



■ Heikki Surakka



■ Matti Sirén

Heikki Surakka ja Matti Sirén

Poimintahakkuiden puunkorjuun nykytietämys ja tutkimustarpeet

Surakka, H. & Sirén, M. 2007. Poimintahakkuiden puunkorjuun nykytietämys ja tutkimustarpeet. Metsätieteen aikakauskirja 4/2007: 373–390.

Poimintahakkuita ei ole Suomessa tutkittu kovinkaan paljon puunkorjuun näkökulmasta. Aihe on kuitenkin tärkeä, sillä puunkorjuu vaikuttaa metsikön kasvatuksen talouteen ja erityisesti erikäisenä kasvatettavassa metsikössä myös puuston tulevaan kehitykseen.

Poimintahakkuussa on puunkorjuun tuottavuuden kannalta piirteitä sekä tasaikäisen metsikön myöhemmästä harvennuksesta että päätehakkuusta. Työympäristö ja kertymä muistuttavat myöhemmää harvennusta poistettavien puiden keskitilavuuden ollessa kuitenkin lähempänä päätehakkuuta kuin harvennusta. Toisaalta jäävän puuston varominen lisää runkokohtaista ajanmenekkiä päätehakkuisiin verrattuna.

Poimintahakkuissa korjataan puusatoa ja luodaan edellytyksiä metsän uudistumiselle. Tulevan puuston muodostava alikasvos ei saisi oleellisesti vaurioitua korjuussa. Vaurioriski on suurimmillaan hakkuuvaiheessa, jossa puun kaadon ja käsittelyn lisäksi vaurioita syntyy myös taimia peittävästä hakkuutähdekasoista. Koneellinen hakkuu aiheuttaa hieman enemmän vaurioita alikasvoksessa kuin miestyönä tehty hakkuu. Korjuuaika vaikuttaa myös vaurioitumiseen. Pakkasella taimet vaurioituvat helposti, mutta toisaalta lumi suojaa taimia.

Tulevaisuuden poimintahakkuiden keskeiset tutkimustarpeet liittyvät työtekniikan, tuottavuuden ja korjuujäljen yhteyksien selvittämiseen. Myös kuljettajan toiminnan ohjeistamiseen sekä ajourien määrään ja sijoitteluun tarvitaan tutkimustietoa.

Asiasanat: poimintahakkuu, puunkorjuu, korjuujälki

Yhteystiedot: Metsäntutkimuslaitos, Vantaan toimintayksikkö, PL 18, 01301 Vantaa. Sähköposti heikki.surakka@metla.fi

Hyväksytty 6.11.2007

I Johdanto

Halukkuus käsitellä metsiä entistä pienipiirteisemmin menetelmin käytännön mittakaavassa asettaa uusia haasteita metsäntutkimukselle. Perinteisten kasvatus- ja päätehakkuiden rinnalle ehdotetut poiminta- ja pienaukkohakkuut vaativat myös metsäteknologista tutkimusta, joka perinteisesti on tarkastellut tasaikäisten metsiköiden korjuuta. Korjuuteknisen tarkastelun lähtökohdaksi voidaan ottaa tehokas puunkorjuu metsäekologisen ja metsänhoidollisen tutkimuksen sanelemilla reunaehdoilla.

Eri-ikäiskasvatusta (*uneven-aged forest management*) määritellään ”sellaisten metsän tai metsikön käsittelymenetelmien yhdistelmäksi, jolla ylläpidetään puuston ikäluokkien vaihtelua poimimalla ja hakkaamalla määrääjain yksittäisiä puita tai puuryhmiä” (Nieuwenhuis 2000). Menetelmän eri versioita on käytännön tasolla sovellettu Keski-Euroopassa jo kauan, mutta systemaattisemmin sitä ryhdyttiin tutkimaan ja kehittämään 1800-luvun loppupuolella (Pommerening ja Murphy 2004). Menetelmän tai sen variaatioiden soveltuvuutta Suomen oloihin on tutkittu 1980-luvun alkupuolelta lähtien (ks. Lähde 1983).

Tunnusomainen piirre eri-ikäiskasvatukselle on puuston rinnankorkeudelta mitattujen läpimittojen frekvenssijakauman (eli läpimittajakauman) laskeva muoto, jonka metsikön ollessa tasapainotilassa on havaittu olevan kuvattavissa eksponenttifunktion avulla (esim. Meyer 1952). Tietyn läpimittaluokan i runkoluku N_i voidaan ilmaista funktiolla

$$N_i = k \cdot e^{-aD_i} \quad (1)$$

jossa

D_i = läpimittaluokan i läpimittavälin keskikohta

e = Neperin luku

k, a = parametreja (puuston määrän ja käyrän jyrkkyyden määrittävät parametrit)

Tällöin peräkkäisten läpimittaluokkien runkolukujen suhde on vakio. Kyseisenlaista läpimittajakaumaa kutsutaan myös usein käänteiseksi J-käyräksi. Tekstissä käytetään jatkossa termiä eri-ikäisrakenne kuvaamaan tällaista tai sitä lähellä olevaa läpimittajakaumaa. Myös muita muodoltaan laskevia läpimittajakauamalleja on esitetty kuvaamaan tasapai-

notilassa olevaa tai kohti tasapainotilaa muuttuvaa metsikköä (esim. Leak 1964, Goff ja West 1975).

Suomessa eri-ikäiskasvatusta on tutkittu lähinnä kuusivaltaisissa tuoreen tai lehtomaisen kankaan metsissä (ks. Valkonen ja Maguire 2005, Lähde ym. 2002). Kuusivaltaisissa metsissä on katsottu olevan parhaat mahdollisuudet eri-ikäiskasvatukselle, koska kuusi varjoa sietävänä puulajina menestyy myös alikasvosasemassa. Hakkuussa korjataan puusatoa ja samalla luodaan edellytyksiä uudistumiselle. Puuston on ennen seuraavaa hakkuuta tarkoitus palautua suunnilleen samanlaiseksi kasvun ja uudistumisen kautta. Metsän kasvatuksessa ei eroteta erillisiä ikä- tai kehitysvaiheita.

Eri-ikäiskasvatuksesta puhuttaessa puunkorjuun ongelmat korjuukustannuksineen ja -vaurioineen on nostettu usein esille (esim. Lähde 1983, Sirén 2003). Eri-ikäiskasvatuksen hakkuumenetelmistä keskitytään tässä kirjoituksessa poimintahakkuuseen, ja siinä koneelliseen korjuutyön tuottavuuteen ja korjuujälkeen. Tarkastelussa rajoitetaan leimikkotasoon, vaikka poimintahakkuut yleistyessään toisivat myös aluetason vaikutuksia puunkorjuuseen ja korjuusuunnitteluun.

Nieuwenhuis (2000) määrittelee poimintahakkuun käsitteen seuraavasti: 1) ”Eri-ikäisessä metsässä yksittäisten puiden tai pienten puuryhmien (erityisesti hakkuukypsien puiden) vuosittain tai muuten jaksottain tehtävä hakkuu, jossa pyritään läpimittajakauman tasapainoon kestävä tuotoksen saavuttamiseksi, korjataan puusatoa ja muodostetaan uutta, vaihtelevaa puustoa” (*selection cutting*). 2) ”Hakkuutapa, jossa poistetaan vain tietyn puulajin tiettyä kokoa suurempia, arvokkaita tai tietynkokoisia puita” (*selective cutting*). Tässä tekstissä poimintahakkuulla tarkoitetaan määritelmän 1 mukaista hakkuuta.

Korjuuolot vaikuttavat oleellisesti korjuutyön tuottavuuteen ja korjuujälkeen. Korjuuolot ja niiden kehitys kiertoaikana tunnetaan tasaikäisissä metsissä hyvin. Poimintahakkuissa korjuuolosten tuntemus on sen sijaan puutteellista, sillä tulevat korjuuolot riippuvat kasvupaikasta, metsikön tilajärjestyksestä ja läpimittajakauamasta, uudistumisesta sekä hakkuuden ajoituksesta, kohdentumisesta ja voimakkuudesta. Poimintahakkuissa korjuujälki ja erityisesti taimien selviytyminen korjuusta vaikuttavat tuleviin korjuuoloihin. Tarkastelussa kiinnitetäänkin

erityistä huomiota korjuujälkikysymyksiin. Tutkimustiedon koostamisen ohella pyritään myös paikantamaan poimintahakkuiden puunkorjuun keskeisiä tutkimustarpeita.

2 Korjuutyön tuottavuuteen vaikuttavat tekijät

Koneellisessa hakkuussa koneen kuljettaja, poistettavien runkojen koko ja lukumäärä hehtaarilla sekä hakkuutapa (pääte- tai harvennushakkuu) ovat keskeiset hakkuutyön tuottavuuteen vaikuttavat tekijät. Käytettävä kone vaikuttaa tuottavuuteen, mutta kuljettajan merkitys on usein suurempi kuin käytettävän koneen. Myös maasto, puulaji, alikasvos ja jossakin määrin myös valmistettavien puutavaralajien määrä vaikuttavat koneellisen hakkuun tuottavuuteen. Kuljettajan ratkaisevan vaikutuksen ovat todenneet mm. Rajamäki (1997), Sirén (1998), Sirén ja Tantt (2001), Väättäin ym. (2005) ja Kariniemi (2006). Ryytäsen ja Rönkön (2001) tutkiessa pieniä hakkuukoneita tuottavuusero saman koneen eri kuljettajien välillä saattoi olla jopa 40 %.

Päätehakkuun ja harvennuksen tuottavuuserot johtuvat useasta tekijästä. Keskeinen tekijä on käsiteltävien runkojen koko. Kuiton ym. (1994) mukaan ajanmenekki kuutiometriä kohden kasvaa viisinkertaiseksi, kun rungon tilavuus pienenee 500 dm³:stä 45 dm³:iin. Brunbergin (1997) tutkimuksessa hakkuukoneen tuottavuus 200 dm³:n runkotilavuudella oli harvennuksessa 82 puuta ja 16,4 m³ käyttötunnissa, 40 dm³:n runkokoolla vastaavasti 129 runkoa ja 5,2 m³. Aikayksikköä kohti käsiteltyjen puiden lukumäärä vähenee rungon koon kasvaessa, mutta työtulos kuutiometreinä kasvaa kuitenkin voimakkaasti.

Poistuman tiheys eli poistettavien puiden lukumäärä/ha vaikuttaa tuottavuuteen. Poistettavien puiden lukumäärän vähentyessä suurempi osa hakkuukoneen työajasta kuluu siirtymisiin. Brunbergin (1997) mukaan siirtymisiin kuuluu lähes 9 cmin/poistettava puu 500 rungon hehtaarikohtaisella poistumalla ja vastaavasti yli 6 cmin poistuman ollessa 1 200 runkoa/ha. Lisääntyvä siirtymisten osuus heijastuu tuottavuuteen, joka on 8 % pienempi poistuman ollessa 500 runkoa/ha verrattaessa 1 000 run-

gon hehtaarikohtaiseen poistumaan. Harvennuksissa jäävä puusto vaikuttaa koneen liikkumiseen ja työskentelyyn. Brunbergin (1997) mukaan kuusikon toisessa harvennuksessa tuottavuus kasvaa 4 %, kun jäävän puuston määrä pienenee tuhannesta viiteensataan runkoon/ha.

Siirtymisissä hakkuukoneen ajonopeus on harvennuksissa pienempi kuin päätehakkuussa. Kuiton ym. (1994) mukaan maastoluokassa 1 ajonopeus sulan maan aikana oli harvennuksissa keskimäärin 13 m/min ja päätehakkuussa 20 m/min. Harvennus ja päätehakkuu eroavat myös muiden työvaiheiden ajanmenekkien osalta. Monitoimiosan viennin ja puun kaadon ajanmenekki on harvennuksissa 10–25 % suurempi kuin samankokoisilla rungoilla päätehakkuussa. Karsinnan ja katkonnan ajanmenekissä ei pienillä rungoilla ole eroa harvennuksissa ja päätehakkuussa, mutta yli 200 dm³:n rungoilla työvaiheen ajanmenekki on harvennuksissa suurempi kuin päätehakkuussa. Erot johtuvat lähinnä jäävän puuston varomisesta (Kuitto ym. 1994).

Puutavaran optimaalinen talteenotto edellyttää tarkkaa katkontaa ja eri tavaralajien hyvää hyödyntämistä. Puutavaralajivalikoimaan kuuluu tyypillisesti yli 20 nimikettä, joista työmaatasolla käytössä on yleensä alle puolet. Lajittelu tapahtuu hakkuuvaiheessa, jolloin metsäkuljetuksen tehtäväksi jää erilläänpidon varmistaminen (Poikela ja Alanne 2002). Kuitupuun lajitteluintensiteetin nostaminen lisää selvästi korjuun ajanmenekkiä vaikutuksen ollessa hakkuussa pienempi kuin metsäkuljetuksessa. Kuitupuun lajittelu kahteen ositteeseen lisäsi hakkuun käyttöajanmenekkiä 1,5–14,5 %. Kun hakkuussa valikoimaan lisätään puutavaralaji, joka edellyttää laadun tarkempaa huomioon ottamista, hakkuun ajanmenekki kasvaa (Poikela ja Alanne 2002). Brunbergin ja Arlingerin (2001) mukaan yksi lisäpuutavaralaji alentaa hakkuun tuottavuutta noin prosentin. Nurminen ym. (2006) päätyivät tutkimuksessaan tulokseen, jonka mukaan yksi uusi rungolta katkottava lisäpuutavaralaji laskee tuottavuutta 1–4 % rungon koosta riippuen. Tuottavuuden lasku johtui lajitteluajanmenekin kasvusta kasausvaiheessa.

Metsäkuljetuksessa tuottavuuteen vaikuttavat erityisesti hakkuutapa, hakkuumenetelmä (miestyö vai kone), kuljetusmatka ja kuljetettavan puutavaran ajouranvarsitiheys, johon vaikuttavat puutavaralajiosuudet, kokonaiskertymä, ajouraväli ja erik-

seen kuljetettavien puutavaralajien määrät (Kuitto ym. 1994).

Poikelan ja Alanteen (2002) mukaan lisäpuutavaralajien vaikutus ajanmenekkiin metsäkuljetuksessa on selväpiirteinen. Lajipuhtaisiin kuormiin pyrittäessä kuormaustaakan koko pienenee laskien kuormausvaiheen tuottavuutta. Toisaalta yksittäisestä työpisteestä kuormattavissa oleva puumäärä pienenee ja kuormausvaiheen ajo lisääntyy. Puutavaralajien määrän lisääntyminen vaikuttaa myös sekakuormien määrään. Sekakuormissa tuottavuus alentuu purkuvaiheen työn hidastuessa. Metsäkuljetuksen käyttöajanmenekki kasvoi 12–20 %, kun kuitupuuositteiden tyvipölkkyt tai järeät pölkkyt pidettiin erillään muista kuitupuupölkkyistä. Sekakuormien ja hakkuun kasausjäljen vaikutuksen metsäkuljetuksen tuottavuuteen totesivat myös Nurminen ym. (2006). Brunbergin ja Arlingerin (2001) mukaan lisäpuutavaralaji merkitsee vajaan 3 %:n lisäystä metsäkuljetuksen ajanmenekkiin. Hakkuun ja metsäkuljetuksen yhdistävällä korjurilla yhden puutavaralajin lisäys alensi käyttötuntituottavuutta harvennuksissa noin 0,15 m³ eli noin 3 % (Sirén ja Aaltio 2001).

Metsäkuljetuksen tuottavuus on suurempi koneellisen hakkuun kuin miestyöhakkuun jäljiltä lähinnä kasojen suuremmasta koosta johtuen. Harvennuksilla kuormaaminen puolestaan on noin viidenneksen hitaampaa kuin päätehakuussa. Samalta paikalta, työpisteestä, kuormattavissa oleva puutavaramäärä vaikuttaa kuormauksen tuottavuuteen. Työpisteen puumäärään vaikuttavat puolestaan hakkuutapa ja -menetelmä sekä hakkuukoneen kasausjälki.

3 Poimintahakkuut ja koneellisen puunkorjuun tuottavuus

Hakkuutyön tuottavuutta poimintahakkuissa on tutkittu verraten vähän. Poimintahakkuiden tuottavuuteen vaikuttavat kuitenkin samat tekijät kuin tasaikäisissä metsissä. Poimintahakkuu tehdään tasaikäisen metsikön myöhempää harvennusta muistuttavassa työympäristössä, jossa jäävä puusto ja sen varominen vaikeuttaa työtä. Poimintahakkuissa poistettavien puiden läpimittajakauma on kuitenkin

lähempänä päätehakuun kuin harvennushakkuun poistuman jakaumaa. Hehtaarikohtainen tilavuuskertymä on selvästi pienempi kuin päätehakkuissa, mutta lähellä tyypillistä kuusikon myöhemmän harvennuksen kertymää.

Poimintahakkuiden poistuman läpimittajakauma asettaa vaatimuksia korjuukalustolle. Hakkuukoneen nosturilta vaaditaan riittävästi voimaa suurten puiden hallittuun kaatoon ja käsittelyyn. Koneelliseen hakkuuseen soveltuvat siis vain verraten suuret hakkuukoneet tai korjurit. Metsäkuljetuskoneelta vaaditaan riittävää kuormakapasiteettia ja kuormaimen ulottuvuutta ajourien ja ajokertojen määrän minimoimiseksi.

Harvennusten tuottavuustieto ei sellaisenaan sovellu poimintahakkuiden tuottavuuden arviointiin, koska huomattava osa poistumasta koostuu suurista, päätehakkuukokoisista puista. Esimerkiksi Kuitto ym. (1994) harvennushakkuiden tuottavuustietoa voidaan soveltaa enimmillään n. 500 dm³ rungon keskikokoon asti. Imponen (Vesa Imponen 2005, suullinen tieto) mukaan poimintahakkuiden tuottavuuden arviointiin pitäisikin käyttää päätehakuun tuottavuusyhtälöitä, joiden antamaan tuottavuuteen tehdään esimerkiksi 20 %:n vähennys. Metsäkuljetuksessa työympäristö ei oleellisesti poikkea myöhemmistä harvennuksista, joten harvennushakkuiden metsäkuljetuksen tuottavuustieto (esim. Kuitto ym. 1994) soveltunee myös poimintahakkuihin.

Suomessa poimintahakkuiden puunkorjuun tuottavuutta on tutkittu Monta- ja Puromonta-hankeissa (Imponen ym. 2003, Poikela ja Strandström 2007). Nämä tutkimukset on kuitenkin tehty tasaikäisissä metsiköissä, joissa on pyritty luomaan edellytyksiä eri-ikäisrakenteelle. Imponen ym. (2003) vertailivat hakkuumenetelmiä Monta-hankkeen (Kaila 2002) yhteydessä. Vertailtavina olivat poimintahakkuiden lisäksi avohakkuu, pienaukkohakkuu ja säästöpuuhakkuu tasaikäisissä vanhoissa kuusikoissa. Imponen ym. (2003) mukaan poimintahakkuissa runko-kohtainen ajanmenekki hakkuussa oli 20–40 % suurempi kuin muissa hakkuutavoissa, mutta poimintahakkuiden suuren keskimääräisen runkokoon ansiosta hakkuukustannus (€/m³) oli ainoastaan 5 % korkeampi kuin avohakkuussa. Lillebergin (1998) mukaan poimintahakkuiden suurempi runko-kohtainen tehoajanmenekki tutkittuihin päätehakuuvaihtoehtoihin verrattuna johtui jäävän puuston hidasta-

vasta vaikutuksesta. Myös koejärjestelyssä käytetty ennakkoleimaus saattoi lisätä poimintahakkuiden runkokohtaista ajanmenekkiä.

Monta-hankkeessa ei tutkittu metsäkuljetusta, mutta käsittelyvaihtoehtojen välisiä eroja tarkasteltiin laskennallisesti (Imponen ym. 2003). Poimintahakkuiden laskennalliset metsäkuljetuskustannukset olivat pienemmän hehtaarikertymän vuoksi jonkin verran korkeammat kuin avohakkuussa.

Imposen ym. (2003) mukaan hakkuun ja metsäkuljetuksen alempi tuottavuus nostaa kuusikoissa poimintahakkuun yksikkökustannukset noin 10 % korkeammiksi kuin päätehakuussa. Kustannuseroja verrattaessa on kuitenkin otettava huomioon koko metsikkökohtaisen kiertoajan mittaisen käsittelyketjun ja harvennusten kustannukset. Tällä tavalla tarkasteltuna kuusikoissa nykyisillä hakkuutavoilla koko kiertoaikana korjattavan puutavaran keskimääräinen korjuukustannus on noin 15 % korkeampi kuin poimintahakkuussa. Poimintahakkuiden kustannusrakenteeseen liittyy kuitenkin epävarmuutta. Hakkuutapojen välisiä eroja tarkasteltaessa on Imposen ym. (2003) mukaan muistettava, että poimintahakkuiden osalta koesarjassa oli kyse ensimmäisestä metsikön eri-ikäisrakenteeseen tähtäävästä toimenpiteestä. Seuraavilla poimintahakkuukerroilla esimerkiksi poistettavien runkojen koko tulee olemaan pienempi kuin tehdyissä hakkuissa.

Puromonta-tutkimushankkeessa (Poikela ja Strandström 2007) tutkittiin purojen suojavyöhykkeiden hakkuuvaihtoehtoja. Suojavyöhykkeen poimintahakkuuta verrattiin viereisellä aukolla tehtävään avohakkuuseen. Suojavyöhykkeeltä poimittujen runkojen käsittely oli huomattavasti hitaampaa kuin aukolta hakattavien. Eroa selittivät sekä hakkuukoneen siirtymisten että kaadettujen runkojen ja valmistettujen pölkkyjen siirtelyn lisääntyminen.

Hakkuun ajanmenekki- ja tuottavuustaso (tuntia/ m^3 , m^3 /tunti) ja yksikkökustannus ($€/m^3$) säilyivät kuitenkin ennallaan siirryttäessä purosta kauempana olevasta aukon hakkuusta puron suojavyöhykkeen poimintahakkuuseen. Poimintahakkuu kohdistui suurimpiin runkoihin ja runkojen järeytyminen kompensoi runkojen käsittelyn hidastumisen. Suojavyöhykkeen leveydet vertailussa olivat 15 ja 30 metriä. Vyöhykkeen leveydellä ei ollut merkittävää vaikutusta tuottavuustasoon (Poikela ja Strandström 2007).

Ulkomaiset tulokset poimintahakkuiden työn tuottavuudesta ovat samansuuntaisia kuin edellä esitetyt kotimaiset tulokset. Dale ym. (1993) vertailivat eri käsittelytapojen vaikutusta hakkuutyön tuottavuuteen. Tutkimusmetsät olivat etelänorjalaisia runsaspuustoisia kuusikoita, runkoluvun ollessa 510–1 250 puuta/ha ja keskitilavuuden 280–410 m^3 /ha. Ajanmenekkierot vertailtujen käsittelyjen (yläharvennus, poimintahakkuu, pienaukkohakkuu ja suojuuspuuhakkuu) välillä olivat selitettävissä pääosin puiden koon ja poistumaprosentin avulla. Poimintahakkuussa tuottavuus oli 25–36 % ja suojuuspuuhakkuussa 8–21 % pienempi kuin samankokoisilla rungoilla avohakkuussa.

Suadicanin ja Fjeldin (2001) vertailivat yksiotetarvesterin tuottavuutta poiminta- ja pienaukkohakkuissa Kaakkois-Norjan ylänköalueiden kuusikoissa. Koealueiden lähtöpuusto oli keskimäärin 637 runkoa/ha ja 190 m^3 /ha. Poimintahakkuissa poistumat olivat 25, 45 ja 65 %. Pienaukkojen koot olivat 25 m × 25 m ja 50 m × 50 m. Tutkimuskohteet leimattiin ja ajourat merkittiin etukäteen. Puun läpimitä oli tutkimuksessa paras runkokohtaisen tehoajanmenekin selittäjä. Tulosten mukaan samankokoisilla puilla ajanmenekki poimintahakkuussa oli noin 10–15 % suurempi kuin pienaukoilla. Runkokohtaisten tehoajanmenekkien erot menetelmien välillä olivat pienimmillään vähäpuustoisissa kohteissa. Poistettavien runkojen keskikoko oli yli kolmanneksen suurempi poimintahakkuissa kuin pienaukkohakkuissa, mikä kompensoi menetelmien välistä tuottavuuseroa. Siirtymisten ajanmenekki puuta kohti pieni hakkuuvoimakkuuden kasvaessa ja poistettujen puiden lukumäärä selitti paremmin siirtymisten ajanmenekkiä kuin pohjapinta-alan poistumaprosentti. Suadicanin ja Fjeldin (2001) mukaan harvapuustoisissa kuusikoissa poimintahakkuun kustannukset poikkeavat vain vähän pienaukko- tai avohakkuiden kustannuksista.

Samansuuntaisia tuloksia poiminta- ja pienaukkohakkuun eroista sai aiemmin Fjeld (1994). Koealueet sijaitsivat Kaakkois-Norjassa 400–600 metriä merenpinnan yläpuolella lähtöpuuston ollessa keskimäärin 2 130 runkoa/ha ja 308 m^3 /ha. Pienaukkojen koot ja poimintahakkuiden poistumaosuudet olivat samat kuin Suadicanin ja Fjeldin (2001) tutkimuksessa. Runkokohtainen tehoajanmenekki oli koealoittain 0–11 % pienempi pienaukoilla kuin poimin-

tahakkuissa. Poistettavien puiden keskimääräinen tilavuus oli tässäkin kokeessa poimintahakkuissa suurempi (0,37–0,47 m³) kuin pienaukoilla (0,26–0,34 m³). Poimintahakkuissa poistettavat rungot olivat keskimäärin suurempia urien välissä kuin ajourilla ja poistettavien runkojen keskitilavuus kasvoi harvennusvoimakkuuden lisääntyessä. Tämä johtuu todennäköisesti systemaattisesta puuvalinnasta ajourilla, jolloin poistuman kasvaessa urien väliltä poistettavan suuremman puuston määrä kasvaa ja nostaa keskitilavuutta. Fjeldin (1994) mukaan poimintahakkuiden tuottavuuden arviointi on tehtävä erikseen ajourille ja niiden välisille alueille. Harvennusvoimakkuus vaikutti tässäkin tutkimuksessa siirtymisten ajanmenekkiin.

McNeel ja Rutherford (1994) tutkivat hakkuukoneketjun tuottavuutta poimintahakkuussa Pacific Northwestin alueella. Pohjois-Amerikassa tutkimuksen mielenkiinto kohdistuu usein koneketjuun kokonaisuutena ja sen tasapainoon (Nurminen ym. 2006). Tutkimuskohde oli douglaskuusesta, ponderosamännystä ja jättipihdasta koostuva 75–80-vuotias metsikkö. Puiden keskiläpimitta oli 26,5 cm (7–56,5 cm) ja runkoluku 770 puuta hehtaarilla. Käsitellyn tavoitteina olivat keskikokoisten ja pienten puiden kasvupotentiaalin parantaminen ja tuhohyönteisten vaivaamien mäntyjen suojeleminen lisätoimilta. Tarkoituksena oli suosia mäntyä ja vähentää vanhempien douglaskuusien osuutta. Kuljettaja valitsi poistettavat puut. Käsitelyssä poistettiin 58 % runkoluvusta ja poistuma painottui keskimääräistä pienempiin puihin. Hakkuussa siirtymisten suhteellinen osuus pieniä poistettavien puiden määrän kasvaessa. Poistettavien puiden koko oli hakkuutyön tuottavuuden keskeinen selittäjä. Hakkuun tehotuntuottavuus oli 13,9 m³.

Metsäkuljetuksen ajanmenekkiä selittivät siirtymismatkat kasojen välillä sekä metsäkuljetusmatka. Metsäkuljetuksen tehotuntuottavuus oli 14,1 m³. Kuormausaikaan ja siirtymisiin työpisteiden välillä vaikuttivat kasassa olevien pölkkyjen koko ja laji, pölkkyjen keskimääräinen lukumäärä kasassa ja kasojen lukumäärä hehtaarilla. Hakkuukoneen tuottavuus oli suurempi kuin kuormatraktorin tuottavuus poistuman suurilla läpimitoilla ja pienempi pienillä läpimitoilla. Korjuuketjun tasapainon kannalta sopiva poistettavan puuston läpimitta oli 15–25 cm (McNeel ja Rutherford 1994).

Suojuspuuhakkuun tuottavuustulokset antavat viitteitä myös poimintahakkuun tuottavuudesta. Ruotsin Västerbottenissa Eliasson ym. (1999) vertailivat kuusikoissa avohakkuuta ja suojuspuuhakkuuta. Tutkimuskohteiden lähtöpuusto oli runkoluvultaan 605–678 puuta/ha ja tilavuudeltaan 321–331 m³/ha. Avohakkuussa tehotuntuottavuus oli 64 m³. Kun suojuspuuhakkuussa jätettiin 259 puuta hehtaarille, tehotuntuottavuus oli 54 m³. Kun jätettiin 381 suojuspuuta/ha, tehotuntuottavuus oli 41 m³. Hakkuutyön tuottavuuden lasku jäävän puuston lisääntymisen myötä johtui pienemmästä kertymästä ja toisaalta runkokohtaisen ajanmenekin kasvusta. Kaadon ja karsinnan ajanmenekit eivät eronneet avohakkuun ja vähemmän suojuspuustoa jättävän hakkuun välillä. Vaihtoehto, jossa jätettiin lähes 400 suojuspuuta, erosi kaadon ja karsinnan ajanmenekiltään molemmista muista vaihtoehtoista. Kun suuria puita käsitellään, runsaampi jäävä puusto lisää ajanmenekkiä. Aiemmin Westerberg ym. (1996) ovat toisaalta todenneet, ettei hakkuukoneen tuottavuus alene, kun avohakkuun sijasta jätetään 200–400 suojuspuuta hehtaarille. Eliassonin ym. (1999) mukaan 70 % runkokohtaisen ajanmenekin eroista suojuspuuhakkuissa johtuu lisääntyneestä rungon käsittelyajasta ja 30 % kertymän pienentymisestä.

Käsitellyille rungoille kohdennetut siirtymisajat poikkesivat Eliassonin ym. (1999) tutkimuksessa kaikkien kolmen vaihtoehdon välillä. Kun hakkuussa poistetaan vähemmän puita, siirtymisten ajanmenekki runkoa kohti lisääntyy. Kun avohakkuussa siirtymisaika/runko oli 3,4 cmin, se oli kaksinkertainen jäävän puuston ollessa 259 puuta hehtaarilla ja kolminkertainen, kun lähes 400 suojuspuuta/ha jätettiin.

4 Kasvatusvaihtoehtojen korjuuolot ja korjuukustannukset

Seuraavassa vertaillaan esimerkinomaisesti kiertäjän korjuuolot tuoreen kankaan kuusikon tasikäisenä kasvatuksessa ja eri-ikäiskasvatuksessa. Tasaikäisenä kasvatettavan kuusikon korjuuolojen kehitys tunnetaan hyvin. Eri-ikäisenä kasvatettavan

Taulukko 1. Esimerkkilaskelma korjuuoloista ja korjuukustannuksista MT-kuusikossa.

Tunnus	Ensi-harvennus	Toinen harvennus	Päättehakkuu
Valtapietus, m	13,6	19,3	21,7
Keskiläpimitta, cm	14,0	22,0	27,0
Ikä, a	36	53	62
Poistuma, runkoa/ha	1045	411	488
Jäävä puusto, runkoa/ha	908	489	0
Poistuman keskijäreys, dm ³	45	197	503
Kuitupuukertymä, m ³ /ha	47,5	48,4	56,8
Tukkikertymä, m ³ /ha	0,0	32,6	188,3
Hakkuukustannus, €/m ³	15,1	6,3	4,0
Metsäkuljetuskustannus, €/m ³	3,8	3,6	2,7

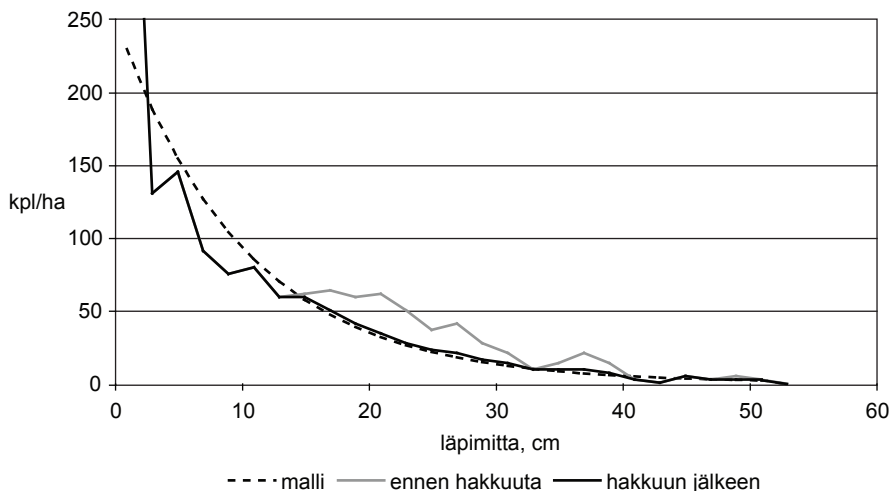
metsän tulevaisuuden korjuuoloihin liittyy enemmän epävarmuustekijöitä kuin tasaikäisen metsän korjuuoloihin.

Tasaikäisen metsän kasvatuksessa korjuulojen vaihtelu on kiertoaikana suurta. Kuusikoissa korjuuolot ovat kuitenkin kohtuullisen hyvät jo ensiharvennuksissa toisin kuin männiköissä, joissa pieni runkokoko ja alhainen hehtaarikertymä ovat usein ongelmina. Taulukossa 1 esitetään MT-kuusikolle Motti-simulaattorilla (Hynynen ym. 2005) lasketut

kertymät, runkokoot ja korjuukustannukset kiertoaikana. Korjuukustannukset on laskettu koneelliselle korjuulle 250 metrin metsäkuljetusmatkalla Kuiton ym. (1994) tulosten perusteella. Hakkuukoneen käyttötuntikustannuksena on 70 €, metsätraktorilla vastaavasti 50 €.

Tasaikäisen metsän kasvatukseen sisältyy myös muita kuluja. Näitä ovat maanmuokkaus- ja istutus-kustannukset metsää uudistettaessa sekä varhaisperkauksen ja taimikonhoidon kustannukset. Usein joudutaan myös tekemään ennakkoraivaus ennen harvennusta. Nämä kulut samoin kuin toimenpiteiden, tulojen ja kulujen ajankohdat yhdessä käytettävän korkoprosentin kanssa vaikuttavat kasvatusvaihtoehdon kannattavuuteen. Kuitenkin myös eri-ikäiskasvatuksessa tulevaisuuden hakkuumahdollisuuksien turvaaminen saattaa vaatia metsänhoitotoimia.

Poimintahakkuiden korjuuoloja kuvataan seuraavassa esimerkinomaisesti Metsäntutkimuslaitoksen Erika-kestokokeiden pohjalta. Poimintahakkuisa kertymä ja kertymän läpimittajakauma riippuvat lähtöpuuston lisäksi toteuttavasta leimauksesta. Kestokokeissa leimauksessa on tavoiteltu käänteisen J-käyrän mukaista läpimittajakaumaa. Kuvasa 1 esitetään tyypillisen poimintahakkuin käsitellyn metsikön läpimittajakauma ennen hakkuuta ja hakkuun jälkeen. Taulukossa 2 esitetään neljän Ve-



Kuva 1. Esimerkki puuston läpimittajakaumasta ennen hakkuuta ja hakkuun jälkeen eri-ikäisrakenteisessa kuusikossa Suonenjoella. Tavoitejakaumana (malli) on käytetty käänteistä J-käyrää (Meyer 1952).

Taulukko 2. Esimerkki poimintahakkuiden korjuuoloista ja laskennallisista korjuukustannuksista.

Tunnus	Koeala				Keskiarvo
	A	B	C	D	
Lähtöpuusto, m ³ /ha	209,7	205,1	195,7	173,1	195,9
Jäävä puusto, m ³ /ha	156,5	140,9	135,6	134,5	141,9
Kertymä, m ³ /ha	53,3	64,3	60,1	38,6	54,1
Rungon keskikoko, dm ³	195	190	599	296	320
Hakkuu, €/m ³	6,78	6,84	4,00	5,99	5,90
Metsäkuljetus, €/m ³	3,80	4,06	3,03	3,25	3,54
Hakkuu + metsäkuljetus, €/m ³	10,58	10,90	7,03	9,24	9,44

sijaolla sijaitsevan kestokoealan (Eerikäinen ym. 2007) lähtöpuusto, jäävä puusto, kertymätiedot ja laskennalliset korjuukustannukset. Hakkuukustannusten laskennassa on käytetty päätehakkuun tuottavuusmalleja (Kuitto ym. 1994), joiden antamaan tuottavuuteen on tehty 20 %:n tasovähennys. Metsäkuljetuksen kustannukset on laskettu Kuiton ym. (1994) malleilla harvennushakkuista.

Kuiton ym. (1994) malleissa koneellisen hakkuun tuottavuuden laskenta koostuu koneen siirtymisen tehoajan laskennasta, puiden käsittelyn tehoajan laskennasta ja niiden summana saadun kokonaistehoajanmenekin muuntamisesta käyttötuntituotokseksi. Koneen siirtymisen ajanmenekkiä selitetään poistuman tiheydellä, maastoluokalla ja hakkuutavalla (pääte- tai harvennushakkuu). Poistuman tiheyden oletusarvot lasketaan funktioilla, jotka on muodostettu seurantatutkimuksen työmaiden tiheyksien perusteella erikseen pääte- ja harvennushakkuille ja joissa selittävänä muuttujana on rungon tilavuus. Puun käsittelyaikoja selitetään puolestaan hakkuutavalla, puulajilla ja rungon tilavuudella. Kun poistuman läpimittajakauma ei ole tiedossa, joudutaan käyttämään poistettavien puiden keskitilavuutta selittävänä muuttujana.

Poimintahakkuissa poistettavien runkojen kokojakauma ei välttämättä ole samanlainen kuin Kuiton ym. (1994) mallien pohjana olevissa tasaikäisissä metsiköissä. Samalla rungon keskitilavuudella hakkuukustannukset voivat olla hyvinkin erilaiset erilaisilla poistuman läpimittajakaumilla. Hakkuukustannusten tarkempi vertailu kasvatustieteen menetelmien välillä edellyttäisikin poistumien läpimittajakaumien käyttöä.

Poimintahakkuiden kustannukset eivät poikkea oleellisesti tasaikäisen kuusikon toisen harvennuksen tasosta. Nyt esitetyt luvut ovat kuitenkin esimerkinomaisia ja sisältävät epävarmuutta. Suurin epävarmuus poimintahakkuiden osalta liittyy tulevaisuuden korjuuoloihin, joihin lyhyemmällä tähtäyksellä vaikuttavat hakkuun voimakkuus, korjuujälki ja toisaalta toimenpiteiden jaksotus. Pitkällä aikavälillä keskeinen korjuuoloihin vaikuttava tekijä on metsän uudistuminen, johon liittyy epävarmuutta ja vaihtelua. Kestokoealoilla poistuman keskimääräinen runkokoko voi olla todellista suurempi, koska koealoille tehty mallileimaus ei sisällä ajouria. Ajourilta poistuu myös pienempää puustoa, joka pienentää rungon keskikokoa ja lisää hakkuukustannuksia. Toisaalta mallileimauksessa on tavoiteltu käänteisen J-käyrän mukaista läpimittajakaumaa, jolloin myös pienempää puustoa on leimattu.

5 Tasaikäisten metsiköiden korjuujälki

Korjuujälkikäsitteeseen sisältyy puustovauriot, ajouraväli ja -leveys, maaperävauriot sekä leimikon harvennusvoimakkuus ja puuvalinta. Yleensä puustovauriot luokitellaan vaurioitumiskohdan perusteella runko- ja juurenniskavaurioihin ja vaurion voimakkuuden perusteella pinta- ja syvävaurioihin (Sirén 1998). Lahottajasienitartunnoille altteimpia ovat rungon tyvelle ja juurenniskaan syntyneet yli 100 cm²:n vauriot, joissa puuaine on rikkoutunut (Di-

mitri 1969, Isomäki ja Kallio 1974). Yleisin kuusen vauriolahottaja on verinahakka (*Stereum sanquinolentum*) (esim. Solheim 2003). Tasaikäisten metsien korjuujälki ja siihen vaikuttavat tekijät tunnetaan verraten hyvin. Tätä tietämystä esitellään aluksi tarkastelun pohjaksi.

Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio on tarkastanut harvennusten korjuujälkeä 1990-luvun alusta lähtien osana metsälakien valvontaa. Vuosittain on tarkastettu yli 200 harvennusleimikon korjuujälki. Mittauslinjoille sijoitettavat ympyräkoalat ovat vakiintuneet korjuujäljen mittausmenetelmäksi. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapion toteuttamassa korjuujäljen seurannan yhtenäistäminen -projektissa (Arnkil ym. 2002) vertailtiin eri organisaatioiden käyttämiä korjuujäljen seurantamenetelmiä sekä yhtenäistettiin korjuujälkitunnusten määritelmiä. Tapion uudistetussa korjuujäljen seurantamenetelmässä ympyräkoalat sijoitetaan mitattavan alueen pisimmän halkaisijan muodostamalle keskilinjalle. Tutkimuksissa halutaan usein tarkempaa tietoa vaurioiden, jäävän puuston ja poistuman jakautumisesta leimikolla. Tätä varten Metsätutkimuslaitoksessa on käytetty ajouran ympärille levittäytyvää, mittausvyöhykkeisiin jakautuvaa koealaa (Sirén 1998).

Metsätalouden kehittämiskeskus Tapion inventointitulokset vuosilta 1994–2002 antavat kuvan puustovaurioiden määrästä koneellisessa korjuussa (Ranta 2003). Keskimääräinen vauriopuiden osuus on vaihdellut välillä 2,2–4,1 %. Korjuujäljessä on selvä paraneva kehitysuinta. Vaikka korjuujälki keskimäärin täyttääkin vaatimukset, ongelmana on kuitenkin suuri leimikoiden välinen vaihtelu.

Kesällä puustovaurioiden syntyherkkyys on suurempi kuin muina vuodenaikoina, koska puun kuori irtoaa helposti. Sirénin (1998) tutkimuksessa todennäköisyys vaurion synnylle pystypuuhun syntyneestä kosketuksesta oli kesällä 1,75-kertainen verrattuna muihin vuodenaikoihin. Wästerlundin (1986) mukaan männyn ja kuusen juuren kuoren irrottamiseen tarvittava paine kesällä on 40 N/cm² ja vastaavasti syksyllä 60–80 N/cm². Vaurioiden koko on myös sulan puun aikana suurempi kuin talvella puun ollessa jäässä. Erityisen herkästi puustovaurioita syntyy nila-aikana.

Koneen kuljettajalla on keskeinen vaikutus puustovaurioiden määrään (Sirén 1998). Koneellisessa korjuussa kaksi kolmannesta vaurioista syntyy hak-

kuuvaiheessa. Hakkuukoneen aiheuttamista vaurioista yli 90 % kohdistuu puun runkoon. Yli 80 % vaurioista on pintavaurioita, joissa kuori on irronnut, mutta puuaines ei ole rikkoutunut. Metsäkuljetuksessa syntyvistä vaurioista huomattava osa kohdistuu juurenniskaan tai juuristoon. Metsäkuljetusvauriot ovat usein syvävaurioita ja pinta-alaltaan suurempia kuin hakkuuvaiheen vauriot.

Hakkuun työmenetelmä vaikuttaa puustovaurioiden määrään. Pienillä hakkuukoneilla voidaan käyttää hakkuu-uramenetelmää ja pidentää metsäkuljetusurien väliä. Hakkuu-uramenetelmän käyttö lisää kuitenkin puustovaurioiden riskiä erityisesti hakkuurien läheisyydessä. Hakkuu-urilla työtila on pieni ja puiden siirtelytarve on suuri, koska puutavara on saatava metsätraktorin ulottuville (Sirén ja Tantt 2001). Hakkuu-uramenetelmän vaurioherkkyyden ovat todenneet myös Brunberg ja Nilsson (1988) ja Ryytänen ym. (2000).

Tasaikäisissä metsissä harvennuksissa kasvamaan jätettävien puiden valinnassa otetaan huomioon olemassa olevan puuston laatu, kasvupaikan puuntuotoskyky ja puuston tilajärjestys. Hakkuussa poistetaan huonolaatuisia, vioittuneita ja kehityksessä jälkeen jääneitä puita sekä hyvälaatuisen valtapuuston kasvua haittaavia puita sen verran, että puuston määrä laskee harvennusmallien osoittamalle tasolle. Puulajeittain ja kasvupaikkatyypeittäin laaditut harvennusmallit osoittavat puuston kehitysvaiheen (valtapituus) ja tiheyden (pohjapinta-ala) perusteella metsikön harvennustarpeen ja hakkuussa jätettävän puuston määrän. Ensiharvennuksissa jäävän puuston määrä on ohjeistettu pohjapinta-alan lisäksi myös runkolukutavoitteella (Hyvän metsänhoidon... 2006). Kuljettajan työn helpottamiseksi on laadittu taulukot (Niemistö 1992), jolla jäävän puuston pohjapinta-alatavoite voidaan muuntaa hehtaarikohtaiseksi runkoluvuksi. Apuna käytetään tällöin koealan suuruusjärjestyksessä keskimmäisen puun rinnankorkeusläpimittaa. Kuljettaja voi käyttää nosturin rajaamaa puoliympyrää jäävän puuston määrittämisessä.

Tasaikäisten metsiköiden harvennuksissa ainespuukokoa pienempiin puihin kohdistuvilla vaurioilla ei yleensä ole koettu olevan merkitystä. Alikasvos vaikeuttaa hakkuuta, minkä vuoksi ennakkoraivaus on usein tarpeen. Ennakkoraivaus aiheuttaa kustannuksia, mutta parantaa hakkuun tuottavuutta ja myös

korjuujälkeä. Erilaisia ennakkoraivausvaihtoehtoja ja niiden vaikutusta korjuutyön tuottavuuteen ja korjuujälkeen ovat tarkastelleet mm. Kärhä ym. (2006) ja Tahvanainen (2001).

6 Eri-ikäisrakenteisten metsiköiden korjuujälki

6.1 Yleistä

Eri-ikäisrakenteisissa metsiköissä alikasvos ei saisi vaurioitua korjuussa merkittävästi, koska se muodostaa ”reservin”, josta kehittyy tuleva puusto. Harvennushakkuiden työtekniikat samoin kuin kone-
ratkaisutkin on kehitetty tasaikäisiin metsiköihin, joissa alikasvoksen varominen ei yleensä ole ollut tarpeellista. Koneellisessa hakkuussa puustovaurioita syntyy eniten puun kaatovaiheessa (yli 60 % vaurioista) ja karsinta-katkontavaiheessa, jonka osuus vaurioista on yli viidennes (Sirén 1998). Poimintahakkuussa edellä mainittujen työvaiheiden vaurioriski kasvaa entisestään. Kaadettaessa suuria puita pienempien päältä latvusvaurioiden ja puiden katkeamisen riski kasvaa. Karsinta-katkontavaiheessa puuta siirretään ja vedetään maanpinnan lähellä, jolloin taimet ovat vaarassa vaurioitua. Poimintahakkuissa suuret lehtipuut saattavat olla vaurioitumisen kannalta erityisen ongelmallisia. Niiden latvukset ovat laajoja ja toisaalta lehtipuiden karsiminen on suurillekin hakkuukoneille usein vaikeaa. Tällöin puuta joudutaan karsittaessa ajamaan hakkuulaitteen läpi edestakaisin ja taimien vaurioriski kasvaa. Koneellisessa hakkuussa sekä hakkuutähteet että katkottu puutavara kertyvät kasoihin, jotka peittävät alleen tai vaurioittavat pienimpiä taimia. Alikasvotaimet kasvavat usein selvästi ryhmittäisinä, jolloin taimitihentymät ja aukkopaidat vuorottelevat. Tällöin metsikön tilajärjestystä ajatellen yksittäisen aukkopaidassa olevan taimen vaurioituminen saattaa olla haitallisempaa kuin se, että tiheästä taimiryhmästä menetetään osa taimista.

Alikasvotaimikon tila korjuun jälkeen on oleellinen osa eri-ikäisrakenteisten metsiköiden korjuujälkeä. Koska korjuujälkiselvityksiä on tehty vähän, vastaavaa menetelmäkehittelyä ja menetelmien yhtenäistämisyrittämyksiä kuin tasaikäisten metsiköi-

den korjuujäljen mittauksessa ei Suomessa ole tehty. Poimintahakkuissa puustovaurioiden vaurioluokitukseen tulee lisätä pienille puille yleiset vaurio-tyypit, kuten rungon katkeamiset ja taipumiset. Fjeld ja Granhus (1998) luokittelivat poimintahakkuussa syntyvät vauriot runkovaurioihin, latvusvaurioihin ja rungon taipumisiin. Granhus ja Fjeld (2001) puolestaan luokittelivat taimien vauriot neljään pääluokkaan, jotka edelleen jakautuivat eri vakavuusasteisiin. Vaurioiden pääluokat olivat seuraavat:

- taimi kuollut tai kadonnut
- taimen kuori tai puuaines vaurioitunut
- taimen latvus vaurioitunut
- taimi taipunut.

Sikström ja Glöde (2000) luokittelivat kuusikon suosjupuiden poistohakkuun korjuujälkeä koskevassa tutkimuksessaan taimien vauriot seuraaviin viiteen pääluokkaan: katkovaurio (runko tai latvus katkennut), oksavaurio, runkovaurio, taimen irtoaminen tai taipuminen sekä viidentenä taimen peittyminen hakkuutähteisiin. Kullekin vauriotyypille oli lisäksi määritetty kolme vakavuusastetta.

Poistettavat puut on poimintahakkuututkimuksissa yleensä leimattu ennakolta. Käytännön tilanteessa toimittaessa puuvalinta on hakkuukoneen kuljettajan vastuulla. Eri-ikäisrakenteisissa metsiköissä esimerkiksi läpimittajakauma vaihtelee paljon metsikön sisälläkin. Kuljettajan on kuitenkin tehtävä ratkaisunsa työpistetasolla. Kuinka paljon poimintahakkuukohteista tarvitaan ennakkotietoa, jotta työn tavoitteet voidaan selkeästi ohjeistaa, vai riittääkö ohjeistukseksi tavoitekertymä ja jäävän puuston varominen? Poimintahakkuissa ajouraverkoston sääntönmukaisuus ei myöskään ole itsestäänselvyys. Ajourat kannattaneet kuitenkin suunnata poistuman painopistealueille, jolloin ajouria voidaan hyödyntää myös puiden käsittelyssä ja näin pienentää ajourien ulkopuolelle jäävän puuston vaurioriskiä.

Poimintahakkuissa on otettava huomioon alikasvoksen osalta myös juurikäpäriski. Kuusenjuurikäpää (*Heterobasidion parviporum*) on vauriolahottajana harvinaisempi, mutta sen aiheuttamat tuhot voivat olla merkittäviä nimenomaan poimintahakkuun käsitellyissä metsissä, koska sieni leviää helposti kuusialikasvokseen (Piri ja Korhonen 2001). Juurikäävän torjuntamahdollisuuksia on lisäksi vähemmän kuin tasaikäisessä metsässä, koska taudin

etenemistä ei voida rajoittaa puulajivalinnalla tai kantojennostolla.

6.2 Nykytietämys

Monta-hankkeen (Kaila 2002) poimintahakkuukohteissa kuusen taimista tuhoutui koneellisessa puunkorjuussa keskimäärin 41 % (Vanha-Majamaa ym. 2002). Suurin kuolleisuus oli yli 3,5-metrinen ja pienin 2,5–3,5-metrinen taimien luokassa (Ilkka Vanha-Majamaa 2005, suullinen tieto). Monta-hankkeen poimintahakkuukohteet eivät olleet eri-ikäisrakenteisia metsiköitä, vaan pikemminkin tasaikäisiä kuusikoita, joissa hakkuu oli ensimmäinen vaihe kohti eri-ikäisrakennetta. Poimintahakkuiden korjuuvaurioita tutkittiin myös Puromonta-hankkeessa (Poikela ja Strandström 2007). Korjuuvaurioiden määrä oli normaalin harvennushakkuun tasolla, ja noin 3 % jäävästä puustosta vaurioitui puron suojavaiohykkeen poimintahakkuussa. Tutkimuksessa tarkasteltiin kuitenkin vain ainespuukokoisten puiden vaurioitumista.

Aihepiirin laajin pohjoismainen tutkimus on Granhusin ja Fjeldin (2001) työ, jossa mallinnettiin alikasvoksen vaurioitumista eri-ikäisrakenteisen kuusikon poimintahakkuussa. Vertailtavina olivat miestyöhakkuu ja koneellinen hakkuu yksioteharvesterilla. Tutkimusleimikoita oli yhteensä 17, joista neljä hakattiin miestyönä. Ajouraväli tutkimusleimikoilla oli 24 metriä ja urien väliin rajattiin 24 m × 48 m:n koeala. Poistettavat puut leimattiin etukäteen.

Tutkimuksessa selvitettiin 0,5–3,0 metriä pitkien taimien vaurioitumista. Ennakkomittauksessa kaikki yli puolen metrin pituiset puut mitattiin, luokiteltiin latvukseltaan terveisiin ja vikaisiin ja puiden sijainnit kartoitettiin. Aukkopaikoissa kasvavissa taimissa oletettiin olevan vähemmän latvuksen vikaisuksia kuin lähellä suurempia puita kasvavissa. Tämä ero todettiin ennakkomittauksissa, joissa jonkinasteinen latvuksen vaurio oli 39 %:lla taimista. Yli 1,5 metrin etäisyydellä suuremmista puista sijaitsevista taimista latvukseltaan terveitä oli kuudennes enemmän kuin lähellä suuria puita sijaitsevista. Yhtenä tutkimushypoteesina oli, että aukoissa olevat taimet ovat erityisen alttiita vaurioille kuljettajan/metsurin välttämässä suurempien puiden vaurioittamista ja hyödyntämässä aukkoja puun kaadossa ja käsittelys-

sä. Latvukseltaan terveisiin ja vikaisiin luokiteltujen taimien vaurioitumisriskiä verrattiin suhteellisella riskillä (Agresti 1996) eri laatuluokille.

Granhus ja Fjeld (2001) kuvasivat taimien vaurioitumisen todennäköisyyden spatiaalista vaihtelua logistisilla regressiomalleilla. Seuraavien tekijöiden vaikutusta selvitettiin:

- hakkuumenetelmä (miestyöhakkuu–koneellinen hakkuu)
- taimen etäisyys ajourasta
- taimen etäisyys lähimpään puuhun
- taimen pituus
- hakkuun voimakkuus.

Miestyöhakkuussa keskimäärin 33 % (26–50 %) ja koneellisessa hakkuussa vastaavasti 41 % (17–76 %) taimista joko tuhoutui tai vaurioitui. Miestyöhakkuussa taimista tuhoutui keskimäärin 11 % ja koneellisessa hakkuussa 19 %. Yleisimmät vauriotyypit eloonjääneillä taimilla olivat latvusvaurio ja taipuminen. Näistä latvusvaurio oli yleisin vauriotyyppi koneellisessa, taipuminen puolestaan miestyöhakkuussa. Kuorivaurioiden määrä jäi verraten vähäiseksi molemmilla hakkuutavoilla. Latvus- ja kuorivaurioista valtaosan arvioitiin olevan puun kaadossa, käsittelyssä tai kuljetuksessa tapahtuneen suoran kontaktin seurausta. Puiden taipumiseen tai tuhoutumiseen oli usein syynä hakkuutähtepeitto.

Ennakoarvio puuston aukkokohtaisissa olevien taimien suuremmasta vaurioriskistä osoittautui oikeaksi miestyöhakkuussa. Latvukseltaan vaurioitumattomista taimista hakkuussa vaurioitui tällöin 36 %, latvusviallisista vastaavasti 28 %. Vaurioitumisriski hyvillä taimilla oli täten reilun neljänneksen suurempi. Vastaavaa eroa ei kuitenkaan todettu koneellisessa hakkuussa.

Granhus ja Fjeld (2001) totesivat taimien vaurioitumisriskin olevan sidoksissa leimikolla tehdyn työn määrään. Työn määrää tutkimuksessa kuvasi pohjapinta-alan muutoksena kuvattu poistuman määrä leimikkotasolla. Vaikka poistuma tutkimusleimikoilla jakautuikin suhteellisen tasaisesti, käsittelyn voimakkuudessa oli eroja koealojen eri osissa. Kaikki ehdotetut muuttujat (hakkuumenetelmä, taimen etäisyys ajourasta, taimen etäisyys lähimmästä jäävästä puusta, taimen pituus, hakkuuvoimakkuus) selittivät vaurioitumisen todennäköisyyttä. Vaurioriski oli molemmilla hakkuumenetelmillä suurin lä-

hellä ajouraa. Koneellisessa hakkuussa vaurioriski ei kuitenkaan pienentynyt yhtä voimakkaasti kuin miestyöhakkuussa taimen etäisyyden urasta kasvaessa. Taimista 70,5 % luokitui oikein logistisen regressiomallin avulla joko vaurioituneeksi tai ehjäksi. Koneellisessa hakkuussa suuremmat taimet, miestyöhakkuussa vastaavasti pienemmät taimet vaurioituivat helpommin. Granhusin ja Fjeldin (2001) mukaan tämä ero johtuu siitä, että metsuri puun kaatosuuntaa valitessaan varoo suurempia taimia enemmän kuin hakkuukoneen kuljettaja.

Aiemmassa tutkimuksessaan Fjeld ja Granhus (1998) vertailivat hakkuumenetelmän ja harvennusvoimakkuuden vaikutusta jäävän puuston vaurioitumiseen poimintahakkuissa. Vertailtavina olivat miestyöhakkuu ja vajerijuonto maataloustraktorilla sekä koneellinen korjuu (hakkuu yksioteharvesteireilla, kuljetus metsätraktorilla). Tutkimuksen ensimmäisessä osassa Fjeld ja Granhus (1998) vertailivat hakkuuvoimakkuuden vaikutusta. Kullekin yhdeksälle toistolle rajattiin kolme 36 m × 60 m:n koealaa. Niille merkittiin kaksi ajouraa, joiden väliksi tuli 24 metriä. Koealoilta mitattiin kaikkien yli puolen metrin pituisten puiden sijainti ja läpimitta. Kullekin koealalle tehtiin voimakkuudeltaan erilainen ennakkoleimaus. Vertailtavat harvennusvoimakkuudet olivat toistojen keskiarvoina 34, 43 ja 54 % pohjapinta-alasta harvennuspoistuman ollessa vastaavasti 86, 125 ja 136 m³/ha. Korjuuvauriot mitattiin sijoittamalla kullekin koealalle ajourien väliin neljä 4 metrin levyistä mittauskaistaletta, joilta selvitettiin yli kolmemetrinen puiden vaurioitumista.

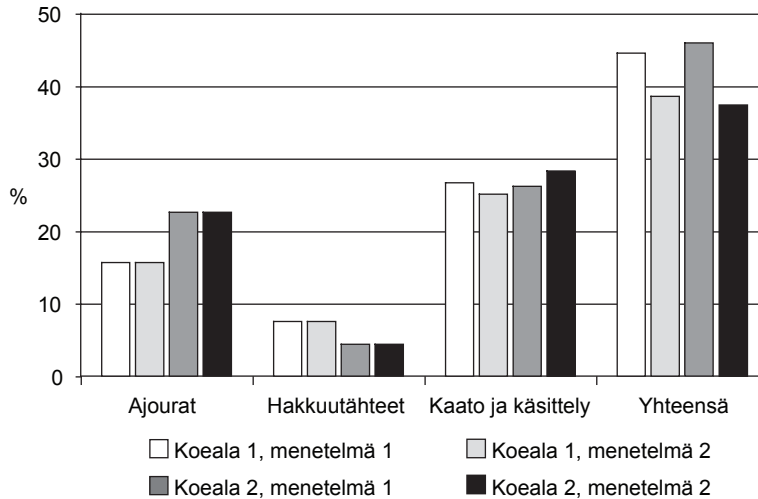
Keskimäärin 11 % jäävistä puista vaurioitui kokeessa. Vaurioituneista puista 62 %:lla oli runkovaurio, 55 %:lla latvusvaurio ja 16 % vauriupuista oli taipunut. Runkovaurioituneista puista 36 %:lla oli vaurio myös latvuksessa. Puu tai taimi luettiin vaurioituneeksi, jos rungossa oli yli 15 cm²:n vaurio, yli 15 % elävästä latvuksesta oli menetetty tai jos taimi oli taipunut yli 15 astetta. Korjuuvaurioiden määrään vaikuttavia tekijöitä olivat toisto, harvennusvoimakkuus (koeala) ja puiden koko. Toistot erosivat toisistaan hakkuumenetelmältään (miestyöhakkuu vs. koneellinen hakkuu) ja puuston määrältään.

Koesarjansa toisessa osassa Fjeld ja Granhus (1998) tutkivat korjuumenetelmän vaikutusta yli puolen metrin pituisten taimien vaurioitumiseen. Neljällä kohteella oli kullakin kaksi harvennusvo-

makuudeltaan samanlaista koealaa, joissa toisella tutkittiin miestyönä tehtävää, toisella koneellista hakkuuta. Miestyönä hakatuilla koealoilla vaurioitui keskimäärin 8,7 % taimista, koneellisesti hakatuilla vastaavasti 13,7 %. Vauriot keskittyivät miestyöhakkuussa ajourien läheisyyteen, koneellisessa hakkuussa vaurioita syntyi myös kauemmas urasta. Pienemmät, läpimitaltaan alle 10 cm:n puut olivat alttiimpia vaurioitumaan kuin suuremmat puut. Pienemmät puut olivat erityisen alttiita latvusvaurioille. Koneellisessa hakkuussa vauriot olivat keskimäärin hieman vakavampia kuin miestyöhakkuussa. Fjeld ja Granhus (1998) toteavat miestyöhakkuulla ja koneellisella hakkuulla olevan eroa vaurioitumisen kannalta. Menetelmät eroavat erityisesti puun käsittelyssä, jonka määrä, nopeus ja voima ovat koneellisessa hakkuussa suuremmat. Koneellisessa hakkuussa kokeessa puut kaadettiin pois päin uralta, kun taas miestyöhakkuussa puu pyrittiin kaatamaan jo käsittelyn alueen aukoihin.

Granhusin ja Fjeldin (2001) sekä Fjeldin ja Granhusin (1998) tutkimukset sisältävät paljon mielenkiintoista tietoa poimintahakkuiden korjuujäljestä, siihen vaikuttavista tekijöistä ja myös tutkimusmetodiikasta. Fjeldin ja Granhusin (1998) mukaan vaurioituneiden puiden määrän voidaan olettaa olevan suhteessa puihin tapahtuvien kosketusten todennäköisyyteen. Hakkuussa kosketuksia aiheuttavat erilaiset liikkuvat, koneeseen, sen työskentelyyn tai käsiteltäviin puihin liittyvät tekijät. Yksi mahdollisuus tarkastella kosketusten todennäköisyyttä on verrata kaadettujen ja käsiteltyjen puiden projisoitua työaluetta työskentelyyn käytettävissä olevaan, puutomaan työtilaan. Tätä suhdetta voidaan kuvata vertaamalla poistettavien puiden latvusten projektiota (m²/ha) latvuksettomaan tilaan.

Edellä esitetyt tulokset ja teoria antoivat sysäyksen Miittisen (2005) työlle, jossa selvitettiin simuloimalla hakkuutekniikan vaikutusta vaurioitumiselle altistuvien taimien määrään. Tarkastelun kohteena olivat alle kolmen metrin mittaiset taimet kahdella Metsäntutkimuslaitoksen Erika-kestokoealalla (Eerikäinen ym. 2007), joissa puiden sijainnit tunnettiin. Koealoilta poistettavat puut valittiin leimausohjelmalla, jotta puiden poistamisessa käytettäisiin samanlaisia kriteerejä eri koealoilla. Hakkuutekniikan vaikutusta vaurioitumiselle altistuvien taimien määrään tutkittiin simuloimalla koealoille kaksi eri



Kuva 2. Eri-ikäisrakenteisille koealoille simuloidussa koneellisessa korjuussa ajourien, hakkuutähteiden ja kaadettavien puiden alle jäävien alle kolme metriä pitkien kuusen taimien osuudet (Miettinen 2005). Menetelmä 1:ssä puut kaadettiin kohtisuoraan ajouraan nähden ja menetelmä 2:ssa pääosin ajouralle. Osa taimista on altistunut useammalle tekijälle.

työmenetelmää. Toisessa puut kaadettiin kohtisuoraan ajouralta pois päin, toisessa hyödynnettiin ajouraa kaatamalla viittä metriä lähempänä ajouraa kasvavat poistettavat puut ajouralle.

Kaadetun puun alle peittämä alue määritettiin suorakulmiona, jonka pituus vastasi puun pituutta ja leveys puolta puun latvusleveydestä. Koealalle sijoitettiin kaksi ajouraa, joiden väli oli 20 metriä ja leveys 4 metriä. Hakkuutähdekasat sijoitettiin kartalle 6 neliömetrin ympyröinä kaadetun puun kannon ja ajouran väliin aivan kannon viereen. Tuloksena saatiin kuva kaadettujen puiden ja hakkuutähdekasojen sijoittumisesta koealalle ja taimien altistumisesta vaurioitumiselle. Vaurioitumiselle altistuvien taimien määrä työmenetelmittäin ja koealoittain esitetään kuvassa 2 (Miettinen 2005).

Miettisen (2005) selvityksessä koealoille sijoitettiin ajourat systemaattisesti määräväleihin ottamatta huomioon poistettavien puiden tai taimien sijaintia. Käytännön hakkuissa kuljettaja voi suunnata ajourat taimien ja kaadettavien puiden sijainnin mukaan. Eri-ikäisrakenteisessa metsikössä taimet ovat usein ryhmittyneinä ja näitä ryhmiä kiertämällä voidaan korjuulle altistuvien taimien määrää vähentää. Miettisen (2005) tulokset osoittavat hakkuutekniikan vaikutuksen vaurioitumiselle altistuvien taimien määrään. Kaadettaessa puut ajouralta pois päin vaurioitumiselle altistui 45 % taimista ja ajouraa mahdollisuuksien mukaan hyödynnettäessä 38 %.

Myös suojustuiden poistohakkuuta koskevilla tuloksilla voi olla käyttöä poimintahakkuiden korjuujälkikysymyksiä pohdittaessa. Glöde ja Sikström (2001) vertailivat suojustuiden poistossa kahta työmenetelmää yksiotetarvesterilla. Toisessa harvesteri kaatoi puut sivulle molemmille puolille ajouraa, toisessa hyödynnettiin ajouraa puiden kaadossa. Poistettavia puita oli 140–165 m³/ha ja puiden keskikoko oli 0,36–0,39 m³. Menetelmien välillä ei ollut eroa työn tuottavuuden eikä myöskään taimien vaurioitumisen suhteen. Kummallakin työmenetelmällä katosi tai vaurioitui noin 40 % taimista. Tutkimuskohteilla taimien keskipituus oli hieman yli metrin. Glöde ja Sikström (2001) kuitenkin arvioivat, että uraa hyödyntävä työmenetelmä voisi säästää taimia 2–3-metrisissä alikasvoksissa.

Sikström ja Glöde (2000) vertailivat myös yksiotetarvesteri ja kaksiotetarvesteita kuusikon suojustuiden poistossa. Hypoteesina oli, että yksiotetarvesteri vaurioitumisen suhteen. Kummallakin työmenetelmällä katosi tai vaurioitui noin 40 % taimista. Tutkimuskohteilla taimien keskipituus oli hieman yli metrin. Glöde ja Sikström (2001) kuitenkin arvioivat, että uraa hyödyntävä työmenetelmä voisi säästää taimia 2–3-metrisissä alikasvoksissa.

Hypoteesina oli, että yksiotetarvesteri vaurioitumisen suhteen.

riottaiksi hakkuussa vähemmän taimia, koska sillä kuljettaja voi vapaammin valita puutavara- ja hakkuutähdekasojen paikan ja käsiteltävän puun oletettiin laahaavan vähemmän maanpinnalla kuin kaksiotetarvesterilla työskenneltäessä. Tutkimusleimikoilta poistettiin 180–228 suojuvuuta, 132–234 m³ hehtaarilta. Ennen hakkuuta koalueilla oli 6400–25400 keskipituudeltaan 0,7–1,5 metrin havupuun tainta hehtaarilla. Havupuutaimista 38–65 % kuoli, katosi tai vaurioitui koneellisen puunkorjuun seurauksena. Korjuun jälkeen täysin vaurioitumattomia taimia oli 2200–15300, vähän tai kohtalaisesti vaurioituneet taimet mukaan lukien jäljelle jäi 3600–19100 tainta hehtaarilla. Eniten taimia vaurioitui poistumaltaan suurimmilla kohteilla. Vaurioituminen ei muuttanut oleellisesti taimien pituusjakautumaa eikä koneiden välillä ollut merkitsevää eroa. Vaurioituneista taimista lähes kaksi kolmannesta arvioitiin vakavasti vaurioituneiksi. Vaurioituneet taimet olivat useimmiten joko taipuneet, irronneet maasta tai jääneet hakkuutähteiden peittäviksi. Latvakatkoja oli reilu viidennes vaurioista. Yleisimmät vaurion aiheuttajat olivat hakkuutähteet, puun kaato ja siirtymisajo (Sikström ja Glöde 2000). Suomesa Peltoniemi (1991) vertaili suojuvuuden poistoa miestyönä ja yksiotetarvesterilla 1–3-metrinen taimikon päältä. Miestyönä hakatuissa kohteissa vaurioitui 11–23 %, konetyönä hakatuissa 19–26 % taimista.

Korjuuaika vaikuttaa vaurioiden syntyherkkyyteen ja kokoon. Lämpötilan, korjuun ajankohdan ja taimien vaurioitumisherkkyyden yhteydestä on tutkimustuloksia ylispuuhakkuista. Maukosen (1997) mukaan ylispuuhakkuu pienissä taimikoissa voidaan tehdä joko lumettomana aikana tai paksun lumen aikana. Lumirajan yläpuolelle yltävät taimikot on parasta korjata sulan puun aikana. Roiko-Jokelan (1983) mukaan kovalla pakkasella taimikon vaurioitumisriski on suuri, ja ylispuuhakkuuta tulee tällöin välttää.

Eliasson ym. (2003) selvittivät taimien vaurioitumiseen vaikuttavia tekijöitä järjestetyllä kokeella, jossa eripituisia taimia taivutettiin eri lämpötiloissa. Tutkittaviin taimiin kiinnitettiin kaksi vajeria, toinen puun tyvelle ja toinen ylemmäs puuhun. Näillä vajjereilla taimia taivutettiin ja taivutusvoima mitattiin. Tutkimushypoteesina oli, että taimien vaurioitumisriski kasvaa taimen pituuden lisääntyessä ja

lämpötilan laskiessa. Vaurioitumista tutkittiin kahdessa eri lämpötilassa, lämpötilan ollessa 0–5 astetta ja pakkasen ollessa 15–20 astetta. Koepaikoilla maa oli jäässä ja lumen paksuus noin puoli metriä. Tutkittavien taimien pituus vaihteli metristä viiteen metriin. Taimen katkeamisen todennäköisyys kasvoi taimen pituuden kasvaessa ja lämpötilan laskiessa.

7 Poimintahakkuiden puunkorjuun tutkimustarpeita

Suomalainen tutkimustieto koneellisen korjuutyön tuottavuudesta ja korjuujäljestä eri-ikäsrakenteisten metsien poimintahakkuissa on vähäistä. Tutkimuspanoksia ei ole koettu tarpeelliseksi suunnata menetelmään, jonka käyttöä ei ole yleisesti pidetty hyväksyttävänä. Poimintahakkuiden tutkimusta vaikeuttaakin sopivien tutkimuskohteiden löytäminen talousmetsistä. Koska kohteita on huonosti saatavissa ja tutkimusresurssit ovat rajallisia, tutkimukset on toteutettava mahdollisimman laajasti yleistettävää tietoa tuottavalla tutkimusmetodiikalla.

Poimintahakkuissa koneellisen korjuun ongelmat eivät ensisijaisesti liity työn tuottavuuteen ja kustannuksiin vaan sellaisten käsittelyjen ja työmenetelmien etsimiseen, joissa yhdistyvät kohtuulliset kustannukset ja metsikön hyvän kehityksen mahdollistava korjuujälki. Tähän tehtäväkenttään liittyvät käsitteilyiden voimakkuus ja jaksotus, hakkuukoneen työtekniikka, ajourien sijoittelu ja kuljettajan työn ohjeistaminen. Jos poimintahakkuut tulevaisuudessa yleistyvät, korjuun suunnitteluun liittyvät tutkimusteemat ja aluetason vaikutukset korjuuresursseihin tulevat nousemaan esille.

Kuljettaja vaikuttaa keskeisesti hakkuutyön tuottavuuteen ja myös korjuujälkeen. Kuljettajien väliset erot korostuvat työolojen vaikeutuessa. Tasaikäisen metsän harvennuksessa poistettavat puut valitaan puiden aseman, sijainnin ja laadun perusteella. Jäävän puuston määrä arvioidaan työpistetasolla ja apuvälineenä kuljettaja voi käyttää esimerkiksi nosturin ulottuvuuden rajoittamaa puoliympyrää. Tasaikäisenkin metsikön hakkuussa kuljettajan on käsiteltävä runsaasti informaatiota ja tehtävä monia päätöksiä (Kariniemi 2006).

Eri-ikäsrakenteisille metsiköille on kuitenkin

ominaista vaihtelu sekä puiden ja taimien ryhmittäisyys. Esimerkiksi käänteistä J-käyrää vastaavan läpimittajakauman saavuttaminen ja ylläpitäminen on tuskin mahdollista ilman ennakkomittauksia ja -leimausta. Käytännön mittakaavassa toimittaessa laajemmat ennakkomittaukset ovat kuitenkin kustannussyistä poissuljettuja. Hakkuutyön ohjeistaminen samoin kuin mahdollinen ennakkosuunnittelun tarve vaativat tutkimustietoa. Vaikka tavoitteena voi teoriassa olla käänteistä J-käyrää vastaava läpimittajakauma, teoreettinen malli sopii harvoin sellaiseenaan käytännön toiminnan lähtökohdaksi ja tavoitteeksi. Koska korjuussa on vaurioriskinsä ja toisaalta pienten runkojen hakkuun yksikkökustannukset ovat korkeat, pienempää puustoa voi olla järkevää hakata vähemmän kuin tavoitella edellyttäisi. Toisaalta saattaisi olla järkevää raivaussahatyönä vapauttaa tiheidien taimiryhmien parhaita puita jonkin aikaa korjuun jälkeen.

Tasaikäisessä metsikössä ajouraverkosto on melko systemaattinen ja uraväli yleensä koneellisen korjuun mahdollistava 20 metriä. Poimintahakkuissa osalla leimikkoa poistuma saattaa olla huomattava, osalla taas varsin vähäinen. Siten ajouraston ei välttämättä tarvitse olla säännöllinen eikä koko leimikon kattava, vaan voi olla järkevää suunnata ajourat poistumaltaan runsaisiin kohtiin ja toisaalta välttää hyvin taimettuneita alueita. Ajourille ja niiden ympärille syntyviin aukkoihin voi syntyä runsaasti taimia, koska puunkorjuussa tapahtuva maanpinnan rikkoutuminen edistää taimettumista. Ajourien määrä ja sijoittelu sekä edellisen hakkuun ajourien käyttö muodostavat kiintoisan tutkimuskohteen.

Poistuman määrä ja läpimittajakauma vaikuttavat paitsi korjuukustannuksiin ja korjuujälkeen myös metsikön tulevaan kehitykseen ja sitä kautta metsänkasvatuksen talouteen. Toimenpiteiden jaksotus ja voimakkuus ovat keskeisiä eri-ikäiskasvatuksen kannattavuuteen liittyviä tekijöitä, joiden tarkastelu vaatii luotettavaa tietoa metsiköiden kehityksestä ja korjuun vaikutuksista kehitykseen. Tarkastelussa on otettava huomioon myös toistuvien käsittelyjen vaikutus puuston vaurioitumiselle ja lahottajasienitartunnoille.

Koneellinen hakkuu eroaa miestyönä tehtävästä hakkuusta erityisesti puun karsinnan ja katkonnan osalta. Puuta siirrettäessä ja karsittaessa taimet altistuvat koneellisessa hakkuussa enemmän vaurioille

kuin miestyönä tehtävässä hakkuussa. Myös kasoihin kertyvät hakkuutähteet ja puutavara ovat vaurioriski taimille. Koneellisen hakkuun etuna on toisaalta puun hyvä hallinta kaatovaiheessa. Poistettavien puiden suuri koko vaatii järeän hakkuukoneen, jolla voidaan hyödyntää ajouraa puun kaadossa ja käsittelyssä. Nykyinen konetekniikka on kehitetty tasikäisten metsien korjuuseen. Jos poimintahakkuut yleistyvät, niihin kehittynee omia korjuuratkaisuja erityisesti hakkuuseen. Korjuujäljen kannalta suurimmat kehittämismahdollisuudet liittyvät suurten puiden hallittuun kaatoon ja käsittelyyn. Kaato- ja karsintavaiheen vaurioriskiä on mahdollista pienentää esimerkiksi Pika 75 -harvesterin tyyppisillä koneratkaisuilla, joissa puu käsitellään koneen päällä ja valmis puutavara putoaa maahan. Mäkelän (1990) mukaan Pika 75 -harvesteri soveltuu hyvin ylispuiden poistoon ja taimikkovauriot pysyvät kohtuullisina.

Ulkomaiset tutkimukset poimintahakkuiden korjuujäljestä antavat hyvän perustan jatkotutkimuksille. Fjeldin ja Granhusin (1998) ja Granhusin ja Fjeldin (2001) tutkimuksissa on syvällisesti perehdytty poimintahakkuiden korjuujälkikysymyksiin ja etsitty menetelmiä puustovaurioiden mallintamiseksi. Granhus ja Fjeld (2001) esittävät tutkimusleimikon jakamista pienempiin mittausyksiköihin, esimerkiksi Sirénin (1998) tapaan työalueisiin, joihin kohdistuva työmäärä (puiden käsittely, koneiden liikkeet) ja työolot voitaisiin tarkasti määrittää ja löytää yhteyksiä vaurioitumisen ennustamiseksi. Osittain näitä ajatuksia toteuttavat tämän katsauksen kirjoittajat käynnissä olevassa tutkimuksessaan, jossa mallinetaan puuston vaurioitumista poimintahakkuissa ja etsitään työmenetelmän, työn tuottavuuden ja taimien vaurioitumisen välisiä yhteyksiä.

Poimintahakkuiden työmenetelmien ja korjuujäljen tutkimiseen on vaikea löytää olosuhteiltaan vertailukelpoisia kohteita. Granhus ja Fjeld (2001) näkevätkin virtuaalimetsän ja siinä tehtävät simuloinnit mahdollisuudeksi selvittää korjuuseen ja korjuujälkeen liittyviä kysymyksiä. Tällöin voitaisiin hyödyntää tietoa taimien synnystä ja ryhmittäisyydestä (esim. Lundqvist ja Fridman 1996). Simulointia ovat Suomessa käyttäneet mm. Harstela ja Maukonen (1983) verratessaan yksi- ja kaksioteprosessorin työskentelyä.

Kiitokset

Kiitämme Sauli Valkosta, Annika Kangasta ja artikkelin kahta tarkastajaa rakentavista kommentteista. Tutkimusta on rahoittanut Suomen Kulttuuri-rahasto.

Kirjallisuus

- Agresti, A. 1996. An introduction to categorical data analysis. John Wiley & Sons, Inc., New York. 290 s.
- Arnkil, R., Kotiharju, A., Poikela, A. & Äijälä, O. 2002. Korjuujäljen seurannan yhtenäistäminen -projekti. Loppuraportti. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio. 20 s.
- Brunberg, T. 1997. Underlag för produktionsnorm för engreppsskördare i gallring. Summary: Basic data for productivity forms for single-grip harvesters in thinning. Skogforsk, Redögörelse 8. 18 s.
- & Arlinger, J. 2001. Vad kostar det att sortera virket i skogen? Summary: What does it cost to sort timber at the stump? Skogforsk, Resultat 3. 4 s.
- & Nilsson, N. 1988. FMG 0470 Lillebror, beståndsgående engreppsskördare för klena gallringar. Skogsarbeten, Resultat 13. 4 s.
- Dale, O., Kjøstelsen, L. & Aamodt, H.E. 1993. Mechaniserte, lukkete hogster (Mechanized selective cutting). Julkaisussa: Aamodt, H.E. (toim.). 1993. Flerbruksrettet driftsteknikk (Forest operations for multiple use). Rapport fra Skogforsk 20/93: 1–40.
- Dimitri, L. 1969. Ein Beitrag zur Infektion der Fichtenwurzel durch den Wurzelschwamm *Fomes annosus* (Fr.) Cooke. Forstwissenschaftliches Centralblatt 88: 72–80.
- Eerikäinen, K., Miina, J. & Valkonen, S. 2007. Models for the regeneration establishment and the development of established seedlings in uneven-aged, Norway spruce dominated forest stands of southern Finland. *Forest Ecology and Management* 242(2–3): 444–461.
- Eliasson, L., Bengtson, J., Cedergren, J. & Lageson, H. 1999. Comparison of single-grip harvester productivity in clear- and shelterwood cutting. *Journal of Forest Engineering* 10(1): 43–48.
- , Lageson, H. & Valinger, E. 2003. Influence of sapling height and temperature on damage to advance regeneration. *Forest Ecology and Management* 175: 217–222.
- Fjeld, D. 1994. Time consumption for selection and patch cutting with a one-grip harvester. Part of the SNS/NSR project ”Techniques and methods for silviculture in multiple-use forestry”. *Communications of Skogforsk* 47(4): 1–28.
- & Granhus, A. 1998. Injuries after selection harvesting in multi-storied spruce stands – the influence of operating systems and harvest intensity. *Journal of Forest Engineering* 9(2): 33–40.
- Glöde, D. & Sikström, U. 2001. Two felling methods in final cutting of shelterwood, single-grip harvester productivity and damage to the regeneration. *Silva Fennica* 35(1): 71–83.
- Goff, F.G. & West, D. 1975. Canopy-understory interaction effects on forest population structure. *Forest Science* 21: 98–108.
- Granhus, A. & Fjeld, D. 2001. Spatial distribution of injuries to Norway spruce advance growth after selection harvesting. *Canadian Journal of Forest Research* 31: 1903–1913.
- Harstela, P. & Maukonen, A. 1983. Tavanomainen ja kuormainprossori varttuneissa harvennusmetsissä. Simulaattorikoe. Summary: A conventional and grapple loader processor in second and third thinnings. A simulator experiment. *Silva Fennica* 17(2): 101–111.
- Hynynen, J., Ahtikoski, A., Siitonen, J., Sievänen, R. & Liski, J. 2005. Applying the MOTTI simulator to analyse the effect of alternative management schedules on timber and non-timber production. *Forest Ecology and Management* 207: 5–18.
- Hyvän metsänhoidon suositukset. 2006. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio. 100 s.
- Imponen, V., Keskinen, S. & Linkosalo, T. 2003. Monimuotoisuus talousmetsän uudistamisessa – kuusioiden käsittelyvaihtoehtojen vaikutukset puuntuotannon ja -hankinnan talouteen. Metsätehon raportti 163. 22 s.
- Isomäki, A. & Kallio, T. 1974. Consequences of injury caused by timber harvesting machines on the growth and decay of spruce (*Picea abies* (L.) Karst.). *Acta Forestalia Fennica* 136. 25 s.
- Kaila, S. 2002. Monta-hankkeen tausta, tarkoitus ja koejärjestely. Monta-tulosseminaari 17.5.2002. Helsinki. 3 s. [Verkkojulkaisu]. Saatavissa: http://www.metsateho.fi/uploads/Tausta_1.pdf. [Viitattu 19.6.2007].
- Kariniemi, A. 2006. Kuljettajakeskeinen hakkuukonetyön malli: työn suorituksen kognitiivinen tarkastelu. Hel-

- singin yliopiston metsävarojen käytön laitoksen julkaisuja 38. 126 s.
- Kuitto, P.-J., Keskinen, S., Lindroos, J., Oijala, T., Rajamäki, J., Räsänen, T. & Terävä, J. 1994. Puutavaran koneellinen hakkuu ja metsäkuljetus. Summary: Mechanized cutting and forest haulage. Metsätehon tiedotus 410. 38 s.
- Kärhä, K., Keskinen, S., Kallio, T., Liikkanen, R. & Lindroos, J. 2006. Ennakkoraivaus osana ensiharvennuspuun korjuuta. Metsätehon raportti 187. 77 s.
- Leak, W.B. 1964. An expression of diameter distribution for unbalanced, uneven-aged stands and forests. *Forest Science* 10: 39–50.
- Lilleberg, R. 1998. Puunkorjuun tuotos ja kustannukset. Julkaisussa: Kaila, S. (toim.). Monimuotoisuus talousmetsän uudistamisessa -hankkeen väliraportit (MON-TA-hanke). Metsätehon raportti 62: 29–32.
- Lundqvist, L. & Fridman, E. 1996. Influence of local stand basal area on density and growth of regeneration in uneven-aged *Picea abies* stands. *Scandinavian Journal of Forest Research* 11: 364–369.
- Lähde, E. 1983. Jatkuva kasvatus metsänkäsittelyn yhtenä vaihtoehtona. Julkaisussa: Metsäntutkimuspäivä Suomussalmella ja Sotkamossa 1983. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 119: 53–62.
- , Laiho, O., Norokorpi, Y. & Saksa, T. 2002. Development of Norway spruce dominated stands after single-tree selection and low thinning. *Canadian Journal of Forest Research* 32: 1577–1584.
- Maukonen, A. 1987. Ylispuuhakkuun taimikolle aiheuttamat vauriot. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 244. 30 s.
- McNeel, J.F. & Rutherford, D. 1994. Modelling harvester-forwarder system performance in a selection harvest. *Journal of Forest Engineering* 6(1): 7–14.
- Meyer, H.A. 1952. Structure, growth, and drain in balanced uneven-aged forests. *Journal of Forestry* 50: 85–92.
- Miettinen, A. 2005. Paikkatietoanalyysien soveltaminen eri-ikäisrakenteisten metsien hakkuiden tutkimuksessa. Päättötyö, paikkatiedonhallinnan erikoistumisopinnot. Hämeen ammattikorkeakoulu. 10 s.
- Mäkelä, M. 1990. Ylispuiden poisto Pika 75- ja FMG 707/12 S Motonalle -harvestereilla. Metsätehon katsaus 19/1990. 4 s.
- Niemistö, P. 1992. Runkolukuun perustuvat harvennussmallit. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 432. 18 s.
- Nieuwenhuis, M. 2000. Terminology of forest management. Terms and definitions in English. IUFRO World Series Vol. 9-en. IUFRO Secretariat, Vienna. 166 s.
- Nurminen, T., Korpunen, H. & Uusitalo, J. 2006. Time consumption analysis of the mechanized cut-to-length harvesting system. *Silva Fennica* 40(2): 336–363.
- Peltoniemi, T. 1991. Ylispuiden poisto konetyönä, mies-työnä ja niiden yhdistelmänä. Metsätehon katsaus 18/1991. 4 s.
- Piri, T. & Korhonen, K. 2001. Infection of advance regeneration of Norway spruce by *Heterobasidion parviporum*. *Canadian Journal of Forest Research* 31: 937–942.
- Poikela, A. & Alanne, H. 2002. Puutavaran lajittelu korjuun yhteydessä. Metsätehon raportti 135. 40 s.
- & Strandström, M. 2007. Erikoiskohteiden korjuu. Julkaisussa: Kariniemi, A. (toim.). Kehittyvä puuhuolto 2007 seminaarijulkaisu. s. 81–86.
- Pommerening, A. & Murphy, S.T. 2004. A review of the history, definitions and methods of continuous cover forestry with special attention to afforestation and restocking. *Forestry* 77(1): 27–44.
- Rajamäki, J. 1997. Kuljettaja ratkaisee harvennushakkuun tuottavuuden. *Koneyrittäjä* 2:30–31.
- Ranta, R. 2003. Harvennushakkuiden korjuujäljen tarkastukset vuonna 2002. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio. Raportti. 6 s.
- Roiko-Jokela, P. 1983. Taimikoiden kunto ylispuun poiston jälkeen. Julkaisussa: Metsäntutkimuspäivät Rovaniemellä 1983. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 105: 72–82.
- Ryynänen, S. & Rönkkö, E. 2001. Harvennusharvestereiden tuottavuus ja kustannukset. Summary: Productivity and expenses associated with thinning harvesters. Työtehoseuran julkaisuja 381. 67 s.
- , Rönkkö, E. & Sirén, M. 2000. Harvennusharvestereiden tuottavuus ja korjuujälki. Summary: Productivity and logging trace of thinning harvesters. Työtehoseuran metsätiedote 15/2000(628). 6 s.
- Sikström, U. & Glöde, D. 2000. Damage to *Picea abies* regeneration after final cutting of shelterwood with single- and double-grip harvester systems. *Scandinavian Journal of Forest Research* 15: 274–283.
- Sirén, M. 1998. Hakkuukonetyö, sen korjuujälki ja puustovaurioiden ennustaminen. Summary: One-grip harvester operation, it's silvicultural result and possibilities to predict tree damage. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 694. 179 s.

- 2003. Mechanized harvesting in selection forestry: feasibility and economic aspects. Julkaisussa: Uneven-aged Forest Management: Alternative Forms, Practices and Constraints. IUFRO International Interdisciplinary Conference and Field Tour in Finland and Sweden, June 8–17, 2003. 7 s.
- & Aaltio, H. 2001. Harvennusharvesterien ja korjuri-en pitkän aikavälin tuottavuus. Julkaisussa: Kärhä, K. (toim.). Harvennuspuun koneelliset korjuuvaihtoehdot. Harko-projektin (1999–2001) loppuraportti. Summary: Alternative harvesting systems in mechanized thinning. Final report of Harko project (1999–2001). Työtehoseuran julkaisuja 382: 29–31, 43–46, 49–52, 66–68.
- & Tantt, V. 2001. Pienet hakkuukoneet ja korjuri rämemännikön talvikorjuussa. Metsätieteen aikakauskirja 4/2001: 599–614.
- Solheim, H. 2003. Root and butt rot in Norway spruce stands following thinning done in summer and winter. Julkaisussa: Thomsen, I.M. (toim.). Forest health problems in older forest stands, Proceedings of the Nordic/Baltic Forest Pathology Meeting. Denmark, September 2002. Skov & Landskab, Reports 13: 13–20.
- Suadicani, K. & Fjeld, D. 2001. Single-tree and group selection in montane Norway spruce stands: factors influencing operational efficiency. Scandinavian Journal of Forest Research 16: 79–87.
- Tahvanainen, M. 2001. Ennakkoraivaus. Julkaisussa: Kärhä, K. (toim.). 2001. Harvennuspuun koneelliset vaihtoehdot. HARKO-projektin (1999–2001) loppuraportti. Summary: Alternative harvesting systems in mechanized thinning. Final Report of HARKO-Project (1999–2001). Työtehoseuran julkaisuja 382: 24–25, 41–43, 62–64.
- Valkonen, S. & Maguire, D.A. 2005. Relationship between seedbed properties and the emergence of spruce germinants in recently cut Norway spruce selection stands in Southern Finland. Forest Ecology and Management 210: 255–266.
- Vanha-Majamaa, I., Jalonen, J. & Hautala, H. 2002. Puusto, taimettuminen ja muu kasvillisuus. Montatulosseminaari 17.5.2002. Helsinki. 9 s. [Verkkójulkaisu]. Saatavissa: <http://www.metsateho.fi/uploads/wbanfhavc20.pdf>. [Viitattu 19.6.2007].
- Väätäinen, K., Ovaskainen, H., Ranta, P. & Ala-Fossi, A. 2005. Hakkuukoneenkuljettajan hiljaisen tiedon merkitys hakkuutulokseen työpistetasolla. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 937. 90 s.
- Westerberg, D., Sikström, U., von Hofsten, H. & Gustafsson, L. 1996. Skärmskogsbruk. Summary: Shelterwood systems. Julkaisussa: Frumiere, G. (toim.). Utvecklingskonferens 1996. Skogforsk, Redogörelse 1:112–122.
- Wästerlund, I. 1986. The strength of bark on Scots pine and Norway spruce trees. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skogsteknik, Rapport 167. 100 s.

60 viitettä