

Metsätehon raportti 163
29.12.2003

**Monimuotoisuus talousmetsän
uudistamisessa – kuusikoiden kä-
sittelyvaihtoehtojen vaikutukset
puuntuotannon ja -hankinnan
talouteen**

Vesa Imponen
Sirkka Keskinen
Tapio Linkosalo

Monimuotoisuus talousmetsän uudistamisessa – kuusikoiden käsittelyvaihtoehtojen vaikutukset puuntuotannon ja -hankinnan talouteen

**Vesa Imponen
Sirkka Keskinen
Tapio Linkosalo**

Metsätehon raportti 163
29.12.2003

Ryhmähanke: A. Ahlström Osakeyhtiö, Koskitukki Oy, Kuhmo Oy, Metsähallitus, Metsäliitto Osuuskunta, Metsäteollisuus ry, Pölkky Oy, Stora Enso Oyj, UPM-Kymmene Oyj, Vapo Timber Oy ja Visuvesi Oy

Asiasanat: monimuotoisuus, harsinta, pienaukkohakkuu, säästöpuut, korjuukustannukset, hakkuusuunnite

© Metsäteho Oy

Helsinki 2003

SISÄLLYS

| | |
|--|-----------|
| ALKUSANAT | 4 |
| TIIVISTELMÄ | 5 |
| 1 JOHDANTO | 7 |
| 2 UUDISTAMISVAIHEEN METSÄTÖIDEN AJANMENEKKI JA KUSTANNUKSET | 8 |
| 3 KUUSIKOIDEN KÄSITTELY- JA KEHITYSVAIHTOEHDOT ... | 11 |
| 4 METSIEN KÄSITTELYTAPOJEN VAIKUTUKSET HANKINTAJÄRJESTELMÄSSÄ | 17 |
| 5 TARKASTELU | 20 |
| VIITTEET | 22 |

ALKUSANAT

Kuusimetsät ovat yhä tärkeämpi raaka-ainelähde metsäteollisuudelle, ja monipuolisesti hyödynnettävissä olevasta kuusesta alkaa esiintyä niukkuutta. Toisaalta metsien monimuotoisuuden ylläpitämis- ja parantamistavoitteet korostuvat nimenomaan rehevämpien kuusta tuottavien kasvupaikkojen osalta. Tutkimustarve tällä alueella tiedostettiin, ja Metsätehon aloitteesta ryhdyttiin kokoamaan vuonna 1994 laajaa *Monimuotoisuus talousmetsän uudistamisessa* -hanketta (MONTA). Siihen osallistuivat Metsätehon lisäksi Metsäntutkimuslaitos, Helsingin yliopiston ekologian ja systematiikan sekä Jyväskylän yliopiston bio- ja ympäristötieteiden laitokset.

Metsäteho vastasi käynnistysvaiheessa hankkeen koordinaatiosta ja vuonna 1995 Metsätehon suurimpien osakkaiden mailla käynnistettyjen kokeiden järjestelystä yhdessä biologien kanssa. Tutkimuksen maastokokeet sijaitsevat Tornator Oy:n, Metsähallituksen, Metsä-Serla Oyj:n sekä UPM-Kymmene Oyj:n metsissä.

Hankkeessa on tutkittu maastokokein kuusikon uudistushakkuiden erilaisten muunnelmien toimivuutta biologisen monimuotoisuuden kannalta. Lisäksi vaihtoehtoisia käsittelytapoja tarkasteltiin puuntuotannon ja -hankinnan talouden näkökulmasta. MMT Tapio Linkosalo toteutti kuusikoiden erilaisia toimenpideketjuja koskevat laskelmat professori Lauri Valstan asiantunteudesta hyödyntäen.

Hankkeen eri osatutkimukset saivat julkista rahoitusta maa- ja metsätalousministeriöstä, Metsämiesten Säätiöstä, Maj ja Tor Nesslingin Säätiöstä sekä Suomen Akatemiasta. Vuodesta 1997 maa- ja metsätalousministeriön rahoitus on tullut Suomen Akatemian biodiversiteetti-tutkimusohjelman kautta.

TIIVISTELMÄ

Korjuukustannusero kuusikoiden avohakkuun säästöpuuhakkuun sekä pienaukkohakkuun välillä jäivät vähäisiksi; hakkuussa ajanmenekit vaihtelivat uudistushakkuumenetelmästä riippuen 1 - 2 %. Harsintahakkuussa runko-kohtaiset ajanmenekit olivat kokoluokittain tarkastellen 20 - 40 % suuremmat kuin avohakkuussa. Korkeampi ajanmenekki johtui jäävän puuston varomisesta. Korjuulohkotasolla poistettavien runkojen suuri keskikoko pienensi harsinnan ajanmenekkieroa muihin käsittelytapoihin verrattuna, ja harsintahakkuun tuotos oli noin 5 % pienempi muihin käsittelytapoihin verrattuna. Seuraavilla harsintakerroilla runkojen koko tulee olemaan todennäköisesti kuitenkin pienempi.

Metsäkuljetuksesta ei tehty aikatutkimusta, mutta eri käsittelytapojen välisiä eroja kuljetuksen tuottavuudessa tarkasteltiin laskennallisesti Metsätehon kustannustenlaskentaohjelmistolla. Harsinnassa korjattava puumäärä on pinta-alayksikköä kohti pienempi, mikä lisää kuormakohtaista ajanmenekkiä. Myös pienaukkohakkuissa kuljetus lienee hitaampaa kuin muissa hakkuutavoissa.

Hakkuun ja metsäkuljetuksen alempi tuottavuus nostaa harsintahakkuun yksikkökustannukset noin 10 % korkeammiksi kuusikoiden päätehakkuihin verrattuna. Kustannuseroja tarkasteltaessa on kuitenkin otettava huomioon harvennuksista ja uudistushakkuusta muodostuvan toimenpideketjun kokonaiskustannukset. Nykyisillä käsittelytavoilla korjattavan eri hakkuutavoista kertyvän kuusipuutavaran keskikustannus on noin 15 % suurempi kuin harsintaan perustuvassa korjuussa.

Hakkuutapojen välisiä eroja tarkasteltaessa on otettava huomioon, että harsinnan osalta oli kysymys vasta ensimmäisestä metsikön eri-ikäisrakenteeseen tähtäävästä toimenpiteestä. Varsinaisessa jatkuvassa kasvatuksessa hakkuut voivat olla erilaisia.

Maanmuokkauksen ajanmenekki ei juurikaan riippunut käsittelyvaihtoehdosta. Viljelykohtien laadussa ei ollut muita kuin maan kivisyydestä johtuvia eroja. Työkustannuserot maanmuokkauksessa ja istutuksessa olivat merkityksettä.

Pienaukkohakkuuta ja harsintaa koskevia puuntuotannollisia analyysejä ei toteutettu niitä koskevan tietämyksen yleisen vähäisyyden sekä kasvumallien keskeneräisyyden vuoksi. Säästöpuiden, kiertoaikojen ja suojelun vaikutusta tuleviin hakkuumääriin tarkasteltiin MELA-metsikkösimulaattorin Stand Management Assistant (SMA) -version sekä Metsätehon kehittämän alueellisten metsänkäsittelyvaihtoehtojen optimointimallin avulla. Vaihtoehtolaskelmissa MT-kuusikoiden oletettiin olevan tarkastelujakson alkuvaiheessa normaalimetsätilassa, ja myöhempi kehitys ohjautui asetettujen kestävyyksvaatimusten ja muiden rajoitteiden mukaisesti.

Suojelu vähensi tutkimuksessa tehtyjen mallianalyysien mukaan kuusiraaka-aineen pitkän aikavälin kestäviä hakkuumahdollisuuksia suorassa suhteessa siihen varattuun pinta-alaan, mikä on luonnollisesti odotusten mukainen tulos. Tämä pätee kaikissa sellaisissa tapauksissa, joissa normaalimetsän vanhimpien metsiköiden ikä on korkeimman metsänkoron kiertoaikaa suurempi. Puuntuotannon rahamääräinen keskituotto aleni suojelun vuoksi kuitenkin enemmän kuin hakattavissa olevat puumäärät.

Säästöpuiden jättäminen vähentää suoraan pätehakkuiden ainespuukertymiä, ja yhdessä suojelun kanssa kestävien hakkuumahdollisuuksien aleneminen voi olla merkittävää riippuen hakkuiden ulkopuolelle jätettävistä pinta-aloista ja puumääristä. Joskin nykyisten ohjeiden mukaan säästöpuumäärät ovat verraten pieniä ja puuntuotannollisilta vaikutuksiltaan vähäisiä, ja toisaalta samasta syystä niiden ekologinen merkityskään ei ole niin selvä.

Pitemmät kiertoajat voisivat olla lahoppumäärän ja monimuotoisuuden kannalta tavoiteltavia. Kiertoaikojen yhtäkkinen, kaikkia metsiköitä koskeva pidentäminen johtaisi kuitenkin hakkuumahdollisuuksien merkittävään alenemiseen.

Metsien käsittelyssä sovellettava hakkuualojen koko on hankintakustannusten ja puutavaralogistiikan kannalta keskeinen kustannustekijä. Korjuutoimintaa käytännönläheisesti kuvaavat, hankinta-alueen mittakaavassa tehdyt mallitarkastelut osoittivat, että samalla kertaa korjattavien työmaiden tai lohkojen koko vaikuttaa korjuukustannuksiin enemmän kuin aiempien tutkimusten perusteella on oletettu. Korjuuresurssien mitoitusta ratkeaa pitkälti organisaatioyksikön huippukauden kalustotarpeen mukaan. Työmaiden pieneminen lisää koneiden siirtoja ja nostaa tätä kautta maksimiresurssitarvetta, ja sen seurauksena muina vuodenaikoina on liikaa konekapasiteettia.

Kuusikoiden käsittelytapojen mahdollinen uudistaminen voi olla rajattua ja vain sopivimpia kasvupaikkoja koskevaa. Esimerkiksi pienaukkohakkuut voisivat olla käytössä vain joillakin metsäalueilla, jolloin vaikutukset korjuukustannuksiin myös jäisivät vähäisiksi. Puutavaran kuljetuksissa työmaiden koon pienentäminen johtaa lisääntyneeseen keräilyajoon, mutta jos kysymyksessä on vain nykyisten metsänkäsittelyvaihtoehtojen hallittu täydentäminen, lisäkustannukset jäävät pieniksi.

Näihin päiviin saakka metsien käsittelyn kehittämistä on haitannut totaaliin kaikki luonnossa esiintyvät tapaukset kattavaan muutokseen tähtäävä ajattelutapa, joka ei ole perusteltu metsäluonnon suojelunkaan näkökulmasta. Metsäalueiden olosuhdevaihtelun kannalta sopiva metsienkäsittelyvaihtoehtojen lisääminen ei johda puuntuotanto- ja hankintajärjestelmän puolella katastrofiin. Tehdashintaa suhteellistettuna jo 1 - 2 % kustannusten nousu mahdollistaisi verraten suuria muutoksia metsien käsittelyssä. Toisaalta metsäteollisuuden tiukassa kilpailutilanteessa pienehkökin kustannusten kasvu voi johtaa markkinoiden menetyksiin.

1 JOHDANTO

Metsien kasvatusta on taloudellisena toimintana kysyntälähtöistä. Markkinoiden tarpeet ovat muokanneet kehityksen edetessä metsäteollisuuden tuotantorakenteita, mikä on puolestaan vaikuttanut kullakin aikakaudella harjoitettavan puuntuotannon toimintamalleihin ja menetelmiin. Metsätaloudessa realistisiin taloudellisiin ja yhteiskunnallisiin vaatimuksiin on mukauduttu yleensä nopeasti, ja vaihtoehtoisten metsänkäsittelytapojen perusteellisempi tutkiminen on usein käynnistetty vasta silloin, kun muutokset toimintamalleihin ja menetelmiin on jo tehty. Näin kävi myös viime vuosikymmenen aikana monimuotoisuuden ylläpitämisen korostuessa metsien käsittelytapojen kehittämisessä.

Uudistusaloille alettiin jättää säästöpuuta tuntematta kovin syvällisesti niiden ekologian merkitystä. Myös luontokohteiden suojelu vakiintui lakisääteiseksi käytännöksi. Lisäksi harvennus- ja uudistushakkuisiin perustuvan metsikkötalouden soveltamisperusteet on kyseenalaistettu, ja metsien kasvatusta eri-ikäisrakenteisina sekä harsinta ovat olleet pysyvästi keskusteluaiheena ja tutkimuskohteena. Laajassa yhteistutkimuksessa *Monimuotoisuus talousmetsän uudistamisessa* lähdettiin osaltaan hakemaan vastauksia näihin ajankohtaisiin puuntuotannon ja metsien eliöstön keskinäisiin yhteyksiin liittyviin ongelmiin.

Vuodesta 1994 saakka käynnissä olleessa MONTA-hankkeessa on keskitytty selvittämään maastokokein kuusikoiden uudistamishakkuiden erilaisten muunnelmien vaikutusta kasvupaikkojen eliöstöön, korjuuseen ja maanmuokkaukseen. Metsäteho Oy vastasi tutkimuksen teknis-taloudellisesta osaprojektista. Kokeellisen, uudistamisvaiheen metsätöitä koskevan tutkimuksen lisäksi tavoitteena oli tarkastella puuntuotantoa ja -hankintaa kuvaavien mallien avulla erilaisten kuusikoiden käsittelytapojen vaikutuksia hakuumahdollisuuksiin, raaka-ainepohjaan sekä puuntuotannon ja -hankinnan kustannuksiin. MT-kuusikoiden käsittelyä sekä hankinta-alueen korjuuoperaatioita mallinnettiin aluetasolla, mutta nämä osatutkimukset eivät liittyneet kuitenkaan suoraan maastokokeisiin ja niiden tuloksiin, vaan niissä hyödynnettiin erillisiä aineistoja ja aiempaa tutkimusta.

Kuusikoiden käsittelyvaihtoehtoja analysoitiin laskennallisesti teknis-taloudelliselta kannalta useista eri näkökulmista, mutta kokonaisemman puuntuotanto- ja hankintajärjestelmän kattavan systeemanalyysin toteuttaminen ei ollut mahdollista. Sen vuoksi myös aineistoja, menetelmiä ja tuloksia käsitellään tässä raportissa osatehtävittäin, ja synteesi kuusikoiden erilaisten käsittelytapojen taloudellisista vaikutuksista jää pitkälle arvioiden varaan. Lisäksi harsinta- ja pienaukkohakkuuta koskeva puuntuotannollinen tietämys osoittautui toistaiseksi vielä varsin puutteelliseksi, ja käsittelyvaihtoehtojen vertailussa voitiin ottaa huomioon ainoastaan säästöpuiden, kiertoaikojen ja täydellisen suojelun vaikutuksia hakkuumahdollisuuksiin.

2 UUDISTAMISVAIHEEN METSÄTÖIDEN AJANMENEKKI JA KUSTANNUKSET

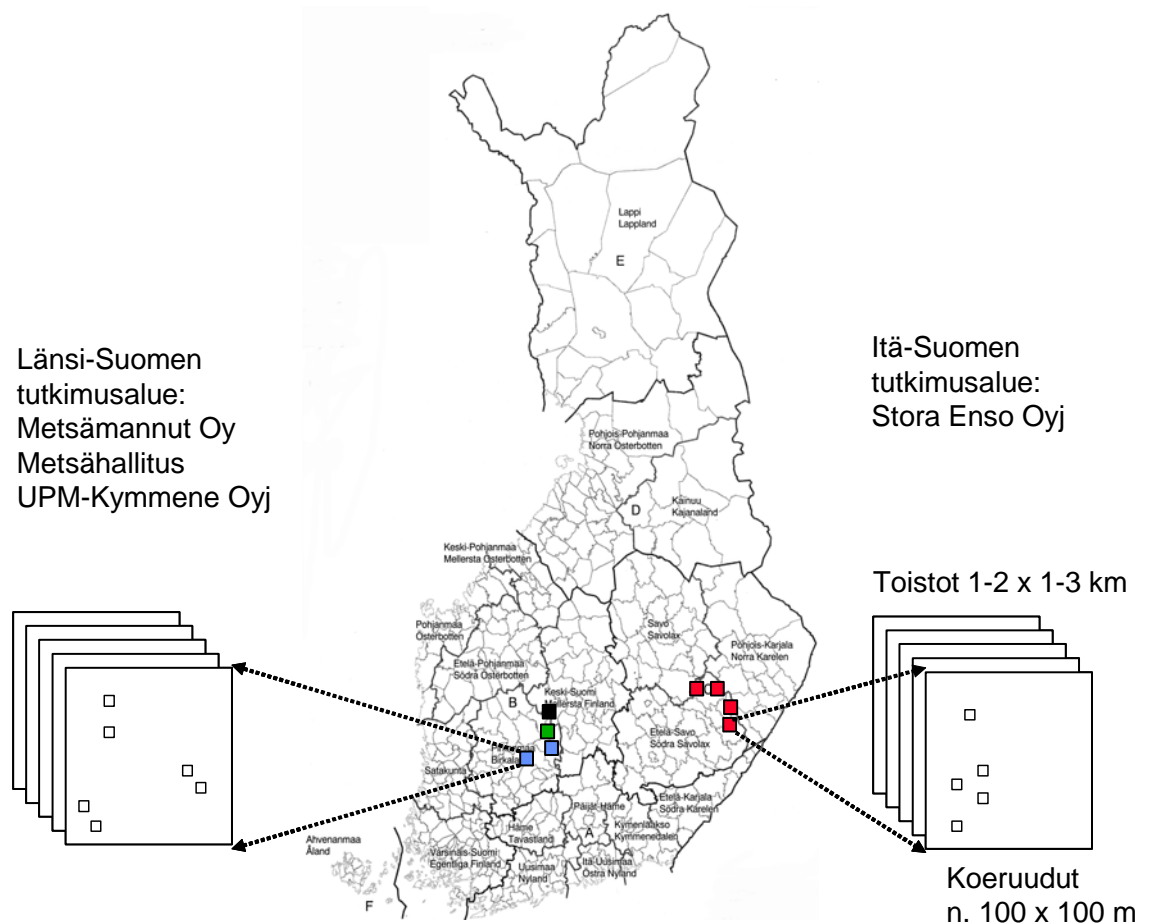
Aineistot ja menetelmät

Metsätöiden tuottavuutta tutkittiin samoilla Itä- ja Länsi-Suomen tutkimusalueilla ja koealoilla kuin biologista monimuotoisuuttakin (kuva 1). Käsittelytapakohtaisten koeruutujen koko oli 100 x 100 m. Lohkojen koeruudut kuvasivat:

- (1) Perinteistä avohakkuuta
- (2) Säästöpuuhakkuuta, joissa jätettiin hakkaamatta pieniä puuryhmiä
- (3) Harsintaluonteista hakkuuta (tavoitteena eri-ikäisrakenne)
- (4) Pienaukkohakkuuta (10 - 15 aarin aukot, luontainen taimettuminen)
- (5) Pienaukkohakkuuta, joissa aukot lisäksi muokattiin.

Kaikilla lohkoilla oli lisäksi kontrolliruutu. Itäisellä alueella ei tehty pienaukkohakkuuta ja maanmuokkausta. Tutkimusaineistona oli toistoineen kaikkiaan 43 hehtaarin ruutua. Harsintakoealoilla poistettavat puut valittiin ja merkittiin yhdessä Metsäntutkimuslaitoksen metsänhoidon tutkijoiden kanssa.

Hakkuun ja maanmuokkauksen aikatutkimuksessa käytettiin tavanomaisia Metsätehon menetelmiä. Hakkuun kokonaisajanmenekkiä tarkasteltiin käsittelytavoittaisten tulosten vertailtavuuden varmistamaksi saman runkolukusarjan pohjalta. Konekustannukset laskettiin Metsätehon kustannuslaskentaohjelmistoilla.



Kuva 1. Tutkimusalueet.

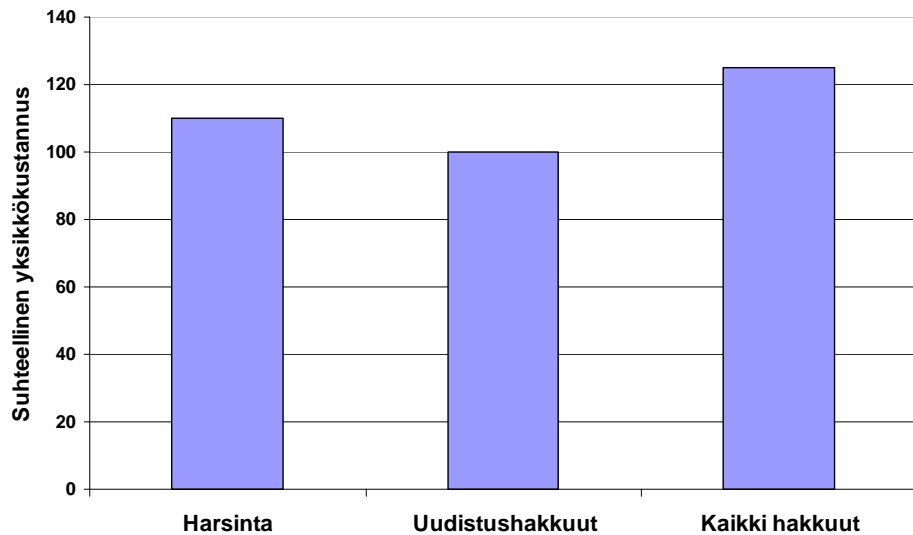
Korjuu- ja uudistamiskustannukset

Ajankäytön rakenteessa ei ollut suuria eroja eri hakkuutapojen välillä. Harsintahakkuussa ja pienaukkohakkuussa palstalla ajoa oli enemmän kuin muita menetelmiä käytettäessä. Puukohtaiset tehoajanmenekit ovat hyvin samanlaisia eri hakkuutavoissa lukuun ottamatta harsintaa, jossa tehoajanmenekki oli runkoa kohden 20 - 40 % suurempi kuin muissa päätehakkuvaihtoehdoissa. Harsinta oli hitainta pienten runkojen käsittelyssä. Puut oli leimattu etukäteen, ja jos kuljettaja saa itse valita hakattavat puut, ajanmenekki ilmeisesti hiukan pienenee. (MONTA-väliraportti 1998).

Erot päätehakkuvaihtoehtojen välillä olivat vähäiset. Suuremmasta puukohtaisesta ajanmenekistä huolimatta tuotos ei ollut harsinnassa kuin hiukan huonompi verrattuna esim. avohakkuuseen, sillä harsintahakkuussa käsitellään lähinnä metsikön suurimpia runkoja. Seuraavilla hakkuukerroilla suurten runkojen suhteellinen osuus tulee todennäköisesti olemaan jonkin verran pienempi.

Harsintahakkuussa hakkuutyön kustannukset olivat noin 5 % korkeammat kuin eri uudistamishakkuuvaihtoehtoisissa. Metsäkuljetusta ei näissä kokeissa tutkittu, mutta pienaukkohakkuissa ajanmenekki lienee kuitenkin korkeampi kuin säästöpuu- ja avohakkuussa. Harsinnassa korjattavan puuston tiheys on pienempi kuin avohakkuussa, mikä alentaa metsäkuljetuksen tuottavuutta.

Kun harsintahakkuiden kustannustasoa verrataan tavanomaisiin uudistushakkuihin, on otettava huomioon koko metsikkökohtaisen käsittelyketjun ja harvennusten kustannukset. Tällä tavalla tarkastellen nykyisillä hakkuutavoilla korjattavan puutavaran keskekustannus on noin 15 % korkeampi kuin harsintahakkuussa (kuva 2). Hakkuutyön osalta tulokset perustuvat MONTA-tutkimuksiin. Metsäkuljetusta ja kaikkien hakkuutapojen muodostamaa korjuun kokonaiskertymää koskevat tulokset ovat laskennallisia. MONTA-kokeissa ei ollut kuitenkaan vielä kysymys varsinaisesta harsinnasta vaan ensimmäisestä runkolukusarjan käsittelystä, jolla tähdättiin erikäsirakenteisen metsän kehittämiseen.



Kuva 2. MT-kuusikoiden korjuukustannukset hakkuutavoittain.

Maanmuokkauksen tehoajanmenekki ei näyttänyt juurikaan riippuvan käsittelytavasta, kun maanmuokkauspinta-alaan lasketaan uusmuotoisen avohakkuun tapauksessa säästöpuuryhmät ja pienaukkohakkuussa muokattu pinta-ala. Ajanmenekkierot erilaisten hakkuiden jälkeisessä muokkauksessa eivät olleet tilastollisesti merkitseviä. Viljelykohtien laadussa ja istutuksen työvaikeustekijöissä koerutujen välillä ei näyttänyt olevan muita kuin maan kivisyydestä aiheutuneita eroja. Kaikkiaan sekä maanmuokkauksen ajanmenekin että istutuksen yleisten palkkaperusteiden mukaan lasketut työkuustannuserot jäivät erilaisten käsittelyjen välillä merkityksettömiksi.

3 KUUSIKOIDEN KÄSITTELY- JA KEHITYSVAIHTOEHDOT

Aineistot ja menetelmät

Kuusikoiden käsittelyvaihtoehtojen tutkimisessa käytettiin aineistona Enson Itä-Suomessa sijaitsevilla metsillä toteutetun kuvioittaisen arvioinnin tarkistusinventoinnin (1997 - 98) tuottamia metsikkö- ja puustotietoja. Aineistosta poimittiin laskentaan mustikkatyypin kuusikoita edustavat koalat kehitysluokista 2 - 4 (yhteensä 724 koalaa). Ympyräkoaloille osuneista puista oli luettu rinnankorkeusläpimitat, ja lisäksi kultakin koalalta oli mitattu pohjapinta-ala mediaanipuun pituus. Koska laskentaan tarvittiin lähtöpuustosta sekä pituudet että läpimitat, sovitettiin koalojen keskipuihin Näslundin pituusmalli.

Tutkimuksen laskentaresurssit eivät mahdollistaneet koko koala-aineiston käyttöä. Metsiköiden kehitys- ja käsittelyvaihtoehtoja laskettiin vuorovai- kutteisesti, yhtä metsikköä vastaava tapaus kerrallaan Valstan ja Linkosalon (1996) kehittämällä metsikkösimulaattorilla. Työmäärän pienentämiseksi ja toisaalta myös aineiston kattaman ikäluokkajakauman laajentamiseksi päädyttiin käyttämään koaloja metsiköiden rakenteen kuvaamisessa. Isommas- ta aineistosta valittiin satunnaisotannalla 106 laskentakoealaa. Alustavat laskelmat aineistolla osoittivat, että koaloilta mitatut iät eivät aina vastan- neet alalla olevaa puustoa, mistä syystä poimituille koaloille laskettiin kor- jatut valtapituusiät koalan hehtaariohtaisen puuston sadan suurimman puun mukaan. Ikä saatiin sovittamalla koalan valtapituuteen eksponentiaa- llinen malli:

$$ikä = e^{h_{vaha} * 0,0771} * 13,57 + 2,080$$

Myös ikämuunnoksen jälkeen poimitut koalat edustivat hyvin aineiston ikä- ja pohjapinta-alavaihtelua. Käytetyt tarkistusinventoinnin koalat alkoivat 41 vuoden valtapituusiästä. Tämän aineiston lisäksi kuusikoiden raken- teen kuvaamisessa tarvittiin nuorempia metsiä, ja tähän tarkoitukseen luotiin laskentayksiköiksi 7 uutta koalaa ekstrapoloimalla nuorimman koalan ke- hitystä viiden vuoden askelin ajassa taaksepäin. Näin laskennassa käytetty- jen koalojen kokonaisuudeksi tuli kaikkiaan 113.

Koalojen edustamien metsiköiden puuston kehitystä simuloitiin MELA- simulaattorilla (Hynynen 1996). Eri-ikäisten koalojen kehitystä kuvattiin toimenpiteineen 140 ikävuoteen asti. Puiden kuoleminen todennäköisyydet olivat MELA-mallin mukaisia. Simulaattorista käytettiin Valstan SMA (Stand Management Assistant) -ohjelmistoon sovitettua versiota (Valsta ja Linkosalo 1996). Alkuperäiset korjuukustannukset korvattiin uudella las- kennalla, joka perustuu hakkuun ja metsäkuljetusten ajanmenekifunktioi- hin ja koneiden tuntikustannuksiin (Kuitto ym. 1994). Laskelmissa käytetyt hakkuukoneen ja kuormatraktorin tuntikustannukset olivat 67,2 € ja 45,2 €. Lisäksi MELA-mallin puutavaralajien tilavuustaulukot päivitettiin hakkuu- koneilla kerättyihin runkopankkiaineistoihin perustuen.

Käsittelyvaihtoehdot laskettiin viisivuotiskausille 40 vuotta ajassa eteenpäin. Metsikön harvennusajankohta määräytyi valtapituuden ja pohjapinta-alan perusteella UPM-Kymmenen omissa metsissä käytettävien harvennusohjeiden mukaisesti. Päätehakkukypsyys määritettiin metsikön iän sekä keskiläpimitan perusteella. Yli 85-vuotias metsikkö katsottiin uudistamiskelpoiseksi läpimitasta riippumatta. Harvennuksille ja päätehakkuille laskettiin myös vaihtoehtoisia ratkaisuja, joissa toimenpiteen toteuttamismahdollisuus sijoitettiin myöhemmille kausille, tai hakkuu jätettiin kokonaan toteuttamatta. Perättäisten käsittelyjen välin tuli olla vähintään 2 käsittelyjaksoa (10 v). Lisäksi koelaloille laskettiin vaihtoehto, jossa se uudistettiin välittömästi, mikäli toimenpide oli tarkastelujaksolla ohjeiden mukaan ajankohtainen. Suojelun merkityksen tutkimista varten kullekin laskentayksikölle tuotettiin myös kehitysvaihtoehto, jossa metsikköön ei kohdistettu mitään käsittelyjä.

MT-kuusikoiden kehitystä tutkittiin koeluonteisesti myös Joensuun yliopistossa kehitetyllä Impact-mallilla, joka on prosessipohjainen metsien tärkeimmät kasvutekijät sekä puuston ja maaperän ainevirrat sisältävä metsikkösimulaattori (Chertov ym. 2001). Periaatteessa tämällytyypisellä mallilla voidaan tarkastella sellaisiakin metsien käsittelytapoja, joista ei ole käytettävissä tavanomaisia tilastollisia kasvumalleja. Myös metsän luontaista kehitystä ilman toimenpiteitä, ja siitä aiheutuvaa tihentymistä sekä puiden kuolemista voidaan ennustaa prosessimallien avulla paremmin kuin tilastollisten mallien pohjalta.

Metsätehossa laadittiin MT-kuusikoiden alueellisen ja ajallisen kehityksen sekä suojelun ja hakkuiden tutkimista varten SAS OR -ympäristöön lineaarista ohjelmointia soveltava laskentamalli, joka kattoi viisivuotisjaksoihin jaetun 40 vuoden kauden ajassa eteenpäin. Alkupuusto annettiin ikäluokkia vastaavina pinta-aloina. Kuusimetsien ikäluokittainen rakenne kuvattiin tarkistusinventoinnin koealatietojen avulla, ja eri kausina tehtävissä olevat toimenpiteet SMA-metsikkösimulaattorilla laskettujen käsittelyvaihtoehtojen avulla. Kuusen kanssa sekapuuna esiintyi myös käytännön metsiä vastaavasti mäntyä ja kuusta.

Alueellisessa mallissa puuston kantoraha-arvo määritettiin tienvarsihintojen ja metsikkökohtaisten korjuukustannusten erotuksena. Metsien uudistamis- ja taimikonhoitokustannukset otettiin huomioon suuntaa antavasti. Tutkimuksessa käytetyt tienvarsihinnat perustuvat vuoden 1999 tilastoihin, ja ne olivat tavaralajeittain seuraavat:

| Puutavaralaji | €/m ³ |
|---------------|------------------|
| Mäntytukkipuu | 48,7 |
| Kuusitukkipuu | 42,0 |
| Koivutukkipuu | 48,7 |
| Mäntykuitupuu | 25,2 |
| Kuusikuitupuu | 31,1 |
| Koivukuitupuu | 26,9 |

Kuusikoiden käsittelyvaihtoehtojen optimointimallissa kohdefunktio maksimoi ensimmäisen tarkasteltavan 10 vuoden aikajakson nettokantorahatulaja. Peräkkäisten 5 vuoden kausien aikana saatavien nettotulojen edellytettiin säilyvän vähintään ennallaan tai kasvavan. Korkoa ei otettu tässä vaiheessa huomioon, ja laskenta ohjautui puhtaasti kestävyysvaatimusten mukaisesti. Neljän vuosikymmenen laskentakauden lopussa kasvamassa olevan kokonaispuuston ja tukkipuun tilavuuksien edellytettiin olevan yhtä suuria tai suurempia kuin vastaavat alkutilavuudet.

Optimointimalliin annettiin syöttötietoina MT-kuusikoiden ikärakenteen lisäksi säästöpuiden ja suojelumetsien määriä koskevia rajoitteita. Säästöpuiden vaikutus uudistushakkuiden kertymiin oli kuvattu yksinkertaistetusti siten, että hakkuukertymistä vähennettiin suoraan korjaamatta jätetyn puuston prosenttiosuuden mukainen ainespuutilavuus. Suojelumetsärajoitteet asetettiin siten, että vanhimmista ikäluokista alkaen hakkuiden ulkopuolelle jäi tietty kuusimetsien kokonaispinta-alasta laskettu, käsittelyiltä rauhoitettu osuus.

Kuusikoiden käsittelyvaihtoehdot

Alueellisessa käsittelyvaihtoehtojen tarkastelussa alkutilanteena oli ikärakenteeltaan tasainen, normaalimetsätilassa oleva MT-kuusikoista koostuva puusto, jonka vanhin ikäluokka oli 95 vuotta. Toisena vaihtoehtoisena tarkasteltiin vastaavaa puustoa, jonka vanhimmat ikäluokat olivat 105 vuoden ikäisiä.

Kestävyysrajoituksin ohjatussa laskennassa vanhimmilta ikäluokiltaan 95-vuoden ikäisiä metsiköitä sisältävä, tasaikärakenteinen kuusinormaalimetsä (metsälö) päättyy 40 vuoden tarkastelujakson lopussa lähes normaalimetsätilaan. Vanhimpien metsiköiden suojeleminen 5 % pinta-alaosuudella koko metsälön kuusikoiden kokonaispinta-alaan nähden, johtaa suhteellisesti samaa luokkaa olevaan kestävien hakkuumahdollisuuksien (m^3) välittömään vähenemiseen. Tämä tulos on johdettavissa myös normaalimetsäteoriasta (Lappi 1997, 2001). Sen sijaan suhteellinen keskituotto alentui vanhimpien ikäluokkien suojeleminen ja vähenevien uudistushakkuiden vuoksi enemmän (7 %) kuin pinta-alaosuus edellyttää (taulukko 1, s. 15).

Säästöpuuhakkuiden vaikutus on luonnollisesti täyttä suojelemaa lievempi. Esimerkiksi 5 prosentin säästöpuuosuudella suhteellinen keskituotto alenee kuitenkin 4 prosenttia avohakkuulla uudistamiseen pohjautuvaan perusvaihtoehtoon verrattuna. Käytetyllä 40 vuoden laskentajaksolla säästöpuista ei vielä synny vaikutuksia uudistushakkuita seuraavien harvennushakkuiden kertymiin. Vaihtoehdossa, jossa toteutetaan sekä suojeleminen että säästöpuuhakkuut, tuottomenetykset ovat yli 10 %.

Käytännössä elävien säästöpuiden osuus yksityismetsien leimikoiden ainespuun kokonaismäärästä on noin 2 %, ja luontokohteiden puusto mukaan lukien metsään jäävän ainespuun osuus on runsaat 3 %. MONTA-hankkeen koelohjoilla säästöpuuryhmien osuus oli keskimäärin 7 % uudistusalojen ainespuutilavuuksista.

Normaalimetsien kestävien hakkuiden tarkasteluissa säästöpuiden vaihtoehtoiset tilavuusosuudet olivat 3, 5 ja 7 %. Alkupuuston vanhimmilta ikäluokiltaan 95-vuotiaan normaalimetsän kestäviin keskimääräisiin tuottoihin erilaiset säästöpuosuudet vaikuttivat seuraavasti:

| Säästöpuiden osuus hakuualan ainespuu- tilavuudesta, % | Suhteellinen keskituotto, € / ha / vuosi |
|--|--|
| Avohakkuu (0 %) | 100,0 |
| 3 | 97,6 |
| 5 | 95,9 |
| 7 | 94,3 |

Alueellisella optimointimallilla tarkasteltiin myös kiertoajan pidentämisen vaikutuksia hehtaariohtaisiin keskituotoksiin (m³) ja -tuottoihin (€). Kun alkutilanteessa on lähtökohtana 95 vuoden ikäinen normaalimetsäkuusikko, kiertoajan välitön, kaikkia metsiköitä koskeva pidennys vähintään 100 vuoteen alentaa kestäviä, tasaisia hakkuumahdollisuuksia 11 % neljän vuosikymmenen tarkastelujaksolla, ja rahamääräinen keskituotto pienenee 14 % taulukossa 1 esitettyyn perusvaihtoehtoon verrattuna. Keskimääräinen uudistamisikä nousee 94 vuodesta hieman yli 100 vuoteen. Päätehakkuiden väheneminen korvautuu osittain lisääntyvillä harvennushakkuilla. Perusvaihtoehdossa harvennusten osuus hakkuukertymistä oli 26 %, ja pitemmän kiertoajan vaihtoehdossa vastaava osuus oli 37 %. Lahopuumäärissä tapahtuvia muutoksia ei päästy seuraamaan käytössä olleella MELA-simulaattorin versiolla.

Kiertoaikojen vaikutusta tarkasteltaessa on otettava huomioon, että muutokset tuotoissa syntyvät optimointimallin jyrkkien rajoitteiden seurauksena, ja lähtötilanteena oleva tasainen ikäluokkajakauma vaikuttaa myös tuloksiin. Uudistamisikä jälkeensä jääneisyys uuteen korkeampaan kiertoaikaan nähden säilyy kaudesta toiseen koko tarkastelujakson aikana. Mikäli kiertoajan pidennyksiä tavoitellaan käytännössä, siirtymäkausien pitäisi olla hyvin pitkiä, jotta puuntuotannollisilta tappioilta vältyttäisiin.

TAULUKKO 1 MT-kuusikoiden kestävät hakkuut 40-vuotiskaudella eri luonnonhoitovaihtoehdoissa. Alkutilanne on normaali-metsä, jonka vanhimmat metsät ovat 95 vuoden ikäisiä. Perusvaihtoehdossa on voimassa vain tavanomaiset kestävyysrajoitteet.

| Hakkuiden ominaisuuksia | Perusvaihtoehto | Säästöpuita 5 % metsikön kokonaisuudesta | Vanhoja suojelumetsiä 5 % metsälön alasta | Säästöpuita 5 % ja suojelumetsiä 5 % |
|--|-----------------|--|---|--------------------------------------|
| Keskituotos, m ³ / ha / vuosi | | | | |
| Harvennus | 1,7 | 1,7 | 1,7 | 1,7 |
| Uudistus-hakkuu | 4,9 | 4,7 | 4,5 | 4,3 |
| Yhteensä | 6,6 | 6,4 | 6,2 | 6,0 |
| €/ ha / vuosi | | | | |
| Keskituotto | 206 | 198 | 191 | 183 |
| Suhteellinen keskituotto | 100 | 96 | 93 | 89 |

TAULUKKO 2 MT-kuusikoiden kestävät hakkuut 40-vuotiskaudella eri luonnonhoitovaihtoehdoissa. Alkutilanne on normaali-metsä, jonka vanhimmat metsät ovat 105 vuoden ikäisiä. Perusvaihtoehdossa on voimassa vain tavanomaiset kestävyysrajoitteet.

| Hakkuiden ominaisuuksia | Perusvaihtoehto | Säästöpuita 5 % metsikön kokonaisuudesta | Vanhoja suojelumetsiä 5 % metsälön alasta | Säästöpuita 5 % ja suojelumetsiä 5 % |
|--|-----------------|--|---|--------------------------------------|
| Keskituotos, m ³ / ha / vuosi | | | | |
| Harvennus | 1,6 | 1,6 | 1,6 | 1,6 |
| Uudistus-hakkuu | 5,0 | 4,7 | 4,6 | 4,4 |
| Yhteensä | 6,6 | 6,3 | 6,2 | 6,0 |
| €/ ha / vuosi | | | | |
| Keskituotto | 210 | 201 | 195 | 187 |
| Suhteellinen keskituotto | 100 | 96 | 93 | 89 |

Toisena vaihtoehtona tutkittiin alkutilanteessa vanhimmilta ikäluokiltaan 105-ikäisen normaalimetsän kestävien hakkuiden kehitystä 40 vuoden aikajaksolla. Hakkuiden rakenne muuttui päätehakkuuvaltaisemmaksi nuoreman normaalimetsän kehitykseen verrattuna (taulukot 1 ja 2). Kun vanhoja metsiä oli alkutilanteessa enemmän, ja niiden hakkuumahdollisuuksia purettiin vähitellen pitemmän aikajakson kuluessa, uudistushakkuiden osuus muodostui suuremmaksi. Vuotuinen keskituotto pinta-alayksikköä kohti neljän tarkasteluvuosikymmenen aikana oli vastaavasti myös korkeampi kuin ikäluokkajakaumaltaan nuoreman metsän kestävässä hakkuissa. Näiden kahden tapauksen väliset erot olivat joka tapauksessa pieniä. Myös eri käsittelytapojen suhteelliset keskituotot ovat käytännössä samoja. Kiertoajan nostaminen vähintään 110 vuoteen romahduttaa myös alkutilanteessa ikäluokkarakenteeltaan vanhemman metsän (metsälön) tulevat kestävät hakkuumäärät, jos se viedään käytäntöön välittömästi.

Koelaskenta prosessimallilla

MT-kuusikoiden kehitystä tutkittiin myös Joensuun yliopistossa kehitetyllä Impact-mallilla, joka on prosessipohjainen metsien tärkeimmät kasvutekijät ja ainevirrat sekä myös puiden kuoleamisen kattava metsikkösimulaattori (Chertov ym. 2001) Tällä mallilla kokeiltiin mm. kuusikoiden kiertoaikojen vaikutusta puuntuotokseen ja lahoamiseen. Impact-simulointien perusteella kuusikoiden pinta-alayksikköä ja vuotta kohti laskettu keskituotto aleni 7 %, kun kiertoaikaa lisättiin 90 vuodesta kahdella vuosikymmenellä. Lahopuunmääriä ei kuitenkaan saatu kasvamaan tämän suuruisella kiertoaikojen pidentämisellä; se edellyttäisi harvennusten vähentämistä tai niistä luopumista. Tilastollisten kasvumallien mukaan keskituoton alenemista ei pitäisi vielä tässä vaiheessa tapahtua (Kannattava Puuntuotanto 1997). Prosessimalli reagoi voimakkaammin vanhenemiseen ja puuston tihentymiseen, ja myös alkukehitys 15 vuotta vanhasta taimikosta ensiharvennusmetsäksi oli nopeampaa MELA-simulaattorin tilastollisilla malleilla laskettuihin tuloksiin verrattuna.

Laskennalliset kokeet prosessimallilla olivat mielenkiintoisia erityisesti harventamattoman, pitkää kiertoaikaa (esim. 120 v) soveltavan vaihtoehdon osalta. Metsikön tihentymisestä johtuva kasvun ja järeyskehityksen hidastuminen sekä puiden lahoaminen vaikuttavat uudistushakkuussa korjattavissa olevan puustoon määrään ja rakenteeseen, ja harventamattoman metsikön vuotuinen keskituotto alentui noin 10 % harvennuksin käsiteltyyn 90 vuoden kiertoaikaa soveltavaan kuusimetsikköön verrattuna. Sen sijaan esim. 3 prosentin tuottovaatimuksella diskontatut tuotot alenivat harventamattomuuden ja pitkän kiertoajan vuoksi ratkaisevasti tavanomaiseen toimenpidetjuun verrattuna. Mikäli metsiköiden tuotolle asetetaan korkovaatimuksia, tämä lahoppuuta lisäävä käsittelyvaihtoehto ei tule taloudellisessa mielessä kysymykseen. Impact-malli ei ole kuitenkaan vielä riittävästi testattu, jotta pitemmälle meneviä johtopäätöksiä voitaisiin esittää. Vielä tässä vaiheessa kysymyksessä oli vain hypoteettinen kokeilu prototyypimallilla.

4 METSIEN KÄSITTELYTAPOJEN VAIKUTUKSET HANKINTAJÄRJESTELMÄSSÄ

Menetelmät ja aineisto

MONTA-tutkimuksen kokeet ja aineistot koskivat MT-kuusikoita, ja tulosten perusteella ei voida suoraan tarkastella puunhankinnassa syntyviä alue-
tason vaikutuksia. Puunhankinnan tuottavuus ja kustannustehokkuus riippu-
vat koko käsiteltävän korjuukohdejoukon ja tavaralajisuman ominaisuuksis-
ta. Erilaisten metsien käsittelytapojen seurauksista voidaan saada tuntumaa
tekemällä aluetasoisia herkkyysanalyysjä korjuu- ja kuljetusolosuhteiden
vaikutuksista muodostuvaan kustannustasoon. Metsien käsittelytavat ratkai-
sevat suurelta osin myös tuotteissa käytettävän puuaineen laadun, mutta täs-
sä tutkimuksessa raaka-aineen arvon ja erilaisten toimenpideketjujen yhteyt-
tä ei lähdetty tutkimaan.

Työmaiden ja puutavaraerien kokojakaumat muodostuvat puuntuotannossa
käytettävien menetelmien pohjalta, ja ne aiheuttavat merkittäviä kustannus-
vaikutuksia hankintaketjussa. Näitä kustannuksia voidaan myös analysoida,
joskin täsmällisempi tutkimus vaatisi korjuukohteiden sijainnin ja etäisyydet
huomioon ottavia simuloitteja.

Metsätehon korjuumenetelmien ja -resurssien optimointimallilla voidaan
tarkastella hankinta-aluekohtaisesti mm. korjuukohteiden koon vaikutusta
tarvittaviin koneresursseihin ja sitä kautta syntyviin kustannuksiin (Imponen
ym. 1992). Työmaiden koon pieneneminen lisää koneiden siirtoja sekä
huippukausien resurssitarvetta, ja tämä kalusto on hiljaisempina aikajaksoi-
na osin vajaakäytössä. Tällöin välittömien siirtokustannusten lisäksi kasva-
vat myös koneiden pääomakustannukset.

Koneiden siirtojen ajanmenekeistä ei ole käytettävissä kovin hyviä tietoja.
Tässä tutkimuksessa yhden siirtokerran ajanmenekki oli 4 tuntia valmistelu-
aikoineen. Ketjua kohti tämä merkitsee 8 tunnin ajanmenekkiä.

Työmaiden koon vaikutusta korjuukustannuksiin tarkasteltiin todellisen ete-
läsuomalaisen, vuosittain kaksi miljoonaa puutavarakuutiometriä korjaavan
hankinta-alueen toimintaolosuhteiden pohjalta, siten että kausittaiset hak-
kuiden määrät ja rakenne otettiin huomioon. Hakkuutapojen osuudet alueen
korjuumäärästä olivat seuraavia:

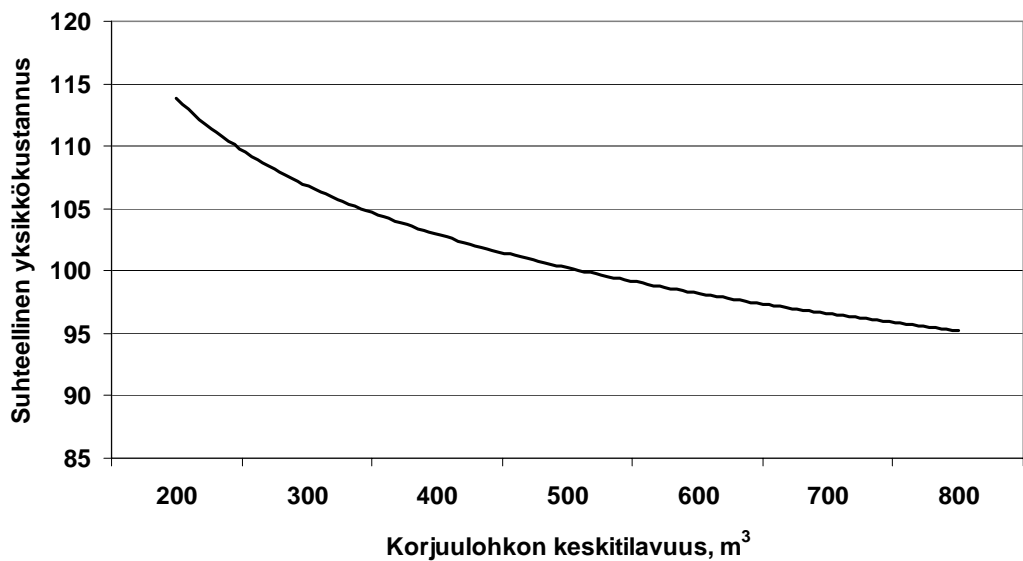
| Hakkuutapa | % |
|---------------------------------|-------|
| Ensiharvennus | 9 |
| Harvennus | 21 |
| Siemen- ja suojuspuu- hakkuu | 6 |
| Ylispuiden poisto | 3 |
| Avohakkuu | 61 |
| Yhteensä | 100 |
| Yhteensä, 1 000 m ³ | 2 000 |

Korjuutyömaiden kokoa muunneltiin siten, että hakkuutapojen välisten leimikoiden kokosuhteiden oletettiin säilyvän nykyisellään. Myös metsänhoitotöiden työmaakoot muuttuvat suoraan uudistushakkuualojen mukana, mutta tässä tutkimuksessa muokkaus-, viljely- ja perkaustyöt eivät vielä olleet mukana.

Samalla kertaa korjattavien puuraaka-aine-erien pieneneminen lisää keräilyajoa, joka nostaa kuljetuksen välittömiä kustannuksia. Lisäksi vastaavalla tavalla kuin korjuussa myös puutavara-autojen kokonaistarve kasvaa, mikä aiheuttaa myös lisäkustannuksia, vaikka kuljetettavat puumäärät pysyvät ennallaan. Metsäteho on tutkinut keräilystä johtuvaa ajanmenekkiä ja kustannuksia automaksujen rakenteiden kehittämistä varten, ja eräkoon vaikutuksia voidaan arvioida näiden tulosten perusteella.

Työmaiden ja puutavaraerien koon vaikutukset hankintaketjussa

Korjuulohkojen koon vaikutus on aiemmista käsityksistä poiketen verraten jyrkkä (vrt. Imponen ja Kaila 1988). Kun kohteiden keskikoko pienenee nykyisestä keskimääräisestä 500 kuutiometristä 200 kuutiometriin, vuositason keskikustannus nousee lähes 15 %. Työmaiden koon kasvaessa vaikutus kustannuksiin loivenee, mutta taso alenee edelleen (kuva 3).



Kuva 3. Korjuutyömaiden keskikoon vaikutus hankinta-alueen korjuukustannuksiin.

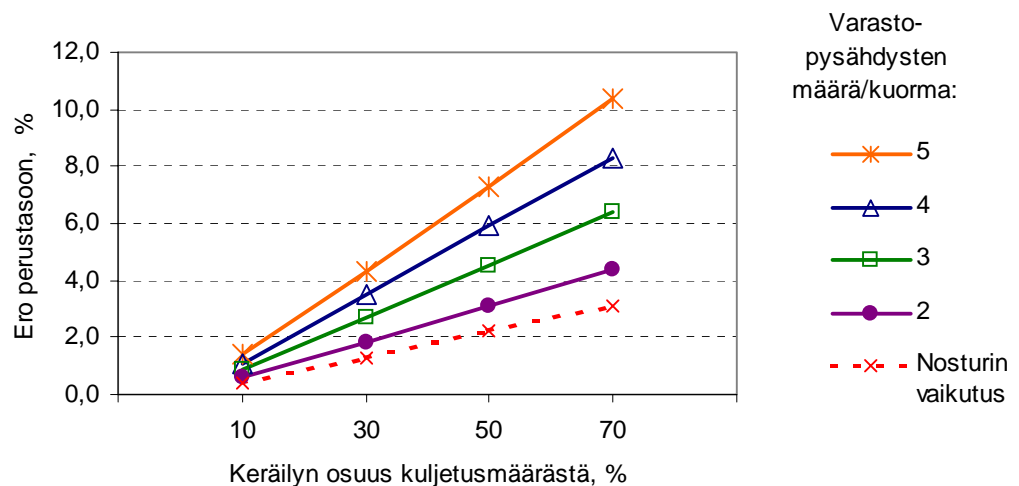
Kun työmaiden keskikoko on nykytilannetta vastaten noin 500 m³, hakkuukoneen ja kuormatraktorin muodostamia korjuuketjuja tarvitaan hankinta-alueen vuosittaisten korjuuoperaatioiden toteuttamiseen 51 kpl, ja ketjukoh-tainen keskimääräinen vuosityömäärä on 39 000 m³. Kun työmaiden koko

pienenee tai kasvaa, korjuussa tarvittava resurssimäärä ja ketjujen vuosituotokset muuttuvat voimakkaasti (taulukko 3).

TAULUKKO 3 Työmaiden keskikokoja vastaavat korjuuketjujen määrät ja ketjukohtaiset vuosituotokset. (Hankinta-alueen vuotuinen korjuumäärä 2 000 000 m³).

| Korjuutyömaiden keskikoko, m ³ | Korjuuketjuja, kpl | Vuosituotos, m ³ |
|---|--------------------|-----------------------------|
| 200 | 58 | 34 000 |
| 500 | 51 | 39 000 |
| 800 | 40 | 41 500 |

Keräilyajoa koskevien tutkimustulosten mukaan puutavaralajien eräkoon pienenemisen aiheuttamat autokuljetuksen kustannustasomuutokset pysyvät laajalla keräilyajomäärän vaihtelualueella noin 10 %:n sisällä. Lisäkustannukset aiheutuvat pääasiassa kuormaimen mukana kuljettamisesta, varastopysähdyksiin kuluvan ajan kasvusta sekä siirtymisajan hitaudesta (kuva 4).



Kuva 4. Keräilyajon vaikutus autokuljetuksen yksikkökustannuksiin. Lisäkustannukset on kohdennettu koko vuotuiselle kuljetusmäärälle.

Keräilyajon lisäkustannukset todennäköisesti olisivat oletettavasti jonkin verran suuremmat, jos niitä tutkittaisiin samalla menetelmällä kuin työmaan koon vaikutuksia korjuussa. Puutavaraerien koon pieneneminen lisää myös huippukautena tarvittavaa automäärää, mikä vaikuttaa voimakkaasti kustannustasoon pääomakustannusten kautta.

Korjuu- ja hankintakustannusten muutosten havainnollistamiseksi voidaan tarkastella esimerkiksi, jossa oletetaan että korjuukustannukset nousevat työmaan koon pienenemisen vuoksi 15 % ($500 \text{ m}^3 \rightarrow 200 \text{ m}^3$) ja autokuljetuksessa kustannukset nousevat keräilyn lisääntyessä 10 %. Tässä ääritapauksessa korjuu- ja kuljetuskustannukset kasvaisivat noin $1,5 \text{ €/m}^3$. Kuusitukkipuun ja -kuitupuun määrillä painotettuun kuusen keskimääräiseen tehdashintaa tämä merkitsisi noin 3 prosentin nousua.

Mikäli kuusikoissa alettaisiin rajatusti vaikkapa 20 prosentin pinta-alaosuudella käyttämään pienaukkohakkuuta, koko korjattavaa puutavarasummaa koskeva kustannusten nousu jäi huomattavasti pienemmäksi kuin tottaalisemmassa kaikkea toimintaa koskevassa muutoksessa. Pienaukkohakkuiden työmaat voisivat olla esimerkiksi kooltaan kolmanneksen nykyisistä työmaista, jolloin korjuukustannukset nousivat noin 4 % (1/3 euroa). Kuljetuksessa tapahtuvaa kustannusten kasvua on vaikeampi arvioida, mutta se lienee vähän pienempi kuin korjuussa. Normaalien metsän käsittelytapojen rinnalla käytettävien pienaukkohakkuiden aiheuttamien hankinnan lisäkustannusten voidaan arvioida olevan $0,5 \text{ €/m}^3$, mikä nostaisi yhdellä prosenttiyksiköllä kuusiraaka-aineen tehdashintaa.

Vaikka sopivilla kasvupaikoilla tehtävät metsien käsittelytapojen uudistukset aiheuttaisivat kovin suuria lisäkustannuksia, pienikin kustannusten kasvu voi olla kilpailutilanteessa haitallista. Toisaalta tämän tutkimuksen perusteella näyttäisi siltä, että eri käsittelytapoja vertailtaessa vaikutukset puuntuotannossa ovat tärkeimpiä päätöskriteerejä. Ratkaisevaa on nimenomaan se, miten metsät uudistuvat ja kasvavat erilaisten hakkuutapojen seurauksena. Myös mahdolliset erot raaka-aineen ominaisuuksissa ovat merkittäviä erilaisia toimenpideketjuja vertailtaessa.

5 TARKASTELU

Teknis-taloudellisessa osaprojektissa erilaisten metsien käsittelyvaihtoehtojen vaikutusten kokonaisempaan ymmärrykseen tehtävää systeemanalyytistä tutkimustyötä jouduttiin rajaamaan työn käynnissä ollessa aineistojen, perustietojen ja käytettävissä olevien mallien puutteiden vuoksi merkittävästi. Alueellisen, kaikkea kuusiraaka-ainetta koskevan MELA-laskennan todettiin olevan verraten hankalasti mukautettavissa vaihtoehtojen, uusien käsittelytapojen vertailuun. Myös puunhankintajärjestelmään kohdistuvien vaikutusten selvittäminen jäi vielä osin arviointeihin pohjautuvaksi. Yhtenä hankaluutena MONTA-hankkeen teknis-taloudellisissa osatehtävissä oli riittävän puuntuotannollisen ja puunhankintaan liittyvän osaamisen yhdistämisen vaikeudet. Perinteisesti nämä tutkimusalueet ovat toimineet verraten erillisinä, vaikka keskinäiset sidokset ovatkin merkittäviä.

Harsintahakkuisiin perustuvan puuntuotannon talous on edelleen vaikeasti arvioitavissa; kasvumallit ovat tältä osin vielä keskeneräisiä. Pienaukkohakkuu saattaa olla jatkotutkimusten arvoinen vaihtoehto, jonka eri muotoja voidaan soveltaa jatkuvan kasvatuksen tai myös nykyisen metsänkäsittelymallin tyyppisesti.

Tämän tutkimuksen pohjalta näyttäisi siltä, että puunhankinnan talouden sijaan metsien uudistumisen onnistuminen, taimikoiden kehitysnopeus, puuston tasaisuus ja laatu sekä puiden kuoleminen ja lahoaminen ovat ratkaisevia erilaisten hakkuutapojen teknis-taloudellisen sovellettavuuden kannalta. Vaihtoehtoiset käsittelytavat tuottavat todennäköisesti myös puuaineen ominaisuuksiltaan erilaista raaka-ainetta, mitä ei tässä osatutkimuksessa otettu huomioon. Jo tukki- ja kuitupuun dimensioiden ja karkeiden laatu-luokkien arvoerojen sisällyttäminen vertailuihin saattaisi vaikuttaa oleellisesti käsittelytapojen edullisuussuhteisiin.

Käytännössä joudutaan toisaalta hyväksymään se, että tietopohja ei ole koskaan riittävä metsien käsittelyssä käytettävien erilaisten toimenpiteketjujen vertailuun. Tässä tilanteessa voidaan joka tapauksessa kehittää metsiköiden kehitystä kuvaavia malleja ja tehdä olettamuksiin perustuvia vaihtoehtolas-kelmia, vaikka metsäluonnon kehitys onkin vaikeasti ennustettavissa. Puunhankinta puolestaan on osa ihmisen käsissä olevaa teknistä järjestelmää, jonka matemaattisessa ja taloudellisessa analysoinnissa on puolestaan mahdollista edetä nykyistä pitemmälle, mikä parantaa mahdollisuuksia arvottaa erilaisten metsänkäsittelystrategioiden seurauksia.

VIITTEET

- Chertov, O., Kellomäki, S., Komarov, A., Kolström, M., Pitkänen, S., Strandman, H. & Zhudin, S.** 2001 Modelling the long-term dynamics of populations and communities of trees in boreal forests based on competition for light and nitrogen. Käsikirjoitus.
- Hynynen, J.** 1996. Puuston kehityksen ennustaminen MELA-järjestelmässä. Julkaisussa: Hynynen, Jari ja Ojansuu, Risto (toim.), Puuston kehityksen ennustaminen - MELA ja vaihtoehtoja. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 612, 1996.
- Imponen, V. & Kaila, S.** 1988. Uudistusalan koon vaikutus metsän uudistamiskustannuksiin Etelä-Suomen olosuhteissa. Metsätehon katsaus 18/1988.
- Imponen, V., Hämäläinen, J. & Örn, J.** 1992. Hakkuun koneellistamisen taloudelliset ja organisatoriset vaikutukset. Metsätehon tiedotus 407.
- Kannattava Puuntuotanto 1997. Tapio ja Metsäntutkimuslaitos. Metsälehti Kustannus.
- Kuitto, P.-J., Keskinen, S., Lindroos, J., Oijala, T., Rajamäki, J., Räsänen, T. & Terävä, J.** 1994. Puutavaran koneellinen hakkuu ja metsäkuljetus. Metsätehon tiedotus 410, 1994.
- Lappi, J.** 1997. Metsien kasvu ja kestävät hakkuut. Metsätieteen aikakauskirja 1/1997.
- Lappi, J.** 2001. Metsien suojelu, metsätaseet ja hakkuumahdollisuudet. Metsätieteen aikakauskirja 1/2001.
- Monimuotoisuus talousmetsän uudistamisessa -hankkeen väliraportit (MONTA-hanke). Metsätehon raportti 62, 11.9.1998.
- Valsta, L. & Linkosalo, T.** 1996. Stand Management Assistant (SMA): Työväline metsikön käsittelyohjeiden määrittämiseen. Julkaisussa: Hynynen, Jari ja Ojansuu, Risto (toim.), Puuston kehityksen ennustaminen - MELA ja vaihtoehtoja. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 612, 1996.