



Kari Kannisto



Henrik Heräjärvi

Kari Kannisto ja Henrik Heräjärvi

Rauduskoivun pystykarsinta oksasaksilla – vaikutus puun laatuun ja taloudelliseen tuottoon

Kannisto, K. & Heräjärvi, H. 2006. Rauduskoivun pystykarsinta oksasaksilla – vaikutus puun laatuun ja taloudelliseen tuottoon. *Metsätieteen aikakauskirja* 4/2006: 491–505.

Tutkimuksen tavoitteena oli määrittää ohileikkaavilla oksasaksilla tehtävän rauduskoivun pystykarsinnan aiheuttamien väri- ja lahovikojen määrää ja analysoida esimerkkilaskelmin pystykarsintatyön kannattavuutta metsänomistajan ja koivutukkia käyttävän teollisuuden kannalta. Tutkimuksen aineistona käytettiin kolmea pystykarsittua metsikköä sekä kolmea näitä ominaisuuksiltaan vastaavaa pystykarsimatonta vertailumetsikköä Vammalasta, Jämsänkoskelta ja Keiteleeltä. Kannattavuutta tutkittiin empiirisen aineiston perusteella saatujen tulosten laskennallisena sovelluksena. Kannattavuuden tunnuslukuina olivat investoinnin nettonykyarvo ja sisäinen korkokanta. Mittaukset osoittivat aineistossa olleen vähemmän väri- ja lahovikoja kuin aiemmissa tutkimuksissa, joissa karsintavälineenä on käytetty oksasahaa. Alle 20 mm:n läpimittaisten oksien karsinnan aiheuttama värivikaantumisriski oli vähäinen. Rauduskoivun kasvu ei taannu elävienkään oksien karsinnan seurauksena, jos elävää latvusta säilytetään suositellut 50 % puun pituudesta. Pystykarsinta parantaa tyvitukkien laatua ja lisää esimerkkilaskelmien perusteella päätehakkuun kantorahatuloja. Ulko-puolisellakin työvoimalla tehdylle pystykarsintasijoitukselle voi saada 5–6 %:n sisäisen koron. Myös vaneri- ja viiluteollisuuden kannattaa maksaa keskimääräistä korkeampaa hintaa pystykarsituista koivikoista. Pystykarsinta lisää tyvitukeista saatavan viulun arvoa n. 20–30 prosentilla.

Asiasanat: kyljestyminen, oksat, pystykarsinta, rauduskoivu, sahaus, sorvaus, vaneri, viilu, väriviat
Yhteystiedot: Metsäntutkimuslaitos, Joensuun toimintayksikkö, PL 68, 80101 Joensuu. Sähköposti henrik.herajarvi@metla.fi
Hyväksytty 31.10.2006

I Johdanto

Rauduskoivu on tärkein Suomessa viljeltävä lehti-puulaji. Viljelyrauduskoivikoiden pinta-ala on kasvanut 1970-luvulta lähtien, ja tällä hetkellä niitä on yli 200 000 ha (Peltola 2005). Lisäksi rauduskoivu on uudistunut laajoille alueille luontaisesti sekä sekapuuna havupuiden joukkoon että koivuvaltaisina metsinä. Yksi viljelykoivikoiden ongelma on harvan kasvatusihteyden ja viljavan kasvupaikan aiheuttama oksikkuus. Tyvitukin oksat ehtivät kasvaa paksuiksi ennen kuin kuolevat. Paksujen kuolleiden oksien karsiutuminen ja kyljestyminen voi kestää kymmeniä vuosia (esim. Vuokila 1976, Heräjärvi 2002, Mäkinen 2002, Mäkinen ym. 2003).

Koivuja on pystykarsittu runkopuun laadun parantamiseksi Suomessa jo 1930- ja 1940-luvuilla. Tuolloin koivulle suositeltiin kuivien oksien karsimista. Tutkimuksissa havaittiin kuitenkin karsinnan aiheuttaneen puihin myös lahovikoja. Vaihtelevien karsintatulosten johdosta Metsäntutkimuslaitos aloitti vuonna 1955 tutkimuksen koivun karsimisen aiheuttamista lahovioista, karsittujen oksien kyljestymisestä ja karsinnan vaikutuksesta puun laatuun ja arvoon (Heiskanen 1958). Vaikka tutkimuksen tulokset osoittivatkin karsimisen nostaneen koivun arvoa vanerin raaka-aineena, koivun kasvatukselle 1950-luvun lopulla kielteinen ilmapiiri johti laatu-kasvatuksen laiminlyöntiin (Heiskanen 1958, 1964, Kärkkäinen 1984).

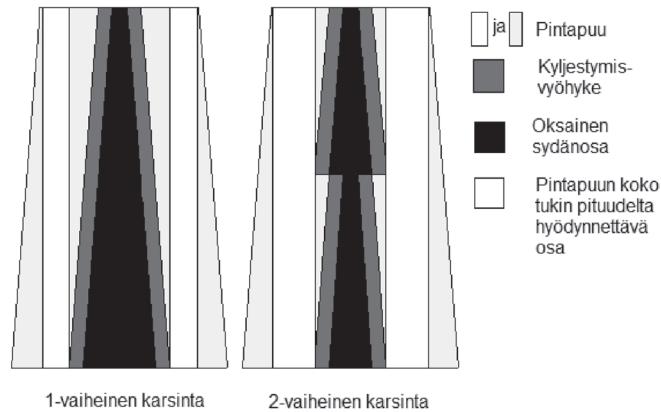
Heiskasen (1958, 1964) tutkimusten jälkeen koivun pystykarsinnan vaikutuksia puun terveydentilaan ja laatuun ovat tutkineet Vuokila (1976) ja Verkasalo ja Rintala (1998). Tulokset ovat olleet pääpiirteiltään samansuuntaisia. Tutkimusten mukaan suositeltavin vuodenaika koivun pystykarsinnalle on keskikesällä, kesä- ja heinäkuussa, jolloin oksien kyljestyminen alkaa pian karsinnan jälkeen. Kevättalvella tehdyistä karsinnoista saadut tulokset ovat osin ristiriitaisia. Kuolleiden oksien karsinnalla ei ole havaittu olevan vaikutusta puun terveyteen, mikäli se tehdään huolellisesti runkoa vahingoittamatta. Elävien oksien karsinnassa on tärkeätä valita puut, joissa on karsittavalla rungonosalla vain alle 20 mm:n läpimittaisia oksia. Tätä suurempien oksien kyljestyminen on hidasta ja lahovian todennäköisyys kasvaa. Lisäksi suuriläpimittaisen oksien kyljestyessä puun sisään jää kuorta, joka näkyy puuaineessa ns. oksantappina.

Karsiminen suositellaan aloitettavaksi jo 70–80 mm:n rinnankorkeusläpimitassa. Tällöin suurin osa oksaisesta sydänpuusta jää esim. viilua sorvattaessa purilasosaan, ja saanto on pääosin oksatonta pintaviilua. Karsintakorkeudesta riippuen karsinta tehdään joko yhdessä tai kahdessa vaiheessa (Lappi-Seppälä 1934, Heiskanen 1958, 1964, 1966a, b, Vuokila 1976, 1982, Huuri ja Huuri 1987). Tällä on vaikutusta oksaisen sydänosan ja oksattoman pinta-puun välisiin tilavuussuhteisiin (kuva 1). Heiskasen (1964) mukaan karsittavan koivikon ominaisuuksilla on suuri merkitys karsinnan kannattavuudelle. Luontaisesti hyvin karsiutuneissa koivikoissa työ on joutuisaa, koska poistettavia oksia on vähän.

Heiskasen (1958, 1966b) koesorvauksiin perustuneissa tutkimuksissa todettiin pystykarsinnan nostaneen 20–25 vuotta aiemmin karsituista koivuista saadun viilun arvoa keskimäärin 45–60 % verrattuna karsimattomista koivuista saadun viilun arvoon. Koepuissa oli ollut karsinnan aiheuttamia lahovikoja, jotka eivät olleet edenneet karsimisen jälkeen muodostuneeseen pintapuuhun. Heiskasen (1958) tutkimuksessa 43 % karsituista ja 35 % luontaisesti karsiutuneista oksista oli levittänyt lahovikaa oksaa ympäröivään runkopuuhun.

Heikinheimo (1953) havaitsi merkittäviä lahovikoja koivun elävien oksien karsimisen jäljiltä. Yli sentin paksuisista, elävinä karsituista oksista 50 % oli levittänyt lahovikaa ympäröivään puuaineeseen. Koepuut olivat kuitenkin hidaskasvuisia ja johtopäätös oli, että vikoja olisi ollut vähemmän nopeakasvuisemmissa puissa. Vuokilan (1960, 1966, 1976 ja 1982) karsintatutkimuksissa todettiin karsittujen oksien aiheuttamien väri- ja lahovikojen johtuvan koivulla suurimmaksi osaksi karsinnan yhteydessä syntyneistä kuorivaurioista tai erityisen suurikokoisten oksien karsinnasta. Vuokila (1976) totesi, että huolella tehty pystykarsinta ei yleensä aiheuta koivun runkopuuhun arvoa alentavia vikoja. Havaitut viat olivat pienialaisia eivätkä edenneet karsimisen jälkeen muodostuneeseen pintapuuhun.

Verkasalo ja Rintala (1998) tutkivat karsinta-ajan ja lannoituksen vaikutusta rauduskoivun pystykarsintavikojen esiintymistodennäköisyyteen ja leviämiseen. Lannoituksella ei havaittu olevan yhteyttä vikoihin, ja riskittömimmäksi pystykarsinta-ajaksi todettiin kesä- ja heinäkuu. Lisäksi todettiin 46–70 prosentissa rungoista olleen karsinnan seuraukse-



Kuva 1. Havainnollistus yksi- ja kaksivaiheisen pystykarsinnan tuottamasta tyvitukin oksaisuusrakenteesta.

na syntyneitä runkopuun arvoa alentavia vikoja. Tutkimuksessa ei esitetty laskelmia rungon arvon muutoksista.

Kaikki havainnot viittaavat siihen, että karsiutuneista tai karsituista oksista leviävät viat eivät etene pintapuuhun. Niinpä voidaankin olettaa, että karsitujen koivun tyvitukkien oksista levinneitä värivikoja on päätehakkuiässä tilavuusosuutena vähemmän kuin luontaisesti karsiutuneissa puissa, joissa värivikoja levittäviä oksantynkiä on myös lähempänä rungon pintaa. Toisin sanoen oksainen ja värivikainen sydänlieriö on karsituissa puissa pienempi.

Aiempien karsintasuosituksen mukaan koivua karsittaessa oksa on pitänyt katkaista mahdollisimman läheltä runkoa eli rungonmyötäisesti, rungon kuorta kuitenkin vaurioittamatta. Tällä tavalla karsittaessa kuitenkin usein vahingoitetaan oksankaulusta oksan ja rungon liitoskohdassa. Oksankauluksen vaurioitettu elävä solukko ei kykene välittömästi aloittamaan kyljestämisprosessia ja infektioriski kasvaa. Niinpä olisikin edullisempää jättää oksaan muutaman millimetrin tynkä ja välttää siten oksankauluksen tai runkopuun vaurioituminen. Rungon kuorivauriosta leviää lähes varmasti värivika runkopuuhun (Heiskanen 1966a, Vuokila 1976, 1982, Hallaksela ja Niemistö 1997, 1998, Verkasalo ja Rintala 1998).

Oksattoman pintapuun osuus rungon tilavuudesta muodostuu karsituissa puissa karsimattomia puita suuremmaksi (Lakari 1920, Laitakari 1937, Heiskanen 1958, 1966b). Elävien oksien pystykarsin-

nan on todettu parantavan myös puun runkomuotoa. Karsitut puut ovat tasapaksumpia eli vähemmän tyvekkäitä kuin karsimattomat puut (Heiskanen 1964, Sairanen 1985, Kärkkäinen 2003). Elävien oksien pystykarsinta vähentää myös tekniseltä laadultaan muuta runkopuuta heikomman nuorpuun osuutta rungon tilavuudesta (Kärkkäinen 2003). Alimmat elävät oksat ovat myös usein energiataloudeltaan negatiivisia eli niiden poistaminen ei heikennä puun kasvua.

Koivutukkia käyttävät vaneri-, saha- ja viiluteollisuus. Viimemainittu hyväksyy vain järeät, suorat ja oksattomat tyvitukit, mutta maksaa niistä korkean hinnan. Kotimaisen käytön lisäksi viilutyvitukkeja viedään Keski-Eurooppaan, lähinnä Saksaan, mutta myös tuodaan Suomeen Venäjältä ja Baltian maista. Yleisimpiä viilun käyttökohteita ovat huonekalut ja toimistokalusteet sekä ovien ja seinäverhousten lakkavaksi tai kevyesti värjättäväksi tarkoitetut pinnat. Sorvaamalla valmistettujen viilujen paksuudet vaihtelevat tavallisesti välillä 0,6–1,5 mm, mutta viilu voi olla myös tätä ohuempaa (Kärkkäinen 1978, Koponen 1998).

Viilulaatuisia tyvitukkeja on koivikoissa vähän. Luontaisesti karsiutuneissa koivikoissa viilutukeiksi kelpaavien tyvien osuus vaihtelee 0–20 prosentin välillä, ja asiantuntija-arvioiden mukaan keskimääräinen osuus kaikista tyvitukeista on n. 5%. On arvioitu, että laadukkaiden koivurunkojen oikea-aikaisella pystykarsinnalla ja laatuharvennuksilla

voidaan viilutyvien osuutta päätehakuussa nostaa 20–25 prosenttiin. Viilutukkien hinta määräytyy paikallisen kysynnän runsauden, tukkien laadun ja myytävän tukkierän tilavuuden mukaan. Tyypillisesti viilutyvikoivun kuutiometrihintana on 1,5–2,5-kertainen tavalliseen vanerikoivuun verrattuna.

Koivun elävien oksien pystykarsinnassa perinteisesti käytetty työväline on ollut oksasaha, kuolleita oksia on karsittu myös ns. keppikarsintana eli lyömällä oksa irti runkopuusta. Oksasaksilla tai -leikkureilla tehtävän metsäpuiden pystykarsinnan tuloksista ei ole olemassa tutkimustietoa. Oksasaksilla karsittaessa vältetään kuitenkin eräiltä sahan käyttöön liittyviltä ongelmilta. Leikkausjälki on sileämpi eli sieni-infektioille altis pinta-ala on pienempi kuin sahaamalla katkaistussa epätasaisessa pinnassa. Katkaisukohta on myös helpompi määrittää tarkasti ja oksaa ympäröivä kuori säilyy huolellisesti leikatessa ehjänä. Sahatessa oksan kuori usein repeää katkaisukohdan ympäriltä sahausvaiheessa tai oksan alkaessa katketa ja pudota. Saha myös lipsahtelee usein taipuisia runkoja karsittaessa, ja sahan selkäpuoli vahingoittaa helposti runkopuuta karsittaessa jyrkässä kulmassa kasvavia oksia.

Tutkimuksen empiirisen osan tavoitteena on tutkia oksasaksilla karsittujen rauduskoivunokkien kyljestymisnopeutta ja oksista levinneitä värvikoja. Teoreettisessa osassa puolestaan määritetään esimerkiksi kilaskelmien avulla rauduskoivun pystykarsinnan taloudellinen kannattavuus vertaamalla karsittujen ja karsimattomien puiden laatua ja arvoa sekä karsintainvestoinnille saatavaa korkoa. Teoreettisen osan tarkastelut tehdään sekä metsänomistajan että tukkia käyttävän vaneri- ja viiluteollisuuden kannalta.

2 Aineisto ja menetelmät

2.1 Koemetsiköt ja maastomittaukset

Tutkimuksen empiiriseksi aineistoksi valittiin kolme pystykarsittua rauduskoivikkoa ja vertailuaineistoksi näitä ulkoisilta ominaisuuksiltaan vastaavat kolme karsimatonta rauduskoivikkoa. Vertailuaineistot jouduttiin keräämään eri metsiköistä, jotta molempiin aineistoihin saatiin myös parhaita valtapuita; karsituista koivikoista hyvälaatuisia karsimattomia valtapuita ei löytynyt riittävästi. Koivikot sijaitsivat Vammalassa, Jämsänkoskella ja Keiteleellä. Vammalan ja Keiteleen metsiköt olivat viljeltyjä, ja Jämsänkosken metsikkö oli uudistunut luontaisesti hylätylle peltomaalle. Pystykarsitut koepuut oli karsittu oksasaksilla.

Metsiköistä mitattiin puustoa kuvaavia keskitunnuksia edustavalta määrältä ympyräkoaloja. Pystykarsintavuodet sekä metsänhoidollisten toimenpiteiden ajankohdat selvitettiin metsänomistajien avulla (taulukko 1).

Metsiköiden puut numeroitiin ja jokaisesta metsiköstä arvottiin kymmenen koepuuta siten, että aineistoon tuli viisi valtapuuta ja viisi lisävalta- tai välipuuta. Aineistoon ei kuitenkaan hyväksytty useita välipuuta, koska niiden karsinta on käytännössä harvinaista. Myöskään metsikön reunapuita ei hyväksytty koepuiksi. Valituista koepuista mitattiin ennen kaatoa latvuserrosluokka, rinnankorkeuslähpimita, latvusraja ja runkomuoto sekä elävien ja kuolleiden oksien ja oksankyhmyjen eli kyljestyneiden mutta rungon pintaan paisumina näkyvien oksantynkien korkeudet. Tyvi- ja välitukkien sekä latvuksen

Taulukko 1. Koemetsiköt, niiden sijaintipaikkakunnat, tärkeimmät metsikkö- ja puustotunnukset ja tehdyt metsänhoitotoimenpiteet. Lihavoidut ovat karsittuja, lihavoimattomat karsimattomia vertailumetsiköitä.

| Metsikkö | Paikkakunta | Kasvu- paikka | Kuvion pinta- ala, ha | Keski- ikä, a | Keski- lpm, cm | Keski- pituus, m | Karsinta- vuosi | Karsinta- korkeus, m |
|-----------------|--------------------|------------------|--------------------------|------------------|-------------------|---------------------|--------------------|-------------------------|
| 1 | Vammala | OMT | 0,3 | 15 | 11 | 14,5 | 1999 | 5,5 |
| 2 | Vammala | OMT | 0,35 | 15 | 11 | 14 | | |
| 3 | Jämsänkoski | pelto | 1,5 | 27 | 17 | 17 | 1989–99 | 4,5–5,5 |
| 4 | Jämsänkoski | pelto | 1,5 | 27 | 17 | 17 | | |
| 5 ^{a)} | Keitele | pelto | 2,0 | 33 | 20 | 22,5 | 1985–87 | 3,0 |
| 6 ^{a)} | Keitele | pelto | 1,2 | 33 | 19 | 22 | | |

^{a)} Ensiharvennus vuonna 1997

laatu ja tukkisaanto arvioitiin silmämääräisesti, lisäksi puun kilpailuasema metsikössä määritettiin kirjaamalla naapuripuiden etäisyys, ilmansuunta ja rinnankorkeusläpimitta. Naapuripuumittausten perusteella laskettiin koepuille kilpailuindeksi (Hegy 1974), jolla voi selittää mm. kasvunopeutta.

Pystykoepuumittausten jälkeen koepuut kaadettiin. Ne katkottiin kahden metrin pölkyiksi siten, että ylimmän pölkyn latva ulottui noin metrin rungon karsintakorkeuden yläpuolelle. Karsimattomista vertailukoepuista pölkyjä otettiin vastaavaan korkeuteen kuin pystykarsituista puista. Tyveltä ja kahden metrin korkeudelta sahattiin näytekiekko, josta mitattiin laboratoriotyönä vuosilustojen leveydet.

Pölkystä mitattiin kuivien, lahojen ja elävien oksien sekä pystyoksien lukumäärät ja läpimitat. Mittaukset tehtiin erikseen pölkyn etelä- ja pohjoispuolisista. Muoto- pinta- ja lahovioista kirjattiin alkamis- ja loppumisetäisyys pölkyn tyveltä ja vian todennäköinen syy. Jokainen pölky koodattiin siten, että se voitiin tunnistaa.

2.2 Sahemittaukset

Pölkkyt sahattiin Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulun opetussahalla 19 mm:n läpisaheiksi siten, että pölky halkaistiin aluksi etelä- ja pohjoispuolisiksi. Saheiden täysisärmäisen laudan saanto mitattiin ja saheet laadutettiin luokkiin E, A, B, C ja D (Koivun laatukortti 2002). Saheiden laatuluokkien arvot määritettiin kahden kotimaisen koivusahan 25 mm paksun, särmätyn ja puusepänkuivan koivusahatavaran myyntihinnan keskiarvona. Saheet pilkottiin pöytäsiirkelillä kunkin oksan kohdalta. Poikkileikkauksista määritettiin oksien laji (karsittu, luontaisesti karsiutunut, karsiutumaton) ja laatu (terve, kuiva, laho) sekä mitattiin oksan läpimitta. Lisäksi mitattiin tai arvioitiin kyljestymisprosessissa syntyneet oksantapit sekä väri- ja lahovikojen suunta, laajuus ja todennäköinen aiheuttaja.

Täydellisesti kyljestyneiden ja vielä kyljestyvien oksien kyljestymiseen kulunut aika kasvukausina laskettiin puun vuosilustoista ja kyljestyneen oksan päällä olevan terveen pintapuun paksuus mitattiin millimetreinä. Oksasta runkopuuhun levinnyt laho määriteltiin kolmeen luokkaan seuraavasti:

- 1) väriavika: lievä värinmuutos, sieni- ja bakteeri-infektion aiheuttama lahon esiaste
- 2) kova laho: lahottajasienen infektoima tummunut puuaine
- 3) pehmeä laho: puuaine tummunut ja pehmennyt.

Aineiston perusteella laadittiin logaritminen regressiomalli, joka kuvaa karsittujen oksien kyljestymisnopeutta. Malli on muotoa

$$y = \exp(b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n) + \varepsilon \quad (1)$$

jossa y on kyljestymismatka millimetreinä, b_i ovat mallin selittäjiä ja x_i kerrointen estimaatteja.

2.3 Kannattavuustarkastelun lähtötiedot

Pystykarsinnan kannattavuus riippuu kustannusten ja tuottojen suuruudesta. Kustannuksia aiheuttavat työvoiman palkkaus, karsintavälineiden hankinta, huolto ja korjaus, karsintatyön suunnittelu ja työnjohto sekä matkat. Suunnittelu-, työnjohto- ja matkakustannukset jätettiin niiden satunnaisuuden vuoksi huomiotta tässä tutkimuksessa, kuten aiemmissakin pystykarsinnan kustannuksia käsitelleissä raporteissa on menetelty (mm. Kaivola 1996). Palkkakustannuksena käytettiin metsäalan työehtosopimuksen (1.3.2004–15.2.2005) mukaisia palkka- ja sivukuluja, joiksi muodostui 13,48 €/h.

Karsintavälineinä oletettiin käytettävän Fiskarsin oksasaksia ja monitoimileikkureita, joiden hankintakustannus vuonna 2004 oli 85 €. Huolto- ja korjauskustannuksena käytettiin 0,05 € per työtunti (Kaivola 1996). Koska rauduskoivun pystykarsinnan joutuisuudesta oksasaksilla ei ole tehty aikatutkimusta, työn tuottavuus määriteltiin asiantuntija-arvioiden perusteella 25–40 rungoksi tunnissa, karsintakorkeudesta ja puuston oksikkuudesta riippuen.

Useiden yritysten asiantuntijoiden haastattelujen pohjalta kannattavuuden laskennassa päädyttiin käyttämään lähtökohtaisena viilutukin hinnan odotusarvona päätehakuussa 120 €/m³. Käytännössä tämänhintainen viilutukkierä sisältää sekä kotimaan- että vientilatuksia tukkeja. Kannattavuuden laskennassa otettiin huomioon myös pystykarsintatyölle saatava kestävä metsätalouden rahoitustuki.

Pystykarsinnan vaikutusta koivun läpimitan kas-

vuon tutkittiin karsittujen ja karsimattomien vastinparimetsiköiden lustonleveysnäytteistä verrannollisten parien t-testin avulla. Eroja värvian leviämässä oksasta runkopuuhun ja karsittujen ja luontaisesti karsiutuneiden oksien kyljestymisaikojen eroja karsittujen ja karsimattomien metsiköiden välillä tutkittiin niin ikään t-testin avulla.

2.4 Kannattavuus metsänomistajalle

Tutkimuksen laskentaosassa on paljon oletuksia, jotka vaikuttavat kannattavuuteen. Mm. tukkien ja niistä saatavien tuotteiden laskennalliset arvot ovat nykytilanteeseen perustuvia asiantuntija-arvioita, jotka voivat muuttua lyhyelläkin aikavälillä. Tämän vuoksi tuloksiin tulee suhtautua suuntaa antavina esimerkkitapauksina.

Pystykarsinnan taloudellisia vaikutuksia metsänomistajalle tutkittiin vertaamalla karsittujen ja karsimattomien metsiköiden puutavaralajisuhteita päätehakkuussa. Parantunut oksaisuuslaatu johtaa tyvitukkien siirtymään halvemmista puutavaralajeista kalliimpiin, lähinnä vaneritukista viilutukiksi, mutta myös kuitupuusta vaneritukiksi. Karsintatyön kannattavuuden herkkyyttä olosuhteiden muutoksille tutkittiin vaihtelevilla puutavaralajien kantohinnoilla, eri pystykarsintakorkeuksilla ja -kustannuksilla, korkokannoilla ja kasvupaikkatyypeillä. Tässä osassa tutkittiin myös karsittujen koiviköiden kannattavimpia kiertoaikoja, päätehakkuuläpimittoja ja yksi- ja kaksivaiheista karsintaa eri korkeuksille. Tarkasteluissa käytettiin puutason kasvumalleihin perustuvaa Metsäntutkimuslaitoksen Motti-ohjelmistoa (Salminen ym. 2005), tämän tutkimuksen empiirisessä osassa laadittua kyljestymismallia sekä investoinnin taloudellista kannattavuutta kuvaavia laskentamenetelmiä ja tunnuslukuja. Motti-ohjelmistolla simuloitiin metsiköiden puuston kehitystä karsintahetkestä päätehakkuuseen. Motti-ohjelmistossa puuston kehitys simuloidaan puukohtaisilla kasvumalleilla (Hynynen ym. 2002). Ohjelmiston kasvumallit eivät ota huomioon karsinnan mahdollisesti aiheuttamia muutoksia puun kasvuun. Kuolleiden oksien ja alimpien elävien oksien karsinnan vaikutus puiden kasvuun on kuitenkin enimmilläänkin vähäinen.

Karsittujen oksien kyljestymismatkaa kuvaavaa

regressiomallia sovellettiin laskettaessa oksattoman pintapuun tilavuutta, kun runkoja oli kasvatettu Motti-ohjelmistolla eri päätehakkuuläpimittoihin. Lisäksi laskettiin pintapuun tilavuusosuudet pölkyn eri läpimittavaihtoehdoilla. Myös yksi- ja kaksivaiheisen pystykarsinnan aiheuttamat erot oksaisen sydänsosan muodossa ja tilavuudessa otettiin huomioon laskelmissa. Runkojen ja pölkkyjen tilavuudet laskettiin Laasasenahon (1982) koivun runkokäyrämallin ja Newtonin kaavan (esim. Kangas ja Päivinen 2000) avulla.

Laskennallisena päätehakkuutiheytenä pidettiin 400 runkoa/ha. Nykyarvo (NPV) on metsikön nykyhetkeen diskontattu päätehakkuutulo. Hakkuutulot ja useampivaiheisen karsinnan kulut on diskontattu kahden prosentin korkokannalla karsintavuoteen eli karsintasijoituksen alkamisajankohtaan. Hakkuutuloja laskettaessa 25 % karsituista tyvistä arvioitiin asiantuntijoiden avulla viilutyviksi, 65 % normaalisti vaneritukeiksi ja 10 % kuitupuuksi. Vastaavat luvut karsimattomilla tyvillä olivat 5 %, 80 % ja 15 %. Poikkeuksen muodosti yksivaiheinen karsinta 5,5 metrin korkeuteen, jossa karsinta on tehty latvus-suhteen säilyttämiseksi riittävänä (vähintään 50 %) kolme vuotta muita vaihtoehtoja myöhemmin. Myöhemmän karsinnan oletettiin laskevan viilutyvien osuutta päätehakkuussa viidellä prosenttiyksiköllä 20 prosenttiin. Siirtyä tapahtuu vaneritukiksi. Kuitupuun ja raakin osuuksia määriteltäessä on käytetty Mehtälön (2002) tukkivähennysmallia, Tapion taskukirjan tukkivähennystaulukoita ja tutkimuksen mittausaineistoa.

2.5 Kannattavuus vaneri- ja viiluteollisuudelle

Karsinnan vaikutusta vaneri- ja viiluteollisuuden raaka-aineeseen tarkasteltiin muuttuneiden viulun laatujakaumien pohjalta. Laskentaosassa kasvatettiin teoreettista koivikkoa, joka vastasi ominaisuuksiltaan keskimääräistä, nykyisten suositusten mukaan pystykarsittua metsikköä. Metsikön ikä karsintahetkellä oli 10 vuotta, rinnankorkeusläpimitta 80 mm, pituus 9 m ja karsittuja puita oli 500 kpl/ha. Pinta- ja sydänviulun määrät laskettiin oksien kyljestymismallin avulla. Laskennassa tukin oletettiin olevan täysin suora, ja sen kapeneminen

määritettiin Laasasenahon (1982) runkokäyrämallin mukaan. Tyvitukki jaettiin 1300 mm:n sorvipölkyiksi ja niille laskettiin pinta- ja sisäviulun saannot ja hävikki (vrt. kuva 1).

Oksattoman pintapuun ja oksaisen sydänosan saannot jaettiin laatuluokkiin A, B ja C siten, että 80 % pintaviiluista kuului luokkaan A, ja 20 % siirtyi B:hen mahdollisten värivikojen ja epätasaisen syykuvion vuoksi. Sydänviiluista 25 % kuului luokkaan B ja 75 % luokkaan C. Käytetty luokitus on yhdistetty viulua sorvaavien yritysten käyttämistä 3–5-luokkaisista jaotteluista. Näin ollen laatuluokkien reaalisia arvoja ei ollut käytettävissä, ja laskennassa käytettävät arvot perustuvat asiantuntijahaastatteluin määritettyihin indeksiarvoihin, jotka olivat: A = 3,2; B = 1,6 ja C = 1.

3 Tulokset

3.1 Karsinnan vaikutus puun kasvuun

Vammalan koemetsiköissä karsittujen ja karsimattomien puiden välillä ei ollut eroa läpimitan kasvussa. Jämsänkoskella karsimaton metsikkö oli kasvanut hieman nopeammin ja Keiteleellä hieman hitaammin kuin karsitut vertailumetsiköt. Erot johtunevat pikemminkin kasvupaikkatekijöistä kuin karsinnasta. Muutokset karsittujen koepuiden läpimitan kasvuissa karsintaa seuraavina vuosina olivat vastaavalla tavalla havaittavissa myös karsimattomien vertailumetsiköiden puissa. Kasvun muutokset johtuivat siis todennäköisemmin kasvuolosuhdetekijöiden (sademäärä, lämpötila...) muuttumisesta kuin karsinnasta. Naapuripuomittausten perusteella lasketut kilpailuindeksit eivät korreloineet koepuiden kasvunopeuden kanssa.

3.2 Oksista levinneet laho- ja väriviat

Erityisesti suurista, yli 15 mm paksuista karsituista oksista leviää värivikoja oksaa ympäröivään puuaineeseen. Vika leviää useimmiten oksan ylä- ja alapuolelle sekä sivuille päin (taulukko 2). Värivian leviäminen pintaan päin on sen sijaan harvinaista: ainoastaan yhdessä 940 mitatusta karsitusta oksasta

värivika oli levinnyt kohti pintaa. Jos havaittiin karsintaessa aiheutettu rungon tai oksakauluksen kuorivaurio, siitä oli levinnyt värivikaa runkopuuhun lähes poikkeuksetta.

Vaikka värivikoja oli levinnyt noin joka kymmenestä karsitusta oksasta tangentin suuntaan sekä ylös tai alas rungon pituussuunnassa, niin laajalle edenneet viat olivat harvinaisia (taulukko 2). Tangentin suuntaan levinneistä vioista ainoastaan 9 % on edennyt kauemmas kuin 10 millimetrin päähän oksasta. Värivikaa ylös- ja alaspäin levittäneiden oksien osuus on käytännössä sama kuin sivulle levittäneiden, mutta rungon pituussuunnassa värivian eteneminen on ollut nopeampaa, pienten oksien muutamista millimetreistä suurten oksien useisiin senttimetreihin per vuosi. Oksan katkaisukohdasta ytimen suuntaan väri- tai lahovikoja runkopuuhun oli levittänyt 5,3 % oksista. Näistä vioista 3,3 % oli edennyt oksan suuntaisesti puun ytimeen asti. Suurin osa mitatuista oksista oli tiettävästi karsittu elävinä, mutta koska oksan karsintahetken laatua ei voitu määrittää, niitä ei luokiteltu elävinä ja kuolleina karsittuihin.

Oksan läpimitaan 15 mm asti oli karsituista oksista levinnyt värivikaa suunnilleen yhtä laajalle kuin luontaisesti karsiutuneista oksista. Lukumääräisesti sen sijaan useampi luontaisesti karsiutunut kuin karsittu oksa levitti värivikaa. Alle 15 mm:n läpimitaisista karsituista oksista noin joka kymmenes, 16–20 mm:n oksista joka neljäs ja yli 20 mm:n oksista yli puolet levitti värivikaa. T-testin mukaan sillä, onko oksa karsittu vai luontaisesti karsiutunut, ei ollut yhteyttä värivian esiintymisen todennäköisyyteen, kun kaikkien metsiköiden ja oksaläpimittojen tietoja vertailtiin samanaikaisesti (testien p-arvot ylös, alas, sivuille, ytimeen ja pintaan päin 0,117–0,969). Tilastollisesti merkitseviä eroja oksan karsiutumistavan ja värivikojen esiintymisen todennäköisyyden välillä ei myöskään havaittu, kun karsittujen ja karsiutuneiden oksien levittämiä vikoja tutkittiin metsikköpareittain (p-arvot: 0,106–0,958).

3.3 Oksien kyljestyminen

Kyljestymisaika tarkoittaa tässä yhteydessä vuosilustojen lukumäärää oksantyngän päästä virheettömien vuosilustojen alkupisteeseen mitattuna. Se on

Taulukko 2. Karsiutuneista ja karsituista oksista runkopuuhun levinneet laho- ja väriviat koko aineistossa 5 mm:n oksaläpimittaluokittain.

| | | | Tangentin suuntaan | Ylös- päin | Alas- päin | Pintaa kohti | Ydintä kohti | Ytimeen asti |
|--------------|---------------|---------------|-----------------------|---------------|---------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 1–5 mm | Karsiutuneet | % | 13,1 | 14,1 | 14,6 | 0,2 | 3,5 | 2,7 |
| | oksat | N | 86 | 93 | 96 | 1 | 23 | 18 |
| | (N=659) | Keskiarvo, mm | 4,3 | 14,4 | 14,0 | 5,0 | 15,0 | |
| | Karsitut | % | 8,5 | 8,5 | 9,0 | | 0,9 | 0,9 |
| | oksat | N | 18 | 18 | 19 | | 2 | 2 |
| (N=212) | Keskiarvo, mm | 2,2 | 13,5 | 17,8 | | | | |
| 6–10 mm | Karsiutuneet | % | 15,2 | 17,3 | 14,5 | 0,4 | 6,4 | 3,4 |
| | oksat | N | 102 | 116 | 97 | 3 | 43 | 23 |
| | (N=669) | Keskiarvo, mm | 4,0 | 32,2 | 32,1 | 12,7 | 8,4 | |
| | Karsitut | % | 9,4 | 10,4 | 9,4 | | 3,4 | 1,9 |
| | oksat | N | 49 | 54 | 49 | | 18 | 10 |
| (N=519) | Keskiarvo, mm | 4,9 | 36,2 | 28,9 | | 5,0 | | |
| 11–15 mm | Karsiutuneet | % | 18,5 | 20,7 | 14,9 | | 8,6 | 4,5 |
| | oksat | N | 41 | 46 | 33 | | 19 | 10 |
| | (N=222) | Keskiarvo, mm | 4,9 | 39,5 | 39,4 | | 6,7 | |
| | Karsitut | % | 8,9 | 10,1 | 10,1 | 0,6 | 9,5 | 5,7 |
| | oksat | N | 14 | 16 | 16 | 1 | 15 | 9 |
| (N=158) | Keskiarvo, mm | 5,3 | 17,0 | 25,0 | 1,0 | 8,5 | | |
| 16–20 mm | Karsiutuneet | % | 14,0 | 27,9 | 16,3 | | 18,6 | 7,0 |
| | oksat | N | 6 | 12 | 7 | | 8 | 3 |
| | (N=43) | Keskiarvo, mm | 15,5 | 143,7 | 120,7 | | 8,6 | |
| | Karsitut | % | 26,8 | 39,0 | 34,1 | | 31,7 | 19,5 |
| | oksat | N | 11 | 16 | 14 | | 13 | 8 |
| (N=41) | Keskiarvo, mm | 8,4 | 32,2 | 26,1 | | 7,2 | | |
| yli 20 mm | Karsiutuneet | % | 66,7 | 66,7 | 33,3 | | 66,7 | 66,7 |
| | oksat | N | 2 | 2 | 1 | | 2 | 2 |
| | (N=3) | Keskiarvo, mm | 7,0 | 15,5 | 26,0 | | | |
| | Karsitut | % | 55,6 | 66,7 | 55,6 | | 22,2 | 22,2 |
| | oksat | N | 5 | 6 | 5 | | 2 | 2 |
| (N=9) | Keskiarvo, mm | 8,0 | 82,3 | 252,4 | | | | |
| Kaikki oksat | Karsiutuneet | % | 14,9 | 16,9 | 14,7 | 0,3 | 6,0 | 3,5 |
| | oksat | N | 237 | 269 | 234 | 4 | 95 | 56 |
| | (N=1596) | Keskiarvo, mm | 4,6 | 32,2 | 28,3 | 10,8 | 8,9 | |
| | Karsitut | % | 10,3 | 11,7 | 11,0 | 0,1 | 5,3 | 3,3 |
| | oksat | N | 97 | 110 | 103 | 1 | 50 | 31 |
| (N=940) | Keskiarvo, mm | 5,0 | 31,7 | 36,8 | 1,0 | 6,7 | | |

siis eri asia kuin todellinen kyljestymisaika, joka voi esim. luontaisesti pitkään tynkään karsiutuneen oksan kohdalla olla useita vuosia pidempi. Karsittujen ja luontaisesti karsiutuneiden ja täydellisesti umpeenkasvaneiden oksien oksantappien ja kyljestymisaikojen erot olivat t-testin mukaan merkitseviä ($p=0,038$). Karsittujen oksien kyljestymisajat olivat keskimäärin 0,2 vuotta luontaisesti karsiutuneiden

oksin kyljestymisaikoja lyhyempiä, vaikka karsitut oksat olivat aineistossa keskimäärin 0,9 mm paksumpia kuin karsiutuneet oksat. Luontaisesti karsiutuneiden oksien oksantapit olivat keskimäärin 0,8 mm karsittujen oksien oksantappeja lyhyempiä.

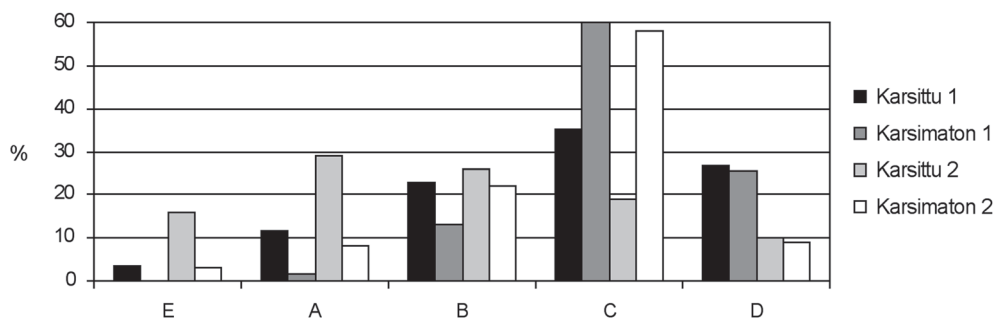
Pieniläpimittaiset oksat kyljestyivät suurina nopeammin. Lisäksi karsitut oksat läpimittaluokissa 1–20 mm kyljestyivät hieman nopeammin kuin

Taulukko 3. Oksan kyljestymismatkaa kuvaava logaritminen regressiomalli. Mallin sovellusalue on 3–20 mm:n oksille, jotka sijaitsevat korkeudella 0–55 dm maanpinnasta. Mallin keskivirhe on 0,4 mm.

| | Kerroin <i>b</i> | Keskivirhe | <i>t</i> | p-arvo |
|---|------------------|------------|----------|--------|
| Vakiotermi | 1,959 | 0,164 | 11,971 | 0,000 |
| Latvuskerros = 1 ^{a)} | 0,350 | 0,101 | 3,466 | 0,001 |
| Puun <i>d</i> _{1,3} karsintahetkellä, mm | 0,004 | 3,208 | 3,302 | 0,001 |
| Oksan läpimitta karsintahetkellä, mm | 0,059 | 18,775 | 7,989 | 0,000 |
| Vuosiluston keskimääräinen leveys 2 m korkeudella, mm | -0,256 | 16,631 | -7,519 | 0,000 |
| Oksan etäisyys maanpinnasta, dm | -0,014 | 15,952 | -7,362 | 0,000 |

R²: 0,380

^{a)} Latvuskerrosluokat 2 ja 3 (lisävalta- ja välipuut) ovat tarkastelun lähtötasona.



Kuva 2. Koko aineiston saheiden (karsittu ja karsimaton 1) sekä pintasaheiden (karsittu ja karsimaton 2) jakautuminen laatuluokkiin E–D.

luontaisesti karsitut oksat. Yli 20 mm:n oksien kyljestymiseen kuluvan ajan arviointi on havaintojen vähäisen lukumäärän vuoksi epävarmaa. Oksan kyljestymismatkaa eli oksan katkaisukohtaan ja virheettömän pintapuun alkamiskohdan välistä etäisyyttä millimetreinä kuvaavassa mallissa (taulukko 3) on selittävinä muuttujina oksan karsintahetken läpimitta (mm), puun rinnankorkeusläpimitta karsintahetkellä (mm), vuosiluston keskimääräinen leveys kahden metrin korkeudella maanpinnasta (mm), oksan korkeus maanpinnasta (dm) ja puun latvuskerros.

3.4 Sahatavaran laatujakaumat ja arvot

Kuvassa 2 esitetään erikseen koko tutkimusaineiston tukeista saatujen sahatavarakappaleiden ja pintasaheiden laatuluokkajakaumat. Pystykarsinta

lisäsi oksattomien ja vähäoksaisten saheiden osuutta tyvitukeissa. Karsinnalla oli suurin vaikutus yli 65 mm:n etäisyydeltä ytimestä saatujen saheiden laatujakaumiin.

Karsittujen tyvipölkkyjen pintalaudoissa arvokkaimpien E- ja A-laatuisten osuus oli 50–67 %, kun karsimattomissa pölkkyissä osuudet olivat 0–11 %. Suurin karsinnan aiheuttama siirtymä tapahtui pintasaheissa C-laadusta B-, A- ja E-laatuisiin. Pystykarsituista pölkkyistä sahatut laudat jakautuivat karsimattomia tasaisemmin laatuluokkien välille. Karsinta lisäsi arvokkaiden laatuluokkien osuutta myös tarkasteltaessa kaikkien metsiköiden tyvitukien saheiden laatuja yhdessä. Pystykarsituista tyvitukeista sahattu sahatavara oli 1,27–1,62 kertaa arvokkaampaa kuin karsimattomista tyvitukeista sahattu sahatavara.

Taulukko 4. Sahauksessa tai sorvauksessa hyödynnettävän oksattoman pintapuun tilavuus pystykarsintakorkeuden pituisissa tukeissa. Ensimmäinen sarake kertoo rungon kuorettoman rinnankorkeusläpimitan päätehakkuuhetkellä ja seuraavissa on eripituisten pölkkyjen kokonaistilavuus (Vpö) ja oksattoman pintapuun tilavuus litroina (Vpp) sekä pintapuun suhteellinen osuus pölkyn kokonaistilavuudesta (Vpp %).

| Rungon d _{1,3} cm | Pölkyn pituus 4,5 m 1- ja 2-vaiheinen karsinta d _{1,3} karsintahetkellä: 8 cm | | | Pölkyn pituus 5,5 m 1-vaiheinen karsinta d _{1,3} karsintahetkellä: 10 cm | | | Pölkyn pituus 5,5 m 2-vaiheinen karsinta d _{1,3} karsintahetkellä: 8 cm | |
|----------------------------------|--|-----|-------|---|-----|-------|--|-------|
| | Vpö | Vpp | Vpp % | Vpö | Vpp | Vpp % | Vpp | Vpp % |
| 25 | 211 | 76 | 36,0 | 250 | 55 | 21,9 | 93 | 37,2 |
| 26 | 225 | 92 | 40,8 | 271 | 74 | 27,4 | 112 | 41,4 |
| 27 | 239 | 109 | 45,4 | 286 | 84 | 29,4 | 122 | 42,8 |
| 28 | 254 | 126 | 49,5 | 302 | 95 | 31,3 | 133 | 43,9 |
| 29 | 270 | 144 | 53,3 | 325 | 116 | 35,6 | 154 | 47,3 |
| 30 | 287 | 153 | 53,4 | 340 | 138 | 40,5 | 176 | 51,7 |
| 31 | 305 | 163 | 53,3 | 359 | 149 | 41,5 | 187 | 52,2 |
| 32 | 320 | 172 | 53,8 | 376 | 161 | 42,7 | 199 | 52,9 |
| 33 | 337 | 182 | 54,0 | 394 | 172 | 43,7 | 210 | 53,4 |
| 34 | 358 | 192 | 53,6 | 421 | 184 | 43,8 | 222 | 52,9 |
| 35 | 381 | 202 | 53,0 | 448 | 209 | 46,6 | 247 | 55,1 |

3.5 Oksattoman pintapuun määrä

Aineiston koeputat olivat vielä nuoria. Pystykarsintuista puista oksatonta pintapuuta oli muodostunut joka neljänteen ja vastaavalle korkeudelle tarkastelluista karsimattomista vertailupuista vain joka kymmenenteen.

Kaksivaiheinen karsinta voidaan karsintakorkeudesta riippuen aloittaa 2–3 vuotta yksivaiheista karsintaa aikaisemmin. 2–3 vuoden viivästys karsinnan aloittamisessa kasvattaa puun rinnankorkeusläpimittaa n. 2 cm. Kaksivaiheisessa karsinnassa puun oksaisen sydänsosan tilavuusosuus pienenee erityisesti puun tyviosissa ja oksatonta pintapuuta saadaan myös verraten pieniläpimittaisista tyvitukeista. Se, karsitaanko yksi- vai kaksivaiheisesti ja mille korkeuksille, vaikuttaa oksattomien saheidin tai viilujen osuuteen selvästi (taulukko 4).

3.6 Pystykarsinnan taloudellinen hyöty metsänomistajalle

Taulukossa 5 on esitetty pystykarsinnan vaikutus päätehakkuussa saatavien kantorahatulosten nykyarvoon.

Investoinnin sisäisen korkokannan (IRR) mukaan yksivaiheinen pystykarsinta 4,5 metrin korkeuteen tuottaa parhaan koron karsintatyön kustannuksille. Toiseksi parhaan koron tuottaa yksivaiheinen karsinta 5,5 m korkeuteen ja huonoimman koron kaksivaiheinen karsinta 4,5 metrin korkeuteen. IRR:n mukaan jokaisessa karsintavaihtoehdossa päätehakkuu kannattaa tehdä heti kun viilutyvien vähimmäisläpimita on saavutettu.

Nettonykyarvon mukaan kustannuksiltaan kallein menetelmä, kaksivaiheinen karsinta 5,5 metrin korkeuteen, on myös kannattavin suurimman NPV:n ollessa 662 €/ha, kun päätehakkuu tehdään rinnankorkeusläpimitassa 29 cm. Toiseksi paras NPV, 613 €/ha, on yksivaiheisella karsinnalla 4,5 metrin korkeuteen päätehakkuuläpimitassa 30 cm. Kolmanneksi paras vaihtoehto NPV:lla 555 €/ha on yksivaiheinen karsinta 5,5 metriin ja päätehakkuu, kun rinnankorkeusläpimita on 29 cm. Huonoin vaihtoehto on 2-vaiheinen karsinta 4,5 metrin korkeuteen, mutta sekin on taloudellisesti kannattavaa.

Koivun pystykarsinnan kannattavuus metsänomistajalle riippuu viilu- ja vaneritukeista maksettavasta kantohinnasta, viilutukkien osuudesta koko tukki-kertymästä ja kasvupaikan viljavuudesta. Alhaisilla viilutukin kantohinnoilla yksinkertaisimmat karsin-

Taulukko 5. Karsitun ja karsimattoman koivikon päätehakkuutulojen nettohyötyarvojen erotus (NPV) ja karsintasijoituksen sisäinen korkokanta (IRR). Kantohinnat: viilutyvitukki 120 €/m³, vaneritukki 40 €/m³, kuitupuu 12 €/m³. Viilutyvitukkiin osuus karsituista tyvitukeista on 25 %, vaneritukkiin 65 % ja kuitupuun 10 % lukuun ottamatta 1-vaiheista karsintaa 5,5 metriin, jossa viilutyvitukin osuus on 20 % ja vaneritukin 70 %. Kasvupaikka on lehtomainen kangas.

| Ikä | Pääte- hakkuu d _{1,3} | 4,5 m, 1-vaiheinen Karsintasijoitus 242 €/ha | | 4,5 m, 2-vaiheinen Karsintasijoitus 344 €/ha | | 5,5 m, 1-vaiheinen Karsintasijoitus 287 €/ha | | 5,5 m, 2-vaiheinen Karsintasijoitus 367 €/ha | |
|-----|--------------------------------------|---|-------|---|-------|---|-------|---|-------|
| | | NPV €/ha | IRR % | NPV €/ha | IRR % | NPV €/ha | IRR % | NPV €/ha | IRR % |
| 39 | 25 | 576 | 6,0 | 474 | 5,0 | 505 | 5,7 | 601 | 5,4 |
| 41 | 26 | 595 | 5,8 | 493 | 4,9 | 538 | 5,6 | 642 | 5,3 |
| 43 | 27 | 612 | 5,7 | 510 | 4,8 | 549 | 5,4 | 655 | 5,1 |
| 46 | 28 | 612 | 5,4 | 510 | 4,5 | 543 | 5,1 | 648 | 4,9 |
| 49 | 29 | 612 | 5,1 | 510 | 4,3 | 555 | 4,9 | 662 | 4,7 |
| 52 | 30 | 613 | 4,9 | 511 | 4,2 | 541 | 4,6 | 646 | 4,4 |
| 55 | 31 | 612 | 4,7 | 510 | 4,0 | 536 | 4,4 | 639 | 4,2 |
| 58 | 32 | 602 | 4,5 | 500 | 3,9 | 524 | 4,2 | 625 | 4,1 |
| 62 | 33 | 578 | 4,3 | 476 | 3,7 | 498 | 4,0 | 593 | 3,9 |
| 66 | 34 | 562 | 4,1 | 460 | 3,5 | 486 | 3,8 | 578 | 3,7 |
| 70 | 35 | 547 | 3,9 | 445 | 3,4 | 472 | 3,7 | 561 | 3,5 |

tamenetelmät ovat kannattavimpia, erityisesti yksi-vaiheinen karsinta 4,5 metrin korkeuteen. Viilutyvitukin kantohinnan noustessa yli 102 euroon kuutiometriltä kahdessa vaiheessa tehtävä karsinta 5,5 metriin muuttuu kannattavimmaksi menetelmäksi.

Vaneritukin kantohinnan muutos vaikuttaa pystykarsinnan kannattavuuteen. Pieni kantohinnan vaihtelu ei vaikuta merkittävästi, mutta voimakas vaneritukin kantohinnan kohoaminen nostaa karsimattomien puiden arvoa enemmän kuin karsittujen puiden, ja karsinnan kannattavuus laskee. Vaneritukin kantohinnan vaikutus eri karsintamenetelmien kannattavuuteen on lähes suoraan verrattavissa menetelmän kustannuksiin. Edullisilla karsintamenetelmillä vaneritukin hinnan kohoamisen vaikutus kannattavuuteen on hitaampaa kuin kalliilla menetelmillä.

Myös metsätyypillä on selvä vaikutus koivun pystykarsinnan kannattavuuteen puuston kiertoajan vaihteluiden kautta. Karummilla kasvupaikoilla karsintasijoituksen kannattavuus heikkenee. Yleisimmällä rauduskoivun kasvupaikalla, lehtomaisella kankaalla tai sitä ravinteikkuudeltaan vastaavalla peltomaalla, karsintasijoitus on nettohyötyarvoltaan karsintamenetelmästä riippuen noin 100 €/ha alhaisempi kuin vastaava sijoitus olisi lehdossa. Rehe-

vämpiin kasvupaikkoihin verrattaessa rauduskoivun kiertoaika pitenee n. 15–30 vuotta tuoreella kankaalla. Samalla karsintasijoituksen nettohyötyarvo laskee noin 200–400 €/ha suhteessa lehdon tai lehtomaisen kankaan nettohyötyarvoihin vastaavilla karsintamenetelmillä ja päätehakuuläpimitoilla. Yksivaiheinen karsinta 4,5 metrin korkeuteen on tuoreen kankaan koivikoissa kannattavinta sekä NPV:n että IRR:n mukaan. Päätehakkuu kannattaa tehdä 26 cm:n rinnankorkeusläpimitassa tai välittömästi tyvitukkiin saavutettua viilutukin läpimitan.

Viilutyvien osuuden lisääntyminen päätehakkuussa parantaa karsinnan kannattavuutta. Kannattavan karsinnan edellyttämät viilutyvien osuuksien (viilutyviä kaikista tyvitukeista) raja-arvot päätehakkuussa eri karsintamenetelmillä, kun karsimattomassa koivikossa oletetaan viilutyvien osuudeksi 5 % ja korkokannaksi 2 %, ovat:

- 1-vaiheinen karsinta 4,5 metrin korkeuteen 9,4 %
- 2-vaiheinen karsinta 4,5 metrin korkeuteen 12,0 %
- 1-vaiheinen karsinta 5,5 metrin korkeuteen 9,1 %
- 2-vaiheinen karsinta 5,5 metrin korkeuteen 11,1 %.

Kestävän metsätalouden rahoitustuki lisäisi karsintasijoituksen kannattavuutta nostamalla sisäistä korkokantaa 1–7,8 %-yksikköä ja nettohyötyarvoa

121–277 €/ha tukivyohykkeestä, karsintamenetelmästä ja päätehakkuuajankohdasta riippuen.

Rauduskoivikon pystykarsintainvestoinnin kannattavuus ei ole erityisen herkkä karsintakustannusten kasvulle. Jos viilutyvien osuus, hinta päätehakkuussa ja muut tulonmuodostukseen vaikuttavat tekijät pysyvät tässä tutkimuksessa esitetyllä tasolla, jokainen karsintatapa kestää vähintään 148 prosentin kustannusnousun, pysyen vielä kannattavana. Kustannusten nousu vaikuttaa voimakkaimmin kaksivaiheisiin karsintatapoihin. Tutkimuksessa käytetyillä lähtötiedoilla yksivaiheinen karsinta 4,5 metriin tai kaksivaiheinen karsinta 5,5 metriin olivat kaikissa tapauksissa kannattavampia kuin muut karsintamenetelmät.

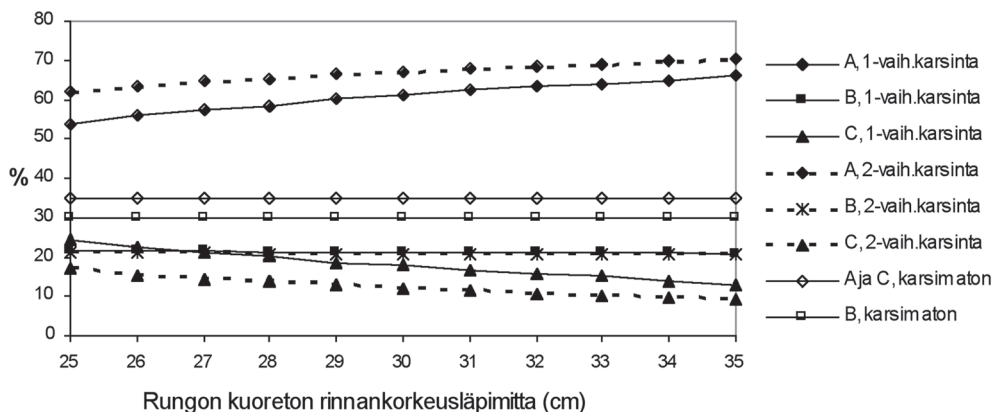
3.7 Pystykarsinta vaneri- ja viiluteollisuuden kannalta

Pystykarsinta lisää arvokkaimpien oksattomien viilulaatujen osuutta tyvitukien kokonaisviilusaannosta. Kaksivaiheinen karsinta 5,5 metrin korkeuteen tuotti eniten oksatonta pintapuuta. Tukkipuun kuorrettoman rinnankorkeusläpimitan ollessa 25–35 cm, hyödynnettävän pintapuun osuus pystykarsitun tyvitukin tilavuudesta oli 64,1–74,3 %. Läpimitan kasvaessa oksattoman pintapuun suhteellinen osuus rungon kokonaistilavuudesta kasvaa.

Arvokkaimman A-laadun saanto sorvauksessa lisääntyi tukin läpimitan kasvaessa kaikilla tutkituilla karsintamenetelmillä. Oksattoman pintapuun osuuden suhteellinen kasvu oli erityisen suurta kuorrettoman läpimitan kasvaessa 25 cm:stä 30 cm:iin, sen osuus saannosta oli tukin läpimitasta ja karsintamenetelmästä riippuen 55,6–75,4 %.

Karsimattomilla viilutukeilla keskimääräinen A-laadun saanto on asiantuntija-arvioiden mukaan n. 35 %. Tässä käytetyn laskentatavan mukaan karsinta lisäsi A-laadun osuutta viilun kokonaissaannosta 18,8–35,4 %-yksikköä (kuva 3). C-laadun osuus pieneni tukin läpimitan kasvaessa ja oksaisen sydänosan suhteellisen osuuden pienentyessä. Kaikilla karsintamenetelmillä C-laadun osuus viilun kokonaissaannosta oli tukin läpimitasta riippumatta 11,4–21,9 %-yksikköä pienempi kuin karsimattomista viilutukeista sorvatussa viilussa keskimäärin (n. 35 %). B-laatua saatiin karsituista tukeista sorvatussa viilusta 20,6–21,6 %, kun sen osuus karsimattomissa puissa oli n. 30 %.

Pystykarsinta lisää merkittävästi rauduskoivutukien arvoa viilua sorvaavalle teollisuudelle. Karsintamenetelmästä riippuen pystykarsitusta rungosta saatava viilu oli 1,19–1,33 kertaa arvokkaampaa kuin karsimattomasta rungosta saatava viilu. Arvoero karsittujen ja karsimattomien tukkien välillä lisääntyi tukin läpimitan kasvaessa.



Kuva 3. Viilulaatuisesta tyvitukista sorvatus viilun jakautuminen laatuluokkiin A, B ja C kahdella eri karsintamenetelmällä pystykarsituissa ja pystykarsimattomissa puissa.

4 Tulosten tarkastelu

Koivikoita on satunnaistapauksia lukuun ottamatta pystykarsittu oksasaksilla vasta muutamia vuosia. Tutkimuksen tavoitteena oli tarkastella päätehakkuikäisten puiden teknistä laatua ja taloudellista arvoa, joten pidemmän aikaa sitten karsitut koepuut olisivat tarjonneet tutkimukseen edustavamman aineiston. Koivun laho- ja värivikojen tiedetään leviävän ja pahenevan puun vanhetessa (Heiskanen 1958, 1966a, Vuokila 1976, Hallaksela ja Niemistö 1998). Toisaalta – tämänkään tutkimuksen tulosten perusteella – ei ole syytä olettaa, että karsituista ja luontaisesti karsiutuneista oksista alkaneet väriviät leviäisivät eri nopeuksilla runkopuussa. Karsitut ja karsimattomat metsiköt vastasivat ominaisuuksiltaan hyvin toisiaan, joten koemetsiköiden nuori ikä ei vaikeuttanut karsittujen ja karsimattomien puiden keskinäistä vertailua.

Laho- ja värivika-aineisto oli varsin kattava lukuun ottamatta suurimmista oksista levinneitä vikoja. Läpimitaltaan yli 15 mm:n karsittuja ja karsiutuneita oksia oli aineistossa yhteensä vain 68 kappaletta. Eroja värivioissa kuolleina ja elävinä karsittujen oksien välillä ei voitu luotettavasti arvioida, koska oksan karsintahetkisen laadun määrittäminen osoittautui useimmissa tapauksissa epävarmaksi.

Tässä tutkimuksessa pystykarsinnasta johtuneiden laho- tai värivikojen osuus oli pienempi kuin aikaisemmissa, oksasahalla karsituista koivuista tehdyissä tutkimuksissa (Heikinheimo 1953, Heiskanen 1958, Vuokila 1982, Verkasalo ja Rintala 1998). Tulokset tukevat myös Vuokilan (1976) havaintoa, että suurin osa pystykarsinnan aiheuttamista lahovioista johtuu karsinnan yhteydessä aiheutetuista oksankaukuluksen tai rungon vaurioista tai liian suurten oksien karsimisesta. Tässä tutkimuksessa alle 20 millimetrin läpimittaisten oksien karsiminen oksasaksilla ei kasvattanut vikaantumisriskiä verrattuna karsimattomiin puihin.

Aineiston perusteella laadittua kyljestymismallia vastaavaa katkaisupisteen ja kyljestymispisteen välistä etäisyyttä ennustavaa mallia ei ole laadittu aiemmin. Mäkinen (2002) tutki koivun oksan kuolemisen- ja kyljestymiskohtien välistä etäisyyttä istutustiheyden suhteen. Hän havaitsi tiheämmässä kasvaneiden koivujen kyljestäneen kuolleen oksan nopeammin kuin harvassa kasvaneiden koivujen.

Tämä voi selittyä vain oksien läpimittojen eroilla eri kasvatustiheyksissä.

Karsinnan kannattavuuden osalta tämän tutkimuksen tulokset vastasivat Heiskanen (1958) tulosta karsinnan hyödyistä vaneriteollisuudelle. Kannattavuutta ei todettu kuitenkaan yhtä hyväksi kuin Holopaisen (1949) ja Kalelan (1950) tutkimuksissa, joissa todettiin riittävän nuorena pystykarsittujen puiden olevan ”moninkertaisesti karsimattomia puita arvokkaampia”.

Onnistunut rauduskoivun pystykarsinta on metsänomistajalle taloudellisesti kannattavaa. Jos päätehakkuu tehdään 29–30 cm:n rinnankorkeusläpimitassa, voi karsintasijoitukselle saada 4–5 prosentin tuoton. Pitkäaikaisista metsätalouden sijoituksista on Suomen olosuhteissa yleensä odotettavissa n. 2–3 prosentin tuotto sijoitetulle pääomalle. Sisäisen korkokannan mukaan yksivaiheinen karsinta 4,5 metrin korkeuteen ja nettonykyarvon mukaan kaksivaiheinen karsinta 5,5 metriin oli kannattavin sijoitus. Se, kumpi vaihtoehto todellisuudessa on metsänomistajalle edullisempi, riippuu tämän taloudellisista tavoitteista ja pystykarsintaan käytettävissä olevan pääoman määrästä. Jos metsänomistaja ei laske omalle työlleen kustannuksia, karsinnan kannattavuus paranee edellä esitetystä. Sekametsissä vähemmistöpuulajina kasvavien suorarunkoisten ja luontaisesti hyvin karsiutuneiden rauduskoivujen pystykarsinta voi olla taloudellisesti erittäin kannattavaa; pienellä työllä voidaan saavuttaa suuri arvonnisa. Karsintainvestoinnin kannattavuus ei ole erityisen herkkä tulonmuodostukseen vaikuttavien tekijöiden muutoksille. Viilutyvien määrän tai hinnan laskun tai karsintakustannusten nousun täytyy olla merkittävä ennen kuin muutos tekee sijoituksesta tappiollisen käytetyllä kahden prosentin korkokannalla.

Kun rauduskoivun pystykarsinnasta halutaan saada suurin mahdollinen hyöty, karsinta on aloitettava ennen ensiharvennusta, valtapuiden rinnankorkeusläpimitan ollessa noin 8 cm ja iän kasvupaikasta riippuen 9–12 vuotta. Karsittaessa on säilytettävä puiden elävän latvuksen osuus vähintään 50 prosentissa puun pituudesta. Jos koivut halutaan karsia yli 4,5 metrin korkeuteen, karsinta kannattaa tehdä kahdessa vaiheessa.

Jos metsänomistajalla on riittävästi pääomaa toteuttaa koko suunnitellun alueen pystykarsinta

kaksivaiheisella menetelmällä 5,5 m:n korkeuteen, eikä hänellä ole muita, sisäiseltä korkokannaltaan 4,7 prosenttia tuottoisampia vaihtoehtoisia sijoituskohteita tälle pääomalle, kannattaa karsinta tehdä nettohyötyarvoltaan parhaimmalla menetelmällä ja päätehakkuu rinnankorkeusläpimitassa 29 cm. Jos sijoitettavaa pääomaa on niukasti ja metsänomistaja ei pysty kustantamaan koko alueen karsintaa, nousee taloudellisesti kannattavimmaksi vaihtoehdoksi yksivaiheinen karsinta 4,5 metrin korkeuteen ja päätehakkuu 29–30 cm:n rinnankorkeusläpimitassa.

Korkokannan nousu vaikuttaa karsintamenetelmien keskinäiseen paremmuuteen huonontaan kalliimpien kaksivaiheisten menetelmien kannattavuutta suhteessa yksivaiheisiin menetelmiin. Korkovaateen noustessa yli 5,4–6,0 prosentin, muodostuu pystykarsinta kannattamattomaksi myös sisäiseltä korkokannaltaan parhaalla menetelmällä eli yksivaiheisella karsinnalla 4,5 m:n korkeuteen.

Kannattavuuslaskelmissa ei otettu huomioon mahdollista sahatukkiosuuden lisääntymistä. Puunmyyjän on mahdollista lisätä päätehakkuutuloja vaatimalla runkojen erittelyä kaupassa viilu-, saha- ja vaneritukkeihin, jolloin pystykarsinnasta voi hyötyä myös viilutukkeja heikompilaatuisten mutta vaneritukkeja 10–30 €/m³ kalliimpien sahatukkien nousevana osuutena. Suuri kerralla myytävä viilutyvimäärä nostaa yleensä viilutyvikoivun yksikköhintaa ja siten metsänomistajan päätehakkuutuloja.

Pystykarsinta on kannattavaa myös tukkeja jalostavalle teollisuudelle. Karsituista puista sorvattu viilu on keskimäärin 1,26–1,33 kertaa arvokkaampaa pinnoitusviiluteollisuudelle kuin karsimattomista puista sorvattu viilu. Samansuuntaisia tuloksia esitti Vadla (1999). Pystykarsituista tyvitukeista saatava sahatavara on keskimäärin 1,27 kertaa arvokkaampaa kuin karsimattomista tyvitukeista sahattu. Ero on suurempi jos sydäntavara jätetään tarkastelun ulkopuolelle.

Kiitokset

Tutkimus perustuu Kanniston (2005) Metsäntutkimuslaitoksen toimeksiannosta Joensuun yliopistoon tekemään pro gradu -työhön. Maastotöissä ja näytteiden mittaamisessa avustivat metsätaloustek-

nikko Hannu Koivunen ja tutkimusmestari Pekka Järviluoto Metsäntutkimuslaitoksesta. Koesahaukset teki Pohjois-Karjalan Ammattikorkeakoulun sahalla laboratoriomestari Keijo Silfsten. Tutkimuksen rahoittivat Puumiesten ammattikasvatussäätiö, Metsämiesten säätiö ja UPM-Kymmene Metsä. Esitämme lämpimät kiitokset kaikille edellä mainituille henkilöille ja organisaatioille. Erityiskiitokset pystykarsinta-asiantuntija Martti Kokkoselle tutkimuksen taustavaikuttamisesta.

Kirjallisuus

- Hallaksela, A. & Niemistö, P. 1997. Istutuskoivurunkojen väriviat ja niissä esiintyvät mikrobit. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 668: 115–125.
- & Niemistö, P. 1998. Stem discoloration of planted silver birch. *Scandinavian Journal of Forest Research* 13: 169–176.
- Hegy, F. 1974. A simulation model for managing Jack pine stands. In: Fires, G. (ed.). *Growth models for tree and stand simulation*. Rapport och Uppsatser, Institutionen för Skogsproduktion, Skogshögskolan 30: 74–89.
- Heikinheimo, O. 1953. Puiden keinollisesta karsimisesta. *Metsätaloudellinen aikakauslehti* 12: 399–402.
- Heiskanen, V. 1958. Tutkimuksia koivun karsimisesta. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 49(3): 68 s.
- 1964. Aikatutkimuksia koivun karsimisesta. *Silva Fennica* 155(6): 1–24.
- 1966a. Tutkimuksia koivujen vikaisuuksista, niiden vaikutuksesta sorvaustuloksiin sekä niiden huomioonottamisesta laatuluokituksessa. *Acta Forestalia Fennica* 80(3): 1–128.
- 1966b. Tutkimuksia rauduskoivikon karsimisen kannattavuudesta. *Acta Forestalia Fennica* 81(2): 1–30.
- Heräjärvi, H. 2002. Modelling of internal knot characteristics of mature Finnish *Betula pendula* and *Betula pubescens*. Julkaisussa: IUFRO Fourth Workshop, Connection between Forest Resources and Wood Quality: Modelling Approaches and Simulation Software. Harrison Hot Springs, Canada. s. 85–93.
- Holopainen, V. 1949. Karsimisen vaikutuksesta vanerikoivun kantohintaan. *Metsätaloudellinen aikakauslehti* 12: 415–416.

- Huuri, O. & Huuri, L. 1987. Metsäpuiden pystykarsinnan varhaisvaiheet Keski-Euroopassa ja Suomessa. Summary: The early days of forest tree pruning in Central Europe and Finland. *Folia Forestalia* 265: 1–22.
- Hynynen, J., Ojansuu, R., Hökkä, H., Salminen, H., Siipilehto, J. & Haapala, P. 2002. Models for predicting stand development in MELA system. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 835. 116 s.
- Kaivola, A. 1996. Pystykarsinnan tuottavuus ja kustannukset. Työtehosteuran julkaisu 352. Helsinki. 77 s.
- Kalela, E. 1950. Arvokoivikoita kasvattamaan. Koivukeskus, Helsinki. 14 s.
- Kangas, A. & Päivinen, R. 2000. Metsän mittaust. *Silva Carelica* 35. s. 43–49.
- Kannisto, K. 2005. Rauduskoivun pystykarsinta leikkauksilla oksasaksilla: puun laatu ja työn kannattavuus. Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta. Pro gradu -työ. 78 s. + liitteet 6 s.
- Koivun laatukortti. 2002. Saatavissa: http://www.profes.fi/cms/betula_resources/koivunlaatukortti.pdf.
- Koponen, H. 1998. Puulevytuotanto. *Gummerus kirjapaino Oy*. Saarijärvi. s. 1–91.
- Kärkkäinen, M. 1978. Käytännön tuloksia koivuviulun saannosta. *Folia Forestalia* 368. 16 s.
- 1984. Miten koivuun tulisi suhtautua metsätaloudessa. *Silva Fennica* 18(1): 71–100.
- 2003. Puutieteen perusteet. *Metsälehti kustannus*. Hämeenlinna. 451 s.
- Laasasenaho, J. 1982. Taper curve and volume functions for pine, spruce and birch. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 108. 74 s.
- Laitakari, E. 1937. Laatuun kasvattamisesta. *Silva Fennica* 39: 259–270.
- Lakari, O. 1920. Tutkimuksia kuusen karsimisesta. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 2(4). 43 s.
- Lappi-Seppälä, M. 1934. Karsimisesta ja sen metsänhoidollisesta merkityksestä. *Acta Forestalia Fennica* 40(25). s. 605–618.
- Mehtätalo, L. 2002. Valtakunnalliset puukohtaiset tukki-vähennysmallit männyille, kuuselle, koivulle ja haavalle. *Metsätieteen aikakauskirja* 4/2002: 575–591.
- Mäkinen, H. 2002. Effect of stand density on the branch development of silver birch (*Betula pendula* Roth) in central Finland. *Trees* 16: 346–353.
- , Ojansuu, R. & Niemistö, P. 2003. Predicting external branch characteristics of planted silver birch (*Betula pendula* Roth.) on the basis of routine stand and tree measurements. *Forest Science* 49(2): 301–317.
- Peltola, A. 2005. (toim.). *Metsätilastollinen vuosikirja* 2004. *Metsäntutkimuslaitos*. 413 s.
- Sairanen, P. 1985. Pystykarsintakokemuksia Neuvostoliitosta. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 201. 45 s.
- Salminen, H., Lehtonen, M. & Hynynen, J. 2005. Reusing legacy FORTRAN in the MOTTI growth and yield simulator. *Computers and Electronics in Agriculture* 49(1): 103–113.
- Vadla, K. 1999. Finérutbytte og -kvalitet hos stammekvisitet og ikke stammekvisitet furu, bjørk og osp. *Rapport fra skogforskningen* 13/99: 1–27.
- Verkasalo, E. & Rintala, P. 1998. Rauduskoivun pystykarsintavikojen riippuvuus oksien paksuudesta, laadusta ja karsinnan vuodenaajasta. *Metsätieteen aikakauskirja – Folia Forestalia* 2/1998: 151–178.
- Vuokila, Y. 1960. Elävien oksien karsimisen vaikutuksesta männyn kasvuun. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 52(1). 27 s.
- 1966. Karsiminen ja kasvu. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 66(5). 66 s.
- 1976. Karsimisen vaikutus männyn ja koivun terveydentilaan. *Folia Forestalia* 281. 13 s.
- 1982. Metsien teknisen laadun kehittäminen. *Folia Forestalia* 523. 55 s.

37 viitettä