

Metsäteknologiasektorin visio ja tiekartta vuoteen 2020

Antti Asikainen, Antti Ala-Fossi, Arto Visala ja Päivi Pulkinen



TEKNILLINEN KORKEAKOULU
TEKNISKA HÖGSKOLAN
HELSINKI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



TEKES

Metlan työraportteja / Working Papers of the Finnish Forest Research Institute -sarjassa julkaistaan tutkimusten ennakkotuloksia ja ennakkotulosten luonteisia selvityksiä. Sarjassa voidaan julkaista myös esitelmää ja kokouskoosteita yms.

Sarjassa ei käytetä tieteellistä tarkastusmenettelyä. Kirjoitukset luokitellaan Metlan julkaisutoiminnassa samaan ryhmään monisteiden kanssa.

Sarjan julkaisut ovat saatavissa pdf-muodossa sarjan Internet-sivuilta.

<http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/>
ISSN 1795-150X

Toimitus

Unioninkatu 40 A
00170 Helsinki
puh. 010 2111
faksi 010 211 2101
sähköposti julkaisutoimitus@metla.fi

Julkaisija

Metsäntutkimuslaitos
Unioninkatu 40 A
00170 Helsinki
puh. 010 2111
faksi 010 211 2101
sähköposti info@metla.fi
<http://www.metla.fi/>

Tekijät Asikainen, Antti, Ala-Fossi, Antti, Visala, Arto & Pulkkinen, Päivi			
Nimeke Metsäteknologiasektorin visio ja tiekartta vuoteen 2020			
Vuosi 2005	Sivumäärä 90 + liites.	ISBN 951-40-1960-1	ISSN 1795-150X
Yksikkö / Tutkimusohjelma / Hankkeet Joensuun tutkimuskeskus / - / 7172 Metsäteknologiasektorin visio ja tiekartta			
Hyväksynyt Jari Parviainen, tutkimuskeskuksen johtaja, 21.4.2005			
Tiivistelmä <p>Kun perinteisessä puunjalostuksessa ja -korjuussa työpaikat ovat vähentyneet jatkuvasti, metsäkoneiden valmistuksessa työpaikkojen lukumäärä on kasvanut. Euroopassa ja laajemminkin koko maailmassa on tapahtumassa korjuuteknologian uusjako; runkomenetelmä, jolla korjataan edelleen yli puolet maailman raakapuusta, on väistymässä tavaralajimenetelmän tieltä. Muutoksen seurauksena Suomen metsäkoneteollisuus kasvaa sekä liikevaihdoltaan että työllistävyydeltään. Suomen metsäteknologiasektorin kannalta tulevaisuuden avainkysymykseksi muodostuu se, pystytäänkö asema maailmanmarkkinoiden tärkeimpänä konetoimittajana säilyttämään. Uhkakuvana on osaamisen ja konevalmistuksen siirtyminen halvemman tuotannon maihin.</p> <p>Metsäteknologiasektorin visio ja tiekartta -hankkeessa hahmoteltiin visio metsäteknologian toimialasta vuonna 2020. Tähän päästiin kokoamalla metsäteknologiasektorin teollisuuden sekä tutkimus- ja kehittämisorganisaatioiden näkemykset sektorin tavoitetilasta ja asemasta sekä konetuotannon että alan asiantuntijaosaamisen osalta. Tuloksena syntyi tiekartta niistä toimenpidekokonaisuuksista, joita vision saavuttaminen edellyttää. Toimialaa tarkasteltiin maailmanlaajuisesti siten, että Eurooppa, Venäjä ja Pohjois-Amerikka olivat tarkemman tarkastelun kohteena. Puunkorjuukoneiden osalta pyrittiin selvittämään nimenomaan Suomessa valmistettujen tavaralajimenetelmän koneiden nykytilannetta ja mahdollisuuksia tulevaisuudessa. Projektin luonteesta johtuen haastateltaviksi valittiin lähinnä suomalaisia alan yrityksiä ja osajia. Selvityksessä ei tehty tarkkoja kannattavuuslaskelmia, vaan pyrittiin realistisiin arvioihin tulevaisuuden puunkorjuumääristä ja tulevaisuudessa tarvittavista koneista erityisesti teollisuuspuun ja energiajakeen korjuussa.</p> <p>Metsäkoneiden kokonaismaailmanmarkkinat vuonna 2020 ovat noin 6 000–8 000 konetta, joista 4 000–6 000 on tavaralajimenetelmän koneita. Jos Euroopan ja Venäjän hakuut koneellistuvat nopeasti ja myös Etelä- ja Pohjois-Amerikan markkinoiden osittaisessa valtauksessa onnistutaan, voidaan päästä jopa 6 000 koneen vuosimarkkinoihin. Alan kasvupotentiaali on mittava ja tämän potentiaalın realisoitumista voidaan tukea teknologiaohjelman keinoin. Monet teknologiset innovaatiot olisivat hyödyllisiä myös metsäteknologiasektorilla, mutta niiden kustannustehokkaassa soveltamisessa metsäympäristössä on paljon kehitettävää. Konekonsepteja ja teknologiaa on kehitettävä erilaisten markkina-alueiden tarpeet huomioiden. Automaatiolla on keskeinen asema kehityksessä.</p>			
Asiasanat metsäkoneet, metsäteknologia, tulevaisuus			
Julkaisun verkko-osoite http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2005/mwp008.htm			
Tämä julkaisu korvaa julkaisun			
Tämä julkaisu on korvattu julkaisulla			
Yhteydenotot Antti Ala-Fossi, Metsäntutkimuslaitos, Joensuun tutkimuskeskus, PL 68, 80101 Joensuu. Sähköposti: antti.ala-fossi@metla.fi .			
Muita tietoja Hankkeen osarahoitus: Tekes			

Sisällys

1 Johdanto	6
2 Visio ja tiekartta – määritelmät ja lähtökohta	7
2.1 Käsitteiden määrittely ja tehtävän rajaaminen.....	7
2.2 Vision ja tiekartan työstäminen.....	9
2.3 Metsäteknologiasektorin tila Suomessa.....	9
3 Raakapuun käytön ja metsäoperaatioiden kehitystrendit	14
3.1 Maapallon metsävarat.....	14
3.2 Maailman ja Euroopan puunkorjuu.....	18
3.2.1 Hakkuisiin vaikuttavia tekijöitä: vuoristoisuus ja lehtipuusto.....	18
3.2.2 Toteutuneet hakkuumäärät.....	21
3.3 Teollisuuspuun korjuu.....	23
3.3.1 Tavaralajimenetelmän konetyypit.....	23
3.3.2 Runkomenetelmän konetyypit.....	24
3.3.3 Tavaralajimenetelmän mahdollisuudet ja rajoitteet.....	25
3.3.4 Hakkuun koneellistaminen sekä tavaralaji- ja runkomenetelmän suhteet.....	27
3.4 Metsäenergian korjuu.....	30
3.4.1 Korjuumenetelmät ja -määrät Euroopassa.....	30
3.4.2 Nykyinen tilanne Suomessa, Ruotsissa ja Tanskassa.....	32
3.5 Muut metsäoperaatiot.....	34
3.5.1 Kehitystrendit erityisesti Suomessa.....	34
3.5.2 Istutus maailmanlaajuisesti.....	36
4 Metsäteknologiasektorin visio vuoteen 2020	37
4.1 Puunhankinnan toimintaympäristö vuonna 2020.....	37
4.1.1 Metsäkoneteknologia osana puuntuotannon logistista prosessia.....	37
4.1.2 Liiketoimintaprosessien kehittyminen.....	40
4.1.3 Puukaupan integroituminen Itämeren ympäristössä.....	42
4.2 Teollisuuspuun korjuu.....	43
4.2.1 Korjuukoneketjujen teoreettiset määrät.....	43
4.2.2 Korjuukoneketjujen realistiset määrät.....	44
4.3 Metsäenergian korjuu.....	46
4.3.1 Kehitystrendit.....	46
4.3.2 Koneiden määrä.....	47
4.4 Muut metsäoperaatiot.....	49
4.5 Visio maailmanmarkkinoiden kehittymisestä ja Suomen asemasta.....	51
4.5.1 Konemyynti.....	51
4.5.2 Suomen asema ja kyky reagoida markkinoiden muutoksiin.....	53
4.5.3 Venäjä markkina-alueena.....	55
5 Tiekartta – teknologian ja liiketoimintaprosessien kehittämismahdollisuudet ja -tarpeet	56
5.1 Metsäteknologiaan liittyviä teknologiaohjelmia (Tekes).....	56

5.2 Kone- ja automaatioteknologian yleinen kehitys.....	58
5.3 Tietotekniikka puunhankinnan toimintaympäristössä.....	60
5.4 Metsäkoneiden kehittämiskohteet.....	62
5.4.1 Konekonseptit ja rakenne.....	62
5.4.2 Katkonnanohtaus	65
5.4.3 Automaatio alustaratkaisuihin ja liikuntamekanismeissa	67
5.4.4 Nosturin ja hakkuulaitteen ohjaus.....	68
5.4.5 Aistintekniikka.....	70
5.4.6 Automaattinen ohjaus	71
5.4.7 Metsäenergian korjuu	73
5.5 Metsänhoitokoneet ja muut metsäoperaatiot.....	74
5.6 Kuljettajien rekrytointi ja metsäkoneenkuljettajakoulutuksen kehittämiskohteet	75
5.7 Liiketoimintaprosessien kehittäminen	77
5.8 Toimijoiden roolit metsäkoneiden kehitystyössä.....	78
6 Yhteenveto.....	81
Lähteet	83
Kirjallisuus ja tietoverkko.....	83
Haastattelut ja keskustelut.....	88
Liite 1.....	91

1 Johdanto

Suomeen on syntynyt maailman mittakaavassa merkittävien metsäkoneita valmistava teollisuuskeskittymä. Pohjoismaisen puunkorjuumenetelmän maailmanmarkkinat ovat n. 2 900 konetta, joista n. 1 700 valmistetaan Suomessa. Koneenvalmistuksen palveluksessa työskentelee alihankinta mukaan lukien yli 1 000 työntekijää ja alan yritysten liikevaihto on yli 500 milj. € vuodessa.

Kun perinteisessä puunjalostuksessa ja -korjuussa työpaikat ovat vähentyneet jatkuvasti, metsäkoneiden valmistuksessa työpaikkojen lukumäärä on kasvanut. Euroopassa ja laajemminkin koko maailmassa on meneillään korjuuteknologian uusjako; runkomenetelmä, jolla korjataan edelleen yli puolet maailman raakapuusta, on väistymässä tavaralajimenetelmän tieltä. Muutoksen seurauksena Suomen metsäkoneteollisuus kasvaa sekä liikevaihdoltaan että työllistävyydeltään.

Yleistettynä verrattaessa moniin muihin toimialoihin työkoneet, maatalous- ja metsätraktorit, pyöräkuormaajat, satamalukit, murskaimet jne. edustavat kypsää, hitaan kasvun alaa, jossa loppukäyttäjää palvelevat konseptiyritykset ovat usein konsolidoituneet monikansallisiksi jättiyrityksiä (Kivikko ym. 2004). Suurien metsäkonevalmistajien lisäksi alalla toimii silti myös pieniä valmistajia, myös Suomessa.

Suuret metsäkonevalmistajat toimivat jo tällä hetkellä kansainvälisesti ja ne kykenevät ottamaan haltuun uusia markkina-alueita. Uusien markkina-alueiden haltuun ottaminen vaatii tuekseen tutkimus- ja kehityspanosta, sillä esimerkiksi tavaralajimenetelmän koneiden menestyksellinen käyttöönotto edellyttää uuden markkina-alueen toimintaolosuhteiden perusteellista tuntemusta. Esimerkiksi Baltian maissa ja Venäjällä alhainen työvoiman hinta on suosinut manuaalista hakkuuta.

Metsäenergian korjuuteknologia on monelta osin nopean kehityksen vaiheessa, jolloin tutkimuksella saatavat hyödyt ovat panostukseen nähden korkeita. Toisin kuin hakkuukoneiden ja metsätraktoreiden valmistajat, metsäenergian korjuukoneita valmistavat yritykset ovat usein pieniä ja keskisuuria konepajoja, joilla ei ole resursseja hankkia tietoa uusista markkina-alueista. Myös tutkitun tiedon saaminen koneiden tuottavuuksista ja kustannuksista edellyttää ulkopuolista tukea. Tietoa yritykset tarvitsevat sekä koneiden kehitystyötä että niiden markkinointia varten.

Metsänuudistamisen ja -hoidon teknologinen kehittäminen on siirtymässä manuaalisista menetelmistä täyskoneellistettuihin ratkaisuihin. Tähän kehitykseen on ollut useita syitä, joita ovat mm. tilapäistyövoiman saannin vaikeutuminen sekä kallistunut manuaalisen työn hinta. Toisaalta Suomessa metsäenergian talteenotto on parantanut istutuskoneiden kilpailukykyä, kun istutusta haittaavat hakkuutähteet korjataan energiaksi. Uudet teknologiat ovat vielä kehitysvaiheessa ja niiden edelleen kehittäminen vaatii runsaasti tutkimus- ja kehityspanoksia.

2 Visio ja tiekartta – määritelmät ja lähtökohta

2.1 Käsitteiden määrittely ja tehtävän rajaus

Hankkeessa hahmoteltiin visio metsäteknologian toimialasta vuonna 2020. Tähän päästiin kokoamalla metsäteknologiasektorin teollisuuden sekä tutkimus- ja kehittämisorganisaatioiden näkemykset sektorin tavoitetilasta ja asemasta sekä konetuotannon että alan asian-tuntijaosaamisen osalta. Tuloksena syntyi lisäksi tiekartta niistä toimenpidekokonaisuuksista, joita vision saavuttaminen edellyttää.

Metsäteknologiasektori-käsite voidaan määritellä lähtien pohjoismaisesta metsäteknologian tutkimusalan määrittelystä. Metsäteknologiasektorin ydin on puunkorjuun ja -kuljetuksen, puun erityyppisen käsittelyn sekä taimituotannon, metsänuudistamisen ja -hoidon kone- ja laitevalmistus. Metsäteknologiasektoriin sisältyvät em. koneiden ja laitteiden muodostamien logististen järjestelmien ohjauksessa ja johtamisessa tarvittavat järjestelmät ja organisaatiot sekä niiden tutkimus ja kehittäminen. Myös alan koulutus- ja tutkimusorganisaatioiden voidaan katsoa olevan olennainen osa metsäteknologiasektoria. *Metsäteknologisen tutkimus- ja kehitystyön kohteita* ovat työn tuottavuus, kustannukset, ergonomia, työturvallisuus, työn jälki, puutavaran laatu ja sen hallinta, puubiomassan talteenotto, ympäristövaikutukset ja yrittäjyys sekä kone- ja laitevalmistuksen tukeminen ja järjestelmäosaaminen. Lisäksi tutkimuskohteena ovat ihmisen, työn, koneen ja metsäympäristön välinen vuorovaikutus metsätaloudessa sekä teknologisten ratkaisujen siirto uusiin toimintaympäristöihin.

Toimialaa tarkasteltiin maailmanlaajuisesti siten, että Eurooppa, Venäjä ja Pohjois-Amerikka olivat tarkemman tarkastelun kohteena. Muiden maiden ja maanosien osalta tarkasteltiin ainoastaan tärkeimpiä metsätalousmaita. Puunkorjuukoneiden osalta pyrittiin selvittämään nimenomaan Suomessa valmistettujen tavaralajimenetelmän koneiden nykytilannetta ja mahdollisuuksia tulevaisuudessa. Suomen metsäteknologiasektorin kannalta avainkysymykseksi muodostuu se, pystytäänkö asema maailmanmarkkinoiden tärkeimpänä konetoimittajana säilyttämään. Uhkakuvana on osaamisen ja konevalmistuksen siirtyminen halvemman tuotannon maihin.

Tässä selvityksessä ei tehty tarkkoja kannattavuuslaskelmia, vaan pyrittiin ainoastaan realistisiin arvioihin tulevaisuuden puunkorjuumääristä ja tulevaisuudessa tarvittavista koneista erityisesti teollisuuspuun ja energijakeen korjuussa. Myös metsänuudistamisen ja -hoidon teknologiaa tarkasteltiin. Projektin luonteesta johtuen haastateltaviksi valittiin lähinnä suomalaisia alan yrityksiä ja osaajia.

Käsitteitä (Karjalainen ym. 2004)

Hakkuusäästö: Keskimääräinen vuotuinen puuston nettokasvun ja hakkuiden erotus.

Hakkuut: Tietynä aikana kaadettujen yli 0 cm rinnankorkeuslähpimitaltaan (1,3 m) olevien puiden keskimääräinen kuoren päältä mitattu pystytilavuus, sisältäen myös ne puut tai puun

osat, jotka jäävät hakkuun jälkeen metsään. Sisältää myös metsänhoidolliset ja ei-kaupalliset harvennukset ja kaiken biomassan, joka jää metsään. Biomassahakkuut sisältävät kaiken kaadetun biomassan, siis myös rungon, latvuksen ja juuribiomassan.

Hakkuutähteet: Hakkuusta jäänyt runko-, latvus- ja juuribiomassa eli kaikki hakattu biomassa vähennettynä poistuma (ainespuu).

Kaupalliset hakkuut: Vuotuiset hakkuut, jotka tuottavat voittoa metsänomistajalle. Sisältää hakkuut, joiden tarkoituksena on saada puutavaraa jatkojalostettavaksi, kuten saha- tai rakennuspuuksi. Ei sisällä puun ottoa suoraan omaan kulutukseen, kuten esimerkiksi polttopuuksi.

Kokopuumenetelmä: Puunkorjuumenetelmä, jossa puutavara kuljetetaan kokonaisina karsimattomina runkoina kaukokuljetusreitillä varteen tai mahdollisesti käyttöpaikalle saakka.

Luonnonpoistuma: Keskimääräiset vuotuiset elävän puuston menetykset, jotka johtuvat muista kuin hakkuista, ts. luonnolliset kuolemat, joiden aiheuttajina ovat olleet taudit, hyönteisten hyökkäykset, tulipalot, tuulenkaadot tai muut fyysiset vauriot.

Puuntuotantoon käytettävissä oleva metsä: Metsä, jonka puuntuotantoa eivät rajoita merkittävästi mitkään lainsäädäntöön liittyvät, taloudelliset tai ympäristörajoitukset. Sisältää kaikki em. alueet riippumatta siitä, onko ollut hakkuita.

Puutavaran tuotanto: Puun tuottaminen yleensä, hakkuilla tai muuten korjattuna, kuorellisena tai ilman, pyöreänä, halkaistuna tai muussa muodossa.

Runkomenetelmä: Puunkorjuumenetelmä, jossa puutavara kuljetetaan kokonaisina karsittuina runkoina kaukokuljetusreitillä varteen tai mahdollisesti käyttöpaikalle saakka.

Tavaralajimenetelmä: Puunkorjuumenetelmä, jossa runko katkotaan haluttuihin pituuksiin puutavaralajeiksi heti kaatamisen jälkeen hakkuukohteella. Tavaralajimenetelmässä tarvitaan samojen työvaiheiden tekemiseksi vähemmän erilaisia konetyyppejä kuin kokopuu- tai runkomenetelmässä.

Vuotuinen bruttokasvu: Kasvavien puiden tilavuuden vuotuinen lisäys. Kaikkien vähintään 1,3 m pitkien puiden keskimääräinen vuotuinen tilavuuden lisäys. Sisältää myös niiden puiden tilavuuden lisäyksen, jotka on kaadettu tai jotka ovat kuolleet ko. aikana.

Vuotuinen nettokasvu: Vuotuinen bruttokasvu vähennettynä luonnonpoistuma.

Tekstissä kuutiometreinä m³, ilmoitetut tilavuudet on esitetty ensisijaisesti kiintokuutiometreinä, ellei toisin ole erikseen ilmoitettu.

2.2 Vision ja tiekartan työstäminen

Vision työstäminen aloitettiin määrittelemällä Suomen ja maailman metsäteknologiasektoria kuvaavia tunnuslukuja. Toimialan yritysten perustiedot, teknologinen taso, asema maailmanmarkkinoilla sekä kehityspotentiaali selvitettiin. Työssä hyödynnettiin mm. Tulevaisuuden Metsäfoorumi -hankkeen työryhmien tuloksia ja aikaisempia puunhankinnan ja metsäteknologian alan tulevaisuustutkimuksia.

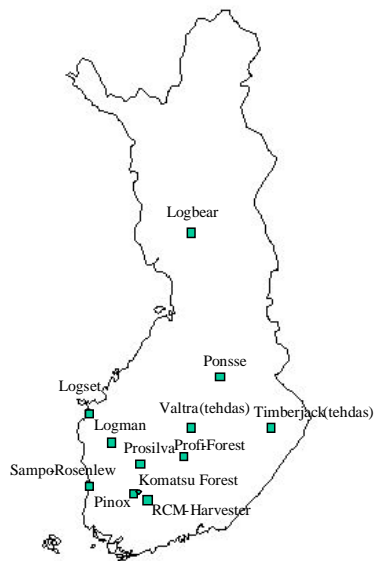
Seuraavassa vaiheessa selvitettiin sektorin toimijoiden käsitykset toimialan tavoitetilasta vuonna 2020 sekä määriteltiin niiden pohjalta visio metsäteknologiasektorille. Aineisto koottiin haastattelututkimuksena. Haastateltavina oli mm. metsäteollisuuden puunhankinnan edustajia, puuta käyttävän pk-teollisuuden edustajia, metsäkoneteollisuuden johtohenkilöitä sekä yliopistojen ja tutkimuslaitosten metsäteknologian tutkijoita. Haastatteluja tehtiin yhteensä noin 30 kpl.

Sektorin tilaa kuvaavina muuttujina olivat esimerkiksi alan teknologian taso suhteessa globaaliin tasoon, markkinaosuudet EU:ssa ja muualla maailmassa, kyky reagoida markkinamuutoksiin jne. Lisäksi määritettiin ”kuilu” näiden muuttujien nykyhetken ja tavoitetilan arvojen välillä. Kuiluanalyysin pohjalta nimettiin vision kannalta keskeiset kehittämisalueet sekä hahmoteltiin tiekartta nykytilan ja vision välille. Tiekarttaan laadittiin omat tasot eri toimijaryhmille. Samalla arvioitiin vision saavuttamisen edellyttämät rahalliset ja osaamiseen liittyvät resurssitarpeet sekä se, kuinka suuri osa visiota toteutuu BAU-kehityksellä ja mikä osuus edellyttää lisäpanostusta

2.3 Metsäteknologiasektorin tila Suomessa

Suomessa valmistettavat metsäkoneet ovat pääasiassa tavaralajimenetelmään soveltuvia hakkuukoneita ja kuormatraktoreita. Myös energiapuun korjuuseen soveltuvien koneiden ja laitteiden osuus on merkittävä. Näistä tärkeimpiä ovat hakkurit, paalaimet sekä metsä- ja maantiekuljetusratkaisut. Lisäksi Suomessa valmistetaan paljon mm. hakkuulaitteita, kuormaimia ja nostureita, joita voidaan yhdistää muualla valmistettuihin peruskoneisiin.

Suomessa myytiin vuonna 2004 noin 425 uutta metsäkoneetta, joista enemmistö oli harvennusemetsiin tarkoitettua kalustoa (haastattelut, Riikilä 2004, Metsätrans 2005). Kuvassa 1 on esitetty Suomessa toimivia metsäkonevalmistajia toimipaikkoineen. Kuvassa esitettyjen peruskoneiden valmistajien lisäksi Suomessa toimii useita kytkettävien erillislaitteiden ja hakkuulaitteiden valmistajia.



Kuva 1. Suomessa toimivia metsäkonevalmistajia toimipaikkoineen. Toimipaikoista on ensisijaisesti esitetty kokoonpanopaikkojen sijainti.

Metsäkoneiden ja hakkuulaitteiden valmistajia

Seuraavana on esitetty poimintoja Suomessa toimivista metsäkone- ja hakkuulaitevalmistajista. Aiemmasta kartasta poiketen mainittuina on myös erillisten eli pääasiassa maataloustraktoriin kytkettävien työkoneiden valmistajia. Mainittujen yritysten lisäksi on olemassa lukuisia muita alihankintayrityksiä, jotka valmistavat peruskoneiden tiettyjä osia ja tuotantoa on usein myös muiden toimialojen koneisiin. Esittelyt perustuvat pääasiassa internetistä lainattuihin yritysten omiin esittelyihin, eikä luettelo ole erityisesti pienimpien yritysten osalta yksiselitteinen ja kattava.

AFM-Forest Ltd on mm. hakkuulaitteita ja kouria valmistava yritys, jonka päätoimipaikka on Jyväskylässä. Yrityksen tuotannosta yli 90 % viedään ulkomaille ympäri maailman. (AFM-Forest Ltd 2005).

Farmi Forest Oy kehittää ja valmistaa maataloustraktoreihin liitettäviä työkoneita, mm. juontolaitteita, hakkureita, puutavaraormaimia ja metsäperävaunuja. Farmi-laitteita viedään kaikille mantereille yli 30 maahantuojan välityksellä, mutta nykyiset päämarkkina-alueet ovat Eurooppa ja Pohjois-Amerikka. Viennin osuus liikevaihdosta on yli 80 %. (Farmi Forest Oy 2005).

Junkkari Oy on maa- ja metsätalouskoneiden konetoimittaja, joka suunnittelee, markkinoi ja valmistaa kylvöön, rehuntekoon, kasvinsuojeluun, kuljetukseen sekä metsänhoitoon tarkoitettuja maa- ja metsätalouskoneita. Junkkari Oy sijaitsee Etelä-Pohjanmaalla, Ylihärmässä. (Junkkari Oy 2005).

Kesla Oyj on yksi maailman johtavista puutavarakuormainten ja nosturien valmistajista. Se kehittää, valmistaa ja markkinoi kouraharvestereita, hakkureita ja erilaisia nostureita tuotemerkillä Foresteri sekä metsäperävaunuja, kuormaimia, sykeprosessoreita ja rulla- ja sykeharvestereita tuotemerkillä Patu. Lisäksi valmistetaan henkilönostimia. Yhtiön pääpaikka sijaitsee Joensuussa ja sillä on tuotantoyksiköt myös Kesälahdella ja Ilomantsissa. Vuoden 2003 liikevaihto oli 17,8 milj. € mistä metsäkoneiden osuus oli 15,6 milj. € (87 %). Vuoden 2004 liikevaihdoksi arvioidaan noin 21–23 milj. €. Liikevaihdosta yli puolet menee vientiin. Koneita viedään yli 20 maahan, lähinnä eri puolille Eurooppaa, Venäjälle, Kanadaan, Yhdysvaltoihin ja Australiaan. Yritys työllisti vuonna 2003 keskimäärin 171 henkilöä. Vuoden 2004 tuotanto jakaantui noin seuraavasti:

- 1500 nosturia (Patu ja Foresteri), joista isoja puutavaranostureita n. 250
- 100 hakkuulaitetta (rullat ja sykkeet)
- 500 metsäperävaunua (traktorikäyttöiset)
- 25 isompaa hakkuria. (Kesla Oyj 2004; haastattelu Kesla Oyj, Lehikoinen 2004).

Komatsu Forest Oy markkinoi Valmet -metsäkoneita Suomessa, Baltiassa, itäisen Keski-Euroopan maissa ja Venäjällä. Se on maailman toiseksi suurin metsäkoneiden valmistaja. Tuotteet ovat pääasiassa tavaralajimenetelmän hakkuukoneita, kuormatraktoreita, korjureita ja hakkuulaitteita, joiden kokoonpano tapahtuu Ruotsissa. Yhtiö kuuluu maailmanlaajuiseen Komatsu Ltd -konserniin, joka osti sen Kone-konsernilta loppuvuodesta 2003. Kone Oyj:n metsäkoneliiketoiminnot tunnettiin aiemmin nimellä Partek Forest. Myydyin liiketoiminta-alueen liikevaihto oli kauppahetkeä edeltäviltä 12 kuukaudelta noin 240 milj. € ja henkilöstömäärä noin 1 000. Koko Komatsu -konsernin liikevaihto on noin 9 mrd. dollaria. Yritys valmistaa noin 750 tavaralajimenetelmän metsäkonetta vuodessa. (Komatsu Forest Oy 2004; haastattelu Komatsu Forest Oy, Alahuhtala, Siuro 2004).

Kone-Ketonen Oy valmistaa yksiotehakkuulaitteita tuotenimellä Keto. Tuotantolaitokset sijaitsevat Kristiinankaupungissa. Keto-kourat sopivat niin maatalous- kuin metsätraktoriinkin sekä kaivukonealustoille. Pohjoismaiden lisäksi tuotteita viedään Keski-Eurooppaan, Pohjois-Amerikkaan, Japaniin ja Australiaan. (Kone-Ketonen Oy 2004).

Kone-Meskus Oy on Lumijoella sijaitseva yritys. Yritys valmistaa ja markkinoi AM-tuotteita, joita ovat AM-hakkuulaitteet, AM-keräävä-koura sekä AM-hydrauliikkayksikkö. (Kone-Meskus Oy 2005).

Lako Forest Oy Ltd toimii Merimaskussa. Yritys on aloittanut kouraharvestereiden suunnittelun ja sarjavalmistuksen vuonna 1979, ja valmistaa Lako-merkkisiä eri kokoisia kouria ensiharvennuksiin, harvennuksiin ja päätehakkuisiin. (Lako Forest Oy Ltd 2005).

Lako Oy on keskittynyt hakkuulaitteiden kehittämiseen, valmistamiseen ja markkinointiin. Tuotteita viedään yli kahteenkymmeneen maahan. Yhdessä jälleenmyyjänsä kanssa Lako Oy tarjoaa asiakkailleen maailmanlaajuisen palveluverkoston ja tuotetuen. Yhtiön päätoimipaikka on Turussa. (Lako Oy 2005).

Logman Oy sijaitsee Kurikassa ja valmistaa kuormatraktoreita sekä hakkuukoneita, jotka voidaan varustaa eri valmistajien hakkuu- ja mittalaitteilla. Yrityksen palveluksessa on 16 henkilöä ja koneiden vientimaita ovat mm. Viro, Venäjä, Saksa ja Yhdysvallat. Kolmannes koneista on ulkomailla. Logman Oy on kokoonpanotehdas, jonne osat tulevat alihankkijoilta, pääosin Etelä-Pohjanmaalta. (Logman Oy 2005).

Metso-Metalli Oy sijaitsee Jyväskylän maalaiskunnassa. Päätuotteita ovat Arbro - sykeharvesterit, joiden lisäksi pulverimaalaus sekä metallityöt. Lisäksi yhtiö markkinoi mm. Joutsa Siim -metsäperävaunuja ja kuormaimia. (Metso-Metalli Oy 2005).

Outokummun Metalli Oy on 1980 perustettu keskisuuri konepajayritys. Vuonna 2002 yhtiön liikevaihto oli 14 miljoonaa € ja henkilöstö 65 henkeä. Oma tuotekehitys ja omat tuotteet ovat kehittyneet merkittäväksi osaksi konepajan toimintaa. Outokummun Metalli Oy on valmistanut eri Timberjack hakkuulaitemalleja vuodesta 1984 alkaen. (Outokummun Metalli Oy 2005).

Oy Logset Ab on Koivulahdessa sijaitseva hakkuukoneiden, kuormatraktoreiden ja hakkuulaitteiden valmistaja. Koneita toimitetaan useimpiin Euroopan maihin ja tuotannosta menee vientiin yli 70 %. Yhtiöllä on myyntikonttoreita eri puolilla Eurooppaa sekä Kanadassa ja Venäjällä. Yhtiön liikevaihto oli vuonna 2002 hieman yli 12 milj. € Henkilökuntaa yrityksessä on noin 60. (Oy Logset Ab 2004).

Oy RCM Harvester Ltd on erikoistunut pienkoneteknologiaan, jolle tunnusomaista on koneen ohjaus kauko-ohjauksen avulla. Päätuotteena on kauko-ohjattava hakkuukone ensiharvennukseen. Yrityksen toimipaikka sijaitsee Kangasalassa. (Oy RCM Harvester Ltd 2005).

Pentin Paja Oy on metsä- ja maanrakennuskoneiden tuotekehitykseen ja valmistukseen erikoistunut yritys, jonka päätoimipaikka sijaitsee Joensuussa. Yritys valmistaa Naarva-tuotenimellä useita erilaisia tuotteita pääasiassa taimikon ja nuoren metsän hoitoon, mm. hakkuulaitteita, kouria, laikkureita ja reikäperkauslaitteita. Tuotteita viedään maailmanlaajuisesti. (Pentin Paja Oy 2005).

Pinox Oy (aiemmin S. Pinomäki Ky) on Ylöjärvellä sijaitseva konepaja, joka valmistaa hakkuukoneita, kuormatraktoreita, korjureita, hakkuulaitteita, nostureita sekä metsäenergian korjuukoneita, kuten hakkureita ja paalaimia. (Pinox Oy 2004).

Ponsse -konserni suunnittelee, valmistaa ja markkinoi tavaralajimenetelmään perustuvia metsäkoneita sekä puunkorjuuseen liittyvää tietotekniikkaa. Konsernilla on tytäryhtiöt Ruotsissa, Norjassa, Ranskassa, Isossa-Britanniassa ja Yhdysvalloissa. Pääkonttori sijaitsee Suomessa Vieremällä. Vuonna 2003 Vieremän yksikkö valmisti 399 metsäkonetta, joista vientiin meni 242 kpl (noin 60 %). Vuoden 2004 alussa yritys arvioi vientiin menevän noin 57 % koneista. Työntekijöitä konsernilla on yhteensä noin 550, joista tytäryhtiöissä reilu sata.

Vuoden 2003 lopussa Ponsse nousi kotimaiseksi markkinajohtajaksi niin hakkuukoneiden kuin kuormatraktoreidenkin osalta. Konsernin liikevaihto vuonna 2003 oli 163,5 milj. € ja tuotanto noin 400 metsäkonetta. (Ponsse Oyj 2004; haastattelu ja keskustelu Ponsse Oyj, Tiitinen, Mononen 2005).

Profi-Forest Oy on Muuramessa sijaitseva hakkuukoneiden valmistaja, jonka hakkuukoneita käytetään harvennushakkuilla kotimaassa sekä monissa maissa ympäri Eurooppaa. Tuotteissaan yritys keskittyy alustakoneen valmistukseen ja toimivan, kokonaistaloudellisen malliston luomiseen yhteistyössä alan erikoissektoreiden johtavien valmistajien sekä asiakkaiden kanssa. Alustakone varustellaan kunkin markkina-alueen erityisvaatimusten mukaisesti. (Profi-Forest Oy 2005).

ProSilva Oyj on Ruovedellä sijaitseva metsäkoneiden valmistaja, joka valmistaa tavaralajimenetelmän hakkuukoneita, sekä myy vaihtokoneita ja tarvikkeita. Yrityksen lähtökohtana on ollut metsäluontoa säästävien, aikaisempaa kevyempien, mutta silti tehokkaiden, laadukkaiden ja kustannuksiltaan kilpailukykyisten metsäkoneiden valmistaminen. (ProSilva Oyj 2005).

Sampo-Rosenlew Oy valmistaa mm. puimureita, teollisuuspesukoneita ja metsäkoneita. Yhtiön liikevaihto oli vuonna 2003 noin 56 milj. € mistä metsäkoneiden myynti oli 4,3 milj. € (noin 8 %). Yritys arvioi vuoden 2004 metsäkonemyynniksi 4,9 milj. € Yhteensä yhtiössä työskentelee yhteensä noin 460 henkilöä. (Sampo-Rosenlew Oy 2004).

S & A Nisula Oy on Jämsässä sijaitseva metsäkoneyritys, joka on erikoistunut koneellisen puunkorjuun lisäksi koneiden tuotekehitykseen ja rakentamiseen. Päätuotteita ovat yhdistelmäkourat, joilla voidaan toteuttaa sekä hakkuuta että kuormausta. Yritys valmistaa myös mm. ketjunpitimiä sekä jarruriipukkeita. (S & A Nisula Oy 2005).

Timberjack Oy on metsäkonealan markkinajohtaja: sen osuus maailmanmarkkinoista on noin 50 %. Yritys on nykyisin osa amerikkalaista Deere & Company -konsernia, jolla on noin 43 000 työntekijää ja toimipisteitä yli 160 maassa. Konsernin liikevaihto oli vuonna 2003 noin 15,5 miljardia dollaria, josta maarakennus- ja metsätoimialan osuus oli 2,7 mrd. dollaria. Konsernin maataloustraktorituotanto on noin 50 000 traktoria vuodessa. Vuoden 2004 aikana Deere odottaa maarakennus- ja metsäkonetoimialansa liikevaihdon nousevan noin 50 prosenttia. Yrityksellä on metsäkonealan laajin jälleenmyyntiverkosto: yli 300 toimipistettä 50 eri maassa. Timberjack valmistaa metsäkoneita sekä tavaralaji- että runkomenetelmien tarpeisiin. Koneita työskentelee yli 80 maassa. Tuotantoyksiköitä yrityksellä on Suomessa, Kanadassa ja Yhdysvalloissa. Joensuussa valmistetaan tavaralajimenetelmään soveltuvia hakkuukoneita, kuormatraktoreita ja kuormaimia. Työntekijöitä Timberjack Oy:ssä on noin 600, joista noin 300 työntekijää työskentelee Joensuussa. Yritys arvioi valmistavansa vuoden 2004 aikana Joensuussa noin 1 200 metsäkonetta. (John Deere 2004; haastattelu Plustech Oy, Peltola 2004; Salmela 2004).

Valtra Oy Ab kehittää, valmistaa, markkinoi ja huoltaa Valtra-traktoreita. Valtra on traktoreissa Pohjoismaiden markkinajohtaja ja toiseksi myydyin merkki Latinalaisessa Amerikassa. Liikevaihto vuonna 2003 oli 852 milj. € ja henkilöstömäärä 2 600, joista noin 850 Jyväskylässä ja Suolahdessa. Suolahden tehtaalla valmistettiin vuonna 2003 noin 10 000 ja Brasilian tehtaalla noin 9 000 traktoria. Suolahden valmistuksesta menee 25 % Suomeen, 15 % Ranskaan ja 10 % Ruotsiin. Valtra on ollut vuoden 2004 alusta lähtien osa yhdysvaltalaisesta AGCO-yhtymää. Suurin osa liikevaihdosta tulee maataloustraktoreista, mutta Valtra valmistaa myös harvennushakkuisiin tarkoitettuja hakkuukoneita ja kuormatraktoreita, joiden markkinointi ei tällä hetkellä ole aktiivista. Metsäkäyttöön maataloustraktoreihin on saatavissa erilaisia lisälaitteita, joita alihankkijat valmistavat. (Valtra Oy Ab 2004; keskustelu Valtra Oy Ab, Mattila 2005).

Velj. Moisio Oy on metsäkoneurakointia, metsäkonealan tuotekehittelyä ja konepajatoimintaa harjoittava yritys. Konepajan tuotteita ovat mm. Moipu-yhdistelmäkourat ja -syöttöpyörät. Asiakkaita on sekä Suomessa että ulkomailla. (Velj. Moisio Oy 2005).

Wikar Oy Ab, paremmin tunnettu tuotenimeltään KRONOS, sijaitsee Kruunupyysä. Maatalouskoneiden lisäksi yritys on erikoistunut metsäkuormainten ja -vaunujen, harvesteriyksiköiden sekä traktorien oheislaitteiden valmistukseen ja kehittämiseen eri maiden vaihteleviin olosuhteisiin sopiviksi. Asiakkaita on tuhansia lukuisissa maissa. (Wikar Oy Ab 2005).

Em. yritysten lisäksi **merkittävimpiä kuormainten valmistukseen erikoistuneita valmistajia** Suomessa ovat *Loglift Jonsered Oy Ab* ja *Logmer Forest Oy Ltd*. Loglift Jonsered Oy Ab:lla on jälleenmyyjäverkosto yli 50 maassa sekä oma myyntiyhtiö Ruotsissa ja Saksassa. Yhtiön päätoimipaikka sijaitsee Salossa (Loglift Jonsered Oy Ab 2005). Logmer Forest Oy Ltd:n päätoimipaikka sijaitsee Oulaisissa (Logmer Forest Oy Ltd 2005).

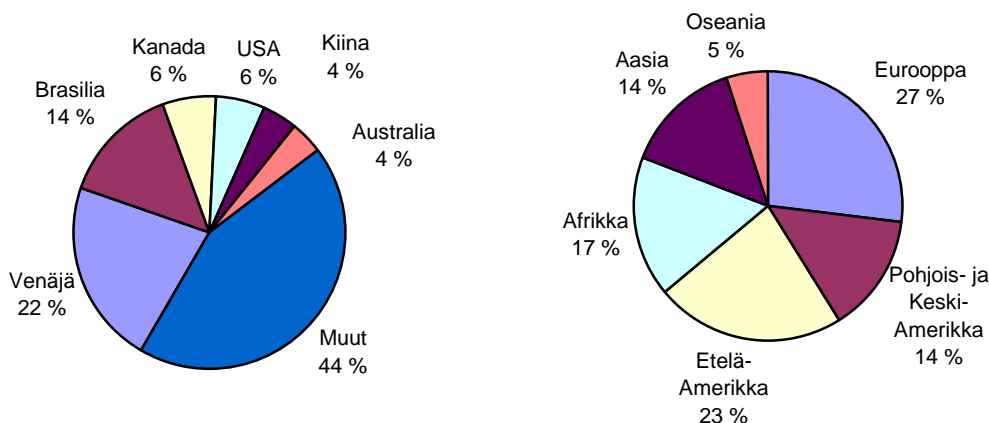
3 Raakapuun käytön ja metsäoperaatioiden kehitystrendit

3.1 Maapallon metsävarat

Maapallolla on metsää noin 3 870 milj. ha, josta istutusmetsiä on noin 5 %. Trooppisten ja subtrooppisten metsien osuus on noin 56 % ja muiden eli boreaalisten ja lauhkeiden vyöhykkeiden metsien osuus noin 44 %. Yli puolet maapallon metsäpinta-alasta sijaitsee kuuden valtion alueella (Kuva 2).

Suojeltujen metsien määrä maailmassa on noin 479 milj. ha eli 12,4 % maailman metsäpinta-alasta. Euroopassa suojeltujen metsien osuus on vain 5 %, mikä johtuu pääosin Venäjän suurista metsäalueista, jotka eivät virallisesti ole suojelun piirissä, vaikka niiden käyttö on paikoin hyvin vähäistä. Suojelukäytännöt ja -määritelmät vaihtelevat erittäin paljon eri puolilla maailmaa, joten tarkkojen lukumäärien arvioiminen on vaikeaa. Metsätalouden käytettävissä on koko

maailmassa keskimäärin 86 % metsistä. Loput 14 % jäävät ulkopuolelle sijainnin, vuoristojen, suojelun tai muiden syiden takia. (Global Forest Resources Assessment 2000). Erityisesti Euroopassa metsävarat ovat lisääntyneet viimeisten viidenkymmenen vuoden aikana, kun vuotuiset hakkuut ovat jääneet alle kasvun (Karjalainen ym. 2004).



Kuva 2. Maapallon metsäpinta-alan jakautuminen eri maiden kesken ja maanosittain. Venäjän metsät on sisällytetty Euroopan metsäpinta-alaan. (Global Forest Resources Assessment 2000).

Yhdysvalloilla on noin 302 milj. ha metsämaata eli noin 33 % koko maan pinta-alasta. Länsi-Yhdysvalloissa metsät ovat pääasiassa julkisessa omistuksessa, kun itäosan metsät ovat pääasiassa yksityisomistuksessa. Kaikkiaan yksityisomistuksessa on noin 58 % metsäpinta-alasta. Noin kaksi kolmannesta eli 204 milj. ha metsistä luokitellaan puuntuotantoon soveltuvaksi maaksi, jossa tuotto on vähintään 1,4 m³/ha/vuosi. Noin 11 % metsämaasta on istutettu (22 milj. ha), joista suurin osa sijaitsee etelässä (67 % eli 14,5 milj. ha). (North American Forest Commission 2002). Yhdysvaltojen metsät ovat maailman vaihtelevimpia. Sekä havu- että lehtipuulajeja on runsaasti. Länsi- ja itäosissa enemmistönä ovat havupuut, mutta maan keski- ja eteläosat ovat lähinnä lehtipuuvaltaisia. (Global Forest Resources Assessment 2000).

Kanadan maapinta-alasta lähes puolet eli 418 milj. ha on metsien peitossa, mistä 235 milj. ha on kaupallista metsää – tuottaen puuta tai muita metsätuotteita. Tällä hetkellä 119 milj. ha on ensisijaisesti puuntuotannossa. Vuonna 2000 arvioitiin istutettujen ja kylvettyjen metsien pinta-alaksi yhteensä 0,43 milj. ha eli noin 4 % puuntuotantoalueiden pinta-alasta. (North American Forest Commission 2002). Toisaalta tuntemattomasta syystä FAO:n (FAOSTAT 2004) mukaan Kanadassa ei olisi lainkaan istutusmetsiä. Kanadan metsistä suurin osa on havupuuta. Ainoastaan maan etelä- ja itäosissa lehtipuusto on vallitsevana, missä puulajeja ovat erityisesti vaahtera ja tammi. Esiintyviä puulajeja on yhteensä noin 180 ja myös erilaisia metsätyppejä on paljon. (Global Forest Resources Assessment 2000).

Venäjällä metsiä on noin 800 milj. ha eli noin puolet pinta-alasta. Yli 25 % maapallon puustotilavuudesta on Venäjällä. Lähes 95 % Venäjän metsistä on boreaalista, mikä on noin 60 % maapallon boreaalista metsistä. Noin 55 % metsäalasta katsotaan olevan ekologisesti ja taloudellisesti saavutettavissa. Hyödynnettävissä oleva metsäala on kaksi kertaa koko Euroopan

metsäalueen suuruinen. Puuston tilavuuden arvioitiin vuonna 2001 olevan noin 74,5 mrd. m³ ja vuotuista kasvua noin 871 milj. m³. Vuonna 2001 hakattavissa oli 509 milj. m³, mutta hakkuita tehtiin noin 115 milj. m³ eli noin 20 %. Alhaiseksi määrä jäi erityisesti Siperiassa ja Kaukoidässä, mutta toisaalta parhaat taloudelliset mahdollisuudet metsien hyödyntämiseen ovat Euroopan puoleisilla alueilla, joissa hakkuumahdollisuuksista käytetään 60–90 %. (Russian Forests 2003).

Yli puolet Venäjän metsäalasta on havumetsävaltaista, noin 40 % sekametsää ja alle 10 % lehtimetsävaltaista. Lehtipuusto on vallitsevana maan eteläosissa. Pohjois- ja länsiosissa pääpuulajeja ovat kuusi ja mänty, Siperiassa ja Kaukoidässä lehtikuusi. Koko Venäjän metsävaroista havupuiden osuus on noin 80 %, joista lehtikuusi on tärkein. Metsäalasta noin 1/5 sijaitsee Euroopan puoleisen Venäjän alueella. Lopusta neljästä viidesosasta merkittävä osa on käytön ulkopuolella ja tulee todennäköisesti myös jäämään hankalien olosuhteiden vuoksi. (Global Forest Resources Assessment 2000).

Kuvassa 3 on esitetty Venäjän hallintopiirit. Hallintopiireistä suurimmat metsäalueet sijaitsevat Siperiassa (42 % metsävaroista), Kaukoidässä (28 %) ja Luoteis-Venäjällä (11 %). Siperiassa ongelma on, että saavutettavissa olevien metsävarojen arvokkain osa on jo hyödynnetty ja metsänhoidon laiminlyöntien vuoksi hakatut metsät ovat muuttuneet arvottomiksi lehtipuumetsiksi. Metsäteollisuus on hitaasti supistunut ja sen kannattavuus heikentynyt. Kuljetusyhteyksiä parantamalla tilannetta voitaisiin korjata joksikin aikaa. Rungas 11 % Venäjän metsävaroista on Luoteis-Venäjällä, jossa eniten puuvaroja on Komin tasavallassa ja Arkangelin alueella. Luoteis-Venäjän metsäteollisuus on kaikilla osa-alueilla kehittyneintä koko Venäjällä. Etuina ovat Euroopan markkinoiden läheisyys ja melko kehittynyt infrastruktuuri Venäjän muihin alueisiin verrattuna. Yli 1/3 Venäjän puunkorjuu- ja puunjalostuslaitoksista sekä noin puolet suurista sellu- ja paperi- ja kartonkitehtaista sijaitsee Luoteis-Venäjän alueella. Puun tehokasta hyödyntämistä jarruttavat neuvostoajoilta peräisin oleva infrastruktuuri, metsäteiden puute, puunkorjuu- ja metsäkoneiden sekä alan tuotantoteknologian ja -menetelmien vanhentuneisuus jne. Puuta korjataan Venäjällä huomattavasti vähemmän kuin esimerkiksi Kanadassa ja Yhdysvalloissa, joiden metsävarat ovat olennaisesti pienemmät. Puunkorjuumäärässä Venäjä on vain hieman edellä Suomea ja Ruotsia, joiden metsävarat ovat maiden pinta-alan vuoksi vain murto-osa Venäjän metsävaroista. (Finpron maatietopalvelu 2004).

Luoteis-Venäjän hallintoalueeseen kuuluvat Komin ja Karjalan tasavallat; Arkangelin, Vologdan, Kaliningradin, Leningradin, Murmanskin, Novgorodin ja Pihkovan alueet; Pietarin kaupunki sekä Nenetsien autonominen piirikunta. Luoteis-Venäjällä sijaitsee merkittävä osa Venäjän taloudellisesti hyödynnettävissä olevista metsistä. Metsävaroiltaan rikkaita alueita ovat etenkin Arkangelin alue, Karjalan tasavalta, Vologdan alue, Komin tasavalta sekä eteläiset osat Murmanskin alueesta. Suurimmat metsävarat löytyvät Komista, jonka metsäpinta-ala on yli 30 milj. ha ja puuvaranto lähes 3 mrd. m³. Luoteis-Venäjän business-barometrin mukaan Luoteis-Venäjä ja erityisesti Pietari on yksi suomalaisyritysten tärkeimmistä business-alueista lähivuosina. Luoteis-Venäjällä talouskehityksen uskotaan olevan nopeampaa kuin muualla

Venäjällä. (Niskanen 2004). Luoteis-Venäjän osuus koko Venäjän teollisista hakkuista (industrial roundwood production) on ollut viimeisen kymmenen vuoden aikana noin 35–40 %. Gerasimovin (2004) mukaan Venäjällä hakattiin vuonna 2002 noin 80 milj. m³ ja Luoteis-Venäjällä noin 30 milj. m³. Toisaalta FAOSTAT (2004) arvioi hakkuut hieman suuremmiksi.



Kuva 3. Venäjän hallintopiirit.

Kiinan metsäpinta-ala on noin 163 milj. ha, josta istutusmetsiä on noin 45 milj. ha eli 27 %. Kiinan metsät ovat hyvin runsaslajisia. Koillisosissa metsät ovat pääasiassa havumetsää. Metsien pinta-ala kasvoi 5 milj. ha:lla vuosina 1980–1993 istutusten ansiosta. Istutuksia tehtiin 21 milj. ha, kun luonnonmetsien pinta-ala väheni samalla 16 milj. ha. Kehitys ei ole ollut toivottua biodiversiteetin kannalta, joten hallitus on kieltänyt hakkuut monilla alueilla ja perustanut miljoonia hehtaareita suojelualueita. Kiinan hallitus yrittää saada ulkomaisia yrityksiä perustamaan nykyaikaisia sellu- ja paperitehtaita, jotka käyttäisivät puuta muiden raaka-aineiden sijasta, mutta vielä on epäselvää, mistä kaikki tarvittava puu otetaan – ehkä tuodaan. Kiinasta on nopeasti tulossa yksi suurimmista kaikkien metsätuotteiden tuojista. Se, mitä Kiinassa tapahtuu, voi vaikuttaa dramaattisesti koko maailman metsiin. (Global Forest Resources Assessment 2000; Nguyen 2002).

Brasiliassa on noin 544 milj. ha metsää, josta noin 6 milj. ha on istutettua. FAO:n (FAOSTAT 2004) mukaan istutettua metsää on noin 5 milj. ha. Suuri osa metsäalueesta on trooppista sademetsää, jossa lehtipuut ovat vallitsevia. Istutusmetsät ovat pääasiassa eukalyptusta ja mäntyä, joita kasvatetaan erityisesti sellu- ja paperiteollisuutta varten sekä poltto- ja rakennuspuuksi. (Global Forest Resources Assessment 2000).

Australiassa on noin 153 milj. ha luonnonmetsiä ja noin 1,2 milj. ha istutusmetsiä. Tavoitteena on nostaa istutusmetsien pinta-ala 3 milj. ha:iin vuoteen 2020 mennessä. Istutusmetsistä saadaan tällä hetkellä noin 2/3 metsäteollisuuden käyttämästä puusta. (World Forest Institute 2004).

Australian metsät sijaitsevat pääasiassa rannikkoalueilla, korkeintaan 700 km:n päässä sisämaasta. Vallitsevia ovat eukalyptus- ja akasiametsiköt. Eukalyptus kattaa noin 80 % Australian metsäalasta ja akasia noin 8 %. Trooppista sademetsää on noin 1 milj. ha eli alle 1 %. (Global Forest Resources Assessment 2000).

3.2 Maailman ja Euroopan puunkorjuu

3.2.1 Hakkuisiin vaikuttavia tekijöitä: vuoristoisuus ja lehtipuusto

Euroopassa vuoristoalueiden metsillä on puuntuotannollista merkitystä, vaikka monia laajoja metsäalueita sijaitsee myös alavammilla mailla – kuten erityisesti Baltiassa, Ranskassa, Suomessa, Saksassa, Norjassa, Puolassa ja Ruotsissa. Helpomman maaston alueilla metsätalouden infrastruktuurin, puunkorjuun ja kuljetuksen kustannukset ovat merkittävästi alhaisemmat kuin vuoristoalueilla.

Metsä peittää yli 80 % monista vuoristoalueista, esim. Ranskassa ja Sloveniassa. Lisäksi esim. Pyreneillä, Cantabrian vuorilla, Saksassa, itäisillä Alpeilla, Apenniineilla sekä suurimmassa osassa Karpaatteja ja Bulgarian Balkania metsän peitossa on 61–80 %. Vain muutamilla vuoristoalueilla metsää on keskimäärin alle 20 %, kuten Länsi-Norjassa, Brittein saarilla, Kreikassa ja Sisiliassa. (Nordregio 2004).

Nordregio (2004) määrittelee vuoristoisuuden alueen korkeuden ja pinnanmuotojen perusteella käyttämällä viittä eri kriteeriluokkaa (Taulukko 1). Valtion koko vuoristoala saadaan laskemalla kaikkien viiden vuoristoisuusluokan pinta-alat yhteen. Euroopan maiden osalta vuoristoalat ja niiden osuudet pinta-alasta on koottu taulukkoon 2.

Taulukko 1. Vuoristoisuusluokat (Nordregio 2004).

Korkeus merenpinnasta	Pinnanmuotojen kriteerit
< 300 m	Suuria paikallisia kontrasteja pinnanmuodoissa
300–1 000 m	Korkeusvaihtelut yli 300 metriä 7 kilometrin säteellä tai suuria paikallisia kontrasteja
1 000–1 500 m	Mikä tahansa edellisistä kriteereistä tai tietyllä tavalla mitattu rinteiden kaltevuus vähintään 5
1 500–2 500 m	Mikä tahansa edellisistä kriteereistä tai tietyllä tavalla mitattu rinteiden kaltevuus vähintään 2
> 2 500 m	Ei kriteerejä pinnanmuodoille (kaikki vuoristo)

Taulukkoon 2 on koottu Euroopan Unionin jäsenmaiden vuoristoalueiden osuudet maa-alasta, lehtipuun osuudet hakkuisista sekä hakkuiden tämänhetkiset koneellistamisasteet. Niiden perusteella on arvioitu mahdollisuuksia koneellistaa puunkorjuuta edelleen. Eri maiden välillä on huomattavia eroja pinnanmuodoissa, hakatun puuston rakenteessa ja hakkuukoneiden käyttömäärissä.

Taulukko 2. Vuoristoisuuden ja lehtipuuston osuuden vaikutus hakkuiden koneellistamismahdollisuuksiin EU25-maissa (vuoristoisuus: Nordregio 2004; lehtipuun osuus ja hakkuiden koneellistamisasteet: Karjalainen ym. 2004).

Maa	Vuoristoisuus, % maa-alasta	Lehtipuun osuus hakuista, %	Hakkuiden koneellistamisaste, %
Alankomaat	0	27	25
Belgia	4	27	80
Espanja	56	40	30
Irlanti	11	1	90
Iso-Britannia	25	7	95
Italia	60	73	2
Itävalta	73	8	30
Kreikka	78	43	0
Kypros	48	--	--
Latvia	0	33	5
Liettua	0	44	0
Luxemburg	4	27	--
Malta	0	--	--
Portugali	39	48	30
Puola	5	25	2
Ranska	22	39	40
Ruotsi	25	6	98
Saksa	15	20	35
Slovakia	62	8	0,7
Slovenia	78	41	0,7
Suomi	0	12	97
Tanska	0	20	50
Tšekki	32	11	10
Unkari	5	89	15
Viro	0	32	55

Lehtipuuden koneellinen hakkuu on yhä ongelmallista erityisesti paksujen oksien ja rungon sekä oksien mutkaisuuden vuoksi. Oksien karsiminen aiheuttaa helposti liian suuria vaurioita runkopuuhun, jolloin hyödynnettävän ainespuun laatu heikkenee. Ongelmaan on pyritty löytämään helpottavia ratkaisuja ja esimerkiksi suurilla konevalmistajilla on mallistossaan valittavissa erityisiä lehtipuulle tarkoitettuja hakkuulaitteita, joita myydään mm. Länsi- ja Keski-Eurooppaan. Suomessakin korkealaatuisimpien lehtipuutukkien hakkuu tehdään usein manuaalisesti metsurityönä.

Arvioitaessa vuoristoisuuden vaikutusta maiden puunkorjuuseen maat sijoitettiin eri vuoristoisuusluokkiin, joiden perusteella koneellisesti korjattavissa oleva puumäärä arvioitiin. Laskelmassa käytettiin taulukossa 3 esitettyä luokitusta. Laskelmassa oletettiin, että kaikki havupuusto voidaan korjata koneellisesti. Arvioitaessa lehtipuuston vaikutusta hakkuiden koneellistamiseen käytettiin taulukossa 4 esitettyä luokitusta.

Taulukko 3. Euroopan maiden luokittelu hakkuiden koneellistamismahdollisuuden ja maaston vuoristoisuuden mukaan.

Vuoriston osuus	Hakkuista koneellistettavissa	Luokkaan sijoittuvat maat
< 10 %	95 %	Ruotsi, Suomi, Puola, Viro, Latvia, Liettua, Belgia, Unkari, Tanska, Alankomaat ja Luxemburg
10-30 %	90 %	Saksa, Ranska, Iso-Britannia ja Irlanti
30-40 %	80 %	Portugali ja Tšekki
40-50 %	70 %	--
50-60 %	55 %	Espanja
60-70 %	45 %	Italia ja Slovakia
70-75 %	40 %	Itävalta
> 75 %	20 %	Kreikka, Slovenia

Taulukko 4. Euroopan maiden luokittelu lehtipuuhakkuiden koneellistamismahdollisuuden mukaan.

Maaryhmä	Lehtipuustosta koneellisesti korjattavissa
Suomi ja Ruotsi	90 %
Baltian maat (Viro, Latvia ja Liettua)	70 %
Muut Euroopan maat	60 %

Taulukossa 5 on vertailun vuoksi esitetty lehtipuuhakkuiden osuuksia Euroopan ulkopuolella sekä eri maanosissa vuoden keskiarvona vuonna 2001 ja 2002. Maailmanlaajuisesti lehtipuiden nykyiset hakkuut sijoittuvat pääasiassa maapallon eteläisille alueille ja esim. Euroopassa osuus on keskimääräistä pienempi. Joillakin alueilla, kuten Indonesiassa ja Intiassa, käytännössä lähes kaikki hakkuut kohdistuvat lehtipuustoon.

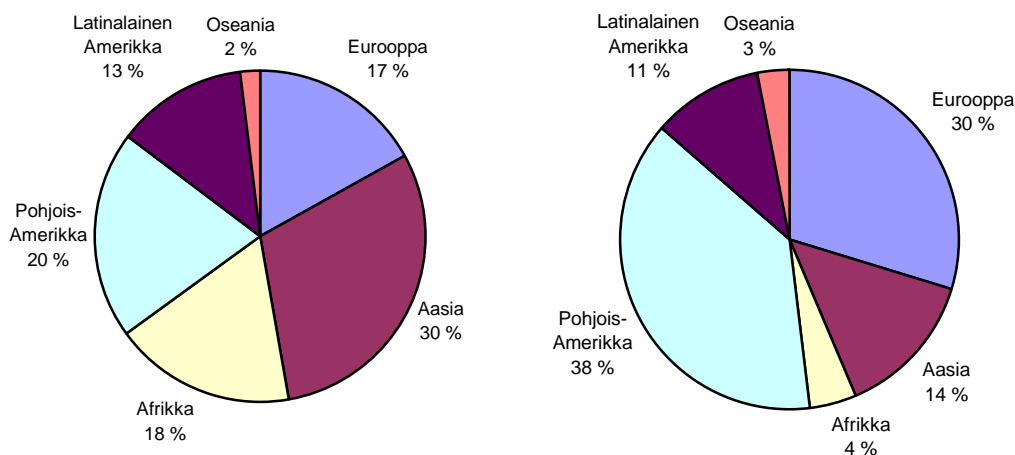
Taulukko 5. Lehtipuuhakkuiden osuuksia eri maanosissa sekä eräissä maissa Euroopan ulkopuolella vuoden keskiarvona vuosina 2001 ja 2002. (Metsätalastollinen vuosikirja 2003).

Maa	Lehtipuun osuus hakkuista, %
Aasia	60
Afrikka	81
Australia	47
Eurooppa	24
Pohjois-Amerikka	28
Brasilia	61
Chile	21
Indonesia	99
Intia	86
Japani	19
Kanada	18
Kiina	36
Uusi-Seelanti	1
Venäjä	23
Yhdysvallat	32

3.2.2 Toteutuneet hakkuumäärät

Puuta maailman metsissä kasvaa yhteensä noin 386 mrd. m³. Metsiä hakattiin koko maailmassa vuonna 2001 noin 3,3 mrd. m³, josta hieman yli puolet oli polttopuuta. Vuonna 2000 teollisuuspuun osuus oli noin 1,4 mrd. m³ ja määrän arvioidaan kasvavan vuoteen 2010 mennessä 1,63 mrd. m³:iin. Hakkuiden lisäys tulee pääasiassa Itä-Euroopasta ja Venäjältä, joiden osuus lisäyksestä on noin 1/5. Hakkuumäärät kasvavat keskimäärin 1,5 % vuodessa, josta noin puolet tulee nopeakasvuisista istutusmetsistä. Kehitysmaiden kaikesta puun käytöstä noin 80 % menee polttoaineeksi, ja Afrikassa jopa noin 89 %. (Global Forest Resources Assessment 2000, Metsätilastollinen vuosikirja 2003, Komatsu Forest Oy 2004).

Tropiikin ulkopuolisilla alueilla yli 70 % vuotuisesta kasvusta hakattiin, jos Venäjä jätetään tarkastelun ulkopuolelle (Venäjä 9 %). Osuus kertoo kehittyneiden maiden tehokkaasta puunkäytöstä. Kuvassa 4 on esitetty kaikki maailman hakkuut sekä teolliset hakkuut vuonna 2001 maanosittain. Hakkuut jakautuvat melko tasaisesti maanosien välille, mutta tilanne on erilainen, jos polttopuuhakkuut jätetään tarkastelun ulkopuolelle. Teollisen puun hakkuista noin 2/3 sijaitsee Euroopassa ja Pohjois-Amerikassa. Havumetsiä on hakattu selvästi lehtimetsiä intensiivisemmin. Erityisen selvästi tämä ilmenee Pohjois-Amerikassa, jossa havumetsien hakkuumahdollisuuksista on käytetty 98 %. Euroopassa vastaava osuus on 68 %. (Global Forest Resources Assessment 2000).



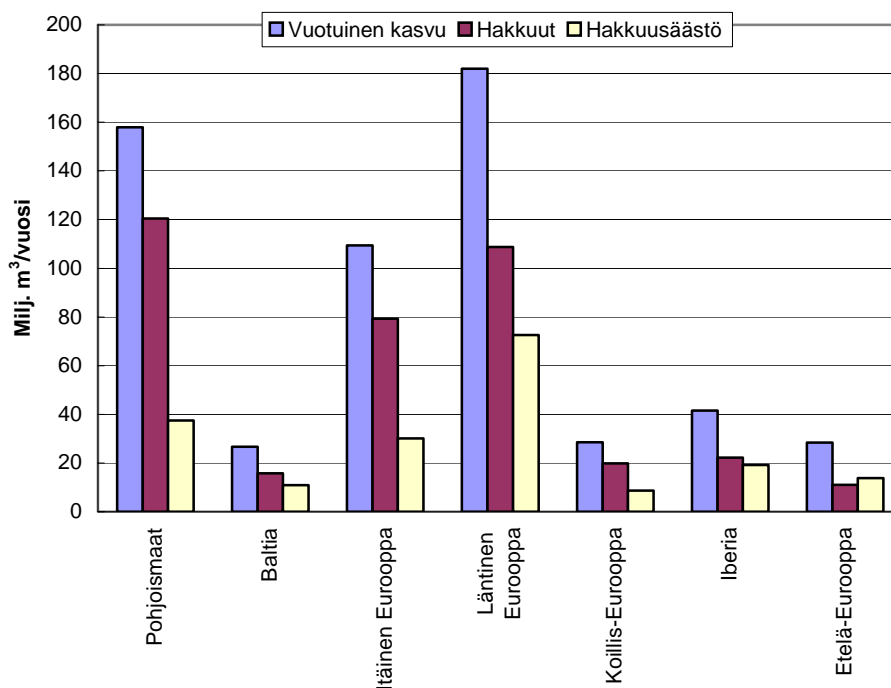
Kuva 4. Osuus maailman hakkuista maanosittain v. 2001. Vasemmalla kaikki hakkuut, oikealla vain teollisen puun hakkuut. (Metsätilastollinen vuosikirja 2003).

Seuraavassa puunkorjuuta käsitellään tarkastelemalla alueittain vuotuista metsänkasvua, nykyisiä hakkuumääriä ja hakkuusäästöjä. Puunkorjuun koneellistamisasteet ja eri puunkorjuumenetelmien osuudet arvioitiin saatavilla olevien tietojen ja asiantuntijalausuntojen perusteella. Hakkuita tarkasteltiin lähinnä maanosittain ja tärkeimpien alueiden eli Euroopan ja Pohjois-Amerikan osalta maittain. Euroopan tilannetta tarkasteltiin erityisesti EU25-maiden osalta. Euroopan maat jaettiin ryhmiin taulukon 6 mukaisesti.

Taulukko 6. Euroopan jako pienempiin maantieteellisiin osa-alueisiin.

Maaryhmä	Maa
Pohjoismaat	Suomi, Ruotsi
Baltia	Viro, Latvia, Liettua
Itäinen Eurooppa	Itävalta, Puola, Slovakia, Tšekin tasavalta, Unkari
Läntinen Eurooppa	Luxemburg, Ranska, Saksa
Koillis-Eurooppa	Alankomaat, Belgia, Irlanti, Iso-Britannia, Tanska
Iberia	Espanja, Portugali
Eteläinen Eurooppa	Italia, Kreikka, Kypros, Malta, Slovenia

Euroopan metsien osalta tarkasteltiin vain puuntuotantoon käytettävissä olevia alueita, jolloin suojelualueet ja korkeimmat vuoristot jätettiin tarkastelun ulkopuolelle. Hakkuumäärät ovat pääosin 1990-luvulta ja ne on laskettu useiden vuosien keskiarvona aina, kun se on ollut mahdollista. Hakkuusäästöt laskettiin vuotuisen kasvun ja hakkuumäärien erotuksena (Kuva 5). Koska tarkasteluun on otettu ainoastaan puuntuotantoon soveltuvat alueet, voidaan arvioida, että hakkuusäästöt ovat ainakin teoriassa hyödynnettävissä olevaa puuta. Korjuun taloudellisuuteen ei tässä selvityksessä puututtu. Taulukoissa 7–9 on esitetty teollisten hakkuiden määriä eri alueilla Euroopassa ja muualla maailmassa.



Kuva 5. Euroopan eri alueiden metsien vuotuiset kasvut, hakkuut ja hakkuusäästöt (Karjalainen ym. 2004).

Suomessa kaikkien metsien vuotuinen kasvu on 78 milj. m³ ja poistuma 65 milj. m³. Tämä ei tarkoita sitä, että metsistä voisi hakata 13 milj. m³ nykyistä enemmän, sillä osa metsäalasta on suojeltua ja monet metsänomistajat arvostavat myös metsiensä virkistys- ja monikäyttöä.

Hakkuumäärän lisäämismahdollisuudet ovat siis rajalliset ja koskevat vain talouskäytössä olevia metsiä. (Hakkila 2004a).

Taulukko 7 ja 8. Hakkuut maailmassa eri alueilla (Taulukko 7) ja EU25-maissa alueittain (Taulukko 8), vuosien 1999–2002 keskiarvot (FAOSTAT 2004). (industrial roundwood). Venäjä on laskettu Eurooppaan.

Alue	Hakkuut yhteensä, 1000 m ³ /vuosi	Maaryhmä	Hakkuut yhteensä, 1000 m ³ /vuosi
EU25-maat	308 292	Pohjoismaat	106 274
Eurooppa	463 737	Baltia	23 666
Pohjois-Amerikka	609 810	Itäinen Eurooppa	57 316
Aasia	223 705	Läntinen Eurooppa	77 202
Afrikka	67 405	Koillis-Eurooppa	15 871
Etelä-Amerikka, Oseania ym.	208 679	Iberia	22 026
Koko maailma	1 573 336	Eteläinen Eurooppa	5 938

EU25-maiden hakkuut keskittyvät Pohjoismaihin ja Keski-Eurooppaan. Maanosittain tarkasteltuna suurimmat hakkuumäärät ovat Pohjois-Amerikassa eli käytännössä Yhdysvalloissa ja Kanadassa. Yhdysvalloissa hakataan kaikista maailman maista selvästi eniten, lähes yhtä paljon kuin Euroopassa ja Venäjällä yhteensä.

Taulukko 9. Hakkuut eri maissa, vuosien 1999–2002 keskiarvot (FAOSTAT 2004). (industrial roundwood).

Maa	Hakkuut yhteensä, 1000 m ³ /vuosi
Suomi	48 999
Ruotsi	57 275
Venäjä	110 900
Kanada	195 741
Yhdysvallat	414 068
Brasilia	102 344
Kiina	95 941
Australia	23 326

3.3 Teollisuuspuun korjuu

3.3.1 Tavaralajimenetelmän konetyypit

Tavaralajimenetelmässä hakkuu ja metsäkuljetus toteutetaan pääasiassa kahden koneen korjuuketjulla, johon kuuluvat harvesteri eli hakkuukone ja kuorman kantava kuormatraktori. Käytössä on myös ns. korjureita, joilla voidaan toteuttaa sekä hakkuu että metsäkuljetus. Vaihtoehtoisesti ns. omatoimisessa korjuussa käytetään usein maataloustraktoripohjaisia ratkaisuja, joissa traktoriin kytketään erillisiä lisälaitteita esim. perävaunu, kuormain tai juontolaitteet. Tässä esitetyn ns. pohjoismaisen tavaralajimenetelmän koneiden lisäksi esim. Pohjois-Amerikassa käytetään myös koneketjuja, joissa hakkuukoneen työvaiheet on jaettu erillisille koneille, esim. kaato-kasauskone ja prosessori. Konetyyppien jaossa on käytetty perustana Uusitalon (2003) esittämää jakoa.

Harvesteri eli hakkuukone. Käytössä olevat hakkuukoneet ovat pääsääntöisesti kuormain- eli yksioteharvestereita, joilla puun kaikki hakkuunaikaiset käsittelyvaiheet (kaato, karsinta, katkonta) voidaan toteuttaa kuormaimen kytketyllä hakkuulaitteella eli hakkuupäällä. Kuormaimen pituudet ja hakkuulaitteiden koot vaihtelevat siten, että puustoltaan erilaisille leimikoille on olemassa erilaisia kone- ja laitevaihtoehtoja. Koneet ovat pääasiassa pyöräalustaisia, mutta käytössä on myös tela-alustaisia koneita, jolloin peruskoneena on esim. kaivukone.

Kuormatraktori. Kuormatraktorilla kuljetetaan katkotut puutavaralajit kaukokuljetusreitoin, tavallisesti tienvarsivarasto, aloituspisteeseen siten, että kuljetettavan kuorman koko paino kohdistuu kuormatraktoriin. Käytössä olevat kuormatraktorit on pääsääntöisesti varustettu kiinteällä kuormatilalla ja kuormaimella. Hydrostaattis-mekaanisen voimansiirron ja erilaisten rengas-, tela- ja teliratkaisujen ansiosta eteneminen vaikeassakin maastossa on jouhevaa.

Korjuri. Samalla peruskoneella toteutetaan sekä hakkuu että metsäkuljetus. Tällä hetkellä korjurit voidaan jakaa kahteen perustyyppiin toimintaperiaatteen mukaan. Toisella perustyyppillä hakkuu ja metsäkuljetus voidaan toteuttaa samalla ajokerralla varustusta vaihtamatta. Tällöin kuormaimen päässä käytetään ns. yhdistelmäkouraa, jolla voidaan sekä hakata että kuormata. Toisessa perustyyppissä koneeseen kytkettäviä laitteita ja varustusta (esim. hakkuulaite ja kuormatila) vaihdetaan siirryttäessä hakkuusta metsäkuljetukseen. Perustyyppien sisällä on eroja koneiden rakenteessa (esim. kuormatilan rakenne). Korjurin etuja korjuuketjuun verrattuna ovat mm. vähäisempi siirtojen määrä eri leimikoiden välillä sekä toiminnan parempi muunneltavuus.

3.3.2 Runkomenetelmän konetyypit

Runkomenetelmässä hakkuu ja metsäkuljetus toteutetaan korjuuketjulla, johon yleensä kuuluu vähintään kolme erilaista peruskonetta. Käytettävät koneet ovat tavaralajimenetelmän koneita enemmän erikoistuneet tiettyihin työvaiheisiin siten, että koneet ovat rakenteeltaan ja käytettävyydeltään yksinkertaisempia. Konetyyppien jaossa on käytetty perustana Uusitalon (2003) esittämää jakoa.

Kaato-kasauskone. Kaato-kasauskonetta käytetään hakkuussa puiden kaatoon ja runkojen kasaukseen juontokasoiksi. Kaato-kasauskoneet voidaan jakaa kahteen perustyyppiin kaatopään sijainnin mukaan. *Drive-to-tree feller buncherissa* kaatopää sijaitsee koneen rungossa, jolloin runkoa kaadettaessa kone ajetaan runkoa vasten. *Swing-to-tree feller-buncherissa* kaatopää on kytketty kuormaimen ja alustakone on tavallisesti tela-alustaista kaivukonetta muistuttava.

Juontotraktori. Juontotraktorilla rungot kuljetetaan vetämällä siten, että osa runkojen painosta kohdistuu maahan. Juontotraktorit voidaan jakaa *pihtijuonto-* ja *pankkojuontotraktoreihin*. Pankkojuontotraktorissa on erillinen kuormain lastausta varten.

Karsinta-katkontakone tai erilliset *karsinta-* ja *katkontakoneet*. Tienvarsivarastolla tai käyttöpaikalla rungot karsitaan ja katkotaan joko erillisillä karsinta- ja katkontakoneilla tai yhä useammin molempiin työvaiheisiin soveltuvilla karsinta-katkontakoneilla.

3.3.3 Tavaralajimenetelmän mahdollisuudet ja rajoitteet

Tavaralajimenetelmästä on tullut yksi vakiomenetelmä puunkorjuussa Euroopassa, Etelä-Amerikassa ja Australiassa sen jälkeen, kun hakkuukoneet ja kuormatraktorit tulivat markkinoille 1970-luvulla. *Tavaralajimenetelmän metsäkoneet kasvattavat osuuttaan koneellisesta puunkorjuusta nopeimmin Pohjoismaiden ulkopuolella ja yhä enemmän myös Pohjois-Amerikassa.* Metsätalous ympäri maailman on hitaasti siirtymässä kokopuumenetelmästä tavaralajimenetelmään. (Komatsu Forest Oy 2004, Ponsse Oyj 2004).

Tavaralajimenetelmän koneet ovat pieniä ja edistykseksiä, ja niiden vaikutus maaperään ja ympäristöön jää suhteellisen vähäiseksi. Menetelmän etuina ovat korkea työn tuottavuus ja ympäristöystävällisyys sekä hyvä soveltuvuus myös pienikokoisiin leimikoihin ja harvennushakkuisiin. Puutavara säilyy puhtaampana ja se saadaan korjattua tarkemmin. Kun tavaralajit saadaan erilleen, niitä voidaan varastoida ennen toimittamista loppukäyttäjälle. Tavaralajimenetelmään siirtyminen merkitsee hakkuutyön monipuolistumista ja lisävaatimuksia koneen käyttäjille, kun puu katkotaan jo metsässä loppukäyttäjän tarpeiden mukaisesti. (Komatsu Forest Oy 2004, Ponsse Oyj 2004).

Tämänhetkiset *tavaralajikoneiden ongelmat liittyvät korkeisiin pääoma- ja käyttökustannuksiin sekä koneenkäyttäjien pitkään oppimisaikaan.* Yleisesti puunkorjuun koneellistamisen esteinä ovat runkojen suuri koko ja lehtipuiden hankala muoto. Esimerkiksi Etelä-Euroopassa runkojen koko ja muoto voivat olla tavaralajimenetelmää rajoittavia tekijöitä. Sen sijaan kaivukonealustaisilla koneilla voidaan käsitellä suuria runkoja helpommin. Yleisesti puunkorjuumenetelmän valintaan vaikuttavat eniten puuston koko, hakkuutapa (avohakkuu vai harvennus), metsikön tiheys ja maasto (kaltevuus, kivet ja lumi). Muita vaikuttavia tekijöitä ovat mm. katkottavan puutavaran pituus, koneenkäyttäjän ominaisuudet ja puun käyttötarkoitus. (Technology Road Map... 1996, Forest Engineering Research Institute of Canada 2004).

Monissa maissa koneiden kuljettajat ovat vähäisesti koulutettuja ja koneet ovat yksinkertaisia – tällöin niitä pystytään käyttämään ilman erityistä koulutusta. Tulevaisuudessa ongelmaksi muodostuu se, *mistä tavaralajimenetelmän koneille löydetään maailmalla kuljettajia,* koska menetelmä vaatii kuljettajalta monipuolista osaamista? Uusien kuljettajien kouluttaminen on kallista ja voi estää uuteen konetyyppiin ja menetelmään vaihtamisen.

Tavaralajimenetelmän yleistymistä rajoittaa *koneiden kalleus* verrattuna kokorunkomenetelmän koneisiin, vaikka tuottavuudet ovat molemmilla menetelmillä yleensä hyvät. Tavaralajimenetelmän koneiden hintaa nostavat niihin sisältyvät rungon mittaus- ja

apteerausjärjestelmät. Kun metsäteollisuustuotteiden hinnat eivät ole nousussa, ei välttämättä ole innostusta panostaa tuotantoketjun alkupään kalliisiin ratkaisuihin. Yleistymiseen vaikuttaa hidastavasti myös hyvien rahoituskeinojen vaikea löytäminen. Suomessa itse tuote kelpaa lainan vakuudeksi, mutta tilanne ei ole sama esim. Keski-Euroopassa. Investoinnista aiheutuu tällöin helposti rahoitusongelmia.

Kansainvälisesti *tavaralajimenetelmää voidaan soveltaa eri tavoin*. Esimerkiksi Kanadassa tavaralajimenetelmä ei terminä välttämättä tarkoita sitä, että siellä käytettäisiin pohjoismaisia tavaralajimenetelmän koneita. Rinnakkaisessa menetelmässä rungot tuodaan kokonaisina tien varteen ja jaetaan prosessorilla tavaralajeiksi tien varressa. Eräiden arvioiden mukaan tämä voi olla jopa valtaa saava menetelmä. Lisäksi useilla alueilla tavaralajimenetelmän korjuussa käytetään yleisesti kaivukonepohjaisia koneita, mikä ei ole yleistä Suomessa.

Suomessa tavaralajimenetelmän valintaa suosii mm. täysperävaunuautojen käyttö kuljetuksissa, kun muualla puoliperävaunujen käyttö on yleisempää. Kuljetuksen logistiikka on alueittain rakennettu vallitsevan menetelmän mukaan, mikä on useiden vuosien kehityksen tulos. Runkomenetelmän kilpailukyky esimerkiksi Suomessa parantuisi, jos tehtaat sijaitsisivat nykyistä keskitetympin ja puutavaralogistiikka olisi siten yksinkertaisempi toteuttaa. Alueellinen infrastruktuuri ja toimintaympäristön asettamat rajoitteet ovat yleisesti merkittävässä asemassa puunkorjuumenetelmää kehitettäessä. Esimerkiksi Ranskassa teiden kapeus ja maantiekuljetuksia koskevat ajoneuvoleveyksien rajoitteet ohjaavat metsäkoneiden ja varusteiden valintaa

Tavaralajimenetelmällä rungot pystytään hyödyntämään tarkemmin eri käyttäjien tarpeiden mukaan. Alueilla, missä käytetään kokorunkomenetelmää, metsäteollisuudessa on totuttu siihen, että raaka-aine tuodaan kokonaisina runkoina jalostuslaitokselle ja siitä voidaan vapaasti muokata tarvittavia pölkkyjä tarpeen mukaan. Tavaralajimenetelmän yleistymistä voivat rajoittaa myös erilaiset sahatavaralajit sekä sahausteknologia. Runkomenetelmän eräänä etuna on katkontatarkkuus, jossa voidaan hyödyntää mm. läpivalaisua. Toisaalta tavaralajimenetelmällä rungon ainespuuksi kelpaamattomat osat voidaan erotella jo metsässä ja korjattu puutavara säilyy ehjempänä. Tukkipuussa vahingolliset puun rakenteen repeytymät voidaan usein havaita vasta myöhäisessä jatkojalostusvaiheessa, jolloin viat aiheuttavat tappioita koko aikaisemmalle prosessiketjulle. Suomessa muutamilla sahoilla on mietitty kokonaisina runkoina korjuun etuja ja se on soveltaen käytössä esimerkiksi siten, että ainoastaan tukkiosuus ja kuituosuus erotellaan metsässä toisistaan. Tällöin hakkuukoneella hakatun tukkisuman jakaumaa voidaan täydentää sahalla tehtävällä tukkiosan katkonnalla.

Tulevaisuudessa kiinnitetään entistä enemmän huomiota hakkuiden ympäristövaikutuksiin (RIL = reduced impact logging). Monissa maissa luonnonmetsien hakkuille on asetettu rajoituksia, koska pelätään laajamittaisten koneellisten hakkuiden negatiivisia ympäristövaikutuksia. Tällöin pienet tavaralajimenetelmän koneet voivat olla parempia kuin isot runkomenetelmän koneet. (The State of the World's Forests 2001).

Tavaralajimenetelmän koneiden ympäristöystävällisyys ei kuitenkaan ole yksiselitteistä, sillä esim. kuormatraktorit ovat painavia ja jättävät syviä uria varsinkin pehmeässä maastossa. Ympäristöystävällisyytenä voidaan lisäksi pitää kykyä tehdä harvennushakkuuta ja tuoda puutavara pois metsästä lyhyenä, mutta käsite on väljempi uudistushakkuulla. Tavaralajimenetelmällä voidaan paremmin tehdä myös poikkeuksellisia poimintahakkuuta, jotka johtuvat esimerkiksi hyönteistuhosta tai alueellisista erikoistarpeista kuten metsäpaloriskien vähentäminen.

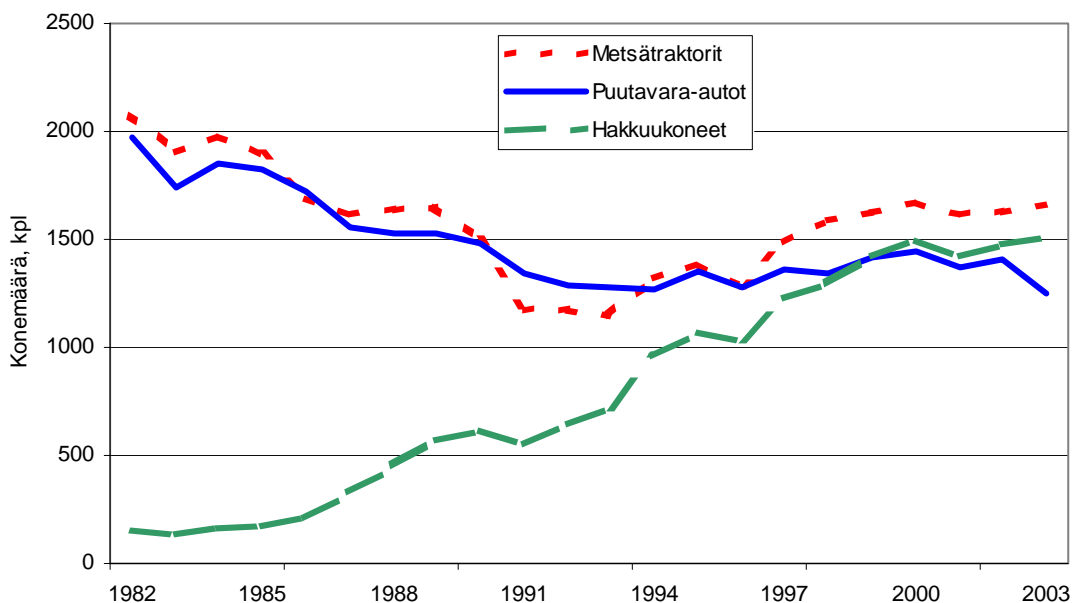
Yksiotehakkuukone on syntynyt pohjoismaisessa toimintaympäristössä, johon kuuluvat mm. harvennushakkuut. Koneita markkinoitaessa pitäisi levittää harvennushakkuuta kasvatusmenetelmänä. Esimerkiksi läntisessä Kanadassa, jossa valtio omistaa metsät ja hakkuuoikeuksia jaetaan vain esim. 25 vuoden ajanjaksolle, kannustinta harvennushakkuihin ei ole. Kanadassa käytössä olevat korjuumenetelmät ovat usein tehokkaita paikallisissa olosuhteissa, joissa korostetaan alhaisia korjuukustannuksia. Tämä asettaa haasteita tavaralajimenetelmän markkinointiin.

Venäjänsä metsätalous ja -teollisuus ovat viime vuosina osoittaneet kasvavaa kiinnostusta tavaralajikorjuuta kohtaan. Suurimpina esteinä ovat toistaiseksi olleet runkomenetelmää suosiva infrastruktuuri tehtailla, uusien koneiden kalleus ja ammattitaitoisten kuljettajien puute. Toisaalta tavaralajimenetelmää puoltavat mm. sopivuus kaikkiin hakkuisiin, saadun puutavaran puhtaus ja työn korkea tuottavuus. Koneita ja osaamista on siirretty erityisesti Pohjoismaista. (Gerasimov 2004). Tavaralajimenetelmä voi edellyttää myös parempaa tieverkkoa kuin runkomenetelmä.

Venäjäällä on vankka koulutusperinne, mutta ongelma on koulutuksen sisältö. Brasiliassa puunhankintayritykset ottavat vastuun koneiden ostosta ja koulutuksesta. Ne perustavat koulutuskeskuksen ja kouluttavat ihmiset. Erään arvion mukaan uusien alueiden tavaralajimenetelmään siirtymisessä on otettava oppia muutamista Etelä-Amerikassa toimivista yrityksistä etenkin koulutuksen suhteen.

3.3.4 Hakkuun koneellistaminen sekä tavaralaji- ja runkomenetelmän suhteet

Maailmanlaajuisesti tarkasteltuna puunkorjuun koneellistamisessa on suurta vaihtelua. Pohjoismaissa lähes kaikki puutavara korjataan jo koneellisesti, mutta tilanne on toinen useissa Itä-Euroopan maissa. Tavaralajimenetelmän metsäkonemarkkinat maailmassa ovat tällä hetkellä noin 2 900 konetta vuodessa. Esimerkiksi Ruotsissa myydään vuosittain uusia kuormatraktoreita ja hakkuukoneita noin 300 kumpaakin. Suomessa puunkorjuukaluston määrä on pysynyt samalla tasolla viime vuosina (Jaakkola 2004). Kuvassa 6 on esitetty puunkorjuun ja kuljetuksen kalusto Suomessa vuosina 1982–2003 Metinfon (2005) mukaan. Kuvan esittämät määrät sisältävät vuoden aikana keskimäärin käytössä olleen metsäteollisuuden ja Metsähallituksen puunkorjuu- ja kuljetuskaluston sekä metsänhoitoyhdistysten korjuupalvelun kaluston.



Kuva 6. Puunkorjuun ja kuljetuksen kalusto Suomessa vuosina 1982–2003 (Metinfo 2005).

Ajoneuvohallintokeskuksesta saatujen tietojen mukaan kaikkien rekisteröityjen metsäkoneiden määrä on erityisesti kuormatraktoreiden osalta em. huomattavasti suurempi, vaikka kaikkia koneita ei ole rekisteröity (Metsätrans 2005). Metsätrans-lehden keräämien tietojen mukaan 31.12.2004 Suomessa oli rekisteröityjä hakkuukoneita 1 788 ja kuormatraktoreita 2 757 kappaletta. Vastaavia tilastoihin vaikuttavia laskentatekijöitä lienee myös muissa maissa.

Ruotsissa hakkuut ovat olleet noin 70 milj. m³ vuodessa, mistä lähes kaikki on hakattu koneellisesti. Käytössä on noin 1 400 hakkuukonetta, joista keskimääräinen hakkuukone tekee noin 60 000 m³ puuta vuodessa – tuottavimmat noin 100 000 m³. (Skogforsk 2004).

Tarkkoja tietoja tavaralajimenetelmän osuudesta maailman puunkorjuussa on vaikea esittää, sillä tilanne vaihtelee maittain. Esim. osassa Euroopan maita käytetään puunkorjuussa yhä paljon runkomenetelmää. Taulukossa 10 on esitetty arvioita käytössä olevista tavaralajimenetelmän koneista muutamissa esimerkkimaissa.

Taulukko 10. Käytössä olevien tavaralajimenetelmän koneiden määriä esimerkkimaissa.

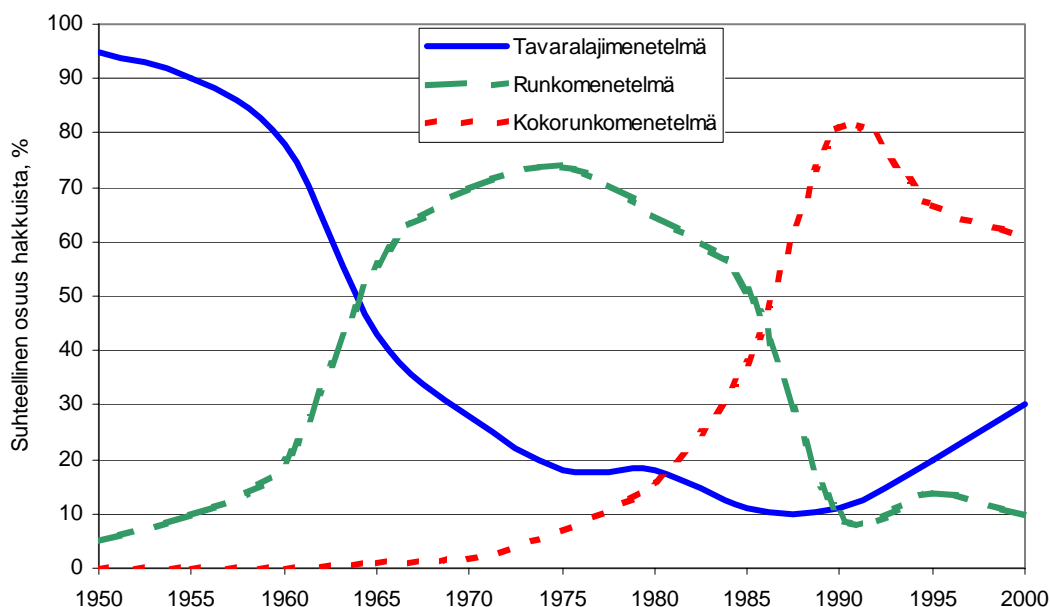
Maa	Vuosi	Hakkuukoneet	Kuormatraktorit	Lähde
Ruotsi	2004	1 500-2 000	2 000-2 500	Skogforsk, Magnus Thor [14.2.2005]
Luoteis-Venäjä	2004	300-400	750-800	Metla, Yuri Gerasimov [7.9.2004]
Viro	2004	125	400-500	Metla, Antti Asikainen [7.8.2004]

Metsäkoneiden laajimmat markkinat ovat Pohjois-Amerikassa ja Skandinaviassa, joiden osuus kokonaismarkkinoista on yli 80 %. Metsäkoneiden markkinat kasvavat nopeammin kuin hakkuumäärät erityisesti Latinalaisessa Amerikassa, Itä-Euroopassa ja Kaakkois-Aasiassa. Skandinavian markkinat ovat jo suhteellisen kylläiset, eikä kasvua enää tapahdu. Perinteinen

pohjoisamerikkalainen kokopuumenetelmä on edelleen tehokkain suurialaisilla hakkuilla, joissa rungon koko on suuri, minkä vuoksi siirtyminen tavaralajimenetelmään ei tapahdu vielä seuraavien 10–20 vuoden kuluessa.

Pohjois-Amerikassa joillakin alueilla tavaralajimenetelmä on erittäin harvinainen ja esim. Ontarion metsistä tavaralajimenetelmällä korjataan vain noin 1 % puutavarasta. Suomessa ja Pohjoismaissa menetelmän osuus on noin 100 %, Saksassa 60 %, Michiganissa ja Wisconsinissa 85 % ja Minnesotassa lähes 40 %. Menetelmä on kuitenkin yleistymässä Pohjois-Amerikassa (Northern Ontario Business 2004). Kanadassa tehdyn tuoreen laskelman mukaan tavaralajimenetelmän osuus on Itä-Kanadassa noin 40 % koko hakkuista, mutta Länsi-Kanadassa menetelmä ei ole juurikaan käytössä (haastattelu Forest Engineering... 2005).

Erityisesti pienirunkoisilla leimikoilla kaato-kasauskoneen, prosessorin ja kuormatraktorin muodostama tavaralajimenetelmän koneketju on arvioitu pohjoismaista menetelmää tehokkaammaksi mm. runkojen joukkokäsittelyyn ja koneiden lyhyisiin siirtomatkoihin perustuen. Menetelmän osuus on arvioitu noin puoleksi tavaralajimenetelmän käytöstä. Kuvassa 7 on esitetty puunkorjuumenetelmien osuuksia hakkuista Kanadassa Albertan itäpuolella Pulkin (2003) mukaan.



Kuva 7. Puunkorjuumenetelmien osuuksia hakkuista Kanadassa Albertan itäpuolella (Godin 2001, Pulkin 2003).

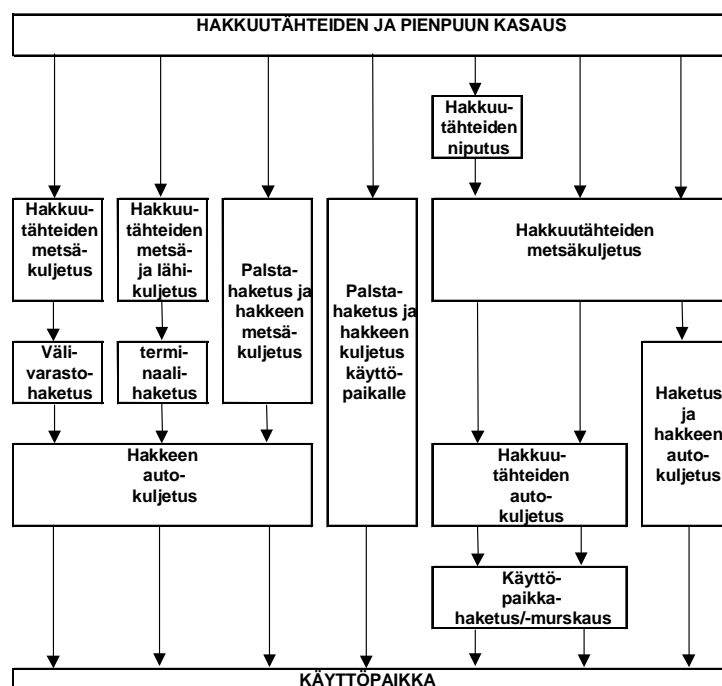
EU:n metsäkonemarkkinat ja erityisesti tavaralajimenetelmän osuus ovat kasvussa. Vaihtelu maiden välillä ja sisällä on suurta. Italiassa on tällä hetkellä hitaasti kehittyvät markkinat, mutta mm. Espanjassa kasvu on nopeaa ja hakkuista suurin osa tehdään koneellisesti. Pohjoisempaan Ranska on siirtymässä hitaasti kokopuukorjuusta tavaralajimenetelmään. Ranskassa hakkuiden koneellistamisaste on noin 40 % vaihdellen alueittain merkittävästi, mikä johtuu pääosin hakattavasta puulajistosta ja vuoristoisuudesta. Esim. Keski-Ranskassa korjuu on lähes

kokonaan koneellistettua, mutta osissa Ranskaa osuus on vain 35 %. Espanjassa ja Portugalissa vaihtelu on suurta. Italiassa koneellisen puunkorjuun osuus on vielä melko vähäinen ja muutos on hidasta mm. konservatiivisesta ajattelutavasta johtuen. Espanjassa, Portugalissa ja Italiassa teollisuuden viljelymetsien puu korjataan koneellisesti, mutta yksityismetsänomistajien hakkuissa manuaalinen menetelmä on yleisin.

3.4 Metsäenergian korjuu

3.4.1 Korjuumenetelmät ja -määrät Euroopassa

Metsähakkeen tuotantoa varten on kehitetty koneita, joista tärkeimpiä ovat erilaiset *hakkurit* ja *murskaimet*, *hakkuutähdepaalaimet* sekä *energiapuukourat*. Myös ns. *yhdistelmäkoneita* on käytössä, esim. palstahakkurit, hakkurihakeauto sekä yhdistetty maanmuokkaus- ja hakkuutähteen korjuukone (Hakkila 2004a). Haketus voi tapahtua palstalla, tienvarressa, terminaalissa tai käyttöpaikalla (Kuva 8).



Kuva 8. Metsähakkeen vaihtoehtoisia tuotantoketjuja (Nousiainen 1999, Laitila 2000, Asikainen ym. 2001).

Metsähakkeen tuotantomäärä on toistaiseksi suhteellisen pieni ja tuotanto jakaantuu eri järjestelmien kesken, mikä on haitallista koneenrakennuksen ja teknologian kehittämisen kannalta. Yksikään menetelmä ei ole osoittautunut yksiselitteisesti muita paremmaksi. Hakkuutähteen ja kantojen talteenotto on alettu nähdä myös metsän uudistamista valmistelevana toimenpiteenä, johon on kehitetty koneita, joilla hakkuutähteen metsäkuljetus ja maanmuokkaus toteutetaan samalla kerralla. (Hakkila 2004b).

Euroopan suurimmat biomassareservit sijaitsevat Suomessa, Ruotsissa, Saksassa ja Ranskassa, mutta myös Puolalla ja Espanjalla on merkittäviä reservejä. Erityisesti Saksassa metsien

vuotuinen kasvu on huomattavasti hakkuita suurempi. Vuoristot vaikuttanevat korjattavissa olevan metsäenergian määrään erityisesti Itävallassa, Kreikassa ja Italiassa. Tässä on kuitenkin oletettu, että energiajake on korjattavissa sieltä, mistä ainespuukin on hakattu. Vuoristoisuus vaikuttaa myös metsäenergian korjuukustannuksiin. (Karjalainen ym. 2004).

Metsäenergiapotentiaali jakaantuu kolmeen pääryhmään:

- Ainespuun korjuusta jääneet hakkuutähteet (latvukset, oksat, neulaset ja runkohukkapuu)
- Hakkuusäästöt (vuotuisen kasvun ja hakkuiden erotukseen)
- Kanto- ja juuripuun talteenotto. (Karjalainen ym. 2004).

Biomassan talteenoton kannalta on merkityksellistä korjataanko puut tavaralaji- vai runko- menetelmällä. Bioenergia on toistaiseksi sivutuote ja jopa 90 % biomassapotentiaalista on yhteydessä ainespuuhun (Hakkila 2004a). Teoreettista potentiaalia ei voida kokonaisuudessaan ottaa talteen. Rajoitteina ovat monet teknis-taloudelliset, ekologiset sekä metsien monikäyttöön liittyvät tekijät, joiden yhteisvaikutusta on vaikea tarkkaan arvioida. Näitä tekijöitä ovat mm. vaihtoehtoisten energiamuotojen hinnat, metsähakkeen laatuvaatimukset ja niiden kehittyminen, verotus, tuet, korjuuteknologian ja logistiikan taso, infrastruktuuri sekä alan toimijoiden valmiudet ja asenteet. Teknisesti ja taloudellisesti korjattavissa oleva määrä on selvästi laskennallista määrää pienempi (Hakkila 2004b).

Taulukossa 11 on esitetty metsäenergiapotentiaalia Euroopan tasolla. Laskelmassa on oletettu, että metsäenergiaa on teknisesti mahdollista ottaa talteen 75 % avohakkuista ja 45 % harvennuksista. Talteenottokelpoisiksi arvioitiin 65 % koneellisessa hakkuussa ja 50 % manuaalisessa hakkuussa. Lisäksi oletettiin, että 25 % nykyisestä hakkuusäästöstä saataisiin hakkuun piiriin ja 20 % avohakkuiden kannoista on korjuukelpoista. Näillä oletuksilla EU25-maiden teknisesti korjattavissa olevan metsäenergian määrä olisi 140 milj. m³ vuodessa, mistä 72 milj. m³ tulisi nykyisten hakkuiden hakkuutähteistä ja 68 milj. m³ käyttämättä olevista biomassareserveistä ja hakkuumahdollisuuksista. (Karjalainen ym. 2004).

Taulukko 11. Metsäenergian potentiaaliset korjuumäärät Euroopassa (Karjalainen ym. 2004).

Maa	Päätehakkuut, osuus, %	Hakkuun koneell. aste, %	Hakkuutähde yhteensä, milj.m ³ /vuosi	Hakkuista saatavissa oleva hakkuutähde, milj. m ³ /vuosi	Hakkuu- säästöstä saatava hakkuutähde, milj. m ³ /vuosi	Hakkuu- tähteistä saatava juuripuu, milj. m ³ /vuosi	Hakkuu- säästöstä saatava juuripuu, milj. m ³ /vuosi
Alankomaat	25 %	80 %	0,6	0,2	0,1	0,1	0,0
Belgia	70 %	80 %	2,4	1,0	0,1	0,2	0,0
Espanja	70 %	30 %	4,2	1,5	1,7	0,4	0,6
Irlanti	82 %	95 %	1,2	0,6	0,1	0,1	0,0
Iso-Britannia	80 %	90 %	4,2	1,8	0,6	0,4	0,2
Italia	0 %	2 %	2,8	0,6	0,8	0,0	0,0
Itävalta	30 %	18 %	9,4	2,7	1,0	0,2	0,1
Kreikka	6 %	0 %					
Kypros							
Latvia	76 %	5 %	2,6	0,9	0,4	0,2	0,2
Liettua	50 %	0 %	2,1	0,6	0,3	0,1	0,1
Luxemburg							
Malta							
Portugali	70 %	30 %	3,4	1,2	0,1	0,3	0,0
Puola	44 %	2 %	11,7	3,4	0,9	0,0	0,0
Ranska	76 %	40 %	21,3	8,1	2,8	1,0	0,5
Ruotsi	70 %	98 %	33,0	14,1	2,4	3,9	1,1
Saksa	5 %	35 %	22,0	5,6	4,6	0,8	0,7
Slovakia	40 %	0,7 %	2,8	0,8	0,5	0,0	0,0
Slovenia	0 %	0,7 %	1,1	0,4	0,2	0,0	0,0
Suomi	70 %	97 %	25,1	10,7	2,1	3,1	1,0
Tanska	50 %	70 %	1,1	0,4	0,1	0,1	0,0
Tšekki	83 %	10 %	8,3	2,8	3,0	0,7	0,2
Unkari	72 %	15 %	1,6	0,6	0,3	0,2	0,1
Viro	73 %	55 %	1,5	0,6		0,2	
YHTEENSÄ			162,4	58,6	22,1	11,8	5,0

3.4.2 Nykyinen tilanne Suomessa, Ruotsissa ja Tanskassa

Pohjoismailla on laajaa puuenergia-alan kokemusta sekä osaamista ja Suomessa, Ruotsissa ja Tanskassa metsähakkeella on tärkeä merkitys energialähteenä. Tulevaisuudessa metsäenergian merkitys tulee Euroopassa korostumaan, sillä EU on asettanut tavoitteeksi lisätä uusiutuvien energialähteiden käyttöä 12 %:iin kaikesta energiankäytöstä vuoteen 2010 mennessä.

Nordledenin (2003) mukaan Pohjoismaiden biopoltoainepotentiaalit, jotka sisältävät myös teollisuuden jäteliemet ja energiapuumetsiköt, ovat vuonna 2010:

- Norja, 25 TWh
- Ruotsi, 130 TWh
- Suomi, 95 TWh

- Tanska, 45 TWh. (Nordledens slutrapport 2003).

Suomi on bioenergian hyödyntäjänä maailman kärkimaita. Vuonna 2003 energiantuotantoon käytettiin noin 19,5 milj. m³ kiinteitä puupolttoaineita, mistä saatiin noin 39 TWh energiaa. Tämä vastasi noin 9 % kaikkien energianlähteiden kokonaiskulutuksesta Suomessa. Kaikkien puuperäisten polttoaineiden osuus Suomen kokonaisenergiankulutuksesta oli noin 19 %. (Metsätilastollinen vuosikirja 2004). Metsäenergian halvin ja runsain lähde on päätehakuista saatava hakkuutähdehake. Vuonna 2002 sen osuus kaikesta metsähakkeesta oli 63 %. Lisäksi haketta saadaan harvennuksien pienpuusta sekä kanto- ja juuripuusta. (Hakkila 2004a). Vuonna 2002 metsähaketta käytettiin noin 1,7 milj. m³, josta hakkuutähdehaketta oli 1,1 milj. m³ ja pienpuuhaketta 0,6 milj. m³ (Hakkila & Harstela 2004). Vuonna 2003 metsähakkeen käyttö kohosi 2,1 milj. m³:iin, josta hakkuutähteen osuus oli noin 60 % eli 1,26 milj. m³. Lisäksi vuonna 2003 käytettiin noin 6,2 milj. m³ puuta pientalojen lämmitykseen, mistä ns. jätepuun osuus oli noin 1 milj. m³. (Metsätilastollinen vuosikirja 2004).

Tällä hetkellä tavallisin metsäenergian korjuujärjestelmä Suomessa on välivarastohaketus, jossa hakkuista saatava pienpuu ja hakkuutähde kuljetetaan tienvarteen haketettavaksi, jonka jälkeen raaka-aine kuljetetaan hakkeena käyttöpaikalle. Jonkin verran käytetään myös palstahakkureita. Uutena menetelmänä paalausteknologia siirtää metsässä tai välivarastolla tapahtuvan haketuksen tehtaille, sillä monille suurille lämpölaitoksille on asennettu kiinteitä murskaimia, mikä mahdollistaa keskitetyn haketuksen käyttöpaikalla. Tämä ns. risutukkimenetelmä on kehittynyt viime vuosina nopeasti ja vuonna 2004 Suomessa oli käytössä 24 hakkuutähdepaalainta. (Hakkila 2004a, Hakkila & Aarniala 2002). Lyhyillä kuljetusmatkoilla hakkuutähde voidaan kuljettaa prosessoimattomana käyttöpaikalla haketettavaksi.

Pienpuuhakkeen ongelmana on ollut alhainen tuottavuus ja ihmistyön kalleus, mihin helpotusta on tuonut keräävän kaatopään yleistyminen ja useamman rungon yhtäaikainen käsittely. Tuotantoketju on koneellistumassa kokonaan ja haketta on alettu tuottaa myös itsenäisesti, eikä enää ainespuun korjuun yhteydessä. (Hakkila 2004a). Pienpuuhakkeen tuotannossa eräänä hyötynä nähdään nuorten harvennusemetsien hoidon tukeminen (Hakkila ja Fredrikson 1996, Hakkila 2004b, Laitila ym. 2004). Pienpuuhakkeen laatutekijöistä mm. kosteus ja palakoko ovat hakkuutähdehaketta helpommin hallittavissa. Lisäksi pienpuun käyttö energialähteenä lisää huoltovarmuutta, koska tuotanto on monipuolisemmalla pohjalla ja tuotantomäärät eivät ole riippuvaisia metsäteollisuuden ainespuun korjuumääristä. (Laitila ym. 2004).

Ruotsissa suurin osa metsähakkeesta tulee päätehakkuiden hakkuutähdeistä. Mahdollinen lisääminen tapahtuu harvennus- ja muun pienpuun käytön kautta. (Filipsson 1998). Hakkuutähdeiden paalaustekniikka ei ole saavuttanut yhtä suurta suosiota kuin Suomessa, vaan metsäenergian kiinnostuksen kohteena on ollut erityisesti usean puun yhtäaikainen käsittely (Focus Bioenergy 2004).

Vuonna 2002 biopolttoaineiden ja turpeen osuus Ruotsin kokonaisenergiankulutuksesta oli 16 % eli 98 TWh, josta puupolttoaineita (puu ja hake) oli 44 %. Haketta käytettiin vuonna 2003

noin 11,4 milj. m³ ja sahanpurua sekä kuorta noin 4,5 milj. m³. Lisäksi vuosittain käytetään noin 7 milj. pino-m³ puuta pientalojen lämmitykseen. Biopolttoaineiden käyttö energiantuotannossa jatkaa kasvuaan erityisesti kaukolämpösektorilla. (Skogsstatistisk årsbok 2004).

Tällä hetkellä puuperäisillä polttoaineilla tuotetaan Ruotsissa noin 50 TWh energiaa, kun laskelmien mukaan olisi mahdollista tuottaa 135 TWh. Tutkijat arvioivat, että jokaista bioenergialla lisää tuotettua terawattituntia kohti syntyy 300 uutta työpaikkaa (Focus Bioenergy 2003). Borglund (2004) arvioi, että metsäenergiaa voitaisiin lisätä 30 TWh:lla seuraavien 10 vuoden aikana.

Tanskassa biomassassa on tärkein osa uudistuvien energialähteiden tuotannosta ja kattaa lähes 80 %. Suunnitteilla on lisätä energiapuuviljelmää. Suuri osa energiapuusta poltetaan yksityistaloissa ja kaukolämpölaitoksissa. Nykyisin haketta käytetään noin 450 000 m³ vuodessa, mikä vastaa noin 100 000 tonnia öljyä. Skov & Landskabin (2004) mukaan energiapuun käyttöä voidaan lisätä nykyisestä ilman että teollisuuden puuntarve vaarantuu. Tanskassa vuoden 2003 hakkuista 50 % oli poltto- ja energiapuuta. (Poll 2004).

3.5 Muut metsäoperaatiot

3.5.1 Kehitystrendit erityisesti Suomessa

Vuonna 2003 Suomessa metsiä uudistettiin 156 000 ha, josta 37 000 ha luontaisesti ja 119 000 ha viljellen. Taimikonhoidon ja nuoren metsän kunnostuksen vuotuiset työmäärät ovat nousseet 1990-luvun puolivälistä ollen vuonna 2003 noin 232 000 ha. (Metsätilastollinen vuosikirja 2004). Taulukossa 12 on esitetty metsänhoito- ja perusparannustöiden määriä Suomessa vuonna 2003.

Vuonna 2003 Suomen metsänviljelypinta-alasta 3/4 eli noin 86 540 ha perustettiin istuttamalla (Metsätilastollinen vuosikirja 2004). Istutus on yhä ihmistyövaltaista ja vuonna 2003 Suomessa istutettiin koneellisesti vain noin 1,5 % (Vartiamäki 2003, Saarinen 2004). Metsäteollisuuden ja Metsähallituksen hallinnoimilla alueilla koneellinen istutus pinta-ala oli vuonna 2002 noin 630 ha (Strandström 2003).

Suomen taimitarhoilla tuotetaan vuosittain noin 160 milj. puuntainta. Määrä on laskenut huippuvuosista, jolloin tuotanto oli noin 240 milj. puuntainta vuodessa. (Rantala 2004). Suomalaisessa taimitarhatuotannossa tehokkuutta on pyritty lisäämään lähinnä kehittämällä tuotannon yksittäisiä työvaiheita ja pyrkimällä vähentämään taimitarhatuotannolle perinteistä ihmistyövaltaisuutta. Tuotantoon on pyritty saamaan skaalaetuja mekanisoimalla mm. taimien pakkaamista, mutta yleisesti logistiikka- ja IT-tekniologiassa metsänviljelyteknologia on puunhankintaa jäljessä.

Paakkutaimien osuus Suomen taimituotannosta oli vuonna 2002 noin 94 % (Metsätilastollinen vuosikirja 2003). Tällä hetkellä taimia tuodaan vuosittain noin 10 milj. kappaletta Ruotsista (Metsätilastollinen vuosikirja 2004), jossa keskimääräinen taimitarhakoko on Suomea suurempi.

Suurimmat suomalaiset taimitarhat on yhtiötetty, mutta useiden omistajat ovat metsäkeskuksia, jotka eivät ole asettaneet yhtiöille tuottovaatimuksia vaan tarkoitus on välillisesti tukea metsänhoidon edellytyksiä. Suurista metsäalan toimijoista mm. Metsähallituksella ja UPM Metsällä on omia taimitarhoja. Lisäksi Metsäntutkimuslaitoksella on oma tutkimustaimitarha.

Taulukko 12. Metsänhoito- ja perusparannustyöt Suomessa vuonna 2003 (Metsätilastollinen vuosikirja 2004, Metinfo 2004).

Työlaji	Työmäärä, ha / tiet: km	Kokonaiskustannus, 1000 €
UUDISTUSALAN VALMISTAMINEN		33 187
Raivaus	70 109	7 892
Maan muokkaus	131 264	24 739
-laikutus	32 769	
-äestys	56 310	
-mätästys	35 249	
-säätöaura	5 267	
-pellon muokkaus	1 669	
Kulotus	1 343	556
METSÄNVILJELY JA TAIMIKON VARHAISHOITO		59 328
Kylvö	32 247	5 858
Istutus	86 540	51 740
Täydennysviljely	2 463	889
Heinätorjunta	5 979	841
PELLONMETSITYS	1 956	
TAIMIKONHOITO	137 642	41 786
NUOREN METSÄN KUNNOSTUS	94 454	29 840
PYSTYKARSINTA	5 175	2 301
METSÄNLANNOITUS	22 966	4 035
KUNNOSTUSOJITUS		15 691
Ojituksen suunnittelu		6 471
Kunnostusojitus	67 479	9 220
METSÄTEIDEN RAKENTAMINEN, PERUSPARANNUS JA KUNNOSSAPITO		28 527
Metsäteiden suunnittelu		4 007
Metsäteiden rakentaminen	977	7 512
Metsäteiden perusparannus	1 820	9 622
Metsäteiden kunnossapito		7 386
JUURIKÄÄVÄN TORJUNTA	50 916	

Vuonna 2003 Suomessa metsänviljelypinta-alasta neljännes eli noin 32 247 ha perustettiin kylvämällä (Metsätilastollinen vuosikirja 2004). Metsänkylvöstä tehtiin vuonna 2002 koneellisesti 57 %. Kylvökoneita käytettiin eniten teollisuuden ja valtion metsissä ja vähiten yksityisissä metsissä. Tällä hetkellä kylvökoneita on Suomessa arviolta noin 70 kappaletta (Rummukainen 2004).

Tällä hetkellä käytössä olevien eri maanmuokkausmenetelmien välillä on eroja, jolloin hakkuutähteiden korjuun vaikutusta äestysten tuottavuuteen ei voida yleistää. Muokattaessa

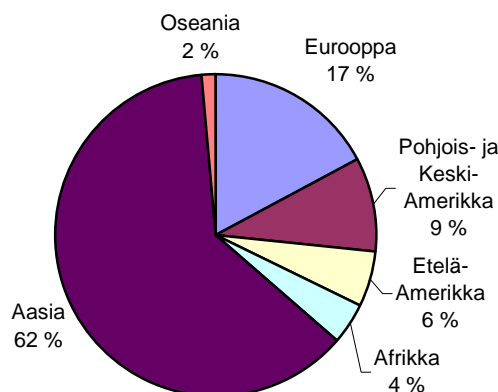
äestämällä, runsaasti hakkuutähteitä sisältävillä kohteilla on todettu lievää ajonopeuden alenemista ja muokkausjäljen peittävyuden alenemista verrattuna hakkuutähteet korjattuun kohteisiin. (Tynkkynen 1974, Hämäläinen ja Kaila 1987, Saksa ym. 2002).

Vuonna 2003 Suomessa taimikonhoitopinta-ala oli noin 137 642 ha (Metsätilastollinen vuosikirja 2004). Suurimmillaan taimikonhoitopinta-alat olivat 1970-luvulla noin 500 000 ha. Taimikonhoito on varsin vähäisesti koneellistettua ja työtä tehdään pääasiassa raivaussahalla ihmistyövaltaisesti. Joitakin koneellisia yksiköitä on olemassa, mutta yleisesti taimikonhoidon koneellistamisessa on kehitettävää.

3.5.2 Istutus maailmanlaajuisesti

Istutusmetsiä oli maailmassa vuonna 2000 yhteensä noin 187 milj. ha ja vuosittain istutetaan noin 4,5 milj. ha, josta suurin osa sijaitsee Aasiassa ja Etelä-Amerikassa (89 %). Istutuksista arvioidaan onnistuvan noin 3 milj. ha ja noin puolet on tarkoitettu teolliseen käyttöön. Vaikka istutusmetsien osuus kaikista maailman metsistä on vain 5 %, saatiin niistä vuonna 2000 noin 35 % puuraaka-aineesta. (Global Forest Resources Assessment 2000).

Maailmalla on kasvava trendi, että istutusmetsiä käytetään yhä enemmän teollisuuden puun lähteinä. Vuonna 2000 Aasiassa sijaitsi noin 62 % kaikista istutusmetsistä ja erityisesti Kiina, Filippiinit ja Meksiko pyrkivät kasvattamaan istutusmetsien pinta-alaa. Kiinan tavoite on vuoteen 2010 mennessä 9,7 milj. ha istutusmetsiä. Noin 60 % maapallon istutusmetsistä (forest plantations) sijaitsee neljässä maassa: Kiinassa, Intiassa, Venäjällä ja Yhdysvalloissa. (The State of the World's Forests 2001). Kanadassa istutetaan joka vuosi noin 650 milj. puuta, ja Yhdysvalloissa noin 1500 milj. (Forestinformation.com 2004). Kuvassa 9 ja taulukoissa 13–14 on esitetty tilastoja maailman istutusmetsistä.



Kuva 9. Maailman istutusmetsien jakautuminen maanosittain pinta-alan mukaan (Global Forest Resources Assessment 2000).

Istutuksen koneellistamista on maailmalla tutkittu, mutta riittävän kustannustehokasta menetelmää ei ole vielä keksitty. Useissa maissa työvoiman kustannukset ovat alhaiset ja

tilapäistyövoimaa kausittaiseen työhön on ollut riittävästi saatavilla. Toisaalta monilla alueilla esim. Pohjois-Amerikassa luontaisen uudistamisen osuus on kasvanut.

Taulukko 13. Istutusmetsien tilanne vuonna 2000 eräissä maanosissa (Global Forest Resources Assessment 2000).

Maanosa	Istutettua, 1000 ha	Istutusten lisäys, 1000 ha/vuosi	Metsäpinta-ala, 1000 ha	Istutusmetsien osuus, %
Afrikka	8 036	194	649 866	1,2
Aasia	115 847	3 500	547 793	21,1
Oseania	2 848	15	197 623	1,4
Eurooppa	32 015	5	1 039 251	3,1
Pohjois- ja Keski-Amerikka	17 533	234	549 304	3,2
Etelä-Amerikka	10 455	509	885 618	1,2
Koko maailma	186 733	4 458	3 869 455	4,8

Taulukko 14. Istutusmetsät eräissä valtioissa vuonna 2000 (Global Forest Resources Assessment 2000).

Maa	Istutettua, 1000 ha	Istutusten lisäys, 1000 ha/vuosi	Metsäpinta-ala, 1000 ha	Istutusmetsien osuus, %
Yhdysvallat	16 238	121	225 993	7,2
Kanada	0	--	244 571	0
Brasilia	4 982	135	543 905	9,2
Chile	2 017	85	15 536	13,0
Venäjä	17 340	ei tietoa	851 392	2,0
Kiina	45 083	1 154	163 480	27,6
Intia	32 578	1 509	64 113	50,8
Indonesia	9 871	271	104 986	9,4
Thaimaa	4 920	225	14 762	33,3
Japani	10 682	ei tietoa	24 081	44,4
Australia	1 043	ei tietoa	154 539	0,7

Istutuskoneiden kehittämissä työtä on toistaiseksi tehty eniten Ruotsissa, mutta mahdollisuuksia esim. Euroopan teknologia- ja markkinajohtajaksi Suomella on yhä olemassa, koska kehitystyö muualla maailmassa on suhteellisen vähäistä. Tällä hetkellä Suomessa on istutuskoneiden kehittämiseksi visioita, mutta koneiden valmistus on yhä Ruotsissa. Yleisesti voidaan sanoa, että koneiden kehittämistyö edellyttää potentiaalisia markkinoita ja markkinat edellyttävät koneiden kehittämistä.

4 Metsäteknologiasektorin visio vuoteen 2020

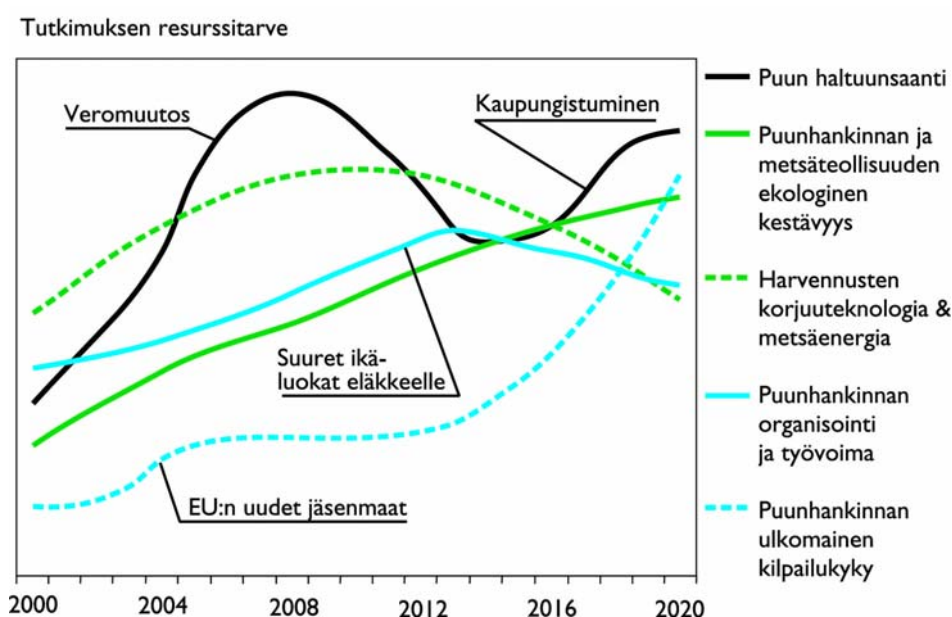
4.1 Puunhankinnan toimintaympäristö vuonna 2020

4.1.1 Metsäkoneteknologia osana puuntuotannon logistista prosessia

Globaalisti toimivien metsäyhtiöiden kehitystoiminta on yhdenmukaistanut korjuuteknologiaa yhtiöiden koko toiminta-alueella. Erityisesti Euroopassa tavaralajimenetelmä on laajasti

käytössä, sillä metsäteollisuutta johdetaan pääosin pohjoismaista käsin. Myös Venäjän Aasian puoleisissakin osissa tavaralajimenetelmää on käytössä.

Suomessa puun haltuun saanti on tulevaisuudessa puunhankinnan suurimpia haasteita, sillä väestö keskittyy kaupunkeihin ja suhde metsään muuttuu (Rummukainen ym. 2003). Puunhankinnan toimintaympäristön merkittävimmät koneteknologiset muutokset Suomessa liittyvät turvemaiden osuuden kasvuun puunkorjuussa ja harvennushakkuiden lisääntymisen aiheuttamaan työn tuottavuuden laskuun. Kaikilla osa-alueilla korjuuteknologian ja logistiikan tutkimus voi tarjota kansantaloudellisesti tärkeitä ja metsäteollisuuden kansainvälistä kilpailukykyä edistäviä tuloksia. Kuvassa 10 on esitetty puunhankinnan tutkimuksen resurssitarpeita Suomessa Rummukaisen ym. (2003) mukaan.



Kuva 10. Puunhankinnan tutkimuksen resurssitarpeita yhdistettynä kehitysvisioihin (Rummukainen ym. 2003).

Tulevaisuudessa puunkorjuu ja metsänhoitotyöt hoidetaan yrittäjävetoisesti sekä Suomessa että koko Euroopassa. Vain puun vastaanotossa toimii metsäteollisuuden edustaja, mutta muut toiminnot tekee itsenäinen korjuuyrittäjä. Korjuu- ja kuljetusyrittäjille tulee lisää tehtäviä puunhankinnassa ja metsäteollisuusyritysten hankintaorganisaatiot ohenevat, kun niille jää todennäköisesti vain raakapuun ostosta huolehtiminen – ellei myös sitä ulkoisteta. Tulevaisuudessa korjuu- ja kuljetusyrittäjät toimittavat puuta useammille puunkäyttäjille. Tämä asettaa vaatimuksia mm. eri yritysten tietojärjestelmien yhteensopivuudelle, sillä kaikkien koneiden ja kuljettajien pitäisi kyetä kommunikoimaan kaikkien asiakkaiden järjestelmien kanssa.

Korjuuyritysten koon kasvaessa yrittäjillä on mahdollisuus hankkia erikoiskoneita kohteisiin, jotka aikaisemmin korjattiin yleiskoneilla. Lisäksi tavoitteena on, että samalla konekannalla voitaisiin normaalin puunkorjuun lisäksi istuttaa, tehdä maanmuokkausta ja korjata energiapuuta silloin, kun muun puunhankinnan volyymit ovat vähäisiä. Menettelyllä mahdollistetaan ympärivuotinen työllisyys ja kaluston aikaisempaa tehokkaampi työllistäminen.

Tulevaisuudessa konemäärät puunkorjuussa vähenevät ja energiapuun korjuussa kasvavat, mutta kokonaiskaluston määrä pysyy lähes samana, mahdollisesti lisääntyä hieman.

Tulevaisuudessa metsäteknologiasektoriin vaikuttavia kansainvälisiä tekijöitä ovat mm. miten laajasti avohakkuut ovat sallittuja ja tuleeko EU:n taholta paineita toimintatapojen muuttamiseksi. Venäjällä metsälaki vaikuttaa kehityksen nopeuteen. Muut maat ovat Suomea jäljessä logistiikassa, joten suomalaisilla teknologian toimittajilla on paljon hyödynnettäviä markkina-alueita. Muita tulevaisuuden kysymysmerkkejä ovat mm. miten pieniin läpimittoihin puunkorjuussa mennään, miten bioenergian käyttö kehittyy ja miten puut tulevaisuudessa halutaan hakata?

Ns. isäntälinjan hakkuu vähenee, sillä koko Euroopan tasolla maanviljelijöiden määrä vähenee. Teollisuuden puunkorjuu hoidetaan ammattimaisesti, myös Suomessa. Toisaalta ns. harrastusmetsänhoito voi lisääntyä ja lisätä pienteknologian kysyntää. Uudet, kehittyvät markkina-alueet siirtyvät suoraan nykyaikaisiin puunkorjuumenetelmiin.

Metsätöihin saatavissa olevan työvoiman määrä Euroopassa vähenee koko ajan, mikä edellyttää työntekijäkohtaisen tuotoksen kasvattamista. Ihmistyön osuus tuotettua puumäärää kohti vähenee seuraavien 15 vuoden aikana. Joidenkin arvioiden mukaan Suomessa konekohtaiset käyttöasteet ja siten tuottavuudet täytyy saada korkeammalle tasolle, koska kansainvälisessä vertailussa tuottavuustasot ovat matalalla. Käyttöasteiden ja tuottavuuden kasvu ilman muita sivuvaikutuksia vaikuttaisi koneiden määrään vähentävästi. Yleisesti kymmenen viime vuoden aikana esijalostusta on siirtynyt metsään, mikä on antanut lisäarvoa, mutta alentanut tuottavuutta. Tietojärjestelmien ja korjuuyrittäjien itseohjautuvuuden lisääntyessä toimihenkilöiden työskentely metsässä vähenee entisestään.

Puunhankinnassa ei tapahtune radikaaleja muutoksia, jotka muuttaisivat merkittävästi hakkuukoneita tai kuormatraktoreita. Markkinoille tulleet korjurit ja muut yhdistelmäkoneratkaisut vallannevat kuitenkin osan konemarkkinoista. Ruotsissa keskustelua on herättänyt puun alkuperä. Ongelma on ratkaistavissa mm. teknologian avulla: mahdollisesti jokaiseen pölliin tulee tulevaisuudessa tunniste, jolla se voidaan yksilöidä jo koneen kourassa.

Metsäalueiden omistuksellinen hajaantuminen vaikuttaa koneiden kehitykseen. Esim. Suomessa leimikolla voidaan työskennellä 1–2 päivää, jonka jälkeen koneet pitää siirtää – jopa Ruotsissa leimikot ovat suurempia ja niillä työskennellään viikkoja. Toisaalta on mahdollista, että metsäomaisuudelle tulee tulevaisuudessa hallintayhtiöitä, joissa yksi ”isännöitsijä” hallinnoi ja hakkuuta voidaan tehdä keskitetysti isommalla alueella.

Visio 2020: Metsäkoneteknologia osana puuntuotannon logistista prosessia:

- Puunhankinnan menetelmät ja korjuuteknologia maailmalla nykyistä yhdenmukaisempaa
- Puunhankinta yrittäjävetoista, suuret ammattimaiset korjuuyrittäjät, puutoimituksia useille käyttöasiakkaille
- Puunkorjuukaluston kokonaismäärä lähes sama
- Metsäkoneet monikäyttöisiä ja vuotuinen käyttöaste korkea
- Yksityismetsänomistus usein nykyistä harrastuksenomaisempaa, taloudellinen riippuvuus metsästä harvinaista
- Metsäisännöinti ja metsäomaisuusyhtiöt yleisiä
- Leimikot pieniä ja hajallaan
- Puun haltuun saanti vaatii huomattavaa markkinointia, metsänomistajat usein etäännyneitä metsästä
- Käytettävissä olevan metsätyövoiman määrä vähäinen
- Toimihenkilöiden maastotyö harvinaista
- Ympäristövaatimukset tärkeitä, puun alkuperä helposti selvitettävissä
- Turvemaiden osuus puunkorjuussa huomattava (Suomi)
- Harvennushakkuiden lisääntymisen seurauksena työn tuottavuusvaatimus korostunut (Suomi)

4.1.2 Liiketoimintaprosessien kehittyminen

Suomessa on vuonna 2020 edelleen samat tuotantolaitokset kuin nytkin ja puunkäyttö pysyy likimain samalla tasolla. Jos puuntuontia Venäjältä ei tarpeen vaatiessa kyetä kasvattamaan, niin puunhankinnan tehokkuutta on parannettava kotimaassa, jotta puuta saadaan tehokkaammin. Vaihtoehtoisesti tuotantolaitokset, eli mm. sahat ja sellutehtaat, siirtyvät uusille alueille. Sahapuolella suuret metsäteollisuusyhtiöt luopuvat omistuksistaan ja sahaus siirtyy itsenäisille yhtiöille.

Ylisen (2004) mukaan Euroopan puunhankinnassa vallitsevia megatrendejä ovat mm. alan toimijoiden yrityskoon kasvaminen, reaaliaikaisen tietoliikenteen tärkeyden jatkuva lisääntyminen ja istutusmetsien merkityksen kasvu. Myös EU:n säännöt ja määräykset tulevat vaikuttamaan puunhankintaan, minkä lisäksi yritysten tulee sopeutua uusimpien jäsenvaltioiden mahdollisesti erilaisiin olosuhteisiin. Asiakkaiden vaatimukset lisääntyvät ja kasvattavat paineita reaaliaikaiselle tiedonsiirrolle. Erityisesti Euroopassa puunkorjuuyritykset kansainvälistyvät ja niillä on toimintaa useissa maissa. Tämä edellyttää mm. eri maiden liiketoimintaympäristön ja metsäalan organisaatioiden ja toimintatapojen tuntemusta.

Yleisesti muutos- ja sopeutumiskyvystä tulee metsäteollisuusyrityksille tärkeä kilpailuvaltti. Ainakin tärkeimmistä yrityksistä tulee rakenteeltaan prosessiorganisaatioita ja esim. Pohjois-Amerikassa asiakaslähtöinen puunhankinta tulee yleistymään. Tulevaisuudessa

puunhankintaketjuun tulee paljon muutoksia. Nyt logistinen ketju on jaettu selkeästi itsenäisiin paloihin: teollisuus–työnjohto–puunhankinta–yrittäjä–kuljettaja, mutta tulevaisuudessa ketjua hallitaan kokonaisvaltaisemmin eli materiaalivirran hallinta tulee muuttumaan, erityisesti tietovirran ja mittaamisen osalta.

Rakennusjärjestelmien standardisointi voi yksinkertaistaa rungon katkontaa ja lisätä tavaralajimenetelmän käyttöä. Puuntyöstötekniikan kehittyminen voi vaikuttaa tukin katkontaan siten, että tarvittavia, puuttuvia sahatavarapituuksia saadaan esimerkiksi sormiliitoksien avulla, jolloin katkontavaatimukset pituuden suhteen yksinkertaistuvat. Tulevaisuudessa rakennusteollisuus käyttää yhä enemmän myös puukomposiitteja.

Tukki- ja kuitukäsite on tulevaisuudessa yhä epämääräisempi, vaikka joistakin puutavaralajeista on jo nyt vaikea sanoa, onko kyseessä tukki vai jokin muu. Raaka-aineaihiot eri jalostuslaitoksille tehdään valmiiksi jo metsässä, mikä nostaa laadun seurannan merkitystä rungon katkonnassa. Myös ainespuun ja energiapuun raja tulee hämärtyämään joillakin alueilla esim. jalostavan teollisuuden kaukaisesta sijainnista johtuen. Metsäenergian korjuun yleistyessä siirtymävaiheessa voi syntyä paikallisia konflikteja teollisuus- ja energiapuun käyttäjien välillä, jolloin on etsittävä kokonaistaloudellinen optimimenettely.

Tulevaisuudessa kierrätystuotteiden käyttö yleistyy. Esim. Euroopan talouskomission ECE:n laskelmien mukaan vain vajaa puolet Länsi-Euroopan puukuidusta saadaan nykyisin raakapuusta. Yleisesti Euroopan metsäteollisuusmarkkinat siirtyvät lännestä kohti itää ja mm. entisen Neuvostoliiton alueella puuraaka-aineen kysyntä kasvaa vuoteen 2020 mennessä kolme kertaa nopeammin kuin Länsi-Euroopassa. Entisen Neuvostoliiton alueella kasvu on noin 5,3 % ja Länsi-Euroopassa noin 1,6 % vuodessa. Länsi-Eurooppa säilyttää silti keskeisen asemansa metsälalla vuoteen 2020 asti. (Hyttiäinen 2005).

Globaaleilla metsäteollisuustuotteiden markkinoilla Etelä-Amerikalla on kasvava rooli mm. halvan puutavaran tuottajana. Kanadalaisten metsäteollisuusyritysten toimintaa ovat haitanneet kauppasodat Yhdysvaltojen kanssa. Toisaalta Kanadassa toimintaa ovat haitanneet myös suhteellisen korkea energian hintataso, vaikka mm. maakaasu on suhteellisen edullista. Intian, Kiinan, Kaakkois-Aasian ja Etelä-Amerikan paperinkäyttö tulee kasvamaan ja istutettua nopeakasvuista puuta tullaan korjaamaan entistä enemmän.

Kiinassa paperin ja kartongin käyttö on kasvanut yli 8 % vuosittain eli suurusluokaltaan noin 3 milj. tonnia vuodessa, mutta kasvun odotetaan lähivuosina hidastuvan. Nykyisin erityisesti pienemmissä laitoksissa tuotetaan ruohosellua, mutta kiinalaisen strategian mukaan tulevaisuudessa on tarkoitus lisätä puusellun ja jätepaperin osuutta paperin valmistuksen raaka-ainelähteenä. Kasvavaan raaka-ainehankintaan on valmistauduttu puuistutuksilla, jotka joidenkin arvioiden mukaan ovat olleet liiankin intensiivisiä, sillä useissa tapauksissa puun korjuu on osoittautunut ennustettua kalliimmaksi. Myös metsäteollisuuden tuotantokapasiteetin ylimitoitusta pidetään mahdollisena. Istutettavina puulajeina ovat olleet poppeli, radiata- ja punamänty, eukalyptus ja akaasia. Istutuksilla on ollut merkitystä myös työpaikkojen ja

erosion kannalta. Tulevaisuudessa Kiinan metsänistutusohjelmat tulevat todennäköisesti uudelleen arvioitavaksi. (Oinonen 2005).

Visio 2020: Liiketoimintaprosessien kehittyminen

- Suomessa lähes samat metsäteollisuuden tuotantolaitokset ja puunkäyttö
- Mekaanisen ja kemiallisen metsäteollisuuden omistukset eriytyneet
- Euroopassa metsäteollisuuden painopiste siirtynyt kohti itää
- Puunkorjuuyritykset kansainvälistyneet Euroopassa
- Etelä-Amerikka ja Kiina merkittäviä metsäteollisuusalueita
- Metsäteollisuuden yritysmaat kasvaneet
- Jalostusprosessin prosessiajattelu yleinen (sis. koko puunhankinnan)
- Puuntyöstötekniikassa uusia kustannustehokkaita sovelluksia, rakennusjärjestelmiä standardisoitu
- Metsässä katkottujen puutavaralajien laatumääritelmässä suuri vaihtelu ja limittäinen hajonta
- Kierrätysraaka-aineen käyttö lisääntynyt
- Prosessiketjun seurattavuus helppoa

4.1.3 Puukaupan integroituminen Itämeren ympäristössä

Metsäteollisuus tulee Euroopassa keskittymään. Teknologia yhdentyy Itämeren ympäristössä, koska sillä saavutetaan kustannussäästöjä, ei tarvita esim. erilaista infrastruktuuria katkontaan ja puun vastaanottoon. Valtamenetelmänä tulee olemaan tavaralajimenetelmä. Integroituminen vaikuttaa korjuukaluston liikkuvuuteen, jolloin samoja koneita voidaan käyttää yli rajojen, kuten esim. jo nyt Baltian maissa. Myös metsätyövoiman liikkuvuus on mahdollista esim. poikkeuksellisten luonnonilmiöiden aiheuttamien tarpeiden mukaan.

Mäki-Hakolan (2002) tutkimuksen mukaan Itämeren alueen raakapuumarkkinat ovat jo osittain integroituneet. Mäntykuitupuun markkinat katsottiin täysin integroituneiksi, kun taas sahatukkien osalta integroitumista ei ollut havaittavissa millään puulajilla. Tämä tarkoittaa, että maiden hintakehitykset eivät välttämättä ole lainkaan toisistaan riippuvaisia. Tutkimuksen mukaan Itämeren ympäristöä ei voida vielä pitää yhtenä yhtenäisenä puutavaran markkina-alueena. On kuitenkin loogista olettaa, että tilanne muuttuu, kun siirtymävaiheen maat kehittyvät edelleen ja olot niissä vakiintuvat.

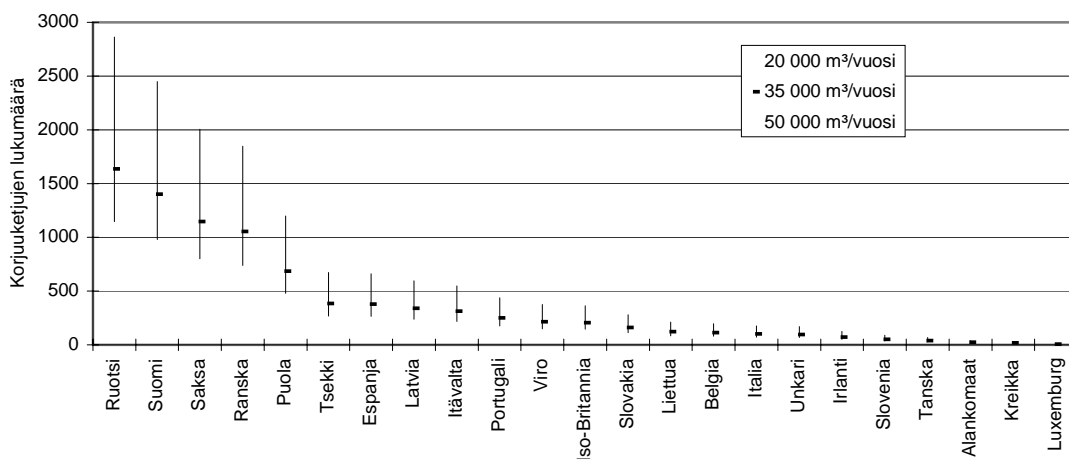
Uudemman Toppisen ja Toropaisen (2004) tutkimuksen mukaan puun hinnat Baltiassa ovat jo nousseet lähelle pohjoismaista tasoa ja Itämeren alueesta on muodostumassa yhtenäinen markkina-alue. Tiedossa ja suunnitteilla olevat investoinnit erityisesti sahatteollisuuteen tehostavat puuvarojen hyödyntämistä Luoteis-Venäjällä ja Baltian maissa. Myös metsäenergian kiinnostavuus mm. Baltian maissa kasvaa, koska alueella on käytössä teknologiaan vanhentuneita energiantuotantolaitoksia, joille haetaan erilaisia vaihtoehtoja.

Visio 2020: Itämeren alueen puunhankinta

- Valtioiden rajat eivät vaikuta puuvirtojen ohjailuun
- Koneet, menetelmät ja kauppatavat yhdenmukaiset
- Työvoima helposti liikuteltavissa yli rajojen
- Metsäteollisuus maantieteellisesti keskittynyt
- Merkittävää sahateollisuutta ja metsäenergiantuotantoa
- Korjuuyritykset toimivat useissa Itämeren maissa

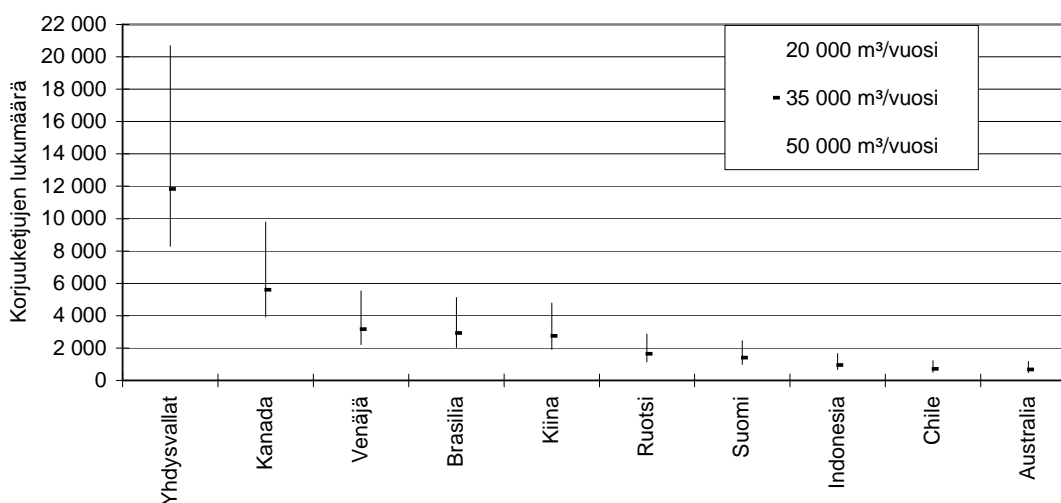
4.2 Teollisuuspuun korjuu**4.2.1 Korjuukoneketjujen teoreettiset määrät**

Markkinoiden kehittymisen arvioinnissa lähtötietoina käytettiin maakohtaisia puunkorjuumääriä sekä korjuuolosuhteita kuvaavia muuttujia kuten vuoristoisuutta ja lehtipuuosuuksia. Kuvassa 11 on hahmoteltu puunkorjuuketjujen (hakkuukone ja kuormatraktori) teoreettisia maksimimääriä Euroopan Unionin jäsenvaltioissa. Peruslaskelmassa on oletettu, että kaikki nykyiset hakkuut toteutetaan koneellisesti eli esim. vuoristoisuus tai lehtipuuvaltaisuus eivät rajoita koneellisen puunkorjuun määrää. Korjuuketjun vuosituottavuuksista on kolme eri vaihtoehtoa: 20 000, 35 000 ja 50 000 m³. Euroopassa suurimmat konekannat ovat mahdollisia Ruotsissa, Suomessa, Saksassa, Ranskassa ja Puolassa.



Kuva 11. Korjuuketjujen teoreettinen maksimimäärä EU25-maissa kolmella eri korjuuketjun tuottavuudella.

Kuvaan 12 on koottu vastaavasti kymmenen maata, joissa on eniten hakkuita maailmassa. Jos kaikki maailman hakkuut voitaisiin koneellistaa, olisi tarvittavien koneketjujen määrä huomattava. Konetarve painottuu Pohjois-Amerikkaan, jossa yksistään tarvitaan 12 000–33 000 korjuukoneketjua.



Kuva 12. Korjuuketjujen teoreettinen maksimimäärä kolmella eri korjuuketjun tuottavuudella. Maailman kymmenen kärkimaata.

Visio 2020: Puunkorjuun teoreettinen konetarve ilman rajoitteita

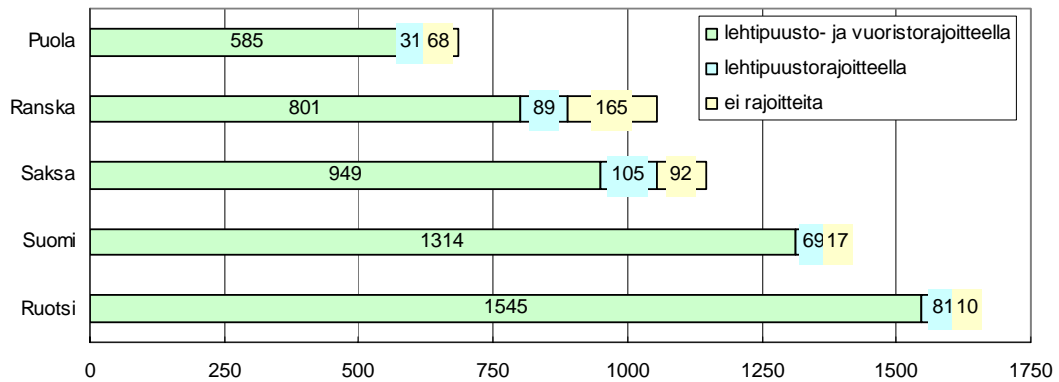
- Euroopassa suurimmat konekannat Ruotsissa, Suomessa, Saksassa, Ranskassa ja Puolassa
(vaihteluväli 700–1 650 korjuuketjua maittain, jos tuottavuus 35 000 m³/vuosi)
- Maailmanlaajuisesti suurimmat konekannat Yhdysvalloissa, Kanadassa, Venäjällä, Brasiliassa ja Kiinassa (2 750–11 800 korjuuketjua, jos tuottavuus 35 000 m³/vuosi)

4.2.2 Korjuukoneketjujen realistiset määrät

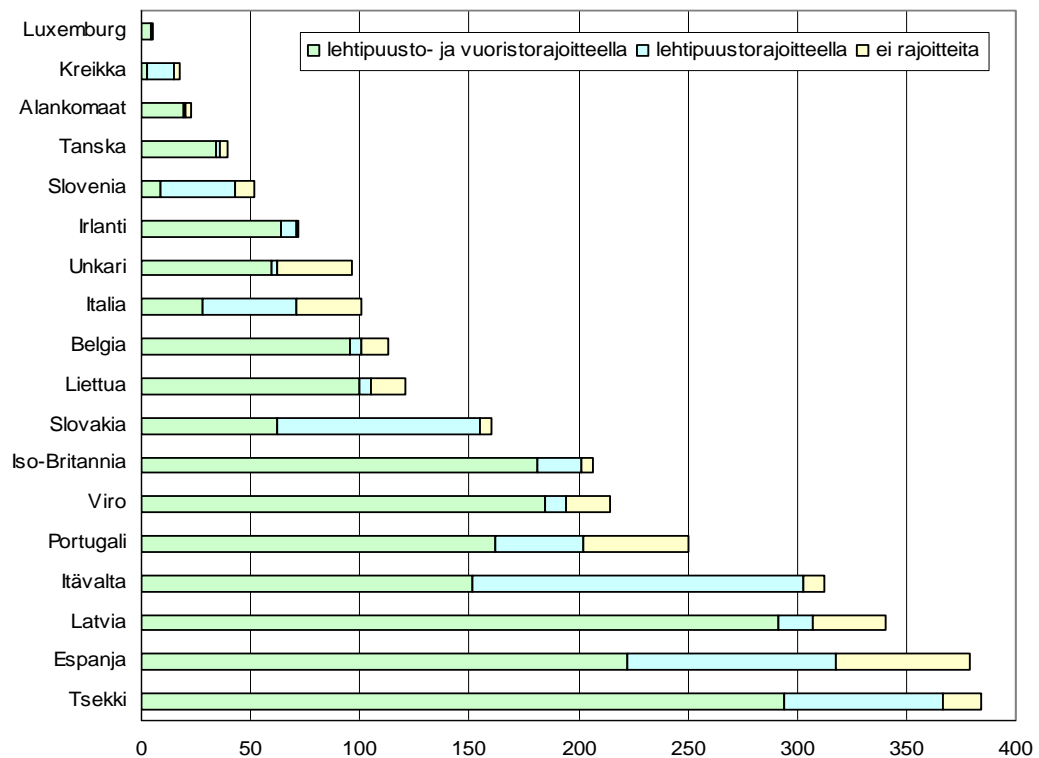
Seuraavassa vaiheessa otettiin huomioon maaston vuoristoisuus sekä puuston lehtipuuvaltaisuus. Nykyisiä hakkuun koneellistamisasteita on usein mahdollista nostaa, sillä koneellistamisen esteinä ovat aiemmin olleet muutkin syyt kuin maasto tai puulajijakauma. Vuoristoisuuden ja lehtipuosuuden vaikutuksia laskelmiin on esitetty jo aikaisemmin kappaleessa 3.2.

Kuvassa 13 on esitetty arviota Euroopan Unionin hakkuumääriltään viiden suurimman maan konetarpeesta, kun otetaan huomioon vuoristojen ja lehtipuuston asettamat rajoitukset hakkuiden koneellistamiselle. Lehtipuuston osuus hakkuiden rajoittaa koneellista hakkuuta lähes saman verran kaikissa neljässä suurimmassa maassa, mutta Puolassa vaikutus on hyvin vähäinen. Vuoristoisuuden vaikutus on suurin Ranskassa ja Saksassa, vaikka vaikutus on melko vähäinen verrattuna Euroopan vuoristoimpiin maihin. Muissa Euroopan Unionin maissa tilanne on hieman erilainen. Kuvaan 14 on koottu loput EU25-maat Kyprosta ja Maltaa lukuun ottamatta. Vuoristoisuus rajoittaa koneellistamista selvästi eniten Itävallassa, Espanjassa ja Slovakiassa sekä vähemmässä määrin Tšekissä, Sloveniassa, Portugalissa ja Italiassa. Lehtipuuston määrä on rajoittavana tekijänä selvimmin Espanjassa, Portugalissa ja Unkarissa sekä jonkin verran myös Latviassa, Virossa ja Italiassa. Vähiten lehtipuusto ja vuoristoisuus

vaikuttavat potentiaalisten koneketjujen määrään melko tasamaastoisissa ja hakkuiltaan havupuuvaltaisissa maissa kuten Baltian maissa, Brittein saarilla, Tanskassa sekä Alankomaissa.



Kuva 13. Nykyisten hakkuumäärien vaatimien korjuuketjujen lukumäärät EU25-maiden suurimmissa puunkorjuumaissa erilaisin rajoittein. Laskelmassa käytetty tuottavuus 35 000 m³ vuodessa.



Kuva 14. Nykyisten hakkuumäärien vaatimien korjuuketjujen lukumäärät eräissä EU25-maissa erilaisin rajoittein. Laskelmassa käytetty tuottavuus 35 000 m³ vuodessa.

Useiden arvioiden mukaan uudet EU-maat tulevat siirtymään tavaralajimenetelmään nopeimmin, koska korjuuta joudutaan muutenkin kehittämään. Erään arvion mukaan metsäkoneiden Itä-Euroopan konemarkkinat kasvavat noin 5 % vuodessa, etenkin Romaniassa, Unkarissa ja Tšekissä. Toisaalta esim. Puolassa metsätöissä työskentelee edelleen useita kymmeniä tuhansia ihmisiä, joiden työpanoksen korvaaminen koneilla ei tule olemaan yhteiskunnallisesti ongelmatonta. Myös korjuuyritysten pieni koko ja heikot rahoitusmahdollisuudet rajoittavat Puolan hakkuiden koneellistamista.

Visio 2020: Puunkorjuun realistinen konetarve Euroopassa vuoristo- ja lehtipuurajoitteilla nykyisillä hakkuumäärillä

- Suurimmat konekannat Ruotsissa, Suomessa, Saksassa, Ranskassa ja Puolassa (vaihteluväli 550–1 600 korjuuketjua maittain, jos tuottavuus 35 000 m³/vuosi)
- Koneellistamispotentiaalin realisoitumisessa suuria maiden välisiä eroja

4.3 Metsäenergian korjuu

4.3.1 Kehitystrendit

Metsähakkeen käyttö on kasvanut Suomessa joka vuosi siten, että uuden teknologian kehittäminen on mahdollista, muttei niin paljon, että koneiden massatuotanto voitaisiin aloittaa (Hakkila 2004a). Metsäenergian korjuumäärät ovat tällä hetkellä suurimmat Suomessa ja Ruotsissa, mihin suurin osa nykyisistä korjuukoneista sijoittuu. Esim. Timberjack on toimittanut noin 30 hakkuutähdepaalainta, joista suurin osa on myyty Suomeen ja loput ovat käytössä Ruotsissa, Yhdysvalloissa, Sveitsissä, Tšekin tasavallassa, Italiassa ja Espanjassa (In the Forest 2004). Tällä hetkellä biomassalaitoksia on Keski-Euroopassa rakenteilla useita ja energiapuun korjuuta kehitetään. Lisäksi Etelä-Euroopan kuivilla alueilla energiapuun korjuuta voidaan soveltaa myös osana metsäpalojen torjuntaa, johon kuuluu herkästi syttyvän biomassan keruu maastosta (Arevalo 2004).

Yleisen arvion mukaan metsäenergiasektori tulee kasvamaan tulevaisuudessa. Pessimistisimmän arvion mukaan tosin Suomessa valtion lopettaessa taloudelliset tuet, koneet, konekehitys ja yrittäjät häviävät viidessä vuodessa. Metsäenergian korjuuseen ei Suomessa ole odotettavissa kasvua, koska sopivat kohteet korjataan jo nyt, ja hakkuutähteiden korjuuseen parhaiten soveltuvat kohteet eli kuusikot ovat muutenkin vähenemässä.

Jos metsäenergian korjuumäärien kasvu jatkuu, konemäärät kasvavat voimakkaasti, mutta korjuun kannattavuus on yhä hidastava tekijä. Tulevaisuudessa mm. päästökauppa, Kioton sopimus ja ennen kaikkea fossiilisten polttoaineiden hintakehitys vaikuttavat metsäenergian käyttöhalukkuuteen. Kansalliset tuet ovat merkittävä vaikuttava tekijä metsäenergian käytön kehityksessä. Joidenkin arvioiden mukaan Suomen nykyinen energiapolitiikka horjuttaa energiapuuteknologian kehitystyötä ja kannattavuutta. Laajamittaisesti korjuukoneiden määrän kehitys riippuu voimakkaasti tulevaisuuden energiapolitiikasta. Kehitys saa alkunsa Suomesta tai Ruotsista ja leviää myöhemmin muualle.

Vuonna 2008 polttoaineiden hinnat todennäköisesti nousevat päästökaupan seurauksena. Erään arvion mukaan vuodet 2005–2007 menevät melko pienillä vaikutuksilla, jonka jälkeen valmistaudutaan vuoteen 2008 ja energiapuun käytön lisäämiseen. Myös laitosinvestointeja valmistuu siihen mennessä.

Metsäenergian käyttö ei ole juurikaan levinnyt vielä Euroopassa. Jos toiminta kannattaa Suomessa, kannattaa se todennäköisesti myös esim. Keski-Euroopassa, koska metsien kasvu on siellä nopeampaa. Toisaalta Keski-Euroopassa saatetaan tarvita pienempiä koneita ja kalustoa. Ruotsissa energiapuun korjuu on varsin mittavaa ja osa runkopuusta käytetään jo nyt energiapuuna. Pohjois-Amerikassa ja Venäjällä öljy ja maakaasu ovat yhä suhteellisen edullisia, mistä johtuen metsäenergiaa ei ole vielä nähty laajamittaisesti kiinnostavana. Merkkejä kasvavasta metsäenergiakiinnostuksesta on silti mm. Kanadassa, mutta toistaiseksi toiminta on ollut melko vähäistä ja alueittain keskittynyttä. Puupohjaisen energian käyttö kasvaa erityisesti kaukaisilla alueilla, sillä yhteyttä esim. kaasuverkkoon ei ole.

Myös muut energiantuotantomenetelmät kehittyvät ja toisaalta voi syntyä myös uusia energiantuotantomenetelmiä. Esim. fuusioenergian kehittymisestä on puhuttu, mutta aikajänne käyttöönottoon on kaikkein optimistisimpienkin arvioiden mukaan useita kymmeniä vuosia. Toisaalta puuta voidaan hyödyntää nykyistä enemmän myös muilla tavoin. Pitkällä tähtäimellä energiahintojen noustessa ja öljyvarojen vähentyessä puusta saadaan tehtyä korkeassa paineessa ja lämpötilassa samoja raaka-aineita kuin öljystä.

Visio 2020: Metsäenergian korjuun kehitystrendit

- Metsäenergian korjuumäärät kasvaneet merkittävästi nykyisestä ympäri maailman
- Nykyisillä konevalmistajilla lisälaitteita puunkorjuukoneisiin metsäenergian korjuuseen
- Integroitunut tiiviimmin ainespuun korjuuseen tai metsänviljelyyn
- Metsäenergia kilpailee uusien, kehittyvien energiantuotantomenetelmien kanssa

4.3.2 Koneiden määrä

Metsähakkeen vuotuinen käyttö Suomessa oli vuonna 2003 noin 2,1 milj. m³, josta se on tarkoitus nostaa 5 milj. m³:iin vuoteen 2010 mennessä. Suomen metsähakepotentiaali Hakkilan (2004a) mukaan:

- Teoreettinen maksimi: 45 milj. m³
- Teknisesti korjattavissa oleva määrä: 15 milj. m³
- Energia- ja ilmastostrategioiden tavoite 2010: 5 milj. m³
- Puuenergiaohjelman tavoite vuodelle 2003: 2,5 milj. m³
- Hakkeen toteutunut tuotanto 2003: 2,1 milj. m³.

Taulukoissa 15 ja 16 on esitetty Suomen tavoitteen mukaisen hakemäärän tuottamisen vaatima kalusto ja työvoima vuonna 2010. Metsähakkeen jakautuminen pienpuu-, hakkuutähde- ja kantohakkeen kesken on esitetty taulukossa 16.

Taulukko 15. Arvio metsähakkeen tuottamiseen tarvittavasta kalustosta Suomessa vuonna 2010 (Hakkila 2004a).

Kone	Tuottavuus, m ³ /vuosi	Lukumäärä
Kaatokasauskone	10 000	90
Kaivukone (kantojen keruu)	17 000	114
Paalain	25 000	50
Hakkuri	30 000	67
Käyttöpaikkamurskain	120 000	25
Metsätraktori	30 000	167
Kanto- tai risuauto	25 000	70
Hakeauto	25 000	80
Puutavara-auto	25 000	50
Lavettiauto	--	141

Asikaisen (2004) mukaan vuonna 2010 tarvitaan noin 500 työkonetta mukaan lukien murskaimet ja autoalustaiset hakkurit. Metsähakkeen tuottaminen antaisi töitä lähes 2300 henkilölle, kun tuotantomäärä olisi 5 milj. m³ vuodessa. Erityisesti hakkuutähdehakkeen korjuulla olisi suuri työllistävä vaikutus.

Taulukko 16. Arvio metsähakkeen tuotannon työllistävyydestä Suomessa vuonna 2010 (Hakkila 2004a).

Tuote	Tuotantomäärä, 1000 m ³	Työvuosia/1000 m ³	Työvuosia/vuosi
Pienpuuhake			
- kokopuuhake, konehakkuu	600	0,6	360
- kokopuuhake, mieshakkuu	200	1,2	240
- runkohake, metsänomistajat	200	2,0	400
Hakkuutähdehake	2 500	0,30	750
Kantohake	1 500	0,35	525
Metsähake, yhteensä	5 000	0,45	2 275

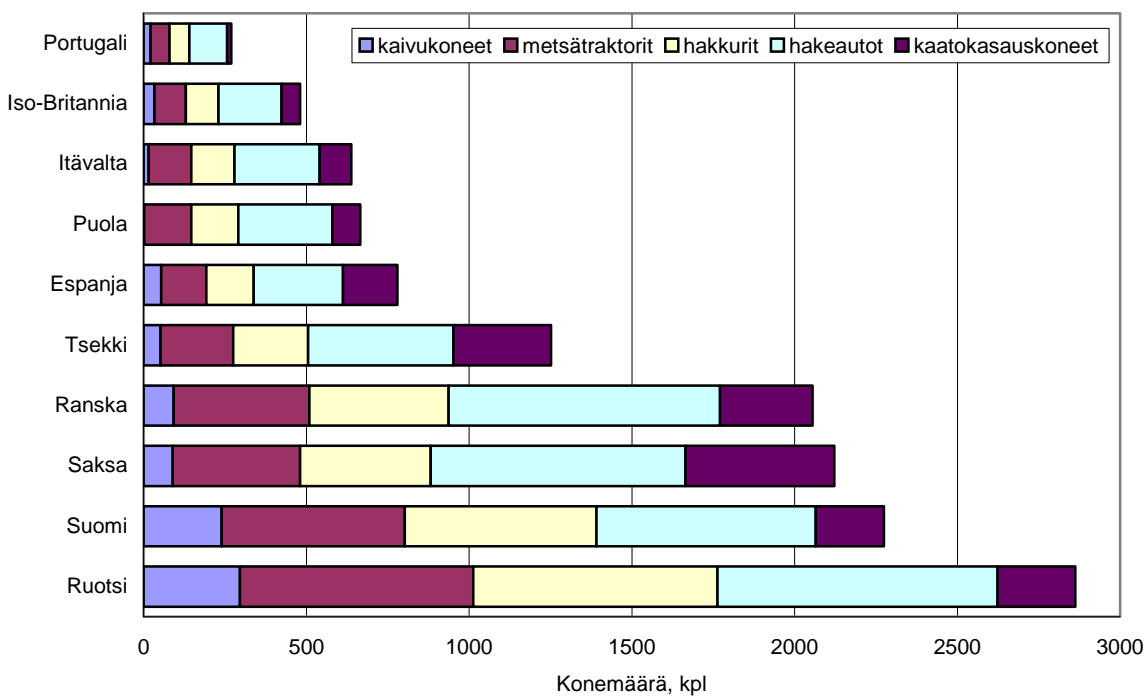
Metsäenergian laskennallisen potentiaalin perusteella arvioitiin korjuumäärien edellyttämä konetarve Euroopan Unionin 25 jäsenmaassa. Koneiden tuottavuudet oletettiin taulukon 15 mukaisiksi lukuun ottamatta hake- ja puutavara-autoja, joiden tuottavuudeksi arvioitiin Euroopassa (muualla kuin Suomi ja Ruotsi) 15 000 m³ per vuosi johtuen pienemmästä maksimikuormasta ja pidemmistä kuljetusmatkoista. Laskelma tehtiin kolmessa vaiheessa. Ensin huomioitiin vain nykyisten hakkuiden hakkuutähdepotentiaali, seuraavaksi hakkuusäästön hakkuutähdepotentiaali ja lopuksi kanto- ja juuripuupotentiaali sekä nykyisistä hakkuista että hakkuusäästöstä. Yksinkertaistamiseksi oletettiin korjuuketjut seuraavasti:

Hakkuutähde: tähteiden kuljetus metsätraktorilla – haketus tienvarressa siirrettävällä hakkurilla – hakkeen kuljetus käyttöpaikalle täysperävaunurekalla.

Kanto- ja juuripuu: kantojen nosto kaivukoneella – kuljetus metsätraktorilla – murskaus tienvarressa – hakkeen kuljetus käyttöpaikalle täysperävaunurekalla.

Jos kaikki laskennallinen metsäenergiapotentiaali otetaan hyötykäyttöön käyttämällä edellä esitettyjä korjuuketjuja, tarvitaan EU25-maissa yhteensä noin 1 000 kaivukonetta, 3 300

metsätraktoria, 3 400 hakkuria sekä 5 500 hakeautoa. Korjattaessa koko hakkuusäästö kaatokasauskoneita tarvitaan em. tuottavuudella noin 2 200 kappaletta. Kuvassa 15 on laskelman mukaiset kymmenen suurinta koneentarvitsijaa Euroopassa. Tarkemmin tarvittavasta kalustosta EU25-maissa on esitetty liitteessä 1.



Kuva 15. Euroopan kymmenen suurinta koneentarvitsijaa, jos kaikki metsäenergiapotentiaali korjataan.

Visio 2020: Metsäenergian korjuukoneiden teoreettinen maksimimäärä

- EU25-maissa: yhteensä noin 1 000 kaivukonetta, 3 300 metsätraktoria, 3 400 hakkuria, 5 500 hakeautoa sekä 2 200 kaatokasauskonetta
- Korjuussa tarvittavien lisälaitteiden markkinat myös merkittävät

4.4 Muut metsäoperaatiot

Tulevaisuudessa Venäjällä sijaitsee taimitarhateknologian suuri markkinapotentiaali, minkä seurauksena Euroopan taimituotanto voi ehkä jopa kaksinkertaistua. Myös muut Itä-Euroopan maat ovat jäljessä taimitarhateknologiassa ja lisäksi markkinapotentiaalia on myös vanhoilla markkina-alueilla. Joissakin yksittäisissä tekijöissä Pohjois-Amerikassa taimitarhateknologia on tällä hetkellä edellä, mutta kokonaisuutena etumatkaa ei arvioiden mukaan ole juurikaan olemassa. Suomalaisen tuotannon kannalta taimitarhateknologiassa kehitystyön vähäisyyden uhkakuvana on taimituotannon siirtyminen ulkomaille, minkä ei uskota ainakaan biologisesti olevan ongelma.

Yhä yleistyvä energiapuun korjuu uudistusaloilta hakkuutähteiden ja kantojen muodossa vaikuttaa tulevaisuudessa maanmuokkaukseen siten, että sen tuottavuus paranee. Tähteiden

korjuu vaikuttaa maanmuokkauksen tuottavuuteen huomattavasti laikutettaessa ja mätästettäessä kaivukoneella, jolloin vaikutus tuottavuuteen on noin 10–15 % (Saksa ym. 2002, Saarinen 2003).

Kaivukoneen käytön maanmuokkauksessa on arvioitu lisääntyvän nykyisestä noin 30 000 ha:sta noin 40 000–50 000 ha:iin. (Harstela 2004). Jyrsintämenetelmän maanmuokkauksessa ei uskota olevan tulevaisuutta, sillä tukkimiehentäin hallinta on todettu ongelmalliseksi huolimatta taimien kemiallisesta käsittelystä.

Suomessa ja Ruotsissa tehtyjen tutkimusten mukaan hakkuutähteiden keruu helpottaa myös taimikonhoitoa, koska taimet jakaantuvat tasaisemmin ja niiden elossa olo on yleisempää (Sinclair ym. 1992, Egnell ja Leijon 1996, Saksa ym. 2002). Toisaalta on myös tutkimustuloksia, joiden mukaan täydellinen hakkuutähteiden poistuma vähensi kuusen taimien pituuskasvua kahden vuoden kasvun verran (Egnell ja Leijon 1996). Käytännössä hakkuutähteistä jää kuitenkin korjaamatta noin 20–30 % (Harstela 2004). Männyllä vaikutusta ei ole havaittu (Rosen 1991, Mälkönen ym. 2001, Saksa ym. 2002).

Eräs osittain koneellistettu ja vielä vähän käytetty taimikonhoitomenetelmä on koneellinen linjaraivaus yhdessä raivaussahamiehen kanssa. Menetelmässä raivataan ensin koneellisesti kaikki puusto linjoittain, minkä jälkeen raivaussahalla perataan linjojen väliset raivaamattomat kaistaleet. Skandinaviassa menetelmää on tutkittu pääasiassa Ruotsissa (Bergkvist & Glöde 2004, Bergkvist & Norden 2004, Juhiaho & Tantu 2005). Menetelmä arvioidaan ainoaksi toimivaksi, vähintään osittain koneellistetuksi taimikonhoidon menetelmäksi tällä hetkellä. Menetelmä on vähäisessä määrin jo käytössä mm. Kanadassa ja sen käytön arvioidaan kasvavan tulevaisuudessa.

Tulevaisuudessa tropiikin metsät ovat istutuskoneiden tärkeimpiä markkina-alueita, joissa markkinapotentiaali voi olla jopa useita tuhansia koneita. Euroopassa istutuskoneiden valmistuspotentiaaliksi arvioidaan noin 500 konetta vuodessa. Ruotsissa ja useissa muissa länsimaissa työvoimapula ja väestön ikärakenne edellyttävät istutuskoneita, myös motiivintimielessä. Kaikkia istutuskohteita ei kuitenkaan voida toteuttaa koneellisesti myöskään tulevaisuudessa. Saarisen (2004) tutkimuksen mukaan koneellinen istutus on kuitenkin kannattavaa, jos hakkuutähteet on ensin korjattu. Maailmanlaajuisesti istutusmetsien määrän odotetaan nousevan 44 %:iin vuoteen 2020 mennessä, mutta puunkorjuun kannalta on muistettava, että esim. kehitysmaissa noin 1/3 istutuksista on tarkoitettu ensisijaisesti polttoaineeksi. (Global Forest Resources Assessment 2000). Myös koneellinen kylvö tulee lisääntymään hitaasti (Rummukainen ym. 2004).

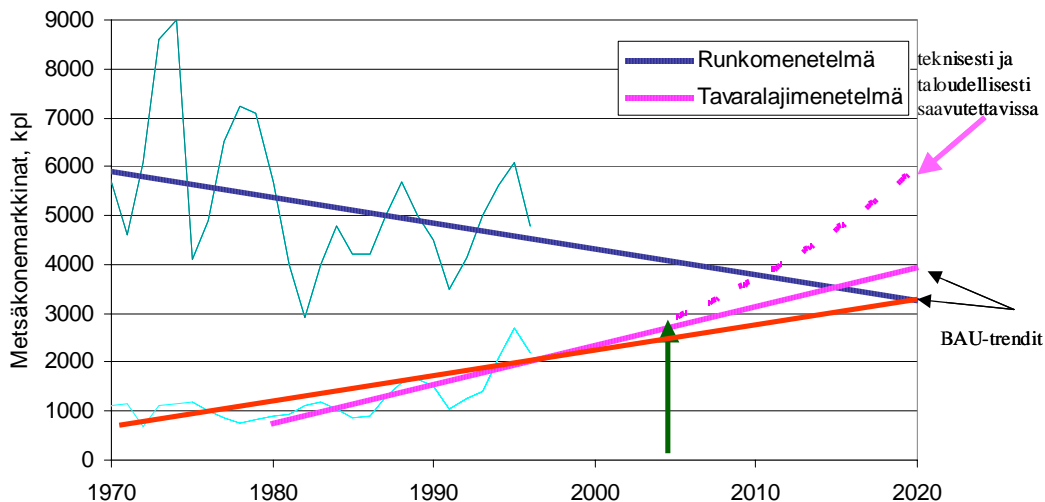
Visio 2020: Muut metsäoperaatiot

- Taimitarhateknologia vientituote, markkina-alueita erityisesti Venäjä ja Itä-Eurooppa
- Hakkuutähteiden korjuu helpottanut koneellista metsänviljelyä
- Istutuskoneet yleisiä erityisesti Euroopassa, tropiikin markkinat avautuvat

4.5 Visio maailmanmarkkinoiden kehittymisestä ja Suomen asemasta

4.5.1 Konemyynti

Metsäkoneiden kokonaismaailmanmarkkinat vuonna 2020 tulevat olemaan noin 6 000–8 000 konetta, joista 4 000–6 000 on tavaralajimenetelmän koneita (Kuva 16). Perustilanteissakin (BAU-trendit) konemyynti kehittyi suotuisasti. Riippuen trenditasoituksen aloitusvuodesta päädytään 3 000–4 000 tavaralajikoneen vuosimyyniin vuonna 2020. Jos kuitenkin oletetaan Euroopan ja Venäjän hakkuiden koneellistuvan nopeasti ja myös Etelä- ja Pohjois-Amerikan markkinoiden osittaisessa valtauksessa onnistutaan, voidaan päästä jopa 6 000 koneen vuosimarkkinoihin. Vuonna 2004 tavaralajikoneiden markkinat olivat jo 2 900 konetta, joten perustrendien mukaisen kasvun voi olettaa toteutuvan suurella todennäköisyydellä. Vuosittainen myynnin vaihtelu jatkuu, sillä metsäsektori on varsin suhdanneherkkää. Suomessa konemarkkinat ovat stabiilit ja kasvu on haettava muualta, mutta toisaalta markkinaosuudet Pohjoismaissa on säilytettävä.



Kuva 16. Kansainväliset metsäkonemarkkinat vuosina 1970–1996 (Drushka & Konttinen 1997) sekä arvio vuoteen 2020 asti, jos markkinat kehittyvät samansuuntaisesti aikaisempien vuosien mukaan

Maailmanlaajuisesti tavaralajimenetelmä ei ole vielä valtamenetelmä. Runkomenetelmän osuus on mm. koneyksiköiden määrällä mitattuna suurempi, mutta voimasuhteet ovat muuttumassa tavaralajimenetelmän eduksi. Asiantuntija-arvioiden mukaan Pohjois-Amerikassa tavaralajimenetelmä ei yleisty kovin nopeasti, koska vanhat kokorunkomenetelmän sahalinjat ovat edelleen käytössä eikä niihin tulla lähiaikoina herkästi investoimaan. Toisaalta käytössä on myös erittäin kehittyneitä katkontakeskuksia, jotka perustuvat runkomenetelmään.

Tavaralajimenetelmä saa suosiota erityisesti Yhdysvaltojen ja Kanadan itäosissa, missä puusto- ja maasto-olosuhteet sopivat hyvin teknologialle. Kanadan länsiosissa tavaralajimenetelmä ei ole juurikaan käytössä ja puunkorjuussa käytetään kokopuu- ja kokorunkomenetelmää. On myös huomioitava, että osa Pohjois-Amerikassa käytettävistä tavaralajimenetelmän koneista on paikallisten valmistajien valmistamia, esim. erilliset prosessorit.

Suomessa valmistettavien metsäkoneiden markkinat kasvavat hieman Pohjois-Amerikassa. Pohjois-Amerikan eteläosissa tavaralajimenetelmä voi kasvattaa markkinoita, mutta yleisesti Pohjois-Amerikassa metsäteollisuus on bulkkiluontoista, eikä nykyinen toimintatapa edellytä tavaralajimenetelmän käyttöä. Muutosnopeus on hidas, koska rajoittavia tekijöitä on paljon. Yleisesti lyhytkiertoviljely lisää puuntuotantoa ja siinä käytettävä menetelmä tulee olemaan tavaralajimenetelmä. Kansainvälisesti menetelmän ratkaisee usein mm. kuljetuksen kannalta optimaalinen pituus, joten markkinat voivat olla avoimet aivan uudellekin menetelmälle. Pohjois-Amerikka on iso markkina-alue, ja puuston vaihtelu sekä kulttuurierot ovat suuria eri alueilla. Entisillä siirtolaisalueilla Suomella on positiivinen maine, kun taas eteläosissa koko tavaralajimenetelmä on uusi asia.

Yhdysvalloissa tavaralajimenetelmän läpimurtona voitaisiin pitää jos korjuusta 30 % toteutettaisiin tavaralajimenetelmällä. Rohkeampien arvioiden mukaan osuus voi kohota vuoteen 2020 mennessä yli 50 %:iin. Kasvu on vielä nopeampaa Latinalaisessa Amerikassa, jossa päätökset korjuumenetelmistä kuuluvat puunhankintayhtiöille, jotka voivat ostaa isoja konemääriä kerralla. Yhdysvalloissa puunkorjuussa käytössä on urakoitsijajärjestelmä. Etelä-Amerikassa tavaralajimenetelmän kasvu rajoittuu viljelymetsiin (eukalyptus), joiden pinta-ala kasvaa koko ajan. Mm. Etelä-Amerikassa pohjoismaisen tavaralajimenetelmän kilpailija on kaivukoneperusteinen tavaralajimenetelmä.

Tavaralajimenetelmä tulee yleistymään etenkin Luoteis-Venäjällä. Erään arvion mukaan vuonna 2020 noin 70 % Luoteis-Venäjän puusta korjataan tavaralajimenetelmällä ja loput runkomenetelmällä. Muualla Venäjällä tavaralajimenetelmän osuus tulee nousemaan noin 40 %:iin vuoteen 2020 mennessä. Venäjän itäosissa kiinnostus kohdistuu pääasiassa runkomenetelmään, mutta yleisesti ottaen Venäjällä puunkorjuuolosuhteet ovat lähellä suomalaisia ja tavaralajimenetelmän markkinointi on helpompaa kuin esimerkiksi Pohjois-Amerikassa. Venäläisen arvion mukaan suomalaisten yritysten pitää olla rohkeampia tulevaisuudessa ja olla valmiita riskeihin sekä panostukseen, sillä tavaralajimenetelmän uskottavuus ja laajeneminen saavutetaan näyttämällä menetelmän kilpailukyky venäläisessä toimintaympäristössä.

Visio 2020: Metsäkoneiden maailmanmarkkinat

- Maksimi noin 6 000–8 000 konetta, tavaralajimenetelmä 4 000–6 000 konetta
- Euroopassa, Latinalaisessa Amerikassa, Etelä-Amerikassa ja Aasiassa enemmistönä tavaralajimenetelmä
- Pohjois-Amerikan länsiosissa ja Venäjän itäosissa enemmistönä runkomenetelmä
- Istutusmetsien määrä lisääntyy ja tavaralajimenetelmä käytössä erityisesti istutusmetsissä

4.5.2 Suomen asema ja kyky reagoida markkinoiden muutoksiin

Suomalaisten koneiden asema on vuonna 2020 vähintään sillä tasolla kuin se on nyt, sillä lähes kaikkien haastateltujen mielestä suomalaisilla on suvereeni asema jo nyt koneiden kehittämissä. Metsäkoneiden kokoonpanoa saatetaan siirtää Suomesta pois, mutta valmistusmäärien tulee olla useita satoja koneita vuodessa, jotta kannattavuus säilyy. Etelä-Amerikkaan tai Kaakkois-Aasiaan tulee kilpailevaa ja merkittävääkin valmistusta, ja on mahdollista, että vuonna 2020 siellä valmistetaan kaikki kyseisillä alueilla tarvittavat metsäkoneet. Esim. tiukan protektionismin (suojatulleja yms.) seurauksena koneenvalmistus voi siirtyä myös muihin maihin, mutta ilmiö ei ole näköpiirissä. Jos tietyille markkina-alueille kehitetään ns. halpamalleja, niin silloin valmistusta voi siirtyä Suomesta muualle.

Nykyisin Suomessa toimivista metsäkonevalmistajista suurimmat yritykset ovat kansainvälisesti toimivia ja koneiden suomalaisuus ei ole yksiselitteinen käsite. Nykyisin konevalmistajien toiminnassa suomalaisin työvaihe lienee tuotekehitys. Valmistuksen lisäksi Suomessa toteutetaan runsaasti myös alihankintaa. Suomessa valmistetaan lähes yksinomaan tavaralajimenetelmän koneita, mutta esim. Timberjack ja Komatsu valmistavat muualla myös runkomenetelmän koneita. Muutamia isoja tavaralajimenetelmän valmistajia on myös Pohjois-Amerikassa ja Ruotsissa.

Suomi on maailmassa omassa luokassaan perusteknologiassa (rauta) sekä tietojärjestelmissä (ohjaus). Lisäksi tiedonsiirto puunhankintaketjussa on nopeaa. Suomessa koneiden suunnittelu (materiaalivalinnat, muotoilu ja tekniset innovaatiot) on erittäin kehittyntä. Ala keskittyy ja Suomi on vahvoilla etenkin tuotekehityksessä, mutta suurin haaste on markkinointi.

Hakkuukoneiden ergonomia sekä informaatioteknologian käyttö ovat Suomessa korkealla tasolla. Esim. Pohjois-Amerikassa puunkorjuukoneissa ei käytetä juuri mitään mittausteknologiaa. On olemassa myös pessimistisiä näkemyksiä suomalaisen teknologian tasosta ja tulevaisuudesta, minkä mukaan tavaralajimenetelmän koneiden kolmen suurimman valmistajan vahvuus on automatiikassa. Muuten koneet ovat vanhanaikaisia ja tuottavuuden kasvu on kiristetty ihmisistä. Menetelmiin tarvitaan radikaalimpaa muutosta ja useiden arvioiden mukaan puutteita on yhä esim. rungon asiakaslähtöisessä pituuskatkonnassa.

Koneet on saatava toimimaan myös siellä, missä käyttäjä aiheuttaa häiriöitä. Esim. Yhdysvalloissa ja Venäjällä koulutustaso vaihtelee erittäin paljon ja koneiden kunnossapito metsässä on vaikeaa. Tulevaisuudessa konetyypeissä tulee eriytymistä ns. high-tech -koneisiin ja peruskoneisiin, sillä uudet markkina-alueet edellyttävät uusia konekonsepteja.

Metsäenergian hyödyntämisen alalla vaihtoehtoisia ratkaisuja on saattanut syntyä jopa liikaakin. Alan toimijoiden kannalta voisi olla eduksi, jos teknologia vakiintuisi ja kaluston yhteensopivuus paranisi. Metsäenergian käytön lisääntymisen myötä ilmapiiri on sopiva teknologian kehittämiseksi ja mahdollistaa kokonaan uusien tuotantojärjestelmien käyttöönoton. Tällöin syntyy uusia innovaatioita ja ideoita voidaan viedä eteenpäin. Vastaavanlaista tilannetta ei ole

syntynyt muualla maailmassa, joten Suomi on vahvistanut asemaansa alan teknologiajohtajana. (Hakkila 2004b).

Suomalaisten kyky reagoida markkinoiden muutoksiin on hyvä. Suomalainen osaaminen on kysyttyä, eikä lähitulevaisuudessa ole odotettavissa merkittäviä muutoksia. Konekauppoja ei ole menetetty sillä perusteella, että olisi hävitty teknologisella tasolla. Toisaalta eräiden arvioiden mukaan Suomella on ollut liian tekninen lähestymistapa, jolloin asiakas tarpeineen on unohtunut. Mahdolliset muutokset ovat suhteellisen hitaita, koska markkinoita säätelevät monet asiat. Kehitystä ja toimintatapoja hidastavat tekijät löytyvät usein muualta kuin metsäkonevalmistajista. Puunkorjuussa vaikuttavat osaltaan myös kulttuuriset tekijät.

Volyymien lisääminen ja tuotteiden räätälöinti ovat mahdollisia, mutta yksinkertaistettuna Suomella on yhä kaikille markkina-alueille yksi perustuote, johon tehdään pieniä muutoksia. Monet konevalmistajat eivät lähde ensimmäisenä mukaan uusiin kehityshankkeisiin, vaan katsovat rauhassa miten asiat kehittyvät, sillä isot innovaatiot pitää osata ajoittaa oikein. Muutoksia edesauttavat toimiva jälkimarkkinointi sekä jakelukanavan tietotaito.

Tulevaisuudessa raaka-aineiden hinnat nousevat, joten merkitseväksi tulee tehokas tuotanto. Tällöin tehoton työvoima voi muodostua esteeksi, mikä voi estää tuotannon siirtymistä vähemmän kehittyneisiin maihin. Suomalaiset konepajat pyrkivät välttämään henkilöstömäärän lisäämistä. Kasvu tulee alihankinnan kautta, johon Suomesta ei välttämättä löydy tarpeeksi alihankkijoita, joten niitä on etsittävä Venäjältä tai Euroopasta. Osaavan työvoiman löytämisestä tulee suuri haaste tulevaisuudessa.

Varaosapalvelun sujuva toimiminen on tärkeä asia, joten koko valmistuksen siirtyminen esim. Kiinaan ei ole todennäköistä. Jos Kiina kasvaa markkina-alueena merkittäväksi, on mahdollista, että sinne perustetaan tehtaita, sillä koneiden kuljettaminen, logistiikka ja tullit ovat kalliita. Valmistusteknisesti Suomessa on osaamista, mutta korkeiden kustannusten takia toiminnan tehostamiseen on silti paineita. Pohjoismaista tullut ns. ”massaräätälöinti” toimii metsäkoneissa hyvin. Joidenkin arvioiden mukaan metsäkoneiden valmistus Venäjän puolella aivan rajan pinnassa voisi onnistua, jos toiminnalla olisi teknologinen tuki Suomen puolelta siten, että tuotekehitys säilyisi Suomessa. Yleisesti useiden arvioiden mukaan erityisesti koneiden komponentteja tullaan tekemään työvoimakustannuksiltaan halvemmissä maissa, esim. Puolassa.

Täysin kilpailukykyinen oma konevalmistus on useiden arvioiden mukaan vielä epätodennäköistä Venäjällä, mutta ulkomaisessa ohjauksessa ja omistuksessa konevalmistus voi olla mahdollista. Venäläisen arvion mukaan tulevaisuudessa Venäjällä on valmistusta, mutta tässä suhteessa suomalaiset yritykset ovat olleet hitaita. Ulkomaiset yritykset ovat suunnitelleet mm. maataloustraktoreiden valmistusta Venäjällä.

Suomalaisten metsäyhtiöiden levitessä maailmalle myös suomalainen metsäkoneteknologia leviää. Yritykset ovat kansainvälisesti vahvoja ja ne vievät mukanaan metsäosaamista, mutta

vaikeuksia aiheuttavat erikoisolosuhteet, mm. rinteet ja suuret rungot. Vuotuinen kysynnänvaihtelu on haaste konevalmistajille. Vuonna 2004 liikevaihdot kasvoivat kaikilla suurilla konevalmistajilla. Merkkejä esim. Venäjän markkinoiden kasvusta on saatu ja konevalmistajat ovat reagoineet mm. tuotantokapasiteettia ja jälkimarkkinointiorganisaatiota kasvattamalla. Lisäksi päänavauksia on tehty mm. Brasiliassa ja Chilessä.

Visio 2020: Suomen asema ja kyky reagoida markkinoiden muutoksiin

- Suomella on vahva asema erityisesti teknologiassa (edellyttää panostusta)
- Koneenvalmistuksessa asiakaslähtöisyys ja markkinointi korostunut
- Merkittävä osa tavaralajimenetelmän konevalmistuksesta Suomessa
- Tavaralajimenetelmän konevalmistusta myös ulkomailla, esim. Etelä-Amerikassa
- Pohjoismaisella koneenvalmistuksella alihankintaa ulkomailla, esim. Venäjällä
- Tavaralajimenetelmän konekalusto nykyistä monipuolisempaa ja kalusto eriytynyt mm. varustetason ja konekoon mukaan

4.5.3 Venäjä markkina-alueena

Maailman metsissä kasvavasta puumäärästä 23 % kasvaa Venäjällä, kun esimerkiksi Suomen osuus on noin 0,5 % (Metsätilastollinen vuosikirja 2003). Tulevaisuuden metsäkonemarkkinoilla Venäjän markkinat kehittyvät Euroopassa eniten – kasvua seuraaville 15 vuodelle tulee arvioiden mukaan noin 6 %. Myös tuontipuun katkontavaatimukset edesauttavat teknologian siirtoa, sillä Suomi on ylivoimaisesti suurin venäläisen puun ostaja ja Venäjällä tavaralajeja käyttävä teollisuus on vähäistä.

Venäjän alueittaisissa toimintatavoissa ja -ympäristöissä on huomattavia eroja, jotka poikkeavat Suomesta. Metsäteknologiasektorilla suomalaiset toimijat ovat perinteisesti toimineet Venäjän luoteisilla alueilla, mutta tulevaisuudessa painopistettä tullaan siirtämään yhä idemmäksi. Venäjän itäisimmillä alueilla puuta ovat hankkineet mm. japanilaiset.

Venäjän markkinoiden kasvulla tulee olemaan suuri vaikutus metsäteknologialle. Konekalustossa tulee olemaan erittäin merkittävä itä-länsi -asetelma, jossa läntisemmästä Euroopasta siirretyt sahat käsittelevät lyhyttä puutavaraa, jonka korjuussa tavaralajimenetelmän koneita tullaan tarvitsemaan. Venäjällä ei ole tällä hetkellä kilpailukykyä haastaa suomalaisia tavaralajimenetelmän koneita, koska käytössä on vanhanaikaisia kokorunkokoneita. Odotettavissa on mahdollisesti myös radikaaleja leikkauksia alan venäläisten toimijoiden toimintaedellytyksiin, eikä Venäjällä ole kilpailukykyistä tuotekehitystä.

Erään arvion mukaan Luoteis-Venäjän tavaralajimenetelmän kehityksestä ja teknologian siirrosta 80 % tulee Suomesta, 10 % Ruotsista ja loput Keski-Euroopasta ja muualta. Suomalaisilla koneilla on yleisesti hyvä maine ja venäläisen arvion mukaan suomalaiset tuntevat Venäjän markkinat melko hyvin. Silti on myös tekijöitä, jotka vaikeuttavat kanssakäymistä, kuten kulttuurierot. Suomalaiset haluavat esim. tehdä yhteistyötä nuorten

ihmisten kanssa, mutta Venäjällä arvostetaan enemmän iän tuomaa kokemusta ja näkemystä, jonka seurauksena vanhoilla ihmisillä on myös paljon valtaa. Tästä seuraa vääjäämättä konflikteja ja ongelmia.

Tällä hetkellä puutteellinen infrastruktuuri rajoittaa puunkorjuuta Venäjällä paljon, mutta kehitystä parempaan tapahtunee tulevaisuudessa. Muutoksen nopeutta on kuitenkin vaikea arvioida. Metsä ei ole tärkeä kaikille alueille ja siksi kaikkialla ei ole halua panostaa infrastruktuuriin metsätalouden ehdoilla. Oligarkit eivät ole vielä juurikaan kiinnostuneet metsälästä ja on epätodennäköistä, että ne olisivat muutamia poikkeuksia lukuun ottamatta kiinnostuneita tulevaisuudessakaan. Sekä valtio että oligarkit arvostavat nopeita ja helppoja voittoja, eikä metsätalous ole siksi mielenkiintoinen. Valtion panostus on tällä hetkellä metsätalouteen melko heikkoa, eikä nopeaa muutosta parempaan ole näkyvissä. Öljy ja kaivannaiset ovat tärkeämmässä asemassa valtiiovallan päätöksenteossa. Useita vuosia valmisteltua uutta metsälakia odotetaan toimijoiden mukaan mielenkiinnolla.

Visio 2020: Venäjä metsäkoneiden markkina-alueena

- Merkittävää puunkorjuun kasvua sekä länsi- että itäosissa
- Puunkorjuumenetelmät jakaantuneet läntiseen (tavaralajimenetelmä) ja itäiseen (runkomenetelmä)
- Siperia merkittävä puuntuotantoalue
- Puunkorjuun infrastruktuuri kehittyneempää
- Suuria puunkorjuun toimijoita
- Hakkuista yli puolet koneellistettu
- Valtio kiinnostunut metsätaloudesta

5 Tiekartta – teknologian ja liiketoimintaprosessien kehittämismahdollisuudet ja -tarpeet

5.1 Metsäteknologiaan liittyviä teknologiaohjelmia (Tekes)

Vuosina 1999–2003 toimineen *Puuenergian teknologiaohjelman* tavoitteena oli kehittää teknologiaa metsähakkeen suurimittaiseen tuotantoon lämpö- ja voimalaitosten polttoaineeksi. Erityistä huomiota kiinnitettiin järjestelmäosaamiseen, ei niinkään yksittäisten koneiden tai työmenetelmien kehittämiseen. Ohjelman tuloksena metsähakkeen tuotannosta ja käytöstä on tullut arvostettua toimintaa. Ohjelmakauden aikana tapahtui läpimurto hakkuutähteen paalaustekniikassa, mikä avasi mahdollisuuden hakettamattoman biomassan kuljetukselle ja käyttöpaikkahaketusjärjestelmälle. Pienpuuhakkeen tuotannon merkittävin kehitystapahtuma oli keräilevällä kouralla varustettujen kaato-kasauskoneiden kehittyminen ja käyttöönotto. Niiden avulla pienpuuhakkeen koko tuotantoketju voidaan koneellistaa. Vuonna 2002 ohjelmaan lisättiin erillinen Puupolttoaineiden pientuotannon ja käytön panostusalue. Vastaavanlaista kattavaa kansallista ohjelmaa ei ole saatu aikaan missään muussa maassa kuin Suomessa. (Hakkila 2004b).

Puuenergian teknologiaohjelmaan kuuluvalla *Puupolttoaineiden pientuotannon ja -käytön panostusalueella* kehitetään taloudellisesti kilpailukykyisiä, luotettavia ja päästöjen kannalta hyväksyttäviä ratkaisuja puupolttoaineen tuotantoon, varastointiin, käsittelyyn, jakeluun sekä lämmöntuotantoon pienessä kokoluokassa (yleensä alle 1 MW). Tutkimus- ja tuotekehitystoiminnan kannustamiseksi kootaan aktiivisesti tietoa alan yritysten tutkimus- ja kehitystarpeista. Lisäksi selvitetään toimialan ongelmakohdat sekä kannustetaan alan yrityksiä toteuttamaan tuotekehityshankkeita ongelmien ratkaisemiseksi. Ohjelman kesto on 2002–2006. (Tekes 2004).

ClimBus -teknologiaohjelma käynnistyi syksyllä 2004 ja kestää vuoteen 2009. Sen päämääränä on suomalaisen liiketoiminnan kasvattaminen ja uusien yritysten ja liiketoimintojen synnyttäminen globaaleille ilmastomarkkinoille. Ohjelman tavoitteena on kehittää sellaisia tuotteita ja palveluja, joiden kustannustehokkuus kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisessä on kansainvälistä huippuluokkaa. Ohjelman painopistealueita ovat mm. tulevaisuuden teknologiat ja puhtaat polttoaineet. Lisäksi ohjelmassa muodostetaan kokonaiskuvaa teknologian tarjoamista mahdollisuuksista päästöjen hillitsemiseksi ja yritysten liiketoimintamahdollisuuksista niin lyhyellä kuin pidemmälläkin aikavälillä. Etenkin Keski- ja Itä-Euroopan markkinoilla on tilausta ilmastonmuutosta ja päästöjä hillitseville tuotteille. (Tekes 2004).

DENSY - Hajautettujen energiajärjestelmien teknologiaohjelma käynnistyi vuonna 2003 ja kestää vuoteen 2007. Siinä kehitetään paikallisia pienen teholuokan energian muunto-, tuotanto- ja varastointijärjestelmiä sekä niihin liittyviä palveluja. Keskeiset tavoitteet liittyvät suomalaisten yritysten kansainvälisen kilpailukykyyn parantamiseen ja suomalaisen teknologian ja osaamisen tuntemuksen lisäämiseen Euroopassa ja maailmanlaajuisesti. Ohjelman painopistealueita ovat liiketoimintakonseptit, energianhallinnan integrointi, järjestelmäratkaisut, teollinen valmistaminen ja IT-teknologian hyödyntäminen. (Tekes 2004).

MASI - Mallinnus ja simulointi -teknologiaohjelma on käynnissä 2005–2010. Se tarjoaa mahdollisuuden kehittää mallinnus- ja simulointitekniikoita laajasti koko teollisuudelle. Samalla voitaisiin aikaansaada riittävä sisäinen kysyntä uusien yritysten synnylle, mutta ennen kaikkea myös vientitoiminnan käynnistymiselle. Useissa eri teknologiasovelluksissa toistuvat samat fysikaaliset ilmiöt. Myös tietokonemallinnuksen työmenetelmät ovat pitkälle samoja ja sovelluksesta riippumattomia. Toistaiseksi mallinnuksen työvälineitä on kuitenkin kehitetty sovelluslähtöisesti ja yhteistyön kautta saavutettavien synergiahyötyjen mahdollistamiseksi. Nykyisellään mallinnuspalveluja ei juuri ole osattu tuotteistaa ja olemassa olevien palvelujen markkinointikin on ollut vähäistä. Suomalaisilla tutkimuslaitoksilla ja palveluyrityksillä on jo syntynyt tuotteistettavaa osaamista erilaisiin erikoissovelluksiin liittyen. Ohjelman tavoitteena on olla monitieteinen koskien kaikkia mallinnuksen ja simuloinnin osa-alueita teknologiasovelluksesta riippumatta. (Tekes 2004).

Suomalais-ruotsalainen puun materiaalitieteen tutkimusohjelma *Wood Material Science Research Programme* (2003–2007) on jatkoa suomalaiselle *Wood Wisdom* -metsäalan

tutkimusohjelmalle. Sen tavoitteena on edistää metsäalan kilpailukykyä lisäämällä perustietoa uusien tuotteiden kehittämiseksi sekä verkottamalla tutkimusta entistä tehokkaammin. Ohjelman päärahoittajat ovat Suomesta Tekes, Suomen Akatemia ja maa- ja metsätalousministeriö sekä Ruotsista VINNOVA (Verket för innovationssystem) ja FORMAS (Forskningsrådet för miljö, areella näringar och samhällsbyggande). (Tekes 2004).

MASINA-koneenrakennuksen teknologiaohjelma käynnistyi vuonna 2002 ja ohjelma jatkuu vuoteen 2007 asti. Ohjelman tavoitteena on turvata perinteisen teollisuuden kilpailukyky ja menestysmahdollisuudet sekä edistää näiden sopeutumista toimintaympäristössä tapahtuviin muutoksiin. Ohjelmassa kehitetään keinoja, joilla Suomessa toimiva koneenrakennusteollisuus kykenee tuotekehityksessään vastaamaan eri ympäristötekijöiden aiheuttamiin vaatimuksiin ulkomaalaisia kilpailijoita paremmin ja näin hankimaan kilpailuetua näihin verrattuna. Tavoitteena on myös siirtää tietoliikenteen, elektroniikan sekä materiaalitekniikan osaamista näiden teollisuudenalojen ja tutkimuslaitosten ulkopuolelle sekä laajentaa mainittujen perusteknologioiden sovellusalueita. (Tekes 2004).

5.2 Kone- ja automaatioteknologian yleinen kehitys

Metsäkoneissa käytettävä automaatio heijastelee yleisempää koneautomaation kehitystä. Termiä koneautomaatio käyttävät erityisesti automaatio- ja systeemitekniikkaan erikoistuneet elektroniikan ja sähkötekniisen taustan omaavat henkilöt. Toinen yleisesti käytetty termi koneautomaatiolle on mekatroniikka, jota suosivat konetekniisen taustan omaavat automaation ammattilaiset. Mekatroniikka tarkoittaa koneiden mekaanisten rakenteiden ja ohjaavan elektroniikan suunnittelua integroituna kokonaisuutena.

Koneautomaation menetelmiä, erityisesti servotekniikkaa, kehitettiin voimakkaasti toisen maailmansodan aikana – tykkien suuntauksessa tarvittiin kehittyneitä servoja eli asentokulma- ja nopeussäätäjiä, jotka kykenivät seuraamaan maalien liikkeitä lasketuilla ennakoilla. Monet koneautomaation ja maastoliikkuvuuden uusista innovaatioista ovatkin alun perin kehitetty sotilastekniikassa. Toisaalta aseiden ja asejärjestelmien hintapaineet ovat tunnetusti olleet varsin lievät. Erityisen kiinnostava trendi tämän päivän sotilastekniikassa on erilaisten miehittämättömien autonomisten laitteiden perustekniikan, etenkin mittaus- ja aistintekniikan, ja niihin liittyvien signaalinkäsittelymenetelmien kehittyminen viimeisenä kymmenenä vuotena.

Halpojen mikroprosessorien voittokulku mullisti prosessiteollisuuden ohjaustekniikan 1970-luvun lopulla, kun hajautetut digitaaliset automaatiojärjestelmät tulivat markkinoille ja laajaan käyttöön. 1980-luvulla kappaletavarateollisuus, etenkin konepajat, koki melkoisen mullistuksen, kun digitaalinen ohjaustekniikka ja tietokoneet otettiin laajasti käyttöön työstökoneissa, koneistuskeskuksissa, joustavissa valmistusjärjestelmissä sekä valmistuksen ohjauksessa. Teollisuusrobottien merkitys on hiljalleen kasvanut, mutta voidaan sanoa, että vasta 1990-luku oli voimakkaan työkoneautomaation kehityksen vuosikymmen. Työkoneissa, myös metsäkoneissa, yleistyivät CAN-väylään perustuvat hajautetut ohjausjärjestelmät, joiden avulla

oli helppo toteuttaa edistyneempiä ohjausratkaisuja. Edistyksellisiä ratkaisuja, esim. säätöjä, on ollut mahdollista toteuttaa analogiaelektronikalla. Samoin hydraulisilla esiohjauksilla on ollut mahdollista toteuttaa hyvin toimivia hydraulisia ohjauksia. Kuitenkin vasta ohjelmoitaviin mikroprosessoreihin ja mikrokontrollereihin perustuvan ohjaimet ja sähköiset toimilaitteet myös hydrauliiikan ohjauksessa ovat tuoneet todellisen muutoksen.

Yleisesti työkoneiden perustekniikka on kehittynyt ja ohjauselektroniikka on lisännyt koneiden luotettavuutta. Tällä hetkellä automaation kehittäminen on valtavirtaa; ohjauksen osalta ollaan siirtymässä mallipohjaisiin ratkaisuihin. Tulevaisuudessa elektroniikka ja älykkyys lisääntyvät esim. nostureissa. Älykkään ohjaustekniikan avulla on mahdollista pehmentää ohjausta, tasoittaa kuljettajien eroja sekä korjata ja estää liikkeitä, jos kuljettaja yrittää tehdä liian rajuja liikkeitä. Yksinkertaisimmillaan kuljettaja ohjaa vain nosturin kärkeä ja muut toiminnot hoitaa automatiikka. Myös eri toimintojen yhdisteltävyys samaan peruskoneeseen paranee tulevaisuudessa, sillä laitteiden kytkentä helpottuu ja laitteita voidaan vaihtaa ohjaamosta käsin toimien tai ehkä jopa automaattisesti. Laitteiden joustava kytkentä edellyttää komponenttien välisten liitäntöjen sekä tiedonsiirron standardointia.

Nykyisin maailmalla kehitetään monia innovaatioita, jotka tarjoavat mahdollisuuksia myös metsäteknologiassa. Useat nykyiset teknologian prototyypisovellukset ovat todennäköisesti käytössä vuonna 2020, mutta monet innovaatioista ovat olleet kehitettävänä jo pitkään, koska niiden käytäntöön soveltaminen on ollut hidasta. Osa on jo käytössä, vaikka soveltamisessa erityisesti metsäteknologian alalla on yhä paljon kehitettävää. Innovaatioita ovat esimerkiksi:

- Koneautomaatio ja robotit
- Kevyemmät materiaalit
- GPS, tiedonsiirto
- Simulaattoriharjoittelu koneenkäyttäjille
- Konenäkö, lasertekniikkaan perustuvat etäisyyskuvantamislaitteet
- Tietokoneavusteiset päätöksentekojärjestelmät ja -työkalut
- Pehmeä maastokosketus, esim. erilaiset rengaspaineet, kävelevä kone jne.
- Kuljettajan ja koneen välisen yhteistyön kehittäminen
- Kaukokartoitus. (Technology Road Map... 1996, haastattelut).

Koneiden keventäminen on jatkuva prosessi, sillä lisääntynyt tehokkuus tarkoittaa usein lisää painoa. Tulevaisuudessa lujus- ja kylmäkestävyys sekä hitsattavuus tulevat kehittymään. Hydrauliiikan painetasot nousevat, jolloin voidaan käyttää pienempiä pumppuja. Erään arvion mukaan nykyisin ainoa keino, millä koneita voidaan todella pienentää, on tietotekniikka, mikä merkitsee diagnostiikan lisääntymistä – järjestelmä ei salli koneiden särkyvän. Teknisen kehityksen myötä kuljettajan pitää osata entistä enemmän. Jos erityisvaatimuksia ei olisi, automaatio yksinkertaistaisi kuljettajan työtä.

Yhdysvalloissa ja monissa muissa maissa ei hyväksytä hydrauliiikkaa, koska on totuttu pneumatiikan käyttöön. Hydrauliiikasta luopuminen voi olla mahdollista tulevaisuudessa, vaikka hydrauliiikka on yhä hyvä menetelmä suurien voimien tuottoon. Tulevaisuudessa sähkötekniikka

kehittyy nopeasti ja sen käyttö työkoneteknologiassa voi yleistyä, jolloin hydraulikkaa korvataan sähkötekniikalla ja -moottoreilla. Öljypohjaista hydraulikkaa voidaan korvata myös vesihydraulikalla, joka on toistaiseksi kallista. Vesihydraulikassa ei nimestään huolimatta käytetä normaalia vettä, vaan veden seassa käytetään erittäin myrkyllisiä aineita.

Teknologian taso nousee usein nopeammin kuin markkinat pystyvät omaksumaansa. Innovaatioista ei voida varmasti ennakoida, mitkä niistä jäävät käytäntöön. Kokeilut eivät silti ole turhia, vaan niistä opitaan aina jotain ja ratkaisuja voidaan myöhemmin hyödyntää jossakin muualla.

Tutkimusteemat: Teknologian siirto metsäkoneisiin muilta toimialoilta

- Voimansiirron, rakenteiden ja ohjauksen uudet materiaalit, teknologiat ja järjestelmät, erityisesti metsäkoneiden toimintaympäristössä
- Sotilastekniikan innovaatioiden soveltuvuus metsäkoneisiin
- Liikkuvien maastokoneiden kehittämisklinikka

5.3 Tietotekniikka puunhankinnan toimintaympäristössä

GPS-laitteiden tarkkuus on parantunut huomattavasti viime vuosina ja ne toimivat melko kattavasti mm Pohjoismaissa. Sovelluksia on käytetty sijaintitietojen määrittämiseen eri metsäoperaatioiden yhteydessä, kuten esimerkiksi hakkuut, maanmuokkaus, istutus, lannoitus ja metsäteiden kunnossapito. Tekniikan avulla kohteiden löytäminen helpottuu ja tehdyt toimenpiteet voidaan kirjata suoraan karttapohjalle. Esimerkiksi hakkuissa karttatieto voidaan yhdistää hakatun puuston tietoihin, mikä helpottaa kuormatraktorin työskentelyä. Tällöin puutavaralajit voidaan kerätä kiireellisyysjärjestyksessä. Myös varastopaikat löytyvät nopeasti ja kuljetukset tehostuvat. (Brown ym. 2003, Forsberg ym. 2001, Pettersson ym. 2003, Tarkka 2004).

Kiinteät tietoliikenneyhteydet metsäkoneissa mahdollistavat nopean ja ajantasaisen tiedonsiirron eri koneiden ja ketjun toimijoiden kesken. Se lisää myös työntekijöiden turvallisuutta. Menetelmät ovat jo käytössä ja niitä kehitetään edelleen. Tulevaisuudessa mm. tiedonsiirtonopeus ja laitekanta tulevat kehittymään. Esim. GPRS:n käyttö laajenee. Joidenkin arvioiden mukaan nykyiset tiedonsiirtojärjestelmät urakanantajan käyttöön ovat riittävät. Tiedonsiirtoon tulee silti nopeampia ja halvempia menetelmiä.

Metsätalouden logistiikka tarvitsee tulevaisuudessa kolmannen sukupolven järjestelmiä, mutta monissa maissa nopean tietoliikennetekniikan hyödynnettävyyttä rajoittaa useimpien mobiiliverkkojen rajoittuminen tiheään asutetuille taajama-alueille. Esim. Ruotsissa on vuonna 2004 suunniteltu digitaalista verkkoa, joka toimii samalla taajuudella kuin aikaisemmin analoginen NMT-verkko ja mahdollistaisi suuremmat tiedonsiirtonopeudet ja lisäksi luotettavuutta (Lidén 2004). Reaaliaikaisuuden kehittämisessä on kuitenkin muistettava, että

puunhankinnan kuljetusviive voi olla esim. 2 kk, jolloin esim. hakkuun katkonnanohjauksen reaaliaikaisuudella ei ole suurta merkitystä.

Tulevaisuudessa teollisuus tulee keskittymään ja puunhankinnan toimia siirretään alihankkijoille. Suomessa kolmella suurella puunhankkijalla on omat tietojärjestelmät ja korjuuyrittäjän koneet on viritetty toimimaan yhdelle suurelle metsäyhtiölle, mikä aiheuttaa tehottomuutta. Isoilla koneyrityksillä on jo nyt useita urakanantajia ja tulevaisuudessa edellytetään standardisointia tietojärjestelmiin. Esim. Ruotsissa on kehitetty internet-pohjaista kuljetustensuunnittelujärjestelmää useiden kuljetusyriyten yhteiskäyttöön. Menetelmän etuna ovat mm. reitinvalinnan helpottuminen ja mahdollisuus hyödyntää meno-paluukuljetuksia tehokkaammin. Järjestelmä on ollut käytössä vuodesta 2001. (Eriksson & Rönnqvist 2003). Toisaalta myös korjuun oikeaa ajoittamista ja kokonaissuunnittelua voidaan joidenkin arvioiden mukaan vielä parantaa esim. korjuun päätöstukijärjestelmiä kehittämällä. Laitekehityksessä ajoneuvomikroille realistinen vaihtoehto raakapuun ohjauksessa ovat tulevaisuudessa ns. kämmenmikrot, joiden hinta putoaa huomattavasti nykyisistä.

Ergonomiaan ja työntutkimukseen saadaan uusia välineitä automatisoimalla tiedonkeruuta, vaikka tietojen analysointi säilyy pitkälti ihmistyövaltaisena. Tulevaisuudessa tarvitaan tietoa mm. siitä, miten erilaiset olosuhteet vaikuttavat eri toimintoihin ja kokonaisuuteen. Koneenkuljettajan taitoja voidaan arvioida paremmin, mikä avaa uusia mahdollisuuksia kuljettajakoulutuksen kehittämiseksi. Alustavat tulokset näyttävät lupaavilta, vaikka menetelmä on vielä kehitysasteella. Tietotekniikalla on merkittävä rooli ergonomian kehittämisessä. Kehityskohteita ovat mm. tietokoneiden näyttöjen kehittäminen selkeämmiksi, aktiiviset täri-nänvaimennusjärjestelmät sekä eurooppalaisen ergonomiohjeistuksen ja ergonomian mittausten menetelmien luominen. Myös automatisoinnin vaikutusta ergonomiaan tutkitaan. (Gellerstedt & Johansson 2003, Peltola 2003, Vähänikkilä ym. 2004, Eriksson 2002).

Toimihenkilöiden työskentelyä metsässä erityisesti metsän mittausta- ja arviointitehtävissä vähennetään kehittämällä tietojärjestelmäsovelluksia ja niiden keskinäistä yhteensopivuutta, sekä itse mittausten menetelmiä ja niihin käytettäviä laitteita. Mm. metsäkoneisiin liitettäviä puustonmittaus- ja havainnointitekniikoita metsikön puukartan muodostamisessa sekä kartan hyödyntämistä ohjauksen automatisoinnissa on tutkittu ja tutkitaan (Metsäkoneiden aistinjärjestelmä...2004). Lisäksi on kehitetty simulaattoreita esim. hakkuun ympäristövaikutusten analysointiin. Kun kaikki metsien puut on digitalisoitu, mitattu ja paikannettu, voidaan metsästä ”poimia” mitä kulloinkin tarvitaan. Tulevaisuudessa ilmakehu voidaan mahdollisesti esittää koneen näytössä, jolloin saadaan parempi tarkkuus koneen paikasta ja tietoa kohteesta.

Tutkimusteemat: Tiedonsiirto- ja tiedonkeruujärjestelmät metsäkoneissa

- Metsäkoneiden tiedonsiirron ja logistisen ohjauksen informaatiovälteiden määrittely ja standardointi
- Tiedonsiirto eri tietoverkoissa ja erityisesti reuna-alueilla
- Informaatio- ja laitteistoergonomia
- Työntutkimusaineiston automatisoidut keruu- ja analyysijärjestelmät metsäkoneyrittäjien, puunhankkijoiden ja tutkimuksen tarpeisiin
- Metsäkoneisiin integroidut metsänmittausmenetelmät esim. metsäsuunnittelun tarpeisiin
- Korjuun suunnittelun päätöstukijärjestelmät

5.4 Metsäkoneiden kehittämiskohteet

5.4.1 Konekonseptit ja rakenne

Useiden asiantuntijoiden mukaan metsäteknologiassa kone- ja menetelmäkonseptit ovat osaluoteita, jotka ovat unohtuneet. Erityisesti kuormatraktoreiden kehitys on ollut vähäistä. Monet parannukset ovat pieniä, jotka eivät näy ulos, mutta parantavat esim. ergonomiata. Esimerkiksi hakkuulaite tai koura ei ole juurikaan kehittynyt 10–15 vuoteen ja myös nosturit ovat pysyneet samankaltaisina. Tulevaisuudessa esim. vesisuihku tai pyöröterät voisivat olla vaihtoehto nykyiselle puun katkonnalle ketjun avulla, sillä rikkoutuva teräketju aiheuttaa edelleen paljon katkoksia työhön ja aiheuttaa katketessaan turvallisuusriskin. Toisaalta nykyisten hakkuulaitteiden ns. ketjusieppareita kehitetään tulevaisuudessa niin pitkään kuin ketjusaha säilyy katkaisumenetelmänä. Merkittävää hakkuiden koneellistamisasteen kasvua tavoiteltaessa hakkuulaitetta on kehitettävä erityisesti lehtipuun käsittelyssä.

Tulevaisuudessa kuormaamista pitää vähentää, sillä sen osuus puunhankintaketjun käytännön työssä on yhä merkittävä, vaikka työllä ei lisää jalostusarvoa. Kuormausta voidaan vähentää ottamalla käyttöön puiden joukkokäsittelymenetelmiä. Mm. Bergkvistin (2003) mukaan joukkokäsittely lisää tuottavuutta pienipuustaisen leimikon harvennushakkuussa ja tulevaisuudessa Ruotsissa tutkitaan menetelmää päätehakkuulla. Kuormatraktoreiden tehokkuutta pyritään tulevaisuudessa lisäämään myös laajennettavalla kuormatilalla. Menetelmää on testattu vuodesta 2001 ja käyttökokemukset ovat Ruotsissa olleet positiivisia. Joillakin markkina-alueilla pitkä metsäkuljetusmatka ja tasainen maasto voi edellyttää suurempien kuormatraktoreiden käyttöä ja mahdollisesti esim. lisäperävaunun hyödyntämistä. Hakkuukoneissa rungon syöttöjärjestelmään kehitetään automaattista luistonestojärjestelmää. (Bergkvist ym. 2003, Brunberg 2001, Thor 2002).

Selkein trendi viime aikoina on ollut automaation kehittäminen, mikä tarkoittaa lähinnä koneautomaatiota sekä tiedonkäsittelyä. Lisäksi kehittämistä tarvitaan mm. materiaalipuolella (keventäminen, älykkäät materiaalit, automaatio). Kehittäminen on usein lähtenyt liikkeelle metsäyhtiöille tärkeästä asiakaslähtöisyydestä. On olemassa kaksi eri aihealuetta, jotka liittyvät sekä tuottavuusnäkökulmaan että puutavaran laatuun:

Tuottavuus:

- Puun käsittelyn nopeuttaminen (mm. syöttönopeudet)
- Hakkuulaitteen kehittäminen: katkonta, karsinta, mittaustekniikka
- Käyttövarmuuden ja käyttöasteen kohottaminen
- Automaattikka koneenosien ohjauksessa ja säädössä
- Tietoliikenne
- Kuormauksen ja purun nopeuttaminen
- Liikkuminen pehmeällä maapinnalla: pintapaine, kantavuus, voimansiirto
- Harvennushakkuun kalleus: tehokkuuden parantaminen, kapeammat koneet
- Vuotuinen käyttöaste: metsänhoito ja energiapuunkorjuu samoilla koneilla.

Puutavaran laatu:

- Puunkäsittelyn vauriottomuus
- Rungon syöttö- ja karsintavauriot
- Rungon katkontatarkkuus.

Mahdollisen puunrungon uuden mittaustekniikan seurauksena kalliiseen koneeseen tulisi uutta kallista tekniikkaa. Tällöin saatetaan joutua tarkastelemaan koko koneen rakennetta täysin uudelleen. Tulevaisuudessa on mahdollista kehittää uusi erillinen tukkipuun valmistuskone, joka hyödyntäisi aivan uusinta teknologiaa ja tekisi katkonnan nykyistä tarkemmin.

Metsäyhtiöiden suhtautuminen koneiden eriytymiseen eri leimikkotyypeille vaihtelee. Joidenkin mukaan hakkuukoneet tulevat erikoistumaan yhä enemmän harvennushakkuilla ja päätehakkuilla käytettäviin. Joidenkin mukaan koneiden erikoistumista päätehakkuille ja harvennushakkuille ei voida toteuttaa, koska leimikkovarannon tulisi muuttua merkittävästi nykyisistä ja ns. yleiskone on kehityksen huippu, jolla pystytään toimimaan kaikilla leimikoilla, jos leimikko on ennakkoraivattu ja maanpinnan kantavuus riittää.

Hakkuukoneet ovat kehittyneet yhä raskaammiksi, mutta samalla järeys turvaa koneen kestävyuden ja siten konevalmistajan maineen. Kritiikkiä saa erityisesti pienten koneiden rakenne. Pieniä koneita kehitettäessä pitäisi mieluummin keksiä jotain uutta kuin pienentää suurten koneiden piirustuksia. Erään arvion mukaan kauko-ohjattava pienhakkuukone Harveri on menestynyt hyvin, mutta yleisesti sille ei uskota löytyvän laajamittaista käyttötarvetta. Pitkän nosturin takia koneiden on oltava painavia, jotta kone pysyy tasapainossa kuormaimen sijaitessa ääriulottuvuudella. Koneiden nykyinen rakenne on pitkän tuotekehittelyn sekä teollisen muotoilun tulos, johon on vaikea tehdä muutoksia. Pienempien konemallien lisäksi esim. Pohjois-Amerikassa on kysyntää nykyistä suuremmille tavaralajimenetelmän koneille erityisesti lehtipuiden korjuuseen, jossa ongelmana on usein suurien oksien sujuva karsinta.

Korjureihin suhtaudutaan tällä hetkellä vaihtelevasti. Joidenkin arvioiden mukaan korjuri on suurimpia konseptimuutoksia viimeisten 20 vuoden aikana. Erään arvion mukaan korjuri ei ole mullistus - kaksi konetta vain yhdistettiin. Korjureiden kustannukset ovat lähellä muiden koneiden kustannuksia ja joidenkin arvioiden mukaan niillä voi olla muita koneita täydentävää vaikutusta suurempikin merkitys. Toisenlaisen arvion mukaan rooli on marginaalinen ja esim.

Suomessa puunkorjuun ydinalueilla korjurista ei ole etua yrittäjälle. Positiivisimman vision mukaan vuonna 2020 noin puolet Suomen hakkuukoneista olisi korjureita. Korjureista on aiemmin tehty tutkimuksia erityisesti Ruotsissa, mutta myös Suomessa on aktivoitunut.

Useimpien näkemysten mukaan korjuri ei korvaa perinteistä hakkuukone-kuormatraktori - ketjua, mutta tietyillä alueilla se on erityisen käyttökelpoinen, esimerkiksi soilla, pitkillä ojalinjoilla sekä alueilla, joissa leimikot ovat pieniä ja hajallaan. Korjureiden erääksi heikkoudeksi on ilmennyt kuljettajan työskentely yksin metsässä, mikä on koettu epämiellyttäväksi. Pohjois-Amerikassa korjureihin suhtaudutaan mielenkiinnolla, mutta näkökulmassa korostuu korjureiden käyttö pääasiassa tavaralajimenetelmän koneiden vaihtelevia tuottavuuksia tasapainottavana ja täydentävänä osana samalla leimikolla työskenneltäessä. Korjureita ei uskota käytettävän yksinään ja erillisinä yksikköinä.

Tulevaisuudessa käytettävät konetyypit riippuvat erityisesti niiden hankintahinnoista. Konetyyppejä yhdisteltäessä eräs ongelma on se, että esimerkiksi ajokoneena toimittaessa kallis mittausjärjestelmä on käyttämättömänä. Konevalmistajilla tulisi olla myös halvempia koneita uusille markkina-alueille. Uusille markkina-alueille tavaralajimenetelmää levitettäessä voidaan hyödyntää myös käytettyjä koneita.

Koneiden nykyisestä rakenteesta johtuen korjuujäljet maanpintaan ovat ongelma, koska metsään jää herkästi syviä uria sekä aiheutuu juuristovaurioita jääviin puihin. Tulevaisuudessa on löydettävä uutta teknologiaa esim. kesäkorjuuseen, johon soveltuvien leimikoiden määrä vähenee nykyisestä. Toisaalta lumivarastoinnilla on tasoitettu korjuun kausiluonteisuutta, vaikkakin se aiheuttaa lisää kustannuksia ja on äärevöittänyt puunkorjuun kausivaihtelua metsässä entisestään siten, että konemäärät joudutaan mitoittamaan kausivaihtelun huipun mukaan. Kausivaihtelua lisää myös hakkuiden yleistymisen turvemailla.

Kausivaihteluun varautuessa voidaan huomioida maataloustraktoripohjaisten koneiden metsätalouuskäyttöön soveltuvat lisälaitteet. Tulevaisuudessa voi olla yhä enemmän tilaa pienille koneille, jotka toimisivat talvella hakkuukoneena, mutta kesällä maataloustraktorina. Myös metsäkoneiden monikäyttöisyydellä voidaan parantaa koneiden käyttöasteita (Kärhä ja Peltola 2004). Hakkuun lisäksi voidaan toteuttaa myös muita tehtäviä, esim. korjurit ja metsänhoitokoneet sekä metsäenergian korjuu. Suomessa puunkorjuuyritysten koon kasvaessa ja alueyrittäjyyden yleistyessä korjuuyrittäjien tehtävävalikoima todennäköisesti laajenee (Jaakkola 2003, Ala-Fossi ym. 2004).

Metsäkoneen yksittäisen pyörän hallintaa tulisi parantaa, esimerkiksi mallintamalla ja ohjaamalla kuormitusta ja luistoa. Keinuva pyöräjärjestelmä voisi olla eräs mahdollisuus tulevaisuudessa (Ahonen 1996, Ahonen 1998). Kelirikko ja upottavat maat ovat edelleen haaste myös erityisesti autokuljetuksissa. CTI-järjestelmää (Central Tyre Inflation) eli rengaspaineiden säätöjärjestelmää täytyy kehittää ja järjestelmä tulisi asentaa ainakin osaan puutavara-autoista. Järjestelmän asentamista myös metsäkoneisiin tulisi tutkia (Rieppo ym. 2001).

Kriittisimmän arvion mukaan ulkona konetta kauko-ohjaavan kuljettajan ergonomiset toimintaolosuhteet ovat yhä paremmat kuin hytissä, mutta yleisesti ”lähikauko-ohjauksen” yleistymiseen ei uskota. Lähitulevaisuudessa tärinävaatimukset tulevat kiristymään ja aktiivivaimennus tulee käyttöön. Kallistuksen vaimennuksen lisäksi ohjaamo tullaan tulevaisuudessa irrottamaan irti rungosta esim. hydraulisyntereillä ja koneen rengaskoko mahdollisesti kasvaa. Säävaihteluilta suojauksen lisäksi hytti on turvallisuustekijä, joka suojaa kuljettajaa esim. katkeavalta teräketjulta. Jos siirrytään kauko-ohjaukseen, niin on sama ohjata konetta etäohjauksen avulla kauempaa. Hytin ja ergonomian kehittämisessä on kyse myös työn houkuttelevuudesta.

Monilla uusilla markkina-alueilla tulee koneen joitakin ominaisuuksia mieluummin karsia kuin lisätä, sillä osa koneista toimii liian monimutkaisesti. Karsia voidaan todennäköisesti mm. puun mittauksen lisäksi telirakenteesta. Toisaalta esim. plantaaseilla on paljon uutta markkina-alueita, johon joudutaan kehittämään uutta teknologiaa. Myös Venäjä tulee olemaan tärkeä markkina-alue, jossa on omat paikalliset tarpeet. Venäjän olosuhteissa tärkeitä ovat mm. terramekaniikka ja koneen maastoliikkuvuus. Tärkeitä ovat myös koneiden nykyistä parempi luotettavuus, vahvempi hydraulikka ja vikojen ennustettavuus. Yleisesti koneet joutuvat toimimaan hyvin vaihtelevissa olosuhteissa aina subtropiikista kylmiin arktisiin olosuhteisiin saakka.

Tutkimusteemat: Konekonseptit ja rakenne

- Rungon katkaisuteknologiat ja -laitteet
- Lehtipuurunkojen käsittely
- Rakennekonseptit ja hakkuumenetelmät
- Koneiden tarkoituksenmukainen varustetaso
- Fyysinen ergonomia, erityisesti tärinän hallinta
- Terramekaniikka ja maastovaurioiden vähentäminen
- Diagnostiikka ja vikojen ennustettavuus
- Markkina-alueiden todelliset tarpeet
- Konekonseptien taloudellinen kilpailukyky ja vaikutukset koko toimitusketjuun

5.4.2 Katkonnanohjaus

Katkonnanohjauksen tietojärjestelmissä kehittämiskohteita ovat mm. tilavuuden ja laadun mittaaminen sekä osana yleisesti käyttöliittymän kehitys eli ohjaamo, jossa toiminnot lisääntyvät ja näppäimet vähenevät. Puun mittausta kehitetään yhä ja puun laatuun liittyvistä tekijöistä tarkasteltavana on erityisesti puun sisäisen laadun tunnistaminen. Metsässä rungon käsittelyn kustannusten alentaminen on haaste, samoin tilavuuden mittaaminen puiden joukkokäsittelyssä. Talvi ja metsä toimintaympäristönä ovat ongelma tai haaste myös puiden mittaamisessa. Raaka-aineen laadun tasaamiseksi hakkuulaitteen tai anturin pitäisi pystyä mittaamaan tukin laatu siten, ettei kuljettajan tarvitsisi miettiä sitä. Toisaalta erään arvion mukaan tietotekniikka on myös hidaste ja se on vaikeuttanut itse koneiden käyttöä perustehtävässä eli pöllien teossa, sillä kuljettajan aika menee helposti muuhun kuin

perustehtävään. Joillakin alueilla hakkuukonemittaus ei ole käytössä lainkaan, vaikka koneet on varusteltu siihen tarvittavilla mittalaitteilla. Toisaalta esim. Saksassa hakkuukonemittaus ei ole virallinen mittausmenetelmä.

Paremmalla katkonnanohjauksella voidaan yhä lisätä jalostusarvoa. Tulevaisuudessa puuta jalostetaan metsässä aikaisempaa paremmin tehtaan tarpeet huomioiden. Hakkuukoneessa on yhä ylimääräisenä osana mittarulla, jolla pituutta mitataan mekaaniseen kosketukseen perustuen, jolloin erityisesti muuttuvat sääolosuhteet ja oksaisuus aiheuttavat epätarkkuutta mittaukseen. Mittaustarkkuus ja apteeraus vaativat liikaa huomiointia kuljettajalta ja niihin on saatava lisää varmuutta. Erään arvion mukaan tulevaisuudessa noin 90–100 % katkonnasta tulisi toteutua kuljettajasta riippumattomasti, sillä nykyisin katkonnan tarkkuus liukuu helposti huonolle tasolle ja tästä aiheutuu merkittäviä tappioita. Puukauppaan hakkuukoneen mittaustarkkuus on useiden arvioiden mukaan riittävällä tasolla.

Nykyisin paras paikka rungon katkontaan olisi tehtaan piha, mutta tavoitteena on saada samat olosuhteet metsään hakkuukoneelle. Tavoitteena on mm. saada tarkempaa tietoa rungon sisälaadusta esim. erilaisten säteilytekniikoiden avulla. Tähän mennessä on tutkittu mm. menetelmään liittyviä rungon syöttönopeuksia sekä laitteiden sijoittamista hakkuukoneeseen. Uudet ratkaisut löytynevät konenäköä, lasermittaustekniikkaa sekä RF-kuvantamistekniikoita soveltamalla.

Erityisesti männyllä rungon läpivalaisutekniikka esim. röntgen-tekniikan avulla parantaisi katkontaa. Tulevaisuudessa hakkuukoneella voidaan sahausleikkauksessa ehkä saada tietoa vuosilustoista ja lahosta sekä tarvittaessa laskea rungon oksakiehkuroiden lukumäärä, kun tiedetään latvan ikä. Röntgenin avulla voidaan rungosta valita parhaiten kuhunkin käyttöön soveltuvia osuuksia, esimerkiksi pitkähkö oksaväli. Samoja tekijöitä voidaan jo nyt tutkia joillakin sahoilla läpivalaisulla. Samalla voidaan mitata myös rungon kuoreton paksuus.

Puun mittaussyksiköt voivat muuttua tulevaisuudessa, esimerkiksi kuiva-ainetonni voi olla tulevaisuuden mittaustapa – mittaukseen vaaditaan yksinkertainen ja luotettava menetelmä, jolla saadaan mitattua puun kosteus ja paino. Teknologisesti se on haasteellinen tehtävä, joka voidaan tulevaisuudessa tehdä esimerkiksi metsässä tai tehtaalla.

Katkonnanohjauksessa voidaan tulevaisuudessa hyödyntää hakkuukoneryhmän ohjausta siten, että koneet ”keskustelevat” toteutuneesta katkonnasta reaaliaikaisesti keskenään ja hakkuusuman kokonaisuuden jakauma-aste on siten korkeampi. Järjestelmä vastaisi tällöin keskitettyä katkonta-asemaa.

Tutkimusteemat: Katkonnanohjauksen tietojärjestelmät hakkuukoneessa

- Rungon mittaustarkkuus
- Rungon mittausten menetelmät ja -kohteet (erityisesti pituuden ja tiheyden mittaaminen)
- Puun laadun ennustaminen ja mittaaminen
- Katkonnanohjauksen kokonaisvaltainen hallinta (tietojärjestelmät) useiden hakkuukoneiden kesken

5.4.3 Automaatio alustaratkaisuissa ja liikuntamekanismeissa

Nykyiset tavaramenetelmän hakkuu- ja kuormatraktorit ovat runko-ohjattuja pyöräkoneita, joissa voidaan tarvittaessa käyttää teloja telipyöräpareissa. Pyöräliikunta on ohjausteknisesti helppoa, koska riittävä toiminnallisuus on mahdollista saada pääosin passiivisin keinoin. Aktiiviseen ohjaustekniikkaan on panostettu, markkinoilla on erilaisia aktiivisia koneen liikkeen stabilointijärjestelmiä, joilla koneiden heiluntaa liikkeessä voidaan vaimentaa sekä koneen rungon ja nosturin asentoa voidaan säätää epätasaisilla alustoilla. Tämän alueen automaatiotekniikassa on edelleen runsaasti kehittämisen varaa.

Suhteellisen tasaisissa metsämaastoissa runko-ohjatut pyöräkoneet ovat tulevaisuussakin todennäköisesti eniten käytetty vaihtoehto. Telajärjestelmiä tarvitaan erityisesti pehmeissä metsämaastoissa. Merkittävä osa maailman metsistä on kuitenkin jyrkillä rinteillä, joissa nykyisillä pyöräkoneilla ei voida liikkua, missä aktiivista automaattiohjausta vaativat kävelytekniikat voisivat olla toimiva ratkaisu. Kävelyn ohjauksen perusmenetelmät ovat kypsää tutkimusaluetta, sillä alueeseen panostettiin merkittävästi 1990-luvulla liikkuvien robottien tutkimuksessa. Konekävelyä ei voida hallita ilman koordinoivaa tietokonepohjaista ohjausta ja maaston pinnanmuotojen sekä esteiden havainnointi ovat edelleen hankalia asioita. Kävelytekniiset ratkaisut ovat mekaniikaltaan monimutkaisia. Jokainen jalka, olkoon niitä sitten neljä, kuusi tai kahdeksan, on periaatteessa vähintään kolmen vapausasteen manipulaattori. Kävelyä on vaikea saada toimimaan nopeasti hydraulilla, koska koordinoituissa liikkeissä tarvittavien hetkittäin hyvinkin suurten öljyvirtausten tuottaminen vaatii paljon tehoa. Toisaalta rinteillä liikkeet eivät voi olla muutenkaan nopeita, paitsi havaituissa poikkeustilanteissa, joissa vaaditaan nopeita korjausliikkeitä esimerkiksi jalan otteen irrotessa tai koneen liukuessa. Rinteillä tarvittaisiin jalkojen lisäksi koneen pohjan osien liikkeen aktiivista hyödyntämistä etenkin turvaamassa pitoa, mutta myös etenemisliikkeessä. Rinnehakkuiden koneellistaminen rajoittuu lähinnä hakkuukoneisiin. Puiden kuljetuksessa kuormatraktoreiden kokonaismassan takia pysyminen ja liikkuminen rinteellä on vielä vaikeampaa. Rinnekoneiden ohjaus on vaarallista työtä. Koneen ohjaus teleoperoiden olisi tarpeen.

Nykyiset metsäkoneet perustuvat dieselmootoreihin ja hydraulis-mekaaniseen voimansiirtoon, joiden ohjaukseen tarvitaan tietokonepohjaista automaatiota. Perusratkaisu on pitkän kehityksen tulos ja kilpailukykyinen vielä pitkään. Sähköiset toimilaitteet ja niiden ohjaustekniikka on kuitenkin viime vuosina kehittynyt voimakkaasti ja sähkökäyttöjen hinnat ovat halventuneet.

Hydrauliikalla voidaan kuitenkin tuottaa hyvin suuria voimia suhteellisen keveillä toimilaitteilla, joten esimerkiksi metsäkoneen nosturit tulevat olemaan hydraulikäyttöisiä. Metsäkoneistakin löytyy paljon kohteita, joissa voidaan käyttää sähköisiä, paremmin ohjattavia toimilaitteita, minkä seurauksena sähkötekniikan osuus metsäkoneissa tulee kasvamaan. Merkittävää on, miten polttokennotekniikka pystytään ajoneuvosovellutuksissa tuotteistamaan. Polttokennot pystyvät muuttamaan kemiallisen energian suoraan sähköenergiaksi hyvällä hyötysuhteella ilman mekaanista välivaihetta. Polttokennotekniikka ei ole vielä riittävän kypsää käytettäväksi kaupallisissa tuotteissa, mm. materiaaliongelmia on ollut vaikea ratkaista. On kuitenkin mahdollista, että pitkällä aikajänteellä polttokennoihin perustuvat sähköiset ratkaisut alkavat syrjäyttää dieselmootoreihin perustuvaa tekniikkaa.

Tutkimusteemat: Automaatio alustaratkaisuisissa ja liikuntamekanismeissa

- Aktiiviset koneen liikkeiden stabilointijärjestelmät
- Liikkuminen vaikeissa olosuhteissa (esim. rinnemaastot, huono kantavuus)
- Sähkökäyttö
- Polttokennotekniikka

5.4.4 Nosturin ja hakkuulaitteen ohjaus

Metsäkoneiden nosturit ovat rakenteeltaan enemmän tai vähemmän käsivarsityyppisiä manipulaattoreita. Kolme alinta vapausastetta ovat pyörähdysliikkeeseen perustuvia – nosturin kääntö pysty akselin suhteen sekä olkavarren ja kyynärvarren käännöt manipulaattorin tasossa. Kyynärvarsipuomissa voi olla yksi tai useampia jatkopuomeja, suoraviivaiseen liikkeeseen perustuvia vapausasteita. Yleensä prosessointipää riippuu vapaasti nosturin päässä, ja sitä voidaan kääntää pysty akselin suhteen rotaattorilla. Osassa nostureista rakenteen geometrialla on aikaansaatu hyödyllisiä operointia helpottavia yhdistelmäohjauksia.

Nykyisten metsäkoneenostureiden ohjaustapa on puhtaasti manuaalinen ja melkein pelkästään suoriin toimilaitteohjauksiin perustuva, joko sähköhydraulisesti tai hydraulisen esiohjauksen välityksellä. Käsien käytettävien ohjauslaitteiden, joystick tms. liikkeet on suoraan sidottu tiettyjen toimilaitteiden ohjauksiin standardoidulla tavalla, painonapeilla hoidetaan muut kuin perusliikkeiden ohjaukset. Ohjaus tehdään robotiikan termein suoraan toimilaittekoordinaatistossa. Kokenut käyttäjä pystyy hallitsemaan nosturin liikkeet erinomaisesti – toimilaittekohtaisilla ohjauksilla kokenut käyttäjä pystyy toteuttamaan juuri oikeat liikkeet tilanteen mukaan. Manipulaattorit ovat redundantisia – työavaruuden mielivaltaisen 3D-paikan ohjaukseen tarvitaan kolme vapausastetta, mutta esimerkiksi jatkopuomi tuo mukanaan neljännen tai rakenteessa on muuten useampia. Kokenut käyttäjä osaa hallita luontevasti redundantisuutta. Suorien ohjausten takia vapausteiden asentokulmia tai paikkaa ei tarvitse mitata, jolloin vikaherkkiä ja lisähintaa tuovia mittauksia on vähemmän.

Nykyisten metsäkoneenostureiden operoinnin perusteellinen opettelu kestää kuitenkin pitkään. Liikkeet vapausasteiden pohjalta eivät ole luonnollisia, eivätkä intuitiivisesti helposti opittavia.

Teollisuusrobottien liikkeitä voidaan määrittää tai ohjelmoida myös tavallisen ja arkisen x y z-koordinaatiston suhteen eli ns. karteesisessa koordinaatistossa, jossa kutakin 3D-ratapistettä ja orientaatiota vastaavat toimilaitteiden asennot voidaan laskea käänteisen kinemaattisen ratkaisun perusteella. Nopeudet voidaan muuntaa ns. jakobiaanien avulla. Metsäkoneiden nostureiden ohjaus karteesisessa koordinaatistossa on varsin suoraviivaista toteuttaa. Joystick:n liikkeillä ja nosturin päässä olevan prosessointipään liikkeillä olisi tällöin suora vastaavuus. Karteesista ohjausta ei ole kuitenkaan toteutettu kaupallisissa nostureissa, koska se edellyttäisi toimilaitteiden tai vapausasteiden asentojen mittausta ja kinemaattisten muunnosten laskemista, eikä instrumentoinnille ole tähän asti ollut muuta käyttöä. Tulevaisuudessa voi olla, jos myös puomin liikkeitä ryhdytään automatisoimaan.

Koska metsäkoneiden nosturien rakenne on hyvin samankaltainen kuin käsivarsityyppisten teollisuusrobottien, nosturin liikkeiden automaattinen ohjaus on puhtaasti liikkeiden osalta helppoa teknisesti toteuttaa. Tutkimuslaitoksissa toteutuksia on tehty jo 1980-luvun alussa myös Suomessa. Pullonkaulana ovat kohteiden ja mahdollisten esteiden automaattinen havainnointi luotettavasti ja tietysti myös turvallisuusnäkökohdat. Mittaus- ja aistinjärjestelmien tilaa käsitellään perusteellisemmin myöhemmin jäljempänä. Nopeiden liikkeiden osalta oman vaikeutensa tuo myös heilahdusten hallinta, jossa ihmiskäyttäjät ovat mestarillisia. Heilahdusten hallintaa on tutkittu perusteellisesti mm automaattisten tavaranostureiden yhteydessä ja soveltuvia algoritmeja on kehitetty. Ratkaisut edellyttävät kuorman massan ja dimensioiden määritystä, mikä ei aina ole helppoa.

Nosturin päässä olevan hakkuulaitteen säätöjä ja ohjauksia on tutkittu useissa Tekes-projekteissa, mm. 2005 päättyneessä Älykkäät automaatiojärjestelmät -ohjelmassa. Karsittavan rungon liikkeiden ohjausta ja täsmällistä pysäyttämistä juuri oikeaan kohtaan katkaisua varten on tutkittu perusteellisesti. Samoin rungon dimensioiden mittaukseen on kehitetty uusia ratkaisuja. Puun karsinta ja katkonta ovat jo nyt pitkälle automatisoituja, mutta toimintojen automatisointi pidemmälle edellyttää puun rungon laadun mittaustekniikan kehittämistä.

Hyvin keskeinen tutkimusaihe viime aikoina on ollut vikadiagnoosi ja etäkunnossapito, jossa varsinaiset vioista johtuvat hajoamiset pyritään estämään korjaamalla koneet ja laitteet heti, kun vakavat viat on kyetty automaattisesti paljastamaan jo alkuvaiheessa. Kone ilmoittaa osan kulumisesta ennen kuin osa menee rikki, joten se ehditään vaihtaa ajoissa ja koneen käytettävyyys paranee, kun korjaaminen ei keskeytä työtä. Tämä ns. ennakoiva huolto tulee lisääntymään kaikissa laitteissa ja sitä on jo sovellettu useissa konemalleissa.

Tutkimusteemat: Nosturin ja hakkuulaitteen ohjaus

- Nostureiden ohjaus karteesisessa koordinaatistossa
- Hakkuulaitteen heilahdusten hallinta
- Vikadiagnoosi ja etäkunnossapito

5.4.5 Aistintekniikka

Terminä aistintekniikka tarkoittaa mittaustekniikka, jossa isosta joukosta lähes samanaikaisia mittauksia pystytään löytämään kiinnostavat asiat suhteellisen raskailla laskennallisilla menetelmillä. Tavanomaisissa mittauksissa mittaussignaali itsessään sisältää jo hyödyllisen informaation. Koneaistimiksi luokitellaan yleensä tietokonenäkö, laserskannereiden hyödyntäminen sekä usean sensorin ultraääni ja IR (infrapuna) -mittaukset.

Sotilastekniikan sovellutuksiin on kehitetty vuosien saatossa uutta tekniikkaa, jotka ovat kypsyessään ja vakiintuessaan löytäneet hyödyllisiä sovellutuksia siviilitekniikan puolelta. Lasertekniikkaan perustuva etäisyyksien mittaaminen on hyvä esimerkki. Panssarivaunuihin kehitettiin laserpulssin kulkuajaksi perustuvia yhden pisteen nopeita etäisyysmittauksia jo 1970-luvulla. Tarkka etäisyyden mittaaminen pulssin kulkuajan perusteella edellyttää äärimmäisen nopeaa elektroniikkaa, jossa ympäristöolosuhteiden muutokset on huolellisesti kompensoitava pois. Oulun yliopisto, Noptel Oy ja VTT ovat tehneet tällä alueella pioneerityötä Suomessa. Etäisyydet tasossa mittaava 2D-laserskanneri on kehitetty lisäämällä laseretäisyysmittauksiin (raser range finder) vaakapoikkeutus. 2D-skannereista on tullut rakennetuissa ympäristöissä liikkuvien robottien tutkimuksessa suosittu mittalaite, jonka signaalien käsittelyyn on kehitetty tehokkaita algoritmeja. Hyviä sovellutuksia on löytynyt myös puutavaran kuormien tehdasmittauksista Suomessakin. 2D-skannerit alkavat olla kaupallisesti kypsiä tuotteita, joiden käyttöä työkonien yhteydessä on tutkittu vuosia Suomessakin. 2D-skannerit vaikuttavat lupaavilta myös metsäkoneiden perusaistintekniikaksi, koska niistä saadaan ohjauksen kannalta arvokasta etäisyystietoa reaaliajassa. Metsä on kuitenkin erittäin vaativa ympäristö – lumi, aliskasvusto, lehdet ja neulaset vaikeuttavat aistimista. Suora auringonvalo sokaisee mittaustaitteen. Metsät ovat erityisen haastava ympäristö uusille aistintekniikoille, eikä esim. koneiden autonomisuus ole sinänsä mikään tavoite, mutta aidosti hyödyllistä käyttöä uusille aistintekniikoille metsäkoneissakin löytyy.

Lisäämällä 2D-skanneriin myös skannaus pystysuunnassa on kehitetty syvyyskuvaa muodostava 3D-skanneri, jossa kuvan jokaisen pisteen osalta pystytään mittaamaan etäisyys pisteeseen. Täyden syvyyskuvan mittaaminen kestää kuitenkin minuutin luokkaa, joten liikkuvan sovellutuksen yhteydessä voidaan käyttää vain toisen dimension suhteen hyvin harvaa mittausta. 3D-skannereiden kalleus hillitsee laitteiden sovellutusten tutkimusta.

Passiivisen konenäön puolella on myös tapahtunut huomattavaa edistystä viime vuosina. Puolijohdekameroiden tarkkuus ja resoluutio ovat parantuneet ja hinnat ovat laskeneet. Erityisen merkittävää on, että tavallisten PC-koneiden laskentateho alkaa olla riittävä reaaliaikaiseen liikkuvan kuvan analyysiin. Konenäköön on kehitetty tehokkaita menetelmiä jo kolme vuosikymmentä ja laskentakapasiteetti on ollut tähän asti pullonkaulana, mutta tilanne on muuttumassa. Konenäön avulla on mahdollista mitata myös etäisyystietoa stereonäön ja ns. optisen virtauksen perusteella. Metsäympäristö on erityisen vaativa myös konenäön soveltamiselle – valaistuksen vaihtelut ovat hyvin suuria, suora auringonvalo ja varjot

vaikeuttavat kuvien tulkintaa. Silti konenäöllekin tulee löytymään aidosti hyödyllisiä sovellutuksien metsäkoneiden yhteydessä pitkällä aikavälillä.

Koneiden paikannustekniikat ovat olennaisesti kehittyneet viime vuosina. Kosteaa metsää huonontaa olennaisesti GPS-satelliittipaikannuksen tarkkuutta metsässä. Koneen paikan ja orientaation laskentaa on kuitenkin mahdollista täydentää muilla tekniikoilla, esimerkiksi inertianavigoinnilla, jotta puoliautomaattisia toimintoja voitaisiin teknisesti toteuttaa.

Lyhyellä aikavälillä melko yksinkertainen konenäkö tulee lisääntymään tulevaisuudessa ja esim. kamerakuvasta muodostettu virtuaalinäkymä voi olla mahdollista. Eräänä soveltamisesimerkkinä metsätaloudesta ovat puutavara-autojen painavat ja kuormakapasiteettia vievät kuormainohjaamot, jotka voidaan todennäköisesti korvata kuormauksen ohjauksella ohjaamosta näyttöjen tai virtuaalikypärien avulla. Puheentunnistuksen kehittyessä myös sillä voi olla hyödyllisiä käyttökohteita metsäkoneissa.

Kokonaisuutena koneiden aistintekniikoita ja -menetelmiä on kehitetty viime vuosina sellaiselle tasolle, että aidosti hyödylliset sovellutukset myös metsäkoneissa ovat tulleet teknisesti mahdollisiksi. Tarvitaan kuitenkin perusteellista tutkimusta, jotta pystytään kehittämään uusiin aistintekniikoihin perustuvia riittävän luotettavia ja taloudellisesti uskottavia automaattisia toimintoja metsäkoneisiin. Metsäkoneiden yhteydessä ympäristöolosuhteet ovat hyvin vaativat sekä taloudelliset reunaehdot kovia.

Tutkimusteemat: Aistintekniikka puunkorjuun toimintaympäristössä

- | |
|---|
| <ul style="list-style-type: none">– Aistintekniikan uusien innovaatioiden soveltamismahdollisuudet– 2D-skannerit– Passiivinen konenäkö– Häiriötön paikannustekniikka |
|---|

5.4.6 Automaattinen ohjaus

Metsäkoneenkuljettajien työ on vaativaa ja henkisesti kuormittavaa. Koneet ovat tehokkaita ja nopeita, jolloin teknologian tavoitteeksi voidaan ottaa työn rasittavuutta vähentävä puoliautomaattinen ohjaus. Lisäksi koneen ajamisesta on tehtävä helpompaa, jotta taitotasoltaan heikommatkin kuljettajat pääsevät riittävään tehokkuuteen. Yleisesti metsäkoneisiin on kehitettävä uutta teknologiaa myös siksi, että puunkorjuun kokonaiskustannuksia saadaan alennettua. Helppoissa tilanteissa, rutiiniliikkeiden automatisointi tuo kuljettajalle lisää aikaa ja tukea päätöksentekoon, vaikeissa tilanteissa tarvitaan manuaalista ohjausta myös tulevaisuudessa. Liialliseen automatisointiin voi liittyä myös riski kuljettajan tarkkaavaisuuden ja tietyissä tilanteissa myös tehtävän mielenkiinnon heikkenemisestä (Gellerstedt 2002). Liiallinen automatisointi rapauttaa kuljettajan operointikyvyn; manuaalista ohjausta kuitenkin tarvitaan poikkeustilanteissa. Toisaalta ohjaustavan muutos eli automatiikan lisääminen voi

jarruttaa kehityksen etenemistä, koska asiakkaat ja etenkin koneenkuljettajat ovat jo tottuneet nykyiseen järjestelmään.

Automatisoinnin katsotaan olevan hyödyksi erityisesti monimutkaisissa toiminnoissa, joita on tehtävä yhtäaikaista. Tällaisia ovat esim. puuaineen laatuvirheiden havaitseminen, puutavaran lajittelu, reittisuunnittelu ja optimointi sekä samanlaiset, toistuvat puomin liikkeet. Erityisesti puun katkontaa ja voimansiirtoa, sekä paikantamiseen ja tiedonsiirtoon liittyviä toimintoja on jo pystytty automatisoimaan. Myös tietyt kuormaimen liikeradat on pystytty automatisoimaan. (Thor 2002). Ruotsissa tehdyssä tutkimuksessa automatisoidun puomin käyttö helpotti työtä ja lisäsi tuottavuutta (Brander ym. 2004). Tulevaisuudessa hakkuukoneen täydellinen automatisointi on helpointa ja nopeinta avohakkuuistutusmetsissä, joissa toimintaolosuhteet ovat helpoimmat.

Ruotsissa on kehitetty kauko-ohjattava hakkuukone, jota ohjataan kuormatraktorista käsin. Hakkuukone hakkaa puutavaran suoraan vierellä odottavan kuormatraktorin kyytiin. Yhtä hakkuukonetta kohti on testattu kahta kuormatraktoria. Menetelmä vaikuttaa kilpailukykyiseltä tietyn kokoisella puustolla ja tietyn mittaisella metsäkuljetusmatkalla. (Löfgren 2004). Toisaalta kuormatraktori voidaan automatisoida eräänlaiseksi sukkulaksi, joka käy välillä tyhjentämässä itsensä varastopaikalle. Toimiakseen tehokkaasti menetelmä vaatii vähintään kahden sukkulan käyttöä. Menetelmä vaikuttaa joustavammalta nykyiseen järjestelmään verrattuna. Lisäksi on kokeiltu myös korjuria, jonka kuormatila on vaihtolava. Lavan täytyttyä automatisoitu kuormatraktori lavanvaihtajalla vaihtaa lavan tyhjään ja käy viemässä puutavaran varastolle. Tämä menetelmä ei liene yhtä joustava kuin edellä esitetyt menetelmät, koska odotusajat muodostuvat helposti pitkiksi. (Hallonborg 2003).

Täysin autonominen metsäkone vuonna 2020 ei ole itsetarkoitus, mutta tekniikka antaa yhä enemmän mahdollisuuksia kehittää siihen suuntaan. Autonomisuus edellyttäisi mm. riittävän hyvin toimivaa aistimista ja tarkkaa paikannusta sekä hyvin toimivaa vikadiagnostiikkaa ja etäkunnossapitoa. Toisaalta tällä hetkellä kuljettajaa tarvitaan jo pelkästään logistiikan ja huolto- ja korjaustöiden tekemiseksi. Autonomisuuden kehittämisen kannalta olosuhteet ovat vaikeimmat pohjoisen havumetsissä ja helpoimmat tropiikin viljelymetsissä, mutta tällä hetkellä alueiden mahdolliset tarpeet ovat ristiriidassa helpoimpien mahdollisuuksien kanssa. Periaatteessa on jo mahdollista, että kuljettaja valitsee poistettavat puut ja kone toteuttaa itsenäisesti varsinaiset toiminnot. Pidemmällä aikavälillä automatiikkaa voidaan käyttää tiettyjen tuotteiden hakuun metsästä.

Tutkimusteemat: Automaattinen ohjaus

- Automatisoinnin mahdollisuudet ja tarpeet erilaisissa metsäoperaatioissa ja olosuhteissa
- Kuljettajien toiminta- ja ajatteluprosessi
- Automaatiotason optimointi kuljettajien oppimisen näkökulmasta
- Automaation vaikutukset tuottavuuteen ja kustannuksiin

5.4.7 Metsäenergian korjuu

Energiapuun korjuussa kalusto on vielä varsin kallista, vaikka teknologian taso on periaatteessa riittävä. Haasteita on mm. nuorten metsien energiapuun korjuussa, mutta myös hakkuutähteiden keruuseen täytyisi saada luotettava, halpa ja tehokas kone. Myös kantohakekorjuuta tulee kehittää. Tulevaisuudessa sektorilla on tarkasteltava nykyistä enemmän kokonaistaloudellisia ketjuja, sillä kokonaisen tuotantoketjun toiminnassa on yhä optimoinnin varaa. Koneautomaatio on tärkeä tekijä ja siihen on panostettava. Työvoimaan liittyvä haaste metsäenergian korjuussa on kuljettajien viihtyminen, koska työ on nykyisten kokemusten mukaan varsin yksitoikkoista.

Tulevaisuudessa metsäenergiapuolella tähtäimessä on mm. turpeen ja metsähakkeen tuotantojen integroinnin antama synergiaetu (Hakkila 2004b). Metsäenergian korjuu nähdään myös osana muita metsänhoitotoimenpiteitä ja energiapuun korjuulla voitaisiin maksaa samalla tehtävää metsänhoidollista toimenpidettä. Samalla käsittelykerralla tulisi toteuttaa useita käsittelyjä, esim. metsäenergian korjuu ja harvennushakkuu, jolloin säästyään kalliiden koneiden siirtelyiltä. Tulevaisuuden mahdollisuuksia ovat mm. uudentyyppiset istutuskoneet sekä yhdistelmäkoneet samanaikaiseen hakkuutähteiden korjuuseen ja maanmuokkaukseen. (Laitila & Asikainen 2001, Harstela & Saarinen 2004, Laitila ym. 2005).

Metsäenergian korjuu edellyttää laitevalmistajilta uusia tuotteita. Niiden kehitys kannattaa keskittää nykyisiin metsäkoneita valmistaviin yrityksiin, koska toiminta kytkeytyy tulevaisuudessakin ainespuun korjuuseen. Koneteknologiassa on kehittämistä, sillä useiden arvioiden mukaan oikeaa teknologiaa ei ole vielä löydetty. Viime vuosina energiapuun korjuuseen liittyviä koneiden kehityshankkeita on ollut melko runsaasti, mutta energian käyttöpuolella tarvitaan toimijoita, jotka lähtevät riittävän suuressa mittakaavassa liikkeelle. Nykyiset konevalmistajat voivat valmistaa eri kokoisia koneita asiakkaan tarpeiden mukaan, mutta räätälöintiä ei silti tarvita, sillä korjuulaitteet voidaan asentaa peruskoneisiin. Myös kantopuun nostoa metsäkoneilla voidaan kehittää yhä, mutta se edellyttää peruskoneen kuormaimen voiman ja järeyden lisäystä tai kannon irrotusmenetelmän kehittämistä. Joukkokäsittely on tulevaisuuden menetelmä etenkin sellaisilla leimikoilla, joissa kaikki kertymä viedään samaan paikkaan joko energiaksi tai sellutehtaalle. Logistiikka on tulevaisuudessa avainasemassa. Suuret käyttövolyymit mahdollistaisivat suuremman puunhankinnan logistiikan käytön, esim. kantojen nostossa.

Metsäenergian korjuu ei kannata, jos leimikot jäävät pieniksi. On arvioita, joiden mukaan ns. risutukkimenetelmä ei ole kilpailukykyinen, vaikkakin se vielä toistaiseksi säilyy eräänä menetelmänä – näkemysten mukaan paalauksen tuottavuuden pitäisi kaksinkertaistua tai koneiden hinnan puolittua, jotta toiminta olisi järkevää. Painotus voi siirtyä risuista järeämpään aineeseen sillä, kun energiapuun kilpailukyky suhteessa muuhun puun käyttöön paranee, nykyistä suurempi osa huonolaatuisimmasta runkopuuaineesta voidaan käyttää energiapuuna.

Metsäenergian talteenotto on tehtävä ainespuun hankinnan ehdoilla ja se on helpompaa integroida tavaralajimenetelmän yhteyteen (Hakkila 2004a). Käytettäessä puunkorjuussa

kokorunkomenetelmää, kuten Pohjois-Amerikassa, metsäenergian korjuu voi silti olla yhdistettävissä muuhun toimintaan, koska suurin osa hakkuutähteistä tuodaan joka tapauksessa tien varteen. Tämä antaa mahdollisuuden metsäenergian korjuun lisäämiseksi kyseisillä alueilla. Metsäenergian korjuun intensiivistyminen ko. alueilla voi puoltaa kokorunkomenetelmän säilyttämistä puunkorjuumenetelmänä. Esimerkiksi Sveitsissä on käytössä kuorma-autoalustainen hakkuutähdepaalain, joka siirtyy karsintakatkonta-asemalta toiselle.

Tutkimusteemat: Metsäenergian korjuu- ja käsittelyteknologian siirto

- Kustannustehokkuuden skaalaedut, kokonaisprosessin hallinta
- Koneautomaatio korjuussa ja prosessoinnissa
- Korjuumenetelmät ja integrointi muihin työvaiheisiin (puunkorjuu, metsänhoito)
- Mittausmenetelmät

5.5 Metsänhoitokoneet ja muut metsäoperaatiot

Useiden arvioiden mukaan metsänhoitotyöt tehdään tulevaisuudessa koneellisesti. Koneellistamisesta on puhuttu kauan, mutta vielä ei ole löydetty kustannustehokkaasti toimivia ratkaisuja. Istutus ja taimikonhoito lienevät helpoimpia koneellistettavia, mutta konevalmistajien mukaan ne ovat melko pieni segmentti, sillä esim. istutuskoneen toiminta-aika on enintään 6 kk vuodessa. Konevalmistajat ovat myöntäneet, että metsäkoneiden monikäyttöisyys on otettu melko heikosti huomioon koneiden suunnittelussa ja valmistuksessa, vaikka toiveita on tullut sekä kotimaasta että ulkomailta (Kärhä ja Peltola 2004).

Erään arvion mukaan metsänhoitoteknologiaa ei konevalmistajien keskuudessa koeta hyvänä bisneksenä, mutta toisaalta ei ehkä nähdä mahdollisuuksia, mitä muuta samalla koneella voitaisiin tehdä. Vaarana kehityksessä on, että on olemassa useita pieniä pajoja, jotka tekevät jotain pientä ja innovatiivista näkemättä kokonaisuutta. Erillisiä koneita ei tulisi kehittää, vaan työt tulisi toteuttaa nykyisillä peruskoneilla ja niihin asennettavilla lisälaitteilla.

Metsänhoidon koneellistaminen nähdään yleisesti laitepuolen kehityksenä, jolla haetaan korjuukoneille lisää käyttöastetta. Korjuuyrittäjän asemaa kehitys todennäköisesti vahvistaisi, jos löytyisi uusiin käyttömuotoihin sopivia koneita ja koneiden siirtokustannukset vähenisivät. Tasaisella työllisyydellä varmistettaisiin myös ammattitaitoisen työvoiman pysyvyys. Koneiden tuotekehitykseen on käytetty rahaa, mutta menetelmät eivät toimi käytännössä. Erään arvion mukaan metsänhoitoon soveltuvien koneiden yleistyminen vaatii henkisen hyväksynnän – joko työvoima ei riitä töihin tai koneilla tekeminen tulee selvästi manuaalista työtä edullisemmaksi.

Yleisesti taimikonhoito ei vaadi suurta tehoa peruskoneelta. Lisäksi metsäkoneen puomiin asennettavat perkauslaitteet ovat melko kevyitä, minkä vuoksi peruskoneeksi soveltuvat pienet ja keskisuuret hakkuukoneet sekä metsätraktorit. Konevalmistajien mukaan myös raskaat metsäkoneet ovat työhön soveltuvia, mutta niiden kannattavuus on huono. (Kärhä ja Peltola 2004).

Tulevaisuudessa fuusioimalla ja taimitarhojen kokoa kasvattamalla saadaan resursseja ja potentiaalia taimitarhojen kehittämiseen ja myös kannattavuus ja tuottavuus paranevat. Taimituotannossa tulisi ottaa oppia ja tutkia innovaatioita puutarhapuolelta. Esimerkkejä innovaatioista ovat:

- Allaskastelu
- Kerroskasvatus muovihuoneissa valojen avulla
- Valospektrien (muovikalvot) hyödyntäminen.

Lisäksi taimien tanakkuus on ongelma, joka voi vaatia aikaisempaa harvempaa kasvatusta. Ruotsissa ongelma on ratkaistu taimien mekaanisella heiluttelulla. Myös bioteknologiaa (kasvullinen monistaminen ja geeniteknologia) voitaisiin soveltaa nykyistä enemmän. Yleisesti taimitarhatuotannon kehittämissä puutteelliset resurssit ovat ongelma.

Laadun valvonnassa ihmissilmä on yhä tärkeässä asemassa, mutta eräänä kehityskohtena tulevaisuudessa on koneen hyödyntäminen kustannustehokkaassa muodossa myös taimien laadun valvonnassa. Koneellisen istutuksen yleistymisen edellyttää kehitystoimenpiteitä taimien istutettavuuteen mm. siten, että taimitarhalla pakatut taimet ovat koneellisesti istutettavissa sellaisenaan minimoiden ihmistyövoimaisia taimien järjestelyvaiheita, joiden osuus on noin 20–25 % koneellisen istutuksen työajasta.

Tutkimusteemat: Metsänhoitokoneet ja muut metsäoperaatiot
--

- | |
|---|
| <ul style="list-style-type: none"> – Metsänuudistamisen ja puunkorjuun yhdistämiskonseptit – Metsänhoidon koneellistamismahdollisuudet ja teknologiat – Kustannuksia minimoivat metsänkäsittelymallit ja -sovellukset – Taimitarhateknologia – Prosessiketju taimitarhalla koneelliseen istutukseen – Skaalaedut yritystoiminnassa – Monikäyttöisten metsäkoneiden vaikutukset koneyrityksen toimintaan ja työllisyyteen |
|---|

5.6 Kuljettajien rekrytointi ja metsäkoneenkuljettajakoulutuksen kehittämiskohteet

Kriittisimmän näkemyksen mukaan metsäkonekouluun menevät nykyisin ne, jotka eivät pääse minnekään muualle, sillä työ on yksinäistä ja huonosti palkattua. Toistaiseksi Suomessa töihin saadaan ihmisiä, mutta pysyvyys on toinen asia. Erityisesti viime vuosina on esiintynyt puutetta ammattitaitoisesta työvoimasta ja tilanne on kärjistynyt entisestään. Muualla maailmassa esim. Venäjällä koneenkuljettajan työ on arvostettua, mutta Pohjois-Amerikassa status on alhaalla. Työvoiman liikkuvuuden kannalta koulutusta tulisi harmonisoida mm. Euroopan alueella.

Tulevaisuudessa osaavien metsäkoneenkuljettajien saanti on haaste koko metsäteknologiasektorille. Alasta on saatava kiinnostus jo nuorena. Tietoa alasta on saatava jo

peruskoulussa, jotta alasta kiinnostutaan. Väestön urbanisoituminen on haaste tulevaisuudessa, johon reagoimiseksi alan markkinointia on kehitettävä. Erään idean mukaan voisi kehittää esim. tietokonepelin, jossa voisi kasvattaa ja hakata puuta. Asennekasvatus etenisi luontaista pelaamisen tarvetta hyödyntäen.

Tällä hetkellä Suomessa korjuuyrittäjäyys etenee usein suvussa, mikä kompensoi kuljettajapulaa ja yrittäjän toimiminen kuljettajana lisää joustavuutta. Myös naisten hakeutumista alalle on tuettava, sillä naisilla on metsäkoneen kuljettamiseen sopivia ominaisuuksia, kuten mm. kyky säilyttää huolellisuus. Eräs konevalmistaja on huomioinut naiskuljettajien fysiologiset ominaisuudet hakkuukoneen hallintalaitteiden muotoilussa.

Ihminen-kone -järjestelmän merkitys on suuri tavaralajimenetelmän kehittämisen kannalta. Koulutustarvetta ei voida vähentää ainoastaan konetta kehittämällä, koska koneenkuljettajan pitäisi kuitenkin tietää jotakin useista aihealueista, kuten koneen kunnossapito, jalostuslaitoksen tarpeet, nopea toiminta, ihmissuhdetaidot, yhteydet puunkorjuun eri osapuoliin jne. Koneiden nykyinen kehitys tekee työn fyysisesti helpommaksi, mutta henkisesti vaativammaksi, sillä samanaikaisesti tapahtuu useita asioita. Kuljettajien koulutustasovaatimus tulee todennäköisesti kasvamaan tulevaisuudessa, vaikka automaatio lisääntyisi. Samalla kuitenkin koneen käyttäjäystävällisyys paranee ja mm. ergonomia kehittyy. Kuljettajan työskentely koneella kehittyi kohti prosessivalvojan roolia. Yleisesti koneen kehittämisessä tulisi pyrkiä siihen, että konetta voi käyttää myös osaamattomampi henkilö. Lisäksi huoltoa ja työnjohtoa pitää kouluttaa. Koneiden uusilla markkina-alueilla uuden koneen ostajat ohjataan usein huoltokursseille.

Suomalaisen metsäkoneopetuksen taso on korkea ja sen tuotteistamiseksi on tehty työtä. Suomessa on pidetty kursseja ulkomaisille kuljettajaopiskelijoille ja metsäkoneopetusta on viety maailmalle. Koulutus vaatii läheistä yhteistyötä kouluttajan ja konevalmistajan välillä. Kuljettajien koulutuksessa hyvänä kehityksenä ovat koulutussimulaattorit, joilla voidaan saada perusvalmiuksia konetyöhön. Suomessa on tehty tutkimuksia koulutuksen kehittämiseksi erityisesti simulaattoripohjaisesti (Ranta ym. 2004, Väättäinen ym. 2005).

Koulutuksessa tärkeää on oppilaan asenne ja motivaatio opiskeluun. Silti motivoitunutkin opiskelija voi saada koulutuksesta vain perusteet ja oppimisprosessi jatkuu siirryttäessä palkkatyöhön. Tilanne on haasteellinen, koska korjuuyrittäjällä ei ole varaa vajaatuottoiseen toimintaan. Tuottavuuserot kokeneidenkin kuljettajien välillä ovat suuria, mutta hyvä tuottavuus seuraa usein laatua. Ero korostuu erityisesti toimittaessa suurilla koneilla harvennushakkuilla. Myös nykyisten kuljettajien kouluttaminen tasoittaa eroja.

Tutkimusteemat: Globaali metsäkonekoulutus

- Koulutusohjelmat ja opetuksen teknologia
- Simulaatiojärjestelmien jatkokehitys ja “peliversioiden” kehittäminen
- Koulutuksen organisaatiot
- Työn organisointimallit ja tehokas konekaluston käyttö
- Koulutuksen tuotteistaminen
- Kertauskurssit kokeneille kuljettajille
- Oppilasrekrytointi ja imagomarkkinointi
- Naisten huomiointi metsätyövoimana

5.7 Liiketoimintaprosessien kehittäminen

Yleiset ympäristövaatimukset on muutettava tavaralajimenetelmän eduksi niin, että kuva metsäteollisuudesta ryöstöteollisuutena vähenee. Metsäteollisuuden lopputuotteiden markkinointiin on saatava pitkäjänteisyyttä ja luotava parempi järjestelmä puun jalostusprosessin laadun ja ympäristöystävällisyyden todentamiseksi. Erään arvion mukaan Suomen nykyinen metsäsertifiointijärjestelmä ei ole riittävä, sillä markkinat eivät hyväksy kaikkia nykyisiä sertifiointijärjestelmiä. Jos metsäteollisuuden lopputuotteiden markkinoita ei varmisteta, on turha kehittää muutakaan tuotantoprosessia.

Liiketoimintaprosessien kehittämisessä Venäjällä on Suomesta katsottuna keskeinen asema, sillä siellä sijaitsee suuri markkinapotentiaali, jota ei aiemmin ole suuressa mittakaavassa hyödynnetty. Venäjän hallintopiireistä Siperia on lähellä metsäteollisuuden tulevaisuuden suuria Aasian markkinoita ja siellä metsien hyödyntämisessä on erityisen suuri potentiaali, sillä nykyisillä voimavaroilla kasvavia metsäteollisuuden Aasian markkinoita ei pystytä tyydyttämään. Venäläisestä näkökulmasta suomalaisten yritysten tulisi investoida suuriin teollisuuskomplekseihin ja kehittää puunjalostusprosessia yhteistyössä venäläisten kanssa erityisesti Siperiassa. Tätä kautta voidaan edistää metsäkoneiden myyntiä suuressa mittakaavassa. Myös muilla maailman markkina-alueilla metsäteollisuuden toiminnan linjavalinnoilla on suora vaikutus käytettävään puunkorjuumenetelmään.

Monilla markkina-alueilla metsäkoneiden korkea hinta on ongelma, koska puunkorjuuyritykset ovat pieniä, eivätkä voi herkästi investoida uusiin koneisiin. Yleisesti puunkorjuun yrittäjävetoisuus tuo kuitenkin tehokkuutta toimintaan. Monet uudet markkina-alueet edellyttävät halvempia konemalleja tai valinta tehdään muun korjuumenetelmän eduksi. Toisaalta ns. halpakoneiden eli varustetasoltaan riisuttujen ja hinnaltaan edullisten koneiden valmistus voi vaatia investointeja, joihin konevalmistajat eivät herkästi ole valmiita ryhtymään – hintaero muihin malleihin on saatava merkittäväksi. Todelliset tarpeet ja mahdollisuudet halvempien koneiden tuotannolle tulisi selvittää.

Koko puunkorjuuketjussa metsästä tehtaalle tarvitaan usein yhteistyötä ulkomaalaisten kanssa, jos paikallisia yrityksiä halutaan modernisoida, mutta se vie aikaa useita vuosia. Useiden arvioiden mukaan tällä hetkellä on otollinen aika kehittää ja edistää tavaralajimenetelmää Venäjällä, koska metsäteollisuudessa on menossa muutos ja uudelleenorganisointi. Monet nykyiset venäläiset menetelmät ovat periaatteessa lähtöisin 1950-luvulta – koneet ovat lähes samoja ratkaisuiltaan. Yleisesti voidaan sanoa, että uusille markkina-alueille on lyhytaikaisesti helppoa levittäytyä, mutta markkinoiden säilyttäminen vaatii pitkäjänteisyyttä ja tukea sektorin sidosryhmiltä. Erityisesti pienien konevalmistajien levittäytyessä uusille markkina-alueille verkostoitumisen merkitys korostuu. Suuret yritykset pystyvät toimimaan yhä enemmän yksinään oman organisaation avulla, mutta Suomen kannalta uhkana on tuotannon siirtyminen muualle, jos toiminnot eivät saa tukea Suomesta.

Investoimalla koulutukseen, voidaan merkittävästi lisätä koneiden myyntiä. Metsäkonekouluja on jo useilla alueilla olemassa ja tulevaisuudessa uusia kouluja tullaan perustamaan. Tulevaisuudessa esimerkiksi Venäjällä metsäsektori saa aikaisempaa enemmän huomiota ja siitä ollaan kiinnostuneita. Kiinnostuksesta kertoo se, että muutama öljy-yhtiö on tullut metsäsektorille. Tuottavuuden ja puumäärien lisäksi mm. ekologisten tekijöiden huomiointi on tärkeää. Uusiin toimijoihin suhtaudutaan varovaisesti, sillä valtion on pystyttävä luottamaan alan toimijoihin.

Tutkimusteemat: Liiketoimintaprosessien kehittäminen erityisesti uusilla markkina-alueilla

- Tavaralajimenetelmän ympäristöystävällisyyden maine ja imago
- Puunkorjuumenetelmän markkinointi metsäteollisuusyritysten kautta
- Laaja-alainen yhteistyö metsäteollisuushankkeissa
- Laaja-alainen yhteistyö puunkorjuun kehittämisessä
- Metsäkonemyynnin tukitoimenpiteet sidosryhmien toimesta
- Kansainvälinen metsäkoneyrittäminen
- Valmistuskustannuksiltaan edullisten rinnakkaismallien tuotantomahdollisuudet ja markkinat
- Alihankintaverkoston ohjaus
- Jälleenmyyntiverkoston rakentaminen ja hallinta
- Markkina-alueiden valinta ja asiakaskunnan segmentointi
- Jälkemarkkinointi, huollon organisointi ja ohjaus

5.8 Toimijoiden roolit metsäkoneiden kehitystyössä

Metsäkonetoimialalla on runsaasti toimijoita, mikä hidastaa uusien konekonseptien käyttöönottoa. Nykyiset koneet eivät ole ihanteellisia kaikille leimikoille, mutta toisaalta nykyisillä pienillä korjuu-urakoitsijoilla, esim. Suomessa, ei voi olla monenlaista kalustoa käytettävissään, vaan koneiden valinnat on tehty soveltuvuudeltaan varmin vaihtoehdon mukaan. Pienissä puunkorjuuyrityksissä omistajilla on usein koko omaisuus kiinni yrityksen konekannassa. Toisaalta puunkorjuun yrittäjävetoisuus voi hillitä kaikkein epärealistisimpia

”hullutuksia”. Kaikki kohtuuhintaiset lisälaitteet, joilla lisätään koneen käyttöastetta, parantavat yrittäjän taloutta. Toisaalta on mahdollista, että uuden teknologian markkinoille tuomisesta puuttuu pitkäjänteisyyttä – koneyrittäjien kehittämiä ratkaisuja ei käytetä eikä kehitetä edelleen.

Uuden konekonseptin tuominen markkinoille on aina riski, vaikka kone olisi useilla mittareilla hyvä kone, sillä koneen on sovittava osaksi suurempaa ketjua. Erään arvion mukaan Suomessa koneet kehittyvät, koska hakkuuyrittäjät itse ajavat niillä. Muualla maailmassa koneen ohjaamossa työskentelee palkkatyöntekijä, eikä silloin painoteta mm. mukavuutta ja ergonomiaa. Muutosten käynnistyminen koneteknologian alalla olisi helpompaa, jos urakointiyritykset olisivat suurempia, jolloin esimerkiksi riskinotto kyky olisi parempi. Toisaalta kehityksen esim. Suomessa on kohti suurempia puunkorjuuryityksiä.

Joidenkin alan toimijoiden mukaan tällä hetkellä ei ole viestin viejää, joka kertoo kuinka koneita tulisi kehittää. Erään näkemyksen mukaan, jos vaatimuksia tulee, niin ne tulevat suurelta yleisöltä ja kiertävät mahdollisesti metsäteollisuuden kautta konevalmistajille, esimerkkinä tästä ovat mm. ympäristökysymykset. Useiden haastateltujen mielestä konevalmistajat ovat keskittyneet siihen tuotteeseen joka myy nyt ja tuotekehityksellä turvataan ainoastaan nykyiset konemarkkinat. Jos halutaan suuria teknologisia hyppäyksiä, niin silloin tarvitaan paine ja aloite muualta. Useiden arvioiden mukaan tulevaisuudessa täytyisi integroida nykyistä paremmin useita toimijoita yhteisiin kehityshankkeisiin mukaan. Yhteistyön lisääminen auttaisi isoimpien kehityshyppyjen teossa, koska mielipiteitä vaihtamalla löydetään asioita, joita kannattaa viedä yhdessä eteenpäin. Esimerkiksi Ruotsissa puunhankkijat toimivat yhdessä ja painostavat konevalmistajia, sillä muutosten tulee tapahtua ensin asennetasolla. Tähän asti Suomen teknologista kehitystä on edistänyt järjestäytynyt puunhankinnan toimintaympäristö.

Erään arvion mukaan Suomessa tutkimuslaitoksilta puuttuu markkinointihenkisyys eli halu viedä suomalaista teknologiaa määrätietoisesti maailmalla eteenpäin. Tätä varten pitäisi koota suomalaisten koordinoima ryhmä monenlaisista osaamista, jota myydään ja viedään maailmalle tukitoimintana, sillä konevalmistajat tarvitsevat tavaralajimenetelmän käyttöönottoa tukevan ja edistävän osaamisen viemistä maailmalle.

Metsäteknologia on muun teknologian soveltamista ja käyttöönottoa. Metsäkonealalla valmistusmäärät ovat yhä pieniä. Tutkimusyhteistyötä tarvitaan, sillä konevalmistajat eivät pysty kehittämään uusia innovaatioita itse, vaan ottavat muiden keksintöjä käyttöön. Metsäkonevalmistajat ovat keskittyneet ydinosaamiseen kuten kuormaimiin, kouriin ja hakkuulaitteisiin. Osat valitaan pienestä standardituotteiden joukosta, koska vaikeisiin olosuhteisiin on vähän tuotteita tarjolla. Ns. helppoihin olosuhteisiin on olemassa paljon osavalmistajia. Tekesillä yksittäisiä metsäkonesektoria koskevia julkisia hankkeita ei nykyisin ole olemassa, mutta eri teknologiaohjelmien alla konekehityshankkeita on olemassa. Arvion mukaan metsäkonevalmistajat osaavat melko hyvin hyödyntää yleisiä konekehityshankkeita, jotka käsittelevät lähinnä tiettyjä teknisiä osa-alueita tai komponentteja, sillä metsäkoneissa korvataan hitaasti, mutta jatkuvasti joitakin komponentteja uusiin ja parempiin.

Myös metsänhoitoteknologian tutkimus- ja kehitystoimintaan kaivataan lisää aktiivisuutta. Lisäksi esimerkiksi puuvarojen inventointi voisi liittyä nykyistä lähemmin metsäteknologiaan. Monien uusien teknologioiden kehittämisessä pienillä valmistajilla on tärkeä rooli, sillä niiden kilpailukyky perustuu usein uusiin innovaatioihin tuotantovolyymien sijasta, mutta taloudelliset resurssit ovat niillä vähäiset.

Tällä hetkellä puunkorjuukoneisiin liittyvä tutkimus ja kehitys (perustava ja soveltava) tapahtuu pääosin konevalmistusyhtiöissä. Joidenkin arvioiden mukaan metsäteollisuuden tulisi ottaa Ruotsin tapaan nykyistä aktiivisempi rooli koneiden kehittämisseläktorilla, vaikka toisaalta korjuuyrittäjä on konevalmistajalle se, joka koneita testaa ja kokeilee. Kentällä yhteistyölle on tarvetta. Esim. ruotsalainen tutkimus- ja kehitysorganisaatio, Skogforsk, on hyvässä maineessa ruotsalaisten korjuuyrittäjien keskuudessa.

Isoilla konevalmistajilla on nykyisin tietyt vaihtoehdot, joista ostaja koneensa valitsee, mutta pienet valmistajat voivat räätälöidä tuotetta enemmän. Runkomenetelmän kehitys tapahtuu nyt ja tulee tapahtumaan pääasiassa Pohjois-Amerikassa, tavaralajimenetelmän kehitys Suomessa. Konevalmistajille menestys Suomessa on edellytys menestykselle maailmassa. Toisaalta on myös huomioitava, että myös Pohjois-Amerikassa kehitetään tavaralajimenetelmää pääasiassa paikallisiin olosuhteisiin.

Taloudellisuus- ja luotettavuusvaatimukset hidastavat teknistä kehitystä, koska uusi teknologia on aina kallista. Koneiden vuosituotosta rajoittavat mm. isot varmuusmarginaalit ja optimointi tapahtuu liian pienissä yksiköissä. Erään metsäteollisuuden arvion mukaan korjuuyrittäjät eivät maksimaalisesti hyödynnä hakkuuketjujaan, koska se vaikuttaisi tulevaisuudessa taksoihin – tehokkaimmat korjuuketjut korjaavat jopa 100 000 m³ puuta vuodessa jopa Suomen olosuhteissa, ja tekivät sen jo 10 vuotta sitten huonommilla koneilla. Toisaalta koneketjun tuottavuuteen vaikuttaa leimikkotyppi, leimikon koko yms. tekijät.

Tällä hetkellä koneiden kehityksessä metsäyhtiöiden metsäosastot ovat raaka-aineen loppukäyttäjän eli metsäteollisuuden linkkinä. Loppukäyttäjillä on prosessit, joihin tarvitaan tietynlaista puuraaka-ainetta. Koneyrittäjän rooli koneiden kehittämisessä kohdistuu käytettävyyteen ja toiminnallisuuteen. Tutkimuslaitosten rooli on teoreettisessa työssä ja koota tietoa muita toimijoita laajemmin asioista, joista yksittäiset toimijat eivät voi kerätä materiaalia. Tutkimuslaitoksista esim. VTT:n rooli on nykyisin metsäkoneteknologiassa varsin pieni. VTT:llä on paljon tiiviimpää yhteistyötä muiden teollisuusyritysten kanssa muilla sektoreilla. Arvion mukaan jokin kehittämisohjelma pitää käynnistää liittyen automaatioon, mittaustekniikkaan, hydraulikkaan tai materiaalitekniikkaan, koska ne kiinnostavat VTT:tä ja niistä on osaamista.

Metsäteknologian kehittämistoimijat:

1. *Konevalmistajat*
keskittyminen ydinosaamiseen ja oman tuotteen kehittämiseen asiakkaan perustarpeiden mukaan
2. *Puunkorjuuyrittäjät*
käytettävyys, käytännön testaus, käytännön innovaatiot
3. *Metsäyhtiöiden metsäosastot*
ainespun loppukäyttäjien eli jalostajien toiveet
4. *Tutkimuslaitokset*
suuret tutkimusaineistot ja tutkimukset kootusti (yli yritysrajojen)
5. *Yhteiskunta ja suuri yleisö*
toimintaympäristön vaatimukset, esim. metsäsertifiointi

Toimenpiteet:

- Tutkimusyhteistyö useiden toimijoiden kesken teknologiatarpeiden selvittämiseksi ja tyydyttämiseksi
- T&k –resurssien kustannustehokas käyttö kehittämistarpeiden mukaan
- Uusien innovaatioiden tukeminen
- Kansainvälinen tutkimusyhteistyö hanketasolla

6 Yhteenveto

Metsäteknologian asema osana Suomen teknologiateollisuutta vahvistuu tulevaisuudessa, vaikka toimiala onkin tähän saakka jäänyt informaatioteknologian varjoon. Pahimmillaan suomalaista metsäklusteria on jopa kutsuttu taantumukselliseksi, laskevan auringon alaksi. Todellisuudessa koneenrakennus ja erityisesti metsäkonetuotanto on ollut voimakkaassa kasvussa ja tuotantoa on jopa siirretty muualta Suomeen. Suotuisa kehitys ei ole itsestäänselvyys, vaan sen turvaamiseksi on tehtävä töitä. Haastattelujen perusteella voidaan sanoa, että kansainvälisesti suomalaisten metsäkonevalmistajien vahvuus on ollut erityisesti koneiden tuotekehityksessä ja heikkous markkinoinnissa ulkomailla. Kärjitetysti voidaan kuitenkin sanoa, että koneita on kehitetty tiettyä työskentelytapaa varten. Markkinointi on joutunut myymään koneen lisäksi työskentelytapaa (tavaralajimenetelmää), jolla on omat rajoituksensa ja asiakkailta erilaisia näkemyksiä menetelmän soveltuvuudesta omaan toimintaympäristöönsä.

Haastattelujen perusteella alan tutkimuksella, tuotekehityksellä ja varsinaisella koneiteollisuudella on vahva ja yhtenäinen tahtotila nykyisten markkina-asemien säilyttämiseksi ja edelleen kasvattamiseksi teknologiaa kehittämällä. Myös teknologiaa hyödyntävä metsäteollisuus näkee Suomessa tapahtuvan kehitystyön kilpailuvaltina. Selkeitä ongelmakohtia koneellisessa puunkorjuussa on yhä sekä kotimaassa että ulkomailla.

Kansainvälisesti lisääntyvä ympäristötietoisuus muuttaa metsänkäsittelymuotoja siten, että tavaralajimenetelmälle on yhä enemmän markkinoita. Toisaalta metsäkoneiden kehitystyö muualla maailmassa on supistunut, mikä tulevaisuudessa luo markkinapotentiaalia alan vahvoille toimijoille, joilla on kykyä ja resursseja toimittaa tarpeisiin sopivaa teknologiaa.

Metsäteknologian käyttöolosuhteet ja -ympäristö poikkeavat muista työkoneteknologian toimialoista. Tekniikkaa käytetään maapallon kaikilla puustoisilla ilmastovyöhykkeillä, joissa ilmasto-olosuhteiden erot ovat huomattavat. Myös maastonmuodot ja puusto poikkeavat eri alueilla huomattavasti toisistaan – puusto ja metsät sijaitsevat usein alueilla, joita ei ole helposti voitu hyödyntää muuhun, esim. asuin- ja maatalouskäyttöön. Puuta korjataan vuoristoissa ja heikosti kantavilla alustoilla, joiden korjuu nykyisillä koneilla ei aina ole taloudellisesti järkevää. Jopa metsikkökohtaiset erot ovat huomattavia. Myös eri alueiden taloudelliset resurssit ja kustannusrakenne sekä eri suuntiin kehittynyt puunhankinnan logistiikka ja infrastruktuuri poikkeavat huomattavasti toisistaan. Em. tekijöistä johtuen teknologiaa kehitettäessä ja uusia markkina-alueita tavoiteltaessa tulisi selvittää kunkin markkina-alueen teknologiset tarpeet ja sen pohjalta kehittää tarpeet tyydyttävää teknologiaa. Laajamittaisiin korjuuolosuhteiden arviointiin ja puunhankinnan kokonaislogistiikan kehittämiseen yksittäisillä konevalmistajilla ei kuitenkaan ole resursseja. Toisaalta, ellei kyseessä ole suuri markkinapotentiaali, kaikkiin erityistarpeisiin ei välttämättä pystytä vastaamaan. Myös näiden tekijöiden tunnistaminen on tärkeää ja vaatii tutkimuspanosta.

Panostus informaatio- ja automaatioteknologiaan on tuonut mahdollisuuksia myös metsäteknologiasektorille, mutta teknologian sovellettavuus vaihtelevassa metsäympäristössä on haastavaa ja edellyttää olemassa olevien innovaatioiden jatkokehitystä. Tähän pitkälle tulevaisuuteen tähtäävään kehitystyöhön koneenrakentajat eivät ole halukkaita ryhtymään ilman julkista rahoituspanosta, sillä yritysten näkökulmasta tulosten realisoituminen kannattavaksi liiketoiminnaksi kestää liian kauan.

Huoli metsäkoneenkuljettajien riittävydestä ei ole vain suomalainen ongelma, vaan teknologiaa on kehitettävä myös muiden alueiden kuljettajapula huomioiden. Puunkorjuun lisäksi erityisesti metsänhoitoteknologiassa on kehitettävää, kun ihmistyövaltaisista menetelmistä siirrytään täyskoneellistettuihin ratkaisuihin. Hoitotöiden ja metsäenergian korjuun koneellistaminen vaatii panostusta peruskoneiden lisälaitteiden ja niiden automaation sekä ohjausjärjestelmien kehittämiseen. Useiden työvaiheiden integrointi toisiinsa on kustannusten hallitsemiseksi välttämätöntä.

Nykyiset teknologiaohjelmat käsittelevät koneenvalmistuksen tiettyjä, melko rajattuja kokonaisuuksia. Esimerkiksi informaatioteknologiassa teknologiaohjelmien kehitystyö palvelee pääasiassa urbaanien alueiden tarpeita. Molemmat osa-alueet tuottavat innovaatioita, jotka periaatteessa ovat hyödyllisiä, mutta metsäteknologiasektorin näkökulmasta kehitystyö jää pintapuoliseksi ja käyttö muuttuvissa metsäolosuhteissa on vaikeaa tai jopa mahdotonta. Vain pieni osa innovaatioista ja osista on hyödynnettävissä metsäkoneissa, mikä nostaa koneiden hintaa ja vaikeuttaa siten markkinointia. Myös erilaisten innovaatioiden yhteensovittaminen

toimivan kokonaisuuden kannalta on haastavaa ja vaatii kehitystyötä, johon ei nykyisillä resursseilla ole uskallusta ryhtyä. Vaikka suurimmilla konevalmistajilla valmiudet ryhtyä kehittämään innovaatioita ovat periaatteessa paremmat, metsälalla pienimmät konevalmistajat ovat silti usein osoittautuneet tällä saralla suuria tuotteliaammiksi. Tätä pienten yritysten innovatiivisuutta tulisi tukea, sillä hyvät ideat leviävät nopeasti markkinoille, jos ne osoitetaan käytännössä toimiviksi.

Tämän selvityksen johtopäätöksenä pidämme erillistä metsäteknologian teknologiaohjelmaa perusteltuna sekä sektorin omasta että koko teknologiateollisuuden näkökulmasta katsottuna. Alan kasvupotentiaali on mittava ja tämän potentiaalin realisoitumista voidaan tukea teknologiaohjelman keinoin. Luvussa 5 esitellyt teknologiaohjelman mahdolliset teema-alueet on koottu alla olevaan tekstikehykseen.

Mahdollisen tutkimusohjelman teema-alueita:

- Teknologian siirto metsäkoneisiin muilta toimialoilta
- Tiedonsiirto- ja tiedonkeruujärjestelmät metsäkoneissa
- Konekonseptit ja rakenne
- Katkonnanohjauksen tietojärjestelmät hakkuukoneessa
- Automaatio alustaratkaisuihin ja liikuntamekanismeissa
- Nosturin ja hakkuulaitteen ohjaus
- Aistintekniikka puunkorjuun toimintaympäristössä
- Automaattinen ohjaus
- Metsäenergian korjuu- ja käsittelyteknologian siirto
- Metsänhoitokoneet ja muut metsäoperaatiot
- Globaali metsäkonekoulutus
- Liiketoimintaprosessien kehittäminen erityisesti uusilla markkina-alueilla

Lähteet

Kirjallisuus ja tietoverkko

- AFM-Forest Ltd 2005. www-sivut. <URL:<http://www.afm-forest.fi>>. [Luettu: 7.1.2005]
- Ahonen, H. 1996. Keinuva pyörä – pyöränriipustus uusiksi. Tekniikan maailma 19/1996: 107.
- Ahonen, H. 1998. Keinuva pyörä – Terrier. Tekniikan Maailma 4/1998: 114-115.
- Ala-Fossi, A., Sikanen, L. ja Asikainen, A. 2004. Alueyrittäjyyden asenneilmasto ja valmiudet Metsäliitto Osuuskunnan Kaakkois-Suomen hankinta-alueella. Metlan työraportteja 4. Saatavilla www.muodossa: <URL:<http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/index.htm>>. [Luettu: 10.1.2005]
- Arealo, J. 2004. Combining forest fire prevention and forest fuel production in Andalusia (Southern Spain). Teoksessa: Uusitalo, J., Nurminen, T. & Ovaskainen, H. (eds.). NSR Conference on Forest Operations 2004 - Proceedings. Hyytiälä Forest Field Station, Finland, 30-31 August 2004. Silva Carelica 45: 64-70.
- Asikainen, A. 2004. Teoksessa: Harstela, P. (toim.) 2004. Metsähake ja metsätalous. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 913:26-36.
- Asikainen, A., Ranta, T., Laitila, J. ja Hämäläinen, J. 2001. Hakkuutähdehakeen kustannustekijät ja suurimittainen hankinta. Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta. Tiedonantoja 131.

- Bergkvist, I. & Glöde, D. 2004. Corridor cleaning – a method with great potential. Results from Skogforsk No. 3/2004.
- Bergkvist, I. & Norden, B. 2004. Stråkröjning billigare och effektivare än selektiv röjning. Resultat från Skogforsk Nr. 20/2004.
- Bergkvist, I. 2003. Multitree-handling increases productivity in smallwood thinning. Results from Skogforsk No. 3/2003.
- Bergkvist, I., Nordén, B. & Hallonborg, U. 2003. Drivaren är konkurrenskraftig. Skogforsk Resultat Nr. 14/2003.
- Borglund, A-S. 2004. Utrymme finns för ytterligare 30 TWh skogsbränsle. Fjärrvärme tidningen 29.9.2004. Svensk fjärrvärme.
- Brander, M., Eriksson, D. & Löfgren, B. 2004. Automation av kranarbetet kan öka prestationen. Skogforsk Resultat Nr. 8/2004.
- Brown, M., Mercier, S. & Provencher, Y. 2003. Road maintenance with Opti-Grade: maintaining road networks to get the best value. Teoksessa: Iwarsson Wide, M. ja Baryd, B. (eds), 2003. 2nd Forest Engineering Conference, 12–15 May 2003, Växjö, Sweden. Arbetsrapport från Skogforsk Nr. 536.
- Brunberg, T. 2001. Hydroflex – nytt koncept för att utnyttja skotarnas lastkapacitet bättre. Skogforsk Resultat Nr. 13/2001.
- Drushka, K. & Konttinen, H. 1997. Tracks in the Forest - The Evolution of Logging Machinery. Timberjack Group.
- Egnell, G. & Leijon, B. 1999. Survival and growth of planted seedlings of *Pinus sylvestris* and *Picea abies* after different levels of biomass removal in clearfelling. *Scand.J.Res.* 14:303-311.
- Eriksson, I. 2002. Dålig informationsmiljö kan bli bättre. Skogforsk Nytt Nr. 4/2002.
- Eriksson, J. & Rönnqvist, M. 2003. Transportation and route planning. Åkarweb – a web-based planning system. Teoksessa: Iwarsson Wide, M. ja Baryd, B. (eds), 2003. 2nd Forest Engineering Conference, 12–15 May 2003, Växjö, Sweden. Arbetsrapport från Skogforsk Nr. 536.
- FAOSTAT, Forestry Data 2004. [www.sivut](http://www.sivut.org/URL:http://faostat.fao.org/faostat/). [Luettu: 13.9.2004]
- Filipsson, J. 1998. Primärt skogsbränsle i Sverige – produktion, metoder och förbrukning. Skogforsk Resultat Nr. 17/1998.
- Finpron maatielopalvelu 2004. [www.sivut](http://www.sivut.org/URL:http://www.finpro.fi/markkinatieto/countryfiles.asp?Section=54&Country=120&Special=352). [Luettu: 13.9.2004]
- Focus Bioenergy 2003. Bioenergy – a review. No 1/2003. The Swedish bioenergy association Svebio.
- Focus Bioenergy 2004. Wood Fuels. No 2/2004. The Swedish bioenergy association Svebio.
- Forest Engineering Research Institute of Canada 2004. [www.sivut](http://www.sivut.org/URL:http://www.feric.ca). [Luettu: 13.9.2004]
- Forestinformation.com 2004. [www.sivut](http://www.sivut.org/URL:http://www.forestinformation.com/beta/def_reforestation.asp). [Luettu: 13.9.2004]
- Forsberg, M., Berglund, G. & Malm, D. 2001. GPS i skogsbruket – var står vi idag? Skogforsk Resultat Nr. 16/2001.
- Gellerstedt, S. & Johansson, J. 2003. Ergo wood. Ergo efficient mechanised logging operations. Teoksessa: Iwarsson Wide, M. ja Hallberg, I. (eds), 2003. 2nd Forest Engineering Conference, 12–15 May 2003, Växjö, Sweden. Arbetsrapport från Skogforsk Nr. 540.
- Gellerstedt, S. 2002. Operation of the Single-Grip Harvester: Motor-Sensory and Cognitive Work. *International Journal of Forest Engineering* 13 (2): 35-47.
- Gerasimov, Y. 2004. Cut-to-length method in wood procurement of Russia: SWOT analysis. Teoksessa: Uusitalo, J., Nurminen, T. & Ovaskainen, H. (eds.). NSR Conference on Forest Operations 2004 - Proceedings. Hyytiälä Forest Field Station, Finland, 30-31 August 2004. *Silva Carelica* 45: 338-344.
- Global Forest Resources Assessment 2000. Main report. FAO Forestry Paper 140. FAO Rome 2001.
- Godin, A.E. 2001. Logging equipment database: 2001 update. Forest Engineering Research Institute of Canada, Pointe Claire, Quebec. *Advantage* 2(59).
- Hakkila, P. & Aarniala, M. 2002. Risut tukeiksi. Metsähakkeen tuotantoprosessi hallintaan. Puuenergian teknologiaohjelman tuloksia 2/2002. Tekes.

- Hakkila, P. & Fredrikson, T. 1996. Metsämme bioenergian lähteenä. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 613.
- Hakkila, P. 2004a. Developing technology for large-scale production of forest chips. Wood Energy Technology Programme 1999-2003. Technology Programme Report 6/2004. Tekes.
- Hakkila, P. 2004b. Puuenergian teknologiaohjelma 1999–2003. Metsähakkeen tuotantoteknologia. Loppuraportti. Teknologiaohjelmaraportti 5/2004. Tekes.
- Hallonborg, U. 2003. Förarlösa skogsmaskiner kan bli lönsamma. Skogforsk Resultat Nr. 9/2003.
- Harstela, P. & Saarinen, V-M. 2004. Effect of slash and stump removal on soil preparation and planting – PUUT32. Teoksessa: Alakangas, E. & Holviala, N. (toim). Puuenergian teknologiaohjelman vuosikirja 2003. Puuenergian teknologiaohjelman vuosiseminaari, Jyväskylä 17–18. maaliskuuta 2004. VTT Symposium 231, Espoo. S. 291-293.
- Harstela, P. 2004. Teoksessa: Harstela, P. (toim.) 2004. Metsähake ja metsätalous. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 913. Useita artikkeleja.
- Hyytiäinen, K. 2005. Metsänomistajat ajautuvat vaikeuksiin halvan puun takia. Talous-Sanomat. 15.3.2005.
- Hämäläinen, S. & Kaila, S. 1987. Maaston vaikutus maanmuokkauslaitteiden työpöjälkeen. Metsätehon tiedotus 399.
- In The Forest 2004. Risutukkeja kuorma-auton päältä. Timberjack Forestry Group. 2/2004: 27.
- Jaakkola, S. 2003. Urakoinnin uusi tilanne: Alueyrittäjyyden uhat ja mahdollisuudet. Koneyrittäjä 8/2003: 15-16.
- Jaakkola, S. 2004. Metsäkonealan kannattavuus heikentynyt. Koneyrittäjä 6/2004: 17-18.
- John Deere 2004. Vuoden 2003 vuosikertomus. Saatavilla [www-muodossa: <URL:http://www.deere.com/en_US/investinfo/media/pdf/reports/2004/2003annualreport.pdf>](http://www.deere.com/en_US/investinfo/media/pdf/reports/2004/2003annualreport.pdf). [Luettu: 19.8.2004]
- Jouhiaho, A. & Tanttu, V. 2005. Huomisen taimikonhoito – tämän päivän teknologinen haaste. Teho 1/2005: 38–39.
- Junkkari Oy 2005. [www-sivut. <URL:http://www.junkkari.fi>](http://www.junkkari.fi). [Luettu: 10.1.2005]
- Karjalainen, T., Asikainen, A., Ilavsky J., Hotari K-E ja Zamboni, R. 2004. Estimation of energy wood potential in Europe. Metlan työraportteja 6. Saatavilla [www-sivut. <URL:http://www.kesla.fi>](http://www-muodossa: <URL:http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/index.htm>. [Luettu: 10.1.2005]</p><p>Kesla Oy 2004. <a href=). [Luettu: 19.8.2004]
- Kivikko, L., Kärkkäinen, M., Pulkkinen, M., Rajahonka, M., Riipinen, T. ja Valtakari, M. Teknologia toimialojen uudistajana. Toimialoja kehittävien ohjelmien arviointi – ProMotor ja Tukista tuplasti. Teknologiaohjelmaraportti 7/2004. Arviointiraportti. Tekes.
- Komatsu Forest Oy 2004. [www-sivut. <URL:http://www.komatsuforest.fi>](http://www.komatsuforest.fi). [Luettu: 19.8.2004]
- Kone-Ketonen Oy 2004. [www-sivut. <URL:http://www.kone-ketonen.fi>](http://www.kone-ketonen.fi). Luettu: 19.8.2004]
- Kone-Meskus Oy 2005. [www-sivut. <URL:http://www.kone-meskus.fi>](http://www.kone-meskus.fi). [Luettu: 13.1.2005]
- Kärhä, K. & Peltola, J. 2004. Metsäkoneiden monikäyttöisyys. Metsätehon raportti 181.
- Laitila, J. 2000. Puupolttoaineiden hankinta Oy Alholmens Kraft Ab:n voimalaitokselle. Metsäteknologian ja puutalouden pro gradu. Joensuun yliopisto.
- Laitila, J. & Asikainen, A. 2001. Maanmuokkaus ja hakkuutähteen metsäkuljetuskoneen aika- ja seurantatutkimus. Loppuraportti. Metsäntutkimuslaitos, Joensuun tutkimuskeskus.
- Laitila, J., Asikainen, A. and Hotari, S. 2005. Residue recovery and site preparation in a single operation in regeneration areas. Biomass & Bioenergy 28 (2005): 161–169.
- Laitila, J., Asikainen, A., Sikanen, L., Korhonen, K.T. & Nuutinen, Y. 2004. Pienpuuhakkeen kustannustekijät ja toimituslogistiikka. Metlan työraportteja 3. Saatavilla [www-sivut. <URL:http://www.lakoforest.fi>](http://www-muodossa: <URL:http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/index.htm>. [Luettu: 15.12.2004]</p><p>Lako Forest Oy Ltd 2005. <a href=). [Luettu: 22.2.2005]
- Lako Oy 2005. [www-sivut. <URL:http://www.lako.fi>](http://www.lako.fi). [Luettu: 7.1.2005]
- Lidén, B. 2004. Logistics in forestry 2010 needs 3G off road. Esitelmä. NSR-conference on forest operations 2004. Hyytiälä, Forest Field Station, Juupajoki, Finland. 30–31.8.2004. Saatavilla [85](http://www-muodossa: <URL:http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2005/mwp008.htm></p></div><div data-bbox=)

- muodossa:
<URL:http://www.joensuu.fi/metsatdk/metsatek/conference/nsr_pdf/Liden.pdf>. [Luettu: 16.3.2005]
- Loglift Jonsered Oy Ab 2005. www-sivut. <URL:<http://www.loglift.com>>. [Luettu: 14.4.2005]
- Logman Oy 2005. www-sivut. <URL:<http://www.logman.fi>>. [Luettu: 7.1.2005]
- Logmer Forest Oy Ltd 2005. www-sivut. <URL:<http://www.logmer.com>>. [Luettu: 14.4.2005]
- Logset Oy Ab 2004. www-sivut. <URL:<http://www.logset.fi>>. [Luettu: 19.8.2004]
- Löfgren, B. 2004. Automation – way to increase productivity in logging. Teoksessa: Uusitalo, J., Nurminen, T. & Ovaskainen, H. (eds.). NSR Conference on Forest Operations 2004 - Proceedings. Hyytiälä Forest Field Station, Finland, 30-31 August 2004. *Silva Carelica* 45: 261-271.
- Metinfo 2004. Metsätilastollinen tietopalvelu. Metsäntutkimuslaitos. www-sivut. <URL:<http://www.metla.fi/metinfo/tilasto/index.htm>>. [Luettu: 28.12.2004]
- Metinfo 2005. Metsätilastollinen tietopalvelu. Metsäntutkimuslaitos. www-sivut. <URL:<http://www.metla.fi/metinfo/tilasto/index.htm>>. [Luettu: 23.3.2005]
- Metso-Metalli Oy 2005. www-sivut. <URL:<http://www.arbro.fi>>. [Luettu: 7.1.2005]
- Metsäkoneiden aistinjärjestelmä, puuston kartoittaminen ja puoliautomaattinen ohjaus 2004. Uudet teknologiset ratkaisut osana puunkorjuun metsäsuunnittelun kokonaisjärjestelmää: teknistaloudellinen ja informaatiologistinen tarkastelu. TKK/Metla.
- Metsätilastollinen vuosikirja 2003. Metsäntutkimuslaitos.
- Metsätilastollinen vuosikirja 2004. Metsäntutkimuslaitos.
- Metsätrans 2005. Metsätrans Tilastot 2004. Metsätrans-lehti 1/2005.
- Mountain Areas in Europe: Analysis of mountain areas in EU member states, acceding and other European countries. Final report. 2004. Nordregio. European Commission contract No. 2002. CE.16.0.AT.136. Saatavilla www-muodossa: <URL:http://europa.eu.int/comm/regional_policy/sources/docgener/studies/pdf/montagne/mount5.pdf>. [Luettu: 13.9.2004]
- Mäki-Hakola, M. 2002. Cointegration of the roundwood markets around the Baltic Sea. An empirical analysis of roundwood markets in Finland, Estonia, Germany and Lithuania. Pellervo Economic Research Institute. Working Papers No. 55. Saatavilla www-muodossa: <URL:<http://www.ptt.fi/tyopaperit/3.pdf>>. [Luettu: 20.10.2004]
- Mälkönen, E., Kukkola, M. & Finer, L. 2001. Energiapuun korjuu ja metsämaan ravinnetase. Teoksessa: Nurmi, J. & Kokko, A. Biomassan tehostetun talteenoton seurannaisvaikutukset metsässä. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 816: 31-52.
- Nguyen Dinh, H. 2002. China's Forests, Global Lessons from Market Reforms. Global Association of Online Foresters. Saatavilla www-muodossa: <URL:<http://www.foresters.org/portal/article.php?sid=244>>. [Luettu: 13.9.2004]
- Niskanen, A. 2002. Luoteis-Venäjä: Talouskasvu ja kansainvälinen rahoitus. 26.7.2002. Tutkimukset ja selvitykset. 3/2002. Valtiovarainministeriö. Saatavilla www-muodossa: <URL:<http://www.vm.fi/tiedostot/pdf/fi/18971.pdf>>. [Luettu: 13.9.2004]
- Nordledens slutraport. Etapp 2. 2003.
- Nordregio 2004. Mountain Areas in Europe: Analysis of mountain areas in EU member states, acceding and other European countries. Final Report. European Commission contract No. 2002.CE.16.0.AT.136. Nordregio – Nordic Center for Spatial Development. January 2004.
- North American Forest Commission (NAFC), FAO:n paikall.osasto 2002. www-sivut. <URL:http://www.fs.fed.us/global/nafc/2002/meeting_info/technical_papers/plantations.doc>. [Luettu: 13.9.2004]
- Nousiainen, I. 1999. Metsäpolttoaineiden tuotantokustannukset. Bioenergian tutkimusohjelman julkaisuja 24. Jyväskylä.
- Oinonen, H. 2005. Paperiteollisuuden investointipäätökset säästöliekillä – Kiina vetää henkeä ja rakentaa päätettyjä projektejaan. Paperi ja Puu. Paper and Timber. Journal of the Finnish forest industries. 2/2005.
- Outokummun Metalli Oy 2005. www-sivut. <URL:<http://www.outokummunmetalli.fi>>. [Luettu: 10.1.2005]

- Oy RCM Harvester Ltd 2005. www-sivut. <URL:http://www.artekno.fi/rcm_harvester>. [Luettu: 7.1.2005]
- Peltola, A. 2003. IT-time for mechanized forest work study. Teoksessa: Iwarsson Wide, M. ja Baryd, B. (eds), 2003. 2nd Forest Engineering Conference, 12–15 May 2003, Växjö, Sweden. Arbetsrapport från Skogforsk Nr. 536.
- Pentin Paja Oy 2005. www-sivut. <URL:<http://www.pentinpaja.fi>>. [Luettu: 7.1.2005]
- Pettersson, A., Utveckling, S. & Eriksson, B. 2003. GPS I markberedaren underlättar förnygringsarbetet. Skogforsk Resultat Nr. 16/2003.
- Pinomäki Ky 2004. www-sivut. <URL:<http://www.spinomaki.fi>>. [Luettu: 19.8.2004]
- Poll, F. 2004. Hugsten er steget i 2003. Dansk skovforening. Saatavilla www-muodossa: <URL:http://www.skovforeningen.dk/nyheder/nyheder_public.asp?newsid=272>. [Luettu: 24.9.2004]
- Ponsse Oyj 2004. www-sivut. <URL:<http://www.ponsse.com>>. [Luettu: 19.8.2004]
- Profi-Forest Oy 2005. www-sivut. <URL:<http://www.profi-forest.fi>>. [Luettu: 7.1.2005]
- ProSilva Oyj 2005. www-sivut. <URL:<http://www.prosilva.fi>>. [Luettu: 7.1.2005]
- Pulkki, R. 2003. Minimizing negative environmental impacts of forest harvesting operations. Teoksessa: Burton, P.J., Messier, C., Smith, D.W. & Adamowicz, W.L. Towards Sustainable Management of the Boreal Forest. NRC Research Press. S. 581-628.
- Ranta, P., Laamanen, V., Pohjolainen, S. ja Väättäin, K. 2004. Hakkuukoneenkuljettajan hiljaisen tiedon näkyväksi tekeminen. Tampereen teknillinen yliopisto. Digitaalisen median instituutti. Hypermedialaboratorio. Raportti 2004:1.
- Rantala, J. 2004. Mechanization and economies of scale in seedling production. Teoksessa: Uusitalo, J., Nurminen, T. & Ovaskainen, H. (eds.). NSR Conference on Forest Operations 2004 – Proceedings. Hyytiälä Forest Field Station, Finland, 30–31 August 2004. *Silva Carelica* 45: 33-39.
- Rieppo, K. & Kariniemi, A. 2001. Korjuukoneiden kehittämismahdollisuudet korjuujäljen kannalta. Metsätehon raportti 118.
- Riikilä, M. Harvennuskoneiden kauppa kiihtymässä. *Metsälehti* 17/2004.
- Rosen, K. 1991. Increased nitrogen leaching under piles of slash – a consequence of modern forest harvesting techniques.
- Ross, I. Shift in process gives edge in industry. Northern Ontario Business 08/2004. Saatavilla www-muodossa: <URL:<http://www.northernontariobusiness.com/Forestry/headlines.asp?159id115-pn=&view=30013>>. [Luettu: 24.8.2004]
- Rummukainen, A., Heikkilä, J., Sikanen, L., Aarnio, J., Mäkinen, P. ja Tahvanainen, T. 2003. Puunhankinnan tienviitat – Tutkimustarpeet muuttuvassa toimintaympäristössä. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 896.
- Rummukainen, A., Tervo, L. & Kautto, K. 2004. Mechanical direct seeding in Finland. Teoksessa: Uusitalo, J., Nurminen, T. & Ovaskainen, H. (eds.). NSR Conference on Forest Operations 2004 – Proceedings. Hyytiälä Forest Field Station, Finland, 30–31 August 2004. *Silva Carelica* 45:20-25.
- Russian forests. 2003. Ministry of natural resources of the Russian federation state forest service.
- S & A Nisula Oy 2005. www-sivut. <URL:<http://www.sanisula.fi>>. [Luettu: 7.1.2005]
- Saarinen, V.-M. 2003. Ennakkotuloksia maanmuokkaus- ja istutuskonetutkimuksista. Metsäntutkimuslaitos, Suonenjoen tutkimusasema.
- Saarinen, V.-M. 2004. Productivity and quality of work with the Ecoplanter and Bräcke planting machines. Teoksessa: Uusitalo, J., Nurminen, T. & Ovaskainen, H. (eds.). NSR Conference on Forest Operations 2004 – Proceedings. Hyytiälä Forest Field Station, Finland, 30–31 August 2004. *Silva Carelica* 45: 57-63.
- Saksa, T., Tervo, L. & Kautto, K. 2002. Hakkuutähde ja metsänuudistaminen. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 851.
- Salmela, S.-L. 2004. Timberjack tahtoo voittajaksi. *Sanomalehti Karjalainen* 27.11.2004.
- Sampo-Rosenlew Oy 2004. www-sivut. <URL:<http://www.sampo-rosenlew.fi>>. [Luettu: 19.8.2004]
- Sinclair, E., Lejon, B. & Albrektson, A. 1992. Plantöverlevnad och tillväxt efter helytredsutnyttjande – sammanställning av fältförsök. Rapport från Vattenfall Utvecklim AB. Projekt Bioenergi. Nr. 7.

- Skogforsk 2004. www-sivut.
<URL:http://www.skogforsk.se/templates/sf_ProjectStartPage_____3998.aspx>. [Luettu: 13.9.2004]
- Skogsstatistisk årsbok 2004. Swedish statistical yearbook of forestry. Skogsstyrelsen.
- Skov & Landskab. 2004. Forskningscentret for Skov og Landskab. Saatavilla www-muodossa:
<URL:<http://www.fsl.dk/Emner/Skov/Energitrae.aspx>>. [Luettu: 29.9.2004]
- Tarkka, M. 2004. Logistic solution for forwarding – Timberjack’s solution for the missing link in harvesting logistics. Esitelmä. Forest IT 2004, September 1–2, 2004. Jyväskylä and Jämsänkoski, Finland.
- Technology Road Map for Forest Operations in Canada. Special Report No. SR-117. December 1996. Forest Engineering Research Institute of Canada. Saatavilla www-muodossa:
<URL:<http://strategis.ic.gc.ca/epic/internet/infif-if.nsf/en/fb01037e.html>>. [Luettu: 13.9.2004]
- Tekes 2005. www-sivut. <URL:<http://www.tekes.fi>>. Julkaisuista ja teknologiaohjelmista saatavilla www-muodossa:
<URL:<http://akseli.tekes.fi/Resource.phx/community/archive/kk200409.htm>>.
<URL:<http://akseli.tekes.fi/Resource.phx/plaza/tekes/enym-hajautetut.htm>>.
<URL:<http://www.tekes.fi/ohjelmat/masi.htm>>.
<URL:<http://akseli.tekes.fi/Resource.phx/plaza/tekes/bike-wood.htm>>. [Luettu: 13.9.2004]
- The Japan Forest Engineering Society 2004. www-sivut.
<URL:<http://jfes.ac.affrc.go.jp/english/mechaniz.html>>. [Luettu: 13.9.2004]
- The State of the World's Forests 2001. Food and Agriculture Organisation of United Nations. Rome, 2001. Saatavilla www-muodossa:
<URL:http://www.fao.org/docrep/003/y0900e/y0900e03.htm#P0_0>. [Luettu: 13.9.2004]
- Thor, M. 2002. Kostnadssänkningen planar ut – nu behövs ny teknik. Skogforsk Nytt Nr. 4.
- Timberjack Oy 2004. www-sivut. <URL:<http://www.timberjack.com>>. [Luettu: 19.8.2004]
- Toppinen, A. & Toropainen, M. (toim.) 2004. Puun tuonti Suomeen ja Itämeren alueen metsäsektorin kehitys. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 925.
- Tynkkynen 1974. Työvaikeustekijöiden vaikutus lautasauraukseen. Metsätehon tiedotus 330.
- Uusitalo, J. 2003. Metsäteknologian perusteet. Metsälehti Kustannus.
- Valtra Oy 2004. www-sivut. <URL:<http://www.valtra.fi>>. [Luettu: 19.8.2004]
- Vartiamäki, T. 2003. Koneellinen metsänistutus vuonna 2003, kyselytutkimuksen tulokset. Metsätehon raportti 154.
- Velj. Moisio Oy 2005. www-sivut. <URL:<http://personal.inet.fi/business/moisio/>>. [Luettu 10.1.2005]
- Wikar Oy Ab 2005. www-sivut. <URL:<http://www.kronos.fi>>. [Luettu: 7.1.2005]
- World Forest Institute 2004. www-sivut.
Brasilia: <URL:<http://www.worldforestry.org/wfi/WF-braz.htm>>.
Australia: <URL:<http://www.worldforestry.org/wfi/WF-aus.htm>>. [Luettu: 13.9.2004]
- Vähänikkilä, A., Sorainen, E., Rytönen E. & Pasanen, T. 2004. Metsäkoneiden tärinä ja melu. Kuopion aluetyöterveyslaitos, fysiikan laboratorio.
- Väätäinen, K., Ovaskainen, H. Ranta, P. ja Ala-Fossi, A. 2005. Hakkuukoneenkuljettajan hiljaisen tiedon merkitys hakkuutulokseen työpistetasolla. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 937.
- Ylinen, J. 2004. Wood procurement and technology in changing environment of Europe and the Russia. Esitelmä: NSR-conference on forest operations 2004. Hyytiälä, Forest Field Station, Juupajoki, Finland. 30–31.8.2004. Teoksessa: Uusitalo, J., Nurminen, T. & Ovaskainen, H. (eds.). NSR Conference on Forest Operations 2004 – Proceedings. Hyytiälä Forest Field Station, Finland, 30–31 August 2004. Silva Carelica 45: 11-17.

Haastattelut ja keskustelut

- Forest Engineering Research Institute of Canada (FERIC), Kanada
Heidersdorf, Ernie, tutkimusjohtaja
Gingras, Jean-Francois, tutkija [Haastateltu 1.3.2005]

- Freiburgin yliopisto, Saksa
Becker Gero, professori [Haastateltu 30.3.2005]
Lewark Siegfried, professori [Haastateltu 31.3.2005]
- Göttingenin yliopisto, Saksa
Jacke Herbert, professori [Haastateltu 7.4.2005]
- Helsingin yliopisto
Mikkonen Esko, professori [Haastateltu 11.1.2005]
- Incap Furniture Oy
Huikuri Sauli, toimitusjohtaja
Kärnä Timo, ostopäällikkö
Lassila Mikko, verkosto- ja kehityskoordinaattori [Haastateltu 14.1.2005]
- Joensuun Tiedepuisto Oy, Puu- ja metsäosaamiskeskus
Huittinen Juhani, MH [Haastateltu 4.1.2005]
- Kesla Oyj
Lehikoinen Mikko, markkinointijohtaja [Haastateltu 5.10.2004]
- Komatsu Forest Oy
Alahuhtala Jari, toimitusjohtaja
Siuro Antero, viestintäpäällikkö [Haastateltu 7.10.2004]
- Koneyrittäjien liitto ry
Jaakkola Simo, varatoimitusjohtaja [Haastateltu 11.1.2005]
- Kuratorium für Waldarbeit und Forsttechnik e.V. Groß-Umstadt, Saksa
Hauck Bernhard, tutkija
Nick Lars, tutkija [Haastateltu 4.4.2005]
- Lakeheadin yliopisto, Kanada
Pulkki Reino, professori [Haastateltu 3.2.2005]
- Lappeenrannan teknillinen yliopisto (LTY)
Mikkonen Arto, professori
Verho Arto, professori [Haastateltu 10.11.2004]
- Metsäliitto Osuuskunta
Lilleberg Risto, kehityspäällikkö [Haastateltu 16.9.2004]
- Metsäntutkimuslaitos (METLA)
Uusitalo Jori, tutkimusaseman johtaja [Haastateltu 18.10.2004]
Harstela Pertti, professori [Haastateltu 24.1.2005]
Gerasimov Yuri, varttunut tutkija [Keskusteltu 7.9.2004]
- Metsäteho Oy
Imponen Vesa, erikoistutkija
Rieppo Kaarlo, tutkija [Haastateltu 23.11.2004]
- Petroskoin valtionyliopisto, metsäinsinööritiedekunta, Venäjä
Siounev Vladimir, professori [Haastateltu 28.10.2004]
- Plustech Oy
Peltola Antti, kehityspäällikkö [Haastateltu 7.10.2004]
- Ponsse Oyj
Tiitinen Arto, toimitusjohtaja [Haastateltu 25.1.2005]
Mononen Jari, viestintäpäällikkö [Keskusteltu 25.1.2005]
- Skogforsk, Ruotsi
Thor Magnus, ohjelmajohtaja
Bergkvist Isabelle, tutkija
Hallonborg Ulf, tutkija
Löfgren Björn, tutkija
Norden Berndt, tutkija [Haastateltu 14.2.2005]
- Stora Enso Metsä
Honkanen Sami, logistiikkajohtaja
Roininen Kimmo [Haastateltu 17.12.2004]

Teknillinen Korkeakoulu (TKK)

Visala Arto, professori [Haastateltu 18.10.2004]

Teknologian kehittämiskeskus (TEKES)

Laurila Timo, teknologiapäällikkö [Haastateltu 23.11.2004]

Timberjack Oy, Latinalainen Eurooppa, Ranska

Martin Sylvain, operations manager [Haastateltu 14.3.2005]

Totaldesign Oy

Koivurova Heikki, teollinen muotoilija [Haastateltu 4.1.2005]

Työtehoseura ry (TTS)

Ripatti Pekka, tutkimusjohtaja

Jouhiaho Aki, tutkija

Tanttu Vesa, tutkija [Haastateltu 11.1.2005]

UPM Metsä

Antikainen Reijo, piiripäällikkö

Kärkkäinen Kauko, metsätalospäällikkö [Haastateltu 3.12.2004]

Valtra Oy Ab

Mattila Marko, aluepäällikkö [Keskusteltu 12.1.2005]

Vapo Oy Energia

Ruha Tommi, liiketoimintajohtaja [Haastateltu 18.10.2004]

Venäjän metsätalouden täydennyskoulutusinstituutti, Venäjä

Petrov Anatoly, rehtori [Haastateltu 4.11.2004]

VTT Prosessit

Leinonen Arvo, ryhmäpäällikkö

Erkkilä Ari, erikoistutkija [Haastateltu 6.10.2004]

Liite 1

Hakkuutähdepotentiaalin hyödyntämisen vaatima konekanta. Kanto- ja juuripuussa mukana sekä nykyisten hakkuiden että hakkuusäästöjen korjuupotentiaali.

Maa	Kaato- ja koneet, kpl	Kavukoneet, kpl	Metsätraktori, kpl			Siirrettävät hakkurit, kpl			Häkeautot, kpl					
			Nykyiset hakkuut	Hakkuusäästö	Kanto- ja juuripuun	Nykyiset hakkuut	Hakkuusäästö	Kanto- ja juuripuun	Nykyiset hakkuut	Hakkuusäästö	Kanto- ja juuripuun			
	Yht.	Yht.	Yht.	Yht.	Yht.	Yht.	Yht.	Yht.	Yht.	Yht.	Yht.	Yht.	Yht.	
Alankomaat	8	5	6	3	3	12	6	3	3	12	12	5	5	22
Belgia	10	11	33	3	7	43	33	3	8	44	67	7	13	87
Espanja	167	54	52	56	31	139	52	56	37	145	103	111	61	275
Irlanti	15	9	18	5	5	28	18	5	6	29	37	10	10	57
Iso- Britannia	57	33	59	19	19	97	59	19	22	100	119	38	37	194
Italia	77	0	21	26	0	47	21	26	0	47	42	52	0	94
Itävalta	97	16	90	32	9	131	90	32	11	133	179	65	18	262
Kreikka	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kypros	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Latvia	44	22	30	15	13	58	30	15	15	60	59	29	25	113
Liettua	32	14	21	11	8	40	21	11	10	42	42	22	16	80
Luxemburg	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Malta	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Portugali	13	22	42	4	12	58	42	4	15	61	83	8	25	116
Puola	86	2	114	29	1	144	114	29	2	145	229	57	3	289
Ranska	284	92	270	95	52	417	270	95	63	428	539	190	105	834
Ruotsi	239	296	469	80	168	717	469	80	201	750	563	96	201	860
Saksa	457	89	188	152	51	391	188	152	61	401	377	305	101	783
Slovakia	52	0	27	17	0	44	27	17	0	44	54	35	0	89
Slovenia	24	0	12	8	0	20	12	8	0	20	24	16	0	40
Suomi	210	240	356	70	136	562	356	70	163	589	427	84	163	674
Tanska	13	7	14	4	4	22	14	4	5	23	27	9	8	44
Tsekki	299	52	94	100	30	224	94	100	35	229	188	200	59	447
Unkari	27	15	19	9	9	37	19	9	10	38	38	18	17	73
Viro	0	10	20	0	5	25	20	0	7	27	40	0	11	51
EU25-maat yht.	2211	990	1954	737	561	3256	1954	737	673	3367	3247	1354	879	5484