

**PTT työpapereita 164**  
**PTT Working Papers 164**

**METSÄTALouden TALOUDELLINEN  
TULOS ERI KASVATUSTAVOISSA**

Jyri Hietala  
Anna-Kaisa Kosenius  
Anna-Kaisa Rämö  
Paula Horne

Helsinki 2014



PTT työpapereita 164  
ISBN 978-952-224-156-6 (pdf)  
ISSN 1796-4784 (pdf)  
Pellervon taloustutkimus PTT

Helsinki 2014

**Hietala, J., Kosenius, A-K., Rämö, A-K. ja Horne, P. 2014. METSÄTALOUDEN TALOUDELLINEN TULOS ERI KASVATUSTAVOISSA. PTT työpapereita 164.** 78 s. ISBN 978-952-224-156-6 (pdf), ISSN 1796-4784 (pdf)

**Tiivistelmä:** Vaihtoehtoisten metsänhoitomenetelmien taloudellista ja ekologista suorituskykyä on tutkittu vuosikymmeniä. Metsänomistajien tavoitteiden korostuminen ja sallivammat määräykset metsänomistuksessa ovat entisestään lisänneet kiinnostusta vaihtoehtoisin menetelmiin. Tämä on näkynyt aihetta käsittelevien tutkimusjulkaisujen määrässä. Tutkimustulokset pohjoisen havumetsävyöhykkeelle ovat olleet vaihtelevia eikä selvää vastausta vaihtoehtoisten metsänkasvatusmenetelmien paremmuudesta ole pystytty antamaan. Tämä on herättänyt vilkasta keskustelua aiheen ympärillä.

Tämän tutkimuksen tavoitteena on lisätä tietoisuutta eri metsänhoitokäytännöistä selkeyttämällä käytävää keskustelua eri metsänhoitomenetelmien taloudellisesta tuloksesta. Tutkimuksessa esitetään erilaisia taloudellisia mittareita, joita voidaan käyttää arvioitaessa vaihtoehtoisia metsänkäsittelyjä. Selvityksessä esitetään, kuinka vaihtoehtoisten metsänkäsittelyjen – tasa- ja eri-ikäiskasvatuksen – taloudellista tulosta on verrattu eri tutkimuksissa, ja analysoidaan mistä tekijöistä erot tuloksissa johtuvat. Selvitys perustuu kirjallisuuskatsaukseen, joka koostuu vertaisarvioituihin tieteellisiin tutkimuksiin sekä muuhun alaa koskevaan kirjallisuuteen. Tutkimustuloksista luodaan synteesi erilaisten tekijöiden vaikutuksista eri hoitovaihtoehtojen väliseen suhteelliseen kannattavuuteen. Teorian lisäksi eri metsänhoitovaihtoehtoja vertaillaan käytännön metsätalouden ja yhteiskunnan näkökulmasta.

**Avainsanat:** *Metsätalous, taloudellinen tulos, tasaikäiskasvatus, eri-ikäiskasvatus*

**Hietala, J., Kosenius, A-K., Rämö, A-K. and Horne, P. 2014. COMPARING THE ECONOMIC RESULT OF EVEN- AND UNEVEN-AGED FOREST MANAGAMENT. PTT Working Papers 164.** 78 p. ISBN 978-952-224-156-6 (pdf), ISSN 1796-4784 (pdf)

**Abstract:** The economic and ecological performance of different forest management options has been studied for decades. Rising emphasis on forest owners' objectives and more permissive regulations, have increased the interest in alternative management methods. This is evident also in research publications of recent years, which have been increasingly dealing with the topic. Studies especially for the Scandinavian boreal zone have produced widely variable results such that no clear answer to the superiority of alternative forest managements can be given. This has given rise to a lively debate around the subject.

This study aims to raise awareness of the various forestry practices by clarifying the discussion regarding economic result of different forest management regimes. The study presents a variety of economic indicators that can be used in assessing alternative management methods. This study clarifies how the financial performance of the two main forest management alternatives – even and uneven-aged management – has been compared in recent publications, and how to interpret the effect of various exogenous variables incorporated into models. The study is based on a literature review, consisting of peer-reviewed scientific research papers, books and articles written on the subject. A synthesis of the research results gives ground to the analysis of various factors affecting the relative economic performance of different management options. Interpretation of the results stresses also the perspective of practical forestry as well as social impacts.

**Keywords:** *Forestry, economic result, even-aged management, uneven-aged management.*



## ESIPUHE

Suomen uusi metsälaki astui voimaan vuoden 2014 alusta. Lain yhtenä merkittävimpänä uudistuksena oli muuttaa metsänkasvatusta sallivampaan suuntaan mahdollistamalla niin sanottu metsikön jatkuva kasvatusta vaihtoehtona perinteiselle jaksolliselle metsänkasvatukselle.

Metsikön kasvattaminen eri-ikäisistä ja kokoisista puista muodostuvana kokonaisuutena eroaa hyvin paljon siitä, mihin metsänomistajat ovat tottuneet kasvattaessaan metsiä tasaikäisinä. Puuston rakenteen eroista johtuen metsikön kehitysdynamiikka poikkeaa eri kasvatustavoissa hyödynnetään erilaisia metsänhoidollisia toimenpiteitä ja toisaalta kustannukset ja tulot syntyvät eri aikoina ja erisuuruuksina. Tämän selvityksen tarkoituksena oli tarkastella, miten tämä kaikki vaikuttaa metsänomistajan talouteen.

Pellervon taloustutkimus vastaa tämän selvityksen tuloksista. Hankkeen aikana on yhdessä Suomen Metsäyhdistyksen kanssa tuotettu raportin pohjalta esitysmateriaali. PTT:n ja Suomen Metsäyhdistyksen puolesta kiitän Suomen Metsäsäätiötä selvityksen rahoittamisesta. Lisäksi lämpimät kiitokset raporttia kommentoineille ja muuten hanketta edistäneille tahoille.

Helsingissä joulukuussa 2014.

Pasi Holm  
Toimitusjohtaja  
Pellervon taloustutkimus PTT



## YHTEENVETO

Suomessa vuoden 2014 alusta voimaan tulleen uuden metsälain myötä metsänomistajien vaihtoehdot metsänkasvatuksessa ovat lisääntyneet. Uudistamisen ikä- ja läpimittavaatimukset poistuivat eikä uusi metsälaki enää velvoiteta harjoittamaan tasaikäiskasvatusta, vaan mahdolliseksi on tullut myös metsänkasvattaminen eri-ikäisrakenteisena. Päätehakkuun sijasta metsikköä voidaan kasvattaa jatkuvasti peitteisenä harventamalla metsikköä säännöllisesti. Uusi metsälaki velvoittaa edelleen perustamaan uuden metsikön päätehakkuun jälkeen tai kun metsikkö hakataan tarpeeksi harvaksi.

Vaihtoehtojen lisääntyminen on herättänyt metsäalan eri toimijoiden välillä keskustelua siitä, miten eri metsänkasvatusmenetelmien taloudellinen tulos eroaa toisistaan. Aihetta käsittelevät tutkimukset ovat päättyneet erilaisiin tuloksiin, eikä yksiselitteistä vastausta kasvatusmenetelmien paremmuudesta ole kyetty antamaan. Tämän selvityksen tarkoituksena oli kirjallisuuteen perustuen selvittää eri metsänkasvatusmenetelmien eroja tarkasteltuna erilaisilla taloudellisilla mittareilla. Eri kasvatusmenetelmiä vertailevien tutkimustulosten eroja analysoitiin tarkemmin sen suhteen, mistä erot tuloksissa johtuvat.

Tämän selvityksen perusteella voidaan sanoa, että paras tai soveltuvin metsänkasvatusmenetelmä on aina riippuvainen asetetuista tavoitteista ja laskelmissa käytetyistä lähtöoletuksista. Tutkimusten perusteella tasaikäiskasvatukseen suhteellista kannattavuutta nostaa osaltaan se, että eri-ikäiskasvatuksen puuntuotannon määrä voi harvemman kasvatusasennon johdosta olla hieman alhaisempi kuin tasaikäiskasvatuksessa. Alhaisempaa puuntuotannon määrää kompensoi osin se, että eri-ikäismetsiköstä saadaan suhteellisesti enemmän arvokasta tukkipuuta. Taloudellista kannattavuutta suhteessa tasaikäiskasvatukseen nostaa myös se, että eri-ikäiskasvatetun metsikön kustannukset ovat alhaisemmat ja hakkuutuloja saadaan tasaisemmin.

Kun lähtökohdaksi otetaan pitkän aikavälin nettotulojen nykyarvon maksimointi, tulos on aina riippuvainen monien tekijöiden yhteisvaikutuksesta. Lyhyellä aikavälillä tärkeimmäksi tekijäksi muodostuu puuston lähtötilanne. Siirtyminen tasaikäismetsiköstä eri-ikäisrakenteiseen metsikköön ei usein tapahdu hetkessä, vaan voi vaatia jopa kymmenien vuosien siirtymäjakson. Väärin ajoitettu siirtymä voikin vaikuttaa negatiivisesti kannattavuuteen. Tutkimusten mukaan siirtyminen on kannattavampaa tehdä silloin, kun tasaikäismetsikkö on lähempänä kehitysvaiheen alku- kuin loppupäätä. Uudistuskypsytyttä lähestyessä metsikköä ei ole enää taloudellisesti kannattavaa muuttaa eri-ikäisrakenteiseksi, koska tällöin puiden edelleen kasvattamisesta koituu tappiota verrattuna päätehakkuuseen. Laskelmissa käytetyllä laskentakorolla on puun lähtötilanteen merkitystä edelleen voimistava vaikutus. Käytetty korko vaikuttaa samalla tavoin myös

muiden taloudellisten parametrien ja mallien erilaisten rajoitusten ja oletusten kautta laskelmien lopputulokseen.

Suuressa osassa tutkimuksia tulokset on laskettu käyttäen yhdenlaista lähtötilannetta ja varioiden vain osaa muistakin tekijöistä. Siten eri tutkimusten tulokset ovat jo lähtökoh- taisesti huonosti verrattavissa toisiinsa. Eri tutkimuksissa käytetään myös hyvin vaihte- levalla tavalla erilaisia laskentamalleja metsikön tuottoarvon laskemiseen. Taloudellisten vertailujen vaatimuksena tulisi olla metsänkäsittelyjen optimointi tarkastellun tavoitteen suhteen. Osassa tutkimuksia optimoinnit on kuitenkin rajoitettu siten, että lopullinen metsänkäsittely ei kuvaa metsänkasvatustavalle optimaalista käsittelyä. Siten näiden tutkimusten tuloksia on mahdotonta yleistää koskemaan koko metsänkasvatustavan kannattavuutta.

Eri kasvatustapojen välisissä suhteellisissa kannattavuuksissa oli hyvin suurta hajontaa. Tämä voi osaltaan kertoa myös tutkimustulosten luotettavuudesta. Tutkimustulokset perustuvat suurelta osin metsikön pitkän aikavälin simulointeihin, joissa pienetkin erot laskelmissa voivat kumuloitua ja johtaa merkittäviin eroihin lopputuloksissa. Eri-ikäismetsiköiden kasvumallien luotettavuudessa on parannettavaa menetelmän vähäi- semmän kokemuksen johdosta. Eri-ikäismetsikön uudistuminen on perusedellytys kas- vatusmenetelmän onnistumiselle, mutta samalla tiedetään että eri-ikäismetsiköiden uu- distumista selittävässä kynnykskasvumalleissa on eniten kehitettävää.

Soveltuvin menetelmä on viime kädessä riippuvainen aina metsänomistajan omista ta- voitteista. Eri-ikäiskasvatuksen etuihin voidaan lukea tasaisesti toistuvat tulot, mikä pi- tää metsänomistajan maksuvalmiutta yllä. Toisaalta tilatasolla tasaikäiskasvatuksestakin voidaan saada kohtuullisen tasaisesti tuloja pyrkimällä normaalimetsärakenteeseen. Metsänomistajan riskinsietokyky voi myös määritellä soveltuvimman metsänkasvatus- tavan. Vaikka eri metsänkasvatustavat sisältävät samoja riskejä, niiden toteutumisen todennäköisyys eri riskien osalta voi olla erilainen tai niitä ei tunneta varmuudella eten- kään eri-ikäiskasvatuksen osalta.

Yhteiskunnan näkökulmasta eri metsänkasvatusmenetelmillä ei arvioida olevan merkit- tävää eroa. Vaihtoehtoisten metsänkasvatusmenetelmien laajempi käyttöönotto voisi lisätä puun myyntihalukkuutta nykyisestä jonkin verran, erityisesti uudistushakkuista pidättäytyneiden omistajien lisätessä puunmyyntiä. Tämä voisi nostaa kantorahatuloja ja valtion verotuloja lievästi. Kasvatusmenetelmän vaihdoksen vaikutukset työllisyyteen olisivat arvion mukaan vähäiset. Lähinnä tasaikäismetsikön alkuvaiheen työläjien vähe- neminen eri-ikäiskasvatuksessa laskisivat hieman työn tarvetta. Toisaalta siirtymävai- heessa työn tarve saattaisi jopa lisääntyä muutettaessa metsien rakennetta. Valtion kes- tävän metsätalouden rahoituksen (Kemera) tuet voisivat laskea jonkin verran metsän- hoitotoimenpiteiden vähentyessä.



## Sisällys

ESIPUHE .....	5
YHTEENVETO .....	7
1 TAUSTA JA TAVOITE .....	11
2 VAIHTOEHTOISET METSÄNKASVATUSTAVAT JA METSÄNOMISTUKSEN TAVOITTEET.....	13
2.1 Metsänkasvatustavat .....	13
2.2 Metsänkasvatuksen taloudelliset ja muut tavoitteet.....	15
3 HAVAINTOJA METSÄNKASVATUSTAPOJEN TALOUDEN KIRJALLISUUDESTA .....	24
3.1 Matemaattiset mallit ja päätösmuuttujat.....	25
3.2 Kasvatustapojen suhteellinen kannattavuus .....	27
3.3 Kannattavuuden vertailulaskelmat tasa- ja eri-ikäisessä metsikössä .....	30
3.4 Tutkimustulokset boreaalisella kasvuvyöhykkeellä .....	32
3.4.1 Tasaikäiskasvatus kannattavampaa.....	32
3.4.2 Eri-ikäiskasvatus kannattavampaa.....	34
3.4.3 Kasvatusmenetelmien kannattavuus vaihtelee .....	35
3.5 Kannattavuuseroihin vaikuttavat seikat .....	37
3.5.1 Korkokanta.....	41
3.5.2 Puuston lähtötilanne.....	42
3.5.3 Puuston kasvu .....	43
3.5.4 Aikahorisontti.....	46
3.5.5 Puun hinta.....	48
3.5.6 Korjuukustannukset.....	49
3.5.7 Uudistamis- ja muut metsänhoitokustannukset .....	51
3.5.8 Puulaji- ja kasvupaikkatekijät .....	51
3.5.9 Muiden tuotteiden hinnat .....	53
4 YHTEENVETO TUTKIMUSKIRJALLISUUDESTA .....	55
4.1 Yksittäistä tekijää eriäviin tuloksiin mahdoton tunnistaa.....	55
4.2 Kehitystarvetta ekologisiin malleihin.....	57
4.3 Lisätutkimusta ja käytännön opastusta .....	58
5 METSÄNKASVATUSMENETELMÄT METSÄNOMISTAJAN JA VALTION NÄKÖKULMASTA .....	60
5.1 Taloudellinen tulos metsänomistajan näkökulmasta .....	60
5.2 Taloudellinen tulos valtion näkökulmasta .....	67
KIRJALLISUUS .....	69
LIITTEET .....	76



## 1 TAUSTA JA TAVOITE

Metsillä on suuri merkitys Suomen kansantaloudessa sekä suoraan että välillisesti muun muassa metsätalouden harjoittamisen, metsäteollisuuden tuotannon ja viennin sekä metsäteollisuuden, metsätalouden ja metsäpolitiikan osaamisen viennin myötä. Puuntuotannon lisäksi metsät tuottavat monia muita hyödykkeitä ja palveluita eli ekosysteemipalveluita kuten maisema- ja virkistysarvoja, hiilensidontaa, luonnon monimuotoisuutta ja metsästyksen ja kalastuksen tuottamia virkistys- ja tuotantopalveluita. (Kniivilä ym. 2011, Kuuluvainen ja Valsta 2009)

Vuoden 2014 alussa voimaan tullut uudistettu metsälaki (Laki metsälain muuttamisesta 1085/2013) on muuttanut metsätalouden harjoittamisen mahdollisuuksia merkittävästi. Aiemman jaksollisen metsänkasvatuksen (tasaikäismetsätalous; joko yksikerroksinen yhden puulajin tai monikerroksinen monen puulajin metsä) lisäksi on mahdollista myös harjoittaa metsän jatkuvaa kasvatusta (eri-ikäismetsätalous; monenikäisiä, -kokoisia ja -lajisia puita). Metsänkäsittelyvaihtoehtojen paremmuudesta niin ekologiselta kuin taloudelliselta kannalta ei kuitenkaan ole yksiselitteistä tietoa saatavilla. Myöskään metsänhoidon kannalta ei voida eri-ikäisrakenteista metsää koskevaan tutkimustietoon pohjautuen antaa yksiselitteisiä raja-arvoja esimerkiksi siementämään jäävän puuston määrästä, koosta, kunnosta tai iästä. (Valkonen ym. 2010)

Suomessa oli 1850-luvulta aina 1950-luvulle saakka tapana hakata metsää harsinta- tai poimintahakkuin valiten yleensä isoimpia puita kaadettavaksi (engl. *selective harvesting*). Metsänomistajilla oli jatkuvan tuoton metsänkasvatuksesta käsitys, että se hyvin suunniteltuna ja toteutettuna poisti tarpeen lopulliseen hakkuuseen ja metsän uudistamiseen ja mahdollisti jatkuvan tulon saamisen metsästä. Vuonna 1928 voimaan tulleen Yksityismetsälain tavoitteena oli tehostaa puuntuotantoa, ja se toi mukanaan avohakkuukäytännön. Lakia ei metsänomistajien keskuudessa omaksuttu heti, sillä osa metsänomistajista koki, ettei heillä enää ollut täyttä päätäntävaltaa omistamiinsa metsiin. Vasta sodan jälkeen hakkuukäytännöt muuttuivat selkeästi kun sellu- ja paperiteollisuuden kehittyminen toi kysyntää myös tukkipuuta pienemmille läpimitoille ja tehokkaammat metsäkoneet soveltuivat paremmin avohakkuualoille. (Siiskonen 2007) Sotien jälkeisinä vuosina myös osa metsäammattilaisista piti erityisesti määrämittaharsintaa haitallisena puuvarannon kehittymiselle ja esittivät vuonna 1948 avohakkuuta toimenpiteeksi ”pilalle hakattujen metsien kunnostamiseen” (Kalela 1945, viit. Mikola 1984).

Myöhemmin metsänomistajat alkoivat saada rahallista korvausta (MERA-ohjelma 1961–76) soiden ojitukseen, metsänlannoitukseen, metsäteiden rakentamiseen ja avohakkuualueiden auraukseen (Siiskonen 2007).

Vaikka 1980-luvulle saakka metsä nähtiin tiukasti tulon lähteenä ja päätavoite oli taloudellisten hyötyjen maksimointi, ajatus metsien monikäytöstä korostui jo 1970-luvulta lähtien. 1980-luvun jälkeinen metsäkapinointi jaksollisen metsänkasvatuksen menetelmiä vastaan oli merkki, että metsänomistajien monimuotoiset toiveet tulisi ottaa huomioon metsänhoidossa ja -kasvatuksessa. Tehometsätalouden kestävyyttä ja kannattavuutta kritisoitiin (Vaara 1990, Lähde 1991, Lähde 1992a), metsäsektorin merkitys väheni ja ympäristötietoisuus lisääntyi. Metsätieteilijät, viranomaiset ja metsäteollisuus alkoivat harkita uudelleen metsänkasvatusmenetelmiä. (Siiskonen 2007)

Tämän hankkeen tarkoituksena on tutkimuskirjallisuutta tarkastelemalla selventää sitä, miten metsänkäsitteilyvaihtoehtojen (metsänkasvatusmenetelmien) – tasaikäiskasvatus ja eri-ikäiskasvatus – taloudellista tulosta voidaan vertailla, ja miten tutkimusten eri lähtökohdat vaikuttavat tulosten mahdollisiin eroavuuksiin. Hankkeen tavoitteena on selventää eri metsänhoitomenetelmien taloudellisesta tuloksesta käytävää tutkimuskeskustelua, ja esittää esimerkein, miten erilaisia taloudellisia mittareita voitaisiin hyödyntää metsätalouden vaihtoehtoisissa kasvatustavoissa käytännön tasolla.

## **2 VAIHTOEHTOISET METSÄNKASVATUSTAVAT JA METSÄN- OMISTUKSEN TAVOITTEET**

### **2.1 Metsänkasvatustavat**

Tasa- ja eri-ikäiskasvatustavat ovat pääasiassa metsänkasvatustavat Suomessa. Taulukko 1 hahmottaa kasvatustapojen merkittävimpiä eroja. Tasaikäismetsätaloudessa kasvatetaan tyypillisesti yhtä pääpuulajia, metsää harvennetaan muutaman kerran kiertoajan kuluessa, ja metsästä saadaan hakkuutuloja kerralla enemmän. Metsikön elinkaari muodostuu eri kehitysvaiheista, jossa uudistamista seuraavat sijainnista (etelä-pohjoinen) riippuen eripituisina ajanjaksoina taimikkovaihe (1–25 vuotta), nuoren kasvatusmetsikön (15–70 vuotta), varttuneen kasvatusmetsikön (yli 30–40 vuotta) ja uudistuskypsän metsikön (40–150 vuotta) vaiheet (Äijälä ym. 2014).

Suomessa vallitsevana käytäntönä tasaikäismetsiköiden harvennuksissa ovat alaharvennukset, joissa valta- ja lisävaltapuille annetaan lisätilaa kasville. Tämän seurauksesta tasaikäisrakenteisen metsikön puuston pohjapinta-ala on useimmiten korkeimmillaan päätehakkuuajankohtana, joskin esimerkiksi Metsänhoitosuosituksen mukaan tasaikäisen metsikön kannattavuutta on mahdollista nostaa laskemalla pohjapinta-alaa vaiheittain harvennuksilla päätehakkuuseen. Uudistetussa metsälaissa kasvatushakkuuta ei enää ohjata säännöksiin alaharvennuksiin. (Äijälä ym. 2014).

Myös monien tutkimusten (esim. Lundqvist ym. 2007, Tahvonen ym. 2010, Pukkala ym. 2014b) mukaan tasaikäismetsikön puuntuotantoa ja kannattavuutta voidaan parantaa harjoittamalla yläharvennuksia alaharvennusten sijaan. Teknisesti yläharvennusten toteuttaminen on jo eräänlainen siirtyminen kohti eri-ikäiskasvatusta. Esimerkiksi Lähde ym. (2010a) toteavat, että riittävä määrä alikasvosta yhdistettynä yläharvennukseen tai määrämittahakkuuseen sekä luontaiseen uudistamiseen on jatkuvaa kasvatusta.

Eri-ikäismetsikössä kasvatetaan samaan aikaan usean kokoisia ja ikäisiä puita, ja metsikkö koostuu useista kerroksista. Metsä pysyy valtaosaltaan peitteisenä jatkuvasti. Säännöllisen erirakenteisessa metsikössä runkolukujakauma noudattelee käänteistä J-kirjaimen muotoa, eli taimia ja pieniä puita on eniten. Erirakenteisen metsikön tavoiteltua runkolukujakauma kuvataan tyypillisesti käyttäen suhteellista lukuarvoa (q-arvo), joka kuvastaa peräkkäisten läpimittaluokkien runkolukujen määrää suhteessa toisiinsa.

Q-arvon suurentuessa (pienentyessä) suuren läpimittaluokan puiden suhteellinen määrä lisääntyy (vähenee) metsikössä.

Jatkuvassa kasvatuksessa tuloja saadaan tasaisin väliajoin. Metsikön tavoiteltu rakenne yhdessä muun muassa puulajin ja kasvupaikan viljavuuden ohella määrittelevät asetetun tavoitteen mukaisen optimaalisen hakkuukierron pituuden. Hakkuut eri-ikäisrakenteisessa metsikössä toistuvat 10–50 vuoden välein riippuen esimerkiksi kasvupaikkatekijöistä ja metsänkasvatuksen tavoitteista. Metsikkö pysyy tasapainoisena, kun hakkuussa poistetaan hakkuukierron aikaista kasvua vastaava puumäärä.

Metsikön pohjapinta-ala vaihtelee eri-ikäisrakenteisessa metsikössä tyypillisesti välillä 18–25 m<sup>2</sup>/ha ennen hakkuuta ja jäävän puuston pohjapinta-ala välillä 7–15 m<sup>2</sup>/ha (Pukkala ym. 2011b s. 70). Siten tyypillisesti hakattava määrä on 40–60 % puuston pohjapinta-alasta ennen hakkuuta. Hakkuussa poistettavien puiden määrä ja vähimmäisläpimitta riippuvat kuitenkin asetetuista tavoitteista ja muista, kuten metsikön rakentamiseen liittyvistä, tekijöistä. Eri-ikäisrakenteisen metsän kasvatusta ei tarkoiteta vain isoimpien puiden poistoa, kun ne ovat saavuttaneet riittävän koon (harsinta), vaan isoimpien puiden poistamista siksi, että pienemmät saavat lisää tilaa kasvaa, ja niiden suhteellinen kasvuvauhti nopeutuu. (Valkonen ym. 2010) Usein eri-ikäismetsiköiden hakkuissa voi olla tarpeen poistaa lisäksi muita puita (esim. pieniä tai viallisia puita) oikeanlaisen metsikön rakenteen säilyttämiseksi ja metsikön kasvun ja uudistumisen varmistamiseksi.

**Taulukko 1.** Tasaikäiskasvatuksen ja eri-ikäiskasvatuksen eroja (Valkonen ym. 2010, Pukkala ym. 2011b).

<b>Jaksollinen kasvatusta</b> <b>Tasaikäismetsätalous</b>	<b>Jatkuva kasvatusta</b> <b>Eri-ikäismetsätalous</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Yksi puulaji, yksi kerros</li> <li>• Puuston rakennetta tasataan alaharvennuksin ja raivauksin</li> <li>• Harvennuksia 2-3/kiertoaika</li> <li>• Kiertoaika 60–140v</li> <li>• Avohakkuu</li> <li>• Uudistaminen viljelemällä tai luontaisesti</li> <li>• Kerralla suuri hakkuu- ja tulo-kertymä</li> <li>• Uuden metsän kasvatusta kestää vuosikymmeniä, ei tasaisia tuloja</li> <li>• Puulaji voidaan vaihtaa uudistamalla</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Laaja runkoluku-jakauma, voi olla 2-kerroksinen</li> <li>• Metsää kasvatetaan ja uudistetaan samanaikaisesti</li> <li>• Ei erilaisia metsikön kasvuvaiheita</li> <li>• Harva kasvatusasento</li> <li>• Uutta taimiainesta syntyy jatkuvasti</li> <li>• Metsä pysyy koko ajan peitteisenä</li> <li>• Eri-ikäisrakenteisuutta luodaan ja edistetään poimintahakkuuin tai pienaukkohakkuuin</li> <li>• Hakkuukierto (10–50 v), tuloja saadaan tasaisin väliajoin</li> <li>• Puulajin vaihto ei mahdollista lyhyellä aikavälillä</li> </ul>

## 2.2 Metsänkasvatuksen taloudelliset ja muut tavoitteet

Metsänomistajalla voi olla vaihtoehtoisia tavoitteita metsänkasvatuksessa, jotka ohjaavat päätöksentekoa. Tarkasteltaessa eri metsänkasvatustapojen kannattavuutta on tarpeen ymmärtää erilaisten taloudellisten mittareiden käsitteet ja niiden käytettävyys. Metsätaloudessa yleisesti käytettyjä taloudellisia käsitteitä ovat nettonykyarvo, paljaan maan arvo, kassavirta, puutase, pääoman tuotto ja sisäinen korko. Lisäksi metsikön arvokasvu on tyypillisesti seurattava tunnusluku, vaikkakaan se ei ole varsinaisesti taloudellisen tuloksen määre. Yritysmäisessä metsänomistuksessa voi tulla kyseeseen metsätalouden sisällyttäminen osaksi metsänomistajan kokonaistaloutta, jolloin esimerkiksi omavaraisuusasteen ja maksuvalmiuden seuranta korostuvat. Metsätalouden lyhyen ja pitkän aikavälin tuloksesta saadaan selkeämpi kokonaiskuva – markkinoilla myytävien hyödykkeiden osalta – käyttämällä samanaikaisesti monia eri liiketaloudellisia mittareita.

Taloudellisia mittareita ja niiden eroja on tarkasteltu taulukossa 2. Tekstissä annetaan lisäksi esimerkkejä mittareiden käytöstä. Eri kasvatustapojen vertailussa eri mittareilla on olennaista huomata oletettu alkutilanne. Tasaikäisen metsikön nykytilanne on useimmiten uudistushakkuun jälkeinen tila. Eri-ikäismetsiköiden oletetaan tyypillisesti olevan jo valmiiksi eri-ikäisiä ja sisältävän hakkuukypsä runkoja, ts. metsiköt ovat tasa-painotilaisessa hakkuukierrossa.

**Taulukko 2. Taloudellisten mittareiden eroja kasvatustapojen näkökulmasta.**

Mittari	Mittayksikkö	Idea	Oleennaista
<b>Absoluuttisen kannattavuuden mittarit</b>			
<b>1 kassavirta</b>	€	Kuvastaa varsinaista rahaliikennettä, esim. nettokantorahatulot (puunmyyntitulot vähennettynä metsänhoitokustannuksilla)	Ei huomioi rahan aika-arvoa, jolloin eri ajankohtina saatu sama summa rahaa on yhtä arvokas omistajalleen.
<b>2 nettotulojen nykyarvo</b>	€	Kuvastaa hyötyjen ja kustannusten eroa tietyllä ajajänteellä	Tulevaisuuden tulot ja kustannukset on muutettu nykyhetken yksiköiksi diskonttaamalla käyttäen korkona useimmiten 1–5 %. Vaatii mielellään yli kiertoajan pituisen tarkastelujakson.
<b>3 paljaan maan arvo</b>	€	Kuvastaa ikuisuuteen ulottuvien kiertoaikojen yhteenlaskettua nettonykyarvoa	Vakiintunein tapa laskea metsänkasvatuksen kannattavuus tasaikäisessä metsikössä. Voidaan laskea myös eri-ikäiselle metsikölle ikuisuuteen ulottuvien tasapainotilaisten hakkuukiertojen avulla.
<b>4 puutase</b>	€	Realisoituneen tuloksen (nettokantorahatulot) lisäksi ottaa huomioon puuston arvon muutoksen.	Ei huomioi rahan aika-arvoa. Antaa kassavirtaan nähden lisätietoa metsikön tuloksesta.
<b>Suhteellisen kannattavuuden mittarit</b>			
<b>5 pääoman tuotto</b>	%	Kuvastaa vuotuisen nettotuloksen ja sijoitetun pääoman (oma pääoma tai koko pääoma) suhdetta	Investointi on kannattava, jos pääoman tuotto on suurempi tai yhtä suuri kuin laskentakorko. Tulosten yleistettävyys edellyttää tasaisia vuosituottoja.
<b>6 sisäinen korko</b>	%	Kuvastaa yksittäisten metsänhoidollisten investointien kannattavuutta	Investointi on kannattava, jos sisäinen korko on suurempi tai yhtä suuri kuin pääoman tuottovaatimus.

## 1 Kassavirta (CF, cashflow), euroa

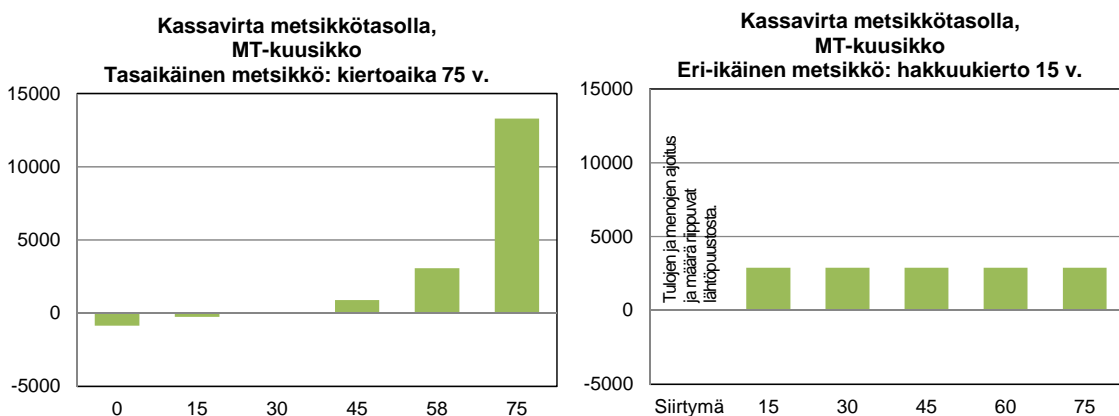
Kassavirta kuvastaa varsinaista rahaliikennettä. Vuotuinen kassavirta koostuu tuloista ja menoista, jotka riippuvat yksikköhintojen ja -määrien muutoksista. Metsätaloudessa esim. *nettokantorahatulot* kuvaavat metsätaloudesta vuoden aikana saatua kassavirtaa, jossa puunmyyntituloista on vähennetty metsänhoitokustannukset.



Kassavirta kuvaa *absoluuttista* kannattavuutta, eikä se huomioi rahan aika-arvoa (korko nolla). Näin ollen eri ajankohtina saatu sama summa rahaa on yhtä arvokas omistajalleen. Todellisuudessa aiemmin saatava tulo olisi mahdollista sijoittaa markkinoiden määrittämällä korolla, jolloin kokonaisyöty on suurempi kuin jos saman summan saa myöhempänä ajankohtana. Tästä johtuen kassavirran optimoiva metsänkasvatus (kiertoaika, puuston pohja-pinta-ala, hakkuiden voimakkuus ym.) poikkeaa useimmiten niistä kannattavuuden mittareista, joissa huomioidaan rahan aika-arvo.

Kassavirtojen *tasaisuus ja suuruus* vaihtelevat eri metsänkasvatustavoissa voimakkaasti johtuen hakkuiden erilaisesta ajoituksesta, voimakkuudesta sekä puutavaralajikertymistä. Lisäksi eri metsänkasvatustavoissa syntyy eri tavalla kustannuksia johtuen erilaisista tarpeista metsänhoitotöiden osalta. Tutkimuksissa lähtökohtana on usein se, ettei jatkuvassa kasvatuksessa ole tarvetta toteuttaa metsänhoitotöitä. Todellisuudessa tarvetta voi esiintyä esimerkiksi heinittymisen tai vajavaisen uudistumisen johdosta. Jaksollisessa kasvatuksessa kustannuksia syntyy tyypillisesti varsinkin kiertoajan alkupuolella esimerkiksi keinollisesta uudistamisesta (istutus, kylvö), maanpinnan muokkauksesta, taimikonhoidosta ja varhaisperkauksesta.

Kuviossa 1 on esitetty, miten vuosittainen kassavirta tasaikäisen metsikön kiertoajan aikana kertyvät tasa- ja eri-ikäismetsiköissä. Huomattavaa on, esitys kuvastaa kassavirtaa vain yhdenlaisella metsänkäsittelyllä (Pukkalan ym. 2011b) ja että esimerkissä metsänkäsittelyjen lähtöpuustot



**Kuvio 1.** Esimerkki kassavirran kehitymisestä tasa- ja eri-ikäismetsiköissä (lähtötiedot Pukkala ym. 2011b s. 55)

## 2 Nettonykyarvo (NPV, net present value), euroa

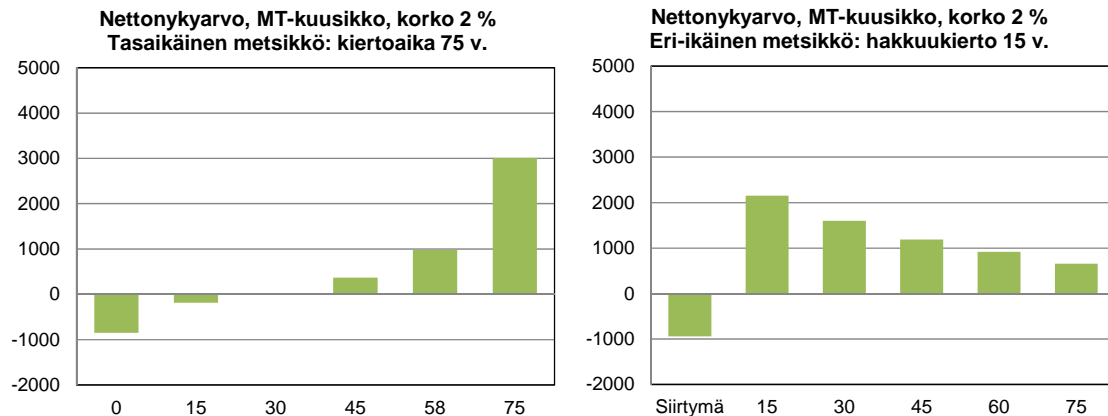
Nettonykyarvo (tai nettotulojen nykyarvo) kuvastaa rahamääräisten *hyötyjen ja kustannusten eroa* kiertoajan tai muun määritellyn aikajänteen aikana. Rahan aika-arvo on huomioitu korkotekijällä. Tulevaisuuden tulot ja kustannukset, esimerkiksi 15 vuoden kuluttua tapahtuvan taimikonhoidon kustannukset tai 75 vuoden kuluttua tapahtuvan päätehakkuun tulot, on muutettu nykyhetken yksiköiksi diskonttaamalla. Hyötyjä ja kustannuksia vertaamalla voidaan arvioida investoinnin kannattavuutta: jos investoinnin nettonykyarvo on suurempi tai yhtä suuri kuin nolla, hanke on kannattava.

Metsätaloudessa käytetty korko vaihtelee tyypillisesti 1-5 prosentin välillä. Taloudellisissa laskelmissa oleellista on laskea nettonykyarvo erilaisilla korkokannoilla vertailun mahdollistamiseksi. Mitä korkeampi korkokanta, sitä enemmän arvostetaan nykypäivänä saatua tuloa ja sitä enemmän vaaditaan tulevaisuudessa tuloa, jotta koettu hyöty olisi yhtä suuri.

Rajoitetulle ajalle laskettu nettonykyarvo (vrt. mittari 3: paljaan maan arvo) eri metsänkasvatusketjuista voi vaihdella voimakkaasti riippuen muun muassa laskentajaksosta, puuston lähtötilanteesta ja korosta. Lyhyen (rajoitetun) aikavälin vertailuja eri metsänkasvatusketjuille ei tulisi tehdä, koska tulojen ja menojen erilaisesta ajallisesta kohdentumisesta johtuen tulokset voivat vaihdella suuresti. Vertailujakson pituus tulisi olla vähintään tasaikäisen metsikön kiertoaika, ja mieluummin pidempi kuin yksi kiertoaika, koska tulevien kiertoaikojen optimaalinen metsänkasvatusketju voi olla erilainen kuin nykyisen puusukupolven, laskentahetken lähtöpuustosta riippuen.

Nettonykyarvoa voidaan käyttää paitsi kaupallisen puuntuotannon myös muiden metsästä saatavien markkinahyötyjen ja markkinattomien hyötyjen tarkastelussa. Erilaisin menetelmin voidaan arvioida metsän tuottamille muille ekosysteemipalveluille kuin puuntuotannolle taloudellinen arvo.

Kuviossa 2 on esitetty nettotulojen nykyarvon kehitys tasaikäisen metsikön kiertoajan aikana tasa- ja eri-ikäismetsiköissä. Kuvioista 1. poiketen eri-ikäismetsikön nettotulot sisältävät alkuinvestointikustannuksena laskentajakson alun puuston arvon, jolloin metsänkäsittelyt ovat vertailukelpoisempia eri lähtöpuustoilla. Tämäkin esimerkki kuvastaa tilannetta vain yhdenlaisella metsänkäsittelyllä.



**Kuvio 2.** Esimerkki nettonykyarvon kehityksestä tasa- ja eri-ikäismetsiköissä (lähtötiedot Pukkala ym. 2011b s. 55)

### 3 Paljaan maan arvo (BLV, LEV, SEV, bare land value, land/soil expectation value), euroa

Paljaan maan arvo (tai tuottoarvo) kuvastaa *ikuisuuteen ulottuvien kiertoaikojen yhteenlaskettua nettonykyarvoa* (vrt. mittari 2: nettonykyarvo rajoitetulla ajalla). Paljaan maan arvo on vakiintunein tapa arvioida metsänkasvatuksen kannattavuutta tasaikäisessä metsikössä. Paljaan maan laskentajakso voi vaihdella metsiköstä riippuen. Tyypillisesti lähtötilana on paljas maa. Eri-ikäiselle metsiköllekin tuottoarvo voidaan laskea ikuisuuteen ulottuvien tasapainotilaisten hakkuukiertojen avulla. Metsänkorko (Forest Rent) kuvastaa paljaan maan arvoa korolla nolla.

Paljaan maan arvo eri metsänkasvatustavoissa vaihtelee riippuen monista samoista tekijöistä kuin nettotulojen nykyarvo, eli pääasiallisesti korkokannasta, kantohinnoista ja kustannuksista sekä nettotulojen ajoittumisesta. Tasaikäismetsiköissä yläharvennuksilla päästään usein korkeampaan tuottoarvoon kuin alaharvennuksilla). Viljelyyn perustuvan metsätalouden kannattavuus suhteessa luontaiseen uudistamiseen heikkenee korkokannan noustessa, koska uudistamisinvestoinnille on vaikeampi saada tuottovaatimuksen mukaista tuottoa.

### 4 Pääoman tuotto (ROI, ROE, return on interest, return on equity), %

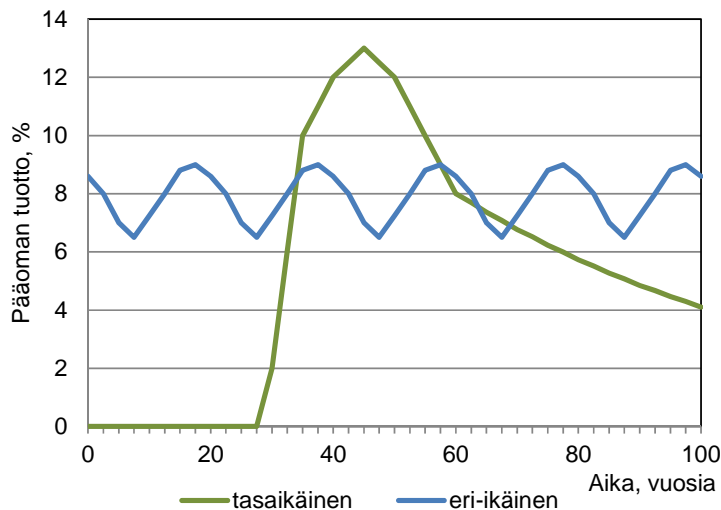
Pääoman tuotto kuvastaa *vuotuisen nettotuloksen ja sijoitetun pääoman suhdetta* (joko oman tai koko pääoman). Yllä kuvattuihin absoluuttisiin (euromääräisiin) tunnuslukuihin (1-3) verrattuna pääoman tuotto huomioi myös sitoutuneen pääoman arvon. Investointi on kannattava, jos pääoman tuotto on suurempi tai yhtä suuri kuin laskentakorko. Vuositasolla laskettaessa tunnusluku ei yleensä ota huomioon tulojen ajoittumista tai pääoman arvonmuutosta. Pienten tuottoprosenttien metsätaloudessa pääoman arvon-

muutoksella voi olla suuri merkitys. Tulosten yleistettävyys edellyttää tasaisia vuosituottoja, koska pääoman tuotto voi vaihdella vuosittain voimakkaasti. (Kuuluvainen & Valsa, 2009). Pääoman tuoton käyttöä kannattavuusvertailuissa vaikeuttaa se, että tuoton maksimoiminen voi johtaa epäoptimaaliseen hakkuukäyttämiseen pitkällä aikavälillä (metsän tuottokyvyn vajavainen käyttö), koska mittari ei huomioi tulevaisuuden kiertoaikoja.

Pääoman tuotto vaihtelee eri metsänkasvatustavoissa ajallisesti pääasiallisesti sen mukaan, kuinka paljon metsässä on sitoutuneena pääomaa tietynä ajanhetkenä ja toisaalta mikä on sitoutuneen puuston puutavaralajijakauma ja suhteellinen tilavuuskasvu. Pääoman tuottoa voidaan nostaa alentamalla pystypuuston arvoa ja lisäämällä siten korkean suhteellisen arvokasvun omaavaa puustoa metsikössä (esim. Pukkala ym. 2011b). Metsänhoitotyöt aiheuttavat myös eri tavalla kustannuksia eri metsänkasvatustavoissa. Lisäksi kantohintojen muutoksilla on erilainen vaikutus johtuen eri metsänkasvatustapojen pystypuuston erilaisista ainespuujakaumista tukki- ja kuitupuuhun.

Tasaikäisessä metsikössä pääoman tuotto kasvaa voimakkaasti, kun puusto siirtyy ainespuun mitat täyttäväksi. Tällöin pystypuuston kuutiomääräinen tilavuus on vielä vähäistä, mutta tilavuuskasvuprosentti on korkea. Arvokasvuprosentti (ks. mittari 6) nousee hetkellisesti myös kuitupuun siirtyessä arvokkaammaksi tukkipuuksi. Kiertoajan loppua kohden arvokasvuprosentti laskee, kun puuston pääoman määrä on jo hyvin korkea, mutta samalla suhteellinen tilavuuskasvu on hidastunut.

Eri-ikäisessä metsikössä pääoman tuotto on tasaikäistä metsikköä tasaisempaa, koska pystypuuston arvonmuutokset ovat vähäisemmät johtuen metsän jatkuvasta peitteisyydestä ja puuston suuremmasta läpimittajakaumasta. Puuston arvokasvu on myös keskimäärin korkeampi kuin tasaikäisessä metsikössä, koska metsässä on suhteellisesti enemmän arvokasvultaan suurempaa kuitupuuta tasaikäismetsikön kiertoajan keskimääräiseen kuitupuun määrään nähden. Yläharvennuksilla voidaan lisätä tasaikäisen metsikön pääoman tuottoa samalla tavalla keskittämällä kasvu nopeammin kasvaviin puihin ja pienentämällä puustoon sitoutuneen pääoman määrää.



**Kuvio 3.** Esimerkki pääoman tuoton kehittymisestä tasa- ja eri-ikäismetsiköissä (Pukkala ym. 2011b s. 175)

## 5 Sisäinen korko (IRR, internal rate of return), %

Sisäinen korko on nettonykyarvolaskennan erikoistapaus. Sisäinen korko kuvastaa korkoa, jolla investoinnin nettonykyarvo on nolla. Sisäistä korkoa käytetään erityisesti yksittäisen metsänkasvatustavan (tai metsänhoitoinvestointien) kannattavuuden mittaamiseen. Investointi on kannattava, jos sisäinen korko on vähintään pääomalle vaadittavan tuoton suuruinen.

Sisäisen korkokannan käyttö sopii tietyin rajoituksin myös investointien ja eri metsänkasvatustapojen vertailuun. Tällöin ehtona kuitenkin on, että vertailtavien investointien tarkastelujakson pituus on sama, koska mittaria käytettäessä oletetaan, että kaikki puunmyynnistä saadut tulot tuottavat sisäisen koron mukaisen korkotuoton. Varsinkin tilanteissa, joissa sisäinen korko muodostuu huomattavan korkeaksi, voi oletus tuottaa epätydyttäviä tuloksia vaikka investointeja vertailtaisiin samanpituiselta jaksolta. Tämä johtuu siitä, että menetelmä asettaa vaihtoehtoiset investoinnit erilaisiin korko-olosuhteisiin (ts. puunmyynnistä saadut tulot eivät saa samaa tuottoa vaihtoehtoisista sijoituksista), jolloin varsinaisen investoinnin kannattavuus voi vääristyä. (Kuuluvainen & Valsta, 2009)

Metsänkasvatustavan sisäinen korko vaihtelee samoin periaattein kuin nettonykyarvo siten, että nettonykyarvoa nostava metsänkäsittely tai tietyn vaikuttavan tekijän (ks. taulukko 5) muutos nostaa sisäistä korkokantaa ja päinvastoin. Viljelymetsätaloudessa kiertojen alun kustannuksista johtuen nettonykyarvo painuu alle nollan, kun korkoa nostetaan. Sen sijaan luontaisen uudistumisen vaihtoehdossa nettonykyarvo voi pysytellä jatkuvasti yli nollan. Teoriassa myös eri-ikäisrakenteisen metsikön nettonykyarvo voisi

pysytellä jatkuvasti positiivisena, jos metsänkäsittely optimoidaan aina erikseen eri ko-roilla: tuottovaatimusta nostettaessa hakkuun jälkeistä pohjapinta-alaa lasketaan ja siten alennetaan puuntuotannon vaihtoehtoiskustannusta. Samalla määrällä maapohjaa ai-kaansaadaan kuitenkin alhaisemmat tulot (kassavirta). Metsikölle määritellyt vähim-mäispohjapinta-alaa koskevat lakirajat voivat myös tulla vastaan. Lopulta puustopää-oman liiallinen alentaminen johtaa myös maapohjan vajavaiseen käyttöön.

## 6 Metsikön arvokasvu, (value growth) euroa ja %

Metsikön arvokasvu kuvastaa puuston ja maapohjan eli ts. *metsikön arvon muutosta* tietyllä aikavälillä. Useimmiten arvokasvuun sisällytetään pelkästään puuston arvon-muutos, koska kiertoajalla maaperään sitoutuneen pääoman arvo on puuston arvoa huomattavasti alhaisempi ja maapohjan arvonmuutokset ovat vähäisiä. Kuitenkin esi-merkiksi metsien monikäyttöarvot ja niiden huomioon ottaminen laskelmissa saattaa vaikuttaa maapohjan arvon muutoksiin.

Arvokasvu voidaan ilmoittaa sekä absoluuttisena määränä (€/ha) että suhteellisena (%). Suhteellinen arvokasvu on pääoman tuoton (mittari 4) yksi komponentti. Metsikön marginaaliarvokasvuprosentin perusteella voidaan tehdä päätös optimaalisesta hakkuu-ajankohdasta. Kun tasaikäisen metsikön arvokasvu alittaa vaihtoehtoisen sijoituksen koron, metsänomistajan taloudellinen hyöty kasvaa, kun hän hakkaa puuston ja sijoittaa tästä saadun rahan parempaa tuottoa kerryttävään vaihtoehtoiseen sijoitukseen. Metsi-kön euromääräinen arvokasvu tasaikäisessä metsikössä voi olla hakkuukypsissä metsis-säkin vielä hyvin korkea, mutta korkean puustopääoman arvon johdosta arvokasvupro-sentti on usein jo laskeva.

Eri-ikäismetsätaloudessa metsikön arvokasvuprosentin muutoksen käyttö hakkuukri-terinä ei ole yhtä suoraviivaista kuin tasaikäisessä metsässä, koska metsikköä ei hakata kerralla kokonaan. Toisaalta, juuri tästä syystä se antaa teoriassa myös mahdollisuuden kohdentaa hakkuut juuri niihin puihin, joissa arvokasvu on alittanut vaaditun rajan. Tasaikäisen metsikön päätehakkuussa osa puista on alittanut rajan ja osa vasta saavut-tamassa sen. Pukkalan ym. (2011b) mukaan arvokasvuprosentin käyttöä hakkuukritee-rinä eri-ikäisrakenteisissa metsiköissä vaikeuttaa sekin, että metsikön suhteellinen arvo-kasvu pysyttelee jatkuvasti korkeana ja usein yli asetetun korkokannan. Eri-ikäisen met-sikön hakkuupäätöksissä arvokasvun lisäksi tärkeä kriteeri on oikeanlaisen metsäraken-teen säilyttäminen.

Metsikön arvokasvuprosentti vaihtelee samalla tavoin kuin pääoman tuotto (mittari 4, kuvio 3), joskaan *arvokasvu ei huomioi metsänhoidon kustannuksia*. Lähteen ym. (2010b) mukaan suhteellinen arvokasvu on pitkän aikavälin tarkasteluissa ollut säännöl-lisen erirakenteisissa metsiköissä suurempi kuin tasaikäisissä. Tasaikäisen metsikön ar-

vokasvuprosentti nousee kiertoajan alkupuolella ja laskee kiertoajan loppua kohden puuston kasvunopeuden, pystyvuuston määrän, ja puutavaralajisiirtyminen seurauksesta. Eri-ikäisrakenteisen metsikön arvokasvuprosentti vaihtelee hakkuukierron aikana samoin perustein kuin tasaikäisen, mutta pysyy metsikön jatkuvasta peitteisyydestä johtuen huomattavasti tasaisempuna.

## 7 Puutase, euroa

Puutaseella voidaan kuvata metsikön puuntuotannon realisoituvaa (puunmyyntitulot, metsänhoitokustannukset, tuet) ja realisoitumatonta (puuston arvon muutos) rahamääräistä tulosta. Puutaseen laskemiseksi on olemassa eri vaihtoehtoja. Inventaariomenetelmässä lasketaan yhteen puunmyynnin tulot ja puuston arvon muutos ja vähennetään metsänhoitokustannukset. Puutase kuvastaa siis metsätalouden tulosta, jossa kassavirtaan (mittari 1) lisätään puuston arvon muutos (mittari 6). Siten puutaseen avulla saa muita mittareita paremmin kuvan metsätalouden tuloksesta etenkin niinä vuosina, jolloin metsiköstä ei ole realisoitunutta tulosta. Tunnuksen hyödynnettävyys myös korostuu esimerkiksi maksuvalmiuden seuraamisessa, koska se kertoo mahdollisen likvidoitavissa olevan varallisuuden arvon varsinaisen rahaliikenteen lisäksi.

Puutase muodostuu varsinkin lyhyellä aikavälillä erilaiseksi eri kasvatusmenetelmissä. Tämä johtuu tulojen ja menojen erilaisesta ajallisesta kohdentumisesta sekä erilaisesta puutavaralajien määrästä ja tilavuuskasvusta. Kantohintojen muutoksilla on myös erilainen vaikutus johtuen ajallisesti erilaisesta tukki- ja kuitupuujakaumasta tasa- ja eri-ikäismetsiköissä. Temporaalisesti metsien erilaisesta kehityksestä johtuen puutaseen vertailuissa tulisi pyrkiä käyttämään mahdollisimman pitkää ajanjaksoa vertailukelpoisten tulosten muodostamiseksi.

Absoluuttisen tuloksen sijasta puutaseen vertailemisella voi olla jopa tärkeämpi merkitys kuvata realisoituneen ja realisoitumattoman tuloksen erilaista kehittymistä eri kasvatus-tavoissa. Tasaikäisessä metsikössä realisoitumatonta (puuston arvokasvu) tulosta kertyy pidempään ja realisoituva tulos on syklisempää kuin eri-ikäismetsikössä, jossa realisoitumaton tulos realisoidaan tasaisin väliajoin. Puutaseen käytössä on huomioitava, ettei se anna teoreettisesti oikeaa kuvaa kannattavuudesta, koska realisoitavaa tuottoa ei laskea nykyarvona.

### **3 HAVAINTOJA METSÄNKASVATUSTAPOJEN TALOUDEN KIRJALLISUUDESTA**

Eri metsänkasvatustapojen taloudellista vertailua on tehty varsinkin boreaalisissa metsissä Pohjois-Euroopassa ja Pohjois-Amerikassa sekä pääosin hemiborealisella (lauhkealla) vyöhykkeellä Keski- ja Etelä-Euroopassa. Tässä työssä keskitytään tarkastelemaan boreaalisia metsiä koskevia tutkimuksia. Luvun tavoitteena on esitellä tärkeimmät eri kasvatustapojen kannattavuuteen vaikuttavat seikat ja syyt tulosten eroavaisuuteen. Muita kuin boreaalisia metsiä koskevia tutkimuksia on käytetty tulosten tarkastelussa vain tukevana tai tarkentavana tietona.

Aihepiiriä koskevaa tutkimusta on tehty monenlaisista näkökulmista. Osa tutkimuksista tarkastelee optimaalista siirtymistä (engl. transition path) tasaikäisrakenteisesta eriikäisrakenteiseen kasvatukseen, toiset taas vertailevat tasaikäisen ja eri-ikäisen metsikön kasvatusta joko eri-ikäisestä tai tasaikäisestä metsiköstä lähtien, sopivia hakkuuvälejä, saatavia tuloja ja puumääriä sekä koko metsänkasvatuksen nettonykyarvoa.

Tutkimukset jakautuvat karkeasti kolmeen alla esiteltyyn tyyppiin:

1. mikä olisi optimaalinen siirtymä kasvatusmenetelmästä toiseen,
2. miten saavuttaa optimaalinen tulos kasvatusmenetelmässä, ja
3. mikä kasvatusmenetelmä tuottaa paremman taloudellisen tai puuntuotannollisen tuloksen.

Erityyppisten tutkimusten tuloksia ei voi lähtökohtaisesti vertailla keskenään erilaisista tavoitteista, lähestymistavoista ja lähtökohdista johtuen. Kasvatusmenetelmiä vertailevissa tutkimuksissakin oli monenlaisia lähestymistapoja metsätalouden taloudellisuuden laskennassa ja eri metsänkasvatustapojen vertailuissa. Osa lähestyi kysymystä aiempaa kirjallisuutta vertaillen, osa tilastojen ja kenttäkokeiden avulla. Osa tutkimuksista perustui suoraan seurantatutkimuksista saatuihin mittaustuloksiin. Koska seurantatutkimukset vaativat pitkää mittausaikajaksoa, suurin osa tutkimuksista käytti erilaisia simulointitekniikoita metsikön pidemmän aikavälin kehityksen mallintamiseen. Osassa simuloinnit toteutettiin jonkin tavoitefunktion optimoinnilla, osassa etukäteen määriteltyjen metsänkäsittelyjen mukaan, jolloin käsittely ei välttämättä ole optimaalinen.

Alaluku 3.1 esittelee matemaattisten optimointimallien peruseriaatteen ja laskentamallien tyypilliset päätösmuuttujat eri kasvatusmenetelmissä. Alaluku 3.2 valottaa, mihin tuloksiin on päädytty kasvatusmenetelmien suhteellisen kannattavuuden suhteen. Ala-



luku 3.3 esittelee tarkemmin muutaman Suomen oloihin sopivan tutkimuksen tulokset ja niissä tehdyt oletukset ja tarkasteltujen tekijöiden vaikutukset. Alaluku 3.4 tarkastelee, miten yksittäiset tekijät yleisesti ovat vaikuttaneet kasvatusmenetelmien suhteelliseen kannattavuuteen eri tutkimuksissa. Tutkimuksissa on otettu huomioon erilaisia tekijöitä, joten niiden vaikutus saattaa olla yhteisvaikutusta muiden tekijöiden kanssa.

### **3.1 Matemaattiset mallit ja päätösmuuttujat**

Metsänkasvatuksen päätöstentekoon liittyvien tutkimusten optimointimallit sisältävät tavoitteen (esim. tuoton maksimointi, vuosittainen puuntuotanto, muut monikäyttöhyödyt), päätösmuuttujat (esim. hakkuumäärä- ja ajoitus, runkolukujakauma) ja rajoitteet (esim. hakkuukierron pituus, hakattavien puiden läpimitta, puuston vähimmäispohjapinta-ala). Pelkkä optimointi ei vielä takaa parasta mahdollista metsänkäsittelyä, koska vaihtoehtoisia ketjuja muodostuu yleensä niin paljon, ettei kaikkia mahdollisia vaihtoehtoja ole mahdollista tai kannattavaa tutkia. Optimaalisen tuloksen löytämiseksi on kehitetty erilaisia etsintätekniikoita, jotka soveltuvat eritavalla erilaisiin malleihin.

Ekologisia kasvu- ja tuotosmalleja on kehitetty sekä yksittäiselle metsikölle (esim. siirtymämatriisimallit) että puulle (yksittäisen puun malli). Valtaosa tutkimuksista käyttää siirtymämatriisimallia (esim. Pukkala & Kolström 1988, Kolström 1993, Bollandas ym. 2008) kuvaamaan metsikön kehitystä. Näissä malleissa mallinnetaan metsikön puiden todennäköisyyksiä siirtyä seuraavaan läpimittaluokkaan annetulla ajalla. Todennäköisyyksiin vaikuttavat puiden tilavuuskasvun lisäksi esimerkiksi luonnollinen kuolleisuus ja uudistuminen. Viime vuosina myös yksittäisten puiden mallintamiseen perustuvat tutkimukset ovat yleistyneet sitä mukaa, kun puutason malleja (esim. Pukkala ym. 2009, 2011a, 2013) on kehitetty sovellettavaksi eri alueille ja puulajeille. Yksittäisen puun mallissa jokaista läpimittaluokkaa kuvataan yhdellä puulla ja runkolukujakauma saadaan selville eri läpimittaluokkien frekvensseistä. Läpimittaluokkia on puutason malleissa tyypillisesti jonkin verran enemmän (pienempi väli läpimitoissa) kuin siirtymämatriisin malleissa, eivätkä ne siten rajoita tai yksinkertaista laskelmia yhtä paljon.

Vaihtoehtoiset kasvumallit voivat erota paljonkin toisistaan, koska niiden rakenteet (ekosogeeniset ja endogeeniset muuttujat, oletukset ym.) ovat erilaisia. Osa malleista perustuu lineaarisiin ja osa epälineaarisiin riippuvuussuhteisiin. Eroja on myös siinä ovatko muuttujat riippuvaisia puiden etäisyydestä (distance dependent) tai puuston tiheydestä (density dependent) Eri-ikäisrakenteisille metsiköille on olemassa vähemmän ekologisia malleja kuin tasaikäisille metsiköille. (Kuuluvainen ym. 2012) Eri-ikäismetsikköjen malleihin liittyy vähäisemmän empiirisen tutkimuksen johdosta myös jonkin verran enemmän epävarmuutta. Puuston kehityssuunnusteissa kehitettävää olisi etenkin puuston

kynnyskasvun (pienimmän läpimittaluokan saavuttavien taimien määrä tietyllä ajalla) mallintamisessa (Tahvonen ym. 2010 ja Pukkala ym. 2009).

Matemaattisilla optimointimalleilla yhdistetään ekologista tietoa metsän kasvusta, ja taloudellista ja teknologista tietoa metsänkasvatukseen liittyvistä tuloista ja kustannuksista. Tasaikäisen metsikön ekologista, teknologista ja taloudellista tietoa yhdistävällä Faustmannin kiertoaikamallilla voidaan selvittää, mikä on se 'metsikön korjuuikä, jota käyttämällä metsämaan rahallinen tuotto puuntuotannossa tulee mahdollisimman suureksi'. Muut hakkuuajankohtaa optimoivat mallit (esim. Comolli-malli ja Hartmanin malli) ottavat huomioon lisäksi useamman puulajin kasvattamisen (kaksi-ikäluokkadynamiikka), puun markkinahinnan muodostumisen, metsänomistajien muun talouden ja metsien olemassaoloarvot. (Kuuluvainen & Valsta 2009)

Optimoiteja eri-ikäisrakenteisille metsille voidaan toteuttaa samoin periaattein, mutta kasvatusmenetelmän erilaisuudesta johtuen esimerkiksi mallin päätösmuuttujat poikkeavat jonkin verran tasaikäismetsikön päätösmuuttujista. Eri-ikäismetsikön kasvatusmenetelmää voidaan pitää jossain määrin tasaikäismetsikköä herkempänä oikeanlaisille hakkuille ja metsikön rakenteelle. Valstan (2002) mukaan eri-ikäisrakenteinen metsikkö onkin lähtökohtaisesti huomattavasti enemmän kestäväään tasapainotilaan (puuston oikeanlaiseen rakenteeseen) orientoitunut. Pukkala ym. (2009) simulointien perusteella puuntuotoksen kannalta tärkeää on ennen kaikkea varmistaa riittävä taimettuminen, eikä metsikön rakenteen (esim. pohja-pinta-ala, runkolukujakauma) tule olla tarkkaan määritelty. Voidaan silti todeta, että käytännön metsätaloudessa taloudellisten päätösmuuttujien (esim. arvokasvu ja korko) rinnalla eri-ikäisrakenteisen metsikön kasvatuksessa metsikön oikeanlaisen rakenteen säilyttäminen on tärkeä näkökohta.

Tasaikäisen metsikön tyypillinen optimoitava päätösmuuttuja on päätehakkuun ajankohta. Muita päätösmuuttujia ovat esimerkiksi harvennusten ajoitus, lukumäärä ja hakkattavan puuston määrä tai jäävän puuston pohja-pinta-ala eri harvennuksissa sekä eri metsänhoitotoimenpiteet. Lisäksi, jos uudistaminen tapahtuu keinollisesti, istutettavien taimien määrä lisätään mallin päätösmuuttujaksi. Eri-ikäismetsikön päätösmuuttujiin kuuluvat sekä mahdollisen siirtymävaiheen että varsinaisen hakkuukierron päätösmuuttujat. Siirtymävaiheen päätösmuuttujia ovat muun muassa eri aikoina tapahtuvien hakkuiden ajoitus sekä hakkuun jälkeen jäävän puuston rakenne (esim. runkolukujakauma ja pohja-pinta-ala). Eri-ikäismetsikön hakkuukierrossa hakkuun jälkeinen runkolukujakauma on usein käytetty optimoitava päätösmuuttuja, ja se voidaan määritellä joko erikseen läpimittaluokittain tai käyttäen valmiita runkolukujakaumaa kuvaavia funktioita (Pukkala ym. 2010). Muita hakkuukierron päätösmuuttujia ovat tyypillisesti esimerkiksi hakkuussa jätettävän puuston pohjapinta-ala ja/tai tilavuus sekä hakkuukierron pituus. Hakkuutavat (poimintahakkuu, pienaukkohakkuu) asettavat erilaisia vaatimuksia edellä mainituille muuttujille. Uudistuminen oletetaan useimmiten luontaiseksi, mutta mallei-

hin voidaan sisällyttää esimerkiksi täydennysistutuksia luontaisen uudistumisen ollessa riittämätöntä.

Kustannuksista malleihin sisällytetään useimmiten uudistamiskustannukset ja korjuukustannukset. Kustannukset eivät ole varsinaisesti päätösmuuttujia, vaan vaikuttavat välillisesti varsinaisten päätösmuuttujien kautta. Näiden vaikutus liittyy muun muassa siihen, mikä on hakattavan puuston tilavuus ja korjuuolosuhteet (muuttuvat yksikkökustannukset), miten usein malleissa oletetaan metsää korjattavan (kiinteä kustannus), kuinka monta harvennusta metsässä toteutetaan ja missä vaiheessa metsikkö uudistetaan. Korkotaso vaikuttaa siihen, miten tulevaisuuden tuottoja ja kustannuksia arvotetaan. Laskelmissa korko määräytyy vaihtoehdoisen sijoituksen tuoton (tuottovaatimus) mukaan, joka on sama eri kasvatusmenetelmille.

Valtaosa simuloinneista on toteutettu käyttäen staattista optimointia ja etukäteen tehtyjä oletuksia tai rajoituksia metsänkasvatuksesta. Ensimmäisiä eri-ikäisrakenteisen metsikön optimointeja tällä tavoin toteuttivat Adams ja Ek (1974). Dynaaminen optimointi ei sisällä samalla tavalla etukäteisoletusta metsänkasvatustavasta vaan malli päättää siitä endogeenisesti (mallin sisäisten prosessien tuloksena), jolloin dynaamisella optimoinnilla on mahdollista löytää ajan suhteen optimoituva metsänkäsittely asetetun tavoitteen suhteen. Haight (1985) oli ensimmäisiä, joka näytti toteen, kuinka dynaamisen ja staattisen optimoinnin tulokset voivat poiketa toisistaan erityisesti lähtöpuustosta johtuen.

**Taulukko 3.** Esimerkkejä päätösmuuttujista tasa- ja eri-ikäiskasvatuksessa.

Päätösmuuttujat	Tasaikäinen metsikkö	Eri-ikäinen metsikkö
Harvennustapa	x	x
Harvennusten ajoitus	x	x
Harvennusten lukumäärä	x	
Hakattavan puuston määrä harvennuksessa	x	x
Jäävän puuston pohjapinta-ala	x	x
Jäävän puuston runkolukujakauma		x
Päättehakkuun ajankohta	x	
Uudistamistapa	x	(x)
Metsänhoitotoimenpiteet	x	
Korkotaso (tuottovaatimus)	x	x

### 3.2 Kasvatustapojen suhteellinen kannattavuus

Eri kasvatustapojen tulosta ja kannattavuutta vertailevissa tutkimuksissa on päädytty erisuuntaisiin tuloksiin. Taulukossa 4 on luokiteltu tutkimuksia sen mukaan, kumman kasvatustavan ne ovat todenneet paremmaksi puuntuotannon kannattavuuden tai kuu-

tiomäärän suhteen tai kun tutkimuksessa on tarkasteltu useita ekosysteemipalveluita samanaikaisesti. Pääosassa tutkimuksia taloudellisen tuloksen mittarina on käytetty nettotulojen nykyarvoa tai paljaan maan arvoa ja kuutiomäärän mittaamisessa puuntuotosta pinta-alaa kohden. Taulukossa on eroteltu ne tutkimukset, joissa on käsitelty Pohjois-Euroopan boreaalisen vyöhykkeen metsiköitä. Tutkimukset ”Muut” sisältävät tutkimuksia muilta alueilta (Keski- ja Etelä-Eurooppa, Pohjois-Amerikka).

*Taulukko 4. Eri mittareilla tarkasteltuja metsänkasvatustapojen suhteellisia paremmuuksia eri tutkimusten mukaan.*

<b>Mittari</b>	<b>Tasa-ikäiskasvatus parempi</b>	<b>Jatkuva kasvatus parempi</b>	<b>Erisuuntaisia tuloksia, riippuen tekijöistä</b>
<b>Taloudellinen mittari</b>	<b>Pohjoismaat (boreaalinen vyöhyke):</b> Wikström (2000) Andreassen & Oyen (2002) Hyytiäinen & Haight (2012) Hoen (1996) Elfving ym. (2006) Wikström (2008)  <b>Muut:</b> Kant (1999)	<b>Pohjoismaat (boreaalinen vyöhyke):</b> Hagner (2001) Tahvonen (2007, 2009) Tahvonen ym. (2010)  <b>Muut:</b> Haight (1987) Haight & Monserud (1990) Schulte & Buongiorno (1998) Mohr & Schori (1999) Hanewinkel (2001)	<b>Pohjoismaat (boreaalinen vyöhyke):</b> Gobakken ym. (2008) Lexerod & Gobakken (2008) Pukkala ym. (2010) Tahvonen (2011)  <b>Muut:</b> Chang (1981) Tarp ym. (2000) Knoke & Plusczyk (2001) Ralston ym. (2004) Sánchez Orois ym. (2004) Price & Price (2006)
<b>Puuntuotos</b>	<b>Pohjoismaat (boreaalinen vyöhyke):</b> Mikola (1984) Pukkala & Kolström (1988) Andreassen (1995) Wikström (2000) Andreassen & Oyen (2002) Elfving ym. (2006) Pukkala ym. (2009) Tahvonen ym. (2010)  <b>Muut:</b> Haight & Monserud (1990)	<b>Pohjoismaat (boreaalinen vyöhyke):</b> Lähde ym. (1994a,b) Lähde ym. (2001) Lähde ym. (2002) Lundqvist & Nilson (2007) Gobakken ym. (2008) Lähde ym. (2010a)	<b>Pohjoismaat (boreaalinen vyöhyke):</b> Lähde ym. (1992a,b) Tahvonen (2011)
<b>Muut kuin puuntuotanto tai monta hyötyä tarkasteltu yhtä aikaa</b>		<b>Pohjoismaat (boreaalinen vyöhyke):</b> Lähde ym. (1999) Silvennoinen ym.(2001) Miina ym. (2010) Pukkala ym. (2011c)	<b>Pohjoismaat (boreaalinen vyöhyke):</b> Hyytiäinen & Haight (2010)  <b>Muut:</b> Yousefpour & Hanewinkel (2009)

Taulukko 4 kertoo sen, että tutkimusten perusteella on mahdotonta yksiselitteisesti sanoa, kumpi kasvatustapa on parempi. Tutkimustuloksia tulkittaessa on huomioitava, että tulokset ovat aina riippuvaisia tutkimusten tavoitteista, tarkasteltujen metsiköiden ominaisuuksista ja käytetyistä lähestymistavoista, joten niiden suora vertailtavuus on monessa tapauksessa hankalaa. Luotettavien ja kattavien tulosten saamiseksi tulisi laskelmissa pyrkiä optimoimaan kaikkia metsänkäsittelyyn liittyviä muuttujia samanaikaisesti (Tahvonen ym. 2013). Mallien monimutkaisuudesta johtuen ja laskelmien yksinkertaistamiseksi usein kuitenkin joudutaan turvautumaan joidenkin tekijöiden osalta oletuksiin. Kasvatusmenetelmien vertailuissa ei ole aina edes tarkasteltu metsänkasvatusten menetelmien optimaalisia käsittelyjä, eivätkä metsiköt ole olleet siten keskenään aina vertailukelpoisia (Hanewinkel 2001).

Metsänkasvatuksen optimoiminen eri taloudellisilla mittareilla voi tuottaa hyvinkin erilaisia tuloksia metsikön rakenteelle. Esimerkiksi Trasobares ja Pukkala (2004) tutkivat kahden mäntylajikkeen (*P. sylvestris* ja *P. nigra*) optimaalista eri-ikäisrakennetta Koillis-Espanjassa erilaisilla tavoitefunktioilla. Tulosten mukaan paljaan maan arvon ja voiton maksimointi tuottivat hyvin samantapaisen metsikkörakenteen. Sen sijaan vuotuisten nettotulojen (mean annual net income) optimoiminen johti tiheämpään metsikkörakenteeseen ja isojen puiden suurempaan määrään kuin kannattavuuden maksimoivassa metsikkörakenteessa. Samanlaisen tulokseen päätyivät Pukkala ym. (2010) tutkiessaan kuusi- ja mäntyvaltaisten eri-ikäismetsiköiden optimaalista rakennetta erilaisilla tavoitteilla. Puuntuotannon maksimoiminen johtaa sekin erilaiseen metsikkörakenteeseen kuin taloudellisten tekijöiden suhteen optimoiminen (esim. Pukkala ym. 2010, Tahvonen ym. 2010, Tahvonen 2011, Rämö 2013), koska pääomalle ei aseteta vaihtoehtokustannusta (korko). Se myös johtaa tiheämpään hakkuuväliin, kun laskelmissa ei huomioida kustannuksia, sekä suurempaan määrään kuitupuun tuotantoa, koska puutavaralajien (kuitupuun, tukkipuun) erilaisia hintoja ei huomioida.

Tasa- ja eri-ikäismetsiköiden puuston kasvusta on raportoitu toisistaan poikkeavia tuloksia. Joidenkin tutkimusten mukaan jatkuva kasvatus tuottaa enemmän puuta (esim. Lähde ym. 1994a,b, 2001, 2002, 2010a, Lundqvist & Nilson 2007, Gobakken ym. 2008). Valtaosa tutkimuksista ovat kuitenkin raportoineet joko samansuuruisia tai eri-ikäiselle hieman alhaisempia puuntuotoksia. Tämä johtuu ennen kaikkea siitä, että eri-ikäismetsiköitä kasvatetaan harvempana kuin tasaikäismetsiköitä, jotta riittävä taimettuminen varmistetaan.

Puuston kasvulla on vaikutusta suoraan metsikön puuntuotantoon, mutta vaikutuksia voi olla myös eri kasvatusmenetelmien suhteellisiin kannattavuuksiin. Joissain tutkimuksissa on suoraan oletettu eri-ikäismetsiköiden kasvavan tasaikäisiä heikommin, mikä on (osaltaan) johtanut kasvatusmenetelmän alhaisempaan kannattavuuteen (esim. Wikström 2000 ja Andreassen & Øyen 2002).

Jos samassa tutkimuksessa on tarkasteltu sekä puumääriä että nettonykyarvoa, useimpien kasvatustapojen vertailun tulos on samansuuntainen. Eräissä tapauksissa eri-ikäismetsikkö on tulosten mukaan tuottanut pienemmän puumäärän mutta suuremman nettonykyarvon (esim. Haight & Monserud 1990, Tahvonen ym. 2010). Osassa tutkimuksia on myös raportoitu suurempia puuntuotoksia eri-ikäiskasvatuksessa, mutta nettonykyarvo on ollut tasaikäiskasvatuksessa suurempi (esim. Gobakken ym. 2008).

### **3.3 Kannattavuuden vertailulaskelmat tasa- ja eri-ikäisessä metsikössä**

Eri metsänkasvatustapojen kannattavuuseroja voidaan tutkia monenlaisilla lähestymistavoilla. Taulukossa 5 on esitetty tutkimuksissa tyypillisesti käytettyjä tapoja laskea metsänkäsittelyn nettonykyarvo. Tärkein ero tutkimusten metodeissa liittyy siihen, ovatko vertailtavat metsänkäsittelyt optimoitu asetetun tavoitefunktion mukaan vai perustuvatko vertailut jonkin tietyn etukäteen valitun käsittelyn simulaatioon tai puhtaasti empiirisiin mittaustuloksiin. Tutkimustulosten tulkinta ja niiden yleistäminen on suoraan riippuvainen käytetystä lähestymistavasta.

Metsänkäsittelyn tulisi reagoida eksogeenisiin muuttujiin siten, että parhaan tuloksen tuottava metsänkäsittely seuraisi endogeenisesti. Tahvosen (2011) mukaan luotettavuudeltaan saadaan parempia tuloksia toteuttamalla simuloinnit samassa teoreettisessa laskentakehikossa. Esimerkiksi dynaamisessa optimoinnissa (vrt. rajoittamaton käsittely) eri kasvatustavat tulevat suoraan huomioiduksi samassa laskentakehikossa. Optimoinnissa ei tehdä etukäteisoletusta harjoitettavasta metsänkasvatustavasta ja laskelmiin sisältyy automaattisesti mahdolliset siirtymäjaksot eri metsänkasvatustavasta toiseen. Simuloimalla laskelmia eri lähtöpuustoilla saadaan lisäksi tärkeää informaatiota oikea-aikaisesta siirtymästä ja ylipäättään lähtöpuuston merkityksestä harjoitettavan metsänkäsittelyn valinnassa. Riippuen tekijöistä, siirtymä voi olla optimaalisinta toteuttaa esimerkiksi vasta nykyisen puusukupolven päätehakkuun jälkeen. Dynaaminen optimointi käsittelee vaihtoehtoisia metsänkäsittelyjä objektiivisesti ja mahdollistaa nykyisen metsänkäsittelyn jatkamisen ja siirtymän toteuttamisen vasta tulevaisuudessa, mikäli kyseinen vaihtoehto tuottaa suurimman kannattavuuden. Tällä tavoin saadaan tietoa siitä, minkälaiseksi metsikön rakenne muodostuu pitkällä aikavälillä eikä rajoita tarkastelua turhaan tietylle metsänkäsittelylle tietympituisella ajanjaksolla.

Kahden kasvatustavojen taloudellisuutta verrattaessa omissa laskentakehikoissa toteutuilla optimoinneilla menetetään tärkeää informaatiota edelliseen verrattuna. Staattisella optimoinnilla voidaan selvittää laskettavan metsänkäsittelyn tuottoarvo, kun kasvatustavalle on valmiiksi määritetty tasapainotila. Lähtöpuusto voi olla tasaikäinen, jolloin

siirtymä eri-ikäismetsiköksi tulee huomioiduksi (vrt. rajoitettu käsittely). Vaihtoehtoisesti eri-ikäisrakenteisen metsikön voidaan ajatella olevan valmiiksi tasapainotilaisessa hakkuukierrossa (vrt. kasvatustavan tuottoarvo). Tämän menetelmän heikkoutena voidaan pitää varsinkin sitä, että mahdollisen siirtymän vaikutus metsänkäsittelyn kannattavuuteen jää huomioimatta. Yleisimmin käytetty staattisen optimoinnin laskentamenetelmä on rajoittaa hakkuun jälkeen saavutettava tasapainotilainen hakkuukierto (vrt. investointitehokas käsittely). Laskelmissa ensimmäistä metsikön tasapainotilaan johtavaa hakkuun jälkeistä puuston arvoa käsitellään alkuinvestointina menetetyt tulon muodossa päätehakkuuseen nähden. Tahvonen ja Viitala (2006) ja Tahvonen (2011) ovat kritisoineet käytäntöä ja todenneet sen johtavan virheellisiin tuloksiin, koska alkuinvestoinnin arvottaminen hakkuuarvona aliarvioi jäävän puuston arvoa. Yleisestikin siirtymän ajallisella rajoittamisella on vaikutusta metsikön rakenteeseen tasapainotilaisessa hakkuukierrossa ja voi siten johtaa epäoptimaaliseen metsänkäsittelyyn (Haight 1987).

Laskelmien etukäteen tehdyillä oletuksilla voi olla suuri painoarvo lopputuloksen kannalta. Varsinkin lähtöpuuston merkitys korostuu staattisessa optimoinnissa, jossa tehdään etukäteisoletus harjoitettavasta metsänkäsittelystä. Kannattavimman käsittelyn vertaaminen investointitehokkaaseen käsittelyyn voi antaa tärkeää tietoa rajoitusten vaikutuksista kannattavuuteen. Dynaaminen (rajoittamaton) optimointi tuottaa Valstan (2002) mukaan aina vähintään yhtä hyvän kannattavuuden kuin staattinen (rajoitettu) optimointi, koska mallien rajoitukset vaikuttavat aina negatiivisesti lopputulokseen. Valsta viittaa Haightin (1985) tutkimukseen, jonka perusteella ero nettonykyarvossa oli 5-50 % rajoittamattoman mallin eduksi. Valsta (2002) korostaa edelleen, että tulosten perusteella nettonykyarvo tasapainotilaisen metsikön hakkuista voi olla suurempi rajoitetussa kuin rajoittamattomassa vaihtoehdossa, mutta jälkimmäisessä käsittelyssä siirtymäjaksen nettonykyarvo enemmän kuin ylikompensoi pienempää nettonykyarvoa tasapainotilaisista hakkuista. Tämä johtuu siirtymävaiheen (aikaisten) nettotulojen suuresta painoarvosta paljaan maan arvossa, ja siten myös painottaa siirtymän tärkeyttä koko metsänkäsittelyn kannattavuudelle.

Erillisissä laskentakehikoissa tehtyjen optimointien hyvänä puolena voidaan pitää sitä, että se mahdollistaa eri metsänkasvatustapojen kannattavuuksien suoran vertailun toisiinsa. Toisaalta myös dynaamisella optimoinnilla on mahdollista vertailla eri kasvatustapoja asettamalla rajoituksia puuston kehitykselle. Tahvosen (2011) mukaan tasaikäisen metsikön tuottoarvo voidaan, ainakin tietyissä tapauksissa, määrittää käyttäen valmiiksi laskettuja paljaan maan arvoja eri alueille. Paljaan maan taulukkoarvoista saa yleensä vähintäänkin hyvän arvion kannattavuudesta, mutta niihin ei kuitenkaan voida sisällyttää yksityiskohtaisia muuttujia (esim. viljelyn jalostushyöty) siltä osin kun eivät sisälly alkuperäisiin laskelmiin tai muunnella esimerkiksi puun hintaa tai yksikkökustannuksia. Lisämuuttujien tai arvojen muuntamisen jälkeen kasvatuksetju tulisi optimoida uudelleen. Samasta syystä johtuen kasvatusten menetelmiä ei tulisi vertailla suoraan erilaisilla

muuttujien (esim. korkokanta, puun hinta, kustannukset) arvoilla laskettuna kuin millä alkuperäiset metsänkäsittelyjen optimoinnit on toteutettu.

Empiirisillä mittauksilla olisi teoriassa parhaat edellytykset selvittää eri kasvatusmenetelmien välisiä eroja kannattavuudessa. Käytännössä ongelmaksi koituu kuitenkin se, ettei tarpeeksi pitkiä ja samoissa olosuhteissa kasvatettavia metsikkökoealoja ole helppo perustaa ja kustannukset nousevat suuremmiksi verrattuna tietokoneella tehtäviin simuloointeihin. Samalla tavoin kuin muissa lyhyemmän aikavälin tarkasteluissa, pitkän aikavälin kannattavuuslaskelmissa joudutaan näin ollen joka tapauksessa usein tukeutumaan jonkinlaiseen simulointiin loppupuuston arvon laskemiseksi.

**Taulukko 5.** Vaihtoehtoisia tapoja vertailla metsänkasvatustapojen kannattavuuksia.

	Optimointi				Ei optimointia	
Malli	"Rajoittamaton käsittely"	"Rajoitettu käsittely"	"Investointitehokas käsittely"	"Kasvatustavan tuottoarvo"	"Ennalta määritelty käsittely"	"Empiiriset mittaukset"
Laskenta	Dynaaminen	Staattinen	Staattinen	Staattinen	Staattinen	Staattinen
Lähtöpuusto	Sama molemmille kasvatusmenetelmille	Sama molemmille kasvatusmenetelmille	TASA: paljas maa ERI: tasapainotila yhden kasvatushakuun jälkeen	TASA: paljas maa ERI: tasapainotila	Ei määritelty	Ei määritelty
Siirtymä	Sisältyy	Sisältyy	Sisältyy alkuinvestointina	Ei sisälly	Sisältyy tai ei sisälly	Ei sisälly useimmiten
Nettonykyarvon laskenta, ERI	$NPV = \frac{N^T_1}{(1+i)^{T_1}} + \frac{N^T_2}{(1+i)^{T_2}} + \dots + \frac{N^T}{(1+i)^{T_x}} \dots$	$NPV = \frac{N^T_1}{(1+i)^{T_1}} + \frac{N^T_2}{(1+i)^{T_2}} + \dots + \frac{N^T}{(1+i)^{T_x}} \dots$	$NPV = \frac{N^T}{(1+i)^T - 1} - C^T$	$NPV = \frac{N^T}{(1+i)^T - 1}$	$NPV = \frac{N^T_1}{(1+i)^{T_1}} + \frac{N^T_2}{(1+i)^{T_2}} + \dots + NPV_{\text{loppupuusto}}$	$NPV = \frac{N^T_1}{(1+i)^{T_1}} + \frac{N^T_2}{(1+i)^{T_2}} + \dots + NPV_{\text{loppupuusto}}$
Huomioita	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Kehittynein menetelmä</li> <li>▪ Sisältää vähiten <i>ad hoc</i> rajoituksia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Siirtymälle ei välttämättä rajoituksia</li> <li>▪ Tasapainotila rajoitettu</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Kritiikkiä alkuinvestoinnin laskentatavalle</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Puuston erilaista lähtötilannetta ei huomioitu laskelmissa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Sisältää eniten <i>ad hoc</i> rajoituksia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Vaikea muodostaa tasapuolisia ja tarpeeksi pitkiä kokeita</li> </ul>

### 3.4 Tutkimustulokset borealisella kasvuyöhykkeellä

Seuraavassa esitellään lyhyesti Suomen kannalta vertailukelpoisissa oloissa toteutettujen kasvatusmenetelmien taloutta selvittäneiden tutkimusten tulokset. Tutkimukset on jaoteltu sen mukaan, mikä niiden lopputulos oli tasa- ja eri-ikäiskasvatuksen taloudellisen tuloksen vertailussa. Liitteestä löytyy tarkempi kuvaus tutkimusten tavoitteista, oletuksista, tuloksista ja laskelmissa käytetyistä malleista.

#### 3.4.1 Tasaikäiskasvatus kannattavampaa

Wikströmin (2000) mukaan tasaikäiskasvatus on jatkuvaa kasvatusta parempi vaihtoehto kuusella (*P. Abies*). Yksittäisen puun malliin pohjautuvien simuloointien perusteella



eri-ikäisrakenteisen metsikön kannattavuus (Keski-Ruotsin oloihin mallinnetulla metsiköllä, H100=28m, 1100–1200 d.d.) oli kolmen prosentin korkokannalla 4-30 prosenttia alhaisempi kuin tasaikäisen metsikön kannattavuus. Simuloinnit toteutettiin kolmella erilaisella lähtöpuustolla (sama puuston tilavuus), joista kaksi oli alun perin tasaikäisiä ja yksi valmiiksi eri-ikäisrakenteinen. Simuloinnit tehtiin kolmella erilaisella mallilla, joista parhaan tuloksen eri-ikäiskasvatukselle tuotti päättymätön (infinite) malli. Laskelmissa hakkuukierron pituus määrittyi endogeenisesti (mallin sisäisten prosessien tuloksena) ja vaihteli välillä 10-20 vuotta. Wikström (2001) korostaa, että tuloksia ei voida hyödyntää eri metsänkasvatusvaihtoehtojen vertailuissa. Laskelmissa jatkuvan kasvatuksen metsiköiden kasvu oli aliarvioitu ja laskelmat oli tehty pelkästään varttuneelle metsikölle. Wikströmin (2000) mukaan eri-ikäismetsikön tuottavuus oli mahdollisesti aliarvioitu sen takia, että puuston ikään perustuvat kasvumallit eivät toimi eri-ikäismetsiköissä. Eri-ikäisrakenteisen metsikön simuloinnissa avohakkuuvaihtoehto ei myöskään ollut mahdollista ja metsän käsittelylle oli asetettu 150 m<sup>3</sup>/ha rajoite pystypuuston vähimmäistilavuudelle. Rajoituksesta johtuen puusto oli jatkuvasti liian tiheää optimaaliseen eri-ikäismetsikön kasvatukseen. Tällä ei kuitenkaan ollut vaikutusta uudistumiseen, koska eri-ikäismetsikön kynnyskasvu oli asetettu kiinteäksi (10 kpl/ha/vuosi). Tutkimuksessa (Wikström 2000) korostetaan, että tulokset ovat herkkiä ennemminkin uudistumisen onnistumiselle tasaikäisessä metsikössä.

Myös Norjassa on saatu vastaavanlaisia tuloksia. Hoen'in (1996) mukaan eri-ikäisrakenteisen kuusimetsikön (*P. Abies*) kannattavuus oli 32-45 % alempi verrattuna tasaikäiseen metsikköön. Andreassen ja Øyen (2002) päätyivät samansuuntaiseen lopputulokseen tutkiessaan eroja eri-ikäisrakenteisen (poimintahakkuu ja pienaukkohakkuu) ja tasaikäisen metsikön puuntuotoksessa ja kannattavuudessa hakkuukypsillä kuusimetsiköillä (*P. Abies*) Norjan rannikolla. Koealojen mittauksiin ja simuloiteihin perustuvien tulosten perusteella eri-ikäisrakenteisen metsikön kannattavuus oli noin 15, 25 ja 35 prosenttia pienempi kahden, kolmen ja neljän prosentin korkokannoilla. Tulosten perusteella myös hakkuukustannukset muodostuivat noin kymmenen prosenttia korkeammiksi eri-ikäisen metsikön hakkuissa (pienaukko- ja poimintahakkuut) verrattuna päätehakkuuseen. Tutkimustulosten luotettavuutta alensivat oletukset metsän kasvusta eri-ikäisen metsikön tapauksessa (85-95 % tasaikäisen metsikön kasvusta) ja se, että eri-ikäiselle metsälle oli määritelty kohtalaisen alhainen hakkuumäärä mekaanisesti (30-40 % puuston tilavuudesta) ilman optimointia. Tutkijat myös toteavat, että tulosten luotettavuus alenee merkittävästi, kun simuloitava ajanjakso ylittää 60 vuotta. Uudistumisen osalta todetaan, että eri-ikäiskasvatus voi vaatia täydennysistutusta, koska suurempien taimien määrä vähentyi merkittävästi hakkuissa. Lisäksi sekä Hoen (1996) että Andreassen ja Øyen (2002) hyödynsivät molempien metsänkasvatusmenetelmien tapauksessa kasvusimulointeja, jotka on alun perin suunniteltu tasaikäismetsikön mallintamiseen.

### 3.4.2 Eri-ikäiskasvatus kannattavampaa

Tahvonen (2007, 2009) tutki dynaamisella optimoinnilla kannattavinta kasvatusmenetelmää määrittämällä siirtymämatriisimallin kuusimetsikölle (*P. Abies*). Empiirisenä aineistona laskelmissa hyödynnettiin mittaustuloksia 48 koealalta Itä-Suomesta. Tulosten mukaan kannattavuus maksimoituu (globaali optimi), kun metsikköä kasvatetaan eri-ikäisenä, ja kannattavuus oli 29-32 % korkeampi verrattuna tasaikäisenä kasvattamiseen. Tahvosen (2007, 2009) mukaan tulos on suuntaa antava, koska laskelmissa ei otettu huomioon hakkuu- ja uudistamiskustannuksia. Puutavaralajien hinnat oli oletettu samoiksi eri kasvatusmenetelmissä. Lisäksi ekologisia malleja käytettiin yksinkertaistettuina esimerkiksi uudistumista (Kolström 1993) koskevien oletusten (uudistuminen ei riipu puuston tiheydestä) suhteen, millä voi olla vaikutusta tuloksiin. Huomioon otetuista tekijöistä ja niiden oletuksista johtuen analyysit eri metsänkasvatusmenetelmistä voivat tuottaa paikallisesti optimaalisia tuloksia kannattavuudesta. Tutkimustuloksia ei tutkijan mukaan ole tarkoituksenmukaista käyttää eri kasvatusmenetelmien kannattavuuksien vertailuun, vaan tarkoituksena oli kehittää avointa mallia metsänkasvatuksen kannattavuuden arviointimenetelmäksi.

Tahvonen ym. (2010) tutkivat dynaamisella optimoinnilla kannattavinta ja puuntuotannoltaan parasta kasvatusmenetelmää kuuselle (*P. Abies*). Mallien perustana oleva empiirinen aineisto koostui kahden Keski-Suomessa OMT- ja MT-kasvupaikoilla sijaitsevan pitkäaikaisen seurantatutkimuksen 92 koealasta (Vessari ja Honkamäki). Tutkimuksessa optimoitiin puuntuotannollisesti ja taloudellisesti optimaalinen metsänkäsitely yhdellä alkupuustolla, joka oli eri-ikäisrakenteinen. Tulosten mukaan puuntuotannon (ja tukkipuun) osalta metsänkasvatustapojen paremmuus on riippuvainen istutettavien puiden määrästä tasaikäisessä metsikössä. Keskimäärin puuntuotanto oli tasaikäismetsikössä hieman suurempi kuin eri-ikäisrakenteisessa metsikössä. Taloudellinen optimointi toteutettiin nollan ja kolmen prosentin korolla. Kannattavuuden osalta eri-ikäisrakenteinen metsikkö maksimoi tulevaisuudessa saatavien nettotulojen nykyarvon. Näiden lisäksi vertailtiin taloudellista tulosta kolmella eri lähtöpuustolla (optimaalinen eri-ikäisrakenteinen metsikkö, 35-45-vuotias tasaikäismetsikkö ja hakkuukypsä metsikkö) 1-5 prosentin koroilla. Vain puuston ollessa hakkuukypsää, tuottaa päätehakkuu lyhyellä aikavälillä paremman kannattavuuden kuin eri-ikäisrakenteiseksi muuttaminen. Herkkyysanalyysin mukaan puun hinnan lasku, uudistuskustannusten nousu ja korkokannan nosto voivat johtaa tasaikäisestä kasvatustavasta eri-ikäiskasvatukseen siirtymiseen. Tulosten kannalta tärkeinä tekijöinä mainitaan puuston lähtötilanne sekä kynnyskasvu, jonka riippuvuus kasvutilasta (Pukkala ym. 2009) voi johtaa metsikön pohjapinta-alan jäämiseen matalaksi.

### 3.4.3 Kasvatusmenetelmien kannattavuus vaihtelee

Edellisistä tutkimuksista poiketen kasvatusmenetelmien suhteellinen paremmuus voi vaihdella huomioon otetuista tekijöistä ja niiden vaihteluista johtuen. Esimerkiksi korkokannan, kasvupaikan vaihtelu ja ei-puuntuotannollisten hyötyjen huomioon ottaminen voivat vaikuttaa eri metsänkasvatusmenetelmien suhteelliseen paremmuuteen.

Lexerod ja Gobakken (2008) vertasivat kahdentoista kuusi- (*P. abies*) ja mäntyvaltaisen (*P. sylvestris*) metsikön kannattavuuksia tasa- ja eri-ikäiskasvatusketjujen välillä. Metsiköistä (Kuusi, H40 = 9-19,6, mänty H40 = 8,2-11,7) neljä edusti biologisilta ominaisuuksiltaan hyvin eri-ikäiskasvatukseen soveltuvaa, neljä keskinkertaisesti ja neljä huonosti. Puun hinnasta (kuitupuun hinta ja tukkipuun laatuhintamatriisi) muodostettiin erilaisia skenaarioita. Eri-ikäisrakenteisen metsikön käsittelyt sisälsivät rajoitteita puuston rakenteen (hakkuumäärä, hakatun puuston läpimitta ja hakkuukierto) osalta. Johtuen simulaatioon (T-metsikkösimulaattori) liittyvistä yksinkertaistuksista, puuston hakkuut määräytyivät laskelmissa mekaanisesti pohjapinta-alan suhteen. Tulosten mukaan eri kasvatusvaihtoehtojen kannattavuus vaihteli merkittävästi korkokannan mukaan. Eri-ikäisrakenteisen metsikön (kuusi ja mänty) tuottama nettonykyarvo oli kahden prosentin korkokannalla 4-5 prosenttia korkeampi kuin tasaikäiskasvatuksessa. Korkokannan nosto kolmeen (neljään) prosenttiin nosti tasaikäiskasvatuksen 12 (13-15) prosenttia kannattavammaksi kuin eri-ikäiskasvatus. Tukkipuun eri laatuluokitusten huomioiminen lisäsi eri-ikäiskasvatuksen kannattavuutta suhteessa tasaikäiseen metsikköön enemmän kuin kuitupuun hinnan lasku. Kirjoittajien mukaan erot aiempiin tutkimuksiin (Hoen 1996, Andreassen & Øyen 2002) johtuvat erilaisista lähtöpuustoista, eri metsikön simulaattoreista ja erilaisista mallien oletuksista ja rajoituksista. Eri-ikäisrakenteisten metsien simulointi perustui eri-ikäisrakenteisten metsien mallintamiseen soveltuviin malleihin (Bollandsås 2007, viit. Lexerod & Gobakken (2008).

Gobakken ym. (2008) sovelsivat tutkimuksessaan samaa simulaattoria (ja malleja) kuin Lexerod ja Gobakken (2008). Tutkimuksessa Keski-Norjan oloihin (H40=14m) sopivista kuusi- ja mäntyvaltaisista metsiköistä suurimman nettonykyarvon tuottava metsänkäsittely oli riippuvainen lähtöpuuston rakenteesta. Simulaatiot toteutettiin kolmen prosentin korkokannalla ja eri-ikäisrakenteinen metsänkäsittely sisälsi rajoitteita puuston rakenteen (hakkuun jälkeinen runkoluku, hakkuumäärä ja hakatun puuston läpimitta) osalta. Selvityksen kuudesta kuusivaltaisesta ja kuudesta mäntyvaltaisesta metsiköstä neljä oli kummassakin lähtötilanteessa eri astein eri-ikäisrakenteisia. Molempien puulajien tapauksissa eri-ikäisrakenteisista metsikkörakenteista kolme tuotti suurimman nettonykyarvon, kun metsikköä käsiteltiin erirakenteisesti. Vain lähtötilanteissa, joissa erirakenteinen metsä koostui suuresta määrästä korkean läpimittaluokan puita sekä kahdessa valmiiksi tasaikäisessä metsikössä, optimaalinen metsänkäsittely oli tasaikäismetsikölle ominainen avohakkuu ja luontainen uudistaminen (kuusi) tai siemenpuuhakkuu

(mänty). Kuten Lexerod ja Gobakken (2008) tutkimuksessa, T-simulaattorin käytön yksinkertaistukset johtivat jossain määrin mekaaniseen hakkuumäärän ja hakattavien puiden läpimittojen määräytymiseen.

Pukkala ym. (2010) sovelsivat staattista optimointia (investointitehokas kasvatuksetju) tutkiessaan optimaalista kasvatusta eri-ikäiselle metsikölle OMT- ja MT-kuusimetsiköissä (*P. abies*) ja MT- ja VT-mäntymetsiköissä (*P. sylvestris*). Eri-ikäisrakenteisen metsikön kasvatus optimoitiin 1–5 % korkokannoilla käyttäen Keski- ja Etelä-Suomen yleisiä lämpösummaoletuksia. Tasaikäismetsikön kasvatus optimoitiin Pukkalan (2005) kehittämällä mallilla, jossa harvennukset toteutetaan yläharvennuksina. Tulosten mukaan eri-ikäismetsikkö voi tuottaa huomattavasti suuremman nettonykyarvon (eri-ikäismetsikön nettonykyarvo suhteessa tasaikäismetsikköön vaihteli 97 % ja >1000 % välillä) ja eri kasvatustapojen kannattavuuseroihin vaikuttaa erityisesti kasvupaikka ja käytetty korkokanta. Molemmilla puulajeilla eri-ikäisrakenteinen metsikkö tuotti lähes aina paremman kannattavuuden korkeammilla (yli yhden prosentin) korkokannoilla. Molemmat kasvatustavat tuottivat parhaalla tutkitulla kasvupaikalla (OMT) Etelä-Suomessa lähes saman kannattavuuden riippumatta korkokannasta. Eri-ikäismetsiköiden kasvumallien epävarmuuksista johtuen eri-ikäismetsikön tuotot laskettiin myös 10 prosenttia alemmilla kantohinnoilla, mikä ei vaikuttanut tuloksiin oleellisesti.

Tahvonen (2011) tutki eri-ikäisrakenteisen ja tasa-ikäisrakenteisen metsänkasvatuksen eroja kuusen (*P. abies*) puuntuotannossa ja kannattavuudessa yksittäisen puun mallilla. Dynaamiseen optimointiin perustuvat simuloinnit johtivat eri-ikäisrakenteisen metsikön kasvattamiseen, kun lähtöpuusto oli tasapainotilainen eri-ikäismetsikkö ja hakkuukierto asetettu 20 vuoteen. Eri-ikäismetsikön nettonykyarvo suhteessa tasaikäismetsikköön vaihteli välillä 80 % ja >480 %. Tulosten mukaan vain alhaisilla koroilla (1–2 %) ja korkean lämpösumman alueilla metsikkö konvergoituu tasaikäismetsiköksi. Tahvonen (2011) kuitenkin toteaa, että pidempi hakkuukierto voi tuottaa eri-ikäismetsikölle hie- man korkeamman nettonykyarvon alhaisella korkokannalla. Puuntuotos oli simuloin- tien perusteella suurempaa eri-ikäismetsikössä, kun kummassakin kasvatusmallissa so- vellettiin luontaista uudistamista. Istutetun tasaikäismetsikön puuntuotanto oli sen si- jaan suurempi kuin luontaisesti uudistuneen eri-ikäismetsikön.

Pukkala ym. (2011c) tutkivat tasa- ja eri-ikäisrakenteisten metsiköiden eroja kannatta- vuudessa kun puuntuotannon lisäksi nettonykyarvoon sisällytettiin mustikan (*Vaccini- um myrtillus*) tuotannon ja metsikön hiilensidonnassa arvot, ja korkokantaa vaihdeltiin. Tutkittavina kohteina olivat MT-kasvupaikan kuusikko (*P. abies*) ja VT-kasvupaikan männikkö (*P. sylvestris*). Tulosten mukaan eri-ikäiskasvatus tuottaa korkeamman net- tonykyarvon kuin tasaikäiskasvatus molemmilla puulajeilla kaikkien tekijöiden (puun- tuotanto, mustikka, hiilensidonta) osalta, paitsi mäntymetsikön hiilensidonnassa silloin,

kun käytettiin vähintään yhden prosentin korkokantaa. Tuloksiin vaikutti erityisesti se, että tasaikäisen metsikön lähtöpuusto oli nuorta metsää ja siten puun- ja mustikantuo- tanto sekä hiilensidonta olivat alhaisia tarkastelujakson alussa. Nykyhetken hyötyjen korostaminen (korkokannan nosto) lisäsi siten eri-ikäisen metsikön tuottamaa hyötyä suhteessa tasaikäiseen metsikköön.

### 3.5 Kannattavuuseroihin vaikuttavat seikat

Taulukossa 6 on kuvattu yleisellä tasolla tutkimuksissa tarkasteltujen muuttujien vaikutusta tasaikäisrakenteisen (jaksollisen) kasvatuksen ja eri-ikäisrakenteisen (jatkuvan) kasvatuksen suhteelliseen kannattavuuteen. Yhteenveto perustuu kirjallisuuteen, mutta vaikutusten suunnan yleistämiseksi ei ole käytetty mitään tarkkaa mittaria, esimerkiksi sitä, kuinka monessa tutkimuksessa tietynsuuntainen vaikutus on havaittu.

*Taulukko 6. Muuttujien vaikutuksia kasvatustapojen suhteelliseen kannattavuuteen.*

Tarkasteltava muuttuja	Vaikutus yleisesti	Tekijän huomioiminen tutkimuksissa
<b>Korko</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Laskentakorko vaikuttaa kannattavuuslaskelmiin siten, että se alentaa tulevaisuudessa saatavien nettotulojen nykyarvoa ja vastaavasti nostaa heti saatavien nettotulojen painoarvoa.</li> <li>Korkealla korkokannalla tasaikäisen metsikön (viljelty) paljaan maan arvo voi laskea alle nollan.</li> <li>Eri-ikäisen metsikön nettonykyarvo laskee suhteellisesti vähemmän ja siten sen edullisuus useiden tutkimusten mukaan kasvaa koron noustessa.</li> <li>Myös toisensuuntaisia tuloksia on raportoitu johtuen muun muassa erilaisista puuston lähtötilanteista, rajoituksista ja oletuksista laskelmissa.</li> <li>Käytetty laskentakorko vaikuttaa optimaaliseen metsikön rakenteeseen metsikköön sitoutuneen pääoman vaihtoehtoisen tuoton kautta.</li> <li>Koron nosto usein vähentää eri-ikäisrakenteisen metsikön puuston pohjapinta-alaa ja tukkipuun kertymää sekä lisää kuitupuun kertymää.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Korkokanta vaihtelee tutkimuksissa yleisesti 1-5 prosentin välillä.</li> <li>Osassa tutkimuksista vertailulaskelmat on toteutettu usealla eri korolla, osassa vain yhdellä.</li> <li>Eri korkokannoilla lasketut tulokset eivät ole vertailukelpoisia.</li> </ul>
<b>Alkupuusto</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Lähiajan tuloilla (ja menoilla) on suurin paino paljaan maan arvossa (nettonykyarvossa), erityisesti korkokannan noustessa.</li> <li>Lähtöpuustolla on merkitystä vertailtavien metsänkäsittelyjen paremmuuteen erityisesti tilanteessa, jossa hakkuukäyttämistä on rajoitettu ennalta määritetyillä käsitteilyillä.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tutkimuksia on toteutettu vaihtelevasti erilaisilla puuston lähtötilanteilla: nuori tai varttunut kasvatusmetsikkö, hakkuukypsä metsikkö, optimaalinen tai muu eri-ikäisrakenteinen metsikkö.</li> <li>Osa tutkimuksista tarkastelee tasa-, osa eri-ikäisrakenteista läh-</li> </ul>

- Eri-ikäismetsikköön siirtyminen optimaalisinta, kun tasaikäismetsikkö on nuorta kasvatusmetsää.
- Uudistuskypsää tasaikäisrakenteista metsikköä ei ole taloudellisesti kannattavaa muuntaa eri-ikäisrakenteiseksi.
- Lähtöpuuston rakenteella ei sen sijaan ole välttämättä merkitystä optimaaliseen metsänkäsitteeseen pitkällä aikavälillä (tulevat puusukupolvet).
- Alkupuustolla (esim. puuston pohja-pinta-ala, runkolukujakauma, alikasvos) on merkitystä siirtymäajan pituuteen vaihdettaessa tasa-ikäiskasvatuksesta eri-ikäiskasvatukseen.
- Alkupuustolla ei ole vaikutusta eri-ikäisrakenteisen metsikön optimaaliseen tasapainotilaan eli puuston runkolukujakaumaan säännöllisesti toistuvissa hakkuukierroissa.

töpuustoa.

- Osa tutkimuksista muuttelee puuston lähtötilannetta tai tutkii samanaikaisesti useita metsiköitä, joissa erilaiset lähtöpuustot.
- Osa tutkimuksista laskee tulokset vain yhdellä lähtöpuustolla, jolloin tekijän vaikutusta ei tiedetä luotettavasti.

### **Puuston kasvu**

- Korkea puuston kasvu nostaa metsikön puuntuotantoa ja vaikuttaa siten metsikön kannattavuuteen.
- Puuston kasvu on voimakkaasti riippuvainen metsikön rakenteesta, kuten puuston tilavuudesta ja pohjapinta-alasta, runkolukujakaumasta jne.
- Eri-ikäismetsikön puuntuotantoon vaikuttaa merkittävästi kynnyskasvun (uudistuminen) voimakkuus.
- Puuntuotannon maksimoiva kasvatusketju ei useimmissa tapauksissa optimoi metsikön taloudellista tuottoa.
- Eri-ikäismetsikön puuston suhteellinen kasvu (%) voi metsikön rakenteesta johtuen olla keskimäärin nopeampaa kuin tasaikäisessä metsikössä.
- Absoluuttinen kasvu ( $m^3/ha$ ) sen sijaan voi jäädä pienemmäksi kuin tasaikäisessä metsikössä, koska puustoa kasvatetaan harvempana. Myös vastakkaissuuntaisia tuloksia.
- Eri-ikäismetsikön keskimääräisen puukuu-tiometrin arvo voi olla korkeampi, koska tukkipuun suhteellinen osuus kaikesta hakatusta puusta on usein korkeampi kuin tasaikäismetsikössä.
- Tukkipuun tuotoksessa ( $m^3/ha$ ) erot eri metsänkasvatustavoissa ovat pienemmät kuin kuitupuun tuotoksessa, koska vaikka tasaikäisen metsikön puuntuotos on usein suurempaa kuin eri-ikäismetsikön, suurempi osa sen tuotoksesta on kuitupuuta
- Puuntuotanto eri-ikäismetsikössä on jatkuva, kun taas tasaikäisen metsikön maapohja on vähemmän tehokkaassa käytössä kiertojen alussa, kun taimet eivät pysty hyödyntämään maapohjan koko tuottopotentiaalia.
- Eri-ikäismetsikön puuston kasvu tutkimuksissa vaihtelee voimakkaasti.
- Erot puuston kasvussa voivat johtua sekä metsikön rakenteen eroista että eroista mallien kasvuennusteissa.
- Käytetyt kasvumallit perustuvat vaihtelevasti joko oletuksiin kasvusta (verrattuna kasvuun tasaikäismetsikössä) tai eri-ikäismetsiköiden puustolle kehitettyihin kasvumalleihin.
- Eri-ikäismetsikön kasvumallit koostuvat tyypillisesti puuston tilavuuden, kynnyskasvun (uudistuminen) ja puuston kuolleisuuden malleista.
- Eri malleissa selittävät muuttujat ovat pääasiassa samat, mutta riippuvuussuhteissa (esim. riippuvuus etäisyydestä tai puuston tiheydestä) voi olla eroja.
- Kynnyskasvun määrittämisessä on eroja paitsi kynnyskasvun selittävien muuttujien osalta myös kynnyskasvun saavuttavien taimien raja-arvoissa. Osassa tutkimuksia kynnyskasvun saavuttavien taimien lukumäärä määräytyy kiinteästi.
- Puiden kuolleisuus perustuu tutkimuksissa vaihtelevasti joko kenttäkokeiden perusteella spesioituihin malleihin tai mekaanisesti määriteltyyn oletukseen (kiinteä).

	aalia.	
<b>Aikahorisontti</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Paljaan maan arvoon sisältyy (teoriassa) päättymätön sarja toistuvia tuloja.</li> <li>• Aikahorisontin rajauksella voi olla vaikutusta optimaaliseen metsänkäsitteelyyn, koska nettotulot syntyvät eri metsänkäsitteelyissä eri ajankohtina.</li> <li>• Eri-ikäismetsiköstä tasaikäiseen metsikköön vaadittavan siirtymän rajoittaminen ajallisesti (esim. maksimiaika vuosissa) voi johtaa epäoptimaaliseen metsänkäsitteelyyn ja vääristää vertailuja.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Optimoinneissa aikahorisontti määritellään niin pitkäksi, ettei sen pidentämisellä ole vaikutusta optimaaliseen metsänkäsitteelyyn.</li> <li>• Tutkimuksissa aikahorisontti on tyypillisesti vähintään 100 vuotta.</li> <li>• Osassa tutkimuksista on aikarajoitteita siirtymän toteutumislle.</li> <li>• Eri-ikäisrakenteisen metsikön hakkuukierron pituus on usein määritetty kiinteäksi (esim. 10, 15 tai 20 vuotta).</li> </ul>
<b>Puun hinta</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kasvatusmenetelmien erilaisista puutavaralajikertymistä johtuen etenkin kuitu- ja tukkipuun hintasuhteella on merkitystä.</li> <li>• Puun keskimääräisen hinnan lasku alentaa useimmiten tasaikäisen metsikön suhteellista kannattavuutta enemmän, koska puuntuotannon määrä on keskimäärin suurempi kuin eri-ikäisrakenteisessa metsikössä</li> <li>• Kuitupuun hinnan lasku nostaa eri-ikäismetsikön kannattavuutta suhteessa tasaikäiskasvatukseen, koska tasaikäisestä metsiköstä kertyy suhteessa enemmän kuitupuuta kuin eri-ikäisestä metsiköstä.</li> <li>• Tukin hinnan nousu nostaa suhteessa enemmän eri-ikäisrakenteisen metsikön kannattavuutta koska eri-ikäisestä metsiköstä kertyy suhteessa enemmän tukkipuuta kuin tasaikäisestä metsiköstä.</li> <li>• Mahdollisella paremmalla hinnalla (hintapremio) on vaikutusta optimaaliseen metsänkasvatukseen, jolloin kasvatusketjut tulisi optimoida uudelleen vertailulaskelmissa.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Puutavaralajien tienvarsihinnat on oletettu usein samoiksi tasa- ja eri-ikäisessä metsikössä.</li> <li>• Joissakin tutkimuksissa on muunneltu puutavaralajien hintoja, alennettu eri-ikäisen metsikön puuston tienvarsihintaa tai laatuluokiteltu metsiköitä siten, että eri-ikäismetsikön puuston laatu on parempaa kuin tasaikäismetsikön.</li> <li>• Puutavaralajien hinnat on määritetty kiinteästi, joten vähäisempi kuitupuun saanto eri-ikäiskasvatuksessa ei nosta ko. puutavaralajin hintaa.</li> </ul>
<b>Korjuukustannukset</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Korjuun yksikkökustannukset vaihtelevat hakkuutavan (harvennus-, pääte-, poiminta- ja pienaukkohakkuu) mukaan.</li> <li>• Yksikkökustannuksiin vaikuttaa eniten hakattavan puuston määrä.</li> <li>• Useimmissa malleissa uudistushakkuun (ensiharvennuksen) yksikkökustannukset ovat alhaisemmat (korkeammat) kuin eri-ikäisrakenteisen metsikön hakkuukustannukset.</li> <li>• Hakkuun yksikkökustannusten nousu alentaa eri-ikäisrakenteisen metsikön kannattavuutta suhteessa tasaikäiseen metsikköön, koska eri-ikäismetsikön keskimääräiset hakkuukustannukset ovat useimpien tutkimusten mukaan hieman korkeammat..</li> <li>• Kiinteiden hakkuukustannusten (per hakkuukerta) nousu alentaa eri-ikäisrakenteisen metsikön kannattavuutta suhteessa tasaikäisrakenteiseen metsikköön, koska eri-ikäisrakenteisessa metsikössä hakkuut toistuvat säännöllisemmin.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Useimmissa tutkimuksissa huomioidaan erikseen kiinteät korjuukustannukset ja muuttuvat korjuun yksikkökustannukset.</li> <li>• Korjuun yksikkökustannukset koostuvat tyypillisesti varsinaisesta hakkuusta ja metsäkuljetuksesta.</li> <li>• Muuttuvat korjuun yksikkökustannukset on huomioitu useimmissa tutkimuksissa vähentämällä kustannukset puun tienvarsihinnasta.</li> <li>• Korjuun yksikkökustannukset perustuvat osassa tutkimuksissa alun perin tasaikäismetsiköistä laskettuihin kustannuksiin, osassa eri-ikäismetsikössä tehtyihin kokeisiin ajanmenekin osalta.</li> </ul>
<b>Uudistamis- ja</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eri-ikäismetsiköissä uudistuminen tapah-</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lähtökohtana tutkimuksissa on</li> </ul>

<b>muut metsänhoitokustannukset</b>	<p>tuu pääasiassa luontaisesti, tasaikäismetsiköissä luontaisesti tai keinollisesti (istuttaminen, kylvö).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Uudistamisen (istutus) kustannusten nousu laskee tasaikäisen metsikön suhteellista kannattavuutta.</li> <li>• Tasaikäismetsikön kasvatuksessa istutettavien taimien lukumäärällä voi olla vaikutusta kasvatustavan kannattavuuteen suhteessa eri-ikäiskasvatukseen.</li> <li>• Eri-ikäismetsiköiden kasvattamisessa jatkuva uudistuminen (kynnyskasvu) on keskeinen tekijä kannattavuudelle.</li> <li>• Metsänhoitotoimenpiteiden kustannusten nousu alentaa tasaikäisen metsikön kannattavuutta suhteessa eri-ikäisrakenteiseen metsikköön, koska (ainakin teoriassa) jälkimmäiseen ei sisälly metsänhoitotoimenpiteitä.</li> </ul>	<p>oletus jatkuvasta (luonnollisesta) uudistumisesta eri-ikäiskasvatuksessa.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Osassa tutkimuksista sallitaan täydennysistutuksia eri-ikäiskasvatuksessa.</li> <li>• Eri-ikäisrakenteisen metsikön kasvatusketju ei pääsääntöisesti sisällä metsänhoitotöitä, jolloin kustannukset jäävät alhaisemmiksi kuin tasaikäisessä metsikössä.</li> </ul>
<b>Kasvupaikka ja puulajit</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kasvupaikkatyyppi vaikuttaa esim. puuston kasvuun, uudistumiseen ja keinollisen uudistamisen kannattavuuteen.</li> <li>• Karu kasvupaikka parantaa usein eri-ikäisrakenteisen metsikön suhteellista kannattavuutta tasaikäismetsikköön nähden.</li> <li>• Kuusi mahdollistaa luontaisen varjonkestävyytensä johdosta parhaat edellytykset eri-ikäisenä kasvattamiseen ja tältä osin parhaan odotetun kannattavuuden.</li> <li>• Oikeanlaisilla kasvupaikoilla myös männyn on todettu olevan potentiaalinen vaihtoehto jatkuvaan kasvatukseen, joskin se vaatii uudistukseen kasvatuksen harvempana.</li> <li>• Erilaisilla sekametsillä voidaan vaikuttaa esimerkiksi puuntuotantoon ja uudistumisen onnistumiseen.</li> <li>• Sekametsikoilla ei voida tutkimusten mukaan vaikuttaa niinkään parempaan kannattavuuteen, koska lisääntyvä puuntuotanto on usein vähemmän arvokasta lehtipuuta ja enimmäkseen vähemmän arvokasta puutavaralajia (kuitupuuta).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Borealiselle vyöhykkeelle spesifioidut eri-ikäismetsikön puuston kehitystä kuvaavat mallit ovat rajoittuneet alueellisesti sekä kasvupaikka-tekijöiden ja puulajien osalta.</li> <li>• Tulokset ovat riippuvaisia monista biologisista tekijöistä ja ovat siten vaikeasti yleistettävissä muille alueille ja kasvupaikkatyypeille.</li> <li>• Tutkimuksissa on (usein rajoitusten puitteissa) varioitu kasvupaikkaa, metsätyyppiä puulajeja ja lämpösummaa.</li> <li>• Borealaisen vyöhykkeen tutkimuksista kuusi on tutkituin puulaji eri-ikäiskasvatuksessa. Myös männylle ja koivulle on olemassa omat mallit.</li> <li>• Sekapuustoisten metsien mallintamisessa on eniten kehitettävää.</li> </ul>
<b>Muiden tuotteiden tai palveluiden hinta</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eri kasvatusten menetelmien taloudelliseen tulokseen voidaan sisällyttää myös metsän tuottamia muita hyötyjä.</li> <li>• Muiden hyötyjen huomioon ottaminen useimmiten lisää eri-ikäisrakenteisen metsikön kannattavuutta suhteessa tasaikäisrakenteiseen metsikköön.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tutkimuksissa on tarkasteltu esim. mustikan tuottoa, hiilensidontaa, palonkestävyyttä ja maisema-arvoja.</li> <li>• Esimerkiksi joitakin avohakkuista hyötyviä lajeja ( vadelma, korvasienet) ei ole tarkasteltu.</li> </ul>

Lähteet: Chang 1990, Rummukainen ym. 1995, Mohr & Schori 1999, Wikström 2000, Andreassen & Oyen, 2002, Bollandssås ym. 2008, Lexerod & Gobakken 2008, Wikström 2008, Pukkala ym. 2009, Tahvonen 2009, Pukkala ym. 2010, Pukkala ym. 2011b, Tahvonen ym. 2010, Tahvonen 2011, Rämö 2013, Tahvonen ym. 2013.



### 3.5.1 Korkokanta

Korkokanta määrittelee metsikön puustoon sitoutuneen pääoman vaihtoehtoiskustannuksen ja vaikuttaa siten optimaaliseen hakkuukäyttämiseen. Korkokannan nostaminen lisää vaihtoehtoiskustannusta ja voi johtaa alhaisempaan optimaaliseen puustopääoman määrään ja/tai voimakkaampiin hakkuisiin ja/tai lyhyempään kiertoaikaan. Lopullinen vaikutus riippuu siitä, miten käsittelyketju kokonaisuudessaan reagoi muutuneeseen tilanteeseen. Esimerkiksi lyhyempi kiertoaika voi johtaa myös alhaisempaan hakkuumäärään, kun jätettävän puuston korkeampi vaihtoehtoiskustannus vaikuttaa lyhyemmän aikaa (esim. Chang & Gadow 2010). Pukkala ym. (2011b s. 70) toteavat, että eri-ikäiskasvatuksessa korkokannalla ei ole niin suurta merkitystä metsikön optimaaliseen käsittelyyn, koska vaatimus jatkuvasta uudistumisesta määrittelee optimaalisen metsikön rakenteen.

Korkotasolla on vaikutusta käsittelymenetelmien suhteelliseen paremmuuteen. Korkeammilla korkotasolla (kun korostetaan heti saatavia tuloja) jatkuva kasvatus on monessa tutkimuksessa (esim. Chang 1981, Schulte & Buongiorno 1998, Knoke & Plusczyk 2001, Pukkala ym. 2010, Tahvonen ym. 2010) löydetty tuottavan tasaikäiskasvatusta paremman kannattavuuden. Tähän vaikuttaa muun muassa se, että eri-ikäisrakenteisessa metsikössä tulot syntyvät tasaisemmin, kun taas tasaikäisrakenteisessa hakkuut painottuvat kiertoajan loppupuolelle. Korkea korkokanta myös alentaa tasaikäisen metsikön kannattavuutta lisäämällä kiertoajan alkuun painottuvien metsänhoitokustannusten painoa. Viljelyyn perustuvan tasaikäisrakenteisen metsikön nettonykyarvo voi jopa painua negatiiviseksi korkeammilla korkokannoilla.

Korkokannan vaikutuksesta on raportoitu eri tutkimuksissa (esim. Kant 1999, Andreassen & Øyen 2002, Lexerod & Gobakken 2008, Wikström 2008) myös vastakkaisuuntaisista tuloksista. Korkokannan vaikutus näyttäisi tutkimusten perusteella olevan läheisesti sidoksissa puuston lähtötilanteeseen, sillä samalla alkupuustolla kannattavuudesta kertovat tulokset voivat erota eri korkokannoilla. Etenkin tasaikäiskasvatuksen paremmuudesta korkeammilla korkotasolla on todettu, että alkuperäisen puuston tilalla on merkitystä. Tasaikäinen kasvatus voi olla kannattavampaa tilanteessa, jossa oletetaan avohakkuu heti tarkastelujakson alussa, ja käytettäessä samanaikaisesti korkeaa diskonttokorkoa (Andreassen & Øyen 2002). Tällä on merkitystä erityisesti siinä tapauksessa, että eri-ikäisrakenteiselle metsänkasvatukselle asetettu rajoite (esim. vähimmäispohjapinta-ala tai -tilavuus) johtaa epäoptimaaliseen hakkuukäyttämiseen ja alentaa tästä johtuen eri-ikäisrakenteisen metsikön kannattavuutta suhteessa päätehakkuuvaihtoehtoon (tasaikäiskasvatus). Korkea korko laskee eri-ikäismetsiköstä myöhemmin saatavien hakkuutulojen nettonykyarvoa, sillä hakkaamatta jätettävien puiden tuotto on alhaisempi kuin tuottovaatimus (diskonttokorko). Toisaalta, mitä enemmän painotetaan tulevaisuudessa saatavia hyötyjä (alhainen korko), sitä pienemmät ovat eri-

ikäisrakenteiseen (jatkuvaan) kasvatukseen siirtymisen kustannukset (Hanewinkel 2001).

### 3.5.2 Puuston lähtötilanne

Alkupuustosta on teoriassa mahdollista muodostaa loputon määrä erilaisia vaihtoehtoja puuston ikäluokkajakauman ja muun rakenteen perusteella. Tutkimuksissa ei ole tarkoituksenmukaista pyrkiä tarkastelemaan kaikkia eri vaihtoehtoja, vaan tärkeintä olisi toteuttaa vaihtoehtolaskelmat usealla toisistaan poikkeavalla lähtötilanteella. Lähtöpuuston merkitys metsänkasvatustavan valinnassa pienenee silloin, kun tarkastelujakso on pitkä eikä harjoitettavalle metsänkasvatustavalle aseteta mielivaltaisia (*ad hoc*) rajoitteita.

Mallinnettavan puuston lähtötilanteella on merkitystä eri metsänkasvatustapojen suhteellisiin kannattavuuksiin myös muutoin kuin korkotekijän kautta. Lähtöpuustolla tiedetään olevan vaikutusta varsinkin vallitsevan puuston lyhyen aikavälin optimaaliseen metsänkäsitelyyn. Jos metsikön kehitystä ei rajoiteta millään tavalla, ei puuston lähtötilanteella ole välttämättä vaikutusta harjoitettavaan metsänkäsitelyyn pitkällä aikavälillä. (esim. Tahvonen ym. 2010). Tietyissä tapauksissa (esim. korkea korko ja varttunut tasaikäinen puusto) saattaa kuitenkin olla optimaalista aloittaa eri-ikäisrakenteiseen metsänkasvatukseen siirtyminen vasta päätehakkuun jälkeen.

Puuston lähtötilanne vaikuttaa esimerkiksi eri-ikäismetsikköön siirtymiseen tarvittavaan aikaan ja siirtymän hakkuuregiimiin (esim. Haight 1985) sekä tasapainotilaisen metsikön rakenteeseen, jos siirtymää rajoitetaan (Getz & Haight 1989). Eri-ikäisrakenteisen metsikön optimaalinen rakenne tasapainotilassa on sen sijaan riippumaton puuston lähtötilanteesta, kun siirtymälle ei ole asetettu rajoitteita (esim. Rämö 2013).

Tasaikäiskasvatuksesta eri-ikäiskasvatukseen siirtymisen ajoituksella on merkitystä vertailulaskelmiin. Mitä aikaisemmin ja säännöllisemmin saadaan tuottoja eri-ikäisrakenteisesta metsiköstä, sitä kannattavammaksi eri-ikäiskasvatusta tulee. Siirtymiseen kuluvan ajan minimointi ei kuitenkaan välttämättä tarkoita koko kasvatusketjun optimointia. Lähtöpuuston osalta merkitystä on muun muassa sillä, minkälainen lähtöpuusto on suhteessa eri-ikäisrakenteisen metsikön optimaaliseen rakenteeseen. Kehityskelpoinen alikasvos lyhentää eri-ikäisrakenteiseen metsikköön siirtymiseen kuluvan ajan pituutta ja siten (useimmiten) parantaa eri-ikäisrakenteisen metsikön suhteellista kannattavuutta.

Metsänkasvatustapojen vertailulaskelmissa on vaikutusta myös sillä, miten lähtöpuusto suhteutuu tasaikäisen metsikön optimaaliseen hakkuuajankohtaan. Jatkuva kasvatusta on todettu huonommaksi tilanteissa, joissa tarkasteltu puusto on ollut myöhäisessä kasvun vaiheessa (Tarp ym. 2000, Wikström 2000, Andreassen & Øyen 2002) ja kannattavam-maksi tutkimuksissa, joissa tarkasteltu (tasaikäinen) puusto on aikaisessa kasvun vaiheessa. Tahvosen ym. (2010) tutkimuksen mukaan optimaalinen siirtymä kuusella olisi noin 35–45-vuotias metsikkö. Myöhäisemmässä vaiheessa metsikön rakenne ei ole optimaalinen jatkuvalla uudistumiselle ja siten eri-ikäisrakenteisena kasvattaminen voi olla tasaikäisenä kasvatusta kannattamattomampaa.

### 3.5.3 Puuston kasvu

Simulointeihin perustuvissa tutkimuksissa ekologisilla malleilla pyritään kuvaamaan metsikön tulevaisuuden kehitystä. Tasa- ja eri-ikäismetsiköille on kehitetty omat mallit (esim. puulajeittain, kasvupaikka- ja metsätyypeittäin sekä lämpösomma-alueittain) johtuen metsiköiden erilaisesta rakenteesta ja kehitysdynamiikasta. Eri-ikäismetsikön kehityksen mallintaminen voi koostua muun muassa puuston läpimitan ja pituuden kasvua, puiden kuolleisuutta (tai eloonjäämistä) sekä uudistumista (kynnyskasvua) kuvaavista malleista. Tutkimuksissa simuloinnit perustuvat joko kokonaan puun kehitystä estimoiviin malleihin tai joidenkin tekijöiden osalta mallien estimaatteihin ja osin erilaisiin oletuksiin puun kehityksestä.

Metsikön pitkän aikavälin ennusteisiin liittyy yleisesti aina epävarmuutta, koska metsänkasvatukseen sisältyy sellaisia häiriötekijöitä, joita ei voida täysin sulkea pois. Myös itse mallien luotettavuuteen voi liittyä epävarmuutta. Etenkin eri-ikäisrakenteisia metsiköitä simuloivien mallien luotettavuus on monesti tutkimuksissakin esiin nostettu tekijä.

Eri-ikäisrakenteisista metsiköistä on vähemmän käytännön kokemusta kuin tasaikäismetsiköistä. Myös varsinaista tutkimustietoa eri-ikäisrakenteisista metsiköistä on vähemmän. Vähäinen määrä eri-ikäisrakenteisia metsiköitä on voinut joissain tapauksissa vaikuttaa myös mallien spesifiointiin. Esimerkiksi osaa eri-ikäisrakenteisten mallien sovitukseen käytettyjä koealamittauksia on kritisoitu niissä tehtyjen käsittelyjen takia (esim. Lähde ym. 2010b). Joissakin tutkimuksissa (pääosin vanhempia tutkimuksia, esim. Hoen 1996, Wikström 2000, Andreassen & Øyen 2002), muun muassa rajoittuneen tutkimustiedon ja sopivien mallien puuttumisen vuoksi, eri-ikäisrakenteisten metsiköiden simuloinnit hyödyntävät alun perin tasaikäismetsiköiden kuvaamiseen tarkoitettuja malleja. Tuoreimmista tutkimuksissa eri-ikäisrakenteisten metsiköiden mallintaminen perustuu lähtökohtaisesti aina malleihin, jotka ovat varta vasten kehitetty täl-

laisten metsiköiden kehityksen kuvaamiseen. Mallien luotettavuudessa tiedetään kuitenkin vielä olevan parantamista. Eri-ikäisrakenteisen metsikön kasvumallit myös keskiarvoistavat tuloksia jonkin verran, koska toisin kuin tasaikäismetsiköiden tapauksessa, eri-ikäismallien määrittelyssä ei voida käyttää apuna puuston ikää (Pukkala ym. 2011b). Eri mallit voivat tuottaa toisistaan poikkeavia tuloksia samoilla lähtötiedoilla ja oletuksilla. Esimerkiksi Wikströmin (2008) tutkimuksessa Ruotsissa tehtyihin mittauksiin perustuvat vaihtoehtoiset kasvumallit eri-ikäismetsikölle antoivat toisistaan poikkeavia tuloksia puuston kasvulle. Myös Rämö (2013) löysi eroja kahden mallin välillä, joista toinen perustui Norjassa (Bollandsås ym. 2008) ja toinen Suomessa (Pukkala ym. 2009) tehtyihin mittauksiin. Se, kumpi näistä malleista tuotti suuremman kasvun puustolle, oli laskelmien mukaan riippuvainen puuston pohjapinta-alasta. Esimerkiksi alhaisemmalla pohjapinta-alalla Pukkalan ym. (2009) malli tuotti suuremman kynnyskasvun kuin Bollandsås ym. (2008) malli. Tämä johtui siitä, että, Pukkalan ym. (2009) mallissa kynnyskasvu on voimakkaammin riippuvainen puuston pohjapinta-alasta. Mallien välillä oli pieniä eroja myös puuston kuolleisuudessa.

Vaikka eri-ikäisrakenteisen metsikön puuston kasvun dynamiikka on hyvin erilainen tasaikäismetsikköön nähden, puuston kasvu (ja puuntuotanto) on kuitenkin tasaikäismetsikön tapaan vahvasti riippuvainen metsikön rakenteesta. Eri tutkimuksissa saadut erot eri-ikäismetsikön puuston kasvussa (ja kannattavuudessa) voivat siten olla seurasta paitsi eroista käytetyissä malleissa, myös malleista riippumattomista tekijöistä (erilaiset rajoitukset), jotka johtavat erilaisiin metsikön rakenteisiin. Esimerkiksi harvempi eri-ikäismetsikkö johtaa useimmiten alhaisempaan puuntuotannon määrään, mutta nostaa jatkuvan kasvatuksen kannattavuutta.

Yksittäisten puiden kasvua edistää esimerkiksi viljavampi kasvupaikka (metsikkötyyppi, lämpösumma) ja alhaisempi metsikön puuston pohjapinta-ala (esim. Pukkala ym. 2009). Metsikön taloudellista tulosta optimoitaessa ei ole kuitenkaan tarkoituksenmukaista maksimoida yksittäisten puiden kasvua, vaan hyödyntää maapohjaa mahdollisimman tehokkaasti siten, että metsikön kokonaistuotto maksimoituu puuntuotannon (puuston kasvu, uudistuminen, kuolleisuus) ja taloudellisten tekijöiden suhteen. Metsikön kehitysdynamiikan osalta oleellista onkin tarkastella samanaikaisesti koko metsikön puuston kehitystä.

Eri-ikäisrakenteisen metsikön kehityksen simuloinnissa tärkeimpänä pidetään uudistumisen mallintamiseen käytettäviä ekologisia malleja. Eri-ikäisrakenteisen metsikön ensisijaisena edellytyksenä on, että sen tulisi tuottaa jatkuvasti uutta taimiainesta. Osassa tutkimuksia tämä otetaan suoraan oletuksena määrittämällä mekaanisesti kynnyskasvun saavuttavien taimien määrä tietyllä ajanjaksolla. Osassa tutkimuksia kynnyskasvu perustuu puolestaan kenttäkokeiden ja metsien inventointien perusteella spesifioituihin ekologisiin malleihin, joissa kynnyskasvu on riippuvainen metsikön rakenteesta.

Eri-ikäismetsikön uudistumisen (kynnyskasvun) simuloimiseen on kehitetty erilaisia lineaarisia ja epälineaarisia malleja alueellisesti ja kasvupaikoittain yksittäisille puulajeille (esim. Wikberg & Elfving 2004, Bollandsås ym. 2008, Pukkala ym. 2009,) sekä seka-puustolle (Lexerød 2005, Lexerød & Eid 2005, Bollandsås ym. 2008, Pukkala ym. 2013). Malleissa kynnyskasvua selittävinä muuttujina voi olla esimerkiksi pohjapinta-ala ja puiden lukumäärä, hakattujen puiden tuomat aukot tai istutus (tai muu keinollinen uudistaminen) (Tahvonen 2009).

Tarkasteltavana olevan puulajin puiden lukumäärän tai pohjapinta-alan nousu korreloi tyypillisesti malleissa (esim. Lexerød 2005, Bollandsås ym. 2008, Pukkala ym. 2009) positiivisesti kynnyskasvun kanssa. Tutkimustulokset puuston rakenteen vaikutuksista eri puulajien uudistumiseen kuitenkin vaihtelevat (esim. Lähde ym. 1992a,b, Lähde ym. 2009) Viimeisimmissä kenttäkokeissa Suomessa (Eerikäinen ym. 2014) ei löydetty vahvaa korrelaatiota kynnyskasvun ja puuston pohjapinta-alan välillä. Tutkimuksen päätelmissä todetaan, että lyhyellä aikavälillä kynnyskasvun osalta suurempi merkitys on puuston senhetkiselällä rakenteella, kun taas pohjapinta-alalla on suurempi merkitys pidemmällä aikavälillä.

Kasvupaikan paraneminen nostaa tyypillisesti uudistumisedellytyksiä, joskin metsikön pohjapinta-alan samanaikainen nousu voi vähentää varsinkin männyn kynnyskasvua. Toisaalta uudistuminen on tehokkaampaa (kynnyskasvu korkeampaa) harvassa kuin tiheässä metsikössä. Metsikön rakenteen ohella uudistumisen voimakkuus vaihtelee muun muassa maapohjan viljavuuden mukaan siten, että viljavimmilla mailla uudistuminen on keskimäärin voimakkaampaa puulajista riippuen (Pukkala ym. 2011a).

Vaikka kynnyskasvun tiedetään olevan riippuvainen monista eri tekijöistä, ei näiden voimakkuuksia vielä tunneta täydellisesti. Kynnyskasvun ylittävien puiden määrä tietyllä ajanjaksolla vaihtelee tutkimuksesta toiseen, ja sillä voi olla merkittäväkin vaikutus saatuihin tuloksiin. Lukumääräisesti pieneltäkin tuntuva ero vuosittain kynnyskasvun saavuttavissa puissa voi johtaa puuston kasvussa merkittäviin eroihin. Osaltaan eroja selittävät erilaiset metsikön rakenteet, mutta myös mallien antamat erilaiset arviot kynnyskasvulle. Lisäksi tiedetään, että kynnyskasvun voimakkuus ja sen riippuvuus eri tekijöistä voi vaihdella sekä puhtaissa metsiköissä eri puulajien välillä että erilaisissa seka-puustoissa (esim. Pukkala ym. 2013).

Suomessa aiemmin tehdyissä kenttäkokeissa (esim. Lähde ym. 1992a,b, Lähde ym. 2009, Saksa & Valkonen 2011) on löydetty viitteitä siitä, että uudistumisen intensiteetti voi eri-ikäismetsiköissä vaihdella voimakkaasti sekä paikallisesti että ajallisesti. Metsäntutkimuslaitoksen tuoreessa tutkimuksessa (Eerikäinen ym. 2014) pienten puiden kynnyskasvussa esiintyi yhtä lailla voimakasta variaatiota sekä tutkittujen viisivuotiskausien

välillä että eri puustokuvioiden välillä. Tämä on tunnistettu mallien määrittelyssä, mutta esimerkiksi Bollandsås ym. (2008) ovat todenneet, ettei variaatiosta johtuvalle epävarmuudelle juuri voida tehdä mitään. Pukkala ym. (2013) sen sijaan esittävät epävarmuuden huomioon ottamiseksi menetelmää, jossa myös kynnykskasvun satunnaista variaatiota simuloidaan.

Kynnykskasvun ohella puuston kasvu ja kuolleisuus puulajeittain ja kasvupaikkatyypeittäin on tutkimuksissa joko simuloitu metsikön rakenteen ja puun koon funktiona (esim. puun rinnankorkeusläpimitta, pohjapinta-ala, eri läpimittaluokkien pohjapinta-alat) tai käyttäen mekaanisesti määriteltyjä kasvutuotoksia tai kuolleisuuden todennäköisyyksiä. Eerikäisen ym. (2014) tutkimuksessa alikasvospuiden kasvunopeus oli hyvin hidasta, ja puuston pohjapinta-alan nousu korreloi negatiivisesti puun pituuskasvun kanssa. Tutkijat esittävät myös muita tuloksia, joissa osassa on löydetty samansuuntaisia ja osassa vastakkaisuuntaisia tuloksia.

Koska eri-ikäismetsikköä kasvatetaan harvempana kuin tasaikäismetsikköä, voi sen puuntuotos olla tästä johtuen pienempää. Useiden tutkimusten mukaan eri-ikäismetsikön puuntuotos on silti ainakin lähellä tasaikäismetsikön puuntuotosta. Tukkipuun kokonaistuotoksen osalta erot ovat vähäisemmät, vaikka kokonaistuotos olisi pienempi eri-ikäiskasvatuksessa, koska eri-ikäismetsiköistä hakattava puusto on pääasiallisesti tukkipuuta ja hakattavan puuston keskimääräinen tilavuus huomattavasti suurempi kuin tasaikäisestä metsiköstä keskimäärin kiertoajalla. Eri-ikäisrakenteisen metsikön yksittäiset puut voivat elinaikanaan siten tuottaa enemmän puuta kuin tasaikäisen metsikön puut keskimäärin (esim. Tahvonen ym. 2010)

Puuston luonnollinen kuolleisuus voi tutkimusten perusteella olla keskimäärin suhteellisesti alhaisempaa eri-ikäisrakenteisessa metsikössä. (Tahvonen ym. 2010) Toisaalta Elving ym. (2006) mukaan puiden luonnollinen poistuma olisi suurempaa eri-ikäismetsiköissä. Koska kuolleisuus liittyy läheisesti puuston kilpailuun (pohjapinta-ala, läpimitta ja etäisyys puista), voi eri-ikäisrakenteisen metsikön harvempi kasvatus vaikuttaa alhaisempaan suhteelliseen kuolleisuuteen. Wikström (2008) tuo esiin sen, että erityisesti pienien puiden osalta kuolleisuus eri-ikäismetsiköissä voi olla aliarvioitu, koska mallit eivät huomioi hakkuista johtuvaa puiden tuhoutumista. Malleissa (esim. Bollandsås ym. 2008, Pukkala ym. 2009) pienten puiden todennäköisyys kuolla on kuitenkin suurempi kuin suurien.

### **3.5.4 Aikahorisontti**

Metsikön paljaan maan arvon laskennassa aikahorisontti tulee asettaa tarpeeksi pitkäksi, jotta tulokset olisivat luotettavia. Pitkä tarkastelujakso samalla altistaa laskelmat epä-

varmuudelle, varsinkin eri-ikäismetsikön, jonka malleihin liittyvä suurempi epävarmuus ja mahdolliset virheet voivat kertautua kymmenien tai satojen vuosien päähän ulottuvissa laskelmissa.

Wikströmin (2000) mukaan riittävän pitkä aika taloudellisissa laskelmissa voidaan varmistaa joko laskemalla nettotulot niin pitkälle, että lisävuosien vaikutus nykyarvoon jää hyvin pieneksi. Toinen yleinen vaihtoehto on oletus tasapainotilaisesta metsiköstä. Kun tarkastelujakson pidentäminen ei enää vaikuta tasapainotilaiseen hakkuukiertoon, voidaan netto nykyarvo tästä ikuisuuteen laskea päättymättömän sarjan kaavalla. Edelleen yksi vaihtoehto on laskea aluksi tarkastelujakson käsittelyjen netto nykyarvo ja tarkastelujakson jälkeisen loppupuuston arvo erillisellä laskentakaavalla.

Tasapainotilaisen metsikön saavuttamiseen kuluva aika voidaan rajoittaa tai vaihtoehtoisesti metsikön annetaan kehittyä ilman rajoituksia. Etukäteen tehdyt oletukset vähentävät optimoinnin taloudellisuutta ja siten ajan suhteen rajoittamattomassa mallissa tulisi ainakin teoriassa päästä taloudellisesti vähintään yhtä hyvään lopputulokseen kuin rajoitetussa mallissa. Tasapainotilaisen hakkuukierron pituus määritetään useimmissa tutkimuksissa erikseen simulointeja varten, mutta osassa tutkimuksista hakkuukierron pituus määräytyy endogeenisesti (mallin sisäisten prosessien tuloksena). Metsänkasvatustapoja vertailevissa tutkimuksissa eri-ikäiskasvatettavan metsikön hakkuukierto vaihtelee tyypillisesti välillä 10-20 vuotta. Hakkuukierron pituus vaikuttaa optimaaliseen metsikön rakenteeseen siten, että pidemmällä hakkuuvälillä hakkuun jälkeinen puuston pohjapinta-ala on tyypillisesti alhaisempi kuin lyhyellä kiertoaajalla, ja näin ollen yksittäisen hakkuun kertymä voi olla suurempi. Hakkuukierron lyhentämisellä voidaan sen sijaan yleensä vaikuttaa positiivisesti puuntuotannon määrään (esim. Tahvonen ym. 2010, Rämö 2013).

Valstan (2002) mukaan laskelmien aikajänne tulisi olla riippuvainen puuston lähtötilanteesta. Tasaikäisessä metsikössä kiertoaika on ainut relevantti laskentajakso. Yhden kiertoaajan mallin optimointi ei kuitenkaan aina anna oikeaa kuvaa metsän tuottopotentialista yli aikahorisontin, sillä optimaalinen hakkuukierto voi muuttua vallitsevasta kiertoaajasta. Riippuen lähtöpuuston tilanteesta ja käsittelyhistoriasta, nykyisen puusukupolven metsänkasvatus ei välttämättä ole myöskään optimaalinen asetetun tavoitteen suhteen. Tasapainotilaisen tai lähellä tasapainorakennetta olevan eri-ikäismetsikön laskelmaan voi riittää muutaman kymmenen vuoden aikajakso. Metsikön kasvatustavan muuttamiseen kuluvan siirtymävaiheen huomioiminen pidentää tarkastelujaksoa. Kun tarkoituksena on laskea tietylle metsikölle optimaalinen käsittely, tulee laskelmiin sisällyttää sekä mahdollinen siirtymävaihe että varsinainen ikuisuuteen jatkuva hakkuukierto metsänkasvatustavassa.

### 3.5.5 Puun hinta

Puun hinnalla on vaikutusta realisoituvaan tuloon ja siten se vaikuttaa suoraan esimerkiksi erilaisten metsänhoitotoimenpiteiden kannattavuuteen. Puutavaralajien tienvarsihinnat on oletettu usein samoiksi tasaikäisessä ja eri-ikäisessä metsikössä, jolloin eri metsänkasvatustapojen taloudellinen tulos ei ole useimmiten suoraan riippuvainen puun hinnasta. Puun hinnan vaikutuksen laskemiseksi osassa tutkimuksista (esim. Wikström 2008) on muodostettu skenaarioita erilaisten metsiköiden puuston laadulle tai suoraan laskettu erilaisilla hintapremioilla (Lexerod & Gobakken 2008) vaikutuksia eri metsänkasvatusmenetelmien taloudelliseen tulokseen.

Tasa- ja eri-ikäismetsiköiden tuottaessa eri määrän puutavaralajeja, on varsinkin kuitu- ja tukkipuun hintasuhteella merkitystä metsänkäsittelyjen suhteelliseen tulokseen. Useimmissa tutkimuksissa puun hinta on määritelty puutavaralajeittain, joskin eri tutkimuksissa käytetyissä hinnoissa on jonkin verran eroa. Jos vertailuissa käytettäisiin suoraan yhtä ja samaa yksikköhintaa puutavarakuutiometrille, laskelma ei sen sijaan ottaisi huomioon metsiköiden eroja sen suhteen, että eri-ikäiset metsiköt tuottavat suhteellisesti enemmän tukkipuuta. Tämä luonnollisesti aliarvioisi eri-ikäisen metsikön kannattavuutta suhteessa tasaikäiseen metsikköön.

Puutavaralajien reaaliset hinnat oletetaan useimmiten muuttumattomiksi tarkastelujaksolla, joten laskelmissa ei tehdä oletuksia eri puutavaralajien erilaisesta hintakehityksestä tulevaisuudessa. Jos puun hinta (tai kustannukset) tulevaisuudessa olisi tiedossa, johtaisi se erilaiseen hakkuukäyttämiseen nykyisellä ja tulevilla hakkuukierroilla (esim. Chang & Gadow 2010). Epävarmuudesta ja puun hinnan stokastisuudesta (satunnainen vaihtelu) johtuen metsänkäsittelyä ei kuitenkaan ole käytännössä tarkoituksenmukaista optimoida pitkälle tulevaisuuteen tehtävien arvioiden perusteella.

Oletukset samoista puutavaralajeittaisista tienvarsihinnoista eri metsänkasvatusmenetelmissä voidaan kyseenalaistaa, jos eri metsänkasvatusmenetelmät tuottavat laadultaan erilaista puutavaraa markkinoille. Esimerkiksi Eikenes ym. (1996) tutkimuksen mukaan puun laatu oli parempi eri-ikäisessä metsikössä kuin istutetussa metsikössä Norjassa. Metsäntutkimuslaitoksen (Verkasalo ym. 2013) VMI-koepuuaineistojen perusteella varsinkin männyn, ja osin myös kuusen, tukkipuun laatu on istutetuissa metsiköissä heikompaa (suurempi tukkivähennysprosentti) kuin luontaisesti syntyneissä metsiköissä. Myös Pukkala ym. (2011b) tuovat esille jatkuvan kasvatuksen paremman puun laadun johtuen siitä, että puut kasvavat tasaikäismetsikköä hitaammin ja siten tuottavat vähemmän oksia ja ohuempia lustoja. Piispasen ym. (2014) tutkimuksen perusteella eri-ikäisrakenteisessa metsässä kasvaneen kuusen puun tiheysvaihteluista johtuen siitä tehdyn sahatavaran laatu voi vastaavasti olla heikompaa. Tämä luonnollisesti alentaisi sahatavarasta maksettavaa hintaa. Laadun vaihtelusta seuraisi myös todennäköisesti lisää-



tyvää tarvetta sahatavaran lajittelulle, mikä lisäisi kustannuksia ja laskisi puusta maksettavaa hintaa. Pienemmällä otoksella tehdyssä tutkimuksessa (Pyörälä 2013) eri-ikäiskasvatetun kuusen laadussa ei löydetty yhtä voimakasta eroa tasaikäismetsikön kuusen laatuun nähden, joskin visuaalisen laatulajittelun perusteella laatujakauma oli normaalista hieman poikkeava.

Puutavaralajien hinnoilla on todettu olevan merkitystä optimaaliseen kasvatusketjuun tasaikäisessä metsikössä (esim. Tahvonen ym. 2013). Eri-ikäisrakenteisen metsikön optimaalisen kiertoajan ja kasvamaan jäävän puuston kannalta on merkitystä erityisesti harvennettavaksi valittujen puiden kantohinnoilla, jäävien puiden kantohinnoilla ja korkotasolla (Chang & Gadow 2010). Kannattamattomien kokoluokkien vähentäminen on keskeinen tekijä taloudellisen tuloksen parantamisessa metsätaloudessa. Esimerkiksi saksalaiset jatkuvan kasvatuksen ”Plenter”-metsät tuottavat suhteellisesti enemmän läpimitaltaan suuria puita kuin tasaikäisrakenteiset metsät. Vertailu ”Plenter”-metsien ja tasaikäismetsien välillä osoitti, että nettotuotto kasvoi 20 % puukuutiometriltä metsissä, joissa keskiläpimitta oli suuri ja harvennuskustannukset olivat alhaisemmat. (Kenk 1994)

Energiapuun taloudellisia vaikutuksia ei ole huomioitu eri kasvatusmenetelmiä vertailevissa tutkimuksissa. Kannattavuusvertailuissa se oletettavasti nostaisi tasaikäismetsikön kannattavuutta suhteessa eri-ikäismetsiköihin: tasaikäismetsiköistä voidaan tukki- ja kuitupuun lisäksi korjata energiapuuta, mikä lisää metsänomistajan tuloja ja nostaa jaksollisen kasvatuksen kannattavuutta. Eri-ikäisrakenteisesta metsästä ei sen sijaan korjata energiapuuta tai määrä jää vähäiseksi verrattuna tasaikäismetsikön kertymään. Energiapuun vaikutus tasaikäismetsikön koko kiertoajan kannattavuuteen on tosin melko vähäinen, eikä sen huomioiminen siten toisi merkittävää eroa kannattavuusvertailuihin.

### **3.5.6 Korjuukustannukset**

Korjuukustannusten vaikutus metsänomistajan saamaan tuloon lasketaan vähentämällä hakkuun ja metsäkuljetuksen (ja juonnon) kustannukset tienvarsihinnasta. Korjuun tuottavuus ja yksikkökustannukset ovat riippuvaisia ennen kaikkea korjattavan puuston määrästä, eli sekä puiden lukumäärästä että niiden keskitilavuudesta. Yleisesti, vähäisempi puuston lukumäärä ja puiden suuri keskitilavuus laskevat korjuun yksikkökustannuksia (esim. Wikström 2008). Myös muut leimikkokohtaiset tekijät vaikuttavat kustannuksiin.

Eri-ikäismetsikön vähäisemmästä kokemuksesta johtuen eroa tasaikäismetsikön korjuukustannuksiin ei vielä tiedetä varmuudella. Esimerkiksi Surakka ja Siren (2007) ovat tuoneet esiin tutkimustarpeen, sillä poimintahakkuiden korjuuolosten tuntemus on vielä

puutteellista. Eri-ikäismetsiköiden korjuun on todettu lisäävän erityisesti pienimpien puiden korjuuvaurioita ja puuston tuhoutumista (esim. Surakka ym. 2011, Modig ym. 2012). Puutteellisen tiedon vuoksi monissa tutkimuksissa (esim. Wikström 2008, Tahvonen ym. 2010) on modifioitu alun perin tasaikäismetsikön hakkuiden kustannusfunktion parametreja vastaamaan eri-ikäismetsikön hakkuita.

Tutkimusten mukaan eri-ikäiskasvatuksen hakkuiden yksikkökustannukset voivat olla tasaikäismetsikön ensiharvennuksen kustannuksia alhaisemmat, mutta päätehakkuun kustannuksia suuremmat (esim. Rummukainen ym. 1995). Myös Surakan ja Sirenin (2007) mukaan, että eri-ikäismetsikön poimintahakkuun korjuukustannus voi olla likimain saman verran kuin tasaikäismetsikön toisen harvennuksen korjuukustannus. Jos, kuten monen tutkimuksen mukaan on, puuntuotos on korkeampi tasaikäisessä metsikössä, eri-ikäismetsiköstä hakattavan puuston (hehtaariohtainen) tilavuus on tasaikäisen metsikön kiertoajalla hakattavan puustoon nähden keskimäärin alhaisempaa, ja näin ollen hakkuun yksikkökustannukset olisivat keskimäärin korkeammat eri-ikäisessä metsikössä (esim. Imponen ym. 2003). Toisaalta Pukkalan ym. (2014b) laskelmat osoittavat, että tasaikäismetsikössäkin korjuukustannuksia voidaan alentaa toteuttamalla yläharvennuksia alaharvennusten sijaan. Kiinteiden korjuukustannusten huomioiminen voi nostaa eri-ikäisrakenteisen metsikön kustannuksia suhteessa tasaikäismetsikön kasvatamiseen, koska hakkuita toteutetaan useammin.

Leimikkokohtaisilla tekijöillä voi tietyissä tilanteissa olla jopa suurempi merkitys kustannuksiin ja niiden vaikutus voi olla erilainen eri kasvatusmenetelmissä. Esimerkiksi maasto-olosuhteilla on vaikutusta toteutuviin korjuukustannuksiin ajanmenekin, mahdollisen erikoiskaluston tarpeen tai muun tavallisesta poikkeavan menettelyn johdosta. Hakkuukustannusten suuruuteen vaikuttaa voimakkaasti myös esimerkiksi tieverkosto (Kenk 1994), jonka tarpeet varsinkin tasaikäismetsikön päätehakkuun ja eri-ikäismetsikön hakkuun osalta ovat erilaiset. Hakkuukoneen kuljettajien osaamisella tiedetään myös olevan vaikutusta korjuun kustannuksiin. Vähäisempi kokemus ja suoraviivaisten hakkuusääntöjen puuttuminen eri-ikäismetsikön korjuusta voivat lisätä ajanmenekkiä ja nostaa kustannuksia suhteessa tasaikäismetsikön kustannuksiin.

Eri tutkimustulosten vertailua vaikeuttaa se, että osassa tutkimuksista on otettu korjuukustannukset huomioon, joskus ne on oletettu samoiksi molemmissa metsänkäsittelymenetelmissä (esim. Gobakken ym. 2008), osassa erisuuruiseksi ja vielä erojen suhteen erisuuruiseksi. Korjuuvaurioiden huomioon ottaminen esimerkiksi jäävän puuston arvossa tai taimikon tuhoutumisessa on tutkimuksissa puutteellista.

### 3.5.7 Uudistamis- ja muut metsänhoitokustannukset

Laajaperäisempien metsänkasvatusmenetelmien, johon eri-ikäiskasvatus luetaan, kannattavuus perustuu osaltaan vähäisempään määrään metsänhoitotoimenpiteitä. Jatkuvan kasvatuksen kannattavuuteen vaikuttaa merkittävästi se, ettei se lähtökohtaisesti sisällä laisinkaan metsänhoitotoimenpiteitä. Luontaiseen uudistumiseen perustuvassa jaksollisessa kasvatuksessa viljelykustannukset jäävät pois, mutta taimikonhoitoa vaaditaan. Viljelyyn perustuva tasaikäismetsätalous sisältää kustannuksia sekä istutuksesta että taimikonhoidosta, ja siten sen kustannukset ylittävät vaihtoehtoisten kasvatusmenetelmien vastaavat kustannukset. Istutuksella ja taimikonhoidolla kuitenkin samalla vaikutetaan positiivisesti kiertoajalla saataviin tuloihin. Tulot kertyvät monesti aiemmin ja/tai voivat olla luontaisesta uudistumisesta saataviin tuloihin verrattuna suuremmat esimerkiksi jalostetun taimiaineksen hyödyntämisestä johtuen.

Metsänhoitotöiden vaikutukset kiertoajan kannattavuuteen ovat voimakkaasti riippuvaisia tapauskohtaisista tekijöistä, kuten puulajista ja kasvupaikasta sekä mahdollisesta paremman puun laadun tuomasta hintapreemiosta. Yleisesti, mitä karumpi kasvupaikka sitä vähemmän metsänhoitotöillä saavutetaan kannattavuushyötyjä. Näin ollen eri-ikäisrakenteisen metsikön kannattavuushyödyt korostuvat karummilla mailla verrattuna viljelymetsätalouteen. Korkokannan nosto lisää samalla tavoin eri-ikäisrakenteisen metsikön kannattavuutta suhteessa tasaikäismetsikköön.

### 3.5.8 Puulaji- ja kasvupaikkatekijät

Boreaalisen vyöhykkeen tutkimukset ovat valtaosaltaan kuuselle (*P. abies*) sen luontaisien ominaisuuksien (esim. varjonkestävyys) sekä kasvupaikkatekijöiden johdosta. Lisäksi tutkimustuloksia on saatavilla pohjoisen havumetsävyöhykkeen muille pääpuulajeille männylle (*P. sylvestris*) ja koivulle (*B. pendula* ja *B. pubescens*) sekä erilaisille puulajiyhdistelmille. Ekologisia malleja on spesifioitu kaikille edellä mainituille puulajeille sekä rajoitetusti erilaisille puulajiyhdistelmille. Muualla toteutettujen tutkimusten (ja ekologisten mallien) tulokset ovat heikosti yleistettävissä Suomen oloihin johtuen erilaisista puulajeista ja kasvuolosuhteista.

Puulajien erilaisten luontaisten ominaisuuksien vuoksi niiden kasvu, kynnykasvu ja luonnollinen kuolema (eloonjääminen) samoissa olosuhteissa eroavat toisistaan eri-ikäisrakenteisissa metsissä. Eri mallit käyttävät pääasiallisesti samoja tai samanlaisia muuttujia kuvaamaan puuston kehitystä eri puulajeilla. Vaikka vaikutukset ovat tyypillisesti samansuuntaiset, kenttäkokeissa on myös löydetty voimakkuudeltaan eriäviä tuloksia esimerkiksi metsikön rakenteen vaikutuksesta eri puulajien kehitykseen. Useita

puulajeja tarkastelevissa tutkimuksissa eri tekijöiden vaikutukset (esim. kasvupaikan muutos) voivatkin erota sekä voimakkuudeltaan että tietyissä tapauksissa myös suunnaltaan eri puulajeilla. Osassa malleja muuttujille on myös saatu erilaisia merkitsevyyksiä siten, että yhdessä kenttäkokeessa tekijän on voitu löytää vaikuttavan puuston kehitykseen, kun taas toisessa näille tekijöille ei ole löydetty vastaavaa korrelaatiota.

Kasvupaikan karuus voi vaikuttaa kasvatustapojen väliseen suhteelliseen kannattavuuteen ja vaikutukset voivat olla erilaiset eri puulajeilla. Eri-ikäisrakenteinen kasvatus on usein suhteellisesti kannattavampaa karuilla mailla ja tasaikäisrakenteinen kasvatus rehevillä kasvupaikoilla (esim. Sánchez ym. 2004). Tämä tulos pätee myös Etelä-Suomessa, erityisesti silloin, kun lasketaan korkealla diskonttokorolla (Pukkala ym. 2010).

Pukkala ym. (2011b s. 74) toteavat, että lähes puhdas kuusikko tuottaa parhaimman kannattavuuden rehevillä kasvupaikoilla. Bollandsås ym. (2008) tutkimuksessa kuusen osuus sekapuustoisessa eri-ikäisrakenteisessa metsässä kasvoi pitkän aikavälin simuloinneissa. Hyödyntäen samoja kasvumalleja, myös Rämö (2013) päätyi tulokseen, jossa metsiköt muuttuivat pitkällä aikavälillä useimmiten kuusivaltaisiksi kun tavoitteena oli kannattavuuden maksimointi. Pukkalan ym. (2013) simuloinneissa sekä kuusen että koivun kasvu kuitenkin hyötyi mänty-sekapuustosta. Pukkala ym. (2011b s. 74) mukaan kuusi-koivu -sekametsä voikin lisätä puuntuotantoa puhtaisiin yhden puulajin metsiköihin nähden. Samalla he kuitenkin korostavat, että koska pääosa lisääntyvästä puuntuotannosta on kuitupuuta, ja toisekseen vielä vähemmän arvokasta puulajia (koivu), ei tällä yleensä saada nostettua kannattavuutta.

Samanlaiseen lopputulokseen päätyi myös Rämö (2013). Simulointien perusteella paremmilla kasvupaikoilla puuntuotantoa voidaan lievästi lisätä kuusi-koivu-mänty sekapuustolla verrattuna puhtaaseen kuusikkoon. Sekametsässä nettohyöty jäi kuitenkin varsinkin paremmilla kasvupaikoilla matalammaksi kuin puhtaassa kuusimetsikössä. Silti, kuusen uudistuminen koivun alla voi olla parempaa ja siten antaa paremmat edellytykset eri-ikäisrakenteisena kasvattamiselle (Pukkala ym. 2011b s. 74).

Keski-ikäisillä kasvupaikoilla kuusivaltainen kuusi-mänty sekametsikkö tuottaa Pukkala ym. (2011b s. 78) mukaan parhaimman kannattavuuden ja puuntuotoksen. Myös Bollandsås ym. (2008) simuloinneissa männyn osuus vähemmän viljavilla kasvupaikoilla oli merkittävä. Karummilla kasvupaikoilla puhdas männikkökin voi sopia jatkuvaan kasvatukseen, mutta kannattavuus optimoituu kuusi-mänty sekametsässä Pukkala ym. (2011b s. 79).

### 3.5.9 Muiden tuotteiden hinnat

Jos tutkimuksissa on tarkasteltu puuntuotannon lisäksi muita metsän tuottamia hyötyjä, esimerkiksi marjoja ja hiilensidontaa, niiden hintojen muutokset vaikuttavat suoraan eri metsänkasvatustapojen vertailtaviin kannattavuuksiin sen mukaan, mikä metsänkasvatustapa tuottaa enemmän kyseessä olevaa tuotetta. Tästä syytä esimerkiksi joidenkin marjojen (esim. mustikka) hinnan nousu voi nostaa eri-ikäisrakenteisen metsikön kannattavuutta suhteessa tasaikäiseen metsikköön.

Muiden tuotteiden hintojen muutokset vaikuttavat myös optimoituihin kasvatuksiin. Hiilipäästöjen (kuusi) tai hiilinielun (mänty) hinta vaikuttaa tasaikäismetsikön optimaaliseen kasvatukseen, mutta ei juurikaan eri-ikäisrakenteisen metsikön optimaaliseen kasvatukseen. (Pukkala ym. 2011c)

**Taulukko 7.** Eri tekijöiden tyypillisiä vaikutuksia tasa- (TASA) ja eri-ikäismetsikön (ERI) väliseen suhteelliseen kannattavuuteen

Tekijä	Arvo	Suhteellinen NPV nousee	Selitys
Tukkipuun hinta	korkea	ERI	Tukkipuun osuus hakkuumäärästä suurempi eri-ikäisrakenteisessa kuin tasaikäisessä metsikössä
Kuitupuun hinta	korkea	TASA	Kuitupuun osuus hakkuumäärästä suurempi tasaikäisessä kuin eri-ikäisrakenteisessa metsikössä
Puun järeyshinnoittelu	kyllä	ERI	Eri-ikäisrakenteisesta metsiköstä hakattavan puuston keskiläpimitta korkeampi
Hakkuukustannukset, muuttuva	korkea	TASA	Keskimääräiset yksikkökustannukset korkeammat eri-ikäisessä metsikössä
Hakkuukustannukset, kiinteä	korkea	TASA	Säännöllisemmin ja useammin toistuvat hakkuut eri-ikäisessä metsikössä
Uudistuskustannukset	korkea	ERI	Sisältyvät tyypillisesti vain tasaikäismetsikön kasvattamiseen
Muut mh-kustannukset	korkea	ERI	Sisältyvät tyypillisesti vain tasaikäismetsikön kasvattamiseen
Lakentakorko	korkea	ERI	Kiertojen alun kustannusten paino kasvaa ja kiertoajan lopun hakkuutulujen paino laskee tasaikäisessä metsikössä
Lähtöpuuston ikä, TASA	varttunut	TASA	Päätehakkuusta saatavilla tuloilla suuri paino. Puuston edelleen kasvattaminen eri-ikäisrakenteiseen metsikköön siirtymiseksi tuottaa usein alle tuottovaatimuksen. Metsikön rakenne myös epäoptimaalinen jatkuvan kasvatuksen alikasvoksen muodostumiselle.
Kasvupaikan viljavuus	alhainen	ERI	Mh-investointien tuotto laskee
Muut hyödyt	huomioidaan	ERI	Esim. hiilensidonta, marjat



## 4 YHTEENVETO TUTKIMUSKIRJALLISUUDESTA

### 4.1 Yksittäistä tekijää eriäviin tuloksiin mahdoton tunnistaa

Tutkimusten vertailua ja yhteenvedoa tehtäessä on huomattava, että tutkimusten tarkoitukset, metsiköt, ja lähestymistavat vaihtelevat. Tutkimusten tarkoitus voi olla vertailla kannattavuutta tai puuntuotantoa, selvittää optimaalista kiertoaikaa tai metsikön rakennetta tai kehittää mallinnustyökaluja. Lisäksi lähestymistavat ovat kirjavia. Osassa metsänkäsittely on optimoitu, osassa ei. Tulosten yleistettävyyttä vaikeuttaa lähtöasetelmien erilaisuus. Yksi tutkimus liittyy aina tietynlaiseen todelliseen tai oletettuun metsikköön, ja sen tuloksia voi olla vaikeaa tai epäluotettavaa siirtää muihin kuin tarkasti tutkimuksen metsikköä vastaaviin olosuhteisiin.

Jos tavoitteena on vertailla eri metsänkäsittelyvaihtoehtojen nettonykyarvoa, lähtökohdiana tulisi olla metsänkäsittelyjen optimointi. Optimointi parantaa tulosten vertailtavuutta, koska niissä etukäteen tehtyjen oletusten vaikutus on minimoitu. Optimoinnissa käytetään kuitenkin erilaisia rajoitteita esimerkiksi metsikön rakenteen (hakkuumäärä, pohjapinta-ala tms.) tai hakkuukierron pituuden suhteen. Esimerkiksi tasaikäismetsikön osalta metsänhoitosuosituksen mukainen käsittely johti Hyytiäisen ja Tahvoisen (2003) mukaan aina tappioihin paljaan maan arvossa. Pukkalan ym. (2014a) tutkimuksessa laissa määritellyt rajoitukset hakkuun jälkeiselle puuston vähimmäispohjapinta-alalle laskivat metsiköiden kannattavuutta yli kymmenen prosenttia.

Vertailut tulisi toteuttaa samoissa optimointikehikoissa niin, että sekä tasaikäisen että eri-ikäisen metsikön kannattavuudet optimoidaan samojen taloudellisten parametrien suhteen. Ongelmana eri tutkimusten vertailuissa on, että monissa tutkimuksissa ei ole avattu optimoinnin sisältämiä kaikkia muuttujia tai tuloksia raportoidaan vaihtelevalla tarkkuudella. Esimerkiksi erojen suuruutta kannattavuudessa ei ole aina raportoitu. Tutkimuksia, joissa on optimoitu kasvatusketju pelkästään toisen tavoitteen (puuntuotanto tai kannattavuus) suhteen, ei tulisi käyttää toisen tavoitteen vertailuissa. Puuntuotannon optimointi johtaa useimmiten vähäisempiin hakkuisiin, korkeampaan puustopääomaan ja pidempiin kiertoaikoihin kuin taloudellisten kriteerien mukaan tehtävä optimointi.

Erot tutkimustuloksissa voivat johtua monista simulointien estimaatteihin liittyvistä ja eksogeenisista eli ketjun ulkopuolisista tekijöistä; esimerkiksi erilaisista ekologisista malleista (esim. puuston kasvu, kuolleisuus, uudistuminen), eroista maantieteellisessä sijainnissa, puulajeista ja kasvupaikoista, puuston lähtötilanteen vaihtelevuudesta, korkokannasta ja muista tekijöistä. Tämän lisäksi eri tekijöiden muutosten yhteisvaikutuksen vuoksi optimointi voi johtaa yleisestä poikkeaviin tuloksiin. Yhdenkin tekijän muuttaminen vaatii aina uuden optimoinnin, sillä metsänkasvatusketjun tulisi reagoida muutoksiin eksogeenisissa muuttujissa. Muuttujien arvot (esimerkiksi puun hinta, korkokanta) voivat myös vaihdella ajassa, minkä seurauksesta todellinen kannattavuus voi poiketa lasketusta. Valstan (2002) mukaan monet tekijät, jotka eivät välttämättä ole vaikutukseltaan kovinkaan suuria silloin, kun pohditaan valintoja yksittäisen metsänkasvatustavan sisällä, muuttuvat merkityksellisiksi verrattaessa eri metsänkasvatusketjuja.

Vertailevissa tutkimuksissa on lisäksi huomioitava, että verrattavat kasvatusketjut voivat olla erilaisia eri tutkimuksissa. Sekä tasa- että eri-ikäiskasvatusta on mahdollista toteuttaa erilaisin menetelmin, ja nämä voivat erota kannattavuuksiltaan. Metsikköä voidaan kasvattaa tasaikäisenä keinollisesti tai luontaisesti uudistaen, yläharvennuksin tai alaharvennuksin. Eri-ikäisen metsikön hakkuut voivat olla pienaukko- tai poimintahakkuuta tai näiden yhdistelmiä. Tutkimuksissa on vaihtelevasti verrattu näitä erilaisia kasvatustapoja.

Riskin huomioiminen tutkimuksissa on vähäistä. Jos eri metsänkasvatustavat sisältävät eri tavalla riskejä, tulisi nämä ottaa huomioon vertailevissa tutkimuksissa. Jatkuvaan kasvatukseen ja sen usein tehtäviin hakkuisiin liittyy esimerkiksi rahoituksellisen riskin pieneneminen (Knoke ym. 2001). Riskit voivat liittyä myös erilaisiin biologisiin tai muihin tuhoihin, joita sisältyy sekä tasa- että eri-ikäiskasvatukseen. Riski voi liittyä toisaalta metsänkasvatustavan muuttamiseen tasa-ikäisestä eri-ikäiseen metsikköön.

Kuuluvainen ym. (2012) totesivat nykytutkimusten haittapuoleksi sekä puuntuotannon että kannattavuuksien vertailuissa sen, että ei ole yhtä tiettyä tapaa jolla vertailuja toteutetaan. Tutkimusten teoreettiset lähtökohdat ovat heterogeenisia ja eroavat monien ajallisesti ja paikallisesti riippuvaisten tekijöiden osalta. Kenttäkokeiden vähydestä johtuen pitkän aikavälin tarkasteluissa joudutaan turvautumaan metsiköiden kehityksen simuloimiseen teoreettisilla malleilla. Näissä käytetään vaihtelevalla tavalla puhtaasti eri-ikäisrakenteisiin metsiköihin ja alun perin tasaikäismetsiköihin perustuvia ekologistia malleja.



## 4.2 Kehitystarvetta ekologisiin malleihin

Tutkimukset pohjautuvat puun kasvua eri kasvatustavoilla kuvaaviin malleihin. Suomessa on vain vähän käytännön kokemusta eri-ikäisrakenteisista metsiköistä. Verrattuna tasaikäismetsiköihin eri-ikäisrakenteisista metsiköistä on kertynyt myös kokeellista tutkimusaineistoa huomattavasti vähemmän, usein lyhyeltä seuranta-ajalta ja mittaukset ovat paikoin alueellisesti rajoittuneet. Monet, nykyisin käytössä olevien mallienkin perustana olevat, mittaustulokset ovat pitkän ajan takaa eikä mitattujen koealojen historiaa tunneta välttämättä täysin. Kritiikkiä ovat saaneet osakseen myös joillakin koealoilla toteutetut metsänkäsittelyt, jotka eivät ole aina edustaneet optimaalista rakennetta eri-ikäiselle metsälle (esim. hakattu liian harvaksi).

Eri-ikäisen metsikön kehityksen simuloiminen on monimutkaista ja osin tämän johdosta yksinkertaistuksia joudutaan tekemään jo pelkästään mallintamisen vuoksi. Esimerkiksi Pukkala ym. (2011a) muistuttavat uudistumisen ja kynnyskasvun suuresta vaihtelusta, jota ei nykymalleilla pystytä huomioimaan. Myös Tahvonen (2010) on kiinnittänyt huomiota nykymallien kehittämistarpeeseen erityisesti kynnyskasvun osalta.

Lisääntynyt kokemus ja uusi tutkimustieto eri-ikäiskasvatuksesta tuo tulevaisuudessa lisää luotettavuutta mallien antamiin estimaatteihin. Metsäntutkimuslaitoksen muodostamien kenttäkokeiden mittaustietojen mukaan nykymallit mahdollisesti yliarvioivat eri-ikäisrakenteisen metsikön puuntuotantoa malleihin liittyvien puutteiden takia (Hynynen ym. 2013). Tutkijoiden mukaan eri-ikäismetsiköille tehdyt kasvu- ja puuntuotusmallit (esimerkiksi Pukkalan ym. 2009 mallit) yliarvioivat puuntuotosta jättäessään huomioimatta puun kasvuhistorian ja metsikön käsittelyhistorian vaikutuksen puun kasvuun. Kenttäkokeiden perusteella hakkuun jälkeen metsään jätettävän puuston kasvu reagoi viiveellä hakkuun seurauksesta saatuun lisätilaan ja -valoon. Mallien oletus puuston kasvusta voi johtaa eri-ikäismetsiköiden netto nykyarvon yliarvioon. Pukkala ym. (2011a) ovat toisaalta todenneet, että kehitetyt mallit mahdollisesti aliarvioivat eri-ikäisrakenteisten metsiköiden kasvupotentiaalia, koska mallien perustana olevat vanhimmat mittaukset perustuivat valtion metsien kolmannen inventoinnin tuloksiin (VMI3), jolloin puiden kasvu oli heikompaa kuin nykyään. Uusi tieto ilmastosta ja ilmastomuutoksesta voi aiheuttaa muutoksia mallien tuottamiin ennusteisiin (Bolland-sås ym. 2008) ja siten myös vertailulaskelmiin.

Lähde ym. (2010b) esittävät joukon Suomessa tehtyjä koealamittauksia ja inventointeja sekä tuovat esille muualla pohjoismaissa toteutettuja tutkimuksia, joissa uudistuminen erirakenteisissa metsissä on ollut runsasta. Nykyisten mallien tiedetään kuitenkin kuvaavan uudistumista vielä puutteellisesti. Metsäntutkimuslaitoksen kenttäkokeissa (Hynynen ym. 2013) taimet usein muodostuivat rykelmiksi eivätkä (mallien oletusten mukaisesti) sijainneet siten, että niillä voitaisiin varmuudella olettaa olevan tarpeellinen

määrä kasvutilaa aina puun korjuuseen asti. Näillä mallien yksinkertaistuksilla voi olla merkittävä vaikutus eri kasvatustapojen taloudellista tulosta vertailevien tutkimusten lopputuloksiin, sillä jatkuvassa kasvatuksessa taimettuminen on merkittävässä asemassa paitsi hehtaarikohtaisen puuntuotoksen määrälle myös koko metsänkasvatuksen onnistumiselle. Lisäksi, epävarmuudesta johtuen oletus riittävästä uudistumisesta ja taimikoiden selviytymisestä ilman erillisiä toimenpiteitä (esim. täydennysistutus, taimikonhoito ja raivaus) voidaan tämän tiedon valossa asettaa kyseenalaiseksi.

Tutkimustulosten vertailua ja yleistettävyyttä hankaloittaa se, että tutkimuksissa käytetyt erilaiset mallit pohjautuvat usein rajoittuneesti eri aikoina ja alueilla toteutettuihin kenttäkokeisiin tai inventointitietoihin. Mitatut muuttujat voivat tästä syystä olla eri tavoin korreloituneita (Bollandsås ym. 2008). Kun laskelmat ovat toisaalta riippuvaisia useista vaikuttavista tekijöistä ja näiden yhdistelmistä, ei täysin samanlaisilla oletuksilla ja olosuhteissa toteutettuja tutkimuksia ole löydettävissä. Yksittäisen tekijän vaikutuksen tunnistaminen voi olla hankalaa johtuen eri malleissa käytettyjen samojen muuttujien monimutkaisista riippuvuussuhteista. Lisäksi, kuten Wikström (2008) on todennut, regressiomalleissa eri muuttujat voivat olla korreloituneita, mikä osaltaan vaikeuttaa tulosten tulkintaa.

### **4.3 Lisätutkimusta ja käytännön opastusta**

Käytännössä metsiköiden kehitys voi poiketa mallien pohjana olevasta ”keskimääräisestä metsiköstä”. Eri-ikäismetsikön tasapainoilainen rakenne voi vaihdella ajallisesti hyvinkin paljon, kun taas viljellyn tasaikäismetsikön rakenne pystytään ennustamaan kohdallaisen tarkasti jo metsikön perustamisesta lähtien.

Tutkimustuloksia on pystyttävä tulkitsemaan mallien ulkopuolella ja oman metsänomistuksen rajoissa. Erot eri kasvatustapojen kannattavuuksissa voivat muuttua vähemmän merkityksellisiksi, jos metsäomaisuus on vähäistä ja metsänomistajalla on muitakin kuin taloudellisia tavoitteita metsästä.

Nykymallien tietyistä puutteista tai yksinkertaistuksista huolimatta toteutetut tutkimukset tuovat tärkeää lisätietoa eri metsänkasvatusmenetelmien taloudellisuudesta ja eri tekijöiden vaikutuksista metsänkasvatusmenetelmien kannattavuuteen. Eri metsänkasvatusmenetelmien kannattavuuksia vertaileviin tutkimustuloksiin on kuitenkin syytä suhtautua mallien epäluotettavuustekijöiden rajoissa.

Koska tuloksiin liittyy paljon epävarmuutta, ei niiden perusteella voida lähtökohtaisesti sanoa, mikä kasvatusmenetelmä on taloudellisesti kannattavampi. Sen sijaan voidaan

esittää millaiset tekijät pitää ottaa huomioon kasvatukseen valittaessa. Esittämällä eri menetelmien edut ja haitat sekä tuomalla esiin tapauskohtaiset tekijät annetaan metsänomistajille tarpeellista tietoa päätöksenteon tueksi. Koealojen seuranta-aikojen pidentyessä ja eri-ikäisrakenteisten metsiköiden yleistyessä saadaan lisätietoa, jonka turvin malleja voidaan kehittää entistä luotettavimmiksi.

Vaikka tutkimukset eivät anna yksiselitteistä vastausta eri kasvatukseen menetelmien paremmuudesta, voidaan niiden perusteella antaa karkeita ohjeita siitä, miten ja missä oloissa eri-ikäiskasvatusta on vartenotettava vaihtoehto nykyisin vallitsevalle tasaikäismetsätaloudelle. Tulevaisuudessa, vaihtoehtoisten kasvatukseen menetelmien vertailun lisäksi, tutkimuksissa tulisi keskittyä entistä enemmän eri-ikäiskasvatukseen parhaisiin käytäntöihin metsänomistajan tavoitteiden mukaisesti. Hanewinkel (2002) ehdottaa tapaa, jossa tarkastelun kohteena olevaa kasvatukseen menetelmää harjoittavista tulisi etsiä ne, jotka saavuttavat parhaan taloudellisen tuloksen tietyissä olosuhteissa. Tätä taloudellista tulosta voidaan käyttää verrokkina (benchmark) tai arviona kyseisen kasvatukseen menetelmän optimille. Tutkijan mukaan tällä tavoin vältyttäisiin joiltakin epäkohdilta, kuten väärityneeltä vertailuasetelmalta tai epärealistisilta oletuksilta, joita liittyy sekä empiirisiin että malliperusteisiin tutkimuksiin.

Eri-ikäiskasvatukseen menetelmän yleistäminen tulee vaatimaan opastusta esimerkiksi seuraavissa kysymyksissä:

- Miten tunnistetaan sopivat kohteet (esim. metsäsuunnitelman kuviot) eri-ikäisrakenteisena kasvattamiselle?
- Miten tasaikäisestä metsiköstä siirrytään eri-ikäisrakenteiseen metsikköön erilaisilla lähtöpuustoilla?
- Mikä on optimaalinen runkolukujakauma, pystyvuuston tilavuus ja hakkuumäärä eri-ikäisrakenteisessa metsikössä?
- Mikä on optimaalinen hakkuukierron pituus eri-ikäisrakenteisessa metsikössä?
- Metsikön kasvattaminen eri-ikäisrakenteisena vaatii uudenlaista ohjeistusta myös hakkuun suunnitteluun ja toteutukseen, kuten puiden leimaamisessa, ajourien muodostamisessa sekä muussa korjuun toteutuksessa, jolla voidaan parantaa korjuun tuottavuutta ja vähentää mahdollisia korjuuvaurioita.

## **5 METSÄNKASVATUSMENETELMÄT METSÄNOMISTAJAN JA VALTION NÄKÖKULMASTA**

Valitulla metsänkasvatusmenetelmällä on vaikutuksia metsätalouden taloudelliseen tulokseen niin metsänomistajan kuin valtion näkökulmasta. Kuten edellä esitetyistä tutkimustuloksista käy ilmi, kasvatusvaihtoehtojen vaikutus taloudelliseen kannattavuuteen riippuu yhden metsikön tasolla sen piirteistä ja toimenpiteiden kustannuksista. Vaikutusten suuruutta kansallisella tasolla määrittelee pitkälti myös se, kuinka suuri osa metsänomistajista muuttaisi metsänkasvatusmenetelmiään ja kuinka suurella osalla metsistään. Seuraavassa tarkastellaan metsänkasvatusvaihtoehtojen valinnan näkökohtia metsänomistajan ja valtion näkökulmasta.

### **5.1 Taloudellinen tulos metsänomistajan näkökulmasta**

Metsänomistajan tavoitteista riippuu pitkälti, kuinka olennaisia erilaiset taloudelliset mittarit ja muut seikat ovat metsänkasvatuksen päätöksenteossa. Keskimääräistä metsänomistajaa ei ole, vaan metsänomistajat voidaan jaotella eri tyyppeihin tavoitteiden mukaan. (esim. Rämö ym. 2011).

Tilli ym. (2009) tarkastelivat mitä taloudellisia mittareita erityyppiset metsänomistajat käyttävät metsätaloudessaan. Metsänomistajat luokiteltiin eri käyttömuotojen merkityksen mukaan:

- Ryhmä 1: Metsänomistajat, jotka arvostavat nykyisessä metsänkäytössään toiminnallisuutta: He tekevät metsänhoitotöitä, arvostavat työn fyysisyyttä ja haluavat nähdä työnsä jäljen metsässään. Tähän ryhmään kuuluvat metsänomistajat pitävät metsän käyttöä virkistykseen ja luontoarvojen vaalimiseen merkitykseltään keskimääräistä vähäisempänä (22 % vastanneista, 22 % metsäpinta-alasta).
- Ryhmä 2: Metsänomistajat, joille metsän käyttö virkistyskohteena ja sen luonnonsuojelullinen merkitys olivat tärkeitä (27 % vastanneista, 17 % metsäpinta-alasta).
- Ryhmä 3: Ryhmän metsänomistajat kokivat metsillä olevan monia melko tärkeitä käyttökohteita ja merkityksiä. Ryhmään kuuluville on siis tärkeää metsien yleinen monimerkityksisyys. Etenkin ryhmän edustajilla korostui metsän talou-

dellinen merkitys: He kokivat metsän ennen kaikkea tulonlähteeksi ja/tai sijoituskohteeksi. Kyseiseen merkitysryhmään kuului eniten metsänomistajia (38 % vastanneista, 49 % metsäpinta-alasta).

- Ryhmä 4: Ryhmän metsänomistajilla ei ollut metsänomistukselleen selkeää perustelua, tai he olivat epätietoisia metsän merkityksestä itselleen. Ryhmään 4 kuului vähiten metsänomistajia (13 % vastanneista, 12 % pinta-alasta).

Metsänomistajista 18 prosenttia ilmoitti, ettei mittaa metsätaloutensa kannattavuutta millään tavalla. Niistä, jotka mittaavat kannattavuutta, valtaosa, 90 %, käytti mittarina puun hintakehitystä (Taulukko 8). Seuraavaksi yleisimpiä mittareita olivat puunmyyntitulot, metsätalouden nettotulos ja metsätalouden menot. Suurin osa yleisimmin käytävistä mittareista liittyy metsätalouden absoluuttisen kannattavuuden mittaamiseen. (Tilli ym. 2009)

Suhteellista kannattavuutta metsänomistajat näyttävät mittaavan selvästi vähemmän. Noin puolet kyselyyn vastanneista metsänomistajista ilmoitti arvioivansa metsätaloutensa kannattavuutta metsään sitoutuneen pääoman tuoton avulla. Kolmannes metsänomistajista vertaa metsän tuottoa muiden sijoituskohteiden tuottoon tai puunmyyntituloja palkka- tai eläketulojen ostovoimaan.

Tärkeimmäksi kannattavuusmittariksi reilu kolmannes metsänomistajista nimesi puun hintakehityksen.

**Taulukko 8.** Metsätalouden merkityksen perusteella muodostettujen vastaajaryhmien käyttämät mittarit metsätalouden kannattavuuden arvioinnissa. Lähde: Tilli ym. 2009

Metsänomistuksen merkitys nykyhetkellä	Toiminnallisuus	Virkistys & luontoarvot	Monikäyttö & tulonlähde	Ei selkeää merkitystä
Metsätalouden kannattavuuden arvioinnissa käytettävä mittari	Mittaria käyttävien osuus %	Mittaria käyttävien osuus %	Mittaria käyttävien osuus %	Mittaria käyttävien osuus %
Puun hintakehitys	91	86	97	76
Puunmyyntitulot	83	74	88	80
Myyty puumäärä	63	61	76	50
Metsätalouden menot	82	74	81	67
Nettotulos	82	72	85	66
Puunmyyntitulot €/ha	37	43	52	37
Metsän arvon kehitys	44	59	58	45
Pääoman tuotto	40	42	55	37
Muiden sijoituskohteiden tuotto	34	30	41	25
Puunmyyntitulojen ostovoima	35	31	45	29

Tulosten mukaan suuri osa metsänomistajista liittyy metsiinsä myös muita kuin taloudellisia arvoja. Siten metsää ja sen hoitoa ei tarkastella pelkästään pääoman sijoituskohteenä tai tulon maksimoijana. Taloudellinen tulos on kuitenkin monelle tärkeä osa metsänhoitoa. Seuraavissa osiossa keskitytään tarkastelemaan metsien ja eri kasvatustapojen taloudellista tuloa metsänomistajan näkökulmasta.

### **Metsätalous on pitkäjänteistä toimintaa**

Eri metsänkasvatusmenetelmien taloudellinen tulos riippuu siitä, tarkastellaanko lyhyen vai pitkän aikavälin tulosta. Teoriassa metsänkäsitteily voidaan optimoida aina sen mukaan, mikä on toiminnan vaihtoehtoiskustannus (eli mikä olisi tuotto vaihtoehtoisesta sijoituskohteesta) tehden muutoksia lyhyelläkin aikavälillä. Tutkimuksissa oletetaan yleisesti täydellisesti toimivat pääomamarkkinat, jolloin realisoidulle tuotolle ajatellaan saatavan aina markkinoiden koron mukainen tuotto eikä pääoman saanti toimi päätösten rajoitteena. Todellisuudessa metsätalouden harjoittajat eivät voi toimia näin lyhytjänteisesti, vaan valittua metsänkäsitteilyä jatketaan markkinakorkojen tai vaihtoehtoisten sijoitusten tuottojen muutoksista riippumatta.

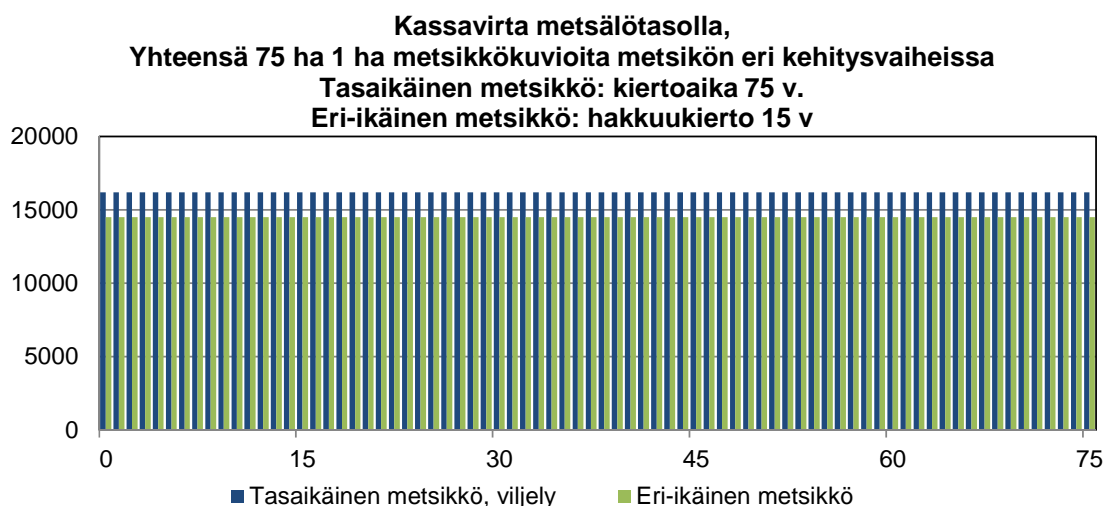
### **Metsikkötasolta tilatasolle**

Tutkimuksissa tarkastelut kohdistuvat pääsääntöisesti yksittäiseen metsikköön. Käytännössä metsänomistaja tarkastelee yksittäisen kuvion sijasta koko metsikkönsä hoitoa metsäsuunnitelmaa tehtäessä. Metsänomistaja myös hallinnoi metsäomaisuuttaan siten, että hän saa kokonaistaloudellisesti suurimman hyödyn. Tällöin taloudellisissa tarkasteluissa tulisi ottaa huomioon metsänomistajan koko metsäomaisuuden lisäksi muu varallisuus ja tulonlähteet sekä pääomamarkkinat.

Tasaikäisessä metsätaloudessa suurin osa metsikön tai metsikkökuvion tuloista kertyy kiertoajan loppupuolella, kun taas eri-ikäisrakenteisista metsiköistä tuloja hakkuista saadaan kerralla usein keskimäärin hieman vähemmän, mutta säännöllisemmin. Tasaiset hakkuut tuovat tuloja tasaisemmin, mikä ennestään lisää maksuvalmiutta. Hakkuiden tasaaminen ajallisesti vähentää myös esimerkiksi puun hinnan heilahtelujen aiheuttamaa kantohintariskiä, joka voi johtaa teoreettisista laskelmista poikkeaviin tuloksiin kannattavuudessa.

Metsälötasolla tasaikäismetsätalouden tulojen ajallista kohdentumista voidaan tasata pyrkimällä normaalimetsäarakenteeseen, jossa metsiköt jakautuvat tasaisesti eri kehitysluokkiin ja siten tuloja saadaan eri metsiköistä eri ajankohtina (kuvio 4). Mitä enemmän metsänomistajalla on hallinnassaan metsäomaisuutta, sitä paremmat mahdollisuudet hänellä on myös tasata metsästä saatavia tuloja, ilman että hänen täytyy poiketa optimaalisesta metsänkäsittelestä ja että puuntuotannon tuoma hyöty pitkällä aikavälillä

alenee. Kantohintojen vaihtelusta koituva riski samalla pienenee. Metsälötasolla pyritään myös yhdistämään eri kuvioiden toimenpiteitä niin, että ne olisi mahdollista toteuttaa samaan aikaan. Tällä saavutetaan mittakaavaetuja kustannushyötyinä ja parannetaan metsälön kannattavuutta.



**Kuvio 4.** Esimerkkilaskelma kassavirran kehityksestä tasa- ja eri-ikäismetsätaloudessa metsälötasolla (lähtötiedot Pukkala ym. 2011b s. 55)

#### **Eri metsänkasvatustavoissa samat riskit, toteutumisen todennäköisyys voi vaihdella**

Metsänkasvatus pitää sisällään riskejä, jotka tulee ottaa huomioon käytännön metsätaloudessa. Eri metsänkasvatusmenetelmät sisältävät pääasiassa samoja riskejä, mutta niiden toteutumisen todennäköisyys voi olla erilainen. Myös eri riskien taloudellisessa merkitsevyydessä on eroja. Näin ollen ne tulisi ottaa huomioon vertailtaessa eri kasvatustapojen taloutta.

Taulukkoon 9 on koottu osin tutkimukseen ja osin erilaisiin asiantuntija-arvioihin perustuen näkemyksiä eri metsänkasvatustapoihin liittyvistä riskeistä. Riskit on jaettu niiden luonteen mukaan eri kategorioihin. Taulukon tarkoituksena on tuoda esille metsänkasvatustapojen eroja erilaisten riskien suhteen. Tämän selvityksen puitteissa ei ole mahdollista arvioida kummassa metsänkasvatusmenetelmässä on enemmän riskejä, koska monien riskien osalta tutkimustuloksia on vain rajoittuneesti tai niitä ei ole ollenkaan.

Eri-ikäisrakenteiseen metsikköön arvioidaan liittyvän jossain määrin suurempi riski biologisille tuhoille, kuten tyvilahon siirtymisessä seuraavaan puusukupolveen. Riskihin on mahdollista varautua, mutta ne lisäävät kustannuksia. Usein ainoa keino suojautua kuusen tyvilahon siirtymiseltä seuraavaan puusukupolveen on uudistaa metsikkö

lehtipuulla. Tällöin eri-ikäisrakenteisenkin metsikön kasvatuksessa voi olla luontevaa siirtyä tasaikäismetsikön kasvattamiseen.

Ajallisesti tasaisemmin jakautunut puustopääoma eri-ikäiskasvatuksessa voi pienentää erilaisten luonnontuhojen aiheuttamaa taloudellista riskiä. Sen sijaan säännöllisesti toistuvat hakkuut altistavat jäljelle jäävän puuston useammin korjuuvaurioille, mikä voi alentaa puusta maksettavaa hintaa. Tutkimuksen mukaan lisäksi eri-ikäiskasvatetusta kuusesta valmistetun sahatavaran laatu voi kärsiä puuaineksen tiheysvaihtelusta (Piispanen ym. 2014).

Wikström (2000) mainitsee päätehakkuun mahdollisuuden puhuvan jossain määrin tasaikäisen metsikön kasvattamisen puolesta. Päätehakkuun ajoittuminen ei myöskään usein ole niin kriittinen kuin kasvatushakkuiden, joihin eri-ikäisrakenteisen metsikön hakkuut voidaan rinnastaa. Toisaalta Tahvosen (2009) mukaan markkinoiden epätäydellisyydet ja alhainen riskinsietokyky johtavat kohti jatkuvan kasvatuksen harjoittamista. Tahvonen (2009) viittaa tutkimuksiin, joiden mukaan epätäydelliset pääomamarkkinat ja puun hinnan satunnainen vaihtelu voivat johtaa siihen, että metsänomistajat käyttäytyvät päätöksissään samoin kuin korkean korkokannan vallitessa. Tällöin myös rahavirtaa voidaan pyrkiä tasaamaan, erityisesti kun muu varallisuus on niukka.

Käytännön metsätaloudessa riittävä maksuvalmius voikin säädellä päätöksentekoa ja asettaa reunaehdot metsänhoitoon. Tasaikäismetsätaloudessa puuston määrän vaihtelu kuviolla on suurempaa kuin eri-ikäismetsätaloudessa, ja siltä osin eri-ikäismetsätalouden tuoma taloudellinen turva voi lyhyellä aikavälillä olla suurempi. Säännöllisesti toistuvista hakkuista johtuen kantohintariski on myös pienempi eri-ikäiskasvatuksessa. Tilatasolla merkitys kuitenkin pienenee. Lisäksi, uuden metsälain myötä koko pystyvuosto on teoriassa aina luettavissa metsikön tilasta riippumatta heti hakattaviksi likvideiksi varoiksi.



**Taulukko 9. Metsätalouden riskejä tasa- ja eri-ikäiskasvatuksessa.**

BIOLOGISET RISKIT	Eri-ikäismetsikkö	Tasaikäismetsikkö	Riskin taloudellinen merkitys ja todennäköisyys
<b>Juurikäpä</b>	Säännölliset hakkuut eri-ikäismetsikössä ja niissä syntyvät mahdolliset vauriot altistavat juurikäävälle. Juurikäävän vioittaman metsikön (tyvilaho kuusella ja tyvitervastauti männyllä) kasvattamista ei tule jatkaa eri-ikäisrakenteisena. Hakkuiden ajoittamisella talveen ja kantojen käsittelyllä voidaan pienentää juurikäävän riskiä.	Harvemmin toistuvat kasvatushakkuut pienentävät riskiä juuristovaurioille ja juurikäävän tartunnalle. Juurikäävän vioittama tasaikäismetsikkö voidaan uudistaa samalle puulajille, jos lahovikaisuus ei ole laajalle levinnyttä. Kasvatushakkuiden ajoittamisella talveen, uuden puusukupolven viljelyllä sekä kantojen käsittelyllä tai poistolla voidaan pienentää juurikäävän tarttumisriskiä.	Suuri merkitys. Eri-ikäismetsikössä todennäköisyys riskille suurempi.
<b>Tukkimiehentäi</b>	Eri-ikäiskasvatuksessa tartuntariski on vähäisempi, koska olemassa olevan tiedon perusteella tukkimiehentäi vahingoittaa taimia harvoin poimintahakkuiden seurauksesta.	Tasaikäiskasvatuksessa tukkimiehentäin tartuntariski ja mahdolliset vahingot kasvavat erityisesti havupuuvaltaisissa taimikoissa.	Vähäinen/lievä merkitys. Tasaikäismetsikössä todennäköisyys riskille suurempi.
<b>TUHOT JA VAURIOT</b>			
<b>Myrskytuhot</b>	Joidenkin tutkimusten mukaan eri-ikäismetsikön rakenne suojaa hyvin tuulituhoilta. Toisaalta eri-ikäismetsikön pysyvä peitteisyys kohdistaa siihen jatkuvan riskin. Riski kasvaa ennen hakkuuta, jolloin puuston latvuspinta-ala on suurimmillaan. Pienaukkohakkuissa riski myrskytuhoille voi kasvaa pienaukkojen reunoilla. Myrskytuhon riskin toteutuessa taloudelliset vaikutukset kaatuneiden puiden lukumäärän johdosta voivat olla lievemmat kuin tasaikäismetsikössä. Toisaalta kaatuneiden puiden korjaaminen voi olla kalliimpaa. Laaja myrskytuho voi myös johtaa epäoptimaaliseen metsikön rakenteeseen ja pätehakkuuseen.	Tasaikäismetsikön kiertoajalla riski on keskimäärin pienempää kuin eri-ikäismetsikössä. Myrskytuhon riski kasvaa kiertoajan loppupuolella, jolloin metsikkö alaharvennusten johdosta on harvempaa ja yksittäisten puiden latvuspinta-ala suurempi. Riskin toteutuessa tällöin, taloudelliset vaikutukset voivat olla suuremmat kuin eri-ikäismetsikössä.	Suuri merkitys. Riskin toteutumisen todennäköisyys vaihtelee ajallisesti eri kasvatusmenetelmissä.

<b>Korjuuvauriot</b>	Eri-ikäiskasvatuksessa säännöllisesti toistuvat hakkuut altistavat jäljelle jäävän puuston korjuuvaurioille useammin kuin tasaikäisessä metsikössä. Pienten puiden suuresta lukumäärästä ja vaurioherkyydestä johtuen korjuuvaurioita aiheutuu keskimäärin enemmän kuin tasaikäisessä metsikössä.	Korjuuvauriot jäljelle jäävään puustoon ovat riippuvaisia kiertoajalla toteutettavien harvennusten intensiteetistä (ja määrästä). Pienten puiden vähäisestä määrästä johtuen korjuuvauriot jäävät pienemmiksi harvennuksissa verrattuna eri-ikäismetsikön hakkuisiin. Päätehakuussa korjuuvauriot ovat tätäkin vähäisemmät.	Lievä merkitys. Eri-ikäismetsikössä todennäköisyys riskille suurempi.
<b>TULOT JA KUSTANNUKSET</b>			
<b>Kantohintojen vaihtelu</b>	Tasaisemmin toistuvat hakkuut, joissa poistetaan kerralla keskimäärin vähemmän puuta kuin tasaikäismetsiköstä, vähentävät puun hinnan satunnaisvaihtelun taloudellisia vaikutuksia. Tukkipuun hinnan muutoksella on suhteellisesti suurempi merkitys eri-ikäisessä kuin tasaikäisessä metsikössä.	Kerralla hakattavan puuston keskimääräinen tilavuus on suurempi ja siten kantohintojen satunnaisvaihtelulla voi olla merkittävämpi vaikutus taloudelliseen tulokseen. Kuitupuun hinnan vaihtelulla on tasaikäisessä metsikössä enemmän merkitystä kuin eri-ikäiskasvatuksessa.	Lievä merkitys. Tasaikäismetsikössä todennäköisyys riskille suurempi.
<b>Heikko puun laatu</b>	Eri-ikäismetsikössä kasvatetun puun laatua ei tunneta varmuudella. Erisuuntaisia mielipiteitä ja tutkimustuloksia. Tuoreimman Suomessa toteutetun tutkimuksen mukaan puiden kasvudynamiikasta johtuen kuusen puuainekseen tulee tiheysvaihtelua, josta johtuen siitä tehdyn sahatavaran laatu voi kärsiä.	Tasaikäismetsikössäkin kasvatetun puun laadussa esiintyy vaihtelua, mutta vaikuttavat tekijät tunnetaan paremmin. Puun laatua voidaan parantaa erilaisin metsänhoidollisin toimenpitein (esim. pystykarsinta) tai kasvatustavoin (esim. harvennukset).	Lievä merkitys. Eri-ikäismetsikössä todennäköisyys riskille suurempi.
<b>Uudistumisen epäonnistuminen</b>	Spatiaalinen ja temporaalinen vaihtelu jatkuvassa luontaisessa uudistumisessa lisää kasvatusten menetelmän riskiä. Lähtökohtaisesti ei sisällä uudistuskustannuksia, jolloin investointiriski on pieni. Riittämätön uudistuminen voi vaatia esim. täydennysistutuksia.	Uudistumisen onnistumisen todennäköisyys korkea. Viljelystä (istutus, kylvä) syntyy kustannuksia. Luontaisesta uudistamisesta ei kustannuksia, mutta hakkuutuloja saadaan viljelyyn verrattuna myöhemmin.	Suuri/lievä merkitys. Eri-ikäismetsikössä todennäköisyys riskille suurempi.
<b>Epäonnistuminen kasvatusten menetelmän muuntamisessa</b>	Eri-ikäismetsikköön siirtymisen voi vaatia useita (kasvatus)hakkuuta ja jopa usean kymmenen vuoden siirtymäajan.	Tasaikäismetsikköön siirtymisen mahdollista koska tahansa uudistushakkuulla.	Lievä merkitys. Eri-ikäismetsikköön siirtymisessä todennäköisyys riskille suurempi.

## 5.2 Taloudellinen tulos valtion näkökulmasta

Eri metsänkasvatusmenetelmien mahdollisilla vaikutuksilla lopputuotemarkkinoihin, esimerkiksi metsäteollisuuden kilpailukykyyn (puun saatavuus, puun laatu, puun hinta), olisi välillisiä vaikutuksia yhteiskuntaan (työllisyys ja verotulot). Myös suoria taloudellisia vaikutuksia voi syntyä yhteiskunnalle metsätaloudesta esimerkiksi puunmyynnin ja kiinteistökauppojen verotuloista sekä metsänhoitotöistä (palkkojen verotulot ja tuet).

### *Epäsuorat vaikutukset*

#### **Vaikutus teollisuuden puun saantiin**

Jatkuva kasvatus saattaisi tuoda puuta markkinoille sellaisilta metsänomistajilta, jotka eivät pidä jaksollisen kasvatuksen ja avohakkuiden menetelmistä. Metsänomistajista 12 prosenttia siirtyisi ilmoituksensa mukaan jatkuvaan kasvatukseen kaikissa metsissään, ja 15 prosenttia osissa metsistään (Kumela & Hänninen 2011). Jatkuvan kasvatuksen suosiminen oli selvästi yleisempää keskimääräistä pienempien metsätilan omistajien keskuudessa. Metsänomistajakyselyn mukaan puukaupan tekemättä jättämiseen vaikuttaa reilulla viidesosalla paljon ja lähes kolmasosalla jonkin verran virkistyskäytön, luontotai maisema-arvojen kärsiminen hakkuissa (Rämö ym. 2013). Näiden arvojen huomiointi metsän kasvatuksessa ja hakkuissa minkä tahansa metsänkasvatusmenetelmän puitteissa voisi lisätä puun myyntiä. Puun myynti on kuitenkin riippuvainen myös markkinatilanteesta ja metsäteollisuuden lopputuotteiden markkinoista johdetusta kysynnästä.

Vaihtoehtoisten metsänkasvatusmenetelmien laajempi käyttöönotto voisi lisätä puun myyntihalukkuutta nykyisestä jonkin verran. Puunsaantoon vaikuttaisi toisaalta erilainen kauppamäärä ja puutavarajakauma siirryttäessä uudistushakkuista jatkuvaan kasvatukseen, toisaalta lisääntynyt tarjonta tähän asti vaihtoehtoista käsittelyä halunneille. Koska valtaosa metsistä, joissa kasvatustapaa vaihdettaisiin, ovat tällä hetkellä tasaikäisrakenteisia, kauppamäärän ja puutavarajakauman muutoksia siirtymäjakson aikana on vaikea arvioida. Jos 10 prosenttia metsistä siirtyisi eri-ikäiskasvatukseen metsien rakennetta muuttamalla, puunsaanti lisääntyisi hieman, erityisesti uudistushakkuista pidättyneiden omistajien tullessa puumarkkinoille.

Metsänhoito työllistää vajaa 2 000 henkilötyövuotta. Kasvatusmenetelmän vaihdoksen vaikutukset työllisyyteen olisivat arvion mukaan vähäiset. Lähinnä alkuvaiheen työläjien, istutuksen ja taimikonhoidon, väheneminen eri-ikäiskasvatuksessa laskisivat hieman työn tarvetta. Metsänomistajat tekevät kuitenkin itse suuren osan näistä töistä ja osaa

työlajeista, kuten taimikonhoitoa, ollaan koneellistamassa. Lisäksi siirtymävaiheessa työtarve saattaisi jopa lisääntyä muutettaessa metsien rakennetta.

### ***Suorat vaikutukset***

#### **Vaikutus puunmyyntitulojen kertymään**

Kantorahatulot vaihtelevat noin 1,5-2 miljardin euron välillä vuosittain puunhinnan ja hakkuumäärien mukaan. Puukauppoja verotetaan pääomatulona. Jos puunmyynti lisääntyisi edellä oletetun mukaisesti ja puusta saatava hinta olisi sama kuin tasaikäismetsiköstä, myös valtion puunmyynnistä saatavat verotulot lisääntyisivät hieman.

#### **Vaikutus valtion tukiin metsänhoito- ja metsänparannustöihin**

Yksityismetsänomistaja voi saada valtiolta tukea kestävän metsätalouden rahoituslain (Kemera) perusteella metsänhoito- ja metsänparannustöihin. Valtion osuus kokonaiskustannuksista vaihtelee tukivyohykkeittäin ja työlajeittain. Metsänuudistamista ja metsäteiden tekemistä lukuun ottamatta tuen määrä on yleensä vähintään puolet kokonaiskustannuksista. Uudistamiseen tähtäävä työ korvataan 20 – 55 prosenttisesti vyöhykkeestä riippuen.

Tukien vaikutus metsänomistuksen kannattavuuteen kiertoajalla on vähäinen. Eri metsänkasvatustietojen vertailuissa nämä tulisi kuitenkin huomioida. Valtion tuki puuntuotannolliseen metsänkasvatukseen oli vuonna 2013 noin 51 miljoonaa euroa. Jatkuvan kasvatuksen harjoittamisesta vähentää valtion tuki tiettyjen hoitotoimien jäädessä pois. Valtion tuista ja lainoista noin 43 prosenttia käytettiin vuonna 2013 taimikonhoitoon ja nuoren metsän kunnostukseen. Noin kuudesosa on kohdistunut metsänuudistamiseen ([www.metsakeskus.fi/kemeraseuranta](http://www.metsakeskus.fi/kemeraseuranta)). Näiden työlajien tarve vähenisi selvästi jatkuvan kasvatuksen menetelmiä käytettäessä.

Jos metsistä 10 prosenttia siirtyisi jatkuvaan kasvatukseen, eikä metsänuudistamista ja taimikonhoitoa tältä osin suoritettaisi, Kemera-tukien säästö olisi noin kolme miljoonaa euroa vuodessa. Tässä on oletettu, että tasaikäisen kasvatuksen uudistaminen tehtäisiin keinollisesti. Jos osa olisi luontaisesti uudistettu, Kemera-tuen säästö pienenesi tältä osin.

# KIRJALLISUUS

- Adams, D.M. & Ek, A.R. 1974. Optimizing the management of uneven-aged forest stands. *Canadian Journal of Forest Research* 4: 274–287
- Andreassen (1995). Long-term experiments in selectively cut Norway spruce (*Picea Abies*) forest. *Water, Air and Soil Pollution* 82:97-105
- Andreassen, K. & B–H. Øyen. 2002. Economic consequence of three silvicultural methods in uneven-aged mature coastal spruce forests of central Norway. *Forestry* 75, 483–488.
- 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, 167–178.
- Chang, S.J. 1981. Determination of the optimal growing stock and cutting cycle for an uneven-aged stand. *Forest Science* 27(4): 739–744.
- Chang, S.J. 1990. An economic comparison of even-aged and uneven-aged management of southern pine in the mid-south. In: *Proceedings of the Southern Forest Economics Workshop on Evaluating Even and All-Aged Timber management options for Southern Forest lands*. USDA Forest Service Southern Forest Experiment Station, General Technique Report SO-79. New Orleans, LA, s.45-52
- Chang, S.J., & Gadow, K.V. 2010. Application of the generalized Faustmann model to uneven-aged forest management. *Journal of Forest Economics* 16: 313–325.
- Eerikäinen, K., Valkonen, S. & Saksa, T. 2014. Ingrowth, survival and height growth of small trees in uneven-aged *Picea abies* stands in southern Finland. *Journal of Forest Ecosystems*, 1:5.
- Eikenes, B., Kucera, B., Fjærtøft, F., Storheim, O.N. & Vestøl, G.I. 1996. Virkeskvalitet i fleraldret skog. (Wood quality from uneven-aged forests). *Rapp. Skogforsk.* 24/95, 1–30.
- Elfving B. 2006. Produktion vid byte från trakthygge till blädning Ur: Karlsson B. (ed.). *Trakthyggesbruk och kontinuitetsskogsbruk med gran, en jämförande studie Redogörelse nr SkogForsk 5*, Uppsala..
- Elfving, B., Brunberg, T. & Karlsson, B., 2006. Granskogsbruk med och utan kalhyggen - produktion och ekonomi. Ur: Karlsson, B. (ed.), *Trakthyggesbruk och kontinuitetsskogsbruk med gran, en jämförande studie. Redogörelse nr 5*, SkogForsk, Uppsala.
- Getz, W.M. & Haight, R. G. 1989. *Population harvesting: demographic models for fish, forest and animal resources*. Princeton University Press, New Jersey.
- Gobakken, T., Lexerød, N.L. & Eid, T. 2008. T: A forest simulator for bioeconomic analyses based on models for individual trees. *Scandinavian Journal of Forest Research* 23: 250–265.
- Hagner, M. 2001. Computer-aided choice of trees for felling. *Forest Ecology and Management* 151: 151-161.

- Haight, R.G. 1985. Comparison of dynamic and static economic models of uneven-aged stand management. *Forest Science*. 31: 957–974
- Haight, R.G. 1987. Evaluating the efficiency of even-aged and uneven-aged stand management. *Forest Science*. 33: 116–134.
- Haight, R.G., Brodie, J.D. & Adams, D.M. 1985. Optimizing the sequence of diameter distributions and selection harvests for uneven-aged stand management. *Forest Science*. 31: 451–462.
- Haight, R.G. & Monserud, R.A. 1990. Optimizing any-aged management of mixed-species stands. II: Effects of decision criteria. *Forest Science* 36: 125–144.
- Hanewinkel, M. 2001. Economic aspects of the transformation from even-aged pure stands of Norway spruce to uneven-aged mixed stands of Norway spruce and beech. *Forest Ecology and Management* 151: 181–193.
- Hanewinkel, M. 2002. Comparative economic investigations of even-aged and uneven-aged silvicultural systems: a critical analysis of different methods. *Forestry*, Vol 75, No. 4: 473–481.
- Hoen, H. 1996. Økonomi og bledningsskogbruk – en teoretisk analyse. *Akt. Skogforsk* 3/96: 40–46.
- Hynynen, J., Ojansuu, R. & Eerikäinen, K. 2013. Metsänkäsittelyvaihtoehdot - mihin nykyiset kasvu- ja tuotosmallit riittävät? *Metsätieteen aikakauskirja* 1/2013: 91–96.
- Hyvän metsänhoidon suositukset. 2013. Päivitys 2012–2013. Tapio, The Forestry Development Centre.
- Hyytiäinen, K. 2003. Integrating economics and ecology in stand-level timber production. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja - The Finnish Forest Research Institute, Research Papers* 908. 42 s. + 5 osajulk.
- Hyytiäinen, K. & Tahvonen, O. 2002. Economics of forest thinnings and rotation periods for Finnish conifer cultures. *Scandinavian Journal of Forest Research* 17, 274–288.
- Hyytiäinen, K. & Tahvonen, O. 2003. Maximum sustained yield, forest rent or Faustmann, does it really matter? *Scandinavian Journal of Forest Research* 18, 457–469
- Hyytiäinen, K. & Haight, R.G. 2010. Evaluation of forest management systems under risk of wildfire. *European Journal of Forest Research* 129: 909–919
- Hyytiäinen, K. & Haight, R.G. 2012. Optimizing continuous cover forest management. In: von Gadow, K.; Pukkala, T., eds. *Continuous Cover Forestry*, 2nd Edition. New York, NY: Springer: 195–228.
- Imponen, V., Keskinen, S. & Linkosalo, T. 2003. Monimuotoisuus talousmetsän uudistamisessa – kuusikoiden käsittelyvaihtoehtojen vaikutukset puuntuotannon ja -hankinnan talouteen. *Metsätehon raportti* 163. 22 s.
- Kant, S. 1999. Sustainable management of uneven-aged private forests: a case study from Ontario, Canada. *Ecological Economics* 30: 131–146.
- Kenk G. 1994. Growth and Yield in Even-Aged and Uneven-Aged Silvicultural Systems in the conifer-dominated forests in Europe. *Innovative Silvicultural Systems in Boreal Forests*.

- Kniivilä, M., Horne, P., Hytönen, M. Jäppinen, J-P., Naskali, A., Primmer, E. & Rinne, J. 2011. Monia hyötyjä metsistä - ekosysteemipalveluiden yhteistuotanto ja tuotteistaminen. PTT raportteja 227. 66 s
- Knoke, T., Moog, M. & Plusczyk, N. 2001. On the effect of volatile stumpage prices on the economic attractiveness of a silvicultural transformation strategy. *Forest Policy and Economics* 2(3-4): 229-240.
- Knoke, T. & Plusczyk, N. 2001. On economic consequences of transformation of a spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) dominated stand from regular into irregular age structure. *Forest Ecology and Management* 151: 163–179.
- Kolström, T. 1993. Modelling the development of uneven-aged stand of *Picea abies*. *Scandinavian Journal of Forest Research* 8: 373-383.
- Kumela, H. & Hänninen, H. 2011. Metsänomistajien näkemykset metsänkäsittelymenetelmien monipuolistamisesta. [Verkkajulkaisu]. Metlan työraportteja 203. Saatavissa: <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2011/mwp203.htm>.
- Kuuluvainen, J. & Valsta, L. 2009. Metsäekonomian perusteet. *Gaudeamus*. 332 s.
- Kuuluvainen, T., Tahvonen, O. & Aakala, T. 2012. Even-aged and uneven-aged forest management in boreal Fennoscandia: a review. *Ambio* 41: 720-737.
- Laiho, O., Lähde, E. & Pukkala T. 2011. Uneven- vs even-aged management in Finnish boreal forests. *Forestry* 84(5): 547-556.
- Laki metsälain muuttamisesta 1085/2014.
- Lexerød, N. 2005. Recruitment models for different tree species in Norway. *Forest Ecology and Management* 206: 91–108.
- Lexerød, N. & Eid, T. 2005. Recruitment models for Norway spruce, Scots pine, birch and other broadleaves in young growth forests in Norway. *Silva Fennica* 39(3): 391–406.
- Lexerød N & Gobakken T. 2008. Economic efficiency of selective cutting under different timber price scenarios. In: *Planning, management, and economy of selective cutting in Norway*, Ed Lexerød N. Ås, Norwegian University of Life Sciences.
- Lundqvist, L., Chrimes, D., Elfving, B., Mörling, T. & Valinger, E. 2007 Stand development after different thinnings in two uneven-aged *Picea abies* forests in Sweden. *For. Ecol. Manage.* 238, 141–146.
- Lundqvist, L. & Nilson, K. 2007 Regeneration dynamics in an uneven-aged virgin Norway spruce forest in northern Sweden. *Scand. J. For. Res.* 22, 304–309.
- Lähde, E. 1991. Pään honkia. Arator, Helsinki.
- Lähde, E. 1992. Metsämafia. Hakapaino, Helsinki.
- Lähde, E., Laiho, O., Norokorpi, Y. & Saksa, T. 1992a Alternative silvicultural treatments as applied to advanced stands – research plan. *Julkaisussa: Silvicultural Alternatives. Proceedings from an Internordic Workshop June 22–25, 1992. M. Hagner (toim.). The Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Silviculture, s. 66–73.*
- Lähde, E., Laiho, O., Norokorpi, Y. & Saksa, T. 1992b Stand structure of thinning and mature conifer-dominated forests in boreal zone. *Julkaisussa: Silvicultural Alternatives. Proceedings from an Internordic Workshop June 22–25, 1992. M. Hagner (toim.). The Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Silviculture, s. 58–65.*

- Lähde E, Laiho O, Norokorpi Y, & Saksa T. 1994a. Structure and yield of all-sized and even-sized conifer-dominated stands on fertile sites. *Ann. For. Sci.* 51(2): 97-109.
- Lähde E, Laiho O, Norokorpi Y, & Saksa T. 1994b. Structure and yield of all-sized and even-sized Scots pine dominated stands on fertile sites. *Ann. For. Sci.* 51(2): 111-120.
- Lähde, E., Laiho, O., Norokorpi, Y. & Saksa, T. 1999 Stand structure as the basis of diversity index. *For. Ecol. Manage.* 115, 213–220
- Lähde, E., Laiho, O., Norokorpi, Y. & Saksa, T. 2001 Structure transformation and volume increment in Norway spruce-dominated forests following contrasting silvicultural treatments. *For. Ecol. Manage.* 151, 133–138.
- Lähde, E., Laiho, O., Norokorpi, Y. & Saksa, T. 2002 Development of Norway spruce-dominated stands after single-tree selection and low thinning. *Can. J. For. Res.* 32, 1577–1584
- Lähde, E., Laiho, O. & Lin, J. 2010a Silvicultural alternatives in an uneven-sized forest dominated by *Picea abies*. *J. For. Res.* 15, 14–20.
- Lähde, E., Laiho, O. & Pukkala, T. 2010b. Eri- ja tasarakenteiskasvatuksen vertailua Pohjoismaissa. *Metlan työraportteja* 176. 22s.
- Miina, J., Pukkala, T., Hotanen, J-P. & Salo, K. 2010. Optimizing the joint production of timber and bilberries. *Forest Ecology and Management* 259: 2065–2071.
- Mikola P. 1984. Selection forestry. *Silva Fennica* 18: 293-301.
- Modig, E., Magnusson, B., Valinger, E., Cedergren, J. & Lundqvist, L. 2012. Damage to Residual Stand Caused by Mechanized Selection Harvest in Uneven Aged *Picea abies* Dominated Stands. *Silva Fennica* 46(2): 267–274.
- Mohr C. & Schori C. 1999. Femelschlag oder Plenterung – Ein Vergleich aus betriebswirtschaftlicher Sicht Irregular Shelterwood System or Selection ('Plenter') System – a Comparison from an Economic Point of View. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen*: 1999/2, Vol. 150, No. 2, s. 49-55.
- Piispanen, R., Heinonen, J., Valkonen, S., Mäkinen, H., Lundqvist, S.-O. & Saranpää, P. 2014. Wood density of Norway spruce in uneven-aged stands. *Canadian Journal of Forest Research* 44(2): 136-144.
- Price, M. & Price, C. 2006. Creaming the best, or creatively transforming? Might felling the biggest trees first be a win-win strategy? *Forest Ecology and Management* 224: 297–303.
- Pukkala T & Kolström T. 1988. Simulation of the development of Norway Spruce stands using a transition matrix. *Forest Ecology and Management* 258: 409-414.
- Pukkala, T. 2005 Metsikön tuottoarvon ennustemallit kivennäismaan männiköille, kuusikoille ja rauduskoivikoille. *Metsätieteen aikakauskirja*. 2005, 311–322.
- 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.
- Pukkala, T., Lähde, E. & Laiho, O., 2010. Optimizing the structure and management of uneven-sized stands in Finland. *Forestry* 83: 129-142
- Pukkala, T., Lähde, E. & Laiho, O. 2011a. Using optimization for fitting individual tree growth models for uneven-aged stands. *European Journal of Forest Research* 130(5): 829–839.



- Pukkala, T., Lähde, E. & Laiho, O. 2011b. Metsän jatkuva kasvatusta (Continuous cover forestry). Joen Forest Program Consulting, Bookwell, Porvoo. 229 s.
- Pukkala, T., Lähde, E., Laiho, O., Salo, K. & Hotanen, J.-P. 2011c. 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., 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., Lähde, E. & Laiho, O. 2014a. Optimizing any-aged management of mixed boreal forests under residual basal area constraints. *Journal of Forestry Research* 25(3): 627-636.
- Pukkala, T., Lähde, E. & Laiho, O. 2014b. Stand management optimization – the role of simplifications. *Forest Ecosystems* 1(3).
- Pyörälä, J. 2013. Eri-ikäiskasvatuksen vaikutus kuusen puuaineen laatuun. Pro gradu – tutkielma. Helsingin yliopisto, maatalous-metsätieteiden tiedekunta, Helsingin yliopisto.
- Ralston, R., Buongiorno, J. & Fried, J.S. 2004. Potential yield, return, and tree diversity of managed, uneven-aged Douglas-fir stands. *Silva Fennica* 38(1): 55-70.
- Rummukainen, A., Alanne, H. & Mikkonen, E. 1995 Wood procurement in the pressure of change – resource evaluation model till year 2010. *Acta For. Fenn.* 248, 1–98
- Rämö, A.K., Horne, P. & Primmer, E. 2013 Yksityismetsänomistajien näkemykset metsistä saatavista hyödyistä. PTT raportteja 241. 107 s.
- Rämö, A-K, Emmi Haltia, Paula Horne & Harri Hänninen. 2011. Yksityismetsien puuntarjonta – puunmyynti-päätökseen vaikuttavat tekijät. PTT raportteja 226. 79 s.
- Rämö J. 2013. Optimal harvesting of uneven-aged single- and mixed-species forest stands in Fennoscandia. Master's Thesis, Forest economics and policy. University of Helsinki, Faculty of Agriculture and Forestry. 42 s.
- Saksa, T. & Valkonen, S. 2011 Dynamics of seedling establishment and survival in uneven-aged boreal forests. *For. Ecol. Manage.* 261, 1409–1414.
- Sánchez Orois, S., Chang, S.J. & Gadov, K.V. 2004. Optimal residual growing stock and cutting cycle in mixed uneven-aged maritime pine stands in northwestern Spain. *Forest Policy and Economics* 6: 145–152.
- Schulte, B.J. & Buongiorno, J. 1998. Effects of uneven-aged silviculture on the stand structure, species composition, and economic returns of loblolly pine plantations. *Forest Ecology and Management* 111: 83–101
- Siiskonen, H. 2007. The conflict between traditional and scientific forest management in the 20<sup>th</sup> century Finland. *Forest Ecology and Management* 249(1–2): 125–133.
- Silvennoinen, H., Alho, J., Kolehmainen, O. & Pukkala, T. 2001. Prediction models of landscape preferences at the forest stand level. *Landsc Urban Plan.* 56, 11–20.
- 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
- 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.
- Tahvonen, O., Pihlainen, S. & Niinimäki, S. 2013. On the economics of optimal timber production in boreal Scots pine stands. *Canadian Journal of Forest Research* 43(8): 719-73
- Tahvonen, O. 2007. Optimal choice between even and uneven-aged forest management systems. Finnish Forest Research Institute, Working Papers 60.
- Tahvonen, O. 2009. Optimal choice between even- and uneven-aged forestry. *Natural Resource Modeling* 22(2): 289–321.
- Tahvonen, O. 2011. Optimal structure and development of uneven-aged Norway spruce forests. *Canadian Journal of Forest Research* 41(12): 2389–2402.
- Tahvonen, O. & Viitala, E–J. 2006. Does Faustmann rotation apply fully regulated forests? *Forest Science* 52(1): 23–30.
- Tarp, P., Helles, F., Holten-Andersen, P., Larsen, J.B. & Strange, N. 2000. Modelling near-natural silvicultural regimes for beech – an economic sensitivity analysis. *Forest Ecology and Management* 130: 187–198.
- Tilli, T., Rämö, A-K., Maidell, M., Toivonen, R. & Kärki, L. 2009. Metsänomistajien näkemyksiä metsätalouden kannattavuudesta ja puun tarjonnasta vuoteen 2015. Pellervon taloudellisen tutkimuslaitoksen raportteja nro 123. 125 s.
- Trasobares, A. & Pukkala, T. 2004. Optimizing the management of uneven-aged *Pinus sylvestris* L. and *Pinus nigra* Arn. mixed stands in Catalonia, north-east Spain. *Annals of Forest Science* 61(8): 747–758.
- Vaara, L. 1990. Oikeus omaan metsään. Pellon ja metsän eriyttämisen erehdys. WSOY, Helsinki.
- Valkonen, S., Siren, M. & Piri, T. 2010. Poiminta- ja pienaukkohakkuut – vaihtoehtoja avohakkuulle. Metsäkustannus Oy, Helsinki. 125 s.
- Valsta, L. 2002. Economic evaluation of uneven-aged management. In: Continuous cover forestry: Assessment, analysis and scenarios. *Managing forest ecosystems 4*. Edited by K. von Gadow, J. Nagel and J. Saborowski. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. 348 s.
- Verkasalo, E., Kilpeläinen, H. & Ihalainen A. 2013. Viljeltyjen ja luontaisesti syntyneiden metsien puutavaralajit. Poster. Metsätutkimuslaitos.  
<http://www.metla.fi/uutiskirje/puu/2013-03/viljeltyjen-luontaisesti-jne.pdf>
- Wikberg, P.E. & Elfving, B., 2004. Modelling ingrowth of saplings into the tree layer in Swedish forests. *Julkaisussa: Occurrence, morphology and growth of understorey saplings in Swedish forests. Väitöskirja. Silvestria* 322, Umeå.
- Wikström, P. 2000. A solution method for uneven-aged management applied to Norway spruce. *Forest Science* 46(3): 452–463.

- Wikström, P. 2001. Effect of decision variable definition and data aggregation on a search process applied to a single-tree simulator. *Canadian Journal of Forest Research* 31(6): 1057-1066.
- Wikström 2008. Jämförelse av ekonomioch produktion mellan trakthyggesbruk och blädning i skiktad granskog - analyser på beståndsnivå baserade på simulering. Rapport 24. Skogsstyrelsen
- Yousefpour, R. & Hanewinkel, M. 2009. Modelling of forest conversion planning with an adaptive simulation-optimization approach and simultaneous consideration of the values of timber, carbon and biodiversity. *Ecological Economics* 68: 1711–1722.
- Äijälä, O., Koistinen, A., Sved, J., Vanhatalo, K. & Väisänen, P. (toim.) 2014. Metsänhoidon suositukset. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapion julkaisuja.

# LIITTEET

Tutkimus	Wikström (2000)*	Hagner (2001)	Andreasen & Oyen (2002)	Eifving ym. (2006)	Tahvonen (2007, 2009)	Gobakken ym. (2008)
Tutkimuksen tarkoitus	Muodostaa analyttinen viitekehikko, eikä tutkia parasta metsänkäsitteilyä kolmella erilaisella lähtöpuustolla ja kolmella mallilla.	Hakattavien puiden valinta tietokoneavulla. Mallia testattiin vertaamalla tasa- ja eri-ikäiskasvatuksen nykyarvoa, nettotuottoja ja kustannuksia.	Tutkittiin kolmen eri metsänkäsitteilyn (poimintahaku, plenukkohakkuu ja avohakkuu) vaikutusta nettotyöarvoon. Herkkyysanalyysillä selvitettiin eri tekijöiden vaikutuksia tuloksiin.	Tutkittiin kahdella eri alueella sijaitsevilla lähtöpuustolla tasa- ja eri-ikäiskasvatustulosten kannattavuutta.	Teoreettinen malli optimallisen metsänkäsitteilyn määrittämiseksi. Ei tarkoitettu taloudelliseen vertailuun.	Pääasiallinen tarkoitus oli tutkia T-simulaattorin toimivuutta. Simulaattorin avulla verrattiin tasa- ja eri-ikäiskasvatustulosten kannattavuutta.
Optimointi / ei optimointia	Optimointi	Ei optimointia, empiirinen kokeilu, ennalta määritellyt käsitteilyt, simulaatio	Ei optimointia, empiirinen kokeilu, ennalta määritellyt käsitteilyt, simulaatio	Ei optimointia, empiiriset mittaukset, ennalta määritellyt käsitteilyt, simulaatio	Optimointi	Ei optimointia, ennalta määritellyt käsitteilyt, simulaatio
Mallin spesifointi	Yhden puun malli			Yhden puun malli	Siirtymämatriisi	Yhden puun malli
Metsänkäsitteily	Eksogeeninen	Eksogeeninen	Eksogeeninen	Eksogeeninen	Endogeeninen	Eksogeeninen
Asetetut rajoitteet eri-ikäiskasvatukselle	Hakkuumäärä, puuston kasvu, hakkuun jälkeinen puuston tilavuus, siirtymäaika, kynnyskasvu	Hakkuumäärä, puuston kasvu	Hakkuumäärä, puuston kasvu	Hakkuumäärä, puuston kasvu		Runkoluku, hakkuumäärä- ja läpimitta, hakkuukierron pituus
Lähtöpuusto	3 lähtöpuustoa	12 lähtöpuustoa	6 lähtöpuustoa	2 lähtöpuustoa	1 lähtöpuustoa	6 lähtöpuustoa
Alue	Keski-Ruotsi	Etelä-Ruotsi - Pohjois-Ruotsi	Keski-Norja, rannikkoalue	Pohjois-Ruotsi, Keski-Ruotsi	Itä-Suomi	Keski-Itäinen Norja
Kasvupaikka	H100 = 28 (MT, 1100 - 1200 d.d)	H40 = 16	Tuone kangas (Ei-Piceetum myrtilletusum/dryogiteridetosum)	H40 = 15-19.2	OMT, MT	H40 = 14 m
Puuajit	Kuusi	Mänty (kuusi ja koivu)	Kuusi	Kuusi	Kuusi	Kuusi ja mänty
Keski-ikä, luokka tms.	1. TASA: 64 vuotias metsikkö, 2. TASA: Laajempi runkolukujakauma, sama puuston tilavuus 3. ERI: Tasapainotila, sama puuston tilavuus	TASA: Uudistuskypsä	TASA: Uudistuskypsä, kehitysluokka V, keski-ikä 82-138	ERI: keski-ikä 90-140	ERI: x0 =[682, 322, 188, 123, 86, 64, 48, 38, 30, 24]	ERI: 4 puustoa, TASA: 2 puustoa
Laskentajakso	1. Infinitte-malli: 100, 150, 200 vuotta, 2. ja 3. malli: rajoitettu aika siirtymälle.	100-120 vuotta	Infinitte-malli. Epävarmuus lisääntyi 60 vuoden simuloinnin jälkeen.	TASA: kiertoaika. ERI: 3-5 hakkuuta	Infinitte-malli: käytäen enimmillään 1500 periodia.	100 vuotta (20 x 5 vuotta)
Eri-ikäismetsikkö						
Hakkuukierto: vuosia	10-20	15	20-40	22-45	10-12	30
Puuston kasvu: m3/ha/v	~ 3,1 - 3,2	3	Ei raportoitu	2,3-4,8	7-7,6	K: 5,4-7,2; M: 4,8-6,2
Tulot						
Puun kantohinta	Ei raportoitu	ERI: Puun laadulle hintapreemio	Tukkipuu: 55 e/m <sup>3</sup> , kuitupuun: 35 e/m <sup>3</sup>	Tukkipuu: 389 sek/m <sup>3</sup> sub, kuitupuun 277 kr/m <sup>3</sup> sub	Tukkipuu: 46 e/m <sup>3</sup> , kuitupuun: 20 e/m <sup>3</sup>	Tukkipuu: 56-62 e/m <sup>3</sup> , kuitupuun: 22-31 e/m <sup>3</sup>
Kustannukset						
Hakkuukustannukset	Muuttuvat ja kiinteä	Muuttuvat	Muuttuvat ja kiinteä (hallinto)	Muuttuvat	ei huomioitu	Muuttuvat
Mh-kustannukset	x	x	x	x	ei huomioitu	x
Muut parametrit						
Laskentakorke	3%	3%	2-4%	2%	0,2%, n. 3%	3%
Tulos						
NPV: ERI / TASA	70% - 96%	93% - 177% (208%)	63% - 85%	69% - 84%	129% - 132%	< 100%
Puuntuotos: ERI / TASA	50%	100%	85% - 95%	62% - 83%		> 100%
Ekologiset mallit /						
Puuston kasvu: tilavuus	Söderberg (1986), Jonsson (1980)	Eifving (2000)	BESTPROG (Blingsmo & Veidahl 194)	ProdMod (Ekö 1985)	Pukkala & Kolström (1988), Kolström (1993)	Bollandsås (2007)
Puuston kuolleisuus	Söderberg (1992)					Bollandsås (2007)
Puuston kuolleisuus	Bengtsson (1978), Söderberg (1986)		Oyen (2000)			Eid & Tuhus (2001)
Uudistuminen, kynnyskasvu	Ei mallia, kiinteä				Kolström (1993)	Lexerod (2005)
Hakkuukustannukset	Ei raportoitu, (cf. Wikström & Eriksson)	Kokeellinen	Kokeellinen	Brunberg (1995, 1997, 2004)		Dale ym. (1993), Dale & Starnim (1994)

\* Tulokset kuvastavat infinitte-mallin tuloksia.

Tutkimus	Lexerod & Gobakken (2008)	Wikström (2008)	Tahvonnen ym. (2010)	Pukkala ym. (2010)	Tahvonnen (2011)
Tutkimuksen tarkoitus	Tuokittiin T-simulaattorilla kahden hintaskenaarion (kuitupuun hinta ja tuikin hintamatriisi) vaikutusta 12 erilaisiin lähtöpuuston metsänkäsitteilyyn.	Tuokittiin 12 erilaisella lähtöpuustolla, miten kolmen eri intensiteetin hakkuut vaikuttavat metsänkäsitteilyyn talouteen.	Optimoitiin puuntuotannollisesti ja taloudellisesti optimaalinen metsänkäsitteily yhdellä alkupuustolla ja yhdellä alueella ja verrattiin kolmella erilaisella lähtöpuustolla tasa- ja erikäsikävatukseen nettonykyärvä.	Tutkimuksessa optimoitiin nettonykyarvon maksimoiva erikrakenteisen metsikön tasapainotila.	Tutkimuksessa optimoitiin puuntuotannollisesti ja taloudellisesti optimaalinen metsänkäsitteily yhdellä alkupuustolla viidellä eri alueella.
Optimointi / ei optimointia	Ei optimointia, ennalta määritellyt käsitteilyt, simulaatio	Optimointi, ennalta määritellyt käsitteilyt, simuloiti.	Optimointi	Optimointi	Optimointi
Mailin spesifointi	Yhden puun malli	Yhden puun malli	Siirtymämatriisi	Yhden puun malli	Yhden puun malli
Metsänkäsitteily	Eksogeeninen.	Eksogeeninen	Endogeeninen	Eksogeeninen	Endogeeninen
Asetetut rajoitteet erikäsikävatukselle	Hakkuumäärä- ja -läpimitta	Hakkuumäärä			
Lähtöpuusto	12 lähtöpuustoa	6 lähtöpuustoa	4 lähtöpuustoa		1 lähtöpuusto
Alue		Keski-Ruotsi, Pohjois-Ruotsi	Suomi (1200 d.d.)	Suomi (900, 1100, 1300 d.d)	Suomi (900, 1000, 1100, 1200, 1300 d.d.)
Kasvupaikka	Kuusi:H40 = 9-19,6; Mänty:H40 = 8,2-11,7	H40 = 18-24	OMT, MT	Kuusi (OMT, MT), mänty (MT, VT)	MT
Puulajit	Kuusi ja mänty	Kuusi ja mänty	Kuusi	Kuusi ja mänty	Kuusi
keski-ikä, luokka tms.	ERI: 4 sopivaa, 4 keskinertaisesti sopivaa, 4 ei sopivaa	TASA: keski-ikä: 79-144 vuotta	1) ERI: [282,117,73,45,28,17,11,7,4,3], 2) ERI: optimaalinen, [76,53,47,45,43,35,17,3,0,0], 3) TASA: 35-45v.: [450,600,450,0,...,0], 4) TASA: lähes uudistuskypsä [0,0,0,0,20,80,140,135,0,0]	ERI: Yhden hakkuun jälkeen optimaalinen erikräakenne	ERI: optimaalinen
Laskentajako	100 vuotta (20 x 5 vuotta)	TASA: Optimoitu kiertosaika. ERI: 3 hakkuuta tai vähintään 60 vuotta.	Enimmillään 800 periodia.		100-350 periodia
Eri-ikäismetsikkö					
Hakkuukiertov: vuosia	ei raportoitu	9-36	12-15	20	20
Puuston kasvu: m <sup>3</sup> /ha/v	K: (2,3) 4,4-7,8; M: 1,6-3,7	3,5-3,7 (ka. nettokasvu)	~4,6-5,1 (r=5-5,6)	5,3	3,59-4,92
Tulot					
Puun kantohinta		Tukkipuu: 528-810 kr/m <sup>3</sup> , kuitupuun: 300 kr/m <sup>3</sup> .			
Kustannukset					
Hakkuukustannukset	Muuttuvat	Muuttuvat ja kiinteät	Muuttuvat ja kiinteät	Muuttuva	Muuttuvat ja kiinteät
M/h-kustannukset	x	x	x	x	x
Muut parametrit					
Laskentakorke	2-4 %	1-3 %	0-5%	1-5%	1-4%
Tulos					
NPV: ERI / TASA	Ka.: 75%-105%	31%-95% (106%)	> 100 %	97 % -> 1000 %	80 % -> 480 %
Puuntuotos: ERI / TASA	Ka.: 89%-119%	~97%-100%	n. 90 %		67%-77 %
Ekologiset mallit /					
Puuston kasvu: tilavuus	Bollandsås (2007)	Eifving (2004, 2005), Söderberg (1986)			
Puuston kasvu: korkeus	Bollandsås (2007)	Söderberg (1992)			
Puuston kuolleisuus	Eid & Tuhus (2001)	Bengtsson (1978), Söderberg (1986) , Fridman & Ståhl (2001)			
Uudistuminen, kynnyskasvu	Lexerod (2005)	Eifving (2003), Wikberg och Eifving (2005)			
Hakkuukustannukset	Dale ym. (1993), Dale & Stamm (1994)	Brunberg (1995), Brunberg (1997), Brunberg (2004)			
* Tulokset kuvastavat infinite-mallin tuloksia.					

### **PTT julkaisuja, PTT publikationer, PTT publications**

22. Hanna Karikallio. 2010. Dynamic Dividend Behaviour of Finnish Firms and Dividend Decision under Dual Income Taxation
21. Satu Nivalainen. 2010. Essays on family migration and geographical mobility in Finland
20. Terhi Latvala. 2009. Information, risk and trust in the food chain: Ex-ante valuation of consumer willingness to pay for beef quality information using the contingent valuation method.
19. Perttu Pyykkönen. 2006. Factors affecting farmland prices in Finland

### **PTT raportteja, PTT rapporter, PTT reports**

247. Hietala, J., Alhola, K., Horne, P., Karvosenoja, N., Kauppi, S., Kosenius, A-K., Paaunu, V-V., Seppälä, J. 2014. Kaivostoiminnan taloudellisten hyötyjen ja ympäristöhaittojen rahamääräinen arvottaminen.
246. Holm, P. ja Kerkelä, L. 2014. Voisiko Suomi seurata Ruotsin ja Norjan esimerkkiä? Näkökohtia perintö- ja lahjaverosta sekä luovutusvoittoverosta.
245. Kerkelä, L., Lahtinen, M., Esala, L., Kosunen, A. ja Noro, K. 2014. Suomen pitkän aikavälin energia- ja ilmastopolitiikka ja teollisuuden kilpailukyky.
244. Kosenius, A-K., Haltia, E., Horne, P., Kniivilä, M. and Saastamoinen O. 2013. Value of ecosystem services? Examples and experiences on forests, peatlands, agricultural lands, and freshwaters in Finland.
243. Jauhiainen S. 2013. Pikkukaupunkeja ja reunakuntia – Työssäkäynti-alueiden ulkopuoliset kunnat kuntauudistuksessa
242. Rinta-Kiikka, S., Pyykkönen, P., Ylätaalo, M. 2013. Osakeyhtiömuotoinen maatalous Suomessa.

### **PTT työpapereita, PTT diskussionsunderlag, PTT Working Papers**

162. Kämäräinen, S., Rinta-Kiikka, S. ja Yrjölä, T. 2014. Maatilojen välinen yhteistyö Suomessa
161. Kniivilä, M., Kosenius, A.-K. ja Horne, P. 2014. Luontoarvopankkien hyödyt ja haitat sekä soveltuvuus Suomeen
160. Peltoniemi, A., Arovuori, K., Niemi, J. ja Pyykkönen, P. 2014. Lihasektorin hintarakenteet.
159. Holm, P. ja Lahtinen, M. 2014. Energia- ja ilmastopolitiikan aiheuttama kustannuspaine teollisuudelle ja kotitalouksille.
158. Pakarinen, S., Arovuori, K. and Pyykkönen, P. 2014. Kasvisten hintojen välittyminen Suomen markkinoille
156. Alho, E., Holappa, V., Lahtinen, M., Pakarinen, S. 2014. Alueellisten asuntomarkkinoiden kehitys vuoteen 2016
155. Arovuori, K. ja Saastamoinen O. 2013. Maatalouden ekosysteemipalveluiden luokittelu Suomessa
154. Kniivilä, M. ja Saastamoinen O. 2013. Markkinat ekosysteemipalveluiden ohjaus- ja edistämiskeinona