

Antti J. Lukkarinen, Seppo Ruotsalainen, Teijo Nikkanen ja Heli Peltola

## Venäläisten lehtikuusialkuperien elävyys, pituuskasvu ja tuhot maastokokeilla Punkaharjulla ja Kivalossa

Seloste artikkelista: Lukkarinen, A.J., Ruotsalainen, S., Nikkanen, T. & Peltola, H. 2010. Survival, height growth and damages of Siberian (*Larix sibirica* Ledeb.) and Dahurian (*Larix gmelinii* Rupr.) larch provenances in field trials located in southern and northern Finland. *Silva Fennica* 44(5): 727–747.

Tässä tutkimuksessa seurattiin uusien venäläisten lehtikuusialkuperien menestymistä maastokokeilla Metsäntutkimuslaitoksen Punkaharjun ja Kivalon tutkimusmetsissä. Työssä selvitettiin myös, selittävätkö eri alkuperien kotipaikkojen ilmastolliset ja maantieteelliset tunnuksat alkuperien välisiä eroja. Tutkimus on osa kansainvälistä alkuperäkokeiden sarjaa, jonka avulla tutkitaan venäläisten lehtikuusten maantieteellistä vaihtelua. Tutkimukseen sisältyi 20 venäläistä siperian- (*Larix sibirica* Ledeb.) ja dahurianlehtikuusen (*Larix gmelinii* Rupr.) alkuperää sekä viisi vertailuerää. Vertailueristä kaksi oli kotimaisilta siperianlehtikuusen siemenviljelyksiltä ja kaksi Metsäntutkimuslaitoksen Punkaharjun koemetsiköistä. Punkaharjun vertailueristä toinen oli kotimaisten siemenviljelysten tavoin Raivolasta polveutuvaa siperianlehtikuusta ja toinen vertailuerä euroopanlehtikuusta (*Larix decidua* Miller). Keväällä 2006 perustetuilla maastokokeilla seurattiin taimien pituuskasvua, elävyyttä ja tuhoja neljän kasvukauden ajan.

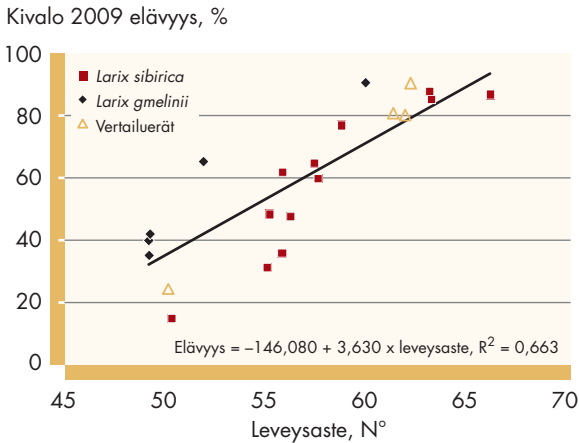
Kotimaiset siperianlehtikuusen vertailuerät menestyivät hyvin sekä Punkaharjulla että Kivalossa. Venäläisistä alkuperistä viidellä, neljällä siperian-

lehtikuusen alkuperällä ja yhdellä dahurianlehtikuusierällä, elävyys oli samaa luokkaa (80–90 %) kuin siperianlehtikuusen vertailuerillä. Punkaharjulla erot elävyydessä alkuperien välillä eivät olleet tilastollisesti merkitseviä. Selvästi muita alkuperiä paremmin menestyi kuitenkin mantereisen ilmaston siperianlehtikuusen alkuperä Bogučany (N58°39', E97°30'), jolla oli lähes 90 prosentin elävyys.

Pituuskasvussa erot olivat merkitseviä kummallakin kokeella. Punkaharjulla selvästi paras kasvu oli eteläisillä (N 49°) dahurianlehtikuusilla, jotka ylittivät kokeen 150 sentin keskipituuden 50 senttimetrillä. Myös mantereinen Bogučany oli hieman keskimääräistä pidempi. Siperianlehtikuusen kotimaiset vertailuerät sijoittuivat keskiarvon molemmin puolin. Altain vuoriston siperianlehtikuuset menestyivät heikoimmin. Kivalossa alkuperien keskipituus oli vain 50 senttiä. Paras pituuskasvu (75 cm) oli pohjoisella Magadanin dahurianlehtikuusen alkuperällä. Kotimaiset siperianlehtikuusen alkuperät menestyivät lähes yhtä hyvin. Bogučany alkuperällä pituuskasvu oli samaa luokkaa vertailuerien kanssa.

Kokeilla esiintyi monenlaisia tuhoja, mutta tilastollisesti merkitseviä eroja alkuperien välillä oli vähän. Pakkasen aiheuttamia tuhoja esiintyi yleisesti etenkin eteläisillä alkuperillä Kivalossa. Punkaharjulla 16 prosentilla taimista oli eritasoisia nisäkkäiden aiheuttamia vaurioita. Dahurianlehtikuusilla näytti olevan vähemmän nisäkkäiden aiheuttamia tuhoja kuin siperianlehtikuusilla. Maantieteelliset muuttujat, kuten leveysaste ja korkeus, selittivät alkuperien välisiä eroja parhaiten. Alkuperän leveysaste selitti 66 prosenttia elävyydestä Kivalossa (kuva 1). Ilmastollisista muuttujista parhaiten alkuperien välisiä eroja selittivät lämpösumma ja mantereisuusindeksi.

Neljän kasvukauden jälkeen maastossa erot alkuperien välillä tulivat selvästi esiin, kun vielä aiemmin julkaistussa kasvihuonekasvatuksessa (Lukkarinen ym. 2009) tilastollisesti merkitseviä eroja esimerkiksi pituuskasvussa alkuperien välillä ei ollut.



**Kuva 1.** Lehtikuusen elävyyden riippuvuus alkuperien kotipaikkojen leveysasteesta Kivalossa ( $n = 17$ ). Kotimaiset vertailuerät ovat mukana kuvassa, mutta niitä ei ole käytetty regressiomallin laskennassa, koska Raivolan jälkeläisten varmaa kotipaikkaa ei tiedetä (leveysaste on merkitty lisäyslähteen mukaan) ja euroopanlehtikuusen siemen on kerätty Punkaharjun koemetsästä.

Venäläisessä koeaineistossa oli potentiaalisia alkuperiä, mutta harva niistä pystyi kuitenkaan haastamaan meillä käytössä olevaa siperianlehtikuusen Raivolan kantaa, kun huomioidaan samanaikaisesti sekä pituuskasvu että elävyys. Jatkossa on syytä selvittää tarkemmin vielä eri lehtikuusi-alkuperien kasvurytmiä ja niiden mahdollisia eroja maastokoikeilla.

■ MMM Antti J. Lukkarinen; MMT Seppo Ruotsalainen, MMT Teijo Nikkanen, Metsäntutkimuslaitos, Punkaharjun toimipaikka; MMT, dos. Heli Peltola, Itä-Suomen yliopisto, metsätieteiden osasto. Sähköposti antti.lukkarinen@pp.inet.fi

Arja Lilja, Marja Poteri, Raija-Liisa Petäistö, Risto Rikala, Timo Kurkela ja Risto Kasanen

## Sienitaudit metsätaimiharjoilla Suomessa

Seloste artikkelista: Lilja, A., Poteri, M., Petäistö, R.-L., Rikala, R., Kurkela, T. & Kasanen, R. 2010. Fungal diseases in forest nurseries in Finland. *Silva Fennica* 44(3): 525–545.

Vuotuisesta metsänuudistusalasta istutetaan nykyisin vajaa 60 %. Kuusen osuus tuotettujen taimien määrästä on yli 60 %. Männyn taimia on tuotannosta kolmannes ja koivun osuus on pudonnut alle 5 %:iin. Taimiharjoilla 99 % tuotetuista kuusen, männyn ja koivun taimista kasvatetaan paakkutaimina kovamuovisissa kennostoissa.

Taimien kasvurytmiä voidaan säädellä lyhytpäiväkäsittelyllä (lp-käsittely), joka lopettaa taimien pituuskasvun sekä karaisee kesä- ja syysistutuksiin meneviä kuusen taimia kestävämmän loppukesän tai alkusyksyn yöhalloja. Lp-käsittelyä käytetään myös taimille, jotka varastoidaan pakkasvarastoon. Noin puolet myytävistä taimista pidetään talven yli edelleen avomaalla lumipeitteen alla tai tarvittaessa tehdään keinolunta taimien suojaksi.

Paakkutaimien turvealusta sisältää harvoin taimipoltteen aiheuttajia, kuten *Pythium*-, *Fusarium*- ja *Rhizoctonia*-sieniä. Itämistulosta kuusella voi alenaa siemenen mukana tuleva *Sirococcus conigenus*-sieni. Siemenen ja kasvualustan puhtaus ja laadunvalvonta ovat taimipoltteen torjunnassa tärkeitä.

Harmaahome tarttuu yleensä taimiin abioottisten tekijöiden, kuten pakkas-, lannoitus- tai herbisidivioituksen seurauksena. Homealtistusta tapahtuu myös talvivarastoinnin ja lp-käsittelyn aikana, jolloin taimien valonsaanti on rajoitettua ja pienilmaston kosteus pysyy korkeana. Harmaahomeen torjunnassa kasvuston elinvoimaisuus ja hyvä tuuletus on tärkeää. Kastelu suositellaan tehtäväksi aamuisin, jotta taimien versot ehtivät kuivua. Sateisina syksyinä joudutaan tekemään ruiskutuksia varsinkin taimille, jotka pakataan pakkasvarastoon.

1990-luvulla sekä kuusen että männyn taimilla esiintyi *Pythium*- ja *Rhizoctonia*-sienien aiheutta-

maa juurilahoja. Taudin oireena oli taimien kasvun tyrehtyminen samalla, kun neulasen muuttuivat keltaisiksi.

Juurilahoiset taimet tulee lajitella pois, koska sairastuneet taimet ovat erityisen herkkiä heti istutuksen jälkeiselle kuivuudelle. Kasvatuskennostojen kuivausväli vähentää juurilaho-ongelmaa ja taimien kokonaiskasvatuksella parannetaan juuriston tuuletusta.

Männynkariste, *Lophodermium seditiosum*, tartuttaa tainten neulasen loppukesällä, mutta varsinaisesti tauti näkyy vasta seuraavana keväänä silmien kasvuun lähden aikaan. Neulasen rusketuvat ja karisevat, elävä päätesilmu lähtee normaalisti kasvuun.

Karisteiset männyn taimet tulee poistaa lajittelussa, koska neulasensa menettävät taimet kuivuvat helposti istutuksen jälkeen. Taudin tunnistamiseen on Ruotsissa kehitetty dna-menetelmä. Taimitarhoilla männynkaristetta torjutaan kemiallisesti.

Lehtikuusenkariste vaivaa tarhalla taimia toisena kasvukautena. Lehtikuusenkaristetta ei torjuta kemiallisesti, minkä vuoksi lehtikuusen kasvatuksessa on siirrytty 1-vuotiaiden taimien tuottamiseen 2-vuotiaiden sijasta.

Talvihome, *Phacidium infestans*, on pääasiassa männyn taimien tauti, mutta kuusen kasvatuksen yleistyessä on talvihometta tavattu myös kuusen taimilla. Taudin oireet näkyvät keuhalla heti lumen sulamisen jälkeen, jolloin lumen alta paljastuvat neulasen ovat rusketuneet ja silmut kuolleet. Kuusen taimilla on havaittu, että talvihome pystyy kasvamaan ja leviämään myös pakkasvarastossa pahvilaatikoiden sisällä. Talvihome tarttuu taimiin elosyyskuussa itiöiden avulla tai maahan tippuneista sairaista männyn neulasista. Tautia torjutaan ruiskutuksella elosyyskuusta aina pysyvän lumipeitteen tuloon asti.

Versosurma, *Gremmeniella abietina*, on pääasiassa männyn tauti, mutta sieni voi tarttua myös kuusen taimiin. Kuusella oireet ovat samankaltaiset kuin männynllä: kuollut päätesilmu ei lähdä keuhalla kasvuun ja ensin kantaosasta rusketuvat neulasen tippuvat pois. Männyn taimille on tyypillistä neulasen taipuminen alaspäin verson myötäisesti ennen karisemista. Kuusella tauti voi tappaa neulasia verson keskiosassa, kun taas männyn oireet ilmenevät taimen latvassa.

Versosurman itiöt leviävät sateiden yhteydessä alkukesästä lähtien syyskuun alkuun saakka. Taimet

altistuvat versosurmalle, jos niiden karaistuminen syksyllä viivästyä eteläisestä alkuperästä tai fysiologisista syistä, kuten korkeasta typpipitoisuudesta johtuen. Myös alhainen valon määrä yhdistyneenä viileään, pitkään syksyyn lisää tautiin sairastumista.

Tautia torjutaan kemiallisesti talvihomeen tapaan. Keuhalla oireet ilmaantuvat viiveellä lämpösumman noustessa, minkä vuoksi sairastuneiden, mutta oireettomien taimien tunnistamiseen on kehitetty dna-pohjaisia tunnistusmenetelmiä. Versosurmaisia taimia ei tule istuttaa metsään.

*Sirococcus conigenus* -sieni tappaa sirkkataimia, jotka tartuttavat edelleen toisen kasvukauden taimia, joissa sieni aiheuttaa versokoroja ja latvan taipumista. Yleensä tartuttaa edeltää jokin taimen kuntoa heikentävä olosuhde, kuten alhainen valomäärä, pakkasvaurio, ravinnehäiriö tai ruostesieni-infektio. Tautia esiintyy meillä pääasiassa kuusen taimilla. Taudin torjunnassa on hyvä hygieniä käpyjen keruussa ja käsittelyssä tärkeää, sillä tarhalla tartuntalähde on tavallisesti saastunut siemen.

Männynversoruoste, *Melampsora pinitorqua*, tappaa taimitarhalla männyn taimia, jotka taudin puhkeamisen aikaan ovat vain muutamien viikkojen ikäisiä. Tartunta tulee väli-isäntäkasvin, haavan, talvehtineista lehdistä, joissa muodostuvat itiöt infektoivat kesäkuun alussa männyn uusia kasvaimia. Viileä sateinen alkukesä edistää tartuntaa. Tautia voidaan torjua poistamalla tarhan lähellä kasvavat haavat.

Koivunruoste, *Melampsoridium betulinum*, tartuttaa keski- ja loppukesällä koivuja, minkä seurauksena lehdet kellastuvat ja tippuvat ennenaikaisesti. Koivukasvustossa on ruosteelle otollinen kostea pienilmasto, jolloin tauti pääsee leviämään nopeasti lehvästössä. Ruosteen vuoksi heikosti karaistuneet koivun versot ja silmut kuivuvat helposti talven aikana, mikä heikentää taimien istutuksen jälkeistä kasvua ja eloonjääntä. Koivunruostetta torjutaan tarvittaessa kemiallisesti.

Koivun paakkutaimille ilmaantui vuonna 1991 uusi taudinaiheuttaja, *Phytophthora cactorum*, jonka aiheuttama tauti on nimetty koivunlevälaikeksi. Maassa elävä ja säilyvä taudinaiheuttaja on ns. vieraslaji, jonka kulkureitistä maamme taimitarhoille ei ole tietoa. Patogeeni tartuttaa kesäkuun alussa vielä ruohomaisen pehmeitä koivuntaimia. Taudinaiheuttaja hyötyy märkydestä ja pääsee tai-

mille joko maa-vesiroiskeiden tai vedessä muodostuneiden itiöiden avulla. Patogeeni tappaa nuorien koivun taimien latvoja ja aiheuttaa versoon mustia laajenevia laikkuja. Laikkuja voi muodostua myös taimen juurenniskaan. Tauti ei leviä juuristoon, mutta laikun kohdalta taimi katkeaa helposti esim. istutusalalla lumen painosta. Levälaikkuja torjutaan arkien kuumavesipesulla, poistamalla kasvatuskentiltä kuollut kasviaines ja välttämällä liikakastelua.

Koivun taimien lehti- tai versopatogeeneja ovat mm. *Gloeosporium*-, *Marssonina*- ja *Phomopsis*-lajit. Haavalla ja hybridihaavalla esiintyy taimien latvoja tappavia *Venturia*-sieniä. Lisäksi tammella, vaahteralla ja pajulla tavataan loppukesällä lehtien yläpinnalla härmää. Härmäsienet heikentävät taimien kasvua, jolloin ne altistuvat herkemmin myös muille tuhonihoitajille.

Hyvä taimitarhahygienia, johon kuuluu hyvälaatuinen siemen ja puhdas kasvualusta, kasvijätteen ja kuolleen materiaalin poistaminen kasvatusalueilta, kuumavesipesu kasvatuskennostojen käyttökerrosten välillä, kunnollinen kasvuston tuuletus sekä maltillinen typpilannoitus riittävässä valomäärässä, auttaa kaikkien sienitautien torjunnassa. Lisäksi tulee hävittää kuolleet ja tauteja levittävät taimet sekä mahdollisuuksien mukaan poistaa tarhan ympäriltä sairaat, infektoriskin muodostavat puut.

■ MMT Arja Lilja, prof. emer. Timo Kurkela, Metsäntutkimuslaitos, Vantaan toimipaikka; MMT Marja Poteri, MMT Raija-Liisa Petäistö, MMT Risto Rikala, Metsäntutkimuslaitos, Suonenjoen toimipaikka; MMT Risto Kasanen, Helsingin yliopisto, metsätieteiden laitos  
Sähköposti arja.lilja@metla.fi

Juho Rantala ja Tiina Laine

## M-Planter-istutuslaitteen tuottavuus käytännön työolosuhteissa

Seloste artikkelista: Rantala, J. & Laine, T. 2010. Productivity of the M-Planter tree-planting device in practice. *Silva Fennica* 44(5): 859–869.

Koneellisen metsänistutuksen ennustetaan yleistyvän seuraavan vuosikymmenen aikana. Yksi uusimmista markkinoilla olevista istutuslaitteista on suomalainen M-Planter. M-Planter on kaivinkoneen lisävaruste, jossa on kaksi kiinteällä etäisyydellä toisistaan olevaa maanmuokkaus- ja istutuspäätä. Istutustyö aloitetaan tekemällä kaksi rinnakkaista laikkumätästä, jonka jälkeen molempiin mättäisiin istutetaan samanaikaisesti taimet. Tarvittaessa M-Planterilla voi työskennellä vain toista muokkaus- ja istutuspäätä käyttäen. Laitteen päälle sijoitettuihin kahteen taimikasettiin voidaan ladata kerrallaan 242 taimea, jotka siirtyvät istutustyön edessä automaattisesti istutusputkiin. Muut työvuoron aikana tarvittavat taimipakkaukset kuljetetaan kaivinkoneeseen tätä tarkoitusta varten rakennetuilla hyllyillä.

Aikaisemmassa kokeellisessa tutkimuksessa havaittiin, että M-Planterin tuottavuus oli 33 % korkeampi kuin Bracke-istutuslaitteen, joka on yleisin Suomessa käytössä oleva istutuslaite. Korkeamman tuottavuuden seurauksena M-Planterin yksikkökustannukset istutettua taimea kohti olivat 23 % Brackea matalammat. Tutkimusten perusteella näytti, että M-Planterilla päästään sopivilla kohteilla jonkin verran myös metsurityöhön perustuvia työketjuja parempaan kustannustehokkuuteen. Myös M-Planterin työjäljen laatu on todettu kilpailukykyiseksi suhteessa erilliseen maanmuokkaukseen ja manuaaliseen istutukseen perustuvaan työketjuun. Toisaalta esimerkiksi puunkorjuun metsäkuljetuksen koneellistamisen yhteydessä oli havaittu, että käytännön työssä tuottavuus jäi selvästi kokeellisesta tutkimusasetelmasta matalammalle tasolle. Näin ollen tarvittiin tietoa M-Planterin suorituskyvystä ja siihen vaikuttavista tekijöistä kuten kuljettajasta, työn organisoinnista, kohdevalinnasta ja laitteen toi-

mintavarmuudesta käytännön istutustyössä. Lisäksi selvitettiin M-Planterin työjäljen laatu käytännön olosuhteissa.

Tutkimuksessa seurattiin viiden M-Planterilla varustetun kaivinkoneyksikön työtä kahden istutuskauden aikana. Koneyksiköitä ajoi kolmesta eri kuljettajaa, joista kukaan ei ollut käyttänyt M-Planteria aikaisemmin, mutta joista suurimmalla osalla oli muuta kokemusta kaivin- tai hakkuukoneella työskentelystä. Työaika-aineisto koostui kuljettajien täyttämistä työvuoro-ohjelmista työajanseurantalomakkeista, joihin merkittiin työtunnit, istutettu taimimäärä ja työn keskeytykset syineen. Aineisto sisälsi yhteensä 607 työvuoroa. Työaikalomakkeiden perusteella määritettiin mm. koneyksiköiden tekniset ja toiminnalliset käyttöasteet ja käytön tehollisuudet. Kaikkien istutuskohteiden työvaikeustekijät ja työjäljen laatu arvioitiin maastossa istutustyön jälkeen systemaattisella satunnaisotannalla. Yhteensä mitattiin 1 695 maastokoealaa. M-Planterin työn tuottavuuden ja siihen vaikuttavien tekijöiden analyyseissä käytettiin lineaarista sekamallia. Mallissa työvaikeustekijöitä ja kuljettajien kokemusta kuvaavien muuttujien vaikutukset työn tuottavuuteen käsiteltiin kiinteinä tekijöinä, kun taas muu kuljettajista aiheutuva tuottavuuden vaihtelu määriteltiin satunnaistekijäksi.

Tutkimuksen aikana koneyksiköiden keskimääräinen kokonaistyöaika ( $T_0$ ) oli 915 tuntia. Käyttötunteja ( $E_{15}$ ) koneyksiköille kertyi keskimäärin 799. Tekninen käyttöaste (MA) vaihteli 79 % ja 95 % välillä ollen keskimäärin 89 %. Toiminnallinen käyttöaste (MU) oli keskimäärin 70 % (vaihteluväli 60–77 %). Koneyksiköiden käytön tehollisuus (OP) oli keskimäärin 25 % eli koneet olivat istutuskauden aikana istutustyössä neljäsosan kalenteriajasta. Korjaus- ja huoltotöiden takia koneyksiköt olivat istutuskäytöstä keskimäärin 10 % kokonaistyöajasta ( $T_0$ ).

Koneyksiköiden keskimääräinen tehollisen työajan tuntituotos oli ensimmäisen istutuskauden aikana 143 taimea ja toisen istutuskauden aikana 169 taimea. Tuottavuus vaihteli merkittävästi kuljettajien välillä. Hitaimmin työskennelleen kuljettajan keskimääräinen tuntituotos oli vain 75 taimea, kun taas nopein kuljettaja pääsi 201 istutetun taimen tuntituotokseen. Tuottavuus oli selvästi korkeampi kuljettajilla, joilla oli aiempaa kokemusta kaivinkone- tai

hakkuutyöstä. Kuljettajakohtainen tuottavuus myös nousi istutuskokemuksen kasvun myötä siten, että 100 000 taimen istutuskokemus nosti tuntituotosta keskimäärin 30 taimella. Kuljettajista johtuvan satunnaisen tuottavuuden vaihtelun keskihajonta oli noin 18 taimea per tehollinen työtunti. Kivien ja kantojen lukumäärän nousu sekä humuskerroksen paksuuden kasvu laskivat istutustyön tehollisen työajan tuottavuutta.

Keskimäärin 31 % istutetuista taimista oli jonkinasteinen istutusvirhe. Yleisimmät virheet olivat puutteellinen maan tiivistäminen taimipaakun ympäriltä ja liian matala istutussyvyys. Istutusvirheitä noin kolme neljäsosaa johtui edellä mainituista tekijöistä. Kaikista istutetuista taimista yli 95 % oli lieviä istutusvirheistä huolimatta kasvatuskelpoisia. Istutuskohdekohtainen istutustiheys oli 1 300–2 450 taimea per hehtaari ollen keskimäärin 1 865 taimea per hehtaari. Lähes kaikki (99,6 %) taimet oli istutettu laikkumättäisiin ja laikkumättäiden laatu oli hyvä.

Tutkimuksen tulokset kuvaavat uuden koneellisen ratkaisun käyttöönottoaiheen työajanjakautumia, tuottavuutta ja työjäljen laatua sekä niiden kehittymistä. Tulokset tukevat puunkorjuun metsäkuljetuksen tutkimuksen yhteydessä tehtyä havaintoa, jonka mukaan kokeellisessa tutkimusasetelmassa saateetaan saavuttaa huomattavastikin käytännön seuranta-tutkimusta korkeampia tuottavuuslukuja. Tässä tutkimuksessa jäätin M-Planterin osalta ensimmäisen istutuskauden aikana noin 40 % ja toisen istutuskauden ajanakin lähes 30 % koeolosuhteissa mitattujen tuottavuuslukujen alapuolelle. Toisaalta kymmenen parhaan työvuoron keskimääräinen tuottavuus oli 299 taimea per tehollinen työtunti, mikä on selvästi koeolosuhteissa mitattua keskimääräistä tuottavuutta (240 taimea per tunti) korkeampi luku. Istutuskoneyksiköiden tekninen ja toiminnallinen käyttöaste olivat samalla tasolla kuin koneellisessa puunkorjuussa 1990-luvun alussa.

Tutkimuksen keskeisin johtopäätös on, että metsänistutuksen koneellistamiseen ei riitä kustannustehokkaan koneratkaisun kehittäminen. Lisäksi tarvitaan istutustyöhön koulutetut ammattitaitoiset kuljettajat ja kriteerit koneistutuskelpoisten istutuskohteiden valintaan. Kuljettajien aiemmalla kokemuksella konetyöstä on suuri vaikutus työn tuottavuuteen ainakin uusien koneiden käyttöönottoaihees-



sa. Laajamittainen koneellistaminen edellyttää myös taimituotannon ja taimihuollon sopeuttamista siten, että hyvälaatuista taimimateriaalia on saatavilla koko istutuskauden ajan.

■ MMT Juho Rantala, MMM Tiina Laine, Metsäntutkimuslaitos, Suomenjoen toimipaikka. Sähköposti juho.rantala@metla.fi

Paula Jylhä, Olli Dahl, Juha Laitila ja Kalle Kärhä

## Ensiharvennusmännyn hankintaketjun vaikutus sellutehtaan puustamaksukykyyn

Seloste artikkelista: Jylhä, P., Dahl, O., Laitila, J. & Kärhä, K. 2010. The effect of supply system on the wood paying capability of a kraft pulp mill using Scots pine harvested from first thinnings. *Silva Fennica* 44(4): 695–714.

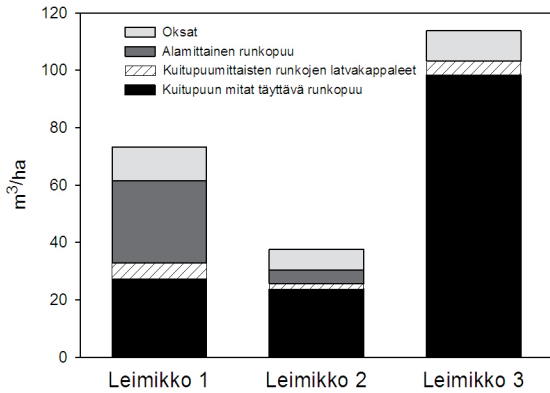
**A**ines- ja energiapuun korjuun integrointia pidetään lupaavana keinona alentaa ensiharvennuspuiden hankintakustannuksia. Yksinkertaisin tapa jakeiden erottamiseen ensiharvennuksilla on hakata aines- ja energiapuu jo metsässä omiin kasoihin ns. kahden kasan tekniikalla. Ketjukarsintamenetelmässä pienpuu karsitaan ja kuoritaan ennen hakettamista tienvareissa tai terminaaleissa. Tämän käsittelyn läpäissyt kuitupuu voidaan hakettaa samalla tuotantolinjalla suoraan hakeauton lavalle. Myös karsimaton puu voidaan hakettaa, jolloin hakkeen aines- ja energiapuujaakeet erotellaan lajitteilulaitoksissa. Nämä erottelumenetelmät eivät kuitenkaan ole vakiintuneet laajamittaiseen käyttöön. Erillistä käsittelylaitosta ei tarvita, jos karsimattoman puun kuitu- ja energiajakeet erotetaan toisistaan vasta sellutehtaan kuorimossa. Oksineen kuorimoon syötettävä raaka-aine poikkeaa koostumukseltaan karsitusta kuitupuusta olennaisesti, mutta tehdaskokeiden perusteella menetelmään ei liity suuria teknisiä ongelmia.

Tutkimuksessa vertailtiin tavaralajihakkuuseen, kokopuuhakkuuseen ja kokopuun paalaukseen perustuvien ensiharvennusmännyn hankintaketjujen te-

hokkuutta valkaistua havusulfaattimassaa tuottavan tehtaan näkökulmasta. Vertailussa käytettiin mittarina suhteellista puustamaksukykyä (jäännösarvoa) puunhankintaketjun eri vaiheissa. Oletuksena oli, että tehdas pystyy myymään tuottamansa ylimääräisen sähkön ja lämmön (prosessihöyryn) markkinoille. Ensimmäisessä korjuuvaihtoehdossa kuitupuu hakattiin yksinpuin keskiraskaalla hakkuukoneella, toisessa vaihtoehdossa hakkuulaitteessa oli joukkokäsittelyvarustus ja kolmannessa hakkuu ja paalaus tehtiin kokopuupaalaimella. Paalauksen tavoitteena on alentaa karsimattoman puun kuljetuskustannuksia. Lähi- ja kaukokuljetuksessa käytettiin vakiovarusteista kalustoa lukuun ottamatta irrallisen kokopuun maantiekuljetusta, joka tehtiin hakkuutähdeautolla. Puunhankintakustannusten lisäksi laskelmissa otettiin huomioon raaka-aineen käyttäytyminen puunkäsittelyyn ja massanvalmistukseen liittyvissä prosesseissa. Herkkyyksianalyseissä tarkasteltiin sellun ja energian hinnan sekä lähi- ja kaukokuljetusmatkojen vaikutusta suhteelliseen puustamaksukykyyn. Peruslaskelmassa sellun hinnaksi oletettiin 500 €/t, sähkön 50 €/MWh ja lämmön 10 €/MWh. Puutavaran kuljetusmatkoina käytettiin Metsäteho Oy:n selvitysten mukaisia keskimääräisiä arvoja (lähikuljetus 296 m, kaukokuljetus 106 km).

Laskelmat tehtiin kolmelle mitatulle ensiharvennusmännikölle, joiden hakkuupoistuman keskimääräiset rinnankorkeusläpimitat olivat 6, 8 ja 12 cm. Hakkuukertymä ja sen koostumus oletettiin samoiksi molemmissa kokopuuvaihtoehdoissa, eikä talteenotettavalle kokopuulle asetettu vähimmäismittoja. Puunkäsittelyn raaka-ainetaseita laadittaessa oletettiin, että kokopuu kuoritaan ja haketetaan puuhäviökin minimoimiseksi seoksena tavanomaisen ensiharvennuksilta korjatun kuitupuun kanssa.

Kokopuukorjuu lisäsi hakkuukertymää tavaralajimenetelmään verrattuna 169 %, 58 % ja 16 % esimerkkileimikoissa (kuva 1). Pieniläpimittaisimmassa leimikossa (leimikko 1) suurin osa kertymän lisäyksestä tuli alamittaisesta runkopuusta. Oksien osuus hakkuukertymän tilavuudesta oli 9–20 %. Irrallisen kokopuun korjuu johti pienimpiin hankintakustannuksiin leimikoissa 1 ja 2 ja tavaralajimenetelmä puustoltaan järeimmässä leimikossa 3. Paalauksella pystyttiin alentamaan kokopuun metsäkuljetuksen kustannuksia 44–60 % ja maantiekuljetuk-



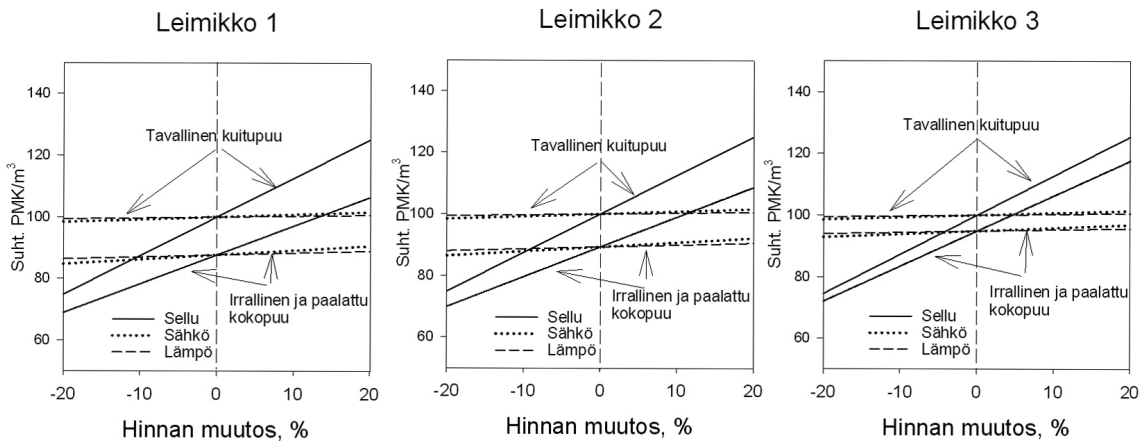
**Kuva 1.** Hakkuukertymän rakenne esimerkileimikoissa. Kuitupuun vähimmäisläpimittana oli 6 cm ja pölkyn pituutena 3–5 m. Hakkuussa poistettujen puiden keskiläpimitta oli 6 cm leimikossa 1, 8 cm leimikossa 2 ja 12 cm leimikossa 3.

sen 43–48 %, mutta nämä säästöt eivät kattaneet paalauksen aiheuttamia lisäkustannuksia.

Sellun hinnalla oli leimikosta ja raaka-aineen ominaisuuksista riippumatta huomattavasti voimakkaampi vaikutus suhteelliseen puustamaksukykyyn kuutiometriä kohti tehtaalla kuin energian hinnalla (kuva 2). Karsitun kuitupuun jäännösarvo oli suurempi kuin kokopuun. Tavanomaisella kuitupuulla oli pääsääntöisesti suurin jäännösarvo kannolla kuu-

tiometriä kohti tarkastelluilla sellun ja sähkön hintojen vaihteluväleillä (350–650 €/t ja 30–70 €/MWh). Poikkeuksena oli vertailun pieniläpimittaisiin leimikoihin, jossa irrallinen kokopuu tuotti suurimman jäännösarvon kannolla, kun sellun hinta oli alle 427 €/t. Kun hehtaarikohtainen hakkuukertymä otettiin huomioon, irrallisen kokopuun korjuu johti suurimpaan jäännösarvoon kannolla leimikoissa 1 ja 2 lukuun ottamatta erittäin matalia sellun hintoja (alle 359–374 €/t). Kokopuukorjuu lisäsi hakkuukertymää järeimmässä leimikossa niin vähän, että perinteinen tavaralajimenetelmä johti suurimpiin suhteellisiin jäännösarvoihin tarkastelluilla sellun ja energian hinnan vaihteluväleillä myös pinta-alaperusteisessa vertailussa.

Lähikuljetustarkasteluissa metsäkuljetusmatkan vaihteluvälinä oli 50–1 000 m. Tavallisen kuitupuun jäännösarvo kuutiometriä kohti oli suurin koolle ja paalatuun kokopuun pienin. Kun hakkuukertymän lisäys otettiin huomioon, pieniläpimittaisimmassa leimikossa irrallisen kokopuun jäännösarvo oli suurin koko metsäkuljetusmatkan vaihteluvälillä. Leimikossa 2 irrallisen kokopuun jäännösarvo oli suurin 780 metriin saakka. Järeimmässä leimikossa tavallisen kuitupuun jäännösarvo oli suurin koko tarkasteluvälillä myös pinta-alaperusteisessa vertailussa. Paalatuun puun jäännösarvo jäi muita tavaralajeja pienemmäksi kaikissa leimikoissa metsäkuljetusmatkan koko vaihteluvälillä.



**Kuva 2.** Sellun ja energian hintojen vaikutus suhteelliseen kuutiometrikohtaiseen puustamaksukykyyn (PMK) tehtaalla. Peruslaskelmassa (hinnan muutos = 0 %) sellun hinta 500 €/t, sähkön 50 €/MWh ja lämmön 10 €/MWh.

Pieniläpimittaisimmassa leimikossa irrallisen kokopuun korjuu johti suurimpaan jäännösarvoon kannolla kuutiometriä kohti silloin, kun kaukokuljetusmatka oli alle 30 km. Muissa leimikoissa tavanomaisella kuitupuulla oli suurin jäännösarvo kuutiometriä kohti koko tarkasteluvälillä (5–500 km). Kun hakkuukertymän lisäys otettiin huomioon, niin irrallisen kokopuun käyttö tuotti suurimman jäännösarvon kannolla kaikissa leimikoissa, kun kaukokuljetusmatka oli alle 70–250 km. Paalaus oli leimikoilla 2 ja 3 kilpailukyinen kokopuun korjuuvaihtoehto vasta sitten, kun kaukokuljetusmatka oli yli 440–450 km. Pieniläpimittaisimmassa leimikossa kokopuupaalien hehtaarikohtainen jäännösarvo oli muita vaihtoehtoja pienempi koko tarkasteluvälillä.

Tutkimus osoitti, että leimikkotekijöillä on huomattavasti suurempi vaikutus puustamaksukykyyn kuin raaka-aineen ominaisuusvaihteluilla. Selun hinnan lasku ja energian hinnan nousu paransivat kokopuuvaihtoehtojen kilpailukykyä, mutta energiantuotannon lisäys kokopuuvaihtoehtoisissa ei kompensoinut menetyksiä selluntuotannossa. Hehtaarikohtaisen hakkuukertymän huomioon ottaminen parantaa kokopuuvaihtoehtojen kilpailukykyä olennaisesti, varsinkin jos otetaan huomioon kokopuumateriaalin alhaisempi kantohinta.

■ MMM Paula Jylhä, Metsäntutkimuslaitos, Kannuksen toimipaikka; prof. Olli Dahl, Aalto-yliopiston teknillinen korkeakoulu; MMM Juha Laitila, Metsäntutkimuslaitos, Joensuun toimipaikka; MMT Kalle Kärhä, Metsäteho Oy  
Sähköposti paula.jylha@metla.fi