

Artti Juutinen<sup>1</sup>, Anssi Ahtikoski<sup>2</sup> ja Janne Rämö<sup>3</sup>

## Puuntuotannon kannattavuuteen vaikuttavat tekijät jatkovapeitteisessä metsänkasvatuksessa

Juutinen A., Ahtikoski A., Rämö J. (2020). Puuntuotannon kannattavuuteen vaikuttavat tekijät jatkovapeitteisessä metsänkasvatuksessa. Metsätieteen aikakauskirja 2020-10313. Katsaus. 11 s. <https://doi.org/10.14214/ma.10313>

### Tiivistelmä

Tässä katsauksessa käydään läpi jatkovapeitteisen metsänkasvatuksen kannattavuutta pohjoismaisissa oloissa käsitteleviä tutkimuksia. Aihetta on tutkittu runsaasti viime vuosikymmenen aikana. Tavoitteena on luoda kokonaisvaltainen kuva tehdystä tutkimuksesta ja tunnistaa jatkovapeitteisen kasvatuksen kannattavuutta on analysoitu käyttäen mallilaskelmia, joissa metsän kasvua kuvaavat mallit on yhdistetty taloudelliseen kuvaukseen metsän käsittelyistä. Laskelmissa käytetyt kasvu- ja tuotosmallit perustuvat kenttäkokeissa mitattuihin havaintoihin. Jatkovapeitteisen kasvatuksen mallinnuksen tietopohja on huomattavan niukka verrattuna jaksollisen kasvatuksen koealamittausten määrään ja ajalliseen kattavuuteen. Taloudelliset tekijät vaikuttavat ratkaisevasti siihen, miten kannattavaa jatkovapeitteinen kasvatustapa on suhteessa jaksolliseen kasvatukseen. Esimerkiksi alhainen korkokanta ja pienet uudistamiskustannukset suosivat jaksollista kasvatusta. Myös metsikön alkutilalla on suuri merkitys jatkovapeitteisen kasvatuksen kannattavuudelle. Jatkovapeitteinen metsänkasvatustapa soveltuu parhaiten kuusivaltaisiin metsiköihin, joissa kasvaa jo lähtötilanteessa eri-ikäisiä ja -kokoisia puita. Jatkovapeitteisessä metsänhoidossa paras taloudellinen tulos saavutetaan tyypillisesti 10–20 vuoden hakkuuvälillä metsikön rakenteen ollessa tasapainotilassa, riippuen muun muassa korkokannasta, kasvupaikasta ja hakkuukustannuksista. Hakkuut kohdistuvat suurimpiin puihin, ja optimaalinen puuston pohjapinta-ala hakkuuiden jälkeen on 4–10 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>. Taimettumisella on keskeinen merkitys jatkovapeitteisen kasvatuksen kannattavuuden arvioinnissa. Taimettumiseen vaikuttavia tekijöitä olisi jatkossa syytä vielä selvittää. Lisätietoa tarvitaan myös jatkovapeitteisen kasvatuksen ympäristövaikutuksista, erityisesti turvemaidon muodostumisesta. Lisäksi jatkovapeitteisen kasvatuksen kannattavuutta tulisi jatkossa tarkastella erilaisilla kannattavuuden mittareilla ottaen huomioon metsänkasvatuksen riskit ja metsänomistajan suhtautuminen riskiin.

**Asiasanat** jatkovapeitteinen metsänhoito; eri-ikäisrakenteinen kasvatustapa; jatkuva kasvatustapa; metsänhoidon talous

**Yhteystiedot** <sup>1</sup>Luonnonvarakeskus (Luke), Biotalous ja ympäristö, Oulu; <sup>2</sup>Luonnonvarakeskus (Luke), Luonnonvarat, Oulu; <sup>3</sup>Luonnonvarakeskus (Luke), Biotalous ja ympäristö, Helsinki

**Sähköposti** artti.juutinen@luke.fi

**Hyväksytty** 26.5.2020

## 1 Johdanto

Jatkuvapeitteisen metsänkasvatuksen kannattavuutta pohjoismaisissa oloissa on tutkittu enenevässä määrin viime vuosikymmenen 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; Parkatti ym. 2019). Tässä katsauksessa käydään läpi tutkimuksissa käytettyjä aineistoja ja menetelmiä sekä tarkastellaan keskeisimpiä tuloksia. Tavoitteena on luoda kokonaisvaltainen kuva jatkuvapeitteisen kasvatuksen kannattavuutta käsittelevästä tutkimuksesta ja tunnistaa jatkotutkimustarpeita.

## 2 Jatkuvapeitteisen metsänkasvatuksen piirteet

Taloudellisen kannattavuuden näkökulmasta jatkuvapeitteinen metsänkasvatus poikkeaa perinteisestä päätehakkuisiin perustuvasta jaksollisesta kasvatuksesta monella merkittävällä tavalla. Merkittävin ero menetelmien välillä on, että jatkuvapeitteisessä kasvatuksessa metsää ei päätehakata, eli metsä säilyy peitteisenä ja luontaisen taimettumisen hyödyntämisen takia eri-ikäisrakenteisena. Jatkuvapeitteisessä kasvatuksessa hakkuita tehdään yleensä useammin kuin jaksollisessa tasaikäisrakenteisen metsikön kasvatuksessa, ja hakkuukertymät ovat keskenään tasaisempia kuin jaksollisessa kasvatuksessa (esim. Tahvonen ja Rämö 2016). Jatkuvapeitteisen kasvatuksen hakkuut vastaavatkin lähinnä jaksollisen kasvatuksen yläharvennushakkuita, koska kaikkia puita ei korjata kerralla ja hakkuut kohdistuvat pääasiallisesti suuriin puihin, jolloin hakkuut tuottavat runsaasti tukkipuuta. Hakkuussa jätetään kasvamaan erityisesti hyväkasvuiset puut, jotka seuraavaan hakkuuseen mennessä kasvavat tukkipuiksi.

Luontaisen uudistamisen hyödyntämisellä vältetään metsänviljelystä (kylvö, istutus) ja mahdollisesta maanmuokkauksesta aiheutuvat kustannukset. Lyhyen hakkuuvälin (tyypillisesti 10–20 vuotta) ansiosta metsänomistaja saa jatkuvapeitteisessä kasvatuksessa metsäkuviolta hakkuutuloja säännöllisesti, mutta puuntuotos jää hieman alhaisemmaksi (Hynynen ym. 2019; Parkatti ym. 2019), ja samalla hakkuukertymät ovat pienemmät kuin jaksollisen kasvatuksen hakkuissa. Tämä voi heikentää metsänkasvatuksen kannattavuutta. Toisaalta tukkipuun osuus hakkuukertymästä on yleensä suuri, mikä puolestaan kasvattaa hakkuutuloja. Lisäksi metsänkasvatuksen kannattavuuteen vaikuttaa moni muu tekijä, kuten esimerkiksi käytetty korkokanta ja kasvuolosuhteet. Jatkuvapeitteisen kasvatuksen kannattavuus riippuu siis monien eri tekijöiden yhteisvaikutuksesta, ja tuloksen arviointiin tarvitaan yksityiskohtaisia laskelmia.

## 3 Kannattavuuden mittarit ja laskentamenetelmät

Määritelmällisesti kannattavuudella tarkoitetaan toiminnan kykyä tuottaa voittoa. Yksinkertaisimmillaan voittoa tuotetaan, kun tulot ovat menoja suuremmat. Metsätalous on lähtökohtaisesti pääomavaltainen taloustoiminto, sillä metsätalouden pääoman vuotuinen tuotto on yksityismetsätaloudessa merkittävästi suurempi kuin metsätaloudessa käytetyn työsuorituksen arvo. Yksityismetsänomistuksen pääomatulot ylittävät siis reilusti työtulot, ja näitä pääomatuloja muodostuu puustoa myymällä. Pyynnmyyntituloihin ja näin ollen toiminnan kannattavuuteen vaikutetaan metsätaloudessa esimerkiksi metsän kiertoaikaa ja puuston tiheyttä säätelämällä. (Kuuluvainen ja Valsta 2009)

Metsätalouden kannattavuutta voidaan mitata usealla eri tavalla (esim. absoluuttisen ja suhteellisen kannattavuuden sekä puutaseen eri laskentamenetelmien avulla), mutta talousteo-

reettisesti pitävin menetelmä 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 niin sanottua Faustmannin mallia (Faustmann 1849) mukaillen esittää pelkistetyksi kaavalla:

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

missä  $V$  = nettotulojen nykyarvo ( $\text{€ ha}^{-1}$ ),  $r$  = laskentakorkokanta,  $T$  = kiertoaika (vuosia),  $e^{-rt}$  = diskonttotekijä,  $R(t)$  = nettohakkuutulo ajanhetkellä  $t$  ( $\text{€ ha}^{-1}$ ) ja  $c$  = metsän uudistamisen kustannus ( $\text{€ ha}^{-1}$ ). Hakkuutulot lasketaan kertomalla puutavaralajikohtaiset hakkuukertymät vastaavilla hinnoilla. Nettohakkuutulot saadaan, kun hakkuutuloista vähennetään korjuukustannukset.

Yhtälössä (1) osoittaja kuvaa yhden kiertoaajan nettotulojen nykyarvoa olettaen alkutilaksi paljaan maan, ja nimittäjän avulla yhden kiertoaajan nettotulojen nykyarvoa toistetaan päättymättömänä sarjana nykyhetkestä ikuisuuteen (Amacher ym. 2009). Kun  $V \geq 0$  valitulla laskentakorkokannalla, on metsänkasvatus taloudellisesti kannattavaa kyseisellä laskentakorolla. Jos  $T = \infty$ , niin yhtälö (1) kuvaa jatkuvapeitteisestä metsänhoitoa (vrt. Tahvonen 2016).

Jatkuvapeitteisessä metsänhoidossa korjuun yksikkökustannukset ( $\text{€ m}^{-1}$ ) ovat hieman korkeammat kuin jaksollisessa kasvatuksessa, mikä johtuu pääosin keskimäärin pienemmistä hakkuukertymistä (Surakka ja Sirén 2007). Tästä syystä jatkuvapeitteisen metsänkasvatuksen kannattavuuslaskelmissa käytetään usein tienvarsihintoja, jolloin laskelmiin sisällytetään puun korjuukustannukset. Tienvarsihintoja käytetään luonnollisesti myös jaksollisen kasvatuksen kannattavuuslaskelmissa, kun halutaan ottaa huomioon korjuukustannukset. Korjuukustannukset riippuvat muun muassa hakkuukertymästä ja -tavasta. Korjuukustannusten yksityiskohtainen huomioiminen laskennassa mahdollistaa kannattavuuksien vertailun erilaisilla hakkuilla (puustopääoma ja hakkuun voimakkuus) ja korjuuolosuhteissa. Käytettäessä kantohintoja korjuukustannuksia ei oteta mukaan laskelmiin.

Metsänkasvatuksen kannattavuutta voidaan arvioida toteutuneiden hakkuiden avulla. Kannattavuuden luotettavaa arviointia varten tarvitaan kuitenkin tietoja pitkältä ajalta, useilta vuosikymmeniltä. Suomessa tällaisia pitkään jatkuvapeitteisenä hoidettuja ja systemaattisesti mitattuja metsiä ei ole, joten kannattavuutta on tutkittu pääasiassa mallilaskelmilla käyttäen nettonykyarvoa kannattavuuden mittarina. Laskelmissa metsän kasvua kuvaavat mallit yhdistetään taloudelliseen kuvaukseen metsän käsittelyistä. Laskelmien tulosten pohjalta pystytään määrittämään kunkin käsittelyketjun kannattavuus. Laskelmissa käytetyt kasvu- ja tuotosmallit perustuvat kenttäkokeissa mitattuihin havaintoihin, jotka on edelleen mallinnettu puiden kasvumalleiksi. Näin laskelmissa pystytään vaihtelevaan hakkuun voimakkuutta (hakkuun jälkeinen pohjapinta-ala) ja hakkuusykliä (hakkuiden välinen aika), ja tarkastelemaan näiden tekijöiden vaikutuksia puuston taimettumiseen, kasvuun ja kuolleisuuteen sekä hakkuukertymiin. Jaksollisen kasvatuksen osalta koemittauksia on tehty runsaasti jo vuosikymmenien ajan siten, että ne pisimmillään kattavat yhden kiertoaajan. Jatkuvapeitteisen kasvatuksen mallinnuksen tietopohja on huomattavasti niukempi, eivätkä tasaikäisrakenteisen metsän kasvu- ja tuotosmallit ennusta eri-ikäisrakenteisen metsän kasvua kovin tarkasti. Pisimmillään jatkuvapeitteisten koealojen taimettumista ja puuston kasvua on toistaiseksi Suomessa seurattu Luonnonvarakeskuksen ns. ERIKA-koaloilla, jotka perustettiin vuosina 1991–1992 – toisin sanoen, alle 30 vuotta.

Jatkuvapeitteisen kasvatuksen kannattavuutta käsittelevissä tutkimuksissa on käytetty monia eri kasvumalleja. Esimerkiksi Pukkala ym. (2010) käyttivät puukohtaista (single-tree model) mallia ja Tahvonen ym. (2010) kokoluokkamallia (size-structured model), joiden kasvufunktiot (taimet-

tuminen, kasvu, kuolleisuus ym.) estimoitiiin tilastollisin menetelmin. Vastaavia malleja on käytetty myös myöhemmin ilmestyneissä tutkimuksissa. Juutinen ym. (2018) puolestaan käyttivät spatiaalista puukohtaista prosessimallia. Enimmäkseen suomalaisissa tutkimuksissa sovelletut kasvumallit perustuvat Vessarín ja Hongan aineistoon (Pukkala ym. 2009, 2013) tai norjalaisiin VMI-koealoihin (Bollandsås ym. 2008). Juutisen ym. (2018) tutkimuksessa käytetty prosessimalli validoitiin käyttäen ERIKA-hankkeessa perustettujen pysyvien koealojen seurantamittauksia (Shanin ym. 2016).

Metsänkasvumallit on tutkimuksissa usein kytketty numeeriseen optimointiin (esim. Pukkala ym. 2010; Tahvonen ym. 2010). Optimoinnin avulla pyritään löytämään metsänkäsittelyohjelma, joka maksimoi tavoitteeksi asetetun muuttujan arvon. Kannattavuustarkasteluissa tavoitteena on yleensä nettonykyarvon maksimointi. Optimaalinen käsittelyohjelma muodostuu hakkuiden ajoituksesta ja voimakkuudesta, jotka tuottavat suurimman mahdollisen nettonykyarvon. Tutkimuksissa käytettyjä optimointimalleja on kehitetty vuosien saatossa. Hakkuiden ajoitusta ja voimakkuutta on aidosti samanaikaisesti optimoitu vasta viimeaikaisissa tutkimuksissa (Tahvonen ja Rämö 2016; Sinha ym. 2017; Rämö ja Tahvonen 2017; Parkatti ym. 2019).

#### 4 Yksikkökustannukset, puunhinnat ja diskonttokorko

Metsänhoidon kannattavuus riippuu tietysti taloudellisista tekijöistä, kuten yksikkökustannuksista, puun hinnoista ja diskonttokorosta. Mitä suuremmat puunkorjuun yksikkökustannukset, sitä huonompi on kannattavuus. Vastaavasti diskonttokorko vaikuttaa nettonykyarvoon, koska tulevaisuudessa saatavien nettotulojen nykyarvo on sitä pienempi, mitä suurempi on korkokanta. Korkeat puunhinnat puolestaan lisäävät tuloja ja kohentavat metsänhoidon kannattavuutta. Taloudelliset tekijät vaikuttavat ratkaisevasti siihen, miten kannattavaa jatkuvapeitteinen kasvatus on suhteessa päätehakkuisiin perustuvaan jaksolliseen kasvatukseen. Alhainen korkokanta ja pienet uudistamiskustannukset suosivat jaksollista kasvatusta (Tahvonen 2016). Tutkimusten mukaan puunkorjuun muuttuvat yksikkökustannukset ovat suuremmat harvennuksissa kuin päätehakkuisissa (Surakka ja Sirén 2007; Tahvonen ja Rämö 2016).

#### 5 Kasvuolosuhteet ja puulaji

Myös kasvuolosuhteet vaikuttavat metsänkasvatuksen kannattavuuteen. Mitä parempi kasvupaikka on viljavuudeltaan tai mitä paremmassa paikassa metsikkö sijaitsee ilmastoltaan (esim. korkea lämpösusma), sitä parempi on jaksollisen kasvatuksen kannattavuus suhteessa jatkuvapeitteiseen kasvatukseen (Pukkala ym. 2010; Tahvonen 2011; Tahvonen ja Rämö 2016). Esimerkiksi Etelä-Suomessa sijaitseva tuoreen kankaan kuusikko ei ole erityisen otollinen jatkuvapeitteisen kasvatuksen kohde (Juutinen ym. 2018), koska rehevillä kasvupaikoilla jaksollisen kasvatuksen optimaalinen kiertoaika on suhteellisen lyhyt parantaen metsänviljelyn kannattavuutta.

Kuusi puolivarjoisena puulajina soveltuu hyvin jatkuvapeitteisen kasvatuksen malliin, ja sitä onkin tutkittu suomalaisissa olosuhteissa puulajeista eniten. Sen sijaan esimerkiksi Keski-Euroopassa kuusta voidaan hyödyntää vain rajoitetusti jatkuvapeitteisessä kasvatuksessa, koska siellä muut puulajit sietävät varjoisuutta paremmin (esim. Danescu ym. 2018). Jatkuvapeitteisen kasvatuksen kannattavuutta Suomessa on tutkittu myös seka- (Rämö ja Tahvonen 2015) ja männytsissä (Parkatti ym. 2019).

## 6 Metsikön alkutila

Metsikön alkutilalla on suuri merkitys jatkuvapeitteisen kasvatuksen kannattavuudelle. Mitä enemmän metsikön rakenne muistuttaa jo alkutilanteessa jatkuvapeitteisessä kasvatuksessa tavoiteltavaa rakennetta, sitä vähäisemmiksi jäävät jatkuvapeitteiseen kasvatukseen siirtymisestä aiheutuvat puuntuotannon menetykset. Jos metsä on varttunut ja rakenteeltaan tasaikäinen, niin eri-ikäisen metsikön rakenteen muodostuminen voi vaatia pitkän siirtymäajan (Rämö ja Tahvonen 2017). Puuntuotannolliset hyödyt eivät ole parhaalla mahdollisella tasolla siirtymäaikana, joten pitkä siirtymäaika heikentää jatkuvapeitteisen kasvatuksen kannattavuutta. Varsinkin kuusivaltainen metsä, jossa ei ole jo alkutilassa alikasvoksena kuusentaimia, on hankala saada uudistumaan jatkuvapeitteisen kasvatuksen kautta. Uudistuskypsää tasaikäistä kuusikkoa ei välttämättä taloudellisesti kannata ryhtyä harventamaan jatkuvapeitteisen kasvatuksen mallilla, vaan puusto kannattaa ensin päätehakata ja siirtyä sitten paljaalta maalta jatkuvapeitteiseen kasvatukseen (Tahvonen ym. 2010; Tahvonen ja Rämö 2016).

## 7 Taloudellisesti optimaalinen metsänkäsittelyohjelma

Taloudellisesti optimaalinen käsittelyohjelma riippuu korkokannasta ja muista edellä kuvatuista tekijöistä. Voidaan kuitenkin luonnehtia, että kuusikon jatkuvapeitteisessä kasvatuksessa paras taloudellinen tulos saavutetaan tyypillisesti 10–20 vuoden hakkuuvälillä metsikön rakenteen ollessa tasapainotilassa. Mitä huonompi kasvupaikka on viljavuudeltaan tai ilmastoltaan, sitä pidempi on optimaalinen hakkuuväli. Vastaavasti kiinteät korjuukustannukset pidentävät optimaalista hakkuuväliä. Optimaalinen puuston pohjapinta-ala hakkuun jälkeen on 4–10 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>. Pohjanpinta-ala on alhainen erityisesti männiköiden jatkuvapeitteisessä kasvatuksessa. Käytännössä metsälain mukaisia hakkuutapoja noudattaen taloudellisesti paras tulos saavutetaan, kun puustoa jätetään käsittelyalueelle kutakuinkin lain sallima vähimmäismäärä eli kuusivaltaisissa metsissä 6,4–10,0 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup> ja mäntyvaltaisissa metsissä 4,8–9,0 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup> riippuen kasvupaikasta ja sijainnista. Optimaalisia siirtymähakkuuta on tutkittu vasta vähän. Siirtymävaiheessa hakkuut voivat poiketa tasapainotilan hakkuista merkittävästi, etenkin jos metsä on rakenteeltaan kaukana tasapainotilasta (Rämö ja Tahvonen 2017; Parkatti ym. 2019).

## 8 Ekosysteemipalvelut

Metsät tuottavat puuntuotannon ohella monia muita ekosysteemipalveluja ja turvaavat luonnon monimuotoisuutta. Tutkimukset osoittavat, että jatkuvapeitteinen kasvatus tuottaa yleisesti ottaen enemmän ekosysteemipalveluja kuin jaksollinen kasvatus (Gamfeldt 2013; Pukkala 2016; Peura ym. 2018), mutta joidenkin ekosysteemipalvelujen osalta, kuten esimerkiksi puolukkasato, jatkuvapeitteinen kasvatus ei kuitenkaan ole parempi vaihtoehto (Peura ym. 2018). Lisäksi, monien ekosysteemipalvelujen osalta paras vaihtoehto olisi jättää metsiköt kokonaan käsittelyn ulkopuolelle (Peura ym. 2018). Hiilensidonnan osalta jatkuvapeitteinen kasvatus on tutkimusten mukaan parempi vaihtoehto kuin tasaikäinen kasvatus (Pukkala 2016; Peura ym. 2018). Eli jos puihin sitoutuneesta hiilestä maksettaisiin metsänomistajille korvausta (esim. € tonCO<sub>2</sub><sup>-1</sup>), niin se parantaisi jatkuvapeitteisen kasvatuksen kannattavuutta suhteessa jaksolliseen kasvatukseen (Assmuth ym. 2018).

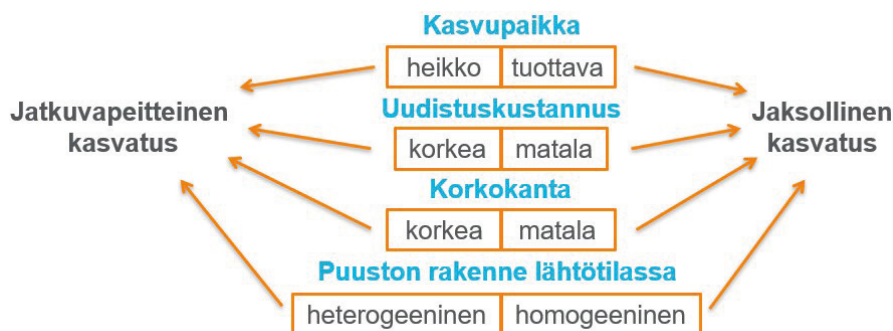
## 9 Päätelmät

Monet tekijät vaikuttavat jatkuvapeitteisen metsänkasvatuksen kannattavuuteen, kuten edellä kuvattiin. Viime kädessä jokaisen metsikön kannattavuus täytyy siten arvioida erikseen mitattujen kuviotietojen avulla. Jatkuvapeitteisen ja jaksollisen kasvatuksen soveltuvuus eri tilanteisiin voidaan läpikäytyjen tutkimusten mukaan jakaa kuitenkin karkeasti Kuvan 1 mukaisesti. On syytä korostaa, että Kuvassa 1 esitetty jaottelu on ainoastaan suuntaa-antava, ja esimerkiksi eri puulajien soveltuvuutta ei erotella kuvassa lainkaan. Lähtökohtaisesti voidaan kuitenkin sanoa, että kuusi soveltuu mäntyä paremmin jatkuvapeitteiseen kasvatukseen.

Kuvassa 1 esitettyjen tekijöiden lisäksi on syytä korostaa, että jatkuvapeitteisen metsänhoidon taloudellinen kannattavuus riippuu erityisesti luontaisen uudistumisen onnistumisesta, koska lähtökohtaisesti puuston luontaisella uudistumisella korvataan keinollinen uudistaminen (istutus tai kylvö), joka puolestaan on jaksollisen metsänkasvatuksen perustana (avohakkuun ja alaharvennusten lisäksi). Lisäksi voidaan päätellä, että jatkuvapeitteinen metsänkasvatus soveltuu parhaiten kuusivaltaisiiin metsiköihin, joissa kasvaa jo lähtötilanteessa eri-ikäisiä puita.

Taloudellisen kannattavuuden arviointiin liittyy monia epävarmuuksia. Koska jatkuvapeitteisessä metsänhoidossa metsä uudistuu luontaisesti, on taimettumisella keskeinen merkitys mallilaskelmissa (Parkatti ym. 2019). Esimerkiksi luontainen uudistuminen on suoraan riippuvainen siemensadosta, joka kuusella vaihtelee vuosittain merkittävästi (Hokkanen 2001). Riittävään taimettumiseen tarvitaan lisäksi suotuisat siementen itämisolosuhteet ja sopivat taimien alkukehitysedellytykset. Edellä mainitut rajoitteet tarkoittavat sitä, että vuositasolla kuusen hyvän luontaisen uudistamisen todennäköisyyden on arvioitu olevan 20–30 % (Saksa ja Nerg 2008). Läpikäydyissä tutkimuksissa taimettuminen riippuu pelkistetysti kasvupaikasta ja puuston määrästä, mikä heikentää osaltaan tulosten luotettavuutta.

Jatkuvapeitteistä kasvatusta käsittelevissä tutkimusartikkeleissa kasvumallit ennustavat puuntuotoskyvyn olevan aina vakioinen valitulla hakkuusyklillä. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että tasapainotilassa jokaisesta hakkuusyklistä saadaan aina sama määrä hakattavaa puuta. Viimeaikainen kasvu- ja tuotostutkimus kuitenkin osoittaa, ettei näin välttämättä tapahdu (Hynynen ym. 2019). Sen sijaan kasvuntaso hakkuusykliden välillä vaihtelee siten, että ajan funktiona se hieman laskee (Hynynen ym. 2019). Lisäksi Bianchi ym. (2020) osoittivat että jatkuvassa kasvatuksessa puutason pienempi kasvu – verrattuna jaksollisen vastaavaan – saattaa johtua voimakkaammasta kilpailuindeksien vaikutuksesta, mikä puolestaan johtuu puuston heterogeenisestä rakenteesta, ajoittain tiheämmästä puustosta ja pidemmistä latvuksista. Toistaiseksi on kuitenkin ennenaikaista tehdä päätelmiä puuntuotoksen pitkän aikavälin kehittymisestä suuntaan tai toiseen, sillä eri-ikäisrakenteisia koealoja on systemaattisesti Suomessa mitattu vasta alle 30 vuotta – eli korkeintaan muutaman hakkuusyklin verran.



Kuva 1. Jatkuvapeitteisen ja jaksollisen kasvatuksen kannattavuuteen vaikuttavat tekijät.

Myös puuston tilajärjestyksellä on merkitystä puiden kasvuun: tasaikäisessä kasvatuksessa harvennusten ja itseharvenemisen on katsottu johtavan spatiaalisesti tasaiseen jakaumaan, josta poikkeamat pienentävät puuston kasvua (Oliver ja Larson 1990). Sen sijaan jatkuvapeitteisen kasvatuksen tilajärjestyksen (spatiaalisesti heterogeeninen) vaikutusta puuston kasvuun ei toistaiseksi tarkkaan tiedetä (Lundqvist 2017). Taimettumiseen tilajärjestys puolestaan vaikuttaa eritoten taimien välisen kilpailun kautta: spatiaalisesti tasaisesti jakautuneita taimia on jatkuvapeitteisessä kasvatuksessa merkittävästi vähemmän kuin jaksollisessa kasvatuksessa, mitä edelleen korostaa hakkuusykleittäin usein toistuvat hakkuut (Eerikäinen ym. 2007). Pääsääntöisesti jatkuvapeitteisen kasvatuksen kannattavuutta käsittelevissä tutkimuksissa ei ole otettu huomioon taimien ja puuston tilajärjestyksestä (ks. kuitenkin Juutinen ym. 2018), minkä vuoksi puuston kasvua on voitu yliarvioida.

Jatkuvapeitteisen kasvatuksen käyttöä perustellaan usein mahdollisilla ympäristöhyödyillä. Luonnon monimuotoisuuden osalta vaikutukset riippuvat kuitenkin keskeisesti mittauksesta. Esimerkiksi kun monimuotoisuuden mittarina on puuston diversiteetti, jatkuvapeitteinen kasvatusta lisää luonnon monimuotoisuutta, erityisesti sekametsissä (Tahvonen ym. 2019). Vaikutukset voivat olla myös monimuotoisuutta heikentäviä verrattuna tasaikäiseen kasvatukseen. Esimerkiksi metson ja liito-oravan elinympäristön suhteen jatkuvapeitteinen kasvatusta on Peuran ym. (2018) mukaan huonompi vaihtoehto kuin jaksollinen kasvatusta. Tasaikäisen metsikön piirteisiin pohjautuvan maisemaindeksin (Silvennoinen ym. 2001) mukaan jatkuvapeitteinen kasvatusta on maisemahyötyjen osalta parempi kuin jaksollinen kasvatusta (Pukkala 2016), ja myös maisemapreferenssitutkimusten mukaan jatkuvapeitteinen kasvatusta soveltuu maisemallisista lähtökohdista paremmin kuin tasaikäinen kasvatusta virkistysalueiden metsänkäsittelyksi, ainakin mäntyvaltaisissa metsissä (Koivula ym. 2020). Metsien monikäytön kannalta voidaan siis todeta, että on hyvä, jos käytetään hakkuutapoja monipuolisesti, koska erilaiset hakkuut vaikuttavat ekosysteemipalveluihin eri tavoin (Mönkkönen ym. 2014; Peura ym. 2018).

Jatkuvapeitteisen metsänkasvatuksen kannattavuuslaskelmat ovat keskittyneet kangasmailla oleviin metsiin, mutta menetelmällä on potentiaalia myös turvemaidella. Turvemaidella avohakkuisiin perustuva metsänhoito vaatii tyypillisesti ojitusta tai olemassa olevien ojien kunnostusta (Ahtikoski ym. 2008). Jatkuvapeitteisessä metsänhoidossa puuston luontainen haihdutuskyky saattaa kuitenkin olla jatkuvasti riittävä pitämään pohjaveden pinnan tasolla, joka ei vaikuta merkittävästi puuston kasvuun (Sarkkola ym. 2010). Tällöin kunnostusojituksen vaikutus puuston kasvuun on minimaalinen. Taloudellisia analyysejä tästä kysymyksestä ei kuitenkaan ole vielä tehty. Lisäkysymyksensä turvemaiden metsänhoidossa asettavat maaperään varastoituneet kasvihuonekaasut, ja niiden potentiaalisen hinnoittelun vaikutus eri metsänhoitomenetelmien kannattavuuksiin.

Jatkuvapeitteisen kasvatuksen teemaan liittyy selkeitä jatkotutkimustarpeita. Monet näistä koskevat metsän luontaista uudistumista ja kasvua. Esimerkiksi taimettumiseen vaikuttavia tekijöitä olisi syytä selvittää entistä seikkaperäisemmin. Varsinkin taimien ja puuston tilajärjestyksen vaikutuksesta kasvuun ja kannattavuuteen tarvitaan lisätietoa. Uutta tutkimustietoa tarvitaan myös kartoittamaan, mikä vaikutus hakkuusykleittäin mahdollisesti laskevalla puun tuotoksella on jatkuvapeitteisen kasvatuksen kannattavuuteen. Lisää tutkimustietoa kaivataan myös esimerkiksi kilpailuindeksien (symmetriset ja asymmetriset) eroista jatkuvapeitteisen kasvatuksen ja tasaikäisen kasvatuksen välillä (Bianchi ym. 2020).

Jatkotutkimustarpeita liittyy myös jatkuvapeitteisen kasvatuksen ympäristöhyötyihin. Esimerkiksi mitattuja tietoja luonnon monimuotoisuudesta ja monista ekosysteemipalveluista erilaisissa jatkuvapeitteisen kasvatuksen käsittelyvaihtoehdoissa on varsin vähän eli tältä osin tarvitaan lisätutkimusta, erityisesti turvemaiden osalta. Vastaavasti jatkuvapeitteisen kasvatuksen mahdollisuuksista turvata luonnon monimuotoisuutta ja tarjota ekosysteemipalveluita kustannustehokkaasti tarvitaan lisää tutkimusta (Tahvonen ym. 2019). Kaiken kaikkiaan metsien monikäytön kannattavuus jatkuvapeitteisen kasvatuksen kohteilla – niin metsänomistajien kuin yhteiskunnankin näkökulmasta – on selkeä jatkotutkimuksen aihe (Swunder ym. 2014).

Lopuksi: jatkotutkimustarpeita on myös kannattavuuden mittaamisen näkökulmasta. Esimerkiksi jatkuvapeitteisen kasvatuksen kannattavuutta käsittelevissä tutkimuksissa käytetty nykyaikainen menetelmä perustuu moniin oletuksiin (Kuuluvainen ja Valsta 2009; Knoke ym. 2020), joten tiedontarvetta on myös vaihtoehtoisten kannattavuuskriteerien mukaisille talousvertailuille (esim. Magni 2010; Pasqual ym. 2013; Evison 2018). Lisäksi jatkuvapeitteisen kasvatuksen kannattavuutta käsittelevissä tutkimuksissa ei ole vielä otettu huomioon metsienhoitoon liittyviä riskejä, kuten esimerkiksi tuulituhojen (Hanewinkel ym. 2014; Pukkala ym. 2016) sekä korjuuvaurioiden (Granus ja Fjeld 2001; Surakka ja Siren 2007) ja hyönteis- ja sienituhojen (Piri ja Valkonen 2013; Klapwijk ym. 2016) mahdollisuutta. Kannattavuuden näkökulmasta metsänomistaja asettaa tuottovaatimuksen riskiä vastaavalle tasolle. Siten jatkuvapeitteisen kasvatuksen ja jaksollisen kasvatuksen kannattavuuden vertaamisessa olisi jatkossa otettava tarkasteluun myös niiden mahdollisesti erilaiset riskit. Tällöin kannattavuuden arviointi voidaan tehdä hyötyfunktion avulla ottaen huomioon metsänomistajan suhtautuminen riskiin (esim. Brunette ja Couture 2008).

## Kiitokset

Tämä katsaus on toteutettu SOMPA (SOMPA - Uudet maatalous- ja metsämaan viljely- ja hoitomenetelmät – avain kestävään biotalouteen ja ilmastonmuutoksen hillintään) projektissa, joka on saanut rahoitusta Suomen Akatemialta - strategisen tutkimuksen neuvosto (päättö 312912).

## Kirjallisuus

- Ahtikoski A., Kojola S., Hökkä H., Penttilä T. (2008). Ditch network maintenance in peatland forest as a private investment: short-and long-term effects on financial performance at stand level. *Mires and Peat* 3, article 3. <http://mires-and-peat.net/pages/volumes/map03/map0303.php>.
- Amacher G.S., Ollikainen M., Koskela E. (2009). *Economics of forest resources*. The MIT Press, Cambridge.
- Assmuth A., Rämö J., Tahvonon O. (2018). Economics of size-structured forestry with carbon storage. *Canadian Journal of Forest Research* 48: 11–22. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2017-0261>.
- Bianchi S., Huuskonen S., Siipilehto J., Hynynen J. (2020). Differences in tree growth of Norway spruce under rotation forestry and continuous cover forestry. *Forest Ecology and Management* 458: 117689. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.117689>.
- Bollandsås O.M., Buongiorno J., Gobakken T. (2008). Predicting the growth of stands of trees of mixed species and size: a matrix model for Norway. *Scandinavian Journal of Forest Research* 23(2): 167–178. <https://doi.org/10.1080/02827580801995315>.
- Brunette M., Couture S. (2008). Public compensation for windstorm damage reduces incentives for risk management investments. *Forest Policy and Economics* 10(7–8): 491–499. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2008.05.001>.
- Dănescu A., Kohnle U., Bauhus J., Weiskittel A., Albrecht A.T. (2018). Long-term development of natural regeneration in irregular, mixed stands of silver fir and Norway spruce. *Forest Ecology and Management* 430: 105–116. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.07.055>.
- Erikäinen 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. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.01.078>.
- Evison D.C. (2018). Estimating annual investment returns from forestry and agriculture in New Zea-



- land. *Journal of Forest Economics* 33(1): 105–111. <https://doi.org/10.1016/j.jfe.2018.06.001>.
- Faustmann M. (1849). Berechnung des Werthes, welchen Waldboden, sowie noch nicht haubare Holzbestände für die Waldwirthschaft besitzen.[Calculation of the value which forest land and immature stands possess for forestry]. *Allgemeine Forst- und Jagd-Zeitung* 25: 441–455.
- Gamfeldt L., Snäll T., Bagchi R., Jonsson M., Gustafsson L., Kjellander P., Ruiz-Jaen M.C., Fröberg M., Stendahl J., Philipson C.D., Mikusiński G., Andersson E., Westerlund B., André H., Moberg F., Moen J., Bengtsson J. (2013). Higher levels of ecosystem services are found in forests with more tree species. *Nature Communications* 4: 1340. <https://doi.org/10.1038/ncomms2328>.
- Granhuis 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. <https://doi.org/10.1139/x01-103>.
- Haight R. (1985). Comparison of dynamic and static economic models of uneven-aged stand management. *Forest Science* 31: 957–974.
- Hanewinkel M., Kuhn T., Bugmann H., Lanz A., Brang P. (2014). Vulnerability of uneven-aged forest to storm damage. *Forestry* 87(4): 525–534. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpu008>.
- Hokkanen T. (2001). Siemenet ja siemensato. Julkaisussa: Valkonen S., Ruuska J., Kolström T., Kubin E., Saarinen M. (toim.). Onnistunut metsänuudistaminen. Metsäntutkimuslaitos. Kustannusosakeyhtiö 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. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.12.032>.
- 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(5): 589–602. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpy018>.
- Klapwijk M.J., Bylund H., Schroeder M., Björkman C. (2016). Forest management and natural biocontrol of insect pests. *Forestry* 89(3): 253–262. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpw019>.
- Knöke T., Gosling E., Paul C. (2020). Use and misuse of the net present value in environmental studies. *Ecological Economics* 174: 106664. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2020.106664>.
- 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*. Painossa. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2019-0431>.
- Kuuluvainen J., Valsta L. (2009). *Metsäekonomian perusteet*. Gaudeamus, Helsinki University Press, Helsinki. 332 s.
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.02.011>.
- Magni C.A. (2010). Average internal rate of return and investment decisions: a new perspective. *The Engineering Economist* 55(2): 150–181. <https://doi.org/10.1080/00137911003791856>.
- Mönkkönen M., Juutinen A., Mazziotta A., Miettinen K., Podkopaev D., Reunanen P., Salminen H., Tikkanen O.-P. (2014). Spatially dynamic forest management to sustain biodiversity and economic returns. *Journal of Environmental Management* 134: 80–89. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.12.021>.
- Oliver C.D., Larson B.C. (1990). *Forest stand dynamics*. McGraw-Hill Inc., New York.
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2018.11.003>.
- Pasqual J., Padilla E., Jadotte E. (2013). Technical note: equivalence of different profitability criteria

- with the net present value. *International Journal of Production Economics* 142(1): 205–210. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2012.11.007>.
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2017.10.018>.
- 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. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2013-0052>.
- Pukkala T. (2016). Which type of forest management provides most ecosystem services? *Forest Ecosystems* 3 article 9. <https://doi.org/10.1186/s40663-016-0068-5>.
- Pukkala T., Lähde E., Laiho O. (2009). Growth and yield models for uneven-sized forest stands in Finland. *Forest Ecology and Management* 258(3): 207–216. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.03.052>.
- Pukkala T., Lähde E., Laiho O. (2010). Optimizing the structure and management of uneven-sized stands in Finland. *Forestry* 83(2): 129–142. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpp037>.
- Pukkala T., Lähde E., Laiho O. (2013). Species interactions in the dynamics of even- and uneven-aged boreal forests. *Journal of Sustainable Forestry* 32(4): 371–403. <https://doi.org/10.1080/10549811.2013.770766>.
- Pukkala T., Laiho O., Lähde E. (2016). Continuous cover forestry reduces wind damage. *Forest Ecology and Management* 372: 120–127. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.04.014>.
- Rämö J., Tahvonen O. (2014). Economics of harvesting uneven-aged forest stands in Fennoscandia. *Scandinavian Journal of Forest Research* 29(8): 777–792. <https://doi.org/10.1080/02827581.2014.982166>.
- Rämö J., Tahvonen O. (2015). Economics of harvesting boreal uneven-aged mixed-species forests. *Canadian Journal of Forest Research* 45(8): 1102–1112. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2014-0552>.
- Rämö J., Tahvonen O. (2017). Optimizing the harvest timing in continuous cover forestry. *Environmental and Resource Economics* 67: 853–868. <https://doi.org/10.1007/s10640-016-0008-4>.
- Saksa T., Nerg P. (2008). Kuusen istutus, luontainen uudistaminen ja näiden yhdistelmät kuusen uudistamisessa. *Metsätieteen aikakauskirja* 4/2008: 255–267. <https://doi.org/10.14214/ma.6829>.
- 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(8): 1485–1496. <https://doi.org/10.1139/X10-084>.
- Shanin V., Valkonen S., Grabarnik P., Mäkipää R. (2016). Using forest ecosystem simulation models in planning uneven-aged forest management. *Forest Ecology and Management* 378: 193–205. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.07.041>.
- Silvennoinen H., Alho J., Kolehmainen O., Pukkala T. (2001). Prediction models of landscape preferences at the forest stand level. *Landscape Urban Planning* 56(1–2): 11–20. [https://doi.org/10.1016/S0169-2046\(01\)00163-3](https://doi.org/10.1016/S0169-2046(01)00163-3).
- Sinha A., Rämö J., Malo P., Kallio M., Tahvonen O. (2017). Optimal management of naturally regenerating uneven-aged forests. *European Journal of Operational Research* 256(3): 886–900. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2016.06.071>.
- Surakka H., Sirén M. (2007). Poimintahakkuiden puunkorjuun nykytietämys ja tutkimustarpeet. *Metsätieteen aikakauskirja* 4/2007: 373–390. <https://doi.org/10.14214/ma.5983>.
- Swunder S., Abildtrup J., Thorsen B.J. (2014). Quantification of management measures and ecosystem services. Julkaisussa: Thorsen B.J., Mavsar R., Tyrväinen L., Prokofieva I., Stenger A. (toim.). *The provision of forest ecosystem services. What Science Can Tell Us* 5, vol. 2. European Forest Institute. s. 21–25.

- Tahvonen O. (2009). Optimal choice between even- and uneven-aged forestry. *Natural Resource Modelling* 22(2): 289–321. <https://doi.org/10.1111/j.1939-7445.2008.00037.x>.
- Tahvonen O. (2011). Optimal structure and development of uneven-aged Norway spruce forests. *Canadian Journal of Forest Research* 41(12): 2389–2402. <https://doi.org/10.1139/x11-130>.
- Tahvonen O. (2016). Economics of rotation and thinning revised: the optimality of clearcuts versus continuous cover forestry. *Forest Policy and Economics* 62: 88–94. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2015.08.013>.
- Tahvonen O., Viitala E.-J. (2006). Does Faustmann rotation apply to fully regulated forests? *Forest Science* 52: 23–30.
- Tahvonen O., Rämö J. (2016). Optimality of continuous cover vs. clear-cut regimes in managing forest resources. *Canadian Journal of Forest Research* 46(7): 891–901. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2015-0474>.
- Tahvonen O., Pukkala T., Laiho O., Lähde E., Niinimäki S. (2010). Optimal management of uneven-aged Norway spruce stands. *Forest Ecology and Management* 260(1): 106–115. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.04.006>.
- Tahvonen O., Rämö J., Mönkkönen M. (2019). Economics of mixed-species forestry with ecosystem services. *Canadian Journal of Forest Research* 49(10): 1219–1232. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2018-0514>.

*51 viitettä.*