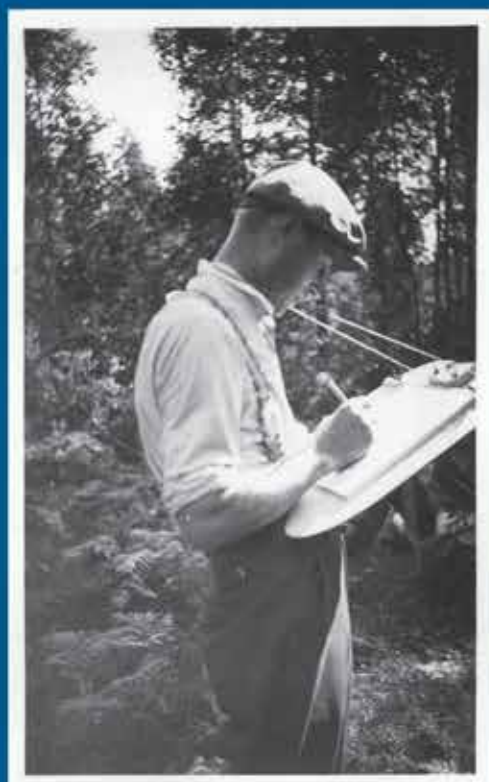




METSÄTEHO 80 VUOTTA

Tehoa ja kestävyyttä puuhuoltoon

Jarmo Hämäläinen

METSÄTEHO 80 VUOTTA
Tehoa ja kestävyyttä puuhuoltoon



METSÄTEHO 80 VUOTTA

Tehoa ja kestävyyttä puuhuoltoon

Jarmo Hämäläinen

Kustantaja Metsäteho Oy

Sisällys

ESIPUHE	7
LUKIJALLE	8
JOHDANTO	11
<i>Metsäteollisuus sotatalouden aikaan</i>	11
<i>Metsätehon perustaminen 1945</i>	12
<i>Metsätehon omistus ja hallinto</i>	16
Omistus ja organisointi	16
Rahoitus	19
Metsätehon johtajat	20
Henkilöstö	20
Toimitilat	21
Tehtävät	22
VUODET 1945-1950	28
<i>Metsäteollisuus jälleenrakennuskaudella</i>	28
<i>Metsätehon ensiaskeleet</i>	30
Palkkaperusteet kuntoon	30
Hevoskuljetukseen lisää tehoa	33
Autokuljetus valtaa alaa	35
Uiton ja rautatiekuljetuksen tehostaminen	36
Riittääkö puu?	37
Koneellistaminen kangertelee	38
VUODET 1951-1975	42
<i>Metsäteollisuus Korean suhdanteesta öljykriisiin</i>	42
<i>Metsäteho koneellistamisen kätilönä</i>	44
Moottorisahoilla tuottavuushyppy	44
Työläs kuorinta koneellistetaan	47
Maataloustraktorit avuksi	48
Kuormatraktorit ratkaisuksi	51
Hakkuun koneellistaminen liikkeelle	57
Nuppiautoista puutavararekoiksi	62
Puutavaran mittaaminen uusiksi	70

VUODET 1976 – 2000	76
<i>Metsäteollisuus öljykriisistä paperin huippukauteen</i>	<i>76</i>
<i>Metsäteho kasvun tukena</i>	<i>80</i>
Kuormainharvesterin voittopolku	80
Harvennukset haasteena.....	87
Maksuperustetutkimusten joutsenlaulu.....	91
Puutavaran mittaus hakkuukoneisiin	92
Kohti tuotelähtöistä puunhankintaa	95
Hakkuutähteet hyötykäyttöön	97
Lisää puuta autokuormiin	102
Uutta teknologiaa tehdasmittaukseen	104
Puutavaran laadunhallinnan uudet keinot	106
Kustannustehokkuutta metsänuudistamiseen.....	109
Työkaluja vihreään muutokseen	113
 VUODET 2001 - 2024	 122
<i>Metsäteollisuus murroksessa</i>	<i>122</i>
<i>Metsäteho bio- ja digitaloudessa</i>	<i>124</i>
Energiapuun hankinnan uudet menetelmät	125
Korjuuseen tuottavuutta uusin keinoin	127
Puut pois pehmeiltä mailta.....	129
Ympäristötehokkaampaa kaukokuljetusta	131
Metsätieto tehokäyttöön.....	136
Tiestötiedot haltuun.....	139
Tietostandardit ja rajapinnat kuntoon	140
Hakkuukonedatan lentoonlähö	142
Uusia välineitä puunkorjuun laadun hallintaan.....	145
Ihminen ja osaaminen keskiöön.....	146
Puutavaran mittausta automatisoidaan.....	150
Apuvälineitä kestävyuden hallintaan	154
 YHTEENVETO	 160
 LIITTEET	 164
 LÄHTEET	 171

ESIPUHE

Metsäteho perustettiin Suomen Puunjalostusteollisuuden Keskusliiton metsätyöntutkimustoimistoksi 21.3.1945. Sodasta toipuvan metsäteollisuuden piti saada puuhuoltonsa toimimaan ja sen avuksi päätettiin perustaa yhteinen kehittämissyksikkö. Tehtävänä oli ”tutkia sellaisia kysymyksiä, jotka eniten vaikuttivat puutavaran valmistukseen, käsittelyyn ja kuljetukseen ja joiden tarkoituksenmukainen järjestely siis olisi omiaan tuomaan metsätöiden kulkuun enemmän varmuutta töiden suorituksen taloudellisuuden samalla parantuessa”.

Ensivaiheessa keskityttiin metsätyön palkkaperusteisiin ja kohta myös ”rationalisointiin”. Tutkimus- ja kehittämistyön tehtäväkenttä on ajan saatossa laajentunut puun hankinnasta puuntuottamisen ja kestävyys hallinnan kysymyksiin. Puun hankinnan menetelmien ja teknologian kehittäminen on kuitenkin säilynyt koko ajan keskiössä.

Metsätehon organisaatiomuodossa ja rahoittajapohjassa on niin ikään tapahtunut muutoksia. Nykyisin yhtiömuotoisena toimivan Metsäteho Oy:n osakkaisiin kuuluvat suurimpien metsäteollisuusyhtiöiden lisäksi Metsähallitus ja Yksityismetsätalouden Työnantajat. Hankekohtainen rahoittaja- ja yhteistyöverkosto kattaa laajasti metsäalan julkisia ja yksityisiä toimijoita.

Puunhankinnan teknologiassa ja menetelmissä aikaansaatu huimaa kehitystä voidaan perustellusti nimittää menestystarinaksi. Tämä menestystarina on rakennettu yhdessä alan toimijoiden kanssa, joihin kuuluvat mm. puunhankintaorganisaatiot, kone- ja autokalustovalmistajat, urakointiyritykset, järjestelmätoimittajat, metsänomistajat sekä alan T&K-organisaatiot ja oppilaitokset.

Metsäteho on ollut koko 80-vuotisen historiansa ajan puuhuollon kehittämisen avaintoimijoita. Merkkipäivän kunniaksi laaditussa juhlakirjassa kuvataan puuhuollon tärkeimmät kehitysvaiheet ja valotetaan Metsätehon roolia niissä. Taustaksi on kuvattu Suomen metsäteollisuuden keskeiset kehityspiirteet, jotka ovat osaltaan suunnanneet puuhuollon kehittämistä.

Kirjan on kirjoittanut metsänhoitaja Jarmo Hämäläinen, joka teki työuransa tutkimus- ja tietohallintotehtävissä Metsätehossa. Hän jäi eläkkeelle tutkimusjohtajan tehtävästä vuonna 2020.

Heikki Pajuoja
Toimitusjohtaja
Metsäteho Oy

LUKIJALLE

Tämän kirjan tarkoituksena on piirtää kokonaiskuva metsäteollisuuden puuhuollon kehityksestä 1940-luvulta näihin päiviin. Puuhuolto-käsite kattaa tässä sekä puuraaka-aineen hankinnan tuotantolaitoksille että puuntuottamisen. Kirjassa keskitytään juhluvuottaan viettävän Metsätehon toimintakenttään. Pääpaino on sellaisissa menetelmä- ja teknologiahyppyissä, joiden voidaan katsoa eniten parantaneet puuhuollon tuottavuutta, kustannustehokkuutta ja kestävyys hallintaa.

Puhuolto on toki kehittynyt muullakin tavalla. Esimerkiksi puunhankinnan organisointia ja puukaupan menettelyjä on uudistettu moneen kertaan vuosikymmenten mittaan. Niihin ei kuitenkaan tässä kirjassa sanottavasti puututa, koska ne eivät ole kuuluneet metsäyhtiöiden yhteisen kehittämistyön piiriin.

Metsätehosta on laadittu neljä historiikkiluonteista julkaisua, joita olen luonnollisesti työssäni hyödyntänyt. Ne ovat kirjoittaneet Vöry (1965), Hakkarainen (1970), Kahala (1996) sekä Pajuoja ja Hämäläinen (2015). Lisäksi Marttila (1995) on kirjoittanut Metsätehon 50-vuotisjuhlajulkaisun nimellä ”Tehoa metsään”. Metsätehon työt ja aikaansaannokset on dokumentoitu kattavasti omiin julkaisusarjoihin ja muihin tulosaineistoihin. Ne ovat olleet keskeisin lähdeaineisto. Ja jotain on jäänyt mieleen oman työurankin varrelta.

Julkaisuja onkin kertynyt huikea määrä, yhteensä lähes 2000 julkista tutkimusraporttia, kuutisenkymmentä painettua opasta sekä viime aikoina ison joukon sähköisiä koulutusaineistoja. Kaikki tulosaineistot – yrityskohtaisia raportteja lukuun ottamatta – ovat käytettävissä Metsätehon verkkosivuilla sähköisessä muodossa. Lisäksi Metsäteho on tuottanut kymmeniä elokuvia ja diasarjoja sekä lukemattoman määrän erilaisia kurssiaineistoja ja valokuvia. Suuri osa Metsätehon filmeistä ja valokuvista on taltioitu digitaalisessa muodossa Suomen Metsämuseo Lustoon.

Puunhankintateknologian kehitystä on toki kuvattu aiemminkin joko erikseen tai osana metsäteollisuuden vaihteita. Esimerkkeinä ansiokkaista julkaisuista mainittakoon Hakkilan ym. (1989), Heiskasen ym. (2019), Kahalan ym. (1996), Kahiluodon (1986), Konttisen ja Drushkan (1997), Lindroosin (1993) sekä Pakkasen ja Leikolan (2010, 2011) teokset. Niitä olen käyttänyt apuna kokonaiskuvan muodostamisessa.

Puhuollon kehittämistä koskevien lukujen taustaksi olen kuvannut lyhyesti metsäteollisuuden kehityskulkuja. Lähteinä olen käyttänyt lähinnä

metsäteollisuuden historiaa käsitteleviä koosteteoksia ja tilastojulkaisuja. Keskeisiä lähteitä ovat olleet Aunesluoman (2007), Jensen-Eriksenin (2007) ja Kuisman (2007) teokset Metsäteollisuuden maa -kirjasarjasta, Ahvenaisen Suomen Sahateollisuuden historia (1984), Variksen toimittamat Sahateollisuus- ja Puulevyteollisuus -kirjat (2017), Kaupin ja Kettusen Vihreä Kultakausi-kirja (2022) sekä Luonnonvarakeskuksen, Metsäteollisuus ry:n, Tullin ja Tilastokeskuksen tilastot.

Halusin kuvata puuhuollon kehitystä ja Metsätehon toimintaa eri aikakausina hyvin konkreettisesti, esimerkein. Koska Metsäteho on ehtinyt olemaan monessa mukana, tutkimusesimerkkejä kertyi huima määrä, vaikka yritinkin parhaani mukaan keskittyä pääasiallisiin kehityskuluihin. Pitkänlainen lähdeluettelo edustaa noin viidennestä Metsätehon julkaisuista. Yksittäisten T&K-hankkeiden vaikutus kehityskuluihin on tietenkin rajallinen. Mutta kaikki ovat tuottaneet jotain aineksia siihen puuhuollon menestystarinaan, jonka olen pelkistänyt yhteenvetoon.

Haluan vielä korostaa, että käytännöllisesti katsoen jokaisessa hankkeessa on ollut mukana iso joukko omistajayhtiöitä ja muita tärkeitä T&K-kumppaneita. Osallistujat on tunnollisesti taltioitu tutkimusjulkaisuihin, mutta en ole niitä tässä luettavuuden takia toistanut kuin esimerkinluonteisesti.

Kirja on jaettu neljään aikajaksoon, joihin päädyin jonkinlaisena kompromissina metsäteollisuuden ja puuhuollon kehityskulkujen perusteella. Olen käsitellyt eri kausien rajavyöhykettä joustavasti silloin kun se on ollut asiakokonaisuuden kannalta tarkoituksenmukaista.

Seuraavat Metsätehon nykyiset ja entiset tutkijat ovat pyynnöstäni kommentoineet eri aihealueita koskevia osioita käsikirjoituksesta: Antti Korpi-lahti, Kalle Kärhä, Timo Melkas, Markku Mäkelä, Heikki Ovaskainen, Asko Poikela, Kirsi Riekkä, Tapio Räsänen, Juha-Antti Sorsa, Markus Strandström, Pirjo Venäläinen ja Jouko Örn. Esitän lämpimät kiitokset ystävällisestä paneutumisesta tekstiin sekä arvokkaista kommentteista ja parannusehdotuksista. Kaikista kirjan asiavirheistä – joita luultavasti on mukaan livahtanut - olen joka tapauksessa yksin vastuussa. Pahoittelut niistä.

Metsätehon viestintäasiantuntija Jade Sivén on auttanut merkittävästi kirjan valokuvien hankinnassa ja graafien tuottamisessa. Jyrki Valkeala Bookcoverilta huolehti kirjan taitosta ja Reijo Pajuoja vastasi tekstin oikoluvusta. Esitän nöyrimmät kiitokset kaikille kirjan teossa avustaneille.

Tämän juhlakirjan laatiminen on ollut hyvin innostava tehtävä, kiitän luotamuksesta. Metsätehon toimitusjohtaja Heikki Pajuoja ja tutkimusjohtaja Jukka Malinen ovat toimineet työn ohjaajina. Kiitän heitä olennaisesta avusta kirjan suunnittelussa sekä hyödyllisistä kommentteista ja tuesta työn kaikissa vaiheissa. Samalla esitän Metsäteholle onnittelut 80-vuotispäivän johdosta ja toivotan parhainta menestystä tuleville vuosille!

Lopuksi kiitän lämpimästi vaimoani Riittaa ymmärtäväisestä ja kannustavasta suhtautumisesta tähän ponnistukseen, joka toi taloon ajatuksissaan harhailevan miehen.

Sipoossa 8.1.2025

Jarmo Hämäläinen

JOHDANTO

Metsäteollisuus sotatalouden aikaan

Suomalainen metsäteollisuus oli 1930-luvun jälkipuoliskolla hyvässä viireessä. Suomi oli Euroopan suurin sahatavaran viejä ja muutkin päätuotteet – sellu, puuhioke ja sanomalehtipaperi - kävivät hyvin kaupaksi maailmalla. Metsäteollisuuden osuus Suomen koko viennin arvosta oli ratkaiseva, yli 80 %. Lamasta oli toivuttu, koneita uusittiin ja vientiä pyrittiin monipuolistamaan korkeamman jalostusasteen paperituotteisiin. Toisen maailmansodan syttyminen iski teollisuuteen rajusti. Se romautti tuoteviennin ja lamaannutti teollisuuden kehityksen lähes vuosikymmeneksi (1).

Talvisodan rauhassa 1940 menetettiin Neuvostoliitolle merkittävä osa tuotantokapasiteetista. Menetykset vastaisivat tuoteryhmästä riippuen 8 - 40 %:n osuutta vuoden 1938 vientimääristä. Tehtaiden lisäksi menetettiin isoja voimalaitoksia, mikä rasitti pahoin Suomen puolelle jäänyttä tuotantoa. Puuhuolto vaikeutui, kun rajan taakse jäi runsas kymmenen prosenttia maan metsävaroista. Lisäksi Saimaan kanavayhteyden ja satamien menetys heikensi kuljetusoloja (1, 7).

Välirauhan ja jatkosodan aikana metsäteollisuuden vienti alkoi elpyä Saksaan ja sen valtaamiin maihin. Sotatarvikkeiden ja muun sotataloutta tukevan tuotannon kysyntä vientiin ja kotimarkkinoille kasvoi ripeästi. Tehtailla oli tuotantovaikeuksia etenkin polttoaineiden, työvoiman ja kuljetusvälineiden puutteen takia.

Raakapuun ja työvoiman saatavuus olivat sota-aikana metsäteollisuuden suurimpia ongelmia. Puulla oli ratkaiseva rooli ja sitä tarvittiin paljon muihin tarpeisiin: teollisuuden energiaksi, lämmitykseen, höyryvetureiden ja autojen polttoaineeksi sekä moniin korvikeaineisiin. Puupulaa kärjisti se, että sodan alusvuosina tuontipolttoaineiden – valtaosin kivihiilen – osuus oli lähes puolet polttoaineiden kulutuksesta, mikä oli nyt korvattava haloilla (7).

Niin metsissä kuin tehtaillakin jouduttiin pärjäämään pitkälti tilapäistyövoiman varassa. Olihan työvoimasta suuri osa, enimmillään 600 000 miestä ja naista, sotatehtävissä. Ja samoin oli kuljetuskaluston laita.

Valtiovalta pyrki jakamaan niukkuutta ja säätelemään puun käyttöä. Metsäteollisuus pääsi osallistumaan valtiovallan linjauksiin, koska sillä oli ratkaiseva rooli maan taloudessa. Välttämättömiä vientituloja kun ei tuolloin muilta aloilta juuri herunut. Kriisiaikana yritysten yhteistyötä tiivistettiin ja sen myötä Suomen Puunjalostusteollisuuden Keskusliiton rooli yhteistyöfoorumina ja edunvalvojana vahvistui (1).

Metsätehon perustaminen 1945

Metsätehon perustaminen maaliskuussa 1945 oli yksi metsäteollisuuden tiivistyneen yhteistyön ilmentymä. Toimitusjohtaja Jaakko Vöry kuvaa perustamisen taustoja Metsätehon 20-vuotishistoriikissa seuraavasti: ”Ajatus erityisen, metsäteollisuuden oman metsätöiden tutkimustoimiston ja rationaalisoimiskeskuksen perustamisesta oli syntynyt jo useita vuosia aikaisemmin. Talvisodan jälkeen metsätöitä luonnehti työvoiman niukkuus ja metsätyötapojen epäyhtenäisyys, mikä aiheutti suurta liikkuvuutta parempia ansioita tavoittelevien metsätyöntekijäin keskuudessa.

Nämä ilmiöt olivat keskustelun kohteina Yksityismetsänhoitajayhdistyksen syyskokouksessa joulukuussa 1940. Yhdistyksen aloitteesta Suomen Puunjalostusteollisuuden Työnantajaliitto asetti vuoden 1941 alussa komitean laatimaan yhdenmukaisia palkanormeja metsänhakkuu- ja ajotöille.” Mainittu Yksityismetsänhoitajayhdistys oli nykyisen Teollisuuden Metsänhoitajat ry:n edeltäjä.

Perustettu komitea laati asiasta mietinnön ja luetteli siinä suuren joukon sellaisia metsätöitä, ”joiden palkkaperusteet eivät perustuneet suoritettuun työvaikeustekijäin tutkimiseen vaan kokemusperäiseen sormituntumaan.” Komitea suosittelikin järjestelmällisten palkkaperustetutkimusten suorittamista. Tavoitteena oli oikeudenmukainen urakkapalkkaus, jossa metsätyöntekijän olisi mahdollista päästä samantasoiseen päiväansioon työskentelyolosuhteista riippumatta. Tämä edellytti, sitä että eri työvaikeustekijöiden vaikutus työn ajanmenekkiin tunnettiin ja voitiin ottaa yksikköpalkassa huomioon. Sota-aika kuitenkin viivytti asiassa etenemistä.

Metsätehon perustaminen käynnistyi toden teolla syksyllä 1944. Suomen Puunjalostusteollisuuden Keskusliiton metsäosaston silloinen päällikkö, professori Eino Saari esitteli Keskusliiton metsäpoliittisen valiokunnan kokouksessa 1. 9. 1944 muistion ”Metsäteollisuuden osallistumisesta metsätöiden rationalisoimiseen” (16).

Muistiossa tarkasteltiin eri vaihtoehtoja metsätöiden ”järjentämistyön” organisoimiseksi vastaamaan paremmin teollisuuden tarpeita. Yhtiöiden oman kehittämistoiminnan lisäksi metsätyöhön liittyviä tutkimusta tehtiin tuohon aikaan Metsätieteellisessä tutkimuslaitoksessa, Työtehoseurassa, Helsingin Yliopistossa ja Valtion teknillisessä tutkimuslaitoksessa. Muistiossa arvioitiin, että valtion rahoituksen niukkuus rajoitti metsäntutkimusta, eikä lisärahoitusta ollut vallitsevassa tilanteessa odotettavissa.

Johtopäätöksenä todettiin, että ”on ilmeistä, että vain metsäteollisuuden rahallinen ja muu tuki tekee työn mahdolliseksi sellaisessa muodossa kuin lähiajat vaativat”. Päävaihtoehtoina olivat teollisuuden osallistuminen olemassa olevien laitosten rahoitukseen ja ohjaukseen tai oman tutkimusyksikön perustaminen. Oman yksikön etuina nähtiin etenkin mahdollisuus ”toiminnan suuntaamiseen niihin tehtäviin, jotka teollisuus katsoo ajankohtaisimmiksi ja tärkeimmiksi” sekä vapaammat kädet tarkoituksenmukaiseen resurssointiin. Esimerkkinä tästä mallista mainittiin Ruotsin metsäteollisuuden aiemmin perustamat kehittämiskeskukset.

Metsäpoliittinen valiokunta päätyi kokouksessaan 22.11.1944 kannattamaan oman tutkimushenkilöstön palkkaamista puunjalostusteollisuuden palvelukseen ”metsätyötehoasiain hoitoa” varten (17). Hallinnolliseksi kotipesäksi tuli Puunjalostusteollisuuden Keskusliitto, jonka hallitus myönsi toiminnan käynnistämistä varten määrärahan vuodelle 1945. Kun henkilökuntaa oli saatu palkatuksi ja toiminta muutenkin käyntiin, Keskusliiton yhteyteen syntyi näin oma toiminnallinen yksikkö, Suomen Puunjalostusteollisuuden Keskusliiton Metsätyöntutkimustoimisto (METSÄTEHO). 1950-luvun alussa virallisen nimen ”Metsätyöntutkimustoimisto” muuttui ”Metsätyöntutkimusosastoksi”.



Metsätehotoimikunta työmaaretkeilyllä Sotkamossa vuonna 1952.

Metsäpoliittinen valiokunta asetti helmikuussa 1945 toimintaa ohjaamaan ja valvomaan toimikunnan, jonka väliaikaisena nimenä oli ”Teollisuuden metsätöiden järjestämistoimikunta”. Viralliseksi nimeksi otettiin 1.11.1945 alkaen Suomen Puunjalostusteollisuuden Keskusliiton Metsätehotoimikunta. Toimikunta koostui suurimpien jäsenyritysten metsäpäälliköistä eri osista maata sekä Keskusliiton, Puunjalostusteollisuuden Työnantajaliiton ja Puutyöväen Liiton edustajista. Sen ensimmäiset jäsenet olivat: Professori Eino Saari Keskusliiton edustajana (puheenjohtaja), Peräpohjolan edustajana MH J. Sundqvist, Kainuun edustajana MH I. Ebeling (varamiehenä MH Y.O. Parviainen), Itä-Suomen edustajina metsäneuvokset U. Lehtisalo ja O.V. Luostarinen (varamiehinä MH A. Achté ja MH A.I. Ronkanen), Päijänteen edustajina MH Bj. Bützow (varamiehenä MH H. Gripenberg) ja MH J. Karttunen (varamiehenä prof. M. Jalava), Länsi-Suomen edustajina metsäneuvos E. Anttilainen (varamiehenä MH V. Paananen) ja MH G.A. Nyberg (varamiehenä MH E. Cronström). Työnantajaliiton edustajana toimi MH T. Koskelo (varamiehenä MH K.P. Pakkala) ja metsätyöntekijäin edustajana Suomen Puutyöväen Liiton sihteeri A. Heinonen (varamiehenä liiton puheenjohtaja J. Virtanen).

Toimikunta piti ensimmäisen kokouksensa 21.3.1945, jota pidetään Metsätehon perustamispäivänä. Toimikunnan puheenjohtajaksi valittiin prof. E. Saari ja työvaliokuntaan nimettiin puheenjohtajan lisäksi metsänhoitajat Bützow ja Koskelo. Toimikunta valitsi ensitöikseen avoimeksi julistettuihin ”nuoremman metsänhoitajan” paikkoihin 1.5.1945 alkaen Kalle Putkiston ja Arno T.O. Tuovisen. Kysymys toiminnanjohtajan valitsemisesta jäi vielä pöydälle. Muita asiakohtia olivat mm. työtehokurssin järjestäminen ja yhteistyön organisointi muiden tutkimustahojen kanssa (18).

Seuraavassa 10.4.1945 pidetyssä kokouksessa linjattiin jo työohjelmaa. Tutkimustyö päätettiin ”ensin kohdistaa sellaisiin tehtäviin, jotka eivät vaadi ylen suuria kustannuksia ja joista mahdollisimman pian voidaan odottaa käytännöllisiä ja taloudellisia tuloksia.” Tällaiseksi todettiin metsäpalkkaperustekysymys, joka päätettiin ottaa koko laajuudessaan ensin tutkittavaksi.

Tähän toimitusjohtaja Jaakko Vöry tosin huomauttaa 20-vuotiskertomuksessa: ”Myöhempi kokemus osoitti, että juuri palkkaperustetutkimukset olivat eniten aikaa ja kustannuksia vaativia tehtäviä” (12). Tämä piti kyllä paikkansa seuraavillakin vuosikymmenillä, vaikka aineistojen keruu- ja analysointimenetelmät tehostuivat. Syynä oli se, että palkka- ja maksuperustetutkimusten tuloksia piti voida soveltaa kattavasti erilaisissa työolosuhteissa

koko maassa. Pienimuotoisten kehittämiskokeilujen raportteihin usein kirjattu varaus - ”pienien aineistojen takia tulokset ovat vain suuntaa antavia” - ei tullut niissä kysymykseen.

Metsätehon toiminnanjohtajan palkkaamisessa oli aluksi mutkia matkassa. Koska sopivaa henkilöä ei heti saatu palkatuksi tehtävään, sitä hoitivat alkuun omien toimiensa ohella Eino Saari ja tieteellisenä asiantuntijana toiminut Helsingin Yliopiston metsäteknologian professori Paavo Aro. Syksyllä 1946 tehtävän otti vastaan Evon metsäkoulun johtaja Vilho Seppänen, joka hoiti sitä vuoden 1947 loppuun. Seuraavana vuonna ruoriin tarttui Metsätehossa pari vuotta tutkijana työskennellyt Jaakko Vöry, joka johti toimintaa pitkään, vuoteen 1964 saakka.

Keskusliiton kaikki jäsenet, perustamisvaiheessa 111 ”metsäteollisuustoiminimeä”, olivat samalla Metsätehon jäsenyrityksiä. Vuotuinen rahoitus ryhdyttiin keräämään puunhankintamäärään perustuvana jäsenmaksuna. Myös Valtion Rautateiden Polttoainetoimisto, sittemmin Valtion Polttoainetoimisto (Vapo) liittyi mukaan Metsätehon toimintaan vuonna 1947.

Metsätehon omistus ja hallinto

Omistus ja organisointi

Metsäteholla oli Puunjalostusteollisuuden Keskusliiton kautta peräti satakunta jäsenyritystä aina 1960-luvulle saakka. Läheskään kaikki niistä eivät kuitenkaan olleet puuta hankkivia yrityksiä, joten jäsenmaksu ja toimintakin kohdistuivat paljon pienempään määrään ”metsäteollisuusliikkeitä”. Koko jäsenmäärä väheni mm. metsäteollisuuden rakennemuutosten seurauksena muutamaan kymmeneen 1990-luvulle tultaessa. Kun Metsäteho yhtiöitettiin vuonna 1996, perustajaosakkaiksi liittyi 12 organisaatiota.

Metsätehon ylin päätösvalta oli vuosikymmeniä Puunjalostusteollisuuden Keskusliiton (ja sen seuraajien) päättävillä elimillä, mutta Metsäteholla oli kuitenkin alusta alkaen varsin itsellinen asema. Sillä oli oma toiminnanjohtaja ja budjetti sekä ensivaiheessa Metsätehotoimikunta työvaliokuntineen ohjaamassa ja valvomassa käytännön toimintaa ja varojen käyttöä.

Vuonna 1973 Metsätehon johto keskitettiin Keskusliiton jäsenyritysten edustajista valitulle johtokunnalle. Siinä ei ollut enää mukana metsätyönantaja- ja työntekijäjärjestöjen edustajia. Johtokunnan ensimmäisenä puheenjohtajana toimi Kajaani Oy:n metsäpäällikkö Olli Sarantola. Samalla perustettiin toimintaa suuntaamaan ja seuraamaan Metsätehon neuvottelukunta, jonka kokouksiin kaikilla jäsenyrityksillä oli oikeus lähettää edustajansa.

Metsätehon oma johtokunta ja neuvottelukunta toimivat vuoden 1992 loppuun saakka. Vuoden 1993 alussa aloitti toimintansa Metsäteollisuus ry, joka muodostettiin Metsäteollisuuden Keskusliitosta ja Metsäteollisuuden Työnantajaliitosta. Siinä vaiheessa Metsätehosta tuli Metsäteollisuus ry:n metsäyksikön alainen puunhankinnan ja -tuottamisen tutkimus- ja kehitysosasto.

Metsäyksiön johtokunta vastasi myös Metsätehon johtamisesta. Sen rinnalle perustettiin työmarkkinakysymyksiä ja Metsätehon asioita käsittelevä yhteistoimintaelin. Siihen kuului yritysten lisäksi Metsähallitus, joka oli liittynyt vuonna 1988 erillisellä sopimuksella Metsätehon toimintaan sekä vuonna 1993 liittyneet Maaseudun työnantajaliitto ja Yksityismetsätalouden Työnantajat ry (14).

Tällä konseptilla jatkettiin vuoteen 1996 saakka, jolloin Metsäteho päätettiin yhtiöittää. Metsäteho Oy:n toiminta käynnistyi 1.4.1996 ja yhtiö merkittiin kaupparekisteriin 6.5.1996. Yhtiön osakaskunta koostui pääpiirteissään samoista tahoista kuin aiemminkin.

Perustajaosakkaiksi liittyi 12 organisaatiota: A.Ahlström Osakeyhtiö, Au-reskoski Oy, Enso-Gutzeit Oy, Järvi-Suomen Uittoyhdistys, Koskitukki Oy, Kuhmo Oy, Metsähallitus, Metsäliitto Osuuskunta, Metsäteollisuus ry, Vapo Timber Oy, Visuvesi Oy ja Yhtyneet Paperitehtaat Oy. Pian perustamisen jälkeen Pölkky Oy ja Yksityismetsätalouden Työnantajat ry liittyivät mukaan osakkaiksi. Yhtiön hallituksen ensimmäisenä puheenjohtajana toimi Enso-Gutzeit Oy:n varatoimitusjohtaja Juhani Pohjolainen.

Osakaskunnassa on tapahtunut perustamisen jälkeen muutamia, enimmäkseen toimialan yritysjärjestelyihin liittyviä muutoksia. Vuoden 2024 lopussa Metsätehon osakkaita olivat: Harvestia Oy, Koskisen Oy, Kuhmo Oy, Metsähallitus Metsätalous Oy, Metsä Group, Pölkky Oy, Stora Enso Oyj, Tornator Oyj, UPM-Kymmene Oyj, Versowood Oy, Yksityismetsätalouden Työnantajat ry.

Metsätehon toiminta-ajatus ei yhtiöittämisessä muuttunut olennaisesti aiemmasta. Yhtiön tarkoitus määriteltiin seuraavasti: ”Metsäteho Oy:n tarkoituksena on kannattavan liiketoiminnan puitteissa tuottaa osakkailleen ja osakkaiden kanssa yhteistyössä puunhankinnan ja puuntuottamisen tutkimus-, kehittämis- ja edistämispalveluja, muualla tapahtuvan tutkimuksen seuraaminen sekä asiayhteyteen kuuluva koulutus- ja tiedotustoiminta” (20). ”Kannattavan liiketoiminnan puitteissa” oli toki yhtiöittämisen tuoma lisäys, mutta Metsätehon ei odotettu tuottavan taloudellista voittoa, vaan osakkaat halusivat hyödyn T&K-tulosten kautta.

Iso muutos aiempaan tapahtui kylläkin siinä tavassa, jolla omistaja-asiakkaat osallistuivat toimintaan ja sen rahoitukseen. Siihen saakka pääosa työstä oli tehty jäsenten yhteishankkeina jäsenmaksua vastaan ja tulokset olivat julkisia. Yrityskohtaisia hankkeita oli aina tehty, mutta niiden osuus oli ollut rajallinen. Nyt osakkaat halusivat päättää projektikohtaisesti, mihin osallistuvat ja maksut määräytyivät sen mukaan. Omistajat hyödynsivät valinnan vapautta varsin aktiivisesti, isoimmat osakkaat tosin osallistuivat hankkeisiin pieniä kattavammin.

Metsätehon kannalta uusi malli johti melkoiseen byrokratiaan ja toiminnan pirstoutumiseen. Järjestely oli myös osakkaille raskas mm. monine projektien johtoryhmineen. Oma lukunsa oli tulosten raportointi ja niiden käyttöoikeuksien hallinta. Projektikohtaiseen osallistumiseen kun kuului luonnollisesti se, että kunkin projektin tulokset olivat lähtökohtaisesti vain rahoittajien käytössä. Esimerkiksi peräkkäisissä projekteissa, joissa oli eri osallistujajoukko, aiempien tulosten hyödyntämisestä piti erikseen sopia.

Malli käänsi myös Metsätehon julkaisupolitiikan päälaelleen. Aiemminhan käytännöllisesti katsoen kaikki tulokset – yrityskohtaisia hankkeita lukuun ottamatta – olivat julkisia. Nyt ei juuri mikään ollut täysin julkista, mikä vaati totuttelua niin henkilöstön, osakkaiden kuin sidosryhmienkin piirissä.

Kaiken kaikkiaan yhtiön alkuvaiheen toimintamalli istui huonosti tutkimusmaailmaan, jossa tietoa pyritään kerryttämään aiemman päälle. Eikä se oikein vastannut Metsätehon perustamisvaiheensa ajatuksia tuloksellisesta voimien yhdistämisestä. Saatiin silläkin tavalla toki paljon aikaan, mutta turhan paljon panoksia kului apparaatin pyörittämiseen. Ja oli siinä osansa verraten koukeroisella toimintajärjestelmälläkin, joka ajan hengen mukaisesti rakennettiin Metsätehoonkin. Onneksi tämä kausi jäi – ainakin näin 80-vuoden kehikossa – lyhyehköksi. Vuonna 2005 toteutetussa remontissa palattiin yhteisiä hankkeita suosivaan malliin ja virtaviivaistettiin hallintorakenne minimiin.

Omistajat päättivät siinä yhteydessä myös supistaa rajusti Metsätehon henkilöstön määrää, noin puoleen aiemmasta. Se tehtiin tutkijamäärää vähentämällä ja ulkoistamalla talous-, tietohallinto- ja toimistopalveluja. Yhteistyöverkoston ja Metsätehon koordinoituihin vahvistaminen nähtiin keinona kompensoida supistuvia resursseja.

Päättävien hallintoelinten lisäksi Metsätehossa on suurimman osan ajasta toiminut ”neuvoa antavia” ryhmiä, jotka ovat koostuneet jäsenten/osakkaiden asiantuntijoista. Niillä on ollut tärkeä rooli toiminnan suuntaamisessa, innovoinnissa ja tulosten jalkauttamisessa. Ryhmien määrä ja nimet ovat vuosien varrella vaihdelleet. Ensimmäinen oli nimeltään teknillinen toimikunta, jonka Metsätehotoimikunta perusti toiminnanjohtajan avuksi vuonna 1965. Sen tehtävänä oli mm. suunnitella ja ohjata Metsätehon tutkimustoimintaa, seurata tutkimusohjelman toteutumista, avustaa jäsenyhteyksien luomisessa ja tukea tiedotustoimintaa. Toimikunnan tontti kattoi koko silloisen tehtäväkentän (14).

Toiminnan laajetessa uusille aihealueille perustettiin lisäksi tietojenkäsittelytoimikunta (1970), metsänhoitotöiden toimikunta (1971) ja koulutus-toimikunta (1972). Toimikuntien työ päättyi vuonna 1990, kun Metsätehon toimintaa uudistettiin. Tilalle tuli jäsenten ja sopimusasiakkaiden edustajista koottu Metsätehon tutkimus- ja kehitystyöryhmä (T&K-työryhmä). Ryhmän tehtävänä oli valmistella pidemmän aikavälin toimintasuunnitelma ja vuosiohjelma. T&K-työryhmä nimesi avukseen tukiryhmät puuntuottamisen, puunhankinnan tekniikan ja puunhankinnan ohjauksen aihealueille.

Metsätehon yhtiöittämisen jälkeen hallitus nimitti avukseen tutkimustoimikunnan. Sen päätehtävänä oli valmistella hallitukselle lyhyen ja pitkän aikavälin toimintasuunnitelmat, käsitellä uudet hanke-ehdotukset ja seurata hankkeiden etenemistä. Sen tukena toimi aihealueittaisia asiantuntijaryhmiä ja projektikohtaisia ohjausryhmiä. Tutkimustoimikunta ja asiantuntijaryhmät lakkautettiin vuoden 2022 lopussa. Vuoden 2023 alusta hallituksen tukena on toiminut kolme kehittämisryhmää, jotka toimivat puuntuottamisen, puunkorjuun ja logistiikan aihealueilla.



Metsätehon henkilöstö helmikuussa 2025. Henkilöt ylärivissä vasemmalta oikealle: tutkija Timo Melkas, erikoistutkija Kirsi Riekkö, tutkija Markus Strandström, erikoistutkija Pirjo Venäläinen, erikoistutkija Asko Poikela, tutkija Riku Tarvainen. Henkilöt alarivissä vasemmalta oikealle: erikoistutkija Heikki Ovaskainen, erikoistutkija Tapio Räsänen, tutkimusjohtaja Jukka Malinen, toimitusjohtaja Heikki Pajuoja, toimistokoira Yaris, projektitutkija Micke Malm, viestintäasiantuntija Jade Sivé. Pikku kuvassa tutkija ja systeemisuunnittelija Juha-Antti Sorsa.

Rahoitus

Pääosa rahoituksesta on aina kerätty jäsenmaksuina tai projektirahoituksena omistaja-asiakkailta. Metsätehon liikevaihto oli enimmillään, vuoden 2000 tienoilla noin 3,5-4 miljoonaa euroa vuoden 2023 rahassa. Viime vuosina se on ollut 1,5 miljoonan euron luokkaa.

Myös ulkoista rahoitusta on kuitenkin haettu ja saatu ihan ensivuosisista lähtien. Esimerkiksi vuonna 1949 toimintansa lopettanut kansahuoltoministeriön Metsä- ja kuljetustarviketoimisto lahjoitti 4,5 milj. vmk (vanhaa markkaa) Metsäteholle tutkimustyöhön. Ns. viennin suhdannerahastosta puolestaan

saatiin vuonna 1953 10 milj. vmk samaan tarkoitukseen. Pienpuualan Toimikunnan myöntämällä varoilla puolestaan tehtiin paljon ”ohutpuun” korjuuseen liittyviä yhteistutkimuksia 1950- ja 1960-luvuilla (12). Ne painottuivat polttopuun hankintaan ja Vapo oli niissä pääasiallinen kumppani.

Viime vuosikymmeninä ulkoista rahoitusta on saatu lukuisista lähteistä, kuten eri ministeriöiden, Sitran, Tekesin, Metsämiesten säätiön, yhteispohjoismaisen NSR:n ja EU:n tutkimusohjelmista. Niiden kautta on rahoitettu enimmillään noin viidennes Metsätehon vuosibudjetista.

Metsätehon johtajat

Metsätehon johtajan nimikkeenä oli ensi vuosikymmenet toiminnanjohtaja, vuoden 1972 hallintouudistuksesta alkaen toimitusjohtaja. Pisimmän aikaa ohjaksissa ovat olleet Metsätehossa tutkijoina aloittaneet Jaakko Vöry (16 vuotta) ja Aulis E. Hakkarainen (22 vuotta), Metsäliiton puunhankintatehtävistä taloon tullut Erkki Alalammi (13 vuotta) sekä Metsäntutkimuslaitoksen johtotehtävistä Metsätehoon siirtynyt Heikki Pajuoja (20 vuotta).

Johtajan tehtäviä ovat hoitaneet vuosien varrella seuraavat henkilöt:

1945-1946	Professori Eino Saari (vt)
1945-1946	Professori Paavo Aro (vt)
1946-1947	MH Vilho Seppänen
1948-1964	MML Jaakko Vöry
1964	MMT Olli Makkonen (vt)
1964	MML Aulis E. Hakkarainen (vt)
1965-1987	MML Aulis E. Hakkarainen
1987-1988	MMT Eljas Pohtila
1989-1990	MMK Hannu Valtanen
1991-2004	MH Erkki Alalammi
2005-2025	MMT, VTM Heikki Pajuoja
1.4.2025-	DI, eMBA Mikko Juhola

Henkilöstö

Aloituvuotta 1945 koskevan Eino Saaren laatiman toimintaselostuksen mukaan Metsätehotoimiston henkilökuntaan kuului marraskuussa toiminnanjohtajan (vt) lisäksi neljä henkilöä: kaksi metsänhoitajaa, toimistos sihteeri ja laskuapulainen. Resurssit olivat niukat ja selostuksessa todetaan: ”Jotta kenttätöitä voitaisiin pitää samanaikaisesti aineistojen käsittelyn kanssa käynnissä,

olisi toimiston välttämättä saatava yksi metsänhoitaja lisää”. Myös useampia laskuapulaisia tarvittiin ja laskukoneistakin oli pulaa (20).

Tilanne koheni tuntuvasti seuraavana vuonna. Vuoden 1946 lopussa väkeä oli jo kolminkertainen määrä, 16 henkilöä. Aiempien lisäksi oli saatu kiinnitettyksi toiminnanjohtaja Seppänen, tutkimustyötä ohjaamaan MMK Jaakko Vöry, harjoittelijoiksi metsänhoitajat Raija Harmovaara ja Aulis Hakkarainen, useita laskuapulaisia ja ”sitä paitsi oli kolme metsätieteen ylioppilasta osallistunut tilapäisesti laskutöihin”. Aikatutkijoina oli toiminut yhtiöiden metsäteknikoita ja työnjohtajia sekä Metsätehon palkkaamia metsäylioppilaita ja metsäkouluharjoittelijoita.

Työntekijöiden määrä kasvoi alkuun ripeästi, mutta ensimmäinen ”rakennemuutos” tosin tapahtui jo ensivuosina. Henkilöstöä oli nimittäin vuonna 1949 jo 26 henkeä, josta se radikaalisti väheni parin seuraavan vuoden aikana, kun käyttöön otettiin tehokkaammat aikatutkimusmenetelmät.

Henkilökunta kasvoi 1950-luvun runsaan kymmenen hengen määrästä ja saavutti enimmillään lähes 40 työntekijän tason 1970-luvulla. Määrä pysyi suunnilleen niissä lukemissa pari vuosikymmentä (15). Henkilökunnan rakenne kylläkin muuttui vuosien varrella varsinkin tietotekniikan kehittymisen myötä. Sen seurauksena tukipalvelujen eli etenkin laskenta-avun ja toimistotehtävien tarve väheni ja tutkijoiden osuus henkilöstöstä kasvoi.

Vuonna 1999 Metsätehon mitoitus tarkistettiin ja siinä vaiheessa henkilökunnan määrä pieneni 25:een. Seuraavaa ”sopeutus” vuonna 2005 oli historian voimakkain ja vakituisen henkilöstön määrää vähennettiin nykyiseen, runsaaseen 10 henkilöön.

Toimitilat

Ensimmäiset viisi vuotta Metsäteho oli ”tilapäisesti sijoitettuna” Helsingin yliopiston Metsätalolla, Unioninkatu 40:ssä. Työhuoneita saatiin metsätaloustieteen ja metsäteknologian laitokselta sekä metsäkirjastolta. Pari työhuonetta vuokrattiin vuosikymmenen lopulla myös Metsätyöhuolto ry:ltä, Meritullinkatu 3:sta.

Hajasijoituksen harmit helpottivat vuonna 1951, kun koko henkilöstö pääsi muuttamaan samoihin tiloihin Etelä Esplanadi 2:een. Samassa talossa oli tuolloin Puunjalostusteollisuuden Keskusliiton toimisto. Tilat osoittautuivat kuitenkin epätyytyttäväksi ja Keskusliitto hankki Metsäteholle omat toimitilat vuonna 1957 Rauhankatu 15:een valmistuneesta uudesta talosta (14).

Rauhankadulla saatiin tutkia rauhassa parikymmentä vuotta. Muutto tuli eteen, kun talossa sijaitseva Rauma-Repolan pääkonttori tarvitsi lisää toimistotilaa vuonna 1975. Metsäteho väistyi vuokrahuoneistoon Itä-Pasilaan Opastinsilta 8:aan. Itä-Pasilan retki kesti seitsemän vuotta. Vuonna 1983 palattiin takaisin keskustaan, Fabianinkatu 9:ään. Talon omisti Kartonginjalostajain yhdistys Converta, myöhemmin Yhtyneet Paperitehtaat.

Sieltä siirryttiin 1992 parin korttelin verran Unioninkatu 17:ään, Metsäteollisuuden Keskusliiton naapuriin. Yhtiömuotoinen toiminta aloitettiin niissä tiloissa. Vuonna 2005 henkilöstöä vähennettiin ja sen myötä muutettiin pienempiin tiloihin Snellmaninkatu 17:ään. Samalla täyttyi ensimmäinen muuttokierros. Uudet tilat olivat nimittäin samassa talossa ja kerroksessa, mistä oli lähdetty kolmekymmentä vuotta aiemmin. Käyntiosoite oli tosin nyt Snellmaninkadun eikä Rauhankadun puolella kuten aiemmin.

Kierros jatkui ulommalla radalla, kun vuonna 2012 lähdettiin ensi kertaa pois Helsingistä. Muuttokuorma vietiin Vantaan Tikkurilaan, Vernissakatu 4:ään. Samassa radanvarsitalossa oli tuolloin Metsähallituksen pääkonttori. Siitä tavarat kannettiin viisi vuotta myöhemmin, vuonna 2017, kadun toiseen päähän, Vernissakatu 1:een, jossa Metsätehon toimisto nyt sijaitsee.

Tehtävät

Metsätehon ensimmäisessä ohjesäännössä (21) elokuulta 1946 kuvataan toiminnan tarkoitusta ja tehtäviä seuraavasti: ”Teollisuuden puuraaka-aineen hankinnan rationalisoimiseksi ja sen saattamiseksi vakavalle ja taloudellisesti kestäväälle perustalle sekä metsätyöväen taloudellisen ja sosiaalisen aseman parantamiseksi ja vakauttamiseksi on Suomen Puunjalostusteollisuuden Keskusliitto perustanut Metsäteho-nimisen metsätöiden tutkimustoimiston, jonka toimintaa ohjaamaan ja valvomaan on asetettu Metsätehotoimikunta. Metsätehotoimikunnan ja Metsätehon tehtävät ovat:

- 1) suunnitella ja suorittaa seuraavia päämääriä käytännössä
tukevia tutkimuksia
 - metsätöiden ja puutavaran kuljetuksen tehostaminen,
 - oikeudenmukaisten työpalkkaperusteiden määrittäminen metsätöissä,
 - pohjan saaminen metsätyöläisten sosiaalisen aseman parantamista tarkoittaville toimenpiteille,

- metsäliikkeen yleisen järjestelyn rationalisoiminen.

2) huolehtia siitä, että tutkimustöiden tulokset saatetaan nopeasti asianomaisten tietoon.”

Metsätehon tehtäviksi määritellään:

- ”suorittaa Metsätehotoimikunnan sille tehtäväksi antama tutkimustyöt,

- seurata alan tieteessä sekä käytännöllisessä toiminnassa tapahtuvaa edistystä kotimaassa ja ulkomailla,

- harjoittaa metsätöiden tehostamista tarkoittavaa julkaisu-, opetus- ja propagandatoimintaa.”

Tehtäviä ja tutkimusalueita on vuosien varrella määritelty monin sanamuodoin, mutta puunkorjuun ja kuljetuksen tehostaminen sekä palkka- ja maksuperusteet ovat pysyneet koko ajan ytimessä. Puuntuotannon kehittäminen otettiin mukaan 1970-luvun alussa ja ympäristöhoito pari vuosikymmentä myöhemmin. Jo alkuvaiheessa vahvasti kirjattu – tuolloin lähinnä metsätyöntekijöihin liittyvä - ”yhteiskuntavastuu” on saanut vuosien varrella uusia ulottuvuuksia.

Puuhuollon kehityshyppyihin tähtäävät keinot ja sen myötä tutkimusaiheet ovat sen sijaan muuttuneet kovasti. Koneiden ja tehokkaamman autokaluston kehittäminen ja käyttöönotto olivat pääaiheita pitkään, niihin on panostettu vuosikymmeniä. Viime aikoina etenkin digitalisaatio, vastuullisuuden ja kestävyuden hallinta sekä osaamisen ja työhyvinvoinnin kehittäminen ovat nousseet keskeisiksi. Painopisteiden muutos käy hyvin ilmi myöhemmissä osioissa.

Vuotuinen toimintasuunnitelma on aina ollut keskeisin toiminnan ohjauksen väline. Puunjalostusteollisuuden Keskusliiton ja sen seuraajien toimielimet siunasivat vuosisuunnitelman ja budjetin Metsätehon yhtiöittämiseen saakka. Siitä lähtien yhtiön hallitus on tehnyt vastaavat päätökset.

Vuosiohjelman lisäksi koostettiin alkuvuosista lähtien myös pidempää aikajännettä koskevia toimintasuunnitelmia. Niissä hahmoteltiin tyypillisesti puuhuollon toimintaympäristön muutosnäkyymiä, teknologian kehitystä ja uusia mahdollisuuksia sekä hahmoteltiin yhdessä jäsenyritysten kanssa tutkimus- ja kehitystyön painoalueita. Niitä laadittiin pitkään pääasiassa Metsätehon oman toiminnan ja resurssoinnin tueksi.

Kun verkostoyhteistyön merkitys kasvoi 2000-luvulle tultaessa, Metsätehon piirissä laadituilla ”kehysuunnitelmilla” ja niiden seuraajilla tavoitel-

tiin laajempaan vaikutusta. Esimerkiksi vuonna 2012 valmistuneella ”Kohti tehokkaampaa puuhuoltoa” – julkaisulla haluttiin viestiä tärkeistä aiheista myös verkostokumppaneille sekä antaa sytykkeitä yhteisten tutkimusohjelmien rakentamiseen (22).

Tuoreimmassa, Puuhuollon visio 2030:ssa T&K-toiminnan painopisteet on määritelty seuraavasti (23): Metsien ja luonnon elinvoimaa ja puuntuotantokykyä hoidetaan monimuotoisen metsätalouden ja luonnonhoidon toimenpiteiden avulla huolehtien metsänomistajien omaisuudesta,

1. puuhuollon operaatiot ovat kustannus-, energia- ja ympäristötehokkaita ja
2. teknologian käyttö tehostuu, teknologia sulautuu kaikkeen ja datatalous jakaa tietoa tehokkaasti.

Luettelossa heijastuu selkeästi metsäsektorin nykyinen toimintaympäristö, jossa puun hankinnan ja -tuottamisen toiminnot on yhteensovitettava mahdollisimman tehokkaalla tavalla vastuullisuuden ja kestävyys hallinnan vaatimuksiin.



1945-1950





VUODET 1945-1950

Metsäteollisuus jälleenrakennuskaudella

Metsäteollisuuden tuotanto oli 1945 noin puolet vuoden 1938 tuotantomääristä, sellun osalta vain kolmannes. Sodan päätyttyä voimistuva tuotanto meni alkuun sotakorvauksiin Neuvostoliittoon ja kotimarkkinoille jälleenrakennuksen tarpeisiin. Metsäteollisuustuotteiden osuus koko sotakorvauksista oli noin kolmannes, mutta alkuun selvästi suurempi, koska muiden toimialojen tuotannossa oli vaikeuksia mm. tuontiraaka-aineiden puutteen takia (1).

Metsätuotteiden vienti alkoi kuitenkin elpyä Iso-Britanniaan ja muualle maailmaan saavuttaen vuoteen 1950 mennessä lähestulkoon sotaa edeltäneen tason. Tuotteita kysyttiin kiivaasti Euroopan mittavaan jälleenrakennukseen ja hinnat kasvoivat määriäkin nopeammin. Myös kaupallinen – sotakorvauksista erillinen – idänvienti Neuvostoliittoon käynnistyi 1945. Lindroos (1993) toteaaakin: ”Voidaan jopa sanoa, että vuoden 1947 loppuun tultaessa sodan yhdellä harmillisimmista perinnöistä – sotakorvauksilla – ei enää ollut ratkaisevaa osuutta puunjalostusteollisuuden tuotantomäärissä”.

Metsäteollisuustuotantoa rajoitti eniten pula raaka-aineista, käyttövoimasta ja työvoimasta. Vuoden 1946 aikana valtaosa tehtaista saatiin kuitenkin tuotantokuntoon ja sahatavaran, vanerin ja puutalojen tuotanto kehittyi vahvasti sodan jälkeisessä vientibuumissa. ”Investointeja eniten kaivannut paperiteollisuus laahasi näiden perässä ja täyteen tuotantotehoon siellä päästiin vasta 1950-luvun vaihteessa” (1)

Juhana Aunesluoma tiivistää kirjassaan ”Paperipatruunat” (2007) metsäteollisuuden merkityksen sodan ja jälleenrakennuksen aikana: ”Sotateollisuudeksi metsäteollisuus soveltui huonosti, mutta jälleenrakentamisessa se oli hyvin merkittävä teollisuudenala ja sen tuotteiden kysyntä vahvaa. Puunjalosteiden vienti veti lujasti Suomea kuivalle maalle sodan rasituksista. Talin-Ihantalan torjuntataistelut eivät jääneet ainoiksi ihmeiksi Suomen 1940-luvun selviytymistarinassa”.

Vahva kysyntä toi myös haasteita teollisuudelle, koska tuotantokyky ja tuottavuus eivät olleet parhaassa iskussa sodan jäljiltä. Aunesluoma (2007) toteaa: ”1940-luvun kriisivuodet, sodan ja jälleenrakentamisen vaatimukset, loivat merkittävän rationalisointi-impulssin Suomen teollisuudelle kautta linjan. Sen oli tultava toimeen niukemmilla panoksilla ja samalla huolehdyttävä myös kannattavuudestaan”. Tähän kehikkoon asettuu myös Metsätehon perustaminen. Olivathan metsätöiden tuottavuus sekä työvoiman saatavuus ja pysyvyys olennaisia teollisuuden raaka-ainetarpeen kasvaessa voimakkaasti.

Metsäteollisuustuotteiden osuus Suomen viennin arvosta oli vuonna 1950 huikea 87 % ! Vientitulot olivat erityisen tärkeitä, koska sotakorvausteollisuus pysyi käynnissä tuontiraaka-aineiden ja koneiden avulla, joiden hankkimiseksi tarvittiin ulkomaan valuuttaa. Lisäksi vientitulojen avulla kyettiin jatkamaan teollista rakennemuutosta, jonka sota oli hydyttänyt. Sotavuodet olivat antaneet kilpailijoille teknistä etumatkaa, joka piti nyt kuroa nopeasti kiinni (1).

Teollisuuden energiansaanti oli puuhuollon ja työvoiman ohella tuotannon suurimpia ongelmia. Olihan rajan taakse jäänyt voimalaitoksia ja sodanjälkeisten vuosien kuivuus vähensi vesivoimaa. Voimantuotannon laajentamiseen investoitiin rajusti ja tuotanto saatiin vastaamaan silloista tarvetta jo vuoden 1948 aikana (1). Energiaan oli toki panostettava mittavasti myös seuraavina vuosikymmeninä.

Metsäteollisuus käytti raakapuuta 1930-luvun lopulla noin 20 miljoonaa kuutiometriä vuodessa, josta se romahti noin puoleen sotavuosina. Tuotannon ja tuoteviennin päästyä taas käyntiin määrä kohosi 1940-luvun loppuvuosina takaisin sotaa edeltäneelle tasolle (Liitekuva 3).

Metsätehon ensiaskeleet

Palkkaperusteet kuntoon

Metsätyöt pyörivät sodan jälkeen hakkuumiesten ja hevosten varassa. Suurimmillaan metsätyövoima oli tammikuussa 1946, jolloin metsätöissä oli runsaat 283 000 työntekijää ja 130 000 hevosta (7).

Puunjalostusteollisuuden Työnantajaliiton piirissä toimivan Hakkuu- ja ajopalkkakomitean mietinnön pohjalta oli julkaistu kesällä 1942 ensimmäiset ”Puutavaran hakkuun ja ajon palkkaperusteet” Jarl Lindforsin koostamana. Moni kysymys oli jouduttu ratkomaan sormituntuman tai pienten kokeilujen perusteella. Metsätehon ensimmäisille tutkijoille, Kalle Putkistolle ja Arno Tuoviselle, olikin tarjolla hengästyttävä lista aiheita, joiden tutkimista komitea piti kiireellisimpänä.

Toimeen tartuttiin ripeästi ja tutkimusaineistojen keruu käynnistettiin saman tien jäsenyhtiöiden työmailla. Heti kesäkuussa 1945 Metsäteho järjesti myös ensimmäisen kurssinsa. Metsätyöntutkimuskurssi suunnattiin ”metsäteollisuusliikkeiden metsänhoitajille ja eräille muille metsäammattimiehille”.

Ajatuksena oli, että Metsätehon pienten resurssien takia jäsenyhtiöiden metsäammattilaiset osallistuisivat merkittävästi tutkimusaineistojen keräämiseen, eikä metsätyöntutkimuksen perusteiden tuntemus olisi haitaksi. Kursiaineisto julkaistiin Metsätehon ensimmäisenä tutkimusjulkaisuna (24).

Kurssi oli sisällöltään laaja ja alustajat hankittiin kotimaan ohella Ruotsista. Luentojen aiheita olivat mm. työfysiologia, metsätyöntutkimuksen menetelmät, työn suunnittelu ja johtaminen, metsätyöväen huolto ja työteho sekä metsätyökalujen kunnostaminen. Ruotsalaisen Skogsarbetenin asiantuntijat esittelivät kurssilla omia aikatutkimuksiaan ja sikäläisiä metsätyömenetelmiä.



Ohjelmassa oli myös Suomen Puutyöväen Liiton liittosihteeri O. Heinosen puheenvuoro. Hän korosti oikeudenmukaisten yksikkötaksaperusteiden tärkeyttä ja avoimen vuoropuhelun merkitystä työntekijöiden kanssa, kun tutkimuksia toteutetaan. Puheenvuoro ilmentää sitä puolueettomuuden ja luotettavuuden vaatimusta, joka Metsätehon oli täytettävä kaikissa palkkaperustetutkimuksissa ja myöhemmin konetöitä koskevissa

Metsätehon ensimmäiset tutkimukset koskivat vanerikoivujen hakkuun ja ajon palkkaperusteita. Työntutkija keräämässä aikatutkimusaineistoa vuonna 1945.

maksuperustetutkimuksissa. Metsäteho saavutti alusta alkaen sopijaosapuolten vankan luottamuksen, mikä takasi vuosikymmeniä kestäneen työosan metsätöiden palkka- ja maksuperustetutkimusten toteuttajana ja neuvottelujen asiantuntijana.

Ensimmäiset palkkaperustetutkimukset koskivat vanerikoivujen hakkuuta ja ajoa sekä paperipuiden käsin kuorintaa varastolla. Seuraavina vuosina toteutettiin kattavat tutkimukset pinopuutavaran ja tukkien teosta sekä ajosta. Niissä selvitettiin aikatutkimuksin, miten eri työvaikeustekijät kuten puuston määrä, järeyys, runkomuoto, oksaisuus, kuoren paksuus, maasto ja lumen määrä vaikuttivat työn ajanmenekkiin (25,26,27,28,29,30,31).

Keskeisten tutkimusten valmistuttua laadittiin tulosten hyödyntäjien avuksi perusteellinen tarkastelu ”Hakkuutöiden aikatutkimustulosten soveltaminen käytäntöön” (32). Työntutkimuksen perustyökalua, vertailevaa aikatutkimusta sekä ”keskityötulosten määrittämistä tilastoteitse” selostettiin tutkijoiden ja tulosten tulkitsijoiden avuksi (33,34).

Aikatutkimuksilla saatiin selville eri työvaikeustekijöiden suhteellinen vaikutus, mutta ei tuottavuustasoa. Sitä varten koottiin eri puolilta maata tilastollisia aineistoja työpäivän pituudesta, työansioista ja päivittäisistä työtuloksista niin puutavaran valmistuksessa, ajossa kuin erilaisissa varastotöissäkin (35). Myös kämpille majoittuneiden metsätyöläisten elinkustannuksia selvitettiin tiedustelututkimuksella (36).

Pian pantiin myös alulle valtakunnallisen koealaverkon perustaminen työvaikeustekijäluokkien määrittämisen harjoittelua varten. Tavoitteena oli saada luokittelu yhtenäiseksi koko maassa. Koealat perustettiin yhteistyössä yhtiöiden ja metsänhoitoyhdistysten sekä metsäoppilaitosten kanssa.

Vuonna 1949 järjestetyillä, metsätyön tehostamisen kolmansilla luentopäivillä, tuolloinen Metsätehotoimikunnan puheenjohtaja Jarl Lindfors saattoikin todeta: ”Kun tärkeimmät selitystä kaipaavat palkkaperustetutkimukset nyt on saatu tutkituksi, ns. puhtaat rationalisointikysymykset ovat päässeet etualalle. Kiinnostus näitä kohtaan kasvaa kaikkialla meidänkin maassamme. Tunnetaan selvästi, että sotavuosien aikana jäimme monessa suhteessa erikoisesti läntisestä naapurimaastamme jälkeen. Siellähän metsätöiden rationalisoimistutkimukset ja kokeilut juuri sotavuosina pääsivät hyvään vauhtiin. Meillä on kuitenkin viime aikoina ollut tilaisuus saada tietoja ja mieslukuisesti käydä tutustumassa näihin saavutuksiin ja ottaa niistä oppia.”

Palkkaperusteisiin jouduttiin kyllä vielä palaamaan moneen kertaan. Sitä mukaa kun rationalisointi muutti työmenetelmiä, koneellisti ja mullisti muutenkin puunhankintaa, piti myös palkkaperusteita - ja sittemmin konetyön maksuperusteita - tämän tästä ajantasaistaa.

Rationalisointioppia haettiin alkuun etenkin Ruotsista, Yhdysvalloista ja Kanadasta ja samalla käynnistettiin yhteistyö sikäläisten tutkimuslaitosten kanssa. Ruotsalaisia tuloksia ja kokemuksia välitettiin erityisen uutterasti Suomeen, koska puunhankintakonsepti oli lähimpänä suomalaista.

Ruotsiin oli perustettu jo edellisellä vuosikymmenellä kaksi metsäteknologian tutkimusorganisaatiota. Tukholmassa toimi S.D.A (Föreningen Skogsarbetens och Kungliga Domänstyrelsens Arbetsstudieavdelning) ja Filipstadissa V.S.A (Föreningen Värmlands Skogsarbetsstudier). Molempiin solmittiin heti tiiviit yhteydet.

Kotimaisista kumppaneista keskeisiä olivat alkuvaiheessa Työtehoseura r.y:n metsäosasto, Metsätieteellisen tutkimuslaitoksen (METLA) metsäteknologian osasto ja Helsingin Yliopiston metsäteknologinen laitos sekä Teollisuuden Keskuslaboratorio (KCL) ja Valtion teknillinen tutkimuslaitos (VTT). Myöhemmin myös Metsähallituksen kehittämisjaosto ja Valtion maatalouskoneiden tutkimuslaitos (Vakola) tulivat osaksi tutkimusverkostoa.

Koska Metsätehossa oli ensivuosina vain muutamia tutkijoita, kotimaisten kumppaneiden asiantuntemusta hyödynnettiin tutkimuksissa, joissa omat voimat tai osaaminen eivät riittäneet. Jotkut alkuvaiheen julkaisut ovat siitä syystä kokonaan ulkopuolisten asiantuntijoiden kirjoittamia. Myös soveltamiskelpoisimpia ulkomaisia tutkimuksia käännettiin sellaisenaan tai vähintään referoitiin omissa sarjoissa.

Vauras USA oli puunhankinnan koneellistamisen edelläkävijä vuosikymmenten kehitystyön ansiosta. Sieltä kaivettiin uutterasti esimerkkejä kone- ja autoratkaisuista, jotka voisivat tulla meilläkin kysymykseen tai ainakin antaisivat virikkeitä kotimaiseen konekehittelyyn. Amerikassa puu korjattiin valtaosin kokonaisina runkoina ja olosuhteetkin poikkesivat, joten läheskään kaikki löydökset eivät istuneet meille. Suurin mielenkiinto kohdistui USA:n ja Kanadan itäosiin, jossa puun koko ja korjuuolosuhteet olivat lähimpänä. Myös Norjan, Neuvostoliiton ja Keski-Euroopan ratkaisuja ja menetelmäkehitystä seurattiin. Ulkomaiden oppeja välitettiin metsäalan käyttöön omien julkaisujen lisäksi artikkeleilla ammattilehdissä ja luentopäivillä.

Omat palkkaperustetutkimukset olivat luoneet tukevan perustan rationalisoinnille. Eri työläjien ajanmenekkin tunteminen auttoi kohdentamaan me-

netelmäkehitystä ja arvioimaan uusien menetelmien kilpailukykyä. Asiaan paneuduttiin jo ensivuosina koko hankintaketjun pituudelta. Tavoitteena oli raakapuun toimitusketjun tuottavuuden parantaminen ja erityisesti raskaiden ihmistyövaiheiden keventäminen ja vähentäminen. Seuraavassa esimerkkejä alkuvuosien töistä.

Hevoskuljetukseen lisää tehoa

Hakkuun ja hevoskuljetuksen puolella ”Puutavaran teko palstatien varteen” oli merkittävä uudistus harvennushakkuiden kannalta. Siihen saakka puutavara oli kasattu enemmän tai vähemmän hajalleen palstalle. Hevosmiehen piti talvella etsiä ja tarvittaessa raivata – itse tai apumiehen kanssa - ajo-reitit niiden luokse. Uudessa menetelmässä palstatiet suunniteltiin ennakkoon sulan maan aikaan ja raivattiin tarpeen mukaan ajokelpoisiksi. Palstatiet valmisteltiin 1,5-2 metriä leveiksi. Teiden välimatka vaihteli mutta oli tavallisesti noin 30 metriä. Hakkuumies kasasi kuitupuukokoisen tavarain pinoihin tai ristikoille palstatien varteen (37).



Palstatiemenetelmä tehosti etenkin metsäkuljetusta, mutta vastapainoksi lisäsi ennakkosuunnittelua ja myös hakkuumiehen kasaustyötä. Kokonaisvaikutus korjuuketjuun oli kuitenkin selvästi positiivinen. Huomionarvoista on, että samalla tultiin luoneeksi ajouraverkoston peruskonsepti, joka myöhemmin edesauttoi puunkorjuun koneellistamista ja on käytössä - nykyteknologiaan sovitettuna - tänäkin päivänä.

Hevoskuljetuksen tuottavuutta parannettiin muillakin keinoin. Erityisesti paneuduttiin varsiteiden eli työmaan pääkuljetusreittien perustamiseen, hoitomenetelmiin ja kalustoon (38). Esimerkiksi jäädytetyillä varsiteillä pystyttiin kuljettamaan hevosilla noin kuusinkertaisia (noin 6 tonnin) kuormia palstoilta keräilyssä käytettyihin ”lumiteihin” verrattuna. Paljon isompiakin kuormia on vanhoihin valokuviin taltioitu.

Vuonna 1948 painettu ”Hevosvarsiteiden perustaminen ja hoito” oli ensimmäinen Metsätehon opas (39). Oppaista tulikin alusta alkaen keskeinen väline tutkimustulosten käytäntöön vientiin, joka oli tietysti jäsenyhtiöille ratkaise-

van tärkeää. Oppaisiin koottiin Metsätehon ja muiden tahojen tutkimustiedon lisäksi ajankohdan parhaat käytännöt jäsenyhtiöiden asiantuntijoiden kanssa. Metsäteho onkin tuottanut oppaita koko historiansa ajan. Ne laadittiin alun perin jäsenyhtiöiden työnjohdon ja työntekijöiden avuksi, mutta mm. alan oppilaitokset ovat aina hyödyntäneet niitä opetuksessa.

Jopa työpiirustuksia ”hyviksi tunnetuista metsätyövälineistä ja laitteista” toimitettiin jäsenyhtiöille. Piirustukset koskivat alkuvuosina mm. teiden kunnostusvälineitä kuten auroja, lanoja ja varsiteiden jäädytyslaitteita.

Tulosten jalkauttamiseen paneuduttiin muutenkin hanakasti. Keinoja olivat omat julkaisut ja koulutuspäivät, lehtikirjoitukset ja luennot alan tilaisuuksissa. Artikkeleita kirjoitettiin ensivuosina mm. Metsätaloudelliseen aikakauslehteen, Metsälehteen ja sen mukana jaettavaan Metsätietoa-lehteen, Jätjän kalenteriin, Paperi- ja Puutavaralehteen, Työtehotietoon sekä kiertoartikkeleita Metsätaloudelliselle Valistustoimistolle.

Lisäksi tuotettiin opetuselokuvia ja myöhemmin ”rainakuvasarjoja”. Aluksi elokuvat olivat ulkomaisten kumppaneiden lahjoittamia. Omien teko aloitettiin 1950 ja niitä tehtiin monta vuodessa. Filmit olivat hyvin suosittuja ja niitä lainattiin ahkerasti koulutuskäyttöön. Yrityskohtaiseen konsultointiin oli erityinen ”Tehostus-Palvelu”.

Metsätehon kurssitoiminta alkoi heti vilkkaana. Alkuvuosina järjestettiin pari kertaa vuodessa muutaman päivän kestäviä työntutkimus- tai rationaalisointikursseja. Myöhemmin siirryttiin rajatumpaa teemaa käsitteleviin, tavallisesti 1-3 päivän kursseihin. Kurssit suunnattiin jäsenyhtiöiden kehittämisasiantuntijoille, joiden tehtävänä oli viedä oppeja eteenpäin organisaatiossaan. Metsäteho on järjestänyt kaikkiaan useita satoja koulutustilaisuuksia ja ne ovat osa toimintaa tänäkin päivänä.

Esimerkkinä alkuvaiheen koulutuksesta mainittakoon varttuneemman väen mieleen syöpyneet Metsätehon konekurssit. Ne aloitettiin 1949 peräti 12 päivän mittaisina Korialla, Puolustusvoimien Pioneerikoulussa. Kurssiohjelmaan kuului ”teoreettinen ja käytännöllinen tutustuminen auto-, traktori- ym. kalustoon sekä uusimpiin puutavaran kuormauslaitteisiin ja moottorisahoihin”. Konekursseja järjestettiin jossakin muodossa aina 1970-luvulle saakka.

Opetus oli varmaankin jämerää ja valoi uskoa omaan osaamiseen. Kerrotaan, että supliikkimiehenä tunnettu metsänhoitaja Turkka Jämsén tarjoutui kurssin oppeihin vedoten korjaamaan matkustajalentokonetta, kun sen lähtö oli viivästynyt teknisen vian takia!



Kuitupuukuormaa tuodaan Leyland Comet -kuorma-autolla tehtaalle. Kyydissä 1-metriseksi katkottua hiomopuuta. Rauma 1958.

Autokuljetus valtaa alaa

Puutavara kuljetettiin 1940-luvun puolivälissä tehtaalle valtaosin uittaen ja noin viidennes rautateitse. Autokuljetus oli alkanut vallata alaa 1920-luvulta lähtien ja oli yleistymässä. Tarkkoja tilastoja ei vielä kerätty, mutta Metsätehon ensivuosina arvioitiin, että jo noin kolmannes puutavarasta oli - jossain vaiheessa kuljetusketjua - kuorma-auton lavalla.

Hyvin perusteellinen ”Tutkimuksia pinotavaran autokuljetuksesta” julkaistiin vuonna 1948 (40). Tutkimuksen teki Valtion Polttoainetoimiston kehittämismetsänhoitaja Veijo Heiskanen Metsätehon avustamana. Siinä on tarkasteltu puutavara-autojen ajankäyttöä, kuormauksen ja purun ajanmenekkiä, polttoaineen kulutusta ja kustannuksia. Julkaisussa on myös kattavaa pohdintaa ja ohjeistusta autokuljetuksen kehittämisestä kuten kaluston vaatimuksista ja rakenteista, työmaiden järjestelyistä, varasto- ja kääntöpaikoista sekä kuormaus- ja purkutekniikoista.

Metsätieverkko oli tuossa vaiheessa vaatimaton, joten talviteillä oli ratkaiseva merkitys. Niinpä moottoritalviteiden rakennus- ja hoitotekniikan kehittäminen oli keskeistä. Jäsenyhtiöiden kokemuksia koottiin ja kunnostusmenetelmiä sekä kalustoa testattiin aktiivisesti (41,42).

Autokuljetuksen tiimoilta kokeiltiin myös pinotavaran esikuormauslaitteita, joilla pyrittiin tehostamaan autojen käyttöä kuormaus- ja purkuaikoja vähentämällä. Koottiin oppeja ulkomailta ja kokeiltiin kotimaisia laitteita. Ensimmäisiä kokeiltavia olivat miestyönä lastattavat kuormalavat, jotka vedettiin vinsseillä kyytiin (43,44,45). Autokohtaiset puominosturit ratkaisivat aikanaan kuormien teon ja purkamisen haasteet, mutta siihen meni vielä – etenkin kuitupuun kohdalla – vuosia.

Koneellisen puutavaran kuljetuksen kokeilut ”metsäpäässä” aloitettiin Metsätehossa 1940-luvun lopulla. Kyse oli lähinnä jatketusta lähikuljetuksesta metsävarastoilta kaukokuljetusreittien varteen. Konevoimia puutavararekien vetoon oli toki kokeiltu Suomessa jo 1910-luvulta alkaen kuuluisimpana esimerkkinä Sandbergin (”Ukko Samperi”) savotta Lapissa, jossa vetopelinä oli höyryveturi. Myös pieniä telatraktoreita oli ollut käytössä jo 1920-luvulla rekien vetojuhtana.

Metsäteho tutki ”Moottoroitua rekikuljetusta” talviteillä vertaamalla yhdellä tai useammalla rekiparilla varustettua telaketjuautoa, puoliperävaunullista puutavara-autoa sekä reellä varustettua puutavara-autoa ilman perävaunua (46,47,48). Kuormauksen apuna oli erillismoottorilla toimiva vintturilaite. Autokuljetus puoliperävaunulla todettiin kilpailukyisimmäksi, mutta telaketjuautokin pärjäsi vertailussa hyvin.

Uiton ja rautatiekuljetuksen tehostaminen

Uitto oli vallitseva kaukokuljetusmuoto ja sen tehostamiseksi tutkittiin mm. pölkkysten merkitsemis- ja erottelumenetelmiä ja eri kokoisten hinaajien taloudellisuutta. Eritystä huomiota kiinnitettiin maa- ja vesikuljetuksen tehokkaaseen yhteen nivomiseen. Kokeiltiin puutavaran veteen vieritystä telaketjutraktoreilla ja vinsseillä sekä kehitettiin autossa ja jäällä tehtävää puutavaran niputusta (49,50,51).

Eräässä tutkimuksessa ”seurattiin” - varmaankin kaukaa - kokeiluja, joiden tarkoituksena oli helpottaa vieritystyötä räjähdysaineiden avulla. Tarkasteltiin myös uittohävikkiä sekä varastoinnin aiheuttamia tuhoja ja massahäviötä puutavarassa sekä niiden vähentämismahdollisuuksia. Koneellisia menetelmiä kokeiltiin myös puutavaran vedestä nostoon tehtailla.

Rautatiekuljetuksen osalta tutkittiin ensivuosina mm. vaunujen kuormauksen palkkaperusteita sekä koneellisia kuormauslaitteita (52,53). Laitekokeilujen tiimoilta todetaan vuoden 1951 toimintakertomuksessa: ”Mainittakoon,

että kaikki kuormaustöiden koneellistamis- ja rationalisoimisyritykset näyttävät kilpistyvän VR:n vaunukaluston vanhanaikaisuuden vuoksi. Mm. keveiden, siirrettävien kiramoiden kapasiteetista voidaan tässä työssä mainitusta syystä käyttää vain n. 10 %.” Sitten VR kyllä käynnisti laajan puutavaravaunujen kehittämisohjelman, jonka ansiosta tilanne koheni. Pakkanen ja Leikola (2011) ovat kuvanneet kattavasti rautatiekuljetuksen kalustokehitystä 1950-luvulta alkaen (54).

Riittääkö puu?

Metsäteknologisten kysymysten ohella Metsäteho osallistui puuraaka-aineen saatavuutta koskevaan selvitykseen. Kysymys herätti teollisuudessa huolta sodan seurausten ja voimakkaasti kasvavan puuntarpeen takia. Metsätehotoimikunnan puheenjohtajan, Puunjalostusteollisuuden Keskusliitossa toimivan professori Eino Saaren johdolla tehtiin laaja valtakunnallinen selvitys ”Suomen metsäteollisuuden raakapuun saanti metsätaseen kannalta tarkasteltuna” (55). Tutkimuksessa tarkasteltiin lähivuosikymmenten hakkuumahdollisuuksia teollisuuden puuntarpeeseen nähden sekä mm. aluemenetysten ja siirtoväen asuttamisen vaikutuksia.

Saaren kirjoittaman raportin yksi keskeinen johtopäätös koski puutavaran vientiä, joka oli tuolloin noin 3 miljoonaa kuutiometriä vuodessa. ”Maamme teollinen kehitys on pitkälti sivuuttanut sen asteen, jolloin vielä liikenisä pyöreätä puuta sellaisenaan maasta vietäväksi. Nyt ei siihen vientiin enää ole varaa maamme raaka-ainetalouden kannalta katsottuna.” Johtopäätöstä hiukan loivennettiin toteamalla: ”Kauppapoliittiset tekijät sekä metsänomistajain järjestöjen vaatimukset saattavat johtaa toisenlaiseen tulokseen. Metsänomistajain järjestöt ovat näet pitäneet tällaista vientiä tärkeänä puun hintatason kohottajana.” Lisäksi kannustettiin puuntuotannon tehostamiseen ja siihen, että ”Taka-Lapin uinuvat metsävarat kuljetusmahdollisuuksia parantamalla tuodaan metsäteollisuutemme ulottuville.”

Tutkimuksella ”Sahatukin pituuden, lenkouden ja kapenemisen vaikutuksesta sydäntavaran pituuteen ja leveyteen” – tavoiteltiin jalostusarvon kannalta osuvampaa katkontaa metsässä (56). Tutkimus perustui tarkasti mitattuun tukkiaineistoon ja sen sahaukseen puutavaraksi. Tulosten perusteella laadittiin lyhyet apteerausohjeet, jotka ”yleisohjeina soveltuisivat kaikkien jakomiesten muistettaviksi”. Tuohon aikaanhan erityiset ”jakomiehet” kiersivät palstoilla ja merkitsivät tukkirunkoihin tarkoituksenmukaiset katkontakohdat hakkuumiestä varten.

Koneellistaminen kangertelee

Metsätalouden koneellistaminen oli otettu rationalisoinnin painoalueeksi ja tutkija Kalle Putkisto - josta myöhemmin tuli Helsingin Yliopiston metsäteknologian professori - veti tilannetta perusteellisesti yhteen vuonna 1950 (57). Hän totesi, että vaikka aihe on ollut sodan jälkeen ”vilkkaan pohdinnan ja tutkimustyön kohteena, tällä alalla koneiden käyttö on maassamme suhteellisen vähäistä, niin suotavaa kuin se olisikin mm. työvoimatilanteen ja töiden keventämisen vuoksi”.

Hän listasi lukuisia syitä, miksi koneellistaminen oli edennyt Ruotsia hitaammin. Koneellistamista jarruttivat mm. pienet työmaat, työvoiman suhteellinen halpuus, korkeat korot ja koneiden maahantuontia rajoittava valuuttapula ynnä ulkomaankaupan hankaluudet. Kirjoittaja oli jo selvästi turhautunutkin tilanteeseen: ”Hidastavana tekijänä on lisäksi pidettävä sitä, ettei teknikkokuntamme harrastus tai mielikuvitus ole sanottavasti riittänyt koneiden konstruktioitehtäviin, vaikka ulkomailta olisi saatavissa hyviä esikuvia”. Tuo puute kyllä myöhemmin korjaantui. Keksijöiden ja konevalmistajien ansiosta Suomi kiipesi maailman metsäkonevalmistuksen terävimpään kärkeen.

Raportin mukaan koneiden valo oli joka tapauksessa alkanut kajastaa. Olihan yhtä ja toista koneellista jo kokeiltu kuten ensimmäisiä moottorisahoja sekä tela- ja maataloustraktoreita, autoilla oli kuljetuksissa vankka jalansija ja puutavaran kuormaimiakin alkoi olla tarjolla ihmistyön avuksi. Koneellistamisessa oli näin päästy Suomessakin lähtökuopista ja vauhti parani seuraavilla vuosikymmenillä.

Metsätehokin oli päässyt hyvään vauhtiin. Sen palveluksessa oli vuoden 1950 lopussa 11 vakituista työntekijää: toimitusjohtaja, 5 tutkijaa, tiedotusmetsänhoitaja ja 4 toimistohenkilöä. Lisäksi oli tilapäisiä työntekijöitä aineiston keruu- ja käsittelytehtävissä.



1951-1975



VUODET 1951-1975

Metsäteollisuus Korean suhdanteesta öljykriisiin

Aunesluoma (2007) toteaa, että ”Vuonna 1939 alkaneen sodan, jälleenrakennuksen ja pulan leimaaman aikakauden voidaan metsäteollisuuden näkökulmasta katsoa päättyneen loppuvuodesta 1950”. Euroopan talous alkoi tuolloin kehittyä poikkeuksellisen nopeasti. Länsi-Euroopan bruttokansantuote kasvoi lähes viiden prosentin ennätysvauhtia, joka katkesi vasta öljykriisiin 1973.

Metsäteollisuudelle antoi kovan alkuvauhdin kesäkuussa 1950 alkanut Korean sota. Se käynnisti ennätyksellisen, mutta hyvin lyhyeksi jääneen nousukauden. Etenkin selluloosan, puuhiokkeen, sahatavaran ja pyöreän vientipuun hinnat nousivat jyrkästi. Viennin arvo pomppasi vuodessa (1950-1951) 60 miljardista markasta 150 miljardiin. Myyntihintojen huima nousu aiheutti jo vastatoimiakin ostajamaissa. Esimerkiksi Iso-Britannian hallitus asetti hintakattoja ja tuontikiintiöitä metsätuotteille (2).

Tehtaat pyörivät täysillä eikä kaikkeen kysyntään pystytty aina vastaamaan. Myös puun hinta hyppäsi huipputasolle ja palkat seurasivat perässä. Maan hallitus pyrki pysäyttämään hintojen ja palkkojen kilpajuoksua palauttamalla palkkasääntelyn ja kuori osan teollisuuden vientituloista ns. suhdannepidätyksillä (2).

Korkeasuhdanne lopahti 1952 ja vientihinnat putosivat jopa puoleen edellisestä vuodesta. Niin yritykset kuin valtiokin joutuivat laman kouriin. Valtio tuki metsäteollisuuden ahdinkoa tukemalla mm. puun korjuuta aiemmin keräämillään vientimaksuvaroilla ja palauttamalla osan niistä yrityksille. Vienti alkoi jälleen vetää 1954, mutta laman seuraukset ja työmarkkinaerimielisyydet johtivat yleislakkoon 1956. Vuonna 1957 devalvoitiin, mikä kohensi teollisuuden tilannetta.

Viisikymmentäluvulla sotien keskeyttämä metsäteollisuuden rakennemuutos ja kasvu pääsivät joka tapauksessa kunnolla vauhtiin. Vuosikymmenelle lähdeittäessä tuotantomäärät olivat jokseenkin sotia edeltävällä tasolla. Korean sodan aiheuttama noususuhdanne antoi jakson alkuun pohjaa investoinneille ja kasvulle. Sahatavara oli ollut iät ja ajat merkittävin vientituote, mutta selluloosa ohitti sen vuonna 1950.

Viisi- ja kuusikymmentälukujen aikana sellun ja papereiden tuotanto moninkertaistui (Liitekuva 1). Vahva kasvu perustui isoihin investointeihin, joilla hankittiin tehokkaampia koneita ja rakennettiin uusia jättitehtaita. Esi-

merkkeinä uusista tehtaista mainittakoon Yhtyneiden Kaipolan tehdas vuonna 1954 sekä seuraavana vuonna valmistunut Veitsiluodon Kemin ja Enso Gutzeitin Summan tehtaas (58).

Investointeja korkeamman jalostusasteen papereiden tuotantoon vauhditti asteittainen tullimuurien murtuminen, mikä helpotti pääsyä etenkin tärkeille Britannian markkinoille. Päättä avaava FINEFTA-sopimus Euroopan vapaa-kauppaliiton EFTA:n kanssa allekirjoitettiin – monenkirjavien käännteiden jälkeen – alkuvuodesta 1961 (2).

Myös massateollisuus uusiutui ja laajeni voimakkaasti. Sulfaattisellu alkoi vallata nopeasti alaa perinteiseltä sulfiittisellulta uusien jättitehtaiden myötä. Sulfaattiselluun kelpasivat kuusen lisäksi myös mänty ja koivu, massa oli lujeempaa ja prosessi ympäristöystävällisempi. Kuusen riittävydestä kannettiin erityistä huolta, koska sitä tarvittiin kasvavassa määrin mekaaniseen hioke-massaan paperia ja kartonkia varten (2). Uusista sulfaattisellutehtaista kehittyi sittemmin myös merkittäviä sähkösamvoja valtakunnan energiahuoltoon.

Sahateollisuuden tuotanto kehittyi massa- ja paperiteollisuutta verkkaisemmin 1950-1960-luvuilla. Sahateollisuuden tuotanto joka tapauksessa kasvoi koko jaksolla noin parikymmentä prosenttia, ja huippuvuosiakin oli joukossa. Esimerkiksi vuonna 1960 saavutettiin ennätysellinen 7,7 milj. kuutiometrin tuotanto, mihin yllettiin seuraavan kerran vasta öljykriisin alla, vuonna 1973.

Sahateollisuus kamppaili Korean suhdanteen jälkeen tämän tästä kannattavuuden kanssa, kun työn ja puun hinnat nousivat yleensä vientihintojen mukana. Hyviä vuosia oli harvakseltaan eikä tuotannon suuriin kehitysinvestointeihin vielä ylletty (2). Niiden aika tuli vasta 1970-luvulla.

Puun hankintatekniikan kehittyminen heijastui kuitenkin sahoihin jo tuoloin. Autokuljetuksen yleistymisen uiton rinnalla lyhensi toimitusketjua metsästä tuotteiksi, kuorinta siirtyi tehtaalle ja mittaus alkoi sähköistyä ja automatisoitua. Ensimmäiset kehäsahojat korvaavat vannesahat sekä pelkkahakkurit otettiin käyttöön 1960-luvun lopulla (4).

Koivuvanerin tuotanto kolminkertaistui 1960-luvun loppuun mennessä. 1960-luvun alussa siirryttiin käyttämään säänkestävää fenoliliimaa, mikä oli ratkaiseva kehitysaskel. ”Vanerin tärkeimmäksi käyttöalueeksi tuli rakentaminen kaikissa se eri muodoissa” (5).

Metsäteho koneellistamisen kätilönä

1950-luvun alussa metsäteollisuus käytti raakapuuta noin 20 miljoonaa kuutiometriä vuodessa. Teollisuuden ripeä laajentuminen yli kaksinkertaisti puunkäytön vuoteen 1973 mennessä (Liitekuva 2). Siitä runsaat 40 miljoonaa kuutiometriä hakattiin parhaimmillaan kotimaasta. Tuontipuun merkitys alkoi kasvaa sellu- ja paperiteollisuuden laajentumisen myötä 1960-luvulta alkaen.

Puun korjuumenetelmät olivat vielä 1950-luvun alussa pääpiirtein ennallaan, hakkuu tehtiin miestyönä käsityövälinein ja metsäkuljetus hevosilla. Puu kuljetettiin tehtaille valtaosin uittaen, mutta puutavara-autot olivat alkaneet syödä osuutta niin uitolta kuin rautatiekuljetukseltakin. Autoilla oli lisäksi kasvava rooli puiden siirrossa metsävarastoilta uittoreittien varteen ja rautatieasemille.

Hakkuiden voimakkaan kasvun takia jäsenyhtiöt suuntasivat Metsätehon toimintaa entistäkin painokkaammin metsätöiden koneellistamiseen ja muuhun menetelmäkehitykseen. Pohdittiin jopa oman kokeiluaseman perustamista eräiden ulkomaisten esimerkkien mukaisesti. Sille varattiin 1960-luvun vaihteessa määrärahakin, mutta ajatuksesta luovuttiin. Määräraha siirrettiin myöhemmin koneellistamisrahastoon, jolla mm. tuettiin kehittämisideointia ja prototyyppien rakentamista.

Tutkimustiedon leviämistä jäsenyhtiöiden käyttöön haluttiin tehostaa ja sitä varten perustettiin 1951 uusi julkaisusarja, Metsätehon Katsaus. Ensimmäisen numeron alkusanoissa perusteltiin uutuutta: ”Jäsenyhtiöiden johdon taholta on lausuttu toivomuksia saada lyhyitä, keskitettyjä katsauksia Metsätehon suorittamien tutkimusten tuloksista sekä uutisluontoisia tietoja metsätöiden rationalisoinnin alalta niin koti- kuin ulkomailtakin.” Katsausta jaettiin aluksi vain jäsenille, mutta kohta kaikille muillekin kiinnostuneille. Katsauksesta muotoutui Metsätehon keskeinen julkaisusarja yli 60 vuodeksi.

Moottorisahoilla tuottavuushyppy

Moottorisaha oli keksitty Pohjois-Amerikassa jo 1800-luvulla ja siellä valmistettiin ensimmäinen polttomoottorilla toimiva konesaha vuonna 1905. Suomessakin majuri Lagus oli rakennuttanut Arbor-sahan jo 1916. Saha painoi satakunta kiloa ja tehoa oli 4 hevosvoimaa (11). Vei silti kutakuinkin puoli vuosisataa ennen kuin moottorisahat kehittyivät metsätyömiehen arkityökaluiksi.

Metsätehossa oli tutkailtu sahojen kehitystä ja potentiaalia ensivuosisista lähtien. Lähinnä kahden miehen käyttöön tarkoitetut sahat painoivat vielä noin 15-20 kg, ja niitä kokeiltiin puiden kaatoon ja varastolla tapahtuvaan katkontaan. Hyöty korjuun osatehtävissä jäi vähäiseksi eikä konesahoista vielä viisikymmentäluvun alussa ollut hakkuun yleistyökaluiksi. Ruotsissa ja Norjassa sahoja oli tosin jo paljon enemmän käytössä, mutta Suomessa odotettiin kevyempiä, varmakäyntisempiä ja halvempia sahoja.

Korean suhdanne lisäsi hakkuita ja antoi vauhtia sahojen tuonnille. Sahat olivat alkuun työnantajien omistamia, mutta pian siirryttiin käytäntöön, jossa työntekijä omisti sahan ja vastasi itse sen kunnossapidosta. Metsäteho julkaisi alkuun yleisohjeita moottorisahojen turvallisesta käytöstä ja huollosta. Lisäksi kuvattiin vaihtoehtoisia moottorisahatyön palkkausjärjestelmiä, koska ne eivät vielä olleet vakiintuneet.

Sahojen suurimmat valmistajat olivat USA:ssa ja Keski-Euroopassa, mutta myös Ruotsissa ja Norjassa oli aloitettu oma valmistus. Metsätehon Tiedoituksia numerossa 67 (59) kerrottiin lupaavasti otsikolla ”Moottorisahat kevenevät” ruotsalaisesta Comet-sahasta, jonka paino oli saatu puristettua kahdeksaan kiloon. Eikä norjalainen Jo-Bu Junior kauas jäänyt, sen syntymäpainoksi oli punnittu 10 kiloa. Matkaa oli vielä tuntuvasti viitisen kiloa painaviin nykysahoihin.

Myös Neuvostoliiton ratkaisuja seurattiin. Siellä koneellistamiseen oli panostettu sodan jälkeen lujasti runko- ja kokopuumenetelmien pohjalta. Varastolla tapahtuva käsittely oli sen takia isossa roolissa. Erona amerikkalaistyyliin oli se, että sähkövoimaa käytettiin niin isoissa kuin pienissäkin koneissa, moottorisahoja myöten. Sähkö ei tietenkään tullut tuohon aikaan akuista, vaan kaapeleilla työmaalle järjestetyistä sähkövoima-asetista. Suomalaisvalmisteisiakin sähkösahoja vietiin maahan sotakorvauksina.

Varsin säväyttävältä kuulostaa työväline, joka esiteltiin Metsätehon katsauksessa numero 4 otsikolla ”Neuvostoliittolainen sähkökirvesuutuus”. Selkäpiitä karmivasta nimestään huolimatta se oli tarkoitettu puiden karsintaan, johon ei koneista vielä apua ollut. Moottorisaha ja karsintakoneet ratkaisivat sittemmin karsintaongelman itänaapurissakin.

Vuonna 1957 arvioitiin moottorisahojen määrän olevan Suomessa reilut 20 000 kpl. Metsäteho teki ensimmäiset laajat työntutkimukset niiden käytöstä paperipuun ja tukkien hakkuussa vuosina 1958 ja 1959. Yhden miehen moottorisahoja käytettiin tuossa vaiheessa vain runkojen kaatoon ja katkomiseen.

Työaikaa säästy eniten tukkien teossa, parhaimmillaan kolmannes käsisahoihin verrattuna (60,61).

Keveämmät sahat alkoivat sopia kätevämmiin myös puiden karsintaan, jolloin niiden määrä räjähti kasvuun. Ruotsalaisilla lienee ollut menetelmäkeshittelyssä etua omasta sahavalmistuksestaan. Niin tai näin, sieltä tehokkaan karsinnan menetelmä joka tapauksessa tuotiin Suomeen. Metsätehon toimintakertomuksessa vuodelta 1963 menetelmän rantautuminen kuvataan näin: ”Insinööri Salminen teki yhdessä tiedotusmetsänhoitaja Warraksen kanssa toukokuussa matkan Ruotsiin tutustuen Korsnäs AB:n ja Stora Kopparbergs Bergslags AB:n koneellistettuihin työmaihin keskeisinä kysymyksinä moottorisahakarsinta, metsätraktoreiden käyttö ja kokorunkojuonto. Moottorisahakarsinnasta he mm. ottivat filmin, joka on herättänyt suurta kiinnostusta saaden moottorisahakarsinnan nopeasti leviämään maassamme”. Tuliainen oli äänellä varustettu värifilmi nimeltään ”Koneellista karsintaa kevyellä moottorisahalla”. Metsäteho levitti sanomaa elokuvan lisäksi koulutuspäivien ja oppaan avulla.

Vuonna 1965 Metsäteho käynnisti laajan ”hakkuun perustutkimuksen”, jossa tuotettiin palkkaperusteet moottorisahahakkuulle ja tutkittiin karsinnan laadun sekä puutavaran pituuden vaikutusta hakkuutuotokseen (62,63,64). ”Paperi-” eli kuitupuun hakkuun tuotos parani ratkaisevasti, kun sitä virtaviivaistettiin siirtymällä rungon pinnanmyötäisestä karsinnasta ns. tynkäkarsintaan ja määrämittaisten 2 metrinen pölkkyjen teosta silmävaraisesti katkottuihin 3-6 metriin pölkkyihin. Tynkäkarsinta tarkoitti sitä, että runkoon sai jäädä muutaman sentin oksantynkiä. Heti perään tehtiin koko hankintaketjua koskevat kustannustarkastelut, jotka vahvistivat kehitettyjen menetelmien kilpailukyvyyn koko hankintaketjun kannalta (65).

Em. palkkaperustetutkimus aiheutti samalla suuren muutoksen hakkuupalkkojen määrittämiseen. Aikaisemmin hakkuupalkat perustuivat valmistettujen puutavaralajien kappalemääriin ja teknisiin mittoihin, joiden mittayksikkönä olivat pinokuutiometrit ja kuutiojalat. Tässä tutkimuksessa hakkuun eri työvaiheiden ajanmenekin todettiin riippuvan vahvimmin hakattavien runkojen käyttöosan kiintokuutiometreinä mitatusta tilavuudesta. Metsäalan työehtosopijapuolet laativat Metsätehon asiantuntijatuella uudenlaiset, työvaiheittaiset ohjemaksut. Tämä johti osaltaan myös pystymittauksen kehittämiseen. Sen tueksi kehitettiin PMP-systeemi, joka laski ennen hakkuuta hakkuupalstoittaiset ja työmaakohtaiset puumäärät ja hakkuupalkat.

Moottorisahat ja hakkuumenetelmien pelkistäminen saivat aikaan merkittävän kehityshyppäyksen hakkuun tuottavuudessa ja kustannuksissa. Metsätehon tilastojen mukaan moottorisahat ohittivat vauhdilla käsisahat ja kirveet 1960-luvun aikana (Liitekuva 7). Mutta ei moottorisahojen tulo vielä varsinaista koneellistamista ollut. Hakkuumies tarpoi edelleen lumessa ja risukossa käyden raskasta sylipainia pölkkyjen kanssa. Vasta hakkuukone nosti metsurin hangesta hyttiin, mutta se vaati vielä paljon kehitystyötä.

Työläs kuorinta koneellistetaan

Viisikymmentäluvun alussa pölkkyjen kuorinta oli kuitupuun valmistuksen aikaa vievin vaihe, siihen kului lähes puolet työajasta. Kuitupuu kuorittiin metsässä käsityövälinein, vuoluraudoilla ja petkeleillä, kun taas tukkipuu kuorittiin valtaosin tuotantolaitoksilla. Työvoimatilanteen heikkeneminen ajoi siihen suuntaan, että kuitupuutavara ryhdyttiin valmistamaan ”mustana” eli kuorimattomana ja ajettiin sellaisena välivarastoille, kuljetusväylien varteen. Ajatuksena oli, että sinne saataisiin keväällä helpommin työvoimaa kuorintatöihin. Samalla kehiteltiin kiivaasti kuorimakoneita.

Metsätehossa määriteltiin vaatimuksia kuorimakoneille, esimerkiksi puutavaran kuorintapuhtaudelle, ja kartoitettiin markkinoilla olevia niin tehtaalte kuin metsäänkin soveltuvia konevaihtoehtoja (66,67). Koneet olivat enimmäkseen amerikkalaisia, mutta Suomessakin oli jo vastattu huutoon. Kotimaisia, metsäpäähän käyviä koneita oli 1950-luvulla markkinoilla puolenkymmentä eri merkkiä. Myös moottorisahaan kiinnitettäviä lisälaitteita oli tarjolla metsäkuorinnan avuksi. Jälkimmäisten hyöty oli kuitenkin rajallinen eikä niistä ollut ratkaisuksi.

Metsäteho testasi eri kuorimakoneita, laski niiden kannattavuutta ja antoi suosituksia käytöstä. Erillismoottoreiden sijasta suositeltiin maataloustraktoreita niiden voimanlähteeksi ja ketteräksi siirtokoneeksi. Nehän olivat juuri tulossa osa-aikaisiksi metsäkoneiksi (68,69). Koneiden taloudellisessa kilpailukyvyssä oli kuitenkin pitkään toivomisen varaa. Salminen (1996) toteaa, että ”Vaikka varastokuorimakoneet olivat hinnaltaan halpoja ja työn tuottavuuskin oli 2-3 -kertainen käsikuorintaan verrattuna, ne eivät alkuun olleet kustannuksiltaan kilpailukykyisiä. Vuonna 1961 arvioitiin, että kuitupuiden kuorinnasta vielä 95 % suoritettiin käsin metsässä ja vain 5 % koneella varastolla tai tehtaalla.” (10).

Kilpailukyky parani kun otettiin laajasti käyttöön suurella syöttönopeudella toimivat, siirrettävät reikäroottorikoneet kuten Valon Koneen valmistamat VK-koneet ja ruotsalainen Cambio (70). Samalla periaatteella toimivia kiinteästi asennettuja koneita oli ollut jo pitkään käytössä tehtailla tai tehdasvarastoilla. Manuaalinen metsäkuorinta jäi nopeasti historiaan uusien koneiden ansiosta. Näin yksi raskaimpia ihmistyövaiheita oli onnistuttu riisumaan hankintaketjusta.

Metsäteho teki testausten lisäksi 1960-luvun puolivälistä alkaen maksuperustetutkimuksia konekuorinnan taksoja varten. Kuitupuun varastokuorinnan huippukausi jäi kuitenkin lyhyehköksi, suunnilleen 60-luvun mittaiseksi, kun kuorinta jo siirrettiin tehtaalle. Vuonna 1974 kuitupuusta jo 90 % kuorittiin tehtailla ja vain 10 % metsävarastoilla (10).

Tuotantolaitoksilla oli ollut käytössä tehdasvarastolla toimivien kuorimakoneiden lisäksi joukkokuorintarumpuja puolipuhthaaksi kuorittujen pölkkyjen viimeistelyyn. Nyt rumpuja oli kehitetty koko kuoren poistoa ja myös kuoren talteenottoa varten. Kuori oli näet alkanut kiinnostaa teollisuutta polttoaineena eikä sitä kannattanut enää jättää metsään. Suurilla tehdasvarastoilla käytettiin vielä jonkin aikaa myös tehokkaita siirrettäviä vaunukuorimoita.



Puutavaran kuorintaa varastolla Valo-kuorimakoneella. Ruokolahti 1953.

Maataloustraktorit avuksi

Maataloustraktorit yleistyivät maatiloilla 1950-luvulla ja vähensivät nopeasti hevosten määrää. Metsäväki huolestui puutavaran kuljetuksen tulevaisuudesta, olihan hevosilla vielä ratkaiseva merkitys. Koneiden kokeilu sai

tästä lisäpontta. Maataloustraktorit nähtiin tuossa vaiheessa lupaavimpana ja hyvinkin ripeästi kasvavana konereservinä. Esimerkiksi vuonna 1952 traktoreita arvioitiin olevan maataloilla jo noin 20 000 kappaletta ja toinen mokoma tilattuna! Talvikukausien metsätyön katsottiin tuovan traktoreille tuiki tarpeellisia lisätyötunteja kustannuksia kattamaan.

Maataloustraktoreita kokeiltiin ensiksi puutavaran kuljetukseen moottoritalviteillä. Yhtenä syynä oli se, että autokuljetus oli kasvanut vauhdilla ja kaluston niukkuus alkoi jo haitata kuljetuksia vilkkaimpana aikana. Metsätehon ensimmäinen traktorikokeilu toteutettiin A.Ahlströmin työmaalla Sukevalla talvella 1950-1951 (71). Ajoon osallistui 15 traktoria, jotka olivat David Brown-, Ferguson-, Fordson Major- ja Steyr-merkkisiä. Puut kuljettiin rekikalustolla ja kuormat tehtiin ja purettiin käsin. Kuljetusmuoto oli uusi ja lukuisia kehittämistarpeita listattiin niin kalustoon, kuljettajien ajotapaan, teihin kuin varastojen järjestelyynkin liittyen. Raportin yhteenveto oli kuitenkin myönteinen: ”edellä selostettu traktoriyömaa on osoittanut pyörätraktoreita voitavan menestyksellisesti käyttää puutavaran kuljetukseen. Pyörätraktoreille sopivat matkat lienevät 6-20 km:n vaiheilla”.

Tämä oli hyvä alku, ja traktorit yleistyivätkin nopeasti ns. jatketuissa lähikuljetuksissa eli välivarastolta talvitietä pitkin varsinaisen kaukokuljetusreitien alkuun. Mutta se ei ratkaissut hevosongelmaa kuin osittain. Suurin hevos työ kun oli varsinainen lähikuljetus hakkuupalstalta varastolle. Siihen paneuduttiin tarmokkaasti pari vuotta ulkomaan oppien ja kotimaan kokeilujen avulla. Vuonna 1954 Metsäteho julkaisi kehittämänsä menetelmän kuvauksen nimellä ”Maataloustraktori puutavaran metsäkuljetuksessa” (72). Kohta tuotettiin myös maksuperusteet sekä palstatieltä alkavalle metsäkuljetukselle että jatketuille lähikuljetukselle (73).

Olennaisen perustan traktoreiden metsäkäytölle tarjosi jo hevoskorjuuta varten kehitetty palstatieverkko. Raivattujen tieurien piti kylläkin olla traktoreille leveämpiä, 3-metrisiä. Talven tultua tiepohjat tiivistettiin traktoreilla polanneteiksi ja hoidettiin tarpeen mukaan lanaamalla. Metsäajoon ei käynytkään enää mikä tahansa pelloilta tempaistu traktori. Sen piti olla varustettu ketjuilla tai teloilla, mieluiten myös juontovintturilla ja kuormauslaitteella.

Metsäteho julkaisi aiheesta 1958 laajan oppaan. Siinä kuvattiin kuljetukseen soveltuvaa kalustoa ja ohjeistettiin menetelmän käyttöä tien teosta lähtien hyvin seikkaperäisesti niin hakkuupalstalla kuin jatketuissa lähikuljetuksessakin. Alkusanoissa todettiin, että kuljetusmuoto oli toistaiseksi melko vakiintumaton ja soveltamisen tulokset kovin vaihtelevia. Niinpä ”käsillä

oleva kirjanen on tarkoitettu opastamaan traktorinomistajia, -kuljettajia sekä sitä työnjohtoa, joka käytännössä joutuu suunnittelemaan ja järjestämään traktorikuljetuksia, tarkoituksenmukaisten varusteiden hankintaan ja pahimpien virheiden välttämiseen” (74). Puutavara kuljetettiin alkuun reessä. Myöhemmin vetävät puoliperävaunut yleistyivät suuremman ja ympärivuotisen kuljetuskykynsä ansiosta. Toisena syynä oli se, että niillä oli luvallista kuljettaa puuta yleisilläkin teillä.

Entistä leveämpien palstateiden hakkaaminen kasvavaan metsään herätti arvatenkin keskustelua. Aiheesta julkaistiin Helsingin yliopiston metsänhoidon professori Gustaf Sirenin tutkimus ”Pysyvä palstatieverkko ja metsänhoido” Siinä laskettiin 40 metrin välein tehtävien 3 metrin levyisten palstateiden puuntuotannollista ja taloudellista merkitystä. Palstateista aiheutuva tappio todettiin vähäiseksi täystiheissäkin metsissä, harvemmista puhumattakaan. Sen ei asettanut estettä traktoreiden käyttöönotolle (75).

Lunta tiivistämällä rakennetut polannetiet olivat huomattavasti edullisempia kuin maapohjalle rakennetut moottoritalvitiet. 1950-luvulla Metsäteho pyrki kehittämään menetelmiä ja välineitä, jotta polannetiet saataisiin kesittämään paremmin pyöräajoneuvoja eli puutavara-autoja ja traktoreita ilman telavarustusta. Testattiin mm. lunta tiivistäviä lanoja, jyriä ja tärylevyjä sekä pintapainetta alentavia ratkaisuja kuten erikoisketjuja autoihin.

Palstateiden käyttöönotto harvennusmetsissä lisäsi hakkuumiehen työtä, koska pinotavara piti siirtää ja kasata ajotien varteen. Työ muuttui entistä raskaammaksi, kun kuitupölkkyjä ryhdyttiin katkomaan aiempaa pidemmiksi. Kasaustyöhön piti keksiä apuneuvoja. Maataloustraktoreiden tullessa metsätöihin niihin ryhdyttiin asentamaan vinttureita mekaanisten kuormainpuomien yhteyteen puutavaran vetämiseksi palstalta tien varteen. Metsäteho kokeili traktorivinssausta ensimmäisen kerran 1953 (76). Vetovoimaa saatiin traktorista riittävästi ja teräksistä vetoköyttäkin piisasi jopa 250 metriä. Vetoa helpotettiin nostamalla vetopistettä köysimastolla ja suuntaamalla vetoa esim. puihin kiinnitettävillä taittopyörillä.

1950-luvun lopussa otettiin käyttöön myös erillisellä moottorilla toimivia vinttureita. Voima otettiin moottorisahasta tai muusta polttomoottorista. Taakan liukumista edistämässä oli vetoalusta tai juontosuppilo. Moottorisahavinttureilla pystyttiin kiskomaan 300-400 kilon taakkoja ja erillismootto-
reiden puhti ylti tuhanteenkin kiloon. Vintturia käytti kahden miehen työryhmä. Toinen käytti konetta ja apumies veti vaijerin juontotaakalle ja kiinnitti juontosaket siihen. Apumiehen työ oli erittäin raskasta varsinkin paksussa

lumessa. Myöhemmin lisättiin vinttureihin radio-ohjaus, jolloin puutaakan kiinnittäjä saattoi ohjata sitä ”etänä”.

Käytännön vetotaakat maastossa jäivät kuitenkin pieniksi, puustovaurioita syntyi ja vinssaus oli joka tapauksessa suureksi osaksi ihmistyötä, kun vetoköysi piti palauttaa jalkatyönä seuraavalle taakalle. Metsäteho testaili eri vintturimalleja, mittaili taakkojen vetovastuksia ja laski eri ratkaisujen kannattavuutta tukkien ja kuitupuun juonnossa. Erityisiä pientraktoreitakin ja muita kasauksen erikoiskoneita kokeiltiin, mutta ne eivät olleet kannattavia. Kasausongelma ratkesi 1970-luvulla kun kuormatraktoreiden vakiovarusteiksi kehitettiin pitkäulotteiset kuormaimet, joilla puut saatiin palstalta suoraan kyytiin.



Maataloustraktoreita käytettiin pääasiassa ns. jatkettuun lähikuljetukseen metsävarastoilta kaukokuljetusreittien varten. Orivesi 1963.

Kuormatraktorit ratkaisuksi

Kun traktoreiden käyttöä piti laajentaa vaikeimpiinkin korjuuolosuhteisiin, ongelmia alkoi kertyä. Maataloustraktorit ”levisivät” metsiin sai ikävän sivumerkityksen. Keveämpiin peltohommiin suunniteltu tekniikka ei tahtonut kestää metsän ryskätöitä eikä maastokelpoisuuskään riittänyt hankalassa maastossa ja paksussa lumessa.

Maastokelpoisuutta paranneltiin lisävarusteilla kuten teloilla ja pohjapanssareilla. Lisäksi tarvittiin ketjuja, paripyöriä, vinssejä, kuormaimia, rekiä ja perävaunuja vähän sen mukaan ajettiin tiellä vai umpimetsässä ja kesällä vai talvella. Hintaakin kertyi, kunnollinen metsävarustus maksoi suunnilleen saman verran kuin itse traktori. Metsäväki alkoi 1950-luvulla tähyillä varta vasten metsäkäyttöön suunniteltuja koneita.

Metsäteho kokeili 1957 eri maatalous- ja telatraktorivaihtoehtoja kesäaikaisessa puutavaran kuljetuksessa. Kesäaikainen korjuu oli vielä uutta, mutta mielenkiinto oli kasvamassa, mikä lisäsi osaltaan traktoreiden vaatimuksia. Kesäaikaisen korjuun perusteena oli työvoiman ja kaluston tasaisempi käyttö, koneiden tuntikustannusten alentaminen, puutoimitusten nopeutuminen ja joustavuus, varastojen pienentäminen ja tuoreen puun saanti myös lumettomana aikana. Pikkuhiljaa paraneva tieverkko paransi osaltaan kesäaikaisen puunhankinnan edellytyksiä.

Poltto- ja ainespuun kesäkorjuuta oli aiemmin kokeiltu hevosvetoisella kalustolla. Nyt testattiin kaksi- ja nelivetoisia maataloustraktoreita sekä Fiat-, Bombardier- ja TDT-telaketjutraktoreita. Olipa mukana kaksi nelipyöräve-toista Jeep-tyyppistä ajoneuvoakin (Unimog ja Willys Jeep) sekä Magirus Deutz – kuorma-auto. Ainespuutavara kuormattiin peräkärryihin, ajoneuvon kuormatilaan tai vedettiin laahusjuontona. Kaikissa vaihtoehdoissa oli kosolti kehittämistarpeita eikä kunnollista haastajaa nelivetoiselle maataloustraktorille vielä löytynyt. Hevoskuljetuskin oli vielä varsin kilpailukykyinen. Loppupäätelmissä todettiin, että ”puutavaran koneellinen juonto lumettomana aikana saattaa tulla kysymykseen sille edullisissa olosuhteissa, lähinnä hel-possa maastossa, tiheissä ja järeissä leimikoissa ja suurilla työmailla” (77).

Vuonna 1957 ruotsalaiset esittelivät metsäviikollaan BM/Ösan kehittämän Bamsen, joka oli rakennettu nimenomaan metsätraktoriksi. Kone painoi 3,5 tonnia ja tehoa oli 33 hv. Siinä oli kokotelat kumipyöräalustalla ja puut lastattiin rekeen tai perävaunuun. Koneesta tuli Ruotsissa hyvin suosittu ja sitä tuotiin Suomeenkin. Metsäteho kokeili konetta 1960-luvun alussa, jolloin siinä oli varusteena teliakselistolla varustettu perävaunu ja hydraulinen kuormain (78).

Yhdistelmä oli sinänsä toimiva, mutta jäi nopeasti uudempien koneiden jalkoihin etenkin vähäisen tehonsa takia. Puukuormaa perässään laahaavat tai sitä kantavat traktoriyyppit syrjäyttivät muutenkin erillistä perävaunua tai rekeä vetävät telapyörätraktorit. Maatalous- ja teollisuustraktoreiden maastokelpoisuutta pyrittiin siinä rinnalla parantamaan lisäämällä telojen pituutta puoliteloi-³/₄-teloihin ja kokoteloihin. Esimerkiksi Massey Ferguson Robur

ja Ford County edustivat tätä kehityslinjaa, ja niitä oli Suomessa paljon käytössä.

Hydraulisen nivelpuomikuormaimen keksiminen 1950-luvulla oli merkittävä innovaatio metsäkuljetuksen ja yleisemminkin puutavaran lastauksen ja purkamisen kannalta. Kun siihen vielä lisättiin mekaanisten ”saksien” tilalle hydraulitoiminen koura, tulevaisuuden nosturikonsepti oli valmis. Ensimmäiset Suomeen tulleet olivat Hiab-merkkisiä ja siitä lähtien kaikki nosturit tupasivat olemaan ”hiipappeja” tai ”hiiopeja” – merkistä riippumatta.

Metsätraktorit valtasivat metsätöitä kahta linjaa pitkin, jotka perustuivat eri korjuumenetelmään. Ensimmäisenä ehdokkaana markkinoille porhalsi runkojuontotraktori, joka oli tarkoitettu kokonaisten runkojen tai karsimattomien kokopuiden ”laahusjuontoon” eli maata pitkin vetoon metsästä varastolle. Heti perään markkinoille tulivat tavaralajimenetelmään tarkoitetut kuormaa kantavat metsätraktorit eli kuormatraktorit. Niihin oli rakennettu rungon päälle kuormatila, johon metsässä katkottu puutavara voitiin lastata. Molempien konetyyppien kantaisät synnyttiin Yhdysvalloissa.

Runkomenetelmä oli ollut Pohjois-Amerikassa iät ja ajat puunkorjuun valtamenetelmä. Juonnossa käytettiin lähinnä telatraktoreita, kunnes 1950-luvun alkuvuosina keksittiin isoilla kumipyörillä varustettu runkojuontokone, ”skidderi”. Sen ketteryys ja nopeus löivät ällikällä telatraktoreiden hidasliikeisyyteen työlääntyneet korjuumiehet. Skidderi yleistyi ja kehittyi monen konevalmistajan ponnisteluin. Kun alun perin jäykkärunkoiseen koneeseen hoksattiin vielä lisätä maansiirtokoneista tuttu hydraulinen runko-ohjaus, siitä tuli entistäkin ketterämpi (11).

Runkojuontokoneita alkoi ilmaantua tovin päästä Pohjolaankin. Ensimmäinen Timberjack 200D-merkinen runkojuontokone hankittiin Suomeen 1963. Metsäteho tutki heti uutuutta erilaisilla pääte- ja harvennushakkuutyömailla (79). Puut kaadettiin ja karsittiin moottorisahalla palstalla ja vedettiin koneella varastolle, jossa rungot katkottiin miestyönä.

Tulokset olivat lupaavia, sekä traktori että runkomenetelmä toimivat päätehakuualoilla yleisesti ottaen hyvin – ainakin varastolle asti. Puu saatiin rivakasti metsästä, ja kustannussäästö normaaliin tavaralajimenetelmään verrattuna oli tuntuva. Harvennuksilla tuotos sen sijaan jäi turhan pieneksi ja jäävän puuston vaurioitumisen riski oli suuri.

Runkomenetelmän etuina nähtiin raskaan kasa- ja pinoamistyön väheneminen palstalla. Raportissa huomautettiin kuitenkin, että ”vaikeimman ongelman muodostaa varastotyön järjestely silloin, kun varastotilat ovat

pienet, puutavaralajeja on monia eikä puutavaran jatkokuljetusta voida suorittaa välittömästi.” Siinä olivatkin keskeiset syyt siihen, miksi runkomenettelmästä ei Suomessa tullut pitkäaikaista ratkaisua.

Samana vuonna myös kotimainen Valmet Oy esitteli runko-ohjattavan metsätraktorin. Metsäteho testasi Valmet-metsätraktoria tuoreeltaan vuonna 1964 (80) ja muitakin merkkejä tuli markkinoille kokeiltavaksi. Yleisimpiä runkojuontotraktoreita olivat alkuun Timberjack, Valmet, Tree Farmer ja Clark sittemmin mm. Lokkeri, John Deere ja Kockums. Tuotos parani sitä mukaa kun koneet järeytyivät ja kaatotyö opittiin tekemään juonnon kannalta mahdollisimman tarkoituksenmukaisesti (81).



Ensimmäiset laahusjuontotraktorit tuotiin Amerikasta, mutta kohta käynnistettiin myös kotimainen valmistus. Kuvassa Valmet-metsätraktori tuomassa kokorunkokuormaa varastolle. Runkoina korjuu ei istunut suomalaisiin olosuhteisiin ja hiipui pois tavaralajimenetelmän tieltä. Petäjävesi 1964.

Alkuun traktoreissa oli vintturi ja juontopukki runkojen vetoa varten. Myöhemmin niihin lisättiin juontopihtejä ja kehittyneimpiin versioihin sekä kourakuormain että puristuspankot. Metsäteho kokeili koneita myös karsimattomien kokopuiden juontoon ja pinotavaranippujenkin kuljetukseen.

Kokorunkoina korjuu oli näin noussut ainakin vaihtoehdoksi perinteisen tavaralajimenetelmän rinnalle. Sitä varten Metsätehossa oli tarpeen tehdä työntutkimuksia moottorisahalla tehtävästä kokorunkojen hakkuusta ja varas-

tolla katkonnasta sekä varaston järjestelyistä. Erillisiä kuormausnostureita ja etukahmarilla varustettuja traktoreitakin kokeiltiin varastolla siirtely- ja lastaustöihin.

Runkomenetelmä jäi kuitenkin suomalaisessa puunkorjuussa välivaiheeksi. Tavaralajimenetelmä osoittautui taloudellisemmaksi ja joustavammaksi meidän pienipiirteisiin olosuhteisiimme. Kuormatraktorit sekä myöhemmin hakkuukoneet, joilla tavaralajit voitiin tehdä palstalla alusta loppuun, sinetöivät tavaralajimenetelmän voittokulun.

Yhdysvalloissa oli 1950-luvun puolivälissä käytössä jonkinlaisia esiasteita kuormaa kantavista nelipyöräisistä metsätraktoreista. Ne antoivat tietävästi sytykkeitä samantapaisten koneiden valmistukseen Ruotsissa 1960-luvun alussa. Metsäteho testasi innolla lupaavaa koneratkaisua. Ensimmäiset kuormatraktoritestit koskivat BM Volvon rakentamia malleja (82,83,84) ja kohta



Pitkäloukotteilla kuormaimella varustetusta kuormatraktorista tuli lähikuljetuksen yleisratkaisu 1970-luvun aikana. Kuvassa Valmet 882 K, jossa on Fiskars-kuormain ajamassa metsurityönä hakattua puutavaraa. Karkkila 1979.

kotimaista Teli-Lokkeria (85). Seuraavia merkkejä olivat mm. Valtra Farmet, Kockums ja Rottne. Ensimmäinen Ponsse saatiin testipenkkiin 1971 (86).

Metsäteholla oli metsäkoneiden pikatestejä varten systemaattinen konsepti, kuin autolehdillä konsanaan. Muuan yrittäjä totesikin vuosia myöhemmin, että ”niitä Metsätehon testejä uusista metsäkoneista odotettiin kuin Tekniikan maailmaa”. Esimerkiksi metsätraktorin testissä kuvattiin seikkaperäisesti ko-

neen tekniset tiedot, laskennallisia tunnuksia maastokelpoisuudesta sekä lyhyissä maastokokeissa saatuja tuloksia ajonopeuksista, kuormausnopeudesta ja kuorman koosta. Lisäksi testaaja arvioi kattavasti koneen ergonomisia ominaisuuksia ja huoltokohteita sekä huolto- ja korjauspalveluiden järjestelyjä.

Konevalmistajat parantelivat puutteita heti kun niistä saatiin palautetta testeistä ja asiakkailta. Usein korjaukset ehtivät testiraporttiinkin, jonka loppuun ne listattiin ja arvioitiin parannusten merkitystä. Metsätehossa kuormatraktoreiden testaus oli vilkkainta 1960 - 1970-lukujen vaihteen molemmin puolin. Sen jälkeen painopiste siirtyi hakkuukoneisiin.

Myös merkittäviä koneiden lisävarusteita kokeiltiin. Esimerkkinä Wärtsilän teleskooppipuumikuormain (87) ja Marttiin liukupuomi (88). Niillä saatiin kuormaimeen lisäulottuvuutta, millä oli erityisen suuri merkitys harvennusmetsissä. Se vähensi ratkaisevasti metsurin kasaustyötä ja paransi samalla metsäkuljetuksen tuottavuutta, kun kustakin kuormauspaikasta saatiin haalitua enemmän puuta kyytiin. Pitkäulotteisista kuormaimista tulikin kuormatraktoreiden vakiovaruste.

Metsäteho keräsi kuormatraktoreista myös merkki- ja mallikohtaista ”Korjaus- ja tuotostilastoa” (89). Aineisto kerättiin koneet omistavien yrittäjien ja kuljettajien avulla. Koneisiin asennettiin ns. tärinäkellot (ajopiirturit) työajan seurantaan varten. Kuljettajat täydensivät tiedot keskeytysten syistä kuten huolloista ja korjauksista, siirroista, työmaiden koosta jne. Seurannoista saatiin pikatestejä parempi käsitys uusien koneiden teknisestä toimivuudesta ja tuottavuudesta. Metsäteho kokosi myös koneiden myyntitilastoja, joista näkyi eri konemerkkien ja -mallien yleistymisen.

Metsätehon ensimmäinen maksuperustetutkimus kuormatraktoreista julkaistiin vuonna 1972. Laajan tutkimuksen aineisto kerättiin jäsenyritysten ja metsähallituksen työmailta ja siinä oli mukana 54 kuormatraktoria. Tutkimustulokset osoittavat puutavaralajin ja sen määrän (”lajitiheys”), ajouravälin ja ajomatkan vaikutuksen metsäkuljetuksen tuotokseen (90). Konemerkkejä ja malleja ei maksuperustetutkimuksissa ollut tarkoituksaan vertailla.

Metsäteho julkaisi vuonna 1973 metsätraktoreiden ajankäyttö- ja tuotostilaston vuosilta 1969-1972. Se perustui jäsenyritysten ja traktoriyrittäjien omistamiin kuorma- ja laahustraktoreihin ja käsitti noin vuosina 66 - 88-traktoria (91). Keskeytysten osuus kuormatraktoreiden ajankäytöstä oli vielä suurenpuoleinen, 23-31 %. Tuottavuus oli kuitenkin parantunut vuosi vuodelta. Esimerkiksi suurten kuormatraktoreiden tuotos oli 8,5-11,2 m³/käyttötunnissa.

Maataloustraktorilla oli ollut tärkeä rooli hevosten korvaajana, mutta nyt se sai väistyä. Metsätehon laskelmat vahvistivat metsätraktoreiden paremman kilpailukyvyn ympärivuotisessa metsäurakoinnissa (92). Maataloustraktoreille jäi oma käyttöalueensa pienimuotoisemmassa puunkorjuussa. Metsätehon korjuutilastojen mukaan kuormatraktorit ohittivat maataloustraktorit kuljetetuissa puumäärissä 1960-1970 -lukujen vaihteessa (Liitekuva 8).

Hakkuun koneellistaminen liikkeelle

Hakkuun koneellistamisen painopisteenä oli alkuvaiheessa runkojen karsinta ja katkonta. Maailman ensimmäisenä karsintakoneena pidetään suomalaista Oksa-Ollia. Metsäteho esitteli konetta vuonna 1953 seuraavasti: ”Metsäviikon aikana esitetty kotimainen karsimiskone Oksa-Olli on tarkoitettu 1,5 - 10 cm:n paksuisten puiden karsintaan. Puiden syöttö koneeseen tapahtuu terävillä hampailla varustetuilla vetopyörillä. Niiden edessä ovat jousikuormitetut, puuta vastaan painavat terät, joiden avautuminen ja sulkeutuminen tapahtuu automaattisesti. Käyttömoottorin teho on 4 hv, teoreettinen syöttönopeus n. 110 m/min ja koneen paino ilman moottoria n. 80 kg” (93).

Oksa-Olli jäi prototyypivaiheeseen, mutta se ehti tiettävästi saamaan maailmanmainetta uutuusarvonsa takia. Ja lienee antanut ideoita varsinaisten hakkuukoneiden kehittelyyn. Hakkuun koneellistaminen saatiin pohjoismaissa kunnolla alulle 1960-luvun puolivälissä. Metsäteho kartoitti ja julkaisi ahkerasti tietoa koneista, joita tuossa vaiheessa löytyi lähinnä USA:sta, Kanadasta ja Neuvostoliitosta. Tarkoituksena oli levittää jäsenyrityksille tietoa markkinoilla olevista koneista ja tukea kotimaisten keksijöiden ja konevalmistajien alkutaivalta.

Amerikassa oli kehitetty jo 1950-luvun lopussa häkellyttävän edistyneitä korjuukoneita. Esimerkkinä mainittakoon USA:n etelävaltioiden kuitupuumetsiin kehitetty Busch Combine, joita esiteltiin Katsauksessa 30 (1961). Pyörätraktorin päälle rakennetulla koneella tehtiin kaato, karsinta, katkonta, pölkkyjen sidonta nipuiksi ja kuljetus tien varteen. Olipahan melkoinen yhdistelmäkone! Samassa julkaisussa esiteltiin myös kanadalainen Vit Feller-Buncher, joka oli ketjusahalla varustettu tela-alustainen kaato-juontokone.

Metsäteho kokosi 1960-luvun puolivälissä laajan katsauksen alan koneista maailmalla. Neuvostoliitossa oli kehitetty useitakin isoilla varastoilla toimivia kiinteitä karsinta-asemia. USA:ssa ja Kanadassa karsimakoneet oli sitä vastoin rakennettu ”lähinnä siirrettävien yhdistelmäkonien osakoneiksi”.

Sen tapaiset siirrettävät ja kaikille puutavaralajeille soveltuvat koneet katsottiin parhaaksi kehityslinjaksi meidän olosuhteisiimme. Esimerkiksi L.R.A:n Full Tree Processor oli telaketjualustainen karsinta-kuorinta-katkontakone. Poikkeava ratkaisu oli Beloit Hibob Tree Harvester, jolla puu karsittiin ja latva katkaistiin jo pystyssä, minkä jälkeen runko kaadettiin ja siirrettiin juontokasaan (94).

Ruotsalaiset yhtiöt ostivat joitain amerikkalaisia koneita omia kokeilujaan varten, joista suomalaisetkin saivat tietoja tuoreeltaan. Ruotsalaiset kehittivät itsekin 1960-luvun puoliväliin mennessä kolme eri periaatteilla toimivaa karsintakonetta (Sund, Kvisslaren ja Dynalog).

Näin jälkikäteen erityisen mielenkiintoinen on julkaisussa mainittu ”metsäteknikko Pinomäen keksimä ja Työtehoseuran Rajamäen koeasemalla rakentama, (maatalous)traktorilla käytettävä ja siirrettävä kokeilukone.” Siinä jousikuormitetuista teristä koostuva karsintalaite oli asennettu nosturipuomin päähän. Puut vedettiin karsintalaitteen läpi traktorin vintturilla ja konetta oli kokeiltu yhdistettynä juonto-, karsinta- ja kuormauskoneena.

1960-luvun jälkipuoliskolla alkoi pohjoismaissa toden teolla tapahtua. Syksyllä 1968 saatiin markkinoille ensimmäinen suomalaisvalmisteinen monitoimikone. Se oli edellä mainitun Sakari Pinomäen kehittämä Pika 50, joka oli puiden karsintaan, katkontaan ja kasaukseen tarkoitettu prosessori. Kone oli rakennettu Valmet 865-maastotraktorin päälle. Kone toimi sykesyöttöisesti, katkaisu toimi giljotiiniperiaatteella ja pölkkyjen katkonnan apuna oli pituuden mittausautomaatiikkaa. Koneessa oli vintturi puiden vetämiseksi hakkuualalta koneen ulottuville (95).

Metsäteho testasi heti Pika 50-prosessorin ensi versiota. Tutkimuksissa kokeiltiin eri työskentelymenetelmiä ajouralla ja varastolla. Ensikokeilujen tulokset olivat lupaavia. Alustavien kustannuslaskelmien mukaan perustuva ketju vaikutti kilpailukykyiseltä järeissä päätehakkuukuusikoissa, kun vertailukohtana oli tavanomainen miestyöhakkuu, jossa käytettiin pinnanmyötäistä karsintaa. Kehittynein, vajaakarsintaan ja silmävaraiseen katkontaan perustuva moottorisahahakkuu oli kuitenkin tuossa vaiheessa konetyötä edullisempi (96). Giljotiinikatkaistun todettiin aiheuttavan vaurioita sahatukkeihin (97) ja katkaisulaite korvattiin seuraavaan versioon pyörösahalla.

Vuonna 1968 esiteltiin Ruotsissa Logma T2 -karsima-niputuskoneen prototyyppi. Se oli rakennettu Drivax-pyörätraktorin päälle ja tarkoitettu avohakkuupalstoilla tapahtuvaan kokorunkojen karsintaan ja kasaamiseen. Koneella voitiin katkaista rungosta latvaosa, mutta runko oli katkottava pölkyiksi erikseen palstalla tai varastolla (98).

Keväällä 1969 seitsemän Metsätehon osakasyhtiötä keräsi kolehdin ja osti Suomeen yhden Logma T300-koneen. Koneita kokeiltiin kolmen vuoden ajan osakasyhtiöiden työmailla ympäri Suomea ja tutkittiin Metsätehon laa-
timan ohjelman mukaisesti. Samanlaista konetta tutkittiin yhteispohjoismai-
sena hankkeena laajasti myös naapurimaissa ja tuloksia vaihdettiin ahkerasti.

Testauksia ja korjaus- ja tuotostilastojen keräämistä jatkettiin muutaman vuoden ajan kaikista Suomeen hankituista Pika 50-prosessoreista ja Logmas-
ta. Pika-prosessoritkin olivat aluksi metsäyhtiöiden omistamia. Koneita ko-
keiltiin palstalla ja varastoilla eri kaato- ja juontomenetelmiin yhdistettynä.
Molempien konetyyppien käyttöasteet tuppasivat jäämään remonttien takia
mataliksi, alkuun alle 50 %:iin kokonaisajasta. Koneet olivat ns. 0-sarjan ko-
neita, ja teknisiä ongelmia oli etenkin monitoimiosissa, mutta myös alustako-
neissa.

Molemmat koneet pärjäsivät parhaiten moottorisahamiehille järeänpuo-
leisten kuusikoiden päätehakkuissa. Harvennuksiin niistä ei vielä ollut. Hui-
masti ymmärrystä koneellistamisesta ensimmäisten prosessoreiden kautta
joka tapauksessa kertyi. Itse koneisiin liittyvien kehittämistarpeiden lisäksi
listattiin mm. korjuun suunnitteluun ja organisointiin, kuljettajakoulutukseen
sekä huollon ja korjauksen järjestelyyn liittyviä arvokkaita havaintoja. Lo-
gma myytiin takaisin Ruotsiin kolmen vuoden kokeilun jälkeen (99).

Muidenkin pohjoismaisten valmistajien, kuten Kockumsin, Loko-
mo-Ösan, Valmetin, Volvon prosessoreita ja myös kaato-juontokoneita alkoi
ilmestyä tihentävää tahtia markkinoille. Metsäteho testasi niitä ahkerasti
(100,101,102,103,104,105). Prosessoriosat ryhdyttiin sijoittamaan kuormat-
raktoreiden takaosan päälle. Tuottavuus parani olennaisesti, kun ensimmäis-
ten prosessoreiden vaiheittaisesta ”sykesyötöstä” päästiin jatkuvatoimiseen
puiden käsittelyyn. Myös mittaus- ja katkonta-automatiikka sekä koneiden
ergonomia alkoivat kehittyä.



Hakkuu alkoi koneellistua 1960-luvun lopulla, kun keksittiin runkojen karsintaan ja katkontaan soveltuvat koneet (prosessorit). Puut piti kaataa niitä varten metsurityönä. Sakari Pinomäki kehitti ensimmäisen suomalaisen prosessorin, joka sai nimen Pika 50. Tampereen seutu 1970.

Kun monitoimikoneita alkoi tulla markkinoille, oli tarpeen muodostaa käsitys mitä linjaa koneellistamisessa kannattaisi edetä. Metsäteho laati heti 1970-luvun vaihteessa laskelmia korjuuketjujen taloudellisuudesta eri olosuhteissa ja erityisesti monitoimikoneiden potentiaalista. Vertailtavina olivat tuolloiset ihmistyövaltaiset ketjut sekä ajouralla toimivan kaato-kasauskoneen, karsinta-katkaisukoneen (prosessori), kaato-karsinta-katkaisu-kasauskoneen (harvesteri) ja välivarastolla toimivan prosessorin käyttöön perustuvat korjuuketjut. Ketjuihin sisältyivät eri työvaiheet kaadosta autoon kuormaukseen saakka (106).

Laskelmien mukaan prosessorit alkoivat olla niille suotuisimmissa päätehakkuuolosuhteissa kilpailukykyisiä puhtaaseen miestyöhakkuuseen verrattuna. Korostettiin prosessoreiden teknisen käyttövarmuuden parantamisen tarvetta ja niiden käytön suunnittelun ja leimikoiden valinnan merkitystä. Lupaavimmaksi tulevaisuuden konetyypiksi todettiin kuitenkin puiden kaatoonkin kykenevä harvesteri - jollaista ei vielä ollut ensimmäistäkään Suomessa. Laskentaperusteet oli kaivettu Kanadan ja Yhdysvaltojen protokoneista. Raportissa todetaan, että ”suomalaisiin olosuhteisiin toistaiseksi rakennetut koneet soveltuvat huonosti, mutta meillekin soveltuva kone lienee rakennettavissa.”

Eikä siihen kauan mennytkään – taisi olla kirjoittajilla ennakotietoa asiasta. Sakari Pinomäki jatkoi nimittäin pioneerityötään rakentamalla vuonna



Puun kaadon yhdistäminen karsinta-katkontakoneeseen oli ratkaiseva kehitysaskel. Pika 75 oli ensimmäinen suomalainen kaato-karsinta-katkontakone (harvesteri). Sakari Pinomäki rakensi koneen vuonna 1971. Tämä kuva on vuodelta 1976.



1971 Pika 75 -harvesterin koekappaleen. Tulokas oli ensimmäinen pohjoismainen harvesteri. Oy Nokia AB:n metsäosasto ja Metsäteho olivat rahoittaneet koneen suunnittelua ja rakentamista. Metsäteho testasi sitä seuraavana keväänä (107).

Hakkuun kaikkiin työvaiheisiin kykenevä harvesteri toi ratkaisevan palasen metsätyön koneellistamiseen. Markkinoille alkoi pian ilmestyä vastaavia koneita muiltakin valmistajilta. Harvesterit eivät kuitenkaan hetkessä syrjäyttäneet jo vahvan jalansijan saaneita prosessoreita eikä mies-työnä hakkuutakaan. Suomessa metsurihakkuuseen ja kuormatraktoriin perustuva korjuuketju oli viritetty erittäin tehokkaaksi. Se pisti vielä pitkään kampoihin hakkuukoneille, etenkin harvennushakkuissa.

Koneellistamisen edetessä Metsäteho ryhtyi laatimaan laskelmia, joilla pyrittiin ennustamaan puunkorjuun ”taloudellisen koneellistamisen” kehitystä. Samalla selvitettiin, mitä korjuumenetelmiä käyttäen puunkorjuu voitaisiin hoitaa taloudellisimmin. Vuosia 1975 - 1984 koskevassa ”ennusteessa” päädyttiin siihen, että vuonna 1980 jo 30 % korjattavasta puumäärästä on taloudellista korjata monitoimikoneilla.

Vuonna 1984 monitoimikoneilla ennakoitiin korjattavan noin 60 %. Harvesteriketjujen arvioitiin nousevan taloudelliseksi vaihtoehdoksi prosessorei-

den rinnalle 1970-1980 -lukujen vaiheessa ja sitä taloudellisemmaksi ennustejakson lopussa (108). Käytännön koneellistamisvauhti jäi kuitenkin tuossa vaiheessa paljon laskelmia hitaammaksi. Kehitetyllä laskentamallilla tehtiin myös yhtiökohtaisia koneellistamistarkasteluja, joilla tuettiin koneiden käyttöön ottoa.

Koneellistaminen toi puunkorjuuseen uuden käsitteen ja toiminnallisen yksikön – korjuuketjun. Monitoimikoneen ja metsätraktorin muodostama koneketju oli sekä hankinta- että käyttökustannuksiltaan aivan eri luokkaa kuin aiemmat ratkaisut, mikä toi aivan uusia haasteita korjuun suunnitteluun ja toteutukseen. Koneita oli kyettävä käyttämään tehokkaasti läpi vuoden ja niille parhaiten soveltuvissa olosuhteissa. Se edellytti mm. erityistä työnjohtoa koneketjujen ohjaukseen.

Metsäteho tuki koneiden käyttöönottoa julkaisemalla 1970-luvun puolivälissä kattavat ”Koneellisen puunkorjuun suunnittelu” ja ”Koneellisten korjuuketjujen käyttö”-oppaat (109,110). Rakennettiin myös suunnittelusysteemi, jolla voitiin kohdentaa alueen leimikoiden korjuu eri menetelmille ja vuodenaajoille kokonaiskustannusten kannalta edullisimmalla tavalla. Vuosisuunnitelman avulla oli mahdollista tehostaa työvoiman ja koneiden käyttöä (111). Lisäksi laadittiin monitoimikoneiden tuotosten ja yksikkökustannusten laskentaohjelma apuvälineeksi koneiden käytön suunnittelusta ja ohjauksesta vastaaville henkilöille (112).

Nuppiautoista puutavararekoiksi

Autokuljetukset olivat viisikymmentäluvun alussa vahvassa kasvussa kaluston kehittymisen ansiosta. Metsäteho tuotti niiden maksuperusteita, selvitti kustannusrakenteita ja ajoi pontevasti autokaluston uusimista tehokkaammaksi. Valtiovaltakin tiedosti autokuljetuksen merkityksen ja oli ryhtynyt edistämään metsäteiden rakentamista Metsätalouskomitean vuonna 1949 laatiman tiesuunnitelman pohjalta.

Ensimmäisissä autokuljetuksen maksuperustetutkimuksissa 1950-luvun alussa tilastoitiin seurantatutkimuksen luonteisesti puutavara-autojen työaikoja. Varsinaiset aikatutkimukset autokuljetustaksojen perusteiksi aloitettiin 1953. Perusteita tarkisteltiin ja täydennettiin moneen kertaan vuosien varrella kuljetuskaluston ja -menetelmien kehittymisen myötä.

Moottoriajoneuvoliikennettä varten rakennetuilla ”moottoritalviteillä” oli iso merkitys auto- ja traktorikuljetuksille, kun pysyvä metsäautotieverkon

rakentaminen oli vielä alkutekijöissään. Viisikymmentäluvun alussa moottoritalviteitä arviottiin rakennettavan 4000 km vuosittain. Tiet jaettiin kahteen luokkaan, maaperustaisiin ja lumiperustaisiin. Maaperustaisten teiden kanto-kyky perustui maan routaantumiseen eli ne pidettiin auki auraamalla, mikä edellytti perusteellisia tiepohjan raivaus- ja tasoitustöitä. Lumiperustaiset tiet tehtiin kevyemmin ja halvemmalla tiivistämällä lumi polannetieksi. Toki pahimmat ajoesteet piti niidenkin pohjilta poistaa. Asia oli tärkeä ja Metsäteho julkaisikin 1952 erittäin kattavan ”Moottoritalviteiden rakennus ja hoito”-oppaan (113).

Autokuormien kasvattaminen oli ymmärrettävästi olennainen puuhuollon tehostamiskeino. Autojen kuormatilan lisääminen puoliperävaunujen avulla oli jo verraten yleistä, ja vuonna 1952 Metsäteho paneutui selvittämään täysperävaunujen käyttömahdollisuuksia. Selvitys oli perustettava ulkomaisten kokeilujen varaan, koska yhtään täysperävaunua ei vielä ollut saatu Suomeen. Niitä oli jo yleisessä käytössä Pohjois-Amerikassa, ja naapurimaissakin oli saatu ensituntumaa ainakin norjalaiseen Isachsenin perävaunuun. Tulokset kannustivat vahvasti kehittämään kalustoa Suomessakin. Järeämmän kaluston arvioitiin parantavan merkittävästi autokuljetusten kustannustehokkuutta ja kilpailukykyä uittoon ja rautatiekuljetukseen verrattuna (114).

Autoliikennettä koskeva lainsäädäntö oli kuitenkin muodostumassa jarruksi, kun tavoiteltiin parempaa kuljetustaloutta isompien kuormien avulla. ”Puutavaran autokuljetuksen kehittäminen ja autoasetus” -julkaisussa tarkasteltiin säädöksen ongelmakohtia ja muutostarpeita (115). Siinä korostettiin erityisesti autojen akseli- ja kokonaispainorajoitusten korotustarpeita, ensivaiheessa talviajoa varten. Yleisempi painojen korotus olisi edellyttänyt myös siltojen ja teiden kunnon parantamista. Viisikymmentäluvun puolivälissä säädöksiä uusittiinkin suurempia kuormia mahdollistavaan suuntaan. Mainittakoon, että Metsäteho tuottaa vastaavia kuljetusinfraa ja kalustoa koskevia perusteita päätöksentekijöille tänäkin päivänä.

Metsäteho keräsi talvella 1957 ensimmäisen valtakunnallisen tilaston puutavara-autoista. Tilastoon tarttui noin 2200 jäsenen ja metsähalituksen kuljetuksiin osallistunutta autoa. Niistä 90 % oli autourakoitsijoiden omistamia. Suurin osa autoista oli valmistettu Englannissa tai USA:ssa, Suomi ja Länsi-Saksa olivat seuraavaksi yleisimmät valmistusmaat. Valtaosa autoista kävi vielä bensiinillä ja niiden keskiteho oli autotyypin mukaan 98-123 hv. Dieselaivot tekivät kuitenkin tuloaan (116).

Autot olivat kutakuinkin poikkeuksetta kaksiakselisia ja niiden painoista

todetaan: ”yleisimpiä ovat sellaiset kaksiakseliset autot, joiden taka-akselille sallittu paino on 6,0-6,4 tn, kantavuus 4,0-4,9 tn ja kokonaispaino 7,0-7,9 tn”. Kirjoittaja toteaa, että verraten suuri osa autoista oli korkeimpia sallittuja akselipainoja pienempiä. Lähes puolessa autoista oli perävaunu, mutta ne olivat kaikki yksiakselisia puoliperävaunuja. Perävaunut olivat valtaosin ”kotitekoisia” eli lähinnä omistajien itsensä ja kyläseppien rakentamia, tehdasvalmisteisia oli alle kolmannes. Perävaunujen keskimääräinen kantavuus oli 4,6 tn.

Kuljetustehokkuuden kannalta autokalustossa oli siis kovasti toivomisen varaa, ja Metsäteho pyrki vauhdittamaan uudistumista. Verrattiin kaksi- ja kolmiakselisten autojen sekä puoli- ja täysperävaunujen kustannustehokkuutta. Todettakoon tuon ajan kuormista sen verran, että laskelmissa 2-akselisen ”nuppiauton” hyötykuormaksi oletettiin 11,4 pinokuutiometriä eli noin 7,5 kiintokuutiometriä. Vastaavan, mutta puoliperävaunulla varustetun auton oletuskuorma oli noin 17 kiintokuutiometriä. Edellä mainitut olivat tavallisimpia käytössä olevia puutavara-autoja. Vertailun vuoksi todettakoon, että nykyisiin 76 tonnin painoisiin täysperävaunuautoihin mahtuu puuta noin 60 kuutiometriä.

Laskelmat osoittivat selvästi kustannustehokkaimmaksi ratkaisuksi kolmiakselisen auton ja kaksiakselisen täysperävaunun yhdistelmän, johon mahtui kuormaa 24 m³. Syynä kolmiakselisten autojen hitaaseen yleistymiseen siihen mennessä arvioitiin olevan vasta 1957 päättynyt tuontisäännöstely ja autojen korkea hinta (117).

Kesällä 1961 moottoriajoneuvosäännöksiin tuli suuria parannuksia puutavarakuljetusten kannalta. Perusteluissa mainittiin tiestön tuntuva parantaminen 1950-luvun aikana. Suurimmat sallitut akselipainot nousivat 25 - 30 % ja kokonaispainot 18 %. Esimerkiksi kolmiakselisen, teliakselilla varustetun auton sallittu kokonaispaino nousi 17,5 tonniin. Muutosten myötä nousivat autojen kantavuudet ja päästiin aiempaa suurempiin kuormiin. Metsätehon esimerkkilaskelmien mukaan kuormiin mahtui nyt jopa 32 – 44 % enemmän puutavaraa (118).

Autokuljetukseen pyrittiin saamaan lisätehoa myös kuormausta koneellistamalla. Pontimena olivat raskaan – ja tapaturma-alttiinkin - kuormaustyön keventäminen ja nopeuttaminen sekä kustannusten alentaminen. Tukkien lastaukseen oli käytetty jo kymmenkunta vuotta mekaanisia puomikuormaimia, jotka kevensivät ja nopeuttivat lastausta olennaisesti. Esimerkiksi maineikas Joutsa-puomikuormain oli esitelty uutuuksena Metsätehon tiedotuksessa 67 vuonna 1951. Mekaanisilla kuormaimilla voitiin jotenkuten kuormata myös pitkää kuitupuuta, mutta lyhyt kuitupuu piti lastata käsin. Auton ajankäyttöä

tehostettiin erilaisilla vaihtolavoilla, mutta nekin vaativat käsin kuormauksen. Lisäksi niiden käytössä oli töiden organisointiin, varastojen järjestelyyn ja puutavaran pituuteen liittyviä erityishaasteita.

Metsäteho arvioi tilannetta seuraavasti: ”Pinotavaran autoon kuormauksen koneellistamisessa on meillä edetty verraten varovasti. Tämä on johtunut sopivien laitteiden puuttumisesta, työskentelyolosuhteiden vaihteluista ja ennen kaikkea siitä, että lyhyen, kuivan pinotavaran käsin kuormaus on pystynyt hyvissä työskentelyolosuhteissa kilpailemaan konekuormauksen kanssa sekä nopeudessa että kustannuksissa. Autoilijakunnan koostumus on myös osaltaan vaikuttanut koneellistumisnopeuteen. Puutavara-autoilijat ovat pääasiassa yhden auton omistavia pienyrittäjiä, joille kalliin kuormauslaitteen hankkiminen saattaa tuottaa vaikeuksia. Metsätehon keräämän tilaston mukaan talvella 1961 huomattavin osa, 85 %, pinotavara-autoista oli ilman kuormauslaitetta.” (119).

Autokohtaisiin mekaanisiin puominostureihin oli kylläkin kehitelty ratkaisuja, jotka sopivat tavanomaisia saksia paremmin kuitupuunkin kuormaukseen. Kuitupölkkyt voitiin sitoa yhteen nosturin vaijerilla, jolloin taakka voitiin tarvittaessa vetää lähemmäs autoa ennen nostoa. Myös erityisiä ”haarukoita” ja mekaanisia kahmareita oli tarjolla monta mallia, mutta ne ”eivät olleet saavuttaneet käyttäjiensä erityistä suosiota”.

Hydrauliset puominosturit todettiin raportissa tulevaisuuden ratkaisuksi. Niitä oli vielä tuossa vaiheessa kahta tyyppiä. Yksinkertaisemmissa versioissa oli hydrauliseen puomiin ripustettu mekaaninen, vaijeritoiminen kouura. Tehokkaammassa versiossa oli jo hydraulisesti toimiva kahmain. Hiabin jämerästi nimeämät Elefantti- ja Metsäelefantti-mallit olivat esimerkkejä kehittyneimmistä laitteista. Johtopäätöksissä suositeltiin kahta pinotavaran kuormausratkaisua, jotka molemmat perustuivat täyshydraulisiin puominostureihin.

Ensimmäinen perustui nosturin asentamiseen erilliseen alustakoneeseen kuten ”nuppiautoon” tai pyörätraktoriin. Ratkaisun arvioitiin olevan ominimillaan isoilla varastoilla, mutta sen oli todettu olevan ketterän siirrettävyytensä takia käyttökelpoinen myös pienillä ja hajanaisilla varastoilla. ”Maan eteläpuoliskon olosuhteissa tällaista kuormauslaitetta onkin pidettävä muista erillisiä kuormauslaitteita parempana.” Aiemmin oli kokeiltu esimerkiksi hydraulisella haarukkanostimella varustettua pyöräkuormaajaa. Toiseksi lupaavaksi vaihtoehdoksi todettiin autokohtaiset hydrauliset kahmainnosturit, mutta vielä hiukan varauksellisemmin niiden lisäpainon ja hinnan takia.



Puoliperävaunulla varustetun auton kuormausta. Mekaaniset puomikuormaimet yleistyivät puutavara-autoissa 1950-luvulla. Ne helpottivat ja nopeuttivat tukkien kuormausta olennaisesti, mutta eivät soveltuneet kuitupuulle. Työ oli riskialtista, kuten kuvasta voi päätellä. Kuva vuodelta 1958.

Eri kuormausratkaisujen tuottavuuteen ja kustannusvaikutuksiin paneuduttiinkin tarkemmin myöhemmissä tutkimuksissa. Erilliseen nuppiautoon asennetut hydrauliset puomikuormaimet todettiin olennaisesti nopeammiksi kuin aiemmat autokohtaiset mekaaniset kuormaimet (120). Autokohtaisten hydraulisten kuormainten taloudellisuus puolestaan riippui kovasti siitä, jäikö autoon edelleen apumies vai ei. Hydraulisilla nostureilla kuormausta onnistui periaatteessa ilman apumiestäkin. Laskelmat osoittivat, että kun miehistystä samalla kevennettiin, autokohtaiset kuormaimet olivat kilpailukykyisiä kaikilla 20-200 km:n kuljetusmatkoilla. Tutkimuksissa ohjeistettiin erityisesti tehokkaan kuormauksen vaatimia varastojärjestelyjä (121).

Metsäteho seurasi tiiviisti kaluston kehittymistä tilastoinnin avulla. Esimerkiksi vuonna 1967 käytössä oli yli 2900 kuorma-autoa, jotka olivat yleensä kaksiakselisia ja niistä 43 % liikennöi ilman perävaunua. Yleisin autotyyppi oli puoliperävaunulla varustettu kaksiakselinen auto. Suurimman mahdollisen yhdistelmän, kolmiakselisen vetoauton ja täysperävaunun osuus koko kalustosta oli vain 6 %. Koko kaluston keskimääräinen kantavuus oli 10.4 tonnia (122).

Tukit ja pitkä kuitupuu kuormattiin jo koneellisesti, lyhyttä kuitupuuta vielä kolmannes käsin. Mekaaninen tai hydraulinen vajjerinosturi oli ensisijainen tukkien kuormauslaite. Yleisin kuitupuun kuormauslaite oli erillinen,



Puutavara-autokalusto alkoi kehittyä ripeästi 1960-luvun lopulla. Kuvassa kuljetusyrittäjä O. Hämäläisen hydraulisella Hiab-nosturilla ja täyperävaunulla varustettu 3-akselinen Volvo mäntylastissa. Luumäki 1969.



Puukuormaa puretaan tehdasvarastoon Valmet-trukilla. Kuusankoski 1969.

auto- tai traktorialustainen kouranosturi. Kouranostureita oli jonkin verran käytössä myös autokohtaisina. Kuljettajalla oli apumies yhdeksässä autossa kymmenestä.

Raportin lopuksi vedettiin yhteen autokalustossa kymmenen vuoden aikana tapahtunutta kehitystä. Dieselmoottorilla varustetut auto olivat syrjäyttäneet 50-luvun bensiiniautot. Autot olivat järeytyneet ja perävaunujen käyttö lisääntynyt. Kantavuus oli lisääntynyt sitä mukaa kun akseli- ja telipainosäädöksiä oli muutettu. Tukkien ja pitkän kuitupuun kuormaus oli jo koneellistunut ja hyvässä vauhdissa lyhyenkin kuitupuun osalta. Autojen vuotuinen käyttömäärä oli kasvanut ja erillisten apumiesten käyttö vähentynyt.

Lopuksi todetaan, että ”vaikka puutavara-autokanta on jatkuvasti parantunut sekä teknillisiltä että taloudellisilta ominaisuuksiltaan, se ei kuitenkaan ole paras mahdollinen. Kiireellisimpänä tavoitteena on pidettävä isoilla perävaunuilla varustetun kaluston ja sellaisten kuormauslaitteiden nopeaa lisäämistä, joita käytettäessä apumies on kuormauksen kannalta tarpeeton”. Ruotsi-korttikin vetäistiin sparrauksen avuksi. Kerrottiin, että perävaunuttomia autoja käytetään siellä vain poikkeustapauksessa ja kaluston keskimääräinen kantavuus oli jo lähes 17 tn, kun se meillä oli vain 10,4 tn.

Autokuljetuksen kustannustehokkuudella oli iso merkitys, ja seuraavan vuoden tilaston valmistuttua vahvistettiin sanomaa (123). Aluksi esiteltiin laskelmat erilaisen kaluston kustannuksista. Niiden mukaan perävaunulliset autot ovat kaikilla matkoilla taloudellisempia kuin perävaunuttomat autot. Ja täysperävaunulliset kolmiakseliset teliautot olivat selvästi taloudellisimpia. Niillä voitaisiin ajaa lähes kaksinkertaisia kuormia (19-20 tn) keskiarvokalustoon verrattuna, jolloin selvittäisiin pienemmällä automäärälläkin.

Kehittämisehdotuksissa painotettiin, että autokaluston kehittämistä varten ”on luotava sellaiset olosuhteet, että perävaunullista kalustoa pystytään käyttämään tehokkaasti ympäri vuoden”. Ehdotuksissa käsiteltiin varasto-olosuhteiden kehittämistä, metsäteiden rakennetta ja mitoitusta, ohjemaksujen oikeaa soveltamista ja ympärivuotisten kuljetusten järjestämistä sekä alueliikenteessä olevien autojen liikennealueiden laajentamista. Viimeksi mainittua säädeltiin viranomais määräyksin.

Autokalusto alkoikin kehittyä toivottuun suuntaan. 1974 kerätyssä puutavara-autotilastossa oli noin 2000 autoa, joista jo 73 % oli täysperävaunuilla varustettuja kolmiakselisia autoja. Kuormauksessa käytettiin eniten autokohtaista, irrotettavaa kourakuormainta, mutta erilliskuormaimia ja muitakin laitteita oli vielä käytössä. Apumiehen käyttö oli kuitenkin yleistä, sellainen

autteli kuskia vielä neljässä viidestä autosta. Kaluston keskimääräinen kantavuus oli noussut jo 16.6 tonniin. Vuonna 1975 autokuljetuksen osuus oli 58 % tehtaille toimitetusta puumäärästä. Vesitiekuljetuksen osuus oli 25 %, rautatiekuljetuksen 16 % ja traktorikuljetuksen 1 % (124).

Nopea ja joustava autokuljetus söi voimakkaasti uiton osuutta kaukokuljetuksessa 1950-60-luvuilla. Sillä oli kuitenkin edelleen tärkeä rooli etenkin pisimmillä kuljetusmatkoilla. Pohjois-Suomen uittoyhdistykset perustivat uiton kehittämistä varten vuonna 1952 oman yksikön, Uittoteho ry:n, jonne alan tutkimus keskitettiin. Sen seurauksena uittotutkimusten rooli Metsätehossa väheni alkuvuosiin verrattuna, mutta ei sentään kokonaan loppunut. Uittoteho toimi vuoteen 1973 saakka.

Metsäteho tarkasteli vuonna 1954 uiton kehitysnäkymiä. Kosteessa tuotiin esiin mm. nippu-uiton jatkuva lisääntyminen, lauttauksen ja hinaajakaluston kehittyminen, kasvava kiinnostus kuorellisen puutavaran uittoon, erottelun kehittyminen sekä uiton ja vesivoiman tuotannon yhteensovittaminen (125).

Nippu-uittoa varten oli 1950-luvun jälkipuoliskolla otettu käyttöön ensimmäisiä nostureita, joilla niput siirrettiin voimalaitospatojen yli. Samanlaisia nosturiasennuksia oli tulossa runsaasti, ja Metsäteho sai tehtäväkseen tutkia nostotekniikkaa Atron ja Puntarikosken voimalaitoksilla, jonne oli asennettu Koneen ja Valmetin nippunosturit. Selvitettiin eri nosturityyppien toimintavarmuutta, siirron tuotosta ja kustannuksia sekä nostureiden sijoittamisessa huomioon otettavia seikkoja (126).

Metsäteho keskittyi 1950-luvun puolesta välistä alkaen erityisesti kuorellisen puutavaran uiton kysymyksiin. Kuorinta alkoi siirtyä metsästä tehtaille, mikä asetti uusia vaatimuksia uittoketjuun. Sitä varten tutkittiin mm. hakkuuajankohdan ja varastointitapojen vaikutusta eri puutavaralajien uimiskykyyn ja laatuun.

Sahat siirsivät ensimmäisenä kuorinnan tuotantolaitoksille ja siksi paneuduttiin kuoripäällisten tukkien uittoon. Vertailtiin esimerkiksi kuorellisten ja kuorittujen mänty- ja kuusitukkien uiton onnistumista irto- ja nippu-uitossa (127). Kuoripäällisen tukin uitto onnistui sitä varmemmin mitä suurempi oli sydänpuuosuus, minkä takia ohjeistettiin etenkin ”sydänpuuköyhien” tukkien käsittelyä. Tutkittiin myös jäälle varastoitujen kuoripäällisten tukkien laadun säilymistä. Todettiin, että jäälle varastointi oli kelpo tapa, laatutappioiden taloudellinen merkitys oli vähäinen.

Maalla oli toisin. Kuorellisen puun hankinnan lisääntyminen kasvatti hyönteistuhojen riskiä. Niiden esiintymistä tukkien hankinnassa ja tuhojen

ehkäisymahdollisuuksia tutkittiin 1959 laajassa yhteistutkimuksessa Metsäntutkimuslaitoksen, Berner Oy:n ja Rikkihappo- ja superfosfaattitehtaat Oy:n kanssa (128).

Todettiin, että maavarastoissa tukit pilaantuvat keväällä parissa viikossa hyönteisten parveilun jälkeen. Pahimmat tuhonaiheuttajat olivat männyn vaa-kanävertäjä, jonka myötä levisi sinistymistä aiheuttava sieni. Kuusella pahin oli reikiä poraava tikaskuoriainen. Perässä iskivät muut lajit. Kemiallisesta torjunnasta oli hyötyä, mutta se ei pystynyt täysin suojaamaan hyönteisvahingoilta. Tunnistettiin, että ”aivan erityisen edullisen lisääntymispaikan tuhohyönteisille muodostavat läpi kesän varastoidut kuorelliset havuhalko- ja paperipuupinot, joiden määrä on paikoin maan eteläosissa viime aikoina suuresti kasvanut kuorellisen kuusihiomopuun hankinnan lisääntyessä.”

Hyönteistuhoja ryhdyttiinkin ehkäisemään vauhdittamalla kevästä alkaen puiden ajoa suoraan tuotantolaitoksille tai ainakin veteen, mikä vähensi tuhvoja. Metsätuhojen riskin takia kuorellisen puutavaran kesäaikaista metsävarastointia ryhdyttiinkin myöhemmin rajoittamaan viranomais määräyksin. Hyönteisillä kun oli taipumus aiheuttaa tuhvoja myös ympäröivissä metsissä, etenkin jos ne olivat jostain syystä ennestään heikentyneet.

1960-luvun alussa tutkimukset painoutuivat kuorellisen nippu-uiton kysymyksiin. Laajassa koesarjassa selvitettiin eri puulajeista koostuvien nippujen uimiskykyä ja siihen vaikuttavia tekijöitä (129,130). Sulan maan aikaisen puunkorjuun lisääntyessä selvitettiin esimerkiksi ”syksyllä hakattujen ja jäissä nippuina talvehtineiden kuorellisten havutukkien uimiskykyä” seuraavana kesänä (131). Näiden tutkimusten jälkeen uittotutkimukset väistyivät Metsätehon ohjelmista pitkäksi aikaa. Keskityttiin autokuljetuksen tehostamiseen.

Puutavaran mittaus uusiksi

Puutavaran määrätietoa on aina tarvittu puukauppaa, työpalkkoja ja urakointimaksuja sekä puunhankinnan ohjausta varten. Mittaus koskee monia toimijoita ja sen pitää olla jämäptiä hommaa. Metsäntutkimuslaitos, nykyisin Luonnonvarakeskus on maa- ja metsätalousministeriön alainen mittauksen viranomaisorganisaatio, joka on pitkään tuottanut menetelmien tutkimusperustan ja valvonut käytännön toteutusta.

Metsätehon pääroolina on ollut ja on edelleen kehittämistarpeiden määrittely yhdessä puunhankinnan toimijoiden kanssa ja heidän tukemisensa menetelmien käytäntöön soveltamisessa. Kehittämisen päämääränä on pitkään

ollut se, että puutavara mitataan ja laadutetaan mahdollisimman kustannus-
tehokkaasti puun toimitusketjun yhteydessä - ilman erillisiä mittauksen työ-
vaiheita. Tekniikan kehittyessä tavoitteeksi asetettiin myös mittauksen auto-
matisointi.

Kuusikymmentäluvulle tultaessa tuohon oli vielä matkaa. Mittausmenetel-
mät olivat vielä varsin perinteisessä kuosissa, juontuen valtaosin ihmis- ja he-
vostyön sekä irtouiton kaudelta. Tukit mitattiin metsävarastoilla yksin kappa-
lein ja mittayksikkönä oli tekninen kuutiojalka. Kuitu- ja polttopuu mitattiin
pinoissa ja yksikkönä oli pinokuutiometri.

Hankintaketju oli kuitenkin voimakkaasti muuttunut ja nopeutunut kesä-
hakkuiden yleistymisen, koneellistamisen ja autokuljetuksen myötä. Kuo-
rellisen ja tuoreen puutavaran hankinta yleistyi jatkuvasti ja nippu-uittokin
muutti puutavaran käsittelyketjua irtouittoon verrattuna. Vanhat mittaus-
menetelmät ja -yksiköt istuivat huonosti tehostuvaan hankintalogistiikkaan
(132). Metsäteho kartoitti ja testasi vaihtoehtoisia menetelmiä.

Yhtenä ratkaisuna otettiin käyttöön puiden pystymittaus 1960-luvun jälki-
puoliskolla. Siinä kaikkien leimikolta hakattavien puiden rinnankorkeusläpi-
mitat mitattiin ja kirjattiin ylös puu- ja runkolajeittain. Lisäksi mitattiin otan-
tana poimitut koepuut yksityiskohtaisemmin tilavuus- ja tavaralajilaskentaa
varten. Pystymittaukseen yhdistettiin leimikon korjuutekninen suunnittelu.

Pystymittaus oli melko työläs mutta silti puunhankinnan kannalta rationaa-
linen. Sitä voitiin käyttää leimikon arviointiin puukauppaa varten, korjuun
palkkojen ja maksujen määrittämiseen sekä puiden luovutusmittaukseenkin,
jos ostaja myyjä niin sopivat. Puutavaran mittayksikkönä oli kuorellinen kiin-
tokuutiometri.

Metsäteho selvitti 1960-luvun lopulla pystymittauksen käyttömahdolli-
suuksia ja tarkkuutta (133,134). Myöhemmin haettiin tehokkaimmat työtavat
ja vertailtiin pysty- ja jälkimittauksen kustannuksia (135). Metsäyhtiöt käyt-
tivät pystymittausta omissa metsissään sekä osassa ostoleimikoita ja myös
metsähallitus käytti menetelmää. Mittausaineistot toimitettiin Valtion Tieto-
konekeskukseen, jossa ne laskettiin ns. PMP-ohjelmistolla (pystymittaus- ja
palkanlaskentajärjestelmä). Poikkeuksena oli Enso-Gutzeit, joka laski tulokset
PMP-järjestelmällä omassa laskentakeskuksessaan.

PMP-järjestelmä kattoi enimmillään 1980-luvun puolivälissä noin 15 mil-
joonaa kuutiometriä, mikä vastasi runsasta kolmannesta raakapuun käytöstä.
Pystymittaus hiipui pois, kun puutavaran mittaus alkoi onnistua luotettavasti
hakkuukoneilla 1990-luvulla.

Pystymittauksen sivutuotteena kertyi korjuuteknisistä olosuhteista valtakunnallista aineistoa, jota ei muutoin ollut juurikaan tarjolla. Metsätehon aloitteesta ryhdyttiin laatimaan koosteita korjuuolosuhteista yhdessä järjestelmästä vastaavan PMP-hoitokunnan, metsähallituksen kehittämisjaoston ja Valtion Tietokonekeskuksen kanssa. Ensimmäiset tulokset julkaistiin vuonna 1971 (136). Puunhankintaorganisaatiot, konevalmistajat ja muut alan toimijat saivat näin uutta, alueittaista tietoa korjuuolosuhteista. Metsäteholle PMP-aineistot antoivat pitkäksi aikaa erinomaisen perustan puunkorjuun koneellistamishankkeisiin ja kehityslaskelmiin.

Puutavaran mittauslaki uudistettiin 1969 ja sen pohjalta annettujen määräysten myötä kuorellisesta kiintokuutiometristä tuli puutavaran mittauksen virallinen mittayksikkö. Se oli ratkaiseva muutos, joka yhtenäisti mittauskäytäntöjä, pyyhkäisi englantilaiset mittayksiköt historiaan ja antoi tukevan pohjan menetelmien kehittämislle. Metsäteho osallistui asiantuntijana lain uudistamistyöhön ja tuki uusien menetelmien käyttöönottoa.

Kuitupuun tehdasmittauksessa puutavaran painoon perustuvat menetelmät alkoivat kiinnostaa. Metsäteho tutki talvella 1965 uudella Kemijärvi Oy:n sulfaattiselluloosatehtaalla kuorellisen 2 m koivupaperipuun painomittausperusteita. Tutkimuksen päätarkoituksena oli määrittää, miten paljon kuorellinen kiinto- ja pinokuutiometri puuta painaa tehtaan hankinta-alueella ja miten hakkuu-aika ja varastoimisajan pituus siihen vaikuttavat (137).

Samantyyppisiä tutkimuksia havukuitupuusta toteutettiin myös Rauman Selluloosa- ja Paperitehtaalla (138). Selvitettiin myös tehdasmittaukseen liittyvien mittauslaitteiden toimivuutta ja tarkkuutta. Testipenkissä olivat esimerkiksi A.Ahlströmin kehittämä nippujen upotusmittauslaite ja Snellmanin siirrettävän ksylometriallas. Metsäteho selvitteli myös näyte-erien pölkyttäjien mittauksen menetelmiä, koska kalliita upotusmittalaitteita ei aina ollut käytettävissä (139). Raportissa mainittiin mm. laskentaohjelmistolla varustetut mittasakset, Visakset, jotka olivat hiljattain voittaneet Metsätehon ideakilpailun.

Samassa yhteydessä kartoitettiin sahojen tukkilajitteluun soveltuvaa automaattista mittaustekniikkaa, joka Ruotsissa oli vallannut alaa myös luovutusmittauksessa. Laitteistojen toimittajia olivat tuolloin mm. ruotsalainen Rema Elektronik AB ja norjalainen AS Elektrisk Bureau. Vastikään oli markkinoille tullut myös suomalainen A-Elektroniikka Oy lasersäteeseen perustuvalla mittaustalaitteellaan.

Metsätehon palveluksessa oli vuoden 1975 lopussa 37 vakituista työntekijää. Henkilöstöön kuului toimitusjohtaja, tutkimuspäällikkö, teknillinen päällikkö, tiedotus- ja koulutuspäällikkö sekä 14 tutkijaa ja ”tiedotusmies”. Laskenta- ja toimistohenkilöitä sekä työntutkijoita oli yhteensä 18 henkeä.



1976-2000





VUODET 1976 – 2000

Metsäteollisuus öljykriisistä paperin huippukauteen

Metsätuotteiden tuotanto ja vienti olivat kasvaneet jo 1950- ja 1960-luvuilla kohisten. Tosin korkeamman jalostusasteen paperituotteiden vientiä hankaloittivat tuontitullit ja muu protektionismi. EFTA:aan liittyminen avasi vapaamman kaupan polkua ja seuraavaksi käytiin haastava prosessi EEC-vapaakauppasopimukseen liittymisestä. Kampittajia riitti niin ulkomailla kuin kotikentälläkin, mutta lopulta Suomi allekirjoitti sopimuksen 1973 ja se astui voimaan 1974. EEC:n viimeisetkin paperitullit poistuivat 1984.

Jari Ojala toteaa ”Kriisi ja kumous” -kirjassa (2007) ”Suomalaiset metsäteollisuusyhtiöt kasvoivat 1970-luvun puolivälistä 2000-luvun alkuun nopeammin kuin kansainväliset kilpailijansa ja enemmän kuin koskaan aikaisemmin historiansa aikana” (3).

Lupaavissa merkeissä alkanut 1970-luku katkesi kuitenkin aluksi öljykriisiin, joka puhkesi lokakuun alussa 1973 Lähi-Idän sodan seurauksena. Sota loppui jo samassa kuussa, mutta energiakriisi jatkui. Öljyn hinta hyppäsi nelinkertaiseksi ja maailmantalous sakkasi pitkäksi aikaa.

Suomen talous hyytyi 1974 pahan kerran ja ajaututtiin ankaraan lamaan. Velkaa otettiin joka suunnasta, ulkomaanvelka kasvoi vuodessa 50 %. Kansantaloudelle keskeisen metsäteollisuuden tilauskirjat tyhjenivät ja tuotanto romahti. Liikepankit joutuivat pelastamaan rahoitukseltaan horjuvia metsäyhtiöitä ja valtiovalta tuli lopulta apuun devalvaatiolla. Vienti alkoi vetää ja kannattavuus ja käyttöasteet parantua, suurin käänne tapahtui 1979 (3).

Tästä alkoi varsinaisesti myös painopaperiteollisuuden - lähes kolmekymmentä vuotta kestänyt - huikea menestysjakso (Liitekuva 1). Kauppi ja Kettunen kuvaavat menestystarinaa mukaansa tempaavasti ”Vihreä kultakausi 1973-2008” -kirjassaan (2022). Kultakaivoksen avasi aikakauslehtien kysynnän räjähtäminen.

Näyttäviin, värikuvia pursuaviin harrastelehtiin, mainosesitteisiin ja yritysten asiakaslehtiin tarvittiin korkealaatuista painopaperia, jonka vaatimukset vaihtelivat asiakaskohtaisesti. Suomalaiset tarrasivat hanakasti kasvavaan kysyntään ja rynnistivät markkinoiden kärkijoukkoon. Avaintuotteet olivat päällystämätön (SC) ja päällystetty aikakauslehtipaperi (LWC) sekä useampaan kertaan päällystetty taidepainopaperi. Suomalaisten menestystekijöitä olivat Kaupin ja Kettusen mukaan valmistusteknologinen etumatka, tehokkaat tuotantolaitokset, maailmanlaajuinen markkinointi ja toimitusvarmuus.

Ja vauhdikkaasti lisääntyneet metsävarat mahdollistivat laajenevan puun käytön (6).

Metsäteollisuuden viennin reaaliarvo yli kaksinkertaistui vuoteen 2000 mennessä (Liitekuva 2). Painopaperi toi eniten rahaa, mutta samalla jaksolla myös muiden tuoteryhmien tuotanto kasvoi. Sanomalehtipaperin rooli tosin alkoi ennen pitkää hiipua, mutta toimisto- ja pehmopapereiden kysyntä sitä vastoin kasvoi. Sellua puolestaan tuotettiin entistä enemmän sekä omille paperitehtaille että vientiin.

Mekaanista puukuitumassaa, hioketta ja uudempaa ratkaisua kuumahierrettä (TMP), tarvittiin paperitehtailla paljon sanomalehti- ja aikakauslehtipapereihin. Mekaanisen massan valmistus vaati erityisen kovasti energiaa, ja sähköntarve kipusi kasvavan paperintuotannon mukana. Metsäteollisuus olikin keskeisesti mukana ydinvoimatuotannon pohjustuksessa ja voimaloiden rakentamisessa (3).

Kartongin tuotanto kuluttaja- ja kuljetuspakkauksiin kasvoi paperia hitaammin mutta vakaasti. Kartongin raaka-aineena oli jo pitkään käytetty – puun ohella – keräyspaperia. 1970-luvulla ryhdyttiin selvittämään keräyspaperin soveltuvuutta myös paperiteollisuuden raaka-aineeksi. Perustettiin siistauslaitoksia, joilla keräyspaperista pystyttiin tuottamaan entistä puhtaampaa ”uusiomassaa”. Paperitehtaat suhtautuivat kuitenkin pitkään varauksellisesti uusiomassan käyttöön, eikä sen käyttö tahtonut lähteä lentoon. 1980-luvun lopulla Yhtyneet Paperitehtaat raivasi polkua perustamalla siistauslaitoksen Kaipolan tehtaan yhteyteen ja otti uusiomassan laajamittaisesti paperin raaka-aineeksi (58).

Sahateollisuus investoi ja uudistui 1970-luvulla ratkaisevasti. Puun hankintatekniikan kehitys vauhditti osaltaan uudistumista. Metsätyöt koneellistuivat vauhdilla ja autokuljetus yleistyi, mikä helpotti ympärivuotisia tukkitoimituksia. Puun mittalaitteiden ja katkontaohjelmistojen tulo hakkuukoneisiin 1980-luvulla antoi uudet eväät kohti tuotelähtöistä puunhankintaa.

Sahoilla tukkien sahaus lajitteluineen uudistettiin tietotekniikkaa hyödyntäviksi, pitkälle automatisoiduiksi sahauslinjoiksi. Sahatavaran kuivaamot sekä joustavat ympärivuotiset toimitukset mahdollistava paketointi otettiin laajasti käyttöön. Sahauksen tuottavuus, saanto ja tuotannon arvo paranivat ratkaisevasti ja työntekijöiden tarve putosi automaation myötä (4).

Vaneriteollisuudessa edellisellä vuosikymmenellä alkanut havupuun käyttö koivun rinnalla löi kunnolla läpi 1970-luvulla. Havu- ja havu-koivu-seka-

vaneri alkoivat vallata alaa puhtaalta koivuvanerylta. Tuotekehitykseen panostettiin lisäämällä erilaisia pinnoitteita vanereihin niin rakentamisen kuin kuljetusalankin tarpeisiin. Tuotekehityksen tärkeänä merkkipaaluna pidetään LVL-viilupuun (Laminated Veneer Lumber) valmistuksen käynnistämistä 1980-luvun alussa (5).

Vanerin tuotantoa tehostettiin automaation avulla 1980-luvulta alkaen. Tuolloin otettiin käyttöön mm. viilujen sorvauksen ohjausjärjestelmiä sekä konenäkötekniikkaa viilujen analysointiin ja paikkaukseen. 1990-luvulla perustettiin uusia havuvaneritehtaita, jotka automatisoitiin pitkälle tukkien käsittelystä vanerien liimaukseen saakka (5).

Tuotantotilastojen valossa ajanjakso öljykriisistä 2000-luvun alkuvuosiin näyttää silkalta nousukaudelta. Mutta ei se niin mennyt. Niin Suomi kuin metsäsektorikin kokivat poikkeuksellisen rajuja suhdannevaihteluja ja murroskausia.

Metsäteollisuus kamppaili kannattavuutensa kanssa 1980-luvullakin, mutta 1990-luvun lama oli syvin sitten 1930-luvun. Niklas Jensen-Eriksen kuvaa metsäteollisuuden tilanteen näin: ”Perusasiat olivat kunnossa: Koneet olivat suuria ja moderneja, kansainvälistyminen pitkällä, asiakkaita löytyi maailmalta, tuotantorakenne oli kilpailukykyinen ja jalostusaste korkea. Kukoistuksen tiellä oli vain yksi ongelma: kustannustaso”(3).

Samaan aikaan valtiontalous oli liemessä, pankkikriisi päällä ja valtakunnassa satoja tuhansia työttömiä. Järeät keinot otettiin käyttöön. Markka devalvoitiin kahteen kertaan 1991 ja 1992 sen arvo putosi peräti 30 %. Suurdevalvaatio aiheutti katastrofin monille suurilla valuuttalainoilla ottaneille yrittäjille. Metsäteollisuus kuitenkin nousi lamasta muutaman vuoden kuluessa ja vuosina 1994 -1995 päästiin jo huipputuloksiin (3).

Metsäteollisuuden vienti Neuvostoliittoon oli romahtanut jo 1991 itänaapurin järjestelmän hajotessa. Tosin itäviennin osuus oli ollut siinä vaiheessa enää alle 10 % koko viennistä. Muutos oli monilla muilla aloilla paljon dramaattisempi (3).

Metsäteollisuus tarvitsi kasvavaan paperiteollisuuteen lisää energiaa ja käynnisti 1983 viidennen ydinvoimahankkeen pohjustamisen yhdessä Imatran Voiman kanssa. Loppumetreillä hanke kariutui Tshernobylin ydinvoimalan onnettomuuteen huhtikuussa 1986. Asiaan palattiin myöhemmin.

EEC:n kilpailua koskevat säädökset alkoivat kunnolla realisoitua 1970-luvun lopussa. Tulilinjalla olivat alkuun Finnpap ja muut tuotteiden myyntiyh-

distykset. Tiukentuneiden kilpailulakien seurauksena yhteistyön muotoja ensin kevennettiin. Myöhemmin, 1990-luvun alussa, sellu- ja paperiteollisuuden sekä puutuoteteollisuuden myyntiyhdistykset kokonaan purettiin. Taustalla vaikuttivat kilpailupykälien ohella yhtiöiden fuusiot, jotka vahvistivat yritysten omia hartioita tuotteiden markkinoinnissa ja myynissä (3).

Samassa yhteydessä purettiin tai uudelleen järjestettiin myös muita yhteistyömuotoja. Esimerkiksi teollisuuden ja MTK:n yhteiset puun hintasuositussopimukset lopetettiin. Ja samoin kävi Metsäalan kuljetuksenantajien ja Koneyritysten laatimille urakoinnin ohjemaksuille.

Euroopan Yhteisöön (EU) liitettiin tammikuussa 1995. Valtaosa Suomen metsäteollisuustuotteista tuotettiin ja käytettiin Euroopassa, joten liittymisellä oli iso merkitys. Yhteisvaluutta euroon tilivaluuttana siirryttiin vuonna 1999. Samalla katosi työkalupakista perinteinen valuuttaväennin, devalvaatio. Teollisuuden kilpailukyvyistä oli jatkossa huolehdittava enimmäkseen omin avuin.

Metsäteollisuus keskittyi rajusti 1980-luvun jälkipuoliskolta alkaen ja suuri joukko – sellu- ja paperiteollisuuden - merkittäviä yritysnimiä hävisi kymmenessä vuodessa. Lähes kolmekymmentä sellu- ja paperiyhtiötä yhdistettiin lopulta kolmeksi nykyiseksi jättikonserniksi Metsäliiton, Stora-Enso Oyj:n ja UPM-Kymmene Oyj:n ympärille. Fuusiot heijastuivat voimakkaasti puunhankinnan organisointiin. Valtaosa raakapuun hankinnasta keskittyi jäljelle jääneiden suuryhtiöiden ympärille.

Fuusioiden ja kansainvälisen omistuksen vahvistamat yhtiöt alkoivat panostaa globalisaatioon, erityisesti tuotannon laajentamiseen eri mantereiden päämarkkina-alueille.

Metsäteho kasvun tukena

Hakkuumäärät notkahtivat öljykriisin seurauksena, mutta kasvoivat jyrkästi teollisuuden elpymisen ja laajenemisen myötä. Kotimaisen raakapuun käyttö kasvoi lähes puolitoistakertaiseksi, 58 miljoonaan kuutiometriin, vuosien 1973 ja 2000 välillä (Liitekuva 3). Tuontipuunkin määrä alkoi vahvasti nousta 1990-luvulla.

Puun toimitusketjuun tuli uusia vaatimuksia. Esimerkiksi ympärivuotisen puuhuollon sekä puun laadun ja ympäristöasioiden hallinnan merkitys korostuivat. Energiapuun hankinta, metsänhoidon tehostaminen ja metsien ympäristökysymykset laajensivat Metsätehon tehtäväkenttää. Puun korjuu koneellistui ja digitalisaatio alkoi tarjota uusia mahdollisuuksia. Metsätehoa tarvittiin moneen lähtöön.

Kaudella 1976/1977 Metsätehon jäsenyritysten ja metsähallituksen työmailla hakattiin vielä miestyönä 94 % ja monitoimikoneisiin – valtaosin prosessoreihin - perustuvilla ketjuilla vasta 6 % puumääristä.

Tavaralajimenetelmän osuus oli vallitseva eli runkomenetelmän kausi suomalaisessa puunkorjuussa oli jäänyt lyhyeksi. Jäsenyritysten ja metsähallituksen hakkuissa oli tuossa vaiheessa noin 16 000 metsuria.

Metsäkuljetuksesta 91 % tehtiin kuormatraktorilla, loput metsävarusteisilla maatalous- tai teollisuusraktoreilla. Laahustraktorit olivat hävinneet kuvasta (140).

Vuoden 1976 kaukokuljetustilaston mukaan eri kuljetusmuotojen osuus perille tulleista puumääristä oli seuraava: autokuljetus 58 %, vesitiekuljetus 25 %, rautatiekuljetus 17 % ja traktorikuljetus 1 % (141).

Kuormainharvesterin voittopolku

Hakkuun koneellistaminen oli Metsätehon painoalueena. Konevalmistajat puskipivat markkinoille kaato-juonto-koneita, prosessoreita ja harvestereita, joten testattavaa riitti. Taloudellisuuslaskelmilla ja suunnittelusysteemeillä tuettiin jäsenyrityksiä koneketjujen valinnassa ja tehokkaassa käytössä.

1970-luvun puolivälistä alkaen panostettiin erityisesti harvennushakkuiden koneellistamiseen. Metsät alkoivat pullistella harvennuspuuta ja niiden kannattava käsittely oli olennaista sekä puun hankinnan että puuntuotannon kannalta. Markkinoilla olevia prosessoreita ja harvestereita kokeiltiin, mutta ne olivat liian kömpelöitä harvennuksiin.

Metsäteho sai valtion suhdannepidätysvaroista lisäeväitä kasvatusmetsiin soveltuvien koneiden ja laitteiden kehittämiseen. Niiden avulla avustettiin lähes kymmenen prototyypin kehittämistä, joita olivat mm. Makeri-pientraktoripohjainen harvesteri, Valmet kaato-kasauskone, TTS-kuormatraktoriprosessori, Marttiini-harvesteri ja Fiskarsin pitkäulotteinen kuormain metsätraktoriin.

Yksi rahoituskohteista oli keksijä Sakari Monosen ideoima Finko, joka oli kuormaimen kouran paikalle asennettava prosessori. Vuoden 1978 vuosikertomuksessa todetaan metsäteholaiseen pidättyvään tyyliin: ”Puomisoiviteisen Finko-karsinta-katkontalaitteen prototyyppi on valmis ja tutkimukset ovat päättyneet”. Jälkikäteen arvioiden aihetta olisi ollut isompiin tunteenpurkauksiin. Monosen kuormainprosessori oli mullistava keksintö, joka avasi täysin uuden, voittoisan polun hakkuukoneiden kehitykseen.

Finkon kouraan oli istutettu vetorullat puiden jatkuvatoimista syöttöä varten, karsintaterät ja ketjusaha katkontaa varten. Laite pystyi syöttämään puita myös latva edellä, mikä mahdollisti hakkuun 30 metrin ajouravälillä, kun puut kaadettiin uralle päin. Metsäteho testasi prototyyppilaitetta avo- ja harvennushakkuissa alkuvuodesta 1978 ja ensikokeilun tulokset olivat hyvin lupaavia (142).

Fincombi Ky kaupallisti sittemmin laitteen ja kehitti siitä Finko 50-nimisen version sarjatuotantoon. Finko 50 hoiti runkojen käsittelyn Lokomo 919/750-kuormainprosessorissa, jota Metsäteho sittemmin testasi. Testissä keuhuttiin erityisesti monipuolista automatiikkaa, joka vaikutti myönteisesti tuotokseen, sekä mittalaitteen tarkkuutta (143).

Finkon kanssa samoihin aikoihin keksittiin Ruotsissa RK 450 Skogsjan-kouraprosessori. Se päätyi välivaiheiden kautta Volvo BM:n haltuun. Volvon ja Valmetin metsäkonetuotannon yhdistymisvaiheessa konetta myytiin Suomessa nimellä Volvo BM-Valmet 450 -kuormainprosessori. Metsätehon ensitestissä sekin saavutti hyvät tulokset (144).

1970-luvun lopulla koneellistamisinnostus oli huimaa, kilpailevia konevalmistajia paljon - ja tilanne karkasi käsistä. Seurauksena oli valmistuksen kannattavuuskriisi, mikä johti mittaviin omistusjärjestelyihin. Konttinen ja Drushka (1997) kuvaavat lähtötilannetta värikkäästi: ” Vuosikymmenen lopussa markkinat olivat kipupisteessä. Tehtaiden pihat olivat täynnä uutuuttaan hohtavia metsäkoneita. Vaihtokonevarastoissa seisoivat valtavat määrät pääomaa, joka ei liikkunut mihinkään. Myyntiennusteiden lumoamina ku-

kaan ei ollut hämmästellyt samaa kuin moottorien toimittajat. He olivat kyselleet, miten oli mahdollista, että heiltä tilattiin tuhansia moottoreita, vaikka metsäkoneiden vuosimyynti laskettiin sadoissa”.

Tuosta käynnistyi iso rakennemuutos, joka – monien vaiheiden jälkeen – johti lopulta siihen, että lukuisat pohjoismaiset konemerkit sulautuivat 1980 ja 1990 lukujen aikana kahden valtamerkin, Timberjackin ja Valmetin lipun alle. Tässä mylläkössä hävisivät sellaiset metsäkoneiden pioneerimerkit kuin Ösa, Kockums, Volvo ja Lokomo.

Myöhemmin amerikkalainen John Deere osti Timberjackin (vuonna 2000) ja japanilainen Komatsu Valmetin (vuonna 2004). Lisäksi kotimainen Ponsse kasvoi kolmanneksi suureksi metsäkoneiden valmistajaksi. Ponssien ja John Deeren tavaralajikoneet valmistetaan nykyään Suomessa ja Komatsun Ruotsissa. Tämän kehityksen myötä Suomesta tuli maailman johtava tavaralajimenetelmän koneiden valmistusmaa. Suomeen ja Ruotsiin jäi lisäksi toimimaan lukuisia pienempiä konevalmistajia.

Päätarinaa palatakseen, kuormainprosessorit ratkoivat merkittävästi harvennushakkuiden koneellistamisen haasteita etenkin myöhemmissä harvennuksissa. Ne soveltuivat myös rungon kooltaan pieniin ja keskikokoisiin päätehakkuihin. Molemmissa ensimmäisissä laitteissa oli myös mahdollisuus karsia ja katkoa useita runkoja yhtä aikaa. Se edellytti kuitenkin puiden esikasausta, mikä ei ainakaan Suomessa ollut kannattavaa.

Muut harvennusten koneellistamistutkimukset kohdistuivat mm. pitkäulotteisiin nostureihin, joista sitten kehittyikin yleisratkaisu sekä kuormatraktoreihin että hakkuukoneisiin. Myös tavallista pienikokoisempia prosessoreita ja harvestereita, kuten Bruunett Mini 578 P -prosessoria testattiin (145) sekä pientraktoriperustaista puulta puulle liikuvaa Makeri-harvesteria (146).

Harvennustarpeita oli runsaasti ja niiden toteutus oli valtakunnallisesti polttava kysymys. Motivointia ja ohjeistusta varten julkaistiin vuonna 1982 yhdessä Keskusmetsälautakunta Tapion kanssa ”Puunkorjuu nuorista kasvatusemetsistä”-opas (147). Siinä kuvattiin ensi kertaa kuormainprosessorin ja pientraktoriin perustuvia menetelmiä perinteisen metsurihakkuun rinnalla.

Puun kaadon yhdistäminen kuormainprosessorin oli seuraava ratkaiseva kehityshyppy. Esimerkiksi Lastusen Konepajan Lako-kuormainprosessori voitiin näppärästi kääntää siihen lisätyn ”rullaradan” avulla pystyasentoon kaatosahausta varten. Myöhemmin rullarata korvattiin hydraulisella kääntösylinterillä. Lako-kuormainharvesteri todettiin Metsätehon pikatestissä

”tekniseltä toteutukseltaan yksinkertaiseksi ja varmatoimiseksi”. Sen toimivuutta ja tuottavuutta tutkittiin sekä prosessori- että harvesterikäytössä. Laitteen todettiin soveltuvan parhaiten rungoltaan keskikokoisiin avohakkuisiin ja myöhempiin harvennuksiin (148). Ensikokeilun innostamana toteutettiin laajempi aikatutkimus, jonka johtopäätöksissä povattiin kuormainharvesterille merkittävää roolia ”yleismonitoimikoneena” (149).

Eri valmistajien kuormainharvestereita tuli ripeään tahtiin markkinoille. Seuraavaksi testattiin Volvo BM-Valmet 935, joka oli alun perin rakennettu kasvatushakkuisiin. Harvesteri oli asennettu teleskooppikuormaimeen, jonka ulottuvuus oli 10 metriä. Monitoimiosaan oli tehty Suomen oloja varten muutoksia, jotka mahdollistivat suurempienkin puiden hakkuun. Päätelmässä todettiin muutosten laajentavan harvesterin käyttöaluetta ja siinä olevan ”ainesta päätehakuiden yleiskoneeksi ainakin Pohjois- ja Keski-Suomessa” (150).

Erityyppisten monitoimikoneiden tuotekehitys jatkui vilkkaana 1980-luvulla. Markkinoille tuli myös pienikokoisempia laitteita, jotka voitiin asentaa metsäkoneiden ohella maataloustraktoreihin. Metsäteho testasi esimerkiksi Tapio-kuormainharvesteria (151), Keto-kuormainprosessoria (152) ja Pika 45-prosessoria (153).

Kuormainprosessoreiden käyttöönotto paransi myös metsäkuljetuksen tuottavuutta metsurihakkuuseen verrattuna. Konetyömailla puutavarakasat olivat suurempia ja kuormausajo sen takia nopeampaa. Metsäteho tutki asiaa maksuperusteiden tarkistamista varten ja antoi samalla suosituksia kasauksen toteutuksesta tehokasta kuljetusta silmällä pitäen (154).

Metsäteho kehitti 1980-luvun alussa puunkorjuun vaihtoehtolaskentasyntemien (Susy) puunkorjuun menetelmävalinnan tueksi. Järjestelmällä voitiin hakea leimikoittain halvin käytettävissä oleva korjuumenetelmä ja sitä käytettiin valtakunnallisiin ja yrityskohtaisiin kehittämistarkasteluihin. Metsäyhtiöt kytkivät systeemin myös omiin puunhankinnan suunnittelujärjestelmiinsä (155).

Hakkuun koneellistaminen oli 1985 murrosvaiheessa, ja Metsäteho päivitti valtakunnallisia puunkorjuun kehityslaskelmiaan. Laskelmien lisäksi tehtiin kyselytutkimus korjuumenetelmistä ja niiden kehityksestä jäsenyritysten hankinta-alueille ja metsähallituksen piirikunnille (156). Monitoimikoneilla valmistettiin tuossa vaiheessa noin 20 % puusta. Tavanomaisten prosessoreiden osuus oli 50 %, kuormainprosessoreiden 18, tavanomaisten eli ns. kaksi-

otetarvestereiden 16 % ja kuormainharvestereiden 16 %. Toimijat arvioivat melko varovaisesti monitoimikoneiden osuuden nousevan 26 %:iin vuoteen 1990 mennessä.

Metsätehon laskelmat puolsivat huomattavasti raisumpaa koneellistamista. Monitoimikoneilla olisi heti kannattanut korjata 48 % puusta ja nostaa osuus 69 %:iin vuoteen 1990 mennessä. Tutkimuksessa tarkasteltiin myös hitaamman koneellistamisen aiheuttamia lisäkustannuksia ja työvoiman tarvetta. Käytännön kehitysvauhti osui suunnilleen toimijoiden arvioiden ja Metsätehon laskelmien puoliväliin: vuonna 1990 koneellistamisaste oli 45 %.

Tutkimus antoi kosolti aineksia puunkorjuun pitkän aikavälin suunnitteluun ja päätöksentekoon - ja herätti kovasti keskustelua. Metsätehon 50-vuotisjuhlaulkaisussa Metsäliiton Antti Oksanen toteaa: ”Metsäteho oli selvästi aikaansa edellä. Sen koneellistamisennusteet olivat oikean suuntaisia, mutta kun koneellistamista yritettiin viedä firmoissa eteenpäin ja suunniteltiin organisaation muutoksia, niin siihen se tyssäsi” (157).

Tuohon aikaan Veitsiluoto Oy:ssä toiminut Kauko Parviainen katsoi ”että vastahangan taustalla oli osin myös pettymystä koneiden toimintaan. Alussa kompastuttiin siihen, että periaate ja laskelmat olivat hyvä, mutta tekninen varmuus kiikasti. Kun prosessori pääsi jonkin palstan reunaan, saattoi sattua, että puoli päivää puitiin ja kolme päivää odotettiin varaosia”.

Molemmat toivat esiin, että huoli työvoimasta oli merkittävä koneellistamisen hidaste. Parviainen kiteytti asian seuraavasti: ”metsurien loppumisen pelossa Pohjois-Suomessa strategiana oli solmia pitkäaikaisia työsopimuksia sekä yleisesti kohentaa metsurien työ- ja sosiaalioloja. Tilanteessa, jossa työvoima piti säilyttää ja sen tuottavuus uusien menetelmien myötä myös nousi, koneita ei oikein vakavasti voitu ajatellakaan lisättävän”.

Tässä yhteydessä on hyvä muistaa, että alkuvaiheen koneet istuivat lähinnä päätehakkuisiin ja pienirunkoisissa harvennuksissa tarvittiin vielä metsureita samoin kuin metsänhoitotöissä. 1980- ja 1990-lukujen taitteessa metsätyöntajat havahtuivat nopean koneellistamisen vaikutuksiin manuaalista metsätyötä tekevien työntekijöiden kannalta. Metsätehoa kannustettiin kehittämään työkaluja, joilla töiden sisältöä voitaisiin monipuolistaa. Sitä kuitenkin haittasi merkittävästi alan palkkaus, joka painottui suoraan urakkapalkkaukseen.

Metsäalan työehtosopijapuolet käynnistivät palkkauksen kehittämistyön Metsätehon asiantuntijatuella. Kehitystyön tuloksena metsätöihin laadittiin työn vaativuuteen ja työntekijän pätevyyteen perustuva palkkausjärjestelmä,

mikä mahdollisti aikapalkkauksen ja erilaiset suorituspalkat. Metsäteho laati työehtosopijapuolille työehtosopimuksen soveltamisen tueksi metsäpalkkauksen ohjeet ja palkanlaskentasovelluksen. Uusi palkkausjärjestelmä helpotti työntekijän siirtymistä entistä monipuolisempiin työtehtäviin.

Metsäteho tutki 1990-luvun alussa hakkuun koneellistamisen taloudellisia ja organisatorisia vaikutuksia. Erityishuomion kohteena oli metsänhoitoiden työvoimantarpeen vaikutus korjuun koneellistamismahdollisuuksiin (158). Mallitarkastelujen mukaan taloudellinen koneellistamisaste oli kiivennyt jo 95 % tasolle. Käytännön koneellistamisaste oli tuolloin 50-60 % ja pidemmälle viedyllä koneellistamisella oli saavutettavissa tuntuvia kustannussäästöjä. Metsänhoitotyöt rajoittivat koneellistamisedellytyksiä, jos merkittävä osa niitä tekevistä metsureista oli työllistettävä korjuutöissä talvikautena. Suositeltiin mm. metsänviljelykauden pidentämistä työvoimantarpeen vähentämiseksi.



Kun runkojen karsintaterät ja katkaisusaha onnistuttiin istuttamaan kuormaimen kouran paikalle asennettavaan hakkuulaitteeseen, avautui olennainen kehityspolku. Keksijä Sakari Monosen vuonna 1978 esittelemä Finko 1-prototyyppilaite oli ensimmäinen suomalainen kuormainprosessori.



Lokomo 919/750 -kuormainprosessori päätehakkuussa. Koneen hakkuulaitteena oli Finko 50. Teisko 1982.



Pian kuormainprosessereihin yhdistettiin myös puiden kaatotekniikka, jolloin syntyivät kuormainharvesterit. Ne valtasivat hakkuukonemarkkinat 1980-luvun puolivälistä alkaen. Kuvassa yrittäjä Kari Rantamaan omistama Ponsse HS15-kuormainharvesteri Halikossa vuonna 1988.

Harvennukset haasteena

Kuormainharvesterit ponkaisivat 1980-luvun puolivälissä myyntitilastojen kärkeen syrjäyttäen kaksioteharvesterit. Metsätehon tilaston mukaan monitoimikoneita oli vuonna 1985 Suomessa käytössä kaikkiaan 330 ja niistä jo 30 % oli kuormainharvestereita. Myynnissä oli yhteensä 16 hakkuulaite-merkkiä tai -mallia (159).

Vaikka kuormainharvesterit alun perin kehitettiin erityisesti harvennuksia varten, Suomessa niillä tehtiin pääasiassa päätehakkuita. Syynä olivat kone- ja ihmistyön väliset kustannussuhteet. Koneellistaminen eteni kokonaisuutena rivakasti, mutta harvennushakkuissa, etenkin ensiharvennuksissa hitaammin.

1980-luvun puolivälissä selvitettiin harvennushakkuiden tulevaa kehitystä ja korjuuolosuhteita seuraavilla vuosikymmenillä. Ensiharvennusten ja turvemaiden harvennusten pinta-alat ja hakattavissa olevat puumäärät olivat jyrkässä kasvussa (160). Ensiharvennustarpeiden lisääntyminen oli sinänsä myönteinen merkki siitä, että vuosikymmenten panostus metsien kasvun lisäämiseen alkoi tuottaa tulosta. Korjuuteknisesti ne olivat kuitenkin melkoinen haaste ja koneellistaminen vaati toimijoilta sitkeyttä. Aihe pyöri pitkään Metsätehonkin ohjelmissa.

Rinnalla parannettiin kaiken aikaa myös metsurihakkuun tuottavuutta. Keinoja olivat mm. suunnattu kaato uralle päin, pitkän 3-6 m:n puutavaran teko ja pölkkyjen ”suoriminen” pitkäulotteisen kuormaimen ulottuville. Näin minimoitiin siirtely- ja kasaustyö, jolloin työ nopeutui ja rasittavuus väheni tuntuvasti (161). Moottorisahalla tehtävän hakkuun palkkaperusteitakin täydennettiin vielä 1970-1980-lukujen vaihteessa juuri tehokkaampien hakkuumenetelmien takia. Koneeseppien piti entisestään kiristää tahtia, kun metsuri kaasutti karkuun.

Kasvatushakkuiden koneellistuessa korjuujälkeen alettiin kiinnittää kasvavaa huomiota, ja Metsäteho kehitti menetelmän korjuujäljen inventointiin. Siinä mitattiin ajourien leveys, välimatka ja osuus pinta-alasta, jäävän puuston määrä sekä puusto- ja maastovauriot. Samalla kirjattiin suosituksia laadukkaan harvennushakkuun suunnittelusta ja toteutuksesta (162).

Kuormainharvesterin iskukykyä ensimmäisessä ja toisessa harvennuksessa tutkittiin 1988. Tutkimuksessa vertailtiin konehakkuuta, ihmistyötä ja niiden erilaisia yhdistelmiä. Harvesteri oli toisessa harvennuksessa selvästi edullisin ratkaisu, mutta ensiharvennuksissa manuaalinen hakkuu tuli halvemmaksi. Koneen kuljettajan suorittama puiden valinta oli sekä kustannusten että vaurioiden kannalta ennakkoleimausta parempi (163). Ajourien väli oli tuossa vaiheessa 30 metriä, mikä oli harvesterille kova haaste.

Toisessa tutkimuksessa vertailtiin männikön ensiharvennuksissa tavanomaisia ja pieniä kuormainharvestereita sekä maataloustraktoriperusteisia monitoimikoneita. Teknisesti ensiharvennus onnistui kaikilla konetyypeillä, mutta tavanomainen kuormainharvesteri oli taloudellisin. Koska uraväli oli 30 metriä, harvesterille kaadettiin sen ulottumattomissa olevat puut metsurityönä. Toisena menetelmänä kokeiltiin ”koukkaamista” metsikön sisään, jolloin ulotuttiin kaikkiin puihin. Korjuukustannuksissa hävittiin vielä hiukan metsurille (164).

Jatkotutkimuksessa tavanomaiset kuormainharvesterit hakkasivat ajourat hiukan helpompien pelisääntöjen mukaan, 20 metrin välein, jolloin koko palstan hakkuu kävi suoraan uralta. Tutkimus vahvisti käsitystä, että koneelliseen ensiharvennuksen oli jo käytettävissä toimivaa konekalustoa. Laskelmat osoittivat, että harvesterit alkoivat olla myös kustannuksiltaan kilpailukykyisiä (165).

Keskusmetsälautakunta Tapio uusi syksyllä 1989 metsänhoitosuosituksensa, ja ne edistivät tuntuvasti harvennusten koneellistamista. Samalla niihin kirjattiin puunkorjuulle tarkempia vaatimuksia, joita myös tultaisiin valvo-

maan. Vuonna 1990 Metsäteho julkaisi suositusten pohjalta oppaan nimeltään ”Harvennushakkuiden korjuujäljelle asetettavat vaatimukset sekä korjuujäljen arviointi ja mittaaminen” (166).

Opas sisälsi Metsätehon, Tapion, MTK:n, metsäyhtiöiden ja Metlan edustajien yhteistyönä laatimat yksityiskohtaiset suositukset harvennusmetsien korjuusta. Keskeisimpiä olivat ajouraväliä, poistettavien puiden valintaa, harvennusvoimakkuutta sekä korjuujäljen kriteerejä ja mittausta koskevat suositukset. Olennainen muutos oli se, että ajouraväliksi suositeltiin nyt korjuumenetelmän mukaan 20-30 metriä, mikä paransi ratkaisevasti koneellisen hakkuun edellytyksiä.

Noin kolmannes metsämaistamme on ojitettuja turvemaita, joten niiden hoidolla ja käytöllä oli ja on iso rooli puuhuollossa. Ojitetut metsät alkoivat tulla mittavasti ensiharvennusvaiheeseen 1990-luvulla. Niissä kannattavuushaasteet kasaantuivat. Kivennäismaillakin pieni rungon koko ja niukka hehtaarikertymä rasittivat taloutta. Turvemailla puusto oli vielä pienempää, usein aukkoista ja lisäriesana oli maan upottavuus.



Ketterät kuormainharvesterit paransivat olennaisesti harvennushakkuiden koneellistamisedellytyksiä. Kuvassa hakataan ensiharvennusmännikköä joukkokäsittelymenetelmällä Valmet 901-kuormainharvesterilla. Mänttä 1988.

Kantoihan turvemaata toki koneita paksun roudan tai lumen aikaan, mutta tehtaasivat tarvitsivat puuta ympäri vuoden. Ainakin osalle turvemaakohteista piti päästä sulan maan aikaan. Metsäteho testasi erilaisia koneketjuja turvemaiden kesäaikaissa ensiharvennuksissa 1989. Kokeiltiin sekä pyörä- että telakonealustaisia kuormainharvestereita ja ajokoneita.

Kaikilla koneketjuilla puut saatiin korjatuksi, mutta eroja oli koneketjujen taloudellisuudessa sekä pinnalla pysymisessä. Huono kantavuus haittasi etenkin metsäkuljetusta. Johtopäätöksissä korostettiin kalustovalinnan merkitystä ja suositeltiin teloilla varustettuja 8-pyöräisiä tai tela-alustaisia peruskoneita upottaviin olosuhteisiin (167).

Tekniset valmiudet kaikkien hakkuiden koneellistamiseen olivat näin ollen olemassa 1990-luvun alussa. Vähäinen tuottavuus oli kuitenkin edelleen ensiharvennusten rasitteena. Paremman tuottavuuden perässä Metsäteho tutki mm. vaihtoehtoisia harvennustapoja sekä useamman puun samanaikaista karsintaa ja katkontaa, ns. joukkokäsittelyä. Johtopäätöksissä suositeltiin voimakkaita, harvoin toistuvia harvennuksia ja puiden teknistä laatua painottavaa ala-yläharvennusta. Joukkokäsittely istui parhaiten tiheimpien kohteiden valikoivaan alaharvennukseen sekä niiden systemaattiseen harvennukseen (168).

Ensiharvennuspuun korjuu oli 1990 luvulle tultaessa joka tapauksessa kallista niin koneilla kuin metsurityönäkin. Eikä teollisuuskaan tuntenut pienikoiseen harvennuspuuhun erityistä hinkua. Oli uhkana, että ensiharvennukset jäisivät vallan retuperälle. Maa- ja metsätalousministeriön toimeksiannosta Metsäntutkimuslaitos, Metsäteho ja Jaakko Pöyry Oy toteuttivat ”Harvennushakkuiden taloudellinen merkitys ja toteuttamisvaihtoehdot” -yhteistutkimuksen (1992), jossa haettiin keinoja tilanteen ratkaisuun (169). Tavoitteena oli ”selvittää harvennushakkuiden merkitys yksityismetsätaloudelle, metsäteollisuudelle ja Suomen kansantaloudelle sekä antaa pohjaa metsävarojen tarkoituksenmukaiselle kehittämiselle tulevaisuudessa”.

Laajassa tutkimuksessa todistettiin huolella harvennushakkuiden tarpeellisuus sekä puuntuotannollisin että taloudellisin perustein. Johtopäätöksissä ensiharvennuskustannusten alentaminen todettiin tärkeäksi. Avainkeinona nähtiin harvennuksen myöhentäminen, mikä oli omiaan lisäämään kertymää ja poistuman järeyttä. Ensiharvennusten siirtäminen olisi mahdollista, kun taimikon harvennus tehtäisiin tarpeeksi voimakkaana. Korostettiin muutenkin taimikonhoidon välttämättömyyttä kannattavan ensiharvennuksen kannalta.

Metsäteho jatkoi tutkimuksen pohjalta eri harvennusvaihtoehtojen vertailua. ”Harvennustapa männikön ensiharvennuksessa” -tutkimuksessa selvitettiin alaharvennuksen ja laatuharvennuksen eroja puuntuotannon, puunkorjuun ja puun jalostusarvon kannalta. Laatuharvennuksessa ensiharvennuskertymä oli kolmanneksen suurempi kuin alaharvennuksessa ja poistettavat puut tuntuvasti järeämpiä. Näin laatuharvennuksen korjuukustannukset olivat selväs-

ti alaharvennusta pienemmät. Laatuharvennus paransi laskelmien mukaan myös puun jalostusarvoa ja metsänomistajan nettotuloja (170).

Hakkuiden koneellistaminen eteni nyt hyvää vauhtia ja kuormainharvesteri vakiintui korjuun yleiskoneeksi. Vuonna 1995 koneellistamisaste metsäteollisuuden ja metsähallituksen hakkuissa oli jo 82 %. Päätehakkuista oli koneellistettu 90 % ja harvennushakkuistakin 63 % (171). Raskain metsätyö oli saatu valtaosin siirretyksi koneille.

Maksuperustetutkimusten joutsenlaulu

Metsäalan Kuljetuksenantajat ja Koneyrittäjien Liitto laativat ensimmäiset monitoimikoneita koskevat ohjemaksut 1980-luvun alussa. Koneet olivat kiivaassa kehitysvaiheessa ja maksutkin alkuun konetyyppikohtaisia. Kaikki monitoimikoneet kattava sopimus solmittiin vuoden 1985 lopussa. Metsäteho tuotti koneellisen hakkuun maksuperusteita useissa tutkimuksissa 1980-luvulla. Ensimmäinen kuormainharvestereiden maksuperustetutkimus julkaistiin vuonna 1985 (172).

Vuosikymmenen vaihteessa siirryttiin sopijapuolten toivomuksesta uuteen käytäntöön, ns. jatkuvaan maksuperustetutkimukseen. Ajatuksena oli, että tuotetaan joka vuosi ajantasaista tietoa hakkuun ja metsäkuljetuksen tuottavuudesta sekä konekannan ja korjuumenetelmien kehittymisen vaikutuksista. Ensimmäinen aineisto kerättiinkin suunnitellusti kesästä 1990 kesään 1991 ja tulokset luovutettiin sopijapuolille (173).

Toisen aineiston keruu aloitettiin syksyllä 1991, mutta keruu keskeytettiin vuoden vaihteessa. Syynä oli metsäkoneurakoinnin valtakunnallisen ohjemaksujärjestelmän päättyminen, jonka taustalla oli vuonna 1988 uudistettu kilpailulaki. Tutkimuksista saatiin kuitenkin joksikin aikaa ajantasaista tuottavuustietoa alan ja Metsätehon käyttöön (174). Tietopohjaa piti siitä alkaen pyrkiä ylläpitämään muilla keinoin.



Puutavaran mittaus hakkuukoneisiin

Hakkuukoneet vapauttivat ihmiset raskaimmasta metsätyövaiheesta ja paransivat puunkorjuun tuottavuutta ja kustannustehokkuutta. Mutta eivät hyödyt siihen jääneet. Koneiden myötä koko puunhankinta koki melkoisen mullistuksen. Avaimena oli puutavaran automaattisten mittausjärjestelmien ja tiedonsiirtotekniikan tulo hakkuukoneisiin. Se uudisti puunhankinnan ohjauksen ja ohensi organisaatiot.

Yksinkertaisia pituusmittalaitteita rakennettiin monitoimikoneisiin alusta alkaen. Olihan pölkyt pystyttävä katkomaan halutun mittaisiksi. Jo ensimmäisissä motoissa oli käsiohjauksen vaihtoehtona myös automaattinen karsinta-katkaisu-toiminto. Lämpimitan mittauksia niissä ei kuitenkaan ollut.

Luotettavien automaattisten mittalaitteiden rakentaminen hakkuulaitteisiin ei ollut kone- ja laitevalmistajille mikään helppo rasti. Mitta-antureiden toimintaa hankaloittavat mm. puun pinnan epätasaisuudet, lämpötilan vaihtelu, lumi ja jää sekä rungon käsittelyssä sinkoilevat kuoren ja oksan kappaleet. Tietotekniikkakin oli alkuun rajoitteena, mutta sitten mikroprosessorit toivat lisäpuhtia, johon valmistajat tarttuivat innolla.

Jatkuva läpimitan mittaus saatiin pituusmittauksen kylkeen 1970-luvun lopulla. Se antoi mahdollisuuden katkoa tavaralajit automaattisesti tai käsiohjauksella pituuden ja läpimitan mukaan. Mikroprosessoreihin perustuvia mittalaitteita kehittivät mm. Lokomo, Marttiini ja Metsätyö (Lako).

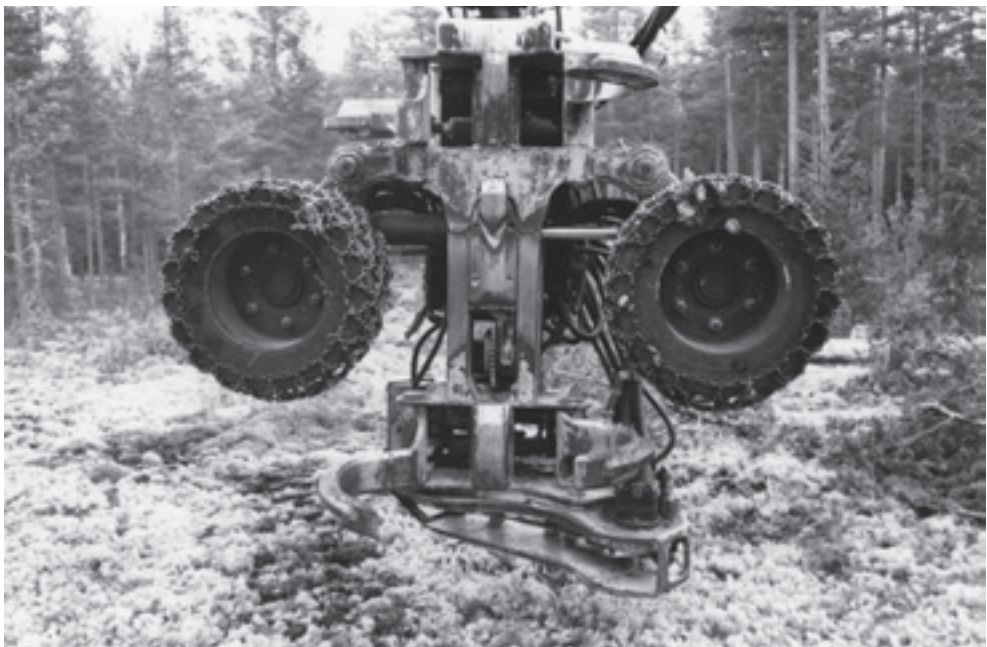
Metsäteho selvitti monitoimikoneiden automaation tilaa ja tulevaisuuden näkymiä 1980-luvun alussa (175). Mittalaitteiden osalta kuvattiin pituuden ja läpimitan mittausperiaatteet ja laitteiden seurantatulokset. Pituuden mittaus-tarkkuudet eivät olleet riittävän hyviä. Tavoiteltuun enintään 3 cm:n poikkeamaan tukkien tavoitepituudesta päästiin keskimäärin 42 %:ssa tapauksista. Tukkien katkontatarkkuus oli erityisen tärkeä puun jalostusarvon kannalta.

Tärkeimmiksi kehittämiskohteiksi listattiin tarkkuuden parantamisen ohella jatkuvatoimisen läpimitan mittauksen kehittäminen, puuta ilman mekaanista kosketusta seuraavien mittalaitteiden, varmatoimisen kuutioinnin sekä puun laatua määrittävien laitteiden kehittäminen. Laadun mittauksen osalta suositeltiin, että olisi tutkittava mm. laseria, elektro-optista kuvausta, röntgeniä, mikroaaltoja ja uusia anturityyppejä. Eri tekniikoita onkin myöhemmin kokeiltu moneen otteeseen, mutta puuta koskemattoman mittausmenetelmän kehittäminen hakkuulaitteeseen on osoittautunut hyvin haastavaksi.

Mittaustarkkuudet paranivat vähitellen. 1980-luvun puolivälin tienoilla markkinoille tulivat ensimmäiset puutavaran tilavuuden laskentaan kykenevät mittausjärjestelmät. Lähes kaikilla konevalmistajilla oli omat mittalaitteensa ja lisäksi markkinoilla toimi erillisiä mittalaitteyrityksiä.

Metsäteho koosti ehdotuksen mittalaitteille asetettavista vaatimuksista. Tarkoitus oli yhtenäistää mittauksia ja suunnata laitteiden kehittämistä. Lähtökohtana oli, että hakkuukoneen mittaustuloksia voitaisiin käyttää niin puukaupan, työpalkkojen kuin urakkamaksujenkin perusteena. Ja mittalaitteen avulla piti tietysti kyetä valmistamaan kulloistenkin mitta- ja laatuvaatimusten mukaista puutavaraa ja laskea tarvittaessa lisätietoja tehdasta varten (176).

Suosituksessa kuvattiin vaadittavat mittaustiedot, tarkkuusvaatimukset, kysymyksen tulevat mittausmenetelmät sekä tuloksen tarkastuksen, laitteen hyväksynnän ja kalibroinnin menettelyt. Tarkkuusvaatimukseksi pölkkyjen pituudelle ehdotettiin ± 3 cm, läpimitalle ± 2 mm ja leimikon puutavaralajikohtaiselle tilavuudelle ± 4 %. Puiden kappale- ja runkoluvun oli vastattava todellista.



Hakkuukone- ja laitevalmistajat kehittivät hakkuukoneisiin mittalaitteet pölkkyjen mittauksia, tilavuuden laskentaa ja katkonnan ohjausta varten. Se mullisti puuhuoltoa perusteellisesti. Kuvassa FMG Lokomo Forest Oy:n valmistama FMG 762 -hakkuulaite, jossa Locomatic 90-mittausjärjestelmä. Pituuden mittaus perustui mittapyörään ja läpimitan mittaus karsintaterän asentoon. Kuva vuodelta 1989.

Metsäteho sparrasi valmistajia testaamalla jatkuvasti markkinoille tulevien mittalaitteiden kyvykkyyttä. Esimerkiksi keväällä 1989 tutkittiin 25 monitoimikoneen mittaustarkkuutta. Vajaa puolet koneista pääsi tavoiteltuun 4 %:n tarkkuuteen tilavuuden mittauksessa. Kaksioteharvesterit pärjäsivät vertailussa yksioteharvestereita paremmin. Tukkien apteeraustarkkuus vaihteli huomattavasti koneiden välillä. Huomautettiin, että kuljettajan ammattitaito vaikuttaa merkittävästi mittaustarkkuuteen. Todettiin myös, että ”monitoimikoneiden mittalaitteiden mittaussovellukset erosivat merkittävästi toisistaan varsinkin kuitupuun tilavuuden mittauksessa”. Pohdittiin mittausrvirheiden syitä ja annettiin suosituksia tarkastusmittauksen toteutuksesta (177). Metsäteho kokosi myös kattavat tekniset tiedot kaikista markkinoilla olevista 13 mittalaitteesta (178).

Sittemmin mittalaitteissa käytetyt menetelmät yhtenäistyivät. Tilavuuden laskennassa yleistyi pätkittäinmittausperiaate, jossa yksittäisen puutavarakappaleen tilavuus saatiin enintään 30 cm:n pituisten osien yhteenlaskettuna tilavuutena. Metsäteho osallistui tarkastusmittauksen menetelmien kehittämiseen. Tarkastus oli siinä vaiheessa varsin työlästä, tarkastuserien otanta-käytännöt ja mittauksen tarkkuuskin vaihtelivat. Metsäteho tuotti perusteet yhtenäiseen, luotettavaan ja kustannustehokkaaseen menetelmään (179).

Hakkuukonemittauksen tarkkuuden parantuessa sen käyttö urakointi- ja puukaupparamaksujen perusteena yleistyi nopeasti. Vuonna 1993 hakkuukonemittauksen arvioitiin kattavan jo 72 % Metsätehon jäsenyritysten yksityismetsistä korjaamasta puumäärästä. Käyttö pohjautui aluksi mittaussosapuolten Puutavan mittauksen neuvottelukunnassa sopimiin periaatteisiin. Mittaussosapuolet sopivat mm. siitä, että hakkuukonemittauksen tilavuuden mittauksen tarkkuusvaatimus on tukki- ja kuitupuutavaralajiryhmittäin ± 4 %. Lisäksi määriteltiin tarkastusmittauksen menettelyt.

MMM antoi ensimmäisen hakkuukonemittausta koskevan määräyksen ja ohjeen vuonna 1999. Ministeriö on sittemmin päivittänyt säädöksiä antamillaan asetuksilla esimerkiksi vuonna 2006 sekä puutavaran mittausrlain uudistamisen (2013) yhteydessä.

Hakkuukonemittaus syrjäytti leimikoiden pystymittauksen, jota oli tehty parikymmentä vuotta. Pystymittauksesta oli saatu tarkat puustotiedot, joista oli ollut hyötyä hankinnan suunnittelussa. Metsäteho pyrki kehittämään korvaavia, koealaotantaan perustuvia ennakkomittausmenetelmiä (180).

Vaikka koneellistaminen eteni, osa hakkuista, etenkin harvennuksista teh-

tiin vielä pitkään metsurityönä. Siihen kehitettiin oma työ- ja luovutusmittausmenetelmänsä. Menetelmäksi vakiintui ns. metsurimittaus, jossa metsuri luki puut ja mittasi koepuut hakkuun yhteydessä. Masser Oy kehitti menetelmää varten mittalaitteet ja laskentaohjelmistot. Metsäteho tutki menetelmän tarkkuutta ja mittauksen ajanmenekkiä (181).

Hakkuukoneiden pituusmittauksen ja tukkien katkonnan tarkkuus olivat alati kiinnostuksen kohteena. Vuonna 1998 Metsäteho selvitti saha- ja vaneritukkien toteutunutta katkontatarkkuutta ja mahdollisuuksia sen parantamiseen. Tukkien pituustarkkuudessa todettiin olevan paljon parannettavaa ja tuloksen konekohtainen vaihtelu oli suurta. Koostettiin kehittämisohdotuksia mm. mittalaitteiden kehittämisestä, hakkuukonedatan hyödyntämisestä, mittauksen tarkastuksesta ja kalibroinnista sekä toimijoiden koulutuksesta (182).

Kohti tuotelähtöistä puunhankintaa

Tukkia kutsutaan monesti puolijalosteeksi, koska sen arvo määräytyy pitkälti puuston järeyden, laadun ja runkojen katkonnan perusteella. Kehnosta tukista ei saa millään arvokasta sahatavaraa. Koneellinen hakkuu avasi uuden polun lopputuotteiden markkinatilanteesta ja asiakastarpeista lähtevään tukkien hankintaan. Tähän saakka koneellistaminen oli parantanut tuntuvasti tuottavuutta ja säästänyt kustannuksia. Nyt avautui mahdollisuus myös lisätuottojen tienaamiseen.

Konehakkuun alkuvaiheessa ei tosin voinut tienauksesta puhua, koska tukkien apteerauksessa oli toivomisen varaa (apteerauksella tarkoitetaan rungon laatuun ja mittoihin perustuvaa katkontakohtien määrittämistä). Metsätehon vertailuissa harvestereiden ja prosessoreiden kuljettajat onnistuivat apteerauksessa huominkin kuin metsurit, varsinkin männiköissä. Suurimpana syynä oli viallisten runkojen virheellinen katkonta. Metsäteho suositteli raportissa koneiden katkonta-automaatiikan kehittämistä, jotta kuljettajalle jäisi enemmän aikaa laatuvarustusten tarkkailuun. Lisäksi suositeltiin systemaattista laatuvalvontaa työn ohjauksen ja apteerauskoulutuksen pohjaksi (183).

Keskeiset mahdollistajat uudenlaiseen puun ohjaukseen olivat hakkuukoneiden apteerausautomaatiikan ja tietojärjestelmien kehittäminen. Metsäteho paneutui aluksi asiaan selvittämällä leimikosta kertyvän ”tukkisuman” ohjauksen keinoja. Työssä tarkasteltiin hakkuukoneissa käytössä olevia leimikon tukkijakauman ohjausmenetelmiä sekä tehtiin laskelmia omalla apteerauksen simulointiohjelmalla. Annettiin suosituksia rungon katkontavaihtoehtojen laskennasta ja jakauman ohjauksesta (184).

1990-luvun lopulla asiaan paneuduttiin perusteellisesti TEKES-rahoitteissa Tuotelähtöinen puunhankinta -projektissa (TULP), jonka moottoreina olivat Suomen Puututkimus Oy ja Metsäteho Oy osakkaineen. Taustalla olivat teollisuuden asiakaslähtöisyyden korostuminen sekä pyrkimys tarkempaan jalostusprosessin ohjaukseen kannattavuuden perusteella.

Metsäteho kehitti menetelmiä ja välineitä tukkijakaumien ohjaukseen sekä leimikoilta tarvittavien ennakkotietojen hankintaan ja käyttöön (185,186,187,188,189). Sahojen kannattavuuden parantamismahdollisuuksia täsmähankinnan avulla tutkittiin esimerkiksi sahojen datojen pohjalta (190). Lisäksi selvitettiin mm. pituuden ja läpimitan mittaustarkkuuden merkitystä, vertailtiin rungon kapenemisen ennustemenetelmiä ja tarkasteltiin tiedon siirtostandardin kehittämistarpeita tuotelähtöisen puunhankinnan kannalta (191,192,193).

Tutkimuksen apuvälineiksi kehitettiin hakkuukoneryhmän toimintaa jäljittelevä simulointiväline sekä tukin ja rungon arvon laskentaohjelmisto, joka perustui mm. mitattuun tietoon sisäoksista (194,195,196). Samoihin aikoihin sahat alkoivat investoida tukkiröntgenlaitteisiin ja VTT kehitti sisäoksaisuusdataan perustuvaa simulaattoria sahausasetteiden valinnan tueksi.

Jatkoprojektissa tuettiin pölkkyjakauman ohjauksen käyttöönottoa. Ohjeistusta varten verrattiin runkokohtaisen arvoapteerauksen sekä jakauma-apteerauksen toimivuutta. Tulosten pohjalta kuvattiin jakauma-apteeraukseen tarvittavien arvomatriisien ja tavoitejakaumien laadintaperiaatteet hakkuukoneille (197). Metsäyhtiöissä katkonnan ohjausta alkoivat hoitaa ns. aptikot, jotka laativat hakkuukoneille apteerauksessa käytettävät ohjaustiedostot. Työn apuvälineiksi metsäyhtiöt ja konevalmistajat rakensivat Apteriohjelmit, joiden toimintaperiaatteita käytetään nykyisessäkin katkonnan ohjauksessa.

TULP-hankkeessa tutkittiin myös puustoa koskevan ennakkotiedon hankintamenetelmiä. Ennakkotieto oli tarpeen hankinnan suunnittelua ja katkonnan ohjausparametrien asettamista varten. Projektissa selvitettiin metsäsuunnittelutiedon ja erillisten ennakkomittausmenetelmien käyttökelpoisuutta tuotelähtöisen toiminnan kannalta. Metsäsuunnittelutieto todettiin sinänsä hyväksi perustiedoksi, mutta puuston laatutunnusten puutteen takia tähän tarkeitukseen riittämättömäksi. Leimikoiden ennakkomittauksella puolestaan voitiin tuottaa kaikki tarvittavat tiedot, mutta menetelmän yleistymiseen ei uskottu sen työläyden takia. Ratkaisuna nähtiin tunnusten ennustaminen tietovaraston avulla, jonka ydin koostuisi hakkuukoneen muodostamista mitaustiedoista. Tällaista ”runkopankkia” testattiin alustavasti.

Työtä jatkettiin ”Runkopankki puunhankinnan ohjauksen välineenä”-projektissa. Järjestelmän tärkeimmiksi käyttöalueiksi nähtiin ”yksittäisen leimikon puustotunnusten, puutavaralajikertymän ja pölkkyjakauman ennustaminen eri katkontavaihtoehtoilla ja leimikoiden katkontaa ohjaavien tiedostojen muodostaminen sekä varantojen kuvaus hankintavaihtoehtojen vertailuissa ja alueellisissa metsävaratarkasteluissa” (198).

Tutkimuksessa rakennettiin tietovaraston prototyyppi ja kehitettiin hakkuukonedatojen hankinta- ja käsittelymenetelmät sekä tärkeimmät käyttösovellukset. Testiaineistojen avulla vertailtiin vaihtoehtoisia menetelmiä leimikon puustotietojen ennustamiseen eri tasoisten lähtötietojen pohjalta. Runkopankista sovelluksineen tuli Metsäteholle siitä alkaen hyvin tärkeä työväline puuhuollon yhteisiin ja yrityskohtaisiin kehityshankkeisiin. Sen avulla testattuja periaatteita on hyödynnetty omistajayritysten ja alan muidenkin toimijoiden sovelluksissa.

Metsäkoneiden kehittyessä osaksi puuhuollon ohjausjärjestelmiä tiedonsiirron menetelmät nousivat avainasemaan. Tietoliikenneoperaattorit sekä laite- ja konevalmistajat vastasivat yhteyksien teknisestä järjestämisestä. Metsätehon tehtäväksi tuli tiedonsiirtostandardien kehittäminen. Tiedon piti siirtyä sujuvasti ja sisällöltään oikeassa muodossa hankintaorganisaatioiden tietojärjestelmistä eri valmistajien metsäkoneisiin ja takaisin.

Metsäkoneiden tiedonsiirtostandardi (StanForD) kehitettiin alun perin Ruotsissa 1987. Metsäteho liittyi standardin yhteistyöverkostoon 1991 ja ryhtyi organisoimaan sen käyttöönottoa ja kehittämistä suomalaisten toimijoiden piirissä. Aluksi StanForD:sta julkaistiin myös suomenkieliset versiot, mutta niiden ylläpidosta luovuttiin myöhemmin. Standardin rakennetta on tuosta olennaisesti uudistettu ja sisältöä päivitetään kehittyvän puuhuollon vaatimusten mukaan. Metsäteho ja ruotsalainen Skogforsk vastaavat standardin ylläpidosta ja kehittämisestä edelleen yhteistyössä kone- ja mittalaittevalmistajien kanssa.

Hakkuutähteet hyötykäyttöön

Metsäteollisuus huolestui 1960-luvun lopulla sellun raaka-aineen riittävyydestä. Katseet suunnattiin potentiaalliseen lisäraaka-aineeseen eli hakkuutähteisiin ja kantoihin. Metsäteollisuuden Keskusliitto käynnisti 1970-luvun alkupuolella kaksi projektia talteenoton tutkimista ja korjuumenetelmien kehittämistä varten. Ensimmäinen oli työnimeltään ”kanto- ja juuripuuprojekti” ja se käynnistettiin 1970. Sen jatkoksi käynnistettiin vuonna 1974 ”oksa-

raaka-aineprojekti”. Tavoitteena oli kantojen ja oksien käyttö nimenomaan massa- ja levyteollisuudessa. Metsäteollisuuden ja tutkimustahojen lisäksi kauppa- ja teollisuusministeriö osallistui rahoitukseen.

Hankkeissa oli omat tutkimusryhmänsä selvittämässä raaka-aineen ominaisuuksia teollisuusprosessien kannalta. Metsäntutkimuslaitoksen ja Metsätehon tehtävänä oli selvittää ”metsäpään” kysymyksiä eli raaka-ainepotentiaalia ja korjuu- ja kuljetustekniikkaan. Metsäntutkimuslaitos oli paneutunut kantojen ja hakkuutähteiden korjuuseen jo aiemmin ja oli kantoprojektin pääasiallinen tutkimustaho.

Hankkeessa selvisi että teknisesti korjuukelpoista kanto- ja juuripuuta olisi tuolloin saatavissa 1,0-1,5 miljoonaa kuitupuukuutiometriä vastaava määrä vuodessa. Se merkitsi noin 10 %:n raaka-ainelisää, jos se ajateltiin ohjattavaksi pelkkään sulfaattiselviteollisuuteen. Kustannustehokkain kantojen korjuuketju perustui Pallarin kantoharvesterin ja kuormatraktorin yhdistelmään (199).

Keskusliiton asettaman hakkuutähdeprojektin (1974-1977) tavoitteena metsäpäässä oli korjuukelpoisen hakkuutähteen määrän ja laadun selvittäminen, korjuuteknologian kehittäminen ja jopa tarvittavien koneiden ja laitteiden suunnittelu. Tavoitteena oli ”kehittämisen- ja tutkimustyön avulla luoda sellaiset korjuumenetelmät ja korjuukalusto, että hakkuutähteitä voitaisiin korjata käytännön laajuudessa taloudellisesti”.

Hakkuutähde sisälsi korjuussa metsään jäävät oksat, latvukset, korjaamatta jäävän ainespuun sekä raivauspuun. Metsätehon ja Metsäntutkimuslaitoksen loppuraportin mukaan talteen saatu hakkuutähteen puuainemäärä oli keskimäärin 10 % korjatun ainespuun kuorettomasta määrästä. Kun asiaa tarkasteltiin hankinta-alueen tasolla ja otettiin huomioon kaikki teknis-taloudelliset rajoitteet, hakkuutähteistä saatava puuaineen lisäys jäi perin vaatimattomaksi, alle kolmeen prosenttiin (200).

Käyttökelpoisin korjuumenetelmä oli hakkuutähteiden kuljetus suurennetulla kuormatilalla varustetulla kuormatraktorilla välivarastolle haketettavaksi, ja kaukokuljetus kiinteä- tai vaihtolavaisilla täysperävaunurekoilla käyttöpaikoille. (Eipä ole kaukana nykyisestä hankintaketjusta!). Mutta tehdashintaa kertyi paljon ja käytön kannattavuuslaskelmien tulokset olivat karut. Hakkuutähde ei vaikuttanut sillä erää taloudellisesti kilpailukykyiseltä vaihtoehtoihin raaka-aineisiin verrattuna sen paremmin teollisuus- kuin energiakäytössäkään. Käyttöedellytysten arvioitiin kuitenkin paranevan tulevai-

suudessa, kun ”korjuu- ja jalostustekniikka kehittyvät sekä metsäteollisuus-
tuotteiden markkinat elpyvät ja öljyn hinta kohoaa.” Niin kävikin.

Pienikokoisen kokopuun käytössä vaikutti olevan enemmän potentiaalia ja siihen satsattiin. Ensiharvennusten metsänhoidollinen tärkeys oli keskeinen kannustin. Lisäksi kohteena olivat vajaatuottoiset, pienikokoista lehtipuuta sisältävät avohakkuukohteet. Metsäteho kehitti kokopuun hakkuun, metsäkuljetuksen, haketuksen ja kaukokuljetuksen menetelmiä. Käyttökelpoisimmaksi ketjuksi osoittautui siirtelykaato metsurityönä, kuormatraktorikuljetus, haketus välivarastolla ja kuljetus hakkeena käyttöpaikalle.

Öljyn hinta nousi 1970-luvun puolivälissä moninkertaiseksi, mikä siirsi nopeasti metsätähteen hyödyntämisen painopisteen energiapuuhun. Teollisuus- ja energialaitokset paransivat valmiuksiaan metsähakkeen käyttöön. Hankinnan kehitystyö voimistui entisestään 1980-luvulla. Nyt pyrkimyksenä oli laajentaa korjuun raaka-ainepohjaa myös järeämpiin leimikoihin. Siihen kehitettiin ns. osapuumenetelmä, jolla yhdistettiin tavaralajeina ja hakkeena korjuu. Puiden arvokkain runko-osa karsittiin ja katkottiin normaaleiksi tavaralajeiksi ja latvat korjattiin kokopuuhakkeeksi.

Metsäteho teki esitutkimuksen uudesta menetelmästä ja totesi sen lupaavaksi etenkin avohakkuissa. Ihmistyönä hakkuun tuottavuus luonnollisesti parani tavaralajimenetelmään verrattuna, kun työläin latvaosa jätettiin käsittelemättä. Menetelmä toimi myös prosessorilla tehtävän hakkuun ja metsurityön yhdistelmänä. Lisäraaka-ainetta saatiin tuntuvasti talteen (201).

Metsäteho käynnisti 1981 kauppa- ja teollisuusministeriön rahoitustuella kolmivuotisen ”Energiapuun korjuu teollisuuspuun korjuun yhteydessä” – hankkeen. Tavoitteena oli ”selvittää teollisen jalostuksen ulkopuolelle jäävän, nk. energiapuun tekniset ja taloudelliset korjuu- ja kuljetusmahdollisuudet, kun sitä hankitaan varsinaisen teollisuuspuun yhteydessä.”

Hankkeessa selvitettiin talteen saatava energiapuumäärä ja kehitettiin menetelmiä pienpuun, hakkuutähteen sekä kantojen korjuuseen, haketukseen ja autokuljetukseen. Osa- ja kokopuumenetelmät osoittautuivat kannattavimmiksi ratkaisuiksi aines- ja energiapuun yhdistettyyn hankintaan. Loppuraportissa painotettiin, että ”energiapuun hankinta on sekä teknisesti että taloudellisesti järkevää kytkeä metsäteollisuuden ainespuuraaka-aineen hankintaan”. Jatkotutkimustarpeita todettiin olevan mm. energiapuun mitauksessa ja metsätähteen korjuun ekologisissa vaikutuksissa (202).

Yhdistetyssä aines- ja energiapuun hankinnassa tehtaalle tulevat raaka-ai-

nevirrat tietenkin muuttuivat. Osapuuna hankinta edellytti mm. karsimattomien rankojen vastaanottoon ja käsittelyyn soveltuvaa kuorimarumpua ja metsähakkeen käsittely puolestaan seulonta-asemaa. Raaka-aineen laatu erosi normaalista tavaralajeina korjatusta puusta, ja aiheutti, valmistettavan tuotteen mukaan, muutoksia jalostusprosessiin ja lopputuotteen ominaisuuksiin. Toisaalta syntyi runsaasti lisäenergiaa, mikä vaikutti tehtaan energiatalouteen.

Metsätehossa laadittiin laskentamalli, jonka avulla voitiin optimoida puuraaka-aineen käyttöä energian tuottamiseen ja jalostukseen. Malli kehitettiin erityisesti osapuun- ja metsähakkeen hankinnan taloudellisuuden analysoimiseksi, kun niitä hankittiin sulfaattisellua tuottavan ja/tai kiinteitä jätteitä polttavan laitoksen raaka-aineeksi. Metsäteho teki työkalulla yleisiä kannattavuusanalyyskejä sekä yrityskohtaisia selvityksiä (203).

Eikä aikaakaan, kun valtiovalta innostui jälleen uusiutuvasta energiasta. Valtioneuvoston keväällä sekä syksyllä 1993 eduskunnalle asettamassa selonteossa asetettiin tavoitteeksi bioenergian käytön huomattava lisääminen. Kauppa- ja teollisuusministeriön rahoittama Bioenergian tutkimusohjelma (1993-1998) kokosi yhteen mittavan joukon alan toimijoita. Kuten nimestä voi päätellä, ohjelmassa tutkittiin muutakin kuin puuenergiaa. Tavoitteena oli ”teknisen tutkimus- ja kehitystyön keinoin lisätä taloudellisesti kannattavaa ja ympäristöystävällistä bioenergian käyttöä parantamalla nykyisten puu- ja turvepolttoaineiden kilpailukykyä, kehittämällä uusia kilpailukykyisiä biopolttoaineita sekä bioenergian käyttöön ja jalostukseen liittyvää teknologiaa.”

Päätavoite oli kuitenkin kehittää nimenomaan puupolttoaineiden tuotantomenetelmiä, ”joilla tuotettu polttoaine on kilpailukykyistä tuontipolttoaineisiin nähden ja yhteenlaskettu lisäkäyttöpotentiaali vähintään 1 milj. toe/a eli n. 5,5 milj. m³.” Puupolttoaineiden tuotannon kustannustavoitteeksi asetettiin suorkäytössä 45 mk/MWh (nykyrahassa noin 13 €/MWh) 100 km:n kuljetusetäisyyteen asti.

Metsäteho tutki etupäässä ensiharvennusmänniköiden yhdistettyä aines- ja energiapuun hankintaan. Niiden osuus hakkuumahdollisuuksista oli kasvussa, mutta pienikokoinen mänty ei ollut erityisen haluttua sellun raaka-ainetta. Tutkimuksissa selvitettiin ensiharvennuspuun hankintapotentiaalia ja vertailtiin korjuu- ja käsittelymenetelmiä.

Uusista teknisistä ratkaisuista testattiin mm. useamman puun käsittelyyn kykeneviä joukkohakkuulaitteita ja korjuun yhdistelmäkoneita, palstahaketausta, eri kuormatilaratkaisuja sekä ketjukarsinta-kuorinta -tekniikkaa. Yhdis-

tettyjen ainespuun ja polttoaineen hankintamenetelmien todettiin parantavan harvennuspuun käytön kannattavuutta massan valmistuksessa ja tehtaan energian tuotannossa (204).

Tuotantoketjujen vertailujen pohjaksi selvitettiin yhdessä VTT:n ja Metsäntutkimuslaitoksen kanssa sellu- ja energiajakeen ominaisuuksia ja laskettiin sellun tuotantokustannukset KCL:n kehittämällä mallilla. Joukkohakkuuseen ja rumpukuorintakäsittelyyn perustuvat menetelmät olivat yleensä kilpailukykyisimpiä. Aines- ja energiapuun integroitu tuotanto oli laskelmien mukaan karsitun kuitupuun käyttöä edullisempaa. Integroitujen menetelmien soveltamismahdollisuudet sellutehtailla olivat kuitenkin vielä rajalliset (205)

Ensiharvennuspuun ominaisuuksiin sellun raaka-aineena paneuduttiin useissa yhteistutkimuksissa. Sellun tuotanto oli kasvussa ja ensiharvennuspuuta oli runsaasti tarjolla. Sitä oli käytetty aiemmin vain vähän sellun tuotantoon ja sen tähden käyttöarvosta tarvittiin lisätietoa. Selvitetiin mm. sellun saantoa ja tuotantokustannuksia ja analysoitiin sen ominaisuuksia paperin teossa. Lisäksi tarkasteltiin mm. puiden minimiläpimitan ja joukkokäsittelyn vaikutusta jalostusarvoon ja korjuukustannuksiin (206, 207).

Energiapuututkimuksia jatkettiin Tekes-rahoitteisessa Puuenergian teknologiaohjelmassa (1999-2003). Metsätehon tutkimusalueena oli käyttöpai-
kallahaketukseen tai -murskaukseen perustuvat tuotantoketjut. Perinteisissä ketjuissahan hake tuotettiin välivarastolla tai joskus jo palstalla. Käyttöpai-
kallahaketuksen katsottiin sopivan erityisesti puuenergian suurkäyttöön, joka oli kasvussa Metsätehon osakasyritystenkin piirissä.



Hakkuutähteiden hyödyntäminen alkoi kiinnostaa metsäteollisuutta 1970-luvun puolivälissä. Kuvassa hakkuutähdekuorma matkalla varastolle hakettavaksi vuonna 1975.

Uutena teknisenä vaihtoehtona oli hakkuutähteiden paalaus palstalla noin puolen kiintokuution ”sätkiksi”. Menetelmän etuna nähtiin se, että paaleja voitiin kuljettaa normaalilla metsä- ja autokuljetuskalustolla tavallisen puutavaran tapaan. Metsäteho tutki ja kehitti sekä hakkuutähteiden paalaukseen että irtorisujen korjuuseen ja kuljetukseen perustuvia käyttöpaikalla haketuksen ketjuja. Irtorisujen hankinta osoittautui edullisimmaksi. Kehittämisen varaa jäi niin irtorisujen kuljetukseen kuin paalaukseenkin (208).

Metsäteho selvitti ohjelmassa myös hakkuutähteen metsäkuljetuksen, ajamenekkiä ja kustannuksia (209) ja kehitti kuljetusmäärän mittausmenetelmiä (210). Puuenergian tuotantoketjujen kehittämistä jatkettiin vielä monissa hankkeissa 2000-luvun puolella.

Lisää puuta autokuormiin

Puutavara-autokalusto järeytyi nopeasti 1970-luvulla, mitä vauhditti vuonna 1975 tehty sallittujen akseli-, teli- ja kokonaispainojen korotus. Vuonna 1978 yleisin autotyyppi oli kaksiakselisella täysperävaunulla varustettu kolmiakselinen auto. Sen keskimääräinen kantavuus oli 26,5 t ja 85 % autoista kuormattiin irrotettavalla autokohtaisella kuormaimella. Käytössä oli talvisaikaan runsaat 1600 autoa ja neljä valtamerkkiä, Scania, Volvo, Sisu ja Mercedes-Benz, hallitsivat markkinoita (211).



Keväällä 1982 astui voimaan uusi ajoneuvoasetus ja ylikuormamaksulaki. Se mahdollisti autojen kokonaispainon kasvattamisen aiemmasta 42 tonnista 48 tonniin. Metsäteho antoi suosituksia kalustoratkaisuista, joilla lisäkantavuudesta saatiin suurin hyöty (212). Kuljetusyrittäjät uusivatkin kalustonsa nopeasti. Parin vuoden päästä lähes 80 % puutavara- ja hakeautoista oli jo rekisteröity 48 tonnin kokonaispainolle ja keskimääräinen kantavuus oli noussut 30 tonniin. Yleisimmässä puutavara-autossa oli 3-akselinen vetoauto ja 3-akselinen perävaunu. Myös neliakselisia vetoautoja oli hankittu jonkin verran (213).

Vuonna 1990 oli tulossa ajoneuvopainojen korostus 56 tonniin. Samalla oltiin siirtymässä ajoneuvojen todellisten akseli-, teli- ja kokonaispainojen määrittämiseen punnitsemalla, mikä oli todella merkittävä muutos. Siihen saakka painot oli määritetty kuorman kehystilavuuden ja liikenne-

ministeriön vahvistaminen tilavuuspainojen perusteella. Metsäteho arvioi ennakkoon muutosten vaikutuksia kuljetuskustannuksiin ja resurssien tarpeeseen (214). Muutosten mahdollistamaa isompaa autoyhdistelmää ja nosturiin asennettavaa kuormainvaakaakin testattiin alustavasti (215).



Puutavanippuja siirretään autokuljetuksesta uittoon etukuormajalla. Haapakoski 1991.

Näin puutavaran todellisesta massasta tuli autokuljetuksen keskeisin maksuperuste. Kaikilla vastaanottopaikoilla ei kuitenkaan ollut mahdollista punnita kuormia, joten kuljetusmaksujen sopijapuolet julkaisivat yhteisesti tuoretiheyskertoimet, joilla kuorman tilavuus saatiin muunnettua tonneiksi. Metsäteho tutki maksusopijapuolten pyynnöstä pariin otteeseen eri puutavaralajien tuoretiheyksien alueellista ja vuodenajoittaista vaihtelua ja muita kertoiimiin vaikuttavia tekijöitä (216,217). Metsäteho selvitti myös kuorman painon määrittämisen teknisiä vaihtoehtoja, testasi eri kuormainvaakamerkkien tarkkuutta ja punnitustyön vaikutusta kuormauksen ajanmenekkiin ja -kustannuksiin. Kuormainvaaka todettiin lupaavaksi ratkaisuksi (218).

Uudet säädökset tulivat voimaan vuoden 1990 alusta. Lokakuussa tehdyssä selvityksessä jo 90 % kalustosta oli uusien määräysten mukaisia, 7-akselisia yhdistelmiä. Eniten oli 3-akselisen auton ja 4-akselisen perävaunun yhdistelmiä. Yrittäjät olivat ottaneet kalustohankinnoissa hyvän etunojan heti kun muutos oli tiedossa. Lähes kaikki autot oli rekisteröity vähintään 56 tonnin kokonaispainoille. Muutokseen kuului nimittäin myös se, että tiehallinnon erityisluvalla saatiin maan jäätyneenä ollessa kuljettaa isompia, enintään 60

tonnin kuormia. Keskimääräinen kantavuus oli noussut edellisen kyselyn (1987) 30,5 tonnista 37,1 tonniin. Käytännössä kuormien koot eivät kuitenkaan olleet suuresti muuttuneet valvonnan käyttämän painojen määritysmenetelmän muutoksen takia (219).

Elokuusta 1997 lähtien sallittiin ns. moduuliyhdistelmien käyttö. Yhdistelmän suurin sallittu pituus nousi 22 metristä 25,25 metriin ja korkeus 4 metristä 4,2 metriin. Suurin sallittu kokonaismassa 7-akselisille puutavara-autoille säilyi 60 tonnissa, mikä mahdollisti 45-50 kuutiometrin kuormat.

Metsäteho päivitti autokuljetusoppaitaan tiuhaan tahtiin säädösten muuttuessa. Esimerkiksi vuonna 1997 julkaistussa oppaassa selostettiin uudet määräykset ja tarkasteltiin niiden tuomia mahdollisuuksia kaluston ja kuljetusten kannalta. Lisäksi ohjeistettiin mm. puutavaran varastointia, kuormausta ja purkamista, liikenne- ja työturvallisuutta, kuljetusten ohjausta ja ympäristöasioiden hallintaa (220).

Vuosikymmenen lopussa 7-akselisten yhdistelmien osuus oli 98 % kalustosta. Valtaosa niistä oli kolmiakselisen auton ja neliakselisen perävaunun yhdistelmiä. Kaikkien autojen keskikantavuus oli kivunnut jo lähes 41 tonniin (221). Eikä autokaluston kehittäminen tähän pysähtynyt, mutta siitä lisää 2000-luvun osiossa.

Auto- ja rautatiekuljetusten osuus puutavaran kuljetuksista kasvoi ja uiton osuus väheni. Syitä olivat etenkin pyrkimys puuhuollon kausivaihtelun tasoittamiseen ja varastojen pienentämiseen, tehtaiden omistusjärjestelyt uittoalueella sekä puutavaran laatuvaatimusten muutokset. Puutavaran aluskuljetus oli noussut kiinnostavaksi vaihtoehdoksi vesitiekuljetuksessa. Metsäteho selvitti teknisiä ja taloudellisia mahdollisuuksia aluskuljetuksen lisäämiseen Vuoksen vesistöalueella (222).

Muut vesitiekuljetustutkimukset aikajaksolla koskivat mm. moottoriproomujen käyttöä hakkeen kuljetuksessa (223), nippujen siirtoa autosta veteen kuormaajilla tai trukeilla (224) sekä nippujen sidontaratkaisuja ja nippulauttojen teon menetelmiä.

Uutta teknologiaa tehdasmittaukseen

1970-luvulla puutavaran painomittaus tehtailla oli yleistymässä vastaanotettujen puumäärien toteamisessa ja autokuljetusmaksujen perusteena. Puun vastaanotossa mitatut kuormien painot muunnettiin tilavuudeksi ottamalla näytteitä, joilla selvitettiin painon ja tilavuuden suhde eli tuoretiheys (kg/m³).

Näytteitä otettiin osite- eli kollektiivikohtaisesti ja osittelun perusteena oli yleensä puutavaran kuivuusastetta kuvaava luokka.

Metsäteho tutki puutavaran tuoretiheyden vaihtelua ja siihen vaikuttavia tekijöitä kuten varastointiajan merkitystä. Tulosten pohjalta tehtiin ehdotuksia kuormien kuivuusluokittelusta ja otantamenetelmistä (225). Vuonna 1985 paino-otantamittauksen osuus oli neljännes suurimpien metsäyhtiöiden tehdasmittauksesta. Kuormien massat saatiin kätevästi autovaa'illa, mutta otantanippujen mittauksessa oli kehittämisen tarvetta. Niiden painojen mitta- us vaati erityisjärjestelyjä eikä upotusaltaitakaan ollut aina käytettävissä tila- vuuden määrittämiseen. Tilavuuden manuaalinen mitta- us pölkyittäin eli ”nap- pulointi” oli puolestaan työlästä.

Metsäteho testasi ns. osaputetusmenetelmän tarkkuutta. Siinä näyteyksik- könä oli nipun sijasta puutavarakuormaimen taakka, joka upotettiin tavan- omaista pienempään upotusaltaiseen. Menetelmä osoittautui toimivaksi vaihtoehtoksi ja annettiin suosituksia sen soveltamisesta (226).

Tehdasmittauksen rooli luovutusmittauksessa ja yritysten välisissä puuta- varan vaihdoissa kasvoi, mikä korosti eräkohtaisen mittaustarkkuuden mer- kitystä. Mittaustarkkuutta voitiin parantaa paino-otantamittauksessa yksin- kertaisimmin näytteiden määrää kasvattamalla, mikä oli työlästä ja kallista. Metsäteho tutki vaihtoehtoja tapaa, ns. paino-ositemenetelmää.

Siinä mittauserä jaettiin vastaanottomittauksessa arvioitun kuormakoh- taisen tuoretiheyden perusteella ositteisiin otantaa varten. Tuoretiheysarvio perustui kuorman punnitukseen sekä kehystilavuuden mittaukseen perustu- vaan kiintotilavuusestimaattiin. Menetelmä oli huomattavasti tarkempi ja te- hokkaampi kuin tavanomainen paino-otantamitta- us ja Metsäteho ohjeisti sen soveltamista (227).

Tehdasmittausta pyrittiin 1990-luvulle tultaessa määrätietoisesti automati- soimaan. Tavoitteena oli määrä- ja laadutunnusten mittaustarkkuuden paranta- minen, mittauksen tehostaminen ja työvoimantarpeen vähentäminen. Vision Systems kehitti otantanippujen automaattiseen mittaukseen AVM2000-mit- talaitteen, jossa hyödynnettiin kuvankäsittely- ja lasertekniikkaa. Laite tuotti nipun kiintotilavuuden ja sillä voitiin tunnistaa myös alamittaiset ja lahot pöl- kyt. Metsäteho testasi laitteen tarkkuutta ja teki ehdotuksia sen jatkokehittä- mistä varten (228).

Vuosikymmenen puolivälissä otettiin käyttöön saman valmistajan auto- maattinen kuitupuun mitta- us- ja laadutusasema (AQS-300), joka perustui niin

ikään kuva- ja lasertekniikkaan. Asemalla mitattiin otantanippujen tilavuus ja laatu pölkyittäin. Metsäteho tutki tilavuuden mittauksen ja laadutuksen tarkkuutta, kapasiteettia ja kustannuksia. Uuden ratkaisun todettiin soveltuvan hyvin tehtäväänsä (229).

Hakkuukonemittaus yleistyi metsäpäässä ja tehtaalla puolestaan isoihin mittauseriin soveltuvat, otantaan perustuvat menetelmät. Pienet hankintapuu-erät mitattiin tehtaalla edelleen jo vanhahtavalla ajoneuvokuorman pinomittauksella. Vision Systems kehitti siihenkin tehtävään laser- ja konenäkötekniikkaan perustuvan ratkaisun, kehyskuvamittauksen (AVM-1000-mittausasema).

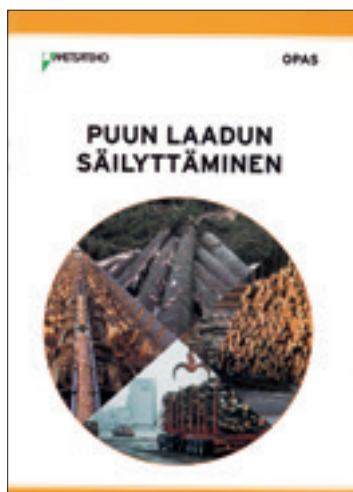
Menetelmässä puutavara-auto ajettiin hitaalla nopeudella mittausaseman läpi, jolloin kuorman kiintotilavuus selvisi noin puolessa minuutissa. Metsäteho ja Metla osallistuivat kehittämiseen tuottamalla mittausmenetelmän perusteet ja laskentayhtälöt sekä testaamalla ratkaisun toimivuutta ja tarkkuutta. Tutkimuksessa mittausasema toimi luotettavasti. Suurten investointikustannusten takia sen arvioitiin soveltuvan etupäässä suurten puunvastaanottoasemien mittausjärjestelmäksi (230).

Sahatukit hankittiin 1990-luvulla kasvavassa määrin ”tuotelähtöisesti”, minkä seurauksena varastot metsissä ja tehtailla pienenivät. Samalla virtaviivaistettiin tukkien mittausta uuden teknologian avulla. Sahatukkien mittauksessa otettiin käyttöön optisia tukkimittareita, joilla saatiin tukin dimensiot ja tilavuus luovutusmittausta ja lajittelua varten. Laatuluokitus tehtiin silmävara-raisesti. Metsäteho selvitti optisten Elmes-, Rema- ja Scanlog-tukkimittareiden tarkkuutta ja kehitti menetelmän niiden mittaustarkkuuden varmistamista varten (231). Tilavuuden mittaustarkkuus todettiin hyväksi ja menetelmä soveltuvaksi eräkohtaiseen luovutusmittaukseen. Korostettiin mittaustarkkuuden seurannan tärkeyttä.

Puutavaran laadunhallinnan uudet keinot

Puutavaran laadunhallinnalla voidaan vaikuttaa olennaisesti lopputuotteiden laatuun ja arvoon. Metsäteho paneutui laajasti laadunhallinnan keinoihin 1990-luvulla. Tutkimukset kohdistuivat erityisesti kuitupuun laadun säilyttämiseen varastoinnissa ja tukkipuun korjuu- ja käsittelyvaurioiden vähentämiseen.

Mekaanisen puumassan tuotanto kasvoi huimasti paperin kultakautena ja sitä tarvittiin tasaisesti ympäri vuoden. Massojen tuli olla laadultaan hyviä



ja tasalaatuisia, jotta niistä saatiin lujaa ja painatusominaisuuksiltaan hyvää paperia. Puu piti saada metsästä suoraan hiomoihin tai varastoida siten, että se säilyy tuoreen puun veroisena. Tämä toi lisävaatimuksia puun hankintaan, jossa kausivaihtelu oli suurta. Talvella hakattiin kuitupuuta selvästi enemmän kuin käytettiin ja kesällä päinvastoin. Kuusikoita ei voitu harvennata kesäaikaan, mikä lisäsi haastetta. Ongelma piti hoitaa varastoinnilla.

Metsäteho tutki yhdessä KCL:n kanssa mekaaniseen massaan tarkoitetun kuusipuun laadun säilymistä kesäaikaan. Tutkittiin eri varastointi- ja kuljetustapojen vaikutuksia massan ja paperin laatuun. Erityisen haastavaksi osoittautui loppukesästä ja syksystä käyttöön otettavan puun laadun pitäminen tarpeeksi kosteana, vaikka varastoja kasteltiin tai puu kuljetettiin uittamalla (232).

Tätä varten kehitettiin toimijoiden yhteisvoimin ns. kylmävarastointi-menetelmä, jossa puutavara peitettiin tykki- tai luonnonlumen, sahanpurun ja erilaisten peitteiden avulla. Sillä tavalla talvikaatonen puutavara saatiin säilymään kylmänä ja kosteana mahdollisimman pitkälle kesään. Se ehkäisi home-, sinistäjä- ja lahosienten aiheuttamia muutoksia kuten puuaineen tummumista. Puun tummuminen heikensi puolestaan massan vaaleutta ja lisäsi valkaisukustannuksia. Lisäksi kostean puun kuidut katkeilivat ja murskautuvat hionnassa vähemmän kuin kuivuneen puun. Kylmävarastoinnissa laatu säilyi kutakuinkin tuoreen puun veroisena (233).

Kylmävarastointia kokeiltiin jo 1990-luvun alkupuolella havusaha- ja koivuvaneritukkien säilyttämiseen. Painopiste siirtyi kuitenkin kuusikuitupuuhun ja vuosikymmenen loppuvuosina kylmävarastoitiin jo useita satoja tuhansia kuutiometrejä puuta vuodessa. Metsäteho osallistui menetelmän kehittämiseen ja laati koulutusaineistoja.

Samaan aikaan paneuduttiin myös sellupuun laadun hallintaan. Metsätehon koordinoimissa yhteistutkimuksissa selvitettiin eri ajankohtina hakatussa puutavarassa tapahtuvia muutoksia varastoinnin aikana ja sen vaikutuksia sellun valmistukseen ja puun jalostusarvoon. Todettiin, että lämpimänä aikana lahottajasienten aiheuttama varastolaho alkaa pilata puuta nopeasti. Kosteissa ja viileissä varasto-oloissa laho eteni hitaammin. Ensin ilmaantui värivikaa, sitten kovaa lahoa ja lopuksi pehmeää lahoa (234,235).

Kun talvikaatoista sellupuuta varastoititiin yhden kesän yli, noin puolet puusta oli värivian tai kovan lahon vaurioittamaa. Kahden kesän jälkeen jo noin 2/3 oli vaurioitunutta ja pehmeää lahoakin oli jo viidenneksessä puusta. Laho aiheutti puuaineen hävikkiä ja lisäsi jalostuskustannuksia. Yhden kesän varastointi alensi kuitupuun jalostusarvoa parikymmentä prosenttia (236).

Metsäteho julkaisi tutkimusten pohjalta yhdessä Metlan kanssa Tunne puuraaka-aineen lahoviat oppaan, jossa esiteltiin varastolahon aiheuttajat ja niiden vaikutukset puun rakenteeseen ja ominaisuuksiin. Lisäksi käsiteltiin pystypuustoa vaurioittavat tyvi- ja vauriolahot (237).

Tutkittiin myös varastoinnin ja hakkuumenetelmän vaikutusta vaneritukkien laatuun ja arvoon. Keskeinen kysymys oli se, voidaanko tukit hakata koneella vai pitääkö se tehdä metsurityönä. Tutkimus osoitti, että kone- ja metsurihakkuun välillä ei ollut ratkaisevaa eroa. Tukkien varastoinnilla oli sen sijaan iso vaikutus. Annettiin suosituksia eri aikoina hakattujen tukkien varastoinnista (238).

Selvitettiin myös hakkuukoneiden aiheuttamia korjuuvaurioita havu- ja koivutukeille. Samassa yhteydessä tutkittiin kuljetuksessa, tehdaskäsittelyssä ja kuorinnassa syntyviä vaurioita. Hakkuuvaiheessa koneen syöttörullat ja karsintaterät aiheuttivat tukkeihin pinnan rouhiutumista, kuoriintumista ja vuolemia. Kaatovaiheessa syntyi joskus halkeamia tukin päähän. Tehdaskuorimoiden terät ja syöttölaitteet aiheuttivat myös vaurioita etenkin kesäaikaisessa käsittelyssä. Johtopäätöksissä tähdennettiin vaurioiden vähentämisen tärkeyttä ja keinoiksi suositeltiin koneiden ja niiden kunnossapidon kehittämistä sekä kuljettajien ammattitaidon parantamista (239).

Tukkien korjuu- ja käsittelyvaurioita koskevien tutkimusten tulokset 1980-luvulta alkaen koottiin yhteen vuonna 1998 (240). Tukkeihin todettiin tulevan vaurioita koko toimitusketjun matkalla korjuusta tukkilajitteluun ja kuorintaan. Vaurioita tuli valmiiseen sahatavaraankin, kun sitä kuivattiin. Kaiken kaikkiaan tukin käsittely sahalla aiheutti selvästi enemmän vaurioita havusahatavaraan kuin korjuu ja kuljetus. Koivuvaneritukkien kohdalla varastointi oli puolestaan ratkaiseva vaihe. Yhteenvetona todettiin kaikissa tukkien käsittelyvaiheissa olevan kehittämisen varaa, mutta suurimmat parannukset olivat saavutettavissa tukkilajittelua ja kuorimakoneita kehittämällä.

Kustannustehokkuutta metsänuudistamiseen

Metsätehon tehtäväkenttää laajennettiin vuonna 1971 ottamalla ohjelmaan myös metsänhoitotöiden palkka-, maksuperuste- ja kehittämistutkimukset. Koska suurin osa metsänhoitotöistä tehtiin muiden kuin omistajayritysten metsissä, yhteistyö muiden metsänhoidon kehittämistahojen kanssa nähtiin tärkeäksi. Esimerkiksi työtä ohjaavan metsänhoitotöiden toimikunnan työskentelyyn kutsuttiin sen tähden jäsenyhtiöiden lisäksi sekä metsähallituksen että suomen- ja ruotsinkielisten keskusmetsälautakuntien asiantuntijat.

Alkuvaiheen tutkimukset kohdistuivat lähinnä maanmuokkaus- ja taimikonhoitomenetelmiin. Tutkittiin mm. Työtehoseuran kehittämän TTS-35 metsä-äkeen tuottavuutta, työjälkeä ja kustannuksia. Laitteen todettiin soveltuvan ”erityisesti ohuthumuksisille, vettä läpäiseville maille maanpinnan valmistamiseksi keinollista tai luontaista uudistamista varten” (241). Äestyksestä kehittyikin toinen muokkauksen valtamenetelmä metsäaurauksen rinnalle.



Metsänistutukseen on haettu pitkään koneellisia menetelmiä, mutta taloudellisesti kannattavia ratkaisuja ei ole toistaiseksi onnistuttu rakentamaan. Tähän mennessä kunnianhimoisin yritys Suomessa oli G.A.Serlachius Oy:n rakentama pitkälle automatisoitu istutuskone. Kuva vuodelta 1982.



Maanmuokkausmäärät kasvoivat ripeästi 1970-luvulla. Muokkausmenetelmien edelleen kehittäminen nähtiin keinona parantaa uudistamisen tulosta ja kustannustehokkuutta sekä vähentää koko uudistamisketjun työvoiman tarvetta. Laitekehittelyn päätavoitteeksi määriteltiin humuksen ja kivennäismaan sekoitusta sisältävien, tiivistettyjen kohoumien aikaansaaminen (242). Metsäteho testasi uusien muokkauslaitteiden toimivuutta ja työjälkeä sitä mukaa kun uusia prototyypilaitteita tai kaupallisia ratkaisuja syntyi. Perustettiinpa yksi viljelykoekin maanmuokkauksen ja taimilajin merkityksen selvittämiseksi (243). Poikkeukseksi se kuitenkin jäi, ne jätettiin suosiolla Metsäntutkimuslaitoksen huoleksi

Metsäteho teki ensimmäiset koneellisen maanmuokkauksen maksuperustetutkimukset 1970-luvun alkupuolella (244,245). Menetelmien ja -kaluston kehittyessä maksuperusteita ja työjälkivaatimuksia ajantasaistettiin tarpeen mukaan (246). Metsänviljelyssä paakkutaimet tekivät 1970-luvulla tuloaan ja tutkimuksilla tuettiin niiden käyttöönottoa (247). Vuonna 1979 aloitettiin metsänhoito-oppaiden tuotanto julkaisemalla kattava ”Metsänviljelyn suunnittelu ja toteutus” -opas (248).

Raivaussaha oli yleistymässä 1970-luvun ensivuosina taimikon hoidossa, mutta vesuri oli vielä selvästi yleisin työkalu. Metsäteho vertaili menetelmiä ja tulokset olivat yksiselitteiset. Raivaussahauksen tehotuntituotos oli noin kaksinkertainen ja laskennalliset kustannukset vain 60 % vesurityöhön verrattuna (249). Heti perään tehtiin ensimmäinen taimikonhoidon palkka-perustetutkimus yhdessä metsähallituksen kehittämisjaoston kanssa (250). Metsänhoitotöiden tuottavuutta ja kustannuksia yhtiöiden ja metsähallituksen työmailla ryhdyttiin selvittämään tilastotutkimuksilla (251).

1980-luvun alussa toteutettiin laajat istutuksen ja raivaussahatyön palkka-perustetutkimukset. Valtakunnalliset aineistot kerättiin tälläkin kertaa yhteistyössä metsähallituksen kehittämisjaoston kanssa. Istutustutkimuksessa selvitettiin työn ajanmenekkiin vaikuttavat tekijät eri taimilajeja ja istutusvälineitä käytettäessä (252). Raivaussahatyön osalta selvitettiin taimikon perkauksen ja harvennuksen sekä uudistusalan raivauksen ajanmenekkisuuhteet (253).

Raivaussahatyön ajanmenekkiin eniten vaikuttavat tekijät, poistettavien puiden tiheys ja järeys, vaihtelevat yleensä paljon työmaan sisällä. Jatko-töissä kehitettiin menetelmiä niiden kustannustehokkaaseen mittaamiseen työpalkan määrittämistä varten (254). Raivaussahatöiden palkkajärjestelmiä yksinkertaistettiin 1990-luvulla ja kehitettiin aikapalkan sekä aika- ja urakapalkan yhdistelmien suuntaan. Metsäteho tuki järjestelmien kehittämistä

tutkimuksilla työmittauksen tarkkuudesta sekä kehittämällä menetelmiä työn tuottavuuden ja laadun seurantaan (255).

Metsänhoitotöiden koneellistaminen - taloudellisesti kannattavasti - ras-kaimmasta työlajista, maanmuokkauksesta eteenpäin osoittautui kiviseksi tieksi. Tosin kylvö koneellistui ketterästi 1980-luvulla, kun laitevalmistajat yhdistivät siemeniä levittävät kylvölaitteet maanmuokkauskoneisiin. Istutus on ollut monin verroin hankalampi rasti. Ensimmäisiä istutuskoneideoita maailmalta ja Suomessakin oli toki esitelty jo vuosikymmeniä aiemmin ilman läpimurtoa. Merkittävin suomalainen ponnistus, G.A.Serlachiuksen istutus-kone rakennettiin 1980-luvun alussa. Metsäteho selvitti koneen toimivuutta, työjälkeä ja taloudellisuutta (256).

Kone oli järeän kuormatraktorin päälle rakennettu ja siihen kuului maan-muokkauslaite sekä automaattinen taimien syöttö- ja istutuslaitteisto paakku-taimia varten. Parhaimmillaan kone ylsi noin 900 taimen istutustuotokseen käyttötunnissa. Testausraportissa todettiin, että ”istutuskoneella päästään sinänsä sangen hyvään muokkausjälkeen ja istutuksen tekniseen onnistumi- seen; käyttöaste ja kustannukset osoittautunevat koneen käyttökelpoisuuden kannalta työjälkeä kriittisemmiksi seikoiksi.” Näin taisi käydä ja koneen ke- hittäminen lopetettiin 1980-luvun puolivälissä.

1990-luvulla yksinkertaisemmat ja halvemmat muokkaukseen ja istutuk- seen kykenevät koneet saavuttivat jalansijaa. Pioneerina oli ruotsalainen Öje Planter (sittemmin Bräcke Planter), joka perustui kaivukoneeseen rakennet- tuun kohoumamuokkauslaitteeseen, siihen lisättyyn taimikasettiin ja istutu- selimeen. Metsätehon tutkimuksessa kone toimi teknisesti hyvin ja työjälki vastasi vaatimuksia kivisimpiä maita lukuun ottamatta. Kustannukset olivat kuitenkin erillistä muokkausta ja ihmistyötä korkeammat (257).

Raivaussahat syrjäyttivät vesurit 1970-luvulla ja kaksinkertaistivat taimi- konhoidon tuottavuuden. Koneellisia ratkaisuja haettiin siitä lähtien. Vesa- kon torjunta-aineiden lentoruiskutus oli hyvinkin tehokasta, mutta menetelmä haudattiin ympäristösyistä. Mekaanisista menetelmistä kokeiltiin 1970-luvul- la esimerkiksi ”Voimavesuria” ja Pallarin ”vesakkoharvesteria”.

Traktorin perään asennetulla voimavesurilla puut katkaistiin vinvasti pyö- rivillä ketjuilla ja ajatuksena oli aukaista sillä tavoin käytäviä, joiden välit käsitellään raivaussahalla (258). Pallarin kone oli asennettu laahustraktorin päälle ja siinä oli leikkuuterillä varustettu kaato-syöttölaite sekä hakkuri. Ko- netta testattiin samalla käytäväharvennuksen idealla (259). Kummankaan ta- loudellinen kilpailukyky ei riittänyt, eivätkä koneet yleistyneet.

Energiapuun talteenottoon perustuviin ratkaisuihin taimikoiden hoidossa palattiin parikymmentä vuotta myöhemmin. Metsäteho kokeili Chipset-kehärvesteria (260) sekä erilaisiin keräily-kaatolaitteisiin perustuvia korjuuketjuja (261). Ne tulivat parhaiten kysymykseen viivästyneessä taimikonhoidossa tai kunnostushakkuukohteessa, mutta kustannuskilpailukyvyssä oli toivomisen varaa. Taimikonhoidon laitekokeiluja jatkettiin 2000-luvulla, joista myöhemmin.

Taimikon perustamisen kustannustehokkuuteen vaikuttaa suorien kustannusten lisäksi olennaisesti saavutettu uudistamistulos. Metsäteho paneutui 1980-luvulla erityisesti metsänviljelymenetelmien valinnan tukemiseen. Tarkastelun avuksi rakennettiin laskentajärjestelmä eri menetelmien vertailuun. Mallilla voitiin laskea maastossa määritettävien kasvupaikkatietojen pohjalta ennusteet eri maanmuokkaus- ja metsänviljelyvaihtoehtojen tuloksista ja kustannuksista (262).

Mallia käytettiin jäsenyhtiöiden koulutuksen välineenä sekä maanmuokausmenetelmiä, viljelymateriaaleja sekä uudistamisen suunnittelua koskevissa kehittämishankkeissa (263,264). Keskeinen johtopäätös oli se, että eri muokkaus- ja viljelymenetelmiä kannatti käyttää aiempaa pienipiirteisemmin uudistusalan rehevyyden ja maaperän vaihtelun mukaan.

Useimmilla jäsenyhtiöillä oli käytössä uudistamisen seurantajärjestelmiä, jotka painottuivat kohteilla käytettyjen menetelmien ja kustannusten taltiointiin. 1990-luvun alkupuolella uudistamistuloksiin haluttiin saada parempi ote, ja Metsäteho kehitti sitä varten taimikoiden inventointimenetelmiä jäsenyhtyritysten käyttöön.

Menetelmä uudistamisen varhaistuloksen mittaukseen oli tarkoitettu muutamana vuoden kuluttua uudistamisesta tehtävään inventointiin (265). Myös varttuneempien taimikoiden inventointimenetelmiä kehitettiin ja analysoitiin jäsenyhtiöiden metsistä mitattuja laajoja aineistoja (266)

Metsänviljelyn ja puunkorjuun laskentamallien avulla tarkasteltiin uudistusalan koon vaikutusta puunkorjuun ja uudistamisen yhteiskustannuksiin. Päättulos oli se, että kun alan koko pieneni 3 hehtaarista 0,5 hehtaariin, kustannukset nousivat jyrkästi. Alan kasvattaminen kolmea hehtaaria suuremmaksi vaikutti sitä vastoin varsin vähän (267).

Uudistamistuloksen ennustamisen tueksi ryhdyttiin kehittämään myös taimikoiden kasvumalleihin sekä kasvun ja käsittelyiden simulointeihin perustuvaa menetelmää yhdessä Helsingin yliopiston ja Metlan kanssa (268). To-

teutettiin Taimikkosimulaattori -ohjelmisto, jolle ei kuitenkaan sellaisenaan löytynyt paikkaa käytännön metsätaloudessa. Taimikoiden kasvumallit vie-
tiin sittemmin osaksi Luonnonvarakeskuksen Motti -simulaattoria.

Testattiin myös paikannettujen koealatietojen potentiaalia puunkorjuun ja metsänuudistamisen suunnittelussa. Linjoittaisella arvioinnilla 30 metrin välein mitatut koealatiedot antoivat hyvän pohjan laatia vaihtoehtoisia loh-
kotusratkaisuja puunkorjuuta varten ja valita uudistamismenetelmiä. Paik-
katieto-ohjelmistot kehittyivät nopeasti, ja Metsätehossa otettiin sellainen
käyttöön suunnittelumenetelmän demonstrointia varten. Ennakkotiedon mit-
tausmenetelmä oli hyvin työläs, eikä sellaisenaan soveltunut käytännön suun-
nitteluun (269). Hilatasoinen metsätieto on myöhemmin avannut paremmat
mahdollisuudet samantapaiselle ennakkoinformaation käytölle.

Satelliittipaikannukseen haettiin Metsätehossa ensituntumaa vuonna 1990.
Järjestelmän rakentaminen oli tuossa vaiheessa pahasti kesken ja vajavaisen
satelliittimäärän takia paikannus onnistui vain muutaman tunnin ajan vuoro-
kaudessa. Yhteyden saanti metsässä oli vielä sangen epävarmaa. Järjestelmä
kehittyi kuitenkin ripeästi ja muutaman vuoden kuluttua saatiin jo hyvin lu-
paavia tuloksia. Paikkatietojärjestelmiin kytketyn satelliittipaikannuksen ar-
veltiin soveltuvan moneen tarkoitukseen metsäalalla (270).

Työkaluja vihreään muutokseen

Metsäympäristöä koskeva keskustelu Suomessa ja muissa pohjoismaissa
tiivistyi 80-luvun mittaan. Pääteemoiksi nousivat kestävä kehitys, biologinen
monimuotoisuus, uhanalaiset eliöt, vesien ja ilman puhtaus sekä maisemaky-
symykset. Tapio vastasi uusiin haasteisiin sisällyttämällä 1989 julkaistuihin
yksityismetsien metsänhoitosuosituksiin aiempaa enemmän ympäristönäkö-
kohtia. Metsähallitus ja yhtiöt uusivat metsänhoito-ohjeitaan samaan suun-
taan. Metsien käsittelyn ekologinen kestävyys ja monimuotoisuuden säilyttä-
minen tulivat myös metsälakiin vuonna 1996.

Metsätalouden ympäristökysymykset nousivat Metsätehon ohjelmaan
1990-luvun alussa. Sopivana kirittäjänä oli tulossa oleva YK:n ympäristökon-
ferenssi Rioissa, joka järjestettiin 1992. Ei pidetty huonona ajatuksena sitä,
että metsätalouden ympäristöasioiden hoidosta olisi siihen mennessä esitettä-
vänä käytännön toimintamalleja ja -ohjeita.

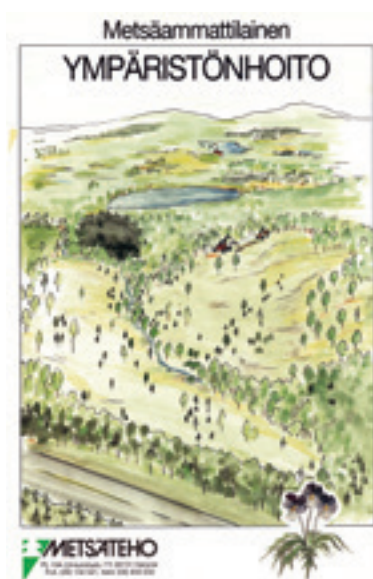
Metsätehon tehtäväksi tuli alkuun nimenomaan oppaiden tuottaminen.
Ensivaiheessa niillä lähinnä heräteltiin toimijoita ympäristöasioiden pariin ja

seuraavaksi koostettiin syventäviä, teemakohtaisia oppaita. 2000-luvulla ympäristönhoito ”arkipäiväistyi”, se integroitiin niin käytännössä kuin ohjeissakin metsänhoidon ja puunhankinnan operaatioihin.

Nähtiin tärkeänä, että ympäristönhoidon hyvät käytännöt muodostettiin alan yhteistyönä ja niitä sovellettiin mahdollisimman laajasti maan metsätaloudessa. Oppaat laadittiin sen tähden tiiviissä yhteistyössä metsäyhtiöiden, metsähallituksen, MTK:n ja Tapion kanssa. Suuri osa oppaista myös markkinoitiin ja myytiin sekä Metsätehon että Tapion kautta. Asiantuntijoiksi oppaiden koostamiseen kutsuttiin ympäristökysymyksiin vihkiytyneitä tutkijoita yliopistoista ja tutkimuslaitoksista.

Lähtölaukauksena oli Ympäristönhoito-ohje (1992), jossa kuvattiin suuntaviivoja monimuotoisuuden, maiseman ja vesiympäristöjen hoitoon (271). Runsailla piirroskuvilla havainnollistettu vihkonen sai - painavasta sisällöstään huolimatta – oitis liikanimen ”Ympäristöaku”. Metsäyhtiöt käyttivät julkaisua myös asiakas- ja sidosryhmäviestintään ja se käännettiin monille kielille. Kysyntä kapusikin Metsätehon kaikkien aikojen ennätykseen, opasta painettiin eri kieliversioina yli 80 000 kpl!

Metsätehon aloitteesta laadittiin samaan aikaan Vihreä muutos – julkaisu (Kalland ja Pätilä, 1993). Siinä kuvattiin Suomen metsien käyttöä ja kehitystä pitkällä aikavälillä ja esitettiin suuntaviivoja siihen, ”miten luonnon huomioon ottamisessa voidaan metsässä edetä” (272). Ympäristön hoitoa edistettiin seuraavina vuosina laatimalla oppaita mm. säästöpuista, rantametsien käsittelystä, linnuston huomioon ottamisesta ja työmaiden jätehuollosta.



Metsätehossa ympäristöasiat luettiin aluksi viestintätehtäviin. Parin vuoden sisällä metsäympäristön hoito nostettiin omaksi painoalueekseen myös tutkimusohjelmaan. Toimintasuunnitelmassa 1993-1995 todettiin perusteluksi: ”Metsäteollisuuteen ja metsätalouteen kohdistuvat koti- ja ulkomaiset ympäristöpaineet lisääntyvät. Ympäristönäkökohdat on otettava entistä tarkemmin huomioon puunhankinnassa ja tuottamisessa. Ympäristönäkökohtien huomioon ottaminen lisää metsätaloudellisten toimenpiteiden pienipiirteisyyttä ja osaamisvaatimuksia toiminnan eri vaiheissa.” Arvio on pitänyt hyvin paikkansa.

Verryttelyksi selvitettiin ympäristöystävällisten öljyjen käyttömahdollisuuksia metsätoissa (273). Saman tien tartuttiin isoon kokonaisuuteen, ympäristöjärjestelmien rakentamiseen sekä puuntuottamiseen ja -hankintaan. Tarkoituksena oli koota ympäristöasioiden hallinta yhdeksi kokonaisuudeksi strategiasta yksittäisiin työvälineisiin saakka. Järjestelmillä tähdättiin ympäristöhoidon jatkuvaan parantamiseen. Metsäteho tuki järjestelmien rakentamista määrittelemällä niiden rakenteen, perusteet ja käytön periaatteet. Lähtökohtana oli SFS-ISO 14001-ympäristöjärjestelmästandardi (274).

Rinnalla selvitettiin myös perinteisemmän, ISO 9000-standardin mukaisen tuotantoprosessin laatujärjestelmän rakenteita ja perusteita puunhankintaa varten (275). Laatu- ja ympäristöjärjestelmät otettiin jäsenyritysten piirissä laajasti käyttöön 1990-luvun puolivälissä. Metsätehon jatkotutkimukset kohdistettiin ympäristövaikutusten arvioinnin ja elinkaarilaskennan kehittämiseen.

Puuhuollon ympäristöjohtamisen välineisiin paneuduttiin laajassa konsortiossa, johon saatiin rahoitusta Metsäalan tutkimusohjelmasta (Wood Wisdom) ja Biodiversiteettitutkimusohjelmasta (FIBRE). Metsäteho selvitti hankkeissa ympäristövaikutusten tunnistamisen ja arvioinnin menettelytapojen toimivuutta ja kehittämismahdollisuuksia (276). Erityisesti syvennyttiin haastavaan kysymykseen monimuotoisuuden mittauksesta ja seurannasta (277).

Toinen painoalue koski puuntuotanto- ja hankintavaiheita tuotteiden elinkaarilaskennassa. Ympäristöjohtamisen tarpeet olivat laajenemassa mm. kansainvälistymisen takia ympäristöjärjestelmistä kokonaisvaltaiseksi elinkaarijohtamiseksi ja kiinteäksi osaksi yleistä johtamistoimintaa. Tarvittiin uusia välineitä.

Metsätehon koordinoimaan hankkeeseen osallistuivat Joensuun yliopisto, Keskuslaboratorio (KCL) ja Tapio. Hankkeessa kehitettiin metsien käsittelyn, korjuun ja kuljetuksen ympäristökuormituksen arviointimenetelmiä. Samalla rakennettiin laskentasovelluksia ympäristöraportoinnin, ekotasetarkasteluiden, elinkaariarvioinnin sekä T&K-työn tarpeisiin (278).

Metsäteho kehitti hankkeessa poltto- ja käyttöaineiden (hydrauli- ja teräsketjuöljyt) kulutuksen ja päästöjen laskentamenetelmän puuntuotantoa, korjuuta ja kuljetusta varten. Mallilla voitiin laatia suoritetilastojen pohjalta valtakunnallisia ja toimijakohtaisia päästölaskelmia. Tuloksia voitiin hyödyntää myös metsäteollisuustuotteiden elinkaarilaskennassa, johon KCL oli raken-

tanut oman työkalunsa (279). Metsäteho tekee laskentamenetelmän pohjalta kehitetyn ohjelman avulla valtakunnallista ja yritysکوhtaista ympäristölaskentaa tänäkin päivänä.

Talousmetsien monimuotoisuutta pyrittiin ylläpitämään monin keinoin, mutta niiden toimivuus askarrutti. Asian kirkastamiseksi perustettiin Metsätehon johdolla syksyllä 1994 mittavat MONTA-maastokokeet yhtiöiden ja metsähallituksen maille. Lyhenne tuli hankkeen nimestä ”Monimuotoisuus talousmetsän uudistamisessa”. Kokeissa tutkittiin päätehakkuu- ja uudistamisvaihtoehtojen biologisia ja teknistaloudellisia vaikutuksia. Se oli koko boreaalisen vyöhykkeen ensimmäisiä kokeellisia tutkimuksia, jossa verrattiin laajasti eri metsänkäsittelyvaihtoehtojen vaikutuksia (280).

Koealat perustettiin tuoreen kankaan kuusikoihin Etelä-Suomeen. Tutkimusryhmään kuului tutkijoita Metsätehon lisäksi Metlasta sekä Helsingin ja Jyväskylän yliopistoista. Hankkeeseen saatiin julkista rahoitusta eri tahoilta. Käsittelyvaihtoehdot olivat perinteinen avohakkuu, uusimuotoinen avohakkuu (jätettiin pystyyn puuryhmiä), harsintahakkuu, pienaukkohakkuu metsänviljelyn kanssa ja ilman sitä sekä käsittelemätön kontrolli. Tutkimuksesta saatiin merkittäviä tuloksia eri käsittelyjen vaikutuksesta korjuukustannuksiin, uudistamistulokseen ja puuntuotannon kannattavuuteen sekä eri eliölajien ja lahopuun kehitykseen. Esimerkiksi muotiin tulleiden tekopökelöiden todettiin olevan hyödyllisiä harvinaisille, uhanalaisille ja tavallisillekin lahopuulajeille (281).

Metsäteollisuuden voimalaitoksilla syntyi 1990-luvun lopulla kuoren ja muun puuperäisen polttoaineen käytöstä tuhkaa noin 100 000 tonnia vuodessa. Teollisuuden tavoitteena oli palauttaa tuhka takaisin luonnonkiertoon kestäväen kehityksen periaatteiden mukaisesti. Toisena tavoitteena oli korvata tuhkalla luonnonvaroihin perustuvia tuotteita. Lisäksi pyrittiin vähentämään hyötykäyttöön kelpaamattoman tuhkan määrää ja kehittää läjitystä siten, että ympäristövaikutukset jäisivät mahdollisimman vähäisiksi. Myös nousussa olevat kaatopaikkamaksut kannustivat vaihtoehtojen hakuun. Tuhkaa syntyi runsaasti metsäteollisuuden laitosten lisäksi myös suurilla turvevoimaloilla.

Metsäteollisuusyritykset pyysivät 1995 Metsätehoa selvittämään ”mitä tutkimuksia ja kehittämistoimia pitäisi tehdä, jotta luotaisiin edellytykset suurien voimalaitosten tuottaman etupäässä puuperäisen tuhkan laajamittaiselle metsäkäytölle”. Selvityksen pohjalta käynnistettiin Metsätehon koordinoima Biotuhkan hyödyntäminen metsänparannusaineena -hanke (Raportti (282). Metsäntutkimuslaitoksen ja Helsingin yliopiston osuus varsinaisessa tutkimustyössä oli ratkaiseva.

Metsätehon mittapuussa poikkeuksellisen laajassa, puoli vuosikymmentä kestäneessä hankkeessa tutkittiin erityisesti tuhkalannoituksen ympäristövaikutuksia, kuten ravinteiden huuhtoutumista ja vaikutuksia vesiin, marjojen ja sienien raskasmetallipitoisuuksiin ja maaperän mikro-organismeihin (284-289). Tutkimuskohteena olivat luonnollisesti myös puutuhkan vaikutukset maan ravinnetilanteeseen, kasvilajistoon ja puuston kasvuun (290). Teknista-loudellisten tutkimusten ja kokeilujen avulla puolestaan tuotettiin tietoa mm. tuhkan esikäsittelystä, hyödyntämisen menetelmistä ja taloudesta (283,291).

Loppuraportissa tuhka todettiin erinomaiseksi turvemaiden lannoitteeksi ja maanparannusaineeksi. Lannoitusvaikutus näkyi jo parissa kesässä ja kesti kymmeniä vuosia. Tuhkalannoituksen ei todettu aiheuttavan olennaisia ympäristöhaittoja eikä vesien rehevöitymistä (292). Huolella tutkitusta perustas-ta ja kiistattomista hyödyistä huolimatta tuhkalannoitus on jäänyt toistaiseksi ihmeen vähälle käytölle.

Laki metsän hyönteis- ja sienituhojen torjunnasta astui voimaan 1991. Siinä annettiin määräyksiä havupuutavaran kesäaikaisesta varastoinnista. Tar-koituksena oli ehkäistä metsiä vahingoittavien tuhohyönteisten lisääntymi-nen puutavarassa. Metsäteho tutki torjuntalain vaikutuksia puuhankintaan ja koosti ehdotuksia toiminnan sovittamisesta lain vaatimukseen (293).

Kesäaikaisen puunhankinnan muutkin vaikutukset nousivat myöhemmin pinnalle. Maa- ja metsätalousministeriö perusti 1999 työryhmän selvittämään kesähakkuiden vaikutuksia ja haittojen vähentämistä. Metsätehon tehtävänä oli laskea kesähakkuiden rajoittamisen taloudelliset vaikutukset ja merkitys teollisuuden raaka-ainehuollolle ja työllisyydelle. Eri ajoittamisvaihtoehdot perustuivat metsien terveydestä huolehtimiseen eli lähinnä juurikäävän leviä-misen estämiseen sekä lintujen pesinnän häirinnän vähentämiseen.

Metsäteollisuus oli jo pitkään pyrkinyt kohti tasaista puuhuoltoa, suoria puutoimituksia ja varastojen minimointia. Syynä olivat mm. mekaanisen massaan käytettävän puun tuoreusvaatimukset, sahojen tuotelähtöinen puun-hankinta sekä pääoma- ja hankintakustannukset. Koneellistaminen ja muu-tenkin kehittynyt hankintalogistiikka antoivat tasaiseen puuhuoltoon aiempaa paremmat edellytykset. Ehdotettujen rajausten kustannusvaikutukset osoit-tautuivatkin mittaviksi, vaihtoehdosta riippuen 185 – 930 miljoonaksi mar-kaksi vuodessa (294).

Laskelmat antoivat vankan perustan työryhmän johtopäätöksille. Kesä-aikaisten hakkuiden vähentämiseen todettiin olevan vain rajallisia mahdol-

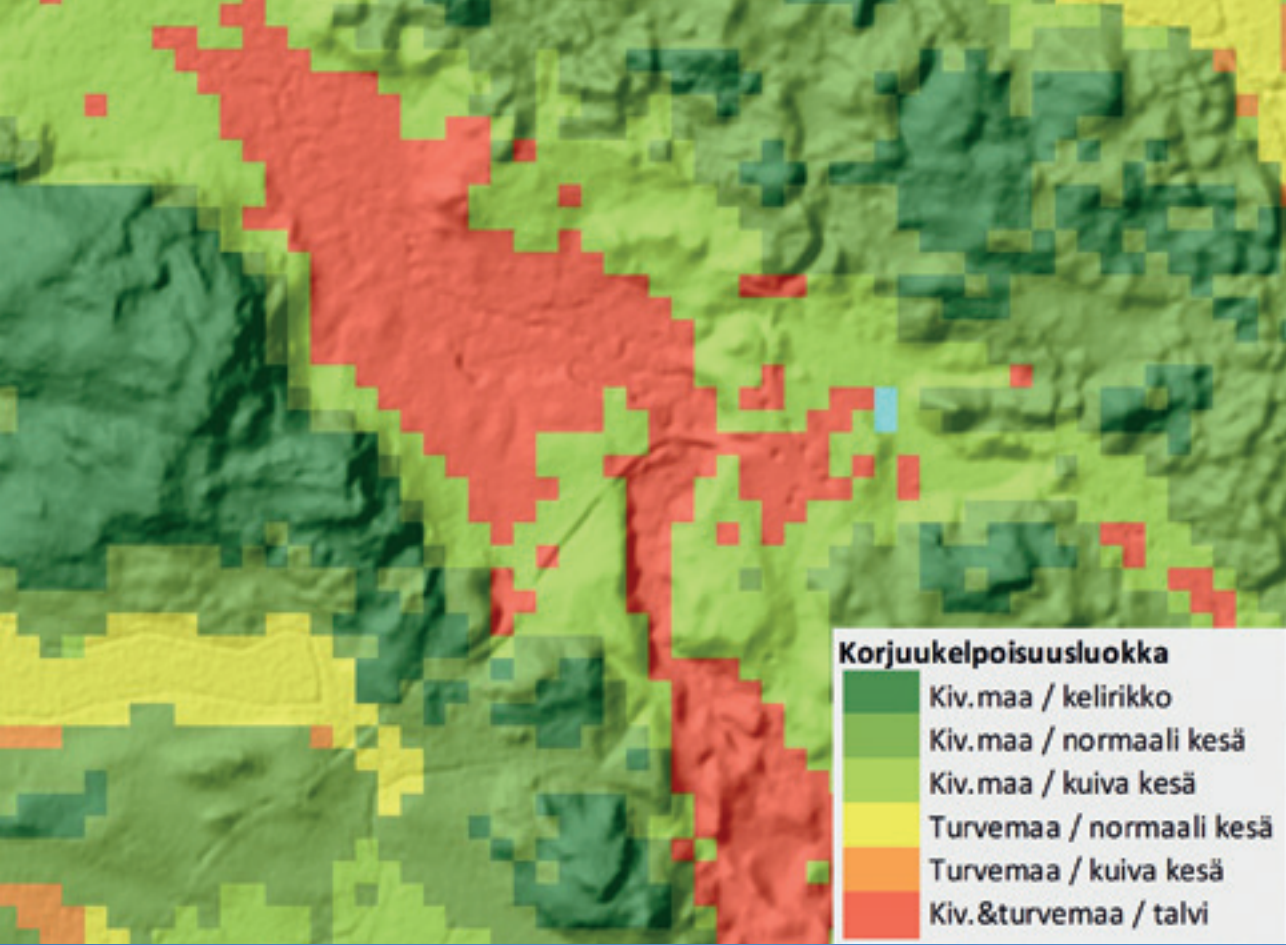
lisuuksia. Työryhmä teki sen sijaan ehdotuksia hakkuiden kohdentamisesta siten, että niistä aiheutuisi mahdollisimman vähän haittaa metsäluonnolle ja metsien terveydelle. Toimenpide-esitykset koskivat linnuston huomioon ottamista hakkuiden yhteydessä, juurikäävän torjuntaa ja korjuuvaurioiden vähentämistä sekä aihepiirin tutkimustarpeita (295).

Metsäteho osallistui toimintamallien parantamiseen ja tutkimuksiin mm. kehittämällä juurikäävän torjunnan menetelmiä (296) ja koostamalla aiheesta oppaan (297). Laadittiin myös Metsänkäsittely ja linnusto -opas (298), paneuduttiin korjuujäljen parantamisen mahdollisuuksiin ja mittauksen menetelmiin (299) ja julkaistiin Korjuujälki harvennushakkuussa-opas (300). Lisäksi kehitettiin talvikaatoisen puutavaran laadun säilyttämisen menetelmiä kuten kylmävarastointia.



2001-2024





VUODET 2001 - 2024

Metsäteollisuus murroksessa

Kauppi ja Kettunen (2022) summaavat ”Vihreän kultakauden” päättymisen toteamalla, että se ”jäi historiaan, kun uusi viestintäteknikka Atlantin takaa selätti aikakauslehtipaperin tuottajat.”

Vielä tänäkin päivänä voimassa olevat metsäteollisuuden päätuotteiden tuotantoennätykset saavutettiin vuosina 2003-2007 seuraavasti (suluissa vertailuluku vuoteen 1955=1, Lähde: Luonnonvarakeskuksen tilastotietokanta 2024):

Paperit 2007:	11,27 milj. t	(11,2 krt)
Puumassat 2006:	13,12 milj. t	(5,0 krt)
Sahatavara 2003:	13,75 milj. m ³	(2,2 krt)

USA-lähtöinen finanssikriisi 2008 vauhditti niin paperin kuin muidenkin tuotteiden alamäkeä. Tuotantomäärien pudotus vuodesta 2007 vuoteen 2009 oli suurimmissa tuoteryhmissä 25-35 %. Paperin tuotanto jatkoi vähenemistään senkin jälkeen ja veti perässään mekaanisen puumassan tuotannon (Liitekuva 1).

Sellun, kartongin ja sahatavaran tuotantomäärät ovat vähitellen toipuneet finanssikriisiä edeltäneelle tasolle ja ovat jatkaneet kasvuaan. Tuotantorakenne itse asiassa palasi yleiskuvaltaan samankaltaiseksi kuin se oli vuosikymmeniä aiemmin, ennen paperin nousua. Toki perustuotteiden ominaisuudet sekä tuotantolaitokset ja -teknologia ovat uusiutuneet.

Metsäteollisuuden viennin arvo vuonna 2023 oli runsaat 12 mrd. euroa. Siitä kartongin osuus oli 26 %, massojen 23 %, paperin 22 %, sahatavaran 15 % ja muiden tuotteiden yhteensä 14 %.

Uusien korkeamman jalostusasteen tuotteiden kehittämiseen on panostettu viime aikoina voimakkaasti. Esimerkkeinä mainittakoon muovia korvaavat biomateriaalit, puupohjaiset tekstiilit ja kemikaalit, biolääkkeet ja hygienia-tuotteet, biopoltoaineet sekä akkumateriaalit. Uusien tuotteiden osuus metsäteollisuusyritysten liikevaihdosta on vielä tässä vaiheessa melko vähäinen, mutta niistä tavoitellaan painopaperia vastaavia tulevaisuuden menestystarinoita. Volyymituotteiden eli sellun, kartongin ja puutuotteiden kysyntä ja tuotannon kannattavuus ovat olennaisia tuotekehityksen ja investointien rahoitukselle.

Kartongin tuotanto on jatkanut kasvuaan ja merkitystään alan liiketoiminnassa. Vauhdittajina ovat olleet mm. uudet innovaatiot kuluttajatuotteissa kuten elintarvikkeiden, nesteiden ja ylläpysytustuotteiden pakkauksissa sekä maailmanlaajuinen nettikaupan kasvu valtavine pakettimäärineen.

Sahatavaran ostajien tarpeet ohjaavat entistä enemmän koko tuotantoketjua puun hankinnasta tuotantoprosessiin saakka. Puukustannusten osuus sahan liikevaihdosta on 65-80 %, joten tukkien käytön optimointi kaikissa vaiheissa on ratkaisevaa. Uudet sahat ovat huipputehokkaita, pitkälle automatisoituja laitoksia, joiden prosessit perustuvat kehittyneisiin mittaus- ja ohjausjärjestelmiin (8). Perinteisten sahatavaratuotteiden rinnalla esimerkiksi puurakentamiseen soveltuvien CLT-massiivipuulevyjen ja liimaamalla koottujen palkki- ja ristikkorakenteiden merkitys on kasvamassa.

Suomalaisen levyteollisuuden tärkein tuote on ollut pitkään vaneri, jota tuotetaan runsaat miljoona kuutiometriä vuodessa. Arvokkainta vientituotetta koivupintaista vaneria tuotetaan kymmenellä tehtaalla ja kaksi tehdasta on keskittynyt pelkän havuvanerin tuotantoon (9).

Havupuuviiluista liimatun viilupuun (LVL, Laminated Veneer Lumber) käyttö kasvaa. Sitä käytetään sahatavaraa korvaavana materiaalina mm. rakennusten runkotalppiin ja kattorakenteisiin. Etuja perinteiseen sahatavaraan nähden ovat etenkin suurempi lujuus ja muodon pysyvyys, pienempi laatu- vaihtelu ja helpompi käytettävyys työmailla (9).

Levyjen erilaisten pinnoitteiden merkitys on kasvanut ja suurin osa suomalaisista vanereista myydään pinnoitettuna. Pinnoituksella tavoitellaan etenkin sään, kulutuksen ja palon kestävyyttä sekä esimerkiksi sisustukseen sopivaa ulkonäköä.

Metsäteho bio- ja digitaloudessa

Metsäteollisuuden puunkäyttö väheni jyrkästi paperintuotannon romahduksen myötä. Vuoden 2006 ennätysellisestä reilun 75 miljoonan kuutiometrin tasosta pudottiin pahimmillaan noin kolmanneksen verran, 51 miljoonaan kuutiometriin vuonna 2009. Tuolloin myös finanssikriisi kurjisti markkinoita. 2020-luvulla kokonaiskäyttö elpyi sellu-, kartonki- ja sahateollisuuden voimin noin 70 miljoonan kuutiometrin tasolle (Liitekuva 3). Siitä viitisentoista prosenttia oli tuontipuuta, josta suurin osa tuotiin Venäjältä. Venäjän hyökättyä Ukrainaan helmikuussa 2022, tuonti Venäjältä lopetettiin kokonaan. Korvaava puu on hankittu sen jälkeen muista tuontimaista ja kotimaasta.



Joukkokäsittelyyn perustuvasta rankapuun hakkuusta kehittyi valttamenetelmä aines- ja energiapuun integroituun korjuuseen nuorista kasvatusmetsistä

Puuenergian käyttö alkoi kasvaa vauhdilla 2000-luvulle tultaessa. Tulta pesään oli viritelty jo vuosikymmeniä mm. lukuisten tutkimusohjelmien voimin. Metsäteollisuus on tosin ollut suurin puuenergian käyttäjä pitkään polttamalla sivutuotteita eli selluteollisuuden jäteliemiä, puun kuorta ja muuta tähdepuuta kattiloissaan. Mutta nyt alkoivat hakkuutähteet, kannot ja pienpuu saada kyytiä sähkön ja lämmön tuotantoon. Uusia voimalaitoksia rakennettiin kiivaasti pitkin Suomea. Uusiutuvasta puuenergiasta tuli hittituote, yhteiskunta panosti asiaan lujasti ja metsäteollisuus oli avaintoimija (Liitekuva 4).

Puuhuollon T&K-kysymykset laajenivat entisestään 2000-luvulle tultaessa. Aines- ja energiapuun korjuu- ja kuljetustekniikassa oli edelleen kehittämistä, kestävyys hallinta oli integroitava osaksi kaikkea toimintaan ja etenkin kuljettajien saatavuuden ja osaamisen merkitys oli kasvussa. Haasteiden vastapainoksi uusi teknologia, etenkin digitalisaatio näytti avaavan merkittäviä mahdollisuuksia. Metsäteho vahvisti verkostoaan muiden T&K-toimijoiden kanssa, jotta entistä laaja-alaisempiin kysymyksiin pystyttiin vastaamaan.



Metsähakkeen käyttö lähti voimakkaaseen kasvuun 2000-luvun alussa, jolloin mm. bioenergiaterminaalien käyttö toimitusketjussa yleistyi. Polttohaketta lastataan terminaalissa Hakevuori Oy:n autoon käyttöpaikalle toimitusta varten.

Energiapuun hankinnan uudet menetelmät

Metsäteho osallistui 2000-luvun ensimmäisellä vuosikymmenellä mittavasti integroidun aines- ja energiapuun hankinnan kehittämiseen. Erityisesti panostettiin pienpuun korjuumenetelmiin, koska harvennuspuun korjuun kannattavuus oli edelleen haasteena. Valtio tuki energiapuun hankintaa avokätisesti, koska fossiilienergiasta pyrittiin määrätietoisesti irti ja toisaalta energiapuu toi lisää toimintaa koko maan alueelle. Nuorten metsien käsittelyn tukitoimilla tavoiteltiin myös kohennusta jatkuvaan maanvaivaan, harvennusrästeihin.

varten. Metsäteho ja Pöyry Energy paneutuivat yhteisvoimin asiaan vuonna 2008 (315).

Tutkimuksessa lähdettiin kahdesta skenaariosta, jotka perustuivat kotimaisen ainespuun hakkuumäärää. Metsähakehan saatiin valtaosin niiden sivuvirtana. Perusskenaario oli tuolloin vallitseva 57 miljoonaa kuutiometriä vuodessa ja maksimiskenaario 68 miljoonaa kuutiometriä. Puun tuonnin oletettiin vähenevän ratkaisevasti. Metsäteho tuotti laskelmat alueellisista hankintapotentiaaleista, joissa otettiin huomioon energiapuun korjuuseen liittyvät ekologiset suositukset sekä teknis-taloudelliset rajoitteet. Pöyry Energy kohdensi optimointimallillaan raaka-ainevirrat energialaitoksille koko Suomeen.

Päätulos oli, että puupolttoaineiden tarjonta ja kysyntä sinänsä mahdollistivat 12 miljoonan kuutiometrin tavoitteen saavuttamisen 57 miljoonan kuutiometrin hakkuumäärillä. Reunaehtoina kirjattiin, että ”kasvutavoitteen toteuttaminen edellyttäisi kuitenkin erittäin voimakasta panostusta koko metsähakkeen tuotantoketjuun, sillä puupolttoaineen kilpailukyky energiantuotannossa ei nykyään ole riittävällä tasolla tavoitellun kasvun saavuttamiseksi”. Päästöoikeuden hinnalla oli iso merkitys, samoin Kemera-tuilla. Ja resurssit kuten kaluston ja kuljettajien riittävyys uhkasivat olla pullonkaulana. Tarvittavien toimien lista oli pitkä.

Arvioitiin, että hakkeen käyttö todennäköisesti kehittyä maksimissaan 10 miljoonan kuutiometrin tasolle vuoteen 2020 mennessä. Se oli osuva arvio kehitysvauhdista - 10 miljoonaa meni rikki vuonna 2021. Ainespuuta hakattiin tuolloin 62 miljoonaa kuutiometriä. Tavoitettakin tosin nostettiin vuonna 2013 energia- ja ilmastostrategian päivityksessä 13,5 miljoonaan kuutiometriin. Vuonna 2023 saavutettiin Luonnonvarakeskuksen tilaston mukaan tähänastinen metsähakkeen käyttöennätys, 11,6 miljoonaa kuutiometriä vuodessa.

FIBICin ja CLEENin Tekes-rahoitteisessa BEST-tutkimusohjelmassa (Sustainable Bioenergy Solutions for Tomorrow, 2013- 2016) kehitettiin kestäviä bioenergiaratkaisuja. Metsätehon päätehtävänä oli tehostaa bioenergiaterminaaliin perustuvia toimitusketjuja sekä kehittää raaka-aineen määrän ja laadun hallintaa. Terminaalit olivat erillisiä varastoalueita, joissa bioraaka-aine yleensä haketettiin, murskattiin tai lajiteltiin ennen toimitusta käyttöpaikalle.

Metsäteho tutki tulossa olevien isompien puutavara-autojen ja meno-paluu-kuljetusten potentiaalia sekä kuormien tiivistämismahdollisuuksia (316,317). Lisäksi paneuduttiin perusteellisesti energiapuun kosteuden mittaustekniikoihin ja tutkittiin mahdollisuuksia puun energiasisällön määrittämiseen

toimitusketjun eri vaiheissa (318,319). Kehitettiin myös tehokkaita työmal-
leja joukkohakkuuseen ja bioenergia-autojen kuormaamiseen (320). Lisäksi
hankkeessa tuotettiin perusteet bioenergian toimitusketjun informaation hal-
linnalle (321) ja selvitettiin terminaalien vaikutusta metsäbiomassojen toimi-
tusketjun päästöihin ja energiatehokkuuteen (322).

Metsäteho jatkoi terminaalitoimintojen tutkimustyötä Lappeenrannan tek-
nillisen yliopiston kanssa ”Terminaalitoiminnot energiatehokkaassa puuta-
varalogistiikassa”-hankkeessa. Hankkeessa kehitettiin laajan toimijajoukon
kanssa aines- ja energiapuutermiinalien sekä kuormauspaikkojen konsepteja
ja verkostoa. Lisäksi edistettiin kehitettyjen toimintamallien käyttöönottoa
Kaakkois-Suomen alueella (323).

Terminaalien käyttö yleistyikin nopeasti eri puolilla Suomea. Vuonna 2020
tienvarsihaketuksen osuus metsähakkeen tuotannossa oli 53 %, terminaaliha-
ketuksen 36 % ja käyttöpaikkahaketuksen 11 %.

Korjuuseen tuottavuutta uusin keinoin

Metsäteho selvitti ensiharvennusten merkitystä metsäteollisuuden raa-
ka-ainelähteenä 2000-luvun ensivuosikymmenellä. Ensiharvennuspuun
osuus oli merkittävä eli keskimäärin 14 % kotimaisen raakapuun käytöstä
ja sitä korjattiin noin 7 milj. m³ vuodessa. Ensiharvennuspinta-ala oli alle
200 000 ha/v kun tarve oli puolitoistakertainen. Korjuukustannukset olivat
tilastojen mukaan suunnilleen kaksinkertaiset päätehakkuuseen verrattuna.



Pääsyyt olivat tuttuja: pienet rungot, vähäinen korjuukertymä, korjuuta haittaava alikasvos ja turvemailla heikko kantavuus. Hankkeessa koottiin laaja aineisto ensiharvennusten korjuuolosuhteista eri puolilla Suomea. Sen pohjalta listattiin keinoja olosuhteiden parantamiseen ja korjuun rationalisointiin (324).

Puunkorjuuseen haettiin lisää tuottavuutta myös työmalleja kehittämällä. Samalla pyrittiin parantamaan kuljettajien työhyvinvointia ja jaksamista. Vaihtoehtoisia hakkuun työmalleja testattiin hakkuukonesimulaattorin ja aidon konetyön avulla sekä harvennuksissa että päätehakkuissa. Hakkuumalleja arvioitiin tuottavuuden, polttoaineen kulutuksen ja metsäkuljetuksen tehokkuuden perusteella (325).

Työn yhtenä tavoitteena oli kehittää yhtenäiset menetelmät konetyön opettamiseen alan oppilaitoksissa. Tuloksista laadittiinkin Koneellinen puunkorjuu -oppikirja (326) ja Metsätehon opas. Opetusaineistoa täydennettiin sittemmin joukkokäsittelyn työmalleilla. Metsäteho julkaisi vuonna 2023 uudistetut versiot oppikirjasta ja oppaasta, joissa sisältöä täydennettiin mm. monimuotoisuuden hallinnan, jatkuvan kasvatuksen ja leimikon suunnittelun osalta (327).

Ensiharvennuskorjuun tuottavuuden ja laadun parantamiseksi kehitettiin menetelmiä ennakkoraivauksen toteutukseen. Ovathan raivaamattomat pusikot viheliäisimpiä ensiharvennuskohteita. Tutkimuksissa selvitettiin, miten eri ennakkoraivaustavat vaikuttavat raivauskustannuksiin, korjuuolosuhteisiin sekä korjuuketjun tuottavuuteen. Tulosten pohjalta kuvattiin parhaat raivaustavat (328). Tutkittiin myös hakkuukoneeseen kiinnitettävän raivauslisälaitteen toimivuutta ja potentiaalisia käyttöalueita (329). Manuaalinen raivaussahatyö säilyi kuitenkin vallitsevana menetelmänä.

Harvennushakkuun tuottavuutta on onnistuttu parantamaan tuntuvasti konetekniikan, aines- ja energiapuun yhdistetyn korjuun, työmallien sekä ennakkoraivauksen ja leimikoiden tarkemman suunnittelun avulla. Uusimpana keinona on testattu ns. vyöhykeharvennusta, jossa tingitään perinteisestä lähetökohdasta eli puuston tasaisesta tilajärjestyksestä ajourien välillä. Ensiharvennuksessa uraväli on totuttua suurempi, 30 metriä ja harvennusvoimakkuus laskee vyöhykkeittäin sitä enemmän, mitä lähempänä ollaan urien puoliväliä. Ajourien puoliväliin jätetään kokonaan harventamaton vyöhyke odottamaan seuraavaa harvennuskertaa.

Ensikokeilujen perusteella menetelmä näyttää parantavan hakkuun ja metsäkuljetuksen tuottavuutta ja vähentävän korjuuvaurioita ensiharvennukses-

sa. Se on myös omiaan tuomaan harvennusmetsään tiheysvaihtelua, mistä saattaa olla etua monimuotoisuuden kannalta. Menetelmän kannattavuus koko metsikön kiertoajalla vaatii kuitenkin lisätutkimuksia (330).

Sensoritekniiikan ja robotiikan kehitys ja mm. autonomisten henkilöautojen kokeilut ovat nostaneet esille kysymyksen metsäkoneautomaation potentiaalista. Metsäteho selvitti automaation kehitysnäkymiä ja hyötyjä noin kymmenen vuoden, eli kuluvan 2020-luvun, aikajänteellä. Keskustelun kirkastamiseksi laadittiin luokittelu kuvaamaan eri automaatiotasoja (331).

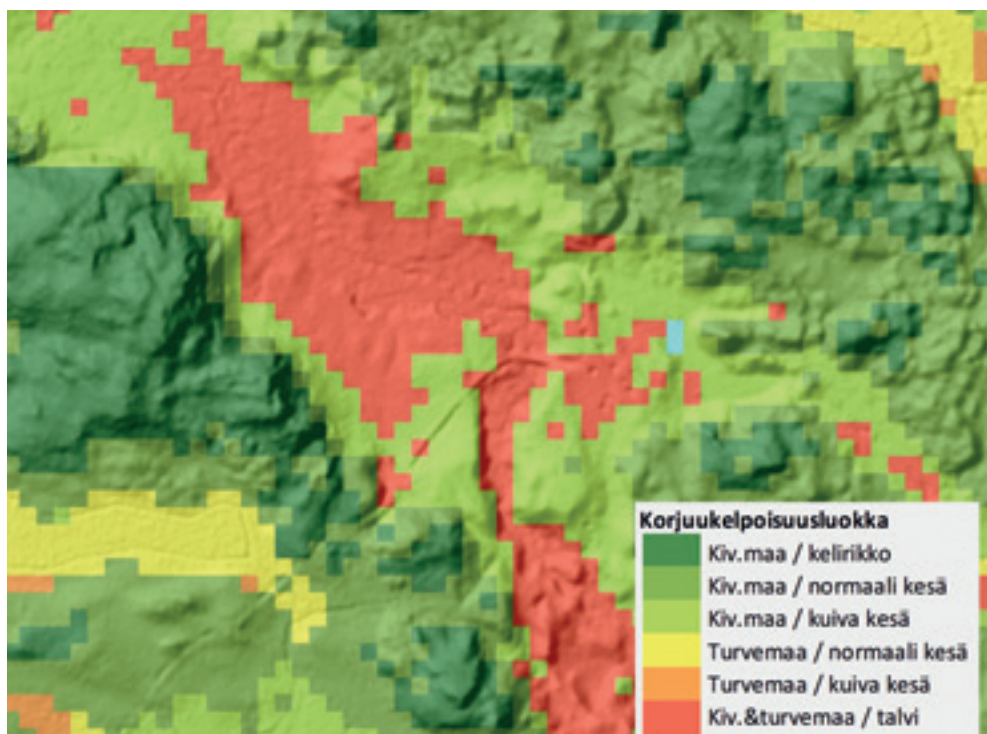
Automaatiosta kaikinensa nähtiin saatavan hyötyä mm. työn kustannustehokkuuden, kuljettajien työhyvinvoinnin ja ympäristövaikutusten kannalta. Samaan hengen vetoon metsätyö kuitenkin todettiin yhdeksi haastavimmista automaatioteknologian sovelluskohteista eikä täysautomaatiota ja täysin itsenäisesti toimivia, autonomisia metsäkoneita pidetty realistisinä. Puoliautomaattiset ratkaisut alustakoneissa ja nostureissa nähtiin todennäköisimpänä kehityspolkuna.

Puut pois pehmeiltä mailta

Ojitettujen turvemaiden hakkuumahdollisuudet alkoivat kunnolla realisoi-
tua 2000-luvun alussa. Suuri osa metsistä tuli ensiharvennusikään, ja niiden hakkuumahdollisuudet olivat 4,5 miljoonaa kuutiometriä ainespuuta vuodessa ja energiapuut päälle. Hakkuut jäivät paljon pienemmiksi ja rästejä ker-
tyi (332). Talvien lyheneminen ja lauhtuminen lisäsivät huonosti kantavien maiden haasteita. Vauhtia haettiin kohteiden kantavuusluokittelun ja korjuuteknii-
kan kehittämisestä, jotta puuta saataisiin turvemailta myös sulan maan aikaan.

Vuonna 2007 Metsähallitus, Ponsse ja Metla kehittivät ensimmäisen ver-
sion puunkorjuukaluston suokelpoisuuden ja turvemaiden kantavuuden luokittelusta (333). Metsäteho osallistui seuraavina vuosina luokitusten tes-
taukseen ja kehittämiseen. Tavoitteena oli saada osa turvemaakohteista kesä-
korjuun piiriin, tehostaa kaluston ympärivuotista käyttöä ja pienentää muu-
tenkin puuhuollon kausivaihtelua (334).

Kone-, tela- ja rengasvalmistajat kehittivät ripeästi uusia ratkaisuja peh-
meiden maiden korjuuseen. Metsäteho tutki yhdessä valmistajien kanssa eri
konetyyppien ja niiden varustelun vaikutuksia maastokelpoisuuteen. Kokeilu
toteutettiin korpikuusikon harvennustyömaalla, jossa korjuuvaurioiden vält-
täminen on erityisen tärkeää (335). Tutkimus osoitti, että puut saadaan sulan-
kin maan aikaan asiallisesti tien varteen, kunhan koko ketju hallitaan. Perusta



Arbonaut Oy:n kehittämä korjuukelpoisuuskartta helpottaa puunkorjuun ajoitusta.

luotiin työmaan suunnittelussa korjuuajankohdan valinnalla, varastojen hajautuksella ja raskaasti kuormitettavien urien sijoituksella. Toteutusvaiheessa ajourien suoruus, riittävä leveys ja hyvä havutus olivat tärkeitä. Koneiden asianmukaisella varustelulla, kuten kantavilla erikoisteloilla, sekä osaavilla kuljettajilla viimeisteltiin hyvä tulos.

Metsätehon johdolla kehitettiin suositukset korjuukaluston akselipainojen määritykseen. Sen jatkoksi rakennettiin yhdessä VTT:n kanssa malli, jolla voitiin laskea eri hakkuukoneiden ja kuormatraktoreiden pintapaineet sekä ennusteet raiteiden syvyydelle (336). Malli oli omiaan yhtenäistämään pintapainelaskennan vaihtelevia käytäntöjä.

Kehittyvä paikkatietoteknologia tuli muutamien vuosien kuluttua korjuukelpoisuuden luokittelun avuksi. Vuosina 2014-2017 Arbonaut Oy kehitti merkittävän apuvälineen, ”korjuukelpoisuuskartan” yhteistyössä Metsätehon ja alan toimijoiden kanssa. Kartta kuvasi metsämaan kantavuutta ja sen pienipiirteistä vaihtelua pysyvien ja hitaasti muuttuvien olosuhdetietojen pohjalta. Ajankohta jaoteltiin keliirikkoaikaan, normaaliin kesään, kuivaan kesään sekä talveen (337). Kartta osoittautui erinomaiseksi apuvälineeksi ja Suomen metsäkeskus sisällytti korjuukelpoisuuskartan osaksi paikkatietopalvelujaan. Kartta otettiin nopeasti laajaan operatiiviseen käyttöön.

Metsäteho ja CGI rakensivat samoihin aikoihin testisovelluksen, ns. ”Ajourakoneen” helpottamaan raskaimmin kuormittuvien ajourien eli ns. kokoojaurien sijoittamista leimikolle. Parhaiden paikkojen laskennassa käytettiin korjuukelpoisuuskarttaa, maaston kaltevuutta, tietoja varastopaikoista ja varottavista luontokohteista sekä säätietoja. Pilottisovellus oli luonteeltaan päätöstukijärjestelmä, joka oli tarkoitettu leimikoiden suunnittelijoille ja koneenkuljettajille. Metsäteho testasi järjestelmää osakkaidensa ja koneyritysten kanssa ja kokosi kehittämisehdotukset mahdollisen tuotteistamisen tueksi (338).

Viime vuosina on panostettu erityisesti muuttuvia olosuhteita ennustavien apuvälineiden kehittämiseen. Metsäteho on mm. osallistunut Ilmatieteen laitoksen kehityshankkeisiin, jossa on rakennettu satelliittiaineistoihin perustuvaa ”Harvester Seasons”-palvelua. Tavoitteena on dynaaminen työkalu, jolla voidaan ennustaa korjuukauden olosuhteita kuten roudan paksuutta, maan kosteutta ja lumen määrää.

Ympäristötehokkaampaa kaukokuljetusta

Vuonna 2000 autokuljetuksen osuus tehtaalle toimitetusta puumäärästä oli 80 %, rautatiekuljetuksen 16 % ja vesitiekuljetuksen 4 %. Puut kulkivat osan matkaa auton kyydissä kaikissa kuljetusmuodoissa (339). Metsätehon vuonna 1999 tekemän kalustoselvityksen mukaan käytännössä kaikki puutavara-autot olivat 7-akselisia yhdistelmiä. Kolmiakselisen vetoauton ja neliakselisen perävaunun yhdistelmä oli tavallisin, ja autojen keskimääräinen kantavuus oli 41 tonnia. Volvo, Sisu ja Scania olivat yleisimmät automerkit, ja perävaunuissa luki useimmin Jyki tai Weckman (221).

Autokuljetuksen kehittämisessä on 2000-luvun ensimmäisellä neljänneksellä keskitytty etenkin autojen kuljetuskapasiteetin ja ympäristötehokkuuden parantamiseen sekä kelirikon aiheuttamien haittojen ja tierasituksen vähentämiseen.

Keväisin ja syksyisin sorateiden kelirikko katkoo raakapuun korjuuta ja kuljetuksia viikkokausiksi. Metsäteho ja Tiehallinto selvittivät kelirikon taloudellista merkitystä 2000-luvun alussa. Sen laskettiin aiheuttavan puuhuollolle vuodessa noin 100 miljoonan euron lisäkustannukset. Kustannukset aiheutuivat puutavaran ylimääräisestä varastoinnista ja siitä johtuvista laatu-tappioista sekä korjuu- ja kuljetuskaluston epätasaisesta käytöstä (340). Tarkastelua päivitettiin vuonna 2017. Asiassa oli päästy eteenpäin, mutta kausivaihtelu oli edelleen iso kustannustekijä (341).

Ensin mainitussa hankkeessa kehitettiin suunnittelumenetelmä, jonka avulla arvioitiin valtion tienpidon tueksi alueittaisia hakkuu- ja kuljetusmääriä. Ennustetut kuljetusmäärät sijoitettiin tiekohtaisesti ja niitä käytettiin perusteena yleisten kelirikkoteiden korjausohjelmille. Menetelmää testattiin esimerkkialueilla tiepiirien kanssa ja se todettiin päteväksi apuvälineeksi. Menetelmää hyödynnettiin sittemmin muillakin alueilla.

Rengaspaineiden säätöjärjestelmä (CTI) huomattiin kiinnostavaksi keinoksi tierasituksen ja kausivaihtelun vähentämiseen. Siinä renkaiden ilmanpainetta voidaan säätää kuljetuksen aikana tieolojen, kuormituksen ja ajonopeuden mukaan. Järjestelmää oli käytetty jo pitkään eri puolilla maailmaa mm. sotilas- ja pelastusajoneuvoissa ja myös puutavara-autoissa. Metsäteho kartoitti CTI:n potentiaalisia hyötyjä, markkinoilla olevia järjestelmävaihtoehtoja ja tuki aktiivisesti niiden käyttöönottoa (342).

Ensimmäinen automaattisella CTI-järjestelmällä varustettu puutavara-auto otettiin Suomessa käyttöön vuonna 2008. Metsätehon johtamassa yhteishankkeessa tutkittiin rengaspaineiden säädön merkitystä puutavara-autoissa meidän olosuhteissamme. Tutkittiin etenkin CTI:n vaikutusta tien urautumiseen ja rakenteeseen sekä autoon ja kuljettajaan kohdistuvaan tärinään. Metsähallitukselle puuta kuljettavissa autoissa otettiin nopeasti yli 20 CTI-järjestelmää käyttöön ja selvitettiin niiden merkitystä. Aihetta tutkittiin myös muissa pohjoismaissa ja Baltiassa. Metsähallitus ja Metsäteho kokosivat kertyneet tutkimustulokset ja käytännön kokemukset yhteen (343).



Normaalisti sallituja puutavara-autoja painavampia tai pidempiä yhdistelmiä kutsutaan HCT-autoiksi. Erilaisia HCT-yhdistelmiä kokeillaan parhaillaan vakioiteilla, ns. HCT-käytävillä, tapahtuviin pitkän matkan kujetuksiin Traficomien erityisluvilla. Kuvassa Ketosen Kuljetus Oy:n HCT-yhdistelmä, jonka kokonaispaino on 104 tonnia.

Rengaspaineen alentamisen todettiin pienentävän tien kuormitusta ja urautumista, parantavan auton vetokykyä ja vähentävän kiinni juuttumista sekä ajoneuvon ja kuljettajan altistumista tärinälle. CTI ei vaikuttanut olennaisesti polttoaineen kulutukseen. Pienemmän tierasituksen takia tieviranomaiset myönsivät CTI-ajoneuvoille ajolupia myös kelirikkorajoitusten aikana. CTI-järjestelmät ovat nykyään jossain määrin käytössä Pohjois-Suomessa.

2010-luvun alusta alkaen paneuduttiin perusteellisesti mahdollisuuksiin suurentaa autojen hyötykuormaa. Todettiin, että ajoneuvojen akseli- ja telimassoja koskevat säädökset mahdollistivat itse asiassa suuremmat kokonaispainot kuin 60 tonnia, joka oli tuolloinen yhdistelmän suurin sallittu paino. Selvitettiin vaihtoehtoisia rakenteita, joilla kuormatilaa ja kalustoa voitaisiin hyödyntää tehokkaammin. Lisäämällä akseleita vetoautoon tai perävaunuun kuormia voitiin kasvattaa, mutta tierasitus ja päästöt kuljetettua puumäärää kohti vähenivät. Tulokset antoivat perustan tehokkaampien ajoneuvoyhdistelmien kokeilulle sekä esitykselle kokonaispainojen korottamisesta (344).

Liikenne- ja viestintäministeriö valmistelikin kohta muutoksen ajoneuvojen käyttöasetukseen, joka astui voimaan vuoden 2013 lopulla. Päämuutos oli se, että 60-tonnisten 7-akselisten yhdistelmien rinnalle sallittiin uudet 8- ja 9-akseliset rekat, joiden enimmäispanot olivat vastaavasti 68 ja 76 tonnia. Metsäteho edisti vahvasti uusien ratkaisujen käyttöönottoa (345, 346).



Puutavaran rautatiekuljetusta on tehostettu kehittämällä kuormauspaikkaverkostoa. Kuvassa vuonna 2021 valmistunut Akaan raakapuutermiinaali. Kuva: Oy Adolf Lahti Yxpila Ab.

Puutavara-autojen mittojen ja massojen muutokset antoivat aihetta tarkistaa myös metsätienormeja. Metsäteho oli laatinut alan toimijoiden kanssa metsäteiden suunnittelun, rakentamisen ja ylläpidon kattavan Metsätieohjeiston vuonna 2001 ja vastasi ohjeiston ylläpidosta (347). Tarkistustyötä varten tutkittiin riittävätkö kääntymispaikkojen ja tieliittymien mitoitukset uudelle autokalustolle. Tulosten perusteella muun muassa kääntöympyröiden sädettä kasvatettiin.

Vaan ei kehitys tuohon pysähtynyt. Pian puutavaran autokuljetukseen ilmaantui uusi kirjanyhdistelmä, HCT (High Capacity Transport). Sillä tarkoitettiin normaalisti sallittuja yhdistelmiä painavampia (yli 76 tonnia) tai pidempiä (yli 25,25 m) yhdistelmiä. Metsäteho teki esiselvityksen työ- ja elinkeinoministeriölle HCT-ajoneuvojen potentiaalista (348).

Selvityksessä todettiin, että HCT-ajoneuvoilla on mahdollisuus pienentää merkittävästi puutavaran kuljetuksen yksikkökustannuksia, vähentää päästöjä ja keventää teiden kokonaisrasitusta. Nähtiin, että HCT:n käyttö vaatisi uudenlaista logistiikkaa, koska isojen yhdistelmien liikennöinti alemmalla tieverkolla ja metsäteillä olisi haastavaa. Siitä syystä hahmoteltiin alustavasti erityisiä HCT-kuljetuskäytäviä. Toimenpide-ehdotuksissa suositeltiin mm. käynnistettyjen HCT-kokeilujen ja -tutkimusten vuotuista raportointia, uudenlaisten reittien ja ajoneuvoyhdistelmien kokeilua, käytäväehdotuksen tarkentamista sekä kuljetusinfra pullonkaulojen tunnistamista ja poistamista.

Liikenteen turvallisuusvirasto Trafi (nykyisin Traficom) myönsi kuljetusyrityksille ajoneuvo- ja kuljetusreittikohtaisia kokeilulupia ja antoi ajoneuvoja koskevia teknisiä määräyksiä. Parissa vuodessa saatiin seitsemän HCT-yhdistelmää kuljettamaan puutavaraa tai haketta maamme teillä. Kokeiluihin liitettiin laajoja yhteistutkimuksia mm. kuljetustaloudesta, ympäristötehokkuudesta, liikenneturvallisuudesta sekä teiden ja siltojen rasituksesta. Suurimmille yhdistelmille tarkoitettuja käytäviä sijoitettiin lähinnä alueille, joilla ei ollut mahdollisuuksia rautatiekuljetuksiin. Metsäteho osallistui tiiviisti tutkimuksiin ja ryhtyi kokoamaan tietoa HCT-kokeiluista ja tutkimuksista verkkosivuilleen (www.metsateho.fi/hct).

Tammikuussa 2019 tuli voimaan lakisäädös, joka salli ajoneuvoyhdistelmien kokonaispituuden noston 34,50 metriin ja vetoauton pituuden noston 12 metristä 13 metriin. Se edesauttoi mm. puutavaraa kevyemmän hakkeen kuljetuksia ja useamman nipun sijoittamista vetoautoon.

Vuoden 2024 loppuun mennessä kokeilukäytössä on ollut lähes kaksikymmentä HCT-yhdistelmää, joiden kokonaispainot ovat vaihdelleet 84 tonnista 104 tonniin. Yli puolet niistä on ollut puutavara-autoja, joista keveimmillä on haettu puuta metsäteiltä saakka.

Tähänastiset tulokset ovat vahvistaneet käsitystä HCT-autojen hyödyistä. Niiden avulla voidaan pienentää tuntuvasti kuljetuskustannuksia, polttoaineen kulutusta ja hiilidioksidipäästöjä. Isompien kuormien ansiosta puutavara- ja hakekuormien määrä liikenteessä vähenisi olennaisesti, mikä olisi omiaan parantamaan liikenneturvallisuutta ja helpottamaan kuljettajapulaa.

HCT ei näytä vaikuttavan olennaisesti tierasitukseen paksupäällysteisillä teillä. Siltarasitus sen sijaan näyttää lisääntyvän etenkin pitkillä silloilla, mikä on otettava kuljetusten järjestelyssä huomioon. HCT-yhdistelmiä on joka tapauksessa ajateltu käytettäväksi vain erityisillä HCT-käytävillä, joista Metsätehon tuoreessa yhteenvetoraportissa todetaan seuraavasti: ”Näin taataan reittien sopivuus HCT-yhdistelmille ja toisaalta priorisoidaan tarvittavat infrastruktuuri-investoinnit yhteysväleille, joilla hyödyt HCT-yhdistelmille ovat suurimmat” (349).

Tuoreimpia kuljetustekniikan kehittämisaiheita ovat automaatio ja sähköistäminen. Metsäteho kartoitti automaation ja etäohjauksen tilaa ja näkymiä puutavaran ja sivutuotehakkeen autokuljetuksessa (350). Ajoneuvoyhdistelmissä oli maantieajossa käytössä automaattivaihteistoja, älykkäitä vakionopeussäätimiä ja kaistavahteja. Metsäteillä ajo ja kuormaus todettiin haastavimmiksi automaation soveltamisalueiksi ja kehityksen arvioitiinkin painottuvan alkuvaiheessa maantieajoon sekä suljetuille tehdas- ja terminaalialueille. Puutavaran kuormauksen kehityspolkuna nähtiin lähinnä etäkuormausteknologian käyttöönotto sekä kuormaimen käyttöä helpottava nosturin ”kärkiohjaus” (351).

Kasvihuonepäästöjen alentamiseen tähtääviä liikenteen sähköistämistavoitteita ja toimenpideohjelmia on laadittu viime vuosina sekä EU:ssa että kansallisella tasolla. Sähköiset kuorma-autot ovat yksi osa keinovalikoimaa. Metsäteho on tuottanut metsäyhtiöille ja alan kuljetusyrityksille tietopohjaa täyssähköisten autojen mahdollisuuksista tuote- ja raaka-ainekuljetuksissa. Aluksi kartoitettiin sähköisten kuorma-autojen nykytilaa ja kehitysnäkymiä. Lisäksi tarkasteltiin metsäsektorin kuljetusten erityispiirteitä sähköistämisen kannalta (352). Metsäteho laatii tätä kirjoitettaessa vertailulaskelmia diesel- ja sähköajoneuvoyhdistelmien kustannuksista ja päästöistä.

Muita Metsätehon keskeisiä kaukokuljetusaiheita viime vuosina ovat olleet mm. puuvirtatarkastelut ja vesitiekuljetuksen kehittäminen. Puukuljetusten osuus Suomen kokonaiskuljetuksista on merkittävä ja Metsäteho on tuottanut aineistoja valtakunnallisiin logistiikkahankkeisiin. Tuorein esimerkki on Väylävirastolle toimitetut raakapuun kuljetustarpeita koskevat lähtötiedot ratojen kuormauspaikkaverkon tilanne- ja tulevaisuuskuva -selvitykseen (353).

Merkittävä muutos puuvirtoihin tuli vuonna 2022, kun Venäjä hyökkäsi Ukrainaan. Puun tuonti Venäjältä ja kuljetukset Saimaan kanavaa pitkin lopuivat. Muutos heijastui erityisesti Kaakkois-Suomen metsäteollisuuden hankintalogistiikkaan. Tästä syystä Metsäteho käynnisti selvityksen raakapuun aluskuljetuksen mahdollisuuksista Vuoksen vesistöalueella. Sisävesikuljetusten vahvuuksiksi todettiin ympäristöystävällisyys ja kustannustehokkuus. Talviliikenteen kehittäminen nähtiin merkittävämpänä uutena mahdollisuutena (354).

Metsätieto tehokäyttöön

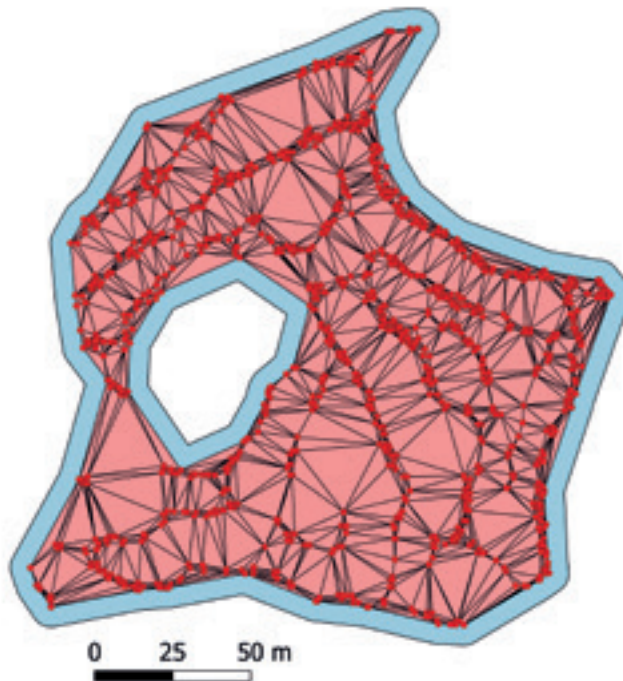
Metsätiedon tehokas hyödyntäminen on ollut 2000-luvulla keskeinen kehittämisteema. Metsätiedolla tarkoitetaan tässä laajasti puustoa, maastoa ja tiestöä koskevaa paikkatietoa. Aiheen pariin kannustivat pyrkimykset puun täsmäohjaukseen, ympärivuotisen korjuun ja kuljetuksen haasteet sekä kehittyvien tietojärjestelmien kyvykkyys tarjota ajantasaista tietoa päätösten tueksi eri toimijatasoille. Ajurina toimi myös julkisten toimijoiden tuottamien paikkatietoaineistojen monipuolistuminen ja saatavuuden paraneminen. Metsätiedon tehokkaamman käytön nähtiin parantavan laajasti sekä puunhankintaa, metsänhoitoa että ympäristöasioiden hallintaa.

Metsäteho on osallistunut vahvasti kehittämistavoitteiden määrittelyyn, tiedonkeruu- ja analysointimenetelmien kehittämiseen sekä soveltamiskonseptien kokeiluun. Pääosa työstä on tehty laajan toimijajoukon yhteistyönä tutkimusohjelmissa, joita mm. Tekes (nykyisin Business Finland), eri ministeriöt ja EU ovat rahoituksellaan tukeneet. Keskeisiä ohjelmia ovat olleet EffFibre (2010-2013, Tekes), Data to Intelligence (2014-2016, Tekes), Metsätieto ja sähköiset palvelut (2016-2018, MMM) ja EFFORTE (2016-2019, EU).

Metsätehon esiselvityksessä kartoitettiin tietotarpeita, maaston ja tiestön ominaisuuksia kuvaavia aineistoja sekä tiedontuotannon menetelmiä. Tärkeimmiksi kehittämisteemoiksi nousivat olosuhteiden ajallisen sekä spatiaalisen, esimerkiksi korjuukohteen sisäisen vaihtelun hallinta (355). Uusia informaatiolähteitä kuten korkeusmallista johdettua kosteusindeksiä (TWI) ja

puustotunnuksia kantavuuden ennustamisessa kokeiltiin alustavasti Metlan kanssa (356).

Data to Intelligence -tutkimusohjelmaan kuuluneessa Forest Big Data -hankkeessa (2014-2016) tuotettiin perusteita uudenlaista ”metsätietoekosysteemiä” varten. Päämääränä oli, että metsistä olisi entistä ajantasaisempaa, tarkempaa ja monipuolisempaa tietoa käytettävissä. Nähtiin, että entistä tarkemmin puuston rakennetta ja laatua, maaperää sekä muuttuvia olosuhteita kuvaavan tiedon avulla voitaisiin parantaa puutavaralogistiikan ja puuntuotannon kustannustehokkuutta ja lisätä puuraaka-aineen jalostusarvoa. Tarkemmasta metsätiedosta hyötyisivät kaikki arvoketjun toimijat (357,358).



Hakkuukoneen rutiinomaisesti tuottama paikkatieto tarjoaa uusia mahdollisuuksia. Siitä voidaan esimerkiksi tuottaa automaattisesti hakatun alueen rajat metsävaratietojen päivitystä ja luonnonhoidon seurantaa varten. Kuvassa on esitetty Metsätehon kehittämän laskenta-algoritmin toimintaperiaate ja sillä tuotetut rajat.

Metsäteho visioi yhdessä toimijoiden kanssa metsätiedon tavoitetilaa, määritteli käyttötapauksia ja osallistui sovelluskonseptien rakentamiseen ja testaukseen. Hankkeessa kuvattiin metsävaratietojen, pysyvien ja muuttuvien olosuhdetietojen sekä metsäoperaatioissa syntyvien datojen roolia ja käyttömahdollisuuksia metsätaloudessa ja puuhuollossa (359).

Tampereen teknillisessä yliopistossa hahmoteltiin uudentyyppinen palvelualusta-konsepti eri lähteistä saatavan tiedon yhdistämiseen, rikastamiseen ja jakeluun käyttösovelluksille (360). Forest Big Data -hankkeessa selvitettiin alustavasti myös hakkuukonedataan sekä sahojen tukkimittari- ja röntgendaatan perustuvan laatu-tietovaraston mahdollisuuksia sahapuun täsmäohjauksen tukena (361).

Eri toimijakokoonpanoilla rakennetut sovelluskonseptit avasivat merkittäviä polkuja puuhuollon sovelluskehitykseen. Niistä tuotteistettiin sittemmin esimerkiksi katkonnan ohjaus- ja simulointipalvelu ValueForce, sähköinen puukauppapaikka Kuutio.fi ja korjuukelpoisuuskartta.

Sähköisen puukauppapaikka Kuution (www.kuutio.fi) perusta luotiin alun perin Metsätehon kehittämishankkeena (2014-2015). Sen pohjalta perustettiin vuonna Suomen Puukauppa Oy, jonka perustajaosakkaiksi ryhtyivät ostajia ja myyjiä edustavat tahot. Sähköinen puukauppapalvelu avattiin käyttöön vuonna 2017. Palvelun synnyttäminen oli merkittävä kehitysaskel metsäalan digitalisaatiossa. Vuonna 2023 Kuution kautta tehtiin noin viidennes yksityismetsien puukaupoista.

Maa- ja metsätalousministeriön Metsätieto ja sähköiset palvelut -hankkeessa Metsäteho testasi uusia mahdollisuuksia yhdistellä ja välittää eri tietolähteiden dataa sovellusten käyttöön. Sitä varten määriteltiin ja rakennettiin metsätiedon palvelualustan testiversio. Siihen kuuluivat tietovarasto, tietojen esikäsittelyn ja yhdistämisen menetelmät sekä kyselykieli, jolla tietoja hyödyntävä sovellus saattoi hakea tarvitsemansa datayhdistelmän alustasta. Testiaineistoina käytettiin mm. hilatason metsävaratietoja, maaperää ja säätä kuvaavia julkisia aineistoja sekä hakkuukonedataa (362). Metsäteho on sittemmin kehittänyt alustaa edelleen omaksi T&K-työkalukseen ja tutkinut eri datalähteiden hyödyntämistä mm. puuhuollon operaatioiden laadunhallinnassa (363).

Tiestötiedot haltuun

Teiden kunto ja keliolosuhteet vaikuttavat merkittävästi kuljetusten tehokkuuteen ja turvallisuuteen, kun puuta pitää saada tehtaille ympäri vuoden ja ympäri vuorokauden. Ajantasaisella tieinformaatiolla voidaan tehostaa sekä kuljetuksia että tienpidon suunnittelua. Asiaan on paneuduttu monissa yhteishankkeissa sekä yksityisten että yleisten teiden näkökulmasta.

Noin kolme neljäsosaa koko 454 000 kilometrin tieverkosta on yksityisteitä, yhteensä 350 000 km. Yksityisteihin kuuluvia metsäautoteitä on noin 140 000 km, joista kaikki eivät vastaa nykyisiä kuljetustarpeita puuhuollon ympärivuotisuuden, kehnosten talvien ja autokaluston järeytymisen takia. Onhan metsäteiden rakentamisen huippuajoista kulunut jo kymmeniä vuosia. Teiden perusrakennuksen työmäärät ohittivatkin 2000-luvulle tultaessa uusien teiden rakentamisen ja siksi on mm. kehitetty uusia apuvälineitä korjausten kohdentamiseen.

Vuonna 2008 Metsäteho osallistui pilottihankkeeseen, jossa kehitettiin Suomen metsäkeskuksen ja järjestelmätoimittajien kanssa menetelmiä metsätieverkon kunnostuksen suunnitteluun. Siinä laadittiin metsäteiden kuntoluokitukset sekä mobiilipaikannusta ja valokuvausta hyödyntävä sovellus kunnan kartoitukseen. Lisäksi selvitettiin mm. korjauskohteiden priorisoinnin menetelmiä ja määriteltiin tietojen varastointiin ja jakeluun tarkoitetun metsätietokannan sisältöä (364).

Forest Big Data -hankkeessa Metsäteho kartoitti puukuljetusten tarvitseman tiestötiedon tilaa ja koosti kehittämisvision sekä toimenpideohjelman. Samalla kokeiltiin alustavasti matkapuhelimeen perustuvaa tiedonkeruuta Tampereen yliopiston kanssa. Testattiin myös metsäteitä koskevan tiedon tuottamista liikenneviraston ylläpitämään Digiroadiin yhdessä Suomen metsäkeskuksen kanssa. Toimenpideohjelmaan listattiin metsäteitä koskevan tiedon koostaminen yhteen tietojärjestelmään, eri toimijoiden hallussa olevan tiestödatan yhdistäminen, uusien menetelmien ja tekniikoiden kokeilu kunnossa ja keltitietojen tuottamiseen sekä tietopalvelujen kehittäminen (365).

Tiedonkeruu- ja analysointitekniikka kehittyi vauhdilla ja puhkaisi samalla väylän uudelle toimintatavalle, ”joukkoistamiselle”. Liikennevirasto toteutti eri toimijoiden kanssa kokeiluja automaattisesta tiedon tuotannosta julkisen tieverkon kunnonhallintaa varten. Metsäteho ja Vionice Oy pilotoivat menetelmää, jossa käytettiin matkapuhelimen videokuvaa ja anturidataa tiestön kunnon ja ajokelin arviointiin (366).

Data kerättiin joukkoistetusti asentamalla parikymmentä matkapuhelinta puutavara-autojen ja toimihenkilöiden ajoneuvojen tuulilasiin. Data käsiteltiin automaattisesti konenäkö- ja sensorianalyysillä ja tulokset esitettiin karttamuodossa. Ensikokeilu antoi lupaavia tuloksia menetelmän potentiaalista sekä tien käyttäjille että tienpidosta vastaaville tahoille.

Jatkohankkeissa - nyt Vaisalan omistamaa RoadAi tiedonkeruu- ja analysointimenetelmää - kehitettiin edelleen (367). Puunhankinta- ja kuljetusyritykset näkivät sen soveltuvan etenkin kelirikon, lumisen ja sohjoisen tien, jäisen tien ja tien tasaisuuden tunnistamiseen. Järjestelmää ei ole kuitenkaan toistaiseksi otettu metsäalan käyttöön.

Uudet tiedonkeruumahdollisuudet tuuppasivat osaltaan siirtymistä seuraavalle työsaralle. Yksityisteitä koskeva tietieto oli puutteellista ja hajallaan, osapuolia oli paljon ja toimijoiden hyödyntämisvalmiudet vaihtelevia. Tarvittiin uusia toimintamalleja ja teknisiä ratkaisuja tietietojen hallintaan ja hyödyntämiseen. Suomen metsäkeskus ja Metsäteho ja tarttuivat asiaan Yksityistietiedon palvelualusta (YTPA)- hankkeessa (368). Hankkeessa kuvattiin mm. tarvittavan tietiedon sisältöä, käyttötapauksia ja tiedonkeruumenetelmiä sekä olemassa olevia tietolähteitä ja -alustoja (369).

Hankkeen lopputulema oli, että yksityistietieto on tarkoituksenmukaista hallita - yhden tietöalustan sijasta - eri alustojen yhdistelmän avulla. Esitettiin julkisen ja yksityisen sektorin yhteistyöverkoston perustamista alustojen kehittämistä varten. Vuonna 2020 perustettiin YTPA-verkosto, joka siirtyi vuonna 2022 osaksi Fintrafficin vetämää Liikenteen dataekosysteemiä. Metsäteho on tukenut aktiivisesti verkoston toimintaa mm. osallistumalla kuljetuksia ja tienpitoa palvelevien tietolajien määrittelyyn ja tietietofoorumien järjestämiseen (370, 371). Sitkeä uurastus monitahoisen aiheen parissa on alkanut tuottaa tuloksia.

Tietostandardit ja rajapinnat kuntoon

Puuhuollon digitalisaation edetessä ketterän tietoliikenteen, tietostandardien ja rajapintojen merkitys kasvoi entisestään. Tarjolle tuli myös entistä joustavampia teknisiä ratkaisuja standardien rakentamiseen. Metsäteho laati ehdotuksen yhteispohjoismaisen metsäkoneiden tiedonsiirtostandardin (Stan-ForD) uusimiseksi uuden XML-teknologian pohjalle (372).

Ehdotuksen pohjalta käynnistettiin standardin uusiminen Metsätehon ja Skogforskin yhteistyönä. Metsäteho kartoitti langattoman tiedonsiirron

tarpeita ja uusia mahdollisuuksia puunhankinnassa ja puuntuottamisessa (373,374). Oman lisäpiirteensä tiedonsiirron kehittämiseen toi se, että NMT- ja Mobitex-matkapuhelinverkot poistuivat käytöstä 2000-luvun alkuvuosina ja oli siirryttävä nopeasti uusiin GSM-ratkaisuihin.

Uusimistyössä selvitettiin laajasti puunhankintaorganisaatioiden, metsänomistajien, konevalmistajien ja ohjelmistoyritysten näkemyksiä kehittämisen tavoitteista Suomessa ja Ruotsissa (375). Ensimmäinen versio uudesta standardista (StanForD 2010) valmistui 2011, minkä jälkeen toimijat ryhtyivät ottamaan sitä käyttöön. Metsäteho ja Skogforsk ovat jatkaneet uuden standardin ylläpitoa ja kehittämistä. Nykyisin StanForD 2010 on globaali standardi ja kattaa tavaralajimenetelmän lisäksi kokorunko-korjuun koneiden tiedonsiirron.

Standardia kehitetään jatkuvasti ajan tarpeiden mukaisesti. Esimerkkinä puunhankinnan kehitystarpeista, joissa metsäkoneiden tiedonsiirtostandardia tarvittiin mahdollistajaksi, oli rungonosahinnoittelussa tarvittavan tietosisälön lisääminen hakkuukoneen katkonnanohjaus- ja tuotosraportointitiedostoihin. Muutos edellytti tiukkaa määrittelyä, käytännön mittausaineistojen kokoamista sekä yhteistyötä konevalmistajien kanssa. Toisena esimerkkinä oli yhtenäisen tyven kuutiointimenetelmän laatiminen mittalaitteille.

Tietoa siirrettiin sähköisesti myös puutavaran kuljetuslogistiikassa, mutta siellä ei ollut 2000-luvun alussa standardia Suomessa eikä muuallakaan. Metsäteollisuudessa oli kylläkin otettu käyttöön teollisuuden, asiakkaiden ja jakelulogistiikan toimijoiden välinen globaali papiNet-standardi. Vuonna 2007 käynnistettiin Pohjoismaiden ja eräiden Keski-Euroopan maiden yhteistyö standardin laajentamiseksi puun hankintalogistiikkaan (papiNet FWSB, Forest Wood Supply and Bioproducts). Metsäteho osallistui yhteistyöhön, jossa määriteltiin logistiikassa ja mittauksessa käytettävät sanomat ja niiden soveltamisen suositukset.

Sanomia ja niiden tietosisältöjä piti kuitenkin määritellä tarkemmin suomalaisten erityistarpeiden pohjalta. Metsäteho osakkaineen teki valmistelutyön ja suositus papiNetin käytöstä Suomessa julkaistiin vuonna 2012 (376). Sanomia käytetään nykyisin Trimble Forestryn puutavarakuljetusten LogForce-toiminnanohjauspalvelussa metsäyhtiöiden ja palvelun välisessä rajapinnassa sekä Tietoevryn Forest Hub -palvelussa.

Metsäyhtiöt käyvät keskenään mittavaa puutavarakauppaa ja toimittavat puuta toistensa tehtaille. Ennakkotiedot toimitettavista kuormista ja mittaus-

tietojen lähetykset toimittajille ovat keskeinen osa joustavaa ja mahdollisimman automaattista puutavaran vastaanottoa ja tehdasmittausta. Tätä varten yhtiöiden välillä oli 1990-luvun loppupuolelta käytössä ns. OVT-tiedonsiirto, joka todettiin 2010-luvun puolivälissä tietoteknisesti vanhanaikaiseksi ja hankalaksi ylläpitää.

Sen korvaamiseksi ryhdyttiin vuonna 2015 valmistelemaan uutta puutavaratoimitusten tiedonsiirtopalvelua. Metsätehon tekemän esiselvityksen jälkeen käynnistettiin osakkaiden yhteinen hanke, joka johti Tietoevryn rakentaman Forest Hub -palvelun käyttöönottoon vuonna 2017. Palveluun on vähitellen liittynyt laaja joukko yrityksiä ja toimijoita myös PK-sektorilta.

Hakkuukonedatan lentoonläheto

Metsäteho oli pilotoinut jo 1990-luvulla hakkuukoneiden mittaustiedoista muodostettua tietovarastoa, runkopankkia. Se oli osoittautunut lupaavaksi välineeksi hakattavien leimikoiden tavaralajikertymien sekä yleisemminkin leimikkovarantojen ominaisuuksien arviointiin. Kun tietovarasto yhdistettiin apteeraussimulaattoriin, voitiin tehdä vaihtoehtolaskelmia hankinnan ja tuotannon suunnittelun tarpeisiin. Metsätehon osakasyritykset innostuivat uudesta työvälineestä ja alkoivat valmistella omia runkopankkiprojektejaan. Metsätehon runkopankki sovelluksineen puolestaan avasi olennaisen polun Metsätehon yleiseen ja yrityskohtaiseen T&K-työhön - nyt voi jo sanoa - vuosikymmeniksi.

Metsäteho paneutui määrätietoisesti runkopankin muodostamisessa tarvittavien välineiden sekä sitä hyödyntävien ohjelmistojen kehittämiseen. Samalla kasvatettiin tietovarastoa kattamaan paremmin eri leimikkotyyppejä ja maantieteellisiä alueita. Näin viritettiin omaa kehittämistyökalua ja tuotettiin perusteita osakasyritysten järjestelmäprojekteihin. Puustotunnusten laskentamenetelmiin ja käyttösovelluksiin liittyvää tutkimustyötä tehtiin yhdessä etenkin Joensuun ja Helsingin yliopistojen kanssa (377, 378).

Hakkuukone oli osoittautunut – varsinaisen tehtävänsä ohella – mainioksi data-automaatiksi. Kehittyvä sensoriteknikka innosti tutkimaan uusia keinoja, joilla voitaisiin tehostaa hakkuutyötä ja tuottaa samalla hyödyllistä metsädataa. Metsäteho testasi vuosina 2011-2013 hakkuukoneeseen asennetun laserkeilaimen soveltamismahdollisuuksia Ponssen ja Argonen kanssa. Argonen kehittämällä ohjelmistolla keilaimen tuottamasta ”pistepilvestä” muodostettiin puiden sijainnit kuvaava puukartta ja estimoitiin puiden rinnankor-

keusläpimitat ja ulkoisia laatutunnuksia, kuten mutkia ja lenkoutta (379).

Menetelmää testattiin puustoltaan erilaisissa harvennushakkuukohteissa. Jäljelle jäävät puut saatiin automaattisesti kartoitetuksi varsin hyvin, mutta läpimittojen mittauksessa oli enemmän haasteita. Lupaavimmiksi puukarttajärjestelmän soveltamiskohteiksi arvioitiin harvennusvoimakkuuden seuranta, kuviolle jäävän puuston keskitunnusten määrittäminen ja kaadettavien puiden valinnan tukeminen. Mittaustarkkuuden paranemisen arveltiin tuovan soveltamismahdollisuuksia myös katkonnan ohjauksessa, kaukokartoituksen referenssiaineistojen tuottamisessa ja hakkuutyön automatisoinnissa.

Metsäteho selvitti myös hakkuukoneen paikannuslaitteen tarkkuutta ja toimivuutta. Tarkkuuden todettiin olevan hyvällä tasolla käytännön operaatioiden kannalta. Se jäi kuitenkin joitain metrejä puolen metrin tarkkuusvaatimuksesta, joka oli määritelty esimerkiksi puukarttaa ja muitakin näköpiirissä olevia uusia käyttötarkoituksia varten. Tulosten perusteella suositeltiin hakkuukoneiden paikannustekniikan korvaamista laitteilla, jotka hyödyntäisivät rinnakkain useampia satelliittijärjestelmiä ja ns. differentiaalikorjausta (380).

Kokeilujen pohjalta Metsäteho hahmotteli hakkuukoneella kerätyn puustotiedon hyödyntämismahdollisuuksia kaukokartoituksen referenssitietona ja metsävaratietojen päivityksessä. Hakkuukoneilla kaadettiin ja mitattiin tarkasti noin miljoona paikannettua puuta päivässä eri puolilta Suomea. Mittaustietoja käytettiin laajasti puukaupan, puunhankinnan ja jalostuksen tarpeisiin, mutta aineksia oli muuhunkin (381). Puukarttaan perustuvat menetelmät jäivät odottamaan keilausmenetelmän tuotteistamista ja käyttöönottoa hakkuukoneissa. Tavanomaisen hakkuukonedatan käytölle oli sen sijaan pikapuoliin tilaus.

Suomen metsäkeskus oli uusinnut yksityismetsien inventointimenetelmänsä 2000-luvun alussa. Mullistava uutuus, ilmasta tehtävä laserkeilaus (ALS) otettiin käyttöön, mikä tehosti inventointeja. Metsävaratietoja ajantasaistettiin 10 vuoden välein toistuvien inventointien, puuston kasvumallien ja -mahdollisuuksien mukaan – tehtyjä toimenpiteitä koskevien tietojen avulla. Hakkuut aiheuttivat suurimmat muutokset, ja niistä toki tehtiin etukäteen metsänkäyttöilmoitus metsäkeskukseen. Mutta sinne ei juurikaan tihkunut tietoa lopullisesta hakkuun ajankohdasta, rajauksesta ja toteutustavasta. Hakkuukoneet kiinnostivatkin Suomen metsäkeskusta mahdollisena päivitystiedon lähteenä.

Maa- ja metsätalousministeriön Metsätieto ja sähköiset palvelut -hankkeessa kehitettiin uusia menetelmiä metsävaratietojen hankintaan ja hyödyn-

tämiseen. Keskeisiä tavoitteita olivat metsätiedon laadun parantaminen, sen liikkuvuuden edistäminen ja sähköisten palveluiden kehittäminen. Hankkeen merkittävimpiä tuloksia oli Suomen metsäkeskuksen metsävaratietojen avoimuuden ja teknisen käytettävyyden paraneminen. Ne helpottivat olennaisesti metsävaratiedon käyttöä ja siihen perustuvien uusien tuotteiden ja palvelujen rakentamista.

Metsävaratiedon ajantasaisuuden parantaminen oli myös tärkeä kehittämiskohde. Metsäteho kehitti laskentamenetelmän, jolla metsäkoneiden mitaus- ja sijaintitiedoista voitiin automaattisesti muodostaa ns. hakkuukuvio eli hakatun kuvion rajat sekä hakkuutapaa ja ajankohtaa kuvaavat tiedot (382, 383,384) Se oli merkittävä tulos, joka avasi monta uutta polkua hakkuukone-tiedon tehokäyttöön.

Metsätieto- ja sähköiset -palvelut hankkeessa metsäalan toimijat hyväksyivät yhteisen suosituksen metsätöiden toteutustiedon luovuttamisesta Suomen metsäkeskukselle metsävaratiedon päivitystä varten. Suositus kattoi ensivaiheessa metsänhoitotöiden yhteydessä mitatun omavalvontatiedon ja hakkuukonedatasta muodostetun hakkuukuvion tiedot. Samassa yhteydessä laadittiin Metsätehon koordinoimana metsäyhtiöiden, koneyrittäjien ja konevalmistajien yhteinen suositus metsäkonetiedon omistuksesta ja käytöstä (385).

Metsäteho luovutti kuviointimenetelmän määrittelyt ja laskenta-algoritmit Suomen metsäkeskuksen käyttöön metsävaratietojen päivitystä varten. Metsäkeskus rakensi hakkuukonedataan perustuvan päivityspalvelun järjestelmäänsä ja sopi vuoden 2024 alussa metsäorganisaatioiden kanssa sen valtakunnallisesta käyttöönotosta. Uusi päivitysmenettely on omiaan parantamaan metsävaratiedon ajantasaisuutta ja laatua.

Hakkuukonetiedon hyödyntämistä on sittemmin kokeiltu moneen tarkoitukseen. Esimerkiksi Maa- ja metsätalousministeriön TyviTuho -hankkeessa selvitettiin juurikäävän esiintymistä kuusikoissa hakkuukoneen runkokoh- taisten mittaus- ja katkontatietojen perusteella. Hanke toteutettiin vuosina 2021-2024 yhdessä Luken ja Suomen metsäkeskuksen kanssa.

Metsäteho kehitti siinä lahontunnistusalgoritmin ja toimitti laajan juurikäävän esiintymistä kuvaavan runkopankkiaineiston hankkeen muita tutkimustehtäviä varten. Hankkeen tavoitteena on kehittää kuusenjuurikäävän torjuntamenetelmiä sekä hakkuukonedatan hyödyntämistä lahon toteamiseen hakkuun jälkeen ja juurikääpärisikin ennustamiseen.

Uusia välineitä puunkorjuun laadun hallintaan

Harvennushakkuu vaikuttaa kasvamaan jäävän puuston kasvuedellytyksiin. Hyvän korjuujäljen tunnusmerkkejä ovat mm. vähäiset puustovauriot ja urapainumat sekä jatkokasvatuksen kannalta sopiva puuston tiheys ja ajourien määrä. Metsäteho osakkaineen ja Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio laativat yhdessä Korjuujälki harvennushakkuussa -oppaan (2003). Siinä määriteltiin korjuujäljen käsitteistö ja tunnusluvut ja esiteltiin hyvän korjuujäljen varmistamiseen tarvittavat toimenpiteet (300).

Oppaaseen koottiin suositukset korjuuajankohdasta, harvennusvoimakkuudesta ja puiden valinnasta, ajourista ja puustovaurioiden välttämisestä. Lisäksi kuvattiin menetelmä työnaikaiseen korjuujäljen omavalvontaan sekä Suomen metsäkeskuksen käyttämä jälkitarkastustapa. Metsäteho tuotti myös yksityiskohtaisemmat ohjeet kasvatettavan puuston määritykseen koneellisessa harvennuksessa. Niissä ohjeistettiin kuljettajille omavalvonnan menetelmiä, kuten hakkuukoneen nosturin hyödyntämistä runkoluvun mittaamisessa.

2010-luvulla nopeasti kehittyvä sensoritekniikka alkoi tuoda korjuujäljen seurantaan uusia keinoja. Tavoitteena oli kehittää menetelmiä, joilla korjuujäljen tunnukset voitaisiin mitata automaattisesti hakkuutyön aikana. Jatkuva palautetieto antaisi kuljettajalle perusteet korjaaviin toimiin jo työn kuluessa. Aihetta tutkittiin eri tahoilla ja Metsäteho toimitti yhteenvedon eri tekniikoiden tarjoamista mahdollisuuksista. Siinä tarkasteltiin urapainumien, puustotunnusten ja puustovaurioiden mittaustekniikoita sekä ajouratunnusten laskeintaan hakkuukonedatasta (386).

Lupaavia tekniikoita ja menetelmiä oli jo olemassa lähes kaikkien korjuujäljen tunnusten täysautomaattiseen tai vähintään kuljettajan avustamaan mittaukseseen. Metsä todettiin kuitenkin hyvin haastavaksi ympäristöksi herkille mittalaitteille. Luontevimpana tavoitteena pidettiin sitä, että ”laatutieto tuotettaisiin niin pitkälle kuin mahdollista metsäkoneiden nykyisten mittalaitteiden ja sensoreiden keräämistä tunnuksista”, jolloin ylimääräisiä mittalaitteita ei tarvittaisi.

Metsätehon kehittämällä menetelmällä hakkuukoneen rekisteröimistä sijaintitiedosta voidaan automaattisesti tuottaa harvennushakkuussa avattu ajouraverkosto ja laskea urien määrä ja uraväli kohteella (387, 388). Kun hakkuukonedata yhdistetään myös luontokohteita koskeviin paikkatietoaineistoihin, päästään iso askel eteenpäin kohti korjuujäljen ja ympäristönhoidon laadun automaattista seurantaa.

Konevalmistajien viime vuosien kehitystyö on merkittävästi edistänyt automaattisen hakkuukuvioinnin ja sen sovellusten jatkokehittämistä. Alkuperäinen laskenta perustui alustakoneiden sijaintitietoihin, mutta nykyään dataan pystytään tuottamaan myös varsinaisen hakkuulaitteen sijaintitieto. Kun se saadaan kattavasti mukaan eri toimijoiden aineistoihin, menetelmän tarkkuus ja käyttömahdollisuudet paranevat entisestään (389). Menetelmän kehittämistä ja sovelluskonseptien testausta jatketaan Metsätehossa.



Hakkuukonedatasta voidaan tuottaa automaattisesti harvennushakkuun ajouraverkosto korjuujäljen seuranta varten. Kuva: Metsäteho Oy.

Ihminen ja osaaminen keskiöön

Vuosikymmeniä jatkuneen metsätöiden koneellistamisen tavoitteena oli tuottavuuden ja kustannustehokkuuden parantamisen ohella ihmistyön keventäminen. Fyysisesti raskaimmat työt saatiinkin aikaa myöten siirrettyä keveämmiksi kuljettajatehtäviksi koneiden ja autojen ohjaamoihin. Kuljettajien työ monipuolistui sitä mukaa, kun uusia oheistehtäviä kertyi tietojärjestelmien myötä sekä raaka-aineen ja toiminnan laadunhallinnan vaatimusten kasvaessa. Ne ovat olleet omiaan lisäämään kuljettajatyön vaativuutta ja henkistä kuormittavuutta.

Samaan aikaan kone- ja kuljetusyritysten rooli puuhuollossa on kasvanut. Perinteisiä metsäyhtiöiden suunnittelu- ja työnjohtotehtäviä on siirtynyt niiden hoidettavaksi, mikä lisää henkilöstön vastuuta, itsenäisyyttä ja osaamisvaatimuksia. Viime aikoina ihminen onkin jälleen nostettu alan kehittämistoimien keskiöön. Eikä vähiten siksi, että osaava työvoima uhkaa olla alan ehtyvin luonnonvara. Siitä kannattaa pitää huolta.

Metsäteho on laatinut työvoimatarpeen kehityslaskelmia jo 1970-luvulta lähtien. Laskelmilla on tuettu alan resurssisuunnittelua ja erityisesti koulutuksen mitoitusta. Vuonna 2003 arvioitiin, että metsäalalle tarvittaisiin vuonna 2010 noin 13 000 työntekijää ja 4200 toimihenkilöä. Työntekijätarpeesta runsas 70 % oli metsäkoneiden tai puutavara-autojen kuljettajia, joiden kysyntä oli tuntuvassa kasvussa ainespuun ja etenkin energiapuun hankinnan lisääntymisen takia (390).

Kuljettajien, mutta myös metsänhoitotoita tekevien metsureiden tarve kasvoi ennakoitua nopeammin. Vuoden 2007 päivityksen keskeinen johtopäätös oli se, että kuljettajia ja metsureita valmistuu oppilaitoksista ihan liian vähän vuotuiseseen tarpeeseen verrattuna (391). Käytännön toimijoissa kasvavaa huolta herätti myös valmistuneiden kuljettajien ammattitaito ja alalla pysyvyys. Työvoiman puute nähtiin yhtenä merkittävänä esteenä puun korjuu- ja kuljetusyritysten kannattavalle kasvulle (392).

Metsäteho koosti selvityksen metsäalan kuljettajakoulutusjärjestelmän toimivuudesta ja kehittämismahdollisuuksista. Päätuloksena oli konkreettisia ehdotuksia metsäkoneen ja puutavara-auton kuljettajien koulutuksen järjestämisestä niin, että se vastaisi paremmin käytännön tarpeisiin. Suositukset koskivat mm. opetuksen organisointia ja kestoja, oppilaitosten sijaintia ja yhteistyötä, opetuksen sisältöä ja aineistoja sekä opettajien valmiuksien kehittämistä (393).

Kuljettajien saatavuutta ja metsäalan yleisempääkin vetovoimaa pyrittiin parantamaan monin keinoin. Metsäteho pureutui työn muutokseen ja sen hallintaan yhdessä Työterveyslaitoksen asiantuntijoiden kanssa. Tarkoituksena oli parantaa metsäalan houkuttelevuutta ja sitä kautta henkilöresurssien saatavuutta. Muutos kiteytyi siihen, että ”aikaisempi välittömiin kontakteihin perustunut hierarkkinen toimintamalli oli muuttunut teknologian tukemaan verkostomaiseen yhteistyöhön”. Hankkeessa kehitettiin keinoja töiden sujuvoittamiseen ja mielekkyyden lisäämiseen. Kehittämistyöpajoihin osallistui toimihenkilöitä, yrittäjiä ja kuljettajia yritysten piiriltä (394).

Aiheeseen paneuduttiin laajasti Metsämiesten Säätiön rahoittamassa Metsätalouden työhyvinvoinnin T&K-ohjelmassa. Sen pääteemoiksi määriteltiin työhyvinvointi muutoksissa ja hyvinvoinnin mittaaminen, metsäalan tulevaisuustyö ja osaamisen kehittäminen sekä työterveyshuolto (395). Ohjelma nimettiin sittemmin Metsähyvinvointi-ohjelmaksi, jonka sisältönä ovat olleet mm. Metsäalan Johtamisakatemia, Metsäopettajien Akatemia, erilaiset valmennuspäivät, kampanjat ja seminaarit. Metsäteho oli Työterveyslaitoksen kanssa ohjelman rakentaja ja avaintoimija vuodesta 2010 vuoteen 2023 saakka. Siitä alkaen Tapio on vastannut Metsähyvinvointi-hankkeesta ja Työteho-seura Metsäalan Johtamisakatemiasta.

Metsäteho järjesti vuosina 2015-2022 yhteensä 22 Metsäalan Johtamisakatemian kurssia, joille osallistui noin 400 metsäammattilaista. Kurssipalautteet olivat hyvin myönteisiä ja hankkeen evaluoinnin päätuloksena todettiin, että ”Johtamisakatemia on tuonut lisäarvoa metsäalan johtamiskulttuuriin uusien käytännön työkalujen ja verkostojen muodossa.” (396).

Metsäopettajien Akatemian tavoitteena puolestaan on kehittää metsäalan opettajien osaamista, tulevaisuuden taitoja ja parantaa hyvinvointia. Se käynnistettiin Metsätehon ja Metsäkoulutus ry:n yhteisvoimin 2020. Kurssi rakennettiin lähi- ja etäopetuksen yhdistelmäksi, jossa tapaamisten välillä hyödynnettiin monipuolisesti uusia verkkoympäristön työkaluja. Osallistujien palaute ensikurssista oli hyvin positiivinen. Evaluointiraporttiin koostettiin kehittämis ehdotuksia seuraavia kursseja varten (397). Metsäopettajien Akatemiaa on tähän mennessä järjestetty viisi kurssia.

Metsäteho on panostanut koko historiansa ajan vahvasti puuhuollon koulutusaineistoihin. Se on tuottanut oppaita, elokuvia sekä dia- ja kalvosarjoja käytännön toimijoiden, opettajien ja oppilaiden avuksi. Nykyiset sähköiset välineet antavat mahdollisuuden entistä joustavampaan sisällön tuotantoon ja ylläpitoon. Metsätehon verkkosivuille on rakennettu kattava Puuhuolto.fi-sivusto, josta on muodostunut alan yhteinen oppimisolusta. Metsäteho ylläpitää sivustoa ja tuottaa sinne opetusaineistoja yhdessä mm. teollisuuden, oppilaitosten ja järjestelmätöimittajien kanssa. Metsämiesten Säätiö on tukenut merkittävästi aineistojen laatimista. Tällä erää sivustolla on aineistoja noin 20 aihekokonaisuudesta (398).

Metsäteho on viime aikoina selvittänyt myös metsäalan työnkuvia, niiden muutosnäkymiä ja koulutustarpeita yhdessä alan ammatti- ja yrittäjäjärjestöjen kanssa. Digitalisaatio todettiin suurimmaksi muutostekijäksi henkilöstön

työnkuviin. Tärkeimmiksi koulutusaiheiksi nousivat tietojärjestelmät, ajanhallinnan keinot ja viestintäosaaminen (399).

Työturvallisuus nousi vahvasti Metsätehon työkenttään viitisen vuotta sitten. Ensiksi koostettiin metsäalan työturvallisuusopas alan opiskelijoiden ja työntekijöiden käyttöön. Samalla käynnistettiin metsäalan yhteinen työturvallisuushanke, MetsäTurva, jossa Työterveyslaitos oli keskeinen toimija. Ohjelman taustaksi koostettiin katsaus työtapaturmien tilastointiin, määriin ja kehitykseen puuhuollossa. Todettiin, että työtapaturmat olivat selvästi vähentyneet, kun toimijat olivat paneutuneet asiaan vakavasti. Korjuumääriin suhteutettu tapaturmien määrä oli lähes puolittunut kymmenen viime vuoden aikana. Vahinkoja joka tapauksessa sattui edelleen, tyypillisimpiä olivat hyppäämisestä, kaatumisesta tai liukastumisesta aiheutuvat tapaturmat (400).



Alan työturvallisuuskulttuuria ja haasteita kartoitettiin kyselytutkimuksella, joka kohdistettiin eri työntekijätasolle. Tulosten perusteella metsäalan työturvallisuus oli kokonaisuutena hyvällä, "itsenäisellä" tasolla. Se tarkoitti sitä, että työntekijät kokivat olevansa itse vastuussa omasta työturvallisuudestaan, johon motivoi oman hyvinvoinnin ja terveyden tavoittelu. Seuraavaksi tavoiteltava taso olisi "yhteisöllinen", jossa koetaan vastuuta myös muiden turvallisuudesta. Johtopäätöksissä korostettiin työturvallisuutta koskevan avoimen tietojen vaihdon lisäämistä toimijoiden kesken (401).

Puutavaran mittausta automatisoidaan

Vuonna 2001 hakkuukonemittauksen osuus yksityismetsien puukauppojen luovutusmittauksessa oli 72 %, tienvarsimittauksen 12 % ja tehdasmittauksen 16 % (402).

2000-luvun alussa Metsätehossa tutkittiin mm. kuitupuun kosteuden ja kuiva-ainepitoisuuden mittausmenetelmiä ja puutavaran tarkemman lajittelun edellytyksiä. Selvitettiin myös kurottajatruckiin asennetun vaa'an tarkkuutta painomittauksen otantanippujen punnituksessa. Kurottajavaaka osoittautui tarkaksi ja käyttökelpoiseksi punnituskeinoksi (403). Tutkittiin myös otantamittauksen kehittämismahdollisuuksia. Kohteina olivat pölkkykohtaisen kapaleotannan tilastolliset perusteet ja uudet mittaustekniikat sekä paino-otantamittauksessa käytettävän tilavuuspainon määrittäminen (404).

Kameratekniikan kehittyminen herätti kiinnostuksen puuta koskemattoomaan mittaukseen niin metsässä kuin tehtaillakin. Metsätehon koordinoimassa Puun laadun mittaus ja lajittelu (PUULA) -projektissa kokeiltiin uusia tekniikoita. Tulosten perusteella digikuvilla arvioitiin olevan merkittäviä soveltamismahdollisuuksia sekä puun hankinnassa että jalostuksessa. Esimerkiksi tukin päätykuvasta saatiin tulkituksi sen kuoreton muoto ja kuoren paksuus, lustojen paksuus, sydän- ja pintapuualueet sekä lahoalueet. Tärkeimpänä käyttöalueena nähtiin puutavaran automaattinen lajittelu sahoilla. Kameratekniikan soveltaminen hakkuuvaiheessa arvioitiin sen sijaan haastavaksi (405).





Kuitupuun mittaus tehtaalla perustuu nykyisin paino-otantamittaukseen. Kuormassa olevan puutavaran paino mitataan vaa'alla ja se muunnetaan tilavuudeksi tuoretiheyslukujen avulla.

Metsäteho syventyi tarkastelemaan uuteen teknologiaan perustuvien menetelmien soveltamismahdollisuuksia ja vaatimuksia apteerauksessa ja puutavaran lajittelussa. Laadun ja dimensioiden mittaukseen näytti parhaiten istuvan digikuva- ja lasertekniikan yhdistelmä. Arvioitiin, että hakkuukoneiden mittaustekniikan kehittämisessä kannattaisi aloittaa mittalaitteen kalibrointia tukevista sovelluksista. Sahoilla kuorettoman läpimitan mittaus todettiin luontevaksi aloituskohteeksi ja kuitupuu tehdasmittauksessa puolestaan nippukohtainen tilavuuden ja laatutunnusten mittaus (406).



Tukit mitataan tuotantolaitoksilla konenäköön ja lasertekniikkaan perustuvilla tukkimittareilla. Suurimilla sahoilla on käytössä myös tukkiröntgenlaitteistoja, joilla saadaan tarkempaa tietoa tukkien laadusta. Kuva: Finnos Oy

Lupaavien kokeilujen innostamana Metsäteho kokosi vuonna 2006 osakaiden kanssa puutavaran mittauksen T&K-ohjelman. Tavoitetila kuvattiin seuraavasti: ”Raaka-aineen määrä ja laatu mitataan tarkasti käyttäen kustannustehokkaita, mahdollisimman reaaliaikaisesti toimivia ja automaattisia mittaus- ja analysointijärjestelmiä” (407). Kehittämisen painoalueita tarkistettiin 2012 Puutavaran mittauksen visio 2020 ja kehittämistarvekartoituksessa (408).

T&K-ohjelmien tarkoituksena oli suunnata Metsätehon omaa työtä ja kannustaa tekniikan asiantuntijoita ja tuotteistajia mittauskysymyksiä ratkomaan. Niin tapahtuikin. Yhteishankkeita pystyteltiin mm. hakkuukoneiden puuta koskemattoman mittauksen sekä puutavaran ja hakkeen kosteuden mittauksen ympärille (409). Korkealentoisin yritys taisi olla neutronimenetelmän kokeilu puun kosteuden määrittämiseen (410).

Pilotoitiin myös langattomia etätunnisteita eli RFID-tekniikkaan puutavaralogistiikassa. Ajatuksena oli, että toimitusketjussa kertyvää pölkkyykohtaista tietoa voitaisiin hyödyntää esimerkiksi raaka-aineen täsmäohjauksessa ja toiminnan laadun seurannassa. Haasteeksi nousi se, että teknisesti toteutuskelpoinen ratkaisu olisi laskenut liiaksi hakkuuvaiheen tuottavuutta. Tarve pölkköjen jäljitettävyyteen ei ole kuitenkaan poistunut, joten ratkaisua siihen etsitään jatkossakin.

Kuormainvaakojen käyttö yleistyi nopeasti puutavaran tuoremassan ja tilavuuden mittauksessa puutavaran kuljetusten yhteydessä. Vaakavalmistajat kehittivät aktiivisesti laitteiden mittausominaisuuksia, tiedonsiirtovalmiuksia ja sovelluksia. Metsäteho tuki vaakojen hyödyntämistä koostamalla koulutusaineistoja mm. mittaussäädöksistä ja -menetelmistä, tiedonsiirrosta ja vaakojen kalibroinnista (411). Kuormainvaakoja oli asennettu vuonna 2009 jo lähes kaikkiin puutavara-autoihin ja kolmannekseseen kuormatraktoreista (310).

Kaikki mittausmenetelmät kattava puutavaran mittaus- ja laatuopas julkaistiin sähköisessä muodossa vuonna 2013. Se kattoi puutavaran mittauksen koko toimitusketjun matkalta eli metsästä vastaanottoon saakka. Oppaassa ohjeistettiin myös puutavaran varastointia ja laadun hallintaa (398).

Samaan aikaan (2013) uudistettiin puutavaran mittauslaki. Valmistelu tehtiin maa- ja metsätalousministeriössä perinteisenä mittausosapuolten komiteatyönä, johon Metsäteho osallistui. Keskeisin muutos oli se, että lukuisten menetelmäkohtaisten ohjeistusten sijaan määritettiin yhtenäiset vaatimukset mittaukselle yhdessä ministeriön asetuksessa. Toinen muutos oli se, että mit-

tayksikkönä voidaan käyttää tilavuuden, painon tai yksikkömäärän mittayksikköä, kunhan siitä vain sovitaan. Enää ei siis välttämättä olla sidottu puutavaran kuorelliseen tilavuuteen, vaikka se yleinen käytäntö edelleen onkin.

Hakkuukonemittauksella on ratkaiseva rooli puuhuollossa ja mittaustarkkuudesta on jatkuvasti huolehdittava. Metsäteho koosti lakiuudistuksen valmistuttua verkko-oppaan mittaustarkkuuden ylläpidon avuksi. Se sisältää yksityiskohtaiset ohjeet kuljettajalle omavalvonnan, mittalaitteen kalibroinnin ja virityksen tekemiseen sekä ulkopuoliselle toimijalle tarkastusmittaukseen (398).

Kuitupuun painomittauksen toimintamalli mullistettiin täysin 2020-luvun alussa. Uudistuksen tavoitteena oli parantaa painomittauksen tarkkuutta sekä yhtenäistää ja rationalisoida mittauskäytännöt niin työ-, urakointi- kuin luovutusmittauksien varten. Luonnonvarakeskus oli tutkinut aihetta metsäyhtiöiden kanssa alueetasolla jo muutamaa vuotta aiemmin (412).

Valtakunnallinen kehittämistyö käynnistettiin vuonna 2019 Metsä Groupin, Stora Enson, UPM-Kymmenen, Luonnonvarakeskuksen ja Metsätehon yhteistyönä (413). Uudistuksen ytimessä oli puutavaran painoon perustuvassa tilavuuden laskennassa tarvittavien muuntolukujen eli tuoretiheyslukujen (kg/m^3) määrittäminen. Muuntoluvut tuotettiin perinteisesti joko tehdas- tai toimittajakohtaisella koenippujen otannalla tai käytettiin yleisiä, tutkimuksiin perustuvia tuoretiheyslukuja. Nyt Luonnonvarakeskus laati tuoretiheysmallit, jotka soveltuvat yksilöllisempään, mittauseräkohtaiseen tuoretiheyslukujen laskentaan.

Malleissa otettiin aiempaa paremmin huomioon puutavarakuution painoon vaikuttavia seikkoja kuten mittausajankohta, puutavaran varastointiaika sekä – pisimmälle viedyssä versiossa – myös varastoinnin aikaiset, paikalliset sääolosuhteet. Uudessa toimintamallissa tuoretiheyden ennustemalleja kalibroidaan päivittäin vastaanottoaikkojen otantamittausten perusteella. Kalibrointiin tarvittavien koenippujen otanta tehdään alueellisesti, yli tehdas- ja yhtiörajojen.

Tietoevry (nyk. Tietoevry Tech Services, Finland) rakensi uudessa toimintamallissa tarvittavan keskitetyn laskentapalvelun kehittämishankkeessa laaditun määrittelyn pohjalta. Pulpwood Online (PWO) -palvelu avattiin toimijoille keväällä 2023. Toimija saa palvelusta mittauserää vastaavan reaaliaikaisen tuoretiheysluvun tietojärjestelmänsä tehdasmittausta tai vaikkapa puutavara-auton kuormainvaakamittausta varten. Palvelu ohjaa automaatti-

sesti myös koenippujen otantaa tuoretiheysmallien kalibrointia varten. Uusi toimintamalli ja laskentapalvelu otettiin nopeasti käyttöön.

Metsätehon tilaston mukaan hakkuukonemittaus oli vuonna 2023 valtamenetelmä pystykauppapuiden luovutusmittauksessa. Sen osuus oli 86 % ja tehdasmittauksen kattaessa loput 14 %. Hankintapuut mitattiin valtaosin kuormainvaa'alla (42 %), hakkuukoneella (32 %) tai tehtaalla (21 %). Perinteinen tienvarsimittaus oli poistumassa käytöstä (414).

Kuitupuun tehdasmittauksessa paino-otantamittaus on 2000-luvulla syrjäyttänyt kaikki muut mittausmenetelmät ja on käytännössä ainoa mittaustapa. Tukit puolestaan mitataan valtaosin sahojen automaattisilla tukkimittareilla ja röntgenlaitteilla tai niiden yhdistelmillä. Puutavaran mittaus on erinomainen esimerkki tuloksellisesta rationalisointityöstä, jossa uuden teknologian tarjoamia mahdollisuuksia on hyödynnetty innovatiivisesti ja tehokkaasti.

Apuvälineitä kestävyiden hallintaan

2000-luvulla Metsätehon metsänhoitotutkimukset ovat painottuneet puuntuotannon ja kestävyiden vaatimusten yhteensovittamiseen. Tutkimusaiheet ovat laajentuneet kattamaan monimuotoisuuden ja vesiensuojelun lisäksi energia- ja ilmastotehokkuuden kysymyksiä. Perinteisiä puuntuottamisen tehostamishankkeita on toki ollut ohjelmassa.

Istutuksen ja taimikonhoidon kestohaasteeseen, koneellistamiseen, pyritiin hakemaan ratkaisuja. Vuonna 2003 oli käytössä kuusitoista istutuskonetta, joilla istutettiin noin 1500 hehtaaria pääasiassa metsäteollisuusyhtiöiden metsissä. Se tosin vastasi vain 1,5 % osuutta Suomen koko istutuslajasta (415). Koneellisen taimikonhoidon osuus oli vielä pienempi. Eräillä metsäyhtiöillä koneellisten metsänhoitotöiden osuus oli kuitenkin jo merkittävä.

Metsäteho pyrki vauhdittamaan kehitystä koostamalla yhdessä toimijoiden kanssa Metsänhoidon koneellistamisen vision ja T&K-ohjelman. Visioksi vuoteen 2015 määriteltiin ”koneellistamista hyödyntävä kustannustehokas puuntuotantoketju”. Raportissa todettiin, että ”koneellistaminen ei ole itseisarvo vaan sen on tuettava kustannus- ja resurssitehokasta metsänkäsittelyketjua, edistettävä metsänhoitotöiden toteutusta ja puuntuotantoa sekä parannettava puuntuotannon kannattavuutta.”

Työssä kuvattiin tarvittavat kehittämistoimet kuten olemassa olevien koneiden jatkokehittäminen ja käytön laajentaminen, uusien kone- ja laiteratkaisujen rakentaminen, puuntuotannollisten reunaehto- ja tarkistaminen ja

metsänhoidon tietojärjestelmien kehittäminen. Keksijöitä innostettiin aiheen pariin ideakilpailulla (416).

Konekehittelyn tilannetta vedettiin yhteen Metsäklusteri Oy:n EffFibre tutkimusohjelmassa Metsätehon ja Metlan yhteisvoimin. Tutkimuksessa selvitettiin koneellisen istutuksen ja taimikonhoidon kone- ja laiteratkaisujen kustannuskilpailukykyä ja työvoiman tarvetta metsurityöhön verrattuna. Laskelmat osoittivat, että koneiden avulla jo säästettiin työvoimaa, minkä merkityksen arvioitiin korostuvan tulevaisuudessa. Nurjempi tulos oli se, että ”istutuksen ja taimikonhoidon koneellistaminen ei yleisesti ottaen tuo kustannussäästöjä metsurityöhön verrattuna.” Todettiin, että kustannuskilpailukyvyyn takia niin istutus- kuin taimikonhoitokoneidenkin tuottavuutta pitäisi pystyä parantamaan tuntuvasti (417).

Aistin- ja automaatioteknologialla arvioitiin olevan mahdollisuuksia tehostaa koneellistamista esimerkiksi kelvollisten istutuskohdientunnistamisessa ja nosturin liikkeiden automatisoinnissa taimikonhoidossa. Istutuksessa eniten mahdollisuuksia nähtiin jatkuvatoimiseen mätästäjään perustuvalla koneella. Jatkoprosjektissa Aalto-yliopiston kanssa pilotoitiin konenäköä jatkuvatoimisen maanmuokkauskoneen yhteydessä ja pohdittiin muutenkin koneelle asetettavia teknisiä vaatimuksia (418).

Koneellisen istutus ja taimikonhoito lisääntyivät jonkin verran 2010-luvulla, mutta ei suinkaan toivottua tahtia. Bracke-, M-Planter ja Risutec -merkisillä koneilla istutettiin enimmillään noin 3000 ha/v, mikä oli 4 % istutus-pinta-alasta. Taimikonhoitoa puolestaan tehtiin Naarva-kitkentälaitteella sekä Usewood-, Mense- ja Risupete-raivauslaitteilla. Koneellisen taimikonhoidon osuus oli enimmillään muutamia prosentteja.

Stora Enso, Itä-Suomen yliopisto ja Metsäteho selvittivät vuonna 2019 syitä hitaaseen etenemiseen toimijoille suunnatulla kyselyllä. Kipeimmin kaivattiin koneiden tuottavuuden ja kustannustehokkuuden paranemista, konetyön tunnettuuden lisäämistä ja lisäpanostusta konetekniseen kehittämiseen (419). Koneellistaminen ei ole kuitenkaan edennyt Suomessa eikä oikein muuallakaan. Plantaasimetsissä koneita on jonkin verran käytössä.

Suomen metsäsertifiointijärjestelmä (FFCS) oli laadittu vuosina 1996-1998 ja sertifioinnin piirissä oli 2000-luvulle tultaessa valtaosa Suomen metsistä. Järjestelmä sisälsi metsien hoidolle ja käytölle vaatimuksia eli kriteereitä, joiden tarkistaminen käynnistettiin vuonna 2001. Metsäteho kokosi osakkaiden näkemyksiä järjestelmän ja kriteerien kehittämisestä (420).

Järjestelmä todettiin työlääksi mutta hyödylliseksi. Sen arvioitiin tukevan toimintaedellytyksiä ja vaikuttavan myönteisesti metsänhoidon tasoon mm. jalkauttamalla metsä- ja luonnonsuojelulain vaatimuksia. Pidettiin tärkeänä järjestelmän muokkaamista paremmin kansainvälisiin järjestelmiin sopivaksi. Lukuisia kehittämisehdotuksia sisältänyt raportti luovutettiin kriteereitä tarkistaneen työryhmän käyttöön. Metsäteho on sittemmin tehnyt sertifiointistandardien päivityksen yhteydessä laskelmia niihin esitettyjen muutosten kustannusvaikutuksista. Vastaavia vaikutusanalyysyjä on tehty myös EU:n säädösluonnoksista.

Hiipumassa oleva kulutus palasi metsänuudistamisen keinovalikoimaan 2000-luvun alussa. Syynä oli pyrkimys metsien monimuotoisuuden lisäämiseen, minkä seurauksena mm. metsäsertifiointijärjestelmään kirjattiin tavoite kulutuksen lisäämisestä. Pää tarkoituksena oli tarjota elinpaikkoja palosta riippuvaisille eliölajeille. Metsäteho kokosi oppaaseen tiedot kulutuksen perusteista ja parhaista käytännöistä (421).

Metsäteho ja Tapio edistivät yhteisvoimin talousmetsien monimuotoisuuden turvaamista, joka oli jo integroitu osaksi arjen puuntuotantoa ja puunkorjuuta. Niissä merkeissä julkaistiin ”Metsätalouden ympäristönhoito-opas” metsäammattilaisten avuksi työmaatasolle. Se sisälsi metsälain ja sertifiointin vaatimuksia täydentäviä ympäristönhoidon ohjeita. Opas sisälsi suosituksia mm. vesiensuojelusta, säästettävistä erityiskohteista ja kasvillisuudesta sekä maisemanhoidosta (422).

Metsätehon johdolla kokeiltiin uutta lähestymistapaa kestävyyskysymysten hallintaan, joka oli noussut tärkeäksi osaksi vastuullista liiketoimintaa.

”Näyttöön perustuva metsätalous” -hankkeen perusajatuksena oli objektiivisen tutkimustiedon kokoaminen pinnalla olevista aiheista keskustelun ja päätöksenteon tueksi. Ajankohtaisia aiheita olivat erityisesti ilmastonmuutos, luonnon monimuotoisuus ja ekosysteemipalvelut sekä metsien käytön yhteiskunnalliset vaikutukset. Hanke käynnistettiin vuonna 2018 kokoamalla tutkimusryhmät eri aiheiden ympärille.

Hankkeessa mm. kartoitettiin linnustoa ja metsänkäsittelyä koskeva tutkimustieto (423), koottiin yhteenveto tasa- ja eri-ikäiskasvatuksen vaikutuksesta monimuotoisuuteen (424) sekä pienialaisten suojeltujen elinympäristöjen merkityksestä (425). Koosteissa kuvattiin myös lisätutkimusten tarpeet.

Linnustoa koskevaa tutkimuskoostetta hyödynnettiin esimerkiksi Metsänkäsittely ja linnusto -oppaassa (398). Siinä annettiin ohjeita luonnonhoidon toimenpiteistä, joilla on suotuisa vaikutus linnustoon ja niiden elinympäristöihin. Suositeltiin erityisesti lahopuun, tiheikköjen, alikasvosten ja soiden vaihettumisvyöhykkeiden säästämistä, säästöpuuryhmien ja tekopötkelöiden jättämistä sekä eri puulajeista koostuvien sekametsien kasvatusta.



Kuva: Adobe Stock

Ekologisesti tärkeiden elinympäristöjen säilyttäminen on keskeinen osa monimuotoisuuden ylläpitoa talousmetsissä. Julkiset paikkatiedot ja hakkuukoneiden tietojärjestelmät tarjoavat siihen uusia apuvälineitä. Tiedossa olevat luontokohteet sisällytetään työmaakarttoihin ja hakkuukoneiden järjestelmiin on rakennettu ”hälyttimiä” luontokohteiden varomisen avuksi.

Hakkuun jälkeistä todentamista ja raportointia tarvitaan organisaatioiden omaa ja metsäsertifioinnin edellyttämää luonnonhoidon seuranta varten. Metsätehossa on viime vuosina kehitetty automaattisia menetelmiä luontokohteiden ja säästöpuuryhmien todentamiseen ja esimerkiksi vesistöjen varteen jätettyjen suojavyöhykkeiden leveyden määrittämiseen. Menetelmässä hakkuukonedatasta tuotetaan hakatun alueen rajat, joita verrataan tärkeitä elinympäristöjä kuvaaviin paikkatietoaineistoihin (426).

Kattavaan paikkatietoon perustuvat suunnittelun päätöstukijärjestelmät ja systemaattiset seurantatiedot olisivat omiaan kohentamaan puunkorjuun ja luonnonhoidon laatua ja vähentämään virheitä. Metsäteho on jatkanut mää-

rätietoisesti hakkuukonedataan ja avoimeen paikkatietoon perustuvien menetelmien kehittämistä niin hakkuiden suunnittelua kuin seurantaankin varten (427,428). Myös tiedonsiirtostandardia on kehitetty siten, että hakkuukonedataan saadaan tallennetuksi esimerkiksi säästöpuita ja suojavyöhykeitä koskevia tietoja (429).

Puuhuollon energiatehokkuus nousi tärkeäksi aiheeksi 2000-luvun vaihteessa. Metsäteho jatkoi energian kulutuksen sekä päästöjen laskentamenetelmän kehittämistä. Laskentaperusteita varten tutkittiin metsäkoneiden ja puutavara-autojen polttoaineen kulutustasoja eri työvaiheissa (430, 431). Lisäksi haettiin keinoja energiatehokkuuden parantamiseksi mm. kone- ja autovalmistajien sekä puunhankintayritysten kanssa (432).

Metsäteho koosti vuonna 2019 yhteenvedon raskaan liikenteen ja työkoineiden päästöjen vähennystavoitteista EU:ssa ja Suomessa sekä arvioi vähentämisen keinoja. Keskeisimmiksi keinoiksi todettiin ”biopolttoaineiden hyödyntäminen, vaihtoehtoisten käyttövoimien käyttö, kuljetusten ja kaluston käytön tehostaminen sekä kuljettajatyön ohjausjärjestelmät”. Metsäteho kehittää jatkuvasti päästölaskennan välineitä, seuraa päästöjen kehitystä ja selvittää niiden vähentämismahdollisuuksia (433,434).



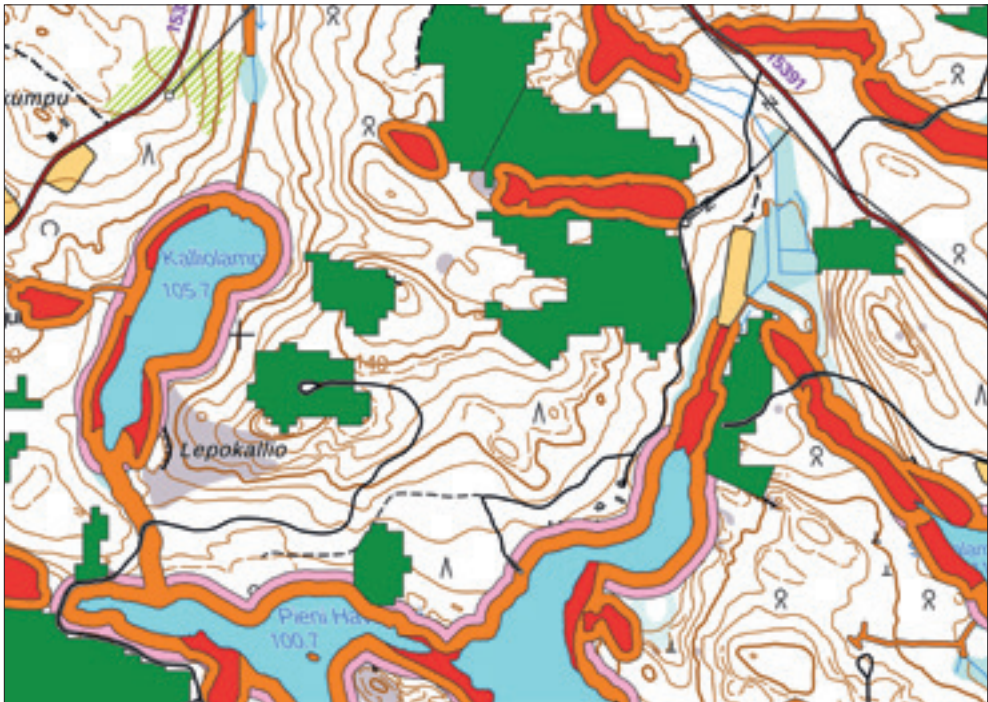
Hakkuukoneiden ja kuormatraktoreiden "peruskonseptit" otettiin käyttöön jo vuosikymmeniä sitten, mutta ei kehitys siihen pysähtynyt. Metsäkonevalmistajat ovat jatkuvasti paneutuneet koneiden tuottavuuden, ergonomian ja ympäristötehokkuuden parantamiseen eri keinoin. Sähkökin mahdollisuuksia käyttövoimana kokeillaan, kuvassa sähköisen kuormatraktorin prototyyppikone Ponsselta.

Suomi sai vuonna 2023 EU:lta mittavan rahoituksen ilmastoratkaisuja, erityisesti hiilineutraaliutta edistävään ACE-hankkeeseen. Hanke vauhdittaa mm. kustannustehokkaiden päästövähennysratkaisujen kehittämistä puutavaran korjuuseen ja kuljetukseen. Metsäteho on hankkeessa tiiviisti mukana.

Metsien rooli hiilen sidonnassa on kovasti esillä. Metsänlannoitus on todettu nopeimmaksi tavaksi lisätä puuston kasvua, parantaa metsätalouden kannattavuutta ja kasvattaa samalla metsien hiilinieluja. Vuonna 2024 Metsäteho koosti kriteerit lannoituksen taloudellisesti ja ekologisesti kestäväan kohde-

valintaan ja tuotti niiden pohjalta verkkosivuilleen karttamuotoiset ”lannoituspotentiaali-alueet” koko Manner-Suomesta. Niissä esitetään tällä hetkellä lannoitukseen soveltuvat kivennäis- ja turvemaakohteet sekä mm. vesistöjen varteen jätettävät suojavyöhykkeet.

Kartat on tarkoitettu metsänomistajien ja muiden toimijoiden avuksi lannoitusten kohdentamiseen. Samassa yhteydessä laadittiin laskelma valtakunnallisesta metsänlannoituspotentiaalista. Sen mukaan koko potentiaalinen lannoituspinta-ala on yhteensä 1,4 milj. ha, jonka kertalannoituksella olisi saavutettavissa lähes 30 miljoonan kuutiometrin lisäkasvu. Jotta tähän päästäisiin, vuotuinen lannoituspinta-ala olisi tarpeen kaksinkertaistaa nykyisestä (435,436).



Metsien lannoitus on tehokas keino kasvattaa puuntuotantoa, parantaa metsätalouden kannattavuutta ja lisästä hiilensidontaa. Ote Metsätehon tuottamasta kartasta, jossa esitetään potentiaaliset lannoitusalueet ja esimerkiksi vesistöjen varrelle jätettävät suojavyöhykkeet.

YHTEENVETO

Metsäteollisuuden kasvu ja murros

Metsäteollisuus lähti sotavuosien jälkeen hurjaan kasvuun ja uusiutui voimakkaasti. Tuotanto moninkertaistui ja korkealaatuisesta painopaperista kehittyi ennen pitkää terävin syömähampmas. Metsäteollisuuden reaaliset vientitulot nelinkertaistuivat vuosien 1950- ja 2000-välillä. Painopapereiden kysyntä kuitenkin hiipui sähköisten viestintävälineiden läpimurron seurauksena 2000-luvulle tultaessa. Teollisuus palasi sellu-, kartonki- ja sahatavarapainotteiseen tuotantoon, jonka rinnalla pyritään kehittämään uusia menestystuotteita (liitekuvat 1 ja 2).

Metsäteollisuuden vuotuinen raakapuun käyttö oli 2010-luvun lopulla lähes nelinkertainen 1950-luvun alkuun verrattuna (liitekuva 3). Tärkeänä teollisuuden kasvun mahdollistajana oli alan voimakas panostus puuntuotannon tehostamiseen sotien jälkeen. Pääkeinoja olivat vajaatuottoisten metsien uudistaminen, soiden ojitus, metsien lannoitus sekä maanmuokkauksen ja metsänviljelyn laaja käyttöönotto. Metsäteiden rakentamisella parannettiin metsien hyödyntämisen edellytyksiä kaikkialla Suomessa (liitekuva 5). Metsien vuotuinen kasvu kaksinkertaistui 1950-luvun ja 2000-luvun alun välillä (liitekuva 6).

Hakkuu ja lähikuljetus koneille

Moottorisahat korvasivat laajasti käsisahat ja kirveet 1960-luvulta alkaen. Ensimmäiset runkojen karsintaan ja katkontaan kykenevät hakkuukoneet tulivat työmaille 1960-luvun lopulla. 1980-luvulla kuormainharvesterit valtasiivat markkinat ja hakkuu koneellistettiin nopeasti kokonaan (liitekuva 7).

Puutavaran lähikuljetusta siirrettiin aluksi hevosilta maataloustraktoreille 1950-luvulla. Metsäajoon varta vasten kehitetyistä kuormatraktoreista tuli kuitenkin lähikuljetuksen yleisratkaisu 1970-luvulla (liitekuva 8). Nykyään puunkorjuutöissä on noin 2000 hakkuukonetta ja saman verran kuormatraktoreita. Konevalmistajat kehittävät koneiden tuottavuutta, ergonomiaa sekä energia- ja ympäristötehokkuutta kaiken aikaa.

Autokuljetus valtamenetelmäksi

Autoja oli käytetty puutavaran kuljetukseen jo 1920-luvulta lähtien, mutta valtamenetelmäksi uiton ohi autokuljetus nousi 1960-luvulla (liitekuva 9). Tyypillinen perävaunullisen puutavara-auton kuorman koko on suunnilleen

nelinkertaistunut 1950-luvun puolivälistä lähtien kaluston ja tiestön kehittämisen sekä sallittujen kokonaispainojen kasvun ansiosta (liitekuva 10).

Nykyään puutavaraa kuljetetaan noin 1800 puutavara-autolla ja kehittäminen painottuu kuljetuskapasiteetin ja ympäristötehokkuuden parantamiseen. Rautatiekuljetus on pitänyt pintansa etenkin pitkillä kuljetusmatkoilla ja kuljetuksia on tehostettu mm. rataverkkoa sekä veturi- ja vaunukalustoa uudistamalla. Viimeaikojen painopiste on ollut terminaali- ja kuormauspaikkaverkoston kehittämisessä.

Puun mittaus automaattiseksi

Puutavaran mittaus oli pitkään erillinen ja verraten työläs vaihe. Puita mitattiin monessa kohtaa toimitusketjua puukauppaa, työpalkkoja ja urakointimaksuja sekä tuotantolaitosten tarpeita varten. 1990-luvulle tultaessa puunkorjuun koneellistuminen mahdollisti hakkuukonemittauksen käyttöönoton niin puukauppaa kuin urakointimaksujakin varten. Tehtailla puolestaan kuivutuiden paino-otantomittaus sekä automaattiset tukkimittarit ja -röntgenlaitteet tukkien mittauksessa ovat olleet ratkaisevia kehitysaskela.

Ihmistyö väheni ja keveni

Sotien jälkeen puunkorjuussa oli talven huippukautena lähes 300 000, valtaosin tilapäistä, työntekijää. Koneellistamisen avulla raskaat ihmistyöt saatiin riisutuksi puun hankintaketjusta kokonaan, ja puunkorjuu- ja kuljetus hoituvat noin 10 000 koulutetun ammattikuljettajan voimin. Lähinnä metsänhoitotöihin tarvitaan lisäksi noin 4000 metsuria. Keskeisiä T&K-aiheita ovat nykyään henkilöstön työhyvinvoinnin ja työturvallisuuden parantaminen sekä osaamisen kehittäminen.

Kestävyyden hallinta osaksi puuhuoltoa

Metsätalouden ympäristökysymykset nousivat laajasti keskusteluun 1980-luvun lopulla. Pääteemoiksi nousivat kestävä kehitys, biologinen monimuotoisuus, uhanalaiset eliöt, vesien suojelu sekä maisemanhoito. Metsäala uusi 1990-luvulta alkaen toimintajärjestelmänsä, joiden avulla kestävyiden hallinta kytkettiin osaksi kaikkia puunhankinnan ja metsänhoidon toimenpiteitä. Viimevuosina kehittämisen painopiste on ollut puuhuollon energia- ja ilmastotehokkuuden sekä monimuotoisuuden hallinnan uusissa keinoissa.

Digitalisaatio mullisti ja mullistaa

Metsäyhtiöt ottivat tietotekniikkaa käyttöön 1960-luvulta lähtien, aluksi helpottamaan isoja laskentatehtäviä. Siitä tietotekniikan hyödyntäminen laajeni paikkatietopohjaisiin suunnittelu- ja ohjausjärjestelmiin, joita rakennettiin aikaa myöten niin metsäyhtiöiden kuin kone- ja kuljetusyrittäjienkin käyttöön. Hakkuukonemittauksen ja apteerausautomaatiikan käyttöönotto ja tiedonsiirtotekniikan kehittyminen saivat aikaan olennaisen kehityshyppäyksen puunhankinnan ohjaukseen ja organisointiin. Eri lähteistä saatavien datojen tehokas hyödyntäminen päätöksenteon tukena on ollut viime aikojen keskeinen kehittämisaihe.

Kustannustehokkuus parani

Puun hankinnan määrätietoinen kehittämistyö näkyy selvästi puunkorjuun yksikkökustannusten kehityksessä (liitekuva 11). Reaaliset yksikkökustannukset ovat alentuneet noin 75 % viisikymmentäluvun alusta tähän päivään. Jyrkin pudotus tapahtui vuoteen 1980 mennessä, mistä suurin ansio kuului moottorisahojen ja kehittyneiden hakkuumenetelmien käyttöönotolle sekä kuorinnan, lähikuljetuksen ja hakkuun koneellistamiselle. Taustalla vaikutti osaltaan myös metsätieverkon laajeneminen, mikä lyhensi lähikuljetusmatkoja. Puutavaran kaukokuljetuksen kustannustehokkuus on parantunut etenkin kaluston kuljetuskapasiteetin kasvun myötä.

Metsätehon osakkaat korjasivat vuonna 2023 yhteensä 45,4 miljoonaa kuutiometriä puuta. Puunkorjuun ja kaukokuljetuksen kokonaiskustannukset olivat yhteensä noin 1,2 mrd. euroa. Siitä puunkorjuun osuus oli 603 milj. €, puutavaran autokuljetuksen 468 milj. €, rautatiekuljetuksen 107 milj. € ja vesitiekuljetuksen 21 milj. €.

Metsäteho osana menestystarinaa

Puunhankinnan teknologian huima kehitys on kiistatta menestystarina. Sen ansioista on selvitty kunnialla mm. teollisuuden moninkertaiseksi kasvaneesta puun tarpeesta, raaka-aineen laatuvaatimusten kiristymisestä sekä puuhuollon toimintaympäristön tuomista haasteista. Se on alan yhteinen saavutus, josta suurin ansio kuuluu puunhankintaorganisaatioille, metsäkone- ja autokaluston valmistajille sekä kone- ja kuljetusyrityksille. Metsäteho on merkittävästi edistänyt alan kehittymistä tuottamalla omistajien tarvitsemää tutkimustietoa ja kehittämällä menetelmiä tehokkaan ja kestäväen puuhuollon perustaksi.

Metsätehon palkka- ja maksuperustetutkimukset antoivat vuosikymmeniä tukevan perustan oikeudenmukaisten palkkojen ja taksojen määrittämiselle. Puuhuollon rationalisoinnissa Metsäteho on toiminut omistajiensa yhteisenä kehittämisfoorumina ja ”T&K-nyrkkinä” tehokkaiden toimintamallien kehittämisessä. Metsätehon päätehtäviä ovat olleet kehittämistarpeiden määrittely yhdessä omista-asiakkaiden kanssa, uusien menetelmien kehittäminen ja testaus, niiden tehokkuuden ja käyttöalueiden analysointi sekä käyttöönoton tukeminen niin omistajien piirissä kuin metsäalalla yleisemminkin. Tiivis yhteistyö alan muiden toimijoiden kanssa on ollut Metsäteholle aina luonteenomaista ja olennainen voimavara.

Kehittämisen painoalueet ovat eläneet ajassa, omistajien tarpeiden ja toimintaympäristön muutosten mukaan. Viime vuosikymmeninä aihealueet ovat laajentuneet kone- ja laiteteknologian kehittämisestä etenkin digitalisaation mahdollisuuksiin sekä puuhuollon toimintaedellytyksiin vaikuttaviin kysymyksiin, kuten kestävyys hallintaan sekä resurssien saatavuuteen.

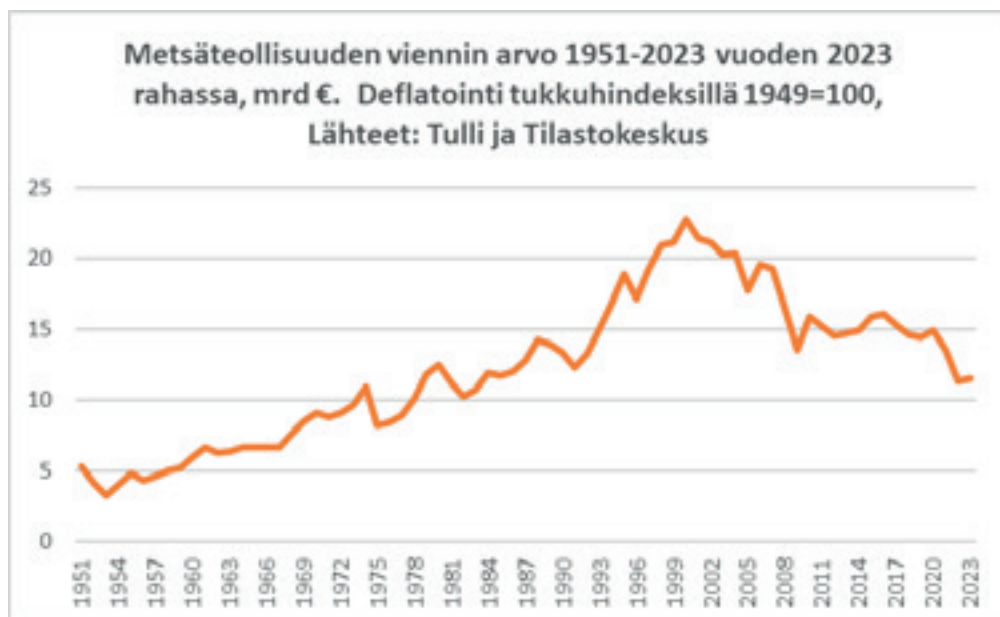
Työ jatkuu. Tuoreimmassa toimintastrategiassa Metsätehon visio on kuvattu ytimekkäästi: ”Kehitämme maailman vastuullisimman ja tehokkaimman puuhuollon”. Tähänastiset aikaansaannokset antavat visiolle uskottavan pohjan.

LIITTEET

1.



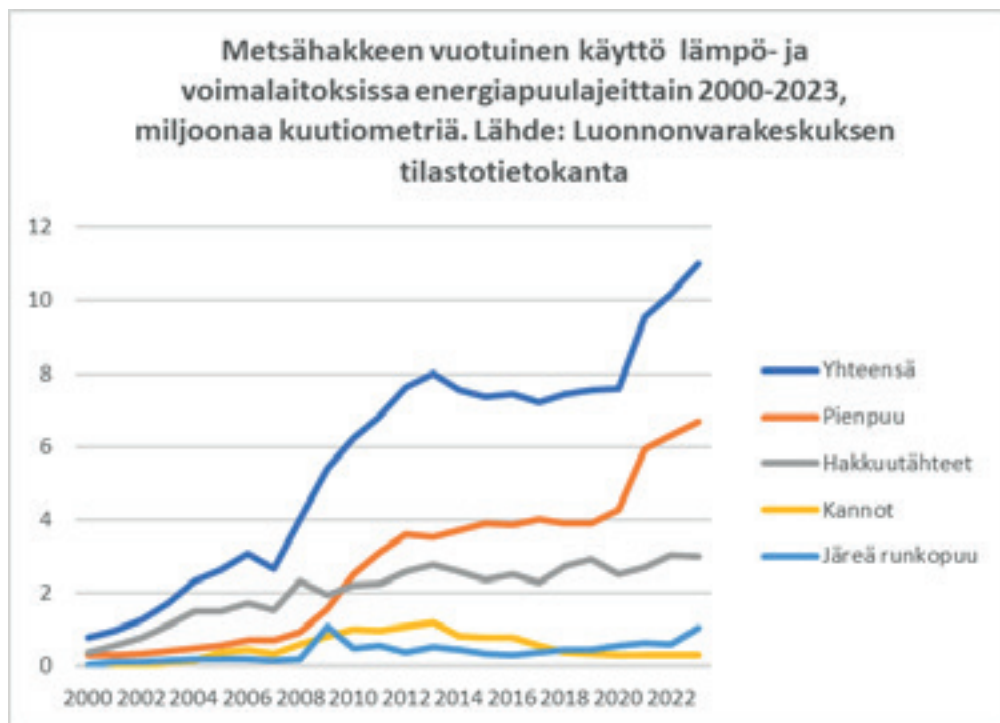
2.



3.



4.



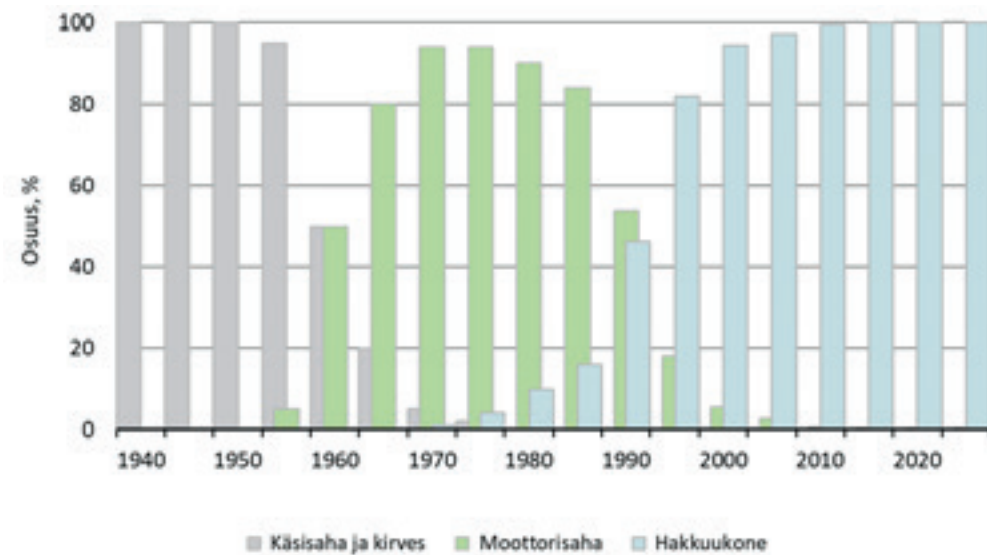
5.



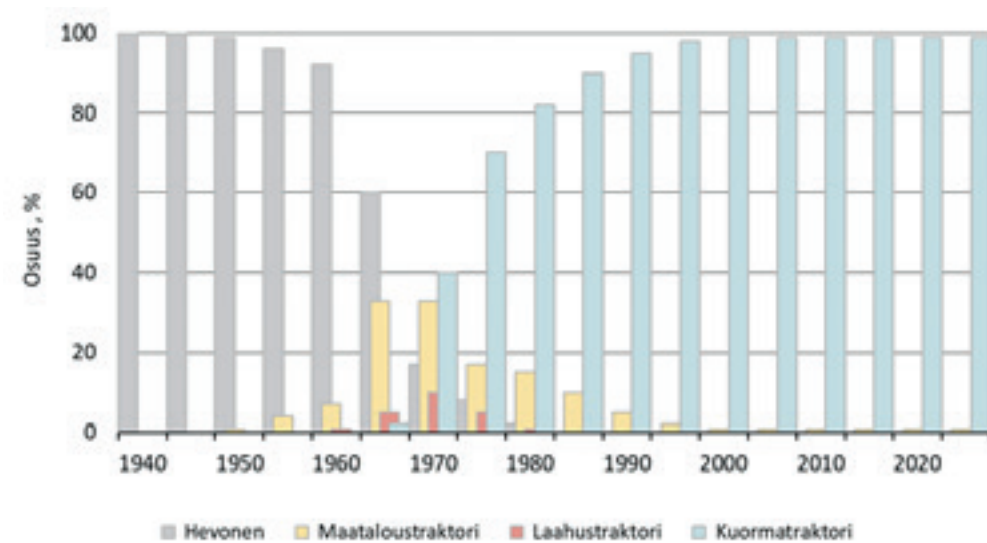
6.



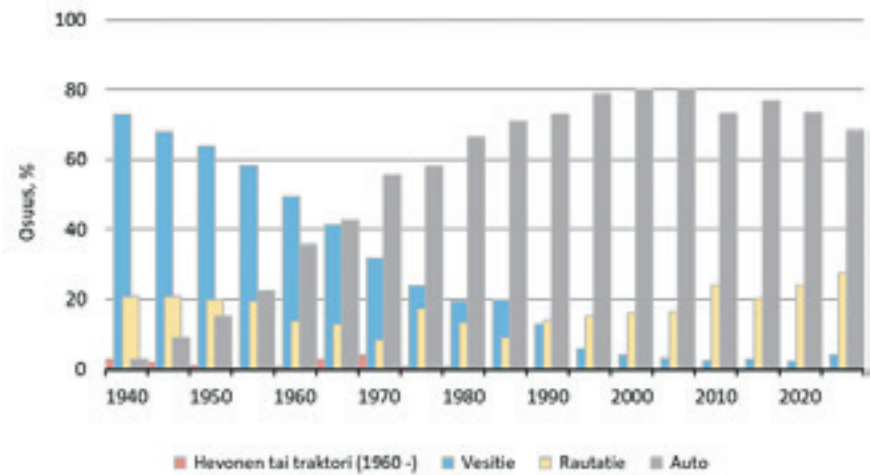
7. Puutavaran hakkuumenetelmät 1940 – 2023. Lähde: Metsätehon tilastot, tuloskalvosarja 4/2024.



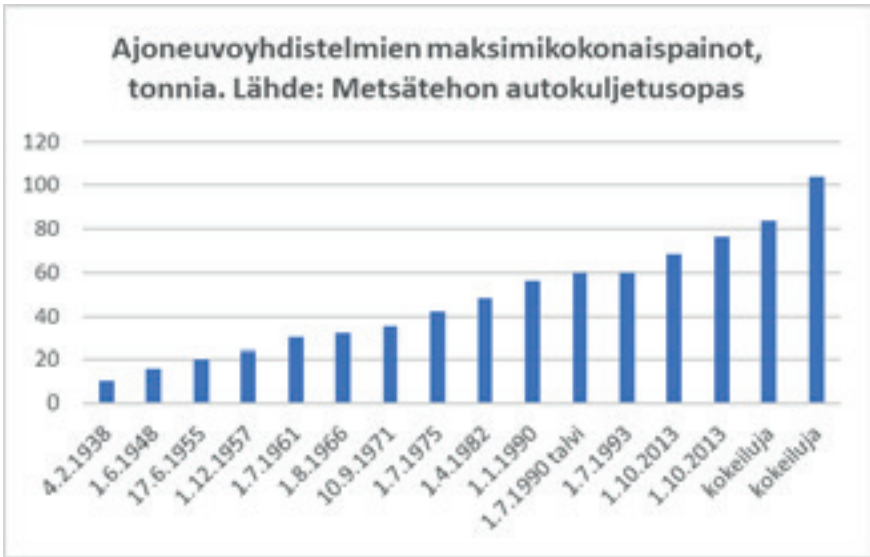
8. Puutavaran lähikuljetusmenetelmät 1940-2023. Lähde: Metsätehon tilastot, tuloskalvosarja 4/2024.



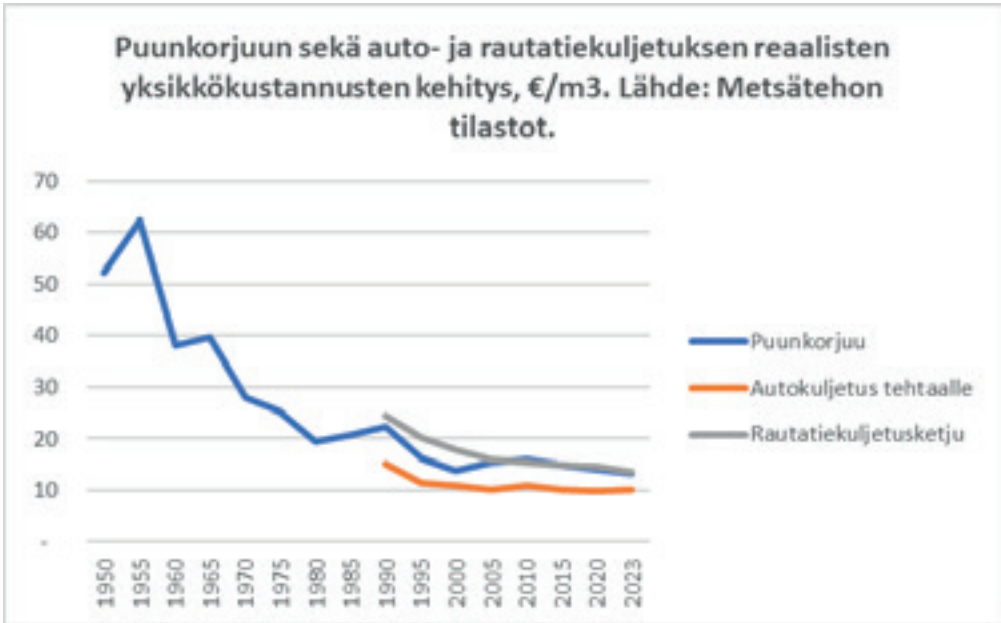
9. Puutavaran kaukokuljetusmenetelmät 1940-2023. Lähde: Metsätehon tilastot, tuloskalvosarja 4/2024.



10.



11.



LÄHTEET

1. Aunesluoma, J. 2007. Paperipatruunat. Metsäteollisuus sodassa ja jälleen rakentamisessa 1939 – 1950.
2. Jensen-Eriksen, N. 2007. Läpimurto. Metsäteollisuus kasvun, integraation ja kylmän sodan Euroopassa 1950 – 1973.
3. Kuisma, M. (toim.). 2007. Kriisi ja kumous. Metsäteollisuus ja maailmantalouden murros 1973 – 2008.
4. Ahvenainen, J. 1984. Suomen sahateollisuuden historia.
5. Koponen, H. 2001. Suomen vaneriteollisuus 1893-2000.
6. Kauppi, P. & Kettunen, J. 2022. Vihreä kultakausi. 1973-2008.
7. Lindroos, H. 1993. Puuta mottiin. Puuhuoltoa sodan varjossa 1939-1947.
8. Varis, R. (toim.). 2017. Sahateollisuus.
9. Varis, R. (toim.). 2017. Puulevyteollisuus.
10. Kahala, M., Kilkki, R., Nikunen, A., Niku, V. & Pösö, J. (toimituskunta). 1996. Puoli vuosisataa koneellista puunkorjuuta.
11. Kontinen, H. & Drushka, K. 1997. Metsäkoneiden maailmanhistoria.
12. Vöry, J. 1965. Metsäteho 20-vuotias. Metsätehon tiedotus 238.
13. Hakkarainen, A.E. 1970. 25 vuotta Metsätehon toimintaa. Metsätehon raportti 293.
14. Kahala, M. 1995. Metsätehon viisi vuosikymmentä. Metsätehon tiedotus 412.
15. Pajuoja, H. & Hämäläinen, J. 2015. Metsäteho Oy 1996-2015. Mitä yhtiöittäminen toi tullessaan? Metsätehon raportti 236.
16. Saari, E. 1944. Metsäteollisuuden osallistumisesta metsätöiden rationalisoimiseen. Muistio.
17. Suomen Puunjalostusteollisuuden Keskusliiton metsäpoliittisen valiokunnan kokouspöytäkirja 22.11.1944.
18. Metsätehotoimikunnan kokouspöytäkirja 21.3.1945
19. Metsätehon toimintakertomus vuodelta 1996.
20. Saari, E. 1945. Selostus Suomen Puunjalostusteollisuuden Keskusliiton Metsätehotoimiston tähänastisesta toiminnasta ja vastaisista suunnitelmista (7.11.1945).
21. Metsätehon ohjesääntö vuodelta 1946.
22. Lilleberg, R., Anttila, T., Karjalainen, J., Nietola, O., Rajala, P.T. & Hämäläinen, J. 2012. Kohti tehokkaampaa puuhuoltoa. Metsätehon verkkojulkaisu.
23. Hujo, S., Karjalainen, J., Malinen, J., Pajuoja, H., Rantala, J., Salo A. & Simola, T. 2022. Puuhuollon visio 2030. Metsätehon verkkojulkaisu.
24. Metsätyöntutkimukset : metsätyöntutkimuskursseilla 4.6.-15.6.1945 pidettyjä luentoja. 1945. Metsätehon julkaisu 1.
25. Edeltäviä tietoja paperipuiden varastokuorinnasta keväällä 1945 suoritetuista työntutkimuksista. 1945. Metsätehon tiedoituksia 1.
26. Vanerikoivututkimukset käynnissä. 1945. Metsätehon tiedoituksia 2.
27. Putkisto, K. 1947. Tutkimuksia vanerikoivujen hankinnasta 1 : koivupölkkyjen kuutiosuhteista. Metsätehon julkaisu 4.
28. Putkisto, K. 1947. Tutkimuksia vanerikoivujen hankinnasta 2 : aikatutkimuksia vanerikoivujen rasiinkaadosta, karsimisesta ja katkomisesta. Metsätehon julkaisu 5
29. Makkonen, O. 1947. Aikatutkimuksia pinopuutavaran teosta Ruokolahdella syksyllä 1946. Metsätehon julkaisu 7.
30. Tuovinen, A. 1948. Aikatutkimuksia paperipuiden varastokuorinnasta ja -katkonnasta. Metsätehon julkaisu 8
31. Makkonen, O. 1948. Leimikon tiheyden vaikutus pinopuutavaran tekoon. Metsätehon julkaisu 9
32. Makkonen, O. 1950. Hakkuutöiden aikatutkimustulosten soveltaminen käytäntöön. Metsätehon julkaisu 25.
33. Vöry, J. 1954. Eräiden metsätöiden aikatutkimusaineistojen analyysiä. Metsätehon julkaisu 31.
34. Vöry, J. & Makkonen, O. 1954. Puutavaran valmistuksen keskiyötelosten määrittäminen tilastoteitse ja metsätöiden vertailevan aikatutkimuksen periaate. Metsätehon julkaisu 32
35. Vöry, J. 1946. Tietoja talvella 1946 suoritettujen puutavaran hakkuista ja ajoja koskevan tilastotutkimuksen tuloksista. Metsätehon tiedoituksia 1a.
36. Vöry, J. 1947. Metsätyöläisten elinkustannuksista talvella 1946. Metsätehon julkaisu 3.
37. Simola, P. 1950. Pinotavaran teko palstatien varteen. Metsätehon tiedoituksia 51.
38. Hevosvarsiteiden hoitokalustosta ja hoidosta. 1948. Metsätehon julkaisu 15.
39. Putkisto, K. (toim.). 1948. Hevosvarsiteiden rakennus ja hoito. Metsätehon oppiaita.
40. Heiskanen, V. 1948. Tutkimuksia pinotavaran autokuljetuksesta. Metsätehon julkaisu 10.
41. Hakkarainen, A.E. 1949. Tilapäisten talviautoteiden käytöstä talvella 1947-48 saaduista kokemuksista. Metsätehon tiedoituksia 17.
42. Putkisto, K. 1950. Moottoritalviteistä ja niiden rakentamisesta. Metsätehon tiedoituksia 52.
43. Heiskanen, V. 1945. Puutavaran esikuormausta autokuljetuksessa. Metsätehon tiedoituksia 4.
44. Heiskanen, V. 1948. Pinotavaran kuormausta autoihin: eräs kotimainen esikuormauslaite. Metsätehon tiedoituksia 12.
45. Putkisto, K. 1951. Tukkien autokuljetuksesta. Metsätehon tiedoituksia 53.
46. Leskinen, S. 1949. Tutkimuksia moottoroidusta puutavaran kuljetuksesta Posiolla talvella 1949. Metsätehon tiedoituksia 30.
47. Leskinen, S. 1950. Auto ja telaketjuauto puutavaran kuljetuksessa Posiolla. Metsätehon tiedoituksia 34.
48. Leskinen, S. 1950. Tutkimuksia moottoroidusta puutavaran kuljetuksesta Kivijärvellä talvella 1949. Metsätehon tiedoituksia 44.
49. Putkisto, K. 1949. Puutavaran veteen vierityksestä telaketjutraktoreita käyttäen. Metsätehon tiedoituksia 18.
50. Tuovinen, A. 1949. Autoniputuksesta. Metsätehon tiedoituksia 23.
51. Tuovinen, A. 1950. Puutavaran vesitiekuljetus kehittyä. Metsätehon tiedoituksia 39.
52. Tuovinen, A. 1948. Tietoja puutavaraa rautatievaunuihin kuormattaessa käytetyistä koneellisista laitteista. Metsätehon tiedoituksia 14.
53. Tengman, J.G. 1949. Tukkien ym. pitkän puutavaran koneellisesta kuormauksesta rautatievaunuihin. Metsätehon tiedoituksia 22.
54. Pakkanen, E. & Leikola, M. 2011. Metsää, puuta ja kovaa työtä. Suomen metsien käytön historiaa. Toinen nide.
55. Saari, E. 1948. Suomen metsäteollisuuden raakapuun saanti metsätaseen kannalta tarkasteltuna . Metsätehon julkaisu 16.
56. Ronkanen, A.J. 1950. Tutkimuksia sahatukin pituuden, lenkouden ja kapenemisen vaikutuksesta sydäntavaran piteuteen ja leveyteen. Metsätehon julkaisu 23.

57. Putkisto, K. 1950. Katsaus koneiden käyttöön metsätaloudessa. Metsätehon tiedoituksia 49.
58. Pakkanen, E. & Leikola, M. 2011. Tervaa, lautaa ja paperia. Suomen metsien käytön historiaa. Kolmas nide.
59. Warras, T. 1951. Puutavaran hankinnan koneista ja välineistä II. Metsätehon tiedoituksia 67.
60. Makkonen, O. 1959. Paperipuiden teko moottorisahaa käyttäen . Metsätehon tiedoituksia 163.
61. Makkonen, O. 1960. Moottorisaha tukkien teossa. Metsätehon tiedotus 170.
62. Kahala, M. 1966. Selvitys erilaisten hakkuumenetelmien käytöstä kuusipaperipuun hankinnassa. Metsätehon tiedotus 255.
63. Kahala, M. 1967. Selvitys erilaisten hakkuumenetelmien käytöstä kuusipaperipuun hankinnassa II. Metsätehon tiedotus 267.
64. Kahala, M. 1968. Pituuden mitauksen pois jättämisen ja karsinnan laadun vaikutuksesta mänty-, kuusi- ja koivupaperipuun hakkuuseen . Metsätehon tiedotus 281.
65. Väisänen, U. 1968. Puutavaran pituuden ja karsinnan laadun vaikutus korjuukustannuksiin. Metsätehon tiedotus 275.
66. Putkisto, K. 1952. Puutavaran kuorinnasta ja siirrettävistä kuorimakoneista. Metsätehon tiedoituksia 73.
67. Putkisto, K. 1952. Puutavaran kuorinnalle ja siirrettäville kuorimakoneille asetettavista vaatimuksista ja eräitä kuorimakonetyppejä. Metsätehon tiedoituksia 77.
68. Salminen, J. 1955. Väliarastokuorinnasta siirrettävällä jatkuvasyöttöisellä kuorimakoneella. Metsätehon tiedoituksia 110.
69. Salminen, J. 1955. Pienpuiden kuorinta Kuori-Peto kuorimakoneella. Metsätehon tiedoituksia 115.
70. Salminen, J. 1964. Katsaus puutavaran kuorintaan. Metsätehon tiedotus 231.
71. Arnkil, J.E. 1951. Kokemuksia puutavaran kuljetuksesta pyörätraktoreilla. Metsätehon tiedoituksia 65.
72. Putkisto, K. 1954. Maataloustraktori puutavaran metsäkuljetuksessa. Metsätehon tiedoituksia 101.
73. Putkisto, K. 1956. Tutkimuksia pyörätraktoreiden käytöstä puutavaran metsäkuljetuksessa. Metsätehon julkaisu 36.
74. Putkisto, K. 1958. Puutavaran kuljetus pyörätraktoreilla. Metsätehon oppaita.
75. Sirén, G. 1953. Pysyvä palstatieverkko ja metsänhoito. Metsätehon tiedoituksia 93.
76. Pyörätraktori kuljetuksesta saatua kokemusta. 1953. Artikkelit julkaisussa: Metsätehon katsaus 6.
77. Salminen, J. 1960. Kokeiluja puutavaran koneellisesta juonnosta lumettomana aikana. Metsätehon tiedotus 172.
78. Salminen, J. 1965. Tutkimus Bamse-maastotraktorin käytöstä. Metsätehon tiedotus 239.
79. Salminen, J. 1963. Kokorunkojuontoa Timberjack-metsätraktoreilla. Metsätehon tiedotus 210.
80. Salminen, J. 1965. Puutavaran lähikuljetuksesta Valmet-maastotraktoreilla. Metsätehon tiedotus 234.
81. Salminen, J. 1967. Jatkotutkimuksia tukki- ja paperipuunkojen laahusjuonnosta erilaisilla maastotraktoreilla. Metsätehon tiedotus 264.
82. Salminen, J. 1969. Tutkimus metsäkuljetuksesta BM-Volvo SM 460 -metsätraktoreilla. Metsätehon tiedotus 282.
83. Salminen, J. 1970. Vertaileva tutkimus metsäkuljetuksesta BM-Volvo SM 661 ja BM-Volvo SM 668 -metsätraktoreilla. Metsätehon tiedotus 290.
84. Lampén, S., Pölkki, V. & Salminen, J. 1970. BM-Volvo SM 868 -metsätraktori. Metsätehon katsaus 16/1970.
85. Haaja, R. & Lampén, S. 1970. Teli-Lokkeri-metsätraktori. Metsätehon katsaus 24/1970.
86. Jukkola, S., Koskinen, A. & Säteri, L. 1972. Ponsse-metsätraktori. Metsätehon katsaus 3/1972.
87. Koskinen, A. 1972. Tutkimuksia Wärtsilä-teleskooppiuomikuormaimesta. Metsätehon tiedotus 318.
88. Taipale, J. 1975. Marttiin liukupuomi – lisälaite nivelpuomikuormaimiin. Metsätehon katsaus 8/1975.
89. Säteri, L. 1971. Korjaus- ja tuotostilastoja Teli-Lokkerista. Metsätehon katsaus 20/1971.
90. Kahala, M. 1972. Puutavaran metsäkuljetus kuormatraktoreilla. Metsätehon tiedotus 310.
91. Savolainen, R. 1973. Metsätraktoreiden ajankäyttö- ja tuotostilasto 1969-1972. Metsätehon katsaus 19/1973.
92. Väisänen, U. 1970. Maatalous- ja metsätraktoreiden edullisuus metsäkuljetuksessa. Metsätehon tiedotus 296.
93. Pienpuiden karsimiskone. 1953. Artikkelit Metsätehon katsauksessa numero 7.
94. Salminen, J. 1965. Katsaus puutavaran koneelliseen karsintaan. Metsätehon tiedotus 233.
95. Ebeling, J. 1969. Uusia monitoimikoneita. Metsätehon katsaus 1/1969.
96. Salminen, J. 1969. Pika 50 -monitoimikone. Metsätehon katsaus 4/1969.
97. Tuovinen, A. 1970. Leikkuuterällä suoritettun katkaisun aiheuttamat vahingot : Pika 50. Metsätehon tiedotus 300.
98. Ebeling, J. 1968. Kesän 1968 metsäkoneuutuuksia. Metsätehon katsaus 16/1968.
99. Koskinen, A. 1973. Logma-kokeilu ja siitä saadut kokemukset. Metsätehon seloste 9/1973.
100. Koskinen, A. 1973. Valmet 880 KK -kaato-juontokone. Metsätehon katsaus 20/1973.
101. Mikkonen, E. & Tynkkynen, M. 1974. Tvigge-prosessori. Metsätehon katsaus 7/1974.
102. Jukkola, S., Koskinen, A. & Säteri, L. 1974. Kockum 837-78 ATK -prosessori. Metsätehon katsaus 21/1974.
103. Mikkonen, E., Ruotsalainen, M. & Taipale, J. 1975. Lokomo – Ösa 705 -prosessori. Metsätehon katsaus 14/1975.
104. Mikkonen, E. & Peltola, H. 1975. Volvo BM 980 -prosessori. Metsätehon katsaus 24/1975.
105. Mikkonen, E. 1975. Kaato-kasaukoneista ja niiden käyttömahdollisuuksista Suomen olosuhteissa. Metsätehon katsaus 21.
106. Pölkki, V. & Väisänen, U. 1970. Monitoimikoneiden potentiaalinen taloudellisuus. Metsätehon tiedotus 301.
107. Koskinen, A. & Salminen, J. 1972. Pika 75 -harvesteri. Metsätehon katsaus 4/1972.
108. Mikkonen, E., Peltonen, J., Savolainen, R. & Vesikallio, H. 1975. Puunkorjuun kehityssuunnitelmia 1975-1984, Metsätehon tiedotus 336.
109. Koneellisen puunkorjuun suunnittelu. 1976. Metsätehon opas.
110. Koneellisten korjuuketjujen käyttö. 1976. Metsätehon opas.
111. Peltonen, J. & Väisänen, U. 1972. Korjuun vuosisuunnitelma. Metsätehon tiedotus 311.
112. Jukkola, s. 1974. Monitoimikoneiden tuotosten ja yksikkökustannusten laskentajärjestelmä. Metsätehon seloste 6/1974.
113. Putkisto, K. 1952. Moottoritalvitien rakennus ja hoito. Metsätehon oppaita.
114. Hakkarainen, A.E. 1952. Täysperävaunujen käyttömahdollisuuksista puutavaran autokuljetuksissa. Metsätehon tiedoituksia 68.
115. Hakkarainen, A.E. 1953. Puutavaran autokuljetuksen kehittäminen ja autoasetus. Metsätehon tiedoituksia 85.
116. Hakkarainen, A.E. 1957. Puutavaran kuljetuksiin osallistuvat autot. Metsätehon tiedoituksia 133.
117. Hakkarainen, A.E. 1958. Kaksi- ja kolmiakselisen puutavara-auton käyttökustannuksien vertailu. Metsätehon tiedoituksia 144.
118. Hakkarainen, A.E. 1961. Muutoksia moottoriajoneuvoille sallittaviin akseli- ja kokonaispainoihin sekä puutavarakuormiin. Metsätehon tiedoituksia 186.

119. Hakkarainen, A.E. 1963. Pinotavaran autoonkuormauksen koneellistaminen. Metsätehon tiedotus 209.
120. Nikunen, A. 1968. Hydraulinen kouranosturi havutukkien autoonkuormauksessa. Metsätehon tiedotus 278.
121. Nikunen, A. 1966. Autokohtaisen kahmainnosturin käytöstä puutavaran kuormauksessa. Metsätehon katsaus 21/1966.
122. Hakkarainen, A.E. 1967. Puutavara-autot talvella 1967 ja autokaluston kehitys kymmenvuotiskautena 1957-67. Metsätehon katsaus 12/1967.
123. Hakkarainen, A.E. 1968. Puutavaran autokuljetusten kehittäminen. Metsätehon katsaus 9/1968.
124. Tuovinen, A. 1976. Metsäteollisuuden raakapuun kaukokuljetukset vuonna 1975. Metsätehon seloste 12.
125. Eklund, R. 1954. Uittotekniikan viimeaikaiset kehityslinjat. Metsätehon tiedoituksia 100.
126. Putkisto, K. 1959. Puutavaranippujen siirto Atron ja Puntarikosken voimalaitoksilla. Metsätehon tiedoituksia 158.
127. Tuovinen, A. 1954. Eri tavalla käsiteltyjen havutukkien uppoamisesta. Metsätehon tiedoituksia 109.
128. Tuovinen, A. 1959. Kuorellisten havutukkien hyönteispilaantuminen ja sen ehkäisy. Metsätehon julkaisu 42.
129. Tuovinen, A. 1961. Kuorellisten koivupaperipuunippujen uimiskyvystä. Metsätehon tiedotus 188.
130. Tuovinen, A. 1962. Kuorellisten mäntypaperipuunippujen uimiskyvystä. Metsätehon tiedotus 191.
131. Tuovinen, A. 1965. Syksyllä hakattujen ja jäissä nippuina talvehtineiden kuorellisten havutukkien uimiskyvystä II. Metsätehon tiedotus 247.
132. Tuovinen, A. 1966. Mittaus murrosvaiheessa - mittausmenetelmien kehittyminen. Artikkelit Metsätehon tiedotuksessa 262.
133. Kahala, M. & Salminen, J. 1968. Leimikon koepuiden pystymittauksen tarkkuudesta. Metsätehon tiedotus 273.
134. Hjelm, V. 1969. Pystymittauksen tarkkuudesta. Metsätehon katsaus 2/1969.
135. Pennanen, O. 1978. Pysty- ja jälkimittauksen ajanmenekki. Metsätehon tiedotus 347.
136. Rysä, M. 1971. Pystymittausleimikoiden korjuutekniset olosuhteet. Metsätehon tiedotus 308.
137. Tuovinen, A. 1965. Koivupaperipuun painomittaustutkimus Kemijärvi Oy:ssä. Metsätehon tiedotus 245.
138. Tuovinen, A. 1973. Havukuitupuun tilavuuden, painon ja kuiva-aineen mittaamisesta tehtaalla. Metsätehon tiedotus 325.
139. Leinonen, E. 1974. Näyte-erien pölkkyittäinen mittaus tehtaalla. Metsätehon Seloste 4/1974.
140. Rumpunen, H. 1978. Puunkorjuumenetelmät ja korjuutekniset olosuhteet hankintavuonna 1976/77 (1976). Metsätehon katsaus 6/1978.
141. Tuovinen, A. 1977. Metsäteollisuuden raaka- ja jätteen kaukokuljetukset vuonna 1976. Metsätehon seloste 9/1977.
142. Melkko, M. 1978. Karsinta-katkontalaitte Finko 1. Metsätehon katsaus 13/1978.
143. Nissi, I. 1982. Lokomo 919/750 -kuormainprosessori. Metsätehon katsaus 12/1982.
144. Kuitto, P.-J. & Salminen, J. 1980. Volvo BM – Valmet 450 -kuormainprosessori. Metsätehon katsaus 21/1980.
145. Högnäs, T. 1981. Bruunet Mini 578 P -prosessori. Metsätehon katsaus 8/1981.
146. Rumpunen, H. 1982. Korjuumenetelmäkokeita Makeri-monitoimikoneilla männikön ensiharvennuksessa. Metsätehon katsaus 4/1982.
147. Nikunen, U. & Rumpunen, H. 1982. Puunkorjuu nuorista kasvatusmetsistä. Metsätehon opas.
148. Nissi, I. 1983. Lako-kuormainharvesteri. Metsätehon katsaus 3/1983.
149. Mäkelä, M. 1983. Ajanmenekiselvitys Lako-kuormainharvesterista. Metsätehon katsaus 19/1983.
150. Mäkelä, M. 1984. Volvo BM-Valmet 935 -kuormainharvesteri. Metsätehon katsaus 12/1984.
151. Mäkelä, M. 1984. Tapio-harvesteri. Metsätehon katsaus 16/1984.
152. Nissi, I. 1985. Keto 100 -kuormainprosessori. Metsätehon katsaus 4/1985.
153. Nissi, I. 1985. Pika 45 -prosessori. Metsätehon katsaus 10/1985.
154. Lilleberg, R. 1984. Metsäkuljetus kuormainprosessorilla suoritettuna hakkuun jälkeen. Metsätehon katsaus 5/1984.
155. Eskelinen, A. & Peltonen, J. 1980. Suunnittelusysteemi puunkorjuun menetelmävalintaan. Metsätehon katsaus 16/1980.
156. Imponen, V., Korpilahti, A., Peltonen, J. & Pohjola, Y. 1985. Puunkorjuun kehittämismallit vuosina 1985-1990. Metsätehon tiedotus 394.
157. Marttila, R. 1995. Tehoa metsään. Metsätehon 50-vuotis juhlaulkaisu.
158. Imponen, V., Hämäläinen, J. & Örn, J. 1992. Hakkuun koneellistamisen taloudelliset ja organisatoriset vaikutukset. Metsätehon tiedotus 407.
159. Rieppo, K. 1987. Kuormainmonitoimikoneet 1986. Metsätehon katsaus 1/1987.
160. Lilleberg, R. 1985. Harvennushakkuiden korjuuolosuhteet 1990-luvulla. Metsätehon katsaus 14/1985.
161. Kahala, M. 1977. Pitkän puutavaran hakkuu Leka-menetelmällä kasvatusmetsäolosuhteissa. Metsätehon katsaus 14/1977.
162. Lilleberg, R. 1984. Kasvatushakkuiden korjuujälki. Metsätehon tiedotus 388.
163. Kuitto, P.-J. & Mäkelä, M. 1988. Kuormainharvesteri ensimmäisessä ja toisessa harvennuksessa. Metsätehon katsaus 7/1988.
164. Mäkelä, M. 1989. Koneellinen puunkorjuu männikön ensimmäisessä harvennuksessa. Metsätehon katsaus 2/1989.
165. Mäkelä, M. 1989. Koneellinen puunkorjuu kuusikon ensimmäisessä harvennuksessa. Metsätehon katsaus 10/1989.
166. Harvennushakkuiden korjuujäljelle asetettavat vaatimukset sekä korjuujäljen arviointi ja mittaaminen. 1990. Metsätehon opas.
167. Mäkelä, M. 1990. Turvemaiden koneellinen puunkorjuu kesäaikaissa ensiharvennuksissa. Metsätehon katsaus 4/1990.
168. Lilleberg, R. 1991. Harvennustapa ja puiden joukkokäsittely ensiharvennuskoneiden koneellisessa hakkuussa. Metsätehon tiedotus 406.
169. Hankala, T., Hirvelä, H. & Pesonen, M. 1992. Harvennushakkuiden taloudellinen merkitys ja toteuttamismallit. Metsätutkimuslaitoksen erillisjulkaisu.
170. Lilleberg, R. 1995. Harvennustapa männikön ensiharvennuksessa. Metsätehon katsaus 3/1995.
171. Rajamäki, J., Kariniemi, A. & Ojala, T. 1996. Koneellisen harvennushakkuun tuottavuus. Metsätehon raportti 8/1996.
172. Kahala, M. & Mäkelä, M. 1985. Kuormainharvestereiden maksuperustetutkimus. Metsätehon katsaus 20/1985.
173. Kuitto, P.-J. 1992. Koneellinen hakkuu ja metsäkuljetus - maksuperusteselvitys 1990-1991. Metsätehon katsaus 9/1992.
174. Kuitto, P.-J., Keskinen, S., Lindroos, J., Ojala, T., Rajamäki, J., Räsänen, T. & Terävä, J. 1994. Puutavaran koneellinen hakkuu ja metsäkuljetus. Metsätehon tiedotus 410.
175. Nissi, I. 1983. Hakkuun monitoimikoneiden automaation nykytila ja tulevaisuus. Metsätehon katsaus 2/1983.
176. Halinen, M. 1987. Monitoimikoneiden puunmittauslaitteille asetettavia vaatimuksia. Metsätehon katsaus 12/1987.
177. Halinen, M. 1990. Monitoimikoneiden yleisimpien puunmittauslaitteiden tarkkuus. Metsätehon tiedotus 403.

178. Rieppo, K. 1990. Hakkuukoneiden mittalaitteet. Metsätehon katsaus 1/1990.
179. Perttola, S. & Rieppo, K. 1991. Hakkuukoneiden mittalaitteiden tilavuudenmittauksen tarkastusmittaus. Metsätehon katsaus 17/1991.
180. Lemmetty, J. & Mäkelä M. 1992. Suunnittelumittauksen perusteet ja toteutus. Metsätehon katsaus 11/1992.
181. Marjomaa, J. & Räsänen, T. 1994. Metsurimittauksen ajanmenekki. Metsätehon katsaus 6 /1994.
182. Mäkelä, M. & Keskinen, S. 1999. Hakkuukoneen katkontatarkkuuden parantaminen. Metsätehon raportti 73.
183. Eskelinen, A. & Pennanen, O. 1980. Havupuiden apteeraus ja puutavaralajijakauma eri hakkuumenetelmissä. Metsätehon tiedotus 358.
184. Ahonen, O-P. & Lemmetty, J. 1995. Leimikon tukkijakauman ohjauksen keinot. Metsätehon katsaus 5/1995.
185. Vuorenpää, T., Aaltonen, A., Imponen, V. & Lukkarinen, E. 1997. Tukkijakauman ohjaus. Metsätehon raportti 38.
186. Räsänen, T. & Lukkarinen, E. 1998. Puuston ennakkotiedon hankintamenetelmät ja käyttö. Metsätehon raportti 43.
187. Räsänen, T., Aaltonen, A., Lindroos, J., Lukkarinen, E. & Vuorenpää, T. 1998. Puustotiedon hankinta hakkuukoneella. Metsätehon raportti 44.
188. Imponen, V. & Lemmetty, J. 1998. Kuusileimikoiden arvoerojen merkitys hankinnan suuntaamisessa. Metsätehon raportti 47.
189. Imponen, V. 1998. Leimikoiden apteerausvaihtoehtojen optimointi - esitutkimus. Metsätehon raportti 48.
190. Vuorenpää, T. 1998. Sahan tuotannon ohjattavuusanalyysi. Metsätehon raportti 42.
191. Vuorenpää, T. 1997. Mittaustarkkuuden vaikutus sahan tukkijakauman ohjaukseen. Metsätehon raportti 34.
192. Lukkarinen, E. & Marjomaa, J. 1997. Rungan kapenemisen ennustaminen hakkuukoneen mittalaitteella. Metsätehon raportti 35.
193. Aaltonen, A., Lukkarinen, E., Marjomaa, J. & Vuorenpää, T. 1997. Selvitys hakkuukoneen tiedonsiirtostandardista. Metsätehon raportti 37.
194. Lukkarinen, E., Keskinen, S., Marjomaa, J., Pennanen, O. & Räsänen, T. 1998. Menetelmä yksityiskohtaisen runkotiedon tuottamiseksi ja aineiston kuvaus. Metsätehon raportti 45.
195. Imponen, V., Lehto, J., Pennanen, O. & Vuorenpää, T. 1998. Tuotelähtöinen puunhankinta, sahaus ja markkinointi. Metsätehon raportti 46.
196. Lukkarinen, E., Keskinen, S., Marjomaa, J. & Pennanen, O. 1998. Tukin ja rungon arvon laskentaohjelmiston kuvaus. Metsätehon raportti 49.
197. Vuorenpää, T., Arminen, P. & Suurniemi, S. 1999. Arvomatriisien ja tavoitejakaumien laadinta hakkuukoneille. Metsätehon raportti 81.
198. Räsänen, T., Imponen, V., Lindroos, J. & Malinen, J. Runkopankki puunhankinnan ohjauksen välineenä. Metsätehon raportti 94.
199. Hakki, P. 1974. Kanto- ja juuripuun korjuu. Metsätehon tiedotus 332.
200. Melko, M. & Mäkelä, M. 1978. Hakkuutähte teollisuuden raaka-aineena. Metsätehon tiedotus 348.
201. Rumpunen, H. 1980. Hakkeenakorjuu tavaralajikorjuun yhteydessä. Metsätehon tiedotus 365.
202. Elovainio, A., Häggblom, R., Kahala, M., Kuitto, P.-J., Mäkelä, M., Nissi, I. & Pennanen, O. 1984. Energiapuun korjuu teollisuuspuun korjuun yhteydessä. Metsätehon tiedotus 383.
203. Eskelinen, A., Häggblom, R. & Peltonen, J. 1984. Osapuuna- ja metsähakkeenahankinnan kustannuskilpailukyky. Metsätehon tiedotus 389.
204. Imponen, V., Keskinen, S., Korpilahti, A., Lemmetty, J., Lilleberg, R., Pennanen, O., Poikela, A. & Vuorenpää, T. 1997. Hake-, osapuun- ja puutavaralajimenetelmien taloudellisuus sellutehtaan puunhankinnassa. Metsätehon raportti 22.
205. Korpilahti, A. & Poikela, A. 1997. Tavaralaji- ja energia-ainespuumenetelmien kilpailukyky ensiharvennuksilla. Metsätehon raportti 36.
206. Imponen, V., Hakki, P., Lilleberg, R., Pennanen, O. & Varhimo, A. 1997. Ensiharvennusmänty sellutehtaan raaka-aineena. Metsätehon raportti 24.
207. Korpilahti, A., Varhimo, A., Backman, M. & Rieppo, K. 2000. Männyn ja koivun ensiharvennusemetsiköiden ja puuaineen ominaisuuksia. Metsätehon raportti 85.
208. Korpilahti, A. & Suurniemi, S. 2001. Käyttöpaikallahaketukseen perustuva puupolttoaineen tuotanto. Metsätehon raportti 122.
209. Rieppo, K. 2002. Hakkuutähteen metsäkuljetuksen ajanmenekki, tuottavuus ja kustannukset. Metsätehon raportti 136.
210. Rieppo, K. 2002. Hakkuutähteen metsäkuljetusmäärän mittaus. Metsätehon raportti 129.
211. Savolainen, R. 1978. Puutavara-autot talvella 1978 ja autokaluston kehitys 1970-luvulla. Metsätehon katsaus 8/1978.
212. Pennanen, O. 1982. Uuden lainsäädännön vaikutus puutavaran autokuljetukseen. Metsätehon katsaus 13/1982.
213. Pennanen, O. 1984. Puutavara- ja hakeautot talvella 1984. Metsätehon katsaus 14/1984.
214. Korpilahti, A. 1988. Ajoneuvopainojen korotuksen ja painoperusteisen kuormituksen vaikutus puutavaran autokuljetukseen. Metsätehon katsaus 19/1988.
215. Oijala, T. & Pennanen, O. 1989. Korotettujen ajoneuvopainojen kokeilu puutavaran autokuljetuksessa. Metsätehon katsaus 13/1989.
216. Marjomaa, J. & Oijala, T. 1990. Puutavaralajien tuoretiheyksien ja puutavaran autokuljetusmäärien vaihtelu. Metsätehon katsaus 10/1990.
217. Marjomaa, J. 1992. Puutavaralajien tuoretiheyksien vaihtelu. Metsätehon katsaus 4/1992.
218. Heikka, T. 1990. Kuorman painon määrittäminen puutavaran autokuljetuksessa. Metsätehon katsaus 11/1990.
219. Oijala, T. & Säteri, L. 1991. Puutavara-autot 1990 ja autokaluston kehitys. Metsätehon katsaus 2/1991.
220. Puutavaran autokuljetus. 1997. Metsätehon opas.
221. Alanne, H. 2001. Metsäkone- ja puutavara-autokalusto ja sen työmäärät vuonna 1999. Metsätehon raportti 102.
222. Oijala, T., Terävä, J. & Tohu, J. 1993. Puutavaran aluskuljetus. Metsätehon katsaus 10/1993.
223. Nissi, I. & Salminen, J. 1983. Moottoriproomujen käyttömahdollisuudet kokopuuhakkeen kuljetuksessa. Metsätehon katsaus 11/1983.
224. Nieminen, J., Oijala, T. & Terävä, J. 1991. Puutavara uuttoon uusin menetelmin. Metsätehon katsaus 8/1991.
225. Pennanen, O. 1978. Otantaan perustuvan painomittauksen tehostaminen. Metsätehon seloste 9/1978.
226. Halinen, M. 1987. Osaupotusmenetelmä puutavaran mittauksessa tehtaalla. Metsätehon tiedotus 398.

227. Marjomaa, J. 1990. Paino-ositemenetelmä puutavaran mittauksessa tehtaalla. Metsätehon katsaus 8/1990.
228. Marjomaa, J. 1991. Otantaniippujen mittaukseen tarkoitettun AVM2000-mittalaitteen tarkkuus. Metsätehon katsaus 4/1991.
229. Marjomaa, J. & Uurtamo, K. 1995. Kuitupuun automaattinen mittaus- ja laadutusasema. Metsätehon katsaus 10/1995.
230. Marjomaa, J. & Sairanen, P. 1996. AVM-1000-kehyskuvamittausasema. Metsätehon katsaus 3/1996.
231. Marjomaa, J. 1996. Tukin mittaus optisella tukkimittarilla. Metsätehon katsaus 1/1996.
232. Pennanen, O., Laamanen, J., Lucander, M., Terävä, J. & Varhimo, A. 1993. Kuusipuun laadun säilyminen kesällä mekaanisten massojen raaka-aineena. Metsätehon katsaus 1/1993.
233. Mäkelä, M., Pennanen, O. & Varhimo, A. 2002. Talvikaatoisen kuusikuitupuun kylmävarastointi. Metsätehon raportti 107.
234. Mäkelä, M., Lipponen, K., Korhonen, K., Hallaksela, A.-M., Karpelin, M., Öhman, H. & Sainio, M. 1999. Varastolaho, esiintyminen ja vaikutukset. Metsätehon raportti 71.
235. Mäkelä, M., Korhonen, K. & Lipponen, K. 2000. Varastoinnin vaikutus kuitupuuhun. Metsätehon raportti 91 B.
236. Mäkelä, M., Korhonen, K., Lipponen, K. & Öhman, H. 2000. Varastoinnin vaikutus kuitupuuhun ja sen merkitys sellun valmistuksessa. Metsätehon raportti 91 A.
237. Tunne puuraaka-aineen lahoavia. 1999. Metsätehon opas.
238. Mäkelä, M. 1994. Koivuvaneriukkien varastoinnin ja hakkuumenetelmän vaikutus raaka-aineen laatuun ja arvoon. Metsätehon katsaus 14/1994.
239. Mäkelä, M. & Yli-Hukkala, T. 1995. Tukkien korjuu- ja kuorintavauriot. Metsätehon katsaus 6/1995.
240. Mäkelä, M. 1998. Tukkien korjuu- ja käsittelyvauriot. Metsätehon raportti 51.
241. Heino, E.E. & Salakari, M. 1972. TTS-metsä-äes 35. Metsätehon katsaus 19/1972.
242. Kaila, S. & Päivänen, J. 1978. Metsämaanmuokkauksen tavoitteet ja nykyinen muokkauksalusto. Metsätehon katsaus 7/1978.
243. Kaila, S. 1982. Maanmuokausmenetelmän ja taimilajin merkitys männyn viljelyssä erilaisilla uudistusaloilla. Metsätehon tiedotus 376.
244. Tynkkynen, M. 1974. Työvaikeustekijöiden vaikutus lautasauraukseen. Metsätehon tiedotus 330.
245. Seppälä, J. 1975. Työvaikeustekijöiden vaikutus metsämaan auraukseen KLM-170-piennarauraa käytettäessä. Metsätehon tiedotus 337.
246. Hämäläinen, J. & Kaila, S. 1985. Metsämaan äestyksen ja aurauksen työvaikeustekijät, ajankäytön jakautuminen ja tuottavuus. Metsätehon tiedotus 393.
247. Seppälä, J. 1975. Paakkutaimien pakkaus ja siirto istutukseen. Metsätehon tiedotus 335.
248. Metsänviljelyn suunnittelu ja toteutus. 1979. Metsätehon opas.
249. Heino, E.E. 1972. Vertaileva tutkimus vesurin ja raivaussahan käytöstä taimiston harvennuksessa. Metsätehon katsaus 19/1972.
250. Heino, E.E., Pelttonen, J. & Tynkkynen, M. 1973. Työvaikeustekijöiden vaikutus vesuri- ja raivaussahatyöhön taimiston perkauksessa ja harvennuksessa. Metsätehon tiedotus 322.
251. Heino, E.E. & Tynkkynen, M. 1973. Uudistusalan valmistus- ja taimistonhoitotöiden tuotokset ja kustannukset metsäteollisuuden ja Metsähallituksen työmailla vuonna 1972. Metsätehon katsaus 7/1973.
252. Häggblom, R. & Kaila, S. 1982. Metsänistutuksen ajanmenekki-suhteet. Metsätehon katsaus 8/1982.
253. Hämäläinen, J. & Kaila, S. 1983. Taimikon perkauksen ja harvennuksen sekä uudistusalan raivauksen ajanmenekki-suhteet. Metsätehon katsaus 16/1983.
254. Kaila, S. 1987. Työntekijän suorittaman työmittauksen ajanmenekki raivaussahatyössä. Metsätehon katsaus 9/1987.
255. Kaila, S., Poikela, A. & Strandström, M. 2001. Henkilökohtaiseen tuottavuustavoitteeseen perustuva raivaussahatyön palkkausjärjestelmä. Metsätehon raportti 99, osa 1.
256. Kaila, S. 1984. G. A. Serlachius Oy:n istutuskone. Metsätehon katsaus 9/1984.
257. Arnkil, R. & Hämäläinen, J. 1995. Bräcke Planter- ja Ilves-istutuskoneiden tuottavuus ja työjälki. Metsätehon katsaus 1/1995.
258. Tynkkynen, M. 1974. Voimavesuri taimiston perkauksessa ja harvennuksessa. Metsätehon katsaus 4/1974.
259. Heino, E.E. & Ruotsalainen, M. 1976. Riukuasteisen taimiston käsittelymahdollisuudet vesakkoharvesterilla. Metsätehon seloste 4/1976.
260. Hämäläinen, J., Lilleberg, R., Poikela, A. & Rieppo, K. 1997. Energiapuun korjuu taimikosta Chipset-hakeharvesterilla. Metsätehon katsaus 5/1997.
261. Hämäläinen, J., Kalaja, H., Lilleberg, R., Poikela, A. & Rieppo, K. 1998. Taimikonhoidon ja ensiharvennuksen yhdistäminen. Metsätehon raportti 61.
262. Hämäläinen, J., Kaila, S. & Keskinen, S. 1985. Laskentajärjestelmä metsänviljelyn menetelmien vertailuun. Metsätehon katsaus 18/1985.
263. Hämäläinen, J. & Kaila, S. 1987. Metsänuudistamisen suunnittelun nykytilanne ja kehittämismahdollisuudet. Metsätehon katsaus 2/1987.
264. Hämäläinen, J. 1990. Eri maanmuokausmenetelmien edullisuus männyn ja kuusen viljelyssä Etelä-Suomessa. Metsätehon tiedotus 402.
265. Hämäläinen, J. & Räsänen, T. 1993. Menetelmä metsänuudistamisen varhaistuloksen mittaukseen. Metsätehon katsaus 6/1993.
266. Kaila, S. 1993. Metsänuudistamisen tuloksen määrittäminen ja männyn uudistamisen tuloksia. Metsätehon tiedotus 409.
267. Imponen, V. & Kaila, S. 1988. Uudistusalan koon vaikutus metsän uudistamiskustannuksiin Etelä-Suomen olosuhteissa. Metsätehon katsaus 18/1988.
268. Räsänen, T., Kaila, S., Korkkila, T., Lehtonen, M., Mäkelä, A., Nikinmaa, E., Ruuska, J. & Valkonen, S. 2004. Taimikon kehityksen ja käsittelyn simulointi. Metsätehon raportti 174.
269. Hämäläinen, J., Imponen, V. & Kaila, S. 1990. Paikannettujen koelaitetietojen käyttö puunkorjuun ja metsänuudistamisen suunnittelussa. Metsätehon katsaus 18/1990.
270. Hämäläinen, J. & Räsänen, T. 1994. GPS-paikannus metsäolosuhteissa. Metsätehon katsaus 5/1994.
271. Ympäristöhoito. 1992. Metsätehon opas.
272. Kalland, F. & Pättilä, A. 1993. Vihreä muutos. Metsäteho.
273. Rajamäki, J. 1993. Ympäristöystävälliset öljyt metsätöissä. Metsätehon katsaus 8/1993.
274. Kariniemi, A., Sahlberg, S. & Örn, J. 1995. Selvitys puuntuottamisen ja puunhankinnan ympäristöjärjestelmän rakenteesta ja perusteista. Metsätehon katsaus 14/1995.

275. Oijala, T., Rajamäki, J., Terävä, J., Vastamäki, A. & Örn, J. 1995. Laatujaerjestelmiä puunhankintaan. Metsätehon katsaus 12/1995.
276. Kaila, S. 2001. Puuntuotannon ympäristönäkökohtien tunnistaminen ja merkittävyys ympäristöjärjestelmässä. Metsätehon raportti 104.
277. Strandström, M. 2001. Monimuotoisuuden mittaaminen ja seurannan toteuttamisen mahdollisuudet. Metsätehon raportti 106.
278. Imponen, V., Alden, S., Kaila, S., Kellomäki, S., Korpilahti, A., Pennanen, O., Pitkänen, S., Wessman, H. & Örn, J. 2001. Puuraaka-aineen tuotanto elinkaarilaskennassa. Metsätehon raportti 119.
279. Örn, J. 2001. Puuntuotannon, puunkorjuun ja kaukokuljetuksen energian ja käyttöaineiden kulutuksen sekä päästöjen laskentamenetelmä. Metsätehon Raportti 124.
280. Kaila, S. (toim.). 1998. Monimuotoisuus talousmetsän uudistamisessa -hankkeen väliraportit (MONTA-hanke). Metsätehon raportti 62.
281. Strandström, M. (toim.). 2007. Talousmetsän uudistamisen taloudelliset ja ekologiset vaikutukset Monta-kokeiden perusteella. Metsätehon seminaariaineisto 7/2007.
282. Anttila, P. & Korpilahti, A. 1998. Tuhkahankkeen väliseminaari 1998. Metsätehon raportti 52.
283. Korpilahti, A. 2003. Tuhkan esikäsittely metsäkäyttöä varten. Metsätehon raportti 143.
284. Fritze, H. & Perkiömäki, J. 1999. Puuntuotuksen vaikutus humuskerroksen mikrobistoon kangasmaalla. Metsätehon raportti 82.
285. Maljanen, M., Nykänen, H., Moilanen, M. & Martikainen, P. 1999. Tuhkalannoituksen vaikutus metsämaan kasvihuonekaasuvirtoihin. Metsätehon raportti 83.
286. Piirainen, S. & Domisch, T. 2004. Tuhkalannoituksen vaikutus pohja- ja valumavesien laatuun ja ainehuuhtoumiin ojitetuilla soilla. Metsätehon raportti 168.
287. Tulonen, T., Arvola, L., Pihlström, M., Mäkinen, A., Rummukainen, P. & Rask, M. 2003. Tuhkalannoituksen vaikutus metsäjärjvissä. Metsätehon raportti 146.
288. Nieminen, M. 2003. Ravinteiden ja raskasmetallien vapautuminen tuhkalannoitteista. Metsätehon raportti 155.
289. Pihlström, M., Rummukainen, P., Mäkinen, A., Tulonen, T. & Arvola, L. 2005. Tuhkalannoituksen vaikutus kasvillisuuden ja maaperän raskasmetalli- ja ravinnepitoisuuksiin. Metsätehon raportti 184.
290. Moilanen, M. & Issakainen, J. 2003. Puu- ja turvetuhkan vaikutus maaperään, metsäkasvillisuuden alkuainepitoisuuksiin ja puuston kasvuun. Metsätehon raportit 162.
291. Korpilahti, A. 2004. Tuhkan kuljetus ja levitys metsään. Metsätehon raportti 173.
292. Korpilahti, A. 2005. Tuhkan ominaisuudet ja tuhkalannoituksen ympäristövaikutukset. Metsätehon tuloskalvosarja 10/2005.
293. Korpilahti, A. 1991. Hyönteistuhojen torjuntalain vaikutus havupuutavaran hankintaan. Metsätehon katsaus 16/1991.
294. Pennanen, O., Alanne, H. & Örn, J. 2000. Kesähakkuiden vähentämisen merkitys teollisuuden raaka-ainehuollolle. Metsätehon Raportti 92.
295. Kesähakkuutyöryhmä. 2008. Työryhmämuistio MMM 2000:8. Maa- ja metsätalousministeriö.
296. Mäkelä, M., Lippönen, K. & Korhonen, K. 2001. Juurikäävän torjumiseksi tehtävän kantokäsittelyn tehostaminen. Metsätehon raportti 115.
297. Juurikäävän torjunta kantokäsittelyllä. 2000. Metsätehon opas.
298. Metsänkäsittely ja linnusto. 2002. Metsätehon opas.
299. Rieppo, K. & Kariniemi, A. 2001. Korjuukoneiden kehittämismahdollisuudet korjuujäljen kannalta. Metsätehon raportti 118.
300. Korjuujälki harvennushakkuussa. 2003. Metsätehon opas.
301. Korpilahti, A. & Örn, J. 2002. Energiapuun hankinta nuorista metsistä. Metsätehon raportti 141.
302. Mäkelä, M., Poikela, A. & Liikkanen, R. 2003. Energiapuun korjuu harvennushakkuusta. Metsätehon raportti 161.
303. Kärhä, K., Peltola, J., Korpilahti, A., Poikela, A. & Liikkanen, R. 2003. Uusia laitteita energia- ja ainespuun korjuuseen nuorista metsistä. Metsätehon raportti 164.
304. Kärhä, K., Keskinen, S., Liikkanen, R. & Lindroos, J. 2006. Kokopuun korjuu nuorista metsistä. Metsätehon raportti 193.
305. Kärhä, K., Högnäs, T., Kumpare, T., Kovettu, A. & Mutikainen, A. 2009. Ponsse H53e ensiharvennushakkuun integroidussa hakkuussa. Metsätehon tuloskalvosarja 5/2009.
306. Kärhä, K., Mutikainen, A., Keskinen, S. & Petty, A. 2010. Integroidusti vai erilliskorjuuna – koko- vai rankapuuna?. Metsätehon tuloskalvosarja 2/2010.
307. Kärhä, K., Kariniemi, A., Suortti, S., Poikela, A. & Melkas, Timo. 2011. Opetusvideo 1b/2011.
308. Kärhä, K., Poikela, A., Rieppo, K., Imponen, V., Keskinen, S. & Vartiamaäki, T. 2007. Korjurit ainespuun korjuussa. Metsätehon raportti 200.
309. Hujo, S. 2006. Kuormainvaakojen punnustarkkuus. Metsätehon tuloskalvosarja 2/2006.
310. Melkas, T. 2010. Markkinoilla olevat kuormainvaat ja niiden ominaisuudet. Metsätehon tuloskalvosarja 4/2010.
311. Kärhä, K., Vartiamaäki, T., Liikkanen, R., Keskinen, S. & Lindroos, J. 2004. Hakkuutähteen paalauksen ja paalien metsäkuljetuksen tuottavuus ja kustannukset. Metsätehon raportti 179.
312. Korpilahti, A. 2004. Oksapaalien autokuljetus. Metsätehon raportti 169.
313. Kärhä, K., Laitila, J., Jylhä, P., Nuutinen, Y. & Keskinen, S. 2009. Kokopuun paalaus -tuotantoketjun tuottavuus ja kustannukset. Metsätehon raportti 211.
314. Kärhä, K., Mutikainen, A. & Hautala, A. 2010. Vermeer HG6000 terminaalihaketuksessa ja -murskauksessa. Metsätehon tuloskalvosarja 15/2010.
315. Kärhä, K., Elo, J., Lahtinen, P., Räsänen, T., Keskinen, S., Heiskanen, P., Strandström, M. & Pajujoja, H. 2010. Kiinteiden puupolttoainesten saatavuus ja käyttö Suomessa 2020. Työ ja elinkeinoministeriön julkaisuja 66/2010.
316. Poikela, A. 2015. Compression potential "doubling energywood load size". Metsätehon tuloskalvosarja 2/2015.
317. Venäläinen, P. & Poikela, A. 2016. Energiapuun kuljetuskaluston ja meno-paluukuljetusten skenaariot. Metsätehon tuloskalvosarja 2a/2016.
318. Melkas, T. & Tornberg, J. 2015. Measurements at the bioterminal based on MWh-Roadmap. Metsätehon tuloskalvosarja 5/2015.
319. Tornberg, J. & Melkas, T. 2016. Langattomat lämpötila- ja kosteusanturit metsähakkeen laadun seurannassa. Metsätehon tuloskalvosarja 6a/2016.
320. Ovaskainen, H. & Lundberg, H. 2016. Bioenergia-autojen optimaalinen kuormakoko ja työmallit irtobiomassojen kuormaamiseen. Metsätehon tuloskalvosarja 3a/2016.

321. Räsänen, T. & Sorsa, J.-A. 2015. Information Management of Bioenergy Supply Chains. Metsätehon raportti 234.
322. Ovaskainen, H. 2017. CO₂-eq-päästöt ja energiatehokkuus metsäbiomassojen toimitusketjuissa – terminaalien vaikutus. Metsätehon tuloskalvosarja 4a/2017.
323. Venäläinen, P. (toim.). 2017. Terminaalitoiminnot energiatehokkaassa puutavaralogistiikassa. Metsätehon tuloskalvosarja 2/2017.
324. Kärhä, K. & Keskinen, S. 2011. Ensiharvennukset metsäteollisuuden raaka-ainelähteenä 2000-luvulla. Metsätehon tuloskalvosarja 2/2011.
325. Ovaskainen, H. 2012. Työmallit koneellisissa puunkorjuissa. Metsätehon raportti 221.
326. Kokkarinen, J. (toim.). 2012. Koneellinen puunkorjuu.
327. Koneellinen puunkorjuu - verkkokurssi ja opettajan materiaali. 2023. Metsätehon verkkojulkaisu: www.puuhuolto.fi/koneellinen-puunkorjuu/
328. Kärhä, K. 2006. Ennakkoräjähdys osana ensiharvennuspuun korjuuta. Metsätehon raportti 187.
329. Ovaskainen, H. & Strandström, M. 2016. MenSe RT7 -räjähdyslaitteen kustannuskilpailukyky ennakkoräjähdyskassa. Metsätehon tuloskalvosarja 12/2016.
330. Ovaskainen, H., Poikela, A., Härmä, T. & Uusitalo, T. 2024. Puunkorjuun tuottavuus, puuston tila ja korjuujälki vyöhykeharvennusmenetelmässä. Metsätehon tuloskalvosarja 4/2024.
331. Seppälä, P. 2020. Tavaraajajärjestelmän metsäkoneiden automaation kehitysnäkömät. Metsätehon raportti 259.
332. Bergroth, J., Ihala, A. & Heikkilä, J. 2008. Ojitettujen turvemaiden taloudellinen ensiharvennuspotentiaali. Metsätehon katsaus 32/2008.
333. Airavaara, H., Ala-Ilmäki, J., Högnäs, T. & Sirén, M. 2008. Nykykalustolla turvemaiden puunkorjuuseen. Metlan työraportteja 80.
334. Högnäs, T., Kumpare, T. & Kärhä, K. 2011. Turvemaaharvennusten korjuukelpoisuusluokitus. Metsätehon tuloskalvosarja 3/2011.
335. Kärhä, K., Poikela, A. & Keskinen, S. 2010. Korpikuusikon harvennus sulan maan aikana. Metsätehon tuloskalvosarja 5/2010.
336. Törnqvist, J., Kurkela, J. & Kärhä, K. 2010. Metsäkoneen pintapaineen ja raiteenmuodostuksen laskentamalli. Metsätehon tuloskalvosarja 3/2010.
337. Poikela, A., Peuhkurinen, J., Kilpiäinen, S., Härmäläinen, J., Rieki, K. & Räsänen, T. 2019. Korjuukelpoisuuskartat suunnittelun tukena. Metsätehon tuloskalvosarja 15/2019.
338. Ovaskainen, H., Härmäläinen, J., Poikela, A., Räsänen, T., Määtälä, M., Sarjakoski, S., Lahti, M. & Salo, M. 2019. Ajourakone – hakkukoneen kuljettajan apuväline korjuun suunnitteluun. Metsätehon tuloskalvosarja 11/2019.
339. Metsäteho-lehti. 2001. Tilastoliite numerossa 1/2001.
340. Mäkelä, O. & Pennanen, O. 2003. Raakapuukuljetusten kelirikkohaittojen vähentäminen. Metsätehon raportti 153.
341. Venäläinen, P., Alanne, H., Ovaskainen, H., Poikela, A., Strandström, M. 2017. Kausivaihtelun kustannukset ja vähentämiskeinot puun toimitusketjuissa. Metsätehon tuloskalvosarja 8/2017.
342. Korpilahti, A. 2007. Rengaspaineiden säätö puutavara-autoissa. Metsätehon tuloskalvosarja 4/2007.
343. Siekkinen, A. & Korpilahti, A. 2015. Rengaspaineiden säätö puutavara-ajoneuvoissa. Metsätehon tuloskalvosarja 13/2015.
344. Korpilahti, A. Koskinen, O. 2012. Puutavaran autokuljetus tehokkaammaksi. Metsätehon tuloskalvosarja 1/2012.
345. Korpilahti, A. 2013. Puutavara-autot mitta- ja massamuutoksen jälkeen. Metsätehon tuloskalvosarja 11/2013.
346. Näsä, O.P. & Korpilahti, A. 2015. Puutavarayhdistelmien akselimmassat ja kuormatilan koko. Metsätehon tuloskalvosarja 9/2015.
347. Metsäteho-ohjeisto. 2001. Metsätehon koulutusmateriaali.
348. Venäläinen, P. & Korpilahti, A. 2015. HCT-ajoneuvoyhdistelmien vaikutus puutavarakuljetusten tehostamisessa. Esiselvitys. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja. Konserni 30/2015.
349. Venäläinen, P. & Poikela, A. 2024. Puutavara- ja hakeajoneuvojen massojen noston vaikutukset. Metsätehon raportti 270.
350. Seppälä, P. 2020. Automaation kehitysnäkömät, haasteet ja hyödyt ainespuun autokuljetusketjuissa Suomessa. Metsätehon tuloskalvosarja 2/2020.
351. Ikäheimo, M., Ovaskainen, H. & Malinen, J. 2022. Puutavara-auton kuormaimen ohjaustavan vaikutus kuormaustyön oppimiseen ja tuottavuuteen. Metsätehon tuloskalvosarja 10/2022.
352. Venäläinen, P. & Poikela, A. 2024. Metsäyhtiöiden autokuljetusten sähköistäminen (MESI). Kirjallisuusselvitys. Metsätehon raportti 267.
353. Lapp, T. & Mäkinen, S. 2023. Rataverkon raakapuun kuormaustaikkaverkon tilanne- ja tulevaisuuskuva -selvityksen päivitys 2023. Väyläviraston julkaisuja 48/2023.
354. Silvennoinen, S. 2024. Kotimaisen raakapuun aluskuljetusten kehitysmahdollisuudet sisävesillä. Metsätehon tuloskalvosarja 1/2024.
355. Kokkila, M. 2011. Maastoa ja tiestöä kuvaavan monilähdeinformaation hyödyntämismahdollisuudet puunhankinnassa – esiselvitys. Metsätehon raportti 217.
356. Räsänen, T., Härmäläinen, J., Lamminen, S., Lindeman, H., Salmi, M. & Väättä, K. 2013. Uudet informaatiolähteet puunhankinnan tukena. Metsätehon raportti 226.
357. Härmäläinen, J., Holopainen, M., Hynynen, J., Jyrkilä, J., Rajala, P.T., Ritala, R., Räsänen, T. & Visala, A. 2014. Perusteita seuraavan sukupolven metsävarajärjestelmälle - Forest Big Data-hanke. MTA 4/2014.
358. Härmäläinen, J. (toim.). 2016. Kohti puuhuollon digitalisaatiota. Metsätehon tuloskalvosarja 11/2016.
359. Räsänen, T., Härmäläinen, J., Rajala, M. & Ritala, R. 2017. Metsävaratiedon hyödyntäminen puuhuollossa. Metsätehon raportti 245.
360. Rajala, M. & Ritala, R. 2016. Data platform promoting forest data utilization through uniform access to heterogeneous data. Metsätehon raportti 240.
361. Räsänen, T., Usenius, A., Heikkilä, A., Holmila, P. & Usenius, T. 2017. Tukkiröntgendata sahapuun ohjauksessa. Metsätehon raportti 243.
362. Härmäläinen, J., Räsänen, T., Rieki, K., Sorsa, J.-A. & Ritala, R. 2019. Metsätiedon palvelualustan konseptitestausta. Metsätehon raportti 252.
363. Seppälä, P., Malinen, J., Rieki, K., Ovaskainen, H., Strandström, M., Räsänen, T., Poikela, A. & Sorsa, J.-A. 2021. Metsätiedon palvelualusta puunkorjuun laadunhallinnassa ja talousmetsän luonnonhoidon todentamisessa. Metsätehon raportti 262.
364. Korpilahti, A. (toim.). 2008. Metsäteiden kuntointo- ja kuntotiedon hyödyntämisen toimintamalli. Metsätehon raportti 202.

365. Venäläinen, P., Räsänen, T. & Hämäläinen, J. 2016. Tiestödatan nykytila, visio ja toimenpideohjelma. Metsätehon raportti 239.
366. Venäläinen, P., Raatevaara, A., Pihlajisto, I., Melander, M., Hienonen, P., Hämäläinen, J. & Strandström, M. 2017. Tilannekuva ja automatisoitu tiedontuotanto metsäsektorin kuljetuksista. Metsätehon raportti 244.
367. Venäläinen, P., Pihlajisto, I. & Melander, M. 2020. Tilannekuva ja automatisoitu tiedonkeruu metsäsektorin kuljetuksista. NordicWay2-osapilottin tulokset. Metsätehon tuloskalvosarja 5/2020.
368. Venäläinen, P., Räsänen, T. & Niskanen, S. 2019. Yksityistiedon palvelualusta. Visio & organisointi. Metsätehon tuloskalvosarja 2/2019.
369. Venäläinen, P., Niskanen, S., Vahtila, M., & Räsänen, T. 2019. Yksityistiedon tietolajit ja tiedonkeruumenetelmät. Metsätehon raportti 249.
370. Venäläinen, P. & Nousiainen, M. 2024. Yksityistiedon tietolajit (päivitys). Metsätehon raportti 269.
371. Tietietofoorumi - kohti ajantasaista tietoa. 2024. Metsätehon seminaari 3/2024.
372. Sorsa, J.-A. 2002. Towards StanForD-XML. Metsätehon raportti 131.
373. Räsänen, T., Hokka, T. & Imponen, V. 2003. Korjuun ohjauksen tietotarvekartoitus. Metsätehon raportti 144.
374. Strandström, M. & Räsänen, T. 2003. Tiedonsiirtotarpeet puuntuottamisen toiminnoissa. Metsätehon raportti 147.
375. Arlinger, J., Möller, J.J., Räsänen, T. & Sorsa, J. 2008. StanForD 2010 Benefits, needs and requirements for users and manufacturers. Metsätehon raportti 201.
376. Räsänen, T. 2012. PapiNet FWS -sanomastandardi puutavaralogistiikkaan. Metsätehon tuloskalvosarja 6/2012.
377. Räsänen, T. & Imponen, V. 2004. Runkopankin käyttösovellukset. Metsätehon raportti 180.
378. Räsänen, T., Kuuramaa, I. & Sorsa, J.-A. 2005. Runkopankki ja k-MSN -menetelmä puustotietojen ja pölkyjakauman ennustamisessa. Metsätehon raportti 182.
379. Melkas, T., Miettinen, M., Hämäläinen, J. & Einola, K. 2014. Puukarttajärjestelmä hakkuun tehostamisessa. Metsätehon raportti 230.
380. Melkas, T., Salmi, M. & Hämäläinen, J. 2014. Satelliittipaikkannuksen tarkkuus hakkuukoneessa. Metsätehon raportti 231.
381. Melkas, T. & Hämäläinen, J. 2015. Hakkuukoneella kerätyn puustotiedon hyödyntäminen. Metsätehon raportti 237.
382. Melkas, T., Riekk, K. 2017. Hakkuualueen rajan muodostus hakkuukoneen sijaintitietoon perustuen. Metsätehon tuloskalvosarja 5/2017.
383. Räsänen T., Melkas T., Riekk K., Sorsa J.-A., Poikela A., Hämäläinen J. 2019. Hakkuukoneet metsätiedon tuottajina. Metsätieteen aikakauskirja vuosikerta 2019 artikkeli 10250.
384. Melkas, T., Riekk, K. & Sorsa, J.-A. 2020. Automated Method for Delineating Harvested Stands Based on Harvester Location Data. Remote Sensing 2020, 12(17), 2754.
385. Metsäkonetiedon omistusta, käyttöä ja käsittelyä koskevat periaatteet -suositus. 2017. Sähköinen dokumentti: <https://www.metsateho.fi/metsakonetieto-suositus/>
386. Ovaskainen, H. (toim.). 2019. Kohti automaattista puunkorjuun laadun mittaamista. Metsätehon raportti 251.
387. Riekk, K., Melkas, T., Ovaskainen, H., Poikela, A. & Sorsa, J.-A. 2019. Ajourien automaattinen tuottaminen ja ajouratunnusten määrittäminen hakkuukoneen sijaintitietoon perustuen. Metsätehon tuloskalvosarja 4/2019.
388. Ovaskainen, H. & Riekk, K. 2022. Computation of Strip Road Networks Based on Harvester Location Data. Forests 2022, 13(5).
389. Riekk, K. & Malinen, J. 2022. Poistumakuviointi hakkuulaitteen sijaintitiedosta. Metsätehon tuloskalvosarja 8/2022.
390. Örn, J. 2004. Metsätyövoiman tarve ja koulutus 2003-2010. Metsätehon raportti 175.
391. Strandström, M. 2008. Metsätyövoiman tarve. Metsätehon katsaus 31/2007.
392. Strandström, M. & Pajujoja, H. 2013. Metsäsektorin työvoimatarve. Savotta 2020. Metsätehon raportti 224.
393. Pajujoja, H. 2013. Metsäalan kuljettajakoulutusjärjestelmän toimivuus. Metsätehon raportti 222.
394. Kariniemi, A., Strandström, M., Ala-Laurinaho, A. & Schupp, M. Työn muutoksen hallinta puuhuolto-prosessissa. Metsätehon katsaus 42/2009.
395. Ala-Laurinaho, A. (toim.). 2011. Metsäalouden työhyvinvoinnin T&K-ohjelma. Metsätehon raportti 219.
396. Pesonen, J. 2023. Metsähyvinvointi ja johtamisakatemia -hankkeet johtamiskulttuurin muutostrendien ajureina: Metsäalan johtamiskulttuurin muutos sekä hanke-evaluointi. Metsätehon Tuloskalvosarja 13/2023.
397. Lonka, K. 2021. Metsäopettajien Akatemia: Tulevaisuuden taidot – Sulautuva koulutus metsäalan opettajille. Evaluointiraportti 2020. Metsätehon raportti 260.
398. Puuhuolto. 2024. Metsätehon opas - puuhuollon oppimismateriaaleja itseopiskeluun tai koulutukseen. Sähköinen palvelu: www.puuhuolto.fi
399. Ovaskainen, H. 2020. Työnjako suomalaisessa puuhuollossa 2020. Metsätehon raportti 254.
400. Ovaskainen, H., Pajujoja, H. & Kellokoski, K. 2022. Katsaus työtapaturmien tilastointiin, määriin ja kehitykseen puuhuollossa. Metsätehon raportti 263.
401. Schildt, V., Ovaskainen, H. & Pajujoja, H. 2023. Metsäalalla työskentelevien työturvallisuuskulttuuri. Metsätehon tuloskalvosarja 8/2023.
402. Hujo, S. 2002. Puutavaran mittausten menetelmien osuudet vuonna 2001. Metsätehon tuloskalvosarja 11/2002.
403. Hokka, T. & Vuorenpää, T. 2001. Kuitupuun tehdasmittauksen kehittäminen. Metsätehon raportti 103.
404. Hokka, T. & Alanne, H. 2002. Otantamittauksen kehittäminen. Metsätehon raportti 134.
405. Korpilahti, A., Österberg, P., Pesonen, E. & Jokinen, O. 2005. Digitaalikuviavain puun laadun mittaukseen. Metsätehon katsaus 16/2005.
406. Sorsa, J.-A., Imponen, V., Hujo, S., Korpilahti, A., Poikela, A. & Räsänen, T. 2006. Kuvaan perustuva mittausten apteerauksessa ja puutavaran lajittelussa. Metsätehon raportti 194.
407. Hämäläinen, J., Hujo, S. & Korpilahti, A. 2006. Puutavaran mittauksen tutkimus- ja kehitysohjelma. Metsätehon katsaus 21/2006.
408. Melkas, T. & Hämäläinen, J. 2012. Puutavaran mittauksen visio 2020. Metsätehon tuloskalvosarja 9/2012.
409. Järvinen, T., Malinen, J., Teppola, P., Tiitta, M. & Virtanen, A. 2007. Puun on-line-kosteusmittaus. Metsätehon tuloskalvosarja 7/2007.
410. Päiviö, S., Kalvas, T., Riikilä, T. & Virtanen, A. 2009. Perusteet puun ominaisuuksien mittaamiseksi neutronimenetelmällä. Metsätehon raportti 205.
411. Melkas, T. 2009. Kuormainvaakamittaus uudistuu. Metsätehon tuloskalvosarja 11/2009.

412. Lindblad J., Repola J. 2019. Mänty- ja koivukuitupuun tuoretiheys paino-otantamittauksessa ja tuoretiheyden mallinnus varastointiajan perusteella. Metsätieteen aikakauskirja vuosikerta 2019 artikkeli 10101.
413. Repola, J., Heikkinen, J., Ojanen, H., Lindblad, J., Räsänen, T. & Melkas, T. 2021. Kuitupuun tuoretiheyden ennustemallit ja uusi painomittauksessa käytettävä toimintamalli. Metsätehon tuloskalvosarja 11/2021.
414. Melkas, T. 2024. Puutavaran mittausmenetelmien osuudet 2023. Metsätehon tuloskalvosarja 9/2024.
415. Vartiamaa, T. 2003. Koneellinen metsänistutus vuonna 2003. Metsätehon raportti 154.
416. Strandström, M., Hämäläinen, J. & Pajujoja, H. 2009. Metsänhoidon koneellistaminen. Visio ja T&K-ohjelma. Metsätehon raportti 206.
417. Strandström, M., Saarinen, V.-M., Hallongren, H., Hämäläinen, J., Poikela, A. & Rantala, J. 2011. Koneellisen istutuksen ja taimikonhoidon kilpailukyky. Metsätehon raportti 218.
418. Saarinen, V.-M., Hyyti, H., Laine, T. & Strandström, M. 2013. Kohti jatkuvatoimista koneistusta. Metsätehon raportti 227.
419. Timonen, T., Kärhä, K., Oikari, M., Kuusniemi, K., Piipponen, J., Strandström, M. & Peltola, H. 2019. Koneellisen metsänistutuksen ja taimikonhoidon pullonkaulat ja kehityskohteet Suomessa. Metsätehon tuloskalvosarja 8/2019.
420. Strandström, M. 2002. Metsäsertifioinnin kehittäminen. Metsätehon raportti 138.
421. Kulutusopas. 2002. Metsätehon opas.
422. Työmaan ympäristönhoidon ohjeita. 2003. Metsätehon opas.
423. Haikoski, K. & Savilaakso, S. 2020. Linnusto ja metsänkäsittely. Metsätehon raportti 255.
424. Savilaakso, S., Johansson, A., Häkkinen, M., Uusitalo, A., Sandgren, T., Mönkkönen, M. & Puttonen, P. 2020. Tasa- ja eri-ikäiskasvatuksen vaikutukset luonnon monimuotoisuuteen borealisella vyöhykkeellä Fennoskandiassa ja Euroopan puoleisella Venäjällä. Metsätehon raportti 256.
425. Häkkinen, M., Savilaakso, S., Johansson, A., Sandgren, T., Uusitalo, A., Mönkkönen, M. & Puttonen, P. 2020. Pienialaisten suojeltujen elinympäristöjen merkitys luonnon monimuotoisuudelle borealisissa talousmetsissä. Metsätehon raportti 257.
426. Haavisto, V., Riekkilä, K., Melkas, T. & Malinen, J. 2023. Monimuotoisuuskohteiden säilymisen todentaminen hakkuulaitteen sijaintitiedon avulla. Metsätehon tuloskalvosarja 9/2023.
427. Viljakainen, J., Ovaskainen, H., Riekkilä, K. & Malinen, J. 2022. Metsäkoneiden ajouraverkostojen luokittelu. Metsätehon tuloskalvosarja 6/2022.
428. Kesälä, M., Riekkilä, K. & Malinen, J. 2024. Säästöpuutyökalu ReTreeT – ekologiset ja taloudelliset arvot säästöpuiden suunnittelussa. Metsätehon tuloskalvosarja 8/2024.
429. Räsänen, T. 2024. Runkojen erikoismerkintäkoodit. Metsätehon tuloskalvosarja 7/2024.
430. Rieppo, K. & Örn, J. 2003. Metsäkoneiden polttoaineen kulutuksen mittaaminen. Metsätehon raportti 148.
431. Väkevä, J., Pennanen, O. & Örn, J. 2004. Puutavara-autojen polttoaineen kulutus. Metsätehon raportti 166.
432. Kariniemi, A. 2018. Energiatietokas puunkorjuu ja autokuljetus. Metsätehon tuloskalvosarja 3/2018.
433. Venäläinen, P., Strandström, M. & Poikela, A. 2023. Puun korjuun ja kuljetusten päästöjen nykytila ja vähennyskeinot (päivitys). Metsätehon tuloskalvosarja 4/2023.
434. Juntunen, E. 2023. Ainespuun autokuljetusten päästövähennyskeinojen kustannusvaikutukset. Metsätehon tuloskalvosarja 7/2023.
435. Strandström, M., Solismaa, S., Riekkilä, K. & Malinen, J. 2024. Metsänlannoituksen kestävä kohdevalinnan kriteerit. Metsätehon tuloskalvosarja 6/2024.
436. Strandström, M. & Riekkilä, K. 2024. Valtakunnallinen metsänlannoituspotentiaali – kestävien kohdevalintakriteerien mukaisilla lannoitusalueilla. Metsätehon tuloskalvosarja 10/2024.

Numeroimattomat lähteet:

- Heiskanen, S., Mikkonen, R., Päiviö, O. & Voutilainen, J. 2019. Korvenraivaajista Koneyrittäjiksi.
- Hakkilä, P., Kanninen, K. & Mäkinen, P. 1989. Metsäkoneurakoitsija.
- Kahiluoto, J. 1986. Teollisuuden metsänhoitajat - Industriförstämästarna ry. 1911–1986. 75-vuotishistoriikki.
- Pakkanen, E. & Leikola, M. 2010. Metsää, puuta ja kovaa työtä. Suomen metsien käytön historiaa. Ensimmäinen nide.
- Metsätehon vuosikertomukset 1946–2023

Kuvat:

Suomen Metsämuuseumi Lusto/ Metsätehon kokoelma

Metsäteho Oy

