



SUOMEN
LUONTO
PANEELI

JATKUVAPEITTEISEN METSÄNKÄSITTELYN VAIKUTUKSET LUONNON MONIMUOTOISUUTEEN, VESISTÖIHIN, ILMASTOON, VIRKISTYSKÄYTTÖÖN JA METSÄTUHORISKEIHIN

Maiju Peura, Jaana Bäck, Jukka Jokimäki, Kirsi Pauliina Kallio, Tarmo Ketola, Ilona Laine, Hanna-Kaisa Lakka, Aleksi Lehikoinen, Tiina M. Nieminen, Mika Nieminen*, Elina Oksanen, Minna Pappila, Anna Repo**, Janne S. Kotiaho

SUOMEN LUONTOPANEELIN JULKAISUJA 1B/2022
RAPORTTI

Suomen Luontopaneeli on riippumaton asiantuntijaelin, joka tukee luontopolitiikan suunnittelua ja päätöksentekoa. Luontopaneelin kannanotot ja raportit perustuvat tieteelliseen näyttöön ja monialaiseen asiantuntemukseen.



© Suomen Luontopaneeli



Suomen Luontopaneelin julkaisu 1B/2022
Raportti

Jatkuvapeitteisen metsänkäsittelyn vaikutukset luonnon monimuotoisuuteen, vesistöihin, ilmastoon, virkistyskäyttöön ja metsätuhoriskeihin

Tekijät:

Maiju Peura (Jyväskylän yliopisto), Jaana Bäck (Helsingin yliopisto), Jukka Jokimäki (Arktinen keskus), Kirsi Pauliina Kallio (Tampereen yliopisto), Tarmo Ketola (Jyväskylän yliopisto), Ilona Laine (Jyväskylän yliopisto), Hanna-Kaisa Lakka (Jyväskylän yliopisto), Aleksi Lehikoinen (Luonnontieteellinen keskusmuseo Luomus), Tiina M. Nieminen (Luonnonvarakeskus), Mika Nieminen* (Luonnonvarakeskus), Elina Oksanen (Itä-Suomen yliopisto), Minna Pappila (Turun yliopisto), Anna Repo** (Luonnonvarakeskus) ja Janne S. Kotiaho (Jyväskylän yliopisto)

* osallistunut vesistöosuuden (luku 5) kirjoittamiseen.

** osallistunut ilmasto-osuuden (luku 6) kirjoittamiseen.

Toimitussihteeri: Sanna Autere

ISSN: 2737-0062


DOL: <https://doi.org/10.17011/jyx/SLJ/2022/1b>

Viittausohje:

Peura, M., Bäck, J., Jokimäki, J., Kallio, K. P., Ketola, T., Laine, I., Lakka, H-K., Lehikoinen, A., Nieminen, T.M., Nieminen, M., Oksanen, E., Repo, A., Pappila, M. ja Kotiaho, J. S., 2022. Jatkuvapeitteisen metsänkäsittelyn vaikutukset luonnon monimuotoisuuteen, vesistöihin, ilmastoon, virkistyskäyttöön ja metsätuhoriskeihin. Suomen Luontopaneelin julkaisu 1B/2022.

Suomen Luontopaneeli on riippumaton asiantuntijaelin, joka tukee luontopolitiikan suunnittelua ja päätöksentekoa. Luontopaneelin kannanotot ja raportit perustuvat tieteelliseen näyttöön ja monialaiseen asiantuntemukseen.

www.luontopaneeli.fi

 @luontopaneeli



SISÄLLYS

Selvityksessä käytetyt käsitteet	4
1 Johdanto	8
2 Taustaa	9
2.1 Boreaaliset metsät Suomessa	9
2.2 Metsien käyttö Suomessa	9
2.3 Luonnon monimuotoisuus ja ekosysteemipalvelut	14
2.3.1 Luonnon monimuotoisuus	14
2.3.2 Ekosysteemipalvelut	15
3 Jatkuvapeitteinen metsänkäsittely	17
3.1 Mitä jatkuvapeitteinen metsänkäsittely on?	17
3.2 Tutkimusmenetelmiä jatkuvapeitteisen metsänkäsittelyn ja jaksollisen metsänkäsittelyn vertailemiseksi	21
4 Luonnon monimuotoisuus	23
4.1 Metsätalouden vaikutukset luonnon monimuotoisuuteen yleisesti	23
4.2 Metsänkäsittelytapojen vaikutukset metsäluonnon monimuotoisuuteen	23
4.3 Eri metsänkäsittelytapojen vaikutukset lajistotasolla	25
4.3.1 Aluskasvillisuus	25
4.3.2 Jäkelät	26
4.3.3 Maaperälajisto	26
4.3.4 Käävät	27
4.3.5 Selkärangattomat	28
4.3.6 Selkärangattomat	29
4.4 Metsänkäsittelytapojen vaikutukset metsäluonnon monimuotoisuudelle tärkeisiin rakennepiirteisiin ja elinympäristöihin	30
4.4.1 Lahopuu	30
4.4.2 Suuret ja vanhat elävät puuyksilöt	31
4.4.3 Puulajisuhteet	32
4.4.4 Rakenteellinen vaihtelevuus	32
4.4.5 Palanut puuaines	33
4.4.6 Luonnon monimuotoisuudelle erityisen tärkeät elinympäristöt ja Natura 2000 -alueiden turvaaminen	33
4.5 Lisätutkimustarpeet	34
5 Vesistöt	35
5.1 Metsätalouden vesistövaikutukset yleisesti	35
5.1.1 Ravinnekuormitus	35
5.1.2 Vesiluonto	36



5.2	Metsänkäsittelytapojen vesistövaikutukset.....	37
5.2.1	Ravinnekuormitus.....	38
5.2.2	Vesiluonto	40
5.3	Lisätutkimustarpeet	41
6	Ilmasto	42
6.1	Metsätalouden ilmastovaikutukset yleisesti.....	42
6.1.1	Metsien rooli ilmaston säätelyssä.....	42
6.1.2	Hiilen kierto metsässä	42
6.2	Metsänkäsittelytapojen ilmastovaikutukset	44
6.2.1	Kasvihuonekaasut	44
6.2.2	Albedo eli auringonsäteilyn heijastusvaikutus	49
6.3	Lisätutkimustarpeet	50
7	Virkistys- ja muu hyötykäyttö	51
7.1	Metsätalouden vaikutukset metsien virkistys- ja hyötykäyttöön yleisesti.....	51
7.2	Metsänkäsittelytapojen vaikutukset metsien virkistys- ja hyötykäyttöön	51
7.2.1	Luonnontuotteet	51
7.2.2	Maiseman houkuttelevuus.....	52
7.2.3	Porolaitumet	52
7.2.4	Riista	53
7.3	Lisätutkimustarpeet	54
8	Metsätuhoriskit.....	55
8.1	Metsätalous ja tuhoriskit	55
8.2	Metsänkäsittelytapojen vaikutukset tuhoriskeihin	55
8.3	Lisätutkimustarpeet	57
9	Metsien monikäyttö.....	58
9.1	Metsätalouden vaikutukset metsien monikäyttöön	58
9.2	Metsänkäsittelytapojen vaikutukset metsien monikäyttöön	58
9.3	Lisätutkimustarpeet	60
10	Kansalaisten ja metsänomistajien tavoitteet ja arvot.....	61
11	Yhteenveto.....	62
11.1	Vaikutukset luonnon monimuotoisuuteen	62
11.2	Vesistövaikutukset.....	62
11.3	Ilmastovaikutukset	63
11.4	Vaikutukset häiriöriskeihin.....	63
11.5	Vaikutukset virkistys- ja muuhun hyötykäyttöön	63
11.6	Metsien käyttötavoitteiden yhteensovittaminen	63
Lähteet	64	



SELVITYKSESSÄ KÄYTETYT KÄSITTEET

Metsien käsittelyyn liittyvien käsitteiden määritelmät mukailevat pääosin Tapion metsänhoidon suosituksissa käytettyjä määritelmiä. Muun muassa erilaisista hakkuutavoista löytyy lisätietoa metsänhoidon suosituksista (Tapio 2022).

Alaharvennus. Harvennuksessa poistetaan valta- ja lisävaltapuita pienempiä puita. Alaharvennuksen tavoitteena on saada puusto järeytymään nopeasti ja tuottamaan nopeammin tuloja seuraavissa hakkuissa.

Albedo. Metsän albedoksi kutsutaan sitä osuutta metsään saapuvasta auringonsäteilyn energiasta, joka ei sitoudu metsään vaan heijastuu takaisin taivaalle.

Avainbiotooppi. Luonnon monimuotoisuuden kannalta erityisen tärkeä elinympäristö, usein myös uhanalaiselle lajistolle tärkeä elinympäristö.

Avohakkuu. Metsän uudistamiseen liittyvä toimenpide, jonka yhteydessä kaikki vanha puusto poistetaan. Puuston uudistaminen tapahtuu tämän jälkeen kylvämällä siemeniä tai istuttamalla taimia.

Diskonttaus. Tulevaisuuden rahavirran nykyarvon laskeminen. Tulevaisuuden rahavirran nykyarvo on sitä pienempi (tietylle rahavirralle) mitä suurempi diskonttauskorko on ja mitä pidempi tarkastelu-aika on.

Diskonttauskorko. Nykyarvon laskennassa käytettävä korkokanta. Puuston netto nykyarvon laskennassa käytetään tyypillisesti korkoa 1–5 % välillä.

Ekosysteemi. Luonnoltaan yhtenäisen alueen eliöiden ja elottomien ympäristöjen muodostama toiminnallinen kokonaisuus.

Ekosysteempipalvelu. Luonnon tarjoama aineellinen tai aineeton hyödyke tai palvelu.

Elinympäristö. Ympäristö, jossa laji elää ja käyttää resursseja. Jokaisella lajilla on omanlaisensa elinympäristö.

Empiirinen tutkimus. Kokeellinen tutkimus. Perustuu tutkimuskohteen havainnointiin ja mittaamiseen.

Empiirinen malli. Kokeellisesta tutkimuksesta saatua aineistoa perustuva malli.

Eri-ikäisrakenteinen metsänkäsittely. Metsän käsittelyä ilman avohakkuuta, jossa metsä säilyy koko ajan puustoisena ja metsässä kasvaa eri ikäisiä puita. Eri-ikäisrakenteista metsää käsitellään tyypillisesti poimintahakkuuin. Vrt. **Jatkuvapeitteinen metsänkäsittely.**

Etelä-suomi. Lapin, Pohjois-Pohjanmaan ja Kainuun maakuntien eteläpuoleiset maakunnat.

Hiilinielu. Kasvava hiilivarasto. Metsä toimii hiilinieluna, kun metsä sitoo hiiltä enemmän kuin mitä hakkuut ja lahoaminen vapauttavat. Vrt. jos metsästä vapautuu ilmakehään enemmän hiiltä kuin mitä sinne sitoutuu, metsä toimii hiilen lähteenä.

Hiilensidonta. Esimerkiksi puusto sitoo hiiltä kasvaessaan. Huomaa, että hiilensidonta ei ole sama asia kuin hiilinielu.

Hiilitase. Sidotun ja vapautetun hiilen erotus tietyn ajan kuluessa. Metsän hiilitase on positiivinen, jos hiiltä sitoutuu enemmän kuin vapautuu (ts. metsä on toiminut hiilinieluna). Metsän hiilitase on negatiivinen, jos hiiltä vapautuu enemmän kuin sitoutuu (ts. metsä on toiminut hiilen lähteenä).

Hiilivarasto. Metsässä puustoon, muuhun kasvillisuuteen ja maaperään sitoutunut hiili. Tietyissä yhteyksissä puutuotteisiin sitoutunut hiili voidaan laskea mukaan metsän hiilivarastoon.

Homogenisoituminen. Ekologiset yhteisöt tulevat samankaltaisemmiksi ajan kuluessa eli monimuotoisuus vähenee.

Häiriö. Häiriöt voidaan jakaa luontaisiin häiriöihin ja ihmisen aiheuttamiin häiriöihin. Luontaisia häiriöitä ovat abioottiset häiriöt, kuten myrskyt ja tuli, ja bioottiset häiriöt, kuten sienet ja hyönteiset. Ihmisen aiheuttamia häiriöitä ovat esimerkiksi hakkuut, ojitus ja myrkyllisten kemikaalien käyttö.



Indikaattori. Ekologiset indikaattorit tai monimuotoisuusindikaattorit kuvaavat luonnon monimuotoisuuden tilaa ja kehitystä. Tutkimuksissa tarkastellaan usein esimerkiksi indikaattorilajeja, jotka ilmentävät monien lajien vastetta esimerkiksi metsien käsittelyyn.

Jaksollinen metsänkäsittely. Metsän käsittelyä, jossa metsikkötasolla puut kasvatetaan tyypillisesti samanikäisinä. Metsiköstä voidaan erottaa kierron aikana eri kehitysluokkia, kuten uudistamisala, taimikko, nuori ja varttunut kasvatusmetsä sekä uudistuskypsä metsikkö.

Jatkuvapeitteinen metsänkäsittely. Metsän käsittelyä ilman avohakkuita, jolloin metsä säilyy koko ajan puustoisena. Eri-ikäisrakenteinen metsänkäsittely on yksi jatkuvapeitteisen käsittelyn tapa, mutta esimerkiksi kaksijaksoinen metsän käsittely ja ylispuukäsittely voidaan myös lukea jatkuvapeitteiseen käsittelyyn.

Joutomaa. Metsätaloudessa joutomaaksi määritellään alue, jolla puusto kasvaa vuoden aikana keskimäärin vähemmän kuin 0,1 m³ hehtaarilla. Joutomaa on luontaisesti lähes tai täysin puuton alue.

Kaistalehakkuu. Kaistalehakkuu on luontaisesti hyvin taimettuvien kohteiden uudistushakkuutapa, jossa metsä hakataan aukeaksi kaistaleittain. Reunametsä siementää paljaaksi hakatun alueen. Menetelmä soveltuu kosteiden korpinotkelmien uudistamiseen kuuselle ja lajittuneiden kangasmaiden uudistamiseen männylle.

Kasvumalli. Puuston kasvumalli ennustaa metsän kehityksen metsänkäsittelytoimenpiteiden kanssa tai ilman. Yksinkertaisimmillaan kasvumalli kuvaa yhden ominaisuuden, kuten puun läpimitan, kasvua. Metsän kehityksen kuvaamiseen tarvitaan usein useita malleja, kuten läpimittakasvun malli, luontaisen uudistumisen malli ja luontaisen poistuman malli. Kasvumallit voidaan jaotella empiirisiin ja prosessimalleihin.

Kirjallisuuskatsaus. Kirjallisuuskatsaukseksi (englanniksi literature review) kutsutaan artikkelia tai tutkimuksen osaa, jossa kirjoittaja(t) käy analyttisesti ja arvioiden läpi aiheeseen ja tutkimuskysymyksiin liittyvää keskeisintä aikaisempaa tutkimusta ja tieteellistä kirjallisuutta.

Kitumaa. Metsätaloudessa kitumaaksi määritellään alue, jolla puusto kasvaa vuoden aikana keskimäärin vähintään 0,1 m³ hehtaarilla mutta alle 1 m³ hehtaarilla. Kitumaa on yleensä kivistä tai suoperäistä maata.

Kiertoaika. Ajanjakso puuston istutuksesta puuston päätehakkuuseen.

Kunnostusojitus. Kunnostusojituksella tarkoitetaan vanhojen ojien avaamista ja mahdollisten täydennysojien kaivamista.

Kytkeytyneisyys. Populaatioekologiassa sopivien elinympäristölaikkujen saavutettavuus lajipopulaation yksilöiden näkökulmasta.

Luonnontila. Esimerkiksi luontotyyppin tila tai lajiyhteisön rakenne ilman ihmisvaikutusta.

Luonnon monimuotoisuus. Elonkirjo, biodiversiteetti. Vaihtelevuus lajien sisällä, välillä ja ekosysteemeissä.

Luontainen uudistuminen. Metsään syntyy uusia puuntaimia siemenpuiden kautta.

Luontotyyppi. Luonnon alue, jossa keskeiset ympäristötekijät ja eliöstö ovat samankaltaiset.

Meta-analyysi Useiden samasta aiheesta tehtyjen tutkimusten tulosten yhdistäminen matemaattisesti.

Metsäkuvio eli **metsikkö.** Kasvupaikaltaan ja puustoltaan yhtenäinen alue, jolle tehdään oma metsänhoitosuunnitelma ja käsittely. Metsäkuvioiden keskikoko Etelä-Suomessa on 1,2 hehtaaria ja Pohjois-Suomessa 1,6 hehtaaria.

Metsämaa. Metsätaloudessa metsämaaksi määritellään alue, jolla puusto kasvaa vuoden aikana keskimäärin yli 1 m³ hehtaarilla.

Metsämaisema. Metsiköiden ja metsäalueiden muodostama kokonaisuus.

Metsänkäsittely. Tässä selvityksessä käytetään termiä metsänkäsittely termien metsänhoito tai metsänkasvatus sijaan. Metsänkäsittelyllä tarkoitetaan kaikkia toimenpiteitä, jotka liittyvät puuston käsittelyyn ja kasvatukseen, kuten erilaiset hakkuut ja uudistamistoimet.



Metsätalousmaa. Metsätalousmaahan kuuluu **metsämaa, kitumaa, joutomaa** ja muu metsätalousmaa mukaan lukien metsätaloustalouden ulkopuolelle rajatut maat.

Määrämittaharsinta. Hakkuissa hakataan tukin mitat sekä laatuvaatimuksen täyttävät puut. Metsän tulevalle kehityksellä ei ole merkitystä ja vikaiset puut jätetään hakkaamatta.

Nettonykyarvo. Metsätaloudessa nettonykyarvolla (englanniksi net present value NPV) tyypillisesti ymmärretään eri aikoina syntyvien tulojen (hakkuutulot) ja menojen (uudistamiskulut, muut hoitotoimenpiteet) yhteenlaskettua arvoa diskontattuna nykyhetkeen. Katso myös määritelmät **diskonttaus** ja **diskonttauskorko**.

Optimointi. Parhaimman tai optimaalisimman ratkaisun etsiminen ja löytäminen. Metsienkäsitteilyn yhteydessä etsitään esimerkiksi tavoitteiden näkökulmasta parhaimmat hakkuiden ajankohdat, voimakkuudet ja tavat.

Osittainen hakkuu. Hakkuu, jossa poistetaan osa puustosta. Termiä on käytetty erityisesti tutkimuksissa Pohjois-Amerikan boreaalista metsistä.

Pienaukkohakkuu. Metsään hakataan pieniä, pinta-alaltaan korkeintaan 0,3 hehtaaria olevia, luontaisesti taimettuvia aukkoja.

Pohjois-suomi. Lapin, Pohjois-Pohjanmaan ja Kainuun maakunnat.

Päätehakkuu tai **uudistushakkuu.** Yleensä jaksollisen metsänkäsitteilyn viimeinen vaihe ja samalla metsän uudistamisen alku. Vanha puusto poistetaan kokonaan tai lähes kokonaan.

Poimintahakkuu. Metsästä poistetaan pääosin suurimpia puita, jolloin tehdään tilaa pienemmille elinvoimaisille puille ja lisätään kasvutilaa uusien taimien syntymiseksi.

Punaisen listan laji. Kansainvälisen luonnonsuojeluliiton (IUCN, englanniksi International Union for Conservation of Nature) uhanalaisuusluokituksessa punaisen listan lajeja ovat **uhanalaisten lajien** lisäksi silmälläpidettävät sekä puutteellisesti tunnetut lajit.

Rakennepiirre. Metsissä luonnon monimuotoisuudelle tärkeä rakennepiirre on tyypillisesti puustoon liittyvä rakenne, joka tarjoaa resursseja lajeille. Esimerkiksi lahopuu tai suuret ja vanhat puuyksilöt.

Rehevöityminen (vesielinympäristöissä). Ravinteiden määrä lisääntyy vesistöissä, mikä johtaa perustuotannon kasvuun vaikuttaen koko vesiekosysteemin toimintaan ja rakenteeseen. Rehevöitymisen seurauksena lajisto muuttuu, vesi samenee, rannat ja matalikot kasvavat umpeen, kalanpyydykset limoittuvat, sinilevät ja särkikalat lisääntyvät ja pohjan mutakerrokset paksuuntuvat. Lisääntynyt hajoitustoiminta kuluttaa happea ja voi aiheuttaa happikatoa, joka tappaa kaloja ja muita vesieläimiä.

Reunavaikutus. Ympäröivän alueen ympäristötekijöiden ja eliöstön vaikutus metsäluontoon. Voi olla sekä luontaista että ihmisen aiheuttamaa. Metsissä esimerkiksi tiet ja avohakkuut aiheuttavat reunavaikutuksen. Reunavaikutus muun muassa lisää häiriöitä ja muuttaa reunaan rajautuvan metsän pienilmasto-olosuhteita useiden kymmenien metrien päähän reunasta.

Siemenpuuhakkuu. Siemenpuuhakkuu on männyn ja rauduskoivun luontaiseen uudistamiseen tähtäävä uudistushakkuutapa. Jatkuvapeitteiseen käsitteilyyn tähdättäessä männikössä jätetään siemenpuiksi 50–150 hyvälaatuista valtapuuta hehtaarille.

Simulaattori. Ohjelmisto, jossa useita malleja käyttämällä ja yhteensovittamalla voidaan tuottaa esimerkiksi puuston kehityssennusteita erilaisissa olosuhteissa ja eri tavoin käsitellyissä metsissä.

Sukkersio. Alueen eliöyhteisön, lähinnä kasvillisuuden, vähittäinen ja luontainen muuttuminen. Sukkession luontaisia syitä ovat esimerkiksi metsäpalot ja myrskyt.

Sukupuuttovelka. Lajiston köyhtyminen aikaviiveellä. Kun elinympäristön määrä vähenee tai laatu heikkenee, lajien populaatiotihedys ja -koot pienenevät. Vaikka elinympäristöjen tila ei enää heikkenisi lisää, laji voi kuolla sukupuuttoon usean kymmenen vuoden aikaviiveellä tapahtuneesta elinympäristön heikentymisestä epäsuoraisten olosuhteiden aiheuttaman pitkäaikaisen haitan vuoksi.



Suojuspuuhakkuu. Suojuspuuhakkuu on kuusen luontaiseen uudistamiseen tähtäävä uudistushakkuutapa. Suojuspuuhakkuu tehdään jo syntyneen kehityskelpoisen taimiaineksen suojaamiseksi ja täydentämiseksi. Suojuspuuhakkuussa puita jätetään 100–300 kappaletta hehtaarille. Suojuspuut poistetaan yhdessä tai kahdessa vaiheessa varoen vahingoittamasta taimia sekä jättämistä taimia hakkuutähteiden alle.

Säästöpuuhakkuu. Säästöpuuhakkuu on jaksollisen kasvatuksen päätehakkuu, jossa jätetään normaalia suurempi säästöpuumäärä.

Säästöpuu. Säästöpuut ovat talousmetsässä olevia puita, joita ei ole tarkoitus koskaan hakata. Säästöpuiden jättämisen tavoitteena on vähentää hakkuiden haitallisia vaikutuksia metsäluontoon säästämällä monimuotoisuudelle tärkeitä rakennepiirteitä. Voimassa olevat metsäsertifioinnit velvoittavat jättämään noin 5–10 säästöpuuta hehtaarille.

Uhanalaisuus. Lajin todennäköisyys kadota eli kuolla sukupuuttoon, Suomen tasolla todennäköisyys hävitä Suomesta. Uhanalaiseen lajiin tai sen populaatioon kohdistuu lopullisen häviämisen vaara. IUCN:n uhanalaisuusluokituksessa uhanalaiset lajit kuuluvat luokkiin vaarantunut (VU), erittäin uhanalainen (EN) ja äärimmäisen uhanalainen (CR).

Uudistushakkuu tai **päätehakkuu.** Yleensä jaksollisen metsänkäsittelyn viimeinen vaihe ja samalla metsän uudistamisen alku. Vanha puusto poistetaan kokonaan tai lähes kokonaan.

Vertailutaso tai **-tila.** Laskelmissa ja tutkimuksissa verrattava taso tai tila. Luonnontieteellisissä tutkimuksissa vertailutason tulisi olla käsittelemätön tila eli metsissä esimerkiksi käsittelemätön tai luonnontilainen metsä.

Yhteisökoostumus. Tarkasteltavan alueen lajijärjestyksen rakenne, johon sisältyy tyypillisesti tieto lajien identiteetistä ja yksilömääristä.

Ylispuukasvatus. Männyn ylispuukasvatuksessa taimia syntyy siementävän ylispuuston ansiosta. Alue pysyy puustoisena, kun ylispuustoa harvennetaan vähitellen ja suurempaa puustoa jätetään aina jäljelle.

Yläharvennus. Harvennuksessa poistetaan kookkaita ja taloudellisesti arvokkaita puita. Koska optimointituloksissa suuriin kokoluokkiin kohdistuvat harvennukset eivät laadullisesti eroa sen mukaan, tehdäänkö myöhemmin päätehakkuu vai hoidetaanko puustoa jatkuvapeitteisenä, voidaan käsitettä yläharvennus käyttää sekä jaksollisten että jatkuvapeitteisten ratkaisujen yhteydessä sen sijaan, että jälkimmäisessä tapauksessa käytettäisiin käsitettä poimintahakkuu.



1 JOHDANTO

Suomen metsälaki (1093/1996) uudistettiin vuonna 2014 (1085/2013), jolloin metsän käsittely jatkuvapeitteisen käsittelyn keinoin tehtiin jälleen käytännössä mahdolliseksi. **Jatkuvapeitteistä metsänkäsittelyä*** on ehdotettu tavaksi vähentää metsien käsittelyn kielteisiä vaikutuksia **luonnon monimuotoisuuteen*** ja **ekosysteemipalveluihin*** (Kuuluvainen ym. 2012; Pukkala 2016; Eyvindson ym. 2021; Savilaakso ym. 2021). Jatkuvapeitteistä metsänkäsittelyä tehdään Suomessa kuitenkin toistaiseksi vähän. Eri käsittelymenetelmien tilastointi ei ole yksiselitteistä, mutta vuoden 2020 kaikista hakkuista jatkuvapeitteisen käsittelyn poiminta- ja pienaukkohakkuiksi oli ilmoitettu alle 5 prosenttia (Metsäkeskus 2022). Vuonna 2018 julkaistu kansalaisaloite Avohakkuut historiaan (KAA 9/2019 vp) ehdotti lakimuutosta, joka muuttaisi valtion maiden metsien hakkuut pääosin jatkuvapeitteisen metsänkäsittelyn hakkuiksi tietyin poikkeusmahdollisuuksin. Maa- ja metsätalousvaliokunta käsitteli kansalaisaloitetta 2019–2020 ja lokakuussa 2021 valiokunta hylkäsi kansalaisaloitteen (MmVM 13/2021 vp). Valiokunta kuitenkin edellytti mietinnössään, että valtion metsien käsittelymenetelmät ovat jatkossa monipuolisia ja että Metsähallituksen tuottotavoitteita ja tuloutusvaatimuksia kohtuullistetaan. Myös EU:n biodiversiteetti- ja metsästrategioiden (Euroopan komissio 2020, 2021) yhteydessä käsitellään avohakkuumetsätalouden kestävyttä ja tulevaisuutta.

Tähän Suomen Luontopaneelin raporttiin on koottu viimeisin tutkimustieto jatkuvapeitteisen metsänkäsittelyn monimuotoisuus-, vesistö-, ilmasto-, tuhoriski- ja virkistyskäyttövaikutuksista. Lisäksi laadittiin erillinen selvitys jatkuvapeitteisen metsänkäsittelyn talousvaikutuksista (Tahvonen 2022). Tutkimuskirjallisuutta on käyty läpi kattavasti, mutta selvityksissä ei pyritty noudattamaan systemaattisen tutkimuskatsauksen menetelmiä. Tutkimustietoa kerättiin pääasiassa boreaalisisista metsistä Pohjoismaista, mutta mukana on tutkimuksia myös Pohjois-Amerikan boreaalisisista metsistä. Selvityksessä on käyty läpi aiheeseen liittyviä **kirjallisuuskatsauksia*** ja **meta-analyyseja***. Tarkemmin on käyty läpi tutkimuksia sellaisista aiheista, joista ei ole julkaistu katsauksia tai meta-analyyseja. Selvityksessä on mukana tutkimuksia, joissa on vertailtu jatkuvapeitteisen ja **jaksollisen metsänkäsittelyn*** vaikutuksia toisiinsa ja suhteessa käsittelemättömiin metsiin tai hakkuista edeltävään tilanteeseen, sekä tutkimuksia, joissa on verrattu ainoastaan jatkuvapeitteisen käsittelyn vaikutuksia suhteessa käsittelemättömiin metsiin. Mukaan ei otettu systemaattisesti tutkimuksia, joissa on vertailtu ainoastaan **avohakkuiden*** vaikutuksia suhteessa käsittelemättömiin metsiin. Tätä tutkimuskirjallisuutta on runsaasti, ja avohakkuiden selvästi haitalliset ympäristövaikutukset on tutkimuskirjallisuudessa hyvin dokumentoitu (Keenan & Kimmins 1993; Kuuluvainen 2009; Paillet ym. 2010, Savilaakso ym. 2021).

* Katso keskeisten tekstissä lihavoitujen käsitteiden määrittely s. 4–7.



2 TAUSTAA

2.1 Boreaaliset metsät Suomessa

Suomen metsät kattavat hemi-, etelä-, keski- ja pohjoisboreaalisia kasvillisuusvyöhykkeitä. Metsistä noin kaksi kolmasosaa on kangasmetsiä ja noin yksi kolmannes suometsiä (Peltola ym. 2020; Korhonen ym. 2021). Yleensä metsän valtapuulajina on joko mänty (*Pinus sylvestris*), kuusi (*Picea abies*), rauduskoivu (*Betula pendula*) tai hieskoivu (*Betula pubescens*) ja sekapuina voi kasvaa myös muita lehtipuita. Pensaskerrosta hallitsevat tyypillisesti pajut ja lehtipuiden taimet, kenttäkerrosta ruohot, heinät tai varvut ja pohjakerrosta sammalet tai jäkälät. Boreaalisten metsien luontainen dynamiikka on tyypillisesti hyvin hidas eli sitä kuvaavat pitkät vuosisatoja kestävät kehityksen vaiheet, jotka ajoittain keskeytyvät luontaisen **häiriön*** seurauksena. Usein todetaan, että **luonnontilaisissa*** boreaalisisissa metsissä erilaiset häiriöt ja ympäristötekijät ohjaavat metsien ekologisia prosesseja ja **suksessiota*** (Kuuluvainen & Aakala 2011). Häiriöiden jälkeisessä suksessiossa lehtipuuvaihetta seuraa tyypillisesti männyn valtakausi. Rehevillä mailla kuusi syrjäyttää männyn, kun taas karummilla mailla mänty muodostaa metsän vallitsevan puuston. Suomessa laajojen ja mittavien häiriöiden, kuten metsäpalojen, esiintyminen on ollut harvinaista, ja metsien kehitystä ovat ajaneet lähinnä pienemmät häiriöt pitäen luonnontilaisen metsän rakenteen melko sulkeutuneena. Suurimman osan ajasta metsät ovat Suomessa siis luontaisesti melko häiriöttömässä tilassa. Puuston pienaukkodynamiikan seurauksena metsässä on kuitenkin eri ikäisiä ja kokoisia kuolleita ja eläviä puita. Boreaaliset metsät tarjoavat Suomessa **elinympäristön*** tuhansille lajeille, joista monet ovat riippuvaisia järeästä elävästä ja kuolleesta puustosta (Siitonen 2001; Hyvärinen ym. 2019).

Suomen maapinta-ala on 30 392 000 hehtaaria ja maapinta-alasta 75 prosenttia eli 22 787 000 hehtaaria on metsää (Peltola ym. 2020). Metsästä tuottavaa **metsämaata*** (puuston kasvu vähintään 1 m³ hehtaarilla) on 89 prosenttia eli 20 225 000 hehtaaria ja **kitumaata*** (puuston kasvu $\geq 0,1$ m³ hehtaarilla, mutta < 1 m³ hehtaarilla) 11 prosenttia eli 2 562 000 hehtaaria. Koko Suomen metsämaasta yli 90 prosenttia on puuntuotannossa, joten talousmetsien käsittelyllä on erittäin suuri vaikutus luonnon monimuotoisuuteen ja metsien tarjoamiin hyötyihin eli ekosysteemipalveluihin.

2.2 Metsien käyttö Suomessa

Ihminen on vaikuttanut Suomen boreaalisiin metsiin tuhansia vuosia, aina esihistoriallisista ajoista ja eränkävynnistä lähtien (Tasanen 2004). Kaskiviljely ja myöhemmin pysyvä maanviljely ovat muuttaneet Suomen metsien pinta-alaa ja rakennetta merkittävästi jo 1500-luvulta lähtien. Metsistä on haettu puuta poltto- ja rakennuspuuksi ja tiheimmin asutuilla alueilla näistä on ollut jopa pulaa. Suomen metsienkäyttöä on ohjattu julkisesti aina vuodesta 1647 lähtien. Näin haluttiin turvata muun muassa laivanrakennuksen ja kaivosteollisuuden (siihen aikaan vuoriteollisuus) puunsaanti. Metsiä käytettiin Suomessa 1700- ja 1800-luvuilla lisäksi muun muassa tervan polttoon ja karjan laiduntamiseen. Sahateollisuus lähti kasvamaan 1800-luvun puolivälissä voimakkaasti, mistä alkoi Suomen metsäteollisuuden voimakas kehittyminen. Puita hakattiin pääasiassa sahateollisuuden tarpeisiin **määrämittaisharsinnoin***, jolloin hakkuissa poistettiin suurimmat sahatavaraksi kelpaavat puut. Selluteollisuuden synnyttyä 1800-luvun loppupuolella myös pienemmälle kuitupuulle alkoi olla kysyntää (Tasanen 2004) ja 1900-luvun alkupuolella metsienkäyttö alkoi vähitellen muuttua (Siiskonen 2007). **Avohakkuita*** ja metsänviljelyä sai tehdä ainoastaan poikkeustapauksissa, ellei puusto kasvanut. Metsänkäyttö ei saanut vaarantaa luontaista uudistumista. Metsiä käsiteltiinkin 1920-luvulla pääosin **siemenpuuhakkuin***.

Vuodesta 1919 lähtien valtion metsissä alettiin kuitenkin ohjeistaa, että nuoria metsiä tulisi **alaharventaa*** (Tasanen 2004; Siiskonen 2007). Lisäksi voimakkaasti harsittuja metsiä alettiin avohakata ja uudistaa kylväen, sillä niiden luontaista uudistumista ei pidetty tavoitteisiin nähden riittävänä. Tästä alkoi suuri muutos suomalaisessa metsienkäsitteilyssä. Toisen maailmansodan aikoihin ja sen jälkeen puuntarve kasvoi merkittävästi, sillä puuta tarvittiin polttopuiden ja rakennusten lämmityksen lisäksi sotakorvausten maksamiseen ja jälleenrakentamiseen (Siiskonen 2007). Vastauksena tähän Metsähallitus teki 1940- ja 1950-

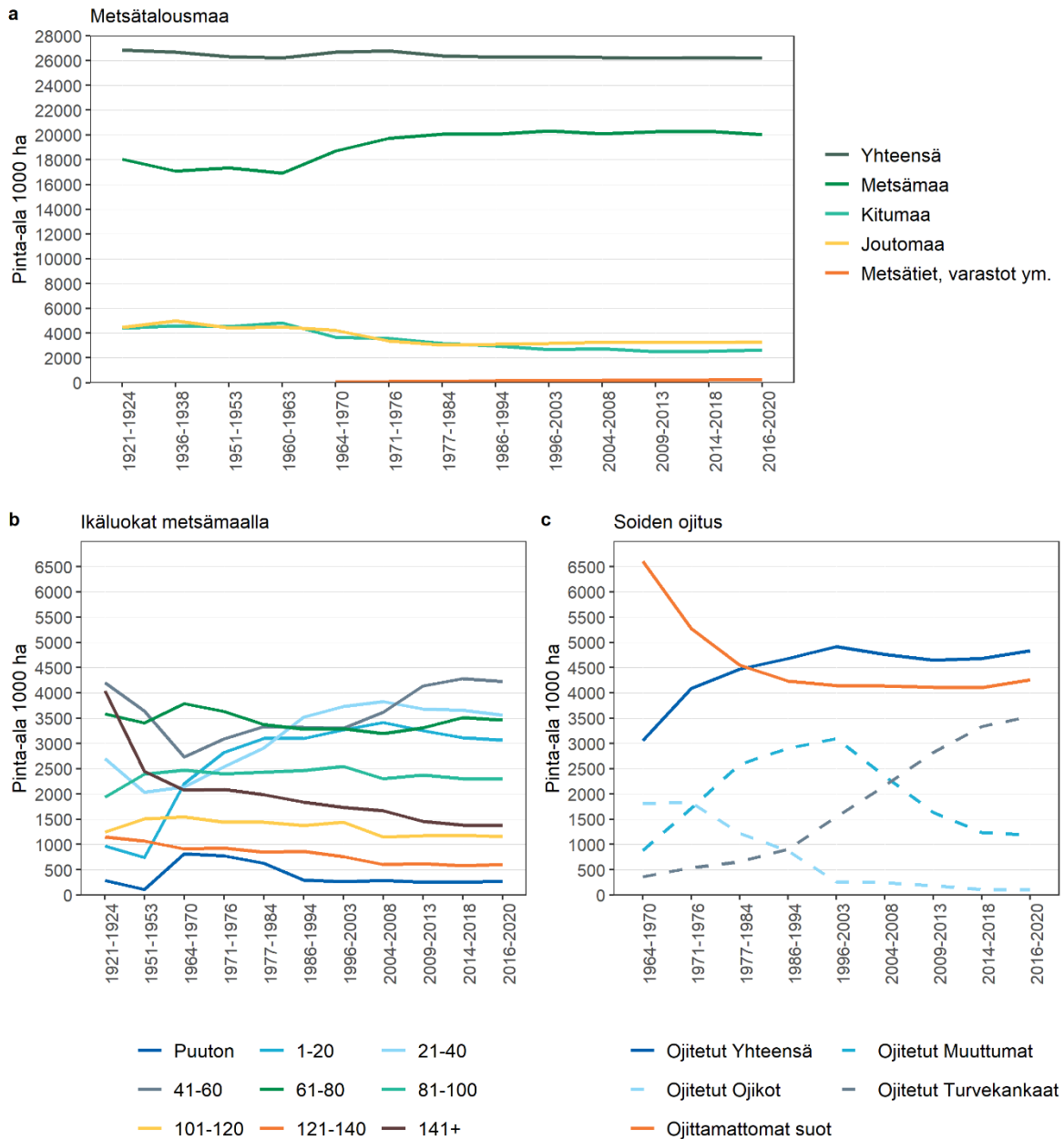
* Katso keskeisten tekstissä lihavoitujen käsitteiden määrittely s. 4–7.



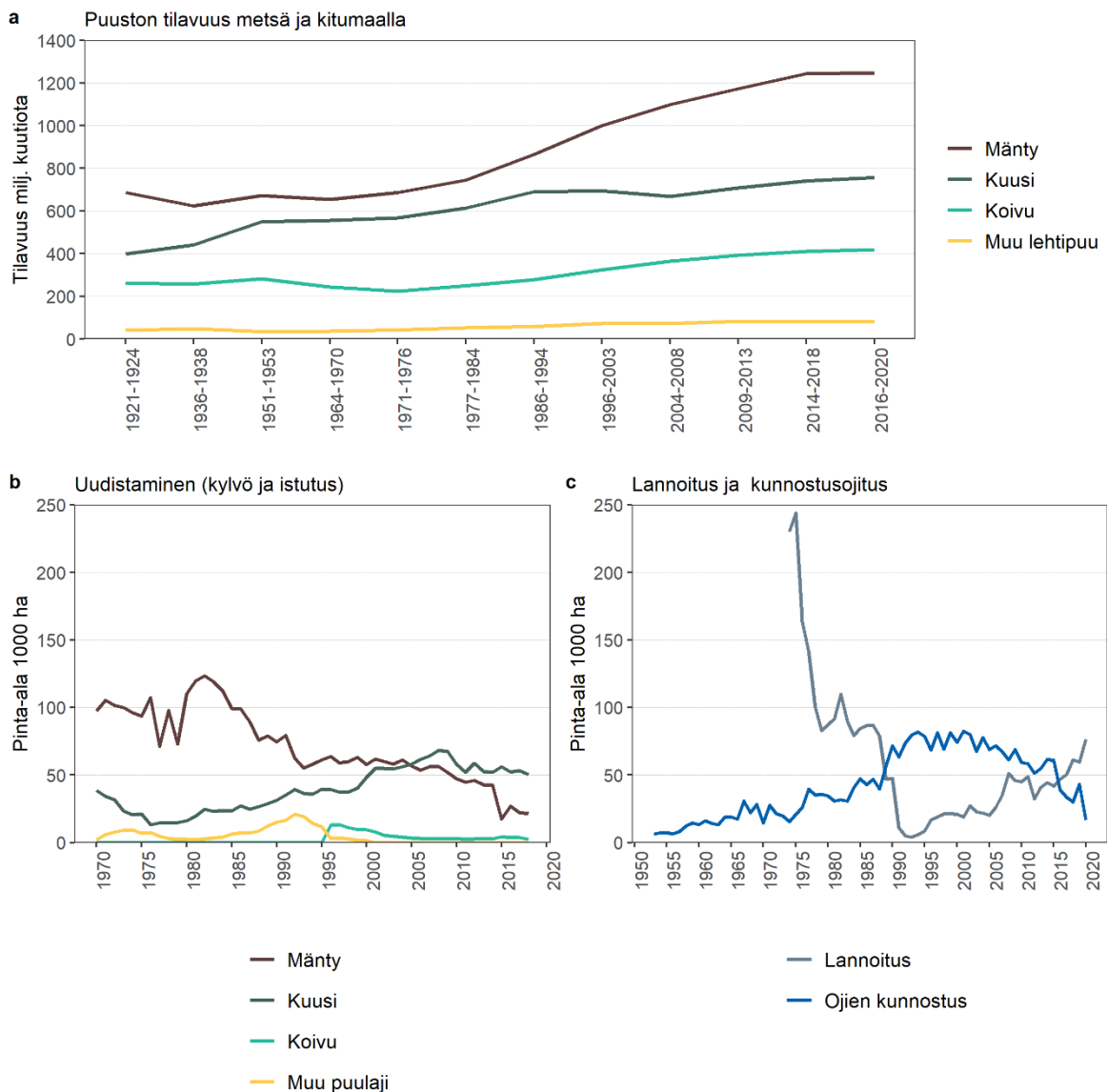
luvuilla laaja-alaisia, jopa tuhansien hehtaarien avohakkuualoja (Valtanen 1994). Vuonna 1948 julkaistun harsintajulkilausuman (Appleroth ym. 1948) seurauksena määramittaisharsinta sekä **poimintahakkuut*** ja **yläharvennukset*** käytännössä kiellettiin, sillä niiden katsottiin johtavan vajaatuottoiseen ja pilaantuneeseen metsään (Siiskonen 2007).

Metsienkäsittely ja hakkuutavat voimistuivat entisestään 1900-luvun puolivälin jälkeen (Tasanen 2004; Siiskonen 2007). Jo talouskäyttöön otettu **metsätalousmaa*** (yhteensä noin 27 miljoonaa hehtaaria; kuva 1a) ei riittänyt valtion tukeman, voimakkaasti kasvaneen puuteollisuuden tarpeisiin, jolloin soita alettiin ojittaa metsätalouskäyttöön (kuva 1c). Eniten ojituksia tehtiin 1960-luvulla. Soita on metsätalousmaalla noin 9 miljoonaa hehtaaria, josta yli puolet on ojitettu (kuva 1c). Lisäksi ojitettuja kankaita on noin miljoona hehtaaria. Ojitus näkyy tilastoissa esimerkiksi tuottavan metsämaan pinta-alan kasvamisena ja kitumaan pinta-alan pienenemisenä metsätalousmaalla (kuva 1a). Metsiä alettiin myös lannoittaa, jotta niiden kasvu paranisi (kuva 2c). Ojituksen ja lannoituksen suuri määrä etenkin 1960- ja 1970-luvuilla sekä muuttunut metsien käsittely nopeuttivat puuston kasvua, mikä johti puuston kokonaistilavuuden voimakkaaseen kasvuun 1980-luvulta lähtien (kuva 2a). Samanaikaisesti **uudistus- eli päätehakkuiden*** pinta-alat ovat kasvaneet (kuva 3a). Ensimmäiset hakkuukoneet tulivat 1970-luvun taitteessa, jolloin metsienkäsittely alkoi myös koneellistua. Metsiä uudistettiin männyllä noin 75 prosenttia aina 1990-luvulle saakka, jolloin kuusta alettiin istuttaa enemmän (kuva 2b). Metsien käsittelyn voimistuminen on muuttanut metsien ikärakennetta ja johtanut yli 100-vuotiaiden metsien pinta-alan laskuun ja nuorten metsien pinta-alan kasvuun (kuva 1b).

Kaikki nämä muutokset valtion metsäpolitiikassa ja kansallisessa metsien talouskäytössä ovat vaikuttaneet merkittävästi luonnon monimuotoisuuteen ja ympäristön tilan heikentymiseen Suomessa.



Kuva 1. Metsätalousmaan maaluokkien, metsämaan ikäluokkien ja soiden ojituksen pinta-alojen kehitys. a) Metsätalousmaan eri maaluokkien pinta-alat vuosina 1921–2019. b) Ikäluokat metsämaalla vuosina 1921–2019. Kuvasta puuttuu valtakunnan metsien inventoinnin vuosien 1936–1938 (VMI 2) aineisto. c) Soiden ojitustilanne vuosina 1964–2019. Ojitetut suot jaetaan ojituksen vaikutuksen perusteella ojikoihin, muuttumiin ja turvekankaisiin. Ojikko on suo, jossa ojitus ei ole vielä vaikuttanut aluskasvillisuuteen ja puuston kasvuun. Ojikoiksi luetaan myös suot, joilla ojen tukkeutuminen on palauttanut suon ojitusta edeltävään tilaan. Muuttumat ovat ojitusalueita, joilla puuston kasvu on selvästi elpynyt, mutta aluskasvillisuutta leimaa alkuperäinen suotyyppi. Turvekankaalla suokasvillisuus on vaihtunut metsäkasvillisuusvaltaiseksi, eikä suon vesitalous ole esteenä puuston sulkeutumiselle. Aineistojen lähde: SVT (Suomen virallinen tilasto) 2021a, b, c.

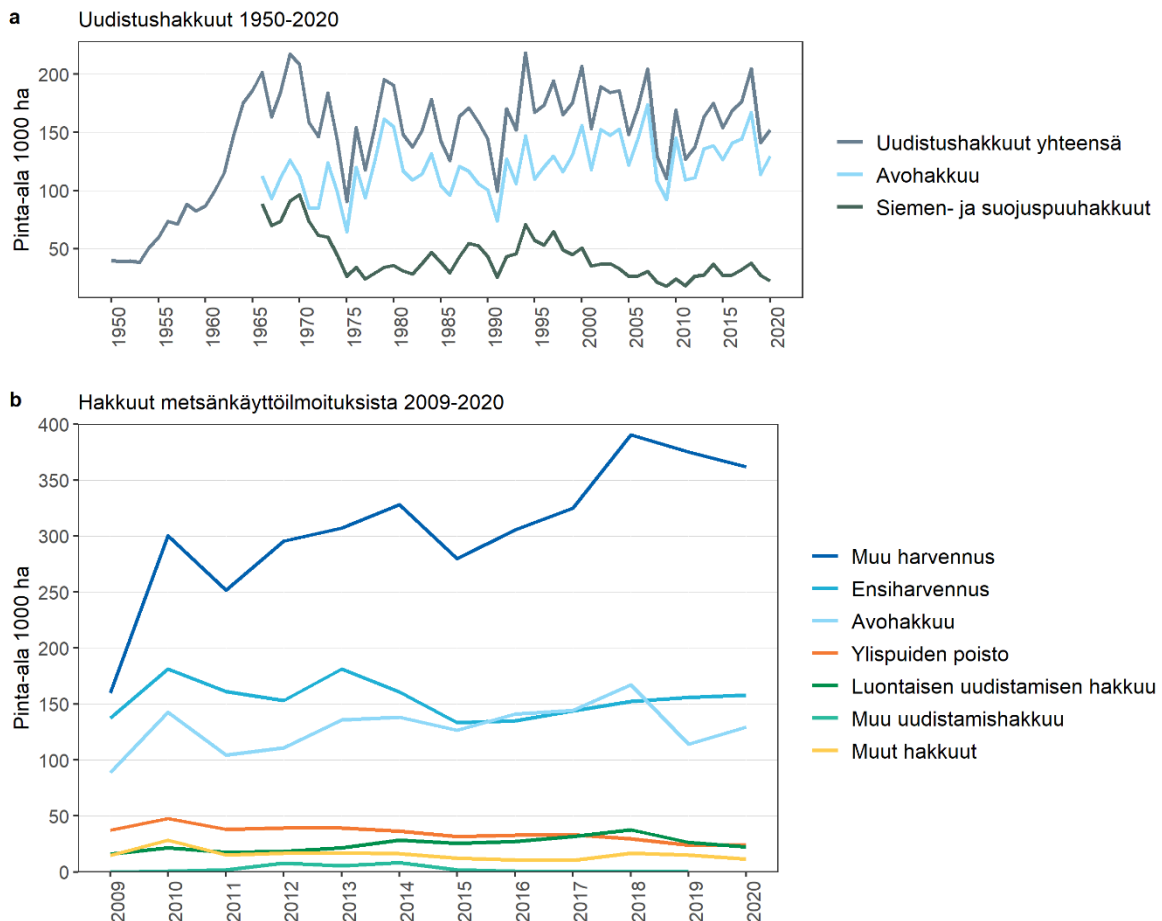


Kuva 2. Puuston tilavuuden, uudistamistoimien sekä lannoituksen ja kunnostusojituksen pinta-alojen kehitys. a) Puuston tilavuus pääpuulajeittain vuosina 1921–2020. b) Metsän uudistaminen istuttaen ja kylväen eri puulajeille vuosina 1970–2018, koivulle uudistaminen on luokiteltu muille puulajeille uudistamiseen vuoteen 1995 saakka. c) Metsän lannoitus ja ojien kunnostus vuosina 1953–2020. Vuodesta 2015 lähtien kuvien b j c aineistot eivät sisällä metsänomistajan täysin omatoimisesti metsissään tekemiä töitä. Aineistojen lähde: SVT 2021d, e.

Tällä hetkellä Suomen metsistä suurin osa, yli 90 prosenttia, on metsätalouskäytössä (Peltola ym. 2020). Suomen metsäpinta-alasta on eri tavoin suojeltu yhteensä 13 prosenttia eli 2,9 miljoonaa hehtaaria. Kaikki suojelu ei ole niin kutsuttua tiukkaa suojelua eli suojellut alueet eivät ole kokonaan hakkuiden ulkopuolella. Koko Suomessa metsämaasta on suojeltu yhteensä 8 prosenttia ja kitumaasta lähes puolet. Tiukasti suojeltua metsämaata on 6 prosenttia koko metsämaan pinta-alasta. Suurin osa suojelluista metsistä sijaitsee **Pohjois-Suomessa***: siellä metsämaasta on tiukasti suojeltu 10 prosenttia, **Etelä-Suomessa*** 2,7 prosenttia. Metso-ohjelman kautta vapaaehtoisin keinoin on lisäsuojeltu metsiä vuosittain keskimäärin 6 500 hehtaaria vuosien 2008–2020 aikana (Koskela ym. 2020). Helmi-ohjelman kautta on suojeltu tai ennallistettu soita noin 5 500 hehtaaria vuonna 2020.



Suomen talousmetsistä suurin osa käsitellään jaksollisen käsittelyn keinoin. Erilaisia hakkuutoimia tehdään vuosittain noin 700 000 hehtaarin alalla (kuva 3b). Harvennushakkuita tehdään vuosittain keskimäärin 450 000 hehtaarin ja avohakkuita 130 000 hehtaarin alalla. Luontaisen uudistamisen hakkuita tai muita uudistamishakkuita tehdään vuosittain keskimäärin alle 30 000 hehtaaria ja ylispuiden poistoa keskimäärin 35 000 hehtaaria. Hakkuita eli metsien luonnon monimuotoisuuden tilaa heikentäviä toimia tehdään siis vuosittain monikymmenkertaisella alueella verrattuna metsien tilaa parantaviin suojele- ja ennallistamistoimiin.



Kuva 3. Erilaisten hakuiden pinta-alojen kehitys. a) Uudistushakuiden pinta-aloja (1 000 hehtaaria) vuosina 1950–2020. Avohakkuut ja siemen- ja suojuspuuhakkuut on tilastoitu 1966 vuodesta lähtien. Nykyiset metsikkökohtaisiin uudistushakkuisiin perustuvat menetelmät otettiin käyttöön 1950-luvulla. Aikaisempien vuosien luvut perustuvat metsänviljely- ja maanmuokauspinta-aloihin. Luku ei kuitenkaan ole aivan täsmällinen, sillä uudistushakuiden kattava tilastointi aloitettiin vuonna 1966. Vuodesta 2009 lähtien uudistushakkuut ovat metsänkäyttöilmoituksista ja tilastoitu jaolla avohakkuu, luontaisen uudistamisen hakkuu ja muu uudistamishakkuu. Kuvassa luontaisen uudistamisen hakkuu ja muu uudistamishakkuu ovat kategoriassa siemen- ja suojuspuuhakkuut. Aineistojen lähde: SVT 2021f ja Luonnontila.fi. b) Kaikkien hakuiden pinta-aloja (1 000 hehtaaria) metsänkäyttöilmoituksista vuosina 2009–2019. Aineistojen lähde: SVT 2021g.

Valtio omistaa Suomen 26 miljoonasta metsätalousmaahehtaaresta 35 prosenttia, josta yli 90 prosenttia sijaitsee Pohjois-Suomessa eli Lapin, Pohjois-Pohjanmaan ja Kainuun maakunnissa (Peltola ym. 2020). Yhtiöiden, kuntien, seurakuntien ja yhteisöjen omistuksessa on noin 15 prosenttia. Loput eli noin puolet metsätalousmaasta on yksityisten henkilöiden omistuksessa (Peltola ym. 2020). Yksityiset maanomistajat ovat hyvin heterogeeninen joukko. Yksityiset maanomistajat voidaan jakaa karkeasti viiteen ryhmään: monitavoitteiset, virkistyskäyttäjät, metsässä työtä tekevät, turvaa ja tuloja korostavat sekä epätietoiset (Karppinen & Hänninen 2020). Puuntuotannon rinnalla metsien muut aineelliset ja aineettomat hyödyt ovat tärkeitä sekä yksityis-

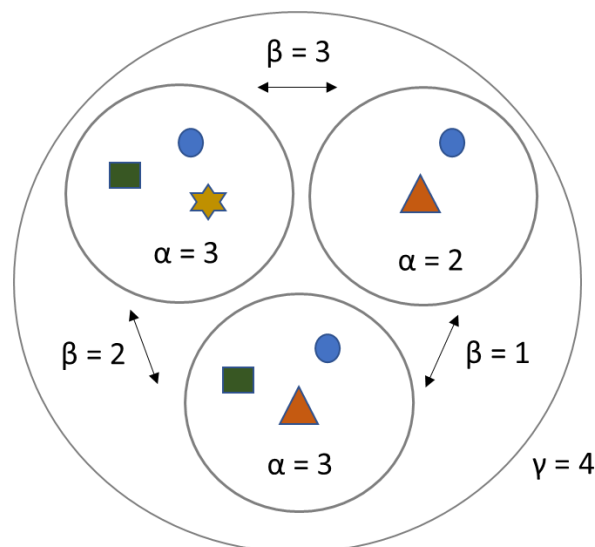
metsänomistajille että muille kansalaisille. Tavoitteet ja arvot metsien käyttöä kohtaan ovat muuttuneet, eikä metsäteollisuuden rooli hyvinvointiyhteiskunnan kannalta ole enää samalla tapaa määrittelevä kuin sotien jälkeisessä Suomessa (Valkeapää & Karppinen 2013; Karppinen & Hänninen 2020; Juutinen ym. 2021). Arkielämässä metsä on suomalaisille pääsääntöisesti ulkoilun, liikunnan, virkistymisen ja rauhoittumisen kohde; näin myös monille yksityismetsänomistajille perheineen (UPM 2020; Häyrinen 2017).

2.3 Luonnon monimuotoisuus ja ekosysteemipalvelut

2.3.1 Luonnon monimuotoisuus

Luonnolla ja sen monimuotoisuudella eli kaikenlaisella elämällä, jota maa päällään kantaa on itseisarvo, jota ei tarvitse perustella muilla arvoilla. Tästä huolimatta luonnolla on myös korvaamaton välinearvo. Luonnon monimuotoisuus on välttämätöntä kaikelle elämälle maapallolla, sillä se ylläpitää **ekosysteemien*** toimintaa (Bukvareva ym. 2015). Monimuotoinen luonto ylläpitää myös luonnon ihmiselle tarjoamia hyötyjä ja palveluja eli ekosysteemipalveluja. Luonnon monimuotoisuus, elonkirjo, luonnonkirjo tai biodiversiteetti (Magurran 2013) on kaikkea vaihtelua lajien sisällä, välillä ja ekosysteemeissä (Bukvareva ym. 2015). Luonnon monimuotoisuutta mitataan usein esimerkiksi lajimääränä tai yhteisökoostumuksen rakenteena (Magurran 2013). Alfadiversiteetti kuvaa paikallisen lajiyhteisön monimuotoisuutta, esimerkiksi lajimäärää (kuva 4). Beta-diversiteetti kuvaa paikallisten lajiyhteisöjen välistä erilaisuuden määrää. Erilaisia betadiversiteetin indeksejä voidaan käyttää kuvaamaan myös lajiyhteisön muutosta ajassa. Gammadiversiteetti kuvaa puolestaan laajemman alueen kokonaisdiversiteettiä, esimerkiksi lajimäärää (kuva 4). Laskentatapoja ja indeksejä eri diversiteeteille on lukuisia (Magurran 2013).

Suuri paikallinen lajimäärä ei aina tarkoita, että metsäluonnon monimuotoisuuden tila olisi hyvä. Lajimäärää voi kasvattaa esimerkiksi ihmisen aiheuttama häiriö, kuten metsän hakkuu tai vieraslajien levittäminen. Hakkuun jälkeen metsä ei esimerkiksi enää tarjoa elinympäristöä vanhan metsän erikoistuneelle lajistolle, joista monet ovat uhanalaisia, ja metsän valtaavat varhaisen sukkessiovaiheen lajisto ja yleislajit, jotka kykenevät elämään monenlaisissa ympäristöissä (Nordén ym. 2013). Jotta esimerkiksi metsänkäsittelyn vaikutus luonnon monimuotoisuuteen voidaan ymmärtää, **vertailutasona*** on käytettävä käsittelemätöntä metsää tai luonnontilaa eli esimerkiksi käsittelemättömän tai luonnontilaisen metsän **yhteisökoostumusta*** ja lajimäärää.



Kuva 4. Alpha-, beta- ja gammadiversiteetti. Yksittäinen pienempi ympyrä kuvaa paikallista lajiyhteisöä. Ympyrän sisällä olevat muodot kuvaavat eri lajeja. Alpha (α) kuvaa paikallista diversiteettiä, ja on kuvassa jokaisen paikallisen lajiyhteisön lajimäärä. Beta (β) kuvaa paikallisten lajiyhteisöjen erilaisuutta, ja tässä esimerkissä se on uniikkien lajien määrä kahden lajiyhteisön välillä. Gamma (γ) kuvaa kokonaisdiversiteettiä, ja on kuvassa eri lajien kokonaismäärä, joita paikallisissa yhteisöissä esiintyy.



Metsien hakkuu vähentää luonnon monimuotoisuutta, sillä se häiritsee ja muuttaa metsien luontaista rakennetta ja kehitystä (Paillet ym. 2010). Luonnonmetsiin verrattuna talousmetsät ovat nuoria ja niistä puuttuu luonnonmetsille tyypillisiä piirteitä, kuten runsas lahoppuusto, suuret ja vanhat puuyksilöt ja niillä kasvavat jäkälät sekä rakenteellinen vaihtelevuus (Esseen ym. 1997; Kuuluvainen & Aakala 2011). Monet eliölajit eivät löydä talousmetsistä sopivaa elinympäristöä. Elinympäristöjen pinta-alan väheneminen ja laadun heikkeneminen sekä sopivien elinympäristölaikkujen huono **kytkeytyneisyys*** johtavat pieneneviin populaatiokokoihin ja paikallisten populaatioiden häviämiseen (Hanski 2000). Lajit, joiden esiintymisalue on suppea tai populaatiokoot pieniä, ovat riskissä hävitä kokonaan eli kuolla sukupuuttoon joko paikallisesti tai globaalisti. Yleisesti Suomen luonnon monimuotoisuuden tilasta kertovat lajien ja **luontotyyppien*** uhanalaisuusselvitykset, jotka tehdään joka kymmenes vuosi. Metsien käsittely on merkittävimpiä metsälajien ja metsäluontotyyppien uhanalaistumisen aiheuttajia Suomessa (kts. kappale 4.1 Metsätalouden vaikutukset luonnon monimuotoisuuteen yleisesti).

2.3.2 Ekosysteemipalvelut

Metsäekosysteemien luontainen toiminta ja monimuotoisuus ylläpitävät ihmiselle välttämättömiä toimintoja ja hyödykkeitä, joita kutsutaan ekosysteemipalveluiksi (The Millennium Ecosystem Assessment 2005). Ekosysteemipalvelut voidaan jakaa edelleen ylläpitäviin palveluihin sekä säätel-, tuotto- ja kulttuuripalveluihin. Ylläpitävillä palveluilla tarkoitetaan ekosysteemin perustoimintoja, jotka luovat edellytykset muille palveluille. Metsissä näitä on esimerkiksi yhteytys sekä veden ja ravinteiden kierto.

Säätelypalveluilla tarkoitetaan ekosysteemin hyödyllisiä sääteleviä prosesseja. Tärkeimpiä säätelypalveluita boreaalisissa metsissä on ilmastonsäätely, sillä puusto ja maaperä ovat merkittäviä hiilivarastoja ja -nieluja (Bradshaw ym. 2009). Metsä sitoo kasvaessaan ilmakehästä hiilidioksidia ja jos metsät sitovat hiiltä enemmän kuin mitä niistä vapautuu hakkuiden ja biomassan hajoamisen seurauksena, toimivat metsät **hiilinieluinä*** eli niissä on kasvava **hiilivarasto***. Hiiltä sitoutuu metsään nopeimmin kasvun ollessa nopeaa. Etenkin vanhojen metsien rooli pitkäaikaisina hiilivarastoina on kuitenkin erittäin tärkeä, sillä hiiltä on varastoitunut puustoon ja maaperään tyypillisesti sitä enemmän mitä vanhempi metsä on (Luyssaert ym. 2008). Boreaalisissa metsissä maaperän hiilivarasto voi olla suurempi kuin puuston hiilivarasto ja eniten hiiltä on suometsien turpeessa. Suomen metsien nettohiilinielu eli ilmakehästä metsiin sitoutuvan hiilidioksidin määrä oli vuoden 2020 arvion mukaan -29,1 miljoonaa tonnia hiilidioksidiekvivalentteina (SVT 2020, SVT = Suomen virallinen tilasto). Suomen metsien nettohiilinielu on vaihdellut vuodesta 1990 lähtien 17,5–47 miljoonan tonnin välillä hiilidioksidiekvivalentteina, ja suurin vaihtelua selittävä tekijä on hakkuiden määrä. Metsien nielu vastaa noin reilua kolmannesta Suomen kokonaishiilipäästöistä. Muita merkittäviä säätelypalveluita metsissä ovat esimerkiksi ravinteiden pidätys, eroosion torjunta sekä veden pidätys ja suodatus. Metsien vaikutus esimerkiksi vesistöjen tilaan on Suomessa merkittävä (Finér ym. 2020).

Tuotantopalveluilla tarkoitetaan aineellisia hyötyjä ja resursseja, joita saadaan luonnosta. Metsien puuntuotanto on merkittävimpiä tuotantopalveluja boreaalisissa metsissä (Vanhanen ym. 2012). Viimeisen kymmenen vuoden aikana Suomen vuotuinen hakkuukertymä on vaihdellut 60 ja 78 miljoonan kuution välillä (SVT 2022). Vuonna 2020 hakkuukertymästä kuitupuuta oli 49 prosenttia, tukkipuuta 36 prosenttia ja energiapuuta 15 prosenttia. Metsäteollisuuden osuus Suomen tavaraviennin arvosta on noin 18 prosenttia ja metsäteollisuus työllistää Suomessa suoraan lähes 42 000 henkilöä ja epäsuorasti yli 32 000 henkilöä (Metsäteollisuus ry 2022). Lisäksi tuotantopalveluihin kuuluvat muun muassa metsien tarjoamat luonnon tuotteet, kuten marjat ja sienet, sekä laitumet porotalouden ja muun karjan käyttöön sekä riista. Vuosittaisista luonnontuotesadoista kerätään Suomessa vain pieni osa (Vaara ym. 2013). Suurin osa keruusadoista kerätään yksityiseen kotitalouskäyttöön, mutta luonnontuotteita kerätään myös myyntiin ja vientiin. Pohjois-Suomessa porotalous ja matkailu ovat merkittäviä alueen elinkeinomuotoja (Mäntymaa ym. 2021; Tyrväinen ym. 2021). Vuonna 2018 matkailu työllisti Lapin maakunnassa 6700 henkilöä (Nurmi 2021), kun metsäsektori työllisti noin 3400 henkilöä (Metsäkeskus 2020). Koko Suomen mittakaavassa metsäsektorin osuus bruttokansantuotteesta vuonna 2020 oli 3,8 prosenttia (Vaahtera ym. 2021) ja matkailun osuus 2,7 prosenttia (Työ- ja elinkeinoministeriö 2022).

Kulttuuripalveluilla tarkoitetaan aineettomia hyötyjä, joita saadaan luonnosta. Metsissä näitä ovat muun muassa virkistyttyminen, luontomatkailu ja metsien tarjoamat luonnonmaisemat. Kulttuuripalvelut osoittavat



metsien tärkeyden kulttuurille ja hyvinvoinnille. Metsän terveys- ja hyvinvointihyötyjen vaikutusmekanismit ovat moninaisia (Tyrväinen ym. 2018; Lackey ym. 2021). Metsässä oleilu ja liikkuminen voi vahvistaa puolustuskykyä ja parantaa stressin hallintaa sekä stressistä palautumista. Metsässä oleilun on osoitettu voivan alentaa verenpainetta ja sykettä, stressihormonitasoja sekä sympaattisen hermoston aktiivisuutta (Tyrväinen ym. 2019). Erityisesti asutuksen (sekä vakituisen että vapaa-ajan) läheisyydessä sijaitsevat metsäympäristöt ovat myös lasten ja nuorten virkistäytymisen ja oppimisen paikkoja: leikki-, retkeily- ja liikuntapaikkoja, sekä perheen, ystävien ja lemmikkien kanssa vietettävän vapaa-ajan ympäristöjä (Raittila 2008; Kallio 2018). Metsien terveys- ja hyvinvointivaikutukset ovat merkittäviä kansanterveyden ja ympäristösuhteen rakentumisen osalta, ja sitä kautta myös koko yhteiskunnan kannalta – mukaan lukien niiden kansantaloudellinen ulottuvuus.

Metsissä puuntuotanto on usein voimakkaasti ristiriidassa muiden metsien tarjoamien hyötyjen kanssa (Pohjanmies ym. 2017). Metsien käsittely puuntuotantoon vähentää metsien luonnon monimuotoisuutta ja häiritsee metsäekosysteemin ja vesiekosysteemin luontaista toimintaa. Metsien käsittely pienentää puuston sekä maaperän hiilivarastoa (Triviño ym. 2016) sekä laskee joidenkin luonnontuotteiden satoja (Peura ym. 2016). Voimakas metsien käsittely vähentää myös metsien virkistysarvoja (Tyrväinen ym. 2017). Pohjois-Suomessa metsätalouden sekä matkailu- ja porotalouden yhteensovittamisen vaikeudet ovat aiheuttaneet konflikteja paikallisväestön ja Metsähallituksen välillä (Turunen ym. 2019). Ojitukset ovat puolestaan aiheuttaneet merkittäviä ravinnepäästöjä vesistöihin ja huonontaneet vesiekosysteemien tilaa (Nieminen ym. 2020a). Metsien eri käyttötavoitteiden yhteensovittaminen puuntuotannon rinnalla voi olla haastavaa, mutta tutkimus on osoittanut, että metsän käsittelymenetelmiä muuttamalla ja monipuolistamalla eri tavoitteet olisi mahdollista yhteensovittaa paremmin (Eyvindson ym. 2018, 2021).



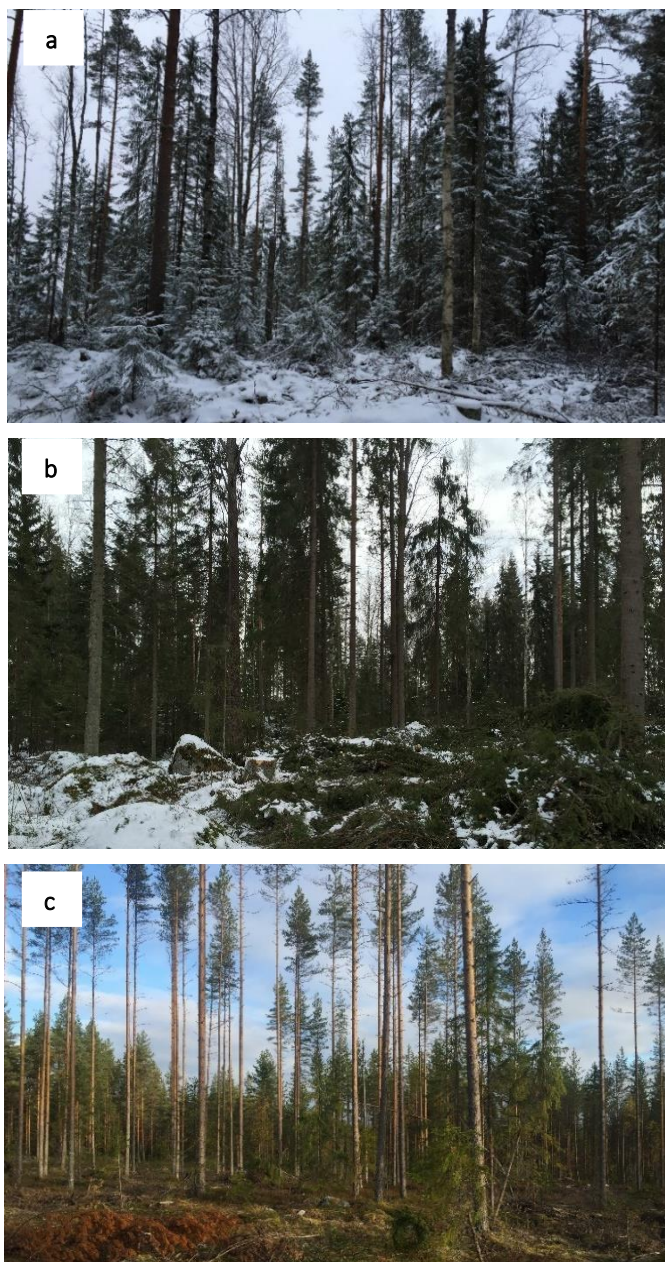
3 JATKUVAPEITTEINEN METSÄNKÄSITTELY

3.1 Mitä jatkuvapeitteinen metsänkäsittely on?

Jatkuvapeitteinen metsänkäsittely on metsänkäsittelyä ilman avohakkuita, jolloin metsä säilyy koko ajan puustoisena (O'Hara 2002; Pommerening & Murphy 2004; Diaci ym. 2011). Hakkuissa poistetaan pääasiassa suurimpia puita muun muassa **poiminta***- ja **pienaukkohakkuin*** (kuva 5a, b). Uudistuminen tapahtuu **luontaisen uudistumisen*** kautta, joten osa suurimmista puista tulee jättää **siemenpuiksi***. Jatkuvapeitteisesti käsiteltyjen metsien rakenne on usein eri-ikäisrakenteinen eli metsikössä on eri ikäisiä ja kokoisia puita (kuva 5a, 6a) (Kuuluvainen 2009). Jatkuvapeitteisen käsittelyn metsässä ei ole tyypillisesti erotettavissa eri kehitysluokkia, joita jaksollisen käsittelyn metsissä ovat esimerkiksi taimikko, nuori käsittelymetsä ja uudistuskypsä metsä (kuva 6c). Jatkuvapeitteisessä käsittelyssä suurempien puiden hakkuilla edistetään luontaista uudistumista ja pienempien puiden kasvua (kuva 6a, b). Jaksollisessa käsittelyssä alaharvennuksessa puolestaan poistetaan pieniä puita edistäen vallitsevan latvuserroksen puiden kasvua (kuva 6c).

Jatkuvapeitteistä käsittelyä ei tule rinnastaa määrämittaisharsintaan, jota tehtiin Suomessa 1900-luvun puoliväliin saakka (Appleroth ym. 1948). Määrämittaisharsinnoissa poistettiin kaikki tietyn koon ja laadun täyttävät puut pääasiassa sahatavaraksi (Siiskonen 2007). Metsiin jäävän puuston laadusta tai sen uudistumiskyvystä ei pidetty huolta. Nykyisessä jatkuvapeitteisessä käsittelyssä jäljelle jäävän puuston laatuun kiinnitetään huomiota ja alikasvoksen syntymistä edistetään hakkuissa. Puuntuotannon näkökulmasta huonolaatuisia puita poistetaan hakkuissa, ellei niitä jätetä esimerkiksi luonnon monimuotoisuuden turvaamisen kannalta säästöpuiksi.

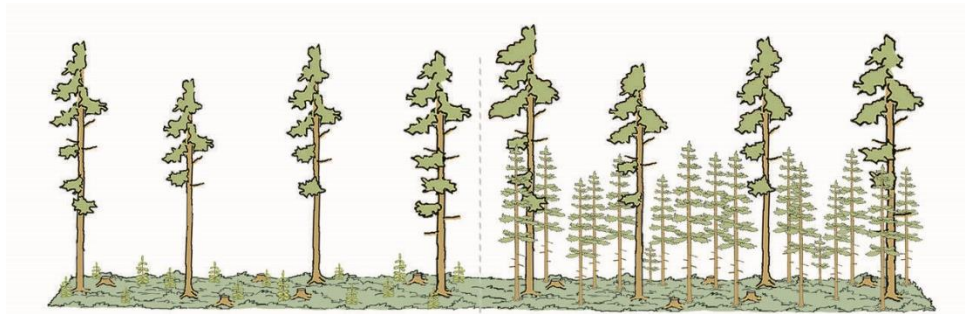
* Katso keskeisten tekstissä lihavoitujen käsitteiden määrittely s. 4–7.



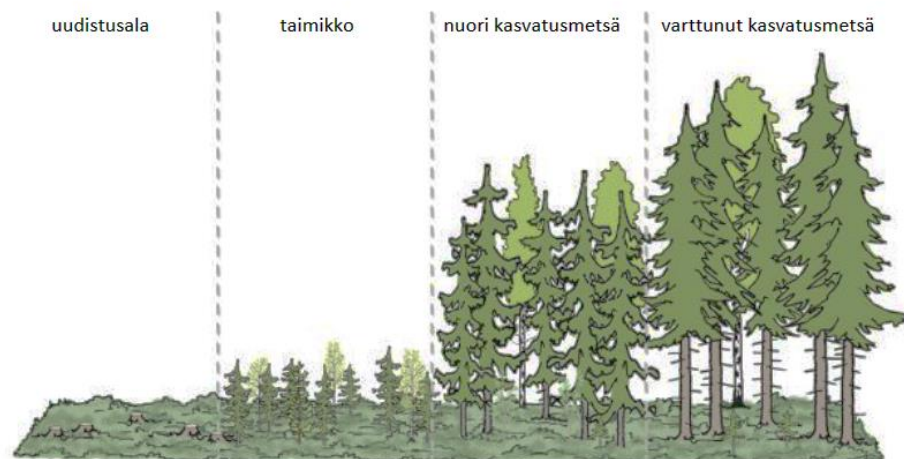
Kuva 5. Jatkuvapeitteisen käsittelyn metsiä. a) Eri-ikäisrakenteinen kuusivaltainen metsä tuoreella kankaalla, johon on tehty poimintahakkuu poistamalla pääasiassa suurimpia kuusia. Lehtipuusto on säästetty ja isoja puita on jätetty siemen- ja säästöpuiksi. b) Kuusimetsä tuoreella kankaalla, johon on tehty pienaukkohakkuu. Kohteella ei ole ollut paljoa erirakenteisuutta ja pienaukolla pyritään vauhdittamaan luontaista uudistumista. c) Mäntymetsä kuivahkolla kankaalla, johon on tehty jatkuvapeitteiseen käsittelyyn tähtäävä yläharvennus. Kuvat: Maiju Peura.



Kuva 6a. Puuston rakenne jatkuvapeitteisessä käsittelyssä, eri-ikäisrakenteinen kuusikko. Piirros: Juha Varhi, Metsänhoidon suositukset (Tapio 2022).



Kuva 6b. Puuston rakenne jatkuvapeitteisessä käsittelyssä, männikön ylispuukasvatus. Piirros: Juha Varhi, Metsänhoidon suositukset (Tapio 2022).



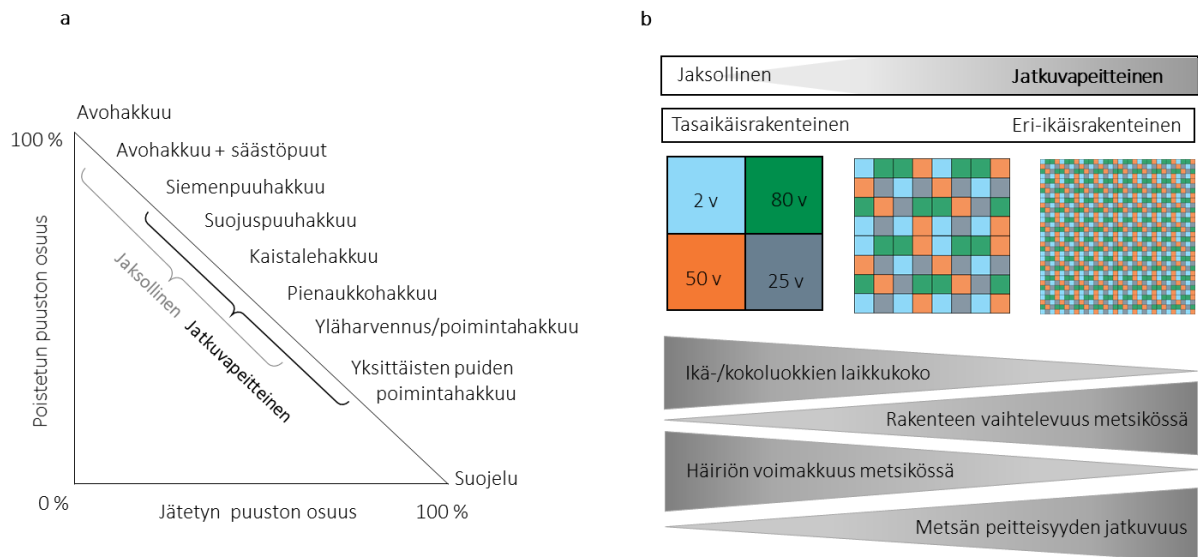
Kuva 6c. Puuston rakenne jaksollisessa käsittelyssä, yksijaksoisen kuusikon eri kehitysvaiheita. Piirros: Juha Varhi, Metsänhoidon suositukset (Tapio 2022).

Jatkuvapeitteisen metsänkäsittelyn yhteydessä käytettävä termistö on laaja (Pommerening & Murphy 2004). Suomessa käytetään usein termiä **eri-ikäisrakenteinen metsänkäsittely***. Metsälaissa on käytössä määritelmä eri-ikäisrakenteinen käsittelyhakkuu, mutta käsittelytapana jatkuvapeitteinen metsänkäsittely on laajempi (kuva 7). Verrattuna eri-ikäisrakenteiseen metsänkäsittelyyn, jatkuvapeitteisen metsänkäsittelyn metsän



puustossa ei ole välttämättä useaa ikä- ja kokoluokkaa, vaan metsä voi olla esimerkiksi kaksijaksoinen (kuva 5c, 6b). Männiköissä esimerkiksi **ylispuukasvatus*** (kuva 6b) voidaan luokitella jatkuvapeitteiseen metsänkäsittelyyn (Tapio 2022). Poiminta- ja pienaukkohakkuuiden lisäksi käytössä olevia hakkuutapoja ovat muun muassa siemenpuu-, suojuspuu- ja kaistalehakkuut, jotka voivat olla myös jaksollisen käsittelyn hakkuutapoja (kuva 7a). **Poimintahakkuissa*** poistetaan pääasiassa suurimpia puuyksilöitä ja tehdään tilaa pienemmille elinvoimaisille puille sekä uusien puiden luontaiselle syntymiselle (Tapio 2022). Suomen oloissa poimintahakkuu toistetaan tyypillisesti 10–25 vuoden välein. **Pienaukkohakkuussa*** tehdään korkeintaan 0,3 hehtaarin pienaukkoja, jotka uudistuvat luontaisesti niiden reunametsän siemennyksestä. Männikön siemenpuuhakkuussa jätetään jatkuvapeitteisessä käsittelyssä 50–150 valtapuuta hehtaarille ja osa siemenpuista voidaan poistaa myöhemmin seuraavissa hakkuissa (Tapio 2022). Kuusikon **suojuspuuhakkuu*** tehdään jo syntyneen kehityskelpoisen taimiaineksen suojaamiseksi ja täydentämiseksi. Suojuspuuhakkuussa puita jätetään 100–300 kappaletta hehtaarille (Tapio 2022). Kuusikon **kaistalehakkuussa*** uudistuminen perustuu reunametsän siemennykseen, jossa uudistuva alue ulottuu enintään 25 metrin päähän siementävästä reunametsästä (Tapio 2022).

Verrattuna jaksolliseen käsittelyyn avohakkuineen, jatkuvapeitteisen käsittelyn hakkuutavat ovat yleensä **metsikkötasolla*** vähemmän voimakkaita ja puuston rakenteessa on enemmän luontaista vaihtelua (kuva 3b), joten kirjallisuudessa käytetään myös termejä vähemmän voimakas (englanniksi less-intensive) ja luonnonläheinen (englanniksi near-natural) metsätalous (Pommerening & Murphy 2004). EU:n metsästrategiassa mainittua termiä luonnonläheinen (englanniksi close to nature) metsien käsittely (Euroopan komissio 2021) ei ole vielä virallisesti määritelty, mutta se voi tarkoittaa käytännön tasolla myös jatkuvapeitteistä käsittelyä. **Maisematasolla*** jatkuvapeitteinen metsänkäsittely lisää metsän peitteisyyden jatkuvuutta, kun avohakkuualoja ei ole (kuva 7b).



Kuva 7. Erilaisia hakkuutapoja ja metsien rakenne jatkuvapeitteisessä ja jaksollisessa käsittelyssä. a) Metsien käsittelytapoja esitettynä suhteessa yhdessä hakkuussa poistetun ja jätetyn puuston määrään. Sekä jatkuvapeitteisen metsänkäsittelyn että jaksollisen metsänkäsittelyn hakkuuiden voimakkuus poistettavan puuston suhteen voi vaihdella paljon. Todellisuudessa hakkuutapoja ei voi yksiselitteisesti laittaa kuvan mukaiseen järjestykseen. b) Jaksollisen ja jatkuvapeitteisen metsänkäsittelyn suhde metsän rakenteeseen. Kuvassa eri väriset laikut kuvaavat puuston ikää. Vasemmassa reunassa on jaksollisen käsittelyn neljä metsikkökuviota, joiden kunkin sisällä puusto on tasaikäistä. Kohti jatkuvapeitteistä metsänkäsittelyä (oikealle) siirryttäessä puuston ikä- ja kokoluokkien laikkukoko pienenee, metsän rakenteen vaihtelevuus kasvaa, hakkuun aiheuttaman häiriön voimakkuus metsikkötasolla pienenee ja metsän peitteisyyden jatkuvuus maisematasolla kasvaa. Kuva: Maiju Peura mukaillen Kuuluvaisen ym. (2012) ja Schallin ym. (2018) ideoita.

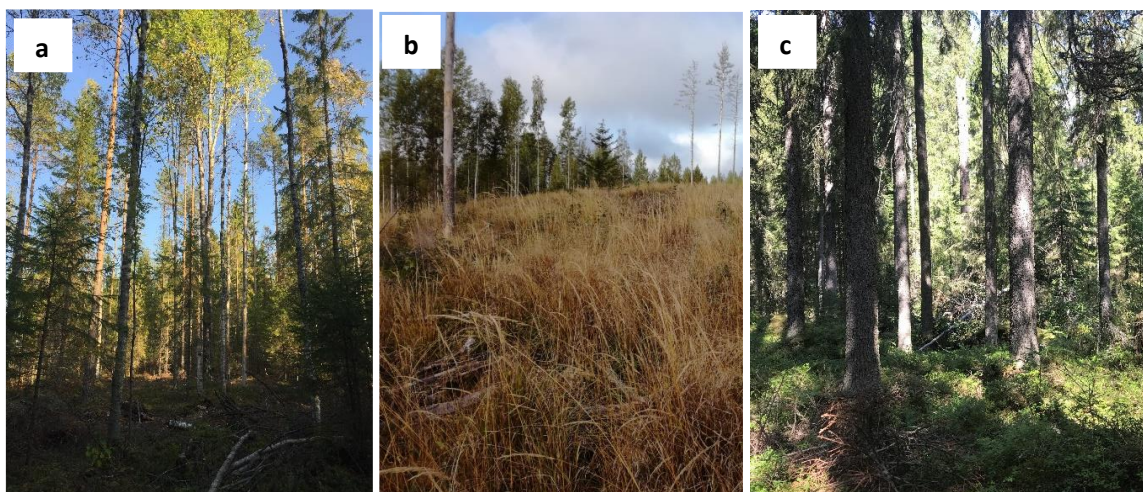


3.2 Tutkimusmenetelmiä jatkuvapeitteisen metsänkäsittelyn ja jaksollisen metsänkäsittelyn vertailemiseksi

Metsäekosysteemien kehitys vie parhaimmillaankin vuosikymmeniä, ja siksi **empiirinen tutkimus*** jatkuvapeitteisen metsänkäsittelyn edellytyksistä ja vaikutuksista ekosysteemien toimintaan ja ekosysteemi-palveluihin vaatii pitkäjänteistä ja monitieteistä tutkimusta. Jatkuvapeitteisen metsänkäsittelyn eri vaikutuksista metsäluonnon monimuotoisuuteen ja ekosysteemipalveluihin löytyy sekä kokeellista että mallinnuksiin perustuvaa tutkimustietoa.

Pitkäaikaisinta seurantatietoa jatkuvapeitteisen metsänkäsittelyn tyyppisen käsittelyn vaikutuksista voi saada valtakunnan metsien inventoinneista (VMI), joita on tehty Suomessa 1920-luvulta saakka. Varsinaisia koealoja, joissa on seurattu poiminta- ja pienaukkohakkuiden vaikutuksia, on perustettu Suomessa 1990-luvulla. Eniten lajistotutkimustietoa Suomesta on 1995 perustetuilta MONTA-koealoilta (Koivula 2002a). Puuston kasvuun ja uudistumiseen liittyvää tutkimusta on tehty pisimpään Luonnonvarakeskuksen (Luke) MONTA- ja ERIKA-koealoilla (Eerikäinen ym. 2014). Luonnonvarakeskus ja Helsingin yliopisto aloittivat vuonna 2009 Häiriö-dynamiikka-hankkeen (DISTYN), josta saadaan tulevaisuudessa myös laajempaa tietoa maisematason käsittelyvaikutuksista (Koivula ym. 2014). Lappiin on perustettu vuonna 2020 Demometsä-koealat, joilta saadaan tietoa puuston kasvusta ja uudistumisesta jatkuvapeitteisessä metsänkäsittelyssä. Metsähallitus perusti vuonna 2019 kolme 5 000 hehtaarin jatkuvapeitteisen metsänkäsittelyn alaa, joilla tullaan tekemään tutkimusta. Jatkuvapeitteisen metsänkäsittelyn mahdollisuuksia turvemaiden käsittelynä on alettu tutkia Suomessa kokeellisesti 2010-luvulla (Nieminen ym. 2018b). Muualla Pohjoismaissa jatkuvapeitteiseen käsittelyyn liittyvää tutkimusta on tehty muun muassa Ruotsissa Umeåssa (Hjältén ym. 2017). Ruotsin maatalouskorkeakoulu SLU ja Ruotsin metsäkeskus ovat vuonna 2012 perustaneet Ruotsin keskiosiin kuusi-valtaisiin metsiin tutkimuskohteita, joilla on tehty lajistoseurantaa. Kanadassa on perustettu 1990-luvun lopulla ja 2000-luvun alussa koeasetelmia, joilla on seurattu **osittaisten hakkuiden*** vaikutuksia muun muassa lajistoon ja metsän kasvuun (Fenton ym. 2013; Ruel ym. 2013).

Kokeellisissa tutkimuksissa on tyypillisesti verrattu poiminta- ja/tai pienaukkohakkuiden vaikutuksia avohakkuiden vaikutuksiin ja/tai käsittelemättömiin metsiin (kuva 8). Tutkimukset ovat keskittyneet pääasiassa metsikkötason vaikutuksiin, vaikka vaikutuksia olisi hyvä tarkastella myös laajemmalla maisematasolla. Boreaaliset metsät kasvavat hitaasti ja jaksollisen käsittelyn koko kiertoajan kattamiseksi tarvittaisiin hyvin pitkä kymmenien vuosien seuranta-aika.

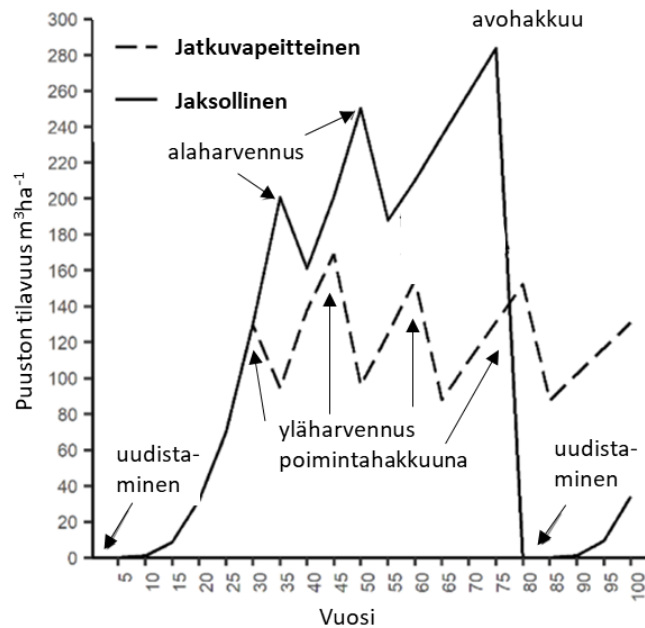


Kuva 8. Esimerkkejä eri käsittelymenetelmien vertailuista. Kokeellisissa tutkimuksissa on vertailtu usein a) poimintahakkuiden vaikutuksia b) avohakkuiden vaikutuksiin ja/tai c) käsittelemättömiin metsiin. Kuvat: Majju Peura.



Metsäntutkimuksessa, etenkin pitkän aikavälin ja maisematason tutkimuksissa, käytetään erilaisia metsän rakennetta ja kasvua kuvaavia malleja. Erityyppisten mallien periaatteita ja eroja on kuvattu Suomen Luonto-paneelin julkaisemassa jatkuvapeitteisen metsänkäsitteilyn talousvaikutuksia tarkastelevassa raportissa sivulla 7–8 (Tahvonen 2022). Jaksollisen käsittelyn malleja on kehitetty pitkään ja ne perustuvat laajoihin aineistoihin, mutta viime vuosina myös jatkuvapeitteisen käsittelyn metsien kasvua kuvaavia malleja on julkaistu. **Kasvumalleissa*** on tyypillisesti kolme osaa: puukohtainen kasvu (yleensä läpimittakasvu), luontainen poistuma sekä luontainen uudistuminen.

Simulaatiot tuottavat tietoa puuston rakenteesta ja tätä tietoa yhdessä **metsäkuvion*** perustietojen kanssa käytetään mallintamaan ja kuvaamaan esimerkiksi erilaisia metsästä saatavia hyödykkeitä. Puuntuotannon lisäksi metsienkäsitteilyn vaikutuksia voidaan tutkia mallintamalla esimerkiksi hiilivarastoja, mustikka-, puolukka- ja sienisatoja sekä erilaisia luonnon monimuotoisuutta kuvaavia mittareita. Simulaatiotutkimuksien avulla pystytään tutkimaan laajempia maisematason ja pitkän aikavälin vaikutuksia. Jatkuvapeitteisen metsänkäsitteilyn pitkäaikaisia ja laaja-alaisia vaikutuksia on verrattu sekä jaksolliseen käsittelyyn että käsittelemättömiin metsiin. Simulaatiotutkimuksissa tarkasteluajat ovat tyypillisesti yli 100 vuotta, jotta koko jaksollisen käsittelyn **kiertoaika*** sisältyy tarkastelujaksoon (kuva 9).



Kuva 9. Puuston tilavuuden kehitys jatkuvapeitteisessä ja jaksollisessa käsittelyssä. Metsikkötason puuston tilavuuden simuloitu kehitys 100 vuoden ajanjaksolla jatkuvapeitteisessä käsittelyssä (katkoviiva) ja jaksollisessa käsittelyssä (kiinteä viiva), kun simulaation lähtötilanteena on ollut paljas maa tuoreella kankaalla (Kuva: muokattu lähteestä Peura 2020).

Simulaatiomallinnuksiin liittyy luonnollisesti epävarmuuksia (Eyvindson & Kangas 2015; Kangas 2020). Jaksollista metsänkäsitteilyä ja tasaikäisrakenteisen metsän kehitystä kuvaavia kasvumalleja voidaan pitää luotettavampina, sillä ne perustuvat suurempiin ja pidempiin empiirisiin aineistoihin kuin jatkuvapeitteisen käsittelyn eri-ikäisrakenteisen metsän kehitysmallit. Tasaikäisrakenteisen metsän kehitystä on lisäksi yksinkertaisempaa mallintaa kuin eri-ikäisrakenteisen metsän kehitystä, tasaikäisrakenteisen metsän yksinkertaisemman rakenteen vuoksi. Myös käsittelemättömien metsien simulaatioon pitkälle tulevaisuuteen liittyy epävarmuutta, koska taustalla olevaa mittauksiin perustuvaa aineistoa on niukasti (Pukkala ym. 2013). Simulaatiot ja mallinnukset ovat kuitenkin arvokkaita, ja tällä hetkellä ainoa tapa arvioida eri käsittelytapojen pitkäaikaisia ja maisematason vaikutuksia. Mallinnustyökalut mahdollistavat myös erilaisten metsänkäsitteilyn skenaarioiden vaikutusten tutkimisen. Sekä kokeellista että malleihin ja simulaatioihin perustuvaa tutkimusta tarvitaan.



4 LUONNON MONIMUOTOISUUS

4.1 Metsätalouden vaikutukset luonnon monimuotoisuuteen yleisesti

Suomen 34 metsäluontotyyppistä 76 prosenttia (26 kappaletta) on uhanalaisia ja 21 prosenttia (7 kappaletta) silmälläpidettäviä (Kouki ym. 2018). Lähes kaikki Suomen metsien luontotyytit ovat siis menettäneet luontaisia ekologisia ominaispiirteitään tai niiden pinta-ala on pienentynyt luonnon monimuotoisuuden kannalta haitallisesti. Kaikki kangasmetsien luontotyytit ovat uhanalaisia tai silmälläpidettäviä, ja syynä on pääosin luontotyyppien ekologisen laadun heikentäminen. Kuolleen ja järeän puun määrät ovat vähentyneet voimakkaasti verrattuna niiden luontaiseen määrään. Vanhat metsät ovat uhanalaistuneet niiden pinta-alan pienenemisen vuoksi. Myös kaikki lehtoluontotyytit arvioitiin uhanalaisiksi tai silmälläpidettäviksi. Metsien luontotyytit olivat uhanalaisempia Etelä-Suomessa (79 prosenttia luontotyypeistä) kuin Pohjois-Suomessa (56 prosenttia luontotyypeistä). Etelä-Suomessa negatiiviset muutokset ovat tapahtuneet pitkän ajan kuluessa, 1700-luvun kasveamiskulttuurista lähtien, jatkuen edelleen. Pohjois-Suomessa uhanalaistumista aiheuttavaa muutosta on tapahtunut enemmän viime vuosikymmeninä. Metsien talouskäyttö on merkittävimpiä luontotyyppien uhanalaistumisen syitä.

Suomen metsät ovat ensisijainen elinympäristö 833 uhanalaiselle ja 754 silmälläpidettävälle lajille (Hyvärinen ym. 2019). Eniten uhanalaisia metsälajeja elää vanhoissa kangas- ja lehtometsissä. Merkittävimpiä syitä metsälajien uhanalaistumiseen ovat metsien talouskäytöstä johtuvat metsäelin ympäristöjen muutokset. Näitä muutoksia ovat vanhojen metsien ja kookkaiden puiden sekä lahoppuun väheneminen, metsien puulajisuhteiden muutokset, metsien uudistamis- ja hoitotoimet sekä kuloalueiden väheneminen. Metsien talouskäytöstä johtuva metsäelin ympäristöjen heikennys on ensisijainen uhanalaisuuden syy 732 uhanalaiselle ja 611 silmälläpidettävälle lajille sekä yksi uhanalaisuuden syistä 1 413 uhanalaiselle ja 1 068 silmälläpidettävälle lajille. Kaikkiaan metsien talouskäytöstä johtuva elinympäristöjen heikennys on johtanut noin 2 500 lajin kasvaneeseen riskiin hävitä Suomesta. Tämä on yli 10 prosenttia kaikista Suomen lajeista, joiden uhanalaisuus on voitu arvioida. Metsien käsittelyn haitalliset vaikutukset näkyvät myös vesi- ja suolajiston uhanalaisuuden tilassa (Hyvärinen ym. 2019).

Jatkuvapeitteisen metsänkäsittelyn luonnon monimuotoisuusvaikutuksia on tutkittu kokeellisesti lähinnä metsäkuviotasolla ja seuranta-ajat ovat vielä varsin lyhyitä, usein alle 10 vuotta. Tutkimuksia, joissa metsikköön olisi tehty esimerkiksi poimintahakkuu useamman kuin yhden kerran, ei vaikuta olevan olemassa. Simulaatio- tutkimuksissa on tarkasteltu myös pidempiaikaisia ja maisematason vaikutuksia. Luonnon monimuotoisuusvaikutuksista on julkaistu Pohjoismaista ja Fennoskandiasta kolme katsausartikkelia, jotka sisältävät osin samoja tutkimuksia. Seuraavaksi käydään läpi näiden katsausartikkelien päätulokset. Sen jälkeen tarkastellaan tutkimustuloksia tarkemmin lajiryhmittäin käyden läpi tutkimuksia myös Pohjois-Amerikan metsistä. Lopuksi tarkastellaan vielä jatkuvapeitteisen metsänkäsittelyn vaikutuksia luonnon monimuotoisuudelle tärkeisiin **rakennepiirteisiin*** ja elinympäristöihin. Vaikutuksia vesiluontoon on käsitelty tämän raportin luvussa 5 Vesistöt.

4.2 Metsänkäsittelytapojen vaikutukset metsäluonnon monimuotoisuuteen

Savilaakson ym. (2021) systemaattinen katsausartikkeli jatkuvapeitteisestä ja jaksollisesta metsänkäsittelystä kokosi yhteen laji- ja yksilömääriä käsittelevät tutkimustulokset Pohjoismaista ja Euroopan Venäjältä. Katsausartikkelissa käytettiin käsitteitä eri-ikäisrakenteinen ja tasaikäisrakenteinen metsänkäsittely, mutta tässä yhteydessä käytämme käsitteitä jatkuvapeitteinen ja jaksollinen metsänkäsittely. Katsauksessa oli mukana tutkimuksia, joissa verrattiin jatkuvapeitteisen (30–70 prosenttia puustosta poistettu) ja jaksollisen metsänkäsittelyn vaikutuksia toisiinsa tai käsittelemättömiin metsiin. Jaksollisen käsittelyn metsät jaettiin kolmeen eri luokkaan: nuoret metsät (alle 80-vuotiaat), varttuneet metsät (yli 80-vuotiaat) sekä säästöpuuhakkuuin käsitellyt metsät (6–10 prosenttia puustosta säästetty avohakkuussa). Tutkittavat lajit ja lajiryhmät jaettiin elinympäristövaatimusten perusteella metsälajeihin sekä avoimien elinympäristöjen lajeihin.

* Katso keskeisten tekstissä lihavoitujen käsitteiden määrittely s. 4–7.



Tutkimuksessa tarkasteltiin lisäksi lahopuun määrän, hakkuuintensiteetin, hakkuusta kuluneen ajan sekä laji-ryhmän vaikutuksia tuloksiin. Taulukkoon 1 on poimittu vertailut jatkuvapeitteisen ja jaksollisen metsänkäsittelyn välillä sekä molempien vertailut käsittelemättömiin metsiin.

Savilaakson ym. (2021) meta-analyysin tulokset osoittavat, että jatkuvapeitteisen käsittelyn metsissä on korkeampi laji- ja yksilömäärä metsälajeja verrattuna nuoriin (alle 80-vuotiaisiin) jaksollisen käsittelyn metsiin. Verrattuna varttuneisiin (yli 80-vuotiaisiin) jaksollisen käsittelyn metsiin, säästöpuuhakattuihin metsiin tai käsittelemättömiin metsiin, jatkuvapeitteisen käsittelyn metsälajien laji- tai yksilömäärissä ei ollut eroa. Nuorten jaksollisen käsittelyn metsien metsälajien laji- ja yksilömäärät olivat pienempiä verrattuna käsittelemättömiin metsiin ja jaksollisen käsittelyn varttuneisiin metsiin. Avointen elinympäristöjen laji- ja yksilömäärät olivat alhaisempia jatkuvapeitteisen käsittelyn metsissä verrattuna nuoriin jaksollisen käsittelyn metsiin. Jatkuvapeitteisen käsittelyn metsät eivät eronneet avointen elinympäristöjen laji- ja yksilömäärissä jaksollisen käsittelyn varttuneista metsistä ja käsittelemättömistä metsistä, lukuun ottamatta suurempaa yksilömäärää kuin jaksollisen varttuneissa metsissä. Lisäksi hakkuusta kulunut aika selitti laji- ja yksilömääriä: avointen elinympäristöjen laji- ja yksilömäärät olivat korkeita pian hakkuiden jälkeen, kun taas metsälajien määrät olivat korkeita metsän myöhäisemmissä kasvuvaiheissa. Meta-analyysi osoittaa, että jatkuvapeitteisen käsittelyn hakkuut aiheuttavat metsälajistolle huomattavasti pienemmän häiriön kuin avohakkuut. Jatkuvapeitteisen käsittelyn metsien lisäksi varttuneet yli 80-vuotiaat jaksollisen käsittelyn metsät tarjoavat tärkeitä elinympäristöjä metsälajeille. On kuitenkin huomioitava, että pitkällä tähtäimellä varttuneet jaksollisen käsittelyn metsät eivät tarjoa metsälajeille pysyvää elinympäristöä. Lisäksi nuoret jaksollisen käsittelyn metsät tarjoavat elinympäristöä lähinnä avointen elinympäristöjen lajeille.

Taulukko 1. Jatkuvapeitteisen ja jaksollisen käsittelyn vaikutukset lajistoon. Meta-analyysin tuloksia tutkimuksesta Savilaakso ym. 2021. Tähän taulukkoon on poimittu vertailut, joissa on verrattu jatkuvapeitteisen käsittelyn metsiä nuoriin (alle 80-vuotiaat) ja varttuneisiin (yli 80-vuotiaat) jaksollisen käsittelyn metsiin, säästöpuuhakattuihin metsiin sekä käsittelemättömiin metsiin ja jaksollisen käsittelyn metsiä käsittelemättömiin metsiin. Taulukkoon ei poimittu vertailuja jaksollisen käsittelyn nuorien ja varttuneiden metsien välillä. Vertailut on tehty lajimäärän ja yksilömäärän suhteen koko lajistolle sekä erikseen metsälajistolle ja avointen elinympäristöjen lajistolle. Merkitsevät erot eri käsittelyjen välillä on korostettu harmaalla värillä. Harmaa väri kuvaa, että kyseisen käsittelyn metsässä on enemmän lajeja tai yksilöitä kuin verratussa käsittelyssä. Valkoinen väri kuvaa, että verrattujen käsittelyjen välillä ei ole eroa.

Vertailu		Kokonaisvaikutus	Metsälajisto	Avointen elinympäristöjen lajisto
		Lajimäärä		
Jatkuvapeitteinen	Nuori jaksollinen		Jatkuvapeitteinen	Nuori jaksollinen
	Varttunut jaksollinen	Jatkuvapeitteinen		
	Säästöpuut			Säästöpuut
	Käsittelemätön			
Jaksollinen	Käsittelemätön	Käsittelemätön	Käsittelemätön	
		Yksilömäärä		
Jatkuvapeitteinen	Nuori jaksollinen	Jatkuvapeitteinen	Jatkuvapeitteinen	Nuori jaksollinen
	Varttunut jaksollinen			Jatkuvapeitteinen
	Säästöpuut			Säästöpuut
	Käsittelemätön	Jatkuvapeitteinen		
Jaksollinen	Käsittelemätön			

Savilaakson ym. (2021) katsaus ei ota huomioon kuitenkaan lajiyhteisöjen rakennetta. On mahdollista, että vaikka esimerkiksi lajimäärä olisi sama jatkuvapeitteisen käsittelyn metsässä ja käsittelemättömässä metsässä, lajit ja niiden suhteelliset runsaudet eroavat. Lajiyhteisön rakenteella voi olla vaikutusta metsäekosysteemin luontaiseen toimintaan. Kuuluvainen ym. (2012) tarkastelivat katsauksessaan jatkuvapeitteisen ja jaksollisen



metsänkäsittelyn vaikutuksia myös lajiyhteisöjen rakenteeseen. Luonnon monimuotoisuutta tarkastelevia tutkimuksia oli katsauksessa yhteensä 12 kappaletta. Tulosten mukaan jatkuvapeitteinen käsittely häiritsee metsikkötasolla varttuneen metsän lajiyhteisöä vähemmän kuin jaksollinen käsittely.

Erilaisten hakkuutapojen vaikutuksia lajistoon on tarkasteltu myös katsauksessa, joka tarkasteli säästöpuiden merkitystä (Koivula & Vanha-Majamaa 2020). Katsauksessa ei vertailtu suoraan jatkuvapeitteisen ja jaksollisen metsänkäsittelyn vaikutuksia, vaan siinä tarkasteltiin säästöpuumäärän vaikutuksia eri lajiryhmiin. Tulokset osoittavat, että monet etenkin avointen elinympäristöjen lajit runsastuivat hakkuiden jälkeen, johtuen valon lisääntymisestä ja tuoreista hakkuutähteistä. Varjoisaa elinympäristöä vaativat lajit kärsivät hakkuista sitä enemmän mitä enemmän puustoa poistettiin; niiden lajiyhteisöt säilyivät kuitenkin varsin muuttumattomina, jos hakkuissa poistettiin puustosta vain 30–50 prosenttia. Myös Pohjois-Amerikassa on selvitetty säästöpuumäärän vaikutuksia lajistoon boreaalisissa metsissä (Beese ym. 2019). Tulokset olivat yhteneväiset Koivulan & Vanha-Majamaan (2020) tulosten kanssa: kun hakkuissa jätetään vähintään puolet puustosta hakkaamatta, vaikutukset lajistoon ovat usein vähäisiä.

4.3 Eri metsänkäsittelytapojen vaikutukset lajistotasolla

4.3.1 Aluskasvillisuus

Aluskasvillisuus on tärkeä osa ekosysteemiä, sillä se vaikuttaa moniin prosesseihin ja ekosysteemin toimintaan, kuten metsän sukkessioon ja tuottavuuteen (Nilsson & Wardle 2005). Aluskasvillisuuden monimuotoisuutta tai kasvilajiyhteisön rakennetta voidaan käyttää **indikaattorina** metsän monimuotoisuudelle tai metsä-ekosysteemin tilalle (Jokela ym. 2018), ja siihen perustuu myös osa metsätyyppiluokittelusta (Cajander 1949).

Suomessa on tutkittu kasvilajiston muutoksia 1–3 ja 10 vuotta hakkuiden jälkeen (Vanha-Majamaa ym. 2017). Kasvilajiyhteisöt muuttuvat nopeasti metsänkäsittelyn seurauksena, mutta muutama vuosi hakkuiden jälkeen muutos oli vähäisintä pienaukko- ja poimintahakkuukäsittelyissä ja suurinta avohakkuu- ja säästöpuukäsittelyissä. Kymmenessä vuodessa hakkuiden jälkeen runsastuneiden heinä- ja ruoholajien runsaudet olivat palautuneet hakkuista edeltävälle tasolle poiminta- ja pienaukkohakatuilla kohteilla, mutta eivät avo- ja säästöpuuhakatuilla kohteilla. Toisaalta esimerkiksi lehti- ja maksasammallajien sekä varpujen runsaus ei palautunut kymmenessä vuodessa millään hakkuutavalla käsitellyissä metsissä. Toisessa tutkimuksessa kasviyhteisöjen rakennetta on tutkittu pienaukoissa (0,1–0,5 hehtaaria) ja niitä ympäröivissä metsissä 4–5 vuoden kuluttua hakkuista (Downey ym. 2018). Heinä- ja ruohokasvien peittävyys oli lisääntynyt pienaukkojen keskellä, kun taas varpujen ja sammalten peittävyys oli säilynyt runsaana pienaukkoja ympäröivissä metsissä.

Pohjois-Suomessa on seurattu eri voimakkuuksilla tehtyjen harvennushakkuiden vaikutuksia mäntymetsien kasvilajiston sukkessioon pitkällä aikavälillä (Muurinen ym. 2019). Koealat perustettiin vuonna 1920 metsäpalon jälkeen ja osalle koealoista tehtiin erilaisia harvennushakkuista niiden ollessa 33- ja 66-vuotiaita. Kasvilajistoa on tutkittu aloilta vuosina 1961, 1986 ja 2013. Käsittelemättömien eli luontaisen sukkessiokehityksen alaisten kohteiden ja hakattujen kohteiden kasvilajiyhteisöt erosivat ainoastaan viimeisellä tutkimuskerralla kohteiden ollessa 93-vuotiaita. Erilaiset harvennushakkuut eivät siis vaikuttaneet häiritsevän kasvilajiyhteisön kehitystä sukkession alussa, mutta hakkuiden haitalliset vaikutukset lajiyhteisöihin olivat nähtävissä metsän ollessa varttuneempaa. Lajiyhteisöt erosivat käsittelemättömistä kohteista vuonna 2013 sitä enemmän mitä voimakkaampia hakkuut olivat olleet. Hakkuiden pitkäaikaisia vaikutuksia on selvitetty myös Norjassa, jossa tutkittiin 60–70 vuotta sitten toteutettujen poiminta- ja avohakkuiden vaikutuksia kuusimetsien kasvilajistoon (Økland ym. 2003). Käsiteltyjen metsien kasvilajiyhteisö oli muuttunut käsittelemättömän metsän kasvilajiyhteisöön verrattuna, mutta eri hakkuutapojen välillä eroja ei ollut.

Mustikka (*Vaccinium myrtillus*) on yksi boreaalisten metsien yleisimmistä kenttäkerroksen lajeista ja sitä pidetään myös elinympäristön avainlajina (Atlegrim & Sjöberg 1996a,b; Esseen ym. 1997). Ruotsissa on tutkittu avohakkuiden ja poimintahakkuiden (30 prosenttia puista ja 45–50 prosenttia puutilavuudesta poistettiin) vaikutuksia mustikkaan 0–4 vuoden kuluessa hakkuista (Atlegrim & Sjöberg 1996a). Käsittelemättömiin metsiin verrattuna poimintahakattujen metsien mustikan peittävyys oli pienempi, mutta mustikan kasvussa tai juuristossa ei havaittu eroja. Avohakatuilla kohteilla mustikan peittävyys, kasvu ja juuriston selviytyminen olivat alhaisempia verrattuna käsittelemättömiin ja poimintahakattuihin metsiin.



4.3.2 Jäkälät

Maassa kasvavilla jäkälillä sekä puilla epifyyttisenä eli kasvin pinnalla kasvavilla jäkälillä on metsä-ekosysteemissä rooli muun muassa ravinteiden, kuten typen, kierrossa. Lisäksi ne tarjoavat resursseja, kuten ravintoa ja suojaa, muille lajeille (Nilsson & Wardle 2005; Gao ym. 2015). Monet linnut ovat riippuvaisia tietyistä varttuneilla puilla kasvavista jäkälistä (Esseen & Renhorn 1996) ja maajäkälät sekä lupot ovat porojen tärkeä ravinnonlähde talvella (Sandström ym. 2016). Jäkälät ovat riippuvaisia oikeanlaisesta kasvualustasta ja monet lajit ovat erittäin herkkiä pienilmaston muutokselle (Hedenås & Ericson 2003).

Norjalaisessa tutkimuksessa vertailtiin käsittelemättömien sekä 60–70 vuotta sitten poimintahakattujen (17–34 prosenttia puustotilavuudesta poistettu) ja avohakattujen (68–73 prosenttia puustotilavuudesta poistettu) kuusimetsien epifyyttijäkälälajiyhteisöjä (Økland ym. 2003). Jäkäliden lajimäärä oli vielä 60 vuoden jälkeenkin alhaisempi molemmissa käsittelyissä verrattuna käsittelemättömiin metsiin. Käsittelyjen välillä ei ollut eroa lajimäärissä. Mäntymetsien epifyyttijäkälälajistoa on 2000-luvun alkuvuosina tutkittu Suomessa 1900-luvun alkupuolella käsitellyillä metsäkuvioilla. Kevyesti poimintahakattujen metsien jäkäliden lajimäärä ja lajiyhteisöjen rakenne ei eronnut luonnonmetsistä, mutta alaharvennuksin käsiteltyjen metsien lajimäärä ja lajiyhteisöjen rakenne erosi sekä luonnonmetsistä että kevyesti poimintahakatuista metsistä (Lommi ym. 2010). Ruotsissa puolestaan on vertailtu 100–130-vuotiaiden poimintahakattujen kuusimetsien ja yli 200-vuotiaiden käsittelemättömien kuusimetsien epifyyttijäkäliden biomassaa ja lajistoa (Esseen & Renhorn 1996). Poimintahakatuissa metsissä jäkäläbiomassa oli alhaisempi johtuen pääosin käsiteltyjen metsien puiden oksien pienemmästä koosta. Pienemmällä jäkäläbiomassalla voi olla haitallisia kerrannaisvaikutuksia lajeihin, jotka käyttävät jäkälää ruokana, suojana tai pesänrakennusmateriaalina. Tutkimukset osoittavat siis, että kevyemmätkin hakkuut häiritsevät herkkää epifyyttijäkälälajistoa, mutta haitallinen vaikutus on sitä suurempi mitä voimakkaampi hakkuu on.

Maalla kasvavien jäkäliden peittävyydelle on kehitetty kokeelliseen aineistoon perustuva ennustemalli (Miina ym. 2020a). Avohakkuu ja maanmuokkaus vähentävät jäkäliden peittävyttä ja jäkäläpeite palautuu mallin mukaan voimakkaasta hakkuusta noin 15–20 vuodessa. Mallissa jäkälän peittävyys kasvoi metsän vanhentuessa, mutta tiheä puusto vähensi jäkäliden peittävyttä. Harvennushakkuut lisäävät valoa ja voivat siten vaikuttaa maajäkäliden peittävyteen positiivisesti. Tutkimuksessa ei tarkasteltu jatkuvapeitteisen käsittelyn hakkuiden vaikutuksia, mutta jatkuvapeitteisessä käsittelyssä metsikön puuston pohjapinta-ala on usein maajäkälille suotuisalla tasolla (Miina ym. 2020b).

4.3.3 Maaperälajisto

Maaperälajistolla on tärkeä rooli ekosysteemin toiminnassa muun muassa hajoitustoiminnan ja ravinteiden kierron kautta (Huhta & Hallanaro 2019). Jatkuvapeitteisen käsittelyn hakkuiden vaikutuksia maaperälajistoon on tutkittu varsin vähän etenkin Fennoskandiassa, mutta avohakkuiden ja metsän uudistamistoimien vaikutuksista on enemmän tutkimustietoa. Uudistamisalojen maanmuokkauksen sekä hakkuutahtaiden korjauksen tiedetään haittaavan maaperän eliöstöä ja kemiallisia olosuhteita (Kataja-Aho ym. 2016). Esimerkiksi kantojen noston haitalliset ympäristövaikutukset ovat mittavia (Walmsley & Godbold 2010).

Erilaisten häiriöiden vaikutuksista maaperän mikrobibiomassaan (sekä bakteerit että sienet) on tehty meta-analyysi, jossa on tarkasteltu myös erilaisten hakkuutapojen vaikutuksia eri metsäbiomeissa (Holden & Treseder 2013). Hakkuutavat jaettiin avohakkuihin ja osittaisiin hakkuihin, joihin lukeutui harvennushakkuuta ja poimintahakkuuta. Avohakkuut vähensivät mikrobibiomassaa 22 prosenttia, ja vaikutus oli tilastollisesti merkitsevä. Harvennus- ja poimintahakkuut vähensivät mikrobibiomassaa 11 prosenttia, mutta vaikutus ei ollut tilastollisesti merkitsevä.

Metsienkäsittelyn vaikutuksista sieniyhteisöjen monimuotoisuuteen ja rakenteeseen on myös olemassa katsausartikkeli (Tomao ym. 2020). Katsausta ei ole rajattu maantieteellisesti tai tiettyihin metsäbiomeihin, joten suurin osa katsauksen sisältävistä tutkimuksista on muualta kuin boreaalisista metsistä. Katsauksessa on tarkasteltu kokeellisia tutkimuksia jaksollisen käsittelyn avohakkuiden ja harvennushakkuiden sekä jatkuvapeitteisen käsittelyn vaikutuksista sienilajiston monimuotoisuuteen. Tulokset osoittavat, että erilaiset hakkuut häiritsivät mykorritsasienten lajiyhteisöjä sitä enemmän mitä voimakkaampi hakkuu oli eli mitä enemmän puuta kohteelta poistetaan ja maaperää häiritään. Katsauksen johtopäätöksiä on, että talousmetsissä sienilaji-



yhteisöjen monimuotoisuuden vähenemistä voidaan estää käsittelemällä metsiä muun muassa niin, että niiden rakenteellinen vaihtelevuus kasvaa sekä metsikkö- että maisematasolla. Tämä voidaan saavuttaa käyttämällä maisemassa erilaisia metsänkäsittelytapoja ja huolehtimalla tärkeiden rakennepiirteiden, kuten lahoppuuston, säilymisestä hakkuissa.

Hakkuiden voimakkuudella oli suuri merkitys maaperäeliöstöön, kuten mikrobeihin, änkyrimatoihin ja niveljalkaisiin ja niiden lajiyhteisöihin (Siira-Pietikäinen ym. 2001, 2003). Erityisen selvä ero on avohakkuun ja muiden käsittelytapojen välillä. Pian hakkuiden jälkeen (1–3 vuotta) tehdyt tutkimukset Suomesta osoittivat, että poimintahakattujen (30 prosenttia puustosta poistettu) kohteiden maaperän lajiyhteisöissä ei tapahtunut merkittäviä muutoksia verrattuna käsittelemättömiin metsiin (Siira-Pietikäinen ym. 2001, 2003). Samoin kymmenen vuoden päästä hakkuista poimintahakattujen kohteiden lajiyhteisöt eivät eronneet käsittelemättömistä metsistä, kun taas voimakkaammin käsiteltyjen kohteiden lajiyhteisöt erosivat edelleen (avohakkuut, säästöpuuhakkuut ja pienaukkohakkuut) (Siira-Pietikäinen & Haimi 2009). Ruotsissa on vertailtu poimintahakkuiden ja avohakkuiden (joille tehtiin myös maanmuokkaus ja istutus) vaikutuksia sienilajiyhteisöihin ja maaperän kemiallisiin ominaisuuksiin neljä vuotta hakkuiden jälkeen (Kim ym. 2021). Itiöemien lajimäärä, monimuotoisuus ja runsaus sekä maaperän sieniyhteisöt olivat samanlaisia poimintahakatuissa ja käsittelemättömissä metsissä, mutta erosivat avohakatuista metsistä. Maaperän kemialliset olosuhteet (pH, maaperän orgaaninen aines, typpi, hiili ja hiili-typpisuhde) eivät eronneet poimintahakattujen ja käsittelemättömien metsien välillä. Käsittelemättömiin ja poimintahakattuihin metsiin verrattuna avohakattujen metsien pH oli korkeampi ja hiili-typpisuhde oli alhaisempi. Pienentynyt hiili-typpisuhde voi johtua kuolleesta sienibiomassasta avohakkuilla, ja pH tyypillisesti kasvaa hiili-typpisuhteen laskiessa (Kim ym. 2021).

Kanadassa on verrattu havumetsien avohakkuiden ja osittaisten hakkuiden, joissa poistettiin puustosta 80 tai 50 prosenttia, vaikutuksia maaperän mikrobisyhteisöihin ja kemiallisiin olosuhteisiin (Lindo & Visser 2003; Hannam ym. 2006). Kahden vuoden päästä hakkuista avohakkuualueiden ja osittain hakattujen kohteiden hakkuukaistaleiden maaperän useat kemialliset olosuhteet, kuten happamuus ja mikrobibiomassa, erosivat käsittelemättömistä metsistä (Lindo & Visser 2003). Osittain hakatuissa kohteissa kuitenkin kohdat, johon puustoa oli jätetty, eivät pääsääntöisesti eronneet käsittelemättömistä kohteista. Osittaishakkuut voivat siis vähentää metsien käsittelyn haitallisia vaikutuksia maaperään. Viiden vuoden päästä hakkuista kumpienkaan käsittelyjen – osittaisten eikä avohakattujen – kohteiden mikrobisyhteisöt tai mikrobibiomassa eivät enää eronneet käsittelemättömistä kohteista (Hannam ym. 2006). Selittävä syy maaperän mikrobiston nopealle palautumiselle voi olla se, että hakkuut tehtiin talvella, eikä maaperää muokattu tai uudistettu missään käsittelyssä. Kanadassa on tutkittu myös osittaisten hakkuiden, joissa poistettiin 80 prosenttia, 50 prosenttia tai 25 prosenttia puustosta, vaikutuksia puun juuren pinnalla kasvaviin pintajuurisieniin eli ektomykoritsasieniin. Sienien lajimäärä, diversiteetti tai yhteisökoostumus eivät eronneet käsittelemättömien metsien ja osittaisesti hakattujen metsien välillä, kun osittaisesti hakatuissa metsissä tarkasteltiin aloja, joihin puusto oli jätetty (Lazaruk ym. 2005). Avohakattujen alueiden ja alueiden, joilta oli poistettu puut osittaisissa hakkuissa ja tehty väyliä ajokoneelle, sieniyhteisöt olivat häiriintyneet ja erosivat käsittelemättömistä kohteista.

4.3.4 Käävät

Käävät elävät kuolleilla sekä elävillä puilla ja ovat tärkeitä hajottajia metsäekosysteemeissä (Junninen & Komonen 2011). Lahopuulla kasvavia kääpälajeja käytetään usein metsän luonnontilaisuuden indikaattoreina, sillä tietyt kääpälajit ovat hyvin erikoistuneita isäntäpuun, lahoppuun laadun ja pienilmaston suhteen.

Pasanen ym. (2019) tutkivat poimintahakkuun, kahdenlaisten pienaukkohakkuiden (laikkukoko 0,12 hehtaaria tai 0,3 hehtaaria) ja avohakkuiden vaikutuksia kääpälajistoon kaksi ja seitsemän vuotta hakkuista. Kahden vuoden päästä hakkuista käsittelyjen välillä ei ollut suuria eroja kääpien laji- ja yksilömäärissä verrattuna käsittelemättömiin kohteisiin. Seitsemän vuoden päästä hakkuista laji- ja yksilömäärissä ei ollut eroa poimintahakattujen ja käsittelemättömien kohteiden välillä. Laji- ja yksilömäärät olivat suurempia avohakatuilla ja pienaukkohakatuilla kohteilla verrattuna käsittelemättömiin ja poimintahakattuihin kohteisiin. Ero oli sitä suurempi, mitä voimakkaampi hakkuu oli. Kohteille hakkuiden jälkeen ilmaantuneet ja runsastuneet lajit olivat talousmetsien yleislajeja, jotka kykenevät hyödyntämään pientä ja tuoretta lahoppuuta avoimissa elinympäristöissä. Kääpien lajiyhteisöt muuttuivat vähiten poimintahakatuilla kohteilla ja eniten avohakatuilla kohteilla verrattuna käsittelemättömiin kohteisiin.



Puronvarsimetsien viereiset avohakkuut häiritsevät kääpälajiyhteisöjen rakennetta (Peura ym. 2020). Puronvarsiensuojavyöhykkeiden poimintahakkuut (30 prosenttia pohjapinta-alasta poistettu) myös **homogenisoivat*** kääpälajiyhteisöjä, sillä poimintahakkuut pienensivät lajiyhteisöjen rakenteen vaihtelua tutkimuskohteiden välillä (Peura ym. 2020). Kevyetkin poimintahakkuut voivat häiritä vaateliasta ja uhanalaista kääpälajistoa vielä vuosikymmenien päästä hakkuista (Sippola ym. 2004). Tulokset Pohjois-Karjalasta osoittavat, että **punaisen listan lajien*** ja vanhan metsän indikaattorilajien lajimääriin vaikuttivat haitallisesti 1900-luvun alussa tehdyt poimintahakkuut vielä 1990-luvun lopulla (Sippola & Renvall 1999).

4.3.5 Selkärangattomat

Hyönteiset toimivat ekosysteemeissä muun muassa pölyttäjinä, petoina sekä hajottajina, ja lisäksi ne kierrättävät ravinteita, muokkaavat maaperää sekä ovat tärkeä ravinnonlähde esimerkiksi monille metsälinnuille ja piennisäkkäille (Lakka & Kouki 2009; Gao ym. 2015). Monimuotoinen hyönteisten lajiyhteisö voi parantaa metsän vastustuskykyä hyönteistuhoilta (Martikainen ym. 1999). Eri hakkuutapojen vaikutuksista hyönteisiin on kaikkein kattavimmin tutkimustietoa.

Koivula ym. (2002a, 2002b, 2019) tutki avohakkuiden (100 prosenttia puustosta poistettiin), säästöpuuhakkuiden (91–95 prosenttia puustosta poistettiin) ja pienaukkohakkuiden (39–54 prosenttia puustosta poistettiin) vaikutuksia kovakuoriais- ja maakiitäjälajistoon 1–3 vuotta ja 10 vuotta hakkuista. Pian hakkuiden jälkeen avohakatuilla aloilla lisääntyvät monissa elinympäristöissä menestyvät yleislajit ja avoimia elinympäristöjä suosivat lajit. Pienaukkohakkuut häiritsivät lajiyhteisöjä vähemmän kuin avohakkuut ja säästöpuuhakkuut (Koivula 2002a, 2002b). Kymmenen vuoden päästä hakkuista minkään hakkuukäsittelyn lajiyhteisöt eivät olleet palautuneet hakkuista (Koivula ym. 2019). Hakkuista edeltävään tilanteeseen ja käsittelemättömiin kontrollikohteisiin verrattuna eniten eroja lajiyhteisöissä oli avohakatuilla kohteilla.

Koivula on tutkinut avo- (100 prosenttia puustosta poistettiin), säästöpuu- (91–95 prosenttia puustosta poistettiin), pienaukko- (61–66 prosenttia puustosta poistettiin) ja poimintahakkuiden (11–34 prosenttia puustosta poistettiin) vaikutuksia myös hämähäkilajistoon 2 vuotta hakkuista (Matveinen-Huju & Koivula 2008). Poimintahakkuut eivät muuttaneet lajistoa, mutta pienaukkohakkuut häiritsivät lajistoa hieman. Avo- ja säästöpuuhakkuut häiritsivät lajistoa merkittävästi, ja näillä kohteilla avoimien elinympäristöjen lajimäärä lisääntyi ja metsälajien lajimäärä väheni.

Jokela ym. 2019 tutkivat avohakkuiden (82–100 prosenttia puustosta poistettiin), kahdenlaisten pienaukkohakkuiden (13–49 prosenttia puustosta poistettiin; keskimäärin 0,15 hehtaarin tai 0,3 hehtaarin pienaukkoja) ja poimintahakkuiden (33–54 prosenttia puustosta poistettiin) vaikutuksia kovakuoriaislajistoon 1–3 vuotta hakkuista. Kaikki hakkuukäsittelyt muuttivat lajiyhteisöä ja hakkuukäsittelyjen lajiyhteisöt erosivat käsittelemättömien kontrollien lajiyhteisöistä edelleen kolmen vuoden päästä hakkuista. Hakkuukäsittelyt muuttivat lajiyhteisöä seuraavassa järjestyksessä: poimintahakkuu (vähiten), 0,15 hehtaarin pienaukkohakkuu, 0,3 hehtaarin pienaukkohakkuu ja avohakkuu (eniten). Hakkuutavasta riippumatta lahoppuun lisäys kolmesta viiteentoista m³ hehtaarilla kasvatti lahoppuella elävien kovakuoriaisten lajimäärää 30 prosenttia.

Ruotsissa on tutkittu jatkuvapeitteisen ja jaksollisen käsittelyn vaikutuksia kovakuoriaislajistoon tutkimusasetelmassa, jossa oli 2–14 vuotta sitten avohakattuja kohteita, 2–14 vuotta sitten harvennettuja (tasaikäisrakenteisia) kohteita, jotka oli avohakattu noin 50 vuotta sitten, sekä 2–14 vuotta sitten poimintahakattuja kohteita (Joelsson ym. 2017). Sekä harvennuksissa että poimintahakkuissa poistettiin 30 prosenttia puustosta. Poimintahakattujen kohteiden lajiyhteisöt eivät eronneet käsittelemättömistä metsistä, mutta harvennettujen ja avohakattujen kohteiden yhteisöt erosivat käsittelemättömistä metsistä. Poimintahakkuiden ja harvennusten vaikutukset lajiyhteisöön eivät kuitenkaan eronneet toisistaan, mikä viittaa siihen, että myös poimintahakkuut ovat saattaneet vaikuttaa lajistoon hieman harvennusten kanssa samansuuntaisesti. Lahoppuusta riippuvaisen kovakuoriaislajiston vaste hakkuihin oli samanlainen kuin edellä: hakkuu muutti lajiyhteisön rakennetta sitä enemmän, mitä voimakkaampi se oli (Joelsson ym. 2018a). Vaikka poimintahakkuut ovat vähemmän haitallisia kuin voimakkaammat hakkuut, nekin aiheuttavat haittaa, joka ilmenee esimerkiksi niin, että lahoppuusta riippuvainen kovakuoriaislajiyhteisö ei säily muuttumattomana poimintahakatuilla kohteilla (Hjältén ym. 2017).



Ruotsissa on tutkittu avohakkuiden ja poimintahakkuiden (30 prosenttia rungoista eli 45–50 prosenttia puustotilavuudesta poistettu tasaisesti eri kokoluokista) vaikutuksia myös perhosten ja sahapistiäisten toukkiin, hämähäkkeihin ja kovakuoriaisiin 0–4 vuotta hakkuista (Atlegrim & Sjöberg 1995, 1996b; Atlegrim ym. 1997). Tutkitut lajit ovat tärkeää ravintoa esimerkiksi monille metsälinnuille. Poimintahakatut metsät eivät eronneet käsittelemättömistä metsistä toukkien ja hämähäkkien yhteisörakenteiden, yksilörunsauden ja biomassan suhteen. Avohakattujen kohteiden yhteisörakenne erosi ja yksilömäärä sekä biomassa olivat alhaisempia kuin käsittelemättömissä metsissä. Kovakuoriaisten yhteisörakenne ei myöskään eronnut poimintahakattujen ja käsittelemättömien metsien välillä, mutta erosi avohakattujen ja käsittelemättömien metsien välillä.

4.3.6 Selkärankaaiset

Jatkuvapeitteisen käsittelyn vaikutuksia selkärankaisten lajistoon on tutkittu Fennoskandian boreaalisissa metsissä vain vähän. Sen sijaan jaksollisen käsittelyn avohakkuiden vaikutuksia lintulajistoon on tutkittu melko paljon, ja avohakkuiden on osoitettu olevan etenkin varttuneen ja vanhan metsän lintulajeille haitallisia (Virkkala 1987; Jokimäki & Huhta 1996; Jokimäki & Solonen 2011). Etenkin lintujen kohdalla eri käsittelytapojen vaikutuksia olisi tärkeää päästä tarkastelemaan laajemmalla maisematasolla, sillä linnut liikkuvat laajemmin ja niillä on isommat reviirit kuin monilla muilla lajiryhmillä (Jokimäki & Huhta 1996; Niemi ym. 1998).

Pohjois-Amerikkalaisista tutkimuksista on tehty meta-analyysit osittaisten hakkuiden vaikutuksista lintuihin (Vanderwel ym. 2007) ja piennisäkkäisiin (Zwolak 2009). Lintujen kohdalla meta-analyysi sisälsi 42 tutkimusta ja 34 lintulajia. Hakkuista johtuen 14 lajin yksilömäärät laskivat ja nämä lajit olivat pääsääntöisesti varttuneiden metsien lajeja. Yksilömäärät laskivat käsittelemättömiin metsiin verrattuna a) 25 prosenttia, kun hakkuissa säästettiin 45–85 prosenttia puustosta, b) 50 prosenttia, kun 30–70 prosenttia puustosta säästettiin ja c) 75 prosenttia, kun 15–50 prosenttia puustosta säästettiin. Hakkuiden jälkeen 6 lajin yksilömäärät lisääntyivät, ja nämä lajit olivat avointen elinympäristöjen lajeja. Hakkuut vaikuttivat lajeihin samalla lailla maantieteellisestä sijainnista ja metsätyypistä riippumatta. Tulokset osoittavat, että varttuneen metsän lintulajisto voi säilyä, jos talousmetsiä käsitellään kevyin, osittaisin hakkuin, joissa poistetaan enintään 30 prosenttia puustosta, ja vähemmissä määrin voimakkaammin hakkuin, joissa poistetaan enintään 50 prosenttia puustosta. Myös toinen meta-analyysi Pohjois-Amerikasta (Forsman ym. 2010) ja tutkimus Suomesta (Forsman ym. 2013) osoittavat, että pienaukkohakkuut voivat olla metsälintulajiston elinympäristöjen säilymisen kannalta toimiva käsittelytapa. Piennisäkkäiden meta-analyysi Pohjois-Amerikasta kattoi kahdeksan eri lajin vasteet erilaisiin hakkuisiin. Nämä vasteet olivat lajikohtaisia (Zwolak 2009). Osittaiset hakkuut kuitenkin muuttivat lajien runsauksia vähemmän kuin avohakkuut.

Ruotsissa on vertailtu jaksollisen käsittelyn harvennettujen metsien ja jatkuvapeitteisen käsittelyn poimintahakattujen kuusivaltaisten metsien lintuyhteisöjä keväällä lisääntymisaikana (Versluijs ym. 2020). Molemmissa käsittelyissä oli 14 kuviota, joiden keskikoko oli 7,5 hehtaaria ja hakkuista oli kulunut noin 10 vuotta. Poimintahakattujen metsien rakenne oli vaihtelevampi ja lähempänä vanhan metsän luontaista rakennetta kuin harvennettujen metsien rakenne, mutta sillä ei ollut vaikutusta lintujen lajimäärään. Harvennetuissa metsissä oli poimintahakattuja metsiä suurempi laji- ja/tai yksilömäärä pitkän matkan muuttolintuja, maapesijöitä, sekä yleislajeja ja kolopesijöitä, jotka ovat riippuvaisia muiden lajien tekemistä koloista. Käsittelyiden välillä oli eroja myös lajiyhteisöissä. Kirjosieppo, talitiainen ja metsäkirvinen olivat runsaampia jaksollisen käsittelyn harvennetuissa metsissä kuin poimintahakatuissa metsissä. Tutkimuksessa ei kuitenkaan ollut mukana käsittelemättömiä metsiä tai jaksollisen käsittelyn muita vaiheita, ja kohteiden lajisto edusti pääasiassa yleisiä talousmetsissä tavattavia lintulajeja. Pohjois-Amerikassa on vertailtu avohakkuiden, suojuspuuhakkuiden, pienaukkohakkuiden ja poimintahakkuiden vaikutuksia metsälintulajistoon 16 vuoden ajanjaksolla hakkuista (Perry ym. 2018). Myös tämän tutkimuksen tulokset osoittavat, että vasteet erilaisiin hakkuisiin olivat lajikohtaisia. Metsien lintulajiston säilymisen kannalta käsitellyissä metsissä olisi tärkeää käyttää monipuolisia käsittelymenetelmiä (Chambers ym. 1999; Doyon ym. 2005), mutta samanaikaisesti metsämaisemassa tulisi olla myös täysin käsittelemättömiä metsiä (Perry ym. 2018).

Kanadan mustakuusivaltaisissa metsissä verrattiin erilaisia poimintahakkuita ja avohakkuita käsittelemättömiin metsiin. Tulokset osoittivat, että varttuneiden metsien lintulajit olivat tyypillisiä poimintahakatuissa ja käsittelemättömissä metsissä, kun taas avoimien elinympäristöjen lintulajit olivat tyypillisiä avohakatuissa



metsissä 1–2 vuotta hakkuista (Blanc ym. 2010). Samoilla tutkimuskohteilla on tarkasteltu hakkuutapojen vaikutuksia myös piennisäkkäisiin (Blanc ym. 2010). Poimintahakatut (< 45 prosenttia puustosta poistettu) metsät tarjosivat elinympäristöä metsämyyrälle, joka on vanhan metsän laji. Voimakkaammin hakatut metsät tarjosivat puolestaan elinympäristöä Amerikan päästäiselle ja peurahiirelle, jotka ovat avoimien elinympäristöjen lajeja. Poimintahakatut metsät tarjosivat elinympäristöä myös lumikenkäjänikselle, vaikkakin niiden populaatiokoko oli pienempi poimintahakatuissa metsissä kuin käsittelemättömissä metsissä (Ruel ym. 2013). Avohakatuissa metsissä lumikenkäjäniksen pienen populaatiokoon arvioitiin johtuvan korkeasta saalistuspaineesta.

Mallinnus- ja simulaatiotutkimuksissa on tutkittu erilaisten monimuotoisuusindikaattoreina käytettyjen selkärankaisten lajien elinympäristöjen määrää eri käsittelytapojen metsämaisemissa pitkällä aikavälillä (Peura ym. 2018). Tutkimuksessa on käytetty indikaattorilajien elinympäristöjen sopivuusindeksejä, jotka perustuvat tutkittuun tietoon ja/tai asiantuntija-arvioihin. Elinympäristön sopivuus mallinnettiin pääasiassa elävän ja kuolleen puuston perusteella. Etelä-Suomessa maisematasolla 100 vuoden simulaatiossa verrattiin Tapion hyvän metsänhoidon suosituksia (Äijälä ym. 2014) noudattavaa jatkuvapeitteistä ja jaksollista metsänkäsittelyä. Jatkuvapeitteisen käsittelyn metsät tarjosivat enemmän elinympäristöjä pyylle, pyrstötiaiselle, pikkutikalle ja pohjantikalle (Peura ym. 2018). Monet näistä vaativat varttunutta metsää ja lehtipuusekoitusta, jota jatkuvapeitteisen käsittelyn metsissä säilytettiin. Jaksollisen käsittelyn metsissä kuviot uudistettiin ainoastaan kuuselle tai männylle, eikä lehtipuusekoitusta säilytetty. Tämä simulaation oletus voi vaikuttaa tuloksiin merkittävästi, sillä myös jaksollisessa käsittelyssä lehtipuusekoitusta voidaan ylläpitää (Huuskonen ym. 2021). Jaksollisen käsittelyn metsät puolestaan tarjosivat tutkimuksen mukaan enemmän elinympäristöjä metsolle ja liito-oravalle. Metson tulos selittyy osittain sillä, että simulaatioissa jatkuvapeitteisessä käsittelyssä männiköt alkoivat pikkuhiljaa kuusettua, koska kuusten mahdollista raivausta ei simulaatioon ollut lisätty. Avohakkuut vaikuttavat kuitenkin negatiivisesti metson ravinnon saantiin ja lisäävät riskiä joutua saalistetuksi (Lakka & Kouki 2009), joten eri käsittelytapojen vaikutuksia metson elinympäristöön olisi tarpeen selvittää lisää. Lisäksi on syytä huomioida, että maisematasolla yhdistelmä eri käsittelytapoja oli metson elinympäristön saatavuuden kannalta paras. Liito-oravan elinympäristömallin näkökulmasta jatkuvapeitteisen käsittelyn metsät olivat liian vähäpuustoisia, kun taas jaksollisen käsittelyn metsät tarjosivat sopivia elinympäristöjä vain kiertoajan lopulla. Sopivan elinympäristön määrä jaksollisen käsittelyn metsissä jäi alle 20 prosenttiin sopivan elinympäristön määrästä käsittelemättömissä metsissä. Peuran ym. (2018) tutkimuksessa ei myöskään otettu huomioon suoraan elinympäristölaikkujen kokoa tai kytkeytyneisyyttä. Jatkuvapeitteistä käsittelyä on ehdotettu sopivaksi käsittelytavaksi esimerkiksi kuukkelimetsiin, kokonaan käsittelemättömiksi jätettäviä ydinalueita lukuun ottamatta (Pukkala ym. 2012).

4.4 Metsänkäsittelytapojen vaikutukset metsäluonnon monimuotoisuudelle tärkeisiin rakennepiirteisiin ja elinympäristöihin

Talousmetsien rakenne eroaa luonnonmetsien rakenteesta niin metsikkö- kuin maisematasolla. Talousmetsistä on poistettu luonnon monimuotoisuudelle tärkeitä rakennepiirteitä, kuten runsas ja monimuotoinen lahoppuusto sekä suuret ja vanhat puuyksilöt (Kuuluvainen 2009). Hakkuut ovat pirstoneet metsämaisemaa ja esimerkiksi jäljelle jääneet vanhojen metsien laikut ovat pieniä ja eristyneitä toisistaan, jolloin niiden luontaista jatkumoa maisemassa ei ole (Kouki ym. 2001). Metsien uhanalainen lajisto on tyypillisesti riippuvainen näistä rakennepiirteistä ja resursseista, joita talousmetsistä puuttuu (Hyvärinen ym. 2019). Talousmetsien monimuotoisuuskeskittymiä ovat **avainbiotoopit***, jotka erottuvat talousmetsämaisemasta ja tarjoavat elinympäristöä uhanalaiselle ja vaatelialle lajistolle. Tässä luvussa tarkastellaan jatkuvapeitteisen käsittelyn vaikutuksia luonnon monimuotoisuudelle tärkeisiin rakennepiirteisiin ja elinympäristöihin.

4.4.1 Lahopuu

Lahopuu on yksi merkittävimmistä resursseista boreaalisten metsien lajistolle (Siitonen 2001). Lahopuueliöstöyhteisöt ovat riippuvaisia tietyn lahoamisvaiheen puuaineksesta, joten järeiden elävien säästöpuiden ja lahoamisen eri vaiheissa olevien kuolleiden puiden tuottama lahoppujatkumo on monimuotoisen lahoppuuriippuvaisen eliöstön säilymisen edellytys. Lahopuun määrä talousmetsissä on tyypillisesti yhteydessä pysyvien säästöpuiden määrään, johon metsänkäsittelytapa ei vaikuta suoraan, jos eri käsittelytapoja vertaillaan pitkällä



aikavälillä yli jaksollisen käsittelyn kiertoajan (Gustafsson ym. 2019). Käsittelytavasta riippumatta pysyviksi säästöpuiksi tulisi jättää vanhoja ja suuria puuyksilöitä, joista voi ajan kuluessa muodostua lahoppuuta. Simulaatiotutkimuksissa jatkuvapeitteisen ja jaksollisen käsittelyn välillä ei ole ollut merkittävää eroa lahoppuun määrässä, kun metsiä on käsitelty Tapion hyvän metsänhoidon suositusten mukaisesti tai puuston **nettonykyarvon*** maksimoimiseksi (Peura ym. 2018; Díaz-Yáñez ym. 2019). On kuitenkin huomioitava, että jos avohakkuiden yhteydessä tehdään kantojen ja hakkuutähteiden poistoa, niin lahoppuun määrä vähenee (Toivanen ym. 2012; Repo ym. 2020) ja luontotyypin kunto heikkenee (El Geneidy ym. 2021).

Kevyempikin hakkuu vaikuttaa haitallisesti ja pitkäaikaisesti lahoppuun luontaiseen muodostumiseen ja lahoppuujatkumoon. Poimintahakkuiden on osoitettu vähentävän lahoppuun määrää useita kymmeniä vuosia verrattuna käsittelemättömiin metsiin (Bader ym. 1995; Sippola ym. 2001; Atlegrim & Sjöberg 2004; Muurinen ym. 2019) ja nämä vaikutukset heijastuvat myös lahoppuusta riippuvaiseen uhanalaiseen lajistoon (Sippola ym. 2004). Esimerkiksi Ruotsissa Atlegrim ja Sjöberg (2004) vertailivat lahoppuun määrää ja laatua 40 vuotta sitten harsintahakatuissa, 1–4 vuotta sitten poimintahakatuissa sekä 1–4 vuotta sitten avohakatuissa metsissä ja luonnonmetsissä. Vanhoissa harsintahakatuissa oli poistettu pääasiassa suurimpia puita, mutta poimintahakatuissa poistettiin puita kaikista kokoluokista tavoitteena säilyttää metsän luontainen puustorakenne. Uusien ja vanhojen maalahoppuukappaleiden ja pystylahoppuiden määrä oli korkein luonnonmetsissä. Käsiteltyjen metsien lahoppuun määrä oli sitä alhaisempi mitä voimakkaampi käsittely oli ollut. Toisessa ruotsalaisessa tutkimuksessa verrattiin lahoppuun määrää kuusivaltaisissa vanhoissa luonnonmetsissä, 7 vuotta sitten poimintahakatuissa vanhoissa metsissä ja 50 vuotta sitten harvennetuissa metsissä (Hjältén ym. 2017). Luonnonmetsissä lahoppuuta oli keskimäärin 65 m³ hehtaarilla, poimintahakatuissa 20 m³ hehtaarilla ja 50 vuotta sitten harvennetuissa 25 m³ hehtaarilla.

Lahoppuusta riippuvaiset lajit ovat usein erikoistuneita tietyn tyyppiseen lahoppuuresurssiin (Toivanen & Kotiaho 2007a, 2010; Ottosson ym. 2014) ja metsän käsittelytapa voi vaikuttaa lahoppuun laatuun ja monimuotoisuuteen. Eri tavoin käsiteltyjen metsien rakenne ja siten myös pienilmasto on erilainen (Joelsson ym. 2018b). Jos metsäkuviolla on lahoppuustoa, jatkuvapeitteinen käsittely voi häiritä avohakkuista vähemmän lahoppuusta riippuvaista lajistoa, joka vaatii varjoisaa ja viileää pienilmastoa (Atlegrim & Sjöberg 2004; Rosenvald ym. 2018; Pasanen ym. 2019). Avohakkuualojen lahoppuut voivat tarjota resurssia lämpimien ja valoisien elinympäristöjen lahoppuusta riippuvaiselle lajistolle. Avohakkuiden reunojen tuoreet tuulenkaadot tarjoavat resurssia puolestaan lahoppuusta riippuvaisen lajiyhteisön sukkession alkupään lajistolle, jotka ovat kylläkin usein talousmetsien yleislajeja (Snäll & Jonsson 2001; Siitonen ym. 2005). Monet uhanalaiset lahoppuusta riippuvaiset lajit käyttävät resurssinaan lahoppuuta, joka on muodostunut esimerkiksi hyvin hitaasti kasvaneesta suuresta puusta, ja jota on ensin lahottanut toinen edeltäjälaaji. On lisäksi arvioitu, että metsässä tulisi olla lahoppuuta vähintään 20 m³ hehtaarilla, jotta sen määrä olisi riittävä lahoppuusta riippuvaiselle lajistolle (Müller & Büttler 2010; Junninen & Komonen 2011). Tällaisia lahoppuuresursseja tai -määriä talousmetsistä harvoin löytyy käsittelytavasta riippumatta.

Jatkuvapeitteisen käsittelyn metsässä monipuolinen lahoppuujatkumo voidaan turvata paremmin kuin avohakatuissa metsissä, mikäli metsässä on koko ajan eri ikäistä ja kokoista puustoa, josta voi syntyä uutta lahoppuuta (Atlegrim & Sjöberg 2004; Pasanen ym. 2019). Toisaalta jatkuvapeitteisessä käsittelyssä haasteeksi voi muodostua maalahoppuun rikkoutuminen hakkuissa (Rosenvald ym. 2018). Jos hakkuista tehdään esimerkiksi 15 vuoden välein ja ajourat sijoitellaan aina uusiin kohtiin vanhoille hakkuu-urille luontaisesti syntyneen aliskasvuston säästämiseksi, maalahoppuustoa voi tuhoutua.

4.4.2 Suuret ja vanhat elävät puuyksilöt

Suuret ja vanhat puuyksilöt ovat tärkeä resurssi esimerkiksi monille jäkälille ja linnuille, myös suurille petolinnuille (McGahan 1968; Nilsson ym. 2002). Samoin kuin lahoppuuston kohdalla, pysyvien säästöpuiden jättäminen on tärkeää luonnon kannalta käsittelytavasta riippumatta (Gustafsson ym. 2019). Jatkuvapeitteisessä metsänkäsittelyssä poistetaan isoimpia puita, mutta niistä osa on tärkeää jättää siemenpuiksi ja pysyviksi säästöpuiksi. Peuran ym. (2018) simulaatiotutkimuksessa suurten, rinnankorkeuslähpimitaltaan yli 35 cm olevien puiden lukumäärä oli suurin jatkuvapeitteisessä metsänkäsittelyssä, kun pieni osa suurimmista puista jätettiin simulaatioissa hakkaamatta. Poimintahakkuiden jälkeen hakkaamatta jätetyt suuret puut saavuttivat nopeasti 35 cm rajan. Jaksollisessa metsänkäsittelyssä säästöpuista muodostui puolestaan nopeasti



lahopuuta. Tähän tutkimustulokseen vaikuttavat kuitenkin monet simulaation oletukset, joten tulosta ei voi yleistää. Jos jatkuvapeitteistä metsänkäsittelyä tehdään ainoastaan puunmyyntitulojen maksimoimiseksi, eikä säästöpuita jätetä, tämä voi johtaa siihen, ettei metsässä ole suuria ja vanhoja puuyksilöitä, eikä näin myöskään järeämpää puustoa vaativia lajeja.

Esimerkiksi monet vanhoilla puilla elävät epifyyttijäkelät ovat hyvin herkkiä pienilmaston muutokselle ja avohakkuiden reunavaikutukselle (Boudreault ym. 2008; Oldén ym. 2014), joita jatkuvapeitteinen metsänkäsittely voi vähentää maisemassa. Jatkuvapeitteinen käsittely aiheuttaa kuitenkin myös muutoksen pienilmastoon (Joelsson ym. 2018; Oldén ym. 2019) ja voi häiritä pienilmaston muutokselle herkkiä lajeja, vaikka niiden kasvualusta säilyisikin hakkuissa (Hedenås & Ericson 2003).

4.4.3 Puulajisuhteet

Lehtipuun määrä talousmetsissä on kasvanut viime vuosina (Korhonen ym. 2020), mutta etenkin vanhojen lehtipuiden määrä on edelleen alhainen verrattuna niiden määrään luonnontilaisissa metsissä. Esimerkiksi haapa tarjoaa tärkeää resurssia monille metsälajeille (Tikkanen ym. 2006; Hardenbol ym. 2020) ja sekametsät ovat lajiyhteisöiltään monimuotoisempia verrattuna yhden puulajin havumetsiin (Gamfeldt ym. 2013; Huuskonen ym. 2021).

Simulaatiotutkimuksissa lehtipuun määrä on ollut jatkuvapeitteisen käsittelyn metsissä usein suurempi kuin jaksollisen käsittelyn metsissä (Peura ym. 2018; Díaz-Yáñez ym. 2019). On kuitenkin huomioitava, että näissä tutkimuksissa jaksollisen käsittelyn kuviot on uudistettu kuuselle tai männylle. Pukkalan (2021) tutkimuksessa eri käsittelytapojen välillä ei ollut eroa lehtipuun määrässä, kun jaksollisessa noin kolmasosa kuviosta uudistettiin lehtipuulle. Jaksollisessa käsittelyssä lehtipuun lisääminen voi olla helpompaa kuin jatkuvapeitteisessä käsittelyssä, koska lehtipuuta syntyy luontaisesti uudistusaloille ja taimikoihin (Huuskonen ym. 2021). Jatkuvapeitteisenä kasvatettavan metsän tulee olla puustoltaan varsin harva, jotta valoa vaativa lehtipuun luontainen uudistuminen onnistuu. Riski hirvituhoille kasvaa kuitenkin puuston tiheyden laskiessa, mikä vaikeuttaa lehtipuun luontaista uudistumista jatkuvapeitteisessä käsittelyssä (Komonen ym. 2020). On kuitenkin huomioitava, että tämä ei ole pelkästään jatkuvapeitteisen käsittelyn ongelma. Hirvien laidunnus vaikeuttaa lehtipuun uudistumista ja selviytymistä myös jaksollisessa käsittelyssä (Huuskonen ym. 2021).

Kuusi uudistuu jatkuvapeitteisessä käsittelyssä luontaisesti helpoiten, joten jatkuvapeitteinen käsittely voi periaatteessa lisätä kuusen määrää metsissä. Viime vuosina on ollut huolta Suomen metsien kuusettumisesta lähinnä tuhoriskien ja ilmastonmuutoksen näkökulmista (ks. luku 8 Metsätuhoriskit). Tästä huolimatta kuusta on istutettu esimerkiksi 2010-luvulla vuosittain noin 50 000 hehtaaria (kuva 2b), joten huoli metsien kuusettumisesta ainakaan pelkästään jatkuvapeitteiseen käsittelyyn siirtymisen vuoksi ei ole aiheellinen. Jatkuvapeitteinen käsittely onnistuu luontaisesti hyvin juuri kuuselle sopivilla kasvupaikoilla, joten lisäkuusettumista ei jatkuvapeitteisen käsittelyn lisäämisestä myöskään tässä mielessä ole välttämättä odotettavissa – nämä kohteet ovat kuusivaltaisia käsittelytavasta riippumatta. Lisäksi jatkuvapeitteisessä käsittelyssä voidaan valita hakkuutapoja, jotka tähtäävät männyn uudistumiseen sille sopivilla kasvupaikoilla (Tapio 2022).

4.4.4 Rakenteellinen vaihtelevuus

Luonnontilaisille metsille on tyypillistä, että puustossa on rakenteellista vaihtelevuutta ja kerroksellisuutta (Esseen ym. 1997). Metsikkö, jossa on rakenteellista vaihtelevuutta, voi tarjota enemmän erilaisia resursseja ja siten ylläpitää monimuotoisempaa lajiyhteisöä kuin rakenteeltaan homogeeninen metsikkö. Jatkuvapeitteisen käsittelyn metsässä on usein eri ikäisiä ja kokoisia puita, jolloin sen rakenteellinen vaihtelevuus on suurempi kuin jaksollisen käsittelyn metsikön (Lähde ym. 1999; Tahvonen ym. 2019). Jatkuvapeitteisen käsittelyn vaihtelevan metsikkörakenteen on osoitettu lisäävän esimerkiksi kovakuoriaisten lajiyhteisöjen monimuotoisuutta verrattuna rakenteeltaan yksipuoliseen metsikköön (Joelsson ym. 2018b). Toisaalta jaksollinen käsittely tuottaa rakenteellista vaihtelua eri kasvuvaiheen metsäkuvioiden välillä laajemmalla maisematasolla. Metsäkuvioiden rajat ovat kuitenkin usein hyvin selvärajaisia ja eri suksessiovaiheen kuvioiden suhteelliset osuudet eroavat luonnonmetsistä. Suomen boreaalisissa metsissä voimakkaat ja laaja-alaiset häiriöt, joiden johdosta metsän suksessio alkaa alusta, ovat harvinaisia (Kuuluvainen & Aakala 2011). Tutkimusten mukaan pienialaiset häiriöt ovat olleet yleisempiä ja laaja-alaisen häiriöiden esiintyvyyväli on



voinut olla useita satoja vuosia. Jotta talousmetsien rakenne olisi sekä metsikkö- että maisematasolla lähempänä luonnontilaisten metsien rakennetta, jatkuvapeitteisen käsittelyn osuutta tulisi talousmetsissä kasvattaa (Berglund & Kuuluvainen 2021).

4.4.5 Palanut puuaines

Palanut puuaines on talousmetsissä harvinainen resurssi, josta monet uhanalaiset lajit ovat riippuvaisia (Toivanen & Kotiaho 2007a, 2007b, 2010; Vanha-Majamaa ym. 2007). Talousmetsien käsittelytavalla ei ole suoraa vaikutusta tähän resurssiin. Kulotus on todennäköisesti käytännössä helpompaa jaksollisen käsittelyn uudistusaloilla verrattuna jatkuvapeitteisen käsittelyn metsiin. Metsän avohakkuu ja kulotus eivät kuitenkaan suoraan matki luonnontilaisten metsien paloa. Luonnontilaisessa metsässä palovälin on arvioitu olevan useita satoja vuosia (Pitkänen ym. 2003) ja palavaa puustoa on ollut runsaasti enemmän verrattuna avohakkuualan säästöpuihin. Borealisissa luonnonmetsissä palot ovat harvoin edenneet latvapaloina, joka tuhoaa koko metsikön, vaan jäljelle on jäänyt runsaasti elävää puustoa, joka on osittain vioittunut tyveltä.

4.4.6 Luonnon monimuotoisuudelle erityisen tärkeät elinympäristöt ja Natura 2000 -alueiden turvaaminen

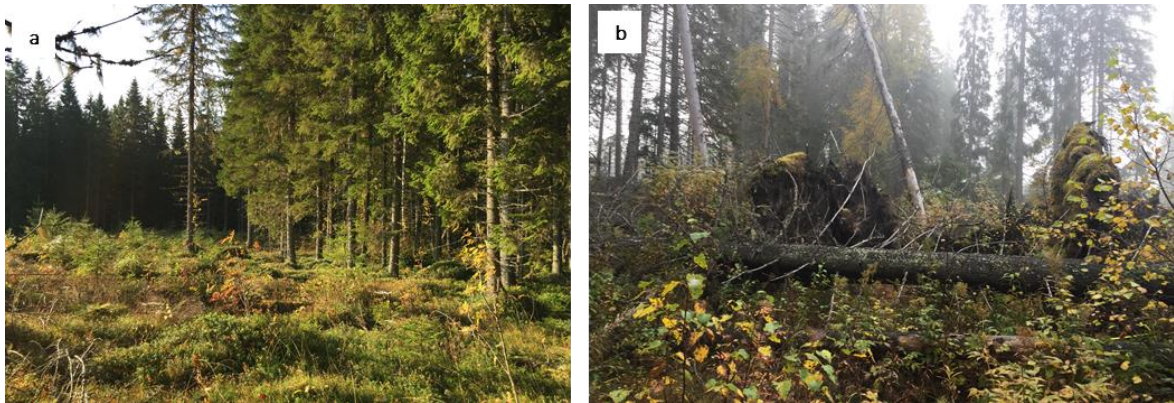
Erityisen tärkeät elinympäristöt eli avainbiotoopit ovat luonnon monimuotoisuuden keskittymiä metsämaisemissa ja ne tarjoavat elinympäristöjä esimerkiksi vaatelialle ja uhanalaiselle lajistolle (Timonen ym. 2010). Suomen metsälaki pyrkii suojelemaan tietyt avainbiotoopit, kuten luonnontilaiset tai luonnontilaisen kaltaiset puronvarsimetsät, lähteet ja tietyt suotyypit. Avainbiotoopit ovat usein pienialaisia ja jos niiden läheisyydessä tehdään avohakkuu, sen aiheuttama **reunavaikutus*** voi pienentää suotuisten elinympäristöjen alaa entisestään (Siitonen ym. 2005; Selonen & Kotiaho 2013; Ylisirniö ym. 2016). Avohakkuu voi vaikuttaa viereisen metsän sisään jopa 50–100 metriä muuttaen metsän pienilmasto-olosuhteita (Murcia 1995; Oldén ym. 2019). Reunat ovat tyypillisesti valoisempia, lämpimämpiä ja alttiimpia erilaisille häiriöille kuin sulkeutuneet metsät (kuva 10). Monet metsien yleislajit ovat yleisiä reunametsissä ja valtaavat elinympäristöä vaateliammalta ja erikoistuneemmalta lajistolta (esim. Snäll & Jonsson 2001).

Eniten tutkimusta on puronvarsimetsien avainbiotoopeista ja etenkin puron ja avohakkuun välisen suojavyöhykkeen leveyden ja poimintahakkuiden vaikutuksista puronvarsimetsien ominaispiirteisiin (Selonen ym. 2011; Selonen & Kotiaho 2013). Tutkimustulokset osoittavat, että puron ja avohakkuun väliin jätetyn suojavyöhykkeen leveys vaikuttaa ominaispiirteisiin eniten, mutta suojavyöhykkeen poimintahakkuut voivat lisätä käsittelyn negatiivisia vaikutuksia puronvarsimetsien pienilmasto-olosuhteisiin (Oldén ym. 2019) sekä lajiyhteisöjen monimuotoisuuteen (Peura ym. 2020). Luonnon monimuotoisuudelle erityisen arvokkaat elinympäristöt, kuten puronvarret, tulisi jättää siis kokonaan käsittelemättä. Jatkuvapeitteinen käsittely on kuitenkin avohakkuuta parempi vaihtoehto tärkeiden elinympäristöjen viereisiin talousmetsiin, sillä se ei aiheuta yhtä voimakasta reunavaikutusta kuin avohakkuu (Murcia 1995; Pukkala ym. 2016; Kuglerová ym. 2017; Mäenpää ym. 2020).

Luonnonsuojelulain 64 a §:n mukaan Natura 2000 -verkostoon kuuluvan alueen suojelun perusteena olevia luonnonarvoja ei saa merkittävästi heikentää. Heikentämiskielto koskee myös Natura 2000 -verkostoon kuuluvan alueen ulkopuolella tapahtuvaa toimintaa, joka voi merkittävästi heikentää alueen suojelun perusteena olevia luontoarvoja. Huomioon on otettava hakkuiden toteutustapa sekä aiheutuvan haitan voimakkuus, kesto, ajoitus, kumulatiiviset vaikutukset ja suojeltavan luonnonarvon haavoittuvuus suhteessa haittaan. Korkein hallinto-oikeus (KHO) on päätöksessään KHO:2020:3 todennut, että ”Natura-arviointia koskevan velvollisuuden edellytyksenä ei ollut, että toimenpiteet kohdistuisivat Natura-alueen suojelun perusteena olevan ensisijaisesti suojellun luontotyypin borealiset luonnonmetsät alueelle. Natura-arvioinnin tarveharkinnan kannalta merkitystä oli hakkuiden kohdentumisen lisäksi hakkuiden laajuudella sekä myös luontotyypin edustavuudella, hakkuiden etäisyydellä luontotyyppistä ja hakkuiden toteuttamistavalla.” KHO:n päätös omalta osaltaan osoittaa, että Natura 2000 -alueeseen rajautuvilla metsänhakkuilla voi olla luonnonsuojelulain 64 a §:n mukaisia merkittäviä heikentäviä vaikutuksia Natura 2000 -alueen luontoarvoihin, ja että myös hakkuiden toteutustavalla voi olla merkitystä arvioitaessa mahdollisen haitan merkittävyyttä. Jatkuvapeitteisen metsänkäsittelyn mukaisten hakkuiden viereiseen suojelualueeseen aiheuttamat reuna-vaikutukset ovat vähäisempiä verrattuna avohakkuuseen, koska alue säilyy edelleen osittain puustoisena.



Jatkuvapeitteisen metsänkäsittelyn hakkuiden käyttö vähentää myös suojelualueeseen kohdistuvia kumulatiivisia haittoja. Useat Natura 2000 -alueeseen rajautuvat avohakkuut – ja muut mahdolliset hankkeet, kuten tie- tai rakennushanke – saattavat yhdessä aiheuttaa luonnonsuojelulain 64 a §:ssä kielletyn merkittävän haitan ja edellyttää lain 65 §:n mukaista arviointia.



Kuva 10. Avohakkuun aiheuttama reunavaikutus viereiseen metsään. a) Avohakkuun reunametsä, jossa valon, lämmön ja tuulen vaikutus on lisääntynyt. b) Avohakkuun reunametsän tuulenkaatoja. Kuvat: Maiju Peura.

4.5 Lisätutkimustarpeet

Kokeellista tutkimusta esimerkiksi toistuvista poimintahakkuista ei ole, ja tiheästi toistuvien poimintahakkuiden haitalliset vaikutukset voivat kasaantua tai näkyä viiveellä (Muurinen ym. 2019). Monissa jatkuvapeitteisen metsänkäsittelyn kokeellisissa tutkimuksissa lähtötilanne ennen hakkuuta on ollut jaksollisen käsittelyn uudistuskypsä metsä ja esimerkiksi 30 prosentin puuston poisto ei ole vaikuttanut lajistoon vielä merkittävästi. Metsiä ei kuitenkaan aina ole hakattu taloudellisesti optimaalisella tavalla tai tarpeeksi harvaksi, jotta luontainen uudistuminen onnistuu. On siis mahdollista, että jos metsä käsitellään jatkuvapeitteisen käsittelyn keinoin hakkuutuottojen maksimoimiseksi ja hakataan esimerkiksi 15 vuoden välein, niin häiriö lajistoon voimistuu, eikä lajisto ehdi palautua ennen seuraavaa hakkuuta. Pitkäaikaisempaa seurantatietoa tarvitaan siis lisää. Suomessa on metsänomistajia, jotka ovat käsitelleet metsiään poimintahakkuin vuosikymmenien ajan, ja näitä kohteita kannattaisi tulevaisuudessa kartoittaa ja tutkia.

Kokeellista tutkimusta eri käsittelytapojen maisematason vaikutuksista ei Pohjoismaista löytynyt. Keski-Euroopan lehtipuuvaltaisissa metsissä on vertailtu tasa- ja eri-ikäisrakenteisen metsänkäsittelyn vaikutuksia paikallisiin sekä maisematason lajimääriin (Schall ym. 2018). Tulokset eivät ole kuitenkaan suoraan sovellettavissa Suomeen, sillä metsätyyppi on eri ja hakkuutavat ovat myös erilaiset. Tasa-ikäisrakenteisen käsittelyn hakkuumenetelmiä olivat suojuspuuhakkuut, eikä niillä tehty esimerkiksi maanmuokkausta, kuten Suomessa boreaalisissa metsissä tyypillisesti tehdään. Tulokset osoittivat, että maisematasolla tasaikäisrakenteisen metsänkäsittelyn alueilla on suurempi lajimäärä kuin eri-ikäisrakenteisen metsänkäsittelyn metsämaisemassa (Schall ym. 2018) tai eri käsittelytapoja ja suojelua sisältävässä metsämaisemassa (Schall ym. 2020). Tämän tyyppistä tutkimusta kuitenkin tarvitaan myös Suomen oloista, jotta jatkuvapeitteisen metsänkäsittelyn vaikutukset ymmärretään maisematasolla paremmin. Luonnonvarakeskuksen häiriödynamiikka-hanke tuottaa eri käsittelytapojen maisematason vaikutuksista tuloksia tulevaisuudessa (Koivula ym. 2014).

Lisäksi erilaisten hakkuiden niin sanottu näkymätön luonnon monimuotoisuusvaikutus tunnetaan huonosti. Esimerkiksi kasvien pinnoilla ja sisällä elää ulospäin näkymätön mikrobiomi, joka voi olla tärkeä muun muassa ravinnekierron ja kasvien puolustuksen kannalta (Remus-Emsermann & Schlechter 2018; Putkinen & Siljanen 2021). Tällainen mikrobisto on erityisen herkkä pienilmaston muutokselle hakkuiden seurauksena. Myös maaperän pieneliöstöstä suurin osa on tieteelle tuntematonta. Erilaisten metsänkäsittelytapojen vaikutusta mikrobistoon ja pieneliöstöön sekä muuhun huonosti tunnettuun lajistoon tulee selvittää tulevaisuudessa tarkemmin.



5 VESISTÖT

5.1 Metsätalouden vesistövaikutukset yleisesti

5.1.1 Ravinnekuormitus

Suomessa on metsäistä rantaviivaa noin 190 000 kilometriä, jonka lisäksi pienemmät vesimuodostumat, kuten lähteet, norot, purot ja ojien verkosto vaikuttavat vesistöihin (Kenttämies & Mattsson 2006). Pintavesiin, soihin ja tihkupintoihin vaikuttaa myös niihin purkautuva pohjavesi. Metsäojien pituus on noin 1,5 miljoonaa kilometriä. Soista metsäoitettuja on yli 53 prosenttia (Korhonen ym. 2021), mikä vastaa 18 prosenttia metsätalousmaan pinta-alasta. Nykyään ojitetuilla soilla tehdään pääasiassa **kunnostusojituksia*** (Finér ym. 2020), mutta myös täysin uusia ojituksia tehdään edelleen (Korhonen ym. 2021). Metsätaloudessa vesistökuormitusta aiheuttaa pääasiassa niin kutsuttu ojitusliasi eli se, että ojitettujen soiden vesistökuormitus on ojituksen vaikutuksesta jäänyt pysyvästi korkeammalle tasolle kuin luonnontilaisten soiden kuormitus (Nieminen ym. 2020a). Muita kuormitusta aiheuttavia tekijöitä ovat 1) veden liikkeisiin vaikuttavat toimet, kuten ojitus, ojien kunnostus, metsätieverkosto ja sen rumpurakenteet, 2) metsänkäsittelytoimenpiteet, kuten metsän uudistaminen maanmuokkauksineen ja kantojen korjuu, sekä 3) lannoitteiden ja kasvinsuojeluaineiden käyttö. Merkittävimpiä veden laatuun vaikuttavia aineita ovat typpi, fosfori, rauta ja alumiini, sekä kiinteä ja liennut humus ja hienojakoinen kivennäismaa-aines.

Metsätalouden osuus metsistä ja soilta tulevasta typen kokonaiskuormituksesta on tällä hetkellä virallisissa tilastoissa käytettävän arvion mukaan 16 prosenttia (7 300 tonnia vuodessa), fosforikuormituksesta 25 prosenttia (440 tonnia vuodessa) ja orgaanisen hiilen kuormituksesta 4 prosenttia (78 000 tonnia vuodessa) (Finér ym. 2020). Näissä arvioissa metsätalouden osuus kaikesta ihmistoiminnan aiheuttamasta typpi- ja fosforikuormituksesta nousee aiempiin arvioihin verrattuna 6 prosentista 12 prosenttiin ja fosforikuormituksesta vastaavasti 8 prosentista 14 prosenttiin (Finér ym. 2020). Kasvua selittää uusi tieto metsäojitusten pitkäaikaisista vaikutuksista ravinnekuormitukseen (Nieminen ym. 2020a). Metsätalouden valuma-alueiden valumaveden kokonaistypen pitoisuuksien keskiarvo on näissä arvioissa 1,5-kertainen, kokonaisfosforin pitoisuuksien keskiarvo kolminkertainen ja orgaanisen hiilen pitoisuuksien keskiarvo 1,1-kertainen verrattuna luonnontilaisten valuma-alueiden valumaveden pitoisuuksiin (Finér ym. 2020).

Metsätalouden aiheuttama ravinnekuormitus voi olla todellisuudessa vielä paljon suurempaa, kuin tällä hetkellä virallisissa tilastoissa käytettävä Finérin ym. (2020) arvio. Pelkästään suometsätalouden (25 prosenttia metsäpinta-alasta) aiheuttama ravinnekuormitus oli Niemisen ym. (2020a) tutkimuksessa suurempaa kuin Finérin ym. (2020) arvioima kuormitus koko metsäpinta-alalle. Lisäksi Finérin työryhmä on sittemmin julkaissut uusia arvioita (Aaltonen ym. 2021), joissa kuormitus on vielä paljon suurempaa (kaksin-kolminkertaista) kuin heidän aiemmassa arviossaan. Erot eri tutkimusten välillä johtunevat pääasiassa käytetystä aineistosta. Finérin ym. (2020) arvio on muita viimeaikaisia arvioita alempi todennäköisesti siksi, että aineistoon ei sisällynyt kauan ojitettuna olleita vanhoja ojitusalueita, joilla kuormitus on paljon suurempaa kuin muilla metsävaluma-alueilla (Nieminen ym. 2017, 2018a). Toisaalta laskettaessa kuormitusta metsätaloustilastoissa olevien ja luonnontilaisten alueiden erotuksena käyttäen Aaltonen ym. (2021) aineistoa (niin kutsuttu Metsätalouden seurantaverkko), saatetaan yliarvioida metsätalouden aiheuttamaa kuormitusta siksi, että kyseisessä aineistossa luonnontilaisten alueiden kuormitus on alhaisempaa kuin muissa aineistoissa.

Metsien vesitalouteen liittyvät ympäristökysymykset ovat monin tavoin ajankohtaisia. Sadanta on lisääntynyt ja siihen ennustetaan merkittäviä ajallisia ja määrällisiä muutoksia (IPCC 2021), mikä lisää huomattavasti valuntaa ja voi lisätä esimerkiksi eroosiota. Metsätaloustoimenpiteistä aiheutuva kuormitus on pinta-alakohtaisesti suurinta ojitetuilla turvemailla, joilla turpeen hajotus ja ojaeroosio nostavat kuormituksen luonnontilaisten soiden kuormitusta korkeammalle tasolle, ja joilla sen lisäksi tehdään kunnostusojituksia ja metsänuudistamista sekä maanmuokkauksia (Nieminen ym. 2020a). Vuosiin 1960–1970 painottuneen soiden uudisojituksen seurauksena suuri osa suometsistä on saavuttamassa ensimmäisen uudistamisvaiheensa, jonka yhteydessä jaksollisessa käsittelyssä tehdään avohakkuun lisäksi myös ojien kunnostusta ja mätästystä

* Katso keskeisten tekstissä lihavoitujen käsitteiden määrittely s. 4–7.



(Saarinen ym. 2020). Avohakkuu nostaa tyypillisesti turvemaan vedenpintaa, jonka seurauksena niin kutsutuille hapettomille pelkistysreaktioille sensitiivisten ravinteiden ja humuksen huuhtoumat lisääntyvät. Kunnostusojitus taas lisää erityisesti ojista liikkeelle lähtevän kiintoaineen huuhtoutumista ojitusalueelta alapuoliseen vesistöön. Myös raudan ja alumiinin huuhtoumat voivat hetkellisesti lisääntyä kunnostusojituksen jälkeen (Kenttämies & Mattsson 2006). Kunnostusojituksen haitallisen vaikutuksen on ajateltu häviävän 10–20 vuoden kuluessa (Finér ym. 2010b), mutta vaikutukset voivat olla huomattavasti pitkäkestoisempia, koska turpeen hajotus voimistuu ja ravinteiden vapautuminen kasvaa kunnostusojituksen seurauksena.

Monet tutkimukset ovat osoittaneet, että ravinnekuormitus ojitetuilta soilta edelleen kasvaa lähi-tulevaisuudessa (Nieminen ym. 2017, 2018a, Räike ym. 2020). Niemisen ym. (2020a) mukaan tähän on syynä ojituksen aiheuttama puuston kasvun lisääntyminen, mikä lisää puustohaihduntaa ja latvuspidäntää. Sen seurauksena suot kuivuvat yhä syvemältä (Sarkkola ym. 2010), mikä taas lisää turpeen hajotusta (Ojanen ja Minkkinen 2019). Lisääntynyt hajotus lisää paitsi kasvihuonekaasupäästöjä myös ravinteiden vapautumista ja huuhtoutumista. Huuhtoumien kasvu ojitussukcession eli puuston kasvun ja turpeen hajotuksen seurauksena saa tukea vielä toistaiseksi julkaisemattomasta kokeellisesta tutkimuksesta sekä mallinnustutkimuksista (Nieminen Mika, suullinen tieto 18.3.2022).

Kivennäismailla suurimman vesistökuormituksen aiheuttaa metsän uudistaminen ja siihen liittyvä maanmuokkaus (Kenttämies & Mattsson 2006). Fosfori- ja typpipäästöjen lisäksi uudistamistoimet voivat lisätä raskasmetallien, kuten elohopean, päätymistä vesistöihin (Porvari ym. 2003; Eklöf ym. 2016). Uudistamisalan pinta-ala, etäisyys vesistöihin sekä maanmuokkauksen voimakkuus vaikuttavat kuormituksen suuruuteen (Kenttämies & Mattsson 2006). Päätehakkuun aiheuttama puuston veden ja ravinteiden oton loppuminen, maanpinnan rikkoutuminen ja aluskasvillisuuden tuhoutuminen, kantojen poisto sekä maanmuokkaus lisäävät kiintoaineen ja ravinteiden huuhtoutumista. Puutavaran korjuun epäonnistunut ajoitus aiheuttaa haitallista maanpinnan rikkoutumista, puun juurien vaurioitumista ja syöpymiselle alttiita ajopainaumia. Työkoneiden painamat jäljet rikkovat metsämaan pinnan ja kokoavat ja kuljettavat vettä ja vaikuttavat siten veden ja ravinteiden kiertoon. Ruotsissa tutkittiin hakkuiden vaikutuksia liuenneen orgaanisen hiilen määrään virtavesissä 2–3 vuotta hakkuiden jälkeen (Schelker ym. 2012). Puron latvavesistön läheisyyteen noin 5–10 metriä rantaviivasta tehty avohakkuu lisäsi liuenneen orgaaniseen hiilen määrää 92 prosenttia ja maanmuokkaus 195 prosenttia. Hakkuiden ja maanmuokkauksen vaikutukset ovat yleensä suurimmat toimenpiteiden jälkeisinä vuosina ja niiden on arvioitu häviävän 10–20 vuoden kuluttua toimenpiteestä (Palviainen ym. 2014). Toisaalta pidempiaikaisia vaikutuksiakin voi olla, mutta niitä ei voi tutkimusmenetelmään liittyvän epävarmuuden vuoksi havaita (Nieminen ym. 2020b).

Metsätalouden eri toimenpiteiden kuormituksen arviointiin on kehitetty niin kutsuttu KALLE-laskentamenetelmä (Finér ym. 2010a). KALLEa käyttäen arvioitiin aiemmin, että metsätalouden tyypikuormituksesta 46 prosenttia aiheutuisi **päätehakkuista*** kangasmailla, 36 prosenttia päätehakkuista turvemailla ja 18 prosenttia kangasmaiden lannoituksesta (Finér ym. 2010a). Fosforin osalta 30 prosenttia aiheutuisi päätehakkuista kangasmailla, 11 prosenttia päätehakkuista turvemailla, 53 prosenttia kunnostusojituksesta ja 5 prosenttia lannoituksesta turvemailla. Nykytiedon perusteella ojituksen pitkäaikaiskuormitus eli ojitustilä kattaa kuitenkin valtaosan metsätalouden vesistökuormituksesta (Nieminen ym. 2020a), eli metsätalouden toimenpiteiden merkitys on suhteellisen pieni verrattuna ojituksen pitkäaikaiskuormitukseen. Siksi ei riitä, että vesiensuojelua toteutetaan vain eri metsätaloustoimenpiteiden yhteydessä. Metsäojitusalueille pitäisi suunnitella pysyviä vesiensuojeluratkaisuja, jotka vähentävät kuormitusta silloinkin, kun mitään metsätaloustoimenpiteitä ei ole suunnitteilla.

5.1.2 Vesiluonto

Riippuen rajoittavasta ravinteesta voi typen tai fosforin lisäys metsätalousmaalta johtaa sekä merissä että sisävesissä **rehevöitymiseen***. Merialueilla rehevöitymistä aiheuttaa usein typpi, kun taas sisävesien rehevöitymistä kiihdyttävät erityisesti fosforin päästöt (Pietikäinen & Räike 1999). Erityisesti latvavesillä metsätalouden aiheuttamat vesistöpäästöt muodostavat riskin vesien laatuluokan heikkenemiselle. Rehevöityminen lisää vesistössä perustuotantoa eli kasviplanktonin, levien ja vesikasvien määrä kasvaa (Holopainen & Huttunen 1998; Ecke 2009). Levien runsas määrä vaikuttaa vesipatsaassa valon määrään ja siten tuottavan valaistun kerroksen paksuuteen vesistöissä. Kuollessaan levät vajoavat järven pohjalle ja vapauttavat hajotessaan



ravinteet takaisin kiertoon. Levä- ja kasvibiomassan hajoaminen kuluttaa vedestä happea ja hapettomuus pohjasedimentissä voi muuttaa ravinteita uudelleen liukoiseen muotoon, pahentaen rehevöitymiskierrettä (Vahtera ym. 2007). Pahimmassa tapauksessa hapettomuus tappaa vesieliöt. Rehevöityminen muuttaa koko vesiekosysteemin ravintoverkkoa ja toimintaa (Smith & Schindler 2009). Fosforin määrän nousu vesistössä voi alentaa esimerkiksi kasviplanktonin ravintoarvoa, mikä voi edelleen vaikuttaa haitallisesti eläinplanktoniin ja kaloihin (Taipale ym. 2019) ja myös ihmisen ravintonaan käyttämien kalojen ravintoarvoihin (Taipale ym. 2016). Rehevöityminen johtaa erityisesti särkikalajien yleistymiseen muiden kalalajien taantuessa (Tammi ym. 1999; Olin ym. 2002, 2013). Erityisesti lohi ja petokalat kärsivät rehevöitymisestä. Rehevöityminen vähentää kalojen kutumenestystä kutualustojen liettyessä ja happitilanteen heikentyessä. Erityisen ongelmallista tämä on järvikutuisille lohikaloille.

Rehevöitymisen lisäksi vesistöt ovat tummuneet viime vuosikymmeninä (Holopainen & Lehikoinen 2022). Sisävesien tummuminen johtuu pääosin liuenneesta orgaanisesta hiilestä eli liuenneesta humuksesta sekä raudasta (Kritzberg ym. 2020). Metsätaloustoimenpiteistä liuennan orgaanisen hiilen ja raudan pitoisuuksien kasvuja vesistössä kiihdyttävät lähinnä metsän avohakkuut, kantojen poisto ja maanmuokkaus sekä ojitukset. Viimeaikaisten tutkimusten mukaan myös metsien voimakas kuusettuminen ja puumäärien nopea kasvu ovat kiihdyttäneet vesistöjen tummumista (Skerlep 2021). Niiden seurauksena metsämaan orgaanisen neulas- ja juuristokarikkeen määrä on kasvanut, mikä on lisännyt orgaanisen aineen huuhtoutumista.

Vesistöjen tummuminen muuttaa vesielinympäristön fysikaalisia ja kemiallisia olosuhteita, kuten valo- ja happiolosuhteita, mikä vaikuttaa koko vesiekosysteemin toimintaan (Kritzberg ym. 2020). Veden tummuminen vähentää esimerkiksi selkärangattomien vesihyönteisten määrää, millä on vaikutuksia koko ravintoverkkoon eli edelleen esimerkiksi kaloihin ja niitä ravintonaan käyttäviin lintuihin (Arzel ym. 2020). Vesien tummuessa myös tuottavan kerroksen paksuus vesipatsaassa pienenee. Perustuotantoon tarvittavaa valoa ei kulkeudu tummassa vedessä syvälle, vaan valoa on saatavilla vain pintakerroksessa. Perustuotannon rajoittuessa vain järven pintakerrokseen happea tuottavien pohjalevien elinmahdollisuudet tummien järvien pohjalla heikentyvät.

Vesistöjen tummuminen ja rehevöityminen vaikuttavat haitallisesti myös vesien virkistys- ja juomakäyttöön (Kritzberg ym. 2020). Myös vesistöjen raskasmetallipitoisuudet kasvavat tummuissa vesistöissä, millä on haitallisia vaikutuksia sekä vesiluontoon että vesistöjen hyötykäyttöön. Esimerkiksi elohopeasta voi muodostua erityisen haitallista metyylielohopeaa, joka vesistöön päätyessään rikastuu ravintoketjussa ja päättyy lopulta petokaloihin ja ihmisiin (Porvari ym. 2003; Miller ym. 2013).

Lajiston uhanalaisuuden osalta pienvedet, jotka ovat lähes aina metsätalouden vaikutuspiirissä, ovat yli-edustettuja muihin vesistötyyppeihin verrattuna. Esimerkiksi punaisen listan vesihyönteislajeista puolet on pienvesien lajeja (Hyvärinen ym. 2019). Luontotyyppien uhanalaisuusselvityksessä pienvesien tila luokiteltiin heikoksi (Lommi ym. 2018), ja merkittäväksi syyksi esitettiin metsätaloustoimet, kuten ojitukset ja avohakkuut. Pienvesien lähiympäristön hakkuut vähentävät vesieliöstölle tärkeän karikkeen määrää ja muuttavat pienilmastoa, mikä nostaa veden lämpötilaa (Moore ym. 2005; Jyväsjärvi ym. 2020). Suomessa tehdyn laajan virtavesitutkimuksen mukaan metsäojitukset ja avohakkuut vaikuttavat haitallisesti virtavesieliöihin, kuten koski- ja päivänkorentojen lajiyhteisöihin (Rajakallio ym. 2021). Voimakkaimmat vaikutukset havaittiin pienissä latvapuroissa, joiden valuma-alueella yhdistyivät sekä ojitus että avohakkuu. Myös puroluonnon ennallistamisen vaikutukset jäivät ojitetuilla alueilla usein hyvin vaatimattomiksi esimerkiksi lohikalajien palauttamisen näkökulmasta, koska ojitetuilta soilta huuhtoutuva humusaines hyvin nopeasti liettää ennallistetut kutupaikat (Marttila ym. 2019).

5.2 Metsänkäsittelytapojen vesistövaikutukset

Merkittävä puute metsätalouden vesiensuojelussa on, että useimmilla menetelmillä ei saada vähennettyä muuta kuin kiintoainekuormitusta, ja sitäkin useimmiten heikosti (Nieminen ym. 2015). Vedessä liuenneena kulkeutuvien ravinteiden huuhtoutumista voidaan torjua tehokkaasti vain vesiensuojelukosteikoiden tai pinta-valutuskenttien avulla (Nieminen ym. 2015), mutta niiden käyttö metsätalouden vesiensuojelussa on vähäistä. Siksi tarvitaan myös muutosta metsänkäsittelyyn, mikäli vesistöjen suojelua halutaan tehostaa.



Jatkuvapeitteisen metsänkäsitteilyn vaikutuksia vesistöihin on tutkittu Suomessa hyvin vähän. Esimerkiksi kangasmaiden jatkuvapeitteisen käsittelyn vaikutuksista ei Suomessa ole tehty mitään arvioita. Tällä hetkellä on kuitenkin käynnissä useita hankkeita, joissa tutkitaan jatkuvapeitteistä metsänkäsitteilyä myös vesistöjen suojelun näkökulmasta.

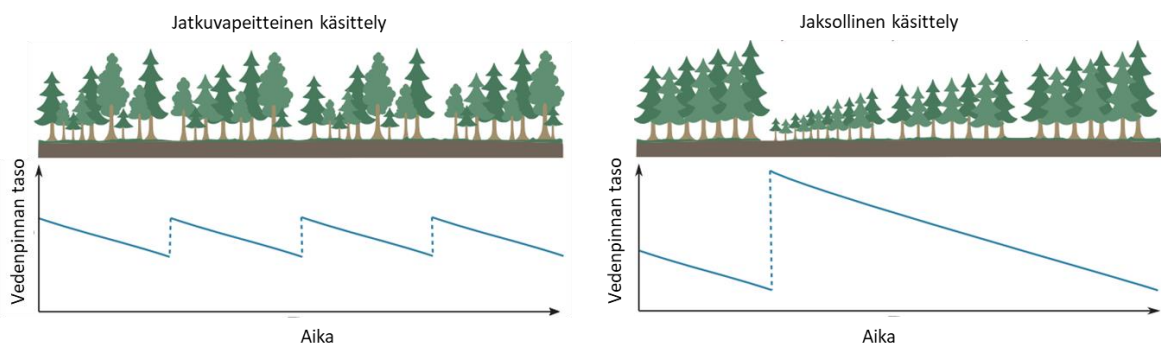
Nieminen ym. (2018b) ja Saarinen ym. (2020) ovat arvioineet jatkuvapeitteisen metsänkäsitteilyn mahdollisuuksia ojitetuilla turvemailla metsänhoidollisesta ja ympäristönsuojelullisesta näkökulmasta. Jatkuvapeitteisen käsittelyn ajatellaan olevan jaksolliseen käsittelyyn verrattuna vesiensuojelun näkökulmasta merkittävästi parempi vaihtoehto siksi, että voimakkaita avohakkuita ja maanmuokkausta ei tehdä ja siksi, että ojitettuja soita kunnostusojitetaan selvästi harvemmin. Ojitetuilla soilla jatkuvapeitteisen käsittelyn ajatellaan vähentävän kuormitusta myös siksi, että suon vedenpinta ei missään kasvatusvaiheessa laske yhtä syväälle kuin varttuneissa jaksollisen käsittelyn metsissä (kuva 11). Tämä vähentää erityisesti syvien turvekerrosten hajotuksesta syntyvää ravinne- ja hiilikuormaa.

Kanadassa on tehty katsausartikkeli hakkuiden vaikutuksista maaperään ja vesistöjen ravinnekuormaan (Kreutzweiser ym. 2008). Katsauksen tutkimuksista suurin osa käsitteli avohakkuiden vaikutuksia, mutta katsauksessa oli mukana myös tutkimuksia, joissa oli vertailtu avohakkuiden ja osittaisten hakkuiden vaikutuksia. Osittaisten hakkuiden haitalliset vaikutukset maaperään ja sitä kautta vesistöihin olivat pienempiä kuin avohakkuiden.

5.2.1 Ravinnekuormitus

Turvemaat

Avohakkuihin ja intensiivisiin maanmuokkauksiin verrattuna jatkuvapeitteisen metsänkäsitteilyn hakkuissa suon vedenpinnan nousu on selvästi vähäisempää (Leppä ym. 2020b), puuston ja kasvillisuuden ravinteiden sitomiskyky säilyy paremmin (Leppä ym. 2020a; Palviainen ym. 2021) ja eroosiota vesistöihin tapahtuu vähemmän. Tällöin jatkuvapeitteisessä käsittelyssä hakkuiden aiheuttama ravinnekuormitus ja muut haitalliset vaikutukset vesistöihin jäävät pienemmiksi verrattuna jaksolliseen käsittelyyn (Nieminen ym. 2018b). Jatkuvapeitteinen käsittely voi olla toimiva metsänkäsitteilymenetelmä etenkin ojitetuilla turvemailla (Nieminen ym. 2018b; Saarinen ym. 2020). Jos ojitetulla turvemaalla säilyy hakkuun jälkeen puustoa noin 100–150 m³ hehtaarilla, puuston biologinen haihdutus voi riittää pitämään veden pinnan tason niin alhaalla, että kunnostusojitusta ei tarvita (Saarinen ym. 2020). Maisematason simulaatiotutkimuksen tulosten perusteella kunnostusojituksen välttäminen voi vähentää metsätalouden ravinnepestöjä merkittävästi erityisesti fosforin osalta (Hökkä ym. 2017). Ojitukset ja vedenpinnan taso ovat ravinnekuormituksen lisäksi merkittäviä tekijöitä myös suometsien ilmastopäästöjen kannalta (ks. Ilmasto-osion kappale 6.2.1.2 Turvemaat).



Kuva 11. Kuvitteellinen kuva puuston ja vedenpinnan tason kehityksestä jatkuvapeitteisessä ja jaksollisessa metsänkäsitteilyssä ojitetulla turvemaalla. Vedenpinnan taso nousee hakkuiden seurauksena. Jatkuvapeitteisessä käsittelyssä on tehty pääasiassa yläharvennuksia ja jaksollisessa käsittelyssä on tehty avohakkuu, kunnostusojitus ja alaharvennuksia. Kuva muokattu lähteestä Nieminen ym. (2018b).



Saarisen ym. mukaan (2020) kosteissa korpikuusikossa voi olla mahdollista siirtyä melko nopeasti jaksollisesta jatkuvapeitteiseen metsänkäsittelyyn esimerkiksi yläharvennuksia soveltamalla. Jatkuvapeitteisyyttä voidaan korpikuusikoissa ylläpitää myös kaistale- ja pienaukkohakkuin sekä niiden ja poimintahakkuiden yhdistelmillä. Myös mäntyvaltaisille turvekankaille poimintahakkuut tai ylispuukasvatus voivat olla toimiva käsittelytapa. Saarinen ym. (2020) esittävät puolukka- ja varputurvekankaiden mäntyvaltaisten puustojen jatkuvapeitteisyyden toteutukseksi ensisijaisesti erilaisia pienaukko- ja kaistalehakkuita sekä niiden ja ylispuukasvatuksen yhdistelmiä.

Suomessa on tutkittu jatkuvapeitteisen käsittelyn hakkuiden vaikutuksia vedenpinnan tasoon ojitetuissa kuusivaltaisissa suometsissä 2–5 vuoden ajan hakkuiden jälkeen (Leppä ym. 2020b). Kohteita oli eri osissa Suomea ja poistetun puuston määrä vaihteli 17 prosentin ja 74 prosentin välillä. Ennen hakkuuta vedenpinnan taso oli keskimäärin 30–40 cm:ssä. Kun puustosta poistettiin noin puolet, vedenpinta nousi tyypillisesti 15–40 prosenttia. Hakkuu vaikutti vedenpinnan tason nousuun tyypillisesti sitä enemmän mitä voimakkaampi se oli. Etenkin Etelä-Suomessa osittaiset hakkuut voivat olla tutkimuksen mukaan toimiva menetelmä pitää vedenpinta suometsissä sopivalla tasolla ja välttää kunnostusojituksia.

Leppä ym. (2020a) ovat tutkineet erilaisten hakkuiden vaikutuksia vedenpinnan tasoon sekapuustoisella suolla, jossa valtapuuna kasvoi mäntyä ja koivua ja alikasvoksena kuusta (ojitettu 50–80 vuotta sitten). Kolme vuoden päästä hakkuista jatkuvapeitteisen käsittelyn alalla (70 prosenttia puustosta poistettiin) vedenpinnan taso oli noussut keskimäärin 5 cm, kun taas avohakkuualalla, jossa oli tehty ojitusmätästystä, vedenpinnan nousu oli keskimäärin 18 cm. Jatkuvapeitteisen käsittelyn alalla jätetyn valtapuuston lisäksi vedenpinnan tason säätelyssä tärkeässä roolissa oli kohteella jo olemassa oleva kuusialikasvos ja aluskasvillisuus (Leppä ym. 2020a). Samalla tutkimuskohteella on vertailtu myös eri hakkuutapojen vaikutuksia vesistöjen ravinnepäästöihin 17 kuukauden ajanjaksolla hakkuista ja tulokset on julkaistu opinnäytetyönä (Kuismin 2019). Jatkuvapeitteisen käsittelyn osittainen hakkuu lisäsi typpi- ja fosfaattipäästöjä sekä liuenneen orgaanisen hiilen päästöjä noin kolmasosalla taustakuormituksen määrästä, mutta ei lisännyt fosforin kokonaispäästöjä. Avohakkuualan käsittelyn aiheuttama liuenneen orgaanisen hiilen kuormitus oli noin 7-kertainen, typikuormitus 5-kertainen, fosforikuormitus 8-kertainen ja fosfaattikuormitus 17-kertainen taustakuormitukseen nähden. Jatkuvapeitteisen käsittelyn hakkuun aiheuttama ravinnekuorma vesistöön oli siis huomattavasti pienempi verrattuna avohakkuun aiheuttamaan ravinnekuormaan.

Palviainen ym. (2021) tutkivat jatkuvapeitteisen metsänkäsittelyn hakkuiden vaikutuksia vedenlaatuun ojitetuissa kuusivaltaisissa suometsissä, joissa noin puolet puustosta oli poistettu kolme vuotta ennen mittauksia ja ojitukset suoritettu 60–80 vuotta sitten. Typen, ammoniumtypen, fosfaatin ja liuenneen orgaanisen hiilen pitoisuudet suovedessä olivat alhaisempia jatkuvapeitteisen käsittelyn aloilla ja käsittelemättömillä aloilla verrattuna avohakkuualueen. Jatkuvapeitteisen käsittelyn alan veden ravinnepitoisuudet eivät eronneet merkittävästi käsittelemättömän alan pitoisuuksista.

Vielä julkaisemattomien tutkimustulosten perusteella (Nieminen Mika, suullinen tiedonanto 18.3.2022) hakkuutapaa (avohakkuu, poimintahakkuu, kaistale- tai pienaukkohakkuu) merkittävämpi tekijä huuhtoumien synnyssä ojitetuissa suometsissä voi olla se, kuinka paljon hakkuissa poistetaan puustoa valuma-alueelta. Tämä on looginen johtopäätös, koska poistetun puuston määrä korreloi voimakkaasti se kanssa, miten paljon valuma-alueelle jää ravinteita sisältäviä hakkuutähteitä ja miten paljon vedenpinta nousee hakkuun jälkeen. Huuhtoumat näyttäisivät kasvavan hyvin jyrkästi, kun poistetun puuston määrä ylittää noin 100 m³ hehtaarilla. Jatkuvapeitteisessä metsänkäsittelyssä puustoa poistetaan yleensä vähemmän ja avohakkuissa selvästi enemmän kuin 100 m³ hehtaarilla, joten jatkuvapeitteisen käsittelyn vesistövaikutusten voidaan tämän perusteella olettaa olevan merkittävästi vähäisempiä kuin avohakkuissa. Vielä julkaisemattoman tutkimuksen perusteella kaistalehakkuisiin perustuva käsittely voisi ojitetuissa suomänniköissä vähentää fosfori- ja typikuormitusta 60–70 prosenttia avohakkuisiin ja ojituksiin perustuvaan jaksolliseen käsittelyyn verrattuna (Nieminen Mika, suullinen tiedonanto 18.3.2022).

Kivennäismaat

Suomessa on tutkittu myös kuusikon suojuspuuhakkuun (jätetty puusto 300 runkoa hehtaarilla) ja männikön siemenpuuhakkuun (jätetty puusto 50 runkoa hehtaarilla) vaikutuksia pohjaveden laatuun kuivahkolla kankaalla 10 vuoden ajan hakkuiden jälkeen (Kubin 2012). Tulokset on julkaistu kirjan kappaleen osana ja perustuvat pieneen otantaan eikä aineistolle ole tehty varsinaisia tilastollisia analyysejä (Kubin 2012). Nitraatin



huuhtoutuminen pohjaveteen kasvoi noin viiden vuoden ajan hakkuista, mutta ei ollut yhtä voimakasta suojuksen ja siemenpuuhakkuissa kuin avohakatuilla aloilla. Kuusikossa suojukspuuhakatulla alalla pohjaveden korkein nitraattipitoisuus oli noin puolet avohakatun alan korkeimmasta pitoisuudesta. Mäntikössä siemenpuuhakatulla alalla korkein nitraattipitoisuus oli noin kahdeksasosa avohakatun alan korkeimmasta mitattusta pitoisuudesta.

Merkittävää hyötyä jatkuvapeitteisestä metsänkäsittelystä kangasmailla erityisesti kiintoainekuormituksen näkökulmasta on todennäköisesti niillä alavimmilla alueilla, jotka nykyisin käsitellään avohakkuun jälkeen ojittamalla ja mätästämällä. Tätä hyötyä ei kuitenkaan voi arvioida, koska alavien kangasmaiden ojittamisen ja mätästämisen vesistövaikutuksia ei tunneta (Nieminen Mika, suullinen tiedonanto 18.3.2022). Erityisesti hienojakoisilta alavilta kangasmailla huuhtoutuu ojittamisen vaikutuksesta todennäköisesti kuitenkin niin paljon kiintoainetta, että hyödyn voidaan olettaa olevan merkittävä. Jatkuvapeitteinen metsänkäsittely alavilla kangasmailla vähentäisi todennäköisesti myös hapettomille pelkistysreaktioille sensitiivisten aineiden huuhtoutumista.

5.2.2 Vesiluonto

Jos avohakkuiden sijasta etenkin ojitetuilla turvemaiden ja alavilla kangasmailla metsätaloutta harjoitetaan jatkuvapeitteisen käsittelyn periaatteiden mukaan, voivat ravinnepäästöt vesistöihin ja sitä kautta hakkuiden haitalliset vaikutukset vesiluontoon pienentyä merkittävästi. Jatkuvapeitteisen metsänkäsittelyn suorista vaikutuksista vesiluontoon ei ole pohjoismaisia tutkimustuloksia. Pohjois-Amerikassa on tehty tutkimuksia osittaisen hakkuiden vaikutuksista purojen pohjaeläimiin ja selkärangattomiin (Carlson ym. 1990; Kreutzweiser ym. 2010). Jos puron läheisestä puustosta hakattiin enintään puolet, hakkuu ei vaikuttanut merkittävästi lajistoon, mutta kuitenkin vähensi lajistolle tärkeän karikkeen määrää. Lisäksi pienvesien elinympäristöille ominaiset pienilmasto-olosuhteet ovat herkkiä hakkuille, jotka voivat muun muassa nostaa veden ja pienilmaston lämpötilaa (Murcia 1995; Moore ym. 2005; Oldén ym. 2019).

Pohjois-Amerikassa tehdyssä tutkimuksessa puron ja avohakkuun väliin jätettiin 30–100 metriä leveä suojavyöhyke, jolta poistettiin osittaisissa hakkuissa 10–28 prosenttia puuston pohjapinta-alasta (Kreutzweiser ym. 2009b). Kun puustoa poistettiin suojavyöhykkeeltä 10 prosenttia tai 21 prosenttia pohjapinta-alasta, poisto ei vaikuttanut veden lämpötilaan (Kreutzweiser ym. 2009b). Kun puustosta poistettiin 28 prosenttia, nosti se veden lämpötilaa lyhytaikaisesti hakkuiden jälkeen. Puron suojavyöhykkeen osittaiset hakkuut eivät vaikuttaneet merkittävästi myöskään sedimenttilaskeumaan purossa (Kreutzweiser ym. 2009a). Hakkuut tehtiin talvella, mikä todennäköisesti vähensi hakkuiden haitallisia vaikutuksia. Lisäksi puron viereen jätettiin 3–5 metrin käsittelemätön suojavyöhyke. Tutkimus siis osoittaa, että kevyet osittaiset hakkuut eivät välttämättä vaikuta haitallisesti pienvesien olosuhteisiin silloin, kun hakkuuta ei uloteta aivan puroon saakka.

Suomessa tai muissa pohjoismaissa ei ole julkaistu kokeellisia tutkimuksia jatkuvapeitteisen metsänkäsittelyn suorista vaikutuksista pienvesiin. Suomessa puron suojavyöhykkeen hakkuuta on tutkittu kohteilla, joissa avohakkuun ja puron väliin jätettiin joko 15 tai 30 metrin suojavyöhyke ja osa suojavyöhykkeistä poimintahakattiin koko suojavyöhykkeen leveydeltä (Oldén ym. 2019). Kapeat, 15 metrin suojavyöhykkeet, tai poimintahakatut 30 metrin suojavyöhykkeet eivät olleet riittäviä turvaamaan purovarsimetsän pienilmasto-olosuhteita (Oldén ym. 2019), joten ne eivät todennäköisesti turvaa myöskään itse puron olosuhteita. Jotta avohakkuun aiheuttamalta voimakkaalta reunavaikutukselta vältytään, tulisi käsittelemättömän suojavyöhykkeen olla vähintään 30–45 metriä leveä (Selonen & Kotiaho 2013; Kuglerová ym. 2014). Jatkuvapeitteisen käsittelyn lisääminen talousmetsissä voi vähentää avohakkuiden aiheuttamaa haitallista vaikutusta pienvesien elinympäristöihin (Kuglerová ym. 2017) ja vesistöihin (Lundström ym. 2018; Juvonen 2020). Tarvittavaa suojavyöhykkeen leveyttä jatkuvapeitteisen käsittelyn hakkuiden yhteydessä ei kuitenkaan ole tutkittu vastaavalla tavalla kuin avohakkuiden yhteydessä.

Kuten jaksollisessa metsänkäsittelyssä, tulee jatkuvapeitteisessä metsänkäsittelyssä huomioida yleiset vesiensuojelutoimenpiteet, eli muun muassa puiden korjuun ajankohta, jotta ajourapainauksilta, juurien vaurioitumiselta ja maanpinnan rikkoutumiselta vältytään (Joensuu ym. 2019; Tolkkinen ym. 2020). Suojavyöhykkeen kasvillisuus sitoo huuhtoutuvia ravinteita, estää kiintoaineiden pääsyä vesistöön, suojaa vesieliöitä UV-säteilyltä, tasaa metsä- ja vesiluonnon pienilmastoa ja on tärkeä myös maisema-arvojen näkökulmasta.



5.3 Lisätutkimustarpeet

Jatkuvapeitteisen metsänkäsittelyn vesistövaikutuksista on niukasti tutkimusta. Lisätutkimustarvetta on etenkin jatkuvapeitteisen käsittelyn vesistövaikutuksista ojitetuilla soilla, joilta syntyy suurin osan metsätalouden aiheuttamasta vesistökuormituksesta. Myös jatkuvapeitteiseen käsittelyyn siirtymistä alavilla kangasmailla pitäisi tutkia. Avohakkuita kevyemmätkin hakkuut aiheuttavat ravinnepäästöjä ja häiriötä pienvesistöissä. Jatkuvapeitteistä metsänkäsittelyä voidaan tehdä monin tavoin, joten on tärkeää selvittää, kuinka voimakkaita hakkuita erilaisissa ympäristöissä voidaan tehdä ilman, että hakkuiden vesistövaikutukset kasvavat merkittäviksi. Vesistöjen ja pienvesien osalta tulee selvittää myös tarkemmin, minkälaisia suojavyöhykkeitä tarvitaan, jos metsiä käsitellään jatkuvapeitteisen käsittelyn keinoin. Yleistikin metsä- ja vesiekosysteemejä samanaikaisesti käsitteleviä tutkimuksia tarvitaan lisää.



6 ILMASTO

6.1 Metsätalouden ilmastovaikutukset yleisesti

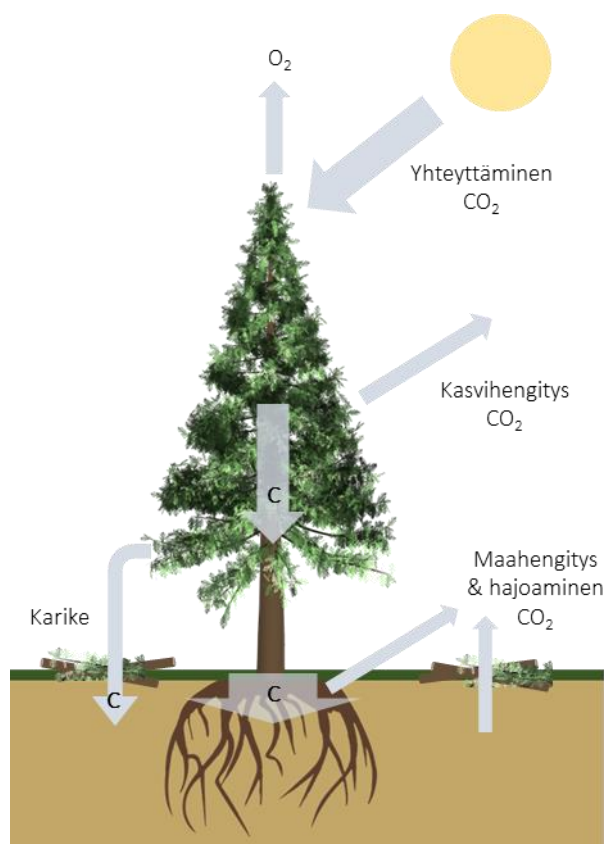
6.1.1 Metsien rooli ilmaston säätelyssä

Boreaaliset metsät ovat tärkeässä roolissa ilmaston säätelyssä ja siten ilmastomuutoksen hillinnässä. Boreaaliset metsät ja etenkin niiden maaperä ovat suuri hiilivarasto (Bradshaw ym. 2009; Moen ym. 2014). Metsät sitovat hiilidioksidia ilmakehästä ja ne osallistuvat myös muiden kasvihuonekaasujen, kuten metaanin, kiertoon (Korkiakoski ym. 2020). Kasvihuonekaasujen lisäksi metsät vaikuttavat ilmastoon auringonsäteilyn heijastusvaikutuksen eli **albedon*** kautta (Rautiainen ym. 2020). Puut vapauttavat ilmaan myös erilaisia haihtuvia yhdisteitä ja pienhiukkasia, joilla voi olla ilmastoa viilentävä vaikutus (Kalliokoski ym. 2020). Tätä ei kuitenkaan käsitellä selvityksessä, koska jatkuvapeitteisen metsänkäsittelyn vaikutuksista pienhiukkasten muodostumiseen ei ole juurikaan tutkimusta. Eniten tutkimusta on metsien käsittelyn vaikutuksista hiilen kiertoon.

6.1.2 Hiilen kierto metsässä

Kasvit yhteyttävät eli muodostavat hiilidioksidista ja vedestä auringonvalon energialla sokeria ja happea (kuva 12). Kasvien, kuten puiden, biomassan kuivapainosta noin puolet on hiiltä (C). Puut käyttävät yhteytetystä hiilestä osan biomassan kasvuun, jolloin hiiltä varastoituu pitkäaikaisesti runkoon, oksiin ja juuriin (Gower 2003). Osan hiilestä puu käyttää sen nopeasti lakastuviin osiin, kuten lehtiin, hienojuuriin ja kuoreen. Yhteyttämisessä sidottu hiili päätyy lopulta maahan karikkeena eli kuolleina lehtinä, neulasina, oksina, juurina ja runkokuuuna. Kun hiiltä käytetään biomassan kasvuun, osa yhteytetystä hiilestä vapautuu takaisin ilmakehään kasvihengityksen ja juurten kasvu- ja ylläpitohengityksen kautta. Lisäksi mikrobit hajottavat esimerkiksi lehti- ja neulaskariketta vapauttaen samalla hiilidioksidia. Samoin kuolleeseen puuhun varastoitunut hiili vapautuu lopulta hitaasti ilmakehään mikrobien hajotustoiminnan seurauksena. Jos metsän puustoon ja maaperään sitoutuu enemmän hiiltä kuin sieltä vapautuu, metsän hiilivarasto kasvaa ja metsä toimii hiilinieluna. Päinvastoin, jos metsästä vapautuu enemmän hiiltä kuin sinne sitoutuu, metsän hiilivarasto pienenee ja metsä on hiilen lähde.

* Katso keskeisten tekstissä lihavoitujen käsitteiden määrittely s. 4–7.



Kuva 12. Hiilen sitoutuminen ja vapautuminen metsässä. Puu sitoo hiilidioksidia (CO_2) ilmakehästä yhteyttäessä ja hiiltä varastoituu puun eri osiin sekä maaperään. Yhteytyksessä kasvit muodostavat hiilidioksidista (CO_2) ja vedestä (H_2O) auringonvalon energialla sokeria ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) ja happea (O_2). Kasvihengityksen, maahengityksen sekä karikkeen hajoamisen seurauksena hiilidioksidia vapautuu takaisin ilmakehään. Kuva: Majju Peura.

Hakkuut vaikuttavat metsien hiilen kiertoon monin tavoin (Gower 2003; Eriksson ym. 2007). Hakkuissa poistetaan puuston biomassaa, mikä pienentää metsän puuston hiilivarastoa. Kun metsästä on poistettu puusto, myös maaperän hiilivarasto voi pienentyä, sillä kariketuotannosta ei enää kerry hiiltä maaperään, vaan hiiltä vapautuu maasta mikrobien hajottaessa sitä. Hiiltä myös huuhtoutuu pohjaveteen ja pintavaluntana vesistöihin. Hakkuutähteiden hajotustoiminnan, maan hiilivarastojen vapautumisen ja maanmuokkauksen seurauksena metsä voi olla avohakkuun jälkeen hiilen lähde jopa yli 20 vuotta (Kolari ym. 2004; Pukkala ym. 2011). Metsien käsittely puuntuotantoon pienentää metsien hiilinielua verrattuna metsien suojeluun tai käsittelemättä jättämiseen (Mäkipää ym. 2011; Triviño ym. 2015; Shanin ym. 2016; Peura ym. 2018; Pukkala 2018). Jos ainoana tavoitteena on maksimoida metsien hiilinielu, mallinnojen perusteella metsien hakkuutaso on hyvä pitää alhaisena, ja hyvin pitkällä satojen vuosien aikataustalla hakkuista kannattaa luopua kokonaan (Pukkala 2018, Tahvonen 2022). Toisaalta kasvava puusto sitoo ilmakehästä hiilidioksidia ja puubiomassan käytöllä voitaisiin ainakin periaatteessa korvata fossiilista energiaa tai fossiilisista raaka-aineista valmistettuja tuotteita. On kuitenkin huomattava, että nykyisellä puutuotteiden elinkaaren pituudella tai nykyisillä korvaavuuskertoimilla, joilla metsätuotteiden katsotaan vähentävän fossiilisten materiaalien ja polttoaineiden käyttöä, ei pystytä kompensoimaan metsätalouden aikaan saamaa hiilivaraston pienenemistä aikajänteellä, jolla ilmastotoimet ovat tärkeitä (Grassi ym. 2021; Hurmekoski ym. 2021). Lisäksi korvausvaikutukset riippuvat tuotantorakenteista sekä kansainvälisestä kysynnästä.



6.2 Metsänkäsittelytapojen ilmastovaikutukset

6.2.1 Kasvihuonekaasut

Metsänkäsittelytapojen vaikutuksia hiilen kiertoon on tutkittu sekä kokeellisesti että mallinnuksen keinoin. Borealisista metsissä kokeellista tutkimusta erityisesti jatkuvapeitteisestä käsittelystä on toistaiseksi vähän, ja seuranta-ajat ovat lyhyitä (Nilsen & Strand 2013; Leppä ym. 2020a), joten monet tutkimukset perustuvat simulaatioihin (ks. lisätietoa simulaatiomalleista Tahvonen 2022, luku 2.4 Harvennuksiin ja mallin ekologiaan liittyvät laajennukset). Mallinnuksissa käytetään tyypillisesti arviota, jonka mukaan puiden biomassasta noin puolet on hiiltä. Maaperän hiili on suomalaisissa tutkimuksissa mallinnettu usein Yasso-mallin (Liski ym. 2005) avulla, joka kuvaa karikkeen (neulaset, oksat, juuret, hakkuutähde, lahoppuut) maatumista ja maaperän hiilikiertoa. Yasso-malli ei ota huomioon esimerkiksi maanmuokkauksen suoria vaikutuksia maaperän hiilivarastoon. Yasso-malli on tehty kangasmaalle, mutta turvemaiden hiilivarasto voidaan mallintaa esimerkiksi hiilivuomallin avulla (Ojanen ym. 2014). Tutkimuksissa on erilaisia systeemirajauksia: osassa on tarkasteltu pelkästään puustoa, osassa puustoa ja maaperää, ja osassa on otettu lisäksi huomioon puutuotteiden elinkaari ja korvausvaikutukset (taulukko 2, Saksa ym. 2020). Osassa tutkimuksia on tarkasteltu hiilivarastoja, ja vertailu käsittelyjen välillä on tehty tyypillisesti vertaamalla vuotuisia keskimäärisiä hiilivarastoja tarkasteluajanjakson yli. Osassa tutkimuksia on tarkasteltu **hiilitasetta*** eli sitoutuneen ja vapautuneen hiilen erotusta tietyssä ajassa. Jos hiiltä sitoutuu enemmän kuin vapautuu, hiilitase on positiivinen. Jos hiiltä vapautuu enemmän kuin sitoutuu, hiilitase on negatiivinen.

Kangasmaat

Norjassa on tutkittu kokeellisesti kuusimetsän hiilen kiertoa 80 vuoden ajanjaksolla (Nilsen & Strand 2013). Jatkuvapeitteisen käsittelyn metsässä maaperän hiilivarasto oli suurempi kuin jaksollisen käsittelyn metsässä, mutta puuston hiilivarasto oli puolestaan pienempi kuin jaksollisen käsittelyn metsässä. Metsikön kokonaishiilivarastoissa ei ollut suuria eroja. Puolestaan puuston **hiilensidonta*** oli suurempaa jaksollisen käsittelyn metsässä verrattuna jatkuvapeitteisen käsittelyn metsään, sillä puuston kasvu oli nopeampaa jaksollisen käsittelyn metsässä.

Suomalaisissa mallinnustutkimuksissa on vertailu jatkuvapeitteisen ja jaksollisen käsittelyn vaikutuksia metsien hiilivarastoon ja hiilitaseeseen. Kellomäki ym. (2021) vertailivat käsittelyjen vaikutuksia kuusikon hiilivarastoon 1 000 vuoden ajanjaksolla. Hakkuut seurasivat pääosin Tapion hyvän metsänhoidon ohjeistuksia (Äijälä ym. 2014). Jatkuvapeitteisessä käsittelyssä metsän puuston keskimääräinen vuotuinen hiilivarasto oli pienempi verrattuna jaksolliseen käsittelyyn (taulukko 3). Maaperän keskimääräinen vuotuinen hiilivarasto oli jatkuvapeitteisessä käsittelyssä suurempi kuin jaksollisessa. Kokonaishiilivarasto (sisältäen sekä puuston että maaperän hiilen) oli kuitenkin jatkuvapeitteisessä käsittelyssä pienempi verrattuna jaksolliseen käsittelyyn. Jaksollisen käsittelyn metsien kokonaishiilivarasto oli 67 prosenttia ja jatkuvapeitteisen käsittelyn metsien 59 prosenttia käsittelemättömien metsien kokonaishiilivarastosta. Tässä tutkimuksessa hakkuukertymä oli suurempi jatkuvapeitteisessä käsittelyssä verrattuna jaksolliseen ja jaksollisen kiertoaika oli kiinteä 100 vuotta, jotka muuan muassa selittävät pienempää metsän hiilivarastoa jatkuvapeitteisessä käsittelyssä verrattuna jaksolliseen.

Pukkala ym. (2011) tutkimuksessa jatkuvapeitteisen ja jaksollisen metsänkäsittelyn vertailu hiilitaseeseen tehtiin kuusi- ja mäntymetsikössä 100 vuoden simulaatiojaksolla ja käsittelyt **optimoitiin*** puuston nettomyönteisyyden maksimoimiseksi 3 prosentin korolla. Kuusimetsikössä sekä jatkuvapeitteinen että jaksollinen käsittely tuottivat negatiivisen hiilitaseen eli käsittelyissä vapautui hiiltä enemmän kuin sitoutui (taulukko 2). Mäntymetsikössä jatkuvapeitteinen käsittely tuotti suuremman positiivisen hiilitaseen (eli hiiltä sitoutui enemmän kuin vapautui) kuin jaksollinen käsittely. Tulos selittyy muun muassa sillä, että jaksollisen käsittelyn metsä on hiilen lähde jopa 30 vuotta avohakkuusta. Hakkuukertymissä ei ollut käsittelytapojen välillä suuria eroja kuusimetsikössä, mutta jatkuvapeitteinen käsittely tuotti hieman suuremman hakkuukertymän kuin jaksollinen käsittely mäntymetsikössä (keskimäärin 5 m³ hehtaarilla vuodessa jatkuvapeitteinen vs. 4 m³ hehtaarilla vuodessa jaksollinen). Tässä tutkimuksessa hiilitaseessa oli mukana myös lopputuotteiden hiili



(katso lisää lopputuotteiden hiilen huomioimisen vaikutuksista tämän raportin luvun 6.2.1. aluvusta Lopputuotteet).

Kellomäki ym. (2019) vertailivat eri metsänkäsittelytapojen vaikutuksia myös kuusimetsän hiilen kiertoon 300 vuoden ajanjaksolla. Tässä tutkimuksessa sekä jatkuvapeitteisessä että jaksollisessa käsittelyssä oli Tapion metsänhoidon suosituksia (Äijälä ym. 2014) enemmän vaihtelua hakkuiden voimakkuudessa ja ajoituksessa. Käsittelytapojen välillä ei ollut paljoa eroa metsien hiilitaseessa, ja hakkuiden voimakkuuden laskeminen molemmissa käsittelytavoissa kasvatti metsän positiivista hiilitasetta. Lundmark ym. (2016) vertailivat eri käsittelytapojen vaikutuksia hiilitaseeseen 290 vuoden ajanjaksolla Ruotsissa. Jos puuston kasvu, hakkuiden määrä ja puutuotteet olivat samanlaisia jatkuvapeitteisessä ja jaksollisessa käsittelyssä, niin kokonaishiilitaseessa ei ollut eroja eri käsittelyjen välillä. Puuston positiivinen hiilitase oli pienempi ja maaperän suurempi jatkuvapeitteisessä käsittelyssä verrattuna jaksolliseen käsittelyyn. Hiilitaseeseen vaikutti käsittelytapaa enemmän hakkuiden voimakkuus ja puuston kasvu. Samoin Shanin ym. (2016) tutkimus Suomesta osoittaa, että hakkuiden voimakkuus, eli kuinka paljon puustoa poistetaan per hakkuukerta ja kuinka usein hakkuut toistuvat, vaikuttaa metsien käsittelyn ilmastovaikutuksiin enemmän kuin käsittelytapa. Jatkuvapeitteisen käsittelyn metsät voivat toimia sekä hiilen lähteinä että nieluina, riippuen hakkuiden voimakkuudesta. Simulaatiotutkimukset myös Pohjois-Amerikasta (Harmon & Marks 2002) ja Skotlannista (Thornley & Cannell 2000) osoittavat, että hakkuut pienentävät metsän hiilivarastoa tyypillisesti sitä enemmän mitä voimakkaampia ne ovat.

Peura ym. (2018) maisematason simulaatiotutkimuksessa hiilitase ja hiilivarasto, jotka sisältävät puuston sekä maaperän hiilen, olivat keskimäärin suurempia 100 vuoden tarkastelujaksolla jatkuvapeitteisessä käsittelyssä verrattuna jaksolliseen, kun molemmissa käsittelytavoissa noudatettiin Tapion hyvän metsänhoidon suosituksia (Äijälä ym. 2014). Jatkuvapeitteisen käsittelyn metsissä keskimääräinen vuotuinen hiilitase oli 36 % ja keskimääräinen vuotuinen hiilivarasto 67 prosenttia käsittelemättömien metsien vastaavista. Jaksollisen käsittelyn metsissä vastaavat osuudet olivat 12 prosenttia ja 36 prosenttia. Tämä selittyi muun muassa sillä, että jatkuvapeitteisen käsittelyn metsissä puuston hakkuukertymä oli pienempi kuin jaksollisessa käsittelyssä, metsissä on jatkuvasti hiiltä sitovaa puustoa ja hiiltä kertyy tasaisesti maaperään. Lisäksi simulaation lähtötilanteena oli pääsääntöisesti jaksollisen käsittelyn menetelmin käsitelty metsämaisema ja tutkimus kuvaa siirtymää jatkuvapeitteiseen käsittelyyn. Simulaatiotutkimus Ruotsista osoitti myös, että puuston hiilivarasto oli jatkuvapeitteisessä käsittelyssä suurempi kuin jaksollisessa, kun hakkuukertymä on pienempi jatkuvapeitteisessä (Pang ym. 2017). Toinen maisematason simulaatiotutkimus Ruotsista puolestaan osoitti, että hakkuukertymä voi olla jatkuvapeitteisessä käsittelyssä hieman suurempi kuin jaksollisessa käsittelyssä ja silti hiilivarasto, joka sisältää puuston sekä maaperän hiilen, voi olla hieman suurempi (Lagergren & Jönsson 2017). Jatkuvapeitteisessä käsittelyssä metsän hiilivarasto oli 73–75 prosenttia käsittelemättömien metsien hiilivarastosta. Jaksollisessa käsittelyssä vastaava osuus oli 71 prosenttia. Pukkalan (2014, 2016) ja Diaz-Yanez ym. (2019, tutkimuksessa mukana myös turvemaita) maisematason simulaatiotutkimuksissa jatkuvapeitteinen metsänkäsittely ja yläharvennukset osoittautuivat positiivisen hiilitaseen ja hiilivarastojen kannalta keskimäärin paremmaksi kuin jaksollinen metsänkäsittely ja alaharvennukset, kun käsittelyt optimoitiin puuston nettohyötyarvon maksimoimiseksi.

Kangasmailla eri käsittelymenetelmien vaikutuksissa hiileen on siis paljon vaihtelua. Vaihtelua selittää muun muassa tarkasteltavat hiilivarastot (esim. onko maaperän hiili mukana tarkastelussa), eri kasvumallit, tarkastelu-aika, simulaation oletukset ja käsittelyn tavoitteet, eli onko käsittely optimoitu esimerkiksi puuston nettohyötyarvon maksimoimiseksi ja millä korkokannalla, vai seuraako käsittely Tapion metsänhoidon suosituksia.



Taulukko 2. Tutkimuksia, jotka käsittelevät jaksollisen ja jatkuvapeitteisen käsittelyn vaikutuksia hiileen kangasmailla. Tutkimukset (lukuun ottamatta Nilsen & Strad 2013) ovat simulaatiotutkimuksia. Tutkimuksessa käytetty simulaatiomalli on annettu ensimmäisessä sarakkeessa. MONSU, HEUREKA ja SIMO perustuvat puukohtaisiin kasvumalleihin. SIMA ja LPJ-GUESS ovat prosessipohjaisia ekosysteemimalleja. Tutkimuksissa on vaihtelua sijainnin, ajan, tason (metsikkötaso vai laajempi maisemataso) sekä mitattavan muuttujan suhteen. Jos tutkimuksessa on ollut mukana käsittelemätön metsä, sen vaikutus on myös raportoitu. MgC = miljoona grammaa (eli tonni) hiiltä.

Tutkimus ja malli	Sijainti ja aika	Taso	Muuttuja	Jatkuva MgC/ha/vuosi	Jaksollinen MgC/ha/vuosi	Käsittelemätön MgC/ha/vuosi
Nilsen & Strand 2013	Norja 80 v	Metsikkö (kuusi)	Hiilivarasto (puusto)	225	262	
		Metsikkö (kuusi)	Hiilivarasto (maaperä)	199	178	
Pukkala ym. 2011 MONSU	Suomi 100 v	Metsikkö (kuusi)	Hiilitase (puusto + tuotteet)	-0,11	-0,12	
		Metsikkö (mänty)	Hiilitase (puusto + tuotteet)	0,28	0,17	
Lundmark ym. 2016 HEUREKA	Ruotsi 290 v	Metsikkö (kuusi)	Hiilitase (elävä puusto + karike + tuotteet + korvausvaikutus)	1,83–2,06	2,25–2,75	
		Metsikkö (kuusi)	Hiilitase (elävä puusto)	0–0,01	0,35	
		Metsikkö (kuusi)	Hiilitase (karike)	0,04–0,05	0,01–0,02	
		Metsikkö (kuusi)	Hiilitase (tuotteet)	0,11–0,12	0,15	
		Metsikkö (kuusi)	Korvausvaikutus	1,68–1,88	1,74–2,24	
Kellomäki ym. 2019 SIMA	Suomi 300 v	Metsikkö (kuusi)	Hiilivarasto (puusto + maaperä)	75,89	79,13	
		Metsikkö (kuusi)	Hiilivarasto (puusto)	42,35	43,44	
		Metsikkö (kuusi)	Hiilivarasto (maaperä)	33,55	35,69	
Kellomäki ym. 2021 SIMA	Suomi 300 v	Metsikkö (kuusi)	Hiilivarasto (puusto + maaperä)	46	52	78
		Metsikkö (kuusi)	Hiilivarasto (puusto)	20	33	47
		Metsikkö (kuusi)	Hiilivarasto (maaperä)	26	19	31
Pukkala 2014 MONSU	Lounais-Suomi 30 v	Maisema	Hiilitase (puusto + maaperä + tuotteet + korvausvaikutus)	0,72	0,59–0,64	
		Maisema	Hiilitase (puusto)	0,44	0,32–0,47	
		Maisema	Hiilitase (maaperä)	0,08	0,05–0,09	
		Maisema	Hiilitase (tuotteet)	0,2	0,16–0,24	
		Maisema	Hiilitase ilman korvausvaikutusta	0,19	0,05–0,21	
Peura ym. 2018 SIMO	Keski-Suomi 100 v	Maisema	Hiilitase (puusto + maaperä)	0,68	0,23	1,88
		Maisema	Hiilivarasto (puusto + maaperä)	192	183	285
Legegren ym. 2017 LPJ-GUESS	Ruotsi 100 v	Maisema	Hiilivarasto (puusto + maaperä)	177–182	171	242



Turvemaat

Turvemailla hakkuut voivat lisätä maaperän hiilipäästöjä niin paljon, että suometsät sitovat hiilidioksidia ilmakehästä vähemmän kuin maaperästä vapautuu, jolloin suometsä toimii hiilidioksidin lähteenä (Nieminen ym. 2018b). Ojitetuilla turvemailla etenkin veden pinnan taso vaikuttaa maaperän metaani- ja hiilidioksidipäästöihin (Saarinen ym. 2020; Kareksela ym. 2021). Ojitetut turvemaat muuttuvat metaanin lähteeksi, jos vedenpinta on liian korkealla. Turvekerroksen hapellisen pintaosan tilavuus pienenee veden pinnan noustessa, jolloin pintaan nouseva metaani ei ehdi hapettua. Toisaalta maaperän hiilidioksidipäästöt lisääntyvät, jos veden pinta laskee liian matalalle, sillä tällöin hapellista turpeen hajoamista tapahtuu myös alemmissa turvekerroksissa. Hakkuiden intensiteetillä voidaan vaikuttaa vedenpinnan tasoon. Turvemailla jatkuvapeitteinen käsittely voi olla ilmastovaikutusten kannalta jaksollista parempi metsänkäsittelyvaihtoehto (Nieminen ym. 2018b; Saarinen ym. 2020). Koska jatkuvapeitteisessä käsittelyssä metsä säilyy koko ajan puustoisena, haihduttava puusto voi säilyttää vedenpinnan sopivalla tasolla ilman kunnostusojituksia (Juutinen ym. 2020a; Leppä ym. 2020a,b). Huomioita on kuitenkin kiinnitettävä siihen, että jäljelle jäävä puusto on riittävä ylläpitämään kuivatusta ilman ojitusta (Shanin ym. 2021).

Tutkimustuloksia on vielä vähän, mutta ainakin kuusivaltaisilla turvemailla sekä puuston kasvun että ilmastolle haitallisten päästöjen säätelyn näkökulmista veden pinnan taso voi olla mahdollista säilyttää optimaalisena jatkuvapeitteisen metsänkäsittelyn keinoin (Juutinen ym. 2020a). Kokeelliset tutkimukset eteläsuomalaiselta lettosuolta osoittavat, että mäntyjen osittaiset hakkuut (70 prosenttia runkotilavuudesta poistettu) eivät vaikuttaneet paljoa metaani- ja dityppioksidivirtoihin 2 vuoden jälkeisenä aikana hakkuista (Korkiakoski ym. 2020). Avohakkuun seurauksena suon metaani- ja dityppioksidipäästöt kasvoivat (Korkiakoski ym. 2019). Kolmen vuoden jälkeen hakkuista avohakkuut olivat kasvattaneet veden pintaa noin 18 cm ja osittaiset hakkuut noin 5 cm (Leppä ym. 2020a). Jatkuvapeitteisen käsittelyn kohteilla jäljelle jäänyt puusto ja hyvä kuusi- ja koivualiskasvusto, joka säästettiin osittaisissa hakkuissa, estivät vedenpinnan liiallisen nousun (Leppä ym. 2020b).

Lopputuotteet

Metsän ja maaperän hiilivarastojen muutoksen lisäksi myös lopputuotteiden elinkaarella on huomattava vaikutus metsänkäsittelyn ilmastovaikutuksiin (Eriksson ym. 2007; Pukkala 2014, 2016). Tukkipuun osuus voi olla jatkuvapeitteisessä käsittelyssä suurempi kuin jaksollisessa käsittelyssä (esim. Peura ym. 2018; Assmuth ym. 2018). Tällöin jatkuvapeitteisessä käsittelyssä lopputuotteet voivat olla pitkäikäisempiä (Pukkala 2014; Assmuth ym. 2018; Pukkala 2018), koska hiiltä varastoituu tukkipuusta tehtyihin lopputuotteisiin pidemmäksi aikaa kuin kuitupuusta tehtyihin. Lisäksi tukkipuun jalostusketjut tuottavat vähemmän hiilipäästöjä, koska kuitupuusta valmistettujen sellutuotteiden tuotantopäästöt ovat yleensä korkeita (Pukkala 2014). On myös simulaatiotutkimuksia, joissa jatkuvapeitteisen käsittelyn tukkiosuus verrattuna jaksolliseen käsittelyyn ei ole ollut suurempi (esim. Kellomäki ym. 2021), joten metsänkäsittelytapojen vaikutuksissa myös lopputuotteiden hiilen kiertoon on vaihtelua.

Muita vaikuttavia tekijöitä

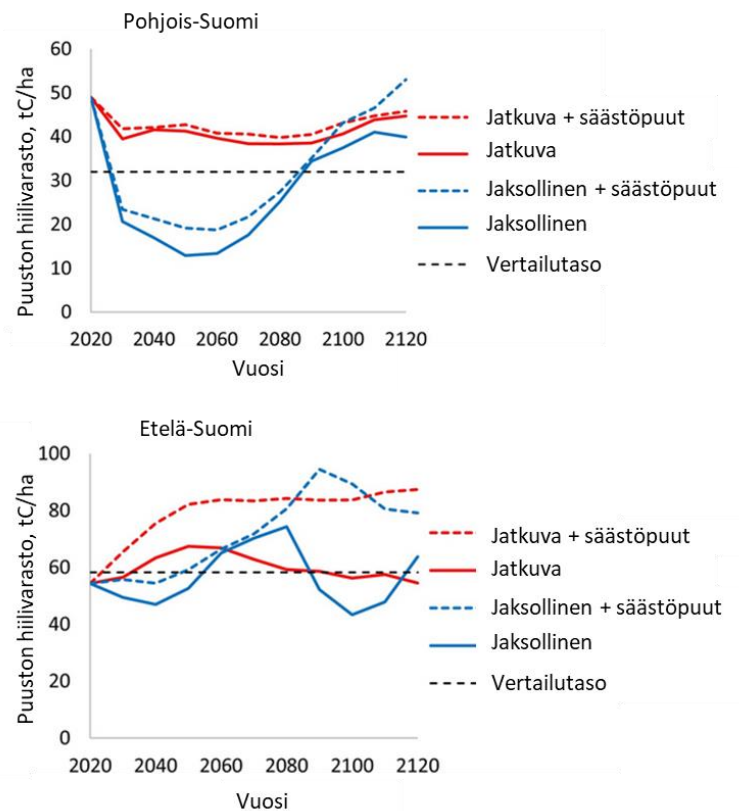
Sekä jatkuvapeitteisen, että jaksollisen metsänkäsittelyn sisällä voi olla käsittelyn voimakkuudessa merkittävää vaihtelua ja käsittelyn voimakkuudella on suuri vaikutus metsän ilmastovaikutuksiin. Muun muassa käsittelyn voimakkuus ja puuston kasvu voivat vaikuttaa metsän hiilitaseeseen ja -varastoon enemmän kuin se, onko käsittely jatkuvapeitteistä vai jaksollista (Lundmark ym. 2016; Shanin ym. 2016; Lagergren & Jönsson 2017; Kellomäki ym. 2019). Talousmetsien hiilivarastoa voidaan kasvattaa esimerkiksi pidentämällä hakkuuväliä molemmissa käsittelytavoissa tai lisäämällä säästöpuiden määrää (kuva 13, Pukkala 2022).

Luontaisen uudistumisen epäonnistuminen tai heikko menestys (Kellomäki ym. 2019) tai puuston hidastunut kasvu (Hynynen ym. 2019; Bianchi ym. 2020) voivat hidastaa metsien hiilensidontaa jatkuvapeitteisen käsittelyn metsissä. Pukkalan (2021) tutkimuksessa oletettiin puuston hidastunut kasvu jatkuvapeitteisessä metsänkäsittelyssä (kasvu 10 prosenttia hitaampaa verrattuna jaksolliseen käsittelyyn) ensimmäisen 5 vuoden



ajan hakkuista sekä luontaisesti syntyneiden taimien tuhoutuminen hakkuiden johdosta (suhteessa poistettuun puustoon). Lisäksi jaksollisessa käsittelyssä oletettiin jalostushyödyn edistävän istutettujen ja kylvettyjen metsien kasvua 5–10 prosenttia. Näillä oletuksilla ja 1 prosentin **diskonttauskorolla*** positiivinen kokonaishiilitase ja hiilivarasto olivat hieman pienempiä jatkuvapeitteisessä käsittelyssä kuin jaksollisessa käsittelyssä. Suurempi, 4 prosentin korko johti voimakkaampiin hakkuisiin molemmissa käsittelytavoissa, ja tällöin puolestaan jatkuvapeitteisessä käsittelyssä hiilitase ja hiilivarasto olivat suurempia verrattuna jaksolliseen käsittelyyn (paitsi Pohjois-Suomessa, missä hiilitase oli hieman suurempi jaksollisessa).

Erilaisten hakkuiden vaikutuksia puuston kasvuun sekä luontaisen uudistumisen onnistumista jatkuvapeitteisessä metsänkäsittelyssä on käsitelty lyhyesti seuraavissa kappaleissa. Suomen Luontopaneelin julkaisussa 1C/2022 on tarkasteltu lisäksi hiilestä maksetun hinnan vaikutusta eri käsittelytapojen kannattavuuteen (ks. Tahvonnen 2022, luku 4.5 Hiilinielut).



Kuva 13. Puuston hiilivaraston kehitys maisematasolla eri käsittelyissä Pohjois- ja Etelä-Suomessa 100 vuoden ajanjaksolla. Säästöpuita jätettiin molemmissa käsittelyissä 10–30 kappaletta hehtaarille, riippuen säästöpuiden läpimitasta. Vertailutaso on puuston tämänhetkinen keskimääräinen hiilivarasto. Kuva muokattu julkaisusta Pukkala 2022 (CC BY 4.0).

Kasvu

Suomessa puuston kasvua jatkuvapeitteisessä metsänkäsittelyssä on tutkittu kokeellisesti pääasiassa poimintahakkuiden jälkeen. Koealoilla on vertailtu kuusikon puuston kasvua viisi vuotta poimintahakkuiden sekä alaharvennusten jälkeen, ja tulokset ovat osoittaneet, että poimintahakkuiden jälkeen metsien kasvu voi olla 15–25 prosenttia vähäisempää verrattuna alaharvennettujen metsien kasvuun (Hynynen ym. 2019; Bianchi ym. 2020). On kuitenkin huomioitava, että tarkastelujakso on lyhyt ja tuloksia ei voi yleistää kattamaan koko jaksollisen käsittelyn kiertoaikaa. Lisäksi tulokset koskevat jatkuvapeitteisen käsittelyn osalta ainoastaan eri-ikäisrakenteista kuusikon käsittelyä, joka on vain yksi jatkuvapeitteisen käsittelyn muoto. Poimintahakkuiden ja alaharvennusten vaikutuksista puiden kasvuun on myös päinvastaisia tuloksia (Laiho ym. 2011).



Uudistuminen

Jatkuvapeitteisessä metsänkäsittelyssä pyritään puuston luontaiseen uudistumiseen. Tämän vuoksi suurimpia puita jätetään hakkuissa siemenpuiksi. Lehtipuut ja mänty vaativat luontaisen uudistumisen onnistumiseksi varsin paljon valoa, kuusi pystyy uudistumaan varjoisemmissa olosuhteissa (Laiho ym. 2011). Pohjoismaissa luontaista uudistumista on tutkittu lähinnä pienaukkohakatuissa kuusikoissa ja männiköissä sekä poimintahakatuissa kuusikoissa. Pohjois-Suomessa tehdyt tutkimukset ovat osoittaneet, että kuusen ja männyn pienaukot uudistuvat hyvin ja pienaukkoihin muodostuu riittävästi hyvälaatuisia taimia (Valkonen & Siitonen 2016; Hökkä & Repola 2018; Hallikainen ym. 2019). Kevyt maanmuokkaus parantaa taimettumisen onnistumista. Etelä-Suomessa tehdyissä tutkimuksissa rehevillä kasvupaikoilla kuusimetsien pienaukot eivät ole uudistuneet yhtä hyvin kuin pienaukot Pohjois-Suomessa tehdyissä tutkimuksissa (Valkonen ym. 2011; Downey ym. 2018). Rehevillä kasvupaikoilla aluskasvillisuuden lisääntynyt kasvu voi häiritä taimettumisen onnistumista (Downey ym. 2018; Kuusinen ym. 2019). Etelä-Suomessa tehdyissä tutkimuksissa poimintahakattujen kuusikoiden taimettuminen on ollut riittävää (Eerikäinen ym. 2014), mutta kuusen taimien kasvu on hidasta (Saksa & Valkonen 2011; Eerikäinen ym. 2014). Luontaisesti syntyneen kuusen kasvaminen yli 1,3 metrin korkuiseksi kestää arviolta 40–60 vuotta (Eerikäinen ym. 2014). Havupuiden siemensadot vaihtelevat vuosien välillä paljon, millä voi olla vaikutusta luontaisen uudistumisen onnistumiseen (Nygren ym. 2017).

6.2.2 Albedo eli auringonsäteilyn heijastusvaikutus

Metsien kyky heijastaa saapuvaa säteilyä vaikuttaa ilmastoon. Metsän albedo on osuus metsään saapuvan auringonsäteilyn energiasta, joka ei sitoudu metsään vaan heijastuu takaisin taivaalle (Rautiainen ym. 2020). Mitä suurempi on metsän albedo, sitä suurempi osa saapuvasta energiasta heijastuu takaisin taivaalle ja ilmastoa lämmittävä vaikutus on pienempi. Esimerkiksi tuore lumipeite heijastaa lähes kaiken sille osuvan säteilyn. Metsissä muun muassa puulajikoostumus ja puuston rakenne vaikuttavat albedoon (Kalliokoski ym. 2020).

Metsän albedo kasvaa tyypillisesti havupuuston osuuden, metsän latvusbiomassan, runkotilavuuden tai latvuspeittävyuden laskiessa (Kalliokoski ym. 2020; Rautiainen ym. 2020). Lehtimetsien albedo on usein suurempi kuin havumetsien. On arvioitu, että havumetsien pohjapinta-alan tulisi olla alle 10 m² hehtaarilla, jotta albedo olisi lähellä lehtimetsien albedoa (Rautiainen ym. 2020). Havumetsissä männiköiden albedo on usein suurempi kuin kuusikoiden, koska männiköt kasvavat harvempina. Taimikoiden albedo on puolestaan suurempi kuin varttuneiden metsien. Metsän lumipeite nostaa albedoa metsässä noin 2–10 prosenttia riippuen puulajeista, joten albedo vaihtelee vuodenaikojen ja maantieteellisen sijainnin mukaan (Kuusinen 2014).

Kellomäki ym. (2021) vertailivat eri metsänkäsittelyjen vaikutuksia kuusikon albedoon 1 000 vuoden simulointijaksolla. Käsittelyjen metsien albedo oli noin 15 prosenttia suurempi kuin käsittelemättömien metsien albedo. Jatkuvapeitteisenä käsitellyn metsän albedo oli 10 prosenttia suurempi kuin jaksollisen käsittelyn metsän albedo. Metsien kokonaisvaikutus ilmastoon viilentämiseen oli kuitenkin jatkuvapeitteisessä hieman alhaisempi kuin jaksollisessa käsittelyssä, koska jatkuvapeitteisessä käsittelyssä metsän hiilivarasto oli pienempi. Vaikka käsittelemättömien metsien albedo oli käsiteltyihin metsiin verrattuna pienempi, käsittelemättömien metsien kokonaisvaikutus ilmastoon oli suurempien hiilivarastojen myötä kuitenkin selvästi paras ja viilentävä. Myös Pukkalan (2021) maisematason tutkimuksessa jatkuvapeitteisen käsittelyn metsän albedo (loppukesällä) oli hieman suurempi verrattuna jaksollisen havupuuvaltaisina kasvatettuihin metsiin, kun metsänkäsittelyt optimoitiin puuntuotannon nettonykyarvon maksimoimiseksi 1 prosentin korolla. Albedo ei eronnut käsittelyjen välillä merkittävästi, kun korko oli 4 prosenttia (suuri korko johtaa voimakkaampiin hakkuisiin molemmissa metsänkäsittelytavoissa). Jos jaksollisessa käsittelyssä istutettiin noin 30 prosenttia metsästä lehtipuulle, jatkuvapeitteisenä käsitellyn metsien albedo oli Etelä-Suomessa pienempi verrattuna jaksolliseen käsittelyyn molemmilla nettonykyarvon koroilla. Pohjois-Suomessa erot olivat hyvin pieniä.



6.3 Lisätutkimustarpeet

Metsänkäsittelymenetelmien vertailu ilmastonäkökulmasta edellyttää tietoa hiilen kierrosta ja siihen vaikuttavista tekijöistä sekä käsittelymenetelmien vaikutuksesta muun muassa albedoon ja aerosolien muodostukseen. Esimerkiksi eri mallien ja lähtötilanteiden vaikutuksia tuloksiin on hyvä selvittää enemmän (ks. lisää Suomen Luontopaneelin julkaisusta 1C/2022 luvusta 5.6 Kasvumallien merkitys, Tahvonen 2022). On esimerkiksi osoitettu, että eri kasvumallit tuottavat hyvin erilaisia ennusteita erilaisten hakkuumäärien vaikutuksista metsien hiilinieluun (Kalliokoski ym. 2019). Tunnistettuja tutkimustarpeita ovat esimerkiksi jatkuvapeitteisen metsänkäsittelyn vaikutus luonnonpoistumaan eli luontaisesti kuoleviin puihin ja karikesadantaan, vaikutukset puiden kasvuun ja uudistumiseen, vaikutukset pienilmastoon, aluskasvillisuuteen sekä vaikutukset maaperän hiilivaraston dynamiikkaan huomioiden eri kasvupaikkojen ominaisuudet. Erilaisten hakkuutapojen vaikutuksista maaperän ja puuston hiilivarastoihin ja sidontaan on tärkeää saada lisää erityisesti kokeellista tutkimusta ja aineistoja, jotta mallinnusten luotettavuus parane. Lisätutkimusta tarvittaisiin myös muista ilmastoon vaikuttavista tekijöistä, kuten albedosta ja puuston vapauttamista pienhiukkasista, jotta eri metsänkäsittelymenetelmien kokonaisvaikutus ilmastoon ymmärrettäisiin paremmin.



7 VIRKISTYS- JA MUU HYÖTYKÄYTTÖ

7.1 Metsätalouden vaikutukset metsien virkistys- ja hyötykäyttöön yleisesti

Metsien virkistyskäyttöön luetaan kaikenlainen liikkuminen ja oleilu metsissä vapaa-aikana (Kettunen ym. 2012; Tyrväinen ym. 2019). Suomessa merkittävimpiä luonnontuotteita ovat puolukka, mustikka ja ruokasienet, joiden kerääminen on merkittävää metsien virkistyskäyttöä, mutta myös taloudellista toimintaa. Metsien tarjoamilla virkistysarvoilla on suuri merkitys ihmisten hyvinvoinnille (Tyrväinen ym. 2018) ja terveydelle sekä luontomatkailulle (Tyrväinen ym. 2017). Metsien käsittely puuntuotantoon vaikuttaa metsien virkistyskäyttöön ja metsien tarjoamiin luonnontuotteisiin, sillä se muuttaa metsämaisemaa ja puuston rakennetta (Silvennoinen ym. 2001; Kurttila ym. 2018). Metsän puuston rakenne vaikuttaa muun muassa luonnontuotteiden satoihin. Metsien käsittely vaikuttaa myös vesien virkistyskäyttöön, sillä esimerkiksi rantojen ja saarien hakkuut muuttavat vesiympäristöjen maisemaa. Lisäksi metsätalous ja etenkin turvemaiden ojitukset ovat heikentäneet vesistöjen laatua ja siten myös vesistöjen virkistyskäyttöarvoa.

Miina ym. (2020b) ovat koostaneet sekä kokeellisia että mallinnettuja tutkimustuloksia jatkuvapeitteisen metsänkäsittelyn vaikutuksista luonnontuotteisiin, maiseman virkistysarvoihin sekä porolaitumiin pääasiassa Suomesta. Tässä osiossa on keskitytty Miina ym. (2020b) katsaukseen, eikä kaikkia yksittäisiä tutkimuksia ole käyty tarkemmin läpi. Lisäksi osiossa on tarkasteltu jatkuvapeitteisen metsänkäsittelyn mahdollisia vaikutuksia riistanhoitoon.

7.2 Metsänkäsittelytapojen vaikutukset metsien virkistys- ja hyötykäyttöön

7.2.1 Luonnontuotteet

Mustikka on yleinen kasvi puolivarjoisissa metsissä keskiviljavilla kasvupaikoilla (Miina ym. 2009). Mustikka kärsii avohakkuista, sillä ne muuttavat pienilmastoa liian valoisaksi ja kasviyhteisöä heinävaltaiseksi (ks. luku 4.1 Aluskasvillisuus). Lisäksi mustikka on herkkä maanmuokkaukselle, sillä sen maavarret elpyvät vaurioista hitaasti. **Empiirinen malli*** ennustaa mustikkasadon metsän kasvupaikan, maantieteellisen sijainnin ja puuston rakenteen perusteella (Miina ym. 2009; Kilpeläinen ym. 2016). Mallinnustutkimuksissa jatkuvapeitteisen käsittelyn metsät ovat mustikkasadoille lähes koko ajan optimaalisella tasolla. Sen sijaan jaksollisessa metsänkäsittelyssä sadot ovat pieniä metsikön ollessa nuori ja/tai tiheä. Jaksollisessa käsittelyssä mustikkasadot kasvavat mallinnusten mukaan, kun kiertoaikaa pidennetään ja metsikön rakennetta pidetään harvennuksilla tarpeeksi avoimena. Jaksollisen käsittelyn kiertoajan yli tarkasteltuna kuusikoiden mustikkasadot voivat olla jatkuvapeitteisessä käsittelyssä jopa viisi kertaa suuremmat kuin jaksollisessa käsittelyssä, mutta männiköissä erot ovat pienempiä.

Puolukka on yleinen ja satoisa kasvi valoisissa männiköissä (Turtiainen ym. 2013). Toisin kuin mustikka, puolukka voi tuottaa runsaita marjasatoja jo muutama vuosi metsän uudistamisen jälkeen. Puolukkasadoille on myös laadittu empiirinen malli, jonka perusteella puolukkasadot ovat suuria etenkin uudistetuissa nuorissa ja harvennetuissa uudistuskypsissä mäntymetsissä (Turtiainen ym. 2013). Jaksollisen kiertoajan yli tarkasteltuna puolukkasadot voivat olla jaksollisessa käsittelyssä suuremmat kuin jatkuvapeitteisessä käsittelyssä (Peura ym. 2018). Pukkalan (2016) mallinnuksissa mustikoiden ja puolukoiden yhteenlaskettu sato oli jatkuvapeitteisessä käsittelyssä jaksollista käsittelyä suurempi, kun molemmissa käsittelytavoissa sallittiin vaihtelua Tapion metsänhoitosuosituksia enemmän.

Rouskut ja herkkutatit ovat yleisiä ruokasieniä Suomessa ja myös näille on empiiriseen aineistoon perustuva satomalli kuusikoihin (Tahvanainen ym. 2016). Erityisesti sienisadot ovat herkkiä kasvukauden säälle, ja malli perustuu vain muutaman vuoden seurantaan, joten mallinnuksissa on paljon epävarmuutta. Herkkutatit ja rouskut ovat mykorritsasienejä ja tuottavat itiömiä usein runsaiten puiden kasvun ollessa nopeaa. Tutkimusten

* Katso keskeisten tekstissä lihavoitujen käsitteiden määrittely s. 4–7.



mukaan suurimmat herkkutatti- ja rouskusadot saadaan varsin nuorista metsistä (25–35-vuotiaat metsät) ennen jaksollisen käsittelyn ensiharvennusta (Tahvanainen ym. 2016). Mallilaskelmat ennustavat, että kauppasienisadot, jotka koostuvat pääasiassa herkkutateista ja rouskuista, voivat olla suurempia jaksollisen käsittelyn metsissä kuin jatkuvapeitteisen käsittelyn metsissä 100 vuoden tarkastelujaksolla (Peura ym. 2018). Lisäksi syötävien sienilajien ekologiassa on paljon vaihtelua, ja käsittelytavat vaikuttavat eri lajien sienisatoihin eri tavoin, joten tutkimusta tarvitaan lisää (Tomao ym. 2017). Esimerkiksi Miina ym. (2020b) arvioivat jatkuvapeitteisen käsittelyn metsien tuottavan suurempia suppilovahverosatoja verrattuna jaksollisen käsittelyn metsiin, mutta keltavahverosadoissa eri käsittelytapojen välillä ei arvioitu olevan eroa.

Miina ym. (2020b) tarkastelivat katsauksessaan yleisimpien marja- ja sienisatojen lisäksi myös muita luonnon-tuotteita. Jaksollisen metsänkäsittelyn arvioitiin soveltuvan jatkuvapeitteistä paremmin luonnon tuotteille, joita kerätään laaja-alaisesti tietyn käsittelyvaiheen metsiköstä. Näitä ovat esimerkiksi kuusenkerkät ja koivunmahla. Puolestaan esimerkiksi hillalle ja katajanmarjoille jatkuvapeitteinen käsittely arvioitiin soveltuvan jaksollista paremmin. Maisematasolla useiden eri luonnon tuotteiden satojen ja saatavuuden kannalta paras tapa on kuitenkin soveltaa talousmetsissä monipuolisesti sekä jatkuvapeitteistä että jaksollista metsänkäsittelyä (Kurttila ym. 2018).

7.2.2 Maiseman houkuttelevuus

Metsämaiseman houkuttelevuus (usein käytetään myös termiä maiseman kauneus tai vetovoimaisuus) on merkittävä seikka metsien virkistyskäytön, kuten retkeilyn ja ulkoilun, kannalta. Maiseman houkuttelevuutta on mitattu usein esittelemällä koehenkilöille erilaisia metsämaisemien valokuvia. Silvennoinen ym. (2001) kehittivät tällaisen tutkimusaineiston pohjalta maiseman kauneusindeksin, jota on käytetty eri käsittelytapoja vertailevissa mallinnustutkimuksissa. Kauneusindeksin perusteella suhteellisen harva metsikkö, jossa on pitkiä koivuja ja mäntyjä sekä lyhyempää aliskasvustoa, on maisemallisesti kaunein. Lisäksi suomalaisista mänty-valtaisista metsistä on samantyyppistä kokeellista tutkimustietoa eri hakkuutavoin käsitellyistä metsistä (Koivula ym. 2020). Yleisesti ihmiset arvostavat virkistyskäytössään metsiä, jotka ovat varsin harvapuustoisia, sisältävät suuria ja vanhoja puuyksilöitä, ja joissa ihmistoiminnan jälkiä ei näy (Miina ym. 2020b).

Mallinnustutkimuksien perusteella jatkuvapeitteisen käsittelyn metsiköt ovat rakenteeltaan maisemallisesti houkuttelevampia kuin jaksollisen käsittelyn metsiköt (Pukkala 2016; Peura ym. 2018). Avohakkuiden koetaan huonontavan virkistyskäytössä olevien metsien maisema-arvoa etenkin lumettomana aikana (Tyrväinen ym. 2017). Hakkuutapojen vaikutuksia mäntymetsien virkistyskäyttöarvoon vertailtiin kansalaiskyselyllä, joka toteutettiin muutama vuosi hakkuiden jälkeen. Tulokset osoittivat, että hakkuut vähensivät maiseman virkistyskäyttöarvoa sitä enemmän, mitä enemmän puustoa hakkuussa poistettiin ja mitä laajempi avoimeksi hakatun alueen koko oli (Koivula ym. 2020). Tulokset osoittivat myös, että mitä positiivisempi asennoituminen metsätalouteen oli, sitä houkuttelevampana metsämaisemat koettiin hakkuutavoista riippumatta. Toisaalta kansainväliset matkailijat pitävät laajoista maisemista ja kaukonäkyistä, joita Miina ym. (2020b) mukaan sopivasti sijoitellut avohakkuut voivat edistää. Yleisesti kuitenkin jatkuvapeitteisen metsänkäsittelyn arvioidaan olevan jaksollista käsittelyä parempi metsien virkistyskäytön kannalta. Esimerkiksi Lapissa, jossa matkailu on merkittävä elinkeinomuoto, jatkuvapeitteisen käsittelyn suosiminen jaksollisen käsittelyn sijaan voi paremmin ylläpitää metsien virkistyskäyttömahdollisuuksia. On kuitenkin huomattava, että tutkimusten mukaan edes jatkuvapeitteisesti käsitellyt metsät eivät korvaa käsittelemättömien vanhojen metsien tarjoamia virkistys-arvoja (Mäntymaa ym. 2021; Tyrväinen ym. 2021).

7.2.3 Porolaitumet

Pohjois-Suomessa porotalous on perinteinen luontaiselinkeino. Jaksollisella metsänkäsittelyllä ja etenkin vanhojen metsien hakkuilla on haitallisia vaikutuksia poronhoitoon, sillä ne tuhoavat erityisesti porojen talvilaitumia (Saarikoski ym. 2013; Turunen ym. 2019; Miina ym. 2020b). Miinan ym. (2020b) selvityksen mukaan jatkuvapeitteinen metsänkäsittely voi parantaa poronhoidon edellytyksiä jos se voi vaikuttaa seuraaviin tekijöihin: 1) porojen talviravinnon eli etenkin jäkälien vähenemiseen hakkuiden seurauksena, 2) hakkuuaukkojen olosuhteissa tapahtuneisiin muutoksiin, jotka vaikuttavat kasvi- ja jäkälälajien väliseen kilpailuun ja sukkessioon ja sitä kautta maa- ja loppojäkälän kasvuedellytyksiin, 3) laidunalueina tärkeiden



vanhojen metsien häviämiseen ja pirstoutumiseen ja 4) suometsätalouteen, joka on vähentänyt porojen kesälaitumien määrää ja heikentänyt niiden laatua.

Miinan ym. (2020b) mukaan jatkuvapeitteinen metsänkäsittely voi vähentää luppojäkälien määrää vähemmän kuin jaksollisen käsittelyn avohakkuut. Maajäkälille jatkuvapeitteisen käsittelyn metsien rakenne on empiirisen maajäkälämallin (Miina ym. 2020a) perusteella lähes pysyvästi suotuisalla tasolla (Miina ym. 2020b). Jaksollisessa käsittelyssä maajäkälän peittävyys on alhaista avohakkuiden ja maanmuokkauksen jälkeen sekä puustoltaan tiheissä varttuneissa metsissä. Suot ja soiden reunat ovat poroille tärkeitä kevät- ja kesälaitumia, joissa etenkin ojitus vähentää porojen ravintokasvimäärää (Miina ym. 2020b). Jos jatkuvapeitteisen metsänkäsittelyn avulla voidaan vähentää kunnostusojitusten tarvetta, sillä voi olla positiivisia vaikutuksia porolaitumiin. Jatkuvapeitteisen käsittelyn lisääminen Pohjois-Suomessa voi mahdollisesti siis vähentää konflikteja poronhoidon ja metsäteollisuuden välillä (katso lisätietoa jatkuvapeitteisen käsittelyn talousvaikutuksista sekä metsä- ja porotalouden yhteensovittamisesta Suomen Luontopaneelin julkaisusta 1C/2022 luvusta 4.5 Hiilinielut, Tahvonen 2022).

Metsänkäsittelytapojen muuttaminen ei kuitenkaan ratkaise kaikkia ongelmia porotaloudessa, vaan on selvää, että myös porojen laidunpainetta eli poromäärää tulisi vähentää etenkin porojen talvilaidunten tilan parantamiseksi (Miina ym. 2020b). Poroista puhuttaessa on huomattava, että ne itsessään aiheuttavat maaston kulumista, joka on yksi suurimpia tunturialueen lajiston uhanalaisuuden syitä (Hyvärinen ym. 2019). Eli myös tunturialueiden luonnon monimuotoisuuden turvaamiseksi alueella laiduntavien porojen määrää tulisi pienentää.

7.2.4 Riista

Riistanhoito voidaan myös luokitella metsien käyttömuodoksi. Metsäalueen käyttö metsästysalueena edellyttää, että riistalajeilla on tarpeeksi sopivaa elinympäristöä ja kannat ovat elinvoimaisia. Suomessa on 34 riistanisäkäs- ja 26 riistalintulajia, joista metsien käsittely vaikuttaa erityisesti metsäkanalintujen, metsäjäniksen ja hirvieläinten elinympäristöjen laatuun ja määrään (Lindén ym. 2019). Erityisesti metsäkanalintujen kannat ovat taantuneet viimeisten vuosikymmenten aikana, jonka pääsyyinä pidetään metsien rakenteen muuttumista (Huhta ym. 2017). Riistametsien käsittelyssä pyritään säilyttämään nimenomaan metsäkanalinnuille sopivia elinympäristöjä (Lindén ym. 2019). Metsien jaksollinen käsittely on suosinut monien hirvieläinten elinympäristöjä, ja hirvieläinten elinympäristöjen laadun parantamisen sijaan tarvitaan menetelmiä hirvieläinten aiheuttamien vahinkojen vähentämiseksi.

Metsien hakkuut ja ojitukset ovat pirstoneet ja heikentäneet metsäkanalintujen elinympäristöjä sekä vaikuttaneet myös metsäkanalintuihin kohdistuvaan saalistuspaineeseen (Kurki ym. 2000; Lakka & Kouki 2009). Uhanalaisuusarvioinnissa 2019 metson ja teeren kannat on arvioitu elinvoimaiseksi, mutta pyyn ja riekon kannat on arvioitu vaarantuneeksi niiden yksilömäärien merkittävän vähenemisen vuoksi (Hyvärinen ym. 2019). Metsäkanalinnuille sopivan elinympäristön löytymistä talousmetsissä rajoittaa etenkin vanhojen metsien pirstoutuneisuus sekä pensas- ja kenttäkerrosten kasvillisuuden vähyyys. Pirstoutuneessa talousmetsämaisemassa saalistuspaine on suurta etenkin avoimien alueiden, kuten avohakkuiden reunalla, mikä heikentää metsäkanalintujen poikasten selviytymistä (Kurki ym. 2000; Huhta ym. 2017). Pensas- ja kenttäkerros tarjoavat metsäkanalinnuille suojaa sekä ravintoa. Mustikka on yksi tärkeimmistä metsäkanalintujen ravintokasveista (Lakka & Kouki 2009). Parhaiten metsäkanalintujen sekä muiden riistalajien, kuten metsäjäniksen, elinympäristövaatimukset täyttyvät rakenteeltaan vaihtelevassa sekametsässä (Lindén ym. 2019).

Jaksollisessa käsittelyssä voi metsien hakkuiden haitallisia vaikutuksia metsäkanalintujen elinympäristöihin vähentää esimerkiksi jättämällä taimikkoalueita raivaamatta ja pidentämällä kiertoaikoja (Mönkkönen ym. 2014; Haakana ym. 2020; Haara ym. 2021). Jatkuvapeitteisen käsittelyn osuuden lisääminen talousmetsissä voi vähentää metsien käsittelyn haitallisia vaikutuksia metsäkanalintujen elinympäristöihin, sillä verrattuna jaksolliseen käsittelyyn jatkuvapeitteinen käsittely voi vähentää hakkuiden haitallisia vaikutuksia pensas- ja kenttäkerroksen kasvillisuuteen sekä ravintokasviin mustikkaan ja säilyttää metsän peitteisyyttä maisematasolla (Atlegrim & Sjöberg 1996b; Pukkala ym. 2012). Korvet ovat metsäkanalinnuille tärkeitä elinympäristöjä ja korvissa on hyvät edellytykset jatkuvapeitteiselle metsänkäsittelylle puuston kerroksellisen rakenteen vuoksi (Lindén ym. 2019).



Hirvi on saalisarvoltaan tärkein riistalaji Suomessa, mutta samanaikaisesti se aiheuttaa metsätaloudelle suuria vahinkoja (Lindén ym. 2019). Etenkin taimikot ja nuoret metsät ovat sopivaa elinympäristöä hirvälle, joka käyttää ravintonaan lehtipuuta ja männyntaimia (Heikkilä 1991; Komonen ym. 2020). Hirvi on siis hyötynyt metsien käsittelystä avohakkuin, jotka tuottavat hirvälle sopivia taimikoita ravintopaikoiksi. Myös muut sorkkaeläimet, kuten valkohäntäkauris ja metsäkauris, ovat hyötäneet jaksollisesta kasvatuksesta, joka tuottaa avohakkuiden kautta sopivaa ravintoa näille riistalajeille (Miettinen ym. 2015). Toistaiseksi eri käsittelytapojen vaikutuksista hirvieläinten elinympäristöihin ei ole paljoa tutkimusta. Jatkuvapeitteiseen kasvatukseen siirtymisellä voidaan vähentää hirvieläinten suosimien laaja-alaisten taimikoiden määrää. Jatkuvapeitteisen käsittelyn metsät ja taimikot ovat kuitenkin myös alttiita hirvituhoille (Komonen ym. 2020).

7.3 Lisätutkimustarpeet

Jatkuvapeitteisen metsänkäsittelyn hyödyt verrattuna jaksolliseen metsänkäsittelyyn ja avohakkuihin ovat tutkimustulosten perustella virkistyskäytön näkökulmasta melko selkeitä. Jatkuvapeitteisen metsänkäsittelyn osuuden lisääminen voi lisätä käsiteltyjen metsien virkistyskäyttömahdollisuuksia ja houkuttelevuutta. Jatkuvapeitteisen metsänkäsittelyn vaikutuksista kaivataan lisää etenkin empiirisiin aineistoihin perustuvaa tutkimusta. Lisätutkimusta tarvitaan myös jatkuvapeitteisen metsänkäsittelyn vaikutuksista hirvieläinten elinympäristöihin.



8 METSÄTUHORISKIT

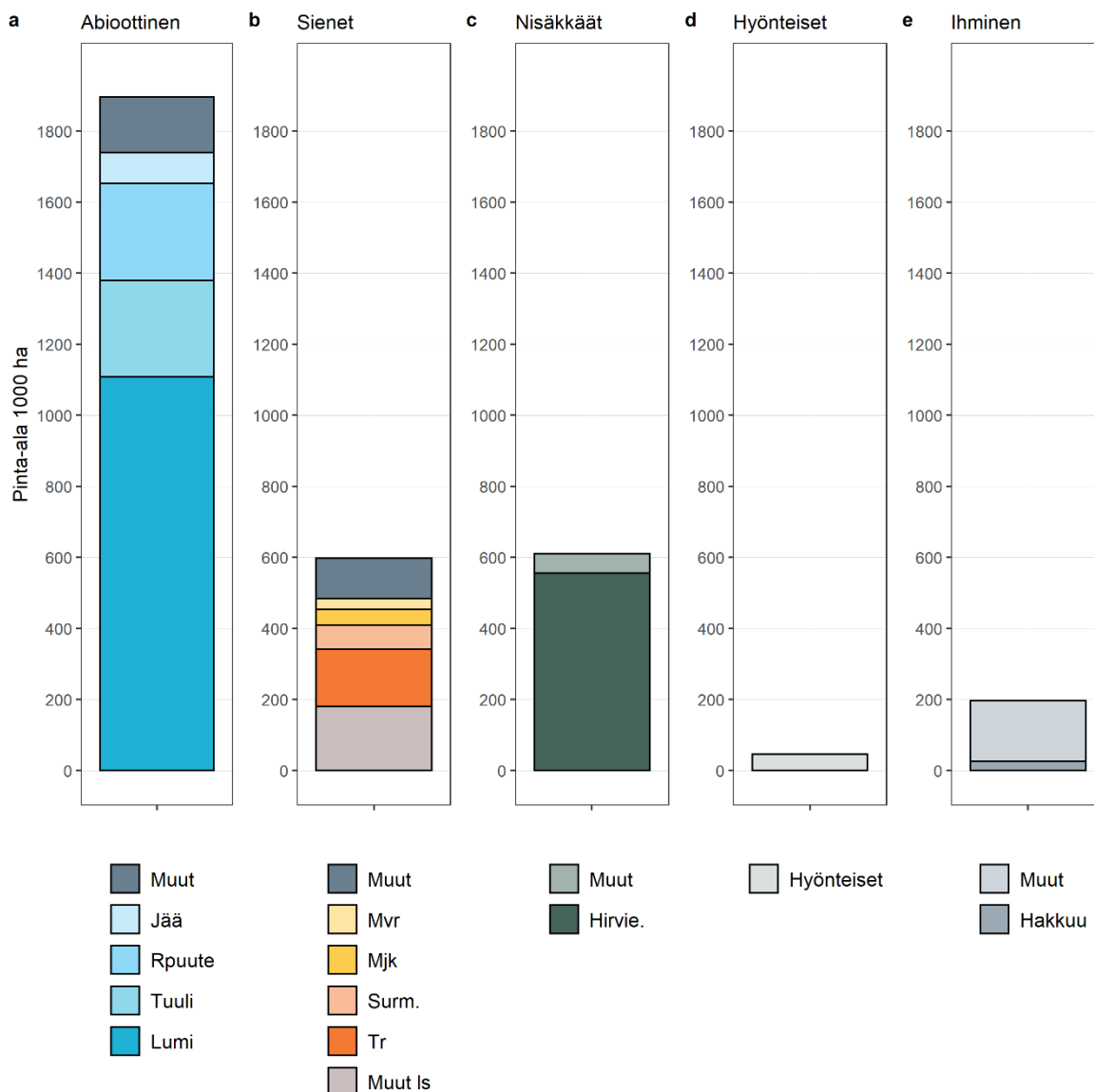
8.1 Metsätalous ja tuhoriskit

Tuhooriskeillä viitataan tässä lähinnä riskeihin puuntuotannon ja muiden ekosysteemipalvelujen näkökulmasta (Thom & Seidl 2016). Luonnonmetsissä häiriöt ovat osa metsien luontaista dynamiikkaa ja sukkessiota, ja ne tuottavat resursseja ja elinympäristöä metsien luontaiselle lajistolle (Brumelis ym. 2011; Kuuluvainen & Aakala 2011). Talousmetsissä luontaisiakin metsätuhoja pyritään kuitenkin ehkäisemään niistä koituvien taloudellisten menetysten vuoksi. Tuhonaiheuttajat voidaan jakaa abioottisiin (esimerkiksi lumi, tuuli tai korjuuvauriot) ja bioottisiin (esimerkiksi sienet ja hyönteiset) (Nevalainen & Piri 2020). Käsittelyt metsät, jotka ovat rakenteeltaan ja lajistoltaan yksipuolisia, voivat olla alttiimpia tuhoille verrattuna käsittelemättömiin ja monimuotoisiin metsiin (Martikainen ym. 1999). Jatkuvapeitteisen ja jaksollisen metsänkäsittelyn tuhoriskejä on vertailtu Suomessa asiantuntijakyselyn ja kirjallisuusselvityksen kautta (Nevalainen 2017). Varsinaista kokeellista tutkimustietoa jatkuvapeitteisen metsänkäsittelyn vaikutuksista tuhooriskeihin on vähän, ja se painottuu Keski-Eurooppaan ja Pohjois-Amerikkaan (Knoke ym. 2021). Suomessa kokeellinen tutkimus on keskittynyt pääasiassa tuuli- ja juurikäpätuhoihin (Piri & Valkonen 2013; Nevalainen & Piri 2020).

8.2 Metsänkäsittelytapojen vaikutukset tuhooriskeihin

Tyypillisimpiä abioottisia häiriöitä havumetsissä aiheuttavat lumi, tuuli ja jää (kuva 14, Kuuluvainen & Aakala 2011; Korhonen ym. 2021). Suomessa jatkuvapeitteisen metsänkäsittelyn näkökulmasta tutkimusta on lähinnä tuulituhoista. Metsien jyrkät reunat, kuten avoimen alueen ja metsän raja, ovat herkkiä tuulenkaadoille ja reunoilla puuston tiheys vaikuttaa siihen, kuinka syvälle tuuli pääsee vaikuttamaan (Peltola 1996; Zeng ym. 2004; Suvanto ym. 2019; Mäenpää ym. 2020). Tällaisessa tapauksessa tuulituhojen riskiä laskee metsän erirakenteisuus, sillä pienemmät puut voivat estää voimakkaan tuulen pääsyn metsikön sisään (Peltola ym. 1999). Simulaatioennusteiden perusteella jatkuvapeitteisen käsittelyn metsien alttius tuulituhoille riippuu merkittävästi tarkasteltavaa metsikköä ympäröivän alueen rakenteesta (Pukkala ym. 2016). Jatkuvapeitteisen käsittelyn metsä, joka sijaitsee avoimen alueen reunalla ja on vastikään hakattu harvaksi, on herkkä tuulituhoille (Pukkala ym. 2016). Laajemmalla maisematasolla harjoitettuna jatkuvapeitteisen käsittelyn metsissä ei ole avohakkuista johtuvia jyrkkiä reunoja, mikä laskee tuulituhojen riskiä verrattuna jaksollisen käsittelyn metsämaisemaan (Gerendiain ym. 2016; Pukkala ym. 2016). Maisematason simulaatioiden perusteella jatkuvapeitteisen metsänkäsittelyn hakkuut eivät nosta tuulituhoriskiä merkittävästi verrattuna hakkuista edeltävään aikaan, jos hakattu kohde ei ole erityisen laaja ja sen ympärillä ei ole avointa alaa, kuten avohakkuita. Myös tutkimustulokset Keski-Euroopasta ja Pohjois-Amerikasta osoittavat, että jatkuvapeitteisen käsittelyn metsämaisema on vähemmän altis tuulituhoille verrattuna jaksollisen käsittelyn maisemaan (O'Hara & Ramage 2013; Hanewinkel ym. 2014). Toisaalta maisematason simulaatiotutkimus Ruotsista osoittaa, että jos jaksollisessa metsänkäsittelyssä lisättäisiin lehtipuuvaltaisten metsien osuutta merkittävästi, voivat jaksollisen käsittelyn metsät olla vähemmän alttiita myrskytuhoille verrattuna havupuuvaltaisiin jatkuvapeitteisen käsittelyn metsiin tai havupuuvaltaisiin jaksollisen käsittelyn metsiin (Lagergren & Jönsson 2017).

Abioottisten häiriöiden, kuten tuulituhojen, vaikutuksesta metsät ovat alttiimpia myös bioottisille häiriöille (Murcia 1995). Esimerkiksi avoimet ja paahteiset metsänreunat, joissa esiintyy tuulenkaatoja, ovat alttiita hyönteistuhonille (Thom & Seidl 2016). Suomessa bioottisia häiriöitä aiheuttavat lähinnä sienet, hyönteiset ja hirvieläimet (kuva 14).



Kuva 14. Metsätuhojen aiheuttajat käsitellyissä metsissä jaoteltuina abioottisiin, sieniin, nisäkkäisiin, hyönteisiin ja ihmiseen (Valtakunnan metsien inventointi 12, vuodet 2014–2018). Pinta-alat (1 000 hehtaaria) on raportoitu tuhoalueille, joilla puuston laatu on alentunut. Lyhennetyt selitteet: Rpuute = ravinteiden puute, Mvr = männynversoruoste, Mjk = männynjuurikäppä, Surm. = surmakka, Tr = tervaroso, Muut ls = muut lahottajasienet, Hirvie. = hirvieläimet. Eri tuhoonaiheuttajia vertailtaessa on syytä huomioida, että sieni- ja hyönteistuhojen pinta-alat ovat aliarvioita (Korhonen ym. 2021). Kuvan aineiston lähde: Korhonen ym. 2021.

Kuusikoissa hyönteisistä merkittävimpiä vaikutuksia on kirjanpainajalla (*Ips typographus*). Keski-Euroopassa metsät ovat kärsineet laajoista kirjanpainajatuhoista (Lausch ym. 2013) ja ilmastomuutoksen myötä kirjanpainajatuhojen riskin on ennustettu kasvavan myös Suomessa (Blomqvist ym. 2018). Kirjanpainaja leviää etenkin vastustuskyvyltään heikkoihin puihin ja tuoreisiin tuulenkaatoihin lämpimissä ja paahteisissa oloissa, kuten avohakkuiden reunoilla. Kirjanpainajat heikentävät puuta entisestään, toimivat vektorina myös muille patogeeneille (Linnakoski ym. 2021) ja lopulta usein aiheuttavat puun kuoleman. Kirjanpainaja ei käytä resurssinaan nuoria puita, joten jatkuvapeitteisen käsittelyn metsän, jossa on eri-ikäisiä ja -kokoisia puita, arvioidaan olevan vastustuskykyisempi kirjanpainajatuhoille verrattuna jaksollisen käsittelyn metsiin (Nevalainen 2017). Rakenteellisesti vaihtelevassa metsässä on myös todennäköisemmin kirjanpainajan luontaisia saalistajia verrattuna rakenteeltaan yksipuoliseen metsään (Martikainen ym. 1999; Marini ym.



2021). Keskeinen kirjanpainajan torjuntakeino on hakatun puutavaran poisvienti metsästä ennen kirjanpainajan lisääntymiskautta.

Sienistä merkittävimpiä menetyksiä Suomen talousmetsissä aiheuttavat männynjuurikäpä (*Heterobasidion annosum*) ja etenkin kuusenjuurikäpä (*Heterobasidion parviporum*) (Piri ym. 2019; Nevalainen & Piri 2020). Juurikäpä lahottaa puuta tyvestä nousten puussa hitaasti ylöspäin. Laho puu ei sovi esimerkiksi rakennusmateriaaliksi, mikä aiheuttaa metsänomistajalle taloudellisia tappioita. Juurikäpä leviää sekä itiövälikiteisesti että maanalaisesti juurien kautta. Juuriston korjuuvauriot lisäävät juurikäpäriskiä. Itiövälikiteistä leviämistä pystytään estämään talvihakkuilla ja juurikäpäisten kantojen kemiallisella käsittelyllä. Eri-ikäisrakenteisessa metsässä juurikäpä leviää vanhoista ja suuremmista puuyksilöistä nuorempiin puihin ja aliskasvokseen (Piri & Valkonen 2013). Juurikäävän riski on arvioitu suuremmaksi jatkuvapeitteisessä metsänkäsittelyssä kuin jaksollisessa käsittelyssä johtuen muun muassa jatkuvapeitteisen käsittelyn suuremmasta korjuuvaurioriskistä ja juurikäävän leviämiskyvystä (Nevalainen 2017; Piri ym. 2019). Maanalaista leviämistä ei pystytä nykykeinoin torjumaan ilman puulajin vaihtoa koivulle tai männylle, joka tarvitaan käsittelytavasta riippumatta, jos juurikäävästä halutaan eroon. Puulajin vaihto istuttamalla voi olla helpompi toteuttaa jaksollisessa metsänkäsittelyssä kuin jatkuvapeitteisessä käsittelyssä. Jatkuvapeitteisen metsänkäsittelyn juurikäpäriskiä voi pienentää tekemällä kuusikoissa pienaukkohakkuita poimintahakkuiden sijaan, jolloin korjuuvauriot ovat pienempiä ja lehtipuun uudistuminen parempaa (Nevalainen & Piri 2020). Lehtipuusekoitus voi vähentää juurikäävän leviämistä, mutta lehtipuusekoituksen osuuden tulee olla vähintään 30 prosenttia runkoluvusta, jotta vaikutus olisi merkittävä (Nevalainen & Piri 2020). Mikäli juurikäpä pääsee muodostumaan ongelmaksi ja siitä tarvitsee päästä eroon, olisi metsänkäsittelytyylistä riippumatta edettävä avohakkuun kautta puulajin vaihtoon.

Nevalainen (2017) vertaili jatkuvapeitteisen ja jaksollisen metsänkäsittelyn riskejä kirjallisuusselvityksen ja suomalaisille tutkijoille osoitetun asiantuntijakyselyn perusteella. Tuulituho-, kirjanpaina- ja juurikäpäriskien lisäksi Nevalainen vertaili eri käsittelymenetelmiä myös muiden patogeenien ja nisäkästuhojen näkökulmasta. Jaksollinen metsänkäsittely arvioitiin jatkuvapeitteistä metsänkäsittelyä alttiimmaksi tuhoriskeille etenkin uudistamisvaiheessa, sillä esimerkiksi taimitarhataimien käyttäminen ja männyn istuttaminen väärälle kasvupaikalle voivat lisätä sienitautien, kuten versosurman ja harmaakaristeen riskiä. Männyn istutustaimet ja taimikot ovat lisäksi alttiita myyrä- ja hirvituhoille. Toisaalta jatkuvapeitteisen käsittelyn metsät arvioitiin suuremman juurikäpäriskin lisäksi olevan alttiimpia mekaanisille korjuuvaurioille, koska suurimpia puita poistettaessa syntyy helpommin puustovaurioita kuin jaksollisen kasvatuksen alaharvennuksissa. Nevalaisen (2017) tulosten perusteella tuhoriskit ovat keskimäärin suuremmat jaksollisessa kuin jatkuvapeitteisessä metsien käsittelyssä.

Kaikkiin tuhoriskeihin liittyy merkittävästi myös ilmastonmuutos, sillä se tulee lisäämään erilaisia häiriöitä metsissä (Venäläinen ym. 2020). Monimuotoinen metsä on vastustuskykyisempi häiriöiden vaikutuksille ja pystyy palautumaan häiriöstä paremmin verrattuna monimuotoisuudeltaan köyhään metsään (Thom & Seidl 2016). Jatkuvapeitteisen käsittelyn metsä, jossa on eri-ikäisiä ja erikokoisia sekä eri puulajien puita, voi olla vastustuskykyisempi häiriöille ja voi sopeutua muutoksiin paremmin kuin homogeeninen jaksollisen käsittelyn metsä (O'Hara & Ramage 2013; Knoke ym. 2021). Käsittelytavasta riippumatta käsiteltyjen metsien lehtipuuosuutta tulisi kasvattaa ja samanaikaisesti metsien suojelupinta-alaa lisätä, jotta metsät pystyisivät vastaamaan ilmastonmuutoksen tuomiin haasteisiin paremmin.

8.3 Lisätutkimustarpeet

Metsätuhojen riskiä jatkuvapeitteisessä metsänkäsittelyssä on hyvä tutkia lisää. Lisätutkimusta tarvitaan esimerkiksi juurikäpäriskin osalta. Juurikäpää vastaan on kehitelty muun muassa biologisia torjuntakeinoja ja niiden soveltuvuutta eritavoin käsiteltyihin metsiin tulee selvittää. Jatkuvapeitteisen käsittelyn on esitetty lisäävän metsissä korjuuvaurioita, mutta kokeellista tutkimusta aiheesta ei juuri ole, ja asiaa tulisi tutkia ennen johtopäätösten tekemistä.



9 METSIEN MONIKÄYTTÖ

9.1 Metsätalouden vaikutukset metsien monikäyttöön

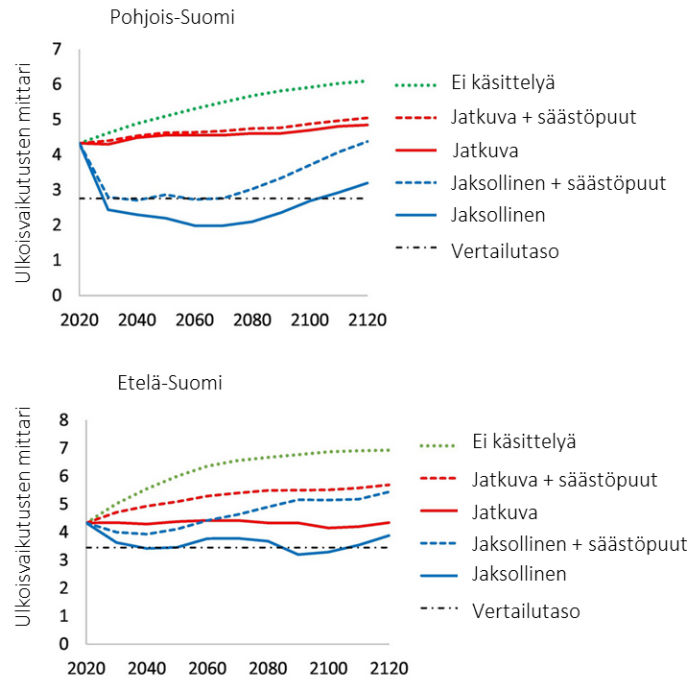
Metsien monikäytöllä tai monitoiminnallisuudella tarkoitetaan metsien kykyä tarjota samanaikaisesti useita eri ekosysteempipalveluja tai hyötyjä, kuten luonnon monimuotoisuus-, virkistys- ja ilmastohyötyjä. Metsien voimakas käsittely pelkästään puuntuotantoon vähentää usein metsien monikäyttöarvoa (Pohjanmies ym. 2017). Puuntuotannon rinnalla metsien tarjoamia muita ekosysteempipalveluja arvostetaan yhä enemmän. Sekä kansallisissa että kansainvälisissä strategioissa korostetaan tarvetta käsitellä metsiä siten, että luonnon monimuotoisuus ja metsien moninaiset ekosysteempipalvelut säilyvät (Maa- ja metsätalousministeriö 2019; Euroopan komissio 2021).

9.2 Metsänkäsittelytapojen vaikutukset metsien monikäyttöön

Eyvindson ym. (2021) tutkivat sekä jatkuvapeitteisen että jaksollisen käsittelytavan vaikutuksia metsien monikäyttöön ja yksittäisiin käyttötavoitteisiin maisematasolla ja 100 vuoden simulaatiojaksolla. Tutkimuksessa mitattiin monitoiminnallisuutta metsien kyvyllä tuottaa yhtäaikaaisesti puun myyntituloja, ilmastohyötyjä, virkistysarvoja ja elinympäristöä metsälajistolle. Metsämaisemassa yhdistelmä sekä jatkuvapeitteistä käsittelyä että jaksollista käsittelyä oli paras metsien monitoiminnallisuuden näkökulmasta. Tutkimuksen mukaan monitoiminnallisuuden turvaamiseksi jatkuvaa käsittelyä tulisi käyttää noin 75 prosentilla metsäalasta. Myös Pukkala (2016) on osoittanut, että metsien monitoiminnallisuuden näkökulmasta jatkuvapeitteinen käsittely on tyypillisesti jaksollista käsittelyä parempi vaihtoehto. Monitoiminnallisuuden näkökulmasta paras käsittelytapa maisematasolla ei kuitenkaan sulje kokonaan pois jaksollista käsittelyä. Monitoiminnallisuuden kannalta optimaalisessa yhdistelmässä erilaisia hakkuutapoja avohakkuiden osuus on kuitenkin pieni.

Peura ym. (2018) tutkivat myös jatkuvapeitteisen ja jaksollisen käsittelyn vaikutuksia metsien monitoiminnallisuuteen maisematasolla ja 100 vuoden simulaatiojaksolla. Kun molemmissa käsittelytavoissa käsittely seurasi Tapion hyvän metsänhoidon suosituksia (Äijälä ym. 2014), pystyi jatkuvapeitteisen käsittelyn metsämaisema tuottamaan samanaikaisesti talous-, ilmasto-, virkistys- ja luonnon monimuotoisuushyötyjä paremmin verrattuna jaksolliseen käsittelyyn. Tutkimus osoitti myös, että mitä enemmän metsiltä tavoiteltiin ilmasto-, virkistys- ja luonnon monimuotoisuushyötyjä, sitä tärkeämpiä kokonaan käsittelemättömät metsät eli suojelualueet olivat.

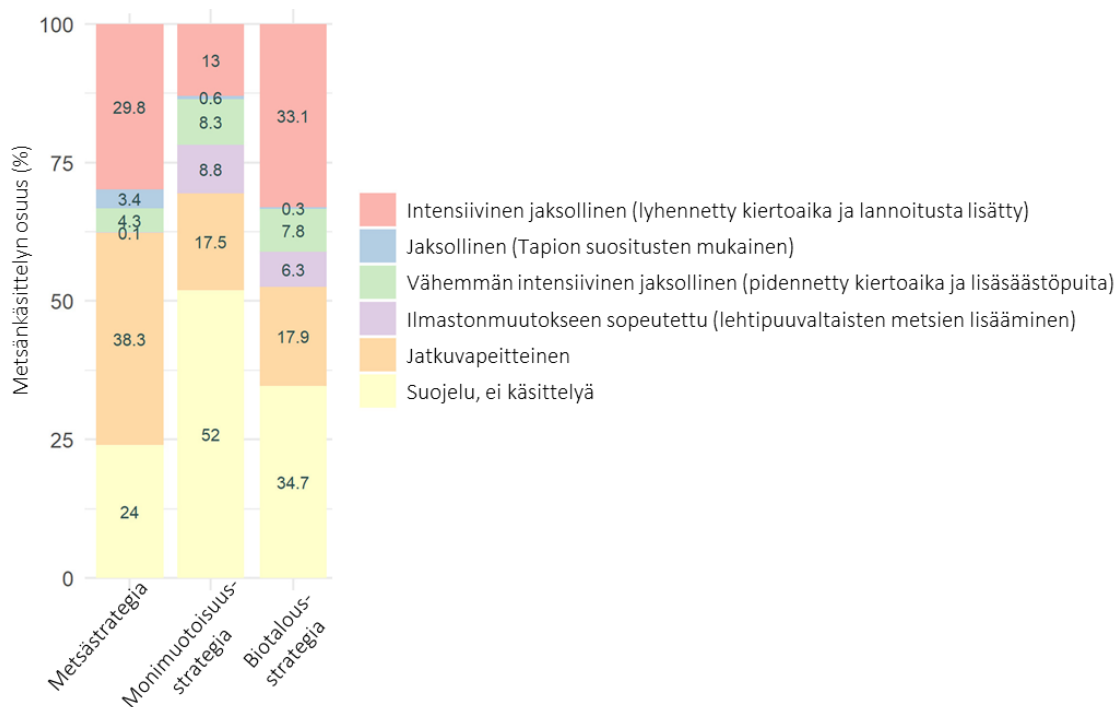
Pukkala (2022) tutki jatkuvapeitteisen ja jaksollisen metsänkäsittelyn vaikutuksia metsätalouden positiivisiin ulkoisvaikutuksiin. Ulkoisvaikutukset jaettiin kolmeen kategoriaan: luonnon monimuotoisuus, ilmasto ja metsien virkistyskäyttö (mukaan lukien keruutuotteet). Positiivisten ulkoisvaikutusten mittaamiselle kehitettiin mittari, ja mitä suurempi mittarin arvo on, sitä suuremmat ovat metsätalouden positiiviset ulkoisvaikutukset eli metsien monitoiminnallisuus ja kyky tarjota samanaikaisesti useita eri hyötyjä. Käsittelemättömien metsien positiivinen ulkoisvaikutus oli suurin (kuva 15). Jatkuvapeitteisen käsittelyn positiiviset ulkoisvaikutukset olivat suuremmat kuin jaksollisen käsittelyn. Säästöpuiden jättäminen molemmissa käsittelytavoissa paransi metsien positiivista ulkoisvaikutusta verrattuna tilanteeseen, jossa säästöpuita ei jätetty.



Kuva 15. Metsätalouden positiiviset ulkoisvaikutukset eri käsittelyissä 100 vuoden ajanjaksolla Pohjois- ja Etelä-Suomessa. Mitä suurempi ulkoisvaikutus on, sitä enemmän metsä tuottaa monia eri hyötyjä. Säästöpuita jätettiin molemmissa käsittelyissä 10–30 kappaletta hehtaarille, riippuen säästöpuiden läpimitasta. Vertailutaso on nykyisen metsien käytön keskimääräinen positiivinen ulkoisvaikutus. Kuva muokattu julkaisusta Pukkala 2022 (CC BY 4.0).

Pukkala (2021) on arvioinut myös metsien käytön yhteiskunnallisia vaikutuksia. Tutkimuksessa yhteiskunnallinen hyöty laskettiin arvioimalla metsien käsittelyn vaikutuksia puuntuotantoon, säätelypalveluihin, luonnon monimuotoisuuteen, virkistyskäyttöön sekä kykyyn sietää häiriöitä. Käsittelyt optimoitiin puuston nettonykyarvon maksimoimiseksi eri korkotasolla. Tulokset osoittivat, että metsätalouden yhteiskunnallinen hyöty oli suurin, kun avohakkuuta ei tehty, metsiä käsiteltiin pääosin jatkuvapeitteisen käsittelyn keinoin ja korkotaso oli matala. Jaksollisessa käsittelyssä lehtipuusuuden kasvattaminen lisäsi yhteiskunnallista hyötyä verrattuna jaksolliseen käsittelyyn, jossa kasvatettiin pääosin havupuita. Metsätalouden yhteiskunnallinen hyöty oli sitä pienempi, mitä suuremmalla korolla nettonykyarvoa maksimoitiin. Suuri korko johtaa muun muassa jaksollisen käsittelyn lyhyempiin kiertoaikoihin sekä harvapuustoihin metsiin.

Blattert ym. (2022) tutkivat minkälainen metsien käsittely vastaa kansallisen metsästrategian, biodiversiteetti-strategian ja biotalousstrategian tavoitteisiin Suomessa. Kaikki nämä strategiat korostavat metsien monikäyttöä. Metsien käsittelyt optimoitiin kansallisella tasolla niin, että ne vastasivat eri strategioiden tavoitteisiin. Tavoitteisiin sisältyy muun muassa metsäluonnon monimuotoisuuden suojelua ja luonnon monimuotoisuudelle tärkeiden rakennepiirteiden lisäämistä metsissä, hakkuukertymätavoitteita, luonnontuotteita, riistalajien sopivien elinympäristöjen huomioimista, ilmastonsäätelyä, vesistöjen suojelua, virkistysarvoja sekä metsien vastustuskyvyn huomioimista häiriöriskien näkökulmasta. Eri strategioiden välillä on vaihtelua siinä, mitä tavoitteita ja millä painotuksilla strategiaan sisältyy. Tutkimuksen mukaan jatkuvapeitteistä käsittelyä tulisi tehdä 38 prosentissa metsistä kansallisen metsästrategian tavoitteiden saavuttamiseksi ja 18 prosentissa metsistä kansallisen biodiversiteettistrategian sekä kansallisen biotalousstrategian tavoitteiden saavuttamiseksi (kuva 16). Jatkuvapeitteisen metsänkäsittelyn pienempää osuutta biodiversiteettistrategiassa ja biotalousstrategiassa selittää osin suojelun suurempi osuus biodiversiteettistrategiassa ja biotalousstrategiassa metsästrategiaan verrattuna. Tutkimus osoittaa, että metsiä tulisi samanaikaisesti suojella noin neljäsosa metsästrategian, noin puolet biodiversiteettistrategian ja noin kolmasosa biotalousstrategian tavoitteiden saavuttamiseksi. Tutkimuksen perusteella etenkin Pohjois-Suomessa tulisi lisätä jatkuvapeitteisen metsänkäsittelyn osuutta tavoitteiden saavuttamiseksi (Blattert ym. 2022, lisätiedosto S9).



Kuva 16. Erilaisten metsänkäsittelymenetelmien optimaalinen osuus, joka vastaa kansallisen metsästrategian, monimuotoisuusstrategian ja biotalousstrategian tavoitteisiin koko Suomen tasolla. Kuva muokattu lähteestä Blattert ym. 2022 (CC BY 4.0).

Tutkimustulokset myös Ruotsista osoittavat, että metsin monikäytön kannalta jatkuvapeitteisen käsittelyn osuutta käsitellyissä metsissä tulisi kasvattaa (Nordström ym. 2013; Lagergren & Jönsson 2017; Pang ym. 2017; Eggers ym. 2020). Siirtyminen suurempaan jatkuvapeitteisen käsittelyn osuuteen metsissä voi vähentää konflikteja metsän eri käyttötavoitteiden välillä. Nykytutkimuksen tulosten perusteella jatkuvapeitteisen käsittelyn osuuden lisääminen käsitellyissä metsissä olisi siis yhteiskunnan kokonaishyödyn kannalta tavoiteltavaa. Samanaikaisesti kuitenkin myös metsien suojelua tulisi lisätä merkittävästi.

9.3 Lisätutkimustarpeet

Metsien monikäyttöä käsittelevät tutkimukset ovat pääosin mallinnusmenetelmiin perustuvia. Mallien luotettavuuden parantamiseksi ja kehittämiseksi tarvitaan lisää empiiristä ja kokeellista tutkimusta. Tulevaisuuden tutkimuksissa tulisi ottaa huomioon vielä laajemmin eri hyödyt, joita metsistä saadaan. Metsien monikäyttöä ja puuntuotannon vaikutuksia käsittelevissä tutkimuksissa olisi erityisen tärkeää huomioida myös metsätalouden haitalliset vesistövaikutukset.



10 KANSALAISTEN JA METSÄNOMISTAJIEN TAVOITTEET JA ARVOT

Vuonna 2012 tehdyn kyselytutkimuksen tulosten perusteella kansalaiset toivovat, että kansallisessa metsäpolitiikassa ja päätöksenteossa otettaisiin laajemmin huomioon metsien erilaiset hyödyt, kuten terveys- ja virkistys- ja hyödyt (Valkeapää & Karppinen 2013). Metsien käsittelymenetelmiin toivottiin jaksollisen käsittelyn rinnalla vaihtelua, kuten jatkuvapeitteistä käsittelyä. Lisäksi vastaajat arvioivat, että metsäteollisuudella ja metsäviranomaisilla on päätöksenteossa liikaa valtaa ja kansalaisilla, metsänomistajilla ja virkistyskäyttäjillä valtaa on liian vähän.

UPM:n vuonna 2020 tilaamaan kyselyyn vastanneista kansalaisista 69 prosenttia koki suhteensa metsään erittäin läheiseksi tai läheiseksi (UPM 2020). Metsä on suomalaisille useimmiten ulkoilun, liikunnan sekä virkistymisen ja rauhoittumisen kohde. Metsien rooli ilmastonmuutoksen torjunnassa, luonnon monimuotoisuuden ylläpidossa ja virkistyskäytössä koetaan tärkeimmiksi huomioon otettaviksi seikoiksi metsiin liittyvässä päätöksenteossa. Avohakkuisin suhtautui kielteisesti tai erittäin jyrkästi 31 prosenttia ja varauksella 37 prosenttia vastaajista. Merkittävin syy kielteiseen tai varaukselliseen suhtautumiseen oli avohakkuiden haitallinen vaikutus luonnon monimuotoisuuteen. WWF:n vuonna 2019 tilaamaan kyselyyn vastanneista kansalaisista 77 prosenttia oli sitä mieltä, että avohakkuuta tulisi rajoittaa lakisääteisesti alueilla, joilla niistä on suurin haitta ympäristölle (WWF 2019a).

Vuonna 2016 tehdyn metsänomistajakyselyn tulosten perusteella metsänomistajat kokevat, että metsän arvo perustuu tulevaisuudessa yhä enemmän metsien tarjoamiin moninaisiin ekosysteemipalveluihin ja monipuoliseen käyttöön (Häyrinen ym. 2017). Vuonna 2019 tehtyyn metsänomistajakyselyyn vastanneista metsänomistajista 28 prosenttia oli tavoitteiltaan monitavoitteisia ja 20 prosenttia virkistyskäyttäjiä (Karppinen & Hänninen 2020). Metsässä työtä tekeviä oli 21 prosenttia ja tuloja ja turvaa korostavia 20 prosenttia kyselyyn vastanneista metsänomistajista. Epätietoisten metsänomistajien osuus oli 11 prosenttia. Kyselyn perusteella metsänomistajien aineettomat tavoitteet eivät ole kuitenkaan vahvistuneet 2000-luvulla. Sekä monitavoitteisten että virkistyskäyttäjien osuudet metsänomistajista ovat hieman vähentyneet ja turvaa ja tuloja korostavien osuus on hieman noussut. Metsässä työtä tekevien ja epätietoisten osuudet ovat pysyneet lähes ennallaan. Metsänomistajien tyypillisin metsien käsittelytapa on jaksollinen käsittely, mutta jatkuvapeitteisen käsittelyn osuus tulee tutkimusten perusteella todennäköisesti kasvamaan tulevaisuudessa (Juutinen ym. 2020b; Karppinen & Hänninen 2020). Kyselyyn vastanneista metsänomistajista 63 prosenttia ilmoitti todennäköisesti tulevaisuudessa käyttävänsä jatkuvapeitteisen käsittelyn menetelmää (Karppinen & Hänninen 2020).

Maa- ja metsätaloustuottajain keskusliiton (MTK) tilaamaan Metsätutka -kyselyyn vastanneista metsänomistajista jatkuvapeitteistä käsittelyä oli kokeillut 10 prosenttia vuonna 2014, 15 prosenttia vuonna 2017 ja noin 30 prosenttia vuonna 2020 (MTK 2020). WWF:n tilaamaan kyselyyn vuosina 2017 ja 2019 vastanneista metsänomistajista reilulle 30 prosentille oli esitelty vaihtoehtoja avohakkuille, eli toisin sanoen metsien jatkuvapeitteistä käsittelyä (WWF 2019b). Vuonna 2019 niistä, jotka olivat saaneet neuvontaa jatkuvapeitteisestä metsänkäsittelystä, 94 prosenttia koki, että metsäneuvoja suhtautui jatkuvapeitteiseen käsittelyyn myönteisesti tai neutraalisti. Metsäneuvoja oli kysynyt 39 prosentilta vastanneista, minkälaisia tavoitteita ja päämääriä omistajalla on metsänsä suhteen. Huomionarvoista on kuitenkin, että lähes puolessa tapauksista metsäneuvoja ei ollut kysynyt tavoitteista ja päämääristä. Kyselyn tulosten perusteella vaikuttaa siis siltä, että vaikka metsänomistajien tavoitteet ovat moninaisia (Karppinen & Hänninen 2020), niin neuvontatilanteessa omistajilta ei läheskään aina kysytä tavoitteista tai kerrota erilaisista vaihtoehtoista käsitellä metsää.

Vuonna 2020 tehdyn kyselytutkimuksen tulosten perusteella metsänomistajat arvostavat metsäluonnon monimuotoisuutta ja ei-aineellisia ekosysteemipalveluja (Juutinen ym. 2021). Suurin osa metsänomistajista on myös halukkaita käsittelemään metsiään jatkuvapeitteisen käsittelyn keinoin niin, että luonnon monimuotoisuus ja ei-aineelliset ekosysteemipalvelut säilyvät, erityisesti jos se on taloudellisesti kannattavaa. Metsänomistajat ovat myös halukkaita tekemään sopimuksia metsien käsittelystä ja suojelusta luonnon monimuotoisuuden ja ei-aineellisten ekosysteemipalvelujen turvaamiseksi, varsinkin jos sopimuksen tekemisestä saa rahallisen korvauksen (Husa & Kosenius 2021; Juutinen ym. 2021).



11 YHTEENVETO

Sekä jatkuvapeitteistä että jaksollista metsänkäsittelyä tehdään eri voimakkuuksilla ja erilaisin hakkuutavoin. Ei ole olemassa yksiselitteistä sääntöä, jolla voitaisiin todeta, kuuluuko jokin tietty hakkuutapa jatkuva-peitteiseen vai jaksolliseen käsittelyyn (avohakkuuta lukuun ottamatta). Esimerkiksi yläharvennuksia tehdään molemmissa käsittelytavoissa. Kaikkien metsänkäsittelytapojen aiheuttama häiriö on tyypillisesti sitä voimakkaampi, mitä voimakkaampi hakkuu tehdään. Avohakkuut aiheuttavat suurimman haitallisen vaikutuksen sekä luontoon että moniin metsien tarjoamiin ekosysteemipalveluihin. Yhteiskunnan kokonais-edun kannalta jatkuvapeitteisen käsittelyn osuuden lisääminen puuntuotannossa olevissa metsissä on nyky-tutkimuksen valossa kannattavaa. Jatkuvapeitteistä metsänkäsittelyä kannattaa tutkimustiedon perusteella kohdentaa etenkin puuntuotannossa oleviin metsiin, jotka sijaitsevat turvemaalla, ovat virkistyskäytössä, rajautuvat vesistöihin tai rajautuvat suojelualueisiin. Selvää on, että luontokadon pysäyttämiseksi ja ei-puuntuotannollisten ekosysteemipalvelujen turvaamiseksi tarvitaan metsänkäsittelymenetelmien monipuolisi-tamisen rinnalla merkittävästi lisäsuojelua.

11.1 Vaikutukset luonnon monimuotoisuuteen

Jatkuvapeitteisen metsänkäsittelyn hakkuut häiritsevät varttuneen metsän lajistoa vähemmän kuin jaksollisen metsänkäsittelyn avohakkuut (Kuuluvainen ym. 2012; Koivula & Vanha-Majamaa 2020; Savilaakso ym. 2021). Talousmetsämaisemassa yhdistelmä jatkuvapeitteistä ja jaksollista metsänkäsittelyä sekä erilaisia säästöpuu-hakkuuta tarjoaa elinympäristöä monipuoliselle lajistolle ja on parempi kuin ainoastaan yhden käsittelytavan käyttö. Jatkuvapeitteisen käsittelyn osuus talousmetsämaisemassa tulisi olla kuitenkin huomattavasti nykyistä suurempi, jotta maisema jäljittelisi luontaista maisemarakennetta paremmin (Kuuluvainen & Gauthier 2018; Kuuluvainen 2021). On myös huomioitava, että molempia käsittelytapoja voi tehdä hyvin erilaisilla hakkuu-tavoilla ja voimakkuuksilla. Myös jatkuvapeitteinen metsänkäsittely aiheuttaa häiriön lajistoon ja vaikutukset voivat olla lajiryhmästä riippuen pitkäaikaisia. Tästä syystä jatkuvapeitteisen käsittelyn osuuden lisääminen talousmetsämaisemassa ei poista lisäsuojelun tarvetta, vaan metsiä täytyy jättää merkittävästi lisää käsittelyn ulkopuolelle uhanalaisten lajien suojelemiseksi ja metsäluonnon monimuotoisuuden häviämisen pysäyttä-miseksi.

Uhanalainen metsälajisto on riippuvainen rakennepiirteistä, joita talousmetsissä on talouskäytön seurauksena tyypillisesti vähän (Hyvärinen ym. 2019). Metsien käsittelytavasta riippumatta luonnon monimuotoisuudelle tärkeistä rakennepiirteistä, kuten lahopuun sekä vanhojen ja suurien puuyksilöiden määrästä, tulee huolehtia esimerkiksi pysyviä säästöpuita lisäämällä (Gustafsson ym. 2019). Jatkuvapeitteinen metsänkäsittely muuttaa pienilmastoa vähemmän kuin avohakkuut, ja voi suojata kohteita avohakkuun aiheuttamalta haitalliselta reunavaikutukselta. Avainbiotoopit, kuten puronvarret, tulisi jättää kokonaan hakkuiden ulkopuolelle, ja niihin rajautuvissa metsissä jatkuvapeitteinen metsänkäsittely olisi avohakkuuta parempi vaihtoehto. Natura 2000 -alueisiin ja muihin suojelualueisiin rajautuvissa metsissä olisi tärkeää siirtyä kokonaan jatkuvapeitteiseen metsänkäsittelyyn suojelualueita merkittävästi haittaavien reunavaikutusten välttämiseksi.

11.2 Vesistövaikutukset

Vesiensuojelun näkökulmasta metsätalouden merkittävimmät haitat syntyvät turvemaiden ja alavien kangas-maiden ojituksista ja niillä tehtävistä muista metsänkäsittelytoimista. Jatkuvapeitteisen metsänkäsittelyn mahdollisuudet ojitetuissa turvemetsissä ovat lupaavia. Jatkuvapeitteisen käsittelyn hakkuut aiheuttavat avo-hakkuuta pienemmän häiriön ja ovat siten parempi vaihtoehto kuin jaksollisen käsittelyn avohakkuut. Metsä-taloustoimet aiheuttavat vain osan ihmisen aiheuttamista ravinnepäästöistä ja haitallisista vaikutuksista vesistöihin, mutta etenkin latvavesistöissä metsien käsittelyn vesistövaikutukset ovat merkittäviä. Vaikuttaa selvältä, että jatkuvapeitteisen käsittelyn menetelmillä voidaan vähentää metsätaloustoimien aiheuttamia ravinnepäästöjä vesistöihin. Siten jatkuvapeitteiseen metsänkäsittelyyn siirtymällä voidaan vähentää metsä-taloustoimien haitallista vaikutusta koko vesiekosysteemiin. Vesiensuojelutoimenpiteet, kuten riittävä suojavyöhykkeen leveys ja oikea-aikainen hakkuun ajoitus, tulee kuitenkin aina huomioida käsittelytavasta riippumatta. Vesiensuojelun näkökulmasta myös soiden ennallistamista pitää edistää. Selvää on, että metsä-



talouden nykykäytäntöihin erityisesti ojitetuilla soilla tarvitaan suuria muutoksia, sillä ilman niitä vesistökuormitus tulevaisuudessa edelleen kasvaa.

11.3 Ilmastovaikutukset

Jatkuvapeitteisen metsienkäsittelyn ilmastovaikutukset verrattuna jaksolliseen eivät ole yksiselitteisiä. Varsinkin kangasmailla käsittelyn voimakkuus ja muut tekijät voivat vaikuttaa käsittelyn ilmastovaikutuksiin enemmän kuin se, onko käsittely jatkuvapeitteistä vai jaksollista. Tutkimusten johtopäätöksiin ja käsittelymenetelmien vertailuun vaikuttavat muun muassa tarkastellut hiilivarastot, kasvu- ja -hajoamismallit ja vertailun lähtötilanne sekä se, että molempia metsänkäsittelytapoja – sekä jatkuvapeitteistä että jaksollista – voidaan toteuttaa eri voimakkuuksilla (Saksa ym. 2020). Kokonaishiilitaseen kannalta metsän tuotos, hakkuiden intensiivisyys, biomassan hajotustoiminta, erilaiset häiriöt ja fossiilisten raaka-aineiden korvausvaikutukset voivat olla metsänkäsittelymenetelmää määräävämpiä seikkoja (Saksa ym. 2020).

Maaperän hiilivarasto on usein suurempi jatkuvapeitteisessä metsänkäsittelyssä kuin jaksollisessa metsänkäsittelyssä. Puuston mahdollisesti hitaampi kasvu tai luontaisen uudistumisen epäonnistuminen voivat kuitenkin pienentää kokonaishiilivarastoa jatkuvapeitteisessä käsittelyssä. Tukkipuun osuus hakatusta puustosta voi olla joidenkin tutkimusten mukaan suurempi jatkuvapeitteisessä metsänkäsittelyssä, johtaen parempaan tuotteiden korvausvaikutukseen. Turvemailla jatkuvapeitteinen metsänkäsittely on viime vuosien tutkimusten perusteella ilmaston kannalta jaksollista metsänkäsittelyä parempi vaihtoehto vähentäen hakkuista aiheutuvia haitallisia maaperän kasvihuonekaasupäästöjä ja kunnostusojitusten tarvetta (Saarinen ym. 2020; Saksa ym. 2020). Huomiota on kuitenkin kiinnitettävä siihen, että jäljelle jäävä puusto on riittävä ylläpitämään kuivatusta ilman ojitusta. Etenkin kangasmailla käsittelytavan valintaa tärkeämpää voi ilmaston kannalta olla suojeltujen metsien pinta-alan kasvattaminen, talousmetsien hakkuumäärien pienentäminen ja metsien lehtipuusuuden lisääminen.

11.4 Vaikutukset häiriöriskeihin

Ilmastonmuutoksen myötä metsien alttius erilaisille häiriöille kasvaa. Erityisesti kuusimetsät ovat alttiita myrsky-, hyönteis- ja sienituhoille. Toistaiseksi Suomessa on välttytty merkittävilta kuusikoiden kirjanpaina-juhoilta, mutta riski niille sekä kuusen juurikäävälle on olemassa metsänkäsittelytavasta riippumatta. Tutkimusta jatkuvapeitteisen metsänkäsittelyn vaikutuksista riskeihin tarvitaan vielä lisää. Joka tapauksessa on kannattavaa hajauttaa riskit, eli lisätä jatkuvapeitteisen metsänkäsittelyn osuutta suhteessa jaksolliseen metsänkäsittelyyn, suosia sekapuustoisuutta ja lisätä metsien suojelupinta-alaa.

11.5 Vaikutukset virkistys- ja muuhun hyötykäyttöön

Jatkuvapeitteisen käsittelyn lisääminen talousmetsämaisemassa lisää talousmetsien virkistyskäyttöarvoa. Jatkuvapeitteisen käsittelyn metsät koetaan maisema-arvoiltaan usein houkuttelevampina kuin jaksollisen käsittelyn avohakkuualat. Mustikkasadot ovat suurempia, mutta puolukkasadot pienempiä jatkuvapeitteisen käsittelyn metsissä verrattuna jaksollisen käsittelyn metsiin. Myös muiden keruutuotteiden kohdalla käsittelytapojen vaikutukset vaihtelevat. Jatkuvapeitteisen käsittelyn metsät tarjoavat monille riistalajeille sopivaa elinympäristöä. Erityisesti taajamametsissä ja virkistysmetsissä, joissa ihmiset vierailevat paljon, jatkuvapeitteinen metsänkäsittely on jaksollisen käsittelyn avohakkuuta parempi käsittelytapa. Jatkuvapeitteisenä käsitellyt metsät eivät kuitenkaan täysin korvaa käsittelemättömien vanhojen ja luonnon-tilaisten metsien virkistysarvoa.

11.6 Metsien käyttötavoitteiden yhteensovittaminen

Jatkuvapeitteisen käsittelyn lisääminen talousmetsissä voi vähentää hakkuiden haitallisia vaikutuksia metsien monikäyttöön ja pienentää konflikteja metsien eri käyttötavoitteiden välillä. Verrattuna jaksolliseen käsittelyyn jatkuvapeitteisen käsittelyn metsät pystyvät usein tarjoamaan paremmin samanaikaisesti erilaisia aineellisia ja



aineettomia hyötyjä. Yhteiskunnan kokonaishyödyn kannalta jatkuvapuiteisen metsänkäsittelyn osuutta tulisi kasvattaa samalla, kun metsien suojelua lisätään.

LÄHTEET

- Aaltonen H, Tuukkanen T, Palviainen M, Laurén A, Tattari S, Piirainen S, Mattsson T, Ojala A, Launiainen S, Finér L. Controls of Organic Carbon and Nutrient Export from Unmanaged and Managed Boreal Forested Catchments. 2021. *Water* 13:2363. <https://doi.org/10.3390/w13172363>.
- Appelroth E, Heikinheimo O, Kalela EK, Laitakari E, Lindfors J, Sarvas R. 1948. Julkilausuma. *Metsätaloudellinen Aikakauslehti* 11:315–316.
- Assmuth A, Rämö J, Tahvonen O. 2018. Economics of size-structured forestry with carbon storage. *Canadian Journal of Forest Research* 48:11–22. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2017-0261>.
- Arzel C, Nummi P, Arvola L, Pöysä H, Cavanche A, ..., Manninen-Johansen S. 2020. Invertebrates are declining in boreal aquatic habitat: The effect of brownification? *Science of The Total Environment* 724:138199. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138199>.
- Atlegrim O, Sjöberg K, Ball JP. 1997. Forestry effects on a boreal ground beetle community in spring: Selective logging and clear-cutting compared. *Entomologica Fennica* 8:19–26. <https://doi.org/10.33338/ef.83917>.
- Atlegrim O, Sjöberg K. 1995. Effects of clear-cutting and selective felling in Swedish Boreal coniferous forest: response of invertebrate taxa eaten by birds. *Entomologica Fennica* 6:79–90. <https://doi.org/10.33338/ef.83843>.
- Atlegrim O, Sjöberg K. 1996a. Response of bilberry (*Vaccinium myrtillus*) to clear-cutting and single-tree selection harvests in uneven-aged boreal *Picea abies* forests. *Forest Ecology and Management* 8:39–50. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(96\)03794-2](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(96)03794-2).
- Atlegrim O, Sjöberg K. 1996b. Effects of clear-cutting and single-tree selection harvests on herbivorous insect larvae feeding on bilberry (*Vaccinium myrtillus*) in uneven-aged boreal *Picea abies* forests. *Forest Ecology and Management* 87:139–148. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(96\)03830-3](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(96)03830-3).
- Atlegrim O, Sjöberg K. 2004. Selective felling as a potential tool for maintaining biodiversity in managed forests. *Biodiversity and Conservation* 13:1123–1133. <https://doi.org/10.1023/B:BIOC.0000018148.84640.fd>.
- Bader P, Jansson S, Jonsson BG. 1995. Wood-inhabiting fungi and substratum decline in selectively logged boreal spruce forests. *Biological Conservation* 72:355–362. [https://doi.org/10.1016/0006-3207\(94\)00029-P](https://doi.org/10.1016/0006-3207(94)00029-P).
- Beese WJ, Deal J, Dunsworth BG, Mitchell SJ, Philpott TJ. 2019. Two decades of variable retention in British Columbia: a review of its implementation and effectiveness for biodiversity conservation. *Ecological Processes* 8:33. <https://doi.org/10.1186/s13717-019-0181-9>.
- Berglund H, Kuuluvainen T. 2021. Representative boreal forest habitats in northern Europe, and a revised model for ecosystem management and biodiversity conservation. *Ambio* 5:1003–1017. <https://doi.org/10.1007/s13280-020-01444-3>.
- Bianchi S, Huuskonen S, Siipilehto J, Hynynen J. 2020. Differences in tree growth of Norway spruce under rotation forestry and continuous cover forestry. *Forest Ecology and Management* 458:117689. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.117689>.
- Blanc ML Le, Fortin D, Darveau M, Ruel JC. 2010. Short term response of small mammals and forest birds to silvicultural practices differing in tree retention in irregular boreal forests. *Ecoscience* 17:334–342. <https://doi.org/10.2980/17-3-3340>.
- Blattert C, Eyvindson K, Hartikainen M, Burgas D, Potterf M, Lukkarinen J, Snäll T, Toraño-Calcioya A, Mönkkönen M. 2022. Sectoral policies cause incoherence in forest management and ecosystem service provisioning. *Forest Policy and Economics* 136:102689. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2022.102689>.



- Blomqvist M, Kosunen M, Starr M, Kantola T, Holopainen M, Lyytikäinen-Saarenmaa P. 2018. Modelling the predisposition of Norway spruce to *Ips typographus* L. infestation by means of environmental factors in southern Finland. *European Journal of Forest Research* 137:675–691. <https://doi.org/10.1007/s10342-018-1133-0>.
- Boudreault C, Bergeron Y, Drapeau P, Mascarúa López L. 2008. Edge effects on epiphytic lichens in remnant stands of managed landscapes in the eastern boreal forest of Canada. *Forest Ecology and Management* 255:1461–1471. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.11.002>.
- Bradshaw CJA, Warkentin IG, Sodhi NS. 2009. Urgent preservation of boreal carbon stocks and biodiversity. *Trends in Ecology and Evolution* 24:541–548. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2009.03.019>.
- Brumelis G, Jonsson BG, Kouki J, Kuuluvainen T, Shorohova E. 2011. Forest naturalness in Northern Europe: Perspectives on processes, structures and species diversity. *Silva Fennica* 45:807–821. <https://doi.org/10.14214/sf.446>.
- Bukvareva EN, Grunewald K, Bobylev SN, Zamolodchikov DG, Zimenko A V., Bastian O. 2015. The current state of knowledge of ecosystems and ecosystem services in Russia: A status report. *Ambio* 44:491–507. <https://doi.org/10.1007/s13280-015-0674-4>.
- Cajander AK. 1949. Forest types and their significance. *Acta Forestalia Fennica* 56:1–71. <https://doi.org/10.14214/aff.7396>.
- Carlson JY, Andrus CW, Froehlich HA. 1990. Woody Debris, Channel Features, and Macroinvertebrates of Streams with Logged and Undisturbed Riparian Timber in Northeastern Oregon, U.S.A. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 47:1103–1111. <https://doi.org/10.1139/f90-127>.
- Chambers CL, McComb WC, II JCT. 1999. Breeding Bird Responses to Three Silvicultural Treatments in the Oregon Coast Range. *Ecological Applications* 9:171–185. <http://www.jstor.org/stable/30136799>.
- Dahl F. 2005. Distinct seasonal habitat selection by annually sedentary mountain hares (*Lepus timidus*) in the boreal forest of Sweden. *European Journal of Wildlife Research* 51:163–169. <https://doi.org/10.1007/s10344-005-0095-y>.
- Diaci J, Kerr G, O’Hara K. 2011. Twenty-first century forestry: Integrating ecologically based, uneven-aged silviculture with increased demands on forests. *Forestry* 84:463–465.
- Díaz-Yáñez O, Pukkala T, Packalen P, Peltola H. 2019. Multifunctional comparison of different management strategies in boreal forests. *Forestry: An International Journal of Forest Research* 93:84–95. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpz053>.
- Downey M, Valkonen S, Heikkinen J. 2018. Natural tree regeneration and vegetation dynamics across harvest gaps in Norway spruce dominated forests in Southern Finland. *Canadian Journal of Forest Research* 48:524–534.
- Doyon F, Gagnon D, Giroux J-F. 2005. Effects of strip and single-tree selection cutting on birds and their habitat in a southwestern Quebec northern hardwood forest. *Forest Ecology and Management* 209:101–116.
- Ecke F. 2009. Drainage ditching at the catchment scale affects water quality and macrophyte occurrence in Swedish lakes. *Freshwater Biology* 54:119–126.
- Eerikäinen K, Valkonen S, Saksa T. 2014. Ingrowth, survival and height growth of small trees in uneven-aged *Picea abies* stands in southern Finland. *Forest Ecosystems* 1:5. <https://doi.org/10.1186/2197-5620-1-5>.
- Eggers J, Rätty M, Öhman K, Snäll T. 2020. How well do stakeholder-defined forest management scenarios balance economic and ecological forest values? *Forests* 11:86. <https://doi.org/10.3390/f11010086>.
- Eklöf K, Lidskog R, Bishop K. 2016. Managing Swedish forestry’s impact on mercury in fish: Defining the impact and mitigation measures. *Ambio* 45:163–174.



- Eriksson E, Gillespie AR, Gustavsson L, Langvall O, Olsson M, ..., Stendahl J. 2007. Integrated carbon analysis of forest management practices and wood substitution. *Canadian Journal of Forest Research* 37:671–681. <https://doi.org/10.1139/X06-257>.
- El Geneidy S, Franco A, Baumeister S, Halme P, Helimo U, ..., Kotiaho JS. 2021. Sustainability for JYU: Jyväskylän yliopiston ilmasto- ja luontohaitat 2020. Jyväskylän yliopisto, JYU.Wisdom - School of Resource Wisdom. *Wisdom Letters* 2/2021. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:jyu-202104232476>.
- Esseen P-A, Ehnström B, Ericson L, Sjöberg K. 1997. Boreal Forests. *Ecological Bulletins* 46:16–47.
- Esseen P-A, Renhorn K-E. 1996. Epiphytic Lichen Biomass in Managed and Old-Growth Boreal Forests: Effect of Branch Quality. *Ecological Applications* 6:228–238.
- Euroopan komissio. 2020. Vuoteen 2030 ulottuva EU:n biodiversiteettistrategia Luonto takaisin osaksi elämäämme. Komission tiedonanto Euroopan parlamentille, neuvostolle, Euroopan talous- ja sosiaalikomitealle ja alueiden komitealle.
- Euroopan komissio. 2021. Uusi EU:n metsästrategia 2030. Komission tiedonanto Euroopan parlamentille, neuvostolle, Euroopan talous- ja sosiaalikomitealle ja alueiden komitealle COM(2021) 572 final.
- Eyvindson K, Duflot R, Triviño M, Blattert C, Potterf M, Mönkkönen M. 2021. High boreal forest multifunctionality requires continuous cover forestry as a dominant management. *Land Use Policy* 100:104918. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104918>.
- Eyvindson K, Kangas A. 2015. Evaluating the required scenario set size for stochastic programming in forest management planning: Incorporating inventory and growth model uncertainty. *Canadian Journal of Forest Research* 46:340–347.
- Eyvindson K, Repo A, Mönkkönen M. 2018. Mitigating forest biodiversity and ecosystem service losses in the era of bio-based economy. *Forest Policy and Economics* 92:119–127.
- Fenton NJ, Imbeau L, Work T, Jacobs J, Bescond H, Drapeau P, Bergeron Y. 2013. Lessons learned from 12 years of ecological research on partial cuts in black spruce forests of northwestern Québec. *The Forestry Chronicle* 89:350–359.
- Finér L, Matsson T, Joensuu S, Koivusalo H, Lauren A, ..., Vuollekoski M. 2010a. Metsäisten valuma-alueiden vesistökuormituksen laskenta ja KALLE-laskentatyökalu. Luonnonvarakeskus. <http://www.metla.fi/metinfo/kalle/>.
- Finér L, Lepistö A, Karlsson K, Räike A, Huttunen M, Härkönen L, Joensuu S. 2020. Metsistä ja soilta tuleva vesistökuormitus 2020. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2020:6. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-287-826-7>.
- Finér L, Matsson T, Joensuu S, Koivusalo H, Lauren A, ..., Vuollekoski M. 2010b. Metsäisten valuma-alueiden vesistökuormituksen laskenta. Suomen ympäristö 10. Suomen ympäristökeskus.
- Forsman JT, Reunanen P, Jokimäki J, Mönkkönen M. 2010. The effects of small-scale disturbance on forest birds: A meta-analysis. *Canadian Journal of Forest Research* 40:1833–1842.
- Forsman JT, Reunanen P, Jokimäki J, Mönkkönen M. 2013. Effects of canopy gap disturbance on forest birds in Boreal forests. *Annales Zoologici Fennici* 50:316–326.
- Gamfeldt L, Snäll T, Bagchi R, Jonsson M, Gustafsson L, Kjellander P, ..., Bengtsson J. Higher levels of multiple ecosystem services are found in forests with more tree species. *Nature communications* 4:1340. <https://doi.org/10.1038/ncomms2328>.
- Gao T, Nielsen AB, Hedblom M. 2015. Reviewing the strength of evidence of biodiversity indicators for forest ecosystems in Europe. *Ecological Indicators* 57:420–434. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.05.028>.
- Gerendiain AZ, Pukkala T, Peltola H. 2016. Effects of wind damage on the optimal management of boreal forests under current and changing climatic conditions. *Canadian Journal of Forest Research* 256:246–256.



- Grassi G, Fiorese G, Pilli R, Jonsson K, Blujdea V, Korosuo A, Vizzarri M. 2021. Brief on the role of the forest-based bioeconomy in mitigating climate change through carbon storage and material substitution. The European Commission's Knowledge Centre for Bioeconomy 16. <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC124374>.
- Gower ST. 2003. Patterns and mechanisms of the forest carbon cycle. *Annual Review of Environment and Resources* 28:169–204.
- Gustafsson L, Bauhus J, Asbeck T, Augustynczyk ALD, Basile M, ..., Storch I. 2019. Retention as an integrated biodiversity conservation approach for continuous-cover forestry in Europe. *Ambio* 49:85–97. <https://doi.org/10.1007/s13280-019-01190-1>.
- Haakana H, Huhta E, Hirvelä H, Packalen T. 2020. Trade-offs between wood production and forest grouse habitats in two regions with distinctive landscapes. *Forest Ecosystems* 7:21. <https://doi.org/10.1186/s40663-020-00227-2>.
- Haara A, Matala J, Melin M, Miettinen J, Korhonen KT, Packalen T, Varjo J. 2021. Economic effects of grouse-friendly forest management. *Silva Fennica* 55:70–84.
- 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* 34:115–125. <https://doi.org/10.1080/02827581.2018.1557248>.
- Hanewinkel M, Kuhn T, Bugmann H, Lanz A, Brang P. 2014. Vulnerability of uneven-aged forests to storm damage. *Forestry* 87:525–534.
- Hannam KD, Quideau SA, Kishchuk BE. 2006. Forest floor microbial communities in relation to stand composition and timber harvesting in northern Alberta. *Soil Biology and Biochemistry* 38:2565–2575.
- Hanski I. 2000. Extinction debt and species credit in boreal forests: modelling the consequences of different approaches to biodiversity conservation. *Annales Zoologici Fennici* 37:271–280.
- Hardenbol AA, Junninen K, Kouki J. 2020. A key tree species for forest biodiversity, European aspen (*Populus tremula*), is rapidly declining in boreal old-growth forest reserves. *Forest Ecology and Management* 462:118009. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118009>.
- Harmon ME, Marks B. 2002. Effects of silvicultural practices on carbon stores in Douglas-fir - Western hemlock forests in the Pacific Northwest, U.S.A.: Results from a simulation model. *Canadian Journal of Forest Research* 32:863–877.
- Hedenås H, Ericson L. 2003. Response of epiphytic lichens on *Populus tremula* in a selective cutting experiment. *Ecological Applications* 13:1124–1134.
- Heikkilä R. 1991. Moose browsing in a Scots pine plantation mixed with deciduous tree species. *Acta Forestalia Fennica* 224:1–13.
- Hjältén J, Joelsson K, Gibb H, Work T, Löfroth T, Roberge JM. 2017. Biodiversity benefits for saproxylic beetles with uneven-aged silviculture. *Forest Ecology and Management* 402:37–50.
- Holden SR, Treseder KK. 2013. A meta-analysis of soil microbial biomass responses to forest disturbances. *Frontiers in Microbiology* 4:1–17.
- Holopainen A-L, Huttunen P. 1998. Impact of forestry practices on ecology of algal communities in small brooks in the Nurmes experimental forest area, Finland. *Boreal environmental research* 3:63–73.
- Holopainen S, Lehtikoinen A. 2022. Role of forest ditching and agriculture on water quality: Connecting the long-term physico-chemical subsurface state of lakes with landscape and habitat structure information. *Science of The Total Environment* 806:151477. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151477>.
- Huhta E, Helle P, Nivala V, Nikula A. 2017. The effect of human-modified landscape structure on forest grouse broods in two landscape types. *Ecosphere* 8:e01950. <https://doi.org/10.1002/ecs2.1950>.



- Huhta V, Hallanaro E-L. 2019. Elämää maan kätköissä. Gaudeamus. Helsinki.
- Hurmekoski E, Smyth CE, Stern T, Verkerk PJ, Asada R. 2021. Substitution impacts of wood use at the market level: A systematic review. *Environmental Research Letters* 16:12. <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/ac386f>.
- Husa M, Kosenius AK. 2021. Non-industrial private forest owners' willingness to manage for climate change and biodiversity. *Scandinavian Journal of Forest Research* 36:614–625.
- Huuskonen S, Domisch T, Finér L, Hantula J, Hynynen J, ..., Viiri H. 2021. What is the potential for replacing monocultures with mixed-species stands to enhance ecosystem services in boreal forests in Fennoscandia? *Forest Ecology and Management* 479:118558. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118558>.
- Hynynen J, Eerikäinen K, Mäkinen H, Valkonen S. 2019. Growth response to cuttings in Norway spruce stands under even-aged and uneven-aged management. *Forest Ecology and Management* 437:314–323.
- Hyvärinen E, Juslén A, Kemppainen E, Uddström A, Liukko UM. 2019. Suomen lajien uhanalaisuus–Punainen kirja 2019. Ympäristöministeriö & Suomen ympäristökeskus.
- Häyrinen L, Mattila O, Berghäll S, Närhi M, Toppinen A. 2017. Exploring the future use of forests: perceptions from non-industrial private forest owners in Finland. *Scandinavian Journal of Forest Research* 32:327–337.
- Hökkä H, Repola J. 2018. Pienaukkohakkuun uudistumistulos Pohjois-Suomen korpikuusikossa 10 vuoden kuluttua hakkuusta. *Metsätieteen aikakauskirja* 2018:1–17.
- Hökkä H, Salminen H, Ahtikoski A, Kojola S, Launiainen S, Lehtonen M. 2017. Long-term impact of ditch network maintenance on timber production, profitability and environmental loads at regional level in Finland: A simulation study. *Forestry* 90:234–246.
- IPCC 2021. The Intergovernmental Panel on Climate Change. *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*.
- Joelsson K, Hjältén J, Work T, Gibb H, Roberge J-M, Löfroth T. 2017. Uneven-aged silviculture can reduce negative effects of forest management on beetles. *Forest Ecology and Management* 391:436–445.
- Joelsson K, Hjältén J, Gibb H. 2018a. Forest management strategy affects saproxylic beetle assemblages: A comparison of even and uneven-aged silviculture using direct and indirect sampling. *PLoS ONE* 13:1–20.
- Joelsson K, Hjältén J, Work T. 2018b. Uneven-aged silviculture can enhance within stand heterogeneity and beetle diversity. *Journal of Environmental Management* 205:1–8.
- Joensuu S, Kauppila M, Lindén M, Tenhola T. 2019. Metsänhoidon suositukset vesiensuojeluun, työopas. Tapion julkaisuja.
- Jokela J, Juutilainen K, Korpela L, Kouki J, Kuntsi S, Koivula M, Siitonen J. 2018. Cross-taxon congruence and relationships to stand characteristics of vascular plants, bryophytes, polyporous fungi and beetles in mature managed boreal forests. *Ecological Indicators* 85:137–145. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.10.036>.
- Jokela J, Siitonen J, Koivula M. 2019. Short-term effects of selection, gap, patch and clear cutting on the beetle fauna in boreal spruce-dominated forests. *Forest Ecology and Management* 446:29–37.
- Jokimäki J, Huhta E. 1996. Effects of landscape matrix and habitat structure on a bird community in northern Finland: A multi-scale approach. *Ornis Fennica* 73:97–113.
- Jokimäki J, Solonen T. 2011. Habitat associations of old forest bird species in managed boreal forests characterized by forest inventory data. *Ornis Fennica* 88:57–70.
- Junninen K, Komonen A. 2011. Conservation ecology of boreal polypores: A review. *Biological Conservation* 144:11–20.
- Juutinen A, Shanin V, Ahtikoski A, Rämö J, Mäkipää R, ..., Saarinen M. 2020a. Profitability of continuous cover forestry in Norway spruce-dominated peatland forest and the role of water table. *Canadian Journal of Forest Research*:1–41.



- Juutinen A, Kurttila M, Pohjanmies T, Tolvanen A, Kuhlmeij K, Skudnik M, Triplat M, Westin K, Mäkipää R. 2021. Forest owners' preferences for contract-based management to enhance environmental values versus timber production. *Forest Policy and Economics* 132:102587. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2021.102587>.
- Juutinen A, Tolvanen A, Koskela T. 2020b. Forest owners' future intentions for forest management. *Forest Policy and Economics* 118:102220. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2020.102220>.
- Juvonen J. 2020. Cost-Benefit Analysis of continuous cover forestry and buffer zones as Nature Based Solutions to preserve water quality level in Lake Puruvesi and in its sub-catchment area. Helsingin yliopisto. Pro-gradu -tutkielma.
- Jyväsjärvi J, Koivunen I, Muotka T. 2020. Does the buffer width matter: Testing the effectiveness of forest certificates in the protection of headwater stream ecosystems. *Forest Ecology and Management* 478:118532. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118532>.
- KAA 9/2019 vp. Lakialoite avohakkuiden lopettamiseksi valtion mailla. Lakiehdotus. https://www.eduskunta.fi/FI/vaski/KasittelytiedotValtiopaivaasia/Sivut/CAA_9+2019.aspx.
- Kallio KP. 2018. Exploring Space and Politics with Children: A Geosocial Methodological Approach to Studying Experiential Worlds. Kappale teoksessa C. Mackenzie, A. Malone, ja E. Barrat, (toimittajat). *Research Handbook on Childhood*. Nature Springer.
- Kalliokoski T, Bäck J, Boy M, Kulmala M, Kuusinen N, Mäkelä A, ..., Berninger F. 2020. Mitigation impact of different harvest scenarios of Finnish forests that account for albedo, aerosols, and trade-offs of carbon sequestration and avoided emissions. *Frontiers in Forests and Global Change* 3. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2020.562044>.
- Kalliokoski T, Heinonen T, Holder J, Lehtonen A, Mäkelä A, Minunno F, Ollikainen M, Packalen T, Peltoniemi M, Pukkala T, Salminen O, Schelhaas M-J, Seppälä J, Vauhkonen J, Kanninen M. 2019. Skenaarioanalyysi metsien kehitystä kuvaavien mallien ennusteiden yhtäläisyyksistä ja eroista. Suomen ilmastopaneelin julkaisuja 2/2019.
- Kangas A. 2020. Simulointitutkimusten tulokinnassa uusiin tutkimusongelmiin on sudenkuoppia. *Metsätieteen aikakauskirja* 2020:2–4.
- Kareksela S, Ojanen P, Aapala K, Haapalehto T, Ilmonen J, Koskinen M, Laiho R, Laine A, Maanavilja L, Marttila H, Minkkinen K, Nieminen M, Ronkanen A-K, Sallantausta T, Sarkkola S, Tolvanen A, Tuittila E-S ja Vasander H. 2021. Soiden ennallistamisen suoluonto-, vesistö-, ja ilmastovaikutukset. Vertaisarvioitu raportti. Suomen Luontopaneelin julkaisuja 3b/2021.
- Karppinen H, Hänninen H. 2020. Suomalainen metsänomistaja. *Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus* 30/2020.
- Kataja-Aho S, Hannonen P, Liukkonen T, Rosten H, Koivula MJ, Koponen S, Haimi J. 2016. The arthropod community of boreal Norway spruce forests responds variably to stump harvesting. *Forest Ecology and Management* 371:75–83.
- Keenan RJ, Kimmins JP. 1993. The ecological effects of clear-cutting. *Environmental Reviews* 1:121–144.
- Kellomäki S, Strandman H, Peltola H. 2019. Effects of even-aged and uneven-aged management on carbon dynamics and timber yield in boreal Norway spruce stands: a forest ecosystem model approach. *Forestry* 92:635–647. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpz040>.
- Kellomäki S, Väisänen H, Kirschbaum MUF, Kirsikka-Aho S, Peltola H. 2021. Effects of different management options of Norway spruce on radiative forcing through changes in carbon stocks and albedo. *Forestry* 94:588–597. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpab010>.
- Kenttämies K, Mattsson T. 2006. Metsätalouden vesistökuormitus - MESUVE- projektin loppuraportti. Suomen Ympäristö 816.



- Kettunen M, Vihervaara P, Kinnunen S, D'Amato D, Badura T, Argimon M, Ten Brink P. 2012. Socio-economic importance of ecosystem services in the Nordic Countries. Synthesis in the context of The Economics of Ecosystems and Biodiversity (TEEB). <http://www.norden.org/en/publications/publikationer/2012-559>.
- Kilpeläinen H, Miina J, Store R, Salo K, Kurttila M. 2016. Evaluation of bilberry and cowberry yield models by comparing model predictions with field measurements from North Karelia, Finland. *Forest Ecology and Management* 363:120–129.
- Kim S, Axelsson PE, Girona MM, Senior JK. 2021. Continuous-cover forestry maintains soil fungal communities in Norway spruce dominated boreal forests. *Forest Ecology and Management* 480:118659. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118659>.
- Knock T, Paul C, Gosling E, Jarisch I, Mohr J, Seidl R. 2021. Assessing the Economic Resilience of Different Management Systems to Severe Forest Disturbance. *SSRN Electronic Journal*:1–48. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3844645>.
- Koivula M, Kuuluvainen T, Hallman E, Kouki J, Siitonen J, Valkonen S. 2014. Forest management inspired by natural disturbance dynamics (DISTDYN) – a long-term research and development project in Finland. *Scandinavian Journal of Forest Research* 29:579–592.
- Koivula M, Silvennoinen H, Koivula H, Tikkanen J, Tyrväinen L. 2020. Continuous-cover management and attractiveness of managed scots pine forests. *Canadian Journal of Forest Research* 50:819–828.
- Koivula M, Vanha-majamaa I. 2020. Experimental evidence on biodiversity impacts of variable retention forestry, prescribed burning, and deadwood manipulation in Fennoscandia. *Ecological Processes* 1:1–22.
- Koivula M. 2002a. Alternative harvesting methods and boreal carabid beetles (Coleoptera, Carabidae). *Forest Ecology and Management* 167:103–121.
- Koivula M. 2002b. Carabid-beetle (Coleoptera, Carabidae) assemblages in thinned uneven-aged and clear-cut spruce stands. *Annales Zoologici Fennici* 39:131–149.
- Koivula MJ, Venn S, Hakola P, Niemelä J. 2019. Responses of boreal ground beetles (Coleoptera, Carabidae) to different logging regimes ten years post harvest. *Forest Ecology and Management* 436:27–38.
- Kolari P, Pumpanen J, Rannik Ü, Ilvesniemi H, Hari P, Berninger F. 2004. Carbon balance of different aged Scots pine forests in Southern Finland. *Global Change Biology* 10:1106–1119. <https://doi.org/10.1111/j.1529-8817.2003.00797.x>.
- Komonen A, Paananen E, Elo M, Valkonen S. 2020. Browsing hinders the regeneration of broadleaved trees in uneven-aged forest management in southern Finland. *Scandinavian Journal of Forest Research* 35:134–138.
- Korhonen KT, Ahola A, Heikkinen J, Henttonen HM, Hotanen J-P, ..., Strandström M. 2021. Forests of Finland 2014–2018 and their development 1921–2018. *Silva Fennica* 55:1–49.
- Korhonen KT, Ihalainen A, Kuusela S, Punttila P, Salminen O, Syrjänen K. 2020. Metsien monimuotoisuudelle merkittävien rakenne – piirteiden muutokset Suomessa vuosina 1980–2015. *Metsätieteen aikakauskirja* 2020:10198.
- Korkiakoski M, Tuovinen J-P, Penttilä T, Sarkkola S, Ojanen P, Minkkinen K, Rainne J, Laurila T, Lohila A. 2019. Greenhouse gas and energy fluxes in a boreal peatland forest after clearcutting. *Biogeosciences* 16:3703–3723. <https://doi.org/10.5194/bg-16-3703-2019>.
- Korkiakoski M, Ojanen P, Penttilä T, Minkkinen K, Sarkkola S, Rainne J, Laurila T, Lohila A. 2020. Impact of partial harvest on CH₄ and N₂O balances of a drained boreal peatland forest. *Agricultural and Forest Meteorology* 295:108168. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2020.108168>.
- Koskela T, Anttila S, Simkin J, Aapala K. 2020. METSO-tilannekatsaus 2019. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 36/2020. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-977-4>.



- Kouki J, Löfman S, Martikainen P, Rouvinen S, Uotila A. 2001. Forest fragmentation in Fennoscandia: Linking habitat requirements of wood-associated threatened species to landscape and habitat changes. *Scandinavian Journal of Forest Research* 16:27–37. <https://doi.org/10.1080/028275801300090564>.
- Kouki J, Junninen K, Mäkelä K, Hokkanen M, Aakala T, ..., Virkkala R. 2018. Metsät. Julk.: Kontula T & Raunio A. (toim.). Suomen luontotyyppien uhanalaisuus 2018. Luontotyyppien punainen kirja – Osa 1: Tulokset ja arvioinnin perusteet.
- Kreutzweiser DP, Hazlett PW, Gunn JM. 2008. Logging impacts on the biogeochemistry of boreal forest soils and nutrient export to aquatic systems: A review. *Environmental Reviews* 16:157–179. <https://doi.org/10.1139/A08-006>.
- Kreutzweiser D, Capell S, Good K, Holmes S. 2009a. Sediment deposition in streams adjacent to upland clearcuts and partially harvested riparian buffers in boreal forest catchments. *Forest Ecology and Management* 258:1578–1585. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.07.005>.
- Kreutzweiser DP, Capell SS, Holmes SB. 2009b. Stream temperature responses to partial-harvest logging in riparian buffers of boreal mixedwood forest watersheds. *Canadian Journal of Forest Research* 39:497–506. <https://doi.org/10.1139/X08-191>.
- Kreutzweiser D, Muto E, Holmes S, Gunn J. 2010. Effects of upland clearcutting and riparian partial harvesting on leaf pack breakdown and aquatic invertebrates in boreal forest streams. *Freshwater Biology* 55:2238–2252. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2010.02410.x>.
- Kritzberg ES, Hasselquist EM, Škerlep M, Löfgren S, Olsson O, Stadmark J, Valinia S, Hansson LA, Laudon H. 2020. Browning of freshwaters: Consequences to ecosystem services, underlying drivers, and potential mitigation measures. *Ambio* 49:375–390. <https://doi.org/10.1007/s13280-019-01227-5>.
- Kubin E. 2012. Long-term effects silvicultural practices on groundwater quality in boreal forest environmen. Sivut 192–199 teoksessa *Management of mountain watersheds* (Recek J, Haigh MJ, Hofer T, Kubin E) Springer.
- Kuglerová L, Hasselquist EM, Richardson JS, Sponseller RA, Kreutzweiser DP, Laudon H. 2017. Management perspectives on *Aqua incognita*: Connectivity and cumulative effects of small natural and artificial streams in boreal forests. *Hydrological Processes* 31:4238–4244. <https://doi.org/10.1002/hyp.11281>.
- Kuglerová L, Ågren A, Jansson R, Laudon H. 2014. Towards optimizing riparian buffer zones: Ecological and biogeochemical implications for forest management. *Forest Ecology and Management* 334:74–84. DOI 10.1016/j.foreco.2014.08.033.
- Kuismin J-M. 2019. Jatkuvaiteinen käsittely metsätalouden vesiensuojelun työkaluna rehevillä turvemailla. Itä-Suomen yliopisto. Pro-gradu -tutkielma.
- Kurki S, Nikula A, Helle P, Lindén H. 2000. Landscape fragmentation and forest composition effects on Grouse breeding success in boreal forests. *Ecology* 81:1985–1997. <https://doi.org/10.2307/177287>.
- Kurttila M, Pukkala T, Miina J. 2018. Synergies and trade-offs in the production of NWFPs predicted in boreal forests. *Forests* 9:1–15. <https://doi.org/10.3390/f9070417>.
- Kuuluvainen T. 2009. Forest management and biodiversity conservation based on natural ecosystem dynamics in northern Europe: the complexity challenge. *Ambio* 38:309–315.
- Kuuluvainen T, Aakala T. 2011. Natural forest dynamics in boreal Fennoscandia: A review and Classification. *Silva Fennica* 45:73. <https://doi.org/10.14214/sf.73>.
- Kuuluvainen T, Angelstam P, Frelich L, Jöngiste K, Koivula M, Kubota Y, Lafleur B, Macdonald E. 2021. Natural Disturbance-Based Forest Management: Moving Beyond Retention and Continuous-Cover Forestry. *Frontiers in Forests and Global Change* 4:1–16. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2021.629020>.
- Kuuluvainen T, Gauthier S. 2018. Young and old forest in the boreal: critical stages of ecosystem dynamics and management under global change. *Forest Ecosystems* 5:26 <https://doi.org/10.1186/s40663-018-0142-2>.



- Kuuluvainen T, Tahvonen O, Aakala T. 2012. Even-Aged and Uneven-Aged Forest Management in Boreal Fennoscandia: A Review. *AMBIO* 41:720–737.
- Kuuluvainen T. 2009. Forest management and biodiversity conservation based on natural ecosystem dynamics in northern Europe: the complexity challenge. *Ambio* 38:309–315.
- Kuusinen N, Valkonen S, Berninger F, Mäkelä A. 2019. Seedling emergence in uneven-aged Norway spruce stands in Finland. *Scandinavian Journal of Forest Research* 34:200–207.
<https://doi.org/10.1080/02827581.2019.1575976>.
- Kuusinen N. 2014. Boreal forest albedo and its spatial and temporal variation. Itä-Suomen yliopisto. Väitöskirja.
- Lackey NQ, Tysor DA, McNay GD, Joyner L, Baker KH, Hodge C. 2021. Mental health benefits of nature-based recreation: a systematic review. *Annals of Leisure Research* 24:379–393.
- Lagergren F, Jönsson AM. 2017. Ecosystem model analysis of multi-use forestry in a changing climate. *Ecosystem Services* 26:209–224.
- Laiho O, Lähde E, Pukkala T. 2011. Uneven-vs even-aged management in Finnish boreal forests. *Forestry* 84:547–556.
- Laki metsälain muuttamisesta 1085/2013. <https://finlex.fi/fi/laki/alkup/2013/20131085>.
- Lakka J, Kouki J. 2009. Patterns of field layer invertebrates in successional stages of managed boreal forest: Implications for the declining Capercaillie Tetrao urogallus L. population. *Forest Ecology and Management* 257:600–607.
- Lausch A, Heurich M, Fahse L. 2013. Spatio-temporal infestation patterns of *Ips typographus* (L.) in the Bavarian Forest National Park, Germany. *Ecological Indicators* 31:73–81.
- Lazaruk LW, Kernaghan G, Macdonald SE, Khasa D. 2005. Effects of partial cutting on the ectomycorrhizae of *Picea glauca* forests in northwestern Alberta. *Canadian Journal of Forest Research* 35:1442–1454.
- Leppä K, Korkiakoski M, Nieminen M, Laiho R, Hotanen J-P, ..., Launiainen S. 2020a. Vegetation controls of water and energy balance of a drained peatland forest: Responses to alternative harvesting practices. *Agricultural and Forest Meteorology* 295:108198. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2020.108198>.
- Leppä K, Hökkä H, Laiho R, Launiainen S, Lehtonen A, Mäkipää R, Peltoniemi M, Saarinen M, Sarkkola S, Nieminen M. 2020b. Selection Cuttings as a Tool to Control Water Table Level in Boreal Drained Peatland Forests. *Frontiers in Earth Science* 8:1–16.
- Lindén M, Lilja-Rothsten S, Saaristo L, Keto-Tokoi P. 2019. Metsänhoidon suositukset riistanhoitoon, työopas. Tapion julkaisu.
- Lindo Z, Visser S. 2003. Microbial biomass, nitrogen and phosphorus mineralization, and mesofauna in boreal conifer and deciduous forest floors following partial and clear-cut harvesting. *Canadian Journal of Forest Research* 33:1610–1620.
- Linnakoski R, Lasarov I, Veteli P, Tikkanen O-P, Viiri H, Jyske T, Kasanen R, Duong TA, Wingfield MJ. 2021. Filamentous Fungi and Yeasts Associated with Mites Phoretic on *Ips typographus* in Eastern Finland. *Forests* 12:743. <https://doi.org/10.3390/f12060743>.
- Liski J, Palosuo T, Peltoniemi M, Sievänen R. 2005. Carbon and decomposition model Yasso for forest soils. *Ecological modelling* 189:168–182. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.005>.
- Lommi S, Berglund H, Kuusinen M, Kuuluvainen T. 2010. Epiphytic lichen diversity in late-successional *Pinus sylvestris* forests along local and regional forest utilization gradients in eastern boreal Fennoscandia. *Forest Ecology and Management* 259:883–892.
- Lommi A, Kokko A, Kuoppala M, Aroviita J, Ilmonen J, ..., Vuori K-M. 2018. Sisävedet ja rannat. *Julk.: Kontula T & Raunio A. (toim.). Suomen luontotyyppien uhanalaisuus 2018. Luontotyyppien punainen kirja – Osa 1:*



Tulokset ja arvioinnin perusteet. Suomen ympäristökeskus & ympäristöministeriö, Helsinki. Suomen ympäristö 5/2018. s. 63.

Lundmark T, Bergh J, Nordin A, Fahlvik N, Poudel BC. 2016. Comparison of carbon balances between continuous-cover and clear-cut forestry in Sweden. *Ambio* 45:203–213. <https://doi.org/10.1007/s13280-015-0756-3>.

Lundström J, Öhman K, Laudon H. 2018. Comparing buffer zone alternatives in forest planning using a decision support system. *Scandinavian Journal of Forest Research* 33:493–501.

Luonnontila.fi. ME2 Uudistushakkuut. Päivitetty 18.10.2013. <https://www.luonnontila.fi/fi/elinymparistot/metsat/me2-uudistushakkuut> [viitattu 12.10.2021].

Luyssaert S, Schulze E-D, Börner A, Knohl A, Hessenmöller D, Law BE, Ciais P, Grace J. 2008. Old-growth forests as global carbon sinks. *Nature* 455:213–215.

Lähde E, Laiho O, Norokorpi Y, Saksa T. 1999. Stand structure as the basis of diversity index. *Forest Ecology and Management* 115:213–220.

Magurran AE. 2013. Measuring biological diversity. John Wiley & Sons.

Marini L, Ayres MP, Jactel H. 2021. Impact of Stand and Landscape Management on Forest Pest Damage. *Annual Review of Entomology* 67:181–199.

Martikainen P, Siitonen J, Kaila L, Puntila P, Rauh J. 1999. Bark beetles (Coleoptera, Scolytidae) and associated beetle species in mature managed and old-growth boreal forests in southern Finland. *Forest Ecology and Management* 116:233–245.

Marttila, M., Louhi, P., Huusko, A., Vehanen, T., Mäki-Petäys, A., Erkinaro, J., Syrjänen, J. T., Muotka, T. 2019. Synthesis of habitat restoration impacts on young-of-the-year salmonids in boreal rivers. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 29:513–527.

Matveinen-Huju K, Koivula M. 2008. Effects of alternative harvesting methods on boreal forest spider assemblages. *Canadian Journal of Forest Research* 38:782–794.

McGahan J. 1968. Ecology of the golden eagle. *The Auk* 85:1–12.

Maa- ja metsätalousministeriö 2019. Kansallinen metsästrategia 2025 – päivitys Valtioneuvoston periaatepäätös 21.2.2019. Maa- ja metsätalousministeriön julkaisuja 7.

Metsäkeskus 2020. Metsien merkitys taloudessa. <https://www.metsakeskus.fi/fi/metsan-kaytto-ja-omistus/metsien-kehitys-maakunnittain/metsien-merkitys-taloudessa>. [viitattu 25.3.2022].

Metsäkeskus 2022. Metsäkeskuksen avoin metsä- ja luontotieto, hakkuu- ja metsäsuojat, Hakkuutapatilasto 2020.xlsx. <https://www.metsakeskus.fi/fi/avoin-metsa-ja-luontotieto/tietoa-metsien-kaytosta/hakkuu- ja metsäsuojat>. [viitattu 10.10.2021].

Metsäteollisuus ry 2022. Tilastot. <https://www.metsateollisuus.fi/tilastot>. [viitattu 12.3.2022].

Miettinen J, Rantala M, Svensberg M. 2019. Riistametsänhoidon opas. Suomen riistakeskus.

Miina J, Hallikainen V, Härkönen K, Merilä P, Packalen T, Rautio P, Salemaa M, Tonteri T, Tolvanen A. 2020a. Incorporating a model for ground lichens into multi-functional forest planning for boreal forests in Finland. *Forest Ecology and Management* 460:117912. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.117912>.

Miina J, Hotanen JP, Salo K. 2009. Modelling the abundance and temporal variation in the production of bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.) in Finnish mineral soil forests. *Silva Fennica* 43:577–593.

Miina J, Tolvanen A, Kumpula J, Tyrväinen L. 2020. Metsien luonnontuotteet, virkistyskäyttö ja porolaitumet jatkuvapeitteisessä ja jaksollisessa käsittelyssä. Metsätieteen aikakauskirja 2020:10345. <https://doi.org/10.14214/ma.1034>.



- Miller A, Bignert A, Porvari P, Danielsson S, Verta M. 2013. Mercury in perch (*Perca fluviatilis*) from Sweden and Finland. *Water, Air, and Soil Pollution* 224. <https://doi.org/10.1007/s11270-013-1472-x>.
- MmVM 13/2021 vp. Valiokunnan mietintö MmVM 13/2021 vp KAA 9/2019 vp. Maa- ja metsätalousvaliokunta. https://www.eduskunta.fi/FI/vaski/Mietinto/Sivut/MmVM_13+2021.aspx.
- Moen J, Rist L, Bishop K, Chapin FS, Ellison D, Kuuluvainen T, ..., Bradshaw CJ. 2014. Eye on the taiga: removing global policy impediments to safeguard the boreal forest. *Conservation Letters* 7:408–418. <https://doi.org/10.1111/conl.12098>.
- Moore RD, Spittlehouse DL, Story A. 2005. Riparian microclimate and stream temperature response to forest harvesting: a review. *Journal of the American Water Resources Association* 41:813–834.
- MTK 2020. Lähes kolmannes metsänomistajista harjoittaa jatkuvaa kasvatusta. <https://www.mtk.fi/-/C3%A4hes-kolmannes-mets%C3%A4nomistajista-harjoittaa-jatkuvaa-kasvatusta>. [viitattu 8.10.2021].
- Murcia C. 1995. Edge effects in fragmented forests: implications for conservation. *Trends in Ecology & Evolution* 10:58–62.
- Muurinen L, Oksanen J, Vanha-Majamaa I, Virtanen R. 2019. Legacy effects of logging on boreal forest understorey vegetation communities in decadal time scales in northern Finland. *Forest Ecology and Management* 436:11–20.
- Müller J, Büttler R. 2010. A review of habitat thresholds for dead wood: A baseline for management recommendations in European forests. *European Journal of Forest Research* 129:981–992.
- Mäenpää H, Peura M, Halme P, Siitonen J, Mönkkönen M, Oldén A. 2020. Windthrow in streamside key habitats: Effects of buffer strip width and selective logging. *Forest Ecology and Management* 475:118405. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118405>
- Mäkipää R, Tapio L, Niinimäki S, Komarov A, Bykhovets S, Tahvonen O, Mäkelä A. 2011. How forest management and climate change affect the carbon sequestration of norway spruce stand? *J. For. Plann.* 16:1–15.
- Mäntymaa E, Tyrväinen L, Juutinen A, Kurttila M. 2021. Importance of forest landscape quality for companies operating in nature tourism areas. *Land Use Policy* 107:104095. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104095>.
- Mönkkönen M, Juutinen A, Mazziotta A, Miettinen K, Podkopaev D, Reunanen P, Salminen H, Tikkanen OP. 2014. Spatially dynamic forest management to sustain biodiversity and economic returns. *Journal of Environmental Management* 134:80–89.
- Nevalainen S, Piri T. 2020. Metsätuho-riskit tasa- ja eri-ikäismetsätaloudessa. *Metsätieteen aikakauskirja* 2020:10310. <https://doi.org/10.14214/ma.10310>.
- Nevalainen S. 2017. Comparison of damage risks in even- and uneven-aged forestry in Finland. *Silva Fennica* 51:1–28.
- Niemi G, Hanowski J, Helle P, Howe R, Mönkkönen M, Venier L, Welsh D. 1998. Ecological sustainability of birds in boreal forests. *Conservation Ecology* 2:10–27.
- Nieminen M, Hökkä H, Laiho R, Juutinen A, Ahtikoski A, Pearson M, Kojola S, ..., Ollikainen M. 2018b. Could continuous cover forestry be an economically and environmentally feasible management option on drained boreal peatlands? *Forest Ecology and Management* 484:78–84.
- Nieminen M, Kaila A, Koskinen M, Sarkkola S, Fritze H, Tuittila E-S, Nousiainen H, Koivusalo H, Laurén A, Ilvesniemi H, Vasander H, Sallantausta T. 2015. Natural and Restored Wetland Buffers in Reducing Sediment and Nutrient Export from Forested Catchment: Finnish Experiences. Teoksessa: Jan Vymazal (toim.). *The Role of Natural and Constructed Wetlands in Nutrient Cycling and Retention on the Landscape*. Springer, Switzerland. s. 57–72.



- Nieminen M, Launiainen S, Ojanen P, Sarkkola S. 2020b. Metsätalouden vesistökuormitus: nykykäsitys ja tulevaisuuden menetelmäkehitys. *Metsätieteen aikakauskirja* 2020:10336. <https://doi.org/10.14214/ma.10336>.
- Nieminen M, Sallantausta T, Ukonmaanaho L, Nieminen TM, Sarkkola S. 2017. Nitrogen and phosphorus concentrations in discharge from drained peatland forests are increasing. *Science of the Total Environment* 609:974–981. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.07.210>.
- Nieminen M, Sarkkola S, Haahti K, Sallantausta S, Koskinen M, Ojanen P. 2020a. Metsäojitetettujen soiden typpi- ja fosforikuormitus. Summary: Forestry on drained peatlands as a source of surface water nitrogen and phosphorus in Finland. *Suo* 71:1–13.
- Nieminen M, Sarkkola S, Hellsten S, Marttila H, Piirainen S, Sallantausta T, Lepistö A. 2018a. Increasing and Decreasing Nitrogen and Phosphorus Trends in Runoff from Drained Peatland Forests—Is There a Legacy Effect of Drainage or Not? *Water, Air, and Soil Pollution* 229:286–286.
- Nilsen P, Strand LT. 2013. Carbon stores and fluxes in even-and uneven-aged Norway spruce stands. *Silva Fennica* 47:1–15. <http://dx.doi.org/10.14214/sf.1024>.
- Nilsson M-C, Wardle DA. 2005. Understory vegetation as a forest ecosystem driver: evidence from the northern Swedish boreal forest. *Frontiers in Ecology and the Environment* 3:421–428. [https://doi.org/10.1890/15409295\(2005\)003\[0421:UVAAFE\]2.0.CO](https://doi.org/10.1890/15409295(2005)003[0421:UVAAFE]2.0.CO).
- Nilsson SG, Niklasson M, Hedin J, Aronsson G, Gutowski JM, Linder P, Ljungberg H, Mikusinski G, Ranius T. 2002. Densities of large living and dead trees in old growth temperate and boreal forests. *Forest Ecology and Management* 161:189–204.
- Nordén J, Penttilä R, Siitonen J, Tomppo E, Ovaskainen O. 2013. Specialist species of wood-inhabiting fungi struggle while generalists thrive in fragmented boreal forests. *Journal of Ecology* 101:701–712.
- Nordström E, Holmström H, Öhman K. 2013. Forest Owner ' S Objectives By Combining Scenario 47:1–22.
- Nurmi O. 2021. Alueellinen matkailutilinpito: Matkailun alueelliset talous- ja työllisyysvaikutukset 2018–2019. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisu 2021:49. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-327-777-9>.
- Nygren M, Rissanen K, Eerikäinen K, Saksa T, Valkonen S. 2017. Norway spruce cone crops in uneven-aged stands in southern Finland: A case study. *Forest Ecology and Management* 390:68–72.
- O'Hara KL, Ramage BS. 2013. Silviculture in an uncertain world: Utilizing multi-aged management systems to integrate disturbance. *Forestry* 86:401–410.
- O'Hara KL. 2002. The historical development of uneven-aged silviculture in North America. *Forestry* 75:339–346.
- Ojanen P, Minkkinen K. 2019. The dependence of net soil CO₂ emissions on water table depth in boreal peatlands drained for forestry. *Mires and Peat* 24:27. <https://doi.org/10.19189/MaP.2019.OMB.StA.1751>.
- Ojanen P, Lehtonen A, Heikkinen J, Penttilä T, Minkkinen K. 2014. Soil CO₂ balance and its uncertainty in forestry-drained peatlands in Finland. *Forest Ecology and Management* 325:60–73. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.03.049>.
- Oldén A, Ovaskainen O, Kotiaho JS, Laaka-Lindberg S, Halme P. 2014. Bryophyte Species Richness on Retention Aspens Recovers in Time but Community Structure Does Not. *PLOS ONE* 9:e93786. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0093786>.
- Oldén A, Peura M, Saine S, Kotiaho JS, Halme P. 2019. The effect of buffer strip width and selective logging on riparian forest microclimate. *Forest Ecology and Management* 453:117623. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.117623>.
- Olin M, Rask M, Ruuhijärvi J, Kurkilahti M, Ala-Opas P, Ylönen O. 2002. Fish community structure in mesotrophic and eutrophic lakes of southern Finland: the relative abundances of percids and cyprinids along a trophic gradient. *Journal of Fish Biology* 60:593–612.



- Olin M, Rask M, Ruuhijärvi J, Tammi J. 2013. Development and evaluation of the Finnish fish-based lake classification method. *Hydrobiologia* 713:149–166.
- Ottosson E, Nordén J, Dahlberg A, Edman M, Jönsson M, Larsson KH, Olsson J, Penttilä R, Stenlid J, Ovaskainen O. 2014. Species associations during the succession of wood-inhabiting fungal communities. *Fungal Ecology* 11:17–28.
- Paillet Y, Bergès L, Hjältén J, Ódor P, Avon C, ..., Virtanen R. 2010. Biodiversity differences between managed and unmanaged forests: Meta-analysis of species richness in Europe. *Conservation Biology* 24:101–112.
- Palviainen M, Finér L, Laurén A, Launiainen S, Piirainen S, Mattsson T, Starr M. 2014. Nitrogen, phosphorus, carbon, and suspended solids loads from forest clear-cutting and site preparation: long-term paired catchment studies from eastern Finland. *Ambio* 43:218–233.
- Palviainen M, Peltomaa E, Laurén A, Kinnunen N, Ojala A, Berninger F, Zhu X, Pumpanen J. 2021. Water quality and the biodegradability of dissolved organic carbon in drained boreal peatland under different forest harvesting intensities. *Science of the Total Environment* 806:150919.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150919>
- Pang X, Nordström EM, Böttcher H, Trubins R, Mörtberg U. 2017. Trade-offs and synergies among ecosystem services under different forest management scenarios – The LECA tool. *Ecosystem Services* 28:67–79.
- Pasanen H, Juutilainen K, Siitonen J. 2019. Responses of polypore fungi following disturbance-emulating harvesting treatments and deadwood creation in boreal Norway spruce dominated forests. *Scandinavian Journal of Forest Research* 34:557–568.
- Peltola A, Rätty M, Sauvola-Seppälä T, Torvelainen J, Uotila E, Vaahtera E, Ylitalo E. 2020. Suomen metsätilastot 2020. Luonnonvarakeskus.
- Peltola H. 1996. Model computations on wind flow and turning moment by wind for Scots pines along the margins of clear-cut areas. *Forest Ecology and Management* 83:203–215.
- Perry RW, Jenkins JMA, Thill RE, Thompson FR. 2018. Long-term effects of different forest regeneration methods on mature forest birds. *Forest Ecology and Management* 408:183–194.
- 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.
- Peura M, Oldén A, Elo M, Kotiaho J, Mönkkönen M, Halme P. 2020. The effect of buffer strip width and selective logging on streamside polypore communities. *Canadian Journal of Forest Research* 50:717–725.
- Peura M, Triviño M, Mazziotta A, Podkopaev D, Juutinen A, Mönkkönen M. 2016. Managing a boreal forest landscape for the simultaneous production of collectable goods and timber revenues 50:1672.
<https://doi.org/10.14214/sf.1672>.
- Peura M. 2020. Continuous cover forestry, biodiversity and ecosystem services. JYU Dissertations. Jyväskylän yliopisto. Väitöskirja.
- Pietikäinen O-P, Räike A. 1999. Typpi ja fosfori Suomen sisävesien minimiravinteina. Suomen ympäristö 313. Suomen ympäristökeskus. <http://hdl.handle.net/10138/286178>.
- Piri T, Selander A, Hantula J, Kuitunen P. 2019. Juurikäpätuhojen tunnistaminen ja torjunta. Suomen metsäkeskus. <https://www.metsakeskus.fi/sites/default/files/document/juurikaapatuhojen-tunnistaminen-ja-torjunta.pdf>.
- Piri T, Valkonen S. 2013. Incidence and spread of *Heterobasidion* root rot in uneven-aged Norway spruce stands. *Canadian Journal of Forest Research* 43:872–877.
- Pitkänen A, Huttunen P, Tolonen K, Jungner H. 2003. Long-term fire frequency in the spruce-dominated forests of the Ulvinsalo strict nature reserve, Finland. *Forest Ecology and Management* 176:305–319.



- Pohjanmies T, Triviño M, Le Tortorec E, Salminen H, Mönkkönen M. 2017. Conflicting objectives in production forests pose a challenge for forest management. *Ecosystem Services* 28:298–310.
- Pommerening A, Murphy ST. 2004. A review of the history, definitions and methods of continuous cover forestry with special attention to afforestation and restocking. *Forestry* 77:27–44.
- Porvari P, Verta M, Munthe J, Haapanen M. 2003. Forestry practices increase mercury and methyl mercury output from boreal forest catchments. *Environmental Science and Technology* 37:2389–2393.
- Pukkala T, Laiho O, Lähde E. 2016. Continuous cover management reduces wind damage. *Forest Ecology and Management* 372:120–127.
- Pukkala T, Lähde E, Laiho O. 2013. Species Interactions in the Dynamics of Even- and Uneven-Aged Boreal Forests. *Journal of Sustainable Forestry* 32:371–403.
- Pukkala T, Sulkava R, Jaakkola L, Lähde E. 2012. Relationships between economic profitability and habitat quality of Siberian jay in uneven-aged Norway spruce forest. *Forest Ecology and Management* 276:224–230.
- Pukkala T. 2011. Optimizing forest management in Finland with carbon subsidies and taxes. *Forest Policy and Economics* 13:425–434. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2011.06.004>.
- Pukkala T. 2014. Does biofuel harvesting and continuous cover management increase carbon sequestration? *Forest Policy and Economics* 43:41–50. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2014.03.004>.
- Pukkala T. 2016. Which type of forest management provides most ecosystem services? *Forest Ecosystems* 3:9. <https://doi.org/10.1186/s40663-016-0068-5>.
- Pukkala T. 2018. Carbon forestry is surprising. *Forest Ecosystems* 5:11. <https://doi.org/10.1186/s40663-018-0131-5>.
- Pukkala T. 2021. Measuring the social performance of forest management. *Journal of Forestry* 32:1803–1818.
- Pukkala T. 2022. Assessing the externalities of timber production. *Forest Policy and Economics* 135:102646. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2021.102646>.
- Putkinen A, Siljanen HMP, Laiho A, Paasisalo I, Porkka K, Tirola M, Haikarainen I, Tenhoviirta S and Pihlatie M. 2021. New insight to the role of microbes in the methane exchange in trees: evidence from metagenomic sequencing. *New Phytologist* 231:524–536.
- Raittila R. 2008. Retkellä: lasten ja kaupunkiympäristön kohtaaminen. Jyväskylä studies in education, psychology and social research.
- Rajakallio M, Jyväsjärvi J, Muotka T, Aroviita J. 2021. Blue consequences of the green bioeconomy: Clear-cutting intensifies the harmful impacts of land drainage on stream invertebrate biodiversity. *Journal of Applied Ecology* 58:1523–1532.
- Rautiainen M, Kuusinen N, Hovi A, Majasalmi T. 2020. Boreaalisten metsien albedosta. *Metsätieteen aikakauskirja* 2020:10323. <https://doi.org/10.14214/ma.10323>.
- Repo A, Eyvindson K, Halme P, Mönkkönen M. 2020. Forest bioenergy harvesting changes carbon balance and risks biodiversity in boreal forest landscapes. *Canadian Journal of Forest Research* 50:1184–1193. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2019-0284>.
- Remus-Emsermann MNP & Schlechter RO. 2018. Phyllosphere microbiology: at the interface between microbial individuals and the plant host. *New Phytologist* 218:1327–1333.
- Rosenvald R, Tullus H, Lõhmus A. 2018. Is shelterwood harvesting preferable over clear-cutting for sustaining dead-wood pools? The case of Estonian conifer forests. *Forest Ecology and Management* 429:375–383. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.07.026>.
- Ruel JC, Fortin D, Pothier D. 2013. Partial cutting in old-growth boreal stands: An integrated experiment. *Forestry Chronicle* 89:360–369.



- Räike A, Taskinen A, Knuuttila S. 2020. Nutrient export from Finnish rivers into the Baltic Sea has not decreased despite water protection measures. *Ambio* 49:460–474. <https://doi.org/10.1007/s13280-019-01217-7>.
- Saarikoski H, Mustajoki J, Marttunen M. 2013. Participatory multi-criteria assessment as ‘opening up’ vs. ‘closing down’ of policy discourses: A case of old-growth forest conflict in Finnish Upper Lapland. *Land Use Policy* 32:329–336.
- Saarinen M, Valkonen S, Sarkkola S, Nieminen M, Penttilä T, Laiho R. 2020. Jatkuvaiteisen metsänkasvatuksen mahdollisuudet ojitetuilla turvemaidella. *Metsätieteen aikakauskirja* 2020:1–21. <https://doi.org/10.14214/ma.10372>.
- Saksa T, Repo T, Sarkkola S, Repo A, Lehtonen A. 2020. Ilmastonmuutos ja metsänhoito: Yhteenveto ilmastonmuutoksen vaikutuksista metsänhoitoon. *Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus* 98/2020. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 48 s. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-115-8>.
- Saksa T, Valkonen S. 2011. Dynamics of seedling establishment and survival in uneven-aged boreal forests. *Forest Ecology and Management* 261:1409–1414.
- 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. <https://doi.org/10.1007/s13280-015-0759-0>.
- Sarkkola S, Hökkä H, Koivusalo H, Nieminen M, Ahti E, Päivänen J, Laine J. 2010. Role of tree stand evapotranspiration in maintaining satisfactory drainage conditions in drained peatlands. *Canadian Journal of Forest Research* 40:1485–1496. <https://doi.org/10.1139/X10-084>.
- Savilaakso S, Johansson A, Häkkinen M, Uusitalo A, Sandgren T, Mönkkönen M, Puttonen P. 2021. What are the effects of even-aged and uneven-aged forest management on boreal forest biodiversity in Fennoscandia and European Russia? A systematic review. *Environmental Evidence* 10:1–38.
- Schall P, Gossner MM, Heinrichs S, Fischer M, Boch S, ..., Ammer C. 2018. The impact of even-aged and uneven-aged forest management on regional biodiversity of multiple taxa in European beech forests. *Journal of Applied Ecology* 55:267–278.
- Schall P, Heinrichs S, Ammer C, Aysse M, Boch S, ..., Gossner MM. 2020. Can multi-taxa diversity in European beech forest landscapes be increased by combining different management systems? *Journal of Applied Ecology* 57:1363–1375.
- Schelker J, Eklöf K, Bishop K, Laudon H. 2012. Effects of forestry operations on dissolved organic carbon concentrations and export in boreal first-order streams. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences* 117:1–12.
- Selonen VAO, Kotiaho JS. 2013. Buffer strips can pre-empt extinction debt in boreal streamside habitats. *BMC Ecology* 13:24. <https://doi.org/10.1186/1472-6785-13-24>.
- Selonen VAO, Mussaari M, Toivanen T, Kotiaho JS. 2011. The conservation potential of brook-side key habitats in managed boreal forests. *Silva Fennica* 45:1041–1052.
- Shanin V, Valkonen S, Grabarnik P, Mäkipää R. 2016. Using forest ecosystem simulation model EFIMOD in planning uneven-aged forest management. *Forest Ecology and Management* 378:193–205. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2016.07.041>.
- Shanin V, Juutinen A, Ahtikoski A, Frolov P, Chertov O, Rämö J, ..., Mäkipää R. 2021. Simulation modelling of greenhouse gas balance in continuous-cover forestry of Norway spruce stands on nutrient-rich drained peatlands. *Forest Ecology and Management* 496:119479. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119479>.
- Skerlep, M. 2021. Changing land cover as a driver of surface water browning. Department of biology, Faculty of Science, Lund University. Väitöskirja.



- Siira-Pietikäinen A, Haimi J, Siitonen J. 2003. Short-term responses of soil macroarthropod community to clear felling and alternative forest regeneration methods. *Forest Ecology and Management* 172:339–353.
- Siira-Pietikäinen A, Haimi J. 2009. Changes in soil fauna 10 years after forest harvestings: Comparison between clear felling and green-tree retention methods. *Forest Ecology and Management* 258:332–338.
- Siira-Pietikäinen A, Pietikäinen J, Fritze H, Haimi J. 2001. Short-term responses of soil decomposer communities to forest management: clear felling versus alternative forest harvesting methods. *Canadian Journal of Forest Research* 31:88–99.
- Siiskonen H. 2007. The conflict between traditional and scientific forest management in 20th century Finland. *Forest Ecology and Management* 249:125–133.
- Siitonen J. 2001. Forest Management, Coarse Woody Debris and Saproxylic Organisms: Fennoscandian Boreal Forests as an Example. *Ecological Bulletins* 49:11–41.
- Siitonen P, Lehtinen A, Siitonen M. 2005. Effects of Forest Edges on the Distribution, Abundance, and Regional Persistence of Wood-Rotting Fungi. *Conservation Biology* 19:250–260.
- Silvennoinen H, Alho J, Kolehmainen O, Pukkala T. 2001. Prediction models of landscape preferences at the forest stand level. *Landscape and Urban Planning* 56:11–20.
- Sippola A, Similä M, Mönkkönen M, Jokimäki J. 2004. Diversity of polyporous fungi (Polyporaceae) in northern boreal forests: effects of forest site type and logging intensity. *Scandinavian Journal of Forest Research* 19:152–163.
- Sippola A-L, Lehesvirta T, Pertti R. 2001. Effects of selective logging on coarse woody debris and diversity of wood-decaying polypores in eastern Finland. *Ecological Bulletins*:243–254.
- Sippola AL, Renvall P. 1999. Wood-decomposing fungi and seed-tree cutting: A 40-year perspective. *Forest Ecology and Management* 115:183–201.
- Smith VH, Schindler DW. 2009. Eutrophication science: where do we go from here? *Trends in Ecology and Evolution* 24:201–207.
- Snäll T, Jonsson BG. 2001. Edge Effects on Six Polyporous Fungi Used as Old-Growth Indicators in Swedish Boreal Forest. *Ecological Bulletins* 49:255–262.
- Suomen Metsälaki 1093/1996. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/1996/19961093>.
- SVT 2020. Suomen virallinen tilasto (SVT): Tilastokeskus, Kasvihuonekaasut, Suomen kasvihuonekaasupäästöt 2020. Tilastokeskus, Helsinki. http://www.stat.fi/til/khki/2020/khki_2020_2021-05-21_kat_001_fi.html.
- SVT 2021a. Suomen virallinen tilasto (SVT): Luonnonvarakeskus, Metsätilastot, Maaluokat metsätalousmaalla (1000 ha). Luonnonvarakeskus, Helsinki.
- SVT 2021b. Suomen virallinen tilasto (SVT): Luonnonvarakeskus, Metsätilastot, Metsiköiden ikäluokat metsämaalla (1000 ha). Luonnonvarakeskus, Helsinki.
- SVT 2021c. Suomen virallinen tilasto (SVT): Luonnonvarakeskus, Metsätilastot, Ojitustilanne metsätalousmaalla (1000 ha). Luonnonvarakeskus, Helsinki.
- SVT 2021d. Suomen virallinen tilasto (SVT): Luonnonvarakeskus, Metsätilastot, Puuston tilavuus metsä- ja kitumaalla puulajeittain. Luonnonvarakeskus, Helsinki.
- SVT 2021e. Suomen virallinen tilasto (SVT): Luonnonvarakeskus, Metsätilastot, Metsänhoito- ja metsänparannustöiden työmäärät (ha) 1950-. Luonnonvarakeskus, Helsinki.
- SVT 2021f. Suomen virallinen tilasto (SVT): Luonnonvarakeskus, Metsätilastot, Metsänhoito- ja metsänparannustöiden työmäärät 1950–2014 (ha). Luonnonvarakeskus, Helsinki.
- SVT 2021g. Suomen virallinen tilasto (SVT): Luonnonvarakeskus, Metsätilastot, Metsänhoito- ja metsänparannustöiden työmäärät 1950–2014 (ha). Luonnonvarakeskus, Helsinki.



- SVT 2022. Suomen virallinen tilasto (SVT): Luonnonvarakeskus, Metsätilastot, Hakkuukertymä omistajaryhmittäin koko maassa 1985-. Luonnonvarakeskus, Helsinki.
- Suvanto S, Peltoniemi M, Tuominen S, Strandström M, Lehtonen A. 2019. High-resolution mapping of forest vulnerability to wind for disturbance-aware forestry. *Forest Ecology and Management* 453:117619. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.117619>.
- Tahvanainen V, Miina J, Kurttila M, Salo K. 2016. Modelling the yields of marketed mushrooms in *Picea abies* stands in eastern Finland. *Forest Ecology and Management* 362:79–88.
- Tahvonen O, Rämö J, Mönkkönen M. 2019. Economics of mixed-species forestry with ecosystem services. *Canadian Journal of Forest Research* 49:1219–1232.
- Tahvonen O. 2022. Metsien hoito jatkuvapeitteisinä: katsaus taloudelliseen tutkimukseen. Suomen Luontopaneelin julkaisu 1C/2022.
- Taipale SJ, Vuorio K, Aalto SL, Peltomaa E, Tirola M. 2019. Eutrophication reduces the nutritional value of phytoplankton in boreal lakes. *Environmental Research* 179:108836. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.108836>.
- Taipale SJ, Vuorio K, Strandberg U, Kahilainen KK, Järvinen M, Hiltunen M, Peltomaa E, Kankaala P. 2016. Lake eutrophication and brownification downgrade availability and transfer of essential fatty acids for human consumption. *Environment International* 96:156–166.
- Tammi J, Lappalainen A, Mannio J, Rask M, Vuorenmaa J. 1999. Effects of eutrophication on fish and fisheries in Finnish lakes: A survey based on random sampling. *Fisheries Management and Ecology* 6:173–186.
- Tapio 2022. Metsänhoidon suositukset. <https://metsanhoidonsuosituks.fi/fi>.
- Tasanen T. 2004. Läksi puut ylenemään – Metsien hoidon historia Suomessa keskiajalta metsäteollisuuden läpimurtoon 1870-luvulla. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja.
- The Millennium Ecosystem Assessment. 2005. *Ecosystems and Human Well-Being: Synthesis*. Anonymous Island Press, Washington DC.
- Thom D, Seidl R. 2016. Natural disturbance impacts on ecosystem services and biodiversity in temperate and boreal forests. *Biological Reviews* 91:760–781.
- Thornley JHM, Cannell MGR. 2000. Managing forests for wood yield and carbon storage: A theoretical study. *Tree Physiology* 20:477–484.
- Tikkanen OP, Martikainen P, Hyvärinen E, Junninen K, Kouki J. 2006. Red-listed boreal forest species of Finland: Associations with forest structure, tree species, and decaying wood. *Annales Zoologici Fennici* 43:373–383.
- Timonen J, Siitonen J, Gustafsson L, Kotiaho JS, Stokland JN, Sverdrup-Thygeson A, Mönkkönen M. 2010. Woodland key habitats in northern Europe: Concepts, inventory and protection. *Scandinavian Journal of Forest Research* 25:309–324.
- Toivanen T, Kotiaho JS. 2007a. Mimicking natural disturbances of boreal forests: the effects of controlled burning and creating dead wood on beetle diversity. *Biodiversity and Conservation* 16:3193–3211. <https://doi.org/10.1007/s10531-007-9172-8>.
- Toivanen T, Kotiaho JS. 2007b. Burning of Logged Sites to Protect Beetles in Managed Boreal Forests. *Conservation Biology* 21:1562–1572. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2007.00808.x>.
- Toivanen T, Kotiaho JS. 2010. The preferences of saproxylic beetle species for different dead wood types created in forest restoration treatments. *Canadian Journal of Forest Research* 40:445–464. <https://doi.org/10.1139/X09-205>.
- Toivanen T, Markkanen A, Kotiaho JS, Halme P. 2012. The effect of forest fuel harvesting on the fungal diversity of clear-cuts. *Biomass and Bioenergy* 39:84–93.



- Tolkkinen MJ, Heino J, Ahonen SHK, Lehosmaa K, Mykrä H. 2020. Streams and riparian forests depend on each other: A review with a special focus on microbes. *Forest Ecology and Management* 462:117962. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.117962>.
- Tomao A, Antonio Bonet J, Castaño C, de-Miguel S. 2020. How does forest management affect fungal diversity and community composition? Current knowledge and future perspectives for the conservation of forest fungi. *Forest Ecology and Management* 457:117678. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.117678>.
- Triviño M, Juutinen A, Mazziotta A, Miettinen K, Podkopaev D, Reunanen P, Mönkkönen M. 2015. Managing a boreal forest landscape for providing timber, storing and sequestering carbon. *Ecosystem Services* 14:179–189.
- Triviño M, Pohjanmies T, Mazziotta A, Juutinen A, Podkopaev D, Le Tortorec E, Mönkkönen M. 2016. Optimizing management to enhance multifunctionality in a boreal forest landscape. *Journal of Applied Ecology* 54:61–70.
- Turtiainen M, Miina J, Salo K, Hotanen JP. 2013. Empirical prediction models for the coverage and yields of cowberry in Finland. *Silva Fennica* 47:1005. <http://dx.doi.org/10.14214/sf.1005>.
- Turunen MT, Rasmus S, Järvenpää J, Kivinen S. 2019. Relations between forestry and reindeer husbandry in northern Finland – Perspectives of science and practice. *Forest Ecology and Management* 457:117677. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.117677>.
- Tyrväinen L, Bauer N, O’Brien L. 2019. Impacts of forests on human health and well-being. *Human Health and Sustainable Forest Management. Forest Europe study*.
- Tyrväinen L, Lanki T, Sipilä R, Komulainen J. 2018. Mitä tiedetään metsän terveyshyödyistä? *Lääketieteellinen Aikakauskirja Duodecim* 134. <https://www.duodecimlehti.fi/duo14421>.
- Tyrväinen L, Mäntymaa E, Juutinen A, Kurttila M, Ovaskainen V. 2021. Private landowners’ preferences for trading forest landscape and recreational values: A choice experiment application in Kuusamo, Finland. *Land Use Policy* 107:104478. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104478>.
- Tyrväinen L, Silvennoinen H, Hallikainen V. 2017. Effect of the season and forest management on the visual quality of the nature-based tourism environment: a case from Finnish Lapland. *Scandinavian Journal of Forest Research* 32:349–359.
- Työ- ja elinkeinoministeriö. 2022. Matkailu lukuina. <https://tem.fi/matkailu-lukuina>. [viitattu 23.3.2022].
- UPM 2020. Kansalaiskysely 2020. <https://www.upm.com/siteassets/documents/responsibility/5-forests/metsakeskustelu/upm-kansalaiskysely-2020.pdf>. [viitattu 8.10.2021].
- Vaara M, Saastamoinen O, Turtiainen M. 2013. Changes in wild berry picking in Finland between 1997 and 2011. *Scandinavian Journal of Forest Research* 28:586–595.
- Vaahtera E, Niinistö T, Peltola A, Rätty M, Sauvula-Seppälä T, Torvelainen J, Uotila J, Kulju, I. 2021. *Metsätilastollinen vuosikirja 2021*. Luonnonvarakeskus. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-325-1>.
- Vahtera E, Conley DJ, Gustafsson BG, Kuosa H, Pitkänen H, ..., Wulff F. 2007. Internal ecosystem feedbacks enhance nitrogen-fixing cyanobacteria blooms and complicate management in the Baltic Sea. *Ambio* 36:186–194.
- Valkeapää A, Karppinen H. 2013. Citizens’ view of legitimacy in the context of Finnish forest policy. *Forest Policy and Economics* 28:52–59.
- 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* 26:530–542.
- Valkonen S, Siitonen J. 2016. Tree regeneration in patch cutting in Norway spruce stands in northern Finland. *Scandinavian Journal of Forest Research* 7581:1–8.



- Valtanen J. 1994. Pohjois-Suomen suuret avohakkuut 1946–70. Yhteiskunnallinen tausta, toteutus ja vaikutukset. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 533.
- Vanderwel MC, Malcolm JR, Mills SC. 2007. A meta-analysis of bird responses to uniform partial harvesting across North America. *Conservation Biology* 21:1230–1240.
- Vanha-Majamaa I, Lilja S, Ryömä R, Kotiaho JS, Laaka-Lindberg S, Lindberg H, Puttonen P, Tamminen P, Toivanen T, Kuuluvainen T. 2007. Rehabilitating boreal forest structure and species composition in Finland through logging, dead wood creation and fire: The EVO experiment. *Forest Ecology and Management* 250:77–88.
- Vanha-Majamaa I, Shorohova E, Kushnevskaya H, Jalonen J. 2017. Resilience of understory vegetation after variable retention felling in boreal Norway spruce forests – A ten-year perspective. *Forest Ecology and Management* 393:12–28.
- Vanhanen H, Jonsson R, Gerasimov Y, Krankina ON, Messier C. 2012. Making Boreal Forests Work for People and Nature. Metsäntutkimuslaitoksen erillisjulkaisut.
<https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/504341/978-951-40-2353-8-wfse-pol-brief-boreal-forests.pdf?sequence=1>.
- Venäläinen A, Lehtonen I, Laapas M, Ruosteenoja K, Tikkanen OP, Viiri H, Ikonen VP, Peltola H. 2020. Climate change induces multiple risks to boreal forests and forestry in Finland: A literature review. *Global Change Biology* 26:4178–4196.
- Versluis M, Hekkala AM, Lindberg E, Lämås T, Hjältén J. 2020. Comparing the effects of even-aged thinning and selective felling on boreal forest birds. *Forest Ecology and Management* 475:118404.
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118404>.
- Virkkala R. 1987. Effects of forest management on birds breeding in northern Finland. *Annales Zoologici Fennici* 24:281–294.
- Walmsley JD, Godbold DL. 2010. Stump harvesting for bioenergy - A review of the environmental impacts. *Forestry* 83:17–38.
- WWF 2019a. Tutkimus: lähes neljä viidestä suomalaisesta rajoittaisi avohakkuita lailla.
<https://wwf.fi/uutiset/2019/05/tutkimus-lahes-nelja-viidesta-suomalaisesta-rajoittaisi-avohakkuita-lailla/>. [viitattu 8.10.2021].
- WWF 2019b. Metsäneuvontatutkimus.
https://wwf.fi/app/uploads/2/5/p/ru8jwvzm6p3oynpt1mtg7n/metsaneuvontagallup_aineisto.pdf. [viitattu 8.10.2021].
- Ylisirniö AL, Mönkkönen M, Hallikainen V, Ranta-Maunus T, Kouki J. 2016. Woodland key habitats in preserving polypore diversity in boreal forests: Effects of patch size, Stand structure and microclimate. *Forest Ecology and Management* 373:138–148.
- Zeng H, Peltola H, Talkkari A, Venäläinen A, Strandman H, Kellomäki S, Wang K. 2004. Influence of clear-cutting on the risk of wind damage at forest edges. *Forest Ecology and Management* 203:77–88.
- Zwolak R. 2009. A meta-analysis of the effects of wildfire, clearcutting, and partial harvest on the abundance of North American small mammals. *Forest Ecology and Management* 258:539–545.
- Äijälä O, Koistinen A, Sved J, Vanhatalo K, Väisänen P. 2014. Metsänhoidon suositukset. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapion julkaisuja.
- Økland T, Rydgren K, Økland RH, Storaunet KO, Rolstad J. 2003. Variation in environmental conditions, understory species number, abundance and composition among natural and managed *Picea abies* forest stands. *Forest Ecology and Management* 177:17–37.