwd=c(2),symbols=list(pch=16,cex=1.5)) # E.g. plot for the interaction rosa:Region
plot(effect("Region:G2019",fit1,confidence.level=0.95,transformation=list(link=logit,inverse=function(x) 1/(1+exp(-x))),rescale.axis=FALSE,layout=c(3,1),main="",xlab="Alue:Pohjapinta-ala",ylab="Lupon todennäköisyys",par.strip.text=list(cex=1.3),rug=FALSE,ylim=c(0,1),lines=list(col=c("black","grey30")),lwd=c(2),symbols=list(pch=16,cex=1.5)) # E.g. plot for the interaction Region:G2019
plot(effect("Region:G2019",fit1,confidence.level=0.95,transformation=list(link=logit,inverse=function(x) 1/(1+exp(-x))),rescale.axis=FALSE,layout=c(3,1),main="",xlab="Alue:Pohjapinta-ala",ylab="Lupon todennäköisyys",par.strip.text=list(cex=1.3),rug=FALSE,ylim=c(0,1),lines=list(col=c("black","grey30")),lwd=c(2),symbols=list(pch=16,cex=1.5)) # E.g. plot for the interaction Region:G2019

```

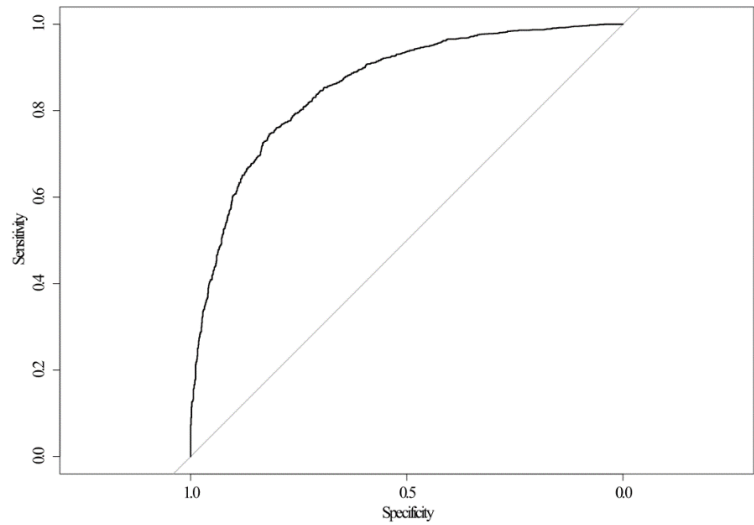
```

plot(effect("rosa:Plaji",fit2,confidence.level=0.95,transformation=list(link=logit,in-
verse=function(x) 1/(1+exp(-x))),rescale.axis=FALSE,layout=c(3,1),main="",xlab="Rungon
osa:Puulaji",ylab="Lupon todennäköi-
syys",par.strip.text=list(cex=1.3),rug=FALSE,ylim=c(0,1),li-
nes=list(col=c("black","grey30")),lwd=c(2),symbols=list(pch=16,cex=1.5)) # E.g. plot for the
interaction rosa:Plaji
plot(effect("Region:hakkuutapa",fit2,confidence.level=0.95,transformation=list(link=logit,in-
verse=function(x) 1/(1+exp(-x))),res-
cale.axis=FALSE,layout=c(3,1),main="",xlab="Alue:hakkuutapa",ylab="Lupon todennäköi-
syys",par.strip.text=list(cex=1.3),rug=FALSE,ylim=c(0,1),li-
nes=list(col=c("black","grey30")),lwd=c(2),symbols=list(pch=16,cex=1.5)) # E.g. plot for the
interaction Region:hakkuutapa
## ROC-curve
fitrn<-fit3$fitted[,3] # Huom! Tässä 3-tasoisien mallin alimman tason ennusteet (conditional)
fitfx<-fit3$fitted[,1] # Ja tässä ilman satunnaistekijöitä eli marginaalimalli (marginal model)
pred.prob<-(1/(1+exp(-fitfx)))
pred.prob2<-(1/(1+exp(-fitrn)))
mydat$pred.prob<-with(mydat,pred.prob)
mydat$pred.prob2<-with(mydat,pred.prob2)
labels<-mydat$L_level3
predictions<-pred.prob
# ROC-curve
library(pROC)
roc <- roc(labels, predictions);roc
plot.roc(roc)
# Area under ROC-curve is the classification efficiency
describeBy(mydat$D1.3_ka,mydat$L_luokka)
table(mydat$rosa,mydat$L_luokka)
dl3<-droplevels(subset(mydat,L_luokka=="3"))

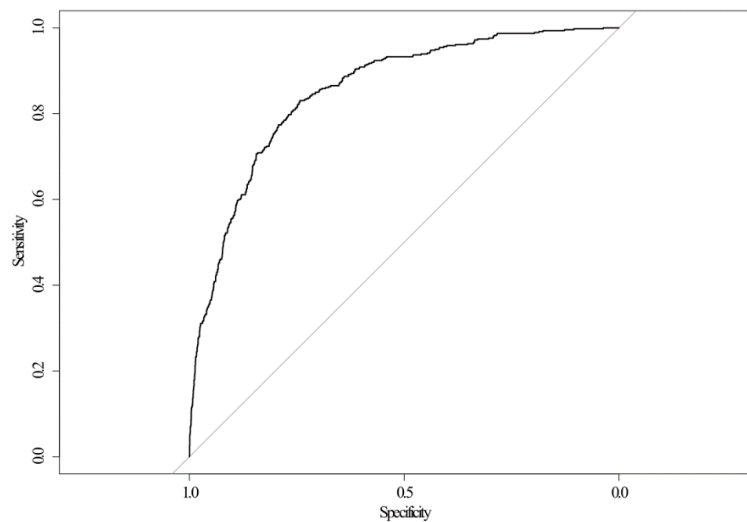
```

Liite 2. Mallien ROC-käyrät.

Relative Operating Characteristic (ROC)-käyrä mallille, jossa luppojäkälää esiintyy ainakin vähän (runsausluokka vähintään 1). ROC-käyrä sai Area Under Curve (AUC) -arvon 0,8576.



Relative Operating Characteristic (ROC) -käyrä mallille, jossa luppojäkälää esiintyy runsaasti (runsausluokka vähintään 2). ROC-käyrä sai Area Under Curve (AUC) -arvon 0,8531.



Relative Operating Characteristic (ROC) -käyrä mallille, jossa luppojäkälää esiintyy hyvin runsaasti (runsausluokka 3). ROC-käyrä sai Area Under Curve (AUC) -arvon 0,8438.

