



Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 21/2024

Suometsien uudistamisen tuloksellisuus ja tietoaukot

Systemaattinen kirjallisuuskatsaus

Päivi Väänänen, Markku Saarinen ja Raija Laiho

Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 21/2024

Suometsien uudistamisen tuloksellisuus ja tietoaukot

Systemaattinen kirjallisuuskatsaus

Päivi Väänänen, Markku Saarinen ja Raija Laiho

Viittausohje:

Väänänen, P., Saarinen, M. & Laiho, R. 2024. Suometsien uudistamisen tuloksellisuus ja tietoa-
aukot : Systemaattinen kirjallisuuskatsaus. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 21/2024.
Luonnonvarakeskus. Helsinki. 58 s.

Päivi Väänänen ORCID ID, <https://orcid.org/0000-0002-9987-6584>



ISBN 978-952-380-889-8 (Verkojulkaisu)

ISSN 2342-7639 (Verkojulkaisu)

URN <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-889-8>

Copyright: Luonnonvarakeskus (Luke)

Kirjoittajat: Päivi Väänänen, Markku Saarinen ja Raija Laiho

Julkaisija ja kustantaja: Luonnonvarakeskus (Luke), Helsinki 2024

Julkaisuvuosi: 2024

Kannen kuva: Markku Saarinen

Tiivistelmä

Päivi Väänänen, Markku Saarinen & Raija Laiho

Luonnonvarakeskus, Latokartanonkaari 9, 00790 Helsinki. etunimi.sukunimi@luke.fi

Suomessa on metsämaaksi luokiteltavia, ojitettuja soita noin 4 milj. ha, joista merkittävä osa on lähivuosina siirtymässä uudistamisvaiheeseen. Vaikka tutkimuksia suometsien uudistamisesta on tehty ojitustoiminnan alkuajoista lähtien, ovat ne koskeneet lähes poikkeuksetta luontaisesti herkästi uudistuvia luonnontilaisia ja vasta ojitettuja soita. Niiden uudistamistutkimukset eivät ole yleistettävissä vanhojen ojitusalueiden metsiin, sillä vanhat jo turvekangasvaiheessa olevat suometsät eroavat turpeen ominaisuuksiltaan ja pintakasvillisuudeltaan vasta ojitetuista alueista.

Tässä tutkimuksessa tehtiin systemaattinen kirjallisuuskatsaus turvemaiden vanhojen ojitusalueiden metsänuudistamisen tutkimusaineistosta, jossa tutkimuksen kohteena on ollut uudisojituksen jälkeen syntyneen puusukupolven uudistaminen turvekangasvaiheessa olevilla ojitusalueilla. Englannin- ja suomenkielisen vertaisarvioidun tutkimuskirjallisuuden lisäksi aineistoon hyväksyttiin myös suomenkieliset opinnäytetyöt sekä vertaisarvioimattomat työraportit. Katsauksessa kohdistettiin huomiota erityisesti siihen, millä uudistamismenetelmillä saatiin aikaiseksi metsälain uudistamisen minimivaatimukset täyttävä taimikko. Uudistamistulosten arvioinnin ohessa eriteltiin uudistamismenetelmittäin tutkimuksessa esiintuotuja, uudistamiseen vaikuttavia tekijöitä, ja erityisesti eri maanmuokkaustapojen roolia uudistumisessa. Lisäksi tunnistettiin mahdollisia tutkimustiedon puutteita, joiden mukaan täydentävää tutkimusta tulisi suunnitella.

Kirjallisuushaussa löydettiin 39 sisältökriteerit täyttävää tutkimusraporttia vanhojen ojitusalueiden metsänuudistamisesta. Tutkimusaukkoja löytyi mäntyvaltaisten, vähäravinteisten turvekangastyypin uudistamisesta kirjallisuuden painottuessa pitkälti kuusen uudistamiseen runsasravinteisillä kasvupaikoilla eteläisessä Suomessa. Taimettumiseen vaikuttavien ympäristötekijöiden, erityisesti vedenpinnan tason, tutkiminen ja raportointi tutkimusten taustatietoina oli vähäistä. Aineiston perusteella vanhat ojitusalueet vaikuttavat kuitenkin uudistuvan varsin hyvin ilman voimaperäistä maanpinnan käsittelyä, ja erityisesti kuusen pienaukko- ja suojuoppuhakkuut sekä kuusen istuttaminen hieskoivikon alle tuottivat laadukkaita taimikoita mustikka- ja ruohoturvekankailla. Lopuksi esitämme suosituksia uudistamistutkimusten suuntaamiseksi, sekä tutkimusten yleistettävyyden parantamiseksi ja synteesien teon helpottamiseksi.

Asiasanat: ojitetut suot, suometsätalous, metsänuudistus, metsänviljely, jatkuva kasvatusta, taimettuminen, maanmuokkaus, metsänviljely, luontainen uudistaminen, alikasvos

Abstract

Päivi Väänänen, Markku Saarinen & Raija Laiho

Natural Resources Institute Finland, Latokartanonkaari 9, 00790 Helsinki.
firstname.lastname@luke.fi

In Finland there are about 4 million ha of drained peatlands classified as forest land, a significant number of which will enter the regeneration phase in the next few decades. Thus, the regeneration of peatland forests in old drainage areas will rapidly increase in the future. Although studies on the regeneration of peatland forests have been conducted since the early days of drainage operations, they have almost invariably concerned natural and newly drained peatlands, where regeneration has been traditionally considered effortless. However, drained peatland forests with long drainage history differ in the peat and forest floor properties from newly drained areas. Hence, the regeneration studies carried out in them are not applicable to the peatland forests in old drainage areas.

In this study, using the methods of systematic literature mapping and review, the existing studies on forest regeneration of old drainage areas were identified. Besides peer-reviewed publications written in English or Finnish, also "grey literature", e.g., master's theses and working reports written in Finnish, were included. The regeneration success of different regeneration methods was assessed. Particular attention was paid to the reporting of the environmental factors affecting seedling establishment, and the role of different site preparation methods in regeneration. The goal was to identify possible knowledge gaps for the future research and to assess which regeneration methods managed to produce seedling stands, which meet the minimum requirements for regeneration defined in the reformed Finnish Forest Act (2014).

The literature search resulted in 39 research reports meeting the inclusion criteria. Research gaps were found especially in the regeneration of pine-dominated, nutrient-poor site types, with existing literature focusing largely on the regeneration of spruce in nutrient-rich habitats in southern Finland. The reporting of environmental factors affecting seedling establishment was scarce. Generally, the old drainage areas seem to regenerate sufficiently without intensive soil preparation, and especially the natural regeneration of spruce, as well as the planting of spruce under a Downy birch canopy, produced acceptable seedling stands in nutrient-rich site types. Finally, we formulate recommendations for future regeneration studies.

Key words: drained bogs, peatland forestry, regeneration, stand establishment, all-age stands, plantations, land preparation, clearcutting, natural regeneration, understorey

Sisällysluettelo

1. Johdanto	6
2. Menetelmät	9
2.1. Tutkimusraporttiaineiston hankinta, seulonta ja käsittely	9
2.2. Koeaineiston muodostaminen.....	11
2.3. Uudistumisaineisto ja uudistamisen onnistuminen.....	13
3. Tulokset.....	16
3.1. Kirjallisuuskentän kuvaus.....	16
3.1.1. Julkaisujen luokittelu, tutkimuksen aihepiirit ja ympäristötekijöiden raportointi	16
3.1.2. Tutkimuksen suuntautuminen eri menetelmiin ja kasvupaikkoihin	19
3.2. Uudistamisen onnistuminen	23
3.2.1. Istutus.....	23
3.2.2. Kylvö	25
3.2.3. Luontainen uudistaminen.....	28
4. Tulosten tarkastelu	33
4.1. Vanhojen turvekankaiden metsänuudistamisen kirjallisuuskenttä ja tutkimusaukot.....	33
4.2. Uudistamisen tuloksellisuus	39
4.2.1. Metsänviljelyn tuloksellisuus turvemaidella	40
4.2.2. Luontaisen uudistamisen tuloksellisuus	42
5. Johtopäätökset.....	45
Viitteet.....	47
Liitteet	55

1. Johdanto

Vuonna 1928 säädetyin ensimmäisen metsänparannuslain seurauksena alkoi maassamme ennennäkemätön soiden uudisojituksen aikakausi, jonka tuloksena kuivattiin soita lähes miljoonaa hehtaaria reilun vuosikymmenen aikana (Hökkä ym. 2002). Metsäojitus jatkui ojitustoiminnan koneellistuttua entistä tehokkaampana sotien jälkeen, jolloin ojitettiin 4 miljoonaa ha suota lisää. Vuosikymmenien saatossa ohutturpeisin osa (noin 0,7 miljoonaa ha) kaikkiaan yli viidestä miljoonasta ojitetusta suohehtaarista on muuttunut kangasmaaksi ja osa on otettu muuhun kuin metsätalouden käyttöön. Kun jäljellä olevista vähennetään vielä puuta tuottamattomat kitu- ja joutomaat, jää metsämaaksi luokiteltavia ojitettuja turvemaita noin neljä miljoonaa hehtaaria. Ensimmäiset, 1930-luvulla ojitetut suot ovat nyt ojitusiältään noin 90-vuotiaita, jolloin osalla niistä kasvaa jo uudistettu toisen puusukupolven metsä ja osalla puusto on saavuttanut taloudellisesti kannattavan uudistamisen runkoläpimitan. Metsän uudistamisella ja sen yhteydessä tehdyillä toimenpiteillä vaikutetaan pitkäaikaisesti syntyvän metsän ominaisuuksiin ja siellä harjoitettavan metsätalouden mahdollisuuksiin, ja sillä voi olla myös merkittäviä ympäristövaikutuksia erityisesti turvemaiden metsissä (Nieminen ym. 2017). Siksi uudistamisen tulee perustua parhaimpaan saatavilla olevaan tutkimustietoon.

Tutkimuksia suometsien uudistamisesta on tehty ojitustoiminnan alkuajoista lähtien. Aina 1960-luvulle asti suometsien uudistamiseen liittyvät tutkimukset koskivat lähes poikkeuksetta luonnontilaisia ja vasta ojitettuja soita, jolloin syntyi käsitys turvemaiden herkästä luontaisesta uudistumisesta (esim. Lukkala 1946, Heikurainen 1954). Turvekangasvaiheessa olevat, vanhat ojitusalueet eroavat kuitenkin turpeen ominaisuuksiltaan ja pintakasvillisuudeltaan nuorista ojitusalueista. Metsäkasvillisuuden, mm. metsäsammalten ja –varpujen, osuus pintakasvillisuudessa on lisääntynyt, ja kaikinensa kasvillisuus voi muistuttaa kangasmetsän kasvillisuutta (esim. Laine ym. 1995). Turpeen pinnalle on usein kerrostunut kuivahko, kuolleiden ja huonosti maatuneiden kasvinosien, lähinnä puu- ja sammalkarikkeiden, muodostama raakahumuskerros (Sarasto 1961, Saarinen & Hotanen 2000). Ojittamisen jälkeen pintaturpeen maatumisen on kiihtynyt, ja sen seurauksena turpeen tiheys ja ravinteisuus ovat kasvaneet (Minkinen & Laine 1998, Laiho ym. 1999). Tämän takia nuorten ojitusalueiden uudistamistutkimukset eivät ole merkityksellisiä turvemaiden vanhojen ojitusalueiden uudistamiskohteiden ongelmien ratkaisemisessa. 1980-luvun alusta lähtien tutkimus alkoikin tuoda esiin turvekanneiksi kehittyneiden ojitusalueiden uudistamiseen liittyviä ongelmia (Kaunisto 1984, Kaunisto & Päivänen 1985) ja syntyi käsitys näiden kasvupaikkojen uudistamisen vaikeudesta. Myös tutkimuksissa, joissa on verrattu uudistamisen onnistumista turve- ja kivennäismaalla, on saatu tulokseksi, että ojitetuissa suometsissä uudistaminen viljelemällä onnistuu keskimäärin huomattavasti paremmin kuin ravinteisuudeltaan vastaavissa kivennäismaametsissä (Kankaanhuhta ym. 2009). Näin on myös ojitusalueilla, joiden turvekerros on ohut (Luoranen & Viiri 2021). Koska uudistamisvaiheessa olevia vanhoja ojitusalueita on tähän mennessä ollut varsin vähän, on niiden tutkiminenkin ollut haasteellista.

Turvemaita koskevat Metsänhoidon suositukset suosittelivat jaksollisen kasvatuksen yhteydessä uudistamismenetelmäksi eteläisessä ja keskisessä Suomessa pääsääntöisesti metsänviljelyä yhdistettynä kohoumia muodostavaan maanmuokkaukseen (Vanhatalo ym. 2019). Luontaista uudistamista suositellaan kuusella rehevimmille kasvupaikoille, jos uudistusalalla on jo valmiiksi syntynyttä taimiainesta, ja männyn osalta myös karuhkoille varpu- ja puolukkaturvekankaille laikutukseen tai kääntömätästyksen yhdistettynä. Onnistuneen uudistamisen lähtökohdista erityisesti viljellen uudistettaessa pidetään laadukkaasti toteutettua

maanmuokkausta, ja mättäille istutusta suositellaan karuimpia kasvupaikkoja lukuun ottamatta uudistamisen kannalta varmimpana vaihtoehtona. Avo- ja siemenpuuhakkuisiin pohjautuviin uudistamismenetelmiin liittyy kuitenkin useita kielteisiä ympäristövaikutuksia. Avohakkuu aiheuttaa ainakin lyhytaikaisesti suuret hiilipäästöt (Korkiakoski ym. 2019, 2023). Hakkuista aiheutuvan turpeen vedenpinnan nousun seurauksena suometsästä voi huuhtoutua vesistöihin suuria määriä fosforia ja liuenneita orgaanisia yhdisteitä (Nieminen ym. 2003, Kaila ym. 2014, Nieminen 2004, Nieminen ym. 2015). Korkeaan vedenpintaan liittyy usein myös metaanipäästöjä, joiden vaikutus on ilmastoa lämmittävä (Ojanen ym. 2010, 2013). Turpeen vedenpinnan alentamiseksi avo- ja siemenpuuhakkuita seuraa turvemailla lähes aina ojien kunnostus, joka lisää kiintoaineksen huuhtoutumista vesistöihin (Joensuu ym. 1999, Stenberg ym. 2015, Nieminen ym. 2010). Ojien kunnostusta pidetäänkin vesistökuormituksen kannalta erityisen haitallisena toimenpiteenä (Finér ym. 2010).

Ojitusalueilla uuden puusukupolven perustamisen kannattavuus on huonompaa kuin vastaavan tuotospotentiaalin omaavalla kivennäismaalla. Jaksollisen kasvatuksen uudistamisvaiheeseen liittyvää avohakkuuta seuraavat yleisesti maanmuokkaus, metsänviljely ja taimikonhoito, kuten myös kivennäismailla, mutta usein niiden lisäksi vielä ojien kunnostus ja vesiensuojelurakenteet. Uudistamisvaiheen jälkeen on erityisesti II-tyyppin turvekankailla lisäksi varauduttava ravinnetalouden hoitoon. Nämä toimenpiteet kerryttävät kustannuksia ja pienentävät metsätaloudesta saatavaa voittoa. Turvemailla harjoitetun metsätalouden kannattavuuteen vaikuttavat myös kivennäismaiden hakkuuleimikoita keskimäärin pienemmät kantorahatulot, jotka liittyvät turvemaiden pienempiin hakkuukertymiin ja hieskoivun suureen määrään (Sirén ym. 2002) sekä maaperän huonon kantavuuden aiheuttamiin haasteisiin koneellisessa puunkorjuussa (Uusitalo ym. 2015). Taloudellisia analyysejä turvemailla harjoitetun metsätalouden kannattavuudesta on tehty harvennuksen, kunnostusojituksen ja lannoituksen suhteen, mutta eri uudistamisvaihtoehtojen kannattavuutta ei ole vertailtu. Yleensä turvemaiden metsätalouden kannattavuus on kuitenkin suurinta intensiivisellä metsänhoidolla, ja vähenee pohjoiseen ja vähemmän tuottaville kasvupaikoille mentäessä, erityisesti korkeaan tuottovaatimukseen yhdistettynä (Moilanen ym. 2015, Ahtikoski ym. 2012, Hökkä ym. 2016, Ahtikoski & Hökkä 2019). Tällöin erityisesti vähätuottoisilla varputurvekankailla ja pohjoisessa harjoitettu turvemaiden metsätalous voi olla kannattavuudeltaan kyseenalaista. Viimeaikaisten tutkimusten mukaan korpikuusikoiden poimintahakkuisiin perustuva jatkuvapeitteinen metsänkasvatus voi olla taloudellisesti kannattava metsänkäsittelyvaihtoehto perustuen nimenomaan uudistamisvaiheen kulujen poistumiseen (Juutinen ym. 2021, Ahtikoski ym. 2022). Lisäksi, kun taloudellisessa kannattavuusanalysissä otetaan huomioon turvemaiden metsätalouden ympäristövaikutukset ja niiden kulut yhteiskunnalle, yksityismetsätalouden näkökulmasta taloudellisin metsänkäsittelyvaihtoehto ei välttämättä ole yhteiskunnan kannalta optimaalinen (Miettinen ym. 2020). Turvemailla harjoitetun metsätalouden yhteiskunnallinen hyväksyntä ja toiminnan jatkuminen tulevaisuudessa mitä todennäköisimmin edellyttää jaksolliseen uudistamiseen liittyvien ympäristöongelmien ratkaisua. Siksi voimavaroja tulisi suunnata edullisten, ympäristövaikutuksiltaan vähäisten uudistamismenetelmien tutkimiseen.

Yhtenä ratkaisumallina sekä turvemailla harjoitetun metsätalouden kannattavuusongelmiin että uudistamisvaiheeseen liittyviin ilmasto- ja vesistökuormitusongelmiin on pidetty siirtymistä jatkuvapeitteiseen metsätalouteen, jolla löyhimmin määriteltynä tarkoitetaan metsänhoitoa ilman laajoja avohakkuita (Nieminen ym. 2018, Saarinen ym. 2020). Laajamittaisena toteutuessaan tämä siirtymä vaikuttaisi hyvin voimakkaasti eri maanmuokkausmenetelmien käyttötarpeeseen niin, että varsinkin mätästyksen osuus vähenisi kevyiden pintamuokkausvaihtoehtojen osuuden kasvaessa. Eniten lisääntyisivät sellaiset metsän kasvatuksen

menettelyt, joissa maata ei muokata lainkaan, vaan metsä uudistetaan luontaisia alikasvoksia sekä taimiainesta hyödyntämällä. Jatkuvapeitteisen (jatkuvan) ja jaksollisen kasvatuksen raja-viiva on metsätaloudessa varsin häilyvä: Säännöllisen eri-ikäisrakenteisten metsien lisäksi myös pienten aukkojen tai kaistaleiden hakkaaminen paljaaksi on jatkuvaa kasvatusta, kunhan metsiköstä suurin osa säilyy peitteellisenä (Saarinen ym. 2020). Myös luontaisesti mänty-koi-vusekapuustojen tai hieskoivikkojen alle syntyneen kuusialikasvosten säästäminen hakkuissa ja hyödyntäminen uudistamisessa avohakkuun ja viljelyn sijasta voidaan tulkita osaksi jatku-van kasvatuksen kenttää (Saarinen ym. 2020). Jatkuvaan kasvatukseen ei voida välittömästi siirtyä kaikilla uudistusaloilla, vaan avohakkuulla ja esimerkiksi luontaiseen uudistamiseen täh-tävällä hakkuilla tulee olemaan rooli myös tulevaisuudessa turvemaiden harjoitetussa metsä-taloudessa. Näissäkin tapauksissa negatiivisia ympäristövaikutuksia voidaan yrittää vähentää esimerkiksi uudistamalla ilman maanmuokkausta tai ainoastaan kevyillä, maanpintaa kevyesti rikkovilla maanmuokkausmenetelmillä. Jatkuvaan kasvatukseen siirtyminen sekä aiempaa ”ke-vyempien” uudistamismenetelmien hyödyntäminen edellyttää tutkimustietoa luontaisen uu-distamisen ja kylvön mahdollisuuksista niissä turvemaiden uudistamisalojen erityisoloissa, joita ei kivennäismaiden uudistamisaloilla esiinny tai jotka korostuvat ojitusalueella eri tavalla.

Vuonna 2014 uudistettu Metsälaki toi monia muutoksia myös turvemaiden metsätalouteen. Se mahdollisti jatkuvaan kasvatukseen siirtymisen sallimalla pienaukkohakkuut sekä ylähar-vennuksen. Tämän lisäksi tuli muitakin turvemaiden metsätalouden kannalta keskeisiä muu-toksia. Puulajin säätely väheni, jolloin hieskoivusta tuli kasvatettavaksi hyväksyttävä puulaji. Uudistamisen määräaika pidennettiin, mutta hyväksyttävän taimikon kasvatuskelpoisten tai-mien lukumäärän alarajaa nostettiin esimerkiksi eteläisessä Suomessa 1 000–1 300 rungosta 1 500 runkoon hehtaarilla. Näiden muutosten takia onkin tarpeen tarkastella aiemmin tehtyjä, vanhojen ojitusalueiden uudistamistutkimuksia uusien kriteerien näkökulmasta.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on tehdä läpinäkyvä ja toistettavissa oleva katsaus sellai-sesta turvemaiden vanhojen ojitusalueiden metsänuudistamisen tutkimusaineistosta, jossa tutkimuksen kohteena on ollut uudisojituksen jälkeen varttuneen ensimmäisen puusukupol-ven uudistaminen. Näin määritellen on rajoitettu sellaisille ojitusalueille, joilla kehitys on edennyt luonnontilaisesta suosta pitkälti kohti kasvillisuudeltaan ja turpeen ominaisuuksiltaan muuttunutta turvekangasvaihetta. Turvemaiden metsänuudistamisesta on kirjoitettu katsauk-sia aiemminkin (Kaunisto & Päivänen 1985, Saarinen 1989, Saarinen 1997, Saarinen ym. 2020), mutta tämä raportti on ensimmäinen, jossa hyödynnetään systemaattisen kirjallisuuskatsauk-sen menetelmää, sekä keskitytään nimenomaan vanhojen ojitusalueiden uudistamistutkimuk-seen. Katsauksessa kohdistettiin huomiota erityisesti siihen, millä uudistamismenetelmillä saa-daan aikaiseksi riittävän laadukas taimikko. Taimikoiden laatuksena käytettiin kolmea eri määritelmää uudistamisen onnistumisesta:

1. metsälain minimivaatimukset uudistamisvelvoitteen täyttymisestä,
2. tiheydeltään hyvälaatuinen taimikko ja
3. tiheydeltään ja puulajirakenteeltaan hyvälaatuinen taimikko, jossa hieskoivun osuus runkoluvusta säilyy maltillisena.

Uudistamistulosten arvioinnin ohessa eritellään uudistamismenetelmittäin tutkimuksissa esiintuotuja, uudistamiseen vaikuttavia tekijöitä, ja erityisesti eri maanmuokkaustapojen roo-lia uudistumisessa. Katsausta varten koottiin tietokanta vanhojen ojitusalueiden uudistami-seen liittyvästä kirjallisuudesta, ja työssä pyrittiin myös tunnistamaan mahdollisia tiedon puut-teita, joiden mukaan täydentävää tutkimusta tulisi suunnitella.

2. Menetelmät

2.1. Tutkimusraporttiaineiston hankinta, seulonta ja käsittely

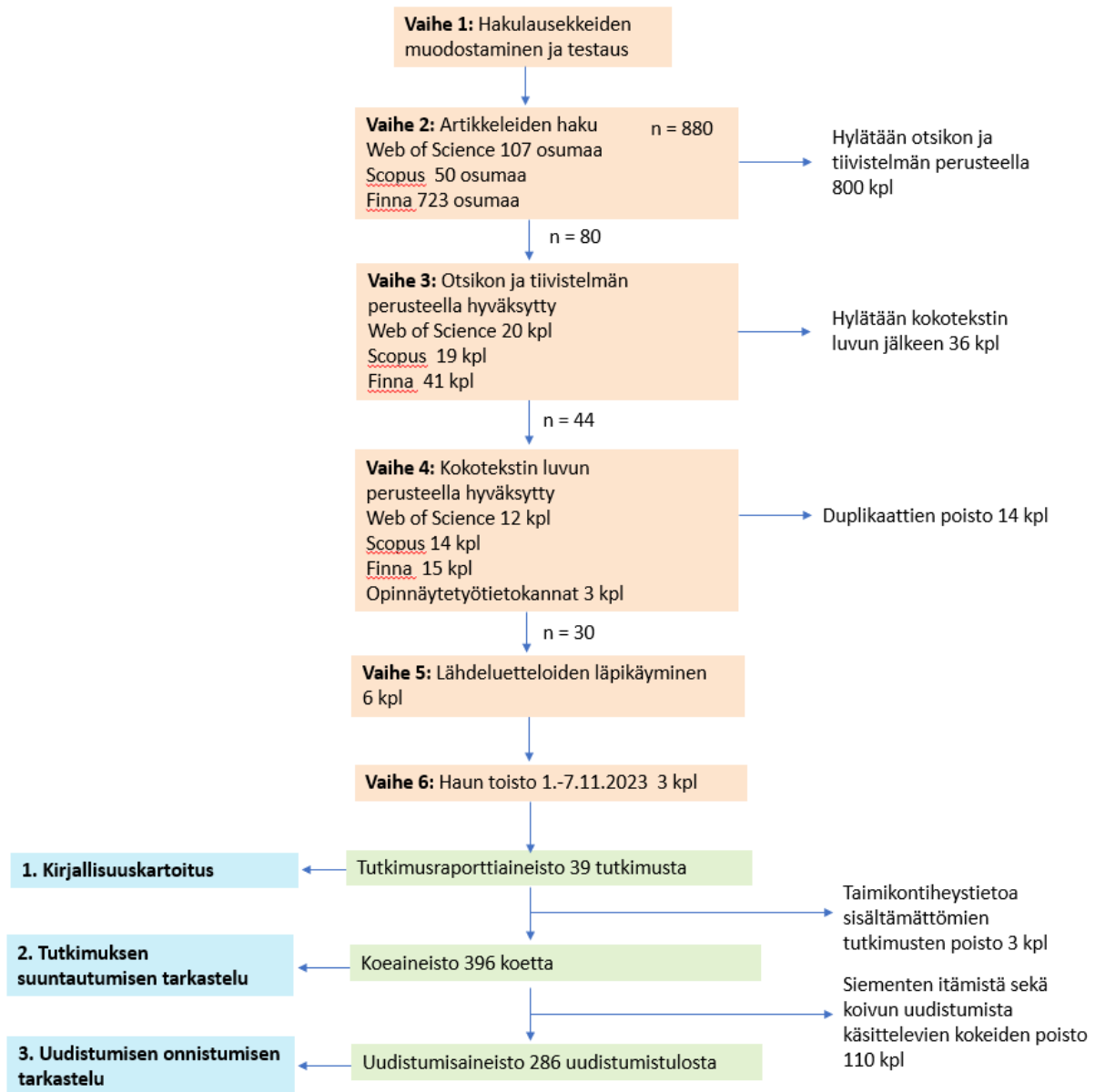
Tässä tutkimuksessa hyödynnettiin systemaattisen kirjallisuuskatsauksen menetelmää, jossa läpinäkyvästi ja systemaattisesti kootun aineiston avulla pyritään vastaamaan selkeästi muotoiltuun tutkimuskysymykseen (Moher ym. 2009). Kirjallisuuskatsauksen aineiston muodostivat tutkimusraportit, joissa tutkittiin toisen puusukupolven perustamista ojitettuihin suometsiin boreaalisella vyöhykkeellä. Aineiston haun, seulomisen ja luokittelun eri vaiheet on esitetty kuvassa 1.

Kirjallisuushaussa käytettiin kolmea tutkimuksen aihepiirin kannalta relevanttia tietokantaa: Scopus, Web of Science ja Finna.fi, joista kahdessa ensimmäisessä aineistoa haettiin englanniksi ja Finnassa suomeksi. Vertaisarvioitujen artikkeleiden lisäksi aineistoon otettiin mukaan ns. harmaan eli vertaisarvioimattoman kirjallisuuden osalta opinnäytetyöt sekä Metsäntutkimuslaitoksen työraportit. Finna.fi on hakupalvelu, joka kokoaa satojen kotimaisten toimijoiden aineistoja saman tietopalvelun alle. Finnasta löytyy suurin osa yliopistojen ja ammattikorkeakoulujen opinnäytetöistä. Niiden luonnonvara- ja ympäristöalan opetusta tarjoavien ammattikorkeakoulujen osalta, joiden aineisto ei ollut saatavilla Finna.fi:n kautta, etsittiin opinnäytetöitä myös Theseus-tietokannasta. Lisäksi opinnäytetöitä etsittiin Helsingin yliopiston Helda- ja Itä-Suomen yliopiston eRepository-tietokannoista käymällä aineistoja läpi selaamalla.

Kirjallisuushauissa käytetty hakulauseke rakennettiin hakutermeistä, joita testattiin tietokantahauissa ennen varsinaista hakua (vaihe 1, Kuva 1). Kirjallisuushauissa käytetyt hakulausekkeet on esitetty liitteessä taulukossa L1. Kirjallisuushaku aineiston hankkimiseksi tehtiin 7.–20.1.2021 ja toistettiin vielä 3.–4.11.2023 mahdollisten uusien julkaisujen löytämiseksi. Tutkimusartikkelit seulottiin PIO-sisältökriteerien (Populations/ Interventions/ Outcomes) avulla ensin otsikon ja tiivistelmän tasolla (Taulukko 1). Jos otsikosta tai tiivistelmästä ei voinut suoraan löytää kaikkia kolmea PIO-kriteeriä, mutta puuttuvien käsitteiden esiintyminen seuraavassa vaiheessa oli mahdollista, eteni raportti vaiheeseen, jossa teksti luettiin kokonaisuudessaan (vaihe 2, Kuva 1). Tässä vaiheessa selvitettiin tutkimuksen menetelmistä käytettyjen kokeiden taustatiedot. Mikäli niiden raportoinnin havaittiin olevan vakavasti puutteellisia tai tulosten raportoinnin tämän tutkimuksen kannalta riittämätöntä, tutkimus suljettiin pois aineistosta (esimerkiksi inventaariotutkimukset, joissa kaikki erityyppiset turvemaakasvupaikat oli luokiteltu samaan turvemaita ilmaisevaan luokkaan). PIO-kriteerien mukaisesti aineistosta rajattiin pois tutkimukset, joissa tutkittavana kasvupaikkana oli aiemmin puuton alue, esimerkiksi metsitettävä avosuo, turvemaapelto tai turvepohja. Myös hiljattain ojitetut (ojitusikä < 20 vuotta tai kasvupaikat, jotka luokiteltiin ”ojikoiksi” tai ”muuttumiksi”) puustoiset kohteet suljettiin pois aineistosta.

Käytännössä aineistoon hyväksyttiin mukaan sellaisia tutkimuksia, joissa tutkittiin uudisojituksen jälkeisiä ja jo päätehakuvaiheeseen varttuneita ensimmäisen sukupolven puustoja, jotka kasvoivat vesitalouden, kasvillisuuden ja turpeen ominaisuuksien osalta pitkälle muuttuneilla ojitusalueilla. Lisäksi tarkastelu rajattiin männyn (*Pinus sylvestris*), kuusen (*Picea abies*) sekä hies- ja rauduskoivun (*Betula pubescens* ja *B. pendula*) uudistumiseen. Aineistoon hyväksyttiin mukaan sekä maastossa tehtyjä kokeellisia tutkimuksia että inventaariotutkimuksia, joissa julkaistiin numeerista dataa uudistamisessa syntyneiden taimien määrästä, kasvusta tai kuolleisuudesta. Eri uudistamismenetelmiä vertailevien tutkimusten lisäksi aineistoon hyväksyttiin myös tutkimuksia, joissa tutkittiin ympäristötekijöiden (esim. vedenpinnan taso,

turpeen ravinteisuus) vaikutusta taimettumiseen. Pois suljettavia tutkimuksia olivat kasvihuoneessa tehdyt kokeet, kirjallisuuskatsaukset sekä opinnäytetyöt, joiden tulosten pohjalta oli kirjoitettu vertaisarvioitu tieteellinen artikkeli, joka puolestaan oli hyväksytty mukaan aineistoon. Lisäksi kaikkien aineistoon mukaan otettujen tutkimusten sekä turvemaiden metsänuudistamisesta aiemmin julkaistujen kirjallisuuskatsausten (Kaunisto ja Päivänen 1985, Saarinen 1989, Saarinen 1997, Saarinen ym. 2020) lähdeluettelot käytiin läpi vielä puuttuvien tutkimusraporttien löytämiseksi (vaihe 5, Kuva 1).



Kuva 1. Systemaattisen kirjallisuuskatsauksen vaiheet ja aineiston hakuprosessi. Oranssit laatikot kuvaavat aineiston haku- ja seulontavaiheita, vihreät tutkimuksessa muodostettuja tutkimusaineistoja, ja siniset tutkimuksen tavoitteita, ts. kirjallisuuskartoitusta (1), tutkimuksen suuntautumisen (2) sekä uudistumisen onnistumisen tarkastelua (3).

Koottu tutkimusraporttiaineisto luokiteltiin hakemalla jokaisesta tutkimuksesta ennalta määrättyt tiedot tutkimuskentän kuvailua ja tutkimuksen laadullista arvioimista varten. Näitä olivat mm. julkaisun ja tutkimuksen tyyppi, tutkimusmaa, tutkimuksen aihepiiri sekä koeasetelmaa koskevat tiedot. Lisäksi tarkasteltiin sitä, miten eri taimettumiseen vaikuttavia tekijöitä oli raportoitu. Tällaisia tekijöitä olivat sääolosuhteet uudistamisen aikana, ojitustekijät (ojitushistoria, sarkaleveys, ojien kunto, kokeen kuivatustilanne) ja kasvupaikkatekijät (kasvupaikkatyyppi, turpeen vedenpinnan taso (Kuva 12) tai turpeen kosteus, turvekerroksen ominaisuudet, taimettuvan pinnan ominaisuudet, turpeen ravinteisuus ja pH). Tutkimusten luokittelussa käytetyt tiedot on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 1. Tutkimuksen aineiston seulonnassa hyödynnetyt valintatekijät eli PIO-termit (Populations, Interventions, Outcomes), sekä niihin liittyvät kelpoisuuskaiteerit sisällytetyillä ja poissuljetuille tutkimuksille.

	Kelpoisuuskaiteerit	
Valintatekijät (PIO)	Sisällytetty:	Pois suljettu:
Populations	Maastossa hankittu aineisto. Alkuperäisenä kasvupaikkana puustoiset turvemaat, joiden ojituksesta vähintään 20 vuotta. Pääpuulajina <i>Pinus sylvestris</i> , <i>Picea abies</i> , <i>Betula pendula</i> tai <i>B. pubescens</i> .	Kasvupaikkana mineraalimaa, metsitettävä avosuo tai hiljattain ojitettu suo (< 20 vuotta), turvepohjat, suopellot, muut kuin suomalaiset puulajit. Laboratoriokokeet.
Interventions	Jaksolliseen ja jatkuvaan kasvatukseen sisältyvät metsänuudistamismenetelmät (luontainen, viljely). Metsänuudistamisen edellytysten parantamiseen tähtäävät menetelmät (maanmuokkaus, lannoitus). Ympäristötekijöiden vaikutus uudistumiseen (vedenpinnan taso, sää).	
Outcomes	Uudistumistulos ilmaistuna syntyneen taimikon tiheydellä (kpl/pinta-ala), istutettujen taimien selviytymisenä tai kasvatuskelpoisuudella (esim. alikasvosten pituuskasvun elpyminen).	Mallinnustulokset.

2.2. Koeaineiston muodostaminen

Kirjallisuuskentän syvällisempää kuvausta ja tutkimustarpeiden tunnistamista varten muodostettiin koeaineisto erittelemällä jokaisesta aineistoon hyväksytyssä tutkimusraportissa julkaistut sijainti-, käsittely- ja kasvupaikkatyyppiyhdistelmät, joita tästä lähtien kutsutaan lyhyiden vuoksi termillä "koe". Käsitteenä koe voi siis olla joko yksittäinen tietyn käsittelyn omaava koeala (ilman kyseisen käsittelyn toistoja) tai useammalta saman käsittelyn omaavalta koealalta laskettu keskiarvo. Kokeen sijainti, mikäli Suomessa, luokiteltiin metsälain vyöhykejaon mukaisesti eteläiseen, keskiseen tai pohjoiseen vyöhykkeeseen. Ruotsissa sijaitsevat kokeet luokiteltiin vastaaviin vyöhykkeisiin sijainnin leveyspiirien perusteella, ja Suomea etelämmässä sijaitsevat kokeet kuuluivat eteläiseen vyöhykkeeseen. Mikäli

Taulukko 2. Tutkimusraporttien luokittelussa käytetyt luokat.

A) Tutkimuksen tiedot	Tutkimustyyppi	Inventaario Kokeellinen
	Julkaisutyyppi	Vertaisarvioitu Vertaisarvioimaton Opinnäytetyö
	Julkaisun kieli	Suomi Englanti Suomi, tiivistelmä englanniksi Englanti, tiivistelmä suomeksi
	Tutkimusmaa	Maa, jossa aineisto on kerätty
B) Tutkimuksen aihepiiri	Hakkuutapa	Ei hakkuita Avohakkuu Siemenpuuhakkuu Pienaukkohakkuu Suojuspuuhakkuu Ylispuiden poisto
	Puulajit	Mänty Kuusi Hieskoivu Rauduskoivu
	Uudistamismenetelmä	Luontainen Kylvö Istutus Alikasvos
	Maanpinnankäsittely	Muokkaamaton Mätästys Laikutus Jyrsintä Lannoitus Muu
	Kasvupaikkaluokat	Varpurivekangas Puolukkaturvekangas Mustikkaturvekangas Ruohoturvekangas
	Taimettumiseen vaikuttavat ympäristötekijät	Sääolosuhteet Taimettuvan pinnan ominaisuudet Vedenpinnan taso, turpeen kosteus Turpeen ravinteisuus, pH
	Mitatut vasteet (uudistustulos)	Viljeltyjen taimien lkm Pääpuulajien taimien lkm Istutettujen taimien kuolleisuus Kokonaistaimettuminen Kasvuskelpoiset taimet lkm Sirkkataimien lkm Alikasvoksen lkm taustatietona Alikasvoksen pituuskasvu
	Mitatut vasteet (muut)	Taimien pituus/kasvu Taimien laatu Taimien tuhot
	Pitkittäistutkimus	Kyllä Ei
	Käsittelyvuosi	Viimeisen uudistamiseen tähtäävän toimenpiteen vuosi
	Seurantavuosi	Aineiston keruuvuosi. Mikäli pitkittäistutkimus, viimeinen aineistonkeruuvuosi.
	Tutkimuksen kesto	Käsittelyvuoden ja seurantavuoden erotus
C) Taimettumiseen vaikuttavien tekijöiden raportoiminen taustatietoina	Sääolosuhteet	Kyllä Ei
	Ojitushistoria	Kyllä Ei
	Sarkaleveys	Kyllä Ei
	Kosteusolosuhteet	Kyllä Ei
	Kuivatustila sanallisesti	Kyllä Ei
	Kasvupaikkatyyppi	Kyllä Ei
	Turvekerroksen ominaisuudet	Kyllä Ei
	Taimettuvan pinnan ominaisuudet	Kyllä Ei
	Turpeen ravinteisuus, pH	Kyllä Ei

tutkimuksen kokeista vain osa täytti sisäänottokriteerit (esimerkiksi ojituksesta kulunut aika), hyväksyttiin ainoastaan nämä mukaan koeaineistoon. Koeaineistoa ryhmiteltiin hakkuutapojen, kasvupaikkatyyppien sekä uudistamis- ja maanmuokkausmenetelmien mukaan, ja laskettiin kyseisten yhdistelmien määrä käyttämällä Excelin pivot-taulukointia. Näin saatiin muodostettua tarkempi kuva tutkimuskentän painottumisesta eri uudistamismenetelmiin, sillä tutkimusten koeasetelmissa tyypillisesti vertailtiin useampia uudistamismenetelmiä eri kasvupaikkatyypeillä. Tutkimuksissa raportoituja menetelmiä luokiteltiin tarvittaessa uudelleen. Esimerkiksi kaikki kohoumia muodostavat maanmuokkausmenetelmät, kuten kääntö-, ojitus-, laikku- ja naveromätästys, luokiteltiin mätästykseksi. Yleisimmät maanmuokkaustavat sekä niiden muodostama muokkausjälki on esitelty liitteessä (Kuvat L1-L4). Immonen-Joensuu (1987) tutkimuksessa nykysuositukseen verraten liian tiheät (runkotiheys > 300 kpl/ha) suojus- ja siemenpuuhakkuut luokiteltiin luokkaan "Ei hakkuita" (Kuvat 3, 8).

2.3. Uudistumisaineisto ja uudistamisen onnistuminen

Seuraavaksi tutkimusraporteista etsittiin kunkin kokeen uudistumistulos. Tutkimuksen koeasetelmasta ja raportointitavasta riippuen uudistumistulos oli joko yksittäisen koealan tulos tai useamman toiston keskiarvo. Näin syntyneeseen uudistumisaineistoon hyväksyttiin kullakin menetelmällä tavoitellun pääpuulajin uudistumistuloksena sekä viljelty että luontaisesti syntyneet taimet (Kuva 1). Kuusen tai hieskoivun taimia ei laskettu mukaan uudistumistuloksiin varputurvekankailla. Käsite kokonaistaimettuminen sisältää tässä tutkimuksessa kaikkien puulajien sekä viljelty että luontaisesti syntyneet taimet tai kehityskelpoisten taimien tiheyden. Mikäli tutkimuksessa oli ilmoitettu kasvatus- tai kehityskelpoisten taimien määrä, käytettiin tätä kokonaistaimettumisen sijasta. Alikasvosten hyödyntämistä metsänuudistamisessa käsittelevien tutkimusten kohdalla istutetut alikasvoskoealat käsiteltiin osana istutuskokeita ja luontaisesti alkunsa saaneet osana luontaisen uudistamisen kenttää. Tutkimukset, joissa mitattuna vasteena oli taimien pituuden kehitys ja joissa ei julkaistu taimikon tiheyttä edes taustatietona, karsiutuivat tässä vaiheessa pois aineistosta. Pitkittäistutkimuksista, joissa taimettumista seurattiin useamman vuoden aikana, otettiin mukaan vain viimeisen seurantavuoden uudistumistulos.

Männyn ja kuusen uudistamisen onnistumista tarkasteltiin uudistumisaineiston perusteella suhteessa eri uudistamis- ja maanmuokkausmenetelmiin. Hies- ja rauduskoivun sekä muiden lehtipuujen uudistamista ei käsitelty, sillä niiden tarkoituksellinen kasvattaminen pääpuulajina on metsäojitetuilla turvemaiden marginaalista. Tämä heijastuu myös koivukokeiden pienenä määränä aineistossa. Hieskoivun luontainen uudistuminen on huomioitu kuitenkin silloin, kun tutkimuksessa oli ilmoitettu kokonaistaimettuminen ja hieskoivun runkoluku. Arvioitavat uudistamismenetelmät olivat kuusen ja männyn luontainen uudistaminen ja viljely (istutus, kylvö) eri maanmuokkausmenetelmillä (mätästys, muokkaamaton, laikutus ja "muu", joista viimiksi mainittu sisältää joitakin kokeellisia maanmuokkausmenetelmiä kuten kantojen nosto, ojamaiden levitys, konetallaus ja pintakasvillisuuden jalalla rikkominen). Luontaisen uudistamisen onnistumista arvioitiin kuusella tarkastelemalla eri hakkuutavoilla (pienaukkohakkuu, avohakkuu, suojuspuuhakkuu, liitteen kuvat L7-L8), sekä hieskoivuylispuuston ja käsittelemätömän puuston alle syntyneiden taimikoiden laatua tarkastelemalla ("Ei hakkuita", Kuva 8). Männyn luontaisen uudistamisessa yleisimmin käytetyt hakkuumenetelmät ovat siemenpuuhakkuu sekä kaistalehakkuu (Liitteen kuvat L5 ja L6). Aineistossa oli männyn hakkuukäsitteilyinä avohakkuiden ohella pääasiassa siemenpuuhakkuita sekä siemenpuuhakkuiden jälkeisiä ylispuiden poistoja. Viidessä aineiston tutkimuksessa käsiteltiin siemenen itämistä ja taimien

varhaiskehitystä kylvön tai luontaisen uudistamisen yhteydessä. Niissä ei otettu huomioon muualle kuin kylvökohtaan syntyneitä männyn tai muiden puulajien taimia, ja niiden tarkastelujakso uudistumisen onnistumisen kannalta oli lyhyt (1–5 vuotta). Vaikka siemenen itäminen ja varhaiskehitys on merkittävä vaihe uudistumisessa, kuvastaa sirkkataimien määrä neliömetrillä tai kylvöaikussa varsin huonosti taimien selviytymistä pidemmällä aikavälillä ja sitä, kuinka tiheäksi taimikko lopulta muodostuu (esim. Moilanen ym. 2011). On myös vaikea arvioida, kuinka monta itänyttä siementä neliömetrillä tai kylvökohdassa tarvitaan riittävää uudistumista ajatellen. Siksi siementen itämistä ja varhaiskehitystä käsitteleviä tutkimuksia ei tarkasteltu kvantitatiivisesti muun uudistumisaineiston yhteydessä, joskin niiden sisältöä ja keskeisiä tuloksia esitellään kappaleessa 3.2.2. (Kylvön onnistumiseen vaikuttaneita tekijöitä).

Uudistumisaineistoon kerättyjä uudistumistuloksia arvioitiin vertaamalla niitä metsälaisissa esitettyyn hyväksytyyn taimikon minimitiheyskriteeriin eteläisessä, keskisessä ja pohjoisessa Suomessa (Taulukko 3). Tyydyttävän taimikon tiheyskriteeri määriteltiin olevan vähintään 2000 kpl/ha, jolloin mukaan laskettiin kaikkien puulajien viljellyt ja luontaisesti syntyneet taimet. Lisäksi mikäli hieskoivun osuus tyydyttävän taimikon tiheydestä oli enintään 15 %, katsottiin taimikon täyttävän hyvälaatuisen taimikon kriteerit. Istutustaimikoissa arvioitiin istutuksen onnistumista taimien selviytymisprosentin perusteella, sekä niiden tutkimusten kohdalla, joissa raportoitiin myös luontaisesti syntyvät taimet, uudistumisen onnistumista kokonaistaimettumista tarkastelemalla.

Alikasvosten kasvatuskelpoisuuden ja laadun arvioimiseen ei ole olemassa vakiintunutta kriteeristöä. Tässä tutkimuksessa hyväksytyyn taimikon minimikriteerinä sovellettiin pienten taimikoiden kohdalla samaa kriteeristöä metsälain täyttävälle, tyydyttävälle ja hyvälle taimikolle kuin muidenkin menetelmien kautta syntyneille taimikoille. Varttuneempien taimikoiden osalta sovelletaan valtapituus/runkolukuohjetta, jonka mukaan puuston tiheys turvemaidella on riittävä, jos jokseenkin tasaisesti jakaantuneiden kasvatuskelpoisten taimien lukumäärä uudistuslalla on puulajista riippumatta yli 900, 700, tai 450 vastaavan valtapituuden ollessa 2–4 m, 4–7 m tai yli 10 m (Ohjekirje... Etelä-Suomen Piirikunnassa 1985).

Uudistumisaineiston tutkimusten keskeisiä tuloksia ja uudistumiseen vaikuttavia tekijöitä käsitellään tuloksissa kunkin uudistamismenetelmän yhteydessä. Tutkimusraportti-, koe- ja uudistumisaineistot ovat kokonaisuudessaan julkaistu Zenodossa (<https://doi.org/10.5281/zenodo.10259270>).

Taulukko 3. Tutkimuksessa sovellettavat kriteerit hyväksyttävälle, tyydyttävälle ja hyvälaatuiselle valtapituudeltaan alle 2 metrin taimikolle eteläisessä, keskisessä ja pohjoisessa Suomessa, sekä hyväksyttävälle varttuneille, valtapituudeltaan yli 2 metrin taimikoille valtapituusluokittain.

Taimikot, valtapituus < 2 m, kokonaistaimettuminen tai kehityskelpoiset taimet			
	Hyväksyttävä taimikko (kpl/ha)	Tyydyttävä taimikko (kpl/ha)	Hyvälaatuinen taimikko (kpl/ha)
Eteläinen Suomi	1500	2000	2000 (≤15 % hieskoivu)
Keskinen Suomi	1500	2000	2000 (≤15 % hieskoivu)
Pohjoinen Suomi	1200	2000	2000 (≤15 % hieskoivu)
Varttuneet taimikot, kokonaistaimettuminen tai kehityskelpoiset taimet:			
Valtapituus	Hyväksyttävä taimikko (kpl/ha)		
2–4 m	901–1000		
4–7 m	701–900		
7–10 m	450–700		

3. Tulokset

3.1. Kirjallisuuskentän kuvaus

3.1.1. Julkaisujen luokittelu, tutkimuksen aihepiirit ja ympäristötekijöiden raportointi

Haku Web of Science-tietokannasta tuotti yhteensä 107 osumaa, joista valikoitui mukaan kokotekstin lukemisen perusteella 12 tutkimusta. Vastaavasti Scopus-tietokanta tuotti 50 osumaa, joista mukaan hyväksyttiin 14 tutkimusta. Finnan suomenkielisen haun tulos oli 723 osumaa, joista kahden seulontakierroksen jälkeen valikoitui aineistoon sisäänottokriteerien perusteella 15 tutkimusta. Opinnäytetyötietokantojen läpikäyminen tuotti aineistoon kolme uutta tutkimusta. Duplikaattien poistamisen jälkeen mukaan hyväksytyjen tutkimusraporttien kokonaismäärä oli 30 kpl. Aineistoon mukaanluettujen tutkimusten lähdeluetteloiden tarkistus toi aineistoon kuusi tutkimusraporttia. Kun haut toistettiin 4.–7.12.2023 samoilla termeillä, löytyi kolme opinnäytetyötä lisää. Yhteensä aineiston kooksi muodostui näin 39 tutkimusta, joista 7 oli opinnäytetöitä, 28 vertaisarvioitua tieteellistä artikkelia, ja 4 vertaisarvioimattomia tutkimuksia (Metsäntutkimuslaitoksen työraportit ja Metsäntutkimuslaitoksen tiedonannot). Suurin osa tutkimuksista oli tutkimusotteeltaan kokeellisia tutkimuksia, inventaariotutkimuksia aineistossa oli kolme kappaletta. Tutkimuksista suurin osa oli tehty Suomessa. Ruotsissa tehtyjä tutkimuksia oli kolme, ja Latviassa yksi. Tutkimusaineistoon sisällytetyt artikkelit on esitetty taulukossa 4.

Suurimmassa osassa tutkimuksia (36 kpl) tutkimuskysymyksenä oli eri uudistamis- ja maanmuokkausmenetelmien tai niiden variaatioiden vaikutus uudistumiseen eri kasvupaikkatyyppinä edustavilla kohteilla. Jatkovaa kasvatusta käsitteleviä tutkimuksia oli viisi, jotka kaikki käsitelivät kuusen taimettumistuloksia eri ajankohtina samoilta kahdelta pienaukkohakkuun luontaisen uudistumisen koekentältä Pohjois-Suomessa. Muita turvemailloin suoritetuina tutkimuksia jatkuvan kasvatuksen kenttään kuuluvista menetelmistä, esim. poiminta- tai kaistalehakuista ei tämän tutkimuksen kirjallisuushakujen suorituspäivämäärään mennessä ollut julkaistu lainkaan. Kuusen alikasvosten hyödyntämistä käsitteleviä tutkimuksia oli verrattain runsaasti (9 kpl), ja ne voidaan lukea kuuluvaksi yhtä hyvin jatkuvan kuin jaksollisenkin kasvatuksen kenttään. Tutkimuksia, jotka käsittelevät lannoituksen (kaupalliset lannoitteet, tuhka) vaikutusta uudistumiseen löytyi kuusi. Neljässä niistä tutkittiin lannoituksen vaikutusta taimettumiseen tai istutettujen rauduskoivun ja männyn taimien selviytymiseen ja kahdessa oli vas- teena istutettujen taimien tai kuusialikasvoksen pituuskasvu.

Eri ympäristötekijöiden vaikutus uudistumiseen oli tutkimuskysymyksenä yhteensä 14 tutkimuksessa, joissa tutkittiin sääolosuhteiden (6 kpl), vedenpinnan tason tai turpeen kosteuden (4 kpl), sekä taimettuvan pinnan ominaisuuksien (raakahumuskerroksen tai kasvillisuuden, 9 kpl) vaikutusta. Turpeen ravinteisuuden tai pH:n vaikutusta uudistumiseen käsiteltiin yhteensä viidessä tutkimuksessa, joista kahdessa kasvupaikan ravinteisuutta arvioitiin puuston neulasanalyyysien perusteella. Yhtä istutustutkimusta lukuun ottamatta kaikki edellä mainitut tutkimukset liittyivät luontaiseen uudistamiseen tai kylvöön. Muiden turpeen ominaisuuksien (esimerkiksi maatuneisuus, turvekerroksen paksuus, turvelaji) vaikutuksesta uudistumiseen ei tässä kirjallisuuskatsauksessa löytynyt lainkaan tutkimuksia.

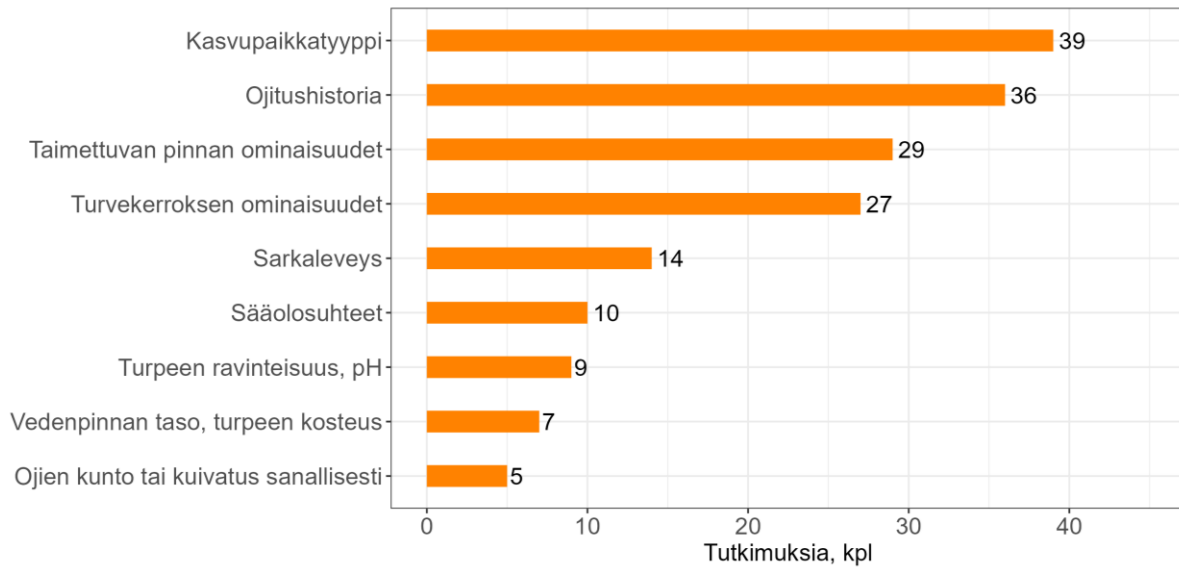
Taulukko 4. Tutkimusraporttiaineistoon mukaanluetut tutkimukset (39 kpl), julkaisutyyppi (vertaisarvioitu, vertaisarvioimaton, opinnäytetyö), koealojen määrä tutkimuksessa sekä koeaineistoon (396 kpl) ja uudistumisaineistoon (286 kpl) sisällytettyjen kokeiden määrä. *) Julkaisussa ei tietoa taimikon tiheydestä. **) Taimien varhaiskehitystä käsittelevä tutkimus. ***) Koi-vun uudistumisen koealoja.

Tekijä	Julkaisutyyppi	Koealojen määrä tutkimuksessa (kpl)	Koeaineiston kokeet (kpl)	Uudistumisaineiston kokeet (kpl)
Hakala 2022	Opinnäytetyö	8	0*	0*
Heikurainen 1985	Vertaisarvioitu	8	8	8
Helenius & Saarinen 2013	Vertaisarvioitu	18	6	0**
Hilli ym. 2003	Vertaisarvioitu	5	5	5
Holgen & Hånell 2000	Vertaisarvioitu	54	18	18
Huittinen 2011	Opinnäytetyö	9	9	9
Hytönen ym. 2019	Vertaisarvioitu	39	11	11
Hytönen ym. 2020	Vertaisarvioitu	42	18	18
Hånell 1993	Vertaisarvioitu	54	6	6
Hökkä & Mäkelä 2014	Vertaisarvioitu	46	0 *	0*
Hökkä & Repola 2018	Vertaisarvioitu	46	7	7
Hökkä ym. 2012	Vertaisarvioitu	39	4	4
Hökkä ym. 2011	Vertaisarvioitu	42	6	6
Hökkä ym. 2015	Vertaisarvioitu	10	4	4
Immonen-Joensuu 1987	Opinnäytetyö	71	71	68*
Kaunisto 1985	Vertaisarvioitu	6	17	14***
Kaunisto 1984	Vertaisarvioimaton	10	14	0**
Korhonen 2023	Opinnäytetyö	24	4	4
Lehtiniemi & Sarasto 1973	Vertaisarvioitu	24	8	0***
Lipo 2023	Opinnäytetyö	2	2	2
Mannerkoski 1975	Vertaisarvioitu	6	2	2
Moilanen & Issakainen 2011	Vertaisarvioimaton	48	3	3
Moilanen ym. 1995	Vertaisarvioitu	42	18	12***
Moilanen ym. 2011	Vertaisarvioimaton	12	21	21
Niemistö 1995	Vertaisarvioimaton	28	6	6
Niemistö & Poutiainen 2004	Vertaisarvioitu	34	3	3
Pearson ym. 2011	Vertaisarvioitu	6	6	6
Pullainen 2018	Opinnäytetyö	156	12	12
Ruseckas ym. 2015	Vertaisarvioitu	172	19	0***
Saarinen 1996	Vertaisarvioitu	8	0 *	0*
Saarinen 2002	Vertaisarvioitu	9	13	13
Saarinen ym. 2013	Vertaisarvioitu	5	12	0**
Sarasto 1963	Vertaisarvioitu	32	8	0***
Sarasto 1964	Vertaisarvioitu	32	8	0***
Sarasto & Seppälä 1964	Vertaisarvioitu	52	5	0**
Seppälä & Keltikangas 1978	Vertaisarvioitu	113	4	4
Silfverberg ym. 2010	Vertaisarvioitu	75	15	15
Vartiainen 2014	Opinnäytetyö	9	18	0**
Örlander & Karlsson 2000	Vertaisarvioitu	16	5	5

Valtaosassa tutkimuksista (16 kpl) mitattuna vasteena oli kokonaistaimettuminen, joka sisälsi kasvatettavaan puustoon kuuluvat luontaiset taimet sekä esimerkiksi hieskoivun taimet. Kehitys- tai kasvatuskelpoiset taimet raportoitiin seitsemässä tutkimuksessa. Sen sijaan suurimassa osassa istutus- ja kylvötutkimuksista raportoitiin ainoastaan viljeltyjen taimien tai viljelyn puulajin taimien määrä. Esimerkiksi ainoastaan kahdessa kylvötutkimuksessa (Hytönen ym. 2020, Moilanen ym. 2011) kahdestatoista raportoitiin männyn kylvötaimien lukumäärän lisäksi myös kokonaistaimettuminen. Alikasvostutkimus (11 tutkimusta) painottui pituuskasvun ja sen elpymisen tutkimukseen hieskoivuylispuuston käsittelyn tai poiston jälkeen, mutta taimikon tiheys ilmoitettiin kuitenkin taustatietona kahdeksassa tutkimuksessa. Varsinaisia tutkimuksia, joissa raportoitiin uudistumistuloksia alikasvokselle, oli kaksi kappaletta. Taimien pituutta sekä pituuskasvua raportoitiin valtaosassa tutkimuksia (29 kpl), ja taimien laatua sekä taimiin kohdistuneita tuhotekijöitä arvioitiin neljässätoista tutkimuksessa.

Aineiston istutustutkimukset olivat pääosin pitkäaikaisia ja niiden seurantajakson pituus oli 3–25 vuotta uudistamisesta. Myös luontaisen uudistamisen tutkimuksissa seurantajakso olivat varsin pitkiä, keskimäärin 12 vuotta, mutta erityisesti inventaariotutkimuksissa ja alikasvostutkimuksissa seurantajakso saattoi olla jopa 45 vuotta edellisestä uudistamiseen tähtäävästä toimenpiteestä, esimerkiksi ylispuiden poistosta. Ainoastaan yhdessä luontaisen uudistamisen tutkimuksessa tutkittiin sirkkataimien syntyä kahden vuoden seurantajaksoilla. Pitkittäistutkimukset, joissa seurattiin taimikon kehitystä useammassa ajankohdassa, oli noin kolmasosa aineiston tutkimuksista (12 kpl). Aineiston kylvötutkimukset olivat pääasiassa lyhytaikaisia, ja niissä tyypillisesti raportoitiin sirkkataimien lukumäärä kylvökohtassa 1–5 vuoden tarkastelujaksolla.

Taimettumiseen vaikuttavia tekijöitä (esim. sääolosuhteet, ojitushistoria, kasvupaikkatyyppi) raportoitiin taustatietoina aineiston tutkimuksissa vaihtelevasti (Kuva 2). Eniten raportoitiin kasvupaikkatyyppiä, joka oli ilmoitettu tavalla tai toisella kaikissa aineiston tutkimuksissa. Myös turpeen ominaisuuksia, kuten turvekerroksen syvyyttä, turvelajia ja turpeen maatuneisuutta raportoivia tutkimuksia oli verrattain paljon (27 kpl). Kasvupaikan vesitalouden- ja kuivatustilan kuvailu puolestaan oli vähäistä. Yleisin raportoitu tunnus oli uudisojituksen ajankohta, joka oli ilmoitettu kolmea tutkimusraporttia lukuun ottamatta kaikissa tämän aineiston tutkimuksista. Suurimassa osassa tutkimuksia (19 kpl) se olikin ainoa kasvupaikan vesitalouden ja kuivatustilaan liittyvä tieto. Sarkaleveys oli raportoitu 14 tutkimuksessa, ja vedenpinnan tasoa tai turpeen kosteutta kasvukauden aikana oli mitattu seitsemässä tutkimuksessa. Viidessä tutkimuksessa ojien kuntoa tai koealojen kuivatustilaa arvioitiin sanallisesti. Muita raportoituja uudistamiseen vaikuttavia tekijöitä olivat sääolosuhteet uudistamisen aikana, taimettuvan pinnan ominaisuudet sekä turpeen ravinteisuus tai pH (Kuva 2).

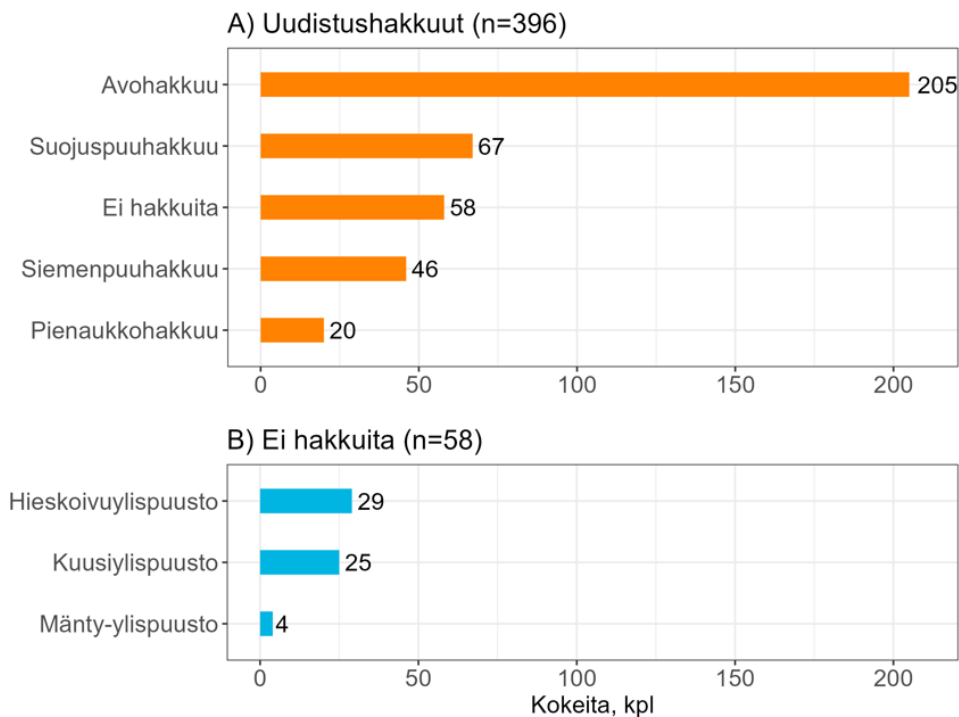


Kuva 2. Taimettumiseen vaikuttavien ympäristötekijöiden raportointi aineiston tutkimusraporteissa (yhteensä 39 kpl).

3.1.2. Tutkimuksen suuntautuminen eri menetelmiin ja kasvupaikkoihin

Koeaineiston kooksi muodostui 396 koetta. Taulukossa 4 on esitetty aineistoon mukaanluetut eli sisäänottokriteerit täyttävät tutkimusraportit, aineistoon mukaanluettujen koealojen määrä, sekä koeaineistoon ja uudistumisaineistoon mukaanluettujen kokeiden määrä. Tutkimusten koeasetelmat, joista suurin osa oli kokeellisia tutkimuksia, olivat varsin laajoja käsittäen 2–172 koealaa ja useita toistoja. Mukana on myös seitsemän kokeellista tutkimusta, joissa toistoja ei ole ollenkaan, vaan raportoitu uudistumistulos edustaa yhden koealan uudistumistulosta. Nämä tutkimukset olivat pienialaisia intensiivitutkimuksia (Pearson ym. 2013, Lipo 2023), laajoja kestokoealoihin perustuvia inventaariotutkimuksia (Immonen-Joensuu 1987) tai sitten koejärjestelyihin kuului suuria, eri käsittelyjä sisältäviä koekenttiä, jotka inventoitiin systemaattisesti (Kaunisto 1985, Huittinen 2013). Lisäksi kahdessa alikasvostutkimuksessa koealakohtainen taimitiheys oli ilmoitettu taustatietona (Heikurainen 1985, Hilli ym. 2013).

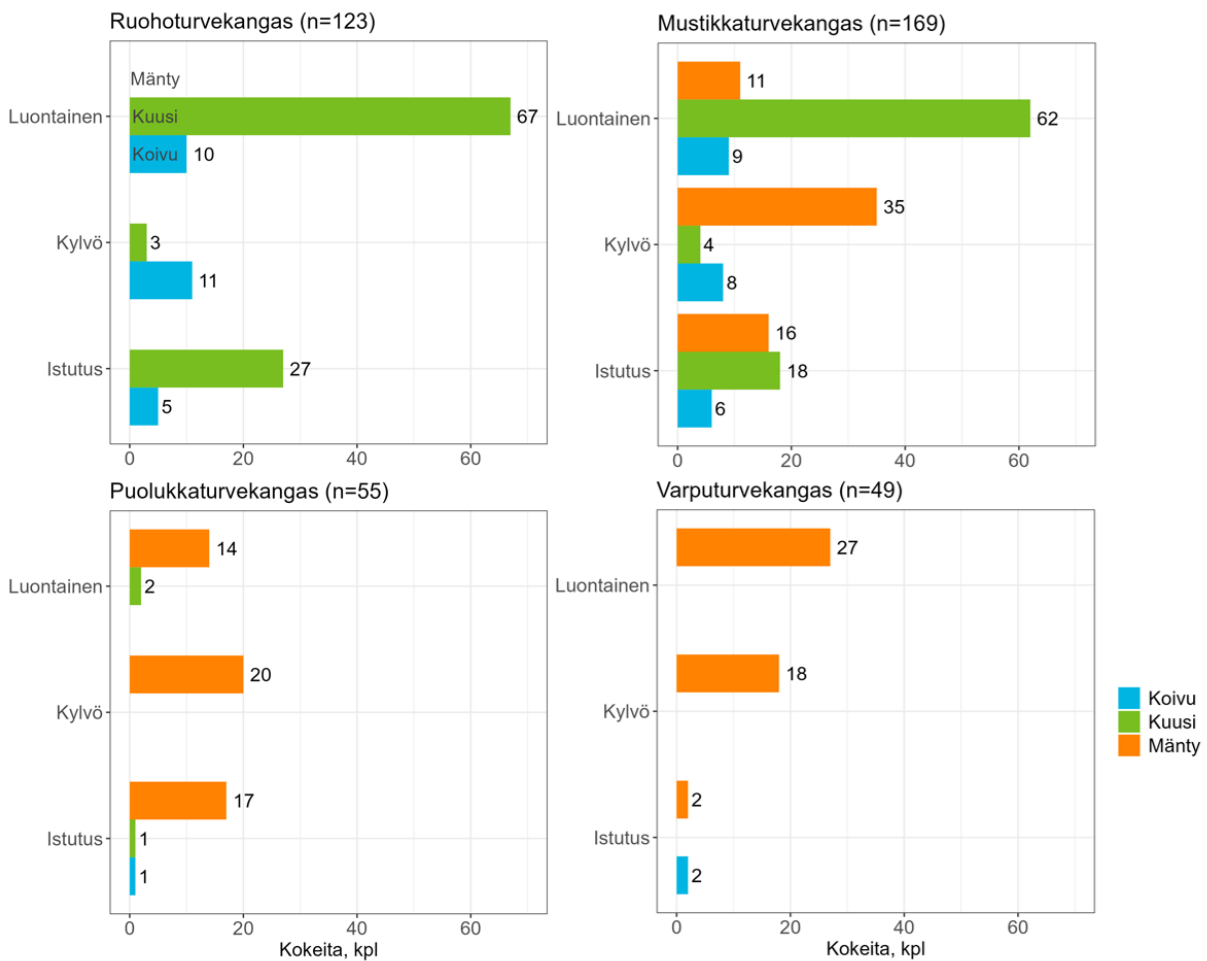
Hieman yli puolessa uudistumistuloksista tutkittiin avohakatun alan uudistamista, kun taas erilaiset osittaishakkuut, mukaan lukien siemenpuu-, suojuspuu-, ja pienaukkohakkuut, tuottivat yhteensä 133 uudistumistulosta (Kuva 3A). Myös hieskoivu-, kuusi- ja mänty-ylipuuston alle luontaisesti syntyneitä tai istutettuja alikasvostaimikoita oli tutkittu verrattain paljon (Kuva 3B).



Kuva 3. A) Eri hakkuutapojen esiintyminen koeaineistossa (kokeita, kpl) sekä B) koeaineiston alikasvostaimikoiden (kokeita, kpl) jakautuminen hieskoivu-, kuusi-, ja mänty-ylispuun alle syntyneisiin alikasvostaimikoihin.

Turvemaiden metsänuudistamisen tutkimustoiminta on tämän aineiston perusteella painottunut etelään ja reheviin kasvupaikkoihin. Valtaosa tutkimuksesta käsitteli mustikka- ja ruohoturvekankaiden uudistamista, kun taas karumpien puolukka- ja varputurvekankaiden uudistamisen tutkimus oli selvästi vähäisempää (Kuva 4). Aineiston kokeista valtaosa (248 kpl) käsitteli uudistumista eteläisellä vyöhykkeellä (Etelä-Suomessa, Etelä-Ruotsissa, tai Latviassa), missä mustikkaturvekangas (100 kpl) ja ruohoturvekangas (72 kpl) olivat tutkituimmat kasvupaikkatyypit. Keskisessä Suomessa tai vastaavalla vyöhykkeellä Ruotsissa sijaitsi 93 koetta, joista suurin osa edusti kasvupaikkatyypiltään mustikkaturvekangasta (56 kpl). Pohjoisen koealoista (Pohjois-Suomi ja -Ruotsi, 55 kpl) suurin osa oli ruohoturvekankaita (42 kpl) ja loput mustikkaturvekankaita.

Ruohoturvekankailla tutkittiin eniten kuusen luontaista uudistumista sekä kuusen istutusta (Kuva 4). Myös mustikkaturvekankailla tutkittiin eniten kuusen luontaista uudistamista, mutta verrattain paljon myös männyn kylvöä sekä kuusen- ja männyn istutusta. Puolukkaturvekankailla tutkimus jakaantui lähes tasan männyn kylvön, istutuksen ja männyn luontaisen uudistamisen välille muiden menetelmien osuuden jäädessä pieneksi. Varputurvekankailla tutkittiin lähes yksinomaan männyn luontaista uudistamista ja kylvöä.

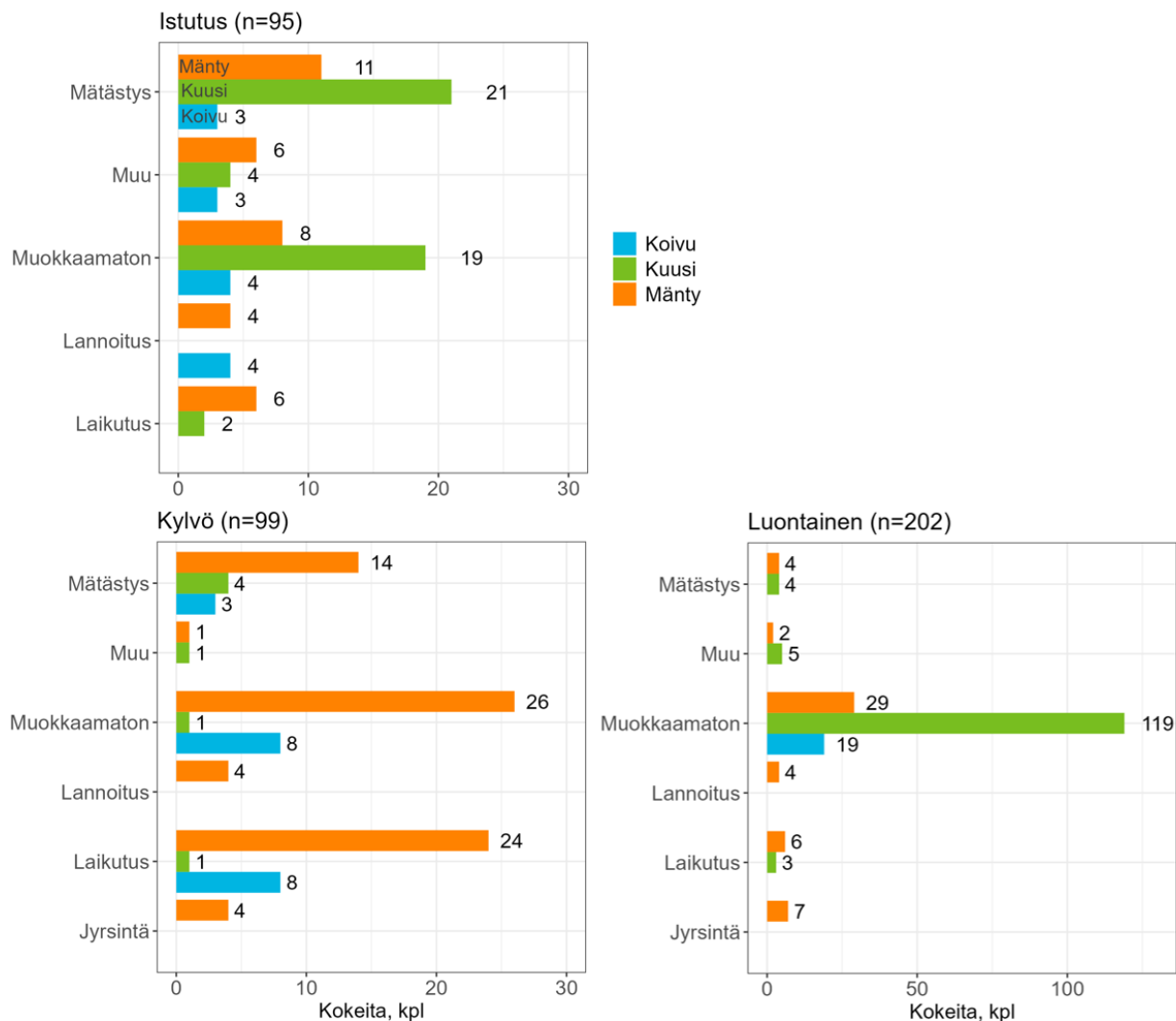


Kuva 4. Koeaineiston kokeiden (kpl) jakautuminen eri turvekangastyyppeihin, uudistamismenetelmiin ja puulajeihin.

Maanmuokkausmenetelmien (sisältäen lannoituksen) jakautuminen eri uudistamismenetelmien välillä on esitetty kuvassa 5. Istutuskokeita oli uudistumisaineistosta yhteensä 95 kpl, joista suurin osa oli kuusen istutusaloja. Kuusen istutusta tutkittiin eniten avohakkuualoilla (24 kpl), joka pääsääntöisesti mätästettiin (13 kpl) tai jätettiin muokkaamatta (5 kpl). Tämän lisäksi kuusta istutettiin suojustuiden alle mätästettyyn maahan (8 kpl) sekä hieskoivuverhopuuston alle muokkaamattomaan maahan (14 kpl). Muu maanpinnankäsittely ("Muu", Kuva 5) käsittää kuusen istutuksen kohdalla kantopuun noston. Männyn istutusten kohdalla käytetyt maanmuokkaustavat jakautuivat tasaisemmin mätästykseen, muokkaamattomuuden ja laikutuksen ja muiden maanmuokkaustapojen ("Muu", Kuva 5), kuten konetallauksen, välillä. "Muu" maanpinnankäsittely sisältää männyn kohdalla myös uudistamisen yhteydessä lannoitettuja ja voimaperäisesti muokattuja koelajoja, kun taas "Lannoitus" kohdassa on uudistamisen yhteydessä lannoitetut, muokkaamattomat kokeet. Kokeita männyn kylvöstä oli aineistosta 68 kpl, joissa enemmistönä oli laikutetut tai muokkaamatta jätetyt koelalat. Kylvön yhteydessä mätästettyjen ja jyritysten koelajojen määrä aineistossa oli pieni. Männyn lisäksi aineistossa tutkittiin rauduskoivun, hieskoivun sekä kuusen kylvöä.

Valtaosalla tutkimuksista luontainen uudistaminen oli sisällytettyä koejärjestelyyn ainakin yhdellä kokeella. Pääpaino oli kuusen luontaisessa uudistamisessa, jossa menetelmät käsittivät suojustuuhakkuun (59 kpl) ja pienaukkohakkuun (20 kpl). Nämä pienaukkohakkuiden uudistamistulokset ovat peräisin kahdelta kokeelta Pohjois-Suomesta sisältäen yhteensä kuusi

erikokoista pienaukkoa toistoinen, mutta niiden taimettumista on tutkittu eri ajankohtina neljässä tutkimuksessa. Aineistoon sisältyi myös uudistumistuloksia koejärjestelyistä, joissa tutkittiin kuusen uudistumista reunametsän siemennyksen avulla avohakkuualalle (18 kpl). Kokeita luontaisesti syntyneestä kuusialikasvoksesta joko hieskoivuylispuuston tai kuusikon (runkoluku > 300kpl/ha) alle oli yhteensä 34 kpl. Männyn luontaisen uudistamisen kentästä eniten oli tutkittu uudistumista siemenpuuhakkuulla (40 kpl). Avohakkuualan uudistumista reunametsän siemennyksellä tutkittiin seitsemällä kokeella. Suurimmassa osassa luontaisen uudistamisen koelohja uudistusala jätettiin täysin muokkaamatta (119 koetta kuusella ja 29 koetta männyllä, Kuva 5). Eri tavalla muokattuja kokeita oli kuusella 12 kpl ja männyllä lähes saman verran kuin muokkaamattomiakin, 23 kpl.



Kuva 5. Koeaineiston kokeiden (kpl) jakautuminen eri uudistamis- ja maanmuokkausmenetelmiin puulajeittain.

Lannoitusta tutkittiin muutamilla kokeilla kaikkien uudistamismenetelmien yhteydessä männyllä ja istutuksen yhteydessä koivulla. Tämän lisäksi yhteensä 56 kokeella oli tutkimuksessa raportoitujen taustatietojen mukaan annettu lannoituskäsittely uudistamisen yhteydessä, vaikka sen vaikutusta ei varsinaisesti tutkittukaan.

3.2. Uudistumisen onnistuminen

Uudistumisen onnistumista eri menetelmillä arvioitiin uudistumisaineiston avulla, joka muodostui koeaineistosta koivun uudistamista sekä siementen itämistä käsittelevien, lyhytkestoisien kokeiden poiston jälkeen 286 kpl (Kuva 1).

3.2.1. Istutus

Istutustaimikoiden tiheys ja laatu

Kuusen istutuskokeista täysin epäonnistuneita (selviytymisprosentti < 25 %) ei ollut lainkaan, mutta viidessä kokeessa istutetuista taimista selviytyi alle 50 % (Kuva 6A). Näistä varsin huonosti onnistuneista istutuskokeista suurin osa oli muokkaamattomaan maahan istutettuja taimikoita. Parhaiten menestyneiden istutusten joukossa olivat mätästetyt koealat sekä Metsäntutkimuslaitoksen 1970-luvulla puolukka- ja mustikkaturvekankaille perustamat ns. H-kulttuuri-kokeet (Huikari 1972, Kaunisto 1985), joissa taimien kasvu pyrittiin maksimoimaan lannoituksella, tehokkaalla kuivatuksella ja voimakkaalla maanmuokkauksella, joka käsitti kanto-puiden noston ja ojamaiden levityksen ("Muu" luokka, Kuva 6A). Myös männyllä istutusten uudistumistulos vaihteli voimakkaasti eri maanmuokkaustapojen välillä (Kuva 7A). Täysin epäonnistuneet istutukset (selviytymisprosentti < 25 %) olivat enimmäkseen muokkaamattomia, kun taas vähintään tyydyttävien (selviytymisprosentti > 50 %) taimikoiden joukossa suurin osa oli voimakkaasti muokattuja.

Kun huomioon otettiin istutustaimien lisäksi myös luontaisesti syntyneet taimet (6B, 7B), uudistaminen onnistui myös istutusaloilla erinomaisesti. Kokonaistaimettumisen perusteella kaikki taimikot täyttivät metsälain kriteerit hyväksyttävälle taimikolle. Kaikista kuusen istutuskokeista (28 kpl) 18 kpl arvioitiin hyvin ja 3 kpl tyydyttävästi uudistuneeksi johtuen hieskoivun suuresta määrästä (40–76 % runkoluvusta). Tyydyttävästi uudistuneet kokeet olivat kaikki muokkaamattomia avohakkuualoja, kun taas hyvälaatuisten joukossa oli eniten mätästettyjä kokeita (8 kpl). Myös hieskoivun alikasvokseksi istutetut kuusentaimet menestyivät vähintään hyväksyttävästi. Kaikki männyn istutusalat (17 kpl) arvioitiin hyvälaatuisiksi, ja myös muokkaamattomat kokeet olivat taimettuneet hyvin.

Istutuksen onnistumiseen vaikuttaneita tekijöitä

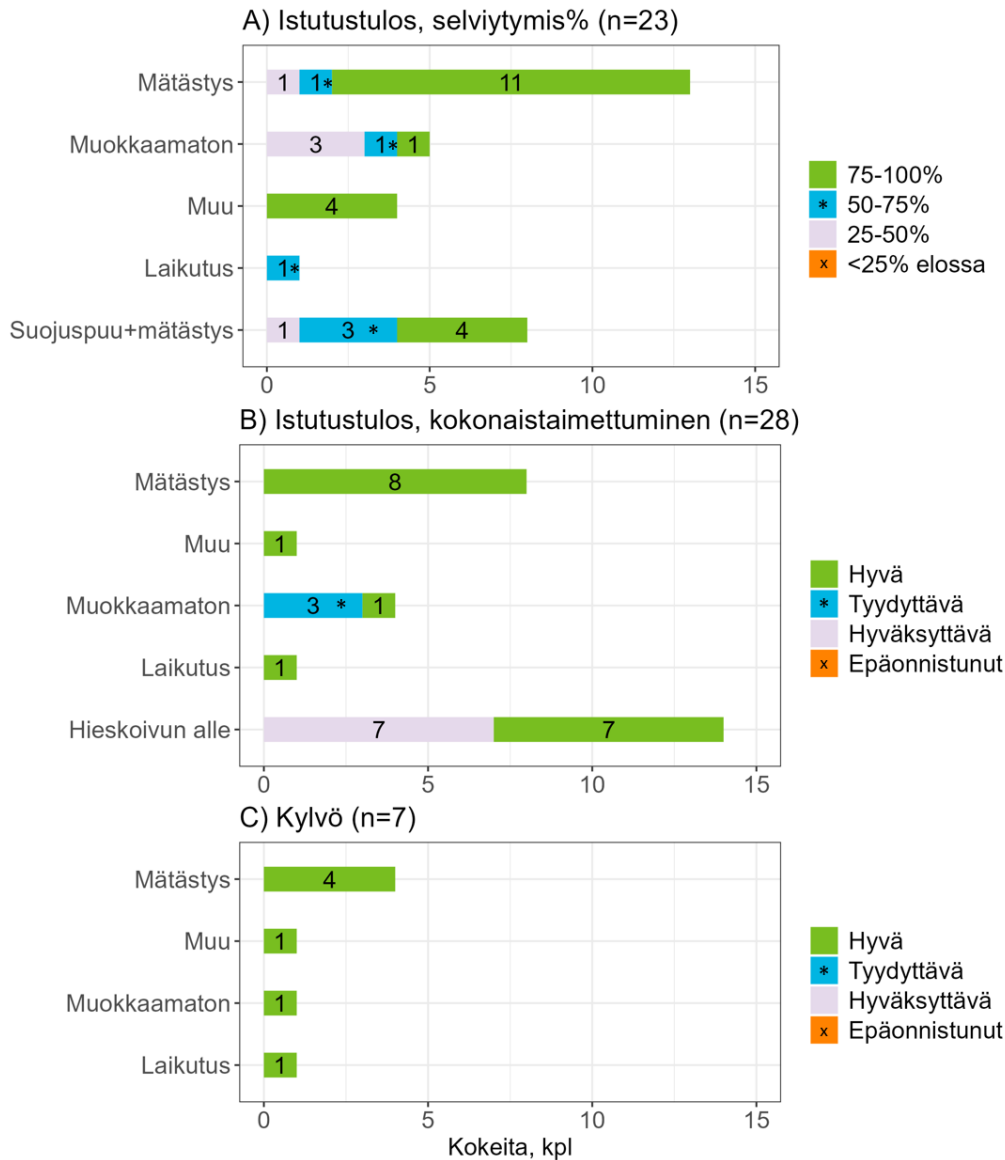
Suurimassa osassa kuusen istutustaimien eloonjäämistä käsittelevistä tutkimuksista raportoitiin taimien kuolleisuuden johtuneen tukkimiehentäin aiheuttamista vaurioista, joita mätästämisen ja suojuspuuston alle istuttaminen vähensivät (Hånell 1993, Moilanen ym. 1995, Holgen & Hånell 2000, Örländer ja Karlsson 2000, Huittinen 2013). Ruotsissa tehdyssä laajassa koesarjassa kuusen istuttaminen mätästettyyn muokkausjälkeen suojuspuuston alle (140 ja 200 kuusen suojuspuurunkoa hehtaarilla) tuotti taimikon, jossa elossa selvinneiden ja vaurioitumattomien taimien osuus samoin kuin taimien pituus oli suurempi kuin avoalojen mätästäimissä.

Kuusen taimia on kokeellisesti istutettu myös alikasvokseksi hieskoivikon alle suoraan muokkaamattomaan pintaan hyvällä menestyksellä (Niemi 1995, Hilli ym. 2003, Niemistö & Poutiainen 2004). Kaksijaksoisen metsän kasvatukseen perustuvassa menettelytavassa kokonaistaloudellisesti parhaimmaksi ajoitukseksi osoittautui kuusen istutus heti koivun

ensiharvennuksen jälkeen, jolloin kuusta kasvatetaan alikasvoksena 10–15 vuotta ennen koivikon päätehakkuuta ja alikasvoksen vapauttamista (Niemi & Poutiainen 2004).

Tukkimiehintäin lisäksi myös halla lisäsi kuusen taimien kuolleisuutta ja vähensi pituuskasvua muokkaamattomilla tai laikutetuilla aloilla. Halla aiheutti myös eritasoisia vaurioita eloonjääneille taimille (Hånell 1993, Holgen & Hånell 2000, Moilanen ym. 2011). Parhaiten menestyneiden kuusenistutusten (taimien eloonjäämisprosentti 90–96 %) joukossa olivat Metsätutkimuslaitoksen 1970-luvulla puolukka- ja mustikkaturvekankaille perustamat ns. ”H-kulttuuri”- eli Hydro-kulttuurikokeet (Kaunisto 1985), joissa taimien kasvu pyrittiin maksimoimaan maanmuokkauksella, lannoituksella sekä erittäin tehokkaalla kuivatuksella. Männyn istutustaimien kuolleisuus oli vähäistä mätästetyillä puolukka- ja mustikkaturvekankaan kokeilla (Pearson ym. 2011, Hytönen ym. 2020, Huittinen 2013, Mannerkoski 1975). Myös H-kulttuurikokeen voimaperäisesti käsitellyillä kokeilla männyn elossa säilyneiden taimien osuus oli korkea (60–87 %), mutta taimet olivat alttiita monilatvaisuutena tai tyvilenkoisuutena ilmeneville kasvuhäiriöille (Kaunisto 1985). Monilatvaisuutta ja oksikkuutta havaittiin myös mustikkaturvekankaan mätästetyillä männynistutusalueella (Huittinen 2013, Moilanen ym. 2011). Laikutuksen havaittiin olevan yhteydessä pienempään istutettujen männyntaimien eloonjäämiseen erityisesti sateisina vuosina (Huittinen 2013, Pearson ym. 2011). Muokkaamattomilla pinnoilla männyntaimet olivat alttiita tukkimiehintäin vaurioille ja sen aiheuttamille kuolemille (Pearson ym. 2011). Myös hirvien aiheuttamia tuhoja raportoitiin istutetuille männyntaimilla (Moilanen ym. 2011, Huittinen 2013, Hytönen ym. 2020). Tuhkalannoitus ei vaikuttanut istutettujen taimien elossapysymiseen tilastollisesti merkitsevällä tavalla (Silfverberg ym. 2010).

Mätästämisen havaittiin lisäävän männyn istutustaimien kasvua muokkaamattomiin koealoihin verrattuna joissakin (Mannerkoski 1975, Kaunisto 1984, Moilanen ym. 2011), muttei kaikissa tutkimuksissa (Pearson ym. 2011, Hytönen ym. 2020). Esimerkiksi Mannerkosken (1975) tutkimuksessa mättäillä kasvaneet männyntaimet olivat kolmen vuoden kuluttua istutuksesta 0,24 m pidempiä kuin muokkaamattomassa maassa kasvaneet, ja Moilanen ym. (2011) tutkimuksessa pituusero oli 14 vuodessa 1,5 m mättäille istutettujen männyntaimien hyväksi. Kuu-sentaimien kasvun lisääntymistä mätästetyillä koealoilla raportoitiin kahdessa tutkimuksessa, joissa pituuserot olivat keskimäärin 0,9 m 14 vuodessa (Moilanen ym. 2011) ja 0,23 m kahdeksassa vuodessa (Holgen & Hånell 2000). Mättäisiin istutetut taimet kasvoivat hieman nopeammin myös suojuvuuston alla verrattuna mätästettyyn avoalaan (pituusero noin 0,26 m kahdeksassa vuodessa, Holgen & Hånell 2000). Nopeammalla pituuskasvulla saattaa olla yhteys istutustaimien suurempaan eloonjäämiseen mätästetyillä pinnoilla, sillä nopeasti kasvat taimet ovat vähemmän aikaa alttiita tukkimiehintäi- sekä hallatuhoille.



Kuva 6. Kuusen uudistumistulos eri viljely- ja maanmuokkausmenetelmillä uudistumisaineistossa: A) Eri maanmuokkaustavoilla käsitellyt istutuskokeet luokiteltuna istutettujen taimien selviytymisprosentin mukaan. B) Eri maanmuokkaustavoilla käsitellyt istutuskokeet luokiteltuna kokonaistaimettumisen perusteella hyviin, tyydyttäviin, hyväksyttäviin ja epäonnistuneisiin taimikoihin. C) Eri maanmuokkaustavoilla käsitellyt kylvökokeet luokiteltuna kokonaistaimettumisen perusteella hyviin, tyydyttäviin, hyväksyttäviin ja epäonnistuneisiin taimikoihin. Hyvä= taimikon tiheys > 2 000 /ha, hieskoivun määrä < 15 %, Tyydyttävä = taimikon tiheys > 2 000/ha, hieskoivun määrä > 15 %, Hyväksyttävä = taimikon kokonaistiheys täyttää metsälain asettamat vaatimukset, Epäonnistunut = taimikon kokonaistiheys ei täytä metsälain vaatimuksia.

3.2.2. Kylvä

Kylvötaimikoiden tiheys ja laatu

Aineisto sisälsi kaksi kuusen kylvötutkimusta mustikka- ja ruohoturvekankailla keskisessä ja pohjoisessa Suomessa (Moilanen ym. 1995, Moilanen ym. 2011), joista aineistoon tuli yhteensä 7 kpl kokeita ja niitä vastaavia uudistumistuloksia (Kuva 6C). Mätästettyyn muokkausjälkeen tehtyjä hajakylvöjä oli eniten (4 kpl) ja ne kaikki onnistuivat hyvin. Myös laikkun

(1 kpl), konetallattuun (luokka "Muu", 1 kpl) ja muokkaamattomaan maahan (1 kpl) tehdyt kuusen kylvöt onnistuivat hyvin.

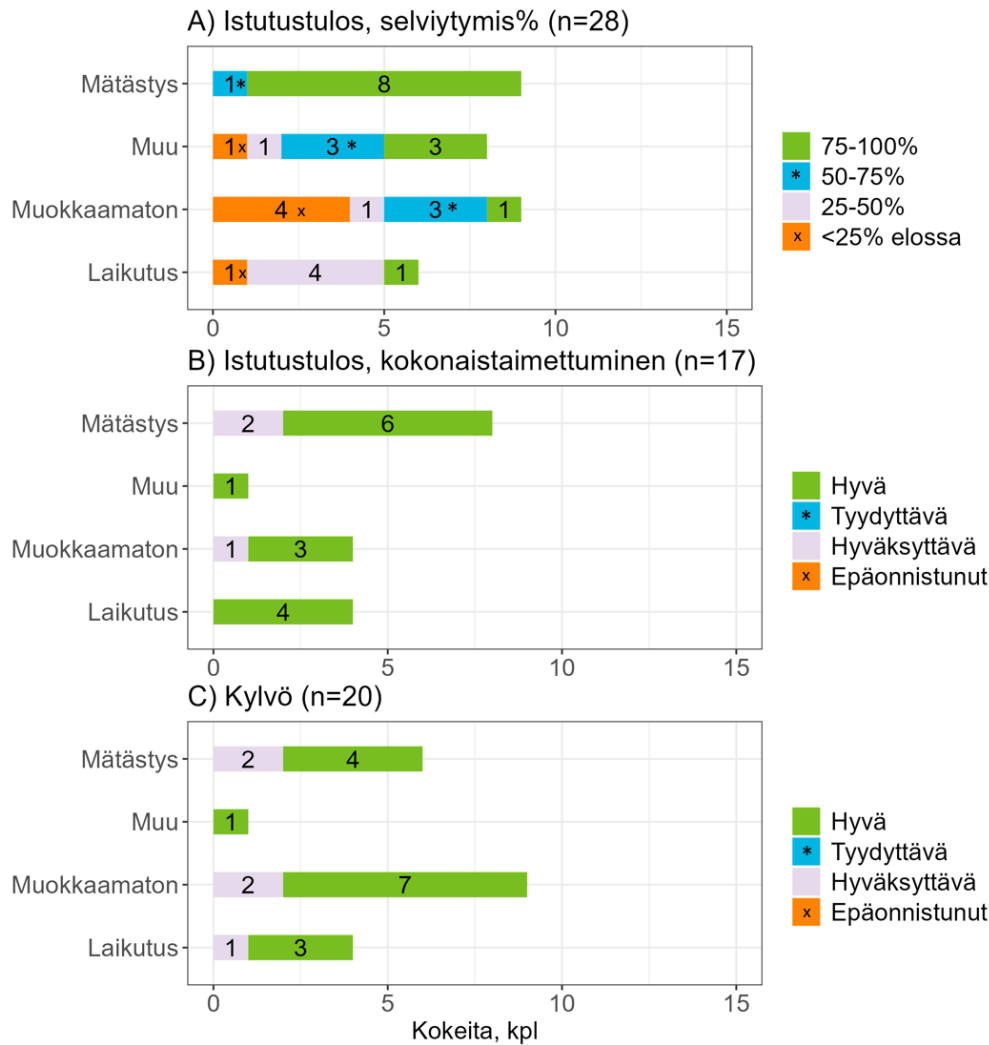
Kaikki männyn kylvökokeet (20 kpl) onnistuivat vähintään hyväksyttävästi (Kuva 7 C). Männyn kylvökokeista suurin osa (13 kpl) oli keskisessä Suomessa sijaitsevia mustikkaturvekankaita. Kylvämällä aikaansaadun taimikon tiheys vaihteli 350–1 850 kasvatuskelpoisen männyntaimen ja kokonaistaimettumista tarkastellessa 2 500–21 000 männyntaimen välillä. Kun otettiin huomioon luontaisesti syntyneet männyn ja kuusen taimet, viittä koetta lukuun ottamatta kaikki ylittivät hyväksi uudistumistulokseksi katsotun 2 000 kpl/ha kokonaistaimimäärän ilman hieskoivusekoitusta. Kylvömänniköiden kohdalla hieskoivun roolia uudistumisessa ei voitu arvioida, sillä hieskoivun määrä uudistusaloilla ilmoitettiin vain yhdessä tutkimuksessa.

Kylvön onnistumiseen vaikuttaneita tekijöitä

Männyn siementen itämistä ja taimien varhaiskehitystä käsittelevät lyhyen aikavälin (enintään viisi vuotta) seurantatutkimukset vahvistavat käsitystä maanmuokkauksen taimettumista parantavasta vaikutuksesta. 1980-luvun alussa perustettujen varpu- ja puolukkaturvekankaiden koekentillä havaittiin, että turvekangasasteelle kehittyneet vanhat ojitusalueet taimettuvat kylväen tai luontaisesti hyvin heikosti ilman maanpinnan käsittelyä (Kaunisto 1984). Jo vähäisen sammalkerroksen rikkominen esimerkiksi potkaisemalla nosti taimettuneiden kylvöpisteiden osuutta ja taimien määrää kaksinkertaiseksi. Laikutuksen, jyrsinän äestyksen tai mätästyksen jäljiltä syntyneet paljaat turve- tai raakahumuspinnat olivat taimettuneet vähintään 2–3 kertaisesti taimettuneiden kylvöpintojen osuudella mitattuna.

Maanpinnan käsittelymenetelmän vaikutus taimettumiseen voi riippua sääolosuhteista. Mustikka- ja puolukkaturvekankailla tehdyissä kokeissa laikutuksen havaittiin parantavan männyn itämistulosta kuivissa olosuhteissa, ts. kun turpeen vedenpinta oli alhaalla tai sademäärät jäivät vähäisiksi (Vartiainen 2014, Saarinen ym. 2013). Mätästäminen puolestaan oli taimettumisen kannalta edullisempaa sateisina tai sateisuudeltaan keskimääräisinä vuosina (Saarinen ym. 2013). Varputurvekankaalla tehdyssä tutkimuksessa vertailtiin itämistulosta jyrskyillä ja laikutetuilla uudistusaloilla (Helenius & Saarinen 2013). Kahden kasvukauden seurannassa taimettuneiden kylvökohtien osuus vaihteli 50–85 % välillä. Kuivina kesinä jyrshintälaikuissa siementen itäminen jäi vähäiseksi, kun taas laikuissa sirkkataimet olivat alttiina korkeasta vedenpinnan tasosta johtuville ongelmille. Taimettumisen kannalta jyrshintä ja laikutus eivät siten eronneet toisistaan. Märissä olosuhteissa jyrshintä voi olla laikuttamista parempi maanmuokauskäsittely, kun taas kuivemmissä sääoloissa kuohkea jyrshintä jälki kuivuu liikaa laikkupintojen taimettuessa paremmin.

Myös turpeen vedenpinnantasoinen vaikuttaa kylvön onnistumiseen ja jo orastuneiden sirkkataimien pituuskasvuun. Siementen itämisen ja ensimmäisen kesän aikaisen orastumisen näkökulmasta olisi suotavaa, että vedenpinnantasoinen olisi kevätkesän aikana 10–20 cm:n tasolla, mutta laskisi heinä-elokuussa vähintään 25–30 cm:n tasolle silloin, kun maanpinnan käsittelymenetelmänä on käytetty laikutusta (Saarinen ym. 2013). Viiden vuoden ikäisissä paljaan turvepinnan kaivurilaikkuihin syntyneissä taimikoissa on havaittu taimien pituuden olevan suurimmillaan, kun sekä kasvukausien korkein vedenpinta että mediaanivedenpinta oli 25–30 cm:n tasolla. Tätä syvemmällä mediaanivedenpinnan tasoilla taimien pituudet pienenevät (Saarinen ym. 2013).



Kuva 7. Männyn uudistumistulos eri viljely- ja maanmuokkausmenetelmillä uudistumisaineistossa. A) Eri maanmuokkaustavoilla käsitellyt istutuskokeet luokiteltuna istutettujen taimien selviytymisprosentin mukaan. B) Eri maanmuokkaustavoilla käsitellyt istutuskokeet luokiteltuna kokonaistaimettumisen perusteella hyviin, tyydyttäviin, hyväksyttäviin ja epäonnistuneisiin taimikoihin. C) Eri maanmuokkaustavoilla käsitellyt kylvökokeet luokiteltuna kokonaistaimettumisen perusteella hyviin, tyydyttäviin, hyväksyttäviin ja epäonnistuneisiin taimikoihin. Hyvä= taimikon tiheys > 2 000 /ha, hieskoivun määrä < 15 %, Tyydyttävä = taimikon tiheys > 2 000/ha, hieskoivun määrä > 15 %, Hyväksyttävä = taimikon kokonaistiheys täyttää metsälain asettamat vaatimukset, Epäonnistunut = taimikon kokonaistiheys ei täytä metsälain vaatimuksia.

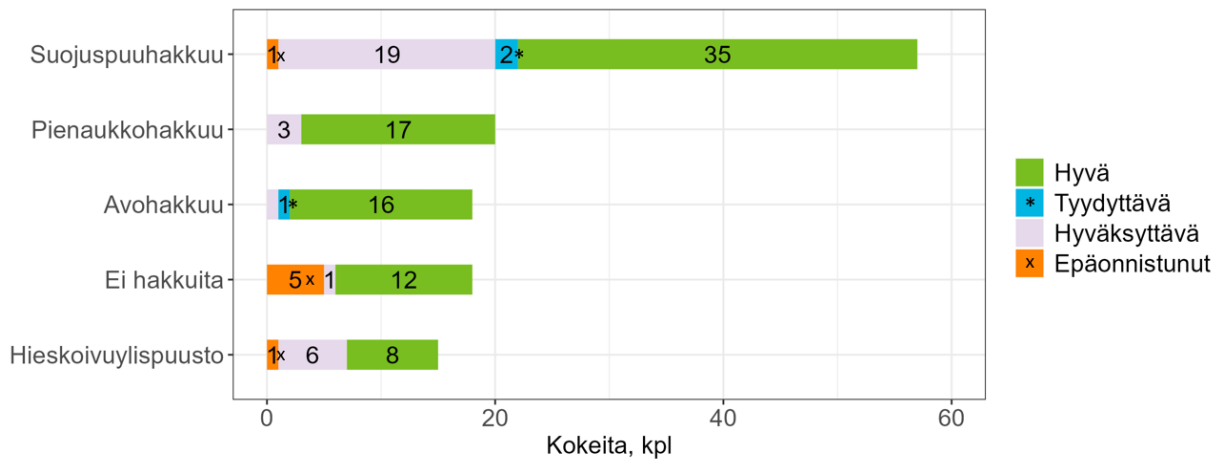
Uudistumisaineiston männyn kylvökoealat onnistuivat suurimmaksi osaksi hyvin ja kaikki vähintään hyväksyttävästi, kun mukaan luetaan myös luontaisesti syntynyt taimiaine. Esimerkiksi keskisessä ja pohjoisessa Suomessa suoritetuissa kylvökokeissa puolukka- ja mustikkaturvekankaan avohakkuualoilla saavutettiin kaikilla koekentillä muokkaustavasta riippumatta hyvä uudistumistulos kehityskelpoisten männyn tai kuusen taimitiheytenä mitaten (Hytönen ym. 2020, Moilanen ym. 2011). Eniten männyntaimia syntyi konetallauksen jälkeen ja vähiten mätästettyyn ja laikkukylvettyyn maahan. Kokonaistaimettumista tarkastellessa voidaan todeta kaikkien koealojen uudistuneen erinomaisesti muokkaustavasta riippumatta, mutta molemmissa tutkimuksissa kylvötaimien osuus taimikon kehityskelpoisista taimista oli varsin vähäinen muilla kuin mätästetyillä koealoilla. Mätästämisen myös lisäsi jonkin verran kylvetyn männyn kasvua, mutta lisäsi myös hieskoivun määrää avohakatuilla uudistusaloilla (Hytönen ym. 2020, Moilanen ym. 2011). Tuhkalannoituksella muokkaamattomaan maahan ei ollut selvää vaikutusta kylvökoealojen taimettumiseen, joskin eniten puutuhkaa saanut koeruutu taimettui huomattavan voimakkaasti (Silfverberg ym. 2010). Männyn uudistuminen oli kuitenkin riittävää myös kontrolliruuduilla, joita ei lannoitettu tai muokattu lainkaan.

Kuusen kylvöt mätästetyille, muokkaamattomalle, konetallatulle ja laikkupinnalle onnistuivat hyvin. Muokkaamattomilla koeruuduilla tämä johtui pääosin luontaisesti syntyneistä taimista kylvötaimien menestymisen ollessa heikkoa (Moilanen ym. 2011). Yhtenä osatekijänä kuusen kylvön onnistumisessa lieneekin uudistamisajankohtaan osuneet erinomaiset kuusen siemenvuodet, jotka täydensivät kylvösiementä.

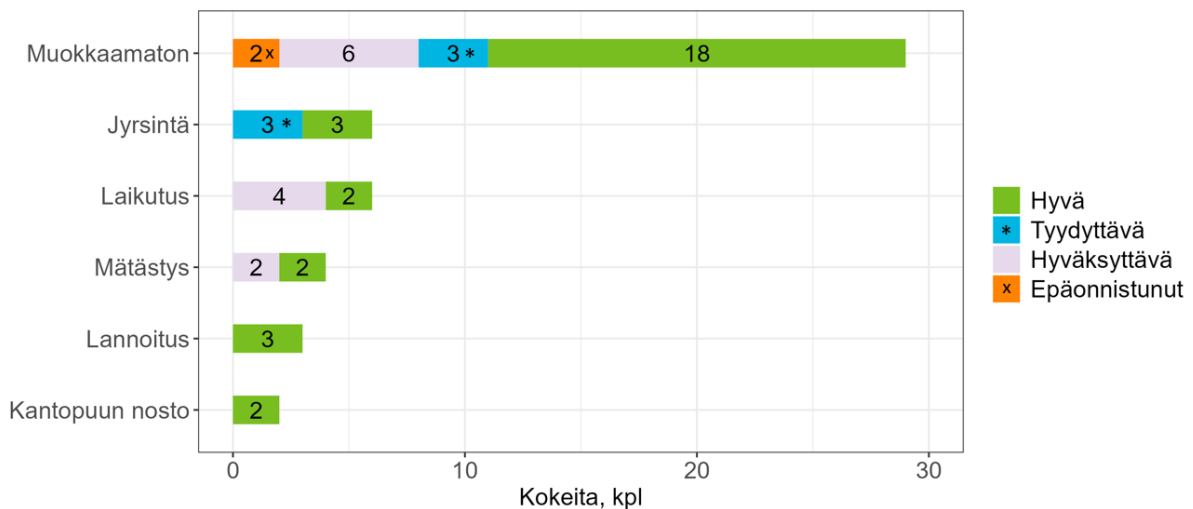
3.2.3. Luontainen uudistaminen

Luontaisesti uudistettujen taimikoiden tiheys ja laatu

Kuusen luontaisen uudistamisen onnistumista tarkasteltiin suhteessa eri hakkuutapoihin, sillä suurin osa kuusen luontaisen uudistamisen kokeista oli muokkaamattomia (Kuva 8). Männyn kohdalla taas ylivoimaisesti käytetyin hakkuutapa oli siemenpuuhakkuu tai siemenpuuhakkuuta seurannut ylispuiden poisto (38 koetta), mutta uudistumisaineistossa oli myös avohakattuja (7 kpl) ja epätyypilliseen siemenpuutiheyteen (>300 kpl/ha) jätettyjä kokeita (5 kpl). Männyn luontaisen uudistamisen onnistumista tarkasteltiin eri maanmuokkaustavoilla (Kuva 9). Sekä kuusella että männyllä luontaisen uudistamisen kokeet tuottivat pääasiassa hyviä ja hyväksyttäviä taimikoita. Epäonnistuneita taimikoita oli yhteensä 7 kpl kuusen kokeista, jotka olivat valtaosin tiheän kuusikon (runkoluku > 300 kpl/ha) alle luontaisesti syntyneitä alikasvoksia ("Ei hakkuuta", Kuva 8). Valtaosa kuusen luontaisesti uudistuneista taimikoista arvioitiin uudistumistulokseltaan hyväksi. Erikoistapauksena voidaan pitää avohakattuja uudistusaloja, jotka on jätetty uudistumaan reunametsän siemennyksen avulla (18 kpl). Nämä kokeet olivat ravinteisuudeltaan mustikka- ruohoturvekankaita, jotka olivat uudistuneet hyvin pääasiassa kuuselle ja hieskoivulle. Myös männyn luontaisesti uudistuneista taimikoista (50 kpl) valtaosa oli uudistunut hyvin maanmuokausmenetelmästä riippumatta (Kuva 9). Epäonnistuneita oli kaksi muokkaamatonta koetta, joissa molemmissa siemenpuuasento oli jäänyt epätyypillisen tiheäksi (240 ja 547 kpl/ha).



Kuva 8. Kuusen luontaisen uudistamisen uudistumistulos (yhteensä 128 kpl) eri hakkuukäsittelyillä. Hyvä= taimikon tiheys > 2 000 /ha, hieskoivun määrä < 15 %, Tyydyttävä = taimikon tiheys > 2 000/ha, hieskoivun määrä > 15 %, Hyväksyttävä = taimikon kokonaistiheys täyttää metsälain asettamat vaatimukset taimikon tiheydelle, Epäonnistunut = taimikon kokonaistiheys ei täytä metsälain vaatimuksia.



Kuva 9. Männyn luontaisen uudistamisen uudistumistulos eri maanmuokkauskäsittelyillä (yhteensä 50 kpl). Hyvä= taimikon tiheys > 2 000 /ha, hieskoivun määrä < 15 %, Tyydyttävä = taimikon tiheys > 2 000/ha, hieskoivun määrä > 15 %, Hyväksyttävä = taimikon kokonaistiheys täyttää metsälain asettamat vaatimukset, Epäonnistunut = taimikon kokonaistiheys ei täytä metsälain vaatimuksia.

Kuusen luontaisen uudistamisen onnistumiseen vaikuttavat tekijät

Uudistaminen suojuspuuhakkuulla mustikka- ja ruohoturvekankailla on onnistunut suomalaisten ja ruotsalaisten tutkimusten mukaan hyvin (Immonen-Joensuu 1987, Hånell 1993, Holgen & Hånell 2000, Moilanen ym. 2011). Eri runkotiheyyteen hakatut (150–210 kpl/ha) suojuspuualat uudistuivat 8–15 vuoden aikajänteellä erinomaisesti tuottaen tuhansia kuusen- ja koi-vuntaimia (Hånell 1993, Holgen & Hånell 2000, Örlander & Karlsson 2000, Moilanen ym. 2011). Niissä kokeissa, joissa suojuspuuhakkuuta tutkittiin eri suojuspuutiheyksillä, todettiin 80–160 rungon suojuspuutiheys parhaimmaksi eri kokoisen kuusitaimiaineksen kasvun

näkökulmasta. Tiheämmässä tai harvemmassa suojuspuutiheydessä sekä kokonaan avohakkuualalla vapautettujen taimien kasvuun lähtö on ainakin kahdeksan ensimmäisen hakkuun jälkeisen kasvukauden aikana hitaampaa. Erilaisista vaurioista kuten liian voimakkaasta valaistusmuutoksesta sekä tukkimiehintäin syönnöksistä kärsineiden taimien osuus on ollut pienimmillään noin 160 rungon suojuspuutiheydessä (Örlander & Karlsson 2000, Holgen & Hånell 2000).

Aineistossa oli myös joitakin epätyypillisempään tiheyteen jätettyjä suojuspuualoja, joiden suojuspuutiheys vaihteli 300–1 090 kpl/ha välillä (Immonen-Joensuu 1987). Tässä aineistossa ne kuuluivat luokkaan ”Ei hakkuita”, joissa riittämättömästi uudistuneiden kokeiden määrä oli suurin. Lisäksi ylitieheiden suojuspuualojen taimitiheys oli usein alhainen verrattuna metsälain vaatimukseen, mutta tässä katsauksessa sovelletut pituus- ja taimitiheyskriteerit hyväksyttävästi uudistuneille varttuneille taimikoille kuitenkin useimmiten täyttivät.

Täystiheänkin kuusikon alla esiintyy usein mustikka- ja ruohoturvekankailla kuusialikasvosta, jonka rooli uudistumisessa voi olla merkittävä (Pulliainen 2019, Moilanen ym. 2011, Hökkä ym. 2011). Näiden alikasvosten vapauttaminen avo- tai pienaukkohakkuulla saa usein aikaan taimikoita, jotka sellaisenaan tai hakkuiden jälkeen luontaisesti syntyneellä taimiaineksella täydennettynä ovat kasvatuskelpoisia. Hakkuiden jälkeisten ensimmäisten vuosien aikana tämän taimiaineksen määrä tyypillisesti vähenee muuttuneiden valaistusolosuhteiden ja lisääntyneen paahteen seurauksena. Kuolleisuus kohdistuu tällöin erityisesti pieniin, alle 20 cm:n kokoihin taimiin (Örlander & Karlsson 2000). Myös tukkimiehintäi on todettu merkittäväksi alikasvoskuusten taimikuolemien aiheuttajiksi, vaikka suojuspuusto vähentääkin tukkimiehen syönnin aiheuttamaa taimikuolleisuutta merkittävästi (Örlander & Karlsson 2000, Holgen & Hånell 2000).

Millään tämän aineiston suojuspuuasentoon hakatuilla, luontaisen uudistamisen koelaloilla ei ole suoritettu maanmuokkaustoimenpiteitä. Sen sijaan aineistossa on maanmuokkauksella, enimmäkseen mätästyksellä käsiteltyjä, avohakattuja koelaloja, joita uudistettiin reunametsän siementämisen avulla (Moilanen ym. 1995, 2011). Tällöin uudistumisen kannalta tärkeäksi tekijäksi muodostui uudistamisalan koko: esimerkiksi Pohjois-Karjalassa, Kainuussa ja Lapissa ohutturpeisten korpiojitusten avohakkuualoilla uudistamisala oli reunametsäsiemennyksen avulla taimettumista ajatellen liian suuri, jolloin taimettuminen painottui uudistusalan reunoille (Moilanen ym. 1995). Näillä koelaloilla mätästys hieman nopeutti uudistusalan taimettumista. Myös voimakkaasti kuivatettujen ja muokattujen sekä lannoitettujen H-kulttuurikokeiden avohakatuilla koelaloilla luontaista taimettumista kuuselle tapahtui niin paljon, että muiden uudistamistoimenpiteiden (lannoitus, viljely) todettiin olleen tarpeettomia riittävän uudistamisen kannalta (Kaunisto ym. 1985). Uudistamistulosta parantaa muokkauksen ajoittuminen runsaiden siemenvuosien yhteyteen (Moilanen ym. 1995, Moilanen ym. 2011). Olosuhteissa, joissa on ennen hakkuita syntynyt runsaastikin alikasvosta, ei maanmuokkauksella useinkaan saavutettu mitään etua uudistumista ajatellen. Päinvastoin kevytkin maanmuokkaus vaikeutti uudistumista tuhoamalla jo kasvupaikalle vakiintunutta, kehityskelpoista taimiainesta (Hökkä ym. 2012, Moilanen ym. 2011)

Reunametsän siemennykseen tähtäävillä, avohakatuilla ja muokatuilla koelaloilla myös hieskoivun luontainen taimettuminen oli erittäin runsasta tuottaen useiden kymmenien tuhansien taimien hehtaariitiheyden (Kaunisto 1985, Moilanen ym. 1995, Moilanen ym. 2011). Latvialaisessa tutkimuksessa luontaisesti syntyneitä tervalepän ja hieskoivun taimia löydettiin

runsaasti runsasravinteisilta ja märiltä avohakkuualoilta, kun taas kuusi esiintyi pääasiassa keskivinteisillä ja kuivemmilla (vedenpinnan taso 10–80 cm) koealoilla (Ruseckas ym. 2015).

Hieskoivuylispuuston alle luontaisesti syntyneet alikasvokset ovat osa kuusen luontaisen uudistamisen kenttää. Niiden yleisyyttä vanhoilla ojitusalueilla tutkittiin Etelä-, Keski- ja Pohjois-Pohjanmaalla tehdyssä laajassa inventointitutkimuksissa (Seppälä & Keltikangas 1978). Tähän aineistoon luetut koealat olivat 35 vuotta aikaisemmin ojitettuja hieskoivuvaltaisia metsiä, jotka luonnontilaisina edustivat ruohoisia ja varsinaisia saranevoja sekä vastaavia rämeitä ja korpia eli ns. sekatyypin puustoisia soita. Kehityskelpoisia havupuutaimikoita oli kahdella kolmasosalla koealoista erityisesti Etelä- ja Keski-Pohjanmaalla. Puolukkaturvekankaan viljavuustason ojitusalueilla noin kolmanneksella ja mustikkaturvekankailla lähes puolella oli pelkääntään kuusen taimia vähintään 2000 kpl/ha (Seppälä & Keltikangas 1978). Hieskoivuverho puuston alla kasvaneet, luontaisesti syntyneet mustikka- ja ruohoturvekankaiden alikasvoskuusikot myös toipuvat ylispuiden poistosta verrattain nopeasti (Saarinen 1996, Heikurainen 1985). Ylispuiden poiston aiheuttama kuusikon pituuskasvun taantuminen kesti muutaman vuoden, jonka jälkeen puuston kasvu ylitti vielä alisteisessa asemassa olevien verrokkikuusten kasvun.

Paksuturpeisilla ja ”nevaista” alkuperää (nevat, nevarämeet ja nevakorvet) olevilla metsäojitusalueilla ilmenee usein neulasten pääravinteiden suhteen epätasapainoisia ravinnesuhteita eli useimmiten liian alhaisia kaliumpitoisuuksia typpipitoisuuteen verrattuna. Alikasvoksia hyödynnettäessä ja niitä vapautettaessa epätasapaino voi kärjistyä ja edellyttää lannoitusta. Lannoituksen vaikutuksesta alikasvosten elpymiseen ja kasvuun on saatu rohkaisevia tuloksia 30–40 vuoden ikäisillä II-typin mustikkaturvekankailla, joiden kaliumin puutteesta kärsivät alikasvoskuuset paransivat pituuskasvuun 1,2–2,5-kertaisiksi lannoittamattomiin verrattuna (Moiilanen & Issakainen 2011).

Ojitettujen suometsien jatkuvaan kasvatukseen liittyviä, luontaista uudistamista käsitteleviä tutkimuksia on toistaiseksi julkaistu 5 kpl. Kyseiset julkaisut ovat samaan kahden koekentän koesarjaan ja sen kymmenen vuotta kestäneeseen seurantaan liittyviä tutkimusraportteja (Hökkä ym. 2011, Hökkä ym. 2012, Hökkä & Mäkelä 2014, Pulliainen 2018, Hökkä & Repola 2018), jotka käsittelevät ruoho- ja mustikkaturvekankaiksi muuttuneiden ojitettujen korpikuusikoiden pienaukkojen (läpimitta 10–25 m) ja pienten avohakkuualojen (kooltaan 0,25–0,37 ha) luontaista taimettumista ja taimikon kehitystä. Nykyinen metsälaki määrittelee pienaukko-hakkuun jatkuvapeitteiseksi metsien käsittelytavaksi, mikäli pienaukot ovat kooltaan enintään 0,3 ha. Näin ollen koejärjestelyn avohakkuuaukot voidaan tulkita myös nykyisen lainsäädännön sallimiksi suurimmiksi mahdollisiksi pienaukoiksi.

Kaikki kyseisen koesarjan pienaukot uudistuivat hyvin. Niillä oli paljon alikasvosta ennen hakkuuta, jonka määrä väheni hakkuuden jälkeen, mutta vastaavasti uutta ainesta syntyi erittäin runsaasti kaiken kokoisilla pienaukoilla (Hökkä ym. 2011). Avohakkuualoilla uudistuminen oli vähäisempää ja taimimäärät jäivät alhaisiksi voimakkaan pintakasvillisuuden rehevöitymisen takia (Hökkä & Repola 2018). Myös koivuja oli syntynyt runsaammin kuin pienaukoilla, mutta niiden määrä ei kuitenkaan ollut ongelmaksi kuusitaimikon kehitykselle (Hökkä & Repola 2018). Kun koivut lasketaan mukaan runkolukuun, nämäkin uudistusalat täyttivät metsälain vaatimukset hyväksyttävästi uudistuneesta taimikosta.

Pienaukon koko vaikutti merkittävästi kuusentaimien kasvuun. Vuosikymmen hakkuun jälkeen kuusen taimet olivat pienaukon koon mukaan vaihdellen keskimäärin 61–102 cm pituisia

siten, että pituus lisääntyi aukon koon kasvaessa. Taimien vuotuinen pituuskasvu oli pienimmillä pienaukoilla noin 80 % suurimpiin verrattuna ja ero kasvussa lisääntyi ajan kuluessa. Avohakkuualalla taimien keskipituus oli sama kuin kookkaimmalla pienaukollakin, joten aukkojen koon kasvaessa pituus ei kasvanut suoraviivaisesti (Hökkä & Repola 2018).

Männyn luontaisen uudistamisen onnistumiseen vaikuttavat tekijät

Männyn uudistumista siemenpuuhakkuulla on tutkittu sekä muokkaamattomilla että laikuteuilla, jyrskyillä tai mätästetyillä koealoilla. Puolukaturvekankailla ja varputurvekankailla suoritettujen pitkäaikaiskokeiden mukaan muokkaus, erityisesti mätästys, on jossain määrin lisännyt kehityskelpoisten taimien määrää sekä lisännyt männyn osuutta (Hökkä ym. 2015, Hytönen ym. 2019). Muokkaus on myös parantanut taimikon tilajakaumaa eli lisännyt taimettumista niissä uudistusalan osissa, jossa taimettumista olisi muuten tapahtunut vähiten (Saarinen ym. 2002). Samalla kuitenkin hieskoivun taimimäärät ovat nousseet kaikissa kokeissa rajusti. Esimerkiksi laikutus lisäsi Parkanossa tehdyssä kokeessa männyn kehityskelpoisia taimia 600 taimesta 1 600 taimeen, mutta samalla hieskoivun määrä kaksinkertaistui yli 15 000 taimeen hehtaarilla (Hytönen ym. 2019). Uudistamisveloitteen mukainen taimitiheys saavutettiin kuitenkin kaikilla koealoilla myös muokkaamattomilla ruuduilla. Hieskoivun määrään uudistusosalalla vaikuttavat voimakkaasti metsikön uudistamista edeltäneen puuston puulaajuus, sillä hieskoivuvaltaisia metsiä uudistettaessa vesominen lisää koivuntaimien määrää maanmuokkauksesta riippumatta (Saarinen ym. 2002). Lyhyen tarkastelujakson tutkimuksessa (Kaunisto 1984) todettiin jyrynnän parantavan männyn taimettumista siemenpuuhakkuualalla ja uudistamisen onnistuvan huonosti ilman maanpinnankäsittelyä. Maanmuokkauksella ei ollut vaikutusta männyn pituuskasvuun luontaisen uudistamisen koekentillä (Hytönen ym. 2019, Hytönen ym. 2020).

Männyn luontaisen uudistamisen aineistossa 7 kpl kokeista oli avohakattuja. Ne kaikki olivat uudistuneet riittävästi reunametsäsiemennyksen avulla ja luokiteltiin tässä tutkimuksessa laadultaan hyväksi (Kaunisto 1985, Silfverberg ym. 2010). Tuhkalannoituksella ei saatu männyn luontaista uudistumista edistettyä, ja taimettuminen oli riittävää kaikilla tuhkakäsittelyillä sekä lannoittamattomalla kontrollilla (Silfverberg ym. 2010).

Rahkasammalpintojen suurta peittävyyttä uudistusosalalla pidetään tekijänä, joka edistää varpu- ja puolukaturvekankaiden taimettumista (kirjallisuuskatsaukset Kaunisto & Päivänen 1985 sekä Saarinen 1996 viitteineen). Rahkasammalpinnot taimettuivat männyn siemenpuualoilla pääsääntöisesti riittävästi myös ilman muokkausta, mutta vakiintuneen taimimateriaalin määrässä oli suurta vaihtelua, eikä rahkasammalten esiintyminen aina taannut riittävä taimettumista (Saarinen ym. 2002). Myös Immonen-Joensuun (1987) mukaan vakiintunutta männyn taimiainesta (> 10 cm) oli männyn luontaisen uudistamisen koealoilla rahkasammalpinnoilla vain vähän. Huonosti taimettuvina pidetyillä karhusammal-, kynsi- ja seinäsammalpinnoilla vakiintunutta taimiainesta oli puolestaan melko runsaasti. Muokkauksella oli eniten vaikutusta kuivien turvekangaspintojen (seinä- ja kynsisammalpintojen) taimettumiseen. Jyrynnässä taimet keskittyivät vakopintoihin, mikä viittaa siihen, ettei jyryntä maanmuokkauksittelynä tuota lisäarvoa verrattuna esimerkiksi laikuttamiseen (Saarinen ym. 2002).

4. Tulosten tarkastelu

4.1. Vanhojen turvekankaiden metsänuudistamisen kirjallisuuskenttä ja tutkimusaukot

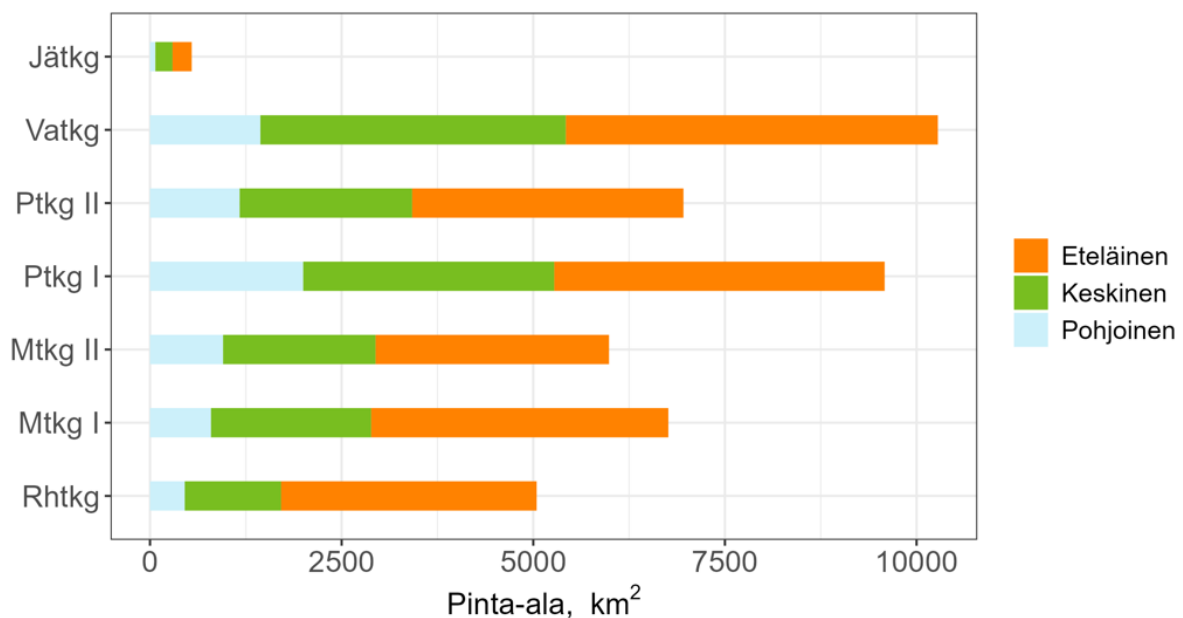
Tässä tutkimuksessa etsittiin systemaattisen kirjallisuuskatsauksen menetelmin mahdollisimman laajasti vanhojen ojitusalueiden metsänuudistamista käsittelevät tutkimusraportit, joista koottiin tutkimusaineisto erittelemällä koeasetelman koe-, käsittely- ja kasvupaikkatyyppiyhdistelmät ("kokeet") ja niitä vastaava uudistumistulos. Yksittäisten koelohjen uudistumistuloksia raportoivat tutkimukset, joita oli yhteensä 6 kpl, kattoivat lähes 40 % kokeiden kokonaismäärästä. Vastaavasti suuren määrän toistoja sisältäneet tutkimukset saattoivat raportointitavasta riippuen tyypistyä vain muutamaaan uudistumistulokseen (esim. Seppälä & Keltikangas 1978). Tämän vuoksi tässä tutkimuksessa koottu aineisto ei tuota täysin vertailukelpoista kuvaa eri tutkimusten laajuudesta. Vanhojen turvemaiden metsänuudistamista käsittelevä tutkimuskenttä on hajanainen ja kivennäismaiden metsänuudistamistutkimukseen verrattuna varsin suppea, joten tässä tutkimuksessa koottu aineisto tuottaa kuitenkin kvantitatiivisen kokonaiskäsityksen siitä, mitä eri menetelmiä on tutkittu, miten tutkimus on painottunut eri kasvupaikkojen ja menetelmien välillä sekä siitä, miten eri uudistamismenetelmillä aikaansaatiiin hyväksyttävä taimikko. Tutkimuksessa tunnistetut tutkimustarpeet on luetteloitu taulukossa 5.

Taulukko 5. Tässä tutkimuksessa tunnistetut tutkimustarpeet vanhojen ojitusalueiden uudistamistutkimuksen suuntaamiseksi.

Tutkimustarpeet	
1) Mäntyvaltaisten suometsien uudistaminen	Erityisesti luontainen uudistaminen pohjoisilla varpu- ja puolukkaturvekankailla, sekä maanmuokkauksen käyttö uudistamisen yhteydessä. Männyin pitkäaikaiset kylvötutkimukset puolukkaturvekankailla.
2) Jatkuvan kasvatuksen menetelmät	Erityisesti männyin uudistamiseen soveltuvat, esim. kaistalehakuu, männyin ylispuukasvatus
3) Tuhkalannoituksen vaikutukset uudistamiseen ja alikasvosten syntyyn	II-tyyppin paksuturpeiset kohteet, erityisesti puolukkaturvekankaat
4) Vaihtoehtoiset maanmuokkausmenetelmät	Kääntömätästys, jyrshintä, sekä näiden vesistövaikutukset
5) Inventaariotutkimukset	Käytännön metsänuudistamisessa käytetyt menetelmät ja niiden onnistuminen eri kasvupaikkatyypeillä
6) Pitkäaikais- ja pitkäikäistutkimukset	Vuosittainen seuranta 3–5 vuotta, loppumittaus 10 vuotta hakkuista. Erityisesti pitkäaikaiset männyin kylvötutkimukset.
7) Eri ympäristökijöiden vaikutukset uudistumiseen	Vedenpinnantasot eri uudistamis- ja maanmuokkausmenetelmien yhteydessä, taimettuvan pinnan ominaisuudet

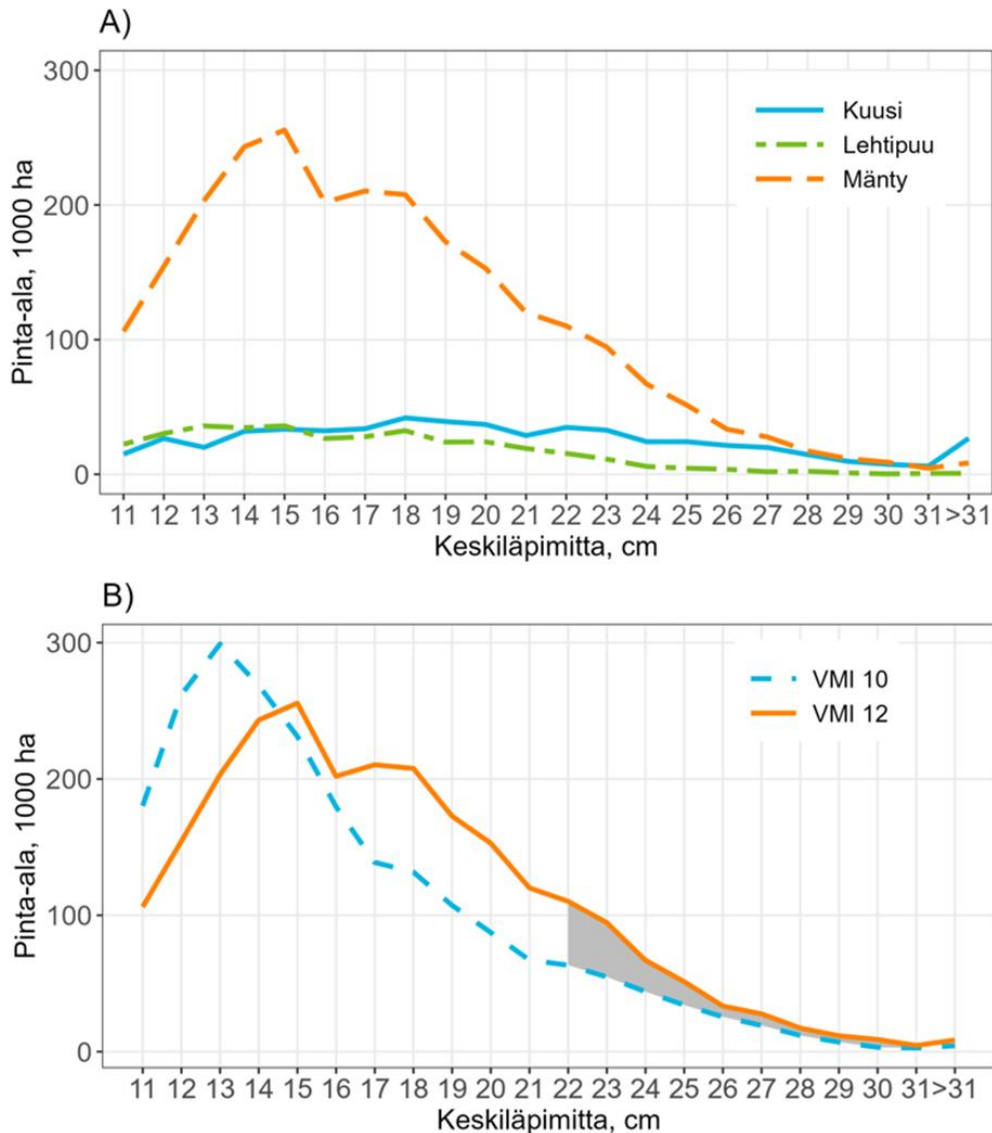
Systemaattisen kirjallisuuskatsauksen menetelmin löydettiin 39 sisältökriteerit täyttävää tutkimusraporttia, jotka kattoivat yhteensä 396 koetta. Kirjallisuushakujen suhteellisen hyvästä kattavuudesta ja hakulausekkeiden toimivuudesta kertoo se, että lähdeluetteloiden läpikäynnin tuotti vain kuusi uutta tutkimusraporttia. Vertaisarvioimattomat artikkelit ja opinnäytetyöt

muodostivat suhteellisen suuren osan (28 %) aineistosta. Aineisto muodostui pääasiassa (35 kpl) suomalaisista tutkimuksista, mikä kuvastaa vanhojen, metsäojitettujen turvemaiden erityislaatuisuutta kasvupaikkana ja niiden sijoittumista erityisesti Suomeen, missä metsäojitusta ja ojitusalueiden tutkimusta on harjoitettu laajimmin. Voidaan siis sanoa, että vanhojen ojitusalueiden uudistamista on tutkittu varsin vähän. Jopa yleisimmin sovelletuista käytännön uudistamismenetelmistä, kuten kuusen istutuksesta ja mätästyksestä, löytyi aineistosta vain 20 koetta, joista suurin osa sijoittui Ruotsiin. Tärkein syy tutkimuksen vähäisyyteen lienee vanhojen ojitusalueiden pieni määrä. Uudisojitustoiminnan huippu ajoittui Suomessa 60- ja 70-luvuille, ja tässä tutkimuksessa rajattiin tarkastelu kasvupaikkoihin, joiden ojituksesta oli kulunut vähintään 20 vuotta. Tämän kriteerin täyttäviä kasvupaikkoja ei tutkimusten teko- vaiheissa ole vielä ollut kovinkaan paljon. Niiden määrä kasvaa kuitenkin voimakkaasti, ja VMI12:n inventointikierröksellä (2014–2018) niitä arvioitiin olevan koko puuntuotantoon soveltuvasta metsämaasta jo noin 20 %, kun vielä 1970-luvulla niitä oli alle 5 %. Tuolloin ojitus-aluemetsät olivat pääsääntöisesti nuoria tai varttuneita kasvatusmetsiä.



Kuva 10. Metsämaan turvekangastyypin pinta-ala eteläisessä, keskisessä ja pohjoisessa Suomessa laskettuna VMI12-aineiston perusteella. Vyöhykejako Metsälain mukainen.

Turvemaiden uudistamistutkimuksen määrä ja suuntautuminen heijastavat paitsi kasvupaikan yleisyyttä myös metsäpolitiikkaa. Metsälaki muuttui vuonna 2014 sallien jatkuvan kasvatuksen menetelmät, kuten pienaukko-, kaistale- ja poimintahakkuut. Tutkimus on tähän asti keskittynyt yhtä pienaukkohakkuuta käsittelevää koesarjaa (esim. Hökkä & Repola 2018) lukuun ottamatta jaksollisen kasvatuksen menetelmiin ja erityisesti avohakattujen alojen uudistamiseen. Alikasvoskuusikon kasvattaminen hieskoivikon alla voidaan myös lukea jatkuvan kasvatuksen kenttään (Saarinen ym. 2020). Sitä käsittelevät tutkimukset ovat kuitenkin pääasiassa keskittyneet alikasvoksen pituuskasvuun, ja itse taimettumista, ja alikasvoksen syntymiseen vaikuttaneita tekijöitä, on tutkittu verrattain vähän.



Kuva 11. A) Kuusi-, lehtipuu- ja mäntyvaltaisten, ojitettujen suometsien pinta-ala (1 000 ha) puuntuotannon metsämaalla keskiläpimittaluokittain Suomessa VMI12:n mukaan sekä B) mäntyvaltaisten ojitettujen suometsien pinta-ala (1 000 ha) puuntuotannon metsämaalla Suomessa keskiläpimittaluokittain VMI10:ssä ja VMI12:ssa. Varjostettu alue kuvaa keskiläpimitaltaan yli 22 cm:n metsien pinta-alan kasvamista noin 10 vuodessa VMI10:stä (vuodet 2004–2008) VMI12:een (vuodet 2014–2017).

Vanhojen ojitusaluiden metsänuudistamisen tutkimuskenttä on painottunut voimakkaasti kuusen ja rehevien kasvupaikkojen uudistamiseen tutkimiseen. Esimerkiksi kuusen luontaisen uudistamisen koealat ruoho- ja mustikkaturvekankailla kattoivat yhdessä lähes kolmasosan (129 koetta 396 kokeesta) raportoidusta tutkimuksesta. Tyypillisesti mäntyvaltaiset varpu- ja puolukkaturvekankaat ovat kuitenkin yleisimmät turvekangastyypit kattaten 19 % ja 38 % kaikkien metsämaan ojitettujen suometsien kokonaisalasta Suomessa (Kuva 10). VMI12:n mukaan mäntyvaltaisten suometsien pinta-ala oli 2,7 milj. ha, mikä on moninkertainen määrä kuusivaltaisiin (0,7 milj. ha) ja lehtipuuvaltaisiin (0,4 milj. ha) metsiin verrattuna (Kuva 11 A). Tämän lisäksi mäntyvaltaiset suometsät lähestyvät nopeasti hyvän metsänhoidon suositusta (Vanhatalo ym. 2019) uudistamisläpimittaa: VMI12:n mukaan keskiläpimitaltaan 22 cm ylittäviä metsiä oli mäntyvaltaisilla ojitusalueilla kaikkiaan 435 000 hehtaaria (Kuva 11 B). VMI10

ja VMI12 välillä eli noin kymmenessä vuodessa mäntyvaltaisia metsiä siirtyi noin 165 000 ha varttuneista kasvatusmetsistä pian uudistettaviin ikäluokkiin. Niiden määrä lisääntyi erityisesti Pohjanmaa-Kainuun alueella, jossa lisäystä on kymmenessä vuodessa tullut lähes 240 %. Tämä korostaa mäntyvaltaisten suometsien suurta määrää, sekä suurta tulevaa uudistamistarvetta. Niukkaravinteisempien, mäntyvaltaisten kasvupaikkojen uudistumisen tutkimisella on siten jo kiire. Tutkimuksen tulisi suuntautua erityisesti edullisten uudistamismenetelmien, kuten luontaisen uudistamisen ja kylvön sekä männylle soveltuvien jatkuvan kasvatuksen menetelmien, kuten kaistalahakkuiden tutkimukseen. Myös maanmuokkausmenetelmien hyödyntäminen erityisesti puolukkaturvekankailla männyn luontaisen uudistamisen yhteydessä on pitkälti vielä tutkimatta.

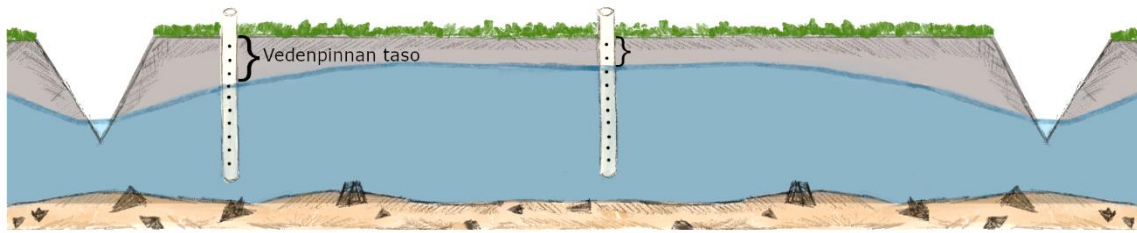
Tähän asti turvemaiden harjoitettujen maanmuokkausmenetelmien tutkimus on painottunut mätätystyksen ja laikutuksen tutkimiseen. Myös muokkaamattomia kokeita on aineistossa verrattain paljon, koska ne edustavat useimmissa tutkimuksissa käsittelemättömiä kontrollialoja, joihin käsittelyillä saatuja tuloksia on verrattu. Uudempien maanmuokkausmenetelmien (kääntömätätystyksen ja uusimmat jyrintälaitteet) hyödyntäminen turvemaiden uudistamisessa on pitkälti vielä tutkimatta: esimerkiksi kääntömätätystyksen on tutkittu ainoastaan kolmessa opinäytetyössä (Huittinen 2013, Hakala 2022, Korhonen 2023). Kääntömätätystyksen ja jyrinnän etuina pidetään erityisesti muokkauksen pinnallisuutta ja siten mahdollisesti vähäisempiä vesistövaikutuksia. Kääntömätätystyksen tuottaa myös tavanomaista mätätystä matalamman kohouman, jossa säilyy kapillaarinen yhteys alempiin turvekerroksiin. Tämä voisi parantaa siementen itämistä tai taimien kasvua kuivina kesinä.

Kaliumin ja mahdollisesti myös fosforin puutosta ojitetuissa suometsissä on pidetty erityisesti II-tyyppin turvekankaiden ongelmana (Kaunisto & Paavilainen 1988, Moilanen ym. 2011), mutta metsätaloustalouden jatkuessa ravinteiden määrän riittävyys saattaa muodostua ongelmaksi muissakin paksuturpeisissa suometsissä (Sarkkola ym. 2016). Ravinteiden saatavuutta voidaan parantaa tuhkalannoituksen avulla. Tuhkalannoitus nähdään myös yhtenä vaikuttavimmista keinoista lisätä hiilen sidontaa suometsissä ja siten saavuttaa ilmastotavoitteita (Hallitusohjelma 2019, Lehtonen ym. 2021). Näistä syistä vuosittaiset tuhkalannoitusosalat voivat lisääntyä tulevaisuudessa, mutta sen mahdolliset vaikutukset uudistumiseen erityisesti mustikka- ja puolukkaturvekangas II:n kohteilla ovat vielä täysin tutkimatta: tässä tutkimuksessa löydettiin ainoastaan yksi tuhkalannoitustutkimus, joka käsitteli männyn uudistumista ohutturpeisella (turvekerroksen paksuus 15–20 cm) mustikkaturvekankaalla (Silfverberg ym. 2010). Ohutturpeiset kasvupaikat eivät pääsääntöisesti kärsi ravinteiden epätasapainosta, sillä puiden juuret ylettyvät turvekerroksesta kivennäismaahan, josta fosforia ja kaliumia on mahdollista saada (Moilanen ym. 1996, Saarinen 1997). Silfverbergin ym. (2010) tutkimuksessa uudistamisen yhteydessä annetusta tuhkalannoituksesta ei ollutkaan hyötyä uudistumisessa, vaan kasvupaikka taimettui riittävästi myös kontrollialoilla. Toisaalta voidaan myös todeta, että tuhkalannoituksen aiheuttamat muutokset pintakasvillisuudessa eivät myöskään estäneet uudistusalan taimettumista. Turpeen noston jäljiltä paljaksi jääneillä turvepinnoilla tuhkalannoituksen on havaittu lisäävän voimakkaasti kasvittumista, etenkin hieskoivun taimettumista (esim. Huotari ym. 2008) sekä istutettujen havupuiden kasvua (Jansone ym. 2020). Tuhkalannoitus myös lisäsi hieskoivikon alla kasvavien kuusentaimien kasvua (Hilli ym. 2003). Tuhkalannoitus voisi siten edistää kuusen taimettumista tai jo luontaisesti syntyneen kuusialikasvoksen kasvua ja eloonjäämistä mänty- tai koivuvaltaisilla mustikka- ja puolukkaturvekangas II:n kohteilla, joissa puulajin vaihtaminen uudistamisvaiheessa männystä kuuseksi tarjoaisi myös mahdollisuuden siirtymään jaksollisesta jatkuvapeitteiseen metsätalouteen.

Inventaariotutkimuksia vanhojen ojitusalueiden metsänuudistumisen onnistumisesta on tehty vain vähän. Tässä aineistossa niitä löydettiin 3 kpl. Osittain tähän on vaikuttanut, kuten edellä todettiin, vanhojen turvekankaiden aiempi harvinaisuus kasvupaikkoina (Peltonen 1986). Joissakin inventaariotutkimuksissa kaikki turvemaakasvupaikat ovat suuresta kirjostaan huolimatta (ravinteisuus- ja märkyysgradientti sekä maankäyttö- ja ojitushistoria) yhdistetty samaan kategoriaan (Saksa & Kankaanhuhta 2007, Jäärats ym. 2010, Luoranen & Viiri 2021). Tämänkaltaiset tutkimukset suljettiin pois tämän tutkimuksen aineistosta. Tarve laaja-alaiselle turvemaiden metsänuudistamistulosten laadunseurantainventoinnille, jossa eri kasvupaikkatyyppit ja käytetyt maanmuokkaustavat raportoitaisiin erillään, onkin ilmeinen.

Taimettumistuloksen seurantajakson pituus eli taimikon kehityksen aikaperspektiivi vaihteli suuresti eri tutkimuksissa. Tämä vaikuttaa tulosten yleistettävyyteen. Erityisesti siemensyntyisten taimien määrän ja kasvun seuranta on uudistumisen onnistumisen näkökulmasta liian lyhyt, mikäli tutkimus rajoittuu 3–5 ensimmäiseen kasvukauteen. Pitkittäistutkimukset, joiden tutkimusraportteja esiintyi aineistossa 12 kpl, tuovat erityisesti siemensyntyisten taimikoiden kohdalla arvokasta tietoa taimettumisen dynamiikasta. Olisikin suositeltavaa, että taimien syntyvaiheita seurattaisiin intensiivisemmin 3–5 vuoden ajan ja loppumittaus tehtäisiin esimerkiksi 10 vuoden kuluttua kokeen aloittamisesta. Istutustaimien menestymiseen liittyvässä tutkimuksessa voi viisi kasvukautta riittää itse viljelytaimien seurannassa, mutta uudistusalan kokonaistaimettumisen tulos luontainen taimiaines mukaan lukien edellyttää usein vuosikymmenen mittaisen seurantajakson.

Tämän tutkimuksen yhtenä tavoitteena oli selvittää, miten uudistamisen tuloksellisuuteen ja taimien syntyyn vaikuttavia tekijöitä, kuten kasvupaikan ravinteisuutta ja kuivatustilaa sekä taimettuvan pinnan ominaisuuksia, on tutkittu ja raportoitu tutkimusten taustatietoina. Näiden tekijöiden raportoiminen edistää uudistumistulosten yleistettävyyttä myös muuttuvissa ilmasto-olosuhteissa, sekä lisää ymmärrystä taimettumiseen vaikuttavien tekijöiden merkityksestä eri uudistamismenetelmien ja kasvupaikkojen kohdalla. Taulukkoon 6 on koottu luettelo tunnuksista, jotka voivat vaikuttaa merkittävällä tavalla taimettumiseen ja joiden raportointia tutkimuksen taustatietoina olisi hyvä lisätä. Tällä hetkellä taimettumiseen vaikuttavia ympäristötekijöitä on raportoitu tutkimuksissa niukasti. Kasvupaikkojen ravinteisuus, joka oli yleisimmin raportoitu taimettumiseen vaikuttava tekijä, ilmoitettiin tyypillisesti käyttämällä kasvupaikkatyyppiluokitusta. Turvemaille ominaisia ravinne-epätasapainotiloja, erityisesti taimien menestymiseen vaikuttavia typen ja fosforin sekä typen ja kaliumin välisiä ravinnesuhteita oli raportoitu vain vähän. Toisaalta yhteensä 13 %:lla kokeista oli taustalla joskus vuosikymmeniäkin sitten tapahtunut lannoitus. Ojitetun suometsän alkuperäinen suotyyppi ennen ojitusta sekä turvekerroksen keskimääräinen paksuus olisivat hyödyllisiä tietoja arvioitaessa kasvupaikan ravinteisuutta, sillä näiden tekijöiden on todettu auttavan sellaisten kasvupaikkojen tunnistamisessa, joissa K- ja P-puutostilat ovat todennäköisiä (Saarinen 1997, Moilanen ym. 2010). Yksityiskohtaisemmat kasvupaikkatiedot voivat korvata puuttuvia tietoja turpeen ravinteisuudesta tai kasvavien puiden ravinnetilasta niissä tilanteissa, joissa ravinneanalyysijä turpeen pintakerroksista tai kasvupaikalla kasvavien puiden neulasista ei voida tehdä.



Kuva 12. Turpeen vedenpinnan tason mittaaminen. Mittaamisessa käytetään apuna esimerkiksi rei'itetyistä sähköputkista tehtyjä vedenpintakaivoja, joiden sisältä vedenpinnan taso voidaan mitata joko automaattisilla loggereilla tai manuaalisesti. Vedenpinnan taso vaihtelee tyypillisesti ojitetun suometsän sisällä suhteessa ojiin, siksi on tärkeää mitata sekä keskeltä sarkaa että ojien läheisyydestä, sekä useamman kerran kasvukauden aikana.

Uudistamisen yhteydessä tehtyjen hakkuiden, erityisesti avohakkuun jälkeen vedenpinta turpeessa tyypillisesti nousee, koska puuston määrän pienentyessä myös haihdutus vähenee ja vastaavasti metsikkösadanta kasvaa (Päivänen 1982). Toisaalta tyypillisessä suometsän uudistamiskohteessa turpeen vedenpinnan tasoa pyritään laskemaan ojien kunnostamisella, joka voi pitää sisällään paitsi olemassa olevien ojien syventämistä myös täydentävien ojien kaivamista (Ahti & Päivänen 1997). Turpeen vedenpinnan taso on turvemaiden metsänuudistamisessa keskeinen taimettumiseen vaikuttava ympäristötekijä, joka ohittaa kaikkien muiden tekijöiden vaikutuksen, varsinkin tilanteissa, joissa vettä on liikaa (Pearson ym. 2011). Vedenpinnan taso säätelee kasvien vedensaantia sekä turpeen kosteuden että juurten toimintaan vaikuttavan hapellisen kerroksen paksuuden kautta, ja siten säätelee siemenen itämistä ja taimettumista (Saarinen ym. 2013), taimien kasvua ja eloonjäämistä (Repo ym. 2016, 2020) ja pintakasvillisuuden määrää ja lajistoa (Saarinen ym. 2009). Tätä taustaa vasten onkin yllättävää, kuinka vähän turvemaiden metsänuudistumiskirjallisuudessa on kiinnitetty huomiota turpeen vedenpinnan tasoon ja sen rooliin uudistumisessa. Tämä näkyy sekä vedenpinnan tason vaikutusta uudistumiseen tutkivien tutkimusten, että vedenpinnan tasoa taustatietona raportoitujen tutkimusten vähäisenä määränä. Jatkuvan kasvatuksen menetelmien yleistymisen sekä pyrkimys kunnostusojitusten ja ojasyvyyksien vähentämiseen tulevaisuudessa voi kuitenkin tarkoittaa sitä, että vedenpinta turpeessa nousee uudistamisen yhteydessä nykyistä korkeammalle tasolle. Varttuneiden puustojen kohdalla on arvioitu noin 30–40 cm:n syvyydessä olevan vedenpinnan olevan riittävän alhainen puuston kasvun kannalta, sillä kenttäkokeissa ei ole havaittu kasvunlisäystä puustossa vedenpinnan laskiessa tätä alemmas (Sarkkola ym. 2012). Pienten taimien juuriston pinnallisuudesta johtuen taimikoiden kasvattaminen tätä korkeamman vedenpinnan vallitessa lienee mahdollista, erityisesti yhdistettynä kohoumia tuottavaan maanmuokkaukseen (Saarinen ym. 2013, Hökkä ym. 2021).

Turpeen vedenpinnan taso vaihtelee suometsän sisällä ja erityisesti keskisaralta ojaa kohti mentäessä (Hökkä ym. 2021). Siksi sen mittaaminen on tärkeää sekä saran keskeltä että ojien läheisyydestä, jolloin saadaan todennäköisesti selville vedenpinnan tason vaihteluväli (Kuva 12). Mittauksia tulisi myös tehdä toistuvasti kasvukauden aikana, sillä vedenpinnan taso voi ajallisesti vaihdella varsin paljon sateiden ajoituksesta riippuen (esim. Straková ym. 2012). Vaihtoehtoisesti tai kenttämittauksiin yhdistettynä voidaan hyödyntää vedenpinnan tason mallintamista. Suosimulaattori eli SUSI-malli on mekanistinen malli, jonka avulla voidaan mallintaa meteorologisen datan, ojitustehokkuuden, turpeen ominaisuuksien ja puustotunnusten avulla vedenpinnan tasoa turpeessa eri etäisyyksillä ojista (Laurén ym. 2021). Koska rahkasammalen peittävyys on todettu korreloivan vedenpinnan korkeuden kanssa (Saarinen ym.

2009), se voisi toimia epäsuorana mittarina kuvaamaan kasvupaikan kuivatustilannetta. Rahkasammaleen osuus on kiinnostava tieto myös itsessään, sillä rahkasammal pintaa on perinteisesti pidetty hyvänä taimettumisalustana ja siten keskeisenä tekijänä uudistamisen onnistumisen kannalta (Saarinen ym. 2002, Kaunisto ja Päivänen 1985 sekä Saarinen 1996 viitteineen). Vastaavasti kenttäkerroksen lajeista taimettumista heikentää erityisesti märillä kasvupaikoilla esiintyvä tupasvilla (*Eriophorum vaginatum*) (Sarasto 1963). Myös turpeen pinnalle kerääntyneen raakahumuskerroksen paksuus voi selittää eri pintojen taimettumista, sillä paksu raakahumuskerros hidastaa kapillaarikosteuden nousunopeutta vähentäen siten pintamaan kosteutta ja taimettumista (Saarinen ym. 2013).

Taulukko 6. Luettelo taimettumiseen vaikuttavista ympäristötekijöistä, joiden raportointia tutkimuksissa olisi hyödyllistä lisätä tulosten yleistettävyyden parantamiseksi ja synteisien teon helpottamiseksi.

Tunnus	Kuvaus
Kasvupaikkatyyppi	Alkuperäinen suotyyppi (jos tiedossa), kasvupaikkatyyppi (I/II-tyyppi), turvekerroksen paksuus, turvelaji
Ravintesuhteet	Typen, fosforin ja kaliumin ravintesuhteet (erityisesti paksu- turpeisilta, II-tyypin kasvupaikoilta). Ravinneanalyysi pinta- maasta (0–20 cm, kahtena kerroksena). Vaihtoehtoisesti ra- vinneanalyysi neulasista vanhempien taimikoiden kohdalla.
Kuivatustilanne	Vedenpinnantaso mitattuna saran keskeltä ja ojien läheisyy- destä viljelyn ajankohtana sekä heinä-elokuussa tai keski- määräinen vedenpinnantaso kasvukauden aikana vaihteluvä- leinen. Vaihtoehtoisesti turpeen kosteus (jatkuvatoinisesti) tai ojien kuivavara (toistuvasti kasvukauden aikana). Myös rahkasammalten ja tupasvillan peittävyttä voidaan käyttää keskimääräisen kuivatustilan indikaattorina.
Taimettuvan pinnan ominaisuudet	Rahkasammalten, kangassammalten ja karikepintojen peittä- vyys, kenttäkerroksen kasvillisuuden kuvaus, raakahumus- kerroksen paksuus (erityisesti männyn kasvupaikoilla), tur- peen tiheys (pintakerroksessa 0–20 cm). Voidaan hyödyntää kasvillisuusruutuja ja/tai linjamenetelmiä.
Kokonaistaimettuminen ja taimikon laatu	Viljeltyjen taimien lisäksi kaikkien puulajien luontaisesti synty- neiden taimien tiheys (kokonaistaimettuminen). Kuvaus syn- tyneen taimikon ryhmittäisyydestä/aukkoisuudesta (kasva- tus/kehityskelpoiset taimet tai tyhjien havaintopisteiden osuus).
Ojitus- ja maankäyttöhistoria	Uudisojituksen ajankohta, ojien kunnostusten ajankohdat, oji- tuksen tehokkuus (sarkaleveys), onko alue ollut muussa maankäytössä kuin metsätaloudessa (esim. turvepellot)

4.2. Uudistamisen tuloksellisuus

Metsätaloudessa metsänuudistamisen tuloksellisuus tarkoittaa sitä, että saadaan perustettua uusi taimikko, joka on haluttua puulajia, tiheydeltään riittävä, sekä riittävän tasaisesti jakautunut uudistusalalle. Tässä tutkimuksessa keskityttiin metsänuudistamisen onnistumista arvioitaessa erityisesti taimikon riittävään tiheyteen, sillä tutkimuskirjallisuudessa ei ollut useinkaan esitetty arvioita taimikon aukkoisuudesta, eikä sen arvioimiseen näytä myöskään olevan

vakiintuneita menetelmiä. Kokeellisessa tutkimuksessa käsittelyruutujen keskimääräinen taimitiheys voi kätkeä sisälleen suurta ryhmittäisyyttä, jolloin osalla koeruutua on mielekästä kasvatustiheyttä ajatellen liian suuri taimitiheys samalla kun osalla koeruudusta taimia ei ole lainkaan. Ongelma korostuu, mikäli käsittelytoistoja on paljon ja taimettumistulos ilmaistaan taimikon keskimääräisinä käsittelykohtaisina taimitiheyksinä. Taimettumistuloksen tulkinta tilajakauman osalta hieman helpottuu erityisesti luontaisen uudistumisen tutkimusten tapauksissa, mikäli taimitiheydet on kokonaistiheyden lisäksi mitattu myös kasvatus- tai kehityskelpoisten taimien tiheyksinä. Tämä olisikin toivottava raportointitapa uudistamiskirjallisuudessa.

4.2.1. Metsänviljelyn tuloksellisuus turvemilla

Tässä aineistossa erityisesti männyn istutukset onnistuivat huonosti, kun hyvänä onnistumisena pidetään sellaista taimien selviytymistä, jossa vähintään 75 % istutetuista taimista on elossa tarkasteluhetkellä. Kyseisellä tavalla hyvin onnistuneiksi katsottavia istutuksia oli kuusella 56 % koealoista ja männyllä 35 %. Tämä puulajikohtainen ero johtui kuitenkin erilaisista koejärjestelyistä. Männyn istutusta tutkittaessa oli eri muokkausmenetelmiä vertailevissa koejärjestelyissä parhaaksi osoittautuneen mätästykseen verrokkeina huomattavasti enemmän kaivurilaikutusta ja jyrsintää sekä myös muokkaamattomia kontrollikoealoja kuin kuusella (Kuvat 6 ja 7). Pelkästään mätäillä olevia taimia tarkasteltaessa ei kuusen ja männyn istutuksen välillä ollut merkittäviä eroja elossa olevien taimien osuudessa. Mäntyä oli istutettu kuusta runsaammin mm. kaivurilaikkuihin, joissa taimien menestyminen on ollut erityisen heikkoa. Heikkoon taimettumistulokseen vaikuttivat osittain liian syviksi kuopiksi tehdyt laikut, joihin kerääntyneet pintavedet tuhosivat huomattavan osan taimista (esim. Pearson ym. 2011). Toisaalta sellainenkin laikutus, joka on tehty riittävän pinnanmyötäisesti, voi olla ongelma taimille sateisen kesän ja alkusyksyn aikana. Tästä johtuen myös hyvin tehdyissä laikuissa kuolleisuus saattoi olla sekä kuusen että männyn istutustaimilla 30–50 %, kun kuolleisuus mätäillä oli 20–30 % (Moilanen ym. 2011, Hytönen ym. 2020). Muokkaamattomilla pinnoilla sekä männyn että kuusen istutustaimien kuolleisuus oli samaa luokkaa kuin laikuissa johtuen erityisesti tukkimiehentäin aiheuttamista vaurioista. Elossa säilyneiden kuusen taimien määrässä oli mäntyä enemmän vaihtelua avohakkuulojen muokkaamattomilla pinnoilla riippuen erityisesti hallojen esiintymisestä (Hånell 1993, Holgen & Hånell 2000, Moilanen ym. 2011).

Puhtaasti itse viljelytulosta eli istutettujen taimien menestymistä arvioidessa on helppo päätyä lopputulokseen, jonka mukaan istuttaminen on mielekästä vain mätäille. Tästä voi mainita poikkeuksena kuusen taimien istuttamisen alikasvokseksi hakkuualalle luontaisesti muodostuneen hieskoivikon alle. Siihen liittyvien tutkimusten (Niemistö 1995, Hilli ym. 2003, Niemistö & Poutiainen 2004) pohjalta voidaan kuusen viljely yhdessä hieskoivun kasvatuksen kanssa nähdä toimivana uudistamismenetelmänä. Se on voitu osoittaa huomattavasti vähemmän halloille ja tukkimiehentäin vaurioille herkäksi vaihtoehdoksi avohakkuulle ja sen jälkeiselle kalliille taimikon perustamisen toimenpideketjulle (uudistusalan raivaus, mätästys, pintakasvillisuuden torjunta, varhaisperkaus ja taimikonhoidot). Verhopuustona toimivat hieskoivikot olivat kuusen istutusvaiheessa vähintään 10 metriä korkeita, iältään 30–63-vuotiaita, ja niiden runkoluku vaihteli harvasta täystiheään (550–2 000 kpl/ha). Parhain taloudellinen tulos saatiin silloin, kun koivujen tiheys oli n. 1 000 kpl/ha, jolloin myös alikasvoskuusten kasvu oli ripeää (Niemistö & Poutiainen 2004). Niemistön (1995) tutkimuksessa kasvupaikalle jäi riittävä määrä hyväkuntoisia kuusentaimia (keskimäärin 1 500 kpl/ha) myös hieskoivujakson poiston jälkeen. Myös kuusisuojuustuon alle istutetut kuusen taimet olivat menestyneet hieman

avoalan taimia paremmin (Holgen & Hånell 2000), mutta missään tutkimuksessa ei ole analysoitu suojuspuuston poiston vaikutuksia lopulliseen taimettumistulokseen.

Lyhytaikaisissa kylvötutkimuksissa, joissa seuranta rajoittuu vain muutamaan kasvukauteen uudistamisesta, saadaan usein tulos, jonka mukaan muokkaus parantaa taimien syntyä ja alkukehitystä merkittävästi ja on suorastaan välttämätöntä onnistuneen uudistumisen varmistamiseksi (Sarasto & Seppälä 1964, Kaunisto 1984, Saarinen ym. 2013, Vartiainen 2014, Helenius & Saarinen 2013). Sama on ollut havaittavissa myös toistetuilla mittausarjoilla toteutettujen pitkäaikaisseurantojen ensimmäisissä mittauksissa (Hytönen ym. 2020, Moilanen ym. 2011). Lyhytaikaisissa itämiseen, sirkkataimien syntyyn ja alkuvuosien kehitykseen liittyvissä tutkimuksissa korostuvat välittömästi uudistamisen yhteydessä ja sen jälkeisen ensimmäisen kasvukauden aikana vallitsevat sääolot ja sen myötä muokkauksen merkitys. Ensimmäisen kasvukauden aikaiset sateet ja ilman lämpötila vaikuttavat taimettumiseen hyvin eri tavoin kasvualustan ominaisuuksista riippuen (Saarinen 2013). Laikkupinnat orastuvat kuivana ja lämpimänä kesänä mättäitä paremmin, mutta sademäärien ja lämpötilojen suhteen keskimääräisenä kesänä käy päinvastaisesti. Sateisimpina kasvukausina voivat mättäätkin taimettua varsin heikosti, varsinkin jos lämpötilat ovat matalia. Kylvö onkin heti uudistamisen jälkeen vallitsevista sääolosuhteista ja kasvualustan ominaisuuksista erittäin voimakkaasti riippuva uudistamismenetelmä. Mikäli ilmastonmuutoksen seurauksena sään ääri-ilmiöt (kuivuus, runsas sateisuus) yleistyvät Suomessa (Ruosteenoja & Jylhä 2021), voi se lisätä viljelyn ja erityisesti kylvön onnistumiseen liittyvää epävarmuutta turvemailla.

Kun huomioidaan uudistusalalle luontaisesti syntyneet taimet, kokonaiskuva muokkauksen tarpeellisuudesta kylvöalojen uudistumisessa muuttuu. Kaikissa tämän aineiston kokeissa, joissa huomioitiin myös luontaisesti syntynyt taimiaines, vähintään hyväksyttävä uudistumistulos saavutettiin myös ilman maanmuokkausta sekä männyn että kuusen kylvön jälkeen (Hytönen ym. 2020, Moilanen ym. 1995, Moilanen ym. 2011). Siltä osin kuin luontaista taimettumista on mitattu vuosittain hakkuun ja muokkauksen jälkeen, on voitu todeta männyn luontaisen taimitiheyden kasvun jatkuvan 5–10 vuoden aikajaksolla siemenpuu- tai avohakkuusta lukien (Saarinen 2002, Hytönen ym. 2020). Tämä selittää osaltaan sitä ristiriitaa, joka näkyy, kun vertaillaan lyhytaikaisen (3–5 vuotta) itämiseen ja sirkkataimien orastumiseen painottuvan seurannan tuloksia pitkäaikaiseen (6–14 vuotta) taimikon vakiintumiseen painottuvan seurannan tuloksiin.

Avohakkuualojen viljelykokeissa reunametsäsiemennyksen vaikutus on usein merkittävä tekijä mitattaessa kokonaistaimettumista. Hakkuualan muodosta riippuen voi vielä noin kolmen hehtaarin kokoisella avohakkuualalla olla riittävän siemenlaskeuman vaikutuspiirissä olevaa reunavyöhykettä puolet uudistamisalasta, kun kriteeri riittävälle siemennyskyvyille on 20–25 metrin etäisyys (esim. Kellomäki 1988). Valitettavasti yhdessäkään kokeessa ei kuitenkaan ole analysoitu avohakkuualan sisäistä taimitiheyden tilajakaumaa eli sitä, miten kehityskelpoisten taimien tiheys vaihtelee koekentän eri osissa ja suhteessa etäisyyteen siementämiskykyisestä reunametsästä. Julkaisuissa ilmoitetut koekentän käsittelykohtaiset taimitiheyden keskiarvot voivat siten pitää sisällään suurta luontaisten taimien määrän vaihtelua, joka riippuu etäisyydestä reunametsään.

Metsänviljelyn ja siinä käytettävän taimi- ja siemenmateriaalin menestyksekkään hyödyntämisen näkökulmasta mätästys on tämänkin tutkimuksen tulosten perusteella välttämätöntä. Ilman maanmuokkausta viljelymateriaalin mahdollistama hyöty jää usein vähäiseksi, sillä uudistuminen perustuu suurelta osin luontaiseen taimettumiseen. Mätästys siis edistää

istutustaimien vakiintumista sekä kylvetyn siemenen itämistä ja taimien orastumista. Viljelemällä saatiin joissakin tapauksissa nopeutettua taimikon kehittymistä eli samassa ajassa saatiin aikaisempi kehittyneempi taimikko kuin luontaisella uudistamisella (Hytönen ym. 2020). Viljely on myös ainoa keino saada jalostetun viljelymateriaalin käyttämisestä mahdollisesti seuraava jalostushyöty (Ruotsalainen 2014). Maanmuokkauksen käyttö tuottaa kuitenkin usein jopa tarpeettoman tiheitä taimikoita, joissa myös hieskoivun määrä on suuri. Perinteiset avohakkuuseen, maanmuokkaukseen ja viljelyyn perustuvat uudistamisketjut tuovatkin usein mukanaan myös kunnostusojituksen sekä mahdollisesti työlään taimikonhoidon, jotka ovat sekä metsänomistajalle hintavia että ilmaston- ja vesistönsuojelun kannalta epätoivottavia. Muokkaamattomalle avohakkuualalle syntyvän hieskoivun alle istuttaminen voisi olla houkutteleva vaihtoehto sekä yhteiskunnan että metsänomistajan näkökulmasta, sillä se säästää uudistamiskustannuksissa mahdollistaen kuitenkin kuusen jalostushyödyistä nauttimisen, sekä mahdollisesti tuottaa vähemmän haitallisia vesistö- ja ilmastovaikutuksia kuin voimakkaaseen muokkaukseen perustuvan avohakkuualan uudistaminen.

4.2.2. Luontaisen uudistamisen tuloksellisuus

Suojuspuuhakkuuta on pitkään pidetty epäluotettavana kuusen uudistamisen menetelmänä. Tämä käsitys juontaa juurensa kivennäismailla 1980-luvulla Pirkanmaalla tehdyistä tutkimuksista (Leinonen ym. 1989), joissa ainoastaan 30 %:lla suojuspuualoista todettiin olevan riittävä taimitiheys yksi kasvukausi hakkuiden jälkeen. Metsäntutkimuslaitos teki vuosina 2000–2006 laajan käytännön metsänuudistamistulosten laadunseurantainventoinnin Etelä-Suomessa, jossa todettiin 70 % kuusen luontaisen uudistamisen aloista uudistuneen vähintään tyydyttävästi (yli 2 000 kuusentainta hehtaarilla) (Saksa & Kankaanhuhta 2007). Uudistaminen onnistui pääsääntöisesti hyvin myös suurimmassa osassa tämän aineiston suojuspuuhakatuista kokeista, sillä hyväksi luokiteltavia taimikoita (vähintään 2 000 tainta, joista alle 15 % hieskoivua) oli runsaalla 80 %:lla aineistoon osuneiden tutkimusten koealoista. Näin ollen voidaan suojuspuuasennolla luontaisesti kuuselle uudistettujen ojitettujen suometsien uudistumistuloksia pitää suunnilleen yhtä hyvin tai paremmin onnistuneina kuin kivennäismaillakin. Samansuuntaisiin tuloksiin päästiin myös jatkuvapeitteisyyteen tähtäävillä mustikka- ja ruohoturvekankaiden kuusikoiden pienaukkohakkuilla. Niissä, kuten myös kaikissa edellä kuvatuissa suojuspuuhakkuissa, taimettumistulos perustui huomattavalta osaltaan ennen hakkuuta vallinneeseen kuusen vaihtuvaan taimiainekseen ja sen varttumiseen hakkuun jälkeen. Näissä tapauksissa siis hyödynnetään kuusi- tai kuusi-mäntyvaltapuuston alle vähitellen jo ennen suojuspuuhakkuuta kehittynyt ns. vaihtuva kuusitaimiaines uudistamalla ”kuusi kuusen alle”.

Oma lukunsa kuusen luontaisessa uudistamisessa on niiden usein jo kookkaaksi varttuneiden kuusialikasvosten hyödyntäminen, jotka ovat syntyneet ojituksen jälkeisten vuosikymmenien aikana hieskoivikoiden sekä mänty-hieskoivusekapuustojen alle. Näitä alikasvoksia esiintyy yleisesti II-tyyppin mustikkaturvekankaiksi kehittyneillä, viljavilla ojitusalueilla mahdollistaen jo hakkuukypsäksi varttuneen valtapuuston uudistamisen suoraan kuusikoksi alikasvoksia vapauttamalla (Seppälä & Keltikangas 1978). Kuusen herkkää taimettumista varsinkin hieskoivun alle voidaan hyödyntää myös korpikuusikoiden luontaisessa uudistamisessa. Viljavat korvet taimettuvat erikokoisten avoalojen (pienaukot, kaistaleet ja laajemmat avohakkuualat) hakkuiden jälkeen nopeasti tiheäksi hieskoivikoksi, jonka harvennus ja kasvattaminen mahdollistaa kuusentaimien syntymisen koivun alikasvokseksi. Kuusen taimettumisen ajankohta suhteessa koivutaimikon eri kehitysvaiheisiin ratkaisee sen, kuinka pitkään molempia puustojaksoja voidaan kasvattaa samanaikaisesti. Mikäli kuusen taimikko syntyy vasta koivun

ensiharvennuksen ajankohtana, voidaan kuusta kasvattaa koivun alla 10–15 vuotta ennen koivikon päätehakkuuta ja alikasvoksen vapauttamista (Niemi & Poutiainen 2004).

Männyn luontaisen uudistumisen tutkimuksissa hyviä taimettumistuloksia saatiin keskimäärin 60 %:lla kaikista kokeista. Toisin kuin kuusen luontaisessa uudistamisessa, männyn luontaiseen uudistamiseen yhdistettiin lähes puolessa tapauksista maanmuokkaus. Muokkaamattomilla kokeillakin suurin osa männyn luontaisen uudistamisen tuloksista oli hyviä. Lautasauryyppisessä äestyksessä syntyy kevyttä pintajyrsintää selvästi syvempiä vakoja, jotka keräävät vettä ja ovat kehoja taimettumispintoja (Saarinen 2002, Jäärats ym. 2012). Vastaava ongelma syntyy kaivurilaikutuksessa, mikäli laikku tehdään liian syväksi maatonneeseen ja huonosti vettä läpäisevään turpeeseen. Laikutuksen jäljiltä hyviä taimikoita on siksi tullut jopa vähemmän kuin muokkaamattomiin koealoihin, mutta kovin paljon paremmin ei hyviä taimikoita ole syntynyt mättäillekään. Tämä puolestaan voi johtua ainakin osittain mättäiden taipumuksesta kuivua pintaosiltaan liikaa kuivina ja vähäsateisina kasvukausina (Saarinen ym. 2013).

Varpu- ja puolukaturvekankailla vallitsevat ja viljavimpia turvekangastyyppejä vahvemmat raakahumuserrostumat, seinäsammalkasvustot ja paikoin tiheet varpukasvustot voivat vähentää taimettumista huomattavasti (Saarinen 2013). Kuitenkin suurin osa tämän aineiston männyn luontaisen uudistamisen aloista taimettui vähintään metsälain vaatimukset täyttävällä tavalla maanmuokkauksesta riippumatta. Muokkauksen vaikutus uudistumiseen tuli voimakkaammin esiin lyhytaikaisissa eli enimmillään viiden tai kuuden vuoden taimiseurannoissa. Tätä pidemmissä seurannoissa korostui muokkaamattomille pinnoille vähitellen syntyneiden taimien osuus kokonaistaimettumisessa. Koekenttien alkuvuosien seurannoissa ja varsinkin itse muokkauksen jälkeisissä suunnatuissa taimimittausten näytealaotannoissa jäivät käsittelyruutujen muokkaamattomiin pintoihin vähitellen syntyvät sirkkataimet usein huomioimatta. Myöhemmissä varttuneemman taimikon mittauksissa, joissa ”lopullinen” kokonaistaimettuminen mitataan suurialaisella näytealaotannalla, käy ilmi, että muokkaamattomille pinnoille on vähitellen kehittynyt runsaasti kehityskelpoisia taimia. Tällöin muokkauksen merkitys lopulliseen männyn taimettumistulokseen osoittautuu aiempaa vähäisemmäksi (Hökkä ym. 2015, Hytönen ym. 2019). Muokkaamattomien pintojen taimettumisessa on kuitenkin suuria kasvupaikkakohtaisia eroja, jolloin vaihtelu on suurta. Pintakasvillisuuden kevyt repiminen esimerkiksi kaivurilaikutuksena voi siten olla järkevä toimenpide varsinkin paksun raakahumuksen ja seinäsammalkasvustojen vallitsemilla varputurvekankailla (Saarinen 2013).

Maanmuokkauksella saatiin siis luontaisen uudistamisen yhteydessä joissakin tapauksissa lisättyä havupuutaimien määrää (Moilanen ym. 2011, Hytönen ym. 2019), sekä todennäköisesti parannettua syntyvän taimikon tilajärjestystä. Suuressa osassa tutkimuksista maanmuokkaus ei kuitenkaan ollut tarpeellista tässä tutkimuksessa määritellyn riittävän uudistumisen saavuttamiseksi. Päinvastoin; uudistamistoimenpiteet synnyttivät usein liiankin tiheän, hieskoivuisen taimikon, josta aiheutuu kustannuksia tulevina vuosina lisääntyneenä taimikonhoitotarpeena. (Saarinen 2002, Moilanen ym. 2011, Hytönen ym. 2019).

Kosteusolosuhteet ovat keskeinen ympäristötekijä turvemaiden metsänuudistamisen näkökulmasta varsinkin siemensyntyistä uudistamista käytettäessä. Märkä loppukesä tai syksy voi merkitä loppua keväällä siemennetystä siemenestä alkukesällä itäneille sirkkataimille, tai vastaavasti kuiva kesä mätäspinnalle istutetulle taimelle. Luontaisessa uudistamisessa syntyy uutta siementä ja taimimateriaalia vaihtelevia määriä useamman vuoden aikana, joten se on menetelmänä vähemmän herkkä sääolosuhteille kuin viljely, jossa uudistamisvuoden sääolosuhteet ovat ratkaisevia taimi- tai siemenmateriaalin menestymisen kannalta. Taipumus

luontaiseen uudistumiseen riippuu myös kyseisen kasvupaikalla vallitsevasta vedenpinnan tasosta, jolla on uudistumisen kannalta yhdysvaikutus sekä käytetyn maanmuokkausmenetelmän että sääolosuhteiden kanssa. Esimerkiksi laikkujen ja mättäiden väliset erot taimimäärissä siemennyksen jälkeen ovat täysin riippuvaisia vedenpinnan tasosta sekä siitä, miten sateet kasvukauden aikana ajoittuvat (Saarinen ym. 2013). Korkealla oleva vedenpinta tarjoaa paremmat olot siementen itämiselle, toisaalta taimen kasvulle on optimaalista syvemmällä oleva vedenpinta varsinkin loppukesällä (Saarinen ym. 2013, Repo ym. 2016).

5. Johtopäätökset

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli vertailla eri menetelmien toimivuutta vanhojen (yli 20 vuotta uudisojituksen) ojitusalueiden metsänuudistamisessa sekä tunnistaa tutkimusaukkoja. Vanhojen ojitusalueiden uudistamisen tutkimuskenttää voidaan hyvällä syyllä kuvailla varsin suppeaksi. Tutkimusaukkoja löytyi erityisesti mäntyvaltaisten, vähäravinteisten turvekangastyyppien uudistamisesta, kirjallisuuden painottuessa pitkälti kuusen uudistamiseen runsasravinteisilla kasvupaikoilla. Toinen merkittävä tutkimusaukko männyllä oli pitkäaikaiset kylvötutkimukset. Vaikka kylvöä käsitteleviä tutkimuksia löytyikin huomattava määrä, keskittyivät ne pääsääntöisesti tutkimaan yhtä tai kahta uudistamisen jälkeistä vuotta. Uudistumisen onnistumisen arvioimisen kannalta tämä on kuitenkin varsin lyhyt aika. Monilta vanhoilta viljelykokeilta on alkuvaiheiden jälkeiset seurantamittaukset tekemättä tai jo tehdyt seurannat ovat julkaisematta. Ilmastonmuutoksen aiheuttamien sään ääri-ilmiöiden yleistymisen sekä turvemaiden metsänhoitokäytännöissä tapahtuvien muutosten takia eri ympäristötekijöiden vaikutukset uudistamiseen olisi tärkeää ymmärtää paremmin. Tätä varten tarvitaan erityisesti näihin kysymyksiin keskittyneitä tutkimuksia, mutta myös taimettumiseen vaikuttavien ympäristötekijöiden, erityisesti kasvupaikan märkyyden raportoimista uudistumistutkimusten taustatietona. Tutkimusta tarvitaan myös turpeen ravinteisuuden ja tuhkalannoituksen vaikutuksesta uudistumiseen, sillä sekä turvemaille tyypilliset ravinteiden epätasapainotilat että maankäyttösektorin ilmastotavoitteiden saavuttaminen todennäköisesti lisäävät tuhkalannoitus-pinta-alaa turvemaidella.

Yksi este vanhojen turvemaiden metsänuudistamistutkimuksen lisäämiselle on ajan myötä poistumassa, sillä kyseisiä kasvupaikkoja löytyy Suomesta koko ajan enemmän. Yhä suurempi osa niistä on myös lähestymässä uudistamiskäyttä. Tällä hetkellä on epäselvää, mitä ja missä määrin eri metsänuudistamismenetelmiä käytetään kentällä, ja miten uudistaminen käytännössä on onnistunut erilaisilla kasvupaikoilla. Kokonaiskuvan muodostamiseksi laaja-alainen, turvemaiden metsänuudistamistulosten laadunseuraintainventointi olisikin hyödyllinen.

Luontaisen uudistamisen menetelmät onnistuivat tämän tutkimuksen perusteella pääsääntöisesti hyvin sekä kuusella että männyllä. Vakuuttavaa tutkimusnäyttöä kuusen pienaukkohakkuu- ja suojuospuuhaikkuiden toimivuudesta kuusen luontaisessa uudistamisessa mustikka- ja ruohoturvekankailla on jo kertynyt. Tulevaisuudessa sään ääri-ilmiöiden (sekä kuivuuden että runsaan sateisuuden) ennustetaan lisääntyvän, mikä voi tehdä sääoloille alttiista metsänviljelystä entistä riskialttiimpaa. Tämä kehityskulku suosii erilaisten luontaisten menetelmien käyttöä turvemaidella. Mikäli metsänomistaja haluaa päästä nauttimaan kuusen jalostushyödyistä, lupaava viljelymenetelmä on hieskoivikon alle muokkaamattomaan maahan istuttaminen, joka tutkimuksen perusteella on varsin usein onnistunut tuottamaan hyvälaatuisia taimikoita.

Yksi tämän tutkimuksen keskeisistä tuloksista oli, että vanhat ojitusalueet uudistuvat varsin hyvin ilman voimaperäistä maanpinnan käsittelyä. Tämä tulos on ristiriidassa sen kanssa, mitä nykyään ajatellaan vanhojen turvemaiden uudistamisesta, sillä niitä on pääsääntöisesti pidetty kivennäismaihin verrattuna hankalina uudistettavina ja maanmuokkausta uudistamisen onnistumisessa välttämättömänä. Tämä ristiriita johtunee ainakin osittain siitä, että varputurvekankasiin kohdistuvaa uudistumistutkimusta on tehty varsin vähän, joten sen osuus tässäkin aineistossa oli pieni. Varputurvekankaat näyttäisivät kuitenkin olevan kasvupaikkoja, joilla maanmuokkauksen luontaista taimettumista edistävä vaikutus on suurimmillaan. Toinen syy lienee se, että tässä tutkimuksessa sovelletut uudistumiskriteerit valittiin tarkoituksella varsin

väljästi: hyväksyttäväksi taimettumiseksi riitti metsälain kriteerien täyttäminen, kun taas vanhempien tutkimusten kysymyksenasettelussa ja tulosten tulkinnassa on tavoiteltu suurilla panoksilla mahdollisimman tehokasta taimettumista, suurta taimitiheyttä ja pientä tai olematonta hieskoivusekoitusta. Tietoisuus turvemaiden metsätaloudeksi liittyvistä ympäristöongelmista on kuitenkin lisääntynyt, ja turvemaiden harjoitettavan metsätalouden yhteiskunnallinen hyväksyttävyys edellyttää niihin liittyvien vesistö- ja ilmasto-vaikutusten minimoimista. Sen tähden siirtyminen vähemmän intensiiviseen metsätalouteen turvemaiden saattaakin olla perusteltua, jolloin keinovalikoimaan kuuluvat oleelliset osat sekä erilaiset jatkuvan kasvatuksen menetelmät että jaksolliseen metsätalouteen liittyvät luontaisen uudistamisen menetelmät mahdollisesti yhdistettynä kevyeen maanmuokkaukseen.

Kiitokset

Kirjoittajat kiittävät Minna Rättyä Luonnonvarakeskuksesta tässä raportissa hyödynnettyjen VMI-aineistojen laskennasta. Katsaus on tehty osana Luonnonvarakeskuksen ”Turvemaiden uudistaminen” (TUUDI)-hanketta.

Viitteet

- Ahti, E. & Päivänen, J. 1997. Response of stand growth and water table level to maintenance of ditch networks within forest drainage areas. Teoksessa: Trettin, C., Jurgensen, M., Grigal, D., Gale, M., Jeglum, J. (Toim.). Northern Forested Wetlands: Ecology and Management. CRC Press, Lewis Publishers. 512 s.
- Ahtikoski, A. & Hökkä, H. 2019. Intensive forest management — does it pay off financially on drained peatlands? Canadian Journal of Forest Research 49: 1101–1113. DOI: 10.1139/cjfr-2019-0007
- Ahtikoski, A., Hökkä, H. & Siipilehto, J. 2022. Strip cutting management in Scots pine stands on peatlands – a financial comparison to rotation forestry. Scandinavian Journal of Forest Research 37: 119–129. DOI: 10.1080/02827581.2022.2055135
- Ahtikoski, A., Salminen, H., Hökkä, H., Kojola & S., Penttilä, T. 2012. Optimising stand management on peatlands: the case of northern Finland. Canadian Journal of Forest Research 42: 247–259. DOI: 10.1139/x11-174
- Finér L., Mattsson T., Joensuu S., Koivusalo H., Laurén A., Makkonen T., Nieminen M., Tattari S., Ahti E., Kortelainen P., Koskiaho J., Leinonen A., Nevalainen R., Piirainen S., Saarelainen J., Sarkkola S. & Vuollekoski M. 2010. Metsäisten valuma-alueiden vesistökuormituksen laskenta. Suomen ympäristö 10/2010. Helsinki: Suomen ympäristökeskus. 33 s. ISBN 978-952-11-3756-3.
- Hakala, Anni. 2023. Navero- ja kääntömätästyksen vaikutus varttuneen männyntaimikon kasvuun ojitetun turvemaamännikön uudistamisalalla. 48 s. Maisterintutkielma. Helsingin yliopisto, Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta.
- Hännell, B. 1993. Regeneration of *Picea abies* forests on highly productive peatlands—clearcutting or selective cutting? Scandinavian Journal of Forest Research 8: 518–527. DOI:10.1080/02827589309382798
- Heikurainen, L. 1985. Verhopuuston vaikutus kuusitaimikon kehitykseen. Silva Fennica 19:81–88.
- Heikurainen, L. 1954. Rämemänniköiden uudistamisesta paljaaksihakkausta käyttäen. Acta Forestalia Fennica 61:27. 21 s. DOI: 10.14214/aff.7439
- Helenius, P. & Saarinen, M. 2013. Regeneration result of excavator-mounted rototiller in direct seeding of Scots pine on forestry-drained peatland. Scandinavian Journal of Forest Research 28: 752–757. DOI:10.1080/02827581.2013.844849
- Hilli, A., Päätaalo, M.-L., Moilanen, M., Piironen, M.-L., Issakainen, J. & Tillman-Sutela, E. 2003. Verhopuuston tiheyden ja lannoituksen vaikutus kuusen taimien pituuskasvuun ojitetulla turvemaalla. Suo 54: 69–79.
- Hökkä, H. & Repola, J. 2018. Pienaukkohakkuun uudistumistulos Pohjois-Suomen korpikuusikossa 10 vuoden kuluttua hakkuusta. Metsätieteen aikakauskirja 2018: 7808. DOI:10.14214/ma.7808

- Hökkä, H. & Mäkelä, H. 2014. Post-harvest height growth of Norway spruce seedlings in northern Finland peatland forest canopy gaps and comparison to partial and complete canopy removals and plantations. *Silva Fennica* 48: 1192. DOI:10.14214/sf.1192
- Hökkä, H., Hytönen, J. & Saarinen, M. 2016. The effect of scalping on seedling establishment after seed tree cutting of Scots pine stands in drained peatlands in northern Finland. *Scandinavian Journal of Forest Research* 31: 166–174. DOI:10.1080/02827581.2015.1105285
- Hökkä, H., Hytönen, J. & Saarinen, M. 2015. The effect of scalping on seedling establishment after seed tree cutting of Scots pine stands in drained peatlands in northern Finland. *Scandinavian Journal of Forest Research* 31: 166–174. DOI:10.1080/02827581.2015.1105285
- Hökkä, H., Repola, J., Moilanen, M. & Saarinen, M. 2012. Seedling establishment on small cutting areas with or without site preparation in a drained spruce mire – a case study in northern Finland. *Silva Fennica* 46: 695–705. DOI:10.14214/sf.920
- Hökkä, H., Repola, J., Moilanen, M. & Saarinen, M. 2011. Seedling survival and establishment in small canopy openings in drained spruce mires in Northern Finland. *Silva Fennica* 45: 97. DOI:10.14214/sf.97
- Hökkä, H., Laurén, A., Stenberg, L., Launiainen, S., Leppä, K. & Nieminen, M. 2021. Defining guidelines for ditch depth in drained Scots pine dominated peatland forests. *Silva Fennica* 55: 10494. DOI:10.14214/sf.10494
- Hökkä, H., Kaunisto, S., Korhonen, K., Päivänen, J., Reinikainen, A. & Tomppo, E. 2002. Suomen suometsät 1951–1994. *Metsätieteen aikakauskirja* 2A/2002: 201–357. DOI:10.14214/ma.6242
- Holgén, P. & Hånell, B. 2000. Performance of planted and naturally regenerated seedlings in *Picea abies*-dominated shelterwood stands and clearcuts in Sweden. *Forest Ecology and Management* 127: 129–138. DOI:10.1016/S0378-1127(99)00125-5
- Huikari, O. 1972. H-kulttuuri. Metsäntutkimuslaitoksen Suontutkimuslaitoksen tiedonantoja 2/1972. Helsinki: Metsäntutkimuslaitos. 19 s.
- Huittinen, N. 2013. Turvemaiden uudistaminen. 59 s. Opinnäytetyö. Mikkelin ammattikorkeakoulu, Metsätalouden koulutusohjelma.
- Huotari, N., Tillman-Sutela, E., Pasanen, J. & Kubin, E. 2008. Ash-fertilization improves germination and early establishment of birch (*Betula pubescens* Ehrh.) seedlings on a cut-away peatland. *Forest Ecology and Management* 255: 2870–2875. DOI:10.1016/j.foreco.2008.01.062
- Hytönen, J., Hökkä, H. & Saarinen, M. 2020. The effect of planting, seeding and soil preparation on the regeneration success of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) on drained peatlands – 10-year results. *Forestry Studies* 72: 91–106. DOI:10.2478/fsmu-2020-0008

- Hytönen, J., Hökkä, H. & Saarinen, M. 2019. The effect of site preparation on seed tree regeneration of drained Scots pine stands in Finland. *Baltic Forestry* 25.
DOI:10.46490/vol25iss1pp132
- Immonen-Joensuu, M. 1987. Luontaisen uudistamisen onnistuminen vanhoilla metsäojitusalueilla. Pysyviin tuotuskoealoihin perustuva selvitys. 68 s. Tutkielma MMK-tutkintoa varten. Helsingin yliopisto, Suometsätieteen laitos.
- Jäärats, A., Sims, A. & Seemen, H. 2012. The Effect of Soil Scarification on Natural Regeneration in Forest Microsites in Estonia. *Baltic Forestry* 18: 133-143.
- Jansone, B., Samariks, V., Okmanis, M., Kļaviņa, D. & Lazdiņa, D. 2020. Effect of High Concentrations of Wood Ash on Soil Properties and Development of Young Norway Spruce (*Picea abies* (L.) Karst) and Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.). *Sustainability* 12: 9479.
DOI:10.3390/su12229479
- Joensuu, S., Ahti, E. & Vuollekoski, M. 1999. The effects of peatland forest ditch maintenance on suspended solids in runoff. *Boreal Environment Research* 4: 343–355.
- Juutinen, A., Shanin, V., Ahtikoski, A., Rämö, J., Mäkipää, R., Laiho, R., Sarkkola, S., Laurén, A., Penttilä, T., Hökkä, H. & Saarinen, M. 2021. Profitability of continuous-cover forestry in Norway spruce dominated peatland forest and the role of water table. *Canadian Journal of Forest Research* 51: 859–870. DOI:10.1139/cjfr-2020-0305
- Kaila, A., Sarkkola, S., Laurén, A., Ukonmaanaho, L., Koivusalo, H., Xiao, L., O'Driscoll, C., Asam, Z.-U.-Z., Tervahauta, A. & Nieminen, M. 2014. Phosphorus export from drained Scots pine mires after clear-felling and bioenergy harvesting. *Forest Ecology and Management* 325: 99–107. DOI:10.1016/j.foreco.2014.03.025
- Kankaanhuhta, V., Saksa, T. & Smolander, H. 2009. Variation in the results of Norway spruce planting and Scots pine direct seeding in privately-owned forests in southern Finland. *Silva Fennica* 43: 51–70. DOI:10.14214/sf.217
- Kaunisto, S. 1985. Alustavia tuloksia metsän tehoviljelykokeista turvemailla. *Folia Forestalia* 619. Helsinki: Metsäntutkimuslaitos. 16 s.
- Kaunisto, S. 1984. Suometsien uudistaminen turvekangasvaiheessa. Teoksessa: Metsäntutkimuspäivä Porissa. Metsäntutkimuslaitoksen Tiedonantoja. Parkano: Metsäntutkimuslaitos. s. 7–21.
- Kaunisto, S. & Paavilainen, E. 1988. Nutrient stores in old drainage areas and growth of the stands. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 145. Helsinki: Metsäntutkimuslaitos. 39 s.
- Kaunisto, S. & Päivänen, J. 1985. Metsänuudistaminen ja metsittäminen ojitetuilla turvemailla: Kirjallisuuteen perustuva tarkastelu. *Folia forestalia* 625. Helsinki: Metsäntutkimuslaitos. 75 s.
- Kellomäki, S. 1988. Metsänhoito. *Silva Carelica* 8. Joensuu: Joensuun yliopisto. 403 s.
- Korhonen, Tuomas. Taimien kehitys ojitetulla turvemaalla erilaisilla uudistamistavoilla. 93 s. Opinnäytetyö. Tampereen ammattikorkeakoulu, Metsätalouden tutkinto-ohjelma.

- Korkiakoski, M., Ojanen, P., Tuovinen, J.-P., Minkkinen, K., Nevalainen, O., Penttilä, T., Aurela, M., Laurila, T. & Lohila, A. 2023. Partial cutting of a boreal nutrient-rich peatland forest causes radically less short-term on-site CO₂ emissions than clear-cutting. *Agricultural and Forest Meteorology* 332: 109361. DOI:10.1016/j.agrformet.2023.109361
- 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 clear-cutting. *Biogeosciences* 16: 3703–3723. DOI:10.5194/bg-16-3703-2019
- Laiho, R., Sallantausta, T. & Laine, J. 1999. The effect of forestry drainage on vertical distributions of major plant nutrients in peat soils. *Plant and Soil* 207: 169–181.
- Laine, J., Vasander, H. & Laiho, R. 1995. Long-Term Effects of Water Level Drawdown on the Vegetation of Drained Pine Mires in Southern Finland. *The Journal of Applied Ecology* 32: 785–802. DOI:10.2307/2404818
- Laurén, A., Palviainen, M., Launiainen, S., Leppä, K., Stenberg, L., Urzainki, I., Nieminen, M., Laiho, R. & Hökkä, H. 2021. Drainage and Stand Growth Response in Peatland Forests—Description, Testing, and Application of Mechanistic Peatland Simulator SUSI. *Forests* 12: 293. DOI:10.3390/f12030293
- Lehtiniemi, T. & Sarasto, J. 1973. Kokemuksia rauduksen istutuksesta ojitetuille soille. *Silva Fennica* 7: 24–44.
- Lehtonen, A., Mäkipää, R., Haakana, M., Heikkinen, J., Huuskonen, S., Härkönen, K., Haikarainen, S., Hökkä, H., Kekkonen, H., Koskela, T., Lehtonen, J., Luoranen, J., Mutanen, A., Nieminen, M., Ollila, P., Palosuo, T., Pohjanmies, T., Repo, A., Aro, L., Rikkonen, P., Rätty, M., Saarnio, M., Smolander, A., Soinne, H., Tolvanen, A., Tuomainen, T., Uotila, K., Viitala, E.-J., Virkajärvi, P. & Wall, A. 2021. Maankäyttösektorin ilmastotoimenpiteet: Arvio päästövähennysmahdollisuuksista. *Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus* 65/2021. Helsinki: Luonnonvarakeskus. 122 s.
- Leinonen, K., Leikola, M., Peltonen, A. & Räsänen, P.K. 1989. Kuusen luontainen uudistaminen Pirkka-Hämeen metsälautakunnassa. Natural re-generation of Norway spruce in Pirkka-Häme Forestry Board District, southern Finland. *Acta Forestalia Fennica* 209. Helsinki: Metsäntutkimuslaitos. 53 s.
- Lukkala, O. 1946. Korpimetsien luontainen uudistaminen. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 34.3. Helsinki: Metsätieteellinen tutkimuslaitos. 150 s.
- Lipo, R. 2023. Kuusen luontainen uudistuminen turvekankaalla. 39+2 s. Opinnäytetyö. Lapin ammattikorkeakoulu, Metsätalouden koulutusohjelma.
- Mannerkoski, H. 1975. Vanhan ojitusalueen uudistaminen mätästysmenetelmällä. *Suo* 26: 65–68.
- Metsähallitus, 1987. Ohjekirje metsien käsittelystä Etelä-Suomen Piirikunnassa. Metsähallitus 309. Helsinki: Metsähallitus. 18 s.

- Miettinen, J., Ollikainen, M., Aroviita, J., Haikarainen, S., Nieminen, M., Turunen, J. & Valsta, L. 2020. Boreal peatland forests: ditch network maintenance effort and water protection in a forest rotation framework. *Canadian Journal of Forest Research* 50: 1025–1038. DOI:10.1139/cjfr-2019-0339
- Minkkinen, K. & Laine, J. 1998. Effect of forest drainage on the peat bulk density of pine mires in Finland. *Canadian Journal of Forest Research* 28: 178–186. DOI:10.1139/x97-206
- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J. & Altman, D.G. The PRISMA group, 2009. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. *PLOS Medicine* 6: e1000097. DOI:10.1371/journal.pmed.1000097
- Moilanen, M. & Issakainen, J. 2011. Kuusialikasvoksen ravinnetila ja pituuskasvu ylispuuhakuun ja lannoituksen jälkeen mustikkaturvekankaalla. *Metlan työraportteja* 188. Metsäntutkimuslaitos. 22 s. ISBN 978-951-40-2281-4.
- Moilanen, M., Issakainen, J. & Vesala, H. 2011. Metsän uudistaminen mustikkaturvekankaalla – luontaisesti vai viljellen? *Metlan työraportteja* 192. Metsäntutkimuslaitos. 30 s. ISBN 978-951-40-2287-6.
- Moilanen, M., Saarinen, M. & Silfverberg, K. 2010. Foliar nitrogen, phosphorus and potassium concentrations of Scots pine in drained mires in Finland. *Silva Fennica* 44: 129. DOI:10.14214/sf.129
- Moilanen, M., Ferm, A. & Issakainen, J. 1995. Kuusen- ja koivuntaimien alkukehitys korven uudistamisaloilla. *Metsätieteen aikakauskirja* 1995: 115–130. DOI:10.14214/ma.5950
- Moilanen, M., Hytönen, J., Hökkä, H. & Ahtikoski, A. 2015. Fertilization increased growth of Scots pine and financial performance of forest management in a drained peatland in Finland. *Silva Fennica* 49: 1301. DOI:10.14214/sf.1301
- Nieminen, M. 2004. Export of dissolved organic carbon, nitrogen and phosphorus following clear-cutting of three Norway spruce forests growing on drained peatlands in southern Finland. *Silva Fennica* 38: 123–132. DOI:10.14214/sf.422
- Nieminen, M. 2003. Effects of clear-cutting and site preparation on water quality from a drained Scots pine mire in southern Finland. *Boreal Environmental Research* 8: 53–59.
- Nieminen, M., Sarkkola, S. & Laurén, A. 2017. Impacts of forest harvesting on nutrient, sediment and dissolved organic carbon exports from drained peatlands: A literature review, synthesis and suggestions for the future. *Forest Ecology and Management* 392: 13–20. DOI:10.1016/j.foreco.2017.02.046
- Nieminen, M., Ahti, E., Koivusalo, H., Mattsson, T., Sarkkola, S. & Laurén, A. Export of Suspended Solids and Dissolved Elements from Peatland Areas after Ditch Network Maintenance in South-Central Finland. *Silva Fennica* 44: 161. DOI: 10.14214/sf.161.
- Nieminen, M., Koskinen, M., Sarkkola, S., Laurén, A., Kaila, A., Kiikkilä, O., Nieminen, T.M. & Ukonmaanaho, L. 2015. Dissolved Organic Carbon Export from Harvested Peatland Forests with Differing Site Characteristics. *Water, Air, Soil, & Pollution* 226: 181. DOI:10.1007/s11270-015-2444-0

- Nieminen, M., Hökkä, H., Laiho, R., Juutinen, A., Ahtikoski, A., Pearson, M., Kojola, S., Sarkkola, S., Launiainen, S., Valkonen, S., Penttilä, T., Lohila, A., Saarinen, M., Haahti, K., Mäkipää, R., Miettinen, J. & Ollikainen, M. 2018. Could continuous cover forestry be an economically and environmentally feasible management option on drained boreal peatlands? *Forest Ecology and Management* 424: 78–84. DOI:10.1016/j.foreco.2018.04.046
- Niemistö, P. 1995. Turvemaan hieskoivikon tiheyden vaikutus alikasvoskuusikon kehitykseen. Teoksessa: Poikolainen, J. & Väärä, T. (Toim.). *Metsäntutkimuspäivä Kuusamossa 1994*. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 552. Metsäntutkimuslaitos, Muhoksen tutkimusasema. s 87–103.
- Niemistö, P. & Poutiainen, E. 2004. Hieskoivikon käsittelyn vaikutus kuusialikasvoksen kehitykseen Keski- ja Pohjois-Pohjanmaan viljavilla ojitusalueilla. *Metsätieteen aikakauskirja* 4/2004: 441–459. DOI:10.14214/ma.5664
- Ojanen, P., Minkkinen, K. & Penttilä, T. 2013. The current greenhouse gas impact of forestry-drained boreal peatlands. *Forest Ecology and Management* 289: 201–208. DOI:10.1016/j.foreco.2012.10.008
- Ojanen, P., Minkkinen, K., Alm, J. & Penttilä, T. 2010. Soil–atmosphere CO₂, CH₄ and N₂O fluxes in boreal forestry-drained peatlands. *Forest Ecology and Management* 260: 411–421. DOI:10.1016/j.foreco.2010.04.036
- Örlander, G. & Karlsson, C. 2000. Influence of Shelterwood Density on Survival and Height Increment of *Picea abies* Advance Growth. *Scandinavian Journal of Forest Research* 15: 20–29. DOI:10.1080/02827580050160439
- Päivänen, J. 1982. The effect of cutting and fertilization on the hydrology of an old forest drainage area. *Folia Forestalia* 516. Helsinki: Metsäntutkimuslaitos. 19 s.
- Pearson, M., Saarinen, M., Minkkinen, K., Silvan, N. & Laine, J. 2011. Mounding and scalping prior to reforestation of hydrologically sensitive deep-peated sites: factors behind Scots pine regeneration success. *Silva Fennica* 45: 647–667. DOI:10.14214/sf.98
- Peltonen, A., 1986. Metsien uudistaminen turvemailla kuuden eteläisimmän piirimetsälautakunnan alueella: Vuosien 1978–1979 inventointitulokset, *Folia forestalia* 679. Metsäntutkimuslaitos, Helsinki. 25 s.
- Pulliainen, L. 2019. Taimikon laatu ja jatkokehityksen edellytykset turvemaakuusikoiden pienaukkohakkuissa Pohjois-Suomessa. 68 s. Maisterintutkielma. Helsingin yliopisto, Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta.
- Repo, T., Domisch, T., Kilpeläinen, J., Piirainen, S., Silvennoinen, R. & Lehto, T. 2020. Dynamics of fine-root production and mortality of Scots pine in waterlogged peat soil during the growing season. *Canadian Journal of Forest Research* 50: 510–518. DOI:10.1139/cjfr-2019-0163
- Repo, T., Launiainen, S., Lehto, T., Sutinen, S., Ruhanen, H., Heiskanen, J., Laurén, A., Silvennoinen, R., Vapaavuori, E. & Finér, L. 2016. The responses of Scots pine seedlings to waterlogging during the growing season. *Canadian Journal of Forest Research* 46: 1439–1450. DOI:10.1139/cjfr-2015-0447

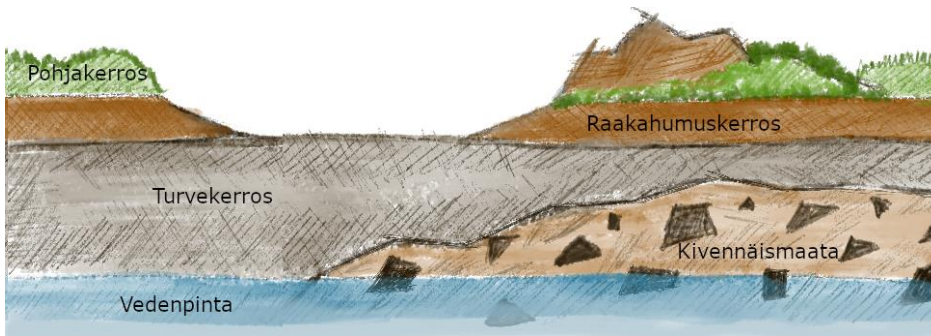
- Ruosteenoja, K. & Jylhä, K. 2021. Projected climate change in Finland during the 21st century calculated from CMIP6 model simulations. *Geophysica* 56: 39–69.
- Ruotsalainen, S. 2014. Increased forest production through forest tree breeding. *Scandinavian Journal of Forest Research* 29: 333–344. DOI:10.1080/02827581.2014.926100
- Ruseckas, J., Grigaliūnas, V., Suchockas, V. & Pliūra, A. 2015. Influence of Ground Water Table Depth, Ground Vegetation Coverage and Soil Chemical Properties on Forest Regeneration in Cutovers on Drained Fen Habitats. *Baltic Forestry* 21: 152–161.
- Saarinen, M. 2013. Männyn kylvö ja luontainen taimettuminen vanhoilla ojitusalueilla – turvemaiden uudistamisen erityispiirteitä. 64 s. *Dissertationes Forestales* 164. ISBN 978-951-651-418-8.
- Saarinen, M. 2002. Kasvillisuuden ja maanmuokkauksen vaikutus männyn ja koivun taimettumiseen varpu- ja puolukkaturvekankailla. *Suo* 53: 41–60.
- Saarinen, M. 1997. Kasvupaikkatekijöiden vaikutus vanhojen ojitusalueiden taimettumiseen. Kirjallisuuteen perustuva tarkastelu. Effect of site factors on restocking of old drainage areas. A literature review. *Suo* 48: 61–70.
- Saarinen, M. 1996. Effects of the removal of shelterwood on the foliar nitrogen concentrations of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) on drained peatlands. *Suo* 47: 95–102.
- Saarinen, M. 1989. Metsien uudistaminen vanhoilla ojitusalueilla. *Suo* 40: 31–36.
- Saarinen, M. & Hotanen, J.-P. 2000. Raakahumuksen ja kasvillisuuden yhteisvaihtelu Pohjois-Hämeen vanhoilla ojitusalueilla. *Suo* 51: 227–242.
- Saarinen, M., Alenius, V. & Laiho, R. 2013. Kosteusolosuhteiden vaikutus siementen itämiseen ja taimien varhaiskehitykseen turvemaan metsän- uudistusalan muokkauspinoilla. *Suo* 64: 51–75.
- Saarinen, M., Hotanen, J.-P. & Alenius V. 2009. Muokkausjälkien kasvillisuuden kehittyminen ojitettujen soiden metsänuudistamisaloilla. *Suo* 60: 85–109.
- Saarinen, M., Valkonen, S., Sarkkola, S., Nieminen, M., Penttilä, T. & Laiho, R. 2020. Jatkuva- peitteisen metsänkasvatuksen mahdollisuudet ojitetuilla turvemailla. *Metsätieteen aikakauskirja* 2020: 10372. DOI:10.14214/ma.10372
- Saksa, T. & Kankaanhuhta, V. 2007. Metsänuudistamisen laatu ja keskeisimmät kehittämisskohteet Etelä-Suomessa. Metsänuudistamisen laadun hallinta -hankkeen loppuraportti. Jyväskylä: Metsäntutkimuslaitos, Suonenjoen yksikkö. 90 s. ISBN 978-951-40-2040-7.
- Sarasto, J. 1964. Koivun kylvöjen talvehtimisesta ojitetuilla soilla. *Suo* 15: 51–53.
- Sarasto, J. 1963. Tutkimuksia koivun kylvöstä ojitetuille soille. *Suo* 14: 47–55.
- Sarasto, J. 1961. Ojitettujen soiden luokittelusta. *Suo* 12: 75–77.

- Sarasto, J. & Seppälä, K. 1964. Männyn kylvöstä ojitettujen soiden sammal- ja jäkäläkasvustoihin. *Suo* 15: 54–57.
- Sarkkola, S., Hökkä, H., Ahti, E., Koivusalo, H. & Nieminen, M. 2012. Depth of water table prior to ditch network maintenance is a key factor for tree growth response. *Scandinavian Journal of Forest Research* 27: 649–658. DOI:10.1080/02827581.2012.689004
- Sarkkola, S., Ukonmaanaho, L., Nieminen, T.M., Laiho, R., Laurén, A., Finér, L. & Nieminen, M. 2016. Should harvest residues be left on site in peatland forests to decrease the risk of potassium depletion? *Forest Ecology and Management* 374: 136–145. DOI:10.1016/j.foreco.2016.05.004
- Seppälä, K. & Keltikangas, M. 1978. Alikasvostaimistot Pohjanmaan ojitusalueiden hieskoivikossa. *Suo* 29: 11–16.
- Silfverberg, K., Huotari, N. & Kokkonen, A.-M. 2010. Puu- ja turvetuhkan vaikutukset kasvillisuuteen ja männyn taimettumiseen päätehakatulla turvekankaalla. *Metsätieteen aikakauskirja* 4/2010: 341–353. DOI:10.14214/ma.6938
- Sirén, M., Tantt, V., Mäntynen, E., Aaltio, H. & Siipilehto, J. 2002. Ensiharvennuksen korjuuolot. Teoksessa: Sirén, M. 2002 (Toim.). Ensiharvennusten korjuuolot ja niiden parantamismahdollisuudet. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 837. 56 s. ISBN 951-40-1817-6.
- Stenberg, L., Tuukkanen, T., Finér, L., Marttila, H., Piirainen, S., Kløve, B. & Koivusalo, H. 2015. Ditch erosion processes and sediment transport in a drained peatland forest. *Ecological Engineering* 75: 421–433. DOI:10.1016/j.ecoleng.2014.11.046
- Straková, P., Penttilä, T., Laine, J. & Laiho, R. 2012. Disentangling direct and indirect effects of water table drawdown on above- and belowground plant litter decomposition: consequences for accumulation of organic matter in boreal peatlands. *Global Change Biology* 18: 1354–1013.
- Uusitalo, J., Salomäki, M. & Ala-Illomäki, J. 2015. The Effect of Wider Logging Trails on Rut Formations in the Harvesting of Peatland Forests. *Croatian Journal of Forest Engineering* 36: 125–130.
- Vanhatalo, K., Väisänen, P., Joensuu, S., Sved, J., Koistinen, A. & Äijälä, O. (Toim.). 2019. Metsänhoidon suositukset suometsien hoitoon, työopas. *Tapion julkaisuja*. 118 s. ISBN 978-952-5632-74-3
- Vartiainen, V.-M. 2014. Pohjavedenpinnan etäisyyden, sääolojen ja kasvillisuuden vaikutus turvemaalla. 71 s. *Opinnäytetyö*. Lapin ammattikorkeakoulu, Luonnonvara ja ympäristöala, Metsätalouden koulutusohjelma.

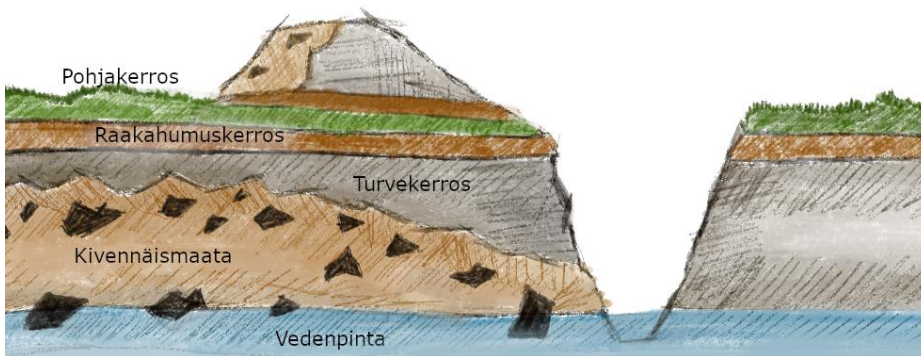
Liitteet

Taulukko L1: Aineiston haussa käytetyt hakulausekkeet Finna.fi, Scopus ja ISI Web of Science hakupalveluissa.

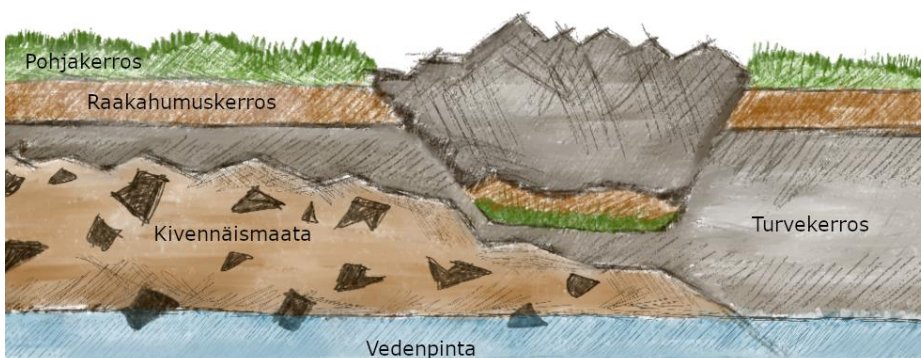
	Hakulausekkeet
Finna.fi	<pre>(*turvekan* OR turvema* OR "ojitet* suo*" OR "ojitet* soi*" OR korpi* OR räme* OR suomets* OR *ojitu*) AND (*viljel* OR *uudist* OR *muokk* OR *mätäst* OR laikut* OR jyrsin* OR suojuspu* OR siemenpu* OR verhopuust* OR kylv* OR istut* OR "jatkuva* kasvatu*" OR lannoit* OR *alikasvo* OR pienaukko* OR kaistalahak*) AND ((*taimi* AND (selvi* OR kuolleis* OR alkukehity* OR kasvu* OR tihey*)) OR *uudist* OR taimet* OR *alikasvo*)</pre>
Scopus	<pre>((peatland* OR (peat NEAR forest) OR (drained AND (forestry* OR mire* OR fen* OR swamp* OR bog*))) AND ("pinus sylvestris" OR "Scots pine" OR "Picea abies" OR "Norway spruce" OR "Betula" OR "Downy birch") AND (regeneration OR planting OR "soil preparation" OR "site preparation" OR mounding OR scalping OR scarification OR seeding OR "selective cutting" OR shelterwood OR "seed tree" OR fertili?ation OR undergrowth) AND (seedling* AND (establishment OR survival OR mortality OR growth OR performance) OR "advance growth" OR regeneration OR "seedling density" OR undergrowth))</pre>
ISI Web of Science	<pre>TS=(peatland* OR (peat NEAR forest) OR (drained AND (forestry* OR mire* OR fen* OR swamp* OR bog*))) AND TS=("pinus sylvestris" OR "Scots pine" OR "Picea abies" OR "Norway spruce" OR "Betula" OR "Downy birch") AND TS=(regeneration OR planting OR "soil preparation" OR "site preparation" OR mounding OR scalping OR scarification OR seeding OR "selective cutting" OR shelterwood OR "seed tree" OR fertili?ation OR undergrowth) AND TS=(seedling* AND (establishment OR survival OR mortality OR growth OR performance) OR "advance growth" OR regeneration OR "seedling density" OR undergrowth)</pre>



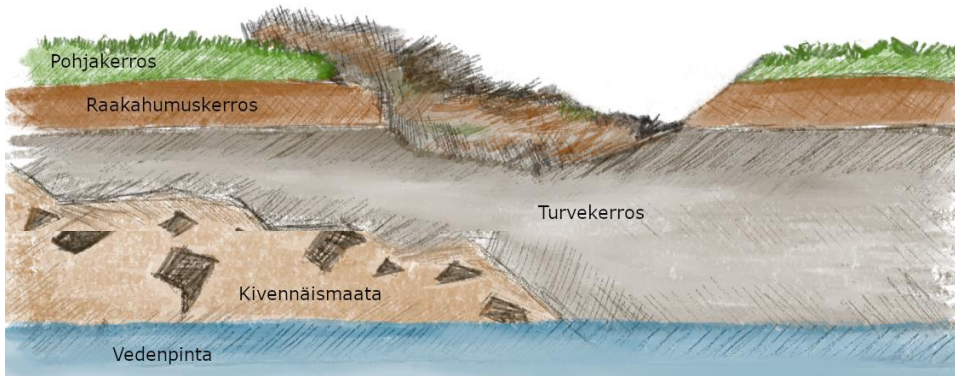
Kuva L1: Laikutuksessa maan pintaa poistetaan laikuittain kaivinkoneella taimettumisen parantamiseksi. Maanpintaa paljastetaan vain kevyesti, turvemaille tarkoitus on poistaa kasvillisuutta sekä sammalkerroksen alla oleva raakahumuskerros kokonaan tai osittain. Liian syviä laikkuja on vältettävä, sillä ne keräävät sadevettä.



Kuva L2: Mätästys on kohoumia muodostava maanmuokkaustapa, jossa kaivinkoneella otetaan turvetta, joka pudotetaan koskemattoman maan päälle. Tällöin turvepaakun alle jää kaksinkertainen humuskerros. Laikkumätästyksessä maa-aines mättäisiin otetaan laikusta, ojitus- ja naveromätästyksessä joko kuivatukseen tarkoitettu ojan pintamaasta tai matalista ojapätistä, naveroista. Ojitusmätästyksellä tavoitellaan suurempaa kuivatusta, kun taas naveroiden tarkoituksena ei ole johtaa vettä pois uudistusalueelta.



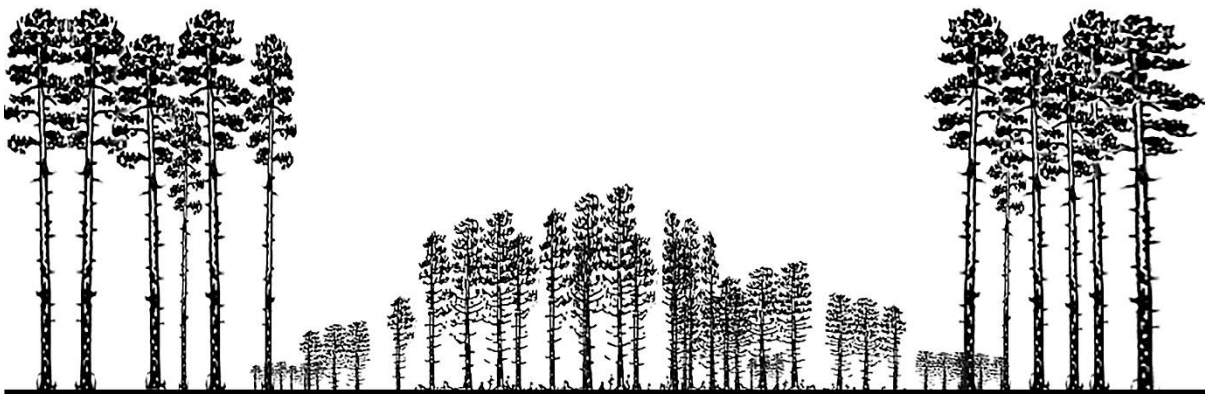
Kuva L3: Kääntömätästys suoritetaan kaivinkoneella. Kauhalla otetaan maata, joka pudotetaan kääntäen samaan kuoppaan, josta se oli otettu. Maan pintakerrokset jäävät siis mättään pohjalle. Tuloksena on mätästykseen verrattuna matalampi mätäs.



Kuva L4: Jyrsinnässä kaivinkoneen perään asennetaan jyrsinlaite, joka tuottaa muokkausjälkeä, jossa raakahumuskerros ja turve sekoitetaan 20–50 cm:n syvyydeltä. Jyrsintä tuottaa kevyen ja ilmavan muokkausjäljen.



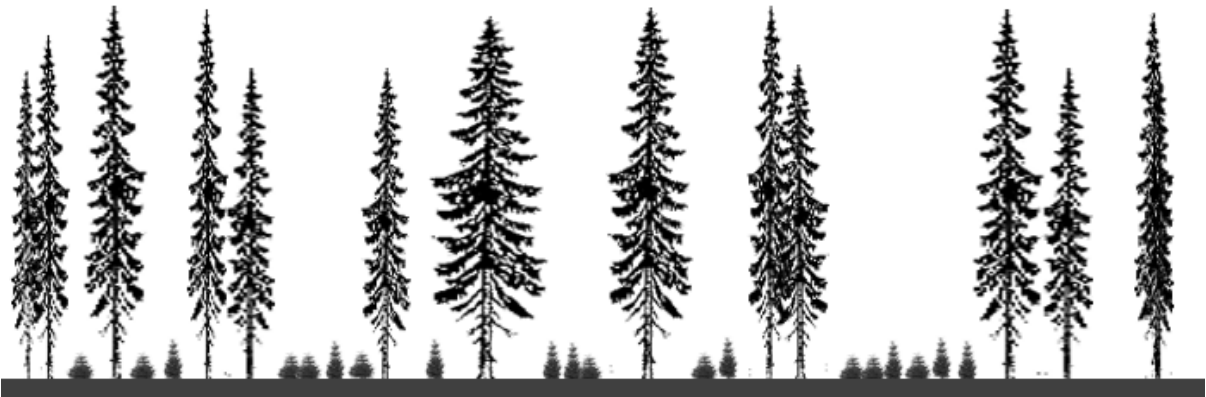
Kuva L5: Männyn siemenpuuhakkuussa hakkuualalle jätetään 50–150 kpl hyvälatvuksisia puita. Männyn siemenpuuhakkuuta käytetään männyn luontaisen uudistamisen yhteydessä.



Kuva L6: Kaistalehakkuu/pienaukko männyllä. Kaistaleen leveydeksi suositellaan enintään 50 m. Männyn siemenpuuhakkuuta käytetään männyn luontaisen uudistamisen yhteydessä.



Kuva L7: Kaistalehakuu/pienaukkohakuu kuusella. Kaistaleen leveydeksi suositellaan enintään 50 m ja pienaukkojen tulee olla alle 0,3 ha.



Kuva L8: Suojuspuuhakuu kuusella. Hakuualalle jätetään 100-300 hyvälaatuista suojuspuuta, mahdollisuuksien mukaan myös kuusta ja mäntyä. Suojuspuuhakuu on kuusen luontaiseen uudistamiseen tähtäävä hakkuutapa.



**Löydät meidät
verkosta**

luke.fi

