



Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 40/2022

Jatkuvapeitteinen metsänkasvatus

Synteesiraportti

Johanna Routa ja Saija Huuskonen (toim.)

Jatkuvapeitteinen metsänkasvatus

Synteesiraportti

Johanna Routa ja Saija Huuskonen (toim.)

Kirjoittajat:

Anssi Ahtikoski, Emmi Haltia, Jarkko Hantula, Liina Hoikkala, Juha Honkaniemi, Jari Hynynen, Hannu Hökkä, Annika Kangas, Matti Koivula, Sonja Kujala, Katri Kärkkäinen, Alekski Lehtonen, Juho Matala, Lauri Mehtätalo, Timo Muhonen, Harri Mäkinen, Mika Nieminen, Yrjö Nuutinen, Rainer Peltola, Pasi Rautio, Anna Repo, Jaakko Repola, Markku Saarinen, Hannu Salminen, Sakari Sarkkola, Jouni Siipilehto, Juha Siitonen, Seija Tuulentie, Sauli Valkonen, Esa-Jussi Viitala
etunimi.sukunimi@luke.fi

Viittausohje:

Routa, J. & Huuskonen, S. (toim.). 2022. Jatkuvapeitteinen metsänkasvatus : Synteesiraportti. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 40/2022. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 132 s.

Viittausohje yksittäiseen artikkeliin:

Valkonen Sauli 2022. Jatkuvapeitteinen kasvatus- mitä se on? Julkaisussa: Routa, J. & Huuskonen, S. (toim.). 2022. Jatkuvapeitteinen metsänkasvatus : Synteesiraportti. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 40/2022. Luonnonvarakeskus. Helsinki. s. 9–18.

Johanna Routa ORCID ID, <https://orcid.org/0000-0001-7225-1798>



ISBN 978-952-380-426-5 (Painettu)

ISBN 978-952-380-427-2 (Verkkójulkaisu)

ISSN 2342-7647 (Painettu)

ISSN 2342-7639 (Verkkójulkaisu)

URN <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-427-2>

Copyright: Luonnonvarakeskus (Luke)

Kirjoittajat: Johanna Routa ja Saija Huuskonen (toim.)

Julkaisija ja kustantaja: Luonnonvarakeskus (Luke), Helsinki 2022

Julkaisu vuosi: 2022

Kannen kuva: Erkki Oksanen, Luonnonvarakeskus

Painopaikka ja julkaisumyynti: PunaMusta Oy, <https://luke.omapumu.com/fi/>

Tiivistelmä

Johanna Routa ja Saija Huuskonen

Metsien tulee vastata moniin eri tavoitteisiin, kuten raaka-aineen tuotantoon, hiilensidontaan, monimuotoisuuden turvaamiseen ja ilmastonmuutokseen sopeutumiseen. Osa tavoitteista voi olla myös ristiriidassa keskenään. Näihin tavoitteisiin vastaamiseen tarvitaan erilaisia metsänkasvatusmenetelmiä. Tutkimustietoa tasaikäismetsätalouden vaikutuksista ja mahdollisuuksista on runsaasti, tietoa jatkuvapeitteisestä metsänkasvatuksesta sen sijaan paljon vähemmän.

Jatkuvan kasvatuksen menetelmät ovat Suomessa voimakkaasti kehittämissä vaiheissa, ja sitä tutkitaan tällä hetkellä aktiivisesti. Tähän synteesiraporttiin on koostettu eri näkökulmista uusin tutkimustieto sekä nostettu esiin tutkimustarpeita ja tiedonpuutteita jatkuvapeitteisestä metsänkasvatuksesta. Tarkasteltuja näkökulmia ovat metsän uudistuminen, geneettiset vaikutukset, puuntuotanto ja tuotos, puunkorjuu, metsätuhot, monimuotoisuus, vesistövaikutukset, metsien hiilenkierto, talous, metsäsuunnittelun menetelmät, metsien monikäyttö ja metsänomistajien suhtautuminen. Kunkin aihealueen koostamisesta ovat vastanneet aihealueen asiantuntijat.

Tämä synteesiraportti osoittaa, mitä tällä hetkellä tiedetään jatkuvapeitteisestä metsänkasvatuksesta eri näkökulmista tarkasteltuna. Raportti myös osoittaa, että aihealueella on paljon tietotarpeita, eikä aiheesta vielä voida tehdä kokonaissynteesiä. Raportti tuo esille myös sen, että uutta tutkimustietoa kertyy koko ajan.

Tiedolle jatkuvan kasvatuksen menetelmien vaikutuksista on kysyntää. Metsien hyödyntämisen moninaisten tavoitteiden täyttämiseksi tarvitaankin sekä erilaisia metsiä että niihin soveltuvia monipuolisia käsittelytapoja. Pelkkä käsittelytavan valinta ei kuitenkaan takaa kaikkien tavoitteiden toteutumista. Esimerkiksi metsäluonnon monimuotoisuuden turvaaminen edellyttää luonnonhoitotoimia niin tasaikäisessä kuin jatkuvapeitteisessäkin kasvatuksessa. Löytämällä parhaimmat kohteet kullekin menetelmälle ja yhdistelemällä sopivalla tavalla erilaisia käsittelytapoja tuotetaan enemmän hyvinvointia, tuloja, monimuotoisuutta, hiilensidontaa ja virkistysmahdollisuuksia kuin millään tavalla yksistään.

Asiasanat: Jatkuvapeitteinen metsänkasvatus, eri-ikäisrakenteinen metsänkasvatus, poimintahakkuu, pienaukkohakkuu, kaistalahakkuu, ylispuukasvatus

Esipuhe

Metsien tulee vastata samaan aikaan moniin erilaisiin tavoitteisiin, ja keskustelu tavoitteiden yhteensovittamisesta on aktiivista. Raaka-aineen tuotanto eri tarkoituksiin, samaan aikaan hiilensidonta ja monimuotoisuuden turvaaminen ja sopeutuminen ilmastonmuutokseen aiheuttavat uusia ja erilaisia tarpeita metsien käsittelylle. Eri tavoitteiden saavuttaminen voi olla myös osin ristiriidassa keskenään. Maantieteellinen sijainti ja erilaiset kasvupaikat, sekä metsien aikaisempi käsittelyhistoria muovaavat metsiämme ja vaikuttavat niiden käsittelymahdollisuuksiin.

Vallitseva metsien käsittelymuoto on ollut takaisikäisen metsän kasvatus, jonka seurauksena metsämaisemassa on taimikoita, nuoria kasvatusmetsiä, varttuneita metsiä ja uudistushakkuu-aloja. Jatkovapeitteisessä kasvatuksessa tavoitellaan metsän säilymistä puustoisena niin, että siellä kasvaa samaan aikaan eri-ikäisiä ja -kokoisia puita. Siihen pyritään käsittelemällä metsää pääasiassa joko poimintahakkuilla tai pienaukkohakkuilla.

Tarvitsemme erilaisia metsiä ja niihin soveltuvia monipuolisia käsittelytapoja, jotta voimme vastata erilaisiin tavoitteisiin. Sekä metsiä että metsänomistajia on monenlaisia, eikä yksi menetelmä sovi kaikkialle. Metsien kestävä käytön kannalta paras tulos saavutetaan, kun menetelmä valitaan kohteen ominaisuuksien mukaan. Pelkkä käsittelytavan valinta ei kuitenkaan takaa kaikkien tavoitteiden toteutumista. Esimerkiksi metsäluonnon monimuotoisuuden turvaaminen edellyttää sekä metsiensuojelua että luonnonhoitotoimia talousmetsissä, niin tasaikäisessä kuin jatkovapeitteisessäkin kasvatuksessa.

Jatkuvan kasvatuksen ei odoteta syrjäyttävän vallitsevia tasaikäismenetelmiä, vaan täydentävän niitä rinnakkaisena metsänhoitoperiaatteena. Sopivalla tavalla yhdisteltynä erilaiset käsittelytavat tuottavat enemmän hyvinvointia, tuloja, monimuotoisuutta, hiilensidontaa ja virkistysmahdollisuuksia kuin mikään tapa yksistään käytettynä.

Tässä synteesiraportissa tarkastellaan laajasti jatkovapeitteistä metsänkasvatusta: mitä se on, mitä tiedämme metsän uudistumisesta, mitä genetiikasta, tai kasvusta ja tuotoksesta? Entäpä metsäsuunnittelusta ja puunkorjuusta, metsätuhoista, monimuotoisuudesta, hiilenkierrosta tai vesistövaikutuksista? Unohtamatta taloutta tai virkistyskäyttöä ja metsänomistajan näkökulmaa. Olemme koonneet tähän synteesiraporttiin uusimman tutkimustiedon edellä mainituista aiheista sekä nostaneet esiin tutkimustarpeita, joita on valtavasti. Ikäväksemme meidän on todettava, että tiedämme jatkovapeitteisestä kasvatuksesta vielä kovin vähän. Jatkovapeitteistä kasvatusta on harjoitettu Suomessa vasta suhteellisen vähän aikaa, ja laajemman tutkimuksen kohteeksi se on noussut vasta aivan viime vuosina. Tutkimus on tällä hetkellä aktiivista, ja uusia tuloksia on odotettavissa. Koko ajan tarvitaan myös uusia tutkimushankkeita, jotta jatkovapeitteisen metsänkasvatuksen vaikutuksista saadaan kattavaa tietoa käytännön metsätaloudessa hyödynnettäväksi.

Parhaat kiitokset kaikille kirjoittajille siitä, että tästä runsaasti tunteita herättävästä aiheesta valmistui asiapitoinen ja kattava kokonaisuus. Erityiset kiitokset Soili Haikaraiselle ja Mikko Kurttialle kommentteista käsikirjoitukseen.

Toimittajat

Sisällys

1. Jatkuvapeitteinen kasvatusta – mitä se on?.....	9
1.1. Periaate	9
1.2. Metsänkasvatustenetelmät.....	9
1.2.1. Kasvatustenetelmät.....	10
1.2.2. Hakkuutavat.....	10
1.3. Jatkuvapeitteisen metsänkasvatustuksen päämenetelmien käyttö.....	14
1.3.1. Eri-ikäisen kuusikon kasvatustaminen	14
1.3.2. Muutos tasaikäisestä metsästä eri-ikäiseen.....	15
1.3.3. Monijaksoiset metsät ja ylispuukasvatusta	16
2. Metsän uudistustaminen.....	19
2.1. Pääpiirteet.....	19
2.2. Kuusikoiden jatkuvapeitteinen metsänkasvatusta kangasmailla.....	19
2.2.1. Eri-ikäisen metsän kasvatusta.....	19
2.2.2. Pienaukkohakkuu	21
2.2.3. Suojuspuuhakkuu	23
2.3. Kuusikoiden jatkuvapeitteinen metsänkasvatusta ojitetuilla turvemilla.....	24
2.3.1. Eri-ikäisen metsän kasvatusta.....	24
2.3.2. Pienaukkohakkuu	24
2.3.3. Alikasvokset ja niiden hyödyntäminen	26
2.3.4. Suojuspuuhakkuu	27
2.4. Männiköiden jatkuvapeitteinen kasvatusta kangasmailla.....	28
2.4.1. Ylispuukasvatusta	28
2.4.2. Eri-ikäisen metsän kasvatusta.....	29
2.4.3. Pienaukkohakkuu	29
2.5. Männiköiden jatkuvapeitteinen metsänkasvatusta ojitetuilla turvemilla.....	30
2.5.1. Eri-ikäisen metsän kasvatusta.....	30
2.5.2. Pienaukkohakkuu	31
2.5.3. Ylispuukasvatusta	31
2.6. Päätelmiä ja jatkotutkimustarpeita	32
3. Geneettiset vaikutukset	35
3.1. Jatkuvan kasvatustuksen geneettisiä vaikutuksia on vaikeaa mutta tärkeää tutkia.....	35
3.2. Vaikuttaako jatkuva kasvatusta metsien geneettisen muuntelun määrään, sukusiitoksen mahdollisuuteen ja sopeutumiskykyyn?	36
3.3. Poimintahakkuun geneettiset vaikutukset – väheneekö geneettinen kasvupotentiaali?	38

4. Puuntuotanto ja tuotos.....	42
4.1. Tutkimustietoa kuusikoiden poimintahakkuista	42
4.2. Puuston kasvu ja puuntuotos eri-ikäisissä kuusikoissa	42
4.2.1. Kasvuun ja tuotokseen vaikuttavat yleiset tekijät.....	42
4.2.2. Eri-ikäisen metsän uudistumisen ja varhaiskehityksen vaikutus	43
4.2.3. Metsikön tiheyden ja puuston määrän vaikutus	43
4.2.4. Puuston kasvureaktio poimintahakkuun jälkeen	45
4.3. Puuston kasvu ja tuotos pitkällä aikavälillä.....	46
4.4. Epävarmuuksia ja kehitystarpeita	49
5. Puunkorjuu	52
5.1. Puunkorjuun suunnittelu.....	52
5.2. Poimintahakkuun toteutus.....	53
5.3. Pienaukkohakkuun ja ylispuiden poiston toteutus.....	56
5.4. Päätelmiä ja tutkimustarpeita	58
6. Metsätuhot	63
6.1. Tuuli- ja lumituhot.....	63
6.2. Juurikäpä.....	64
6.2.1. Juurikäpien biologiaa.....	64
6.2.2. Juurikävät jatkuvapeitteisessä kasvatuksessa	64
6.3. Merkittävimmät muut metsätaudit.....	67
6.3.1. Versosurma	67
6.3.2. Tervasroso	67
6.4. Hyönteistuhot.....	68
6.4.1. Kirjanpainaja	68
6.4.2. Jatkuvan ja jaksollisen kasvatuksen kuusikot kirjanpainajan kannalta	69
6.5. Hirvieläintuhot.....	69
6.6. Päätelmiä ja jatkonäkymiä.....	70
7. Monimuotoisuus	75
7.1. Monimuotoisuuden turvaamisen mahdollisuudet.....	75
7.2. Jatkuvapeitteisen metsänkasvatuksen hakkuutapojen yleiset vaikutukset	76
7.3. Poimintahakkuiden monimuotoisuusvaikutukset	77
7.4. Pienaukkohakkuiden monimuotoisuusvaikutukset	77
7.5. Poiminta- ja pienaukkohakkuun samankaltaisuus.....	78
7.6. Millaiset lajit voivat hyötyä jatkuvapeitteisestä metsätaloudesta?	79
7.7. Johtopäätökset ja tutkimustarpeet	80

8. Vesistövaikutukset	84
8.1. Miten metsätalouden vesistökuormitus syntyy?	84
8.2. Metsätalouden toimenpiteiden vaikutukset.....	85
8.3. Voidaanko jatkuvapeitteisellä metsänkasvatuksella vähentää vesistökuormitusta?	86
9. Metsien hiilen kierto	90
9.1. Metsänkasvatusmenetelmien hiilivaikutusten vertailu on haasteellista	90
9.2. Jatkuvapeitteinen ja jaksollinen kasvatus kangasmailla.....	91
9.3. Jatkuvapeitteinen ja jaksollinen kasvatus turvemailla.....	92
9.4. Jatkuvapeitteinen ja tasaikäinen kasvatus ja puutuotteet.....	94
9.5. Tutkimustarpeet	94
10. Talous	97
10.1. Viimeaikainen taloustutkimus.....	97
10.2. Kannattavuusvertailut.....	98
10.3. Optimointi menetelmänä.....	98
10.4. Kannattavuusvertailut eri tilanteissa.....	99
10.5. Päätelmiä ja jatkonäkymiä.....	102
11. Metsäsuunnittelun menetelmät	107
11.1. Mitä metsäsuunnittelu on?.....	107
11.2. Kasvatustavan valinta metsäsuunnittelun näkökulmasta	108
11.3. Puuston nykytilan kuvaus	109
11.3.1. Metsävaratiedon hankinta	109
11.3.2. Puujoukon kuvaaminen	110
11.4. Puiden pituuden ennustaminen.....	111
11.5. Jatkuvan kasvatuksen kasvumallit	112
11.5.1. Kasvumallit	112
11.5.2. Sisäänkasvumallit.....	113
11.6. Metsänkasvatusketjujen valinta optimoinnilla.....	113
11.7. Päätelmiä ja tutkimustarpeet.....	114
12. Metsien monikäyttö	117
12.1. Mistä puhutaan, kun puhutaan monikäytöstä?.....	117
12.2. Matkailun ja virkistyskäytön metsä	118
12.3. Marja- ja sienimetsä.....	120
12.4. Päätelmiä.....	121
13. Metsänomistajien suhtautuminen	125

13.1. Jatkuvapeitteinen metsänkasvatus on yleistynyt hitaasti.....	125
13.2. Luonto- ja virkistystavoitteiset metsänomistajat kiinnostuneimpia jatkuvapeitteisestä kasvatuksesta.....	126
13.3. Turvemaiden jatkuvapeitteinen kasvatus korvausta vastaan kiinnostaa.....	126
13.4. Päätelmiä.....	127
14. Yhteenveto.....	129

1. Jatkovapeitteinen kasvatus – mitä se on?

Sauli Valkonen

- Jatkovapeitteinen metsänkasvatus (lyhyesti jatkuva kasvatus) on metsänhoitoa ilman avohakkuuta.
- Jatkuvan kasvatuksen ei odoteta syrjäyttävän vallitsevia tasaikäiskasvatuksen menetelmiä, vaan täydentävän niitä rinnakkaisena metsänhoitoperiaatteena.
- Jatkuvan kasvatuksen menetelmät ovat Suomessa voimakkaan kehittämisen vaiheessa, eivätkä niiden nimet ole vakiintuneet.
- Joustavuus on ominaista jatkuvalla kasvatukselle - erilaisia menetelmiä ja toimenpiteitä voidaan käyttää joustavasti tilanteen ja tavoitteen mukaan.
- Tunnetuimmat ja tutkituimmat päämenetelmät (tärkeimpine hakkuutapoineen) ovat
 - eri-ikäisen metsän kasvattaminen (poiminta- ja pienaukkohakkuu)
 - ylispuukasvatus ja monijaksoiset metsät (siemen/suojuspuuhakkuu ja ylispuuston harventaminen)
 - muutos tasaikäismetsästä eri-ikäismetsään (pienaukko-, väljennys-, suojuspuuhakkuu)
 - kaksijaksoisen sekametsän kasvatus (etenkin jos pyritään eri-ikäisrakenteisuuden kehittämiseen) (verhopuu- ja ylispuuhakkuu).

1.1. Periaate

Jatkovapeitteinen metsänkasvatus (lyhyesti jatkuva kasvatus) on metsänhoitoa ilman avohakkuuta. Metsää ei koskaan hakata täysin paljaaksi, vaan osa puustosta jätetään paikoilleen erilaisia tarkoituksia varten. Yksi niistä on siemenen tuottaminen, jotta metsään syntyy luontaisesti taimia eikä niitä tarvitse istuttaa. Jatkuva kasvatus oli Suomessa käytännössä kiellettyä 1950-luvulta näihin päiviin asti. Jatkuva kasvatus sallittiin metsänkasvatusmenetelmänä metsälaissa vuoden 2014 alusta. Nyt niiden käyttöä ja kokemusten keräämistä käynnistellään vähitellen. Jatkuvan kasvatuksen ei odoteta syrjäyttävän vallitsevia tasaikäismenetelmiä, vaan täydentävän niitä rinnakkaisena metsänhoitoperiaatteena.

1.2. Metsänkasvatusmenetelmät

Menetelmien nimet ovat vasta vakiintumisvaiheessa, ja niiden nimiä käytetään usein toistensa synonyymeinä. Se on toisinaan oikein, toisinaan ei – termit tarkoittavat monesti suunnilleen samaa, mutta eivät aivan. Metsälaissa ja sen valvonnassa käytetyt termit ovat virallisia, ja kaikkien pitäisi ymmärtää ne suunnilleen samalla tavalla, mutta virallistenkin termien käyttö on vielä aika monimuotoista. Usein sekoitetaan myös kasvatusmenetelmät ja niissä käytettävät tärkeimmät hakkuutavat (Taulukko1). Ne eivät suinkaan ole sama asia – tiettyä hakkuutapaa voidaan käyttää monissa kasvatusmenetelmissä.

Tässä luvussa esitetään ensin kasvatusmenetelmistä ja hakkuutavoista käytetty termistö ja sen jälkeen kuvataan yleisimpien kasvatusmenetelmien ja niissä käytettävien hakkuutapojen pääpiirteet.

1.2.1. Kasvatusmenetelmät

Jatkuvapeitteinen metsänkasvatus (lyhyesti jatkuva kasvatus) on yleisnimi kaikille menetelmille, joissa osa puustosta jätetään hakkaamatta, jotta metsä säilyy aina peitteisenä. Tähän voi riittää se, että mäntymetsä uudistetaan siemen- tai suojuupuustolla, josta osa jätetään kasvamaan kehittyvän uuden puusukupolven päällä. Kattavimpana peitteisyys säilyy silloin, kun eri-ikäis-metsässä tehdään vain varovaisia poimintahakkuuta.

Eri-ikäisrakenteinen metsänkasvatus on myös yleisnimi, joka vastaa suurin piirtein jatkuvapeitteistä metsänkasvatusta. Siitä käytetään myös muotoja eri-ikäisrakenteisen metsän kasvatus ja lyhennettynä erirakenteiskasvatus. Nimitys tuntuisi kuitenkin korostavan suurempaa puuston ikä- ja kokoluokkavaihtelua kuin jatkuvapeitteinen kasvatus.

Metsän eri-ikäiskasvatus on kaikkein pienipiirteisoin erirakenteiskasvatuksen menetelmä. Eri-ikäismetsässä kasvaa sekaisin kaiken kokoisia ja -ikäisiä puita. Poimintahakkuissa poistetaan pääasiassa suuria puita ja jätetään pienempiä puita kasvamaan. Taimettumisen ja alikasvoksen sekä valoa vaativan puulajiston hyväksi tehdään myös pienaukkohakkuuta poimintahakkuun rinnalla.

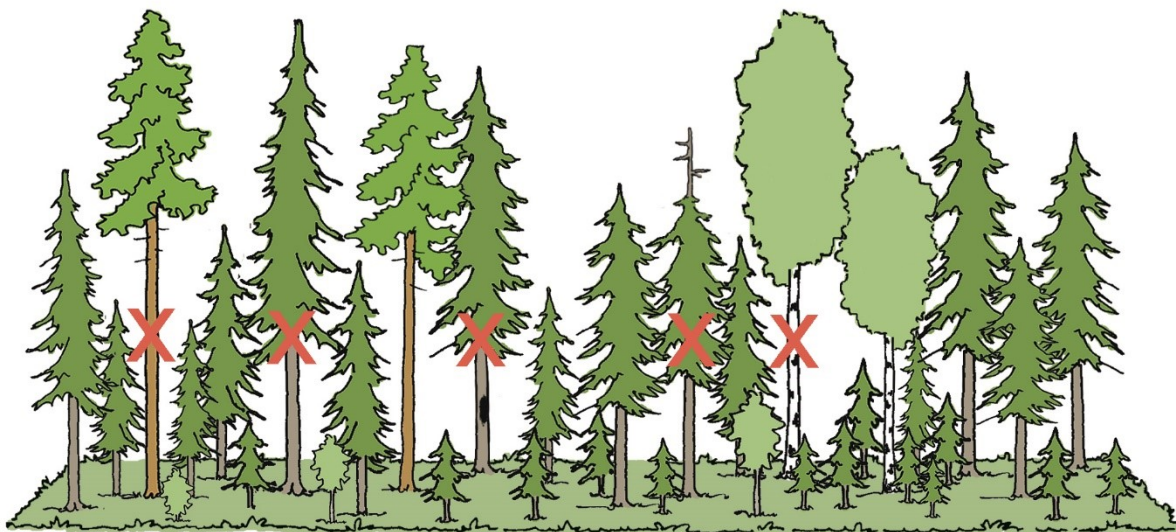
Tasaikäisrakenteisen metsän muuttaminen eri-ikäisrakenteiseksi on jatkuvaa kasvatusta, mutta metsän rakenne ja käytettävät hakkuumenetelmät ovat etenkin alkuvaiheessa hyvin erilaisia kuin valmiiksi eri-ikäisessä metsässä.

Monijaksoiset metsät ja ylispuiden kasvatus ovat myös osa jatkuvaa kasvatusta. Ne ylläpitävät suurempaa ja pitempiaikaista peitteisyyttä kuin tasaikäismetsät ja ovat parempia lähtökohtia eri-ikäisrakenteen kehittämiseksi. Ylispuukasvatuksessa metsässä kasvatetaan yhtä aikaa taimikosta kehittyvää uutta sukupolvea ja vanhasta sukupolvesta kasvamaan jätettyjä ylispuita. Sukupolvet voivat olla samaa tai eri puulajia. Tiheää, kokonaisen latvuserroksen muodostamaa ylispuustoa kutsutaan ylempään puujaksoksi. Kaksijaksoisessa sekametsässä kasvaa kahta (tai useampaa) eri puulajia kahtena puujaksona, joita kehitetään samanaikaisesti ja tasa-arvoisina. Ylempi jakso koostuu yleensä valopuista, jotka päästävät runsaasti valoa latvuserroksensa alle (mänty ja useimmat lehtipuut). Alemman jakson muodostaa enemmän varjoa sietävä puulaji, joista tyypillisin on kuusi.

Käytännössä jatkuvan kasvatuksen menetelmät eivät ole näin tarkkarajaisia ja selväpiirteisiä. Vapaan tyylin metsänhoidossa (Pukkala 2018, Boncina 2011) toimitaan joustavasti tilanteen mukaan, pääasiassa olemassa olevaa puustoa, alikasvosta ja luontaista uudistumista hyödyntäen sekä vaihtelevaa, monijaksoista puustorakennetta kehittäen.

1.2.2. Hakkuutavat

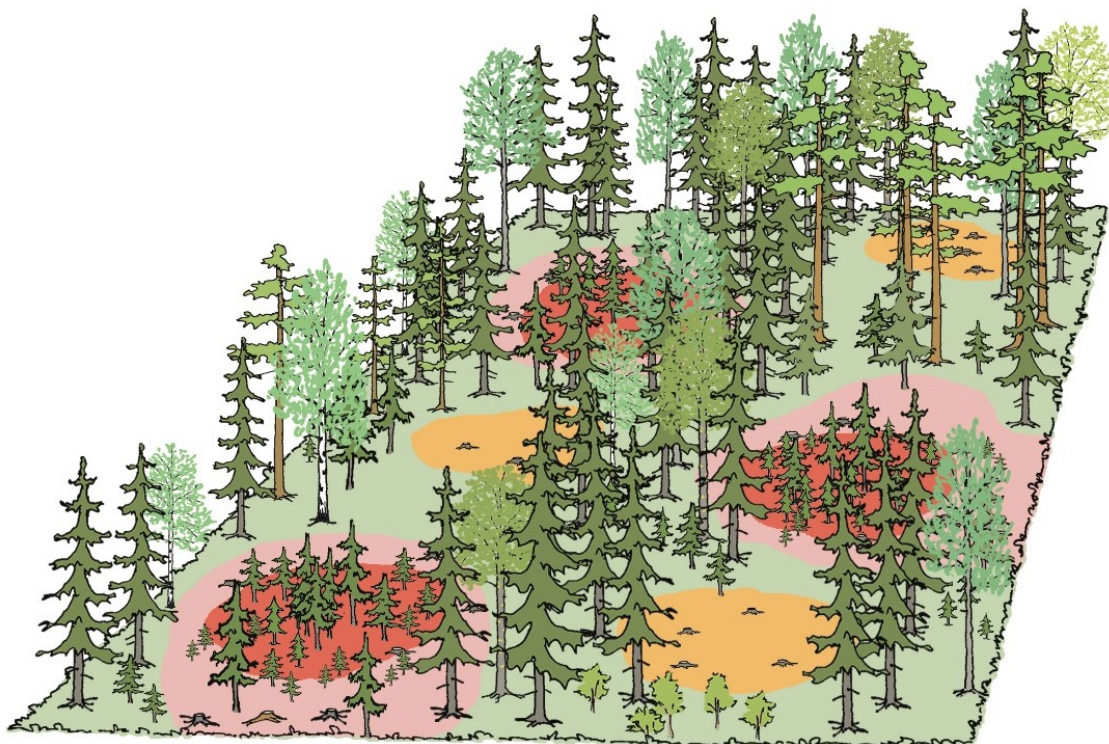
Poimintahakkuu on metsän eri-ikäiskasvatuksessa käytettävä hakkuumenetelmä. Hakkuussa poistetaan pääasiassa isoja puita (Kuva 1). Samalla tehdään tilaa alikasvoksen kehittymiselle ja metsän taimettumiselle. Tiheitä pienempien puiden ryhmiä voidaan harventaa, jos niiden kasvua halutaan nopeuttaa ja totuttaa niitä tuulen- ja lumenkestävyyteen. Vialliset ja sairaat puut poistetaan koosta riippumatta. Jos kasvamaan jätettävät puut ovat hyväkuntoisia, niiden kasvu elpyy, metsä tihentyy, ja seuraava poimintahakkuu tulee pian ajankohtaiseksi. Poimintahakkuu on virallinen termi metsälaissa, metsänkäyttöilmoituksissa ja metsänhoitosuosituksissa.



Kuva 1. Eri-ikäismetsässä kasvaa kaiken kokoisia ja kaiken ikäisiä puita sekaisin. Poimintahakkuussa poistetaan isoja puita sekä vialliset ja sairaat puut koosta riippumatta. (Valkonen 2020; piirros Juha Varhi)

Pienaukkohakkuussa metsään hakataan pieniä aukkoja, jotta ne taimettuisivat luontaisesti niitä ympäröivästä reunametsästä (Kuva 2). Eri-ikäismetsän kasvatuksessa pienaukoilla pyritään nopeuttamaan taimettumista ja olemassa olevan alikasvoksen kehitystä sekä luomaan edellytyksiä valoa vaativien puulajien menestymiselle eri-ikäisrakenteisessa sekametsässä. Pienaukkohakkuuta käytetään usein myös silloin, kun aloitetaan tasaikäisrakenteisen metsän kehittäminen kohti eri-ikäisrakenteisuutta.

Pienaukkohakkuu on virallinen termi metsälaissa, metsänkäyttöilmoituksissa ja metsänhoitosuosituksissa. Metsälaissa alle 0,3 hehtaarin kokoisia pienaukkoja pidetään metsän erirakenteiskasvatuksena, eikä niillä ole samanlaista uudistamisvelvollisuutta kuin isommilla aukoilla. Käytännössä pienaukot voivat olla suurempiakin, esimerkiksi Pohjois-Suomen laajoilla kan-kailla, tai kun halutaan varmistaa kehittämiskelpoisen lehtipuutaimikon syntyminen eri-ikäismetsään. Lakirajaa suuremmilla aukoilla on uudistamisvelvollisuus (riittävä taimikon tiheys määräjassa), mutta sen täyttymisessä ei näytä yleensä olevan ongelmia.



Kuva 2. Esimerkki pienaukkohakkuusta. Ensimmäisellä hakkuukerralla tehtyjä pienaukkoja (tumman punaiset) on laajennettu ja tehty lisää aukkoja (vaalean punaiset ja oranssit). (Valkonen 2020; piirros Juha Varhi)

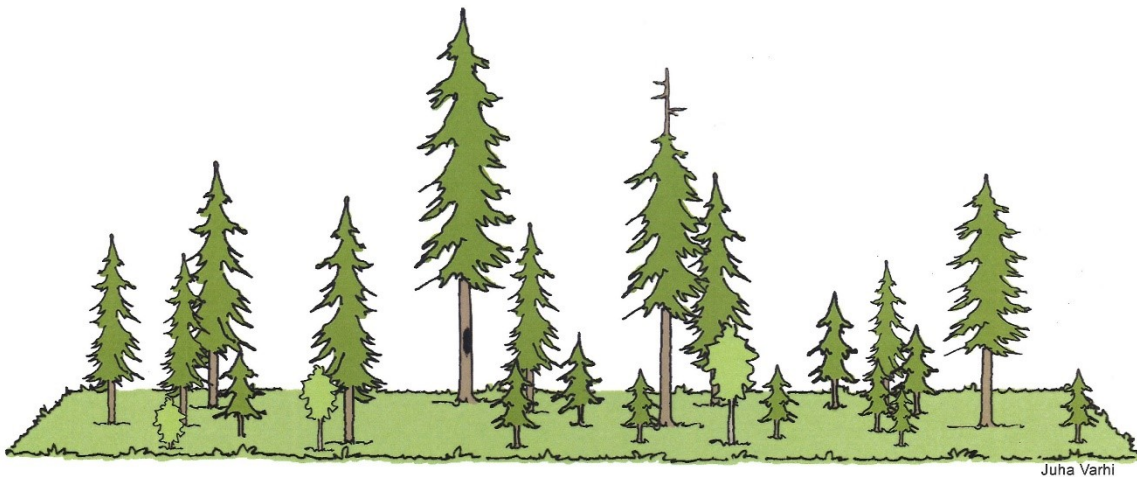
Yläharvennusta käytetään usein jatkuvapeitteisessä metsänkasvatuksessa silloin, kun tasaikäistä metsää aletaan muuttaa eri-ikäisrakenteiseksi. Hakkuussa poistetaan pääasiassa metsikön isoimpia puita, pienemmät puut jätetään kasvamaan ja alikasvokset säästetään. Yläharvennusta käytetään tasaikäiskasvatuksessakin, mutta eri tavalla: metsää harvennetaan poistamalla isoja puita sekä pieniä, jo selvästi jälkeen jääneitä puita. Tällainen yläharvennus tasoittaa puuston kokoeroja. Harvennuksiin usein liittyvässä ennakkoraivauksessa poistetaan alikasvosta. Hakkuulla ei silloin pyritä eri-ikäisrakenteisen metsän kehittymiseen, vaan sitä seuraa aikanaan päätehakkuu ja metsän uudistaminen. **Väljennys** on vanhan (tasaikäiskasvatuksessa uudistuskypsän) metsän harventamista. Sillä tavoitellaan muun muassa puiden tuulenkestävyyden parantumista ja taimettumisen käynnistymistä. **Alaharvennuksessa** metsää harvennetaan poistamalla pääasiassa pienempiä puita ja jättämällä suurimmat kasvamaan. Se on pitkään ollut tasaikäiskasvatuksen tavallisin hakkuutapa. Jatkuvassa kasvatuksessa alaharvennusta voidaan käyttää muun muassa männikön ylispuukasvatuksessa.

Verhopuuhakkuussa taimikon päälle jätetään nuoresta lehtipuustosta koostuva, harvennettu verhopuusto suojaamaan taimia hallalta ja kehittymään kasvatettavaksi ylemmäksi puujaksoksi.

Ylispuiden poistossa poistetaan ylempi puujakso, ylispuut tai verhopuut. Jatkuvapeitteisessä kasvatuksessa ylispuuta ei yleensä poisteta kerralla vaan useissa erissä harventaen.

Harsinta on historiallinen termi, jonka sisältö on aikojen saatossa muuttunut. Se tarkoittaa hakkuutapoja, joissa poistetaan vain isoja, hyvälaatuisia ja arvokkaita puita ja muu puusto jätetään merkityksettömänä vaille huomiota. **Määrämittaharsinta** on sen pahamaineinen ääripää,

jota käytettiin aina 1940-luvulle asti. Määrämittaharsinnassa hakattiin kaikki hyvät, tietyn määrämien saavuttaneet puut pois ja jätettiin huonoon kuntoon mennyt metsä oman onnensa nojaan tulevaisuutta juurikaan ajattelematta (Kuva 3). Historiallisessa metsäkirjallisuudessa harsinta-sanaa käytettiin monenlaisten hakkuutapojen yhteydessä aivan eri merkityksissä, joita ei pidä sekoittaa nykytermeihin ja nyky menetelmiin. Ainoastaan **metsänhoidollinen harsinta** kannattaa mainita tässä yhteydessä: se tarkoitti suunnilleen samaa kuin eri-ikäiskasvatus nykyään. Valtio pyrki edistämään metsänhoidollisen harsinnan käyttöä määrämittaharsinnan sijaan, mutta ei onnistunut kovin hyvin.



Kuva 3. Pahamaineisessa määrämittaharsinnassa poistettiin kaikki tukiksi kelpaavat puut ja jätettiin vain tukiksi liian pienet ja vialliset puut jäljelle. (Valkonen 2020; piirros Juha Varhi)

Taulukko 1. Jatkuvapeitteisen metsänkasvatuksen menetelmät, hakkuutavat ja käyttö.

Menetelmä	Hakkuutavat	Käyttö
Eri-ikäisen metsikön kasvataminen	Poimintahakkuu, pienaukko-hakkuu (ml. kaistalehakkuu)	Kuusivaltaiset metsät, pohjoiset karut männiköt, erityisesti viljavat suometsät, taajama- ja virkistysmetsät monilla puulajeilla
Muutos tasaikäiskasvatuksesta eri-ikäiskasvatukseen	Harvennus, väljennys, pienaukko-hakkuu, suoju-puuhakkuu, alikasvoksen hyödyntäminen, poimintahakkuu	Tasaikäiskuusikosta eri-ikäiseksi
Ylispuukasvatus	Siemenpuuhakkuu, alikasvoksen hyödyntäminen, ylispuiden harvennus/poisto	Männiköt, mahdollista kaikilla puulajeilla
Kaksijaksoinen sekametsä	Verhopuuhakkuu, ylispuuston harvennus ja poisto, harvennus, alikasvoksen hyödyntäminen	Kuusi alempi jakso, valopuu ylempi jakso, muutkin puulajiyhdistelmät mahdollisia
Vapaan tyylin metsänhoito	Alikasvosten ja olemassa olevan puuston hyödyntäminen ja kehittäminen kaikilla hakkuutavoilla	Tilanteen mukaan

1.3. Jatkuvapeitteisen metsänkasvatuksen päämenetelmien käyttö

1.3.1. Eri-ikäisen kuusikon kasvattaminen

Eri-ikäisen kuusimetsän kasvattaminen on kaikkein pienipiirteisin metsänhoitomenetelmä. Eri-ikäismetsässä kasvaa sekaisin kaiken kokoisia ja -ikäisiä puita. Pieniä puita on enemmän kuin isoja, jotta puustossa on "särkymisvaraa". Poimintahakkuissa poistetaan suurimpia puita, joiden suhteellinen arvokasvu on jo hiipunut ja joista saa arvokasta tukkipuuta. Vialliset ja sairaat puut poistetaan koosta riippumatta. Kasvamaan jäävät pienemmät puut saavat lisää kasvutilaa, valoa, ravinteita ja vettä. Jos ne ovat hyväkuntoisia, niiden kasvu elpyy nopeasti ja ne pitävät yllä hyvää kasvua ja puuntuotosta tulevina vuosikymmeninä. Tiheitä puuryhmiä voidaan harventaa puiden paksuuskasvun nopeuttamiseksi ja tuhonkestävyyden parantamiseksi. Metsässä täytyy olla tarpeeksi alikasvosreserviä, josta kehittyi riittävästi uusia puita korvaamaan hakkuussa poistettuja. Metsän täytyy taimettua jatkuvasti, jotta alikasvosreservi säilyy. Yläharvennusta näkee usein käytettävän poimintahakkuun synonyyminä, koska molemmissa poistetaan isoja puita. Menetelmien ero on tavoitteessa: yläharvennuksella tasarakenteiseen, ja poimintahakkuulla erirakenteiseen metsään.

Eri-ikäismetsää täytyy hakata usein ja riittävän harvaksi, jotta pienten puiden ja alikasvosten kunto ja elpymiskyky säilyvät. Kuusialikasvokset pärjäävät hyvin, jos eteläsuomalainen eri-ikäiskuusikko hakataan 10–12 m²/ha pohjapinta-alaan, ja se kasvaa ennen seuraavaa hakkuuta 20–

25 m²/ha tiheyteen. Tyypillisessä poimintahakkuussa tilavuudesta poistetaan noin 80–100 m³/ha ja jäljelle jää noin 80–100 m³/ha. Eri-ikäismetsän keskimääräinen tilavuus ei siten juuri poikkea tasaikäiskuusikon kiertoajan keskimääräisestä tilavuudesta (noin 150 m³/ha). Kasvupaikan puuntuotoskyky vaikuttaa ratkaisevasti siihen, kuinka nopeasti metsään kasvaa hakattavaa puuta edellisen hakkuun jälkeen. Hakkuuväli on eteläsuomalaisissa kuusimetsissä 10–20 vuotta, viljavilla kasvupaikoilla lyhyempi ja karummilla pitempi. Pohjoisessa hakkuuväli on tietenkin pitempi. Kuusia ei todennäköisesti kannata kasvattaa sen isommiksi kuin tasaikäismetsissäkään. Jonkin verran kookkaita puita (läpimitta yli 25 cm) on aina jätettävä jäljelle tuottamaan siemeniä uudistumista varten. Monimuotoisuuden ja maiseman takia jätetään myös järeitä säästöpuita.

Käytännössä eri-ikäismetsän puusto ei ole samanlaista koko metsikön alueella, vaan siinä voi olla aukkoja, ryhmittäisyyttä, eri puulajeja, eri ikä- ja kokoluokkien muodostamia osia, kasvupaikkavaihtelua, alikasvoksen määrän vaihtelua ja niin edelleen. Metsän kehityksessä voi myös olla harvempien uudistumisvaiheiden ja tiheimpien kasvatusvaiheiden ajallista vuorottelua.

Eri-ikäiskasvatuksessa käytetään poimintahakkuun rinnalla pienaukkohakkuuta. Pienaukkoja tehdään poimintahakkuun yhteydessä taimettumisen ja alikasvosten kehityksen nopeuttamiseksi tai valoa vaativien puulajien suosimiseksi. Pienaukkohakkuu voi olla myös pääroolissa poimintahakkuun sijaan, jolloin koko metsikkö käydään vaiheittain läpi pienaukoilla. Kun aiemmin tehdyt pienaukot ovat taimettuneet, niitä laajennetaan ja samalla tehdään uusia pienaukkoja. Useiden hakkuukertojen jälkeen ja monen vuosikymmenen kuluttua tuloksena on lopulta ryhmittäinen erirakenteinen puusto.

Kuusikon pienaukkojen koolle ei ole määriteltävissä mitään vakiokokoa. Eri olosuhteisiin ja tarpeisiin tarvitaan eri kokoisia aukkoja. Puulaji, kasvupaikka ja maantieteellinen sijainti vaikuttavat asiaan (ks. Luku 2. Metsän uudistuminen). Metsälaissa alle 0,3 hehtaarin kokoisia pienaukkoja pidetään metsän erirakenteiskasvatuksena eikä niillä ole samanlaista uudistamisvelvollisuutta kuin tavallisilla avohakkuilla. Mutta isompiakin pienaukkoja voi ja kannattaa tehdä, jos se on tarkoituksenmukaista ja toimivaa. Tällöin täytyy huolehtia siitä, että uudistuminen onnistuu säädösten edellyttämässä määräjassa.

1.3.2. Muutos tasaikäisestä metsästä eri-ikäiseen

Suurta osaa nykyisistä metsistämme on käsitelty avohakkuin, istutuksin, taimikonhoidoin, harvennuksin ja ennakkoiraivauksin niin, että eri-ikäisrakennetta ei niissä juuri ole. Latvusten kerroksellisuus, pienemmät puut, alikasvokset ja taimet puuttuvat. Jos metsänhoidon linjana on jatkuvapeitteinen kasvatus ja tavoitteena eri-ikäisrakenteisen metsän kehittyminen, näitä rakennepiirteitä täytyy ruveta kehittämään metsään eri toimenpitein. Eri-ikäisrakenteen saavuttaminen vaatii paljon aikaa ja systemaattista rakenteen muutosta tukevaa käsittelyä ja hoitoa.

Tasaikäistä metsää pitää harventaa, jotta taimettuminen ja alikasvoksen kehittyminen pääsee käyntiin. Harventamisessa on edettävä varovasti. Puiden tuulenkestävyyden säilyttäminen ja parantaminen on vähintään yhtä tärkeää kuin nopea taimettuminen. Jäävän puuston tulee koostua parhaiten tuulta kestävästä yksilöistä. Isot ja harvemmissä kohdissa kasvaneet, pituuteensa nähden paksummat puut kestävät tuulta paremmin kuin solakat, tiheissä kohdissa kasvaneet hontelot puut. Voimakas isojen puiden harventaminen voi johtaa pahoihin tuulituhoihin. Harventamisen sijasta ja rinnalla voidaan tehdä pienaukkoja. Myöhemmissä vaiheissa jatketaan poimintahakkuin, pientä puustoa suosimalla ja isompia puita poistamalla. Osa kookkaimmista puista kuitenkin säästetään vanhimmiksi ylispuiksi ja tulevaisuuteen turvaamaan luonnon monimuotoisuutta. Pienaukkojen ja voimakkaan harventamisen yhdistelmä on tuulituhojen kannalta riskialtis, joten toimenpiteissä on syytä edetä varovaisesti.

1.3.3. Monijaksoiset metsät ja ylispuukasvatus

Ylispuiden kasvattaminen kehittyvän taimikon ja nuoren metsän päällä säilyttää peitteisyyttä (tai ainakin sen vaikutelman) tavallista uudistamista ja taimikon kasvatusta paremmin. Ylispuita jätetään uudistusalalle tai vapautettavan alikasvoksen tai nuoren metsän joukkoon ja niiden kasvattamista voidaan jatkaa läpi metsän kaikkien kehitysvaiheiden, olipa kyseessä tasainen tai epätasainen puustorakenne. Ylispuustoa harvennetaan, jotta kehittyvä nuori metsä saa lisää kasvutilaa. Samalla korjataan talteen tukkipuustoa. Osa ylispuista jätetään pysyviksi säästöpuiksi, jotka kuollessaan muodostavat metsään arvokasta järeää lahoppua luonnon monimuotoisuutta turvaamaan.

Männikön ylispuukasvatuksessa vanha metsä uudistetaan nopeasti siemen- tai suojuspuuhakkuulla. Suuri osa ylispuustosta jätetään kasvamaan uuden puusukupolven päällä metsäisyyden vaikutelman säilyttämiseksi ja erittäin korkealaatuisen järeän tukkipuun tuottamiseksi. Kun uusi sukupolvi tulee hakkuukypsäksi, aloitetaan taas alusta siemen- tai suojuspuuhakkuulla.

Siemen- tai suojuspuuhakkuussa jätetään metsän parhaita puita kasvamaan 50–150 kpl/ha. Maata voidaan muokata tarvittaessa kevyesti. Siemenpuut taimettavat hakkuualueen ja syntyy uusi mäntysukupolvi. Nopeaa uudistumista ja metsänjalostuksen hyötyjä arvostava voi käyttää myös kylvöä. Ylispuusto harvennetaan, kun taimikko on vakiintunut, mutta osa jätetään edelleen kasvamaan. Jätettävä määrä riippuu siitä, miten vahva peitteisyyden vaikutelma halutaan säilyttää. Ylispuustoa harvennetaan vähitellen tulevina vuosikymmeninä esimerkiksi nuoremman sukupolven harvennusten yhteydessä. Ylispuuston kasvatustiheydelle ei ole olemassa mitään standardisuosituksia, mutta näyttää siltä, että 20–30 puuta hehtaarilla ei paljon hidasta nuoren metsän kehitystä. Kun uusi puusukupolvi varttuu ja puiden pituus alkaa lähestyä ylispuiden pituutta (esimerkiksi toisen harvennuksen vaiheessa), ylispuita jätetään enää vähän ja lopulta jäljellä ovat enää pysyvät, ylisukupolviset säästöpuut (esimerkiksi 5–10 kpl/ha), jotka säästetään seuraavassa päätehakkuussakin. Nuoren sukupolven puustossa tehdään taimikonharvennus ja harvennushakkuut normaaliin tapaan. Uusi sukupolvi kehittyy hieman tavallista taimikkoa ja metsää epätasaisemmaksi, mutta sitä voi tasoittaa taimikonhoidossa ja harvennuksissa. Tavoitteesta riippuen epätasaisuutta voi toisaalta myös suurentaa.

Männikön ylispuukasvatus on hyvin varmatoiminen menetelmä ja helppo toteuttaa, ja peitteisyyden säilymisen lisäksi sen etuna on mahdollisuus tuottaa erittäin korkealaatuista puutavaraa. Kun taimikko syntyy ja kasvaa aluksi tiheänä ja ylispuustoisena, rungon alaosan oksat jäävät pieniksi ja huonolaatuisen nuorpuun osuus rungon ytimessä jää pieneksi. Ylispuiden pintaosaan, josta oksat ovat jo karsiutuneet ja kylestyneet, kasvaa virheetöntä, korkealaatuista puuta.



Kuva 4. Tässä eri-ikäisessä sekametsässä kasvaa harvahkona ylispuustona mäntyä, vaahteraa, koivua, haapaa ja lehtikuusta sekä niiden alla muun muassa vaahteraa, tammea, koivua, haapaa ja pajua. Kuva: Sauli Valkonen.

Ylispuukasvatusta voidaan käyttää muillakin puulajeilla kuin kuusella ja männyllä etenkin erikoismetsissä, joissa puuntuotos ja sen kannattavuus eivät ole pääasia. Kun ylispuuston tiheys on pieni, jopa valoa vaativat puulajitkin menestyvät niiden joukossa. Esimerkiksi Kuvan 4 metsässä kasvaa harvahkona ylispuustona mäntyä, vaahteraa, koivua, haapaa ja lehtikuusta. Niiden alla menestyvät hyvin esimerkiksi vaahtera, tammi, koivu, haapa ja paju. Kuusi ja sen sukuiset voimakkaasti varjostavat ja herkästi tuulessa kaatuvat puulajit eivät ole kovin hyviä ylispuita, mutta voi niitäkin muutamia mahtua muiden puiden joukkoon. Tämän kaltaisissa eri-ikäisrakenteisissa metsissä, kuten ulkoilumetsissä, tulee kiinnittää huomiota ylispuuhakkuuvaiheen yhteydessä jäävän ja kasvupaikalle muodostuvan lehtisekapuustoisien taimikon hoitoon. Jatkossa taimikon vartuttua huolehditaan kasvavan pienpuuston ja nuoren puuston riittävästä harventamisesta, jotta haluttu sekapuustorakenne ja eri ikäisten puiden kerroksellisuus saadaan edelleen kehittymään elinvoimaisena.

Kaksijaksoisessa sekametsässä kasvaa ainakin kaksi eri puulajia kahtena kooltaan erilaisena puujaksona, joita kehitetään samanaikaisesti ja tasa-arvoisina. Tiheää, kokonaisen latvus-

kerroksen muodostamaa ylispuustoa kutsutaan ylempiä puujaksoksi. Ylempi jakso koostuu yleensä valopuista, kuten männyistä ja monista lehtipuulajeista, jotka päästävät runsaasti valoa latvuskerroksensa alle. Alemman jakson muodostaa enemmän varjoa sietävä puulaji, joista tyyppillisin ja yleisin on kuusi. Kuusi sen sijaan ei sovi ylempien jakson pääpuulajiksi. Sen tiheä latvus varjostaa tehokkaasti ja se kilpailee sekä valopuulajien että omien taimiensa kanssa. Kaksijaksoinen sekametsä ei sellaisenaan takaa jatkuvaa peitteisyyttä. Ylempien jakson valopuut menestyvät kyllä alemman kuusijakson päällä, mutta uusia taimia ei siihen enää synny eikä nouse. Ylispuustoa harvennetaan voimakkaasti alemman jakson varttuessa, ja viimeistään silloin, kun kuusten latvat kasvavat ylispuiden latvusten sisään ja alkavat kärsiä oksien piiskauksesta. Lopulta ylispuista on jäljellä enää säästöpuut. Kilpailusta vapautunut alempi jakso alkaa kehittyä nopeasti ja valtaa metsän itselleen. Näin päädytään usein tasaikäiseen kuusikkoon, jossa on hieman ylispuustoa. Tavallisesti sitä seuraa tasaikäisen kasvatuksen vaihe harvennuksineen, päätehakkuineen ja uudistamisineen.

Vaikka jatkuva peitteisyys ei tällaisessa kehityksessä toteudukaan, sen etuja yksijaksoiseen tasaikäiseen metsään verrattuna ovat kerroksellinen rakenne, puulajien monipuolisuus, isojen puiden olemassaolo, parempi metsäisyyden vaikutelma, paremmat mahdollisuudet jättää erilaisia säästöpuita ja lahoppua sekä kuusi-rauduskoivusekametsässä puhdasta kuusikkoa tai koivikkoa selvästi parempi taloudellinen tulos.

Periaatteessa kaksijaksoisen metsän kehitys kohti tasaikäisvaihetta ja päätehakkuuta voitaisiin ehkä estää harventamalla nuorta ja keski-ikäistä kuusikkokerrosta todella voimakkaasti, tekeillä siihen pienaukkoja, ja jättämällä runsaasti ylispuita kasvamaan. Ehkä näin voidaan pyrkiä jatkuvapeitteisyyttä säilyttävän eri-ikäismetsän kehittämiseen, mutta sen onnistumisesta ei ole juurikaan kokemusta. Talousmetsissä tällaista kasvatustapaa ei juurikaan näe, koska sen puuntuotannollinen kannattavuus ei luultavasti ole kovin hyvä.

Viitteet

- Boncina A. 2011. History, current status and future prospects of unevenaged forest management in the Dinaric region: an overview. *Forestry* 84(5): 467–478.
- Pukkala, T. 2018. Instructions for optimal any-aged forestry. *Forestry* 91(5): 563–574.
- Valkonen, S. 2020. (toim.). Metsän jatkuvasta kasvatuksesta. Metsäkustannus ja Luonnonvarakeskus, Helsinki. 127 s.

2. Metsän uudistuminen

Sauli Valkonen, Pasi Rautio, Hannu Hökkä ja Markku Saarinen

- Kivennäismailla poimintahakkuut soveltuvat kuusikoille, kun taas männiköt uudistuvat paremmin pienaukoissa ja kaistaleissa.
- Ojitetut korpikuusikot uudistuvat hyvin pienaukkohakkuun jälkeen 10 vuodessa alikasvoksesta ja hakkuun jälkeen syntyvistä taimista.
- Kivennäismailla maankäsittely takaa tasaisen taimettumisen, turvemaidella muokkauksesta on jopa haittaa.

2.1. Pääpiirteet

Jatkuvapeitteinen metsänkasvatus perustuu pääasiassa luontaisen uudistumisen ja olemassa olevan alikasvoksen hyödyntämiseen. Taimettumisen sekä taimien ja alikasvosten kehityksen edistäminen onkin yksi keskeisimmistä jatkuvapeitteisten metsänkasvatusmenetelmien osa-alueista. Taimettumista edistetään harventamalla metsää samalla säilyttäen riittävästi suuria, siementäviä puita. Tämä tehdään eri menetelmissä eri tavalla, tavoitteiden ja olosuhteiden mukaan. Esimerkiksi männikön ylispuukasvatuksessa metsikössä on selväpiirteinen uudistamisvaihe, jolloin siellä on vain harvahko siemen- tai suojuspuusto. Pienaukoissa siementävät puut ovat aukkoja ympäröivässä reunametsässä, ja eri-ikäiskasvatuksessa melko tasaisesti koko metsikön alueella eri kokoisten puiden joukossa. Maanmuokkausta käytetään tarvittaessa siemen- ja suojuspuualoilla ja pienaukoissa, mutta eri-ikäismetsään muokkaus sopii huonosti: alikasvosta tuhoutuu ja puiden tyvet ja juuret saavat vaurioita. Periaatteessa jatkuvan kasvatuksen aikana on mahdollista kylvää tai jopa istuttaa taimia, vaikkapa uudistumisen nopeuttamiseksi tai metsänjalostuksen hyötyjen käyttöön saamiseksi. Metsänviljelyn kannattavuus on kuitenkin tavallista huonompi, koska taimien kuolleisuus on korkea ja niiden kehitys normaalia hitaampaa suuremman puuston tai reunametsän kilpailun takia. Luontainen uudistuminen tuottaa yleensä riittävästi taimia jatkuvan kasvatuksen tarpeita varten.

2.2. Kuusikoiden jatkuvapeitteinen metsänkasvatus kangasmailla

2.2.1. Eri-ikäisen metsän kasvatus

Eri-ikäisenä kasvatettavassa metsässä täytyy olla alikasvosreserviä, josta kehittyy uusia puita korvaamaan poimintahakkuissa poistettuja. Metsän täytyy taimettua jatkuvasti, jotta alikasvosreservi säilyy. Herkimmin taimettuvia ovat kosteat kasvupaikat, ennen muuta ojittamattomat ja ojitetut korvet (Lukkala 1946, Hökkä ym. 2011, 2012).

Taimia syntyy ja kuolee eri-ikäiskuusikoissa runsaasti. Luonnonvarakeskuksen ERIKA-kesto-koesarjassa uusia kuusen taimia syntyi vuodessa keskimäärin 2000 kpl/ha, mäntyjä 30 ja koivuja 850 (Saksa ja Valkonen 2011). Valtaosa taimista kuoli jo ensimmäisen elinvuotensa aikana. Kuolleisuus pysyi korkeana koko taimi- ja alikasvosvaiheen ajan. ERIKA-kestokokeilla 0,1–6 m pituisten kuusten kuolleisuus oli keskimäärin 3,4 % vuodessa. Männyillä ja koivuilla vastaava kuolleisuus oli 7–8 % vuodessa (Eerikäinen ym. 2014).

Taimien saavuttaessa noin 10 cm pituuden, on niiden kuolleisuus jo sen verran pienempi, että ne kannattaa ottaa huomioon taimikoiden tiheyttä tarkasteltaessa. ERIKA-koealoilla 11–130 cm pitkien kuusen taimien määrä oli keskimäärin 5 000–25 000 kpl/ha (Saksa 2004, Saksa ja Valkonen 2011). Mäntyä ja koivua oli erittäin vähän, yhteensä noin 300 kpl/ha (Saksa ja Valkonen 2011). Taimet sijoittuivat metsikköön melko epätasaisesti: ERIKA-kestokokeilla 46 % taimikoealoista (4 m²) oli tyhjiä (ei yhtään 11–130 cm pituisia kuusen tainta) (Saksa ja Valkonen 2011). ERIKA intensiivikokeilla tyhjiä koealoja oli vain 15 % (Saksa 2004). ERIKA on koesarja, jossa tutkitaan kuusikon kasvattamista eri-ikäisenä Etelä-Suomessa. Koemetsiköitä on käsitelty poimintahakkuin 2–3 kertaa 1980-luvulta lähtien. ERIKA-intensiivikokeilla (5 kpl) on vaihdeltu puuston tiheyttä metsikön sisällä (osaruuduittain) ja tutkittu mm. siemensatoja ja maanmuokkausta, mitä tavallisilla ERIKA-kestokokeilla ei ole tehty.

Taimet kasvavat eri-ikäiskuusikon suurempien puiden seassa hitaasti. ERIKA-kestokokeiden eri-ikäiskuusikoissa kuusen taimilla oli kulunut keskimäärin 40–60 vuotta 1,3 m pituuden saavuttamiseen (Eerikäinen ym. 2014). Taimien välinen vaihtelu oli erittäin suuri. Nopeakasvuimmilla ja hyväkuntoisimmilla taimilla on todennäköisesti paremmat mahdollisuudet menestyä ja kasvaa isoiksi puiksi kuin huonokuntoisilla ja hidaskasvuilla. Taimien, alikasvosten ja pienten puiden määriä ja niiden riittävyttä tarkasteltaessa hyväkasvuisten ja -kuntoisten yksilöiden määrä onkin paljon olennaisempi tekijä kuin taimien kokonaismäärä. Alikasvokset ja pienet puut ovat hyväkuntoisia, kun niillä on pitkä latvus ja paljon lehtiä tai neulasia. Nopea pituuskasvu on paras hyvän kunnan indikaattori. Jo 5–10 cm vuotuinen pituuskasvu ilmentää hyvää elpymiskykyä: taimi tai puu pystyy reagoimaan nopeasti hakkuussa lisääntyvään kasvutilaan sekä valon, veden ja ravinteiden helpompaan saatavuuteen ja alkaa nopeuttaa kasvuaan muutaman vuoden kuluessa. Vähintään 30 cm pituinen latvakasvain ilmentää kuusen taimella erinomaista kuntoa ja kasvukykyä eikä toipumiseen juuri kulu aikaa (Koistinen ja Valkonen 1993, Mielikäinen ja Valkonen 1995).

Syntymisen, eloonjäämisen ja kasvun summana taimista näyttää varttuvan riittävä määrä puita korvaamaan hakkuu- ja luonnonpoistuman eteläsuomalaisissa eri-ikäiskuusikoissa. Kun eri-ikäiskuusikkoa tarkastellaan tietyn läpimittajakauman eli runkolukusarjan mukaisena läpimitaltaan eri kokoisten puiden joukkona, metsikön kehityksen kannalta on olennaista tietää, kuinka paljon tuohon joukkoon tulee mukaan uusia, runkolukusarjan pienimmän läpimitan täyttäviä puuyksilöitä. Sisäänkasvu (engl. ingrowth) tarkoittaa niiden taimien tai puiden määrää, jotka kasvavat tietyn ajanjakson aikana runkolukusarjan alarajaksi asetettua läpimittaa suuremmiksi. Rinnankorkeusläpimittarajalla 0,1 cm (eli kun taimen pituus saavuttaa rinnankorkeuden, 1,3 m) kuusen sisäänkasvu on ollut eteläsuomalaisissa ja vastaavissa ruotsalaisissa eri-ikäiskuusikoissa 25–70 kpl/ha vuodessa (Lundqvist 1991, 1993, Saksa 2004, Eerikäinen ym. 2014) tai vieläkin suurempi, 170 kpl/ha vuodessa (Lähde ym. 2002). Kuuseen verrattuna valopuiden sisäänkasvu on ollut erittäin vähäistä. Sitä on tutkittu ainoastaan Eerikäisen ym. (2014) tutkimuksessa, jossa sisäänkasvu oli koivulla 3 ja mänyllä 0,1 kpl/ha/v läpimittarajalla 0,1 cm.

Sisäänkasvu on tutkimuksissa vaihdellut laajasti muun muassa siksi, että se on tulos taimettumisesta ja taimien menestymisestä monen edeltävän vuosikymmenen ajalta. Nykyisen tietämyksen perusteella ei ole mahdollista ennustaa tarkasti kuinka paljon taimia tarvitaan tietyn sisäänkasvutason ja eri-ikäisen puustorakenteen ylläpitämiseen. Koska huomattava osa taimista kuolee tai tuhoutuu hakkuissa ennen tukkipuiksi varttumistaan, taimia ja pieniä puita täytyy olla eri-ikäismetsässä aina paljon enemmän kuin isoja. Ratkaisevan tärkeää on, että taimettumista edistetään metsänkäsitelyissä. Eri-ikäiskuusikkoa pitää kasvattaa harvana, eikä hakkuiden väli saa olla liian pitkä. Mänty- ja lehtisekapuusto edistää taimien menestymistä kuusikoissa (Laiho ym. 2014). Siementuotantoa varten hakkuissa pitää jättää kasvamaan myös isoja puita (läpimitta >25 cm), jotka tuottavat valtaosan metsikön siemensadosta (Nygren ym.

2017). Puunkorjuussa on pyrittävä minimoimaan taimien tuhoutuminen (ks. Luku 5. Puunkorjuu).

Tutkimustulokset ovat vahvistaneet käsitystä, jonka mukaan valopuut (esimerkiksi mänty, koivu, haapa, leppä, tammi, saarni jne.) eivät uudistu eivätkä menesty pieninä puina eri-ikäis-kuusikoissa (Saksa ja Valkonen 2011, Eerikäinen ym. 2014). Eri-ikäis-kuusikoissa on tehtävä pienaukkohakkuita poimintahakkuiden rinnalla tai sijasta, jos valopuulajien halutaan säilyvän osana metsiköiden puustoa kuusen rinnalla.

2.2.2. Pienaukkohakkuu

Tutkimusten mukaan pienaukot ovat taimettuneet hyvin kokeissa mukana olleilla alueilla ja kasvupaikoilla (Taulukko 2). Maanmuokkaus on lisännyt taimimääriä selvästi Pohjois-Suomen kangasmailla, mutta ei merkittävästi Etelä-Suomen kangasmailla, joilla muokkausjäljet ovat kasvaneet nopeasti umpeen pintakasvillisuudesta. Merkittäviä taimettumisongelmia on ollut vain Etelä-Suomessa viljavimmilla kasvupaikoilla (MT+, OMT), joilla voimakkaasti rehevöitynyt pintakasvillisuus näyttää huonontavan taimien eloonjäämismahdollisuuksia isoilla, läpimital-taan yli 40 m pienaukoilla (0,12 ha) (Downey ym. 2018). Pohjois-Karjalan männiköissä taimet-tuminen oli vielä kesken 6–9 vuotta hakkuun tai muokkauksen jälkeen, mutta taimia odotettiin vielä syntyvän runsaasti lisää, koska muokkausjäljet ja muokkaamattomatkin maat olivat edel-leen hyvässä taimettumiskunnossa (Valkonen 2019). Pienaukkojen uudistumista koskevien tut-kimusten kattavuus on vielä varsin suppea. Monet alue-kasvupaikkayhdistelmät ovat vielä tut-kimatta, kuten useimmat turvemaatyypit sekä kivennäismaakuusikot Pohjois-Suomessa.

Taulukko 2. Luontaisesti syntyneiden taimien määrät pienaukkotutkimuksissa.

Alue, kasvu- paikka ja muokkaus	Viite no	Pää- puu laji	Pää- puulajin taimet kpl ha ⁻¹	Muun ha- vupuun ja koivun taimet, kpl ha ⁻¹	Kasvatus- kelpoiset taimet, kpl ha ⁻¹	Pääpuulajin tai- mien keskipituus ja aika hak- kuusta/ muokkauksesta
E-S tuore kangas, ei muokkausta	1	kuusi	7 600	4 000	1 300	60 cm 10–11 v
E-S tuore kangas äestys	1	kuusi	6 700	12 300	1 300	80 cm 10–11 v
Kainuu tuore kangas, ei muokkausta	2	kuusi	2 400	5 900	1 700	50 cm 13–15 v
Kainuu tuore kangas, äestys	2	kuusi	9 300	13 900	2 000*	50 cm 13–15 v
E-S tuore ja lehtomainen kangas	3	kuusi	11 400	5 800	1 770	105 cm 7–10 v
P-Karjala kuivahko ja kuiva kangas	3	mänty	13 000	3 400	1 530	39 cm 6–9 v
P-S ojitettu korpi, ei muokkausta	4	kuusi	10 400	3 200	2 300	73–84 cm 10 v
P-S kuivahko ja kuiva kangas, laikutus	5	mänty	21 700	7 300	~2 000**	9 cm 5 v

* Kasvatuskelpoisten taimien määrä oli 2300 kpl/ha kun istutettuja mäntyjä priorisoitiin taimivalinnassa. Luontaisia taimia oli kuitenkin niin runsaasti, että kasvatuskelpoisten taimien määrä olisi todennäköisesti ylittänyt 2000 kpl/ha ilman istutusmäntyjä.

** Laskettu tutkimuksen mallilla 2. Muokkauksella paljastetun maanpinnan osuus = 10–20 %.

Viitteet: 1 = Valkonen ym. (2011), 2 = Valkonen ja Siitonen (2016), 3 = Valkonen (2019), 4 = Hökkä ja Repola (2018), 5 = Hallikainen ym. (2019).

Pienaukon reunametsä vaikuttaa aukon uudistumiseen tuottamalla siemeniä, estämällä pintakasvillisuuden rehevöitymistä ja hidastamalla taimien kasvua. Kasvu- ja kasvupaikka, reunametsän ominaisuudet (pituus, tiheys, pääpuulaji) ja taimien puulaji vaikuttavat asiaan ratkaisevasti. Eteläsuomalaisissa kangasmaakuusikoissa kuusen taimia esiintyi noin 5–10 metrin levyisellä vyöhykkeellä pienaukon reunalla, jossa reunametsän vaikutus esti pintakasvillisuutta rehevöitymästä ja taimet menestyivät paremmin kuin aukkojen keskiosissa (Valkonen ym. 2011, Downey ym. 2018). Kainuun tuoreen kankaan kuusikoissa pintakasvillisuus ei ollut juurikaan rehevöitynyt pienaukkohakkuun jälkeen, ja taimia oli yhtä paljon aukkojen keskellä ja reuna-alueilla (Valkonen ja Siitonen 2016). Muissa tutkimuksissa (Taulukko 2) siemensadannan vähenemisen vaikutus etäisyyden reunametsästä kasvaessa jäi pieneksi, koska aukot olivat pieniä, läpimitaltaan 10–60 m, ja muut tekijät vaikuttivat taimettumiseen enemmän. Tutkimustulosten perusteella

näyttää siltä, että reunametsän siemenniskyvyn puolesta jopa yhden hehtaarin kokoiset pienaukot voivat taimettua hyvin, jos maan taimettumiskyky on kunnossa.

Reunametsä hidastaa selvästi taimien kasvua: varttunut reunametsä vaikuttaa männyn ja kuusen taimien kasvuun ainakin 20 metrin etäisyydelle asti (Ruuska ym. 2008, Valkonen ym. 2011). Kuusireunametsä vaikuttaa hyvin voimakkaasti valopuihin. Näyttää siltä, että kuusikoissa vasta läpimitaltaan 50 metriä suuremmissa aukoissa on keskellä pieni alue, jossa valopuut voivat menestyä.

2.2.3. Suojuspuuhakkuu

Kun tasaikäistä metsää aletaan muuttaa eri-ikäisrakenteiseksi, yksi tärkeimmistä tavoitteista on saada taimettuminen ja alikasvoksen kehitys käyntiin. Suojuspuuhakkuu on yksi vaihtoehtoisista menetelmistä. Suojuspuuhakkuu on ollut pitkään hyvin epävarmaksi koettu kuusen luontaisen uudistamisen menetelmä. Tämä käsitys juontaa osittain juurensa kivennäismailla 1980-luvulla Pirkanmaalla tehdyistä tutkimuksista (Leinonen ym. 1989). Kyseisen tutkimuksen tulosten tulkinnassa on kuitenkin otettava huomioon, että siinä taimiaines mitattiin ennen suojuspuuhakkuuta ja toiseen kertaan vain yhden kasvukauden kuluttua hakkuun jälkeen. Tutkimuksen mukaan täystiheiksi luokiteltuja kasvatuskelpoisia yli 10 cm:n mittaisia taimikoita (vähintään 1 800 tainta hehtaarilla) oli vain 30 % kaikista suojuspuualoista ja nekin olivat enemmän tai vähemmän aukkoisia (tyhjien näytealojen osuus noin neljännes). Näissä kyse oli jo ennen hakkuuta olemassa olleista ja hakkuista selvinneistä taimista. Vuosi hakkuun jälkeen kuitenkin todettiin, että lähes 60 prosentilla hakkuualoista oli ainakin 5 000 pientä, alle 10 cm:n mittaista kuusen tainta hehtaarilla. Niiden jatkokehityksestä ja myöhempien vuosien kehityskelpoisesta taimitiheydestä ei ole tutkimustietoa.

Ruotsissa kuusen suojuspuuhakkuun on todettu tuottaneen kohtalaisen uudistumistuloksen 4–5 vuodessa (Sikström 1997). Yli 4 000 kpl/ha taimettuminen oli saavutettu 75 % inventoiduista kohteista ja 4 000 havupuutaimen tiheys 58 % kohteista. Kuitenkin 4 000 kpl yli 10 cm pitkiä kuusen taimia löytyi vain 38 %:lla kohteista. Tulos oli parempi eteläisessä kuin keskisessä Ruotsissa, samoin kasvupaikan kosteus edisti taimettumista.

Metsäntutkimuslaitos (2015 alkaen Luonnonvarakeskus) teki vuosina 2000–2006 käytännön metsänuudistamistulosten laadunseurantainventoinnin 40 silloisen metsänhoitoyhdistyksen ja 135 kunnan alueella Etelä-Suomessa (Saksa ja Kankaanhuhta 2007). Viiden vuoden ikäisillä kuusen luontaisen uudistamisen aloilla oli hyväksi luokiteltujen tulosten osuus 38 %. Hyvän tuloksen kriteereinä oli luontaisessa uudistamisessa vähintään 3 000 taimen keskitiheys siten, että mukaan laskettiin vähintään 30 cm:n etäisyydellä toisistaan olevat taimet. Kun mukaan luettiin välttävät uudistumistulokset (vähintään 2 000 tainta hehtaarilla), niin päästiin yhteensä 70 % osuuteen kaikista taimikoista. Vaikka suojuspuuhakkuulla päästäänkin oikein sovellettuna kohtuullisiin taimimääriin, se on joka tapauksessa paljon hitaampi menetelmä kuin avohakkuu ja istuttaminen. Taimet eivät synny heti, vaan pitemmän ajan kuluessa, ja isompien puiden kilpailu hidastaa niiden kasvua.

2.3. Kuusikoiden jatkuvapeitteinen metsänkasvatus ojitetuilla turvemailla

2.3.1. Eri-ikäisen metsän kasvatus

Turvemailla uudistumista edistävät maaperän kosteus ja rahkasammalen esiintyminen (Place 1955, Sarasto ja Seppälä 1964, Wood ja Jeglum 1984). Eri-ikäiskuusikoiden uudistumista on seurattu Luonnonvarakeskuksen turvemaiden kokeilla toistaiseksi vasta noin viiden vuoden ajan, eikä tuloksia ole sen vuoksi vielä julkaistu. Alustavat tulokset osoittavat, että ainakaan lievin poimintahakkuu noin 17 m²/ha pohjapinta-alaan ei ehkä avarra puustoa tarpeeksi niin, että taimia syntyisi riittävästi. Voimakkaampi harvennus, pohjapinta-alaan 13 tai 9 m²/ha, näyttää sen sijaan lisäävän taimettumista hakkuun jälkeisinä vuosina. Toisaalta tiheän metsän harventaminen kerralla liian voimakkaasti voi aiheuttaa suuren myrsky- ja lumituhojen riskin. Noin kolmasosa poimintahakattujen koealojen taimista oli syntynyt hakkuun jälkeen. Vastaavasti hakkaamattomilla kontroleilla tämän hetken taimista viidennes oli syntynyt hakkuuajankohdan jälkeen. Kolmannes kaikista taimista esiintyi rahkasammalpinnoilla, mikä kertoo rahkasammalkasvustojen taimettumista edistävästä vaikutuksesta.

Eri kokoluokkien taimien ja alikasvosten elpymisreaktiota ei vielä ole mitattu, mutta maastohavainnot kertovat suuresta vaihtelusta, jota ainakin osittain selittää osalla kokeista havaittavissa oleva kaliumin puutos. Kuusikoissa, joissa ravinteisuuden kanssa ei ole ongelmia, on ainakin paikoin havaittavissa hyvinkin voimakas kasvureaktio kaikissa ennen hakkuuta alikasvossemassa olleissa taimien kokoluokissa noin kolmen vuoden juomisvaiheen jälkeen.

Säännöllistä eri-ikäisrakenteisuutta tavoittelevissa ja nyt vasta ensimmäisen vaiheen siirtymähakkuuta edustavissa kuusikoissa taimettumistuloksia ollaan vasta analysoimassa. Korpikuusikoiden pienaukkohakkuiden pienimpien, läpimitaltaan 10 m, aukkojen uudistumistulos voidaan kuitenkin rinnastaa poimintahakkuun uudistumistulokseen, sillä tämän kokoinen pienaukko vastaa kooltaan muutaman puun poistoa poimintahakkuussa.

2.3.2. Pienaukkohakkuu

Ojitettujen korpikuusikoiden uudistumista pienaukkohakkuun jälkeen on tutkittu Pohjois-Suomessa kahdella koealueella (Tervola ja Oulu) kymmenen vuoden ajan. Kokeiden pienimmät aukot, läpimitaltaan 10–15 m, lähestyivät kooltaan poimintahakkuussa syntyviä aukkoja ja suurimpien pienaukkojen läpimitta vastasi puuston valtapituutta (20–25 m). Lisäksi pienaukkojen uudistumistulosta verrattiin Tervolan kokeelle tehtyihin suurempiin hakkuuaukkoihin (0,2–0,3 ha), jotka kokeessa edustivat ”avohakkuuta”, vaikka nykyisessä metsälaisissa vastaavatkin suurinta vielä pienaukoksi hyväksyttävän aukon kokoa (0,3 ha, läpimitta 62 m).

Korven pienaukkohakkuussa on mahdollista ja järkevää säästää alikasvosta, sillä se muodostaa merkittävän osan pienaukkoihin kehittyvistä taimikoista (Kuva 5). Säästyneen, yli 10 cm pituisen kuusialikasvoksen rooli pienaukon uudistumisessa on keskeinen, sillä viiden vuoden kuluttua hakkuusta se muodosti Tervolassa kuusen taimien kokonaisrunkoluvusta lähes puolet (47 %). 3–5 vuoden kuluttua hakkuusta pienaukoilla esiintyi runsaasti (6 000–20 000 kpl/ha) alle 10 cm pituisia kuusen taimia, myös pienimmillä, 10 metrin läpimittaisilla aukoilla, jotka vastaavat kooltaan lähinnä poimintahakkuun tapaista muutaman puun poistoa (Hökkä ym. 2011). Uudistumisen seurantajakson aikana Pohjois-Suomessa oli melko hyvä kuusen siemenvuosi vuonna 2005 ja kohtalainen vuonna 2007, mutta taimettumista tapahtui kaikkina vuosina.

Alle 10 cm pituisten taimien merkittävää siirtymistä yli 10 cm pituisten taimien luokkaan tapahtui ensimmäisen ja kolmannen vuoden välillä paljon (yli 2 500 kpl), mutta sen jälkeen selvästi vähemmän (Hökkä ym. 2012). Viiden vuoden kuluttua yli 10 cm pituisten, hakkuun jälkeen syntyneiden kuusen taimien määrä oli lähes 5 000 kpl/ha. Hakkuun jälkeen syntyneiden koivun taimien osuus kokonaistaimimäärästä alkoi kasvaa kolmannen kasvukauden jälkeen ja oli viiden vuoden kuluttua 25–57 % kokonaistaimimäärästä (Hökkä ym. 2011). Koivun osuus kasvoi aukon koon kasvaessa, toisin sanoen koivun uudistuminen edellyttää valon määrän kasvua. Männyn taimia esiintyi vain satunnaisesti (alle 1 % kokonaistaimimäärästä).

Suurimmilla eli noin 0,3 ha:n pienaukoilla, alle 10 cm olevien kuusen taimien määrä kasvoi jatkuvasti kolmannen ja viidennen vuoden välillä, mutta yli 10 cm pituisten taimien määrä pysyi jokseenkin samana (Hökkä ym. 2012). Merkittävin syy pienten taimien suureen kuolleisuuteen oli pintakasvillisuuden voimakas kilpailu.

Kymmenen vuoden kuluttua hakkuusta kuusen kokonaistaimimäärä vaihteli 5 500–12 500 kpl/ha (Hökkä ja Repola 2018). Jos oletetaan, että hakkuun jälkeen syntyneiden vakiintuneiden kuusen taimien kokonaismäärä ei kovin paljon lisääntynyt viiden vuoden jälkeisestä tasosta (noin 5 000 kpl/ha), on kokonaistaimimäärästä edelleen lähes puolet alkuperäisiä alikasvotaimia (Hökkä ja Repola 2018). Alikasvotaimien osuutta kasvatuskelpoisista taimista ei selvitetty. Suurimmilla 0,3 ha:n aukoilla kymmenen vuoden kuluttua tulos oli heikompi kuin pienemmillä pienaukoilla: kasvatuskelpoisia kuusia oli 850 kpl/ha ja koivuja 560 kpl/ha. Noin puolet taimikoealoista oli edelleen ilman kasvatuskelpoista tainta, eli 0,3 ha:n pienaukoille syntyvä taimikko oli aukkoisen. Toisaalta kasvatuskelpoisten taimien määrä vähitellen lisääntyi vielä kahdeksan ja kymmenen vuoden välilläkin (Hökkä ja Repola 2018), joten on odotettavissa, että taimettuminen vähitellen etenee. Valtapituutta selvästi suuremmilla aukoilla taimettuminen siis kestää kauemmin, lopputulos on epätasaisempi ja syntyvä taimikko lehtipuuvaltaisempi kuin pienemmillä aukoilla.

Pintakasvillisuus vaikutti silmämääräisesti arvioiden taimettumisen nopeuteen ja taimimäärään. Kaikkein viljavimpien ohutturpeisten ja lehtokorpea edustavien kasvupaikkojen pienaukot taimettuivat heikosti runsaan ruohokasvillisuuden vuoksi, kun taas paksaturpeisempien ja rahkasammalpinthaisten ruohokorpien pienaukot taimettuivat selvästi paremmin.

Maanmuokkauksesta (laikutus) oli uudistumiselle haittaa. Muokkauksessa tuhoutuu osa vaihtuvasta taimiaineksesta ja alikasvoksesta. Lisäksi paljastuneen turvepinnan valtaa hyvin nopeasti rehevä pintakasvillisuus, jonka siementä on runsaasti tarjolla, eikä kuusen taimi selviä kilpailusta laikussa.

Kymmenen vuoden kuluttua hakkuusta kasvatuskelpoisten kuusen taimien määrä pienaukoissa oli keskimäärin 2 200 kpl/ha. Kasvatuskelpoisten kuusten keskipituus oli 73–84 cm. Kasvatuskelpoisia koivuja oli keskimäärin alle 100 kpl/ha. Aukon koko ei juuri vaikuttanut taimimäärään, mutta vaikutti selvästi taimien pituuteen ja pituuskasvuun siten, että pisimmät taimet olivat suurimmissa pienaukoissa. Taimien pituuteen ja pituuskasvuun vaikutti myös sijainti siten, että pisimmät taimet olivat pienaukon keskellä ja länsireunassa ja lyhimät eteläreunassa. Pituuskasvu oli sitä nopeampaa, mitä pitempi alikasvotaimi oli hakkuun ajankohdalla. Kuusen taimet saavuttivat rinnankorkeuden 10–15 vuoden kuluessa hakkuusta.

Kasvatuskelpoisten taimien määrän ja keskipituuksien perusteella uudistumistulos täyttää metsälain vähimmäisvaatimukset riittävästä uudistumisesta Pohjois-Suomessa (20 vuoden kuluttua hakkuusta vähintään 1 100 kasvatuskelpoista tainta hehtaarilla, joiden keskipituus on 0,5 m).

Koska kokonaistaimimäärä 10 vuoden kuluttua hakkuusta oli 7 000–18 000 kpl/ha, ja keskipituudeltaan kuusia selvästi pidemmän koivun määrä suurimmissa (20–25 m) aukoissa

4 000–6 500 kpl/ha, taimikon hyvä kehitys edellyttää taimikonhoitoa noin 10 vuoden kuluttua hakkuusta.

Edellä esitettyjen pienaukkohakkuukokeiden kuusen taimien vioista on tehty selvitys, joka osaltaan vastaa yhteen tärkeimmistä kuusikoiden jatkuvapuiteisuuden kysymyksistä koskien taimien juurikäypäaltistusta. Koska huomattava osa taimista oli jo ennen hakkuuta täystiheään kuusikkoon syntyneitä, olivat taimet melko vaihtelevan laatuista. Niissä esiintyi runsaasti latvanvaihtoja ja lahoisuutta. Lisäksi kaikissa koetaimissa esiintyi neulasten värivikaa ja lyyä, vaikka ne olivatkin pääasiassa kasvatuskelpoisia. Taimissa esiintyi kuitenkin lahoisuutta oletettua enemmän eli jopa lähes kolmanneksessa. Jo taimivaiheessa lahot taimet eivät ole käyttökelpoisia puita tulevaisuudessa.



Kuva 5. Taimettunut pienaukko turvemaakohteella Oulussa. Hakkuusta kulunut 12 vuotta. Kuva: Hannu Hökkä.

2.3.3. Alikasvokset ja niiden hyödyntäminen

Ojitetuille turvemaille on ominaista pitkä ja vähittäin etenevä pintakasvillisuuden muutos uudisojituksen jälkeisten vuosikymmenien aikana. Se ilmenee muun muassa rahkasammalpintojen katoamisena ja niiden korvautumisena paljaiden karikepintojen kautta kangasmaille ominaisella sammallajistolla (Saarinen ja Hotanen 2000). Samassa yhteydessä tapahtuu myös suuri muutos kasvualustan luontaisessa taimettumisherkkyydessä (Saarinen 2013). Ennen katoamistaan kasvultaan hidastuneet rahkasammalkasvustot ovat hyviä taimettumispintoja ja se ilmenee muun muassa erilaisten kuusialikasvosten ilmaantumisenä erityisesti hieskoivun ja männyn vallitsemille ojitusalueille (Seppälä ja Keltikangas 1978). Usein näiden kohdalla on kyse alun perin saraisten ja ruohoisten nevojen, nevarämeiden ja nevakorpien ojitusalueista, jotka ovat

muuttuneet ns. II-tyyppin puolukka- ja mustikkaturvekankaiksi. Alikasvoskuusten kehityskelpoisuudesta ja niiden hakkuun jälkeen säilyneestä tiheydestä riippuu alikasvoksen hyödynnettävyys joko jaksollisen metsänkasvatuksen seuraavana puusukupolvena tai sitten jatkuvapeitteiseen kasvatukseen siirryttäessä.

Kuusen herkkää taimettumista varsinkin hieskoivun alle voidaan hyödyntää myös korpikuusi- koiden jatkuvapeitteisessä kasvatuksessa. Jatkuvapeitteisyyden menetelmävalikoimiin kuuluvilla pienaukoilla ja kaistaleilla aukkojen on oltava riittävän suuria koivun taimettumista ajatellen, sillä koivutaimikko vaatii runsaasti valoa. Pienaukot ja kaistaleet taimettuvat hakkuiden jälkeen nopeasti tiheiksi hieskoivikoiksi. Koivutaimikon harvennus voi olla tarpeen, jotta kuusen taimet voivat verhopuuvaiheen jälkeen varttua alikasvoksena. Kuusen taimettumisen ajankohta suhteessa koivutaimikon eri kehitysvaiheisiin ratkaisee sen, poistetaanko koivu verhopuuvaiheen jälkeen vai käytetäänkö koivua ylispuuna kaksijaksoisen puuston kasvatuksessa. Koivun ensiharvennuksen ajankohtana syntyneitä kuusialikasvosta voidaan kasvattaa koivun alla 10–15 vuotta ennen koivikon päätehakkuuta ja alikasvoksen vapauttamista (Niemistö ja Poutiainen 2004).

Kuusen taimia on kokeellisesti myös istutettu alikasvokseksi suoraan muokkaamattomaan pintaan hieskoivun alle hyvällä menestyksellä (Niemistö 1995, Hilli ym. 2003, Niemistö ja Poutiainen 2004). Kaksijaksoisen metsän kasvatukseen perustuvassa menettelytavassa kokonaistaloudellisesti parhaimmaksi ajoitukseksi osoittautui kuusen istutus heti koivun ensiharvennuksen jälkeen (koivikon harvennus noin 35 vuoden iässä tiheyteen 1 000 kpl/ha), jolloin kuusta kasvatetaan alikasvoksena 10–15 vuotta ennen koivikon päätehakkuuta ja alikasvoksen vapauttamista (Niemistö ja Poutiainen 2004). Vaikka kyseisiä istutuskokeita ei ole tutkittu peitteellisen metsänkasvatuksen näkökulmasta, on menettelytapa mitä todennäköisimmin sovellettavissa samalla menestyksellä myös esimerkiksi viljavien rämeiden mustikkaturvekankailla tehtävissä pienaukoissa. Näin erityisesti silloin, kun luontaisia kuusialikasvoksia ei esiinny. Silloin voidaan hyödyntää pienaukkojen voimakasta luontaista taimettumista hieskoivulle ja istuttaa kuusi myöhemmin harvennetun hieskoivun alle. Koivun voimakkaan haihdutuskapasiteetin, yleensä hyvin tiheänä syntyneen taimikon ja sen nopean alkukehityksen ansiosta koivikon avulla voidaan todennäköisesti hillitä pienaukoissa hakkuun jälkeen tapahtuvaa pohjavedenpinnan nousua.

2.3.4. Suojuspuuhakkuu

Suojuspuuhakkuu kuuluu jatkuvapeitteisen kasvatuksen menetelmävaihtoehtoihin myös turvemailla, etenkin muutosvaiheessa tasaikäisestä eri-ikäiseksi metsäksi. Yksi sen käytön tavoitteista on ylläpitää puuston riittävää haihdutuspotentiaalia. Tämä onnistuu suojuspuumetsissä ainakin Luonnonvarakeskuksessa tehtyjen prosessipohjaisten mallien (Leppä ym. 2020) perusteella. Tulosten mukaan pohjapinta-alaltaan kuuden neliömetrin ja valtapituudeltaan runsaan 20 m:n kuusivaltainen puusto riittää pitämään Etelä-Suomessa turpeen vesipinnan noin 40 cm:n syvyydessä ja Pohjois-Suomessakin vielä noin 30 cm:n syvyydessä. Tämä kuitenkin edellyttää kesäkauden keskimääräisiä sääoloja, enintään 50 m:n sarkaleveyttä, 50 cm:n ojasyvyyttä ja saravaltaisille turpeille ominaista veden läpäisykykyä. Kuuden neliömetrin pohjapinta-ala saavutetaan esimerkin kaltaisessa kuusikossa jo runsaan sadan rungon hehtaariheydellä, mikäli puiden keskiläpimitta vastaa uudistamisen suositusläpimittaa 26 cm.

Uudistaminen suojuspuuhakkuulla mustikka- ja ruohoturvekankailla on onnistunut suomalaisen ja ruotsalaisten tutkimusten mukaan hyvin (Immonen-Joensuu 1987, Hånell 1995, Holgen ja Hånell 2000, Moilanen ym. 2011). Eri tiheyteen hakatut (150–210 kpl/ha) suojuspuualat uudistuivat 8–15 vuoden aikajänteellä erinomaisesti tuottaen tuhansia kuusen- ja koivuntaimia

(Hånell 1995, Holgen ja Hånell 2000, Moilanen ym. 2011), joista osalla raportoitiin tiheä kuusen taimiaines jo ennen suojuspuuhakkuuta (Moilanen ym. 2011). Turvemaan ojitusalojen uudistumistuloksia voidaan niiden perusteella pitää vähintään yhtä hyvin onnistuneina kuin kangasmaillaakin. Suojuspuuhakkuu onkin käytännössä yleisesti sovellettu korpikuusikoiden luontaisen uudistamisen menetelmä.

Niissä kokeissa, joissa suojuspuuhakkuuta tutkittiin eri suojuspuutiheyksillä, todettiin 80–160 rungon suojuspuutiheys parhaimmaksi eri kokoisen kuusitaimiaineksen kasvulle. Tätä tiheämmässä tai harvemmassa suojuspuustossa on kasvun elpyminen ollut hitaampaa ainakin kahdeksan ensimmäisen hakkuun jälkeisen kasvukauden aikana. Liian voimakkaasta valaistumustoksesta sekä tukkimiehentäin syönnöksistä kärsineiden taimien osuus on pienimmillään noin 160 rungon suojuspuutiheydessä (Örlander ja Karlsson 2000, Holgen ja Hånell 2000). Tämä vastaa myös kangasmaiden suojuspuuhakkuilla saatuja kokemuksia (Leinonen ym. 1989).

2.4. Männiköiden jatkuvapeitteinen kasvatus kangasmailla

2.4.1. Ylispuukasvatus

Männiköille suositeltavin jatkuvan kasvatuksen menetelmä on ylispuukasvatus. Se on yksinkertainen ja luotettava ja riittää useimmissa tapauksissa peitteisyyden tai ainakin sen vaikutelman säilyttämiseen avohakkuuta paremmin. Ylispuukasvatuksessa on mahdollisuus tuottaa erittäin korkealaatuista puuta. Sitä kehittyy ylispuissa pitkän kasvatusajan kuluessa, ja lisäksi suuri tiheys ja ylispuiden kilpailu pitävät nuoremman sukupolven puiden oksikkuuden ja nuorpuuosuuden kurissa (Kuva 6).

Männikön ylispuukasvatuksen uudistamisvaihe on samanlainen kuin siemenpuuhakkuussa, joten uudistuminen onnistuu todennäköisesti yhtä hyvin. Maanmuokkaus on yleensä tarpeen karuimpia kasvupaikkoja lukuun ottamatta. Jos metsässä on jo valmis kasvatuskelpoinen alikasvos, muokkausta ei tarvita. Männyn kasvupaikoilla uudistettava puulaji on mänty. Kun männyn taimikko syntyy nopeasti ja tiheäksi, riski karun kasvupaikan päätymisestä kuusen taimikoksi on pieni. Männyn allahan voi kasvattaa kuusta vain silloin, kun kasvupaikka on kuuselle sopiva: kangasmailla tuore kangas, turvemailla mustikkaturvekangas sekä niitä viljavammat kasvupaikat.



Kuva 6. Männyn ylispuukasvatusta kanervatyypin kankaalla, kun siemenpuuhakkuusta on kulunut noin 30 vuotta.

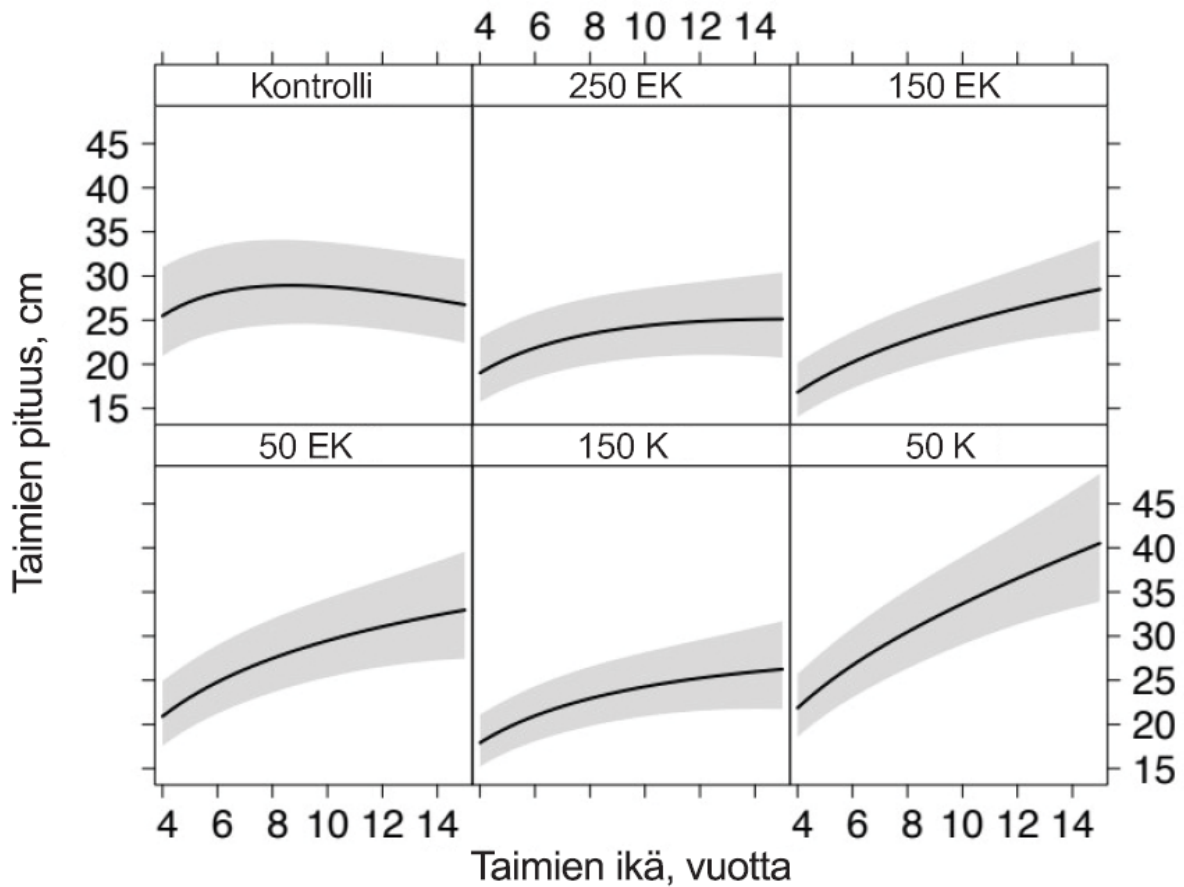
2.4.2. Eri-ikäisen metsän kasvatusta

Millainen siemen- tai suojuospuiden määrä olisi sopivin ylispuukasvatuksen aloituksessa? Syntyykö taimikko itsestään täyden metsän alle? Taimettumisen ja taimien kehityksen kannalta paras vaihtoehto on todennäköisesti aivan tavallinen siemenpuuhakkuu. Suurempi tiheys (suojuuspuuasento) on tarpeen vain silloin, kun suurempi peitteisyys on tarpeen (esimerkiksi maisema- tai ulkoilumetsässä). Hallikaisen ym. (2020) tutkimuksessa Lapissa sijaitsevaa hakkuukypsää metsää väljennyshakattiin eri tiheyksille ja seurattiin taimettumista ja taimien kasvua. Vaikka harventamattomaankin metsään syntyi taimia, tosin huomattavasti vähemmän kuin jos metsä harvennettiin esimerkiksi 50 runkoon hehtaarilla ja maan pinta oli äestetty, niin männyn taimien keskipituus ei kehittynyt ollenkaan täyden metsän alla (Kuva 7). Saman kokeen alustavassa jatkoanalyysissä havaittiin, että harventamattomissa kontrollimetsiköissä ja tiheimmissä harvennuksissa taimettumisen seurantaruuuista yli 70 % oli tyhjiä, kun taas metsiköissä, joihin oli jätetty noin 50 runkoa hehtaarille ja tehty äestys, tyhjiä seurantaruuuista oli alle 20 %. Tämä kertoo siitä, että vaikka harventamattomaan metsään taimia syntyy, taimikko on laikuittainen ja huomattava osa tiheissä laikuissa olevista taimista ei pysy hengissä kovin pitkään. Vastaavan laikuittaisuuden männyn uudistumisessa ovat havainneet myös mm. Karlsson ja Nilsson (2005).

2.4.3. Pienaukkohakkuu

Myös männylle näyttää sopivan jatkuvapeitteisen metsänkasvatuksen menetelmäksi pienaukkohakkuu. Hallikaisen ym. (2019) pienaukkokokeen tulosten perusteella läpimitaltaan 20, 40 ja

80 metrin aukot taimettuivat Lapissa hyvin, ja kun maanpinnasta noin 10–20 % paljastettiin laikuttamalla, varmistettiin runsas ja tasainen taimettuminen (Taulukko 2). Samassa kokeessa on alustavien tulosten perusteella havaittu, että pienimmällä aukolla (20 m) reunametsä rajoittaa hieman taimien kasvua, mutta 40 m ja 80 m aukoilla taimien kasvussa ei ole enää eroa. Vastaavan reunametsän vaikutuksen taimien kasvuun aukon reunassa on havainnut mm. Axelson ym. (2014). On kuitenkin selvää, että taimien varttuessa reunametsän vaikutus alkaa näkyä yhä selvemmin. Eteläsuomalaisten, selvästi tiheämpien, 5–10 m pituusvaiheessa olevien, männiköiden männyntaimien runkoluku, pituus ja tilavuus pienenevät erittäin voimakkaasti aukon keskeltä reunametsää kohti. Reunametsän vieressä oli muutaman metrin levyinen vyöhyke, jossa taimilla ei ollut minkäänlaisia menestymisen mahdollisuuksia (Ruuska ym. 2008).



Kuva 7. Männyn taimien keskipituuden kehitys (cm) taimien keski-ikä kasvaessa erilaisissa puuston harvennuskäsittelyissä (harventamaton kontrolli ja harvennus tiheyteen 250, 150 tai 50 runkoa hehtaarilla). Lyhenne EK tarkoittaa käsittelemätöntä maapohjaa ja K äestettyä maapohjaa (Hallikainen ym. 2020).

2.5. Männiköiden jatkuvapeitteinen metsänkasvatus ojitetuilla turvemailla

2.5.1. Eri-ikäisen metsän kasvatus

Ojitetuilla turvemailla ei aina oivalleta sitä, että osa mäntyvaltaisista turvekankaista on kehittynyt alun perin hyvin viljavan ja typpirikkaan luonnontilaisen rämeen ojituksen tuloksena. Il-

tyypin mustikkaturvekankaat ovat tästä hyvä esimerkki. Ne ovat puuston osalta helposti sekoitettavissa II-tyypin puolukaturvekankaisiin, mutta merkinä mustikkatason viljavuudesta ovat kangasmaiden mustikkatyyppillekin ominaiset opaskasvilajit. Kyseisillä mustikkaturvekankailla mänty-koivu-valtapuuston alle on usein kehittynyt kasvatuskelpoisia alikasvoskuusia, jotka ovat eriasteisten harvennusten avulla hyödynnettävissä, jos tavoitellaan siirtymää kohti eri-ikäisrakennetta eli säännöllisen eri-ikäisrakenteista puustoa (Saarinen ym. 2020).

Hyödynnettävissä olevia ja kehityskelpoisia kuusialikasvoksia löytyy myös puolukaturvekankailla. Sararämeiden ja -nevojen ojitusalueiden II-tyypin puolukaturvekankailla alikasvokset ovat melko tasarakenteisia, jolloin ylispuuston kanssa ne muodostavat kaksijaksoisen metsän. Toinen tyypillinen tapaus on korpirämeiden I-tyypin puolukaturvekankaat, joissa kuusialikasvos on valmiiksi eri-ikäisrakenteinen ja suurimmat kuuset yltävät valtapuumännikön latvustasolle (Saarinen ym. 2020).

Kuusen kasvusta, tuotoksesta ja uudistumisesta puolukaturvekankailla ei vielä ole tutkittua tietoa, joten on vaikea arvioida sitä, kuinka mielekästä niillä on tavoitella kuusen varassa toteutettavaa eri-ikäiskasvatuksen mallia. Mikäli kuusen ja männyn tuotoksen suhteellinen ero on samaa luokkaa kuin puolukkatyyppien kankailla, lienee todennäköistä, että alikasvoskuusten hyödyntäminen on avohakkuun sijasta järkevää, vaikka myöhemmin metsikkö uudistettaisiinkin jaksollisen kasvatuksen männiköksi. Turvemailla ojituksen ikääntyminen lisää turpeen maatumisen kautta typen saatavuutta, mikä parantaa kuusen menestymistä ja kasvua

Alikasvoskuusten laadusta, tiheydestä ja korjuun jälkeen selviytyneen alikasvoksen tilajakaumasta riippuen voidaan niitä harkita hyödynnettäväksi, kun tehdään pienaukkoja tai kaistaleita. Pienaukoille voidaan jättää hyvälaatuisia alikasvosryhmiä samalla, kun muut osat pienaukoista uudistetaan männiköksi.

2.5.2. Pienaukkohakkuu

Kokeellinen pienaukkojen tutkimus rajautuu turvemailla tällä hetkellä muutamiin turvemaamänniköiden kaistalehakuun koealueisiin, joilla uusien taimien syntymistä on seurattu vasta muutaman vuoden. Alustavien mittaustulosten perusteella näyttää siltä, että varsinkin varputurvekankaiden hakkuukaistaleiden uudistumisen suurin ongelma on taimettumisen epätasaisuus. Se johtuu raakahumuksen, seinäsammalpintojen ja varvikon esiintymisestä. Yli puolet taimista on rahkasammalpinnoilla tai ajourajäljissä. Raakahumuksen ja seinäsammalkasvustojen rikkominen jollain kevyellä pintamuokkauslaitteella voisikin edistää tasaisempaa taimettumista.

2.5.3. Ylispuukasvatus

Edellä kangasmaamänniköiden yhteydessä kuvattu männiköiden ylispuukasvatuksen menetelmä ei kovin hyvin sovellu suomeksi ainakaan laajempina kokonaisuuksina. Aloitusvaiheen siemenpuusto on liian harva riittävän haihdutuksen ylläpitämiseksi. Jos menetelmää halutaan soveltaa ojitetuilla turvemailla, se täytyy soveltaa kaistaleittain tai pienaukoittain. Toisin sanoen peitteellisyys ja puuston haihdutuksen korkea taso säilytetään yhdistämällä siemenpuuhakkuu kaistale- tai pienaukkohakuun kanssa.

Turvemailla ylispuukasvatuksen aloitusvaiheeseen liittyy vedenpinnan nousun riskin lisäksi toinenkin ongelma, jota esiintyy melko yleisesti II-tyypin puolukaturvekankailla ja osin jopa tietyillä varputurvekankaillakin: tiheet hieskoivuvesakot, jotka haittaavat pahasti männyn luontaista taimettumista. Vesoittuminen saattaa puolukaturvekankailla edellyttää kahtakin

taimikonhoitokertaa siemensyntyisen mäntytaimikon vakiinnuttamiseksi. Toisaalta vesakosta männyn taimille syntyvät pituuserot sopivat erirakenteisen metsän uudistumisen ja kasvun dynamiikkaan paremmin kuin jaksollisen kasvatuksen tasarakenteisessa metsässä, missä taimikonhoidon viivästyminen tai laiminlyönti on huomattavasti vakavampi ongelma.

2.6. Päätelmiä ja jatkotutkimustarpeita

Pitkäaikaisia jatkuvapeitteisen metsänkasvatuksen kokeita ei ole tarpeeksi eikä olemassa olevista ole vielä tarpeeksi tuloksia, että voitaisiin antaa kasvatusohjeita kaikille puulaji–kasvupaikayhdistelmille. Toistaiseksi kertyneiden tulosten perusteella voidaan kuitenkin sanoa, että kivennäismailla jatkuvapeitteiset menetelmät, kuten poimintahakkuu, soveltuvat parhaiten kuusikoille. Mänty ja koivu valopuina uudistuvat kivennäismailla parhaiten pienaukoissa tai tarpeeksi harvoissa ylispuumetsiköissä. Kaiken kaikkiaan sekapuustoisuuden ylläpito jatkuvapeitteisessä metsänkasvatuksessa on vaikeampaa kuin jaksollisessa kasvatuksessa. Suojuspuuhakkuu ja pienaukkohakkuu ovat toimivia peitteisen uudistamisen menetelmiä korpikuusikoissa mutta mikäli käytetään valtapituutta selvästi suurempia pienaukkoja, rehevöityvä pintakasvillisuus hidastaa uudistumista. Turvemaiden II-typin kasvupaikoilla yleiset luontaiset kuusialikasvokset tarjoavat mahdollisuuden peitteiseen uudistumiseen ja siirtymisen eri-ikäiskasvatukseen. Turvemaiden poimintahakkuiden ja rämemänniköiden kaistalahakkuiden toimivuudesta on vasta hyvin vähän tietoa. Siksi on tärkeää, että uudistumisen ja puuston kehityksen seurantamittauksista huolehditaan viime vuosina perustetuilla kokeilla. Terveyslannoituksen tarvetta korprien jatkuvapeitteisessä kasvatuksessa tulisi selvittää, sillä kaliumin puutos näyttää yleistävän myös korpikuusikoissa. Koska onnistunut luontainen uudistuminen on oleellinen tekijä arvioitaessa jatkuvapeitteisten menetelmien taloudellista kannattavuutta, realistisiin kannattavuuslaskelmiin tulisi käyttää realistisia, kokeellisissa tutkimuksissa tai inventoinneissa havaittuja, uudistumistuloksia.

Viitteet

- Axelsson, E. P., Lundmark, T., Högberg, P. & Nordin, A. 2014. Belowground competition directs spatial patterns of seedling growth in boreal pine forests in Fennoscandia. *Forests*. 5(9): 2106–2121.
- Downey, M., Heikkinen, J. & Valkonen, S. 2018. Natural tree regeneration and vegetation dynamics across harvest gaps in Norway spruce dominated forests in Southern Finland. *Canadian Journal of Forest Research* 48: 524–534.
- Eerikäinen, K., Valkonen, S. & Saksa, T. 2014. Ingrowth, survival and height growth of small trees in uneven-aged *Picea abies* stands in southern Finland. *Forest Ecosystems* 1(5). 10 p.
- Hallikainen, V., Hyppönen, M., Hökkä, H., Rautio, P. & Valkonen, S. 2019. Natural regeneration after gap cutting in Scots pine stands in northern Finland. *Scandinavian Journal of Forest Research* 34: 115–125.
- Hallikainen, V., Hökkä, H., Hyppönen, M., Rautio, P. & Valkonen, S. 2020. Männyn luontainen uudistuminen pienaukkohakkuun jälkeen Lapissa. *Acta Lapponica Fenniae* 29: 10–22.
- 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(4): 633–645.

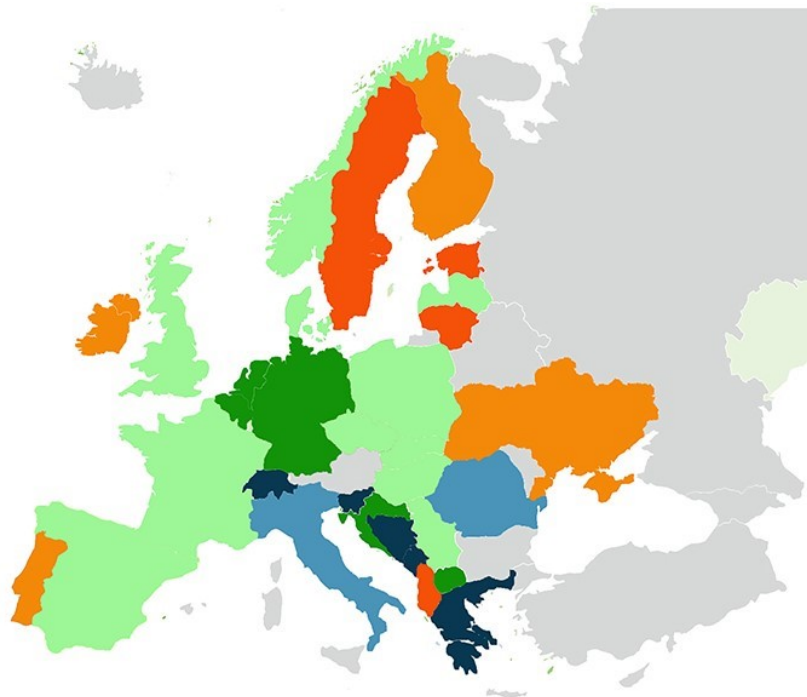
- Hökkä, H., Repola, J., Moilanen, M. & Saarinen, M. 2012. Seedling establishment on small cutting areas with or without site preparation in a drained spruce mire – a case study in northern Finland. *Silva Fennica* 46(5): 695–705.
- Hökkä, H. & Repola, J. 2018. Pienaukkohakkuun uudistumistulos Pohjois-Suomen korpikuusikossa 10 vuoden kuluttua hakkuusta. *Metsätieteen aikakauskirja* 2018–7808. 17 s.
- Karlsson, M. & Nilsson, U. 2005. The effects of scarification and shelterwood treatments on naturally regenerated seedlings in southern Sweden. *Forest Ecology and Management* 205: 183–197
- Koistinen, E. & Valkonen, S. 1993. Models for height development of Norway spruce and Scots pine advance growth after release in southern Finland. *Silva Fennica* 27(3): 179–194.
- Laiho, O., Pukkala, T. & Lähde, E. 2014. Height increment of understory Norway spruces under different tree canopies. *Forest Ecosystems* 1(4): 1–8.
- Leinonen, K., Leikola, M., Peltonen, A. & Räsänen P.K. 1989. Kuusen luontainen uudistaminen Pirkka-Hämeen metsälautakunnassa. *Acta Forestalia Fennica* 209.
- Lukkala, O.J. 1946. Korpimetsien luontainen uudistaminen. Referat: Die natürliche Verjüngung der Bruchwälder. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 34(3). 150 p. (In Finnish with German summary).
- Lundqvist, L. 1991. Some notes on the regeneration on six permanent plots managed with single-tree selection. *Forest Ecology and Management* 46: 49–57.
- Lundqvist, L. 1993. Changes in the stand structure on permanent *Picea abies* plots managed with single-tree selection. *Scandinavian Journal of Forest Research* 8: 510–517.
- Lähde, E., Laiho, O., Norokorpi, Y. & Saksa, T. 2002. Development of Norway spruce dominated stands after single-tree selection and low thinning. *Canadian Journal of Forest Research* 32: 1577–1584.
- Mielikäinen, K. & Valkonen, S. 1995. Kaksijaksoisen kuusi-koivu-sekametsikön kasvu. *Folia Forestalia* 1995(2): 81–97.
- Nygren, M., Rissanen, K., Eerikäinen, K., Saksa, T. & Valkonen, S. 2017. Norway spruce cone crops in uneven-aged stands in southern Finland: a case study. *Forest Ecology and Management* 390: 68–72.
- Place, I.C.M. 1955. The influence of seedbed conditions on the regeneration of spruce and balsam fir. Canada Department of Northern Affairs and Natural Resources. Forestry Branch, Bulletin 117. 87 p.
- Ruuska, J., Siipilehto, J. & Valkonen, S. 2008. Effect of edge stands on the development of young *Pinus sylvestris* stands in southern Finland. *Scandinavian Journal of Forest Research* 23: 214–226.
- Saksa, T. 2004. Regeneration process from seed crop to saplings - a case study in uneven-aged Norway spruce-dominated stands in southern Finland. *Silva Fennica* 38(4): 371–381.
- Saksa, T. & Valkonen, S. 2011. Dynamics of seedling establishment and survival in uneven-aged boreal forests. *Forest Ecology and Management* 261(8): 1409–1414.

- Saksa, T. & Kankaanhuhta, V. 2007. Metsänuudistamisen laatu ja keskeisimmät kehittämiskohde-
teet Etelä-Suomessa. Metsänuudistamisen laadun hallinta -hankkeen loppuraportti.
Metsäntutkimuslaitos, 90 s.
- Sarasto, J. & Seppälä, K. 1964. Männyn kylvöistä ojitettujen soiden sammal- ja jäkäläkasvustoi-
hin. Summary: On sowing of pine in moss and lichen vegetation on drained swamps.
Suo 15(3): 54–58.
- Sikström, U. 1997. Avgång i skärmen och plantetablering vid föryngring av gran under hög-
skärm – en surveystudie- Skogforsk Arbetsrapport nr 369. 147 s.
- Wood, J.E. & Jeglum, J.K. 1984. Black spruce regeneration trials near Nipigon, Ontario: Planting
versus seeding, lowlands versus upland, clearcut versus stripcut. Canadian Forestry Ser-
vice, Sault Ste. Marie, Ontario, Information Report O-X-361. 19 p.
- Valkonen, S. 2019. Pienaukkojen ja osittaishakkuuaukkojen taimettuminen Häiriödynamiikka -
hankkeen tutkimusalueilla. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 69/2019.
- Valkonen, S., Koskinen, K., Mäkinen, J. & Vanha-Majamaa, I. 2011. Natural regeneration in patch
clear-cutting in *Picea abies* stands in Southern Finland. Scandinavian Journal of Forest
Research 26(6): 530–542.
- Valkonen, S. & Siitonen, J. 2016. Tree regeneration in patch cutting in Norway spruce stands in
northern Finland. Scandinavian Journal of Forest Research 31: 271–278.

Metsänkäsittelyn geneettiset vaikutukset ovat hitaita ihmisen aikaskaalassa ja siksi hankalia tutkittavia. Toisilleen sukua olevien puiden välillä lisääntymistä ja siitä seuraavaa sukusiitoseikkoutta, sekä geneettisen monimuotoisuuden määrää on suhteellisen helppo tutkia nykyisillä merkkigeeni- ja suorasekvensointimenetelmillä. Sen sijaan se, heikentääkö poimintahakkuu jäljelle jäävän metsän geneettistä kasvupotentiaalia, on kysymys, jossa tarvittaisiin usean puusukupolven tutkimusaineistoja. Tätä voidaan kuitenkin jossain määrin arvioida mallinnusten avulla.

Percentage of Forest Area CCF

- Classes:
- N / A
 - 0
 - 1 - 5
 - 6 - 25
 - 26 - 50
 - 51 - 75
 - 76 - 100



Kuva 8. Jatkuvan kasvatuksen metsien osuus metsäalasta eri Euroopan maissa. Kuva Mason ym. 2022.

3.2. Vaikuttaako jatkuva kasvatusta metsien geneettisen muuntelun määrään, sukusiitoksen mahdollisuuteen ja sopeutumiskykyyn?

Geneettinen muuntelu on avainasemassa ilmastonmuutokseen sopeutumisessa. Siihen pohjautuu myös metsänjalostus: valitaan nopeasti kasvavia ja hyvälaatuisia puuta jalostusohjelmaan tuottamaan parempikasvuisia ja -laatuisia metsiä. Geneettisen muuntelun määrää voi arvioida jälkeläiskokeissa mittaamalla eri ominaisuuksien muuntelua esimerkiksi puiden kasvu- tai laatuominaisuuksissa tai kyvyssä sietää kylmää, tauteja tai tuholaisia. Tätä sopeutumisen kannalta tärkeää muuntelua on varsin työlästä tutkia ja toisaalta ilmastonmuutos voi nostaa uusia ominaisuuksia sopeutumisen kannalta tärkeiksi (esimerkiksi uudet tuholaiset, kuivuusstressi). Siksi geneettisen muuntelun määrää arvioidaan usein sekvensoimalla osaa puiden genomista ja analysoimalla erilaisia merkkigeenejä, jotka itsessään eivät välttämättä ole sopeutumisen kannalta tärkeitä, mutta joita voidaan käyttää vertailtaessa keskimääräistä geneettisen muuntelun määrää ja jakautumista eri populaatioiden (keskenään lisääntyvien puiden muodostavien metsiköiden) sisällä ja niiden välillä – tai arvioida metsänkäsittelyn vaikutusta geneettiseen muunteluun (mm. Savolainen ja Kärkkäinen 1992, Ratnam ym. 2014).

Pohjoisissa mänty- ja kuusimetsissä on yleensä runsaasti geneettistä muuntelua. Suurin osa tuosta muuntelusta on metsiköille yhteistä eli erilaistuminen metsiköiden välillä on vähäistä (Tollesfrud ym. 2009, Tyrmi ym. 2020). Sopeutumiseen liittyvissä ominaisuuksissa havaitaan kuitenkin erilaistumista, esimerkiksi männyn eteläisten ja pohjoisten alkuperien kasvurytmi on erilainen (esim. Savolainen ym. 2007). Sopeutumisominaisuuksissa on runsaasti geneettistä muuntelua myös metsikön sisällä, mikä voi auttaa puita sopeutumaan ympäristömuutokseen (Savolainen ym. 2011). Muuntelun säilymiseen pohjoisilla havupuilla vaikuttavat etenkin niiden suuri populaatiokoko ja levinneisyys sekä tehokas geenivirta tuulipölytyksen myötä (Savolainen ym. 2007).

Erilaisilla metsänhoitotavoilla voidaan vaikuttaa geneettisen muuntelun säilyvyyteen (Ledig 1992, Savolainen ja Kärkkäinen 1992, Ratnam ym. 2014, Kavaliuskas ym. 2018, Aravanopoulos 2018). Lisääntyvien yksilöiden määrällä on keskeinen rooli: jos lisääntyviä yksilöitä on paljon, keskimääräinen muuntelu säilyy hyvin. Lisääntyvien puiden pieni määrä voi vähentää erityisesti harvinaisempien geenimuotojen määrää. Erilaisten metsänhoitotapojen vaikutusta muunteluun on kuitenkin hyvin vaikea yleistää, koska vasteen voimakkuus riippuu muun muassa puulajin biologiasta ja metsikön historiasta. Siksi onkin tärkeää, että vaikutuksia tutkitaan kotimaisissa metsissä.

Jatkuvan kasvatuksen epäillään luovan sukulaistrakenteita ja lisäävän sukusiitosta (Finkeldey 2002). Suuri osa aiemmista tutkimuksista perustuu trooppisten puulajien poimintahakkuisiin. Asiaa on siksi syytä tutkia myös boreaalisisä metsissä. Esimerkiksi Boyle ym. (1990) havaitsivat voimakkaampia sukulaistrakenteita eri-ikäisrakenteisessa mustakuusimetsässä kuin tasaikäisessä, tulipalon jälkeen luontaisesti syntyneessä metsässä. Sagnard ym. (2011) mukaan lisääntyvien puiden ja taimien sijoittuminen metsikköön (etäisyydet ja ryhmittäisyys) vaikuttavat sukulaisuusrakenteiden muodostumiseen. Teoriassa sukulaistrakenteet voivat johtaa lisääntyneeseen sukusiittoisuuteen ja sitä kautta kasvun ja laadun heikkenemiseen. On kuitenkin muistettava, että pohjoisilla havupuilla siitepölyä saapuu metsikköön aina myös ympäröiviltä alueilta vähentäen sisäsiittoisuuden todennäköisyyttä. Lisäksi sukusiitosheikkous on havupuilla voimakasta, jonka ansiosta esimerkiksi itsesiittoiset alkiot kuolevat jo siemenkehityksen aikana (Savolainen ja Kärkkäinen 1992, Kärkkäinen ja Savolainen 1993) ja suuri osa itäviksi siemeniksi kehittyvistä kuolee pois taimivaiheessa (Koelewijn ym. 1999). Sukulaistrakenteiden vuoksi metsikköön voi kuitenkin syntyä taimia, joilla sukusiitosheikkous on kaukaisemman sukulaisuuden vuoksi lievempää, ei alkiokuolemia aiheuttavaa, mutta esimerkiksi puiden kasvunopeutta heikentävää (Williams ja Savolainen 1996, Wu ym. 1998).

Nopea ilmastonmuutos aiheuttaa haasteen metsillemme: kasvukausi pitenee, uusia tauteja ja tuholaisia ilmaantuu ja kesäaikaiset kuivuuskaudet yleistyvät. Millaista on ilmastonmuutokseen sopeutuminen jatkuvan kasvatuksen metsissä verrattuna jalostettuun materiaaliin pohjautuviin metsiin? Metsänviljelyssä ns. avustettu sopeutuminen (Sáenz-Romero ym. 2021) on mahdollisuus, jota tutkitaan tällä hetkellä paljon. Uudistamiseen voidaan valita siemen- ja taimimateriaalia, jonka geneettiset ominaisuudet oletettavasti soveltuvat tuleviin oloihin hyvin. Pohjoismaisessa metsänjalostuksessa ja metsänviljelyssä ilmastonmuutos on huomioitu tarkastelemalla uusimpia säätilastoja (mm. Berlin ym. 2019) ja ilmastomalleja (Hallingbäck ym. 2021) sekä jalostuksessa että siemenviljelymateriaalien käyttöalueita määritettäessä. Ruotsin ja Suomen yhteisiin analyyseihin pohjautuvia kansallisia männyn käyttöaluesuosituksia onkin jo uudistettu (<https://metsainfo.luke.fi/fi/vilpas>) ja vastaava työ on käynnissä kuusen käyttöaluesuosituksista. Tällainen ilmastonmuutokseen sopeuttaminen ei ole mahdollista jatkuvan kasvatuksen metsissä. Kuitenkin luontaisesti uudistuvassa metsässä sopeutumista edistävää muuntelua on paljon, mikäli lisääntyvien yksilöiden ja taimettumisen määrä on riittävä (Brang ym. 2014, Fady ym. 2016).

Luontaisesti uudistuvissa jatkuvan kasvatuksen metsissä sopeutumiseen tulee siis vaikuttamaan metsiköissä oleva ja sinne geenivirran, lähinnä siitepölyn, mukana tuleva geneettinen muuntelu. Tärkeää on myös, kuinka muuttuviin olosuhteisiin paremmin sopeutuneiden geenimuotojen yhdistelmät saavat metsiköissä jalansijaa. Sopeutumisen nopeuteen vaikuttaa paitsi lisääntyvien yksilöiden geenit, myös taimettumiselle vapaana olevan tilan määrä (Savolainen ym. 2004). Jatkuvapeitteisissä metsissä nykyään lisääntyvät puut, sekä suuri osa pienemmistä jurovista puista ja alikasvostaimista ovat saaneet alkunsa useita vuosikymmeniä sitten, minkä jälkeen ilmasto on jo huomattavasti lämmennyt. Mallintamalla voidaan arvioida tarve ja mahdollisuus luoda tilaa nopeammalle uudistumiselle sopeutumisen edistämiseksi. Pitkän aikavälin evolutiivisen sopeutumiskyvyn vuoksi on hyvä kiinnittää huomiota myös harvinaisempien geenimuotojen esiintyvyyteen sekä jatkuvassa kasvatuksessa että jalostetulla materiaalilla uudistettaessa. Tällä hetkellä harvinaiset geenimuodot voivat tulevaisuuden muuttuneissa oloissa osoittautua hyödyllisiksi. Tämänkin vuoksi tulee metsässä pitää lisääntyvien yksilöiden määrä ja jalostuspopulaation koko tarpeeksi suurena.

3.3. Poimintahakkuun geneettiset vaikutukset – väheneekö geneettinen kasvupotentiaali?

Epäily jatkuvan kasvatuksen vaikutuksista geneettiseen kasvupotentiaalin nousee historiasta, määrämittaharsinnasta tai suoranaisesta metsän hävittämisestä, jota Suomessakin aikoinaan tehtiin. Harsinnassa hakattiin isot, tukin mitat ja laatuvaatimukset täyttävät puut ja jätettiin ainoastaan liian pienet ja huonolaatuiset puut jäljelle metsän tulevasta kehityksestä välittämättä. Vastaavia hakkuita harrastettiin laajasti myös muualla maailmassa, mutta niidenkään geneettisiä vaikutuksia ei ole kyetty selvittämään.

Periaatteessa harsintahakkuilla ja kasvamaan jätettävien puiden valinnalla voidaan saada aikaan muutos metsän geneettiseen kasvupotentiaaliin. Tästä on käänteisenä esimerkkinä metsänjalostus, joka aloitettiin Suomessa valitsemalla ulkoasultaan parhaita nopeakasvuisia ja hyvälaatuisia puita metsistä ns. pluspuiksi, joita vartettiin ensimmäisen sukupolven siemenviljelyksille tuottamaan hyvälaatuisia siementä. Pitkäaikaiskokeissa on havaittu siemenviljelyssiemenistä kasvatettujen puiden nopeampi kasvu ja parempi ulkoinen laatu verrattuna vastaavien metsikkösiemenenalkuperien kasvuun (Haapanen ym. 2016, Haapanen 2020). Tämä on osoitus siitä, että lisääntyvien yksilöiden valinnalla voidaan saada muutos puiden keskimääräiseen kasvupotentiaaliin jo yhdessä sukupolvessa. Tuo suhteellisen suuri nopea muutos kasvupotentiaalissa perustuu periytyvyyden lisäksi voimakkaaseen valinnan intensiteettiin (ero valittujen puiden pituudessa tai tilavuudessa verrattuna metsän puuston keskipituuteen tai tilavuuteen): vain hyvin pieni osa metsien puista, kasvun ja laadun suhteen selkeästi parhaat, valittiin metsistä pluspuiksi jalostuspopulaatioon ja niitä vartettiin ensimmäisen sukupolven siemenviljelyksille (Oskarsson 1972). Metsänjalostus onkin parantanut metsien kasvupotentiaalia jo varsin paljon. Kuusen jalostushyötyjä on arvioitu vertaamalla siemenviljelyssiemenistä tuotettujen taimien kasvua metsikkösiemenistä tuotettujen taimien kasvuun kiertoajan ensimmäisen kolmanneksen ajan kasvaneista koepuista (22–30 vuotta vanhoista kokeista; Haapanen ym. 2020). Kuusen ensimmäisen sukupolven siemenviljelyssiementen realisoituvien kasvuhyötyjen arvioitiin olevan 8 % pituuskasvussa, 9 % läpimitassa ja 20 % tilavuuskasvussa ja 1,5 sukupolven siemenviljelysten hyödyt arvioitiin jo selvästi korkeammiksi (esim. 37 % tilavuuskasvussa; Haapanen 2016). Männyn 1.5 sukupolven siemenviljelysten jalostettu materiaali on kenttäkoe-menestyksen ja metsikkösimulaattorin avulla arvioitu tuottavan yli 20 % lisäyksen metsikön keskimääräiseen kasvuun ja joko lyhentävän metsikön kiertoaikaa (Etelä-Suomessa 15–20 vuotta) tai tuottavan järeämpää puuta, jos hakkuuta ei aikaisteta (Ahtikoski ym. 2013). Arviot jalostushyödyistä

perustuvat Suomessa varsin nuoriin kokeisiin (20–30 vuotta), mutta maissa, joissa vastaavia kokeita jo lähes hakkuukypsistä kokeista jalostushyötyjen on havaittu pysyvän hyvin samanlaisina metsän myöhemmässä kasvussakin (esimerkiksi radiatamännyn laajat koesarjat Uudessa Seelannissa; Kimberley ym. 2015). Arvioidut jalostushyödyt osittavat mahdollisuuden parantaa metsän kasvua tasaikäiskasvatuksessa, eikä tuloksia voi suoraan verrata jatkuvan kasvatuksen metsän kasvupotentiaaliin. Mutta ne osoittavat, että puiden ilmiasuun pohjautuva valinta voi muuttaa metsän kasvupotentiaalia.

Eräs hakkuutavan vaikutuksen osoittava esimerkki on 1952 perustettu punakuusen pitkäaikaiskoe Pohjois-Amerikan Mainessa (Sokol ym. 2004). Koeala hakattiin määrämittaharsinnalla (kaksi hakkuukertaa, joissa poistettiin kaikki yli 23 cm läpimittaiset puut) tai poimintahakkuilla (yhdeksän hakkuuta viiden vuoden välein pyrkien samaan tiheyteen mutta eri kokoluokista puita poistaen). Tulosten mukaan määrämittaharsinnalla hakatuilla koealoilla punakuusien kasvunopeus oli selvästi alhaisempi kuin poimintahakkuilla eli harsintahakkuut näyttivät laskevan metsän kasvupotentiaalia (Sokol ym. 2004). Kun arvioidaan jatkuvan kasvatuksen hakkuiden geneettisiä vaikutuksia, valinnan intensiteetti ja valinnan jatkuvuus useampien sukupolvien yli ovat tärkeitä tekijöitä. Ledig (1992) esittää Pohjois-Amerikan metsien historiallisesta hyödyntämisestä kaksi hakkuuesimerkkiä: laadultaan parhaiden puiden poimintahakkuut (suurimmat, suorat valkomännyn mastopuiksi) ja voimakkaat, lähes kaikkien puiden hakkuut (lähellä asutuksia puut rakentamiseen ja polttopuiksi, ainoastaan pienten, sairaiden ja pensasmaisten puiden jäädessä jäljelle). Näistä jälkimmäinen, voimakas hakkuu, oli Ledigin mukaan haitallisempi metsien kasvu- ja laatu- ja kasvupotentiaalille, kun taas vain parhaiden puiden poistolla oli huomattavasti pienempi vaikutus metsän geneettiseen kasvupotentiaaliin. Geneettisen vaikutuksen ero tulee valinnan intensiteetistä: voimakkaassa hakkuussa jätettiin vain hyvin pieni osa yksilöistä ja vielä ne heikoimmat lisääntymään keskenään, kun taas valkomäntymetsässä suurin osa puustosta jäi lisääntymään, ja muutos seuraavan sukupolven keskimääräisessä kasvupotentiaalissa jäi todennäköisesti pieneksi.

Männyn jatkuvan kasvatuksen tyyliset ylispuu- tai pienaukkohakkuut eivät todennäköisesti vaikuta heikentävästi kasvupotentiaaliin. Kuusivaltaisissa metsissä suositellut jatkuvan kasvatuksen hakkuut ovat poimintahakkuuta, joissa pääasiassa isoja puita poistetaan, mutta isoja siementäviä puita tulee myös jättää huolehtimaan uudistumisesta. Tällainen hakkuutyylit eivät luultavasti aiheuta geneettistä heikennystä kasvupotentiaaliin ainakaan nopeasti (yhden tai kahden hakkuukerran aikana). Metsänuudistumiseen kannattaa kuitenkin kiinnittää huomiota ja varmistaa, että siemenpuita jää tarpeeksi.

Viitteet

- Ahtikoski, A., Salminen, H., Ojansuu, R., Hynynen, J., Kärkkäinen, K. & Haapanen, M. 2013. Optimizing stand management involving the effect of genetic gain: preliminary results for Scots pine in Finland. *Canadian Journal of Forest Research*, 43(3): 299–305.
- Aravanopoulos, F.A. 2018. Do silviculture and forest management affect the genetic diversity and structure of long-impacted forest tree populations? *Forests*, 9(6): 355.
- Berlin, M., Almqvist, C., Haapanen, M., Högberg, K., Jansson, G., Persson, T. & Ruotsalainen, S. 2019. Common Scots pine deployment recommendations for Sweden and Finland. Skogforsk Report. Uppsala.

- Brang, P., Spathelf, P., Larsen, J.B., Bauhus, J., Boncčina, A., Chauvin, C., ... & Svoboda, M. 2014. Suitability of close-to-nature silviculture for adapting temperate European forests to climate change. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 87(4): 492–503.
- Fady, B., Cottrell, J., Ackzell, L., Alía, R., Muys, B., Prada, A., & González-Martínez, S.C. 2016. Forests and global change: what can genetics contribute to the major forest management and policy challenges of the twenty-first century? *Regional Environmental Change*, 16(4): 927–939.
- García Gil, M.R., Floran, V., Östlund, L. et al. 2015. Genetic diversity and inbreeding in natural and managed populations of Scots pine. *Tree Genetics & Genomes* 11, 28.
- Haapanen, M. 2020. Performance of genetically improved Norway spruce in one-third rotation-aged progeny trials in southern Finland. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 35(5–6): 221–226.
- Haapanen, M., Hynynen, J., Ruotsalainen, S. et al. 2016. Realised and projected gains in growth, quality and simulated yield of genetically improved Scots pine in southern Finland. *European Journal of Forest Research* 135: 997–1009.
- Ilingbäck, H.R, Burton, V., Vizcaíno-Palomar, N., Trotter, F., Liziniewicz, M, Marchi, M., Berlin, M., Ray, D. & Benito Garzón, M. 2021. Managing Uncertainty in Scots Pine Range-Wide Adaptation Under Climate Change. *Frontiers in Ecology and Evolution* 9: 724051.
- Kavaliauskas, D., Fussi, B., Westergren, M., Aravanopoulos, F., Finzgar, D., Baier, R., ... & Kraigher, H. 2018. The interplay between forest management practices, genetic monitoring, and other long-term monitoring systems. *Forests*, 9(3): 133.
- Kimberley, M.O., Moore, J.R. & Dungey, H.S., 2015. Quantification of realised genetic gain in radiata pine and its incorporation into growth and yield modelling systems. *Canadian Journal of Forest Research*, 45(12): 1676–1687.
- Koelewijn, H.P., Koski, V. & Savolainen, O. 1999. Magnitude and timing of inbreeding depression in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). *Evolution*, 53(3): 758–768.
- Kärkkäinen, K. & Savolainen, O. 1993. The degree of early inbreeding depression determines the selfing rate at the seed stage: model and results from *Pinus sylvestris* (Scots pine). *Heredity*, 71(2): 160–166.
- Ledig, F.T. 1992. Human impacts on genetic diversity in forest ecosystems. *Oikos*, 87–108.
- Lindqvist, B. 1946. Den skogliga rasforskningen och praktiken. Svenska Skogsvårdsföreningens förlag. Stockholm, 176 pp.
- Mason, W.L., Diaci, J., Carvalho, J. & Valkonen, S. 2022. Continuous cover forestry in Europe: usage and the knowledge gaps and challenges to wider adoption. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 95(1): 1–12.
- Oskarsson, O. 1972. Finnish plus trees of Scots pine and Norway spruce. *Folia Forestalia* 150: 1–138.
- Ratnam, O.P., Rajora, R., Finkeldey, F., Aravanopoulo, J.-M., Bouvet, R.E., Vaillancourt, M., Kanashiro, B., Fady, M., Tomita, C. & Vinson, C. 2014. Genetic effects of forest management

- practices: global synthesis and perspectives. *Forest Ecology and Management*, 333, pp. 52–65
- Savolainen, O., Kujala, S.T., Sokol, C., Pyhäjärvi, T., Avia, K., Knürr, T., Kärkkäinen, K. & Hicks, S. 2011. Adaptive potential of northernmost tree populations to climate change, with emphasis on Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). *Journal of Heredity*, 102: 526–536.
- Savolainen, O., Bokma, F., García-Gil, R., Komulainen, P. & Repo, T. 2004. Genetic variation in cessation of growth and frost hardiness and consequences for adaptation of *Pinus sylvestris* to climatic changes. *Forest Ecology and Management*, 197(1–3): 79–89.
- Savolainen, O. & Kärkkäinen, K. 1992. Effect of forest management on gene pools. In: Adams, W.T., Strauss, S.H., Copes, D.L., Griffin, A.R. (eds). *Population Genetics of Forest Trees*. Forestry Sciences, vol 42. Springer, Dordrecht.
- Sokol, K.A., Greenwood, M.S. & Livingston, W.H. 2004. Impacts of long-term diameter-limit harvesting on residual stands of red spruce in Maine. *Northern journal of applied forestry*, 21(2): 69–73.
- Tollefsrud, M.M., Sønstebo, J.H., Brochmann, C., Johnsen, Ø., Skrøppa, T. & Vendramin, G.G. 2009. Combined analysis of nuclear and mitochondrial markers provide new insight into the genetic structure of North European *Picea abies*. *Heredity*, 102(6): 549–562.
- Tyrmi, J.S., Vuosku, J., Acosta, J.J., Li, Z., Sterck, L., Cervera, M.T., Savolainen, O. & Pyhäjärvi, T. 2020. Genomics of clinal local adaptation in *Pinus sylvestris* under continuous environmental and spatial genetic setting. *G3: Genes, Genomes, Genetics*, 10(8): 2683–2696.
- Williams, C.G. & Savolainen, O. 1996. Inbreeding depression in conifers: implications for breeding strategy. *Forest Science*, 42(1): 102–117.
- Wu, H., Matheson, A. & Spencer, D. 1998. Inbreeding in *Pinus radiata*. I. The effect of inbreeding on growth, survival and variance. *Theoretical and Applied Genetics* 97: 1256–1268.

4. Puuntuotanto ja tuotos

Jari Hynynen, Hannu Salminen ja Hannu Hökkä

- Pitkäaikaisiin mittaustuloksiin perustuvaa julkaistua tutkimustietoa jatkuvapeitteisen kasvatuksen puuntuotoksesta on saatavilla lähinnä poimintahakkuin käsitellyistä kivennäismaiden eri-ikäiskuusikoista
- Eri-ikäiskuusikoissa puuston tilavuus ja tilavuuskasvu ovat keskimäärin alhaisempia kuin jaksollisesti kasvatettavissa tasaikäisissä harvennuskuusikoissa
- Poimintahakkuun jälkeen eri-ikäisen kuusikon kasvun lisääntyminen on hitaampaa kuin harvennuksen jälkeen tasaikäisessä kuusikossa
- Arviot poimintahakkuiden puuntuotannollisesta kestävyydestä ovat epävarmoja, koska vielä ei tiedetä, onko luontainen uudistuminen ja alikasvosten kasvu eri-ikäisissä metsissä riittävää korvaamaan hakkuissa poistetun puuston pitkällä aikavälillä.

4.1. Tutkimustietoa kuusikoiden poimintahakkuista

Jatkuvapeitteisenä kasvatettavan metsän käsittely poikkeaa jaksollisesta kasvatuksesta tavalla, joka vaikuttaa puiden kasvunopeuteen ja sen myötä metsikön puuntuotokseen. Pitkäaikaisiin mittaustuloksiin perustuvaa julkaistua tutkimustietoa jatkuvapeitteisen kasvatuksen puuntuotoksesta on saatavilla lähinnä poimintahakkuin käsitellyistä kivennäismaiden eri-ikäiskuusikoista Etelä-Suomessa ja Keski-Suomessa, sekä vastaavissa oloissa Ruotsissa ja Norjassa. Muista jatkuvan kasvatuksen piiriin kuuluvista metsänkäsittelymuodoista kokeellisia tutkimuksia on aloitettu vasta viime vuosina, eikä tuloksia ole vielä tieteellisesti raportoitu. Myöskään turvemaiden metsistä ei vielä ole saatavilla tutkimustuloksia jatkuvapeitteisen kasvatuksen kasvusta ja tuotoksesta.

Useissa jatkuvapeitteisesti kasvatettavien metsien puuntuotostutkimuksissa vertailukohdaksi esitetään vastaavat tulokset jaksollisen kasvatuksen metsistä. Tässäkin tarkastelussa nuo vertailut on otettu mukaan tarkoituksena auttaa lukijaa hahmottamaan eri kasvatusmenetelmien tutkittuja eroja tai yhtäläisyyksiä ja tuoda ne esiin neutraalilla tavalla.

4.2. Puuston kasvu ja puuntuotos eri-ikäisissä kuusikoissa

4.2.1. Kasvuun ja tuotokseen vaikuttavat yleiset tekijät

Puiden kasvuun ja elinvoimaisuuteen sekä metsän puuntuotokseen vaikuttavat monet tekijät. Eri puulajeilla on erilainen kasvunopeus ja puuntuotoskyky. Samankin puulajin eri puuyksilöillä kasvupotentiaali vaihtelee puun perimän mukaan. Metsänviljelyssä yleisesti käytetyillä puulajeilla, männyllä, kuusella ja koivulla, jalostetusta siemenalkuperästä kasvatetut viljelytaimet ovat keskimäärin selvästi nopeakasvuisempia kuin paikallista alkuperää olevat luontaisesti syntyneet taimet. Kasvupaikka ja sen ominaisuudet, kuten ilmasto-olosuhteet, maan ravinteisuus, maalaji ja maan kosteus, vaikuttavat hyvinkin paljon puiden kasvuedellytyksiin. Yksittäisen puun kasvuun metsikössä vaikuttaa puun käytettävissä oleva kasvutila. Siitä riippuu miten paljon puu saa valoa, vettä ja ravinteita. Puun kasvua metsikössä säätelee se, miten voimakasta on puiden

välinen kilpailu, ja miten hyvin puu tuossa kilpailussa pärjää. Metsikön hehtaarikohtaisen puuntuotoksen kannalta ratkaisevaa on yksittäisten puiden kasvunopeuden lisäksi se, kuinka tiheä metsikkö on. Se kertoo missä määrin puusto hyödyntää kasvupaikan tuotoskykyä.

4.2.2. Eri-ikäisen metsän uudistumisen ja varhaiskehityksen vaikutus

Jatkuvapeitteisessä kasvatuksessa metsä uudistuu luontaisesti lähistöllä kasvavien puiden siemenistä ja kaikki puut ovat perimältään paikallista alkuperää. Sen vuoksi syntyvien puiden kasvu on keskimäärin hitaampaa kuin jaksollisesti kasvatettavassa viljellen uudistetussa metsikössä, jossa tavallisesti käytetään nopeakasvuisempia jalostettuja taimia.

Metsänkasvatuksen puuntuotannollisen kestävyuden edellytys on, että puusto uudistuu, joko viljellen tai luontaisesti niin, että syntyvä puusto on määrältään ja laadultaan riittävää korvaamaan hakkuissa poistetun puuston. Kestävässä jatkuvapeitteisessä kasvatuksessa on huolehdittava siitä, että luontaiselle uudistumiselle on hyvät edellytykset ja että syntyvillä puilla on riittävästi kasvutilaa. Koska varsinaista uudistumisvaihetta ei ole, tulee siihen kiinnittää jatkuvasti huomiota kaikissa toimenpiteissä. Tiheässä ja runsaspuustoisessa metsässä kilpailu kasvutilasta, valosta ja ravinteista, on niin kovaa, ettei syntyvillä taimilla ole mahdollisuutta kehittyä isoiksi puiksi. Jatkuvapeitteisessä metsässä varjostava kookas puusto tuleekin kasvattaa harvana uudistumisen ja alikasvopuiden kehityksen turvaamiseksi (Kuva 11). Kotimaisista puulajeista ainoastaan kuusi sietää varjostusta, muttei sekään kuulu eniten varjoa sietävien puulajien joukkoon.

4.2.3. Metsikön tiheyden ja puuston määrän vaikutus

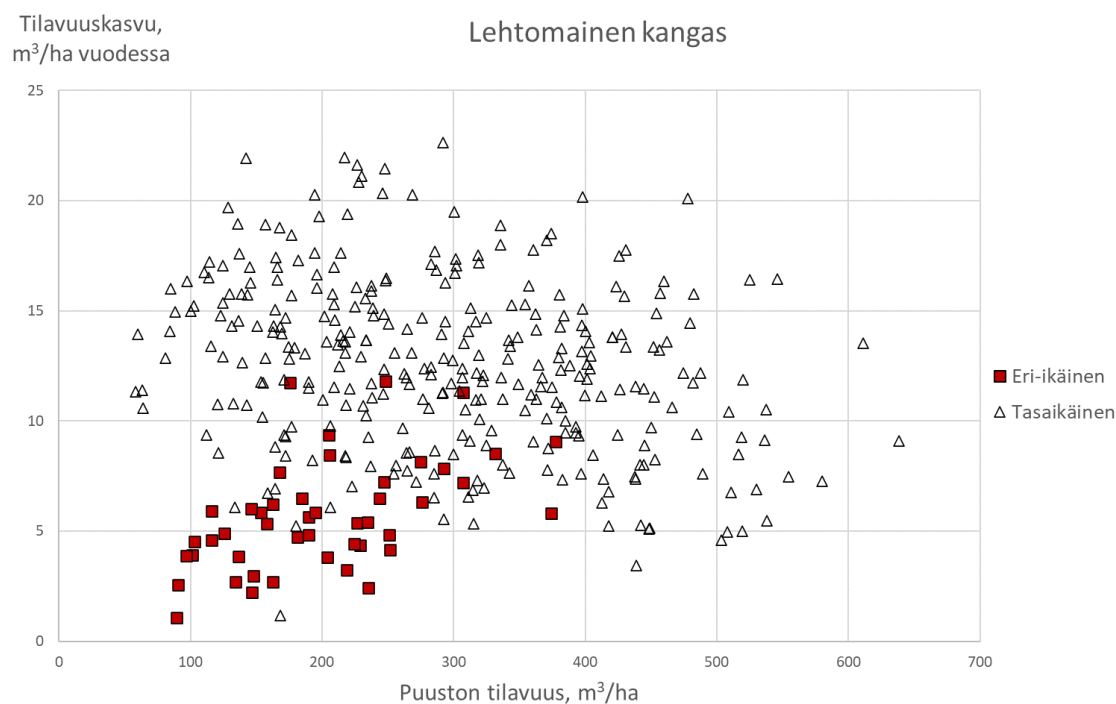
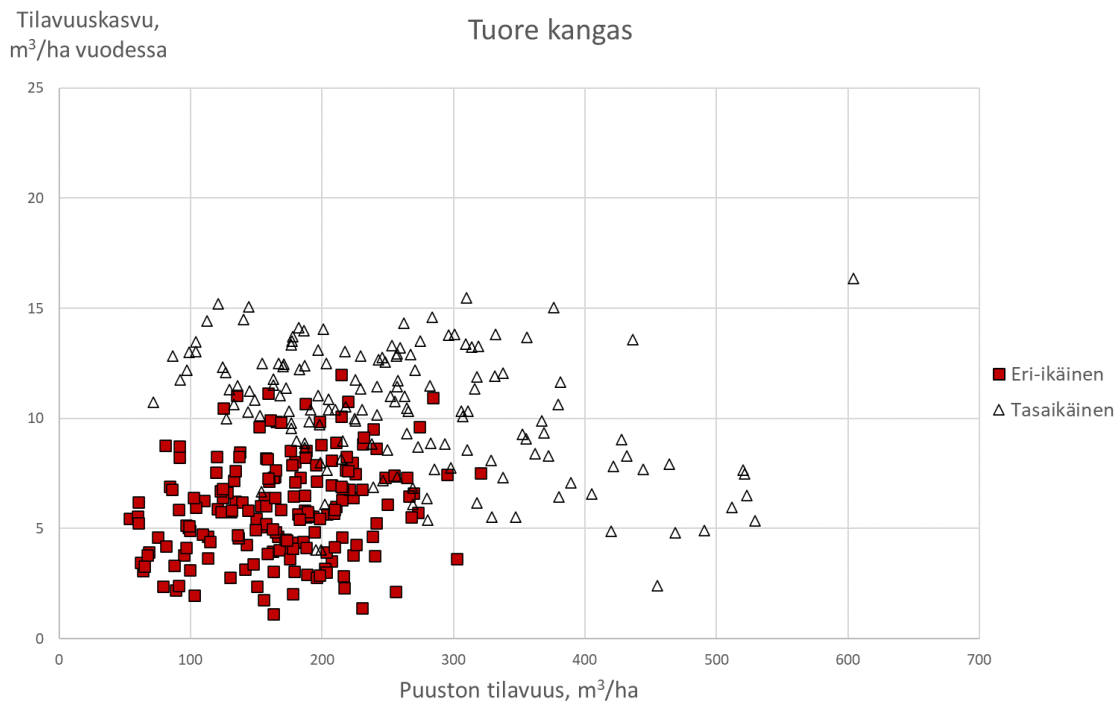
Suomessa ja pohjoismaissa jaksollisesti kasvatetuissa talousmetsissä puuston tiheyttä säädelään harvennuksilla niin, että kaikki kasvatettavat puut säilyvät elinvoimaisina ja suurin osa kasvusta saadaan hakkuissa talteen ainespuukertymänä. Jaksollisesti kasvatettavat metsät ovat kuitenkin liian tiheitä siihen, että luontainen uudistuminen olisi riittävää tai alikasvopuiden menestyminen olisi mahdollista (ks. Luku 2 Metsän uudistuminen). Jatkuvapeitteisen metsän tiheyden onkin oltava vielä alhaisempi kuin jaksollisessa kasvatusmetsässä uuden puuston syntymisen ja kehittymisen turvaamiseksi (Kuva 11).

Puuston tiheys on puiden kasvunopeuden ohella tärkein metsikön puuntuotoksen määrään vaikuttava tekijä. Pitkäaikaisten tutkimusten perusteella tiedetään, että metsän hehtaarikohtainen puuntuotos on sitä suurempi mitä tiheämpänä puustoa kasvatetaan aina siihen saakka, kunnes puusto saavuttaa maksimitiheyden (Reineke 1933, Assmann 1970). Sen jälkeen metsikkö on ns. itseharvenemisvaiheessa, jolloin puita alkaa kuolla kovan kilpailun heikentämänä, eikä hehtaarikohtainen tiheys enää kasva.

Puuston määrän on useissa kotimaisissa ja pohjoismaisissa tutkimuksissa todettu vaikuttavan puuston kasvuun niin poimintahakkuin käsitellyissä (Sarvas 1944, Lundqvist 1989, 1994, 2004, 2017, Lundqvist ym. 2007, Andreassen 1994, Lähde ym 2002, Chrimes 2004, Hynynen ym. 2019) kuin tasaikäisissäkin kuusikoissa (Eriksson ja Karlsson, 1997, Braastad ja Tveite, 2000, Mäkinen ja Isomäki 2004). Alhainen puuston määrä merkitsee alhaisempaa puuston hehtaarikohtaista kasvua hakkuutavasta riippumatta.

Luonnonvarakeskuksen pitkäaikaisilla käsittelykokeilla on tutkittu sekä eri voimakkuuksien harvennettujen tasaikäisten kuusikoiden ja poimintahakkuin käsiteltyjen eri-ikäisten kuusikoiden kehitystä (Eerikäinen ym. 2007, Mäkinen ja Isomäki 2004). Kokeilta on mitattu puuston määrää ja kasvua parhaimmillaan useiden vuosikymmenien aikana. Mittaustulokset osoittavat, että

poimintahakkuin käsitellyissä kuusikoissa sekä puuston tilavuudet että tilavuuskasvut ovat keskimäärin alhaisempia kuin tasaikäisissä harvennuskuusikoissa (Kuva 9). Lisäksi mittaustulokset osoittavat, että eri-ikäisissä kuusikoissa tilavuuskasvut ovat alhaisempia kuin tasaikäisissä harvennuskuusikoissa, vaikka puuston tilavuuksissa eroa ei olisikaan (Kuva 9).



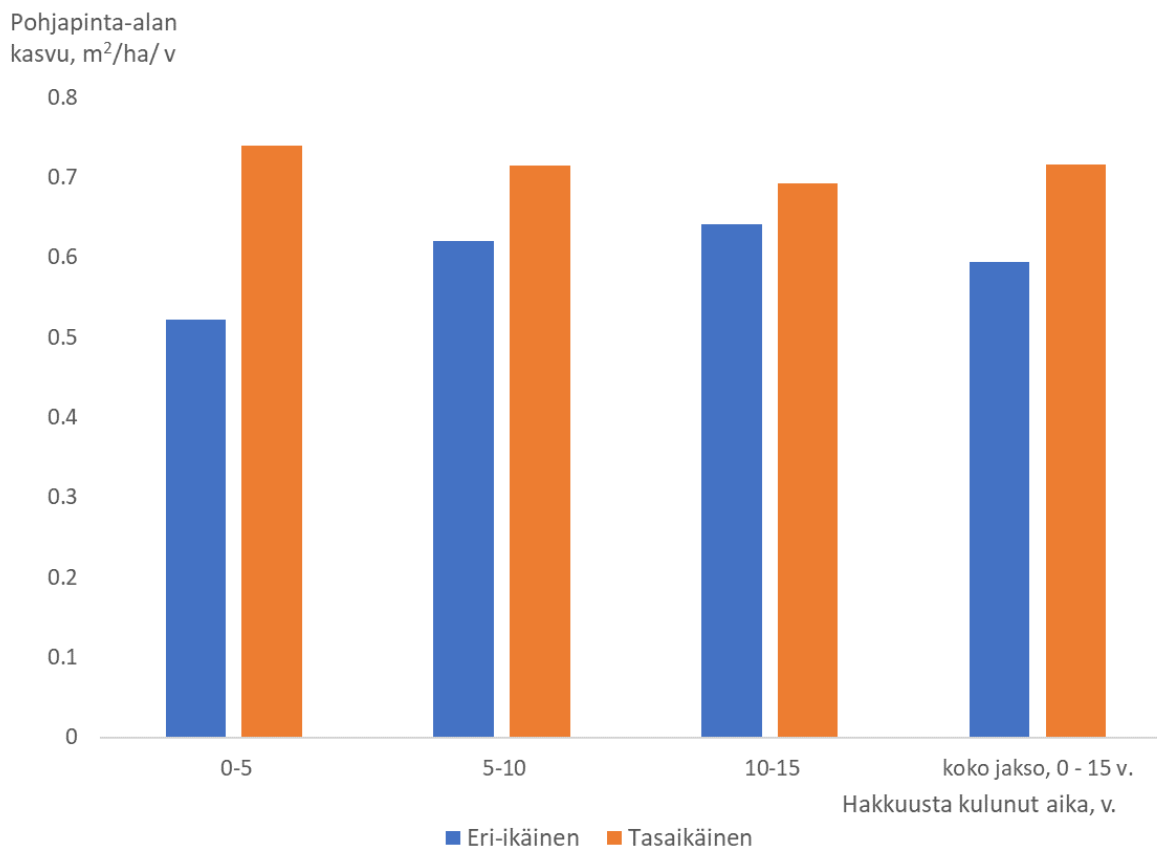
Kuva 9. Pitkäaikaisten kestokokeiden koelaloilta mitatut puuston tilavuudet ja tilavuuskasvut eri-ikäisissä poimintahakkuin käsitellyissä kuusikoissa (Eri-ikäinen) ja tasaikäisissä harvennuskuusikoissa (Tasaikäinen). (Mittaustulokset tutkimuksessa Hynynen ym. 2019).

4.2.4. Puuston kasvureaktio poimintahakkuun jälkeen

Jatkuvapeitteisen kasvatuksen poimintahakkuut kohdistuvat suurelta osin metsän kookkaimpiin puihin, jotka ovat saaneet kasvaa hyvässä kilpailuasemassa suhteessa muihin puihin. Hakkuun jälkeen kasvamaan jätetyistä puista suuri osa on ennen hakkuuta kasvanut isompien puiden varjossa.

Vaikka voimakkaan poimintahakkuun jälkeen kasvutilaa vapautuukin paljon, varjostettuna kasvaneilla puilla kestää vuosia vahvistaa juuristojaan ja kasvattaa latvuksiaan ennen kuin ne voivat hyödyntää suuremman kasvutilan. Sen vuoksi puuston kasvun nopeutuminen poimintahakkuun jälkeen on hitaampaa kuin kasvureaktio harvennuksen jälkeen jaksollisen kasvatuksen metsässä, jossa jäävät puut ovat jo ennen hakkuuta olleet pääosin metsikön elinvoimaisimpia valtapuita (Kuva 11). Bianchi ym. (2020a) totesivat, että poimintahakkuin käsitellyissä kivennäismaiden kuusikoissa yksittäisten puiden kasvunopeus oli pienempi kuin tasaikäisissä harvennuskuusikoissa johtuen suurempien puiden aiheuttamasta kovemmasta kilpailusta. Poimintahakkuun jälkeen puiden kasvu lisääntyi kilpailun vähetessä hakkuuta seuranneen viiden ja kymmenen vuoden jakson aikana (Bianchi ym. 2020a, Bianchi ym. 2020b). Valkonen ym. (2017) tutkivat eri kokoisten puiden kasvureaktion nopeutta määrämittahakkuin käsitellyissä kuusikoissa. Näissä kuusikoissa puiden läpimitan kasvu alkoi lisääntyä heti hakkuun jälkeen jo hakkuuta seuranneen viiden vuoden aikana.

Metsikkötasolla puuston kasvureaktioita poiminta- ja harvennushakkuuseen tutkivat Hynynen ym. (2019). Tutkimusaineistoina oli pitkään seuratut käsittelykokeet eri- ja tasaikäisistä kuusikoista (Eerikäinen ym. 2007, Mäkinen ja Isomäki 2004). Tulosten mukaan puuston hehtaarikohmainen pohjapinta-alan kasvu poimintahakkuun jälkeisellä 5-vuotisjaksolla oli selkeästi alemmalla tasolla kuin alaharvennetuissa kuusikoissa, kun sekä hakkuun voimakkuus että jäävän puuston määrä olivat samalla tasolla. Hakkuuta seuranneiden toisen ja kolmannen 5-vuotiskauden aikana eri-ikäisen kuusikon pohjapinta-alan kasvu lisääntyi, mutta ei aivan saavuttanut tasaikäisen puuston kasvun tasoa hakkuuta seuranneiden 15 vuoden aikana. Puuston pohjapinta-alan kasvu oli eri-ikäiskuusikoissa noin 20 % alhaisempi kuin tasaikäisissä harvennusvaiheen kuusikoissa. Ero eri- ja tasaikäisen puuston kasvureaktiossa oli sitä suurempi mitä voimakkaampana hakkuu oli tehty (Hynynen ym. 2019) (Kuva 10).



Kuva 10. Pitkäaikaisten kestokokeiden mittaustuloksiin perustuva ennuste puuston pohjapinta-alan kasvunopeudesta hakkuun jälkeen eri-ikäisessä ja tasaikäisessä kasvatusmetsässä. Eri-ikäisessä metsässä on tehty poimintahakkuu ja tasaikäisessä metsässä alaharvennus. Molemmissa hakkuissa on poistettu kolmannes (33 %) pohjapinta-alasta, ja jäävän puuston pohjapinta-ala hakkuun jälkeen on 20 m²/ha (Hynynen ym. 2019).

4.3. Puuston kasvu ja tuotos pitkällä aikavälillä

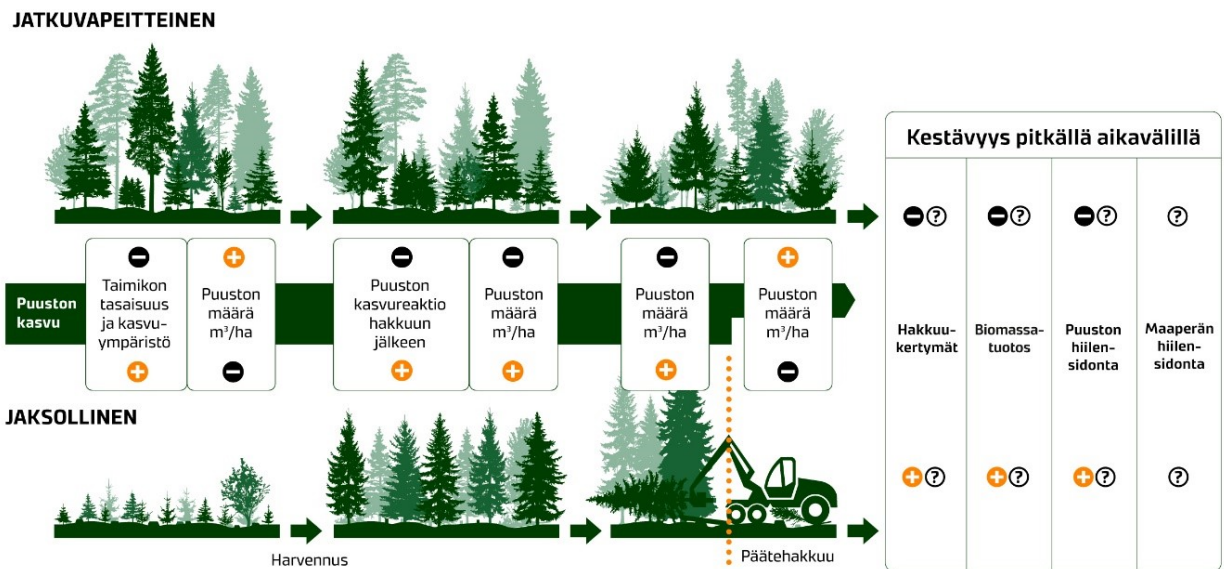
Kasvatusmenetelmä on puuntuotannollisesti kestävä, jos metsän käsittely ei pitkällä aikavälillä pysyvästi alenna metsän puuntuotantokykyä (Kuva 11). Kestävyyden arviointi edellyttää joko metsän eri luonnonprosessien (puiden syntyminen, kasvu, kuoleminen) niin hyvää tuntemusta, että niitä voidaan luotettavasti ennustaa, tai riittävän pitkiä ja kattavia seurantajaksoja, joista on saatu empiiristä mittaustietoa näiden prosessien toteutumisesta. Todellisuudessa tällaista mittaustietoa on saatavilla ainoastaan yksittäisistä kohteista, eikä sitä voida sellaisenaan laajasti yleistää. Näin ollen tutkimuksen ainoaksi keinoksi arvioida kestävyyttä on yhdistää olemassa olevia mittaustuloksia ja ennustemalleja, vaikka mallien empiirinen pohja olisikin rajallinen.

Poimintahakkuin käsiteltyjen kuusikoiden tuotoksesta kivennäismailla on sekä mallipohjaisia että, ainakin osittain, maastomittauksiin perustuvia tuloksia. Puuston kasvumittauksiin perustuvat suomalaiset tutkimustulokset (Taulukko 3) antavat jossain määrin ristiriitaisen kuvan eri-ikäiskuusikoiden tuotoskyvystä verrattuna tasaikäisinä kasvatettavien kuusikoiden tuotoksiin. Lähde ym. (2002) raportoivat kasvutuloksia varttuneisiin erirakenteisiin kuusikoihin perustuiltu kokeilta, joissa puuston kasvua oli seurattu keskimäärin 11 vuoden ajan koealareilta, joista toisella oli toteutettu poimintahakkuu ja toisella alaharvennus. Näissä metsiköissä, joissa valtapuuston ikä oli noin 100 vuotta, hakkuun jälkeinen kasvu oli suurempaa poimintahakkuin

käsittelyillä koealoilla. Samansuuntaisia tuloksia saivat myös Laiho ym. (2011) tutkimuksessaan, joihin oli koostettu useiden vanhojen poimintahakkuin käsiteltyjen kenttäkokeiden tuloksia. Nämä tulokset eivät ole suoraan sovellettavissa tämän päivän puuntuotannon piirissä oleviin, huomattavasti nuorempiin ja käsittelyhistorialtaan erilaisiin metsiin.

Pukkala ym. (2009) esittämät tuotostulokset perustuvat eri-ikäiskuusikoiden kasvu- ja tuotomalleihin, joiden laadinnassa käytettiin kolmea erillistä mittaustulosta: kahta toistuvasti mitattua kestokoeaineistoa ja valtakunnan metsien 3. inventoinnin koalamittauksia. Hynysen ym. (2019) tutkimuksessa raportoimat kasvu- ja tuotosluvut perustuvat toistuvasti mitattuihin, keskimäärin 18 vuotta seurattuihin kestokokeisiin, jotka oli perustettu poimintahakkuin käsiteltyihin kuusikoihin (esim. Eerikäinen ym. 2007).

Vaikka poimintahakkuin käsiteltyjen kuusikoiden tutkimustulokset perustuvat melko suppeisiin, koejärjestelyiltään ja seurantajaksoiltaan erilaisiin aineistoihin, niiden perusteella saadaan kuitenkin kohtuullisen yhtenevä käsitys kivennäismaiden eri-ikäisten kuusikoiden tuotoksesta. Kotimaisten tutkimusten perusteella puuston tilavuuskasvu eri-ikäiskuusikoissa vaihtelee kasvupaikan ja kasvatettavan puuston määrästä riippuen välillä 4–8 m³/ha vuodessa.



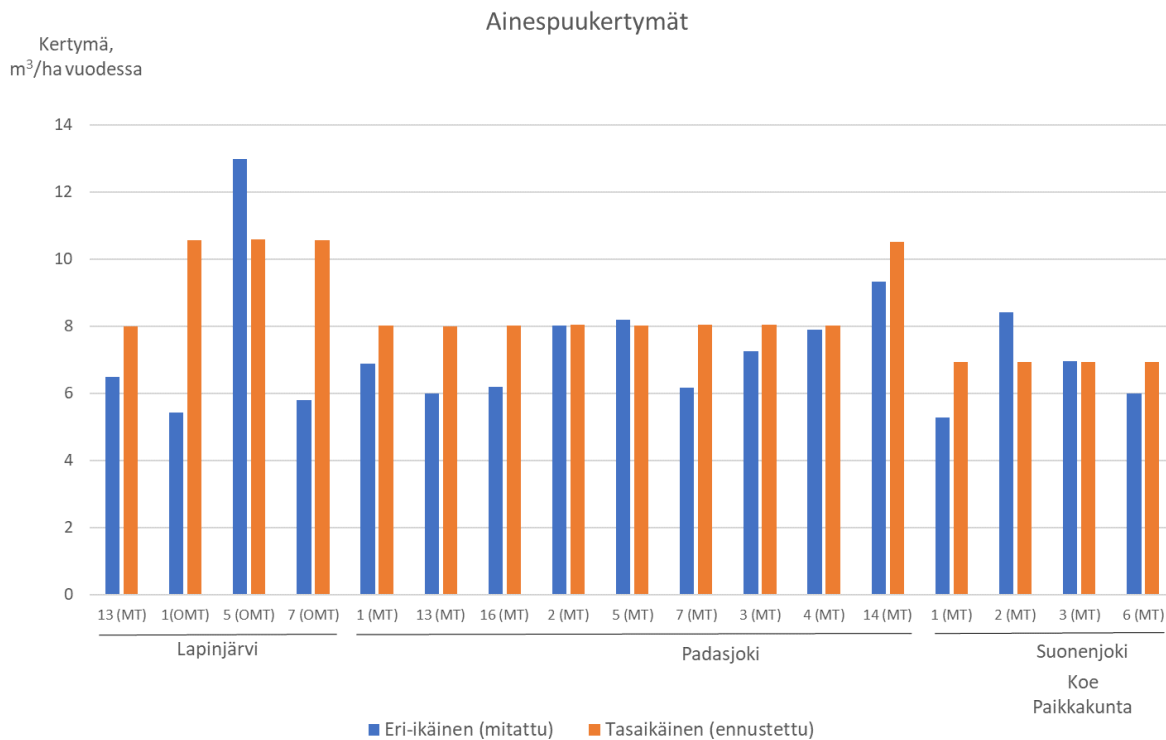
Kuva 11. Puuston kasvuun vaikuttavat tekijät ja niiden erot jatkuvapeitteisesti ja jaksollisesti kasvatettavissa kuusikoissa metsän eri kehitysvaiheissa. Symbolien +/- avulla on vertailtu vaikutuksia kasvatustekijöiden välillä perustuen tutkimustuloksiin ja tulosten epävarmuuksiin.

Taulukko 3. Kangasmaiden kuusikoiden keskituotos suomalaisten tutkimusten mukaan.

Eri-ikäinen kuusikko		Tasaikäinen kuusikko	
Tutkimus	Keskituotos m ³ /ha/v	Tutkimus	Keskituotos m ³ /ha/v
Lähde ym. 2002	5,4 (keskihajonta 1,47)	Lähde ym. 2002	4,6 (keskihajonta 1,77)
Laiho ym. 2011	5,2–7,4	Laiho ym. 2011	4,5–6,4
Pukkala ym. 2009	MT: 4,0–4,5 OMT: 6,0–8,0	Vuokila ja Väliaho 1980	MT: 5,6–7,0 OMT: 7,0–8,7
Shanin ym. 2016	5,0–7,0	Pingoud ym. 2018	MT: 7,3 OMT: 9,4
Hynynen ym. 2019	5,8 (keskihajonta 2,3)		

Eri- ja tasaikäisten metsien tuotosvertailuja vaikeuttaa se, että tasaikäisen metsikön koko kiertoaikaa kattavia mittaussarjoja on hyvin vähän saatavilla. Vertailukelpoisia tuotostuloksia tasaikäisistä kuusikoista onkin saatavilla lähinnä tutkimuksista, joissa on laadittu ja analysoitu kasvu- ja tuotosmalleja hyödyntämällä joko laajoja poikkileikkausaineistoja tai talousmetsiin perustettuja seurantakoeala-aineistoja, jotka edustavat eri kehitysvaiheissa olevia metsiä. Vuokilan ja Väliahon (1980) tasaikäisten kuusikoiden tuotossarjat perustuvat malleihin, joiden laadinta-aineisto käsitti 128 mitattua tilapäiskoealaa 20–100-vuotiaissa istutuskuusikoissa Etelä- ja Keski-Suomessa. Pingoud ym. (2018) julkaisemat tuotosluvut on tuotettu Luonnonvarakeskuksen Motti-ohjelmistolla (Salminen ym. 2005, Hynynen ym. 2005, Hynynen ym. 2014). Kivennäismaiden kuusikoiden kasvumallien laadinta-aineisto kattoi noin 900 toistuvasti mitattua seurantakoealaa (Gustavsen ym. 1988). Jos näin laskettuja tasaikäisten kuusikoiden tuotoslukuja verrataan yllä esiteltyihin eri-ikäiskuusikoiden kasvutuloksiin, näyttäisi pitkän aikavälin runkopuun tuotos olevan eri-ikäiskuusikossa 15–25 % alhaisempi kuin tasaikäisessä viljelykuusikossa. Ruotsissa (Lundgvist 2017) ja Norjassa (Andreassen 1994) tehdyissä tutkimuksissa on todettu vastaavan eron olevan 10–20 %.

Luonnonvarakeskuksen ylläpitämien, toistuvasti poimintahakkuin käsiteltyjen kestokokeiden toteutuneet hakkuukertymät 20–23 vuoden seurantajakson aikana vaihtelivat runsaasti kokeittain (Kuva 12). Vuotta kohti lasketut hakkuukertymät olivat keskimäärin 7,2 m³/ha vuodessa, vaihteluvälin ollessa 5,3–13,0 m³/ha vuodessa. Hakkuukertymille laskettiin poistettujen ainespuiden dimensioihin perustuvat laskennalliset puutavaralajikertymät. Niiden mukaan hakkuukertymien tukkiprosentti oli keskimäärin 68 % (49–87 %). Samoille kokeille simuloitiin Luonnonvarakeskuksen Motti-ohjelmistolla (Salminen ym. 2005, Hynynen ym. 2005) koko kiertoajan kattavat kasvu- ja tuotosennusteet olettaen, että puustoa olisi kasvatettu tasaikäisinä kuusikkoina metsänhoitosuosituksen mukaisesti kasvatettuna. Ennusteen mukaiset keskimääräiset vuotuiset kertymät olivat 8,3 m³/ha vuodessa, ja vastaava laskennallinen tukkiosuus kertymästä oli keskimäärin 70 %. Jaksollisesti kasvaville kuusikoille ennustetut koko kiertoajan vuotuiset kertymät olivat 15 % suuremmat kuin eri-ikäisissä kuusikoissa mitatut hakkuukertymät.



Kuva 12. Poimintahakkuin käsiteltyjen eri-ikäisten kuusikkokokeiden toteutuneet keskimääräiset vuotuiset ainespuukertymät 20–23 vuoden mittausjakson aikana (Mittaustulokset tutkimuksessa Hynynen ym. 2019) sekä Motti-ohjelmistolla koemetsiköiden kasvupaikoille ennustetut jaksollisen kasvatuksen keskimääräiset koko kiertoajan hakkuukertymät.

4.4. Epävarmuuksia ja kehitystarpeita

Jatkuvapeitteistä kasvatusta on harjoitettu Suomessa vasta suhteellisen vähän aikaa, eikä se ole ollut myöskään aktiivisen tutkimuksen kohteena aivan viime vuosia lukuun ottamatta. Sen vuoksi jatkuvapeitteisen kasvatuksen kasvu- ja tuotostutkimuksia on tehty vain murto-osa verrattuna vallitsevasta jaksollisesta kasvatuksesta tehtyihin tutkimuksiin. Tässäkin esitettiin kasvu- ja tuotostuloksiin liittyy suurehko epävarmuus. Tyypillistä jatkuvapeitteisesti käsiteltyjen puustojen rakenteessa ja kasvuissa on paljon suurempi vaihtelu verrattuna tasaikäisiin metsiin, emmekä vielä täysin tunne suuren vaihtelun syitä.

Pitkän ajan tuotosennusteisiin liittyy paljon epävarmuutta, joka johtuu hyvin puutteellisesta tiedosta siitä, missä määrin jatkuvapeitteisissä metsissä puusto uudistuu luontaisesti, ja miten nopeasti taimet kasvavat ainespuun mittoihin. Edellä esitetyt pitkän aikavälin tuotosluvut ja vertailut perustuvat oletukseen, että toistuvasti poimintahakatuissa metsissä pystytään pitämään yllä sitä tuotostasoa, joka on mittausjaksojen aikana todettu. Tähän oletukseen ei ole vielä riittävää empiiristä näyttöä. Sen vuoksi, olemassa olevat ennustemallit eivät tuota vielä riittävän yleistämiskelpoista tietoa jatkuvapeitteisesti käsiteltävien metsien puuntuotannollisesta kestävydestä.

Viitteet

- Andreassen, K. 1994. Development and yield in selection forest. In: Communications of Skogforsk, vol. 47(5): 37 s.
- Assmann, E. 1970. The Principles of Forest Yield Study. Pergamon Press, Oxford, 506 pp.
- Bianchi, S., Huuskonen, S., Siipilehto, J. & Hynynen, J. 2020a. Differences in tree growth of Norway spruce under rotation forestry and continuous cover forestry. *Forest Ecology and Management* 458: 7 s.
- Bianchi, S., Myllymäki, M., Siipilehto, J., Salminen, H., Hynynen, J. & Valkonen, S. 2020b. Comparison of spatially and nonspatially explicit nonlinear mixed effects models for Norway spruce individual tree growth under single-tree selection. *Forests* 11(12): 17 s.
- Braastad, H. & Tveite, B. 2000 Tynning i granbestand. Effekten på tilvekst, dimensjonsfordeling og økonomi. Norwegian Forest Research Institute, Research Paper No. 4/00 [in Norwegian].
- Chrimes, D. 2004. Stand development and regeneration dynamics of managed uneven-aged *Picea abies* forests in boreal Sweden. *Acta Universitates Agriculturae Sueciae Silvestria* 304. 25 s. (+4 liitettä).
- Eerikäinen, K., Miina, J. & Valkonen, S. 2007. Models for the regeneration establishment and the development of established seedlings in uneven-aged, Norway spruce dominated forest stands of southern, Finland. *Forest Ecology and Management* 242: 444–461.
- Eriksson, H. & Karlsson, K. 1997. Effects of different thinning and fertilization regimes on the development of Scots pine (*Pinus sylvestris* (L.)) and Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) stands in long-term silvicultural trials in Sweden. Department of Forest Yield Research, Swedish University of Agricultural Sciences, Report 42 (in Swedish with English summary).
- Gustavsen, H.G., Roiko-Jokela, P. & Varmola, M. 1988. Kivennäismaiden talousmetsien pysyvät (INKA ja TINKA) kokeet. Suunnitelmat, mittausmenetelmät ja aineistojen rakenteet. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 292. 212 s.
- Hynynen, J., Ahtikoski, A., Siitonen, J., Sievänen, R. & Liski J. 2005. Applying the MOTTI simulator to analyse the effect of alternative management schedules on timber and non-timber production. *Forest Ecology and Management* 207: 5–18
- Hynynen, J., Salminen, H., Huuskonen, S., Ahtikoski, A., Ojansuu, R., Siipilehto, J., Lehtonen, M., Rummukainen, A., Kojola, S. & Eerikäinen, K. 2014. Scenario analysis for the biomass supply potential and the future development of Finnish forest resources. Working Papers of the Finnish Forest Research Institute 302 ISBN 978-951-40-2487-0 (PDF).
- Hynynen, J., Eerikäinen, K., Mäkinen, H. & Valkonen, S. 2019. Growth response to cuttings in Norway spruce stands under even-aged and uneven-aged management. *Forest Ecology and Management* 437: 314–323
- Lähde, E., Laiho, O., Norokorpi, Y. & Saksa, T. 2002. Development of Norway spruce dominated stands after single-tree selection and low thinning. *Canadian Journal of Forest Research*, 32: 1577–1584.

- Laiho, O., Lähde, E. & Pukkala, T. 2011. Uneven vs. even-aged management in Finnish boreal forests. *Forestry* 84: 547–556.
- Lundqvist, L. 1989. Volume increment on experimental plots managed with single tree selection. In: *Blädning i granskog - strukturförändringar, volymtillväxt, inväxning och förnygring på försöksytor skötta med stamvis blädning [Use of the Selection System in Norway Spruce Forests – Changes in Stand Structure, Volume Increment, Ingrowth and Regeneration on Experimental Plots Managed with Single Tree Selection]*. Dissertation. Swedish University of Agricultural Sciences, Umeå. Appendix paper II. 21 s. (in Swedish).
- Lundqvist, L. 1994. Growth and competition in partially cut sub-alpine Norway spruce forests in N Sweden. *Forest Ecology and Management*, 65: 115–122.
- Lundqvist, L. 2004. Stand development in uneven-aged sub-alpine *Picea abies* stands after partial harvest estimated from repeated surveys. *Forestry* 77: 119–129.
- Lundqvist, L., Chrimes, D., Elfving, B., Mörling, T. & Valinger, E, 2007. Stand development after different thinnings into two uneven-aged *Picea abies* forests in Sweden. *Forest Ecology and Management* 238: 141–146.
- Lundqvist, L. 2017. Tamm Review: Selection system reduces long-term volume growth in Fennoscandic uneven-aged Norway spruce forests. *Forest Ecology and Management* 391: 362–375.
- Mäkinen, H. & Isomäki, A. 2004. Thinning intensity and growth of Norway spruce stands in Finland. *Forestry* 77 (4): 349–364
- Pingoud, K., Ekholm, T., Sievänen, R., Huuskonen, S. & Hynynen, J. 2018. Trade-offs between forest carbon stocks and harvests in a steady state - A multi-criteria analysis. *Journal of Environmental Management* 210: 96–103.
- Pukkala, T., Lähde, E. & Laiho, O. 2009. Growth and yield models for uneven-sized forest stands in Finland. *Forest Ecology and Management*. 258: 207–216.
- Reineke, L. H. 1933. Perfecting a stand-density index for even-aged forests. *Journal of Agricultural Research* 46: 627–638.
- Salminen H., Lehtonen M. & Hynynen J. 2005. Reusing legacy FORTRAN in the MOTTI growth and yield simulator. *Computers and Electronics in Agriculture*, 49: 103–113.
- Sarvas, R. 1944. Tukkipuun harsintojen vaikutus Etelä-Suomen yksityismetsiin. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae*, 33(1). 268 s.
- Shanin, V., Valkonen, S., Grabarnik, P. & Mäkipää, R. 2016. Using forest ecosystem simulation model EFIMOD in planning uneven-aged forest management. *Forest Ecology and Management*, 378: 193–205.
- Valkonen, S., Lappalainen, S., Lähde, E., Laiho, O. & Saksa, T. 2017. Tree and stand recovery after heavy diameter-limit cutting in Norway spruce stands. *Forest Ecology and Management*, 389: 68–75.
- Vuokila, Y. & Väliaho, H. 1980. Viljeltyjen havumetsiköiden kasvatusmallit. Summary: Growth and yield models for conifer cultures in Finland. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 99 (2): 1–271.

5. Puunkorjuu

Yrjö Nuutinen ja Timo Muhonen

- Hakkuun ja metsäkuljetuksen pienempi tuottavuus nostaa poimintahakkuun korjuukustannuksia korkeammiksi kuin avohakkuussa, koska työn suunnittelu ja alempien latvuserrosten varominen hidastavat työtä.
- Hakkuissa puustovaurioiden osuus vaihtelee paljon. Poistettavan puuston määrän kasvaessa puustovauriot kasvatettavassa puustossa lisääntyvät.
- Hakkuukohteen olosuhteista tarvitaan digitaalista tietoa korjuun ennakkosuunnitteluun, jonka pohjalta kuljettajalle tulee antaa hakkuukohteittain tarkemmin rajattuja ohjeita.
- Kuljettajan ammattitaito ja työmenetelmän hallinnan merkitys korostuvat erityisesti poimintahakkuussa.
- Tutkimustieto jatkuvapeitteisen metsänkasvatuksen korjuusta on vielä vähäistä, ja hakkuumäärien lisääntyminen vaatii merkittävää panostusta tutkimus- ja kehittämistyöhön.

5.1. Puunkorjuun suunnittelu

Onnistunut puunkorjuun (hakkuu ja metsäkuljetus) ennakkosuunnittelu sekä hakkuukohteelle soveltuvat teknologiat ja työmenetelmät ratkaisevat viime kädessä taloudellisesti, sosiaalisesti ja ekologisesti kestäväen puunkorjuun onnistumisen. Jatkuvapeitteisessä metsänkasvatuksessa voidaan korjuun näkökulmasta erottaa puuston rakenteessa neljä päätyyppiä (Pamerleau-Couture ym. 2015): a) varttunut metsä, jossa on valmiina eri-ikäisrakenne b) varttunut metsä, jossa on tasaikäisrakenne, c) nuori metsä, jossa on jo eri-ikäisrakennetta ja d) nuori metsä, jossa on tasaikäisrakenne. Jatkuvapeitteiseen metsänkasvatukseen siirryttäessä näiden kaikkien päätyyppien käsittelyohjeet eroavat voimakkaasti toisistaan erityisesti poistettavien puiden rakenteen ja määrän suhteen (Kuva 13). Eri-ikäisrakenteisissa metsissä puuston rakenne voi vaihdella hakkuukohteittain (Kuva 13), minkä vuoksi hakkuun toteutus suhteessa ohjeisiin (Äijälä ym. 2019) ei välttämättä toimi yhtä hyvin kaikissa metsiköissä.



Kuva 13. Hakkuutavan valinnalla ja hakkuun ajoituksella on suuri merkitys jatkuvapeitteisen metsänkasvatuksen onnistumiseen. Vasemmalla jaksollisen kasvatuksen metsä ja oikealla erikäisrakenteinen metsä. Kuvat: Yrjö Nuutinen.

Nykyiset puunkorjuun suunnittelumenetelmät on kehitetty pääosin tasaikäisen, jaksollisen metsänhoidon tarpeisiin. Jatkuvapeitteisen metsänkasvatuksen metsän rakenteesta (puulaji- ja kokojakauma), puuston ikäjakaumasta sekä metsämaasta tarvitaan yksityiskohtaisempaa tietoa. Korjuun toteutukseen tarvitaan ennakkotietoa metsikön rakenteesta, jotta ajourat voidaan sijoittaa oikeaan paikkaan sekä maaston ominaisuuksista, jotta voidaan valita kesä- tai talvikorjuu ja välttää maaston ja puuston vaurioitumista. Metsikön rakenne vaikuttaa myös hakkuutavan ja konetyypin valintaan. Jatkuvapeitteisen metsän korjuuseen tarvitaan tarkka hakkuuohje siitä, mitä puita poistetaan. Suunnittelijan on myös otettava huomioon metsänomistajan erilaiset tavoitteet.

Kuljettajan ammattitaito korostuu ennen muuta poimintahakkuussa, jossa työmaan hahmottaminen, työn suunnittelu, työmenetelmän hallinta ja kasvatettavan puuston varominen ratkaisevat viimekädessä hakkuutyön onnistumisen.

5.2. Poimintahakkuun toteutus

Poimintahakkuussa työympäristö vaikuttaa niin hakkuun kuin metsäkuljetuksenkin tuottavuuteen ja kustannuksiin sekä korjuujälkeen (Surakka & Sirén 2007). Työympäristöön kuuluvat korjuutekniset tekijät: puuston rakenne ennen hakkuuta, poistuman määrä (m^3/ha), poistettavien runkojen koko ($dm^3/runko$) ja kokojakauma (runkolokusarja) sekä maasto (kantavuus, maaston kaltevuus ja kivisyys) ja ennakkoraivauksen tarve. Korjuutekniset tekijät määrittävät pitkälti korjuutyön tuottavuuden ja kustannukset. Korjuujälki tarkoittaa metsikön puuston ja maaperän

tilaa hakkuiden jälkeen. Poimintahakkuun toteutuksen haasteena on puustovaurioiden riski, sillä siinä poistetaan osa suurimmista puista, millä tehdään tilaa kasvamaan jätettävälle pienemmille puille toisin kuin perinteisessä valikoivassa alaharvennuksessa, jossa harvennetaan suurten valtapuiden alle jääneitä pieniä puita. Metsänhoitosuosituksen mukaisesti jatkuvapeitteisessä metsäkasvatuksessa ei myöskään tehdään alikasvoksen ennakkoraivausta mikä vaikeuttaa hakkuukoneen työtä kohteilla, joissa on tiheä kuusialikasvos tai lehtipuuvesakkoa. Poimintahakkuukohteella kasojen sijoittelu ei myöskään aina ole yhtä hyvä metsäkuljetuksen kannalta kuin perinteisessä harvennuksessa mikä hidastaa kuormausvaihetta.

Ensimmäisessä poimintahakkuussa puusto ennen hakkuuta sekä poistuman rakenne ja määrä ovat yleensä hyviä korjuun tuottavuuden kannalta. Laamanen (2014) selvitti kahdeksan toteutetun poimintahakkuukohteen rakennetta. Kohteiden puuston pohjapinta-ala oli ennen hakkuuta 19,0–29,7 m²/ha ja tilavuus 157–285 m³/ha, ja hakkuun jälkeen vastaavasti 6,6–14,3 m²/ha ja 46–121 m³/ha. Hakkuupoistuma oli 110–231 m³/ha ja poistuman keskikoko 251–410 dm³.

Useiden korjuututkimusten mukaan puiden käsittely (sekuntia/puu) on poimintahakkuissa hitaampaa kuin päätehakkuissa vastaavankokoisilla puilla. Suurimmillaan ero oli pienillä puilla jopa 40 %. Hitaammasta puiden prosessoinnista huolimatta poimintahakkuiden tuottavuus oli kuitenkin vain hieman pienempi kuin avohakkuussa, koska poimintahakkuussa poistettiin pääsääntöisesti vain metsikön suurimpia runkoja (Fjeld 1994, Lilleberg 1998, Andreassen ja Oyen 2002, Hämäläinen 2014). Samasta syystä poimintahakkuussa poistuman keskikoko nousee suuremmaksi kuin tasaikäisen metsikön harvennuksessa, mikä parantaa monilla kohteilla poimintahakkuun tuottavuutta harvennuksen verrattuna.

Kun poimintahakkuuta verrataan jaksolliseen kasvatukseen, on otettava huomioon hakkuualueen perättäisten poimintahakkuiden kustannukset verrattuna jaksollisen kasvatuksen koko kiertoajan hakkuihin. Lillebergin (1998) ja Imposen ym. (2003) tutkimuksissa hakkuun ja metsäkuljetuksen pienempi tuottavuus nosti poimintahakkuun korjuukustannukset noin 10 % korkeammiksi kuin päätehakkuussa. Tutkimuskohteet olivat kuitenkin jaksollisella kasvatuksella hoidettuja tasaikäisiä kuusikoita, joissa tehtiin hakkuu eri-ikäisrakenteen kehittämiseksi, joten alikasvoksen varomisen vaikutus ei näy tuloksissa. Ruotsissa tehdyssä tutkimuksessa poimintahakkuun korjuukustannukset olivat koko kiertoajalla 28 % ja koneiden polttoaineen kulutus 21 % suuremmat kuin perinteisen jaksollisen kasvatuksen valikoivassa harvennuksessa (Jonsson 2015). Norjassa Andreassen ja Oyen (2002) vertailivat poimintahakkuuta ja avohakkuuta eri-ikäisrakenteisissa kuusikoissa, jolloin poimintahakkuissa keskimääräinen runkokoko oli 0,6 m³ ja avohakkuussa noin 0,3 m³. Korjuukustannus poimintahakkuussa oli noin 10 % suurempi kuin avohakkuussa.

Poimintahakkuun jälkeen kasvatettavan puuston rakenne ja kunto määrittävät jatkuvapeitteisen metsän kehityksen ja tulevien hakkuiden ajoituksen. Puusto ja alikasvos vaurioituvat herkästi, kun suuria puita kaadetaan pienempien puiden päältä. Lähiajan puuntuotannon ja hakkuumahdollisuuksien kannalta tärkeimpiä ovat välikoon 5–15 metrin pituiset puut. Niistä vaurioituu lukuisten tutkimusten mukaan ensimmäisessä koneellisessa poimintahakkuussa 10–20 %. Yleisin vaurio on latvan katkeaminen (Fjeld ja Granhus 1998, Hämäläinen 2014, Sirén ym. 2015, Nyman 2016) (Kuva14).



Kuva 14. Latvan katkeamiset ja puun kuoren rikkoutumiset ovat tyypillisiä korjuuvaurioita poimintahakkuissa (Kuvat Erkki Oksanen).

Uusien taimien syntyminen ja olemassa olevien taimien selviytyminen vaikuttavat metsän kehitykseen pitemmällä aikavälillä. Hagströmin (1994), Granhusin ja Fjeldin (2001), Vanha-Majamaan (2002) ja Surakan ym. (2011) mukaan pienten 0,5–3 metrin pituisten taimien vaurio-osuudet olivat koneellisen poimintahakkuun korjuussa 2–61 %. Surakan ym. (2015) mukaan poistuman määrä (m^3/ha) ja taimien läheisyys ajouraan lisäävät taimien vaurioitumista sekä selittävät vaurioiden suurta vaihtelua. Ilman lämpötila vaikuttaa taimien katkeamisherkkyyteen. Pakkasella taimet katkeavat helposti (Eliasson et al. 2003). Tämän takia kovalla pakkasella poimintahakkuiden toteutus on riskialtista paitsi taimivaurioiden myös välikoon puiden latvakatkojen vuoksi. Vaurio-osuuksien sijaan olennaista kuitenkin on jäljelle jäävän elinvoimaisen pienemmän kasvatettavan puuston ja taimien määrä, kunto ja tasainen jakautuminen.

Hakkuukoneen kuljettajan työsuunnittelu ja työtekniikka vaikuttavat merkittävästi vaurioituneiden taimien määrään. Miettisen (2005) simulointitutkimuksessa kaadettaessa puut ajouralta pois päin vaurioitumiselle altistui 45 % taimista ja ajouraa mahdollisuuksien mukaan hyödynnettäessä 38 %. Ajourien ja samojen kaatosuuntien hyödyntäminen vaatii hakkuukoneelta riittävästi voimaa ja kuljettajalta käsiteltävän puun hyvää hallintaa.

Poimintahakkuussa voi olla haasteita saada riittävästi hakkuutähteitä suojaamaan puiden juuristoa (Kuva 15). Tähän vaikuttaa poistuman määrä, tasaisuus, poistettavien puiden koko ja puulaji. Surakan ym. (2011) mukaan poimintahakkuussa ei usein saada riittävästi hakkuutähteitä ajouralle suojaamaan puiden juuristoa, koska poistuman määrä ei ole tasainen. Sirénin ym. (2013a, b) tutkimusten mukaan tasaikäisissä jaksollisen kasvatuksen kuusikkoharvennuk-sissa urille voidaan saada 15–20 kg/m^2 havutusta käsittelemällä mahdollisimman suuri osa

puista uran päällä. Luonnonvarakeskuksen alustavien julkaisemattomien tutkimustulosten mukaan kuusivaltaisten turve- ja kivennäismaan hakkuukohteilla kuljettaja sai hyvän määrän hakkuutähteitä ajourille, ja korjuu toteutui vähäisillä ajourapainumilla.



Kuva 15. Eri-ikäisrakenteisia metsiä edellisenä talvena tehdyn poimintahakkuun jälkeen. Vasemmalla turvemaa ja oikealla kivennäismaa. Kuvat: Erkki Oksanen.

Ennakkotiedon käyttö korjuun suunnittelussa korostuu poimintahakkuussa, jossa korjuun toteuttajille on mahdollista toimittaa laserkeilauksen avulla kokonaiskuva hakkuukohteen puustosta ja maastosta. Pienen alle 3–4 metriä pitkän alikasvoksen kartoituksessa laserkeilauksessa on kuitenkin haasteita (Hovi 2011). Luonnonvarakeskuksen ja MetsäGroupin kokeessa testattiin poimintahakkuun työpisteittäisiä pohjapinta-alaan perustuvia harvennuskalleja, joiden avulla kuljettaja pääsi lähelle tavoiteltuja arvoja (Hämäläinen 2014).

Hakkuukoneen kuljettajaa opastavat digitaaliset työkalut ovat tulevaisuudessa tärkeitä poimintahakkuun haastavissa olosuhteissa (Ylimäki ym. 2012, Vätäinen ym. 2013). Esimerkiksi maaperän kantavuutta ennustavat korjuukelpoisuuskartat ovat Suomen metsäkeskuksen jakelun kautta saatavissa suuressa osassa Suomea (Peuhkurinen 2017). Hakkuukoneen automaatioväylän (Can-väylä) tuottaman liikkuman reitin mittauksesta on lupaavia tuloksia, jolloin hakkuukone voi muodostaa metsäkuljetukselle kartan ajourista (Ala-Ilomäki ym. 2012). Hakkuukoneen raiteenmuodostuksen pohjalta on mahdollista ennustaa kartta ajourien kantavuudesta metsäkuljetusta varten (Sirén ym. 2019).

5.3. Pienaukkohakkuun ja ylispuiden poiston toteutus

Kaksituhattaluvulla alikasvoksen vapauttavien pienaukko- ja ylispuuhakkuiden koneellisen korjuun tutkimus on ollut vähäistä. Eri-ikäisrakenteisen metsikön sisällä pienaukkojen hakkuiden poistuman keskikoko on pienempi kuin poimintahakkuussa, mikä usein johtaa poimintahakkuun suurempaan tuottavuuteen. Luonnonvarakeskuksen alustavien julkaisemattomien tulosten mukaan poimintahakkuun tuottavuus oli noin viidenneksen suurempi kuin pienaukkohakkuun. Ylispuiden poistossa puut ovat keskimäärin suurempia kuin avo- ja kasvatushakkuissa, mutta korjuun kannattavuutta laskee poistuman pieni hehtaarikohtainen määrä (Mäkelä 1992).

Pienaukko- ja ylispuuhakkuuta hankaloittaa taimien varominen ja sen takia ajourat on suunniteltava hyvin ja ajourien määrä tulisi minimoida. Aukkoisissa alikasvostaimikoissa ajourien suuntaaminen aukkoja pitkin vähentää ajourien haittoja, mutta varttuneessa täystiheässä taimikossa ajourat kannattaa aukaista perinteisen harvennushakkuun tapaan systemaattisesti. Pienaukolta puita kaadettaessa on varottava reunametsän puustoa (Niemistö ja Isomäki 1990, Mäkelä 1992). Hakkuukoneen ja metsurin yhdistelmällä on mahdollista pidentää ajourien

välimatkaa ja pienentää taimikkovaurioita. Tällöin metsuri kaataa vain ne puut, joihin kone ei ajouralta käsin ylety. Työn organisointi turvallisesti voi kuitenkin olla ongelmallista ja korjuukustannukset ovat suuremmat kuin hakkuukonekorjuussa (Mäkelä 1992).



Kuva 16. Pienaukko (halkaisija 30 m), jonka reunalle on kasattu hakkuutähteet. Kuva: Yrjö Nuutinen.

Ylispuut poistetaan yhdellä kertaa korjuukustannusten säästämiseksi ja vaurioiden vähentämiseksi (Hyppönen ja Niemistö 1998). Pientä taimikkoa varjostava ylispuusto kannattaa poistaa joko lumettomana aikana, jolloin taimien varominen hakkuussa onnistuu parhaiten tai paksun lumen aikana, jolloin lumi suojaa taimia (Maukonen 1997). Niin pienaukko- kuin ylispuuhakkuussakin taimet ovat vaurioitumisherkkiä pakkasella (Roiko-Jokela 1983), jolloin hakkuuta tulee välttää lumettomana aikana. Lumirajan yläpuolelle yltävien taimikoiden ylispuut on parasta korjata pakkasettomana aikana. Hakkuukonetyössä on mahdollista lisätä hakkuutähteistä paljaaksi jäävän maan osuutta merkittävästi työmenetelmää muuttamalla ilman, että työn tuottavuus kärsii (Nurmi 1994). Tällä voidaan vähentää taimien vaurioitumista ja edistää uusien taimien syntymistä (Kuva 16).

Taimia vaurioituu niin ylispuiden hakkuussa kuin metsäkuljetuksessakin kaatuvan puun ja hakkuutähteiden alle sekä taimien jäädessä pyörän tai telan alle (Maukonen 1987, Niemistö 1995, Hyppönen 1996) Vaurioitumiseen vaikuttavat eniten ylispuuston hakkuukertymä, taimikon tiheys ja ajourien määrä (Peltoniemi 1991). Hyppönen (2000) selvitti ylispuiden korjuun vaikutusta mäntytaimikoiden kasvatuskelpoisuuteen. Taimista vaurioitui lähes viidennes. Vaurioiden määrään vaikutti eniten hakkuukertymä ja ajouraverkon tiheys. Vaurioista 60 % syntyi metsäkuljetuksen aikana. Niemistön ym. (2012) tutkimuksessa ylispuiden poisto kuusialikasvoksen (1200 kpl/ha) päältä laski hakkuun tuottavuutta 11–17 % avohakkuuvaihtoehtoon verrattuna. Hakkuun jälkeen jäi riittävä määrä kasvatuskelpoisia taimia. Ylispuiden poistossa alikasvokselle syntyneet juurivauriot saattavat olla suurempi riski kuin itse taimien vaurioituminen, koska taimien lahoviat leviävät runkoon pitkän ajan kuluessa (Tamminen 1985, Piri 1996).

5.4. Päätelmiä ja tutkimustarpeita

Jatkuvapeitteisen metsänkasvatuksen korjuun jatkotutkimusta tarvitaan täydentämään aikaisempaa tutkimustietoa. Suuressa osassa poimintahakkuukohteista tarvitaan siirtymähakkuita, joissa metsän puuston rakennetta muutetaan kohti eri-ikäisrakennetta. Pienempi osa kohteista on jo aidosti eri-ikäisrakenteisia. Metsänhoitosuositukset voivat vaatia tarkistuksia korjuun näkökulmasta: esimerkiksi tiheä alikasvos yleensä vaatii hakkuukonetyölle ennakkoraivausta myös poimintahakkuussa. Pitkäaikaista seurantatietoa tarvitaan havaintometsiköistä, käytetäänkö pysyvää uraverkostoa vai uusitaanko sitä. Myös aikaisemmat tutkimustulokset hakkuutyön tuottavuudesta vaihtelevat paljon. Poimintahakkuiden kokonaisvaikutukset riippuvat siitä, mikä niiden osuus alue- ja valtakunnantasolla tulee olemaan. Niiden yleistyminen vaikuttaa merkittävästi korjuulogiikkaan, -kustannuksiin ja -kalustoon. Hannerzin (2017) mukaan korjuukustannukset nousisivat ja hakkuualueiden kertymät pienenisivät merkittävästi, jos avohakkuut lopetettaisiin kokonaan.

Keskeiset tulevaisuuden tutkimus- ja kehittämistarpeet liittyvät hakkuukoneteknologian ja -työmenetelmien sovittamiseen työympäristöön. Puuston rakenne vaikuttaa eniten koneellisen hakkuun työmenetelmään ja konetyypin valintaan. Työympäristötieto on tarpeen, jotta voidaan hahmottaa jatkuvapeitteisen kasvatuksen erilaisten hakkuutapojen vaikutusta puuntuotantoon ja tulevaisuuden korjuuolosuhteisiin.

Yksi uusi jatkotutkimisen ja kehittämisen arvoinen hakkuutapa on väyläharvennus. Hoitamattomalla eri-ikäisrakenteisella ensiharvennuskohteella väyläharvennus on mahdollista tehdä ilman ennakkoraivausta, mikäli kohteella toteutetaan integroitu aines- ja energiapuun korjuu, jolloin väyläharvennus tarjoaa hyvän lähtökohdan jatkuvapeitteiseen metsänkasvatukseen nuorissa metsissä (Nuutinen ym. 2021a, b, Bergström ym. 2022).

Jatkuvapeitteisen kasvatuksen korjuun jatkokehittäminen edellyttää myös puunkorjuuyritysten, koneyritysten, metsäkoneenkuljettajien, metsäviranomaisen sekä tutkimus- ja opetusorganisaatioiden yhteistyötä (Engeström 1987, Nuutinen 2013). Hakkuukoneenkuljettajien koulutuksen kehittäminen ja tuoreen tutkimustiedon siirto ja jalostus koulutustuotteiksi on tärkeää. Siihen jo olemassa olevat digitaaliset laitteet ja menetelmät antavat hyviä mahdollisuuksia.

Luonnonvarakeskuksen lokakuussa 2021 tekemän kyselytutkimuksen (n=25) julkaisemattomien tulosten mukaan puunkorjuun ja metsänhoidon käytännön toimijat, suurmetsänomistajat sekä metsäalan opetuksen ja tutkimuksen ammattilaiset Pohjois-Karjalan alueella nostivat puunkorjuun kehittämistä vaativiksi haasteiksi:

- metsien luokitteluperusteiden puuttumisen,
- soveltumattomien kohteiden hakkuun 'väkisin',
- hakkuukohteiden ennakkosuunnittelun puutteellisuuden,
- koneellisen hakkuun työmallien puuttumisen kuljettajille,
- kuljettajakoulutuksen koulutusmateriaalinen vajavaisuus sekä
- hakkuutyön ja metsäkuljetuksen maksuperusteiden puuttumisen.

Jatkuvapeitteisen metsänkasvatuksen hakkuumäärien lisääminen vaatii merkittävää panostusta tutkimus- ja kehittämistyöhön. Tulee kehittää korjuun ennakkosuunnittelua tukevia digitaalisia työkaluja, koneellisen hakkuun työmenetelmiä ja korjuun kustannusten seuranta. Koulutuksella siirretään uusi tieto käytäntöön. Tämä lisää metsäalan toimijoiden tietämystä jatkuvapeitteisestä metsänkasvatuksesta sekä parantaa metsätalouteen kytkeytyvien yritysten toimintaedellytyksiä. Tällöin jatkuvapeitteinen metsänkasvatus kohdentuu parhaille kohteille, kehitetyt työkalut ja -menetelmät parantavat jatkuvapeitteisen metsänkasvatuksen ennakkosuunnittelua sekä hakkuun ja metsäkuljetuksen laatua ja kannattavuutta (Taulukko 4).

Taulukko 4. Jatkuvapeitteisen metsänkasvatuksen korjuun suunnittelun ja toteutuksen työkalut sekä niiden vaikutukset

Toimenpiteet	Vaikutukset
Puuston rakenteeseen (läpimitta, pituus, runkoluku) ja määrään (m ³ /ha) perustuva jatkuvapeitteisten metsien luokittelu, jonka pohjalta digitaalisten työkalujen kehittäminen hakkuualueiden ennakkosuunnitteluun ja kohdennukseen	Jatkuvapeitteinen kasvatus kohdentuu parhaille kohteille, minkä myötä sen hakkuumäärät ja tarjonta lisääntyvät lisäten sekä ympäristö- että taloushyötyjä.
Hakkuun puuvalintamallien kehittäminen hakkuukoneen työpistetasolle.	Jatkuvapeitteisten kohteiden metsähoidollinen tila paranee, mikä pidemmällä ajanjaksolla parantaa puuntuotannon kannattavuutta ja monimuotoisuutta.
Koneellisen hakkuun työmenetelmien kehittäminen ja kuvaaminen	Hakkuutyön tehokkuus ja laatu paranee, mikä parantaa metsäalan toimijoiden toimintaedellytyksiä.
Jatkuvapeitteisen kasvatuksen resurssoinnin ja kannattavuuden seurannan laskentamallien kehittäminen hakkuukohde- ja alueta- salla.	Hakkuutyön ennakkoressursointi ja kustannusten seuranta paranee. Metsäkoneyrittäjien työvoiman ja kaluston budjetointi paranee.
Tutkimus- ja kehittämistuotosten käytäntöön siirron kehittäminen.	Tuotokset siirtyvät käytännön metsäammatilaisten, tutkimuksen ja käytäntöä tukevan opetuksen yhteistyönä. Tämä laajentaa metsäalan toimijoiden tietämystä ja parantaa korjuun toteuttajien ammattitaitoa. Kuljettajien väliset tuottavuuserot pienenevät ja korjuujälki paranee.

Viitteet

- Ala-Illomäki, J., Lamminen, S., Sirén, M., Väätäinen, K. & Asikainen, A. 2012. Using harvester CAN-bus data for mobility mapping. In: Special issue. Abstracts for international conferences organized by LSFRI Silava in cooperation with SNS and IUFRO. Mezzinatte 25(58): 85–87.
- Andreassen, K. & Oyen, B.H. 2002. Economic consequences of three silvicultural methods in uneven-aged mature coastal spruce forests of central Norway. *Forestry*, Vol. 75(4): 483–488.
- Bergström, D., Fernandez-Lacruz, R., De La Fuente, T., Höök, C., Krajnc, N., Malinen, J., Nuutinen, Y., Triplat, M. & Nordfjell, T. 2022. Effects of boom-corridor thinning on harvester productivity and residual stand structure. *International Journal of Forest Engineering*. 1–17. <https://doi.org/10.1080/14942119.2022.2058258>.
- Engeström, Y. 1987. Learning by expanding: an activity-theoretical approach to developmental research. Helsinki: Orienta-Konsultit Oy. ISBN: 951-95933-2-2. 368 s.

- Fjeld, D. 1994. Time consumption for selection and patch cutting with a one-grip harvester. *Communication Skogforsk* 47(4): 1–27.
- Fjeld, D. & Granhus, A. 1998. Injuries after selection harvesting in multi-storied spruce stands - the influence of operating systems and harvest intensity. *Journal of Forest Engineering* 9(2): 33–40.
- Eliasson, L., Lageson, H. & Valinger, E. 2003. Influence of sapling height and temperature on damage to advance regeneration. *Forest Ecology and Management*. 175: 217–222.
- Granhus, A. & Fjeld, D. 2001. Spatial distribution of injuries to Norway spruce advance growth after selection harvesting. *Canadian Journal of Forest Research* 31: 1903–1913.
- Hagström, S. 1994. En studie av avverkningskador på inväxningsbeståndet vid blädning. SLU, inst. för skogsteknik. Studentuppsatser 2. 16 s.
- Hannerz, M. 2017. Hyggesfritt. Det handlar om procenten. *Skogforsk Vision* 3: 18–21.
- Hyppönen, M. 1996. Ylispuiden korjuun vaikutus mäntytaimikoiden kasvatuskelpoisuuteen ja arvoon Lapissa. Lisensiaattityö MML-tutkintoa varten. Joensuun yliopisto.
- Hyppönen, M. & Niemistö, P. 1998. Ylispuuhakkuut ja taimikkovauriot. Julkaisussa: Moilanen, M. & Saksa, T. (toim.). Alikasvokset metsänuudistamisessa. Varjosta valoon. Pihlaja-sarja 3. 123 s.
- Hämäläinen, J. 2014. Poimintahakkuun nykykäytännöt: työohjeistus, ajanmenekki ja korjuujälki. Helsingin yliopisto. Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta. Metsätieteiden laitos. Pro gradu -työ. 103 s.
- Imponen, V., Keskinen, S. & Linkosalo, T. 2003. Monimuotoisuus talousmetsän uudistamisessa – kuusikoiden käsittelyvaihtoehtojen vaikutukset puuntuotannon ja -hankinnan talouteen. *Metsätehon raportti* 163. 22 s.
- Jonsson, R. 2015. Prestation och kostnader i blädning med skördare och skotare. *Arbetsrapport från Skogforsk nr 863–2015*. 28 s.
- Laamanen, V. 2014. Poimintahakkuukohteiden puuston rakenne, korjuutekniset olosuhteet, korjuukustannukset ja korjuujälki. Helsingin yliopisto. Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta. Metsätieteiden laitos. Pro gradu -työ. 85 s.
- Lilleberg, R. 1998. Puunkorjuun tuotos ja kustannukset. Julkaisussa: Kaila, S. (toim.). Monimuotoisuus talousmetsän uudistamisessa -hankkeen väliraportit (MONTA-hanke). *Metsätehon raportti* 62: 29–32.
- Maukonen, A. 1987. Ylispuuhakkuun taimikolle aiheuttamat vauriot. *Metsätutkimuslaitoksen tiedonantoja* 244. 30 s.
- Miettinen, A. 2005. Paikkatietoanalyysien soveltaminen eri-ikäisrakenteisten metsien hakkuiden tutkimuksessa. Päättötyö, paikkatiedonhallinnan erikoistumisopinnot. Hämeen ammattikorkeakoulu. 10 s.
- Mäkelä, M. 1992. Ylispuiden poistohakkuiden korjuutekniikka. *Metsätehon katsaus* 6. 8 s.

- Niemistö, P. 1995. Turvemaan hieskoivikon tiheyden vaikutus alikasvoskuusikon tiheyteen. Julkaisussa: Poikolainen, J. & Väärä, T. (toim.). Metsäntutkimuspäivä Kuusamossa 1994. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 552: 87–103.
- Niemistö, P. & Isomäki, A. 1990. Ajourien vaikutus puuston kasvuun Etelä-Suomen nuorissa kuusikoissa. *Folia Forestalia* 756.
- Niemistö, P., Korpunen, H., Laurén, A., Salomäki, M. & Uusitalo, J. 2012. Impact and productivity of harvesting while retaining young understorey spruces in final cutting of downy birch (*Betula pubescens*). *Silva Fennica* vol. 46 no. 1 article id 67.
- Nurmi, J. 1994. Työtavan vaikutus hakkuukoneen tuotokseen ja hakkuutähteen kasautumiseen. *Metsätieteen aikakauskirja* 2: 113–122.
- Nuutinen, Y. 2013. Possibilities to use automatic and manual timing in time studies on harvester operations. *Dissertationes Forestales* 156. 68 s.
- Nuutinen, Y., Hassinen, U., Karppinen, H., Leskinen, L., Remes, M., Tiitinen-Salmela, S., Schildt, J., Miina, J., Saksa, T., Kautto, K., Jaatinen, R., Lievonen, R., Muhonen, T., Kokko, T., Tiitinen, T. & Varis, M. 2019. Käytäväharvennus – menetelmä nuorten metsien ensimmäiseen koneelliseen harvennukseen. Kehittämishankkeen loppuraportti. 41 s. (saatavissa <https://www.luke.fi/projektit/kaytavaharvennus/>).
- Nuutinen Y., Miina J., Saksa T., Bergström D. & Routa J. 2021a. Comparing the characteristics of boom-corridor and selectively thinned stands of Scots pine and birch. *Silva Fennica* 55(3).
- Nuutinen, Y., Miina, J., Saksa, T., Bergström, D. & Routa, J. 2021b. Hakkuukoneella tehtävän väyläharvennuksen vaikutus harvennuskertymään ja kasvatettavaan puustoon nuorissa metsissä. *Metsätieteen aikakauskirja* 2021–10623. Tutkimuseloste. 5 s.
- Nyman, D. 2016. Kalhyggesfritt skogsbruk – lätt avverkning eller hård gallring? En översikt av vår nygamla skogsbruksmetod. Yrkeshögskolan NOVIA. Examensarbete för skogsbruksingenjör (YH-examen). Utbildningprogrammet för naturbruk. Raseborg. 60 s.
- Pamerleau-Couture, P., Krause, C., Pothier, D. & Weiskittel, A. 2015. Effect of three partial cutting practices on stand structure and growth of residual black spruce trees in north-eastern Quebec, *Forestry* 88(4): 471–483.
- Peltoniemi, T. 1991. Ylispuiden poisto konetyönä, miestyönä ja niiden yhdistelmänä. *Metsätieteiden katsaus* 18.
- Peuhkurinen, J. 2017. Staattinen maastomalli – päivitetyn version ominaisuudet ja implementointi käytäntöön. MELO/ Asiantuntijaryhmän kokous. 17.2.2017. Arbonaut.
- Piri, T. 1996 The spreading of the stype of *Heterobasidion annosum* from Norway spruce stumps to the subsequent tree stand. *European Journal of Plant Pathology* 26: 193–204.
- Roiko-Jokela, P. 1983. Taimikoiden kunto ylispuun poiston jälkeen. Julkaisussa: Metsäntutkimuspäivät Rovaniemellä 1983. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 105: 72–82.

- Sirén, M., Ala-Ilomäki, J., Mäkinen, H., Lamminen, S. & Mikkola, T. 2013a. Harvesting damage caused by thinning of Norway spruce in unfrozen soil. *International Journal of Forest Engineering* 24(1): 60–75.
- Sirén, M., Hytönen, J., Ala-Ilomäki, J., Neuvonen, T., Takalo, T., Salo, E., Aaltio, H. & Lehtonen, M. 2013b. Integroitu aines- ja energiapuun korjuu turvemaalla sulan maan aikana - korjuujälki ja ravinnetalous. Working Papers of the Finnish Forest Research Institute 256. 24 s. [in Finnish]. <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2013/mwp256.pdf>
- Sirén, M., Hytönen, J. & Surakka, H. 2015. Tree Damage in Mechanized Uneven-aged Selection Cuttings. *Croatian Journal of Forest Engineering* 36(1): 33–42.
- Sirén, M., Salmivaara, A., Ala-Ilomäki, J., Launiainen, S., Lindeman, H., Uusitalo, J., Sutinen, R. & Hänninen, P. 2019. Predicting forwarder rut formation on fine-grained mineral soils, *Scandinavian Journal of Forest Research* 34(2): 145–154.
- Surakka, H. & Sirén, M. 2007. Poimintahakkuiden puunkorjuun nykytietämys ja tutkimustarpeet. *Metsätieteen aikakauskirja* 4/2007: 373–390.
- Surakka, H., Sirén, M., Heikkinen, J. & Valkonen, S. 2011. Damage to saplings in mechanized selection cutting in uneven-aged Norway spruce stands. *Scandinavian Journal of Forest Research* 26(3): 232–244.
- Tamminen, P. 1985. Butt-rot. In *Norway Spruce in Southern Finland*. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 127: 1–52.
- Vanha-Majamaa, I., Jalonen, J. & Hautala, H. 2002. Puusto, taimettuminen ja muu kasvillisuus. Monta-tulosseminaari 17.5.2002. Helsinki. 9 s.
- Väätäinen, K., Lamminen, S., Ala-Ilomäki, J., Sirén, M. & Asikainen, A. 2013. Kuljettajaa opastavat järjestelmät koneellisessa puunkorjuussa - kooste hankkeen avaintuloksista. *Metlan työraportteja* 279. 24 s.
- Väätäinen, K., Ovaskainen, H., Ranta, P. & Ala-Fossi, A. 2005. Hakkuukoneenkuljettajan hiljaisen tiedon merkitys hakkuutulokseen työpistetasolla. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 937. 90 s.
- Ylimäki, R., Väätäinen, K., Lamminen, S., Sirén, M., Ala-Ilomäki, J., Ovaskainen, H. & Asikainen, A. 2012. Kuljettajaa opastavien järjestelmien tarve ja hyötypotentiaali koneellisessa puunkorjuussa. *Metlan työraportteja* 224. 70 s.
- Äijälä, O., Koistinen, A., Sved, J., Vanhatalo, K. & Väisänen, P. (toim.). 2019. Metsänhoidon suositukset. Tapion julkaisuja. Saatavilla: <https://tapio.fi/wp-content/uploads/2020/09/Metsanhoidon-suositukset-Tapio-2019.pdf>

6. Metsätuhot

Jarkko Hantula, Juha Honkaniemi, Matti Koivula, Juho Matala ja Juha Siitonen

- Juurikäävät ovat jatkuvapeitteiselle kasvatukselle merkittävästi suurempi uhka kuin tasaikäiselle metsänhoidolle.
- Tuuli- ja lumituhot sekä kirjanpainajaan liittyvä tuhoriski ovat eri-ikäisissä metsissä todennäköisesti vähäisempiä kuin tasaikäisissä.
- Hirvieläinten taimiin kohdistama syönti vaikeuttaa jatkuvapeitteisen metsän uudistumista muiden puulajien kuin kuusen osalta sekä vähentää sen puulajidiversiteettiä.
- Monista tuhonaiheuttajista jatkuvapeitteisessä metsänhoidossa on niin vähän tutkimustietoa, että se vaikeuttaa oleellisesti tuhoriskien arviointia.

6.1. Tuuli- ja lumituhot

Tuuli- ja lumituhot ovat pinta-alallisesti merkittävimmät tuhonaiheuttajat Suomessa (Korhonen ym. 2021). Kuten kaikki abioottiset tuhot, myös tuuli- ja lumituhot liittyvät voimakkaasti poikkeaviin sääolosuhteisiin, metsä- ja maisemarakenteeseen sekä puiden fyysisiin ominaisuuksiin. Tuulen merkitys tuhonaiheuttajana kasvaa tuulen yltyessä myrskylukemiin. Lumituhoja aiheuttaa, kun luomikuorma kasvaa äkillisesti poikkeuksellisen suureksi. Metsän rakenne, erityisesti pohjapinta-ala ja runkoluku, vaikuttavat molempiin tuhoihin merkittävästi (Peltola, 2006; Suvanto ym. 2021, 2019). Mitä harvempaa metsä on, sitä voimakkaammin tuuli pääsee sen sisällä puhaltamaan. Erityisen alttiita ovat vastikään harvennetut metsät, joissa puut eivät ole ehtineet sopeutua uuteen tilajärjestykseen ja sen mukanaan tuomiin uusiin elinolosuhteisiin. Sama koskee myös lumituhoja, jotka ovat useimmiten voimakkaimpia vastikään harvennetuissa metsiköissä ja erityisesti viivästyneissä harvennushakkuissa. Maisematasolla erityisesti tuulituhot hyötyvät mosaiikkimaisesta metsikkörakenteesta, joissa päätehakkuiden seurauksena syntyy voimakkaita metsänreunoja, joihin tuuli pääsee puhaltamaan voimakkaasti (Zeng ym. 2010, 2007). Puun fyysisistä ominaisuuksista puun läpimitta ja pituus, niiden välinen suhde, sekä juuriston syvyys ovat merkittävimmät tekijät niin tuuli- kuin lumituhojenkin kannalta (Peltola 2006). Läpimitan, sekä pitemmän ja läpimitan suhteen kasvu lisäävät tuhoriskiä, suurempi juuristosyvyys ankkuroi puuta ja vähentää riskiä.

Abioottisia tuhoja on tutkittu jatkuvapeitteisenä kasvatetuissa metsissä verrattain vähän. Jatkuvapeitteisenä kasvatettujen metsien tuulituhoriskit ovat todennäköisesti tasaikäismetsiköitä pienemmät (Hahn ym. 2021, Hanewinkel ym. 2014; Nevalainen 2017; Pukkala ym. 2016). Tämä johtuu muun muassa hakkuutapojen välisistä eroista erityisesti kasvatettavan puuston keskiläpimitassa ja pohjapinta-alassa (Pukkala ym. 2016). Lisäksi metsikön rakenteella on tuuliriskiinkin suuri merkitys (Dobbertin 2002; Hanewinkel ym. 2014; Pukkala ym. 2016). Monimuotoinen metsikkörakenne vähentää tuulen nopeutta metsän sisällä.

Maisemarakenteen merkitystä ei ole tutkittu, mutta sillä voi olla oletettavasti suuri vaikutus riskeihin. Jos kaikkien metsien kasvatusta siirtyisi suoraan jatkuvapeitteiseen kasvatukseen voitaisiin metsikkötason tutkimusten tulokset yleistää. Todennäköistä kuitenkin on, että metsänkasvatustapojen monipuolistuminen johtaa maisematasolla mosaiikkiin, jossa eri kasvatustavat vuorottelevat. Tällöin esimerkiksi poimintahakkuut voivat edelleen olla päätehakkuiden

metsien vieressä ja siten niiden tuulituhoriski kasvaa. Toisaalta moni varttunut kasvatusmetsä hyöttyy naapurikuvioiden jatkuvapeitteisestä kasvatuksesta.

6.2. Juurikäpä

6.2.1. Juurikäpien biologiaa

Suomessa esiintyy kaksi juurikäpälajia. Niistä kuusenjuurikäpä (*Heterobasidion parviporum*) aiheuttaa kuusella ja lehtikuusella tyvilahoa. Männyjuurikäpä (*H. annosum*) aiheuttaa männyntyvitervastautia, mutta voi tappaa myös koivuja ja katajia sekä aiheuttaa kuusella tyvilahoa samaan tapaan kuin kuusenjuurikäpä.

6.2.2. Juurikäävät jatkuvapeitteisessä kasvatuksessa

Juurikäävät leviävät uudelle kasvupaikalle kantaitiöiden avulla. Luonnontilaisessa metsässä tämä tapahtuu yleensä tuulienkaadon tai juuristovaurion paljastaessa kuoren suojaa vailla olevaa puupintaa. Metsätalouden myötä juurikäävän leviämismahdollisuudet on kuitenkin avautunut uusi ja luontaista tehokkaampi reitti, kun hakkuiden yhteydessä on paljastunut runsaasti suojaattomia kantopintoja. Tämän seurauksena juurikäävän määrä Suomen metsissä on historiallisena aikana kasvanut oleellisesti suhteessa siihen, mitä se olisi ollut ilman ihmisen vaikutusta. Samalla juurikäävistä on tullut taloudellisesti merkittävimpiä puita tartuttavia metsätauteja (Piri ym. 2019). Sen lisäksi, että juurikäävät aiheuttavat suoria taloudellisia tappioita kasvatettavalle puustolle (kasvutappiot, puutavaralajisiirtymät lahon takia, kuolleisuus), ne heikentävät puiden kasvuvoi-
maa ja altistavat muille seurannaistuhonille, merkittävimpana tuulituhot (Kuva 17).



Kuva 17. Juurikäpä lahottaa juuriston, minkä seurauksena syntyy helposti tuulienkaatoja. Kuva: Jarkko Hantula.

Juurikäpä saapuu uudelle kasvupaikalle kantaitiön laskeuduttua kannon pinnalle. Siinä se itää ja kasvava rihmasto tunkeutuu kannon sisään sekä edelleen kannon juuriin sekä siirtyy sieltä puiden juuriyhteyksien kautta uusiin puihin muodostaen tautipesäkkeitä, jotka voivat olla halkaisijaltaan jopa kymmenien metrien kokoisia ja elää satoja vuosia. Yksittäisissä kannoissa juurikäpä voi selvitä hengissä yli 50 vuoden ajan (Greig ja Pratt 1976, Piri 1996).

Juurikäävän tartunnan ennaltaehkäisy on Suomessa pakollista lumettoman ajan hakkuissa. Tarkoitukseen on olemassa sekä kemiallinen (urea) että biologinen (harmaaorvakka) kantokäsittelymenetelmä, jotka molemmat antavat oikein tehtynä hyvän, mutta ei täydellisen, suojan itiövälikkeistä tartuntaa vastaan. Nämä menetelmät eivät kuitenkaan vaikuta kasvupaikalle jo levinneeseen juurikäpäan, joka jatkaa leviämistään kantokäsittelystä huolimatta.

Jo tartunnan saaneella kasvupaikalla puulajin vaihtaminen juurikäävän kestäväksi yhden puusukupolven ajaksi puhdistaa kasvupaikan tehokkaasti. Kuusenjuurikäävän osalta vaihtoehdoksi käyvät sekä mänty että kaikki lehtipuut, mutta ei lehtikuusi eikä kontortamänty. Männenjuurikäävän osalta tilanne on huonompi, sillä se tarttuu kaikkiin havupuihin aiheuttaen kuusille samakaltaisen tyvilahon kuin kuusenjuurikäpä sekä heikentäen koivujen elinvoimaa. Männenjuurikäpä tarttuu myös koivuun, mutta ei Suomen olosuhteissa leviä seuraavaan puusukupolven, vaikka se olisikin mäntyä tai muuta havupuuta.

Jatkovapeitteisen metsänkasvatuksen usein toistuvat poimintahakkuut luovat lumettomana aikana tehtynä usein tilanteita, joissa juurikäävän itiötartunta on mahdollista joko kantopinnan tai korjuun aiheuttaman juuristovaurion kautta. Aikaan suhteutettuna hakkuiden takia metsään paljastuva kantopinta on jatkovapeitteisessä kasvatuksessa samaa suuruusluokkaa tai hiukan pienempi kuin tasaikäisessä kasvatuksessa, joten juurikäpärisä on tämän suhteen keskimäärin hiukan vähäisempi. Toisaalta jatkovapeitteisessä kasvatuksessa syntyvien korjuuvaurioiden määrä on oleellisesti suurempi kuin tasaikäisessä, mikä tasoittaa tilannetta suhteessa tasaikäiseen metsänkasvatukseen. Näiden seikkojen osalta tarvitaan lisätietoa juurikäävän itiöpaineen mahdollisista eroista jatkovapeitteisen ja tasaikäisen metsän välillä.

Jatkovapeitteisen kasvatuksen keskeisin juurikäpärisä kasvattava tekijä verrattuna tasaikäiseen metsätalouteen on metsän uudistumisen perustuminen alikasvokseen poimintahakkuissa. Sen osalta oleellisia ovat juurikäävän tehokas leviäminen alikasvokseen ja siitä edelleen kasvatettaviin puihin sekä juurikäävän pitkäikäisyys tartunnan saaneessa juuristossa (Piri 1996, Piri ja Valkonen 2013) (Kuva 18). Jatkovapeitteisessä kasvatuksessa hakkuiden aikana rikkoutuneisiin maaperän kohtiin tai muuten alikasvoksen muodostumiselle otollisiin kohtiin muodostuu tiheitä taimikoita, joiden juuristot toimivat juurikäävän tehokkaina leviämisreitteinä. Lisäksi alikasvospuut voivat olla hyvinkin iäkkäitä, jolloin niiden juuristolla on ollut istutustaimia paljon pidempi aika saada juurikäpä tartunta.



Kuva 18. Jatkuvapeitteiseen metsään syntyvän tiheän alikasvoksen synnyttämä juuristoyhteysverkosto tarjoaa ihanteelliset olosuhteet juurikäävän kasvulliselle leviämiselle. Kuva: Erkki Oksanen.

Pienaukko- tai kaistalehakuissa juurikäöpäriskin ero tasaikäiseen kasvatukseen on poimintahakkuista pienempi silloin, kun aukkoille jätetään kasvamaan lehtipuita sekapuustona (Piri ym. 1990) tai istutetaan uusia kuusen taimia. Mikäli aukkojen ja kaistaleiden uudistamiseen kuitenkin käytetään vain alikasvostaimia, on riski samankaltainen kuin poimintahakkuissa.

Kasvupaikalle päässeen juurikäävän torjunta on käytännössä mahdotonta poimintahakkuin hoidetussa metsässä, koska puulajin vaihtaminen ei ole mahdollista. Pienialaisia juurikäöpäpesäkkeitä voi kuitenkin yrittää torjua tekemällä niiden kohdalle pienaukkoja, joiden uudistuksen ja sitä seuraavan kehityksen aikana huolehditaan juurikäävälle alttiiden puiden poistamisesta. Laajamittaisen juurikäöpätuhon torjunta sen sijaan vaatii avohakkuun ja sitä seuraavan puulajivaihdon juurikäävän kestäväksi.

Käytännössä valmiiksi juurikäöpäiselle kasvupaikalle ei kannata koskaan perustaa jatkuvapeitteistä metsää. Terveelläkin kasvupaikalla on turvallista pidättäytyä harvennushakkuista sulan maan aikana eli keskittää metsänhoitotoimet talvikaudelle, jolloin juurikäävän itiölevinnän riski on olematon. Ilmaston lämmitessä tai jatkuvapeitteisen kasvatuksen suosion kasvaessa tämä asettaa kuitenkin logistisia haasteita puutavaran korjuulle, joten kesäaikaisilta hakkuilta ei voida välttyä. Tällöin korostuu metsänhoidon laatu, erityisesti kantokäsittelyn laadukkuus sekä nopea reagoiminen alkaviin juurikäöpäpesäkkeisiin.

6.3. Merkittävimmät muut metsätaudit

Toisin kuin juurikäävästä, on tutkittu tietoa muista metsätaudeista hyvin puutteellista. Jonkin verran voidaan esittää valistuneita arvauksia, hypoteeseja, näihin tauteihin liittyvän yleisen tiedon perusteella, mutta varsinaisen tautiriskiä liittyvän tieteellisen tiedon saaminen edellyttää näiden hypoteesien testaamista kontrolloitujen koejärjestelyiden avulla.

6.3.1. Versosurma

Surmakkasienen (*Gremmeniella abietina*) männyllä aiheuttaman versosurman esiintyminen borealisissa metsissä vaihtelee merkityksettömästi erittäin pahoihin epidemioihin. Sellainen oli Suomessa viimeksi 1980-luvulla ja Ruotsissa 2000-luvun vaihteessa. Versosurmariskiä vaikuttavat ennen kaikkea metsikön maantieteellinen sijainti ja edeltävien kesien sääolot (Witzell ja Karlman 2000, Thomsen 2009). Lisäksi metsänhoidon laatu ja puuston alkuperä vaikuttavat oleellisesti metsiköiden tuhoriskiä.

Kasvupaikan suhteen liian eteläiset männyn alkuperät ovat taudille erityisen alttiita (Uotila 1985). Jatkuvapeitteinen metsänhoito perustuu luontaiseen uudistamiseen, joten se on puiden alkuperän suhteen vähäriskistä. Toisaalta myös metsänviljelyyn perustuvat tasaikäiset metsät uudistetaan Suomessa tyypillisesti kasvupaikalle sopivalla siemenalkuperällä, joten metsänhoitotapoihin liittyvä tautiriskien ero ei ole merkittävä. On kuitenkin syytä huomata, että puiden alkuperään liittyvä versosurmariski kasvaa tasaikäisissä metsissä, mikäli niitä ryhdytään uudistamaan kasvupaikkaa selvästi eteläisimmillä alkuperillä esimerkiksi ilmastonmuutokseen varautumistarkoituksessa.

Versosurmariskiä lisää monien muiden verso- ja neulastautien tavoin metsikön kostea pienilmasto sekä muiden puiden varjostus (Read 1968, Niemelä ym. 1992). Näistä jatkuvapeitteisten metsien ilmankosteus ei juurikaan poikkea tasaikäisistä taimikoista tai nuorista metsistä, mutta ylispuiden varjostuksella saattaa olla pieni alikasvoksena kasvavien männyntaimien versosurmariskiä kasvattava vaikutus. Edellä mainittuja tekijöitä merkittävämpää on metsänhoidon laatu, sillä jatkuvapeitteisenä kasvatettavien kuivien kankaiden alikasvostaimikot eivät sinänsä poikkea oleellisesti tasaikäisten metsien viljelytaimikoista, joten myös niiden tuuletuksesta eli harvennuksista on huolehdittava yhtä huolellisesti kuin tasaikäisissä taimikoissa ja nuorissa metsissä, jotta mikroilmasto ei muutu versosurmaa suosivaksi.

Nevalainen (2017) mainitsee jatkuvapeitteisen ja tasaikäisen metsän tuhovertailussaan versosurman yhteydessä riskitekijänä myös taimitarhoilta peräisin olevan surmakkatartunnan. Tätä epäilemättä tapahtuu taimien terveysvaatimuksista huolimatta, mutta varsinaisen versosurmatuho riippuu aivan oleellisesti kasvupaikalla vallitsevista olosuhteista, kuten edellä on todettu. Siten taimitarhatartunnan osuus versosurmatuhojen syntymisessä on vähäinen tai jopa olematon.

Edellä kirjoitettu perustuu tasaikäisistä metsistä saadulle tiedolle ja siitä johdetulle loogiselle päättelylle, eikä erirakenteista metsistä kokeellisesti tuotetulle tutkimustiedolle, jonka tarve on siten ilmeinen.

6.3.2. Tervasroso

Tervasroso (*Cronartium pini*) esiintyy kahtena geneettisesti erittäin läheisenä muotona (Hantula ym. 2002), joista täydellisen elinkierron omaava heteroeekinen muoto vaatii lisääntyäkseen ruohovartisen väli-isännän ja vajaan elinkierron autoeekinen variantti siirtyy suoraan männystä mäntyyn. Sienen autoeekinen muoto on vallitseva suurimmassa osassa Suomea, mutta

heteroEEKistä muotoa esiintyy yleisesti vain rannikolla, jossa sen luontaisena väli-isäntäkasvina toimii yleensä käärmeenpistoyrtti, sekä Pohjois-Suomessa, missä tässä roolissa toimii metsämaitikka (Kaitera ym. 2005).

Pahimmat mäntyjen tervasrosotuhot ovat Suomessa liittyneet sienien heteroEEKiseen muotoon, joten tässä suhteessa oleellista on väli-isäntäkasvien esiintyminen kasvupaikalla, eikä mäntymetsiä kannata siitä syystä perustaa liian ravinteikkaille maille (Kaitera ym. 2005). Mikäli metsänhoidon menetelmä vaikuttaa tähän vaihteluun joko lisäämällä tai vähentämällä väli-isäntäkasvien esiintymistä, saattaa sillä olla merkitystä myös puiden tervasrosoriskin kannalta. Tässä suhteessa keskeinen havainto on metsämaitikan harvinaistuminen Lapissa metsien tihentymisen myötä (Jalkanen 2014), mutta toistaiseksi ei ole tutkittua tietoa siitä riittääkö jatkuvapeitteisesti hoidettujen metsien lisääntynyt valoisuus kääntämään kehityksen päinvastaiseksi. Siten tutkitun tiedon tarve on tervasrososuhteen edelleen suuri.

6.4. Hyönteistuhot

6.4.1. Kirjanpainaja

Hyönteistuoja on jatkuvan kasvatuksen hakkuissa tutkittu toistaiseksi vähän. Tuhoriskiä voidaan kuitenkin arvioida tuhonaiheuttajien ekologian sekä jatkuvan kasvatuksen tuottamien puustorakenteiden kautta. Tämän tiedon valossa maamme metsäammattilaisten yleinen käsitys on, että hyönteistuhoriskit ovat pienempiä jatkuvan kasvatuksen kuin jaksollisen kasvatuksen metsissä (Nevalainen 2017). Tarkastelemme seuraavassa, miten perusteltu tämä näkemys lopulta on.

Kirjanpainaja (*Ips typographus*) on eniten taloudellista vahinkoa metsissämme aiheuttava hyönteinen (Uotila 1994, Nuorteva ym. 2022), muiden hyönteisten useimmiten aiheuttaessa taloudellisesti vähämerkityksistä kasvunalenemaa, neulaskatoa ja yksittäisten puiden kuolemia. Kirjanpainajan aiheuttamat taloudelliset tappiot vaihtelevat vuosittain, mutta ovat viime vuosina olleet jopa 10 miljoonan euron luokkaa (Metsäkeskus). Arvio perustuu Metsäkeskuksen tilastojen sellaisten hakkuiden pinta-alaan tai puuston tilavuuteen, joiden syyksi on merkitty kirjanpainaja (Nuorteva ym. 2022). Koska etenkin pienialaisten tuhojen vuoksi tehdyssä hakkuussa saatetaan korjuukustannuksien kompensoimiseksi hakata myös terveitä puita, arvio lienee yläarvio, mutta todellista merkitystä on vaikea arvioida, koska inventointiaineistoja on vähän. Ilmastonmuutoksen myötä vahinkojen kuitenkin ennakoidaan yleistyvän (Jönsson ym. 2007, 2009, 2011, Seidl ym. 2008, 2016, Öhrn ym. 2014, Økland ym. 2015, Ruosteenoja ym. 2016, Venäläinen ym. 2020, Hlásny ym. 2021). Suomessa kirjanpainajaongelmat ovat tähän asti pysyneet suhteellisen pieninä ja paikallisina (Viiri ym. 2019), joskin 2010-luvulla tuuli- ja kuivuustuhot näyttävät lisänneen kirjanpainajan aiheuttamia jatkotuoja (Nuorteva ym. 2022). Normaalisti kirjanpainaja tuottaa yhden sukupolven kesässä (Annala 1969), mutta 2010-luvun lämpimien ja kuivien kesien seurauksena se on joinakin kesinä onnistunut tuottamaan kaksi sukupolvea (mm. Pouttu & Annala 2010, Neuvonen ym. 2015, Neuvonen ja Viiri 2017, Nuorteva ym. 2022). Ilmastonmuutoksen hillintä näyttääkin keskeiseltä metsätuhojen rajoituskeinolta.

Kirjanpainaja tai muutkaan puihin iskeytyvät hyönteiset eivät tapa mitä tahansa puita, vaan kirjanpainajalle ovat soveliaimpia melko järeät (rinnankorkeudeltaan vähintään 15 cm), jo valmiiksi syystä tai toisesta heikentyneet kuuset (Nuorteva ym. 2022). Tällaisia heikentyneitä puita löytyy esimerkiksi mäkien lakiosista, paahteisilta etelän-lännen rinteiltä, avohakkuun ja varttuneen kuusikon reunasta sekä kuuselle liian kuivilta kasvupaikoilta. Myös puiden hyvin korkea ikä tai sieni-infektiot voivat heikentää kuusia. Jos paikalla on enemmän kirjanpainajan hiljattain

tappamia puita, riski eläville puille on olemassa vähintään siksi, että ne mahdollisesti jakavat samat, kirjanpainajalle edulliset olosuhteet. Toisaalta toistuvat kuumat ja kuivat kesät voivat altistaa isot kuuset laaja-alaisille tuhoille.

6.4.2. Jatkuvan ja jaksollisen kasvatuksen kuusikot kirjanpainajan kannalta

Sopivan ikäiset, tasarakenteiset yhden puulajin metsiköt ovat otollisempia kaarnakuoriaisepidemian kehittymiselle kuin sekapuustoiset tai eri-ikäisistä puista koostuvat metsiköt johtuen edellä kuvatusta erikoistuneisuudesta tietynlaisiin puuyksilöihin (Raffa ym. 2015). Kirjanpainajan kannalta erityisen suotuisa olisi kuivan kasvupaikan varttunut puhdas kuusikko, mutta männylle otollisilla kuivilla kangasmailla eri-ikäisrakenteinenkaan kuusikko ei välttyisi hyönteisongelmilta. Jatkuvan kasvatuksen kuusikko kuitenkin eroaa jaksollisen kasvatuksen kuusikosta muutamilta keskeisiltä osiltaan. Ensiksikin pääosa jatkuvan kasvatuksen metsiköiden puuyksilöistä on jatkuvasti kirjanpainajalle liian pieniä, ja toiseksi potentiaaliset isäntäpuut – hakkuukypsät kuuset – ovat selvästi harvemmassa kuin varttuneessa tasaikäisessä metsikössä. Kolmanneksi jatkuvan kasvatuksen hakkuu kohdistuu suurimpiin ja siis kirjanpainajaa potentiaalisesti eniten kiinnostaviin puuyksilöihin. Näin ollen resurssin saatavuushypoteesin (Endara ja Coley 2011, Begon ja Townsend 2021) mukaisesti alhainen isäntäpuutiheys rajoittaa kirjanpainajapopulaation kasvumahdollisuuksia: uusia yksilöitä kuoriutuu sitä vähemmän, mitä vähemmän on isäntäpuuta. Kun yksilötiheys taas on tarpeeksi alhainen, kantaa rajoittaa lisäksi nk. Allee-vaikutus. Sen mukaan parinvalinta- ja lisääntymismenestys ovat heikompia harvan kuin tiheän kirjanpainajapopulaation metsikössä (Stephens ym. 1999).

Edellä sanotun valossa jatkuva kasvatusta näyttää kirjanpainajatuhon välttämisen kannalta jaksollista kasvatusta paremmalta vaihtoehdolta kuusikoissa. Jatkuvaan kasvatukseen saatetaan kuitenkin lähteä tilanteessa, jossa metsä on aluksi puustoltaan verraten tasaikäistä: huomattava osa Suomen talousmetsistä on tällaisia. Metsää saatetaan ryhtyä käsittelemään poimintahakkuulla, jossa pyritään jättämään mahdollisimman eri kokoisia puita, tai tekemällä pienaukkoja. Jos poiminta- tai harvennushakkuussa jäävä puusto on jo melko järeää, saattavat korjuussa syntyvät, jäävän puuston juuristo- ja runkovauriot teoriassa nostaa kirjanpainajariskiä. Vauriot saattavat myös hyödyttää juurikäpää (katso edellä).

6.5. Hirvieläintuhot

Hirvieläinten vaikutuksia metsiin on tutkittu runsaasti tasaikäisrakenteisten metsien kasvatusmenetelmän yhteydessä (esim. Markgren 1974, Heikkilä 2000, Nikula ym. 2008). Jatkuvan kasvatuksen metsänhoitomallien vaikutuksista hirvieläintuhoihin taas on toistaiseksi hyvin vähän tutkimusta (Nevalainen 2017, Komonen ym. 2020).

Nevalaisen (2017) asiantuntijakyselyyn ja kirjallisuuteen perustuvassa analyysissä todetaan joidenkin tasaikäisrakenteisen metsäkasvatuksen toimien, kuten maanmuokkauksen, voivan lisätä hirvituhoriskiä esimerkiksi sitä kautta, että taimikoihin on tällöin syntynyt runsas männyn taimien kehitystä haittaava ja tuhoriskiä lisäävä lehtipuusto (Jalkanen ym. 2005, Nikula ym. 2008, Nevalainen ym. 2016). Kuusivaltaisia eri-ikäisrakenteisia metsiköitä vertailemalla on taas havaittu, että mitä harvemmaksi puusto oli hakattu sitä enemmän syöntipainetta kohdistui hakkuun jälkeen syntyneeseen lehtipuustoon, erityisesti pihlajaan (Komonen ym. 2020). Tällöin eriikäisyyteen pyrkivässä metsänkäsittelyssä ongelmaksi voi muodostua tasapainottelu uudistumisen kannalta riittävän suuren harvennusvoimakkuuden ja sen lisäämän hirvieläintuhoriskin välillä. Riskinä on, että mikäli hirvieläinten laidunnus estää lehtipuiden uudistumisen, jää eri-ikäisrakenteisessa metsänhoidossa tavoiteltu biodiversiteettihyöty saavuttamatta.

Männyn osalta esimerkiksi pienaukkohakkuiden hirvieläintuhoriskejä voi jossain määrin arvioida tasaikäismänniköissä tehtyjen tutkimusten perusteella, mikäli niissä on havaittu pienaukoille tyypillisiä piirteitä. Esimerkiksi uudistusalan pienen koon (alle puoli hehtaaria) on havaittu lisäävään hirvituhoriskiä (Díaz-Yáñez ym. 2017). Selityksenä voi olla, että pieni kuvio-kooko saa aikaan hirven kannalta suotuisan ympäristön, jossa ravintoa tarjoava taimikko ja suo-ja tarjoava varttunut metsä ovat lähekkäin (Edenius ym. 2002). Toisaalta, kun hirvikanta on erityisen runsas, ei uudistusalan koolla ole havaittu yhteyttä tuhoriskiin (Andren ja Angelstam 1993).

Tasaikäisrakenteisen ja eri-ikäisrakenteisen metsänhoidon mallien vertailu hirvituhonäkökulmasta on hankalaa eikä aina mielekäästäkään, koska ensin mainitussa ongelmat koskevat useimmiten männyntaimikoihin kohdistuvia tuhoja ja jälkimmäisessä yleensä kuuselle luontaisesti uudistettavien alueiden mahdollisuutta saada lehtipuusekoitusta tai mäntyä uudistumaan kuusen lisäksi. Uusista metsänkäsittelymenetelmistä tulisi saada lisää tutkimustietoa siitä näkökulmasta, miten ne synnyttävät hirvieläintuhoille altistavia metsien rakennepiirteitä ja miten hirvieläimet vaikuttavat eri puulajien uudistumismahdollisuuksiin niissä.

Isommassa mittakaavassa olisi tarkasteltava, miten laaja-alaisesti harjoitettu eri-ikäisrakenteisen metsänhoito vaikuttaisi hirvieläinten ravintovaroihin ja sitä kautta tuhoriskiin, kun pääasiassa uudistuvana puulajina olisi hirvieläimille huonosti kelpaava kuusi, ja männyn uudistusalat olisivat pienialaisia. Nykytilanteessa hirvituhojen määrään vaikuttaa hirvien määrän ja niille parhaiten soveltuvien talviravintokohteiden eli mäntyvaltaisten taimikoiden pinta-alan välinen suhde (Nikula ym. 2021). Eli mitä enemmän sopivia ravintokohteita on hirveä kohden, sitä vähemmän on odotettavissa hirvituhoja. Vastaavasti, jos mäntyvaltaisten taimikoiden määrä vähenee, on odotettavissa vakavampia tuhoja aiempaa vähälukuisemmissa hirville soveltuvissa taimikoissa.

6.6. Päätelmiä ja jatkonäkymiä

Jatkuvapeitteisten ja tasaikäisten metsien tuhoriskit poikkeavat toisistaan oleellisesti, mutta niihin liittyvä suora tutkimustieto ei ole kovin kattavaa. Siten luotettavan arvion tekeminen monista tuhonaiheuttajista edellyttää uutta tutkimusta, jossa keskitytään eri tuhonaiheuttajiin liittyviin riskeihin jatkuvapeitteisessä metsänhoidossa, sekä keinoihin, joilla niitä voitaisiin hallita sekä kivennäis- että turvemailla.

Jo nyt on kuitenkin osoitettu, että juurikäyvät ovat jatkuvapeitteiselle metsänhoidolle erityisen hankala ongelma, eikä valmiiksi juurikäypäistä kohdetta kannata siten missään tilanteessa siirtää jatkuvapeitteiseen metsänhoitoon. Lisäksi on selvää, että jatkuvapeitteisessä kasvatuksessa hirvieläinten taimiin kohdistama syönte vaikeuttaa muiden puulajien kuin kuusen uudistumista ja vähentää siten puulajidiversiteettiä.

Toisaalta näyttäisi siltä, että monien tuhonaiheuttajien, kuten tervasroson tai surmakan, suhteen metsänhoitotavoilla ei olisi suurtakaan merkitystä, vaan erityisesti kasvupaikan huomioimisella ja metsänhoidon laadulla on metsänhoitoperiaatetta suurempi merkitys. Lisäksi tuuli- ja lumituhot sekä kirjanpainajaan liittyvä tuhoriski ovat eri-ikäisissä metsissä todennäköisesti vähäisempiä kuin tasaikäisissä. Tuhojen kannalta tärkeää on ymmärtää, että tulevaisuuden metsämaisemat koostuvat eri metsänkasvatustapojen ja niiden vaiheiden mosaiikista, ja siten tuhoriskit vaihtelevat huomattavasti, niiden ollessa riippuvaisia sekä metsikkö- että maisemata-son tekijöistä.

Viitteet

- Andren, H. & Angelstam, P. 1993. Moose browsing on Scots pine in relation to stand size and distance to forest edge. *Journal of Applied Ecology* 30(1): 133–142.
- Annala, E. 1969. Influence of temperature upon the development and voltinism of *Ips typographus* L. (Coleoptera, Scolytidae). *Annales Zoologici Fennici* 6: 161–208.
- Begon, M. & Townsend, C.R. 2021. *Ecology: From Individuals to Ecosystems*, 5th Edition. John Wiley & Sons, Inc. 864 s.
- Díaz-Yáñez, O., Mola-Yudego, B. & González-Olabarria, J.R. 2017. What variables make a forest stand vulnerable to browsing damage occurrence? *Silva Fennica* 51(2): 1693. 11 s.
- Edenius, L., Bergman, M., Ericsson, G. & Danell, K. 2002. The role of moose as a disturbance factor in managed boreal forests. *Silva Fennica* 36(1): 57–67.
- Greig, B.J.W., & Pratt, J.E. 1976. Some observations on the longevity of *Fomes annosus* in conifer stumps. *European journal of forest pathology* 6(4): 250–253.
- Hantula, J., Kasanen, R., Kaitera, J. & Moricca, S. 2002. Analyses of genetic variation suggest that pine rusts *Cronartium flaccidum* and *Peridermium pini* belong to the same species. *Mycological Research* 106: 203–209.
- Heikkilä, R. 2000. Männyn istutustaimikoiden metsänhoidollinen tila hirvivahingon jälkeen Etelä-Suomessa. *Metsätieteen aikakauskirja* 2/2000: 259–267.
- Hlásny, T., Zimová, S., Merganicová, K., Stepánek, P., Modlinger, R. & Turcáni, M. 2021. Devastating outbreak of bark beetles in the Czech Republic: drivers, impacts, and management implications. *Forest Ecology and Management* 490: 119075.
- Jalkanen, R. 2014. Ensiharvennus vai uudistaminen – aggressiivinen tervasroso mäntytaimikoiden ja nuorten metsien kimpussa. *Metlan työraportteja* 321: 31–37.
- Jalkanen, R., Aalto, T., Hallikainen, V., Hyppönen, M. & Mäkitalo, K. 2005. Viljelytaimikoiden hirvituhot Lapissa ja Kuusamossa. *Metsätieteen aikakauskirja* 4/2005: 399–411.
- Jönsson, A.M., Harding, S., Barring, L. & Ravn, H.P. 2007. Impact of climate change on the population dynamics of *Ips typographus* in southern Sweden. *Agricultural and Forest Meteorology* 146: 70–81.
- Jönsson, A.M., Appelberg, G., Harding, S. & Barring, L. 2009. Spatio-temporal impact of climate change on the activity and voltinism of the spruce bark beetle, *Ips typographus*. *Global Change Biology* 15: 486–499.
- Jönsson, A.M., Harding, S., Krokene, P., Lange, H. & Lindelöw, A. 2011. Modelling the potential impact of global warming on *Ips typographus* voltinism and reproductive diapause. *Climatic Change* 109: 695–718.
- Kaitera, J., Nuorteva, H. & Hantula, J. 2005. Distribution and frequency of *Cronartium flaccidum* on *Melampyrum* spp. in Finland. *Canadian Journal of Forest Research* 35: 229–234.
- Komonen, A., Paananen, E., Elo, M. & Valkonen, S. 2020. Browsing hinders the regeneration of broadleaved trees in uneven-aged forest management in southern Finland. *Scandinavian Journal of Forest Research* 35(3–4): 134–138.

- Markgren G. 1974. The moose in Fennoscandia. *Le Naturaliste Canadien* 101: 185–194.
- Nevalainen, S. 2017. Comparison of damage risks in even- and uneven-aged forestry in Finland. *Silva Fennica* 51: 1741.
- Nevalainen, S., Matala, J., Korhonen, K.T., Ihalainen, A. & Nikula, A. 2016. Moose damage in National Forest Inventories (1986–2008) in Finland. *Silva Fennica* 50(2) article ID 1410.
- Neuvonen, S. & Viiri, H. 2017. Changing climate and outbreaks of forest pest insects in a cold northern country, Finland. In: Latola, K. & Savela, H. (eds.): *The Interconnected Arctic — Arctic Congress 2016*. Springer Polar Sciences. S. 49–59.
- Neuvonen, S., Tikkanen, O.-P., Pouttu, A. & Silver, T. 2015. Kirjanpainajatilanne 2014 ja vertailua aiempiin vuosiin. Teoksessa: Heino, E. & Pouttu, A. (toim.): *Metsätuhot vuonna 2014*. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 39/2015. S. 16–22.
- Niemelä, P., Lindgren, M. & Uotila, A. 1992. The effect of stand density on the susceptibility of *Pinus sylvestris* to *Gremmeniella abietina*. *Scandinavian Journal of Forest Research* 7: 129–133.
- Nikula, A., Hallikainen, V., Jalkanen, R., Hyppönen, M. & Mäkitalo, K. 2008. Modelling the factors predisposing Scots pine to moose damage in artificially regenerated sapling stands in Finnish Lapland. *Silva Fennica* 42(4): 587–603.
- Nikula, A., Matala, J., Hallikainen, V., Ihalainen, A., Pusenius, J., Kukko, T. & Korhonen, K.T. 2021. Modelling the effect of moose *Alces alces* population density and regional forest structure on the amount of damage in forest seedling stands. *Pest Management Science* 77: 620–627.
- Nuorteva, H., Kytö, M., Aarnio, L., Hamberg, L., Hantula, J., Henttonen, H., Huitu, O., Kaitera, J., Koivula, M., Korhonen, K.T., Kuitunen, P., Lehti, P., Luoranen, J., Melin, M., Niemimaa, J., Piri, T., Poimala, A., Poteri, M., Strandström, M., Terhonen, E., Tikkanen, O.-P., Uimari, A., Vainio, E., Valtonen, A., Velmala, S., Vuorinen, M. & Ylioja, T. 2022: *Metsätuhot vuonna 2020*. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 2/2022.
- Peltola, H., 2006. Mechanical stability of trees under static loads. *American Journal of Botany* 93: 1501–11.
- Piri, T. 1996. The spreading of the S type of *Heterobasidion annosum* from Norway spruce stumps to the subsequent tree stand. *European Journal of Forest Pathology* 26: 193–204.
- Piri, T., Korhonen, K. & Sairanen, A. 1990. Occurrence of *Heterobasidion annosum* in pure and mixed spruce stands in southern Finland. *Scandinavian Journal of Forest Research* 5: 113–125.
- Piri T., Selander, A., Hantula, J. & Kuitunen, P. 2019. Juurikäpätuhojen tunnistaminen ja torjunta. <http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2019091828606>.
- Piri, T. & Valkonen, S. 2013. Incidence and spread of *Heterobasidion* root rot in uneven-aged Norway spruce stands. *Canadian Journal of Forest Research* 43: 872–877.
- Pukkala, T., Laiho, O. & Lähde, E. 2016. Continuous cover management reduces wind damage. *Forest Ecology and Management* 372: 120–127.

- Raffa, K.F., Grégoire, J.-C. & Lindgren, S. 2015. Natural history and ecology of bark beetles. In: Vega, F.E. & Hofstetter, R.W. (eds.). Bark beetles. Elsevier.
- Read D.J. 1968. Some aspects of the relationship between shade and fungal pathogenicity in an epidemic disease of pines. *New Phytologist* 67: 39–48.
- Ruosteenoja, K., Jylhä, K. & Kämäräinen, M. 2016. Climate projections for Finland under the RCP forcing scenarios. *Geophysica* 51(1): 17–50.
- Seidl, R., Rammer, W., Jäger, D. & Lexer, M.J. 2008. Impact of bark beetle (*Ips typographus* L.) disturbance on timber production and carbon sequestration in different management strategies under climate change. *Forest Ecology and Management* 256: 209–220.
- Seidl, R., Schelhaas, M.-J. & Lexer, M.J. 2011. Unraveling the drivers of intensifying forest disturbance regimes in Europe. *Global Change Biology* 17: 2842–2852.
- Stephens, P.A., Sutherland, W.J. & Freckleton, R.P. 1999. What is the Allee effect? *Oikos* 87: 185–190.
- Suvanto, S., Lehtonen, A., Nevalainen, S., Lehtonen, I., Viiri, H., Strandström, M. & Peltoniemi, M. 2021. Mapping the probability of forest snow disturbances in Finland. *PLOS ONE* 16, e0254876.
- Suvanto, S., Peltoniemi, M., Tuominen, S., Strandström, M. & Lehtonen, A. 2019. High-resolution mapping of forest vulnerability to wind for disturbance-aware forestry. *Forest Ecology and Management* 453, 117619.
- Uotila, E. 1994. Hyönteistuhot metsätaloudessa - taustaa tuhojen taloudelliselle analyysille. *Metsätieteen aikakauskirja* 1/1994: 69–78.
- Uotila, A. 1985. Siemenen siirron vaikutuksesta männyn versosyöpäalittiuteen Etelä- ja Keski-Suomessa. *Folia Forestalia* 639: 1–12.
- Venäläinen, A., Lehtonen, I., Laapas, M., Ruostenoja, K., Tikkanen, O.-P., Viiri, H., Ikonen, V.-P. & Peltola, H. 2020. Climate change induces multiple risks to boreal forests and forestry in Finland: a literature review. *Global Change Biology* 26: 4178–4196.
- Viiri, H., Viitanen, J., Mutanen, A. & Leppänen, J. 2019. Metsätuhot vaikuttavat Euroopan puu-markkinoihin – Suomessa vaikutukset toistaiseksi vähäisiä. *Metsätieteen aikakauskirja* 2019: 10200.
- Thomsen, I.M. 2009. Precipitation and temperature as factors in *Gremmeniella abietina* epidemics. *Forest Pathology* 39: 56–72.
- Witzell, J. & Karlman, M. 2000. Importance of site type and tree species on disease Incidence of *Gremmeniella abietina* in areas with a harsh climate in northern Sweden Scandinavian Journal of Forest Research 15: 202–209.
- Zeng, H., Garcia-Gonzalo, J., Peltola, H. & Kellomäki, S. 2010. The effects of forest structure on the risk of wind damage at a landscape level in a boreal forest ecosystem. *Annals of Forest Science* 67: 111–111.
- Zeng, H., Pukkala, T. & Peltola, H. 2007. The use of heuristic optimization in risk management of wind damage in forest planning. *Forest Ecology and Management* 241: 189–199.

- Öhrn, P., Långström, B., Lindelöw, Å. & Björklund, N. 2014. Seasonal flight patterns of *Ips typographus* in southern Sweden and thermal sums required for emergence. *Agricultural and Forest Entomology* 16: 147–157.
- Økland, B., Netherer, S. & Marini, L. 2015. The Eurasian spruce bark beetle - role of climate. In: Björkman, C. & Niemelä, P. (eds.): *Climate change and insect pests*. CABI. S. 202–218.

7. Monimuotoisuus

Juha Siitonen ja Matti Koivula

- Poiminta- ja pienaukkohakkuista koskeva lajistotutkimus tarkastelee lähinnä varttuneessa, alun perin melko tasaikäisessä metsässä tehtyjä toimenpiteitä parhaimmillaan 10–15 vuotta hakkuista. Koko kiertoajan (esim. 60–100 vuotta) kattavia seurantoja ei ole.
- Jatkuva kasvatus luultavasti hyödyttää varjostusta tarvitsevia lajeja, kuten mustikkaa, sekä niiden seuralaislajistoa. Myös peitteisyyden jatkuvuutta vaativat lajit, kuten liito-orava tai jotkin epifyyttijäkelät, saattavat hyötyä.
- Poimintahakkuu, jossa puustosta poistetaan enimmillään puolet, säilyttää pääosan varttuneen metsän eliölajistosta. Kuitenkin herkimät lajit vähentyvät tai jopa häviävät paikalta.
- Pienaukkohakkuu vaikuttaa metsälajistoon verraten vähän, mutta lajiston runsaudet aukoissa muuttuvat sitä enemmän, mitä isompia aukot ovat. Säästetyissä varttuneen metsän osissa vaateliaskin lajisto näyttää säilyvän, jos koko metsikössä korjuuintensiteetti on esimerkiksi 30–50 %.
- Metsätalouden takia taantuneet lajit vaativat useimmiten järeää elävää ja kuollutta puustoa. Näiden lajien säilymistä jatkuva kasvatus itsessään ei turvaa, vaan näiden rakennepiirteiden säilymisestä on erikseen huolehdittava luonnonhoidolla.

7.1. Monimuotoisuuden turvaamisen mahdollisuudet

Suomessa siirryttiin 1950-luvulta lähtien nopeasti harsintametsätaloudesta tasaikäismetsätalouteen. Nykyinen intensiivinen metsätalous perustuu avohakkuuseen, maanmuokkaukseen, havupuita suosivaan uudistamiseen istuttamalla tai kylvämällä sekä alaharvennuksiin. Metsistä onkin nopeasti valtaosin tulleet puustorakenteiltaan samankaltaisia ja tasaikäisiä (Kuuluvainen ja Siitonen 2013). Niissä on yleensä vain vähän lahoppuuta ja monimuotoisuuden kannalta tärkeää, vanhaa ja järeää elävää puustoa. Metsälajiston tärkeimmät uhanalaisuuden syyt ovatkin vanhojen metsien ja kookkaiden vanhojen puiden vähyys, lahoppuun niukkuus, metsien uudistamis- ja hoitotoimet, sekä metsäpaloalueiden ja nuorten luonnontilaisten metsien väheneminen (Hyvärinen ym. 2019).

Todennäköisesti tehokkain yksittäinen lajien ja luontotyyppien turvaamiskeino on suojelualueiden perustaminen. Pohjois-Suomessa on tiukasti suojeltuja metsä- ja kitumaita noin 1,9 miljoonaa hehtaaria (17 % metsäpinta-alasta), kun Etelä-Suomessa vastaava luku on 0,4 miljoonaa (4 %) (Niinistö ym. 2021). Metsämaata näistä pinta-aloista on pohjoisessa 0,9 miljoonaa (8 %) ja etelässä 0,3 miljoonaa hehtaaria (3 %). Uhanalaisen metsälajiston säilymisen on arvioitu edellyttävän 10–30 % metsäpinta-alan suojelua (Hanski 2011). Etelä-Suomessa, missä uhanalaisia lajeja ja luontotyyppisiä on eniten, 10 %:n suojeluaste voitaisiin saavuttaa esimerkiksi suojelemalla 404 000 hehtaaria valtapuuston iältään yli 120-vuotiaista ja 471 000 hehtaaria muuta metsää varttuneimmasta päästä (Kotiaho ym. 2021). Jos tätä tavoiteltaisiin pelkästään METSO-ohjelman resursseilla (Anttila ym. 2021), saavuttaminen veisi yli sata vuotta.

Suojelun hitauden vuoksi toimet talousmetsissä saattavat ratkaista metsälajiston kohtalon Suomessa. Luonnonhoitotoimien ohella paljon toiveita on kohdistettu jatkuvapeitteisen metsänkasvatukseen (tai lyhyemmin jatkuvan kasvatukseen) hakkuumenetelmiin – poiminta- ja pienaukkohakkuihin. Talousmetsien hoitokäytäntöjä kehittämällä voidaan nopeasti vaikuttaa huomattavasti suurempaan pinta-alaan kuin minkä suojelu- ja ennallistamistoimet mahdollistavat.

Kun arvioidaan jatkuvan kasvatuksen vaikutuksia lajiston monimuotoisuuteen, yleinen kysymys ”Olisiko jatkuva kasvatusta monimuotoisuuden kannalta parempi vaihtoehto kuin jaksollinen kasvatusta?” ei ole järkevä. Sen sijaan voidaan kysyä, missä olosuhteissa, minkä lajiston kannalta, millä tavoin totutettuna ja millä aikavälillä tarkasteltuna jatkuva kasvatusta voisi olla parempi vaihtoehto kuin avohakkuuseen perustuva tasaikäiskasvatusta – tai päinvastoin. Puustosta kerrallaan vähintään kolmanneksen säästäviä ja siis tämän katsauksen tarkoittamia jatkuvan kasvatuksen hakkuutapoja ovat poimintahakkuu ja pienaukkohakkuu

Metsänkasvatustapojen lajistovaikutuksia vertailevien tutkimusten johtopäätöksiin ja tulosten yleistettävyyteen vaikuttavat samoin monet tekijät. Näitä ovat tutkimusmetsiköiden rakenne ja lajisto ennen käsittelyä, hakkuukäsittelyt ja niiden toteutustavat, tutkittu lajiryhmä sekä tarkastelujakson pituus. Menetelmien pitkän aikavälin vaikutuksia ei voi arvioida yhden hakkuukerran perusteella. Olennaista on se, millä tavoin metsänkäsittelymenetelmät pystyvät ylläpitämään lajistoa yli koko kiertoajan sekä metsikkö- että maisematasolla. Valitettavasti sellaisia metsiköitä tai kokonaisia metsäalueita, joita olisi käsitelty jatkuvalla kasvatuksella pitkän aikaa, ei juuri ole tutkimuskohteiksi. Eri-ikäisrakenteeseen tähtäävien hakkuuiden pitkän aikavälin vaikutuksia voidaan arvioida sen perusteella, miten hakkuut vaikuttavat puuston rakentamiseen.

Tarkastelemme tässä metsikkötasolla erikseen poiminta- ja erikseen pienaukkohakkuuiden vaikutuksia, koska menetelmät eroavat mm. hakkuussa syntyvien aukkojen ja välialueiden tilajakautumisen ja suuruuden suhteen. Lisäksi pienaukkohakkuissa on mahdollista käyttää maanmuokkausta, jonka vaikutukset käsitellään pienaukkohakkuun tarkastelussa.

7.2. Jatkuvapeitteisen metsänkasvatuksen hakkuutapojen yleiset vaikutukset

Jatkuvassa kasvatuksessa ja tasaikäiskasvatuksessa käytettävien hakkuutapojen lyhyen aikavälin (yhden hakkuukerran) lajistovaikutuksia on Pohjoismaissa vertailtu useissa tutkimuksissa. Koejärjestelyissä vertailut käsittelyt ovat useimmissa tapauksissa olleet poimintahakkuu ja avohakkuu sekä käsittelemättömät kontrollit, kolmessa koejärjestelyssä näiden lisäksi pienaukkohakkuu. Seuranta-ajat ovat toistaiseksi olleet lyhyitä, yleensä vain ensimmäiset 1–5 vuotta hakkuun jälkeen ja enimmilläänkin 10 vuotta (Koivula ja Vanha-Majamaa 2020).

Tulosten perusteella vanhan metsän lajisto säilyy pääosin ennallaan käsittelyissä, joissa poistetun puuston osuus on 33–50 % tilavuudesta. Tutkittuja eliöryhmiä ovat olleet mustikalla elävät kasvinsoijätoukat (Atlegrim ja Sjöberg 1995, 1996a, Kvasnes ja Storaas 2007), putkilokasvit ja sammalet (Jalonen ja Vanha-Majamaa 2001, Vanha-Majamaa ym. 2017), maakiitäjäiset (Koivula 2002a, 2002b), maaperäeliöt (Siira-Pietikäinen ym. 2003, 2009), hämähäkit (Matveinen-Huju ja Koivula 2008) sekä kovakuoriaiset (Joelsson ym. 2017, 2018, Jokela ym. 2019). Hyötyvät lajit eli lajisto, joka näyttää säilyvän jatkuvapeitteisessä käsittelyssä, on kuitenkin pääosin tavallista, ei-uhanalaista metsälajistoa. Toisin sanoen nämä lajit ilmeisesti tulevat toimeen myös nykyisen kaltaisissa jaksollisen kasvatuksen talousmetsissä. Kaikkein herkimvät sammal- ja maksasammallajit hävisivät varovaisimmissakin käsittelyissä (Vanha-Majamaa ym. 2017). Lyhytkestoiset

seurantatutkimukset eivät kerro metsänkasvatusmenetelmien – jatkuvapeitteinen metsänkasvatus verrattuna tasaikäiskasvatukseen – useiden peräkkäisten hakkuiden tai tasaikäiskasvatuksen kiertoajan mittaisista vaikutuksista lajistoon, vaan ainoastaan yhden hakkuukerran välittömistä vaikutuksista. Keskeinen kysymys on se, pystyykö lajisto palautumaan hakkuun aiheuttamasta häiriöstä ja kuinka nopeasti näin tapahtuu.

7.3. Poimintahakkuiden monimuotoisuusvaikutukset

Ruotsissa tehdyissä tutkimuksissa verrattiin keskenään noin 120–130-vuotiaiden, 2–15 vuotta sitten poimintahakattujen metsien, saman ikäluokan 50 viime vuoden aikana käsittelemättömien metsien sekä 50–60-vuotiaiden, noin 6–7 vuotta sitten joko avohakattujen tai harvennushakattujen metsiköiden kovakuoriaislajistoa (Joelsson ym. 2017, 2018). Noin 50–60-vuotiaat harvennushakattavat olivat Pohjois-Ruotsissa sijaitsevilla tutkimusalueilla vanhimpia avohakkuun jälkeen syntyneitä metsäluokkia, joten niissä tällä hetkellä esiintyvä lajisto kuvasi avohakkuun mahdollisimman pitkäaikaisia vaikutuksia. Tulosten mukaan uudet avohakkuut erosivat lajistoltaan selvästi muista metsäluokista. Harvennushakkuikäisten metsiköiden lajisto ei kuitenkaan eronnut merkittävästi poimintahakattujen metsiköiden lajistosta. Kovakuoriaislajiston palautuminen näyttää siten olevan nopeaa.

Pohjoismaissa on myös selvitetty vanhojen poimintahakkuiden (määrämittahakkuiden) pitkän aikavälin vaikutuksia lajistoon. Näissä tutkimuksissa 50–100 vuotta aiemmin harsittujen metsien puuston rakennetta ja lajistoa on verrattu luonnontilaisten vanhojen metsien lajistoon. Tulosten mukaan vuosikymmeniä sitten tehdyt harsintahakkuut, joissa on poistettu noin 50 % puuston tilavuudesta, vaikuttavat edelleen negatiivisesti lahopuustoon ja kääpälajistoon (Bader ym. 1995, Lindblad 1998, Sippola ym. 2001). Vanhoissa harsintahakatuissa metsissä on vähemmän järeitä, keskilaajoja maapuita, ja sekä kääpien kokonaislajimäärä että uhanalaisten kääpälajien määrä ovat selvästi alhaisempia kuin vanhoissa luonnonmetsissä. Harsintahakkuut olivat samoin vähentäneet vanhoilla, järeäoksaisilla puilla kasvavien epifyyttijäkälien määrää (Esseen ym. 1996) sekä jäkäläkasvustoissa elävien selkärangattomien määrää (Pettersson ym. 1995, Pettersson 1996). On kuitenkin huomattava, että näistä tutkimuksista puuttui vertailu avohakkuun jälkeen syntyneisiin 50–100-vuotiaisiin tasaikäisiin metsiin. Lähinnä nämä tutkimustulokset osoittavat sen, että myös järeiden puiden poimintahakkuu vaikuttaa pitkällä aikavälillä lajistolle tärkeisiin rakennepiirteisiin ja lajistoon negatiivisesti.

7.4. Pienaukkohakkuiden monimuotoisuusvaikutukset

Lajiston vasteiden pääpiirteet ovat avomaa- ja yleislajien runsastuminen ja sulkeutuneen metsän lajien väheneminen erityisesti pienaukoissa, säästettyjen välialueiden säilyessä lajistoltaan lähes muuttumattomina. Toisaalta pienaukkojen lajistomuutos on sitä suurempi, mitä suuremmista aukoista on kysymys (esim. Jokela ym. 2019). Menetelmän suhteellisen uutuuden vuoksi pitkäaikaisvaikutuksia ei vielä ole mahdollista arvioida edes siten, että verrattaisiin eri ikäisissä pienaukoissa tällä hetkellä esiintyvän lajiston monimuotoisuutta.

Pääosa pohjoismaisista pienaukkohakkuiden lajistovaikutuksia tarkastelevista julkaisuista on Monimuotoisuus talousmetsien uudistamisessa (MONTA) -hankkeesta. Hankkeessa tehtiin noin 2 ha varttuneisiin kuusikoihin kolme noin 0,16 ha kokoista (32 m x 50 m tai 40 m x 40 m) pienaukkoa, lopun metsiköstä jäädessä käsittelemättä. Puuston tilavuudesta poistettiin tällä tavoin noin 50 % eli enemmän kuin saman hankkeen poimintahakkuissa (noin 33 %). Kolmen ensimmäisen toimenpiteitä seuraavan kesän aikana sulkeutuneen metsän tavanomainen

eliölajisto säilyi pääosin muuttumattomana (Jalonen ja Vanha-Majamaa 2001, Koivula 2002a, Matveinen ja Koivula 2008). Pienaukoista alkoi kuitenkin nopeasti löytyä avoimien ympäristöjen lajien yksilöitä; myös aukkojen ja käsittelemättömien osien maaperän hajottajaorganismiyhteisöt erosivat hieman (Siira-Pietikäinen ym. 2001). Kymmenen vuoden jälkeen pienaukkojen ja käsittelemättömien välialueiden lajiyhteisöjen rakenteessa oli selkeämpiä eroja paitsi maaperän hajottajaorganismeissa (Siira-Pietikäinen ja Haimi 2009), myös varvuilla, sammalilla ja jäkälillä (Vanha-Majamaa ym. 2017) ja maakiitäjäisillä (Koivula ym. 2019). Pienaukoissa olivat runsastuneet erityisesti valoisien ympäristöjen yleislajit, kun taas varjoisien ympäristöjen lajien runsaudet olivat usein laskeneet käsittelemättömään metsään verrattuna.

Metsähallituksen maille 2009 perustetun koeasetelman ”Metsien luontaiseen häiriödynamiikkaan perustuvat käsittelymallit” (”häiriödynamiikkahanke”) alussa männiköihin ja kuusikoihin tehtiin läpimitaltaan noin 25–35 m ja 40–60 m aukkoja, hakkuuintensiteetin vaihdellessa 20–35 % tilavuudesta. Kolmen ensimmäisen hakkuuta seuraavan vuoden aikana kuusikoissa havaittiin, että järeän (rinnankorkeusläpimitta ≥ 15 cm) lahopuun määrä vaikutti enemmän lahopuukovakuoriaisten lajimäärään kuin hakkuumenetelmä (Jokela ym. 2019). Samanlainen havainto tehtiin käypälajistoa tarkastelleessa tutkimuksessa seitsemän hakkuuden jälkeisen vuoden aikana (Pasanen ym. 2019). Myös ruotsalaisessa kuusivaltaisten metsien pienaukkokokeessa (aukkoläpimitta noin 20 m, intensiteetti noin 20 %) on tehty samankaltaisia havaintoja. Kolmen ensimmäisen hakkuuta seuraavan kesän aikana pienaukkohakkuu ei juuri muuttanut kovakuoriaisyhteisön rakennetta, mutta aukkoissa runsastuivat erityisesti nilansyöjät, kuten kaarnakuoriaiset (Hjältén ym. 2017, Kärvelo ym. 2017). Tämä runsastuminen liittyy hakkuun lisäämään tuoreen kuolleen puun määrään ja on luonteeltaan tilapäinen (Jokela ym. 2019). Mainitussa ruotsalais-kokeessa pienaukoilla ei viiden vuoden jälkeen hakkuista juuri ollut vaikutusta lintuyhteisön rakenteeseen (Versluijs ym. 2017) eikä kahdeksan vuoden jälkeen metsän putkilokasvi- tai sammallajistoon (del Alba ym. 2021).

7.5. Poiminta- ja pienaukkohakkuun samankaltaisuus

Yksi monimuotoisuusnäkökulmasta tärkeä kysymys on, säilyykö sulkeutuneen metsän lajisto yhtä hyvin poiminta- kuin pienaukkohakatuissakin metsissä. Tiedossamme ei ole koeasetelmia, joissa nämä käsittelety eroaisivat toisistaan vain puuston tilajakauman muttei poistetun puumäärän osalta, mutta varovaista vertailua voidaan tehdä sekä MONTA- että häiriödynamiikkahankkeen aineistoilla. Koivula (2012) vertaili hakkuumenetelmiä julkaistujen aineistojen valossa (Koivula 2002a, 2002b) mallilla, jossa oli kovariaattina puuston määrä (m^3/ha) sekä faktoreina hakkuutapa ja vuosi (1995–1998). Analyysissä hakkuutapa ei vaikuttanut maakiitäjäislajistoon, mutta hakkuutavan kanssa muuttuva puuston määrä vaikutti voimakkaasti etupäässä siten, että avomaiden lajisto runsastui puuston laskevan määrän myötä. Mikäli puuston tilajakaumalla olisi ollut suuri vaikutus, sen olisi pitänyt näkyä hakkuutavan merkitsevyytenä. Toisaalta Vanha-Majamaa ym. (2017) vertailivat sammallajistoa 10 vuotta hakkuuden jälkeen samoissa poiminta- ja pienaukkometsiköissä ja havaitsivat lajistoa hävinneen enemmän poiminta- kuin pienaukkohakkuussa, vaikka ensin mainitussa puustoa oli jätetty metsiköihin enemmän. Tulos viittaa siihen, että kertaluonteisesti sovellettuna pienaukkohakkuu säilyttää tätä lajistoa paremmin kuin poimintahakkuu, mutta koko hakkuukierron yli sovelletun pienaukkohakkuun vaikutusta ei vielä ole mahdollista arvioida. Häiriödynamiikkahankkeessa aukkoolla näytti olevan suurempi (positiivinen) vaikutus kovakuoriaisten lajimäärään kuin poistetun puuston osuudella (Jokela ym. 2019). Lajikoostumukseen molemmat muuttujat vaikuttivat saman suuntaisesti.

Poiminta- ja pienaukkohakkuut eroavat toisistaan myös sen suhteen, että jälkimmäisessä voidaan tehdä maanmuokkausta taimettumisen auttamiseksi. Näin ollen käsittelemme tässä

lyhyesti maanmuokkauksen monimuotoisuusvaikutuksia kokeellisen tutkimuksen valossa. Maanmuokkauksen vaikutus metsän tavanomaiseen kasvi- ja maakiitäjäislajistoon näkyy ennen kaikkea metsikön sisäisenä runsausvaihteluna siten, että muokkaukskohdissa tavataan erityisesti avoimen ympäristön pioneerilajeja ja muokkaamattomissa varjoisuutta vaativaa lajistoa (Koi-vula 2002a, Pihlaja ym. 2006, Toivanen ym. 2014, Vanha-Majamaa ym. 2017). Toisaalta maanmuokkaus vaikuttaa negatiivisesti useisiin sulkeutuneen metsän kasvi- ja hyönteislajiryhmiin (Hautala ym. 2011, Vanha-Majamaa ym. 2017, Tullus ym. 2018). Kaikki maanmuokkausmenetelmät tuhoavat varsinkin maalahopuita (Hautala ym. 2004, Rabinowitsch-Jokinen ja Vanha-Majamaa 2010). Jo äestystä kevyempi laikkumätästys vähentää epiksyylijäkälien ja -sammalien lajimäärää alle puoleen (Rabinowitsch-Jokinen ym. 2012) ja voi pudottaa myös näiden lajien kasvualustakseen tarvitseman, pitkälle lahonneen puun määrän alle puoleen (Rabinowitsch-Jokinen ja Vanha-Majamaa 2010, Hautala ym. 2011).

7.6. Millaiset lajit voivat hyötyä jatkuvapeitteisestä metsätaloudesta?

Lajiryhmiä, jotka voivat hyötyä jatkuvasta kasvatuksesta, ovat sellaiset, 1) joille metsän peitteisyys ja varjostus on tärkeää tai 2) joille metsikkötason jatkuvuus on tärkeää. Jälkimmäiseen ryhmään kuuluvat leviämiskyvyltään huonot ja hitaasti kasvavat lajit. Myös hakkuun aiheuttamalla yleisten lajien runsauden muutoksilla voi olla merkittäviä ekologisia seurausvaikutuksia. Erityisesti mustikan runsaus vaikuttaa moniin muihin metsän eliöryhmiin. Mustikka uudistuu pääasiassa kasvullisesti maanalaisten maavarsiensa avulla, ja mustikka kärsii avohakkuun ja maanmuokkauksen aiheuttamasta versojen ja maavarsien tuhoutumisesta sekä paahteesta (Atlegrim ja Sjöberg 1996b, Tonteri ym. 2016). Mustikan väheneminen hakkuun jälkeen on yleensä suorassa suhteessa hakkuun voimakkuuteen (Bergstedt ja Milberg 2001).

Mustikka on pohjoisissa havumetsissä kenttäkerroksen tärkein kasvinsyöjien ravintokasvilaji. Avohakkuun seurauksena mustikan määrä romahtaa, mutta lisäksi sen laatu ravintona heikkenee. Paahteessa olevien mustikanversojen lehtien vesipitoisuus on pienempi ja fenolipitoisuus korkeampi kuin suojaavan puuston alla kasvissa versoissa (Atlegrim ja Sjöberg 1996b). Mustikan alhaisemman määrän ja mahdollisesti myös heikomman ravintoarvon takia avohakkuulla on noin viisi kertaa vähemmän perhos- ja sahapistiäistoukkia kuin vanhassa metsässä, kun taas poimintahakkuun jälkeen toukkien määrä pysyy lähes ennallaan (Atlegrim ja Sjöberg 1995, 1996a, Kvasnes ja Storaas 2007). Perhostoukat puolestaan ovat useiden hyönteissyöjälintulajien tärkeä ravintokohde (Atlegrim ja Sjöberg 1995). Siten mustikanvarvuston runsaus voi vaikuttaa epäsuorasti myös metsälintujen poikastuotantoon. Metsäkanalintujen ja erityisesti metson poikaset syövät ensimmäisten elinviikkojensa aikana pääasiassa perhostoukkia, joiden korkea proteiinipitoisuus mahdollistaa poikasten nopean kasvun (Kvasnes ja Storaas 2007). Lisäksi mustikanvarvikko tarjoaa poikasten tarvitsemaa suojaa.

Ekologisesti tärkeä lajiryhmä, joka todennäköisesti hyötyisi jatkuvasta kasvatuksesta verrattuna tasaikäiskasvatukseen, on puiden oksilla ja rungoilla kasvavat epifyyttijäkälät. Puiden jäkäläkasvustoissa elää monipuolinen ja runsas selkärangatonlajisto, joka on etenkin talvella latvuksista ruokansa etsivän lintulajiston (tiaiset, puukiiپیjä, kuukkeli) kannalta välttämätön ravintokohde (Pettersson ym. 1995). Epifyyttijäkälillä leviäminen ja hidas kasvu ovat niiden runsautta rajoittavia tekijöitä. Eri-ikäisrakenteisessa metsässä leviämislähteitä on aina lähellä, joten kasvualustojen väliset etäisyydet eivät tällaisilla jäkälillä muodostu uuden kasvualustan asuttamisen esteeksi.

7.7. Johtopäätökset ja tutkimustarpeet

Keskeinen kysymys on, voidaanko jatkuvan kasvatuksen avulla ylläpitää sellaista vaateliasta vanhojen metsien lajistoa, joka on huomattavasti vähentynyt tai ei säily lainkaan tasaikäiskasvatukseen perustuvassa talousmetsämaisemassa. Useimmille metsätalouden takia taantuneille ja uhanalaisille lajeille tärkeitä metsän rakennepiirteitä ovat lahopuu, erityisesti järeät ja pitkälle lahonneet rungot, sekä vanhat ja järeät elävät kasvualustapuut. Näille lajeille sopivia rakennepiirteitä voidaan ylläpitää ja lisätä sekä jatkuvassa kasvatuksessa että jaksollisessa kasvatuksessa. Jaksollisessa kasvatuksessa päätehakkuussa sekä harvennushakkuissa voidaan jättää säästöpuita ja säästöpuuryhmiä, joista kehittyy vanhoja ja järeitä puita nuoremman puusukupolven sisällä sekä muodostuu puiden kuollessa järeää lahopuustoa. Vanhoja puita ja järeää lahopuustoa voi muodostua myös hakkuiden ulkopuolelle rajatuissa arvokkaissa elinympäristöissä. On selvää, että jatkuva kasvatusta ei millään tavalla itsestään ratkaise monimuotoisuuden turvaamisen ongelmia tai haasteita talousmetsissä. Puuntuotannollisesti ja taloudellisesti tehokas jatkuva kasvatusta voi tarkoittaa usein toistuvia ja voimaperäisiä käsittelyitä. Luonnonhoiosta on erikseen huolehdittava myös eri-ikäisrakenteisessa kasvatuksessa aivan kuten jaksollisessa kasvatuksessa.

Jatkuvan kasvatuksen keskeisin tiedollinen aukko koskee vuosikymmenien ajan jatkettujen poiminta- ja pienaukkohakkuiden kumulatiivisia monimuotoisuusvaikutuksia. Jatkuvassa kasvatuksessa jäävä puusto on pienikokoista, joten kasvatusmenetelmän kyky ylläpitää sulkeutuneen metsän pienilmasto-oloja ja esimerkiksi isoilla puilla elävää lajistoa on epävarmaa. Toisaalta ei tiedetä, millä tavoin laajamittaisesti sovellettu jatkuva kasvatusta vaikuttaa lajistoon alueellisella tasolla, eikä juurikaan sitä, millaisia hakkuumenetelmien lajistovaikutukset ovat muilla kuin kiennäismailla; esimerkiksi turvemilla lajistotutkimusta on toistaiseksi hyvin vähän.

Viitteet

- Anttila S., Koskela, T., Simkin, J. & Aapala K. (toim.). 2021. METSO-tilannekatsaus 2020: Etelä-Suomen metsien monimuotoisuuden toimintaohjelma 2008–2025. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 36/2021. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 47 s.
- Atlegrim, O. & Sjöberg, K. 1995. Effects of clear-cutting and selective felling in Swedish Boreal coniferous forest: Response of invertebrate taxa eaten by birds. *Entomologica Fennica* 6: 79–90.
- Atlegrim, O. & Sjöberg, K. 1996a. Effects of clear-cutting and single-tree selection harvests on herbivorous insect larvae feeding on bilberry (*Vaccinium myrtillus*) in uneven-aged boreal *Picea abies* forests. *Forest Ecology and Management* 87: 139–148.
- Atlegrim, O. & Sjöberg, K. 1996b. Response of bilberry (*Vaccinium myrtillus*) to clear-cutting and single-tree selection harvests in uneven-aged boreal *Picea abies* forests. *Forest Ecology and Management* 86: 39–50.
- Bader, P., Jansson, S. & Jonsson, B. G. 1995. Wood-inhabiting fungi and substratum decline in selectively logged boreal spruce forests. *Biological Conservation* 72: 355–362.
- Bergstedt, J. & Milberg, P. 2001. The impact of logging intensity on field-layer vegetation in Swedish boreal forests. *Forest Ecology and Management* 154: 105–115.

- del Alba, C.E., Hjältén, J. & Sjögren, J. 2021. Restoration strategies in boreal forests: differing field and ground layer response to ecological restoration by burning and gap cutting. *Forest Ecology and Management* 494: 119357.
- Esseen, P.-A., Renhorn, K.-A. & Pettersson, R. B. 1996. Epiphytic lichen biomass in managed and old-growth boreal forests: effect of branch quality. *Ecological Applications* 6: 228–238.
- Hanski, I. 2011. Habitat loss, the dynamics of biodiversity, and a perspective on conservation. *Ambio* 40: 248–255.
- Jalonen, J. & Vanha-Majamaa, I. 2001. Immediate effects of four different felling methods on mature boreal spruce forest understorey vegetation in southern Finland. *Forest Ecology and Management* 146: 25–34.
- Joelsson, K., Hjältén, J., Work, T., Gibb, H., Roberge, J.-M. & Löfroth, T. 2017. Uneven-aged silviculture can reduce negative effects of forest management on beetles. *Forest Ecology and Management* 391: 436–445
- Joelsson, K., Hjältén, J. & Gibb, H. 2018. Forest management strategy affects saproxylic beetle assemblages: A comparison of even and uneven-aged silviculture using direct and indirect sampling. *PLoS ONE* 13(4): e0194905.
- Jokela, J., Siitonen, J. & Koivula, M. 2019. Short-term effects of selection, gap, patch and clear cutting on the beetle fauna in boreal spruce-dominated forests. *Forest Ecology and Management* 446: 29–37.
- Koivula, M. 2002a. Boreal carabid-beetle (Coleoptera, Carabidae) assemblages in thinned uneven-aged and clear-cut spruce stands. *Annales Zoologici Fennici* 39: 131–149.
- Koivula, M. 2002b. Alternative harvesting methods and boreal carabid beetles (Coleoptera, Carabidae). *Forest Ecology and Management* 167: 103–121.
- Koivula, M.J. 2012. Under which conditions does retention harvesting support ground beetles of boreal forests? *Baltic J. Coleopt.* 12: 7–26.
- Koivula, M. & Niemelä, J. 2003. Gap felling as a forest harvesting method in boreal forests: responses of carabid beetles (Coleoptera, Carabidae). *Ecography* 26: 179–187.
- Koivula, M. & Vanha-Majamaa, I. 2020. Experimental evidence on biodiversity impacts of variable retention forestry, prescribed burning, and deadwood manipulation in Fennoscandia. *Ecological Processes* 9: artikkeli nro 11.
- Koivula, M.J., Venn, S., Hakola, P. & Niemelä, J. 2019. Responses of boreal ground beetles (Coleoptera, Carabidae) to different logging regimes ten years post-harvest. *Forest Ecology and Management* 436: 27–38.
- Kotiaho, J.S., Ahlvik, L., Bäck, J., Hohti, J., Jokimäki, J., Kallio, K. P., Ketola, T. Kulmala, L., Lakka, H.-K., Lehtikoinen, A., Oksanen, E., Pappila, M., Sääksjärvi, I. & Peura, M. 2021: Metsäluonnon turvaava suojelun kohdentaminen. Suomen Luontopaneelin julkaisu 4/2021. 102 s.
- Kuuluvainen, T. & Siitonen, J. 2013. Fennoscandian boreal forests as complex adaptive systems. Properties, management challenges and opportunities. In: Messier, C., Puettman, K.J. & Coates, K.D. (eds.). *Managing Forests as Complex Adaptive Systems. Building Resilience*

- to the Challenge of Global Change. Routledge, Earthscan, London, New York. s. 244–268.
- Kvasnes, M.A.J. & Storaas, T. 2007. Effects of harvesting regime on food availability and cover from predators in capercaillie (*Tetrao urogallus*) brood habitats. *Scandinavian Journal of Forest Research* 22: 241–247.
- Lindblad, I. 1998. Wood-inhabiting fungi on fallen logs of Norway spruce: relations to forest management and substrate quality. *Nordic Journal of Botany* 18: 243–256.
- Matveinen-Huju, K. & Koivula, M. 2008. Effects of alternative harvesting methods on boreal forest spider assemblages. *Canadian Journal of Forest Research* 38: 782–794.
- Niinistö, T., Peltola, A., Rätty, M., Sauvula-Seppälä, T., Torvelainen, J., Uotila, E. & Vaahtera, E. (toim.) 2021: Metsätalastollinen vuosikirja 2021. Luonnonvarakeskus (Luke), Helsinki. 202 s.
- Pasanen, H., Juutilainen, K. & Siitonen, J. 2019. Responses of polypore fungi following disturbance-emulating harvesting treatments and deadwood creation in boreal Norway spruce dominated forests. *Scandinavian Journal of Forest Research* 34: 557–568.
- Pettersson, R.B. 1996. Effect of forestry on the abundance and diversity of arboreal spiders in the boreal spruce forest. *Ecography* 19: 221–228.
- Pettersson, R.B., Ball, J.P., Renhorn, K.-E., Esseen, P.-A. & Sjöberg, K. 1995. Invertebrate communities in boreal forest canopies as influenced by forestry and lichens with implications for passerine birds. *Biological Conservation* 74: 57–63.
- Pihlaja, M., Koivula, M. & Niemelä, J. 2006. Responses of boreal carabid beetle assemblages (Coleoptera, Carabidae) to clear-cutting and top-soil preparation. *Forest Ecology and Management* 222: 182–190.
- Siira-Pietikäinen, A.S., Haimi, J. & Siitonen, J. 2003. Short-term responses of soil macroarthropod community to clear felling and alternative forest regeneration methods. *Forest Ecology and Management* 172: 339–353.
- Siira-Pietikäinen, A. & Haimi, J. 2009. Changes in soil fauna 10 years after forest harvestings: Comparison between clear felling and green-tree retention methods. *Forest Ecology and Management* 258: 332–228.
- Siira-Pietikäinen, A., Haimi, J. & Siitonen, J. 2003. Short-term responses of soil macroarthropod community to clear felling and alternative forest regeneration methods. *Forest Ecology and Management* 172: 339–353.
- Siira-Pietikäinen, A., Pietikäinen, J., Fritze, H. & Haimi, J. 2001. Short-term responses of soil decomposer communities to forest management: clear felling versus alternative forest harvesting methods. *Canadian Journal of Forest Research* 31: 88–99.
- Sippola, A.-L., Lehesvirta, T. & Renvall, P. 2001. Effects of selective logging on coarse woody debris and diversity of wood-decaying polypores in eastern Finland. *Ecological Bulletins* 49: 243–254.
- Tonteri, T., Salemaa, M., Rautio, P., Hallikainen, V., Korpela, L. & Merilä, P. 2016. Forest management regulates temporal change in the cover of boreal plant species. *Forest Ecology and Management* 381: 115–124.

- Vanha-Majamaa, I., Shorohova, E., Kushnevskaia, H. & Jalonen, J. 2017. Resilience of understory vegetation after variable retention felling in boreal Norway spruce forests – A ten-year perspective. *Forest Ecology and Management* 393: 12–28.
- Versluijs, M., Eggers, S., Hjältén, J., Löfroth, T. & Roberge, J.-M. 2017. Ecological restoration in boreal forest modifies the structure of bird assemblages. *Forest Ecology and Management* 401: 75–88.

8. Vesistövaikutukset

Sakari Sarkkola ja Mika Nieminen

- Julkaistuja tutkimustuloksia jatkuvapeitteisen kasvatuksen vesistövaikutuksista ei vielä ole.
- Julkaisemattomien tutkimustulosten perusteella jatkuvapeitteinen kasvatusta voi vähentää metsänkasvatukseen haitallisia vesistövaikutuksia merkittävästi erityisesti ojitetuilla soilla.
- Kangasmailla jatkuvapeitteinen kasvatusta vähentää vesistökuormitusta todennäköisesti eniten niillä kohteilla, jotka jaksollisessa kasvatuksessa ojitusmätätetään.
- Vesiensuojelun näkökulmasta jatkuvapeitteinen kasvatusta on hyvin todennäköisesti jaksollista kasvatusta selvästi parempi metsänkasvatustapa.

8.1. Miten metsätalouden vesistökuormitus syntyy?

Metsänkäsittely aiheuttaa alueen alapuolisiin vesistöihin kuormitusta, jota syntyy toimenpiteiden aiheuttaman kiintoaineen ja ravinteiden liikkeellelähdön seurauksena. Tavanomaisessa jaksollisessa metsänkasvatuksessa eniten kuormitusta syntyy uudistushakkuista ja uudistamiseen liittyvästä maanmuokkauksesta (Nieminen 2003, 2004, Kaila ym. 2014, 2015, Nieminen ym. 2015), ojien kunnostamisesta (Joensuu ym. 2002, Nieminen ym. 2010, 2018ab) ja metsän lannoituksesta (Nieminen ja Ahti 1993, Piirainen ym. 2013). Merkittävin vesien rehevöitymistä lisäävä ravinne on fosfori, jota on luontaisesti vesistöissämme niukasti. Sitä huuhtoutuu maasta ja kasvillisuudesta sekä liuenneena epäorgaanisena fosfaattifosforina ja orgaanisena fosforina että kiintoaineen mukana siihen sitoutuneena.

Kangasmailla hakkuiden ja maanmuokkauksen aiheuttama kuormituksen kasvu johtuu eroosion lisääntymisestä, hakkuutähteiden hajotuksen tuottamasta ravinnelisästä ja puuston ja muun kasvillisuuden ravinteidenoton heikkenemisestä. Vesistökuormitus on suurinta heti ensimmäisinä vuosina toimenpiteen jälkeen ja pienenee ajan kuluessa. Ojitetuilla soilla hakkuiden aiheuttama kuormitus johtuu suurelta osin haihduttavan puuston poiston aiheuttamasta vedenpinnan noususta ja sen kiihdyttämien hapettomissa oloissa turpeessa tapahtuvien kemiallisten reaktioiden (ns. pelkistysreaktiot) aiheuttamasta aineiden vapautumisesta (Nieminen ym. 2017a). Myös eroosio voi olla merkittävää erityisesti ojitusmätätetyillä alueilla.

Soiden ensiojitukset olivat merkittäviä kuormitusta aiheuttavia toimenpiteitä. Aiemmin kuormituksen ajateltiin palautuvan luonnontilaisen suon kuormituksen tasolle 10–20 vuoden kuluessa (Finér ym. 2010), mutta nykyisen tiedon perusteella kuormitus jää pysyvästi luonnontilaisen soiden kuormitusta suuremmaksi (Nieminen ym. 2020a, Finér ym. 2021). Tätä luonnontilaisen soiden kuormitusta suurempaa vesistökuormitusta, jota syntyy silloinkin, kun ojitetuilla soilla ei ole pitkään aikaan tehty kuormitusta aiheuttavia toimenpiteitä, on alettu kutsua ojituslisäksi (Nieminen ym. 2020a). Ojituslisän aiheuttaman kuormituksen on arvioitu olevan kunnostusojituksen, lannoituksen ja hakkuiden aiheuttamaa kuormitusta moninkertaisesti suurempaa (Nieminen ym. 2017b, 2018c, Nieminen ym. 2020a, Finér ym. 2021).

Ojituslisän syntymekanismeja tunnetaan huonosti, mutta tiedetään, että turpeen hajotusnopeus riippuu vahvasti vedenpinnan tasosta eli hapen määrästä turpeessa (Ojanen ja Minkkinen 2019). Soiden puustojen kasvaessa niiden haihdunta kasvaa (Sarkkola ym. 2010), minkä

seurauksena myös syviin turvekerrokseen virtaa happea ja niiden hapellinen hajotustoiminta kiihtyy. Hapellisen hajotuksen seurauksena syvistä turvekerroksista vapautuvat ravinteet eivät välttämättä ole puuston ja muun kasvillisuuden hyödynnettävissä, jolloin niiden huuhtoutuminen voi kasvaa. Useiden viimeaikaisten tutkimusten perusteella ojitettujen soiden ravinnekuormitus voi edelleen kasvaa, kun ojituksesta kuluu yhä enemmän aikaa (Nieminen ym. 2017b, 2018c, Räike ym. 2020).

Ojitus voi lisätä ravinnekuormitusta soilla pitkäaikaisesti myös siksi, että se muuttaa valuntaoloja. Luonnontilaisena minerotrofiset, ravinteikkaat suot ovat saattaneet pidättää kivennäisravinteita yläpuolisilta alueilta valuvista vesistä. Kun alue on ojitettu, yläpuoliset vedet pääsevät valumaan ojia pitkin vesistöihin ilman, että niiden mukana kulkeutuvat ravinteet ovat minkäänlaisessa kontaktissa suon kasvillisuuden ja turpeen kanssa (Sallantaus 1988).

Niin kangasmaa- kuin suovaltaisillakin valuma-alueilla on viime aikoina nostettu esiin myös metsittämisen ja metsien puustobiomassan kasvun merkitys mahdollisena orgaanisen hiilen kuormituksen ja vesistöjen tummumisen lähteenä (Finstad ym. 2016, Skerlep ym. 2021, Nieminen ym. 2021). Metsien puustot ovat viime vuosikymmeninä kasvaneet voimakkaasti ja metsät ovat kuusettuneet, mikä on lisännyt orgaanisen neulas- ja juuristokarikkeen määrää metsissä, mikä taas on voinut lisätä orgaanisen hiilen huuhtoutumista ja vesien tummumista.

8.2. Metsätalouden toimenpiteiden vaikutukset

Kunnostusojituksen on arvioitu tuottavan yli 90 % metsätalouden toimenpiteiden kiintoainekuormituksesta (Finér ym. 2010). Kiintoaine (mineraalipartikkelit, orgaaninen aines) aiheuttaa vesistöissä veden sameutta ja tummumista sekä liettää vesistöjä. Kiintoaineen mukana huuhtoutuu myös partikkelimaista orgaanista ja epäorgaanista fosforia, jota on arvioitu olevan keskimäärin noin 0,1 % huuhtoutuvasta kiintoaineksestä (Finér ym. 2010). Kunnostusojituksen aiheuttama alapuolisiin vesistöihin kohdistuva kiintoaineen kuormitushuippu on 1–2 vuotta toimenpiteen jälkeen (Joensuu 2002, Nieminen ym. 2010).

Vaikka kunnostusojitus lisää jonkin verran mineraalityypen (nitraattityppi, ammoniumtyppi) huuhtoutumista, kokonaistyyppihuuhtouma ei kuitenkaan yleensä kasva, koska orgaanisen tyyppien huuhtoutuminen tavallisesti vähenee kuivatuksen tehostumisen seurauksena. Myöskään veden väriin vaikuttavan liuenneen orgaanisen hiilen (DOC) huuhtoumat eivät kasva, vaan voivat jopa pienentyä (Joensuu 2002, Nieminen ym. 2018a). Pitkällä ajanjaksolla orgaanisen hiilen huuhtoumat ovat kuitenkin suurempia ojitetuilta kuin luonnontilaisilta soilta (Nieminen ym. 2021).

Uudistushakkuut turvemailla lisäävät kaikkien pääravinteiden huuhtoutumista. Turvemaiden uudistushakkuissa huuhtoutuu esimerkiksi tyypeä noin viisi kertaa enemmän kuin kivennäismailta (Alatalo 2000, Nieminen 2004, Finér ym. 2010). Turvemailla haihduttavan puuston poisto nostaa vedenpintaa nopeasti 20–40 cm, mikä lisää huomattavasti ravinteiden ja orgaanisen hiilen huuhtoutumisriskiä. Vedenpinnan noustessa eli aiemmin hapellisen kerroksen muuttuessa hapettomaksi, maassa käynnistyy pelkistysreaktioita, jotka voivat lisätä varsinkin fosforin, raudan, orgaanisen hiilen ja tyyppien sekä ammoniumin huuhtoutumista (Kaila ym. 2014, Nieminen ym. 2015, Koskinen ym. 2017). Erytisesti runsasravinteisilta kasvupaikoilta on raportoitu suuria huuhtoumia uudistushakkuiden ja myös ennallistamisen jälkeen (Nieminen ym. 2015, 2020b).

Vedenpinnan nousun aiheuttamia huuhtoumia on vaikea torjua nykyisin käytössä olevilla vesiensuojelumenetelmillä etenkin, koska ne eivät pidätä liuenneessa orgaanisessa muodossa

huuhtoutuvaa hiiltä ja ravinteita. Vedenpinnan nousua voidaan torjua kuivatusta tehostamalla ojituksin, mutta tämä puolestaan lisää kiintoaineen, partikkelimaisten ravinteiden sekä raskasmetallien kuormia (Joensuu ym. 2002, Nieminen ym. 2010) ja toisaalta tehokas kuivatus lisää myös turpeen hajotusta. Etenkin syvät kivennäismaahan ulottuvat ojat aiheuttavat huomattavaa huuhtoutumista.

Toinen vaihtoehto on ylläpitää ojitusalueella jatkuvasti haihduttamiskykyistä puustoa, joka hillitsee hakkuiden aiheuttamaa vedenpinnan nousua. Tämä on mahdollista saavuttaa jatkuvapeitteisen metsänkasvatuksen menetelmin (poimintahakkuut, kaistale- ja pienaukkohakkuut). Tarkoituksena on, että puustopääomaa ei hakattaisi missään vaiheessa niin pieneksi, että vedenpinta nousisi voimakkaasti koko metsikkökuvion alueella (ks. Nieminen ym. 2018d). Kasvupaikalle jäävä puusto voi vähentää huuhtoutumista myös sieppaamalla osan esimerkiksi hakkuutähteistä vapautuvista ravinteista. Jatkuvapeitteisen kasvatuksen ajatellaan vähentävän huuhtoumia myös siksi, se vähentäisi kunnostusojitustarvetta ja myös siksi, että turpeen vedenpinta olisi keskimäärin jonkin verran korkeammalla kuin kiertoaikametsätalouden kasvatettavissa metsiköissä. Tämä vähentäisi turpeen hajotusta ja ravinteiden vapautumista erityisesti syvissä turvekerroksissa.

8.3. Voidaanko jatkuvapeitteisellä metsänkasvatuksella vähentää vesistökuormitusta?

Kivennäismailla harjoitettavan jatkuvapeitteisen metsänkasvatuksen vesistövaikutuksista ei ole olemassa yhtään tutkimustulosta, ja turvemaitakin on olemassa vasta muutamia vielä julkaisemattomia tuloksia. Jatkuvapeitteisen kasvatuksen hakkuiden vesistövaikutuksista ei voida esittää arvioita myöskään jaksollisen kasvatuksen harvennushakkuiden perusteella, koska niidenkään vesistövaikutuksia ei ole tutkittu. Ottaen huomioon, että kangasmailla avohakkuidenkin vaikutukset on arvioitu suhteellisen vähäisiksi, myös jatkuvan kasvatuksen vesistövaikutusten voidaan odottaa olevan vähäisiä.

Selkeää hyötyä jatkuvasta kasvatuksesta kangasmailla, erityisesti kiintoainekuormituksen näkökulmasta, on todennäköisesti sellaisilla alavimmilla alueilla, jotka jaksollisessa kasvatuksessa avohakkuun jälkeen yleensä ojitusmätätetään. Tämänkään vaikutusta kangasmaiden vesistökuormitukseen ei kuitenkaan voida arvioida, koska kangasmaiden ojitusmätästyksen vesistövaikutuksia ei tunneta.

Turvemaiden jatkuvapeitteisen kasvatuksen käsittelyjen vaikutuksia on selvitetty Luonnonvarakeskuksen perustamilla kenttäkokeilla runsasravinteisten korpien poimintahakkuiden jälkeen (kaksi koetta Tammelassa ja Janakkalassa) sekä rämemänniköiden kaistalehakkuun jälkeen (yhteensä viisi koetta Parkanossa, Mänttä-Vilppulassa ja Tuusulassa). Pohjavedenpinnan kasvukaudenaikaista vaihtelua ja keskeisiä valumaveden laatutunnuksia seurattiin 1–3 vuotta ennen hakkuuta sekä 3–4 vuotta hakkuun jälkeen. Hakkuiden vaikutusta vedenpinnan tasoon selvitetiin myös hydrologisella mallinnuksella hyödyntämällä käsin mitattuja tietoja vedenpinnan tasosta (Leppä ym. 2020).

Tutkimukset osoittivat, että erityisesti poimintahakkuilla on mahdollista säädellä turvemaiden vedenpintaa niin, että hakkuun jälkeen ei välttämättä tarvita kunnostusojitusta ja että vedenpinnan nousun vaikutuksesta aiheutuvia huuhtoumia ei synny samassa määrin kuin avohakkuissa. Kaistalehakkuilla ja pienaukoissa vedenpinnan säätely on vaikeampaa ja hyvin tehokas säätely edellyttäisi niin kapeita kaistoja tai pienikokoisia aukkoja, että se ei ole uudistumisen

kannalta välttämättä järkevää varsinkaan valopuulajeilla, kuten männyllä. Hakkuita suunniteltaessa on otettava huomioon muitakin tekijöitä kuin vain kasvupaikan kuivatustilan hallinta.

Rämeiden kaistalehakuukokeiden fosforikuormat olivat alhaisempia kuin monien avohakkuukokeiden kuormat, mutta eivät kuitenkaan selvästi alhaisempia kaikkiin kokeisiin verrattuna. Vielä julkaisemattomien tulosten perusteella poistetun puuston kokonaismäärä suovaltaisella valuma-alueella voi olla tärkeämpi huuhtoumia selittävä tekijä kuin se, ovatko hakkuut avohakkuita, kaistale- tai pienaukkohakkuita tai poimintahakkuita. Tämä on loogista siinä mielessä, että poistetun puuston määrä pitkälti ratkaisee sen, paljonko alueelle jää hakkuutähteitä ja kuinka paljon suon vedenpinta nousee hakkuun jälkeen. Erityisesti runsasravinteisten ojitettujen turvemaiden poimintahakkuista tarvitaan lisää tutkimustietoa.

Viitteet

- Alatalo, M. 2000. Metsätaloustoimenpiteistä aiheutunut ravinne- ja kiintoainekuormitus. Suomen ympäristö 381: 1–64.
- 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 kuormituksen laskenta. Suomen Ympäristö 10/2010. Edita Prima Oy, Helsinki. 33 s.
- Finér, L., Lepistö, A., Karlsson, K., Räike, A., Härkönen, L., Huttunen, M., Joensuu, S., Kortelainen, P., Mattsson, T., Piirainen, S., Sallantausta, T., Sarkkola, S., Tattari, S. & Ukonmaanaho, L. 2021. Drainage for forestry increases N, P and TOC export to boreal surface waters. *Science of Total Environment* 762: 144098.
- Finstad, A., Andersen, T., Larsen, S., Tominaga, K., Blumentrath, S., de Wit, H.A., Tømmervik, H. & Hessen, D.O. 2016. From greening to browning: Catchment vegetation development and reduced S-deposition promote organic carbon load on decadal time scales in Nordic lakes. *Scientific Reports* 6, 31944.
- Joensuu, S., Ahti, E. & Vuollekoski, M. 2002. Effects of ditch network maintenance on the chemistry of runoff water from peatland forests. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 17(3): 238–247.
- Kaila, A., Sarkkola, S., Laurén, A., Ukonmaanaho, L., Koivusalo, H., Xiao, L., O’Driscoll, C., Asam, 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.
- Kaila, A., Laurén, A., Sarkkola, S., Koivusalo, H., Ukonmaanaho, L., O’Driscoll, C., Xiao, L., Asam, Z. & Nieminen, M. 2015. Effect of clear-felling and harvest residue removal on nitrogen and phosphorus export from drained Norway spruce mires in southern Finland. *Boreal Environment Research* 20: 693–706.
- Koskinen, M., Tahvanainen, T., Sarkkola, S., Walle Menberu, M., Laurén, A., Sallantausta, T., Marttila, H., Ronkanen, A-K., Parviainen, M., Tolvanen, A., Koivusalo, H. & Nieminen, M. 2017. Restoration of nutrient-rich forestry-drained peatlands poses a risk for high exports of dissolved organic carbon, nitrogen, and phosphorus. *Science of the Total Environment* 586: 858–869.

- Leppä, K., Hökkä, H., Laiho, R., Launiainen, S., Lehtonen, A., Mäkipää, R., Peltoniemi, M., Saarinen, M., Sarkkola, S. & Nieminen, M. 2020. Selection Cuttings as a Tool to Control Water Table Level in Boreal Drained Peatland Forests. *Frontiers in earth science* 8: 576510.
- Nieminen, M. 2003. Effects of clear-cutting and site preparation on water quality from a drained Scots pine mire in southern Finland. *Boreal Environment Research* 8: 53–59.
- 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 2: 123–132.
- Nieminen, M. & Ahti, E. 1993. Talvilannoituksen vaikutus ravinteiden huuhtoutumiseen karulta suolta. *Folia Forestalia* 814: 22 s.
- Nieminen, M., Ahti, E., Koivusalo, H., Mattsson, T., Sarkkola, S. & Laurén, A. 2010. Export of suspended solids and dissolved elements from peatland areas after ditch network maintenance in south-central Finland. *Silva Fennica* 44(1): 39–49.
- 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 and Soil Pollution* 226:181.
- Nieminen, M., Sarkkola, S. & Laurén, Ari. 2017a. 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.
- Nieminen, M., Sallantausta, T., Ukonmaanaho, L., Nieminen, T. & Sarkkola, S. 2017b. Nitrogen and phosphorus concentrations in discharge from drained peatland forests are increasing. *Science of the Total Environment* 609: 974–981.
- Nieminen, M., Palviainen, M., Sarkkola, S., Laurén, A., Marttila, H. & Finér, L. 2018a. A synthesis of the impacts of ditch network maintenance on the quantity and quality of runoff from drained boreal peatland forests. *Ambio* 47: 523–534.
- Nieminen, M., Piirainen, S., Sikström, U., Löfgren, S., Marttila, H., Sarkkola, S., Laurén, A. & Finér, L. 2018b. Ditch network maintenance in peat-dominated boreal forests: Review and analysis of water quality management options. *Ambio* 47: 535–545.
- Nieminen, M., Sarkkola, S., Hellsten, S., Marttila, H., Piirainen, S., Sallantausta, T. & Lepistö, A. 2018c. Increasing and Decreasing Nitrogen and Phosphorus Trends in Runoff from Drained Peatland Forests—Is There a Legacy Effect of Drainage or Not? *Water, Air, & Soil Pollution* 229 (286): 10 s.
- Nieminen, M., Hökkä, H., Laiho, R., Juutinen, A., Ahtikoski, A., Pearson, M., Kojola, S., Sarkkola, S., Launiainen, S., Valkonen, S., Penttilä, T., Saarinen, M., Haahti, K., Mäkipää, R., Miettinen, J. & Ollikainen, M. 2018d. Could continuous cover forestry be an economically and environmentally feasible management option on drained boreal peatlands? *Forest ecology and management* 424: 78–84.
- Nieminen, M., Sarkkola, S., Haahti, K., Sallantausta, T., Koskinen, M. & Ojanen, P. 2020a. Metsäojitettujen soiden typpi- ja fosforikuormitus Suomessa. Summary: Forestry on drained peatlands as a source of surface water nitrogen and phosphorus in Finland. *Suo-Mires and Peat* 71: 1–13.

- Nieminen, M., Sarkkola, S., Tolvanen, A., Tervahauta, A., Saarimaa, M. & Sallantaus, T. 2020b. Water quality management dilemma: Increased nutrient, carbon, and heavy metal exports from forestry-drained peatlands restored for use as wetland buffer areas. *Forest ecology and management* 465: 9 s.
- Nieminen, M., Sarkkola, S., Sallantaus, T., Hasselquist, E. M. & Laudon, H. 2021. Peatland drainage - a missing link behind increasing TOC concentrations in waters from high latitude forest catchments? *Science of the Total Environment* 774: 7 s.
- Ojanen, P. & Minkkinen, K. 2019. The dependence of net soil CO₂ emissions on water table depth in boreal peatlands drained for forestry. *Mires Peat* 24 (27): 1–8.
- Piirainen, S., Domisch, T., Moilanen, M. & Nieminen, M. 2013. Long-term effects of ash fertilization on runoff water quality from drained peatland forests. *Forest Ecology and Management* 287: 53–66.
- Räike, A., Taskinen, A. & Knuuttila, S. 2019. Nutrient export from Finnish rivers into the Baltic Sea has not decreased despite water protection measures. *Ambio* 49: 460–474.
- Sallantaus, T. 1988. Water quality of peatlands and man's influence on it. *Suomen Akatemian julkaisuja* 5/1988: 80–98.
- Sarkkola, S., Hökkä, H., Koivusalo, H., Nieminen, M., Ahti, E., Päivänen, J. & Laine, J. 2010. Role of tree stand evapotranspiration in maintaining satisfactory drainage conditions in drained peatlands. *Canadian Journal of Forest Research* 40: 1485–1496.
- Skerlep, M. 2021. Changing land cover as a driver of surface water browning. Academic Dissertation. Lund University. 65 s. <https://portal.research.lu.se/en/publications/changing-land-cover-as-a-driver-of-surface-water-browning>

9. Metsien hiilen kierto

Anna Repo, Aleksi Lehtonen ja Sakari Sarkkola

- Kysymykseen, onko jaksollinen vai jatkuvapeitteinen kasvatus parempi metsien hiilitaloudelle, ei ole yksiselitteistä vastausta.
- Tutkimusten mukaan jatkuvapeitteinen kasvatus voi lisätä metsien hiilensidontaa ja -varastointia verrattuna tasaikäiseen kasvatukseen. Kuitenkin myös tasaikäisenä kasvatettu metsä voi toimia sekä hiilen nieluna että lähteenä.
- Jatkuvapeitteisen kasvatuksen ”hiilihyöty” voi pienentyä, jos jatkuvan kasvatuksen menetelmin käsitellyissä metsissä puuston tilavuuskasvu on pienempää kuin tasaikäisinä kasvatetuissa metsissä.
- Hiilitaseen kannalta puuston kasvu, hajotustoiminta, erilaiset häiriöt, puutuotteiden elinkaari ja fossiilisten raaka-aineiden korvausvaikutukset voivatkin olla hiilitaseen kannalta merkittävämpiä seikkoja kuin valittu metsänkäsittelymenetelmä.
- Rehevillä ojitetuilla turvemaidella jatkuvapeitteinen kasvatus vaikuttaa lupaavalta keinolta hidastaa maaperän turvevaraston vähenemistä pitkällä aikavälillä. Turpeen hiilivaraston suojeleminen olisi tärkeää, koska turve on ohutturpeisillakin ojitusalueilla hyvin merkittävä hiilivarasto, joka on moninkertaisesti suurempi kuin puustoon sitoutuneen hiilen määrä.

9.1. Metsänkasvatusmenetelmien hiilivaikutusten vertailu on haasteellista

Suunniteltaessa talousmetsien toimia, jotka hidastavat ilmastonmuutosta, on olennaista tarkastella sekä metsiin varastoitunutta hiilimäärää että sen kehittymistä. Puiden ilmakehästä sitoma hiilidioksidi varastoituu hiilenä biomassaan ja maaperään. Puuston ja maaperän hiilivarastot yhdessä muodostavat metsän hiilivaraston. Kun puuston ja maaperän yhteenlaskettu hiilivarasto kasvaa, metsä toimii hiilinieluna.

Metsälain muutoksen antama mahdollisuus jatkuvapeitteisen kasvatuksen harjoittamiselle tasaikäisen kasvatuksen rinnalla on herättänyt kysymyksiä myös näiden kahden kasvatusmenetelmän hiilivaikutusten eroista. Julkisuudessa on esitetty näkemyksiä molempien menetelmien puolesta, että sekä jaksollinen että jatkuvapeitteinen metsänkasvatus olisivat toistaan parempia ilmastonmuutoksen hillinnän näkökulmasta. Viime vuosina aihetta on tutkittu mallinnuksen ja mittausten keinoin Pohjoismaissa sekä Pohjois-Amerikassa. Vaikka aikaisempaa tutkimusta hiilitaseen eri komponenteista sekä jaksollisessa että jatkuvapeitteisessä kasvatuksessa onkin tehty, kysymykseen, onko jaksollinen vai jatkuvapeitteinen kasvatus parempi metsien hiilitaloudelle, ei ole kuitenkaan yksiselitteistä vastausta.

Vertailuja jatkuvapeitteisen ja jaksollisen kasvatuksen hiilitalousvaikutuksista niin kivennäis- kuin turvemaitakaan on toistaiseksi vähän, ja tutkimusten johtopäätökset osittain poikkeavat toisistaan. Tutkimusten johtopäätöksiin kuitenkin vaikuttavat muun muassa tarkastellut hiilivarastot, kasvu- ja hajoamismallit, mahdollinen fossiilisten raaka-aineiden korvausvaikutus ja vertailun lähtötilanne. Tutkimuksissa on tarkasteltu joko vain puuston hiilivaraston kehitystä (mm. Nilsen ja Strand 2013), sekä puuston että maaperän hiilivaraston kehitystä (mm. Peura ym. 2018) ja osassa on otettu huomioon myös mahdollinen puutuotteiden ns. korvausvaikutus

(mm. Pukkala ym. 2011, Pukkala 2014, Lundmark ym. 2016). Tutkimuksia vertailtaessa huomionarvoista on myös valittu tarkastelujakso, joka vaikuttaa johtopäätöksiin. Esimerkiksi norjalaisessa Nilsenin ja Strandin (2013) tutkimuksessa puuston hiilivarasto oli mittaushetkellä noin kolme kertaa suurempi jaksollisessa kasvatuksessa kuin jatkuvapeitteisessä kasvatuksessa. Tätä selittää kolminkertainen ero puuston tilavuudessa mittaushetkellä, jolloin tasaikäisen puuston ikä oli 81 vuotta. Tällöin vertailu kasvatusmenetelmien välillä ei ole mielekäs. Kumpaakin metsänkasvatusketjua voidaan myös toteuttaa useilla eri hakkuutavoilla, mikä osaltaan vaikeuttaa vertailua.

9.2. Jatkuvapeitteinen ja jaksollinen kasvatus kangasmailla

Vain muutamat tutkimukset vertailevat jatkuvapeitteisen ja jaksollisen kasvatuksen vaikutusta metsien hiilensidontaan puustoon ja maaperään kangasmailla. Esimerkiksi Peuran ym. (2018) tutkimuksessa jatkuvapeitteisessä kasvatuksessa keskimääräinen vuotuinen hiilensidonta maisematasolla ja 100 vuoden tarkastelujaksolla oli 0,68 tC/ha vuodessa, kun hakkuuta toteutettiin noin viidentoista vuoden välein laskien puuston tiheys 10–12 m²/ha pohjapinta-alaan ja jaksollisessa kasvatuksessa se oli 0,23 tC/ha vuodessa. Tasaikäisessä kasvatuksessa päätehakkuun jälkeen metsä on hiilen lähde, kunnes puuston kasvaessa sitoutuva hiili ylittää hakkuutähteiden hajoamisessa vapautuvan hiilimäärän. Tämän hiililähdevaiheen lyhentymisen tai puuttumisen sekä maaperähiilen varaston kasvu voivat selittää jatkuvapeitteisen kasvatuksen keskimäärin suurempaa hiilensidontaa. Lisäksi tässä tutkimuksessa metsämaisema siirtyi simulaatiojakson aikana jatkuvapeitteiseen kasvatukseen, ja hakkuukertymä oli jatkuvapeitteisessä kasvatuksessa noin 15 % pienempi kuin jaksollisessa kasvatuksessa. Suomen kansallisen kasvihuonekaasuinventaarion menetelmin arvioitu keskimääräinen hiilensidonta kangasmailla on vaihdellut 0,45–0,51 tC/ha/v vuosina 1990 ja 2017 (EU NIR 2019). Toisessa tutkimuksessa jatkuvapeitteisen kasvatuksen hakkuuta tehtiin 10–30 vuoden välein laskien puuston tiheys 8–16 m²/ha välille (Shanin ym. 2016). Tässä tutkimuksessa nettoekosysteemituotanto ilman hakattua biomassaa vaihteli erilaisissa jatkuvapeitteisen kasvatuksen käsittelyissä –3– +2 tC/ha/v. Huomionarvioista on, että tässä tutkimuksessa peitteisenä kasvatettu metsä toimi sekä hiilen lähteenä että nieluna.

Hakkuiden ajoittuminen ja voimakkuus vaikuttavat myös hiilisyötteeseen maaperään (karike, juuret ja hakkuutähteet) ja täten maaperän hiilivarastoon. Maaperän hiilivarastomuutoksilla voi olla merkittäviä vaikutuksia metsien hiilitalouteen, sillä borealisella vyöhykkeellä maaperä voi sisältää kaksi kolmasosaa kokonaishiilivarastosta, turvemilla jopa reilusti enemmän. Pitkillä tarkastelujaksoilla jatkuvapeitteisen metsänkasvatuksen on esitetty kasvattavan maaperän hiilivarastoa, koska karikesyöte maaperään pysyy jatkuvana ja päätehakkuun jälkeisen avoimen vaiheen puuttuessa maan pinta ei altistu korkeille lämpötiloille tai maanmuokkauksen vaikutuksille, jotka voivat lisätä hiilihäviötä kangasmailla (Thornley ja Cannell, 2000; Harmon ja Marks, 2002). Maaperämittauksia hyödyntävässä norjalaistutkimuksessa maaperän hiilivarasto oli jatkuvapeitteisessä kasvatuksessa suurempi kuin tasaikäisenä kasvatetussa metsässä (Nilsen ja Strand, 2013). Vastaava tulos saatiin mallinnustutkimuksessa, jossa vertailtiin jatkuvapeitteisen ja jaksollisen kasvatuksen keskimääräisiä hiilivarastoja metsämaisematasolla Keski-Suomessa sadan vuoden tarkastelujakson yli (Peura ym. 2018). Jatkuvapeitteinen kasvatus myös tasoittaa maaperän ja karikekerroksen hiilivaraston muutoksia (Lundmark ym. 2016, Peura ym. 2018). Siirtyminen jatkuvapeitteiseen kasvatukseen voi kuitenkin myös pienentää maaperän hiilivarastoa, jos käsittely on intensiivistä. Shanin ym. (2016) arvioivat EFIMOD- ja ROMUL-mallien avulla, että yläharvennusten toteuttaminen 10–20 vuoden välein siten, että puuston pohjapinta-ala laskee alle 12 m²/ha, pienensi maaperän hiilivarastoa verrattuna runsaspuustoisempaan lähtötilanteeseen. Pohjapinta-alan maltillisempi lasku (käsittelyn jälkeinen pohjapinta-ala

16 m²/ha) johti maaperän hiilivaraston kasvuun riippumatta harvennustiheydestä. Jatkovapeitteinen kasvatusta voi siis kasvattaa maaperän hiilivarastoa, mutta kokonaishiilihyöty voi pienentyä, mikäli puuston tilavuuskasvu on jatkovapeitteisen kasvatuksen menetelmin käsitellyissä puustoissa pienempää kuin jaksollisessa kasvatuksessa. Myös Kellomäki ym. (2021) simulointitutkimuksessa saatiin tulokseksi että, Keski-Suomalaisessa kuusikossa pitkällä aikavälillä (401–1000 v.) maaperän hiilivarasto oli selvästi suurempi jatkovapeitteisessä metsänkasvatuksessa verrattuna jaksolliseen metsänkasvatukseen, kun taas puuston hiilivarasto oli noin kaksi kertaa suurempi tasaikäisenä kasvatetussa metsässä. Myös Lagergren ym. (2017) työssä, jossa simuloitiin LPJ-guess mallilla Ruotsissa eri käsittelyvaihtoehtoja muuttuvassa ilmastossa, havaitsivat, että erot metsien hiilivarastoissa ja hiilensidonnassa jaksollisen ja jatkovapeitteisen metsänkasvatuksen välillä olivat vähäiset. Jatkovapeitteinen kasvatusta voi siis kasvattaa maaperän hiilivarastoa, mutta kokonaishiilihyöty voi pienentyä, mikäli puuston tilavuuskasvu on jatkuvan kasvatuksen menetelmin käsitellyissä puustoissa pienempää kuin jaksollisessa kasvatuksessa.

9.3. Jatkovapeitteinen ja jaksollinen kasvatusta turvemailla

Turvemailla turpeeseen sitoutunut hiili muodostaa tavallisesti ylivoimaisesti suurimman ekosysteemin hiilivaraston myös ohutturpeisilla alueilla. Tällä on vaikutusta myös metsätalouden toimenpiteiden hiilipäästöjen vähentämistavoitteisiin. Metsikkötasolla hiilitase määräytyy ekosysteemiin virtaavan hiilen (nettoprimaariuotanto), ekosysteemistä ulosvirtaavan hiilen (heterotrofinen hengitys) ja hakkuiden erotuksena. Ojitetuilla soilla vedenpinnan yläpuolella olevan turvekerroksen ns. vanha turve on jatkuva hiilen lähde.

Suoalueiden välinen ja jopa mittauspisteiden välinen vaihtelu hiilikaasupäästöissä on suurta. Edelleen on paljon epävarmuutta siitä, voidaanko jonkun tietyn ojitusaluekasvupaikan sanoa olevan hiilen lähde vai nielu. Hiilitaseen muutosten kannalta voidaan kuitenkin erottaa kaksi päävaikutussuuntaa, joissa hiilen nettopäästöt muuttuvat voimakkaasti. Näitä ovat kasvupaikan ravinteisuustaso ja vedenpinnan syvyys: mitä rehevämpi kasvupaikka ja mitä syvemmillä vedenpinta on, sitä nopeammin turve yleensä hajoaa ja siihen sitoutunut hiili vapautuu ilmakehään (Minkkinen ym. 2020, Ojanen ym. 2013, Ojanen ym. 2019). Päästöt näyttävät lisääntyvän varsinkin, jos vedenpinta laskee yli 30 cm syvyydelle (Ojanen ym. 2013). Toisaalta taas uudistushakkuun jälkeen lähelle maanpintaa (0–20 cm syvyydelle) nouseva vedenpinta lisää metaanipäästöjä (Ojanen ym. 2010, Korhonen ym. 2020) (Kuva 19).



Kuva 19. Päätehakattu (ylempi kuva, jaksollinen metsänkasvatus) ja paimintahakkuulla käsitelty korpikuusikko (alakuva, jatkuvapeitteisen kasvatuksen käsittely) rehevällä ojitetulla ruohoturvekankaan kasvupaikalla. Kuvat: Sakari Sarkkola.

Rehevimmillä kasvupaikoilla hiilen hävikki turpeesta jatkuu niin kauan, kunnes turve on kokonaan hajonnut. Puustoon sitoutuvan hiilen määrä ei välttämättä riitä pitkällä aikavälillä kompensoimaan turpeesta tapahtuvaa hävikkiä, ja viimeistään kasvupaikalta korjatun puun loppukäyttötapa vaikuttaa siihen, kuinka kestävä metsätalous on ilmastonmuutoksen hillinnän näkökulmasta kullakin kasvupaikalla (Ojanen 2015). Jos jatkuvapeitteisen metsänkasvatuksen menetelmillä pystytään säätelemään turvemaan kasvupaikan vedenpinnan tasoa siten, että se ei painu hiilipäästöjen muodostumisen kannalta liian syvälle tai nouse liian korkealle, kuten usein käy uudistushakkuiden jälkeen, niin menetelmillä saattaa olla merkittäviäkin mahdollisuuksia ainakin metsikkö- tai suoaluetasolla hillitä turpeen hajoamista ja vähentää maaperästä tulevia päästöjä. Ensimmäiset havainnot jatkuvapeitteisen metsänkasvatuksen vaikutuksista turvemaan hiilipäästöihin tukevat tätä teoriaa. Korkiakosken ym. (2020) tutkimuksessa Tammelan Lettosuolla havaittiin, että jatkuvapeitteisen kasvatuksen hakkuin (poimintahakkuu, poistuma noin 70 % kokonaistilavuudesta) käsitelty koeala oli pieni hiilidioksidin lähde, mutta verrokkina olleella avohakkuualueella hiilidioksidin nettopäästöt olivat kuitenkin viisi kertaa tätä suurempia. Vastaavasti kasvupaikka säilyi edelleen metaanin nieluna, kun taas avohakatusta alueesta tuli pieni metaanin lähde (Korkiakoski ym. 2020). Myös Mäkirannan ym. (2010) ja Korkiakosken ym. (2020) mittauksissa huomattiin, että avohakkuiden N₂O päästöt ovat moninkertaiset verrattuna puustoisten soiden vastaaviin päästöihin. Shaninin ym. (2021) prosessimallinnukseen perustuvan simulointitutkimuksen mukaan poimintahakkuin käsitelty runsasravinteinen korpi-kuusikkoekosysteemi säilyi hiilen nieluna tarkastellulla 240 vuoden jaksolla hakkuista huolimatta, mikäli puuston pohjapinta-ala ei laskenut hakkuissa liian pieneksi (<6 m²/ha).

9.4. Jatkuvapeitteinen ja tasaikäinen kasvatus ja puutuotteet

Hiilitasetarkasteluissa on syytä ottaa huomioon myös puutuotteet, niiden korvausvaikutus sekä tuotantoketjun energian kulutus. Jatkuvapeitteisen kasvatuksen hiilitase voi olla jaksollista kasvatusta parempi hakkuukertymän suuremman tukkipuun osuuden vuoksi, koska siitä voi seurata hiilen suurempaa varastoitumista pitkäikäisiin puutuotteisiin ja tuotantoketjujen pienempiä hiilipäästöjä (Pukkala ym. 2011, Pukkala 2014, 2016). Myös puun kuljetuksen ja puutuotteiden tuotannon hiilipäästöjen huomioonottaminen voi kääntää johtopäätöksen jatkuvaa kasvatusta suosivaksi (Pukkala 2014). Yhdysvalloissa Appalakeilla tehdyssä havupuuvaltaisten vuoristometsien (punakuusi ja virginianpihta) maisematason mallinnustutkimuksessa puuston ja puutuotteiden keskimääräinen kokonaishiilivarasto oli simulointijakson alussa suurempi jatkuvapeitteisessä kasvatuksessa, mutta sen lopussa suurempi jaksollisessa kasvatuksessa. Keskimääräinen hiilivarasto yli 100 vuoden tarkasteluajan oli samaa suuruusluokkaa molemmissa tapauksissa, mutta tasaikäisinä käsiteltyjen metsien hiilivarasto oli noin 9 % suurempi (Moore ym. 2012). Mahdollinen heikompi puuston kasvu jatkuvapeitteisessä kasvatuksessa voi puolestaan kääntää hiilitasetarkastelun jaksollista kasvatusta suosivaksi kangasmailla (Lundmark ym. 2016). Hiilitaseen kannalta puuston kasvu, biomassan hajotustoiminta, avohakkuualueiden kasvihuonekaasupäästöt, erilaiset häiriöt, puutuotteiden elinkaari ja fossiilisten raaka-aineiden korvausvaikutukset voivatkin olla merkittävämpiä seikkoja kuin valittu metsänkäsittelymenetelmä.

9.5. Tutkimustarpeet

Käsittelymenetelmien vertailu edellyttää hyvää ymmärrystä hiilitaseen eri komponenteista. Jatkuvapeitteisen kasvatuksen vaikutuksesta tuhoriskeihin, luonnonpoistumaan tai karikesadantaan tiedetään vähän, ja arvioita tehdään osin tasaikäiseen kasvatukseen perustuvien mallien avulla. Jatkuvapeitteisen metsänkasvatuksen osalta ei vielä tunneta riittävän hyvin, kuinka peitteinen metsä vaikuttaa mikroilmastoon tai alentaa maaperän lämpötilaa ja täten mahdollisesti

hidastaa orgaanisen aineen hajoamista verrattuna uudistushakkuun jälkeiseen tilanteeseen. Lisäksi jatkuvapeitteisessä kasvatuksessa voidaan välttää voimaperäistä maanmuokkausta, jolloin orgaanista pintakerrosta ei rikota. Tällöin orgaanisen aineen hajoaminen saattaa olla hitaampaa. Tätä tai mahdollista järeän lahoppuun tahatonta murskaantumista esimerkiksi toistuvissa poimintahakkuissa ei kuitenkaan ole vielä tutkittu. Myös ojitettujen soiden maaperän kasvihuonekaasudynamiikka eri kasvatusmenetelmissä vaatii lisätutkimusta. Jatkuvapeitteisen kasvatuksen vaikutusta maaperän hiilivaraston dynamiikkaan tulisi tutkia sekä mittausten että riittävän yksityiskohtaisten mallien avulla ottaen huomioon eri kasvupaikkojen ominaisuuksien vaihtelun, sekä puuston eri kehitysvaiheet avohakkuualasta järeään puustoon. Lisäksi tutkimuksen tulisi kattaa pintamaan lisäksi syvemmät kerrokset, jotta voidaan luotettavammin arvioida esimerkiksi maanmuokkauksen vaikutusta hiilivarastoon.

Viitteet

- EU NIR 2019. European Union. National Inventory Report (NIR). <https://unfccc.int/process-and-meetings/transparency-and-reporting/reporting-and-review-under-the-convention/greenhouse-gas-inventories-annex-i-parties/national-inventory-submissions-2019> (21.1.2020)
- Harmon, M.E. & Marks, B. 2002. Effects of silvicultural practices on carbon stores in Douglas-fir western hemlock forests in the Pacific Northwest, U.S.A.: results from a simulation model, *Canadian Journal of Forest Research*, 32(5): 863–877.
- Kellomäki, S., Väisänen, H., Kirschbaum, M.U., Kirsikka-Aho, S. & Peltola, H. 2021. Effects of different management options of Norway spruce on radiative forcing through changes in carbon stocks and albedo. *Forestry: An International Journal of Forest Research* 94(4): 588-597.
- Korkiakoski, M. 2020. The short-term effect of partial harvesting and clearcutting on greenhouse gas fluxes and evapotranspiration in a nutrient-rich peatland forest. PhD thesis. Finnish Meteorological Institute.
- Lagergren, F. & Jönsson, A.M. 2017. Ecosystem model analysis of multi-use forestry in a changing climate. *Ecosystem Services* 26: 209–224.
- Lundmark, T., Bergh, J., Nordin, A., Fahlvik, N. & Chandra Poudel, B. 2016. Comparison of carbon balances between continuous-cover and clear-cut forestry in Sweden. *Ambio* 45(S2): 203–213.
- Minkkinen, K., Ojanen, P., Koskinen, M. & Penttilä, T. 2020. Nitrous oxide emissions of undrained, forestry-drained, and rewetted boreal peatlands. *Forest Ecology and Management* 478: 118494.
- Moore, P.T., DeRose, R.J., Long, J.N. & van Miegroet, H. 2012. Using Silviculture to Influence Carbon Sequestration in Southern Appalachian Spruce-Fir Forests. *Forests*, 3(2): 300–316.
- Mäkiranta, P., Riutta, T., Penttilä, T. & Minkkinen, K. 2010. Dynamics of net ecosystem CO₂ exchange and heterotrophic soil respiration following clear felling in a drained peatland forest. *Agricultural and Forest Meteorology* 150(12): 1585–1596.

- Nilsen, P. & Strand, L.T. 2013. Carbon stores and fluxes in even- and uneven-aged Norway spruce stands. *Silva Fennica*, 47(4): 1–15.
- Ojanen, P. 2015. Metsäojituksen vaikutuksesta ilmastoon. *Suo-Mires & Peat* 66(2): 44–55.
- 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.
- Ojanen, P., Minkkinen, K. & Penttilä, T. 2013. The current greenhouse gas impact of forestry-drained boreal peatlands. *Forest Ecology and Management* 289: 201–208.
- Ojanen, P. & Minkkinen, K. 2019. The dependence of net soil CO₂ emissions on water table depth in boreal peatlands drained for forestry, *Mires and Peat* (24), Article 27.
- Peura, M., Burgas, D., Eyvindson, K., Repo, A. & Mönkkönen, M. 2018. Continuous cover forestry is a cost-efficient tool to increase multifunctionality of boreal production forests in Fennoscandia. *Biological Conservation*. Elsevier 217: 104–112.
- Pukkala, T., Lähde, E., Laiho, O., Salo, K. & Hotanen, J-P. 2011. A multifunctional comparison of even-aged and uneven-aged forest management in a boreal region. *Canadian Journal of Forest Research* 41(4): 851–862.
- Pukkala, T. 2014. Does biofuel harvesting and continuous cover management increase carbon sequestration? *Forest Policy and Economics*: 41–50.
- Pukkala, T. 2016. Which type of forest management provides most ecosystem services? *Forest Ecosystems* 3(1): 1–16.
- Shanin, V., Valkonen, S., Grabarnik, P. & Mäkipää, R. 2016. Using forest ecosystem simulation model EFIMOD in planning uneven-aged forest management. *Forest Ecology and Management* 378: 193–205.
- Shanin, V., Juutinen, A., Ahtikoski, A., Frolov, P., Chertov, O., Rämö, J., Lehtonen, A., Laiho, R., Mäkiranta, P., Nieminen, M., Laurén, A., Sarkkola, S., Penttilä, T., Ľupek, B. & Mäkipää, R. 2021. Simulation modelling of greenhouse gas balance in continuous-cover forestry of Norway spruce stands on nutrient-rich drained peatlands. *Forest Ecology and Management* 496: 119479.
- Thornley, J H.M. & Cannell, M.G.R. 2000. Managing forest for wood yield and carbon storage. *Tree Physiology* 20(7): 477–484.

10. Talous

Anssi Ahtikoski, Jaakko Repola ja Esa-Jussi Viitala

- Talousvertailut jatkuvapeitteisen metsänkasvatuksen ja jaksollisen metsänkasvatuksen kesken pohjautuvat mallilaskelmiin, joissa puuston kasvu ja kehitys on ennustettu simulaattoreilla. Niihin on useimmiten liitetty optimointityökalu, jolla tavoitefunktion (yleensä nettotulojen nykyarvo) maksimi etsitään.
- Jatkuvapeitteisen metsänkasvatuksen kannattavuus on tutkimuksissa osoittautunut olevan riippuvainen muun muassa metsikön alkutilasta – etenkin puuston kokoluokkajakaumasta.
- Lähtökohtaisesti voidaan sanoa, että mitä enemmän metsikön rakenne muistuttaa jo alkutilanteessa jatkuvapeitteisessä kasvatuksessa tavoiteltavaa puustoa (ts. erirakenteista metsää), sitä kannattavampaa on siirtyä jaksollisesta jatkuvapeitteiseen metsänkasvatukseen.
- Mitä heterogeenisempi on puuston rakenne kivennäismailla, mitä korkeampi on laskentakorko (pääoman tuottovaade), mitä kalliimmat ovat metsikön perustamiskustannukset (maanmuokkaus ja viljely) ja mitä heikommat ovat kasvuolosuhteet (kasvupaikka ja lämpösumma), sitä kannattavampaa on jatkuvapeitteinen metsänkasvatus. Turvemaiden metsistä tutkimustuloksia on vielä vähän.
- Tulevissa tutkimuksissa taloustarkasteluihin tulisi sisällyttää myös riskit, jotka liittyvät esimerkiksi tuulituhoihin, korjuuvaurioihin sekä hyönteis- ja sienituhoihin.

10.1. Viimeaikainen taloustutkimus

Jatkuvapeitteisen metsänkasvatuksen kannattavuutta on Suomessa tutkittu enenevässä määrin vasta viimeisen runsaan kymmenen vuoden aikana (esim. Tahvonen 2009, Pukkala ym. 2010, Tahvonen ym. 2010, Tahvonen 2011, Rämö ja Tahvonen 2014, Rämö ja Tahvonen 2015, Tahvonen ja Rämö 2016, Rämö ja Tahvonen 2017, Juutinen ym. 2018, Assmuth ja Tahvonen 2018, Assmuth ym. 2018, 2021, Parkatti ym. 2019, Parkatti ja Tahvonen 2021). Näissä tutkimuksissa on keskitytty metsikkötason tarkasteluihin ja vertailtu jaksollisen metsänkasvatuksen (ts. päätehakkuisiin ja metsänviljelyyn pohjautuvan) ja jatkuvapeitteisen metsänkasvatuksen taloustuloksia keskenään tai vaihtoehtoisesti tarkasteltu, miten tasaikäinen metsikkö olisi optimaalisinta muuntaa jatkuvapeitteiseksi (Rämö ja Tahvonen 2017). Lisäksi viimeaikaisissa tutkimuksissa on tarkasteltu myös mahdollisten hiilikorvausten vaikutuksia optimaaliseen metsänkäsittelyyn (Tahvonen 2022). Kaikille tutkimuksille (pl. Juutinen ym. 2018) on tyypillistä, että ne pohjautuvat numeeriseen optimointiin, mikä mahdollistaa talousteoreettisesti läpinäkyvän ja hyväksytyyn laskentatavan (esim. Amacher ym. 2009, Tahvonen 2022). Toinen tutkimuksia yhdistävä tekijä on, että metsän kasvu ennustetaan simuloimalla joko yksittäisten puiden tai puiden kokoluokkien/puuluokkien kehitystä. Tutkimuksia yhdistää myös vankka poikkiteellinen ote, jossa ekologisia malleja yhdistetään ekonomiseen laskentakehikkoon vieläpä niin, että yhdistettyyn ekologis-ekonomiseen malliin integroidaan numeerisen optimoinnin algoritmeja. Tahvosen (2022) katsaus on ajantasainen synteesi jatkuvapeitteistä metsänkasvatusta koskevista taloudellisista tutkimuksista.

10.2. Kannattavuusvertailut

Metsänkasvatuksen taloudellista tulosta arvioidaan vertailemalla toiminnasta saatuja tuloja siitä aiheutuneisiin menoihin. Metsätaloudessa tuloja saadaan lähinnä puustoa myymällä ja menoja aiheutuu investoinneista, käytännössä metsänhoidon toimenpiteistä. Metsätaloudessa investointien ja niiden tuottojen välinen ajanjakso voi olla erittäin pitkä, esimerkiksi metsänviljelystä päätehakkuuseen voi kulua 50–100 vuotta. Kun pääomalla on myös muuta käyttöä ja lainapääomallakin on hinta, metsätalouden kannattavuutta tarkastellaan yleensä niin, että tulojen ja menojen eriaikaisuus otetaan huomioon.

Metsätalouden kannattavuuteen voidaan vaikuttaa esimerkiksi säätelämällä metsän kiertoaika, kasvatettavan puuston määrää sekä kustannuksia. Jatkovapeitteisessä metsänkasvatuksessa ei lähtökohtaisesti synny kustannuksia, jos puusto uudistuu luontaisesti eikä esimerkiksi taimikonhoidolle ole tarvetta.

Talousteoreettisesti pitävin vertailumenetelmä perustuu puuntuotannon nettonykyarvon laskentaan (Haight 1985, Tahvonen ja Viitala 2006, Tahvonen 2011). Nettonykyarvon laskemisessa otetaan huomioon kaikki metsänkasvatuksesta saatavat tulot ja siitä aiheutuvat menot nykyhetkestä ikuisuuteen. Eri ajankohtina muodostuvat tulot ja menot diskontataan nykyarvoiksi ja lasketaan näiden erotus. Metsäkuvion tasolla nettonykyarvo voidaan esittää niin sanottua Faustmannin mallia (Faustmann 1849) mukailleen pelkistetyksi kaavalla:

$$V = (1 - e^{-rT})^{-1} [\sum_{t=0}^T R(t)e^{-rt} - c], \quad (1)$$

missä V = nettotulojen nykyarvo (€), r = laskentakorkokanta, T = kiertoaika (vuosia), e^{-rt} = diskonttotekijä, $R(t)$ = nettohakkuutulo ajanhetkellä t (€/ha) ja c = metsän uudistamisen kustannus (€/ha). Hakkuutulot lasketaan kertomalla puutavaralajikohtaiset hakkuukertymät vastaavilla yksikköhinnoilla. Nettohakkuutulot saadaan, kun hakkuutuloista vähennetään korjuukustannukset. Yhtälössä (1) osoittaja kuvaa yhden kiertoajan nettotulojen nykyarvoa olettaen alkutilaksi paljaan maan, ja nimittäjän avulla yhden kiertoajan nettotulojen nykyarvoa toistetaan päättymättömänä sarjana nykyhetkestä ikuisuuteen (Amacher ym. 2009). Kun $V \geq 0$ valitulla laskentakorkokannalla, on metsänkasvatus taloudellisesti kannattavaa kyseisellä laskentakorolla. Jos $T = \infty$ ja $c = 0$, niin yhtälö (1) kuvaa jatkovapeitteistä metsänhoitoa (vrt. Tahvonen 2016). Vertaamalla yhtälön (1) avulla määritettyä tulosta (V) jatkovapeitteisen ja jaksollisen metsänkasvatuksen kesken, voidaan päätellä, kumpi toimintatapa on kulloinkin taloudellisesti parempi.

10.3. Optimointi menetelmänä

Lähtökohtaisesti metsänkasvatus on tavoitteellista toimintaa, mikä edellyttää parhaan mahdollisen ratkaisun etsimistä annettujen rajoitteiden puitteissa. Taloustieteessä paras ratkaisu saavutetaan etsimällä optimiratkaisu, jossa tavoitefunktio on maksimissaan (Intriligator 2002). Jaksollisen kasvatuksen optimiratkaisun löytäminen edellyttää, että selvitetään muun muassa harvennusten ajankohdat, harvennusvoimakkuudet ja kiertoajan pituus. Nämä puolestaan pohjautuvat kasvu- ja tuotosmalleihin (lyhemmin kasvumalleihin), joilla ennustetaan puuston kehitys. Koska kasvumallit sisältyvät yleensä simulaattoreihin, jotka koostuvat useista aliohjelmista (esimerkiksi läpimitan kasvumalli, eloonjäämismalli ja pituusmalli), muodostuu talouslaskennasta varsin monimutkainen kokonaisuus, jota on lähes mahdotonta ratkaista analyyttisesti (Pukkala 2009). Jatkovapeitteisessä kasvatuksessa problematiikka on periaatteessa samanlainen, mutta kiertoajan pituutta ei tarvitse erikseen määrittää – ellei teknistä laskentakehikkoa ole rakennettu niin, että se mahdollistaa ratkaisut sekä jatkuvalla että jaksollisella kasvatuksella.

(Tahvonen 2015a,b, Tahvonen ja Rämö 2016, Parkatti ym. 2019). Joka tapauksessa laskentatehtävän monimutkaisuudesta johtuen metsikkötason taloustarkasteluissa turvaudutaan usein numeeriseen optimointiin, jolloin tavoitefunktion (yleensä nettotulojen nykyarvo) maksimi määritetään numeerisesti matemaattisilla laskenta-algoritmeilla, jotka ovat integroitu puuston kasvumallien kanssa (Niinimäki ym. 2012).

Optimointimenetelmät, joihin laskenta-algoritmit perustuvat, voidaan karkeasti jakaa kahteen ryhmään: gradienttipohjaisiin ja derivaattavapaisiin menetelmiin (Cao 2010, Pyy 2021). Sopivan optimointimenetelmän valinta riippuu tavoitefunktion konveksisuudesta ja muuttujien ulotteisuudesta sekä siitä, miten kasvumallit ovat teknisesti toteutettu simulaattorissa (Valsta 1992, Cao 2010). Kasvumallit voivat puolestaan pohjautua metsikkötason malleihin, prosessipohjaisiin malleihin, kokojakautuneisiin siirtymämatriisimalleihin/kokoluokkarakenteisiin matriisimalleihin tai yksittäisten puiden kasvumalleihin, joilla kuvataan puuston kehitysdynamiikka (Parkatti 2021).

Jatkuvan kasvatuksen taloudellisten metsikkötason optimointiin pohjautuvien tarkasteluiden voidaan katsoa systemaattisesti alkaneen 1970-luvulla (Adams ja Ed 1974), jatkuneen 1980-luvulla (esim. Haight 1985, Haight ja Getz 1987) ja saaneen uuden vahvan nousun 2010-luvulla, eritoten Suomessa (esim. Tahvonen ym. 2010, Pukkala ym. 2010, Tahvonen 2015a,b, Rämö ja Tahvonen 2017, Parkatti ym. 2019). Samalla jatkuvan kasvatuksen taloustutkimuksessa on menetelmällisesti edetty niin, että staattisista malleista on siirrytty dynaamisiin malleihin ja vieläpä siten, että viimeaikaisissa tutkimuksissa on ollut mahdollista tarkastella samanaikaisesti jatkuvan ja jaksollisen kasvatusmenetelmän kannattavuutta samoilla lähtöpuustoilla. Myös optimoinnissa sovellettavat menetelmät ovat kehittyneet niin, että viimeaikaisessa taloustutkimuksessa (esim. Parkatti ym. 2019, Parkatti ja Tahvonen 2021) on voitu käyttää hierarkkista monitaso-optimointia, jossa korkeinta tasoa yleensä edustaa kiertoajan pituus ja alinta optimoitavaa tasoa puolestaan harvennusvoimakkuus. Käsitteellisesti tällainen optimointiongelma kuuluu epälineaariseen sekalukuoptimointiin, jossa osa muuttujista on kokonaislukuja ja osa jatkuvia reaali-lukuja. Teknisesti optimointitehtävän ratkaiseminen edellyttää erillistä laskenta-algoritmia, joka on kytketty puuston kasvumalleihin simulaattorihjelmistossa. Käytännössä yksittäisen optimointitehtävän numeerinen ratkaisu saattaa kestää useita tunteja, tehokkaallakin tietokoneella, mutta laskentaa on mahdollista nopeuttaa koneoppimisen keinoin, minkä johdosta malleihin voidaan sisällyttää myös esimerkiksi puuston kasvuun ja kehitykseen sekä luonnontuhoihin liittyvää satunnaisuutta (Malo ym. 2021).

10.4. Kannattavuusvertailut eri tilanteissa

Alla olevassa taulukossa esitetään viimeaikaisten tutkimusten valossa, millaisissa tilanteissa (kasvupaikkatyyppi, puulaji, maantieteellinen sijainti ja alkutilanteen puusto) jatkuvapeitteinen metsänkasvatus kivennäismailla on taloudellisesti perustellumpaa kuin jaksollinen metsänkasvatus. Alkutilanteet on jaettu kirjallisuudessa usein esitettyihin luokkiin i) paljas maa, ii) nuori metsä ja iii) päätehakkuuikäinen metsä. Lisäksi puuston rakennepiirteet on kuvattu, jotta tulosten tulkinta olisi helpompaa. Viimeaikaisten tutkimusten valossa näyttäisi siltä, että aloitettaessa taloustarkastelu paljaalta maalta kuusikot ja kuusivaltaiset sekametsät (lehtipuuosuus alle 40 %) ovat kannattavampia käsitellä jatkuvapeitteisinä kuin kasvattaa jaksollisena, ainakin eteläisessä ja keskisessä Suomessa tuottovaateen (laskentakorkokanta) ollessa vähintään 3 %. Sen sijaan puhtaissa männiköissä tilanne ei ole yhtä suoraviivainen: jos männyn uudistamiskustannukset saadaan pidettyä alle 1 000 €/ha, niin esimerkiksi keskisessä Suomessa kuivahkon kannan männiköissä jaksollinen kasvatus voisi olla taloudellisesti parempi vaihtoehto kuin jatkuvapeitteinen kasvatus. Tarkasteltaessa tasaikäisiä nuoria kuusimetsiä, todennäköistä on, että

jatkovapeitteinen metsänkasvatus tulee jaksollista metsänkasvatusta kannattavammaksi ainakin eteläisen Suomen tuoreen kankaan metsiköissä. Päätehakkuukypsistä metsiköistä voidaan sanoa, että jatkovapeitteinen metsänkasvatus on kategorisesti jaksollista kasvatusta kannattavampaa ainakin kuusikoissa – kunhan kasvupaikka ei ole liian rehevä. Toki taloustulos on ehdollinen alkutilanteen puustolle: mitä enemmän metsikön rakennepiirteet muistuttavat tavoiteltavaa eri-ikäisrakennetta, sitä kannattavammaksi jatkovapeitteinen metsänkasvatus tulee, verrattuna päätehakkuuseen ja metsänviljelyyn (jaksollinen kasvatus). Nykytulosten valossa näyttäisi myös siltä, että kuusimetsissä pohjoiseen mentäessä jatkovapeitteisen metsänkasvatuksen kannattavuus paranee suhteessa jaksollisen kasvatuksen kannattavuuteen (esim. Tahvonen 2011, Parkatti ja Tahvonen 2021).

Taulukko 5. Taulukossa esitetään taloustutkimuksen päätulokset kivennaismaametsien alkutilanteiden, puulajin ja kasvupaikan mukaan jaoteltuna, kun tarkastelu on tehty vertaamalla jaksollisen ja jatkuvapeitteisen metsänkasvatuksen kannattavuuksia toisiinsa.

Alku-tila	Puu-laji	Sijainti / kasvupaikka	Päätulos	Tarkennuksia & tulosten rajoituksia
Paljas maa	kuusi	Keski-Suomi / tuore kangas (H ₁₀₀ 24 m)	Jos metsikön uudistamiskustannukset vähintään 1 000 €/ha ja laskentakorkokanta vähintään 3 %, jatkuvapeitteinen metsänkasvatus taloudellisesti kannattavampi ¹⁾	Alkutilanne 20-vuotias istutustaimikko, jossa istutustiheys 1 750 tai 2 250 tainta/ha, mutta tulokset voidaan yleistää paljaalle maalle
	kuusi	Etelä-Suomi (Juupajoki) / tuore kangas	3 %:n laskentakorolla jaksollinen metsänkasvatus jatkuvapeitteistä kannattavampaa ²⁾ , kun jatkuvapeitteisessä. Hakkuusykli vaihteli 10–30 vuoden välillä ja hakkuun jälkeinen puuston pohjapinta-ala 4–16 m ² /ha	Tutkimuksessa ei optimoitu, vaan ”kartoitettiin” vaihtoehtoisia hakkuusyklejä ja hakkuuintensiteettiä ja vertailtiin tuloksia jaksolliseen metsänkasvatukseen
	kuusi, koivu, mänty (sekametsä)	Keski-Suomi / tuore kangas	3 %:n laskentakorkokannalla ja maksimissaan 40 % lehtipuuosuudella kuusivaltaisissa sekametsissä jatkuvapeitteinen metsänkasvatus jaksollista metsänkasvatusta kannattavampaa ³⁾	Alkutilanne 20-vuotias taimikko, jossa 1 750 kuusen istutustainta hehtaarilla, ja luontaisesti syntyneitä muiden puulajien (lehtipuut) taimia 250 kpl/laji – tulokset voidaan kuitenkin yleistää paljaalle maalle
	kuusi, mänty	Keski-Suomi / kuivahko (+) kangas	Kuusella jatkuvapeitteinen metsänkasvatus kannattavampaa ⁴⁾ kuin jaksollinen, jos laskentakorkokanta 3 % ja metsän uudistamiskustannukset > 0 €/ha. Mänyllä jaksollinen metsänkasvatus jatkuvapeitteistä kannattavampaa, kun sovelletaan Bollandsäsin mallia ja kun uudistamiskustannukset enintään 1 000 €/ha, laskentakorkokanta 3 %. Kun sovelletaan Pukkalan mallia, jatkuvapeitteinen jaksollista kasvatusta kannattavampaa ⁴⁾ 3 %:n laskentakorolla, uudistamiskustannusten vaihdellessa 0–2 000 €/ha	Tulokset laskettu kahden eri ekologisen mallin (Bollandsås ja Pukkala) mukaan kahdella eri laskentakorkokannalla (1 % ja 3 %) vaihdellen metsä uudistamisen kustannuksia: 0, 500, 1 000, 1 500 ja 2 000 €/ha.
Nuori metsä	kuusi	Etelä-Keski-Suomi / tuore tai lehtomainen kangas	Jatkuvapeitteinen metsänkasvatus kategorisesti kannattavampaa ⁵⁾ kuin jaksollinen metsänkasvatus laskentakorkokannoilla 1–5 %	Taloustarkastelut tehty kolmelle eri alkutilanteelle, joista yksi kuvaa optimaalista steady-state puustorakennetta, toinen nuorta tasaikäistä metsää ja kolmas tasaikäistä hakkuukypsää metsää
	kuusi	Etelä-Suomi (Juupajoki) / Tuore kangas	3 %:n laskentakorkokannalla jaksollinen metsänkasvatus jatkuvapeitteistä kannattavampaa ⁶⁾ , kun jatkuvapeitteisessä hakkuusykli vaihteli 10–30 vuoden välillä ja hakkuun jälkeinen puuston pohjapinta-ala 4–16 m ² /ha	Tutkimuksessa ei optimoitu, vaan ”kartoitettiin” vaihtoehtoisia hakkuusyklejä ja hakkuuintensiteettiä ja vertailtiin tuloksia jaksolliseen metsänkasvatukseen
Päätihakkuukypsä	kuusi	Etelä-Suomi / Tuore kangas	Jatkuvapeitteinen metsänkasvatus jaksollista metsänkasvatusta kannattavampaa ⁷⁾ kunhan hakkuusykli vaihtelee välillä 10–20 vuotta ja hakkuuintensiteetti 4–16 m ³ ha ⁻¹ (hakkuun jälkeinen pohjapinta-ala), laskentakorkona 3 %.	Tutkimuksessa ei käytetty metsikkötason optimointia
	kuusi	Etelä-Keski-Suomi / tuore tai lehtomainen kangas	Laskentakorkokannan ollessa 3 % tai enemmän, jatkuvapeitteinen metsänkasvatus taloudellisesti kannattavampaa kuin päätihakkuu ja istutus, ts. jaksollinen metsänkasvatus ⁸⁾ .	Taloustarkastelut tehty kolmelle eri alkutilanteelle, joista yksi kuvaa optimaalista steady-state puustorakennetta, toinen nuorta tasaikäistä metsää ja kolmas tasaikäistä hakkuukypsää metsää

¹⁾Tahvonon ja Rämö 2016, taulukot 5 ja 6, ²⁾Juutinen ym. 2018, kuva 3a (Huom. tutkimuksessa ei käytetty metsikkötason optimointia), ³⁾Parkatti ja Tahvonon 2020, kuvat 4c, 4g, 4i sekä taulukko 5, ⁴⁾Parkatti ym. 2019, taulukko 4, ⁵⁾Tahvonon ym. 2010, kuva 7, ⁶⁾Juutinen ym. 2018, kuva 3b, ⁷⁾Juutinen ym. 2018, kuva 4, ⁸⁾Tahvonon ym. 2010, Kuva 8.

10.5. Päätelmiä ja jatkonäkymiä

Viimeaikaisen tutkimuksen perusteella jatkuvapeitteinen metsänkasvatus on taloudellisesti jaksollista kasvatusta kannattavampaa kivennäismaiden kuusikoissa ja kuusivaltaisissa sekametsissä, kun laskentakorkokanta on vähintään 3 % ja kunhan kasvupaikka ei ole liian rehevä (esim. Parkatti ym. 2019, Parkatti ja Tahvonen 2020, Tahvonen 2022). Metsikön alkutilalla (paljas maa, nuori tai päätehakkuukypsä metsä) ei ole taloustulokseen niin suurta vaikutusta kuin alkutilanteen puustorakenteella (kokoluokkajakauma). Taloudellisen kannattavuuden arviointiin liittyy kuitenkin monia epävarmuuksia (Juutinen ym. 2020). Eritoten luontaiseen uudistumiseen (esim. Hokkanen 2001, Eerikäinen ym. 2007, Saksa ja Nerg 2008), isojen puiden (> 1.3 m) kasvuun (esim. Lundqvist 2017, Hynynen ym. 2019, Bianchi ym. 2020), korjuukustannuksiin (esim. Granhus ja Fjeld 2001, Surakka ja Siren 2007) ja tuhoriskeihin (esim. Piri ja Valkonen 2013, Hanewinkel ym. 2014, Pukkala ym. 2016, Nevalainen 2017, Nevalainen ja Piri 2020) liittyy vielä tekijöitä, joita ei toistaiseksi ole otettu taloustarkasteluissa seikkaperäisesti huomioon. Sama koskee kantohintojen kehitystä, mukaan lukien eri puutavaralajien suhteelliset hinnat toisiinsa nähden.

Jatkuvapeitteisen metsänkasvatuksen taloustutkimus on toistaiseksi keskittynyt kivennäismaille – toistaiseksi ainoastaan yksi julkaistu taloustutkimus koskee suomalaisia turvemaametsiä (Juutinen ym. 2021). Laajemmalle taloustutkimukselle turvemaiden jatkuvapeitteisestä metsänkasvatuksesta on tarvetta myös ilmastonmuutoksen hillinnän näkökulmasta. Uutta taloustutkimusta tarvitaan myös selvittämään taloudellisesti perusteltua puuston määrää turvemaiden jatkuvassa kasvatuksessa, kun huomioon otetaan myös puuston kyky haihdutuksellaan ylläpitää kasvun kannalta suotuisaa vedenpinnan tasoa ilman kunnostusojitusta (Juutinen ym. 2021, Shanin ym. 2021).

Jatkuvapeitteisen metsänkasvatuksen kohdalla on syytä nostaa esille myös hiilensidonta – jos puustoon sitoutuneesta hiilestä maksettaisiin metsänomistajalle, niin alustavien tutkimustulosten mukaan jatkuvapeitteinen metsänkasvatus tulisi entistä kannattavammaksi verrattuna jaksolliseen metsänkasvatukseen. Lisäksi näyttää siltä, että korkeampi hiilen päästökauppahinta pidentää jatkuvapeitteisessä metsänkasvatuksessa hakkuusykliä ja kasvattaa keskimääräistä puustopääomaa (Assmuth ym. 2018, 2021, Parkatti ja Tahvonen 2021). Sama näyttäisi pätevän jaksolliseen kasvatukseen (Niinimäki ym. 2013, Pihlainen ym. 2014). Jaksollisen kasvatuksen männiköissä hiilen hinta 20–60 €/tCO₂ pidentää kiertoaikaa 10–40 vuotta ja kasvattaa hehtaarikohtaista hiilivarastoa 27–80 %.

Tutkimusten perusteella näyttää siltä, että hiilikorvausten vaikutus on sitä suurempi, mitä korkeampi on laskentakorkokanta. Matalilla laskentakoroilla puustopääomat ovat yleensä muutenkin suurempia, kiertajat pidempiä ja hiilensidonta suurempaa kuin korkeilla laskentakoroilla. Korkea laskentakorko myös suosii aikaisin saatuja tuloja, millaisia hiilikorvaukset usein ovat hakkuutuloihin verrattuna. Tuloksiin tosin vaikuttaa jonkin verran se, miten suuri osa metsän hiilivarastosta on laskelmissa mukana ja millainen hiilensidontaa koskeva korvausjärjestelmä niissä oletetaan.

Uusimman tutkimuksen valossa jatkuvapeitteinen metsänkasvatus on optimiratkaisu Ylä-Lapissa, kun laskentakorko on 3 % tai suurempi (Parkatti ja Tahvonen 2021). Hiilen hinnan huomioon ottaminen voi johtaa siihen, ettei alueen vanhoja männiköitä kannata hakata lainkaan. Jos jatkuvapeitteinen metsänkasvatus ei ole vaihtoehto, näin tapahtuu hiilen hinnalla 20–44 €/tCO₂, jos myös monikäyttöhyödyt (porotalous) otetaan huomioon, hinnalla 14–29 €/tCO₂ (laskentakorot 3 ja 1 %).

Lopuksi, kannattavuusvertailujen lopputuloksiin vaikuttaa oleellisesti se, kuinka luotettavasti puuston kehitys voidaan ennustaa. Tasaikäisen metsikön kehitysdynamiikka tunnetaan varsin hyvin ja niiden kasvu- ja uudistumismallit niin kivennäis- kuin turvemilla perustuvat laajoihin ja pitkäkestoisiin empiirisiin kokeisiin. Sen sijaan jatkuvapeitteisen metsikön kasvu- ja tuotosvaikutukset tunnetaan vielä huonosti ja kattavia puiden kasvu- ja uudistumismalleja ei ole saatavilla. Uudistuminen, puiden alkukehitys ja vallitussa asemassa olevien puiden elpyminen ovat ratkaisevassa asemassa, kun arvioidaan jatkuvapeitteisen metsikön pitkän aikavälin kasvu- ja tuotosvaikutuksia sekä hakkuumahdollisuuksia. Lisäksi jatkuvapeitteisen metsikön korjuukustannuksista ja -vaurioista on vielä varsin vähän tutkimustietoa. Empiiriseen aineistoon pohjautuvia korjuukustannusmalleja ei ole laadittu, ja esitetyt kustannukset perustuvat useimmiten tasaikäisen metsikön korjuukustannusmalleihin.

Viitteet

- Adams, D.M., & Ek, A.R. (1974). Optimizing the management of uneven-aged forest stands. *Canadian Journal of Forest Research*, 4(3): 274–287.
- Amacher, G.S., Ollikainen, M. & Koskela, E. 2009. *Economics of Forest Resources*, The MIT Press, Cambridge
- Assmuth, A. & Tahvonen, O. 2018. Optimal carbon storage in even- and uneven-aged forestry. *Forest Policy and Economics* 87: 93–100.
- Assmuth, A., Rämö, J. & Tahvonen, O. 2018. Economics of size-structured forestry with carbon storage. *Canadian Journal of Forest Research* 48(1): 11–22.
- Assmuth, A., Rämö, J. & Tahvonen, O. 2021. Optimal carbon storage in mixed-species size-structured forests. *Environmental and resource economics* 79(2): 249–275.
- Bianchi, S., Huuskonen, S., Siipilehto, J. & Hynynen, J. 2020. Differences in tree growth of Norway spruce under rotation forestry and continuous cover forestry. *Forest Ecology and Management* 458: 117689.
- Cao, T. *Silvicultural decisions based on simulation-optimization systems*. Academic dissertation, *Dissertationes Forestales* 103. University of Helsinki, Helsinki, Finland, 18th May 2010.
- Eerikäinen K., Miina J. & Valkonen S. 2007. Models for the regeneration establishment and the development of established seedlings in uneven-aged, Norway spruce dominated forest stands of southern Finland. *Forest Ecology and Management* 242(2–3): 444–461.
- Granhus A. & Fjeld D. 2001. Spatial distribution of injuries to Norway spruce advance growth after selection harvesting. *Canadian Journal of Forest Research* 31(11): 1903–1913.
- Haight, R. G. 1985. A comparison of dynamic and static economic models of uneven-aged stand management. *Forest Science*, 31(4), 957–974.
- Haight, R.G. & Getz, W.M. 1987. Fixed and equilibrium endpoint problems in uneven-aged stand management. *Forest Science* 33(4):908-931.
- Hanewinkel M., Kuhn T., Bugmann H., Lanz A. & Brang P. 2014. Vulnerability of uneven-aged forest to storm damage. *Forestry* 87(4): 525–534.

- Hokkanen T. 2001. Siemenet ja siemensato. Julkaisussa: Valkonen S., Ruuska J., Kolström T., Kubin E., Saarinen M. (toim.). Onnistunut metsänuudistaminen. Metsäntutkimuslaitos. Kustan-nusosakeyhtiö Metsälehti. s. 69–79.
- Hynynen J., Eerikäinen K., Mäkinen H. & Valkonen S. 2019. Growth response to cuttings in Norway spruce stands under even-aged and uneven-aged management. *Forest Ecology and Management* 437: 314–323.
- Intriligator, M.D. 2002. *Mathematical Optimization and Economic Theory. Classics in Applied Mathematics 39*, Philadelphia SIAM.
- Juutinen, A., Ahtikoski, A., Mäkipää, R. & Shanin, V. 2018. Effect of harvest interval and intensity on the profitability of uneven-aged management of Norway spruce stands. *Forestry: An International Journal of Forest Research* 91: 589–602.
- Juutinen, A., Ahtikoski, A. & Rämö, J. 2020. Puuntuotannon kannattavuuteen vaikuttavat tekijät jatkuvapeitteisessä metsänkasvatuksessa. *Metsätieteen Aikakauskirja, Katsaus*. 10313.
- Juutinen, A., Shanin, V., Ahtikoski, A., Rämö, J., Mäkipää, R., Laiho, R., Sarkkola, S., Lauren, 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(6): 859–870.
- Lundqvist L. 2017. Tamm review: selection system reduces long-term volume growth in Fennoscandic uneven-aged Norway spruce forests. *Forest Ecology and Management* 391: 362–375.
- Malo, P., Tahvonen, O., Suominen, A., Back, P. & Viitasaari, L. 2021. Reinforcement learning in optimizing forest management. *Canadian Journal of Forest Research* 51: 1393–1409.
- Nevalainen, S. 2017. Comparison of damage risks in even- and uneven-aged forestry in Finland. *Silva Fennica* 51(3), article id 1741.
- Nevalainen, S. & Piri, T. 2020. Metsätuhoriskit tasa- ja eri-ikäismetsätaloudessa. *Metsätieteen Aikakauskirja; Tieteen Tori*, artikkeli id 10310.
- Niinimäki, S., Tahvonen, O. & Mäkelä, A. 2012. Applying a process-based model in Norway spruce management. *Forest Ecology and Management* 265: 102–115.
- Niinimäki, S., Tahvonen, O., Mäkelä, A. & Linkosalo, T. 2013. On the economics of Norway spruce stands and carbon storage. *Canadian Journal of Forest Research* 43: 637–648.
- Parkatti, V.-P., Assmuth, A., Rämö, J. & Tahvonen, O. 2019. Economics of boreal conifer species in continuous cover and rotation forestry. *Forest Policy and Economics* 100, 55–67.
- Parkatti, V.-P. & Tahvonen, O. 2020. Optimizing continuous cover and rotation forestry in mixed-species boreal forests. *Canadian Journal of Forest Research* 50: 1138–1151.
- Parkatti, V.-P. 2021. On the economics of continuous and rotation forestry. *Academic Dissertation, Dissertationes Forestales* 312. University of Helsinki. <https://doi.org/10.14214/df.312>
- Parkatti, V.-P. & Tahvonen, O. 2021. Economics of multifunctional forestry in the Sa’mi people homeland region. *Journal of Environmental Economics and Management* 110, 102542.

- Piri T. & Valkonen S. 2013. Incidence and spread of *Heterobasidion* root rot in uneven-aged Norway spruce stand. *Canadian Journal of Forest Research* 43(9): 872–877.
- Pukkala, T. 2009. Population-based methods in the optimization of stand management. *Silva Fennica* 43(2): 261–274.
- Pukkala, T., Lähde, E. & Laiho, O. 2010. Optimizing the structure and management of uneven-sized stands in Finland. *Forestry* 82: 129–142.
- Pukkala T., Laiho O. & Lähde E. 2016. Continuous cover forestry reduces wind damage. *Forest Ecology and Management* 372: 120–127.
- Pyy, J. 2021. Forest management optimization according to nonlinear partial differential equation (PDE) and gradient-based optimization algorithm. Academic Dissertation, University of Oulu. Oulu 2021, A760. [Presented in 14 May 2021]. Available at: <http://urn.fi/urn:isbn:9789526229201>.
- Rämö, J. & Tahvonen, O. 2014. Economics of harvesting uneven-aged forest stands in Fennoscandia. *Scandinavian Journal of Forest Research* 29: 777–792.
- Rämö, J. & Tahvonen, O. 2015. Economics of harvesting boreal uneven-aged mixed-species forests. *Canadian Journal of Forest Research* 45: 1102–1112.
- Rämö, J. & Tahvonen, O. 2017. Optimizing the harvest timing in continuous cover forestry. *Environmental and Resource Economics* 67: 853–868.
- Saksa T. & Nerg P. 2008. Kuusen istutus, luontainen uudistaminen ja näiden yhdistelmät kuusen uudistamisessa. *Metsätieteen aikakauskirja* 4/2008: 255–267.
- Shanin, V., Juutinen, A., Ahtikoski, A., Frolov, P., Chertov, O., Rämö, J., Lehtonen, A., Laiho, R., Mäkiranta, P., Nieminen, M., Lauren, A., Sarkkola, S., Penttilä, T., Tupek, B. & Mäkipää, R. 2021. Simulation modelling of greenhouse gas balance in continuous-cover forestry of Norway spruce stands on nutrient-rich drained peatlands. *Forest Ecology and Management* 496 (2021) 119479.
- Surakka H. & Sirén M. 2007. Poimintahakkuiden puunkorjuun nykytietämys ja tutkimustarpeet. *Metsätieteen aikakauskirja* 4/2007: 373–390.
- Tahvonen, O. & Viitala, E.-J. 2006. Does Faustmann rotation apply to fully regulated forests? *Forest Science* 52: 23–30.
- Tahvonen, O. 2009. Optimal choice between even- and uneven-aged forestry. *Natural Resource Modelling* 22: 289–321.
- Tahvonen, O., Pukkala, T., Laiho, O., Lähde, E. & Niinimäki, S. 2010. Optimal management of uneven-aged Norway spruce stands. *Forest Ecology and Management* 260: 106–115.
- Tahvonen, O. 2011. Optimal structure and development of uneven-aged Norway spruce forests. *Canadian Journal of Forest Research* 41: 2389–2402.
- Tahvonen, O. 2015a. Economics of naturally regenerating, heterogeneous forests. *Journal of the Association of Environmental and Resource Economists* 2(2): 309–337.
- Tahvonen, O. 2015b. Economics of rotation and thinning revisited: the optimality of clearcuts versus continuous cover forestry. *Forest Policy and Economics* 62: 88–94.

- Tahvonen, O., & Rämö, J. 2016. Optimality of continuous cover vs. clearcut regimes in managing forest resources Canadian Journal of Forest Research 46: 1–11.
- Tahvonen, O. 2016. Economics of rotation and thinning revised: the optimality of clearcuts versus continuous cover forestry. Forest Policy and Economics 62: 88–94.
- Tahvonen O. 2022. Metsien hoito jatkuvapeitteisinä: katsaus taloudelliseen tutkimukseen. Suomen Luontopaneelin julkaisuja 1C/2022.
- Valsta L. 1992. An optimization model for Norway spruce management based on individual-tree growth models. Acta Forestalia Fennica 232. The Society of Forestry in Finland, Helsinki 1992.

11. Metsäsuunnittelun menetelmät

Lauri Mehtätalo, Jouni Siipilehto ja Annika Kangas

- Metsäsuunnittelussa jokaiselle metsikölle luodaan käsittelyvaihtoehtoja, joista optimoinnin avulla valitaan se, joka toteuttaa parhaiten päätöksentekijän tavoitteet. Valinta jatkuvapeitteisen ja jaksollisen kasvatuksen välillä voidaan tehdä osana metsäsuunnittelua metsänomistajan tavoitteiden perusteella. Tämä edellyttää riittävän tarkkaa ja tasapuolista tietoa valinnan seurauksista niin, että esimerkiksi kasvumallit eivät systemaattisesti suosi jotain tiettyä kasvatusmenetelmää.
- Metsäsuunnittelun laskennassa muodostetaan metsikkötunnusten avulla puuston kuvaus, joka perustuu kokojakaumaan ja pituusmalliin. Kokojakauma voidaan ennustaa parametrien palautusmenetelmällä myös jatkuvan kasvatuksen metsissä, jos keskiläpimitta, runkoluku ja pohjapinta-ala ovat tiedossa. Pituusmallit on uudistettava eri-ikäismetsätalouteen sopiviksi.
- Jaksollisen ja jatkuvapeitteisen metsäsuunnittelun optimointitehtävä voidaan ratkaista samalla optimointimenetelmällä. Kuten kaikessa suunnittelussa, myös tässä optimointi kärjistää mallien virheiden vaikutuksia valitsemalla usein vaihtoehdon, jonka osalta tavoitemuuttujan arvo on yliarvioitu.

11.1. Mitä metsäsuunnittelu on?

Tietyn metsäalueen käyttöön vaikuttavat kohdealueen metsävarojen lisäksi metsänomistajan tavoitteet, muut käytössä olevat tuotannon tekijät sekä lakien, sopimusten ja ohjeiden asettamat rajoitukset. Metsäsuunnittelussa etsitään metsälle sellaista hoito- ja käyttöohjelmaa, joka tuottaa päätöksentekijälle mahdollisimman suuren hyödyn. (Pukkala 2007). Taloudellisen toiminnan ollessa kyseessä hakkuupäätöksiin vaikuttaa erityisesti ennusteet hakattavan ja jäävän puuston arvosta ja sen kehityksestä sekä päätöksentekijän käyttämä korkokanta. Usein päätöksentekijällä on myös muita tavoitteita, jotka voivat liittyä esimerkiksi hakkuutulojen ajoitukseen, hakkuumääriin, maiseman rakenteeseen, monimuotoisuuteen tai hiilinieluihin. Jos metsään ei liity aluetason tavoitteita, voidaan jokaisen metsikön käsittely (mm. hakkuun ajankohdat, voimakkuudet ja hakkuutavat) suunnitella erikseen. (esim. Malo ym. 2022).

Metsäsuunnittelua voidaan tehdä monenlaisella aikajänteellä monenlaisessa spatiaalisessa laajuudessa. Suppeimmillaan metsäsuunnittelua on yksittäisen metsikön käsittelyohjelman etsiminen, laajimmillaan tuotetaan hakkuusuunnitelmia valtakunnan tasolle. Tähän väliin mahtuvat esimerkiksi tietyn metsätilan käytön suunnittelu, tietyn metsänomistajan koko metsäomaisuuden käytön suunnittelu, sekä alueelliset hakkuulaskelmat. Metsäsuunnittelun aikajänne vaihtelee vuoden tasosta vuosikymmeneihin. Edellä kuvatuista metsäsuunnittelutilanteista on hyvä erottaa aito suunnittelu, jossa suunnitelman tilannut toimija on myös metsien omistaja ja voi siten toteuttaa suunnitelman suoraan, ja julkisten toimijoiden tilaamat laskelmat, jotka voidaan toteuttaa vain epäsuorasti erilaisten metsäpoliittisten ohjauskeinojen kautta. Yksinkertaisuuden vuoksi käytämme tässä luvussa suunnitelman tilanneesta tahosta kuitenkin nimitystä päätöksentekijä.

Metsäsuunnittelun aluksi selvitetään päätöksentekijän tavoitteet. Sen jälkeen metsäsuunnittelun laskenta etenee vaiheittain seuraavasti. (1) Inventointitiedon perusteella tuotetaan

laskennallinen puuston nykytilan kuvaus, jonka perusteella (2) simuloidaan kasvumallien ja laskennallisesti toteutettavien toimenpiteiden avulla kullekin metsikölle vaihtoehtoisia käsittelyohjelmia. Niiden tulee kattaa mahdollisimman hyvin sellaisten käsittelyjen kirjo, jotka ovat lain ja metsänomistajan kannalta hyväksyttäviä. Sen jälkeen (3) päätöksentekijän aluetason tavoitteet kuvataan optimointiongelmana, jonka ratkaisuna saadaan metsäsuunnitelma. Viimeistä vaihetta joudutaan usein toistamaan, kun tieto metsänomistajan tavoitteista tarkentuu optimoinnin tuloksia tarkasteltaessa.

Seuraavassa osaluvussa tarkastelemme ensiksi sitä, miten valinta jatkuvana ja jaksollisen kasvatuksen välillä voidaan metsäsuunnittelun näkökulmasta tehdä. Sen jälkeen tarkastelemme erillisissä alaluvuissa, mitä vaatimuksia jatkuva kasvatusta asettaa nykytilan kuvaukselle, simuloinnille ja optimoinnille.

11.2. Kasvatustavan valinta metsäsuunnittelun näkökulmasta

Taloudellinen tarkastelu voidaan perustaa luvussa 10 esitettyyn Faustmannin kaavaan. Olenaista on tällöin tuntee puustopääoman arvo ja arvokasvu. Alaharvennuksia käyttävässä kasvatuksessa harvennuksien ensisijainen tarkoitus on vaikuttaa taloudelliseen kannattavuuteen niin, että arvokasvua nopeutetaan poistamalla pääosin pienimpiä puita. Kun tämä ei enää ole mahdollista, koko puustopääoma realisoidaan päätehakkuussa ja tuloista osa investoidaan uuteen puusukupolveen. Poimintahakkuuseen perustuvassa jatkuvassa kasvatuksessa hakkuilla lisätään kannattavuutta pienentämällä metsään sidotun pääoman arvoa, kun arvokkaimpia puita poistetaan harvennuksissa. Samalla vältetään tarve investoida uuteen puusukupolveen. Jatkuvaan kasvatukseen liittyvää metsäsuunnittelua ovat käsitelleet myös Pukkala (2007) ja Pukkala ym. (2011).

Valinta jatkuvan ja jaksollisen kasvatuksen välillä on metsäsuunnitteluongelma. Kunnollinen suunnittelu edellyttää, että tämän valinnan vaikutuksista metsänomistajan tavoitteisiin on riittävästi informaatiota, joka ei ole harhaista kummankaan vaihtoehdon suuntaan. Tällöin valintaa kasvatustavasta ei tarvitse erikseen tehdä: metsikölle simuloidaan sekä jatkuvan kasvatuksen että jaksollisen kasvatuksen mukaisia käsittelyitä, ja valinta tulee tehtyä metsänomistajan tavoitteiden perusteella. Esimerkiksi varttuneen tasaikäisen metsikön harvennuksissa voidaan säästää alikasvosta, ja päätös jatkosta tehdään myöhemmin, kun nähdään, millaista alikasvosta on syntynyt. Tällaisesta metsätaloudesta käytetään suomeksi nimitystä vapaan tyylin metsänhoito (engl. any-aged forestry, Pukkala 2018).

Valinta jatkuvan ja jaksollisen kasvatuksen välillä voidaan tehdä myös kategorisesti päättämällä. Tällöin itse kasvatustavan valinta ei vaadi sen tarkempia laskelmia: metsäsuunnitelmaa laadittaessa simuloidaan vain valitun kasvatustavan mukaisia käsittelyvaihtoehtoja. Tällaisessa päätöksessä voidaan ottaa huomioon myös oma näkemys siitä, kuinka hyvin päätöksen seuraukset tällä hetkellä tunnetaan. Jaksollista kasvatusta on toteutettu jo pitkään, joten sen tuottavuus ja riskit tunnetaan aika hyvin. Toisaalta jatkuvan kasvatuksen tuottavuudesta ja riskeistä on vähemmän empiiristä tietoa ja tutkimuskirjallisuudessa on esitetty keskenään eriäviä tutkimustuloksia kasvatustapojen eroista mm. keskimääräisen kasvun suhteen (ks. Luku 4.3). Jos esimerkiksi käytössä olevat simulointimallit yliarvioisivat kasvatustavan A tuotosta tapaan B verrattuna, suosisi edellä mainittu suunnittelulaskelmaan perustuva valinta systemaattisesti kasvatustapaa A.

11.3. Puuston nykytilan kuvaus

11.3.1. Metsävaratiedon hankinta

Julkinen metsävaratieto Suomessa perustuu kaukokartoitukseen (laserkeilaus ja ilmakuvat) ja ns. opetuskoealoihin. Inventointialue keilataan kattavasti ja alueelta mitataan tarkasti paikanneittuja opetuskoealoja niin paljon, että tavoiteltu tarkkuustaso voidaan saavuttaa. Yleensä koealoja mitataan noin 500 kappaletta kultakin inventointialueelta. Opetuskoealojen puustotunnuksia selitetään kaukokartoitusdatan piirteillä, ja näin laadittujen mallien perusteella ennustetaan puustotunnukset kattavasti koko inventointialueelle. Käytetyt mallit voivat perustua esimerkiksi k-lähimmän naapurin menetelmään, mikä takaa, että ennustetut puustotunnukset ovat keskenään loogisia. Puustotunnusten ja laserkeilausaineiston välinen relaatio poikennee jatkuvan ja jaksollisen kasvatuksen metsien välillä, sillä esimerkiksi latvusraja on jatkuvan kasvatuksen metsissä alempana (Bianchi ym. 2020).

Metsäsuunnittelun kannalta on olennaista tiedostaa, että käytetyt mallit antavat aina keskiarvoistavia ennusteita. Siksi metsävaratiedot mm. yleensä aliarvioivat suuria puustoja, yliarvioivat pieniä puustoja ja ennustavat yhden puulajin metsiin aina jonkin verran myös muita puulajeja.

Jatkuvan kasvatuksen onnistumisen ennakkoinnin kannalta olennaista on se, kuinka hyvin inventointimenetelmä kykenee ennustamaan alikasvoksen olemassaoloa, määrää ja laatua. Esimerkiksi Jarron ym. (2020) pystyivät ennustamaan alikasvoksen rakennetta kohtuullisen hyvällä tarkkuudella Brittiläisessä Kolumbiassa olevalle tutkimusalueelle. Myös Bollandsås (2008) sai samansuuntaisia tuloksia Norjasta eri-ikäisrakenteisista metsistä. Suomalaisessa aineistossa alikasvoksen olemassaoloa ja sen puustotunnuksia voitiin arvioida keilausdatasta, mutta puustotunnusten arvioinnin tarkkuus riippui valtapuuston tiheydestä (Maltamo ym. 2005). Lähtökohteisesti kunnollinen metsäsuunnittelu edellyttää metsävaratiedon pohjalta tehtyjä maastotarkistuksia. Erityisen tärkeää se on silloin, jos uudistamisessa aiotaan hyödyntää olemassa olevaa alikasvosta. Alikasvoksen määrää, jakautumista ja puulajisuhteita ei voida kaukokartoituksen perusteella arvioida riittävän hyvin etenkin tiheän valtapuuston alta, joten kaukokartoitukseen perustuva metsävaratieto voi korkeintaan toimia apuna potentiaalisten alikasvosta sisältävien kohteiden etsimisessä.

Tällä hetkellä jatkuvan kasvatuksen metsiä on vielä aika vähän verrattuna metsiin, joissa käytetään jaksollista kasvatusta. Siksi metsävaratiedon opetusaineistossa jatkuvan kasvatuksen kohteita on myös vähän, ja puustotunnusten ennustaminen perustuu pääosin jaksollisen kasvatuksen metsissä oleviin koealoihin. Tämän vuoksi eri-ikäisrakenteisiin metsiin ennustetaan todennäköisesti tasaikäisrakenteinen puusto (Maltamo ym. 2000). Toisaalta jatkuvan kasvatuksen metsiköistä peräisin olevien opetuskoalojen osuus tulee jatkossa lisääntymään, mikä parantaa tarkkuutta. Opetuskoealoja voitaisiin jatkossa myös kohdentaa jatkuvan kasvatuksen metsiin tarkoituksella, mikä parantaisi jatkuvan kasvatuksen kohteiden metsävaratiedon laatua.

Jaksollisessa kasvatuksessa puusto kuvataan yleensä keskiläpimitan, pohjapinta-alan, iän ja mahdollisesti runkoluvun avulla, jotka kaikki esitetään kullekin puujaksolle erikseen. Jaksollisessa kasvatuksessa yleisesti käytetyt puustotunnukset eivät kuvaa hyvin jatkuvan kasvatuksen puustojen tilaa, vaan tarvitaan uusia puustotunnuksia. Uusien tunnusten tulee olla sellaisia, että metsien kuvaus eri-ikäisrakenteisissa kohteissa paranee, mutta metsien kuvaus tasaikäisissä kohteissa ei saa samalla heikentyä. Yksi olennainen ero jatkuvan kasvatuksen ja jaksollisen kasvatuksen metsiköiden välillä on se, että jatkuvan kasvatuksen metsälle ei voida määrittellä ikää. Tältä osin maastoinventointi on yksinkertaisempaa kuin jaksollisen kasvatuksen metsissä, mutta toisaalta ikää ei voida käyttää myöskään puuston rakennetta ja kehitystä kuvaavissa malleissa.

Myös muut keskitunnukset menettävät osittain mielekkyytensä jatkuvan kasvatuksen metsiköissä. Jos keskiläpimitta tai pituus on kaikissa jatkuvan kasvatuksen kohteissa likimain sama, myös tämän tiedon arvo puusto kuvauksessa on olematon. Tueksi täytyy olla tunnuksia, jotka kuvaavat myös kohteiden eroja, esimerkiksi läpimitan vaihtelun suuruutta. Jos pohjapinta-ala ja runkoluku molemmat tunnetaan, keskipituus ja keskiläpimitta voivat yhdessä niiden kanssa kuvata puuston riittävän hyvin. Toisaalta keskiläpimitan lisäksi voitaisiin käyttää esimerkiksi kvartiileja tai kvantiileja (Mehtätalo ym. 2006) ja niistä johdettua Gini-kerrointa (Valbuena ym. 2017) sekä kohdemetsiköstä mitattuja pituuskoepuita. Koepuumittausten etuna on se, että niiden mittaamisesta voidaan päättää kussakin metsikössä halutun metsikön kuvauksen tarkkuuden perusteella.

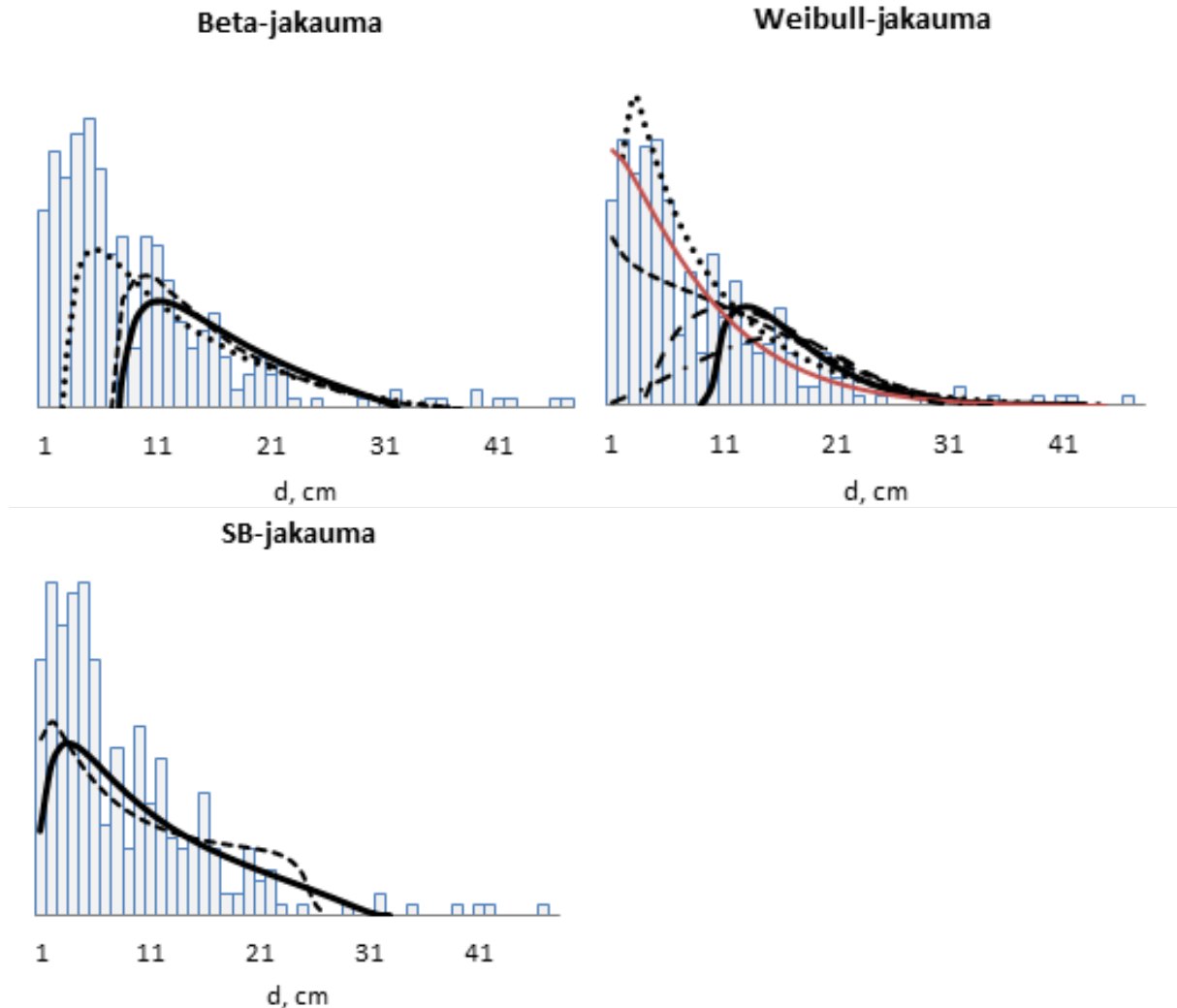
11.3.2. Puujoukon kuvaaminen

Tällä hetkellä metsäsuunnittelujärjestelmät yleisesti kuvaavat puuston puulajeittain ja jaksoittain. Kukin jakso kuvataan summatunnuksilla kuten pohjapinta-ala ja keskitunnuksilla kuten keskiläpimitta, keskipituus ja keski-ikä. Jos jatkuva kasvatus yleistyy, jakso käsitteenä menettää mielekkyytensä. Monijaksoinen puusto täytyy kuvata joko yhtenä jaksona, jonka jakauma on laskeva, tai useana jaksona, jotka voivat olla yksihiippuisia. Useiden jaksojen keski- ja summatunnuksen tuottaminen on kuitenkin haasteellista ilman yksityiskohtaista maastoinventointia.

Metsävaratiedossa olevien puuston keskitunnusten avulla voidaan muodostaa metsikön runkolukusarja jakaumamallin avulla. Runkolukusarjan ja kasvumallien perusteella voidaan edelleen ennustaa puuston jatkokehitystä. Tästä syystä on erittäin tärkeää pystyä luotettavasti ennustamaan metsikön runkolukusarja. Suomen metsäsuunnittelujärjestelmissä käytetyt vanhimmat jakaumamallit perustuivat Beta-jakaumaan (Päivinen 1980, Siipilehto 1988). Sen jälkeen laadittiin useita Weibull-jakaumamalleja, kuten Kilkki ym. (1989) ja Maltamo (1997). Lisäksi ja Maltamo ym. (1995) vertaili Beta- ja Weibull-jakaumaa keskenään ja Siipilehto (1999) vertaili Weibull- ja SB-jakaumaa. Tuoreinta ennustemallia edustaa Siipilehdon ym. (2007) SB-jakaumamalli. Ennustemallien sijaan Siipilehto ja Mehtätalo (2013) esittelivät Weibull-jakauman palautusmenetelmän neljällä vaihtoehtoisella keskitunnuksella: aritmeettinen keskiläpimitta (D), pohjapinta-alapainotteinen keskiläpimitta (DG), mediaani (DM) ja pohjapinta-alan mediaaniläpimitta (DGM). Menetelmä tuottaa runkolukusarjan, jonka perusteella lasketut puustotunnukset (keskitunnus, pohjapinta-ala ja runkoluku) täsmäävät palautuksessa käytettyjen tunnuksen kanssa.

Eri-ikäisrakenteisen ERIKA-koealan avulla tarkasteltiin jakaumamallien kykyä ennustaa tyyppilistä erittäin vinoa, lähes laskevaa runkolukusarjaa. ERIKA-koealan aineistoihin ennustetuista runkolukujakaumista Beta-jakaumissa on eri-ikäisrakenteisen puuston runkolukusarjaan sopivaa vinoutta, mutta malleissa mukana oleva minimiläpimitan ennuste leikkaa pieniläpimittaisen puuston pois (Kuva 20). Weibull-jakaumista kaksi vaihtoehtoa näyttää soveltuvan eri-ikäisrakenteisen puuston runkolukusarjan kuvaamiseen. Kuitenkin pisteviivalla esitetystä ennustejakaumasta puuttuu pienin läpimittaluokka johtuen minimiläpimitan ennusteesta (Kuva 20). Lisäksi tällä mallilla saatiin samanlainen vino jakauma myös istutuskuusikon runkolukusarjaksi (Siipilehto 2022). Weibull-jakauman parametrien palautusmenetelmä sopi tilastollisesti parhaiten yhteen havaitun runkolukusarjan kanssa (Kuva 20). Ennustetuissa SB-jakaumissa ei ollut riittävää vinoutta, vaikka ne olivat Siipilehdon (2022) mukaan tilastollisesti yhteensopivia (Kuva 14). Parametrien palautusmenetelmä osoittautui ylivoimaiseksi menetelmäksi erilaisten runkolukusarjojen kuvaamiseksi (Siipilehto 2022). Tämä merkitsee sitä, että parametrien palautus on sopiva menetelmä myös eri-ikäisrakenteisen puuston runkolukusarjan kuvaamiseksi, jos vain puustotunnukset runkolukua myöten vastaavat kyseisen puuston rakennetta. Esimerkkitaupauksessa (Kuva 20) puuston runkoluku oli noin 2000 hehtaarilla, kun keskiläpimitaltaan ja

pohjapinta-alaltaan vastaavassa tasarakenteisessa viljelymetsässä runkoluku oli noin 700 hehtaarilla (Siipilehto 2022). Weibull-jakauma voidaan palauttaa myös katkaistuna jakaumana, jos läpimittojen mittaus on rajattu minimiläpimittaan, esim. 5 cm:iin, ja palautusmenetelmä voidaan toteuttaa myös muille jakaumafunktioille (Mehtätalo ja Lappi 2020, Luku 11)



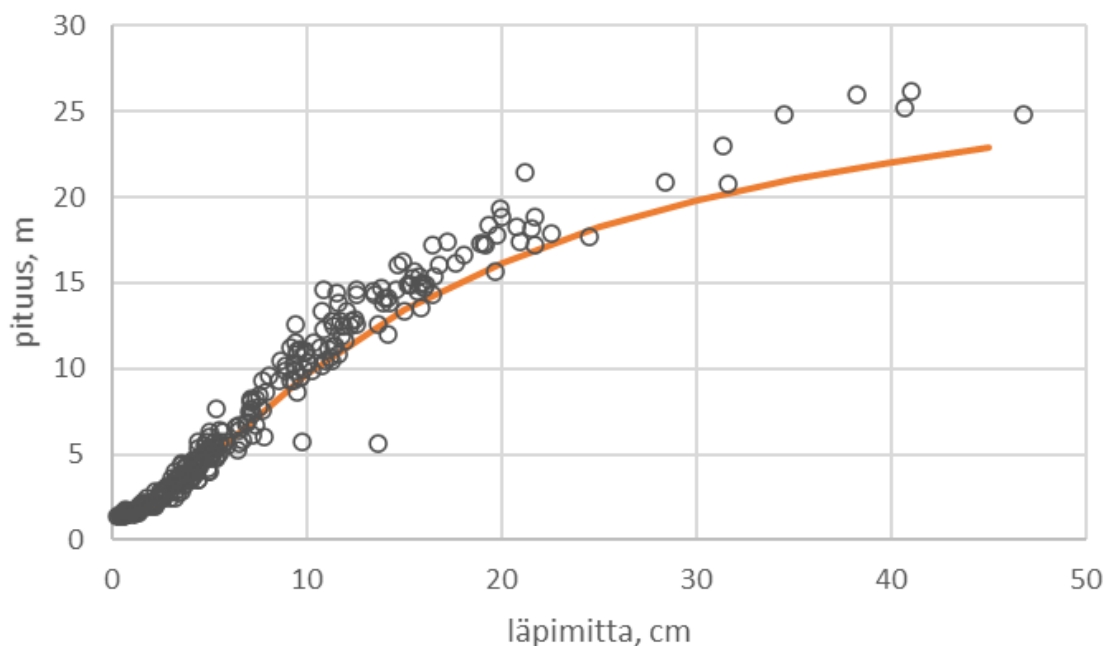
Kuva 20. Suomessa laadittujen jakaumamallien (Siipilehto 2022) sopivuus eri-ikäkarakenteisen puuston runkolukusarjan kuvaamiseksi. Punainen yhtenäinen viiva kuvaa Weibull-jakauman parametrien palautusta ja muut vaihtoehdot edustavat jakaumaparametrien ennustemalleja ja siniset pylväät ERIKA-koealalta mitattua runkolukusarjaa.

11.4. Puiden pituuden ennustaminen

Suomen oloihin on laadittu monia eri pituusmalleja (esim. Mehtätalo 2004a, Mehtätalo 2004b, Eerikäinen 2009) ennustamaan puiden pituutta eri ohjelmistoissa/simulaattoreissa. Motti- ja MELA-järjestelmissä on käytössä Siipilehdon ja Kankaan (2015) Näslundin käyrään perustuvat mallit, jotka perustuvat tasaikäkarakenteisten taimikoiden TINKA- ja varttuneiden puustojen INKA-kokeisiin. Tasaikäkarakenteisten metsiköiden pituusikäyrät taipuvat melko voimakkaasti ja kerrostuvat iän mukaan. Tämä tarkoittaa, että kussakin kehitysvaiheessa valtapuiden keskimääräinen pituus vaihtelee vähän suhteessa läpimitan vaihteluun. Ilmiö tulee korostetusti esiin va- lo- vaativalla männyllä. Sen sijaan eri-ikäkarakenteisessa metsikössä on nimensä mukaisesti

saman aikaisesti hyvin eri ikäisiä puita. Siksi voidaan oletusarvoisesti epäillä, että nykyiset mallit eivät sellaisenaan sovellu eri-ikäisrakenteisten puustojen pituuden ennustamiseen. On oletettavaa, että mallien metsikkötason kalibrointiin on järkevämpää käyttää kahden eri kvantiilipuun pituutta ja läpimittaa kuin pelkästään keskipituutta ja läpimittaa (Bronisz ja Mehtätalo 2020), mutta erilaisten mittaust strategioiden eron arvioiminen vaatii uutta tutkimusta. Uusien mallien on kuitenkin lähtökohtaisesti oltava kalibroitu myös muilla kuin keskipuilla, jotta mallien erilainen taipuminen tasa- ja eri-ikäisissä metsiköissä voidaan kuvata.

Koska uusia malleja ei vielä ole laadittu, tuodaan tässä esiin nykyisten mallien ongelmia. Esimerkiksi valittu ERIKA kokeen Lapinjärven koealan 1 ensimmäinen mittauskerta havainnollistaa Siipilehdon ja Kankaan (2015) Näslundin mallin ja havaitun pituuden erilaisuutta erityisesti suuriläpimittaisten (eli vanhojen) kuusten osalta (Kuva 21).



Kuva 21. Esimerkki Lapinjärven ERIKA kokeen yhdeltä koealalta kuusen läpimitan ja pituuden mitattu riippuvuus ja vastaava ennuste Siipilehdon ja Kankaan (2015) Näslundin pituuskäyrän ennusteella (—).

11.5. Jatkuvan kasvatuksen kasvumallit

11.5.1. Kasvumallit

Lähtökohtaisesti metsäsuunnittelussa käytettävien kasvumallien pitäisi soveltua tasa- ja eri-ikäisten metsien kasvatukseen sekä kivennäis- että turvemilla. Esimerkiksi Pukkalan ym. (2013, 2021) kasvumalleja on sovellettu ennustettaessa molempien kasvatusmenetelmien mukaisia puustojen kehityksiä (Eyvindson ym. 2021). Pukkalan ym. (2013) mallit on laadittu aineistosta, joihin sisältyy VMI8:n pysyvien koealojen lisäksi tasaikäisen ja jatkuvan kasvatuksen kokeita Pohjois-Karjalasta. Pukkalan ym. (2021) mallit perustuvat pelkästään pysyviin VMI10 ja VMI11-koealoihin. Mallit poikkeavat tavanomaisista kasvumalleista olennaisesti vain niin, että selittäjänä ei käytetä metsikön ikää. Toinen mahdollinen tapa olisi kuvata eri-ikäisrakenteinen puusto usean jakauman summana (käytännössä ikäkohortteina), mutta tätä ei ole toistaiseksi tutkittu.

Täysin harhatonta kasvun mallitukseen soveltuva aineistoa ei ole saatavissa, koska jatkuvaa kasvatusta on käytetty vain vähän.

Kaikkia kasvatustapojen eroon vaikuttavia tekijöitä, ei voida suunnittelussa ottaa huomioon. Esimerkiksi puiden terveydentilaa ja latvuksen kuntoa kuvaavaa informaatiota ei kasvumalleissa nykyisin käytetä, mutta näissä tekijöissä voi olla systemaattista eroa jommankumman kasvatustavan hyväksi. Systemaattinen virhe voi seurata myös siitä, että menetelmien epävarmuudet ovat erilaiset, eikä erilaisia riskejä eksplisiittisesti huomioida. Luontaisessa uudistumisessa on esimerkiksi siemenvuosien vaihtelusta, siemenpuiden koosta ja kunnosta seuraavia epävarmuuksia, joita istutuksessa ja kylvössä ei ole. Lisäksi kasvumallit on laadittu otoksesta, joten niiden parametreihin liittyy virhettä. Virheen suuntaa ei tunneta, vaikka mallit olisikin laadittu parhailla mahdollisilla menetelmillä. Koska kaikissa laskelmissa käytetään samoja malleja, johdattaa parametrien virhe harhaan, joka suosii jonkin verran jompaakumpaa kasvatustapaa (Mehtätalo ja Lappi 2020). Sitä kumpaa se suosii ja kuinka paljon ei tiedetä; se selviää vasta ajan kuluessa.

11.5.2. Sisäänkasvumallit

Jatkuvassa kasvatuksessa olennaista on pystyä ennustamaan uusien puiden syntymistä. Koska pienten taimien eloonjääminen on hyvin epävarmaa, tarkastellaan yleensä vain asetetun vähimmäispituuden tai -lähimittan ylittäneitä taimia, ns. sisäänkasvua. Sen mallintaminen on osoittautunut hyvin haastavaksi. Ei riitä, että malli osaa ennustaa sisäänkasvun keskimäärin oikein, vaan mallin on kyettävä kuvaamaan (1) tapahtuuko sisäänkasvua, (2) kuinka paljon sisäänkasvua tapahtuu, jos sitä tapahtuu, ja (3) jakautuuko sisäänkasvu riittävän tasaisesti metsikön alueelle. Metsäsuunnitteluun parhaiten soveltuva sisäänkasvumalli lienee Lapin ja Pukkalan (2020) malli, jossa nämä kolme komponenttia on huomioitu. Malli on sovitettu kattavaan VMI-aineistoon joten se soveltuu käytettäväksi suunnittelussa, jossa kasvatustavan valinta on myös päätöksenteon kohteena. Muita laadittuja sisäänkasvumalleja on esimerkiksi Eerikäisen ym. (2007) malli, joka on laadittu jatkuvan kasvatuksen kokeiden aineistosta.

On myös syytä erottaa toisistaan se, kuvaako malli sisäänkasvun em. kolme komponenttia realistisesti aluetasolla vai kykeneekö se myös kohdentamaan ennusteet luotettavasti eri kohteille. Jälkimmäinen on tuskin mahdollista millään mallilla ilman maastotarkistuksia, vaikka laserkeilaus antaakin kohtuullisen hyvää tietoa alikasvoksen olemassaolosta. Suuralueen laskelmissa (MELA) käsittelyohjeita ei kohdenneta tiettyihin metsiköihin. Suunnittelulaskelmien kannalta riittää siis malli, joka kykenee ennustamaan totuudenmukaisesti kasvupaikka, ikäluokka- ja aluekohtaisesti sellaisten metsiköiden osuuden, jossa sisäänkasvua tapahtuu riittävästi jatkuvaa kasvatusta ajatellen. Toisaalta metsälötason suunnittelussa päätökset kohdennetaan konkreettisesti tiettyihin metsiköihin. Tällöin on oikeasti tiedettävä missä metsikössä sisäänkasvu on riittävä jatkuvaa kasvua ajatellen.

11.6. Metsänkasvatustapojen valinta optimoinnilla

Kun on käytössä edellä kuvatut toimivat mallit nykytilan kuvaukseen ja käsittelyvaihtoehtojen simulointiin, voidaan käsittelyvaihtoehtoista koostaa metsäsuunnitelma optimoinnilla. Optimointi jatkuvassa kasvatuksessa ja tasaikäiskasvatuksessa eivät poikkea toisistaan, mikäli kaikki relevantit kasvuun ja tuotokseen vaikuttavat tekijät on kuvattu yhtenäisellä simulaattorilla, joka sopii molempien kasvatustapojen kuvaukseen. Mikäli simulaattori systemaattisesti yliarvioi jommankumman kasvatustavan, ongelma kärjistyy edelleen optimoinnissa. Kärjistyminen on seurausta siitä, että optimointi luonteensa mukaisesti valitsee ääreviä ratkaisuja, ja pieninkin

etu yhden menetelmän hyväksi voi tuottaa suunnitelman, jossa tämän yhden menetelmän mukaisia käsittelyjä tulee valituksi merkittävästi (esim. Kangas & Kangas 1991).

Mikäli eri-ikäis- ja tasaikäiskasvatuksen eroavaisuuksista myös epävarmuudet halutaan huomioida, tarvitaan stokastisuuden tunnistava optimointimenetelmä (Eyvindson & Kangas 2014, Malo ym. 2022). Stokastisella menetelmällä voidaan huomioida esimerkiksi uudistumisen riskit, jotka ovat menetelmissä erilaiset. Myös muut riskit, jotka mahdollisesti ovat kasvatusten menetelmissä erilaisia (tuulituho- tai juurikäpäriskit) pitäisi vastaavalla tavalla huomioida. Mikäli eroavia riskejä ei huomioida, suunnittelujärjestelmä suosii väistämättä sitä, joka tuottaa keskimäärin paremman tuloksen riippumatta riskien eroista.

11.7. Päätelmiä ja tutkimustarpeet

Tulevia tutkimustarpeita

- Jatkuvapeitteiseen kasvatukseen sopivat pituusmallit
- Kasvumallit, jotka toimivat kasvatustavasta riippumatta, sekä arvio niiden virheistä eri kasvatusten menetelmissä
- Kehittää edelleen suunnittelujärjestelmiä, joissa jatkuva kasvatusta on yksi vaihtoehto muiden joukossa.

Viitteet

- Bollandsås, O.M., Hanssen, K. H., Marthiniussen, S. & Næsset, E. 2008. Measures of spatial forest structure derived from airborne laser data are associated with natural regeneration patterns in an uneven-aged spruce forest. *Forest Ecology and Management* 255(3), 953–961.
- Bianchi, S., Siipilehto, J. and Hynynen, J. 2020. How structural diversity affects Norway spruce crown characteristics- *Forest Ecology and Management* 461: 117932.
- Bronisz, K. & Mehtätalo, L. 2020. Mixed-effects Generalized height-diameter model for young silver birch stands on post-agricultural lands. *Forest Ecology and Management* 460: 117901.
- Eerikäinen, K., Miina, J. & Valkonen, S. 2007. Models for the regeneration establishment and the development of established seedlings in uneven-aged, Norway spruce dominated forest stands of southern Finland. *Forest Ecology and Management* 242(2–3): 444–461.
- Eyvindson, K. & Kangas, A. 2014. Stochastic goal programming in forest planning. *Canadian Journal of Forest Research* 44: 1274–1280.
- Eyvindson, K., Duflo, R., Triviño, M., Blatter, C., Potterf, M. & Mönkkönen, M. 2021. High boreal forest multifunctionality requires continuous cover forestry as a dominant management. *Land Use Policy* 100.
- Jarron, L., Coops, N., MacKenzie, W., Tompalski, P. & Dykstra, P. 2020. Detection of sub-canopy forest structure using airborne LiDAR. *Remote Sensing of Environment* 244, 111770.
- Kangas, A. & Kangas, J. 1999. Optimization bias in forest management planning solutions due to errors in forest variables. *Silva Fennica* 33: 303–315.

- Kilkki, P., Maltamo, M., Mykkänen, R. & Päivinen, R. 1989. Use of the Weibull function in the estimation the basal area dbh-distribution. *Silva Fenn* 23(4): 311–318.
- Lappi, J. & Pukkala, T. 2020. Analyzing ingrowth using zero-inflated negative binomial models. *Silva Fennica* 54(4), article id 10370.
- Maltamo, M. 1997. Comparing basal area diameter distributions estimated by tree species and for the entire growing stock in a mixed stand. *Silva Fennica* 31(1): 53–65.
- Maltamo, M., Kangas, A., Uuttera, J., Torniainen, T. & Saramäki, J. 2000. Comparison of percentile based prediction methods and the Weibull distribution in describing the diameter distribution of heterogeneous Scots pine stands. *Forest Ecology and Management* 133:263-274.
- Maltamo, M., Puumalainen, J. & Päivinen, R. 1995. Comparison of beta and Weibull functions for modelling basal area diameter distribution in stands of *Pinus sylvestris* and *Picea abies*. *Scandinavian Journal of Forest Research* 10: 284–295.
- Maltamo, M., Packalén, P., Yu, X., Eerikäinen, K., Hyyppä, J. & Pitkänen, J. 2005. Identifying and quantifying structural characteristics of heterogeneous boreal forests using laser scanner data. *Forest Ecology and Management* 216(1): 41–50.
- Malo, P., Tahvonen, O., Suominen, A., Back, P. & Viitasaari, L. 2022. Reinforcement learning in optimizing forest management. *Canadian Journal of Forest Research*. 51(10): 1393–1409.
- Mehtätalo, L., Maltamo, M. & Kangas, A. 2006. The use of quantile trees in prediction of the diameter distribution of a stand. *Silva Fennica* 40: 501–516.
- Mehtätalo, L. 2005. Height-diameter models for Scots pine and birch in Finland. *Silva Fennica* 39(1): 55–66.
- Mehtätalo, L. 2004. A longitudinal height-diameter model for Norway spruce in Finland. *Canadian Journal of Forest Research* 34(1): 131–140.
- Pukkala, T., Lähde, E., Laiho, O., Salo, K. and Hotanen, J.-P. A multifunctional comparison of even-aged and uneven-aged forest management in a boreal region. *Canadian Journal of Forest Research* 41: 851–862.
- Pukkala, T. 2007. Metsäsuunnittelun menetelmät. Joen Forest Program Consulting. Joensuu.
- Pukkala, T., Lähde, E. & Laiho, O. 2011. Metsän jatkuva kasvatus. Joen Forest Program Consulting. Joensuu.
- Pukkala, T., Lähde, E. & Laiho, O. 2013. Species Interactions in the Dynamics of Even- and Uneven-Aged Boreal Forests. *Journal of Sustainable Forestry* 32:371–403.
- Pukkala, T. 2020. Instructions for optimal any-aged forestry, *Forestry* 91(5): 563–574.
- Pukkala, T., Vauhkonen, J., Korhonen, K.T. & Packalen, T. 2021. Self-learning growth simulator for modelling forest stand dynamics in changing conditions, *Forestry* 94(3): 333–346.
- Siipilehto, J, 1988. Metsätaloustalouden läpimittajakaumien ennustaminen beta-funktiolla. 54 s. Pro gradu -työ. Helsingin yliopisto, metsänarvioimistieteen laitos.

- Siipilehto, J. 1999. Improving the accuracy of predicted basal-area diameter distribution in advanced stands by determining stem number. *Silva Fennica* 33(4): 281–301
- Siipilehto, J. 2022. Runkolukusarjamallit ovat aikansa lapsia — onko eri-ikäisrakenteisiin metsiin soveltuvia parametrisia malleja tai menetelmiä? *Metsätieteen aikakauskirja*. Tutkimus-seloste. (Hyväksytty käsikirjoitus)
- Siipilehto, J., Sarkkola, S. & Mehtätalo, L. 2007. Comparing regression estimation techniques when predicting diameter distributions of Scots pine on drained peatlands. *Silva Fennica* 41(1): 333–349.
- Siipilehto, J., & Mehtätalo, L. 2013. Parameter recovery vs. parameter prediction for the Weibull distribution validated for Scots pine stands in Finland. *Silva Fennica* 47(4): 1–22.
- Valbuena, R., Maltamo, M., Mehtätalo, L. & Packalen, P. 2017. Key structural features of Boreal forests may be detected directly using L-moments from airborne lidar data. *Remote Sensing of Environment* 194: 437–446.

12. Metsien monikäyttö

Seija Tuulentie ja Rainer Peltola

- Virkistys- ja matkailukäytössä kaivataan peitteistä metsämaisemaa.
- Metsämaiseman vaihtelu ja kaukomaisemien avautuminen viehättävät, mutta maanmuokkaus ja avohakkuut ovat haitallisia useimpien virkistyskäyttäjien mielestä.
- Jatkuvapeitteinen kasvatus suosii mustikkaa, kun taas puolukka ja sienet hyötyvät jaksollisesta kasvatuksesta.

12.1. Mistä puhutaan, kun puhutaan monikäytöstä?

Virkistyskäyttö, marjastus, sienestys ja metsästys sekä puuntuotanto ovat esimerkkejä siitä, mitä on perinteisesti ymmärretty metsien monikäytöllä. Monikäyttö tarkoittaa siis sitä, että metsiä käytetään useampaan kuin yhteen tarkoitukseen, ja metsänhoidon tavoitteena on samaan aikaan tuottaa useanlaisia tuotteita ja palveluja (Huuskonen ym. 2021). Monikäytön voi nähdä myös moninaistuneen, kun esimerkiksi uudenlaiset virkistyskäytön muodot tarvitsevat lisää reittejä ja tuulivoima- ja muu rakentaminen vaatii yhä enemmän metsäpinta-alaa. Perinteisen monikäyttökäsitteen rinnalle on nostettu ekosysteemipalvelujen käsite, joka on monikäyttöä kattavampi (Huuskonen ym. 2021). Tässä tekstissä ymmärretään monikäytöllä ekosysteemipalvelujen ne osat, jotka liittyvät kulttuurisiin ekosysteemipalveluihin sekä ei-puuntuotannolliseen metsän käyttöön ja pohditaan näiden suhdetta puuntuotannon tapoihin.

Yrjö Haila (2015) toteaa monikäytön symboloivan metsäympäristöä kaikkien kansalaisten ulottuvilla olevana julkishyödykkeenä. Hän korostaa perinteisen monikäytön tulkinnan rinnalla myös moniaistisuutta ja syviä metsäsuhteita. Huomion kohdistaminen moniaistisuuteen ja syvempään metsäsuhteeseen onkin noussut yhä tärkeämmäksi niin tutkimuksessa kuin julkisessa keskustelussa. Metsien hyvinvointi- ja terveysvaikutuksiin on kiinnitetty erityistä huomiota viime aikoina (Simkin ym. 2021), ja nämä vaikutukset linkittyvät tiiviisti metsien virkistys- ja matkailukäyttöön.

Metsien tärkeyttä suomalaisten luonnontuotteiden keräilyyn, vapaa-ajan ja matkailun ympäristönä ei voi liikaa korostaa, mutta sen lisäksi Suomen metsät ovat yhä useammin kansainvälisten matkailijoiden toimintaympäristöä. Suojelalueiden ja etenkin kansallispuistojen merkitys matkailun ja retkeilyn vetovoimatekijänä on kasvanut koko ajan, mutta myös talousmetsät ovat tärkeitä eri toimintojen ympäristöinä. Kansallispuistot ja muut suojelalueet sijaitsevat usein etäällä suurista asutuskeskuksista, joten erityisen arvokkaiksi virkistysalueiksi ovat osoittautuneet keskusten lähimetsät, koska suuri osa ulkoilusta tapahtuu kodin tai vapaa-ajan asuinpaikan lähiympäristössä. Noin kaksi kolmasosaa ulkoilukerroista kohdistuu lähivirkistysalueille (Sievänen ja Tyrväinen 2015).

Suomen metsiä voivat käyttää jokamiehenoikeudella kaikki kansallisuuteen katsomatta. Marjojen ja sienten poiminta on tärkeimpiä jokamiehenoikeuksia. Marjoja ja sieniä poimiikin enemistö suomalaisista (Sievänen ja Neuvonen 2011). Marjoihin ja sieniin metsänkäsittelytavat vaikuttavat eri tavoin lajista riippuen.

Tarkastelemme tässä tekstissä ensin metsää matkailun ja virkistyskäytön näkökulmasta ja sen jälkeen marjastuksen ja sienestyksen paikkana. Yhteenvedossa pohdimme muun muassa jokamiehen oikeuksien merkitystä ja nostamme esiin tutkimustarpeita.

12.2. Matkailun ja virkistyskäytön metsä

Maisema ja kulkukelpoisuus ovat keskeisimpiä tekijöitä matkailijan ja virkistyskäyttäjän metsässä. Luontomatkailussa ja retkeilyssä suojelualueet ja etenkin kansallispuistot ovat suosittuja kohteita, mutta sen lisäksi monet luontomatkailuaktiviteetit tapahtuvat talousmetsissä. Moottorikelkkasafarit ovat hyvä esimerkki erittäin suositusta suojelualueiden ulkopuolelle sijoittuvasta tuotteesta.

Eri tutkimukset osoittavat jokseenkin yksimielisesti, että ihmiset pitävät lähimaisemissa yleensä metsiköistä, joissa on kookkaita puita, suhteellisen hyvää näkyvyys ja melko harvapuustoinen metsä (Karjalainen ja Store 2015, Silvennoinen 2017). Lisäksi alikasvosta, vehreyttä ja yhtenäistä vihreää kenttäkerrosta arvostetaan (Karjalainen ja Store 2015). Erilaisten metsiköiden vaihtelutakin pidetään: tiiviin metsän jälkeen avautuva avoin näkymä miellyttää, ja vesistöjä ja laajoja maisemia ja kaukonäkymiä arvostetaan (Miina ym. 2020). Tutkimukset osoittavat, että suomalaiset suosivat mänty- ja koivumetsiä ja vähiten suosittuja ovat kuusimetsät. Yleisesti ottaen virkistyskäytössä suositetaan suhteellisen avoimia metsiä (Silvennoinen 2017). Selvää on, että arvostetussa maisemassa ei näy metsätalouden jälkiä, kuten hakkuutähteitä tai muita hakkuiden jälkiä, eli päätehakkuut ovat selvästi negatiivisia virkistyskäytön kannalta sekä suomalaisten että eurooppalaisten tutkimusten mukaan (Edwards ym. 2012, Karjalainen ja Store 2015).

Pohjoisessa maisema vaihtuu vuodenaikojen myötä ja olennaisin ero on lumipeitteisen ja lumettoman ajan välillä. Talvinen maisema on erityisesti Lapin matkailussa tärkeä, sillä pohjoisessa matkailun pääsesonki ajoittuu marraskuusta maaliskuulle (Lapin matkailustrategia, 2019). Kesämatkailua on pyritty kehittämään jo vuosikymmeniä, mutta siitä huolimatta se on suurimassa osassa pohjoista vähemmän vetovoimainen. Esimerkiksi Lapissa oli kesällä 2018 noin miljoona rekisteröityä yöpymistä, kun yöpymisiä talvikaudella 2017–2018 oli kaksinkertaisesti eli noin kaksi miljoonaa. Pohjoisessa on myös panostettu kansainvälisiin matkailijoihin: Lapin matkailijoista yli puolet (52 %) tuli ennen koronaa ulkomailta. Suurimmat yksittäiset lähtömaat olivat Britannia (16 % ulkomaisista matkailijoista), Ranska (11 %) ja Saksa (11 %), joten heidän maisemamieltymyksensä ovat olennaisia (Lapin matkailustrategia 2019). Kansainvälisten matkailijoiden mieltymyksiä tutkittaessa on todettu, että vuodenaikoihin liittyvät erot ovat suurimmat uudistusaloilla, joilla lumi peittää metsätaloustoimenpiteiden jäljet (Tyrväinen ym. 2017). Tasaikäisiä metsiä, varttuneita kasvatusmetsiä ja uudistuskypsiä metsiköitä matkailijat pitivät sopivina ympäristöinä sekä kesällä että talvella (Silvennoinen 2017).

Metsien ja muiden luontokohteiden saavutettavuus on myös olennaista. Eri toimintoja varten tehdyt reitit jäsentävät maisemaa ja ohjaavat matkailijoita. Esimerkiksi suuresti suosiotaan liisänneen Syötteen kansallispuiston kävijätutkimuksesta selviää, että 93 prosenttia kyselyyn vastanneista on käyttänyt polku- tai latureitistöä (Jylänki 2021). Reittien tarve sekä kesällä että talvella lisääntyy koko ajan, kun tulee uusia aktiviteetteja. Maastopyöräily, fatbike-pyöräily ja polkujuoksu ovat esimerkkejä metsissä harrastettavista uusista lajeista, joiden harrastajamäärät ovat kokemusten mukaan nousseet viime vuosina (Riikonen ja Rautiainen 2017). Niinpä reittien varren metsien käsittely ja maisemat ovat erityisen tärkeitä. Ahtikoski ym. (2011) pyrkivät laskemaan, voisiko matkailijoiden lisääntyminen Levin ja Ylläksen suurten matkailukeskusten välisillä reiteillä kompensoida mahdolliset metsätalouden menetykset, jos metsän käsittelyä reittien varrella rajoitettaisiin. Tuloksena oli, että laajamittainen matkailu kerrannaisvaikutuksineen

kompensoi mahdolliset metsätalouden menetykset. Konu ja Tyrväinen (2020) ovat maisema- ja virkistysarvokaupan mahdollisuuksia tutkiessaan keskittyneet matkailun näkökulmasta keskeisiin metsäkohteisiin. Tällaisia ovat erilaisten ulkoilureittien varret sekä maisemapaikoilta avautuvat näkymät (Kuva 22). Iältään nämä metsäkohteet ovat uudistuskypsiä, ja talousmetsien hoitosuosituksen mukaan niissä tehtäisiin päätehakkuu uuden taimikon aikaansaamiseksi. Taivitteena on ollut, että monimuotoisten luontoalueiden säilymisestä hyötyisivät matkailuyrittäjien lisäksi myös matkailijat, mökkien omistajat ja paikalliset asukkaat. Matkailutulon jalkauttaminen myös paikallisille metsänomistajille voisi Konun ja Tyrväisen (2020) mukaan osaltaan vähentää matkailu- ja metsäsektorin välisiä ristiriitoja.



Kuva 22. Kaukomaisema ja reitit ovat virkistyskäytössä ja matkailussa tärkeitä. Kuva: Seija Tuulentie.

Lapin luontomatkailuyrityksille (N=46) tehty selvitys (Kosenius ym. 2013) osoitti, että yritykset asettavat valtion talousmetsien hoidolle tiukemmat ympäristölliset ja virkistyselliset vaatimukset kuin yksityismetsien hoidolle. Vastaajista yli 90 % oli sitä mieltä, että valtion talousmetsissä sijaitsevat reitit ja rakenteet edistävät matkailuelinkeinoa, ja että luontomatkailuyritysten tarpeet pitää ottaa nykyistä paremmin huomioon Metsähallituksen toiminnassa. Monien vastaajien (noin 65 %) mielestä vesistöjen varsille pitää jättää nykyistä leveämmät suojavyöhykkeet ja avohakkuut tulee lopettaa valtion talousmetsissä. Metsänhoitotoimenpiteistä pidettiin luontomatkailun kannalta erityisen tärkeinä voimakkaan maanmuokkauksen ja avohakkuiden välttämistä.

12.3. Marja- ja sienimetsä

Metsien keruutuotteet (luonnonmarjat, -sienet ja -yrtit, luonnontuotteet, Non-Timber Forest Products) ovat suomalaisen metsäluonnon tärkeitä ja laajasti käytettyjä raaka-aineita. Vaikka metsien keruutuotteiden suora rahallinen raaka-ainearvo on vähäinen ainespuuhun verrattuna, niiden kulttuurista arvoa on vaikea yliarvioida. Yli kolme miljoonaa suomalaista – 65 % väestöstä – poimii marjoja, sieniä ja villiyrttejä vuosittain (Sievänen ja Neuvonen 2011). Suurin osa tästä poiminnasta on virkistystä, luontoliikuntaa ja kotitarvepoimintaa. Vaikka varsinaisen teollisuusmarjan poiminnan hoitaakin nykyään ensisijaisesti maahan kutsuttu ulkomaalainen työvoima, myös kotimaisille poimijoille luonnonmarjat ovat lisätulon lähde ennen kaikkea suoramyyntimarkkinoilla (Vaara 2015). Ylivoimaisesti tärkeimmät luonnonmarjat ovat mustikka (*Vaccinium myrtillus*) ja puolukka (*Vaccinium vitis – idaea*).

Mustikka esiintyy koko maan alueella tuoreissa, lehtomaisissa ja kuivissa kangasmetsissä, korvissa ja tunturikankailla. Metsien jaksolliseen kasvatukseen kuuluvat päätehakkuut maanmuokkauksineen aiheuttavat vaurioita mustikan juuristolle ja koska mustikka ei viihdy hakkuuaukolla vallitsevassa kuivassa ja paahteisessa ympäristössä, mustikkakasvustot palaavat metsään vasta ensiharvennusten jälkeen. Mustikan peittävyys onkin pienentynyt 1950-luvun jälkeen 18 %:sta 8 %:iin 40 vuodessa, metsien jaksolliseen kasvatukseen siirtymisen ja sen myötä tapahtuneen metsien rakenteen muutoksen takia (Salemaa 2000a).

Puolukkaa esiintyy koko maassa, valoisissa ja kuivahkoissa kangasmetsissä. Myös puolukan peittävyys on pienentynyt yli puolella 1950-luvulta lähtien. Jaksolliseen kasvatukseen kuuluvat päätehakkuut vaurioittavat myös puolukkakasvustoja, mutta vähemmän kuin mustikalla, ja puolukka palautuu vaurioista nopeammin (Salemaa 2000b). Puolukka sietää mustikkaa paremmin kuivuutta ja marjoo parhaiten alueilla, joissa puiden latvustot eivät varjosta kasvustoa, joten satoisimmat puolukkakasvustot ovatkin usein hakkuuaukeilla tai siemenpuuston alla sekä taimikoissa (Turtiainen ym. 2013) (Kuva 23).



Kuva 23. Puolukka tuottaa hyvin satoa kuivahkoilla, harvapuustoisilla kankailla, joten se hyötyy taimikoiden valoisuudesta. Kuvat: Erkki Oksanen.

Jatkuvapeitteisen kasvatuksen menetelmien vaikutuksista marjasatoihin ei juurikaan ole empiiristä tutkimusta. Todennäköisesti mustikka kuitenkin hyötyy jatkuvasta kasvatuksesta, koska metsä pysyy jatkuvasti peitteisenä eikä laajoja maanmuokkauksia tehdä. Eri-ikäiskasvatuksessa esimerkiksi kuusivaltaiset metsät pidetään tiheydeltään 10–22 m²/ha pohjapinta-alassa (Tapio 2019). Malleissa mustikan peittävyys kuusikoissa kasvaa 26 m²/ha pohjapinta-alaan saakka (Turtiainen ym. 2016).

Mustikkasadon optimi on kuitenkin puuston pohjapinta-alan ollessa 14 m²/ha, koska tiheissä kuusikoissa mustikka marjoo heikosti hyvästä peittävydestä huolimatta (Miina ym. 2009). Mustikka näyttäisi siis mallien perusteella viihtyvän hyvin jatkuvan kasvatuksen kuusikoiden puustotiheyksissä sekä turve- että kivennäismailla (Miina ym. 2020). Malleihin perustuvissa laskelmissa kuusikoissa jatkuvapeitteinen kasvatusta tuotti viisinkertaisen määrän mustikkaa jaksolliseen kasvatukseen verrattuna, männiköissä eri metsänkäsittelymenetelmillä oli vain vähäinen vaikutus (Pukkala ym. 2011).

Mustikasta poiketen puolukka viihtyy valoisissa elinympäristöissä ja voi tuottaa siten parhaat marjasadot jaksollisen kasvatuksen uudistushakkuiden jälkeen peittävyden vähenemisestä huolimatta, kunnes valon määrä kenttäkerroksessa vähenee taimien kasvaessa (Turtiainen ym. 2013). Mallilaskelmissa on todettu jaksollisen kasvatuksen olevan puolukkasatojen kannalta parempi kuin jatkuvapeitteinen kasvatustapa (Peura ym. 2018).

Ruokasienistä poimitaan lähinnä suppilovahveroa ja kantarellia (*Cantharellus tubaeformis*, *C. cibarius*), korvasientä (*Gyromitra esculenta*), mustatorvisientä (*Craterellus cornucopioides*), rouskuja (*Lactarius trivialis*, *L. rufus*, *L. torminosus*) sekä herkkutatteja (*Boletus edulis*, *B. pinophilus*) (Turtiainen ja Salo 2015). Sienten kaupallinen poiminta on lähes kokonaan suomalaisten poimijoiden käsissä.

Jaksolliseen kasvatukseen kuuluvat päätehakkuut romahduttavat käytännössä kaikkien muiden sienten paitsi korvasienen sadot useiksi vuosiksi. Sienisadot palautuvat kuitenkin ennalleen nuorissa kasvatusmetsissä (Miina ym. 2020) ja parhaat tatti- ja rouskusadot saadaan 20–40 vuotiaista kuusikoista ennen ensiharvennusta (Tahvanainen ym. 2016). Metsäaluetason laskelmissa on saatu tulokseksi, että sienisatojen kannalta jaksollinen kasvatusta on jatkuvapeitteistä kasvatusta parempi vaihtoehto (Peura ym. 2018).

12.4. Päätelmiä

Matkailu- ja virkistyskäytön osalta on jokseenkin kiistatonta, että sulan maan aikana voimakas maanmuokkaus ja päätehakkuut eivät viehätä kulkijoita. Sen sijaan lumisena aikana nämä piirteet eivät niin paljon haittaa. Kun pohjoisen kesämatkailua halutaan kehittää, on olennaista välttää tärkeillä matkailualueilla avohakkuita ja hakkuutähteitä. Kuten Koivula ym. (2020) toteavat jatkuvapeitteinen ja eri-ikäisrakenteinen metsänhoito säilyttävät avohakkuita paremmin metsien vetovoimaisuuden virkistys- ja matkailukäytössä.

Olennaista on myös se, miten toteutuneet metsätaloustoimenpiteet sijoittuvat suhteessa alueiden muuhun käyttöön. Jokamiehenoikeudet eivät ole sidoksissa metsänhoitotapoihin, mutta jokamiehenoikeudet retkeilykäytäntöineen, marjastuksineen ja sienestyksineen ovat tärkeä osa virkistyskäyttöä, joten olennaista olisi tarkastella, mitkä alueet ovat jokamiehenoikeuksien kannalta merkityksellisimpiä. Myös luontomatkailulle tärkeät reitit ja muut alueet sekä keskusten lähimetsät vaativat muita alueita selvemmin peitteistä metsätaloutta.

Maisemien tai muiden aineettomien luontoarvojen säilyttäminen matkailua varten ei toisistaan ole saanut laajemmin huomiota metsäpolitiikassa eikä maankäytön suunnittelussa (Tyrväinen ym. 2020). Metsien käyttöön liittyvissä keskusteluissa tulevat usein esiin eri käyttömuotojen, kuten metsätalouden, luonnonsuojelun ja virkistyskäytön, ristiriidat. Tulevan tutkimuksen haasteita onkin pyrkiä ymmärtämään paremmin monikäytön ja metsätalouden välisiä synergioita ja ristiriidan aiheita sekä niiden paikantumista. Paikantamisessa voitaisiin käyttää enemmän hyväksi esimerkiksi osallistavia GIS-menetelmiä. Osallistavien menetelmien laajempi käyttö toisi myös enemmän ymmärrystä eri käyttäjäryhmien tarpeista.

Luonnonmarjat ja -sienet voivat tuottaa hyviä satoja sekä jaksollisessa että jatkuvapeitteisessä kasvatuksessa. Mallinnusten perusteella vaikuttaisi kuitenkin siltä, että mustikka hyötyy peitteisestä kasvatuksesta jaksollista kasvatusta enemmän, kun taas puolukka ja sienet tuottavat parempia satoja jaksollisen kasvatuksen metsissä. Marjojen ja sienten poiminta on kuitenkin pääsääntöisesti luontoliikuntaa ja virkistymistä, joten näiden luonnontuotteiden poimintaa edistettäessä on huomioitava myös metsien muu vetovoimaisuus, joka vaikuttaisi olevan parempi peitteisen kasvatuksen metsissä.

Empiiristä tietoa jatkuvan kasvatuksen vaikutuksista marja- ja sienisatoihin on kuitenkin hyvin niukasti, joten jatkuvan kasvatuksen koealoille tulisi perustaa myös marja- ja sienisatoseuran koealoja – sekä poiminta- että pienaukkohakkuualoille. Varsinaisen marja- ja sienisatoseuran lisäksi marjasatojen seuranta-aloille tulee perustaa myös pölyttäjäseuranta, koska pölytyksen onnistuminen on tärkein yksittäinen tekijä luonnonmarjasatoon vaikuttavista tekijöistä.

Viitteet

- Ahtikoski, A., Tuulentie, S., Hallikainen, V., Nivala, V., Vatanen, E., Tyrväinen, L. & Salminen, H. 2011. Potential trade-offs between nature-based tourism and forestry, a case study in Northern Finland. *Forests* 2(4): 894–912.
- Edwards, D., Jay, M., Jensen, F.S., Lucas, B., Marzano, M., Montagné, C., Peace, A. & Weiss, G. 2012. Public preferences for structural attributes of forests: Towards a pan-European perspective. *Forest Policy and Economics* 19: 12–19.
- Haila, Y. 2015. Sopeutuuko metsien monikäyttö biotalouteen? *Metsätieteen aikakauskirja* 4/2015: 253–255.
- Huuskonen, S., Domisch, T., Finér, L., Hantula, J., Hynynen, J., Matala, J., Miina, J., Neuvonen, S., Nevalainen, S., Niemistö, P., Nikula, A., Piri, T., Siitonen, J., Smolander, A., Tonteri, T., Uotila, K. & Viiri, H. 2021. What is the potential for replacing monocultures with mixed-species stands to enhance ecosystem services in boreal forests in Fennoscandia? *Forest Ecology and Management* 479, 118558.
- Jylänki, T. 2021. Syötteen kävijätutkimus 2020. Metsähallituksen luonnonsuojelujulkaisuja. Sarja B 261.
- Karjalainen, E. & Store, R. 2015. Maisemanhoito metsätaloudessa. Teoksessa: Salo, K. (toim.) *Metsä. Monikäyttö ja ekosysteemipalvelut*. Luke, Helsinki, 257–262.
- Koivula, M., Silvennoinen, H., Koivula, H., Tikkanen, J., & Tyrväinen, L. 2020. Continuous-cover management and attractiveness of managed Scots pine forests. *Canadian Journal of Forest Research*, 50(8): 819–828.
- Konu, H., & Tyrväinen, L. 2020. Matkakohteen luontoympäristön vetovoimaisuuden ylläpitäminen maisema- ja virkistysarvokaupan avulla. *Matkailututkimus*, 16(2): 40–44.
- Kosenius, A.-K, Juutinen, A., Neuvonen, M., Ovaskainen, V., Sievänen, T., Tolvanen, A. & Tyrväinen, L. 2013. Virkistyskäyttöä edistävä metsänhoito valtion talousmetsissä: hyötyjen rahamääräinen arvo. *Metlan työraportteja* 261. <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2013/mwp261.pdf>.

- Lapin matkailustrategia 2020–2023. Matkailun tilannekuva-analyysi. 2019. https://arcticsmartness.eu/wp-content/uploads/Matkailu_tilannekuvaraportti_web.pdf. Haettu 22.3.2022.
- Miina, J., Hotanen, J.-P. & Salo, K. 2009. Modelling the abundance and temporal variation in the production of bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.) in Finnish mineral soil forests. *Silva Fennica* 43(4): 577–593
- Miina J., Tolvanen A., Kumpula J. & Tyrväinen L. 2020. Metsien luonnontuotteet, virkistyskäyttö ja porolaitumet jatkuvapeitteisessä ja jaksollisessa kasvatuksessa. *Metsätieteen aikakauskirja* 2020–10345. Katsaus. 18 s.
- Peura M., Burgas D., Eyvindson K., Repo A. & Mönkkönen M. 2018. Continuous cover forestry is a cost-efficient tool to increase multifunctionality of boreal production forests in Fennoscandia. *Biological Conservation* 217: 104–112
- Pukkala T., Lähde E., Laiho O., Salo K. & Hotanen J.-P. 2011. A multifunctional comparison of even-aged and uneven-aged forest management in a boreal region. *Canadian Journal of Forest Research* 41(4): 851–862
- Riikonen, T. & Rautiainen, A. 2017. Maastossa olevien ulkoilureittien monikäyttö: nykytila, esteet ja mahdollisuudet. *Suomen Latu*. 85 s.
- Salemaa M. 2000a. *Vaccinium myrtillus*. Mustikka. Teoksessa: Reinikainen A., Mäkipää R., Vanha-Majamaa I. & Hotanen J.-P. (toim.). *Kasvit muuttuvassa metsäluonnossa*. Tammi, Helsinki. s. 128–130.
- Salemaa M. 2000b. *Vaccinium vitis-idaea*. Puolukka. Teoksessa: Reinikainen A., Mäkipää R., Vanha-Majamaa I., Hotanen J.-P. (toim.). *Kasvit muuttuvassa metsäluonnossa*. Tammi, Helsinki. s. 136–138.
- Sievänen, T. & Neuvonen, M. (toim) 2011. Luonnon virkistyskäyttö 2010. *Metsäntutkimuslaitoksen työraportteja* 212. s. 467–471.
- Sievänen, T. & Tyrväinen, L. 2015. Virkistyskäyttö ja luontomatkat. Teoksessa: Salo, K. (toim.) *Metsä. Monikäyttö ja ekosysteemipalvelut*. Luke, Helsinki, 262–266.
- Simkin, J., Ojala, A. & Tyrväinen, L. 2021. The Perceived Restorativeness of Differently Managed Forests and Its Association with Forest Qualities and Individual Variables: A Field Experiment. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 18, 422.
- Silvennoinen, H. 2017. Metsämaiseman kauneus ja metsänhoidon vaikutus koettuun maisemaan metsikkötasolla. *Dissertationes Forestales* 242, Suomen metsätieteellinen seura.
- Tahvanainen V., Miina J., Kurttila M. & Salo K. 2016. Modelling the yields of marketed mushrooms in *Picea abies* stands in eastern Finland. *Forest Ecology and Management* 362: 79–88.
- Tapio 2019. Jatkuva kasvatusta. Teoksessa: Äijälä, O., Koistinen, A., Sved, J., Vanhatalo, K. & Väisänen, P. (toim.). *Metsänhoidon suositukset* s. 113. Tapio Oy.
- Turtiainen M., Miina J., Salo K. & Hotanen J.-P. 2013. Empirical prediction models for the coverage and yields of cowberry in Finland. *Silva Fennica* vol. 47:3, 1005.

- Turtiainen, M. & Salo, K. 2015. Ruokasienten käyttö ja kauppa. Teoksessa Salo, K. (toim.). Metsä. Monikäyttö ja ekosysteemipalvelut, s. 167–171. Luonnonvarakeskus, Helsinki.
- Turtiainen M., Miina J., Salo K. & Hotanen J.-P. 2016. Modelling the coverage and annual variation in bilberry yield in Finland. *Silva Fennica* 50:4, 1573.
- Tyrväinen, L., Silvennoinen, H. & Hallikainen, V. 2017. Effect of the season and forest management on the visual quality of the nature-based tourism environment: a case from Finnish Lapland, *Scandinavian Journal of Forest Research*, 32(4:) 349–359,
- Tyrväinen, L., Mäntymaa, E., Juutinen, A., Kurttila, M. & Ovaskainen, V. 2020. Private landowners' preferences for trading forest landscape and recreational values: A choice experiment application in Kuusamo, Finland. *Land Use Policy* 107, 104478.
- Vaara, M. 2015. Luonnonmarjojen käyttö kotitalouksissa ja teollisuudessa. Teoksessa Salo, K. (toim.) Metsä. Monikäyttö ja ekosysteemipalvelut, s. 139–142. Luonnonvarakeskus, Helsinki.

13. Metsänomistajien suhtautuminen

Emmi Haltia

- Jatkuvapeitteinen metsänkasvatus on yleistynyt hitaasti sen vuonna 2014 mahdollistaneen metsälain muutoksen jälkeen.
- Kyselytutkimusten mukaan jatkuvaan kasvatukseen on siirtynyt kaikissa metsissä vajaa 10 prosenttia ja osassa metsiään tutkimuksesta riippuen noin 20–25 prosenttia metsänomistajista. Noin viidennes metsänomistajista oli kiinnostunut kokeilemaan sitä tulevaisuudessa.
- Jatkuvapeitteinen kasvatus kiinnostaa erityisesti keskimääräistä pienempiä tiloja omistavia luonto- ja virkistystavoitteisia metsänomistajia.
- Metsänomistajien kiinnostus nousi selvästi, jos jatkuvapeitteiseen kasvatukseen siirtymisestä sai korvauksen tai se olisi muuten metsänomistajalle tasaikäistä metsän kasvatusta taloudellisesti kannattavampaa.

13.1. Jatkuvapeitteinen metsänkasvatus on yleistynyt hitaasti

Jatkuvapeitteinen metsänkasvatus ei ollut ennen vuotta 2014 metsälain mukaan sallittua kuin poikkeustapauksissa. Vuoden 2014 alusta voimaan astunut Metsälain uudistus (1085/2013 ja 1087/2013) monipuolisti metsien käsittelyn tapoja, poisti aiempia rajoitteita ja mahdollisti jatkuvapeitteisen metsänkasvatuksen valitsemisen metsän kasvatustavaksi. Ennen lakimuutosta vuonna 2011 toteutetussa kyselyssä 27 prosenttia metsänomistajista oli kiinnostunut siirtymään jatkuvapeitteiseen metsänkasvatukseen joko kaikissa tai osassa metsiään (Kumela & Hänninen 2011). Yli puolet metsänomistajista oli kiinnostunut perehtymään ja kokeilemaan jatkuvapeitteistä kasvatustapaa.

Metsälain uudistuksesta tehdyn arvioinnin mukaan jatkuvapeitteinen metsänkasvatus on yleistynyt metsänomistajien keskuudessa hyvin hitaasti (Kniivilä ym. 2020). Vuonna 2018 metsänkäyttöilmoitusten mukaan 1,7 prosenttia kaikista metsänkäyttöilmoituskuvioista oli hakkuutavaltaan jatkuvapeitteisen kasvatuksen mukaisia. Kasvatushakkuiden kokonaispinta-alasta nämä kuviot kattoivat 2,4 prosenttia. On kuitenkin mahdollista, että kaikki jatkuvapeitteiseen kasvatukseen tähtäävät hakkuut eivät ole tilastoituneet oikein metsänkäyttöilmoituksessa valittavien hakkuutapavaihtoehtojen vuoksi (Viitala ym. 2022). Vuonna 2019 toteutetussa Suomalainen metsänomistaja 2020 -kyselyssä (Hänninen ym. 2020) kahdeksan prosenttia metsänomistajista ilmoitti siirtyneensä jatkuvaan kasvatukseen kaikissa metsissä ja 18 prosenttia osassa metsiään. Noin 20 prosenttia metsänomistajista ei ollut vielä käyttänyt jatkuvaa kasvatusta, mutta oli mahdollisesti kiinnostunut käyttämään sitä tulevaisuudessa. Jos jatkuvapeitteiseen kasvatukseen siirtymisestä saisi korvauksen ilmastohyötyjen perusteella, 62 prosenttia metsänomistajista oli kiinnostuneita toteuttamaan sitä osassa metsistään (Koskela ym. 2021).

Kyselyssä, jossa metsänomistajia pyydettiin ilmoittamaan metsätilansa pinta-alan jakautuminen eri metsänkasvatustapoihin, tasaikäisrakenteisen käsittelyn (jaksollinen kasvatus) osuus oli keskimäärin noin 50 prosenttia ja jatkuvan kasvatuksen osuus 25 prosenttia ilmoitetuista pinta-alaosuuksista (Juutinen ym. 2020). Metsäpinta-alalla painotettuna tasaikäisrakenteisen kasvatuksen osuus nousi 60 prosenttiin ja jatkuvan kasvatuksen osuus laski 19 prosenttiin. Yli 60 prosenttia vastaajista aikoi käyttää tulevaisuudessa kahta tai useampaa metsän kasvatustapaa (jaksollinen kasvatus, lyhyt kiertoaika, pitkä kiertoaika, jatkuva kasvatus, muu tapa kuten esimerkiksi suojele). Jatkuvaan kasvatukseen allokoitua pinta-alaa nosti metsänomistajan aiemmin

käyttämä luontainen uudistaminen, ja puolestaan laski taimikonhoito ja avohakkuut kyselyä edeltäneellä viisivuotiskaudella.

Kysyttäessä metsänomistajien halukkuutta ottaa käyttöön erilaisia luonnon monimuotoisuutta edistäviä tai ilmaston muutosta hillitseviä metsän käsittelykeinoja, metsän jatkuvaa kasvatusta aikoi varmasti käyttää 24 prosenttia metsänomistajista ja todennäköisesti 39 prosenttia metsänomistajista (Husa ja Kosenius 2021).

13.2. Luonto- ja virkistystavoitteiset metsänomistajat kiinnostuneimpia jatkuvapeitteisestä kasvatuksesta

Metsänomistajat arvioivat jatkuvapeitteisen kasvatuksen hyödyttävän tiettyjä eliölajeja, ja se olikin yleisempää virkistys- ja luontoarvoja painottaneiden metsänomistajien keskuudessa (Horne ym. 2020). Luonto- ja virkistystavoitteet sekä metsätilan keskimääräistä pienempi koko lisäsivät myös metsänomistajien halukkuutta ottaa käyttöön jatkuvapeitteinen kasvatustulevaisuudessa (Husa & Kosenius 2021). Haastattelututkimuksessa metsänomistajat suhtautuivat kriittisesti erityisesti jatkuvapeitteisen kasvatuksen kannattavuuteen, metsän arvon kehitykseen ja metsän uudistumiseen liittyviin riskeihin (Kietäväinen 2022). Myönteisiksi piirteiksi tutkimuksessa arvioitiin erityisesti maisema-arvot, luonnon monimuotoisuus ja menetelmän sopivuus joihinkin paikkoihin. Metsänomistajien näkemykset olivat osittain ristiriitaisia, tietämyksen taso vaihteli, ja kaikki metsänomistajat eivät tarkoittaneet samoilla termeillä samoja asioita.

Juutisen ym. (2020) tutkimuksessa tarkasteltiin myös sitä, kuinka metsänomistajan suhtautuminen nykyiseen metsänhoitoon vaikutti eri metsänkasvatustapojen osuuteen. Jatkuvapeitteisen kasvatuksen pinta-alaa laski se, että metsänomistaja arvioi Suomen metsiä hoidettavan nykyisin hyvin puuntuotannon, luonnon monimuotoisuuden ja hiilen sidonnan näkökulmasta. Maa- ja metsätalousyrittäjät allokoivat muita ammattiryhmiä vähemmän metsiään jatkuvaan kasvatukseen. Muilla tutkituilla sosioekonomisilla taustatekijöillä ei ollut kasvatustavan valintaan vaikutusta.

Vastaajien valintaa nykyisin tavanomaisen, puun tuotantoa tai luontoarvoja painottavan metsänhoidon välillä on tutkittu myös valintakokeella (Juutinen ym. 2021). Luontoarvoja painottava metsänhoito oli tutkimuksessa kuvattu jatkuvan kasvatuksen kaltaiseksi. Metsänomistajista suurin osa oli kiinnostunut tekemään sopimuksen luontoarvoja painottavasta, jatkuvapeitteisen kasvatustavan kaltaisesta metsänhoidosta korvausta vastaan. Metsänomistajien keskuudesta löytyi myös kiinnostusta valita luontopainotteinen metsänkasvatustapa ilman erillistä korvausta, jos se olisi taloudellisesti tavanomaista kasvatusta kannattavampaa.

13.3. Turvemaiden jatkuvapeitteinen kasvatustapa korvausta vastaan kiinnostaa

Jatkuvapeitteisen kasvatuksen mahdollisuudet turvemaiden hiilidioksidipäästöjen vähentämisessä ovat nousseet keskusteluun viime vuosina. Vuonna 2019 toteutetun kyselyn mukaan lähes 40 prosenttia metsänomistajista oli valmis siirtymään turvemaiden jatkuvaan kasvatukseen ilman kunnostusajatuksia, jos saisi siitä korvauksen (Koskela ym. 2021). Noin 30 prosenttia metsänomistajista ei osannut ottaa kantaa asiaan. Turvemaiden jatkuvapeitteisestä kasvatuksesta olivat muita metsänomistajia useammin kiinnostuneita mm. kaupunkimaisessa ympäristössä asuneet, 45–54-vuotiaat, metsää yhtymän tai kuolinpesän kautta omistaneet sekä monitavoitteiset ja virkistyskäyttöä painottaneet metsänomistajat.

Turvemaiden metsänomistajille pidetyssä työpajassa nousi esiin lisätiedon ja luotettavan, pitkäaikaisen hiilipäästöjen vähentämiseen perustuvan tukijärjestelmän tarve (Berninger ym. 2020). Metsäammattilaisten osaaminen ja metsänomistajille antamat suositukset olivat keskustelijoiden mielestä keskeisessä roolissa suometsien jatkuvan kasvatuksen edistämisessä. Metsänomistajat näkivät haastavana jatkuvaan kasvatukseen siirtymisen esimerkiksi taloudellisen kannattavuuden ja taimettumiseen liittyvien vaikeuksien vuoksi. Hiilikorvauksen kohdistaminen heikkotuottoisille turvemaille sai kannatusta metsänomistajien keskuudessa.

13.4. Päätelmiä

Jatkovapeitteinen kasvatusta on lisääntynyt tähän mennessä melko hitaasti. Metsänomistajien keskuudessa on kuitenkin kiinnostusta kokeilla sitä laajemminkin tulevaisuudessa, vähintään osassa metsiään. Kiinnostusta jatkovapeitteiseen kasvatukseen on erityisesti niillä metsänomistajilla, jotka painottavat metsänomistuksessaan luonto- ja virkistystavoitteita. Jatkovapeitteisen kasvatuksen yleistymistä on hidastanut tiedon ja kokemuksen puute. Metsänomistajat käyttävät paljon neuvontapalveluita päätöksentekoaan tukemassa, ja sekä neuvontapalveluilla että metsänomistajille välitettävällä tiedolla onkin merkittävä rooli siinä, millaisia ratkaisuja metsänkasvatuksessa tehdään (Hänninen ym. 2020, Pynnönen ym. 2021).

Jatkovapeitteisellä kasvatuksella on edellytykset yleistyä, kun kasvatustavasta kertyy kokemusta ja esimerkkejä, ja myös metsäammattilaisten osaaminen kasvatustavan soveltamisessa lisääntyy. Nykyinen yksityismetsätalouden tukijärjestelmä, samoin kuin uusi ehdotettu kannustinjärjestelmä (Viitala ym. 2022, Laturi ym. 2021), kuitenkin suosivat tasaikäisrakenteista metsän kasvatusta. Valtaosalle metsänomistajista puuntuotanto on tärkein metsien tuottama ekosysteemi-palvelu (Koskela ym. 2021), ja esimerkiksi ilmastonmuutoksen hillintätoimia rajoittaa tyypillisesti niiden taloudellista kannattavuutta heikentävä vaikutus (Karppinen ym. 2018). Jos jatkovapeitteisen metsänkasvatuksen yleistymistä halutaan edistää esimerkiksi luonnon monimuotoisuuteen, ilmastonmuutoksen hillintään tai vesistövaikutuksiin liittyviin hyötyihin perustuen, laajamittaisen muutoksen edellytyksenä on yksityismetsätalouden tukijärjestelmän kehittäminen tasapuolisemmaksi metsän kasvatustapojen osalta. Lisäksi voi olla tarpeen kehittää erityisiä tukimuotoja jatkovapeitteiseen kasvatukseen siirtymiseen kohteilla, joilla ympäristöhyötyjä on mahdollista saavuttaa kasvatustapaa ja metsän käsittelyä muuttamalla. Jatkotutkimustarpeet liittyvät erityisesti toimivien kannustinjärjestelmien kehittämiseen sekä erilaisten kannustimien vaikutukseen metsänomistajien päätöksentekoon ja valintoihin.

Viitteet

- Berninger, K., Tiusanen, M., Haltia, E., Lehtonen, H., Mäkiranta, P. & Juutinen, A. 2020. Blogi: Metsänomistajatyöpajasta näkökulmia suometsien ilmastokestävään hoitoon ja sen kannusteisiin. Viitattu 8.12.2021. Saatavissa: <https://projects.luke.fi/sompa/2020/01/23/blogi-metsanomistajatyopajasta-nakokulmia-suometsien-ilmastokestavaan-hoitoon-ja-sen-kannusteisiin/>
- Horne, P., Karppinen, H., Korhonen, O. & Koskela, T. 2020. Metsien hoidon ja kasvatustapojen hyväksyttävyyttä – Metsänomistaja 2020. PTT raporteja 266. 82 s.
- Husa, M. & Kosenius, A.-K. 2021. Non-industrial private forest owners' willingness to manage for climate change and biodiversity. *Scandinavian Journal of Forest Research* 36(7–8): 614–625.

- Hänninen, H., Valonen, M. & Haltia, E. 2020. Metsänomistajat palveluiden käyttäjinä: Metsänomistaja 2020-tutkimuksen tuloksia. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 63/2020. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 63 s.
- Juutinen, A., Kurttila, M., Pohjanmies, T., Tolvanen, A., Kuhlmeij, K., Skudnik, M., Triplat, M., Westin, K. & Mäkipää, R. 2021. Forest owners' preferences for contract-based management to enhance environmental values versus timber production. *Forest Policy and Economics* 132, 102587.
- Juutinen, A., Tolvanen, A. & Koskela, T. 2020. Forest owners' future intentions for forest management. *Forest Policy and Economics* 118, 102220.
- Karppinen, H., Hänninen, M. & Valsta, L. 2018. Forest owners' views on storing carbon in their forests. *Scandinavian Journal of Forest Research* 33: 708–715. doi.org/10.1080/02827581.2018.1480800
- Kietäväinen, P. 2022. Kuonanjoen valuma-alueen metsänomistajien näkemyksiä jatkuvapetteisestä metsänkasvatuksesta. Opinnäytetyö. Lapin AMK. 68 s.
- Kniivilä, M., Hantula, J., Hotanen, J.-P., Hynynen, J., Hänninen, H., Korhonen, K.T., Leppänen, J., Melin, M., Mutanen, A. & Määttä, K. 2020. Metsälain ja metsätuholain muutosten arviointi. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 3/2020. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 124 s.
- Koskela, T., Horne, P., Karppinen, H. & Korhonen, O. 2021. Metsien ekosysteemipalvelut ja jokamiehenoikeus metsänomistajan näkökulmasta–Metsänomistaja 2020. PTT raportteja 267.
- Kumela, H. & Hänninen, H. 2011. Metsänomistajien näkemykset metsänkäsittelymenetelmien monipuolistamisesta. *Metlan työraportteja* 203. Metsäntutkimuslaitos, Vantaa. 76 s.
- Laturi, J., Maidell, M., Haltia, E., Horne, P., Määttä, K. & Uusivuori, J. 2021. Metsätalouden kannustinjärjestelmän arviointi. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 15/2021. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 80 s.
- Pynnönen, S., Haltia, E. & Hujala, T. 2021. Digital forest information platform as service innovation: Finnish Metsaan.fi service use, users and utilisation. *Forest Policy and Economics* 125, 102404. doi.org/10.1016/j.forpol.2021.102404
- Viitala, E.-J., Assmuth, A., Koikkalainen, K., Miettinen, A., Mutanen, A., Wall, A., Wejberg, H. & Lehtonen, H. 2022. Maa- ja metsätalouden kannustinjärjestelmien ilmastovaikutukset. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 21/2022. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 97 s.

14. Yhteenveto

Jatkuvan kasvatuksen menetelmät ovat Suomessa voimakkaan kehittämisen vaiheessa ja sekä itse jatkuvaa kasvatusta että siinä käytettyjä menetelmiä tutkitaan tällä hetkellä aktiivisesti. Tässä synteesiraportissa perehdytään jatkuvaan kasvatukseen monesta eri näkökulmasta, koetaan kunkin aihealueen uusinta tutkimustietoa sekä nostetaan esiin tutkimustarpeita ja tiedonpuutteita (Kuva 24). Raportti osoittaa, että aihealueella on paljon tietotarpeita, eikä aiheesta vielä voida tehdä kokonaissynteesiä. Toisaalta raportti tuo esille myös sen, että uutta tietoa on koko ajan tulossa. Meneillään olevasta tutkimuksesta kertoo se, että raportissa on monia viittauksia alustaviin, vielä julkaisemattomiin tutkimustuloksiin. Tässä raportissa on tarkasteltu jatkuvaa kasvatusta laajasti eri näkökulmista ja tuotu esiin tietoa myös sellaisista näkökulmista, joita ei aikaisemmissa jatkuvapeitteistä metsänkasvatusta koskevissa tarkasteluissa ole juuri käsitelty, kuten geneettiset vaikutukset tai vesistövaikutukset.



Kuva 24. Jatkuvapeitteisen metsänkasvatuksen tarkastellut näkökulmat synteesiraportissa.

Jatkuvapeitteinen metsänkasvatus on metsänhoitoa ilman avohakkuuta. Jatkuvan kasvatuksen menetelmiä kehitetään ja tällä hetkellä myös käytettävien termien kirjo on laaja, samoin kuin niiden käyttö eri yhteyksissä. Esimerkiksi samoja hakkuutapojen termejä käytetään tasaikäisen ja jatkuvan kasvatuksen hakkuista puhuttaessa, vaikka niiden tavoite eri kasvatusmenetelmissä voi olla aivan erilainen. Jatkossa toivottavasti termien käyttö selkiytyy. Tässä työssä pyrimme noudattamaan metsälaisissa ja nykyisissä metsänhoitosuosituksissa käytettäviä termejä.

Jatkuvapeitteinen metsänkasvatus perustuu pääasiassa luontaisen uudistumisen ja olemassa olevan alikasvoksen hyödyntämiseen. Taimettuminen on yksi keskeisimmistä jatkuvan kasvatuksen kestävyys edellytyksistä pitkällä aikavälillä. Tutkimustietoa metsien uudistumisesta ja

taimien kasvusta on eri-ikäiskuusikoiden poimintahakkuukohteilta, mutta pienaukkojen uudistumista koskevien tutkimusten kattavuus on vielä varsin suppea. Kivennäismailla poimintahakkuu soveltuu kuusikoille, kun taas männiköt uudistuvat paremmin pienaukoissa ja kaistaleissa. Ojitetut korpikuusikot uudistuvat hyvin pienaukkohakkuun jälkeen. Monet alue-kasvupaikkayhdistelmät ovat vielä tutkimatta, kuten useimmat turvemaatyypit sekä kivennäismaakuusikot Pohjois-Suomessa. Pitkäaikaisia jatkuvapeitteisen metsänkasvatuksen kokeita ei tällä hetkellä ole tarpeeksi eikä olemassa olevista kokeista ole saatu vielä riittävästi tuloksia kasvatusohjeiden laatimiseen kaikille puulaji-kasvupaikkayhdistelmille.

Jatkuvan kasvatuksen geneettisistä vaikutuksista tiedetään hyvin vähän. Lisää tutkimustietoa tarvitaan erityisesti kuusivaltaisten jatkuvan kasvatuksen metsien genetiikasta, kuten mahdollisista sukulausrakenteista sekä arvioita siitä kuinka kauan ja kuinka intensiivisesti samassa metsässä voi harjoittaa jatkuvaa kasvatus ilman pelkoa metsän geneettisen kasvu- tai laatu-potentiaalín heikkenemisestä. Eri-ikäismetsätaloudessa oletetaan, että taimia syntyy jatkuvasti ja että metsissä on paljon geneettistä muuntelua mahdollistamaan luonnonvalintaa. Tasaikäiskasvatuksessa voidaan käyttää jalostettua viljelymateriaalia, jolloin muun muassa ilmastonmuutoksen haittoja pyritään vähentämään jalostuksen ja viljelymateriaalin käyttöalueiden määrityksen avulla. Metsänjalostuksen tuottamat kasvunlisäys ja laadun paraneminen realisoituvat vain metsänviljelyn kautta.

Pitkäaikaisiin mittaustuloksiin perustuvaa julkaistua tutkimustietoa jatkuvapeitteisen kasvatuksen puuntuotoksesta on saatavilla lähinnä poimintahakkuin käsitellyistä kivennäismaiden eri-ikäiskuusikoista Etelä- ja Keski-Suomessa. Mittaustulokset osoittavat, että poimintahakkuin käsitellyissä kuusikoissa sekä puuston tilavuudet että tilavuuskasvut ovat keskimäärin alhaisempia kuin tasaikäisissä harvennuskuusikoissa. Pitkän ajan tuotosennusteisiin liittyy paljon epävarmuutta, jonka suurin aiheuttaja on hyvin puutteellinen tieto siitä, missä määrin eri-ikäisissä metsissä puusto uudistuu luontaisesti ja miten nopeasti taimet kasvavat ainespuun mittoihin.

Hakkuun ja metsäkuljetuksen pienempi tuottavuus nostaa poimintahakkuun korjuukustannuksia korkeammiksi kuin avohakkuussa, koska työn suunnittelu ja alempien latvuserrosten varominen hidastavat työtä, vaikka poimintahakkuissa poistetaan pääsääntöisesti vain metsikön suurimpia puita. Poimintahakkuussa poistettavien puiden keskikoko nousee suuremmaksi kuin tasaikäisen metsän harvennuksessa, ja johtaa usein suurempaan tuottavuuteen, mutta metsäkuljetuksen ajanmenekki on puolestaan usein suurempi poimintahakkuukohteilla. Hakkuissa puustovaurioiden osuus vaihtelee paljon. Poistettavan puuston määrän kasvaessa puustovauriot kasvatettavassa puustossa lisääntyvät. Pienaukkohakkuiden tuottavuudesta tarvitaan lisää tutkimustietoa. Keskeiset tulevaisuuden tutkimus- ja kehittämistarpeet liittyvät hakkuukoneteknologian ja -työmenetelmien sovittamiseen työympäristöön.

Monista tuhonaiheuttajista jatkuvapeitteisessä metsänkasvatuksessa on niin vähän tutkimustietoa, että se vaikeuttaa oleellisesti tuhoriskien arviointia. Tiedetään kuitenkin, että juurikäyvät ovat jatkuvapeitteiselle kasvatukselle merkittävästi suurempi uhka kuin tasaikäiselle metsänkasvatukselle. Tuuli- ja lumituhot sekä kirjanpainaajaan liittyvä tuhoriski ovat eri-ikäisissä metsissä todennäköisesti vähäisempiä kuin tasaikäisissä. Hirvieläinten taimiin kohdistama syönte vaikeuttaa jatkuvapeitteisen metsän uudistumista muiden puulajien kuin kuusen osalta ja vähentää siten puulajidiversiteettiä.

Jatkuvapeitteisen metsänkasvatuksen pitkän ajan monimuotoisuusvaikutuksista ei ole kattavia seurantoja. Jatkuva kasvatus luultavasti hyödyttää varjostusta tarvitsevia lajeja, kuten mustikkaa sekä niiden seuralajistoa. Myös peitteisyyden jatkuvuutta vaativat lajit, kuten liito-orava tai jotkin epifyyttijäkälät, saattavat hyötyä. Poimintahakkuu, jossa puustosta poistetaan enimmäkseen puolet, säilyttää pääosan varttuneen metsän eliölajistosta. Kuitenkin herkimät lajit

vähentyvät tai jopa häviävät paikalta. Pienaukkohakkuu vaikuttaa metsälajistoon verraten vähän, mutta lajiston runsaudet aukoissa muuttuvat sitä enemmän, mitä isompia aukot ovat. Metsätalouden takia taantuneet lajit vaativat useimmiten järeää elävää ja kuollutta puustoa. Näiden lajien säilymistä jatkuva kasvatus itsessään ei turvaa, vaan näiden rakennepiirteiden säilymisestä on erikseen huolehdittava luonnonhoidolla.

Jatkuvapeitteisen kasvatuksen vesistövaikutuksista ei vielä ole julkaistuja tutkimustuloksia. Julkaisemattomien alustavien tutkimustulosten perusteella jatkuvapeitteinen kasvatus voi vähentää metsänkasvatuksen haitallisia vesistövaikutuksia merkittävästi erityisesti ojitetuilla soilla. Kangasmailla jatkuvapeitteinen kasvatus vähentää vesistökuormitusta todennäköisesti eniten niillä kohteilla, jotka jaksollisessa kasvatuksessa ojitusmätästetään. Vesiensuojelun näkökulmasta jatkuvapeitteinen kasvatus on hyvin todennäköisesti jaksollista kasvatusta selvästi parempi metsänkasvatusmenetelmä.

Kysymykseen, onko jaksollinen vai jatkuvapeitteinen kasvatus parempi metsien hiilitaloudelle, ei ole yksiselitteistä vastausta. Tutkimusten mukaan jatkuvapeitteinen kasvatus voi lisätä metsien hiilensidontaa ja -varastointia verrattuna tasaikäiseen kasvatukseen. Kuitenkin myös tasaikäisenä kasvatettava metsä voi toimia sekä hiilen nieluna että lähteenä. Jatkuvapeitteisen kasvatuksen ”hiilihyöty” voi pienentyä, jos jatkuvan kasvatuksen menetelmin käsitellyissä metsissä puuston tilavuuskasvu on pienempää kuin tasaikäisinä kasvatetuissa metsissä. Hiilitaseen kannalta puuston kasvu, hajotustoiminta, erilaiset häiriöt, puutuotteiden elinkaari ja fossiilisten raaka-aineiden korvausvaikutukset voivatkin olla hiilitaseen kannalta merkittävämpiä seikkoja kuin valittu metsänkäsittelymenetelmä. Rehevillä ojitetuilla turvemaidilla jatkuvapeitteinen kasvatus vaikuttaa lupaavalta keinolta hidastaa maaperän turvevaraston vähenemistä pitkällä aikavälillä.

Talousovertailut jatkuvapeitteisen metsänkasvatuksen ja jaksollisen metsänkasvatuksen kesken pohjautuvat mallilaskelmiin, joissa puuston kasvu ja kehitys on ennustettu simulaattoreilla. Uudistuminen, puiden alkukehitys ja vallitussa asemassa olevien puiden elpyminen ovat ratkaisevassa asemassa, kun arvioidaan jatkuvapeitteisen metsikön pitkän aikavälin kehitysnusteita ja talousvaikutuksia. Jatkuvapeitteisen metsänkasvatuksen kannattavuus on tutkimuksissa osoittautunut olevan riippuvainen muun muassa metsikön alkutilasta – etenkin puuston kokoluokkajakaumasta. Yleisesti ottaen, mitä enemmän metsikön rakenne muistuttaa jo alkutilanteessa jatkuvapeitteisessä kasvatuksessa tavoiteltavaa puustoa, sitä kannattavampaa on siirtyä jaksollisesta jatkuvapeitteiseen metsänkasvatukseen. Tulevissa tutkimuksissa taloustarkasteluihin tulisi sisällyttää myös riskit, jotka liittyvät esimerkiksi tuulituhoihin, korjuuvaurioihin sekä hyönteis- ja sienituhoihin.

Jatkuvapeitteinen metsänkasvatus edellyttää myös muutoksia metsäsuunnittelun menetelmille, jotta nykypuusto ja kehitys voidaan luotettavasti kuvata ja ennustaa. Jaksollisessa kasvatuksessa yleisesti käytetyt puustotunnukset eivät kuvaa hyvin jatkuvan kasvatuksen puustojen tilaa, vaan tarvitaan uusia puustotunnuksia. Metsäsuunnittelussa jokaiselle metsikölle luodaan käsittelyvaihtoehtoja, joista optimoinnin avulla valitaan se, joka toteuttaa parhaiten päätöksentekijän tavoitteet. Valinta jatkuvapeitteisen ja jaksollisen kasvatuksen välillä voidaan tehdä osana metsäsuunnittelua metsänomistajan tavoitteiden perusteella. Tämä edellyttää riittävän tarkkaa ja tasapuolista tietoa valinnan seurauksista ja sellaisia kasvumalleja, jotka soveltuvat sekä jaksollisesti että jatkuvapeitteisesti käsiteltyjen metsien kehityksen ennustamiseen. Kasvumallit vaativatkin päivitystä eri-ikäismetsätalouteen sopiviksi ja suunnittelujärjestelmiä on kehitettävä edelleen niin, että jatkuva kasvatus on yksi vaihtoehto muiden joukossa.

Virkistys- ja matkailukäytössä arvostetaan peitteistä metsämaisemaa. Metsämaiseman vaihtelu ja kaukomaisemien avautuminen viehättävät virkistyskäyttäjiä, mutta maanmuokkaus ja

avohakkuut ovat useimpien mielestä haitallisia. Marjojen ja sienien poiminta on monelle tärkeää metsien virkistyskäyttöä. Jatkuvapeitteisen metsänkasvatuksen menetelmien vaikutuksesta marja- ja sienisatoihin ei juurikaan ole empiiristä tutkimustietoa, mutta todennäköisesti jatkuvapeitteinen kasvatus suosii mustikkaa, kun taas puolukka ja sienet hyötyvät jaksollisesta kasvatuksesta.

Jatkuvapeitteinen metsänkasvatus kiinnostaa metsänomistajia, mutta se on yleistynyt hitaasti käytännössä. Kyselytutkimusten mukaan jatkuvaan kasvatukseen on siirtynyt kaikissa metsissä vajaa 10 prosenttia ja osassa metsiään tutkimuksesta riippuen noin 20–25 prosenttia metsänomistajista. Noin viidennes metsänomistajista oli kiinnostunut kokeilemaan sitä tulevaisuudessa. Jatkuvapeitteinen kasvatus kiinnostaa erityisesti keskimääräistä pienempiä tiloja omistavia luonto- ja virkistystavoitteisia metsänomistajia. Tutkimuksen mukaan metsänomistajien kiinnostus nousi selvästi, jos jatkuvapeitteiseen kasvatukseen siirtymisestä saisi korvauksen tai jos se olisi muuten metsänomistajalle tasaikäistä metsän kasvatusta taloudellisesti kannattavampaa.

Tällä hetkellä metsiltä odotetaan paljon. Niiden tulee vastata moniin eri tavoitteisiin, kuten raaka-aineen tuotantoon, hiilensidontaan, monimuotoisuuden turvaamiseen ja ilmastonmuutokseen sopeutumiseen. Osa tavoitteista voi olla myös ristiriidassa keskenään. Näihin eri tavoitteisiin vastaamiseen tarvitaan laaja paletti metsänkasvatusmenetelmiä. Tutkimustietoa tasaikäismetsätalouden vaikutuksista ja mahdollisuuksista on runsaasti, mutta kuten tämä raportti osoittaa, tieto jatkuvapeitteisestä metsänkasvatuksesta on paljon vajavaisempaa. Tutkimustietoa kuitenkin kertyy koko ajan ja toivottavasti tulevaisuudessa pystytään entistä luotetavammin arvioimaan eri tekijöiden vaikutuksia ja syy-seuraussuhteita myös jatkuvan kasvatuksen osalta. Jatkuvan kasvatuksen menetelmien ei odoteta syrjäyttävän vallitsevia tasaikäismenetelmiä, vaan täydentävän niitä. Löytämällä parhaimmat kohteet kullekin menetelmälle ja yhdistelemällä sopivalla tavalla erilaisia käsittelytapoja tuotetaan enemmän hyvinvointia, tuloja, monimuotoisuutta, hiilensidontaa ja virkistysmahdollisuuksia kuin millään tavalla yksistään.



luke.fi

Luonnonvarakeskus
Latokartanonkaari 9
00790 Helsinki
puh. 029 532 6000