

# **Männyn ja koivun ensiharvennus- metsiköiden ja puuaineen ominai- suuksia**

**Antti Korpilahti  
Antero Varhimo  
Mats Backman  
Kaarlo Rieppo**

# **Männyn ja koivun ensiharvennusköiden ja puuaineen ominaisuuksia**

**Antti Korpilahti, Metsäteho Oy**  
**Antero Varhimo, Keskuslaboratorio Oy**  
**Mats Backman, UPM-Kymmene Oyj Pulp Center**  
**Kaarlo Rieppo, Metsäteho Oy**

Metsätehon raportti 85  
10.1.2000

Konsortiohanke: Metsähallitus, Metsäliitto Osuuskunta,  
UPM-Kymmene Oyj, Stora Enso Oyj

Asiasanat: ensiharvennus, metsäpolttoaine, puupolttoaine,  
selluominaisuudet

© Metsäteho Oy

Helsinki 2000

## SISÄLLYS

<b>ESIPUHE</b> .....	<b>4</b>
<b>TIIVISTELMÄ</b> .....	<b>5</b>
Suuri osa ensiharvennusemetsästä kunnostushakkuun tarpeessa.....	5
Raivauspuusta lähes ensiharvennusemetsän veroista massaa .....	8
Puun korjuu karsimattomana edellyttää hakkuulaitteiden kehittämistä.....	8
Päätelmät.....	8
<b>1 TAUSTA JA TAVOITE</b> .....	<b>10</b>
<b>2 TOTEUTUS</b> .....	<b>10</b>
2.1 Metsikkötietojen hankinta .....	10
2.2 Puuaineen ominaisuustiedot ja koekeidot .....	11
2.3 Korjuutekniikkaan liittyvät kokeilut.....	13
<b>3 TULOKSET</b> .....	<b>15</b>
3.1 Metsikkötiedot .....	15
3.1.1 Metsäsuunnitelmätietojen yhteenvedot .....	15
3.1.2 Tulokset koealamittauksista.....	20
3.2 Puuaineen ominaisuudet ja koekeittojen tulokset .....	23
3.2.1 Mäntykeittojen tulokset.....	25
3.2.2 Koivukeittojen tulokset.....	35
3.3 Energia-ainespuukorjuun kilpailukyky.....	39
<b>4 TULOSTEN ARVIOINTI JA PÄÄTELMÄT</b> .....	<b>42</b>
<b>VIITEKIRJALLISUUS</b> .....	<b>44</b>

## ESIPUHE

Tässä raportissa esitettävä tutkimus kuului BIOENERGIA-tutkimusohjelmaan (projekti 137), jossa se raportoitiin nimellä Karsimattoman puun korjuu ensiharvennuksilta. Tutkimusohjelma rahoitti tutkimusta 500 000 markalla. Tutkimuksessa kartutettiin ensiharvennusmetsien ominaisuustietoja, määritettiin koekeitoin sellun saantoa erilaisten kasvupaikkojen ensiharvennuspuusta, mitattiin tuotetun sellun massa- ja paperitekniset ominaisuudet ja tarkasteltiin vaihtoehtoisia ensiharvennusten energia- ja ainespuun korjuumenetelmiä.

Projekti toteutettiin Metsäteho Oy:n johdolla. Projektista vastasi erikoistutkija, MML Antti Korpilahti, ja toteutukseen osallistuivat tutkija, DI, MMK Kaarlo Rieppo sekä työntutkijat Reima Liikkanen ja Kari Uusi-Pantti. Koekeitot ja sellumäärittäykset tehtiin Oy Keskuslaboratoriossa (KCL) erikoistutkija, DI Antero Varhimon ja UPM-Kymmene Oyj:n Pulp Centerissä vanhempi tutkija, DI Mats Backmanin johdolla.

Ensiharvennusmetsien puustotietojen hankinnasta huolehtivat Pohjois-Karjalan metsäkeskuksessa suunnittelupäällikkö Kyösti Hassinen ja Etelä-Pohjanmaalla kehittämisspäällikkö Jarmo Sinko. Puunäytteet sellumäärittäykseen otettiin Stora Enso Oyj:n Karjalan hankinta-alueen ja Joensuun piirin avustamana Kontiolahdelta ja UPM-Kymmene Oyj:n Pohjanmaan aluekonttorin ja Kokkolan piirin avustamana Perhosta. Karsimattoman puun korjuukokeet tehtiin Metsähallituksen avustamana Multialla. Kokeilussa oli Oy Logset Ab:n valmistama korjuukone SRG 6-E. Koneen omisti ruotsalainen P-O Gunnarssons Entreprenad Alftasta, ja omistaja itse oli kokeilussa kuljettajana. Oy Logset Ab vastasi korjuukoneen osalta kokeilun järjestelyistä ja kustannuksista. Kaato-kasausta kokeiltiin UPM-Kymmene Oyj:n työmaalla Honkajoella. Kokeilussa oli metsäkoneyrittäjä Jouni Viitasen Sampo-Rosenlew 1046 -hakkuukone.

Projektin johtoryhmään kuuluivat: korjuupäällikkö Tore Högnäs, Metsähallitus, johtaja Heikki Öhman, UPM-Kymmene Oyj (Pulp Center), kenttäpäällikkö Christer Backlund, UPM-Kymmene (Metsä), korjuu- ja kehittämisspäällikkö Jari Hurskainen, Metsäliitto Osuuskunta, tutkimuspäällikkö Jukka Ranua, Metsä-Serla Oyj (Tutkimuskeskus), resurssipäällikkö Pekka Hanhimäki ja hankintapäällikkö Ahti Ullgren, Stora Enso Oyj (Metsä) sekä erikoistutkija Olavi Pennanen, Metsäteho Oy.

## TIIVISTELMÄ

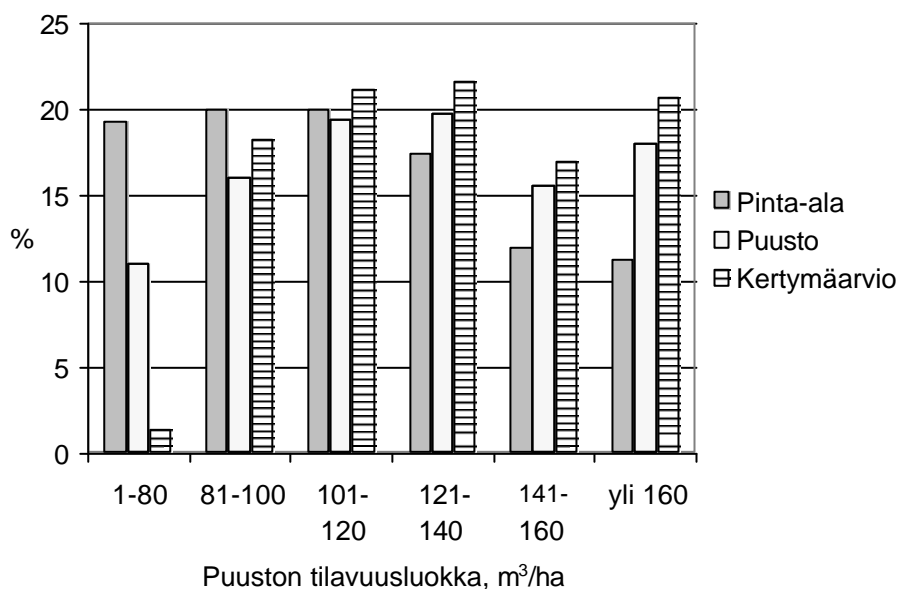
Tavoitteena oli tuottaa tietoa ensiharvennusemetsien ominaisuuksista, määrittää erilaisilta kasvupaikoilta otetuista näytteistä kokeitoin sellun saanto, mitata sellun paperitekniisiä ominaisuuksia sekä kokeilla ja tarkastella vaihtoehtoisia ensiharvennusten energia- ja ainespuun korjuumenetelmiä.

Ensiharvennusemetsien ominaisuuksia kuvattiin Pohjois-Karjalan ja Etelä-Pohjanmaan metsäkeskusten alueilta metsäsuunnitelmätietojen pohjalta. Puuston tarkempaa kuvausta ja energiapuu-ainespuulaskelmia varten metsiköissä tehtiin koelamittauksia.

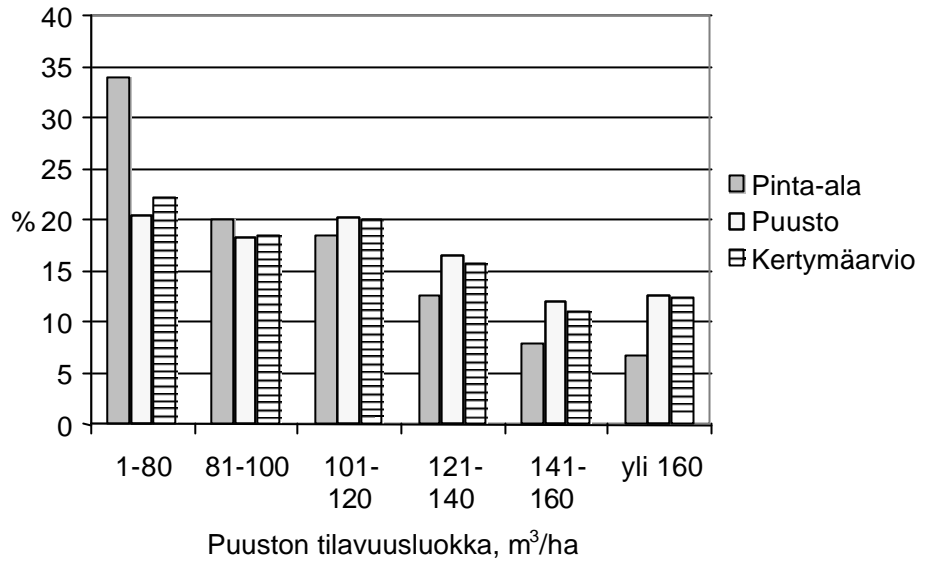
Ensiharvennuspuun selluominaisuuksia määritettiin tuoreen ja kuivahkon kankaan sekä turvemaan männystä sekä tuoreen kankaan ja turvemaan koivusta. Kultakin kasvupaikalta otettiin rinnakkaiset näytteet niin, että toiset katkottiin viiden ja toiset seitsemän sentin minimiläpimittaan. Katkonassa syntyneistä 5 - 7 cm:n paksuisista latvapuukappaleista tehtiin myös kokeitot. Lisäksi kokeisiin otettiin nuoren metsän raivauksessa poistettavia ainespuuta pienempiä puita. Koekeittoeriä oli yli 40.

### Suuri osa ensiharvennusemetsiköistä kunnostushakkuun tarpeessa

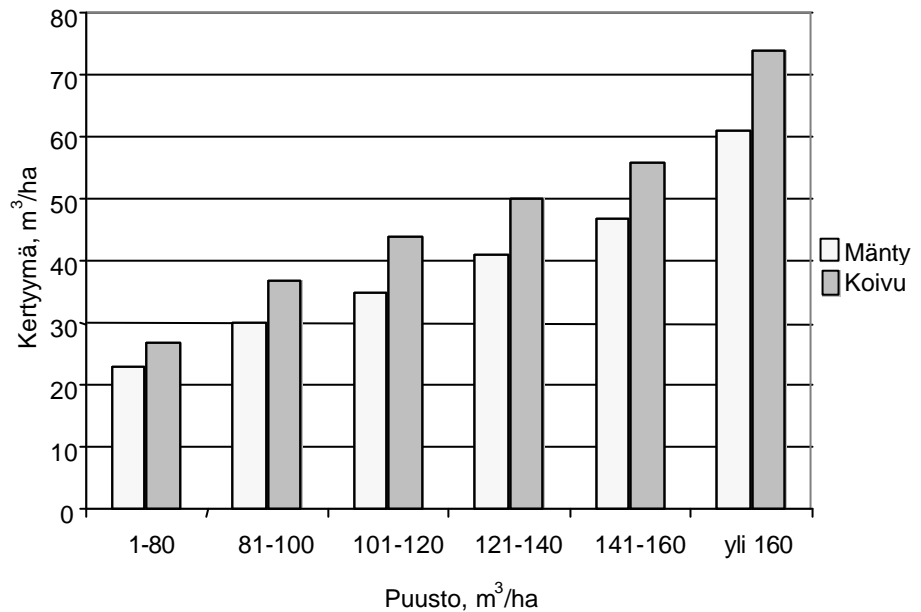
Metsäsuunnitelmien yhteenvedoista poimitujen tietojen mukaan suuri osa metsiköistä, joille oli esitetty ensiharvennus tarpeelliseksi heti tai lähimmän viiden vuoden kuluessa, olisi nuoren metsän kunnostushakkuuseen sopivaa. Kun kunnostusavustukseen hyväksyttävän ainespuukertymän rajana on enintään 30 m<sup>3</sup>/ha, Pohjois-Karjalassa ensiharvennusemetsiköistä lähes 40 % ja koivikoista noin kolmannes voisi olla avustukseen kelpoista.



**Kuva A.** Mäntyvaltaisten ensiharvennusemetsien pinta-alan, puuston määrän ja kertymäarvion jakauma puuston tilavuusluokittain Pohjois-Karjalan metsäkeskuksen alueella.

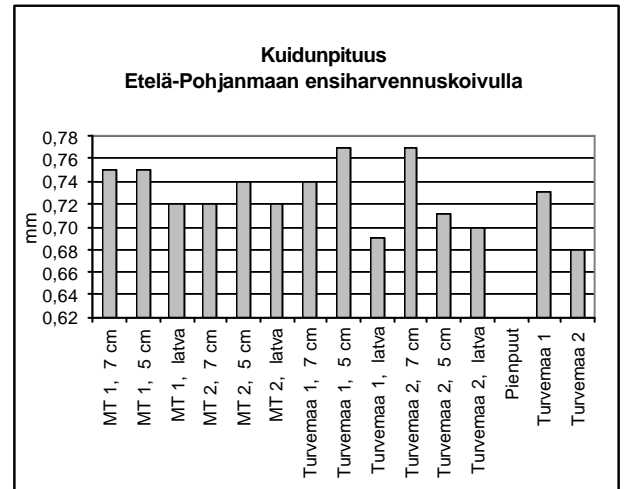
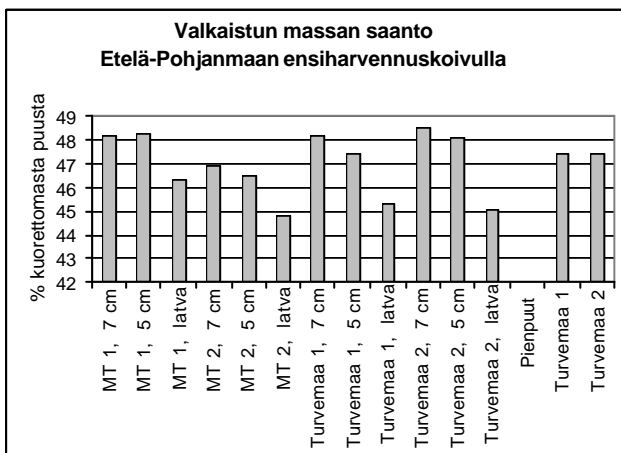
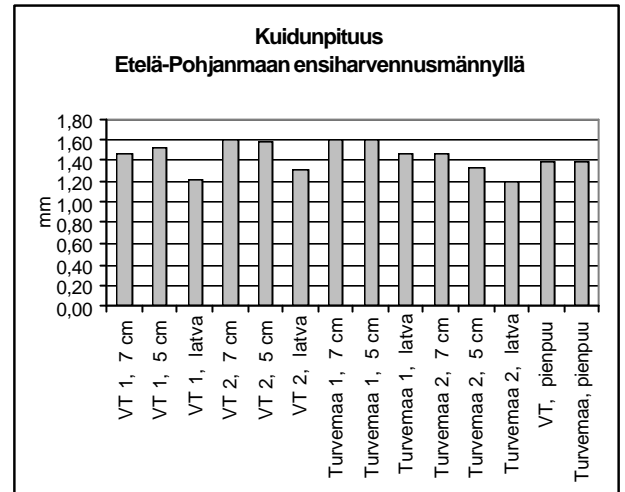
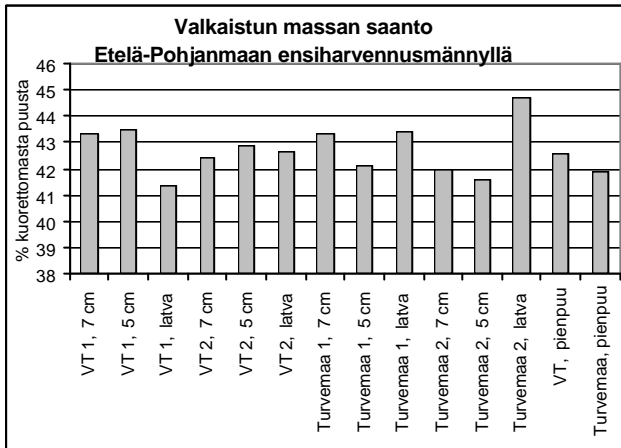
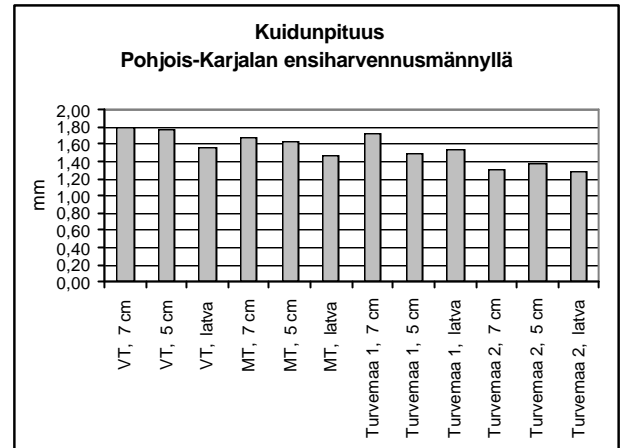
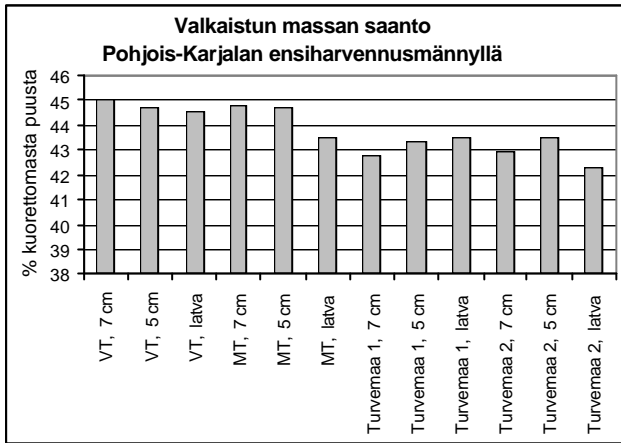


**Kuva B.** Koivuvaltaisten ensiharvennusmetsien pinta-alan, puuston määrän ja kertymäarvion jakauma puuston tilavuusluokittain Pohjois-Karjalan metsäkeskuksen alueella.



**Kuva C.** Ensiharvennusten hehtaarikohtaiset kertymäarviot Pohjois-Karjalan metsäkeskuksen alueella.

Etelä-Pohjanmaan metsäkeskuksen alueella ensiharvennusmetsiköt painottuivat pienempiin tilavuusluokkiin kuin itäsuomalaiset metsiköt. Hehtaarikohtaiset kertymäarviot olivat Etelä-Pohjanmaalla noin 10 - 20 % pienemmät kuin Pohjois-Karjalassa. Hehtaarikohtaisen kertymäarvion perusteella lähes puolet ensiharvennusmetsiköistä kuuluisi nuoren metsän kunnostusavustuksen piiriin.



## **Raivauspuusta lähes ensiharvennuspuun veroista massaa**

Massan saanto ja eräät ominaisuudet, kuten kuidunpituus, olivat ensiharvennuspuulla huonommat kuin tavanomaisella muulla kuitupuulla. Minimilatvaläpimitan muutos 7:stä 5:een senttiin ei juurikaan vaikuttanut massojen ominaisuuksiin, koska läpimitan pienentämisellä saatava raaka-ainelisäys oli pieni. Pelkästä latvapuusta massan saanto ja kuidunpituus sen sijaan olivat selvästi pienemmät kuin paksummasta runkopuusta.

Ainespuun mittavaatimusta pienemmästä puusta, raivauspuusta, saatiin lähes ensiharvennuspuun veroista massaa. Mäntypienpuusta massan saantokin oli ensiharvennuspuun luokkaa, koivupienpuusta saanto oli prosenttiyksikön verran pienempi kuin 7:ään senttiin hakatusta ensiharvennuspuusta.

## **Puun korjuu karsimattomana edellyttää hakkuulaitteiden kehittämistä**

Integroitua korjuuta - käytännössä puun korjuuta oksineen osapuuna tai kokopuuna - on esitetty ratkaisuksi bioenergian saamiseksi kannattavasti talteen myös ensiharvennuksista. Karsimattoman puun korjuuta kokeiltiin sekä hakkuun että metsäkuljetuksen suorittavalla korjuukoneella, ja siitä tehtiin kelloaikatutkimus. Osapuun korjuuseen liittyvää kaato-kasausta kokeiltiin ja tutkittiin pienikokoisella harvennushakkuisiin sopivalla yksiotehakkuukoneella. Kumpikin kokeilu osoitti, että tavanomaisilla hakkuulaitteilla osapuuta ei pystytä valmistamaan siten, että menetelmä olisi kilpailukykyinen tavaralajimenetelmän kanssa. Ennen muuta hakkuulaitteita tulisi kehittää. Keräilykaadon lisäksi tarvitaan vajaakarsinta tai karsinnan sijasta oksien taittaminen puunipun myötäisiksi.

## **Päätelmät**

Ensiharvennuspuusta saadun massan ominaisuudet eivät yksiselitteisesti riippuneet jälleen iästä tai puun kasvunopeudesta. Eri minimilatvaläpimitoilla saatujen massojen ominaisuuserot eivät olleet suuret, mutta erot 5 - 7 cm:n paksuisesta latvapuusta ja sitä paksummasta runkopuusta saatujen massojen välillä olivat selvemmin havaittavissa.

Valkaistun massan saanto oli ainespuun mittavaatimukset alittavasta mäntypienpuusta vain vähän pienempi kuin 7 cm:n latvaläpimitaan otetusta kuitupuusta, ja massaominaisuudet olivat varsin lähellä toisiaan. Koivulla massan saanto oli pienpuusta prosenttiyksikön verran pienempi kuin 7 cm:iin otetusta kuitupuusta. Kuidunpituuden ja muiden paperiteknisten ominaisuuksien erot olivat pienet. Repäisylujuus oli pienpuumassallakin hyvä. Muita ensiharvennuspuumassan hyviä paperitekniisiä ominaisuuksia ovat mm. helpompi ja edullisempi valkaistavuus (koivumassat) ja paremmat optiset ominaisuudet kuin järeästä puusta saadulla massalla. Koivulla ensiharvennusmassan vedenpoistokyky ja lujuus olivat samaa suuruutta kuin tavallisesta kuitupuusta saadulla massalla.



Tässä tutkimuksessa puunäytteitä otettiin erilaisilta kasvupaikoilta. Aineiston määrä jouduttiin rajoittamaan pieneksi. Tämän tapaisia kokeita tulisi tehdä lisää siten, että saataisiin kattavampaa ja paremmin yleistettävää tietoa ensiharvennuspuun korjuu- ja käsittelyketjujen kehittämiseksi.

Minimiläpimitan muutos heijastuu ensiharvennuksessa vain vähän kokonaisuuden ominaisuuksiin ja raivauspuunkin kokoisesta materiaalista saatiin verraten hyvät tulokset. Näyttäisi olevan mahdollista joustaa minimittojen suhteen korjuuvaiheessa. Korjuussa hyödyttäisiin esimerkiksi siitä, että hakkuussa voitaisiin soveltaa keräilykaatoa ja joukkokäsittelyä, jossa tarkkaan minimiläpimitaan katkonnan sijasta tavoiteltaisiin hyvää tuottavuutta ja katkontaa sopivaan kuljetuspituuteen.

Karsimattoman puun korjuuseen ei ole pitkälle kehitettyä kalustoa. Korjuukoneet, joilla tehdään sekä hakkuu että metsäkuljetus, ovat vielä uusia ja omaavat kehityspotentiaalia. Niiden ja eräiden uusien pienehköjen hakkuukoneiden tuottavuus-hintasuhde vaikuttavat sellaiselta, että näillä koneilla tulee olemaan hyvä kilpailukyky.



## 1 TAUSTA JA TAVOITE

Ensiharvennusten vähäisyyteen on viime vuosina kiinnitetty aiempaa enemmän huomiota. Metsätaloudessa pyritään eri keinoin siihen, että ensiharvennukset tulisivat tehdyiksi (Tapion ... 1996 ja 1997). Niiden määrä pitäisi noin kolminkertaistaa. Se merkitsisi ensiharvennuspuun vuotuisen hakkuumäärän lisäystä kolmen miljoonan kuution tasolta yhdeksään miljoonaan (Korpilahti 1997a). Ensiharvennuspuun korjuuta ja hyödyntämistä on jatkuvasti, ja myös bioenergian tutkimusohjelmassa, voimakkaasti kehitetty, mutta varsinaiseen läpimurtoon ei kuitenkaan ole vielä päästy (esim. Kerva 1998, Mäkelä & Ryyänen 1998, Korpilahti 1997b, Ahonen ym. 1996, Rieppo ym. 1996, Lilleberg 1994a ja b, Nevalainen & Kinnunen 1996).

Ensiharvennuspuun osuus massateollisuuden puuraaka-aineesta on pieni. Pelkääntään ensiharvennuspuun käyttöön perustuva tuotanto edellyttäisi, että ensiharvennuspuuta on jatkuvasti saatavilla tuotantolinjan tarpeisiin. Ensiharvennuspuun korjuu ja käsittely erillään muusta puuraaka-aineesta on perusteltua myös siksi, että ensiharvennuspuuta voidaan annostella hallitusti jalostusprosessiin muun raaka-aineen kanssa. Eriytetyn tuotannon mahdollisuuksien ja kannattavuuden arvioimiseksi edellytetään nykyistä parempaa tietoa ensiharvennuspuun ominaisuuksista ja saatavuudesta. Tietoa tarvitaan tuotteiden ja jalostusprosessien ja niitä vastaavan puuraaka-aineen lajittelun kehittämiseksi.

Tässä tutkimuksessa pyritään osaltaan lisäämään ensiharvennuspuuta koskevaa tietopohjaa sekä ensiharvennuspuun teollisen käytön kannalta että puun ohjaamiseksi energiantuotantoon. Tutkimuksen tehtävänä on kartuttaa ensiharvennusmetisien ominaisuustietoja, määrittää kokein sellun saantoa ja paperitekniisiä ominaisuuksia erilaisten kasvupaikkojen ensiharvennuspuusta sekä tarkastella vaihtoehtoisia ensiharvennusten energia- ja ainespuun korjuumenetelmiä.

## 2 TOTEUTUS

### 2.1 Metsikkötietojen hankinta

Metsikkötiedot hankittiin Länsi-Suomesta Etelä-Pohjanmaan ja Itä-Suomesta Pohjois-Karjalan metsäkeskusten alueilta. Etelä-Pohjanmaan alue käsittää 40 kuntaa ja Pohjois-Karjalan 18 kuntaa (kuva 1). Aineistona oli yksityismetsien metsäsunnitelmatiedot. Niistä poimittiin heti tai lähimmän viisivuotiskauden aikana tehtäväksi suositeltujen ensiharvennusmetsiköiden kuviotiedot ja laskettiin mm. ensiharvennusmetsien pinta-ala, puumäärä ja arvioitu kokonais- ja hehtaarikohtainen hakkuukertymä puuston tilavuusluokittain sekä metsiköiden pinta-alajakaumia.



**Kuva 1.** Ensiharvennusemetsien puustotietoja hankittiin Etelä-Pohjanmaan ja Pohjois-Karjalan metsäkeskusten alueilta.

Maastotyönä mitattiin 3,99 m:n säteisiltä ympyräkoaloilta (koealakoko 50 m<sup>2</sup>) puiden rinnankorkeusläpimitat, pituus ja elävän latvuksen alkamiskorkeus. Mittaajat - metsäkeskusten metsätoimihenkilöt - määrittivät koaloilla myös ne puut, jotka tulisi ensiharvennuksessa poistaa. Näiden mittausten perusteella voitiin laskea ainespuun ja energiaositteiden kertymiä erilaisilla minimilatuläpimitoilla. Tällainen tiedonhankinta oli kokeiluluonteista ja kohteiksi valittiin ensisijaisesti rämeen ja kuivahkon kankaan mäntymetsiköitä ja turvemaan ja tuoreen kankaan koivumetsiköitä. Mittauksia tehtiin 56 metsikössä ja yhteensä mitattiin 204 koalaa.

## 2.2 Puuaineen ominaisuustiedot ja koekeidot

Kasvuolojen vaikutusta puuaineen selluominaisuuksiin tutkittiin koekeitoin ja mitaamalla sellun paperitekniisiä ominaisuuksia. Mäntynäytteitä toimitettiin Pohjois-

Karjalasta Kontiolahdelta kahdelta rämeeltä, yksi kuivahkolta (puolukkatyyppin) ja yksi tuoreelta (mustikkatyyppin) kankaalta. Pohjanmaalta Perhosta toimitettiin mäntyä kahdelta rämeeltä ja kahdelta kuivahkon kankaan kasvupaikalta. Koivunäytteistä kaksi oli tuoreelta kasvupaikalta ja kaksi turvemaalta (taulukko 1).

Erikokoisia runkoja otettiin metsiköistä siinä suhteessa, kuin niitä olisi ensiharvennuksessa poistettu. Kultakin kohteelta otettiin rinnakkaisnäytteet siten, että rungot voitiin katkoa 5 ja 7 cm:n minimilatvaläpimittaan (kuoren päältä). Kaikki rungot korjattiin viiden sentin latvaläpimittaan ja rinnakkaisnäyte katkottiin 7-senttiseksi vasta kuorinta- ja haketuspaikalla. Silloin 5 - 7 cm:n latvakappaleetkin otettiin talteen ja koekeittoihin.

Koska aiemmin oli saatu kiinnostavia tuloksia ainespuuhakkeesta, joka oli tehty taimikonhoitokohteelta talteen otetusta puusta (Hämäläinen ym. 1998), otettiin koekeittoihin myös ainespuun minimimittaa pienempiä puita. Pienpuunäytteitä haluttiin tutkia myös siksi, että sellaista puutavaraa olisi runsaasti saatavissa ensiharvennuksista ja nuoren metsän kunnostuskohteilta ojitetuilta turvemailta. Pienpuunäytteet otettiin Pohjanmaalta kuivahkon kankaan ja turvemaan männiköistä ja turvemaan koivikoista (taulukko 1).

TAULUKKO 1 Sellun koekeittoihin ja ominaisuusmäärittelyksiin toimitettiin 41 näytepuuerää

Puulaji ja kasvupaikka	Etelä-Pohjanmaa				Pohjois-Karjala		
	Kuitupu u, latvaläpimitta, cm		Latva- puu, pak- suus, cm	Raiva- ukses- sa ha- kattava	Kuitu- puu, latvalä- pimitta, cm		Latva- puu, pak- suus, cm
	7	5	5 - 7	pienpuu	7	5	5 - 7
	Sellun koekeittojen puunäytteet						
<b>Mänty</b>							
Kuivahko kangas	2	2	2	2	1	1	1
Tuore kangas	-	-	-	-	1	1	1
Turvemaa	2	2	2	1	2	2	2
<b>Koivu</b>							
Tuore kangas	2	2	2	-	-	-	-
Turvemaa	2	2	2	2	-	-	-

Näytepuut kuorittiin ja haketettiin Teollisuuden Hake Oy:n puunkäsittelyasemalla Kuusankoskella. Ainespuun kokoiset puut kuorittiin roottorikuorimakoneella ja tarvittaessa kuorinta viimeisteltiin käsityönä. Pienet latvakappaleet ja pienpuut kuorittiin käsin. Kaikki puuerät haketettiin asemalla tavanomaisen prosessin mukaisesti kiekkohakurilla (Bruks 1702M) ja hake seulottiin. Valmis selluhake otettiin kuljettimelta pyöräkuormaajan kauhaan, jossa haketta vielä sekoitettiin lapioiden ennen säkitystä ja säkityksen aikana.

Pohjois-Karjalan näytteet käsiteltiin ja tutkittiin KCL:ssä. Hakkeiden palakokoja-kauma ja kuiva-tuoretiheys määritettiin. Perinteiset sulfaattikeitot tehtiin 15 litran pyörivissä vastuslämmitteisissä keittimissä. Massat valkaistiin täysvaaleuteen OD(EO)DED-sekvenssillä. Keitoista ja valkaisuista tehtiin perinteiset määritykset (saannot, kemikaalikulutukset). Valkaistut massat jauhettiin PFI-jauhimesta perinteisten paperiteknisten ominaisuuksien (lujuudet, optiset ominaisuudet) määrittämistä varten.

UPM-Kymmene Oyj:n Pulp Center keitti Pohjanmaan näytteet (mänty ja koivu) korikeittoina tuotantoprosessin (SuperBatch) yhteydessä. Massat valkaistiin laboratoriossa täysvaaleuteen OD(EO)D(EP)D-sekvenssillä. Pohjanmaan mänty-näytteiden paperitekniset määritykset tehtiin KCL:ssä ja koivunäytteiden analyysit Pulp Centerissä.

### 2.3 Korjuutekniikkaan liittyvät kokeilut

Tässä yhteydessä oli tarkoitus tutkia uusimpien ensiharvennukseen tarkoitettujen korjuukoneiden tuottavuutta ja soveltuvuutta osapuun korjuuseen. Näistä koneista bioenergian tutkimusohjelmaan kuulunut Eko-Log Oy:n joukkohakkuulaite oli vielä rakenteilla. Velj. Moisio Oy oli kokeillut yhdistelmäkouran prototyyppiä ja uusi laite oli rakenteilla. S. Pinomäki Ky:n ensimmäisen kehitysvaiheen yhdistelmäkouralla varustettuja kuormatraktoreita oli muutama käytössä, mutta varsinaisen korjuukone oli vielä kehitteillä. Ensimmäisen vaiheen koneista oli jo käytettävissä tutkimustietoja. Tässä projektissa tutkittiin Oy Logset Ab:n uutta korjuukonetta sekä Sampo-Rosenlew Oy:n ensiharvennuksiin mitoitettavaa hakkuukonetta. Kummankin koneen hakkuulaitteella voidaan kaatovaiheessa käsitellä vain yhtä puuta kerrallaan. Ensiharvennukseen soveltuvia koneita ja menetelmiä arvioitiin myös ruotsalaisten tutkimustietojen perusteella (Brunberg ym. 1998, Nordén 1998).

Logset SRG 6E (kuva 2) on rakennettu varta vasten yhdistelmäkoneeksi. Hakkuutyön ajaksi kuormatilasta voidaan ottaa pankot ja etusermi pois. Ne nostetaan pois ja asetetaan paikoilleen puutavaranosturilla. Pikakiinnityksen ansiosta toimenpide on nopea kestäen parhaimmillaan vain minuutin verran. Kone oli varustettu ruotsalaisella Pogen 1,0 -yhdistelmäkouralla. Koura painaa 560 kg, sen maksimikatkaisuläpimitta on 48 cm ja kouran koko kuormauksessa on 0,25 m<sup>2</sup>. Koneen omapaino on 15,5 tonnia ja leveys 2,63 metriä. Konetta voidaan luonnehtia yleiskoneeksi, ei erityisesti ensiharvennuskoneeksi.

Sampo-Rosenlew 1046 -hakkuukone (kuva 3) on pienen kokoluokan yksiotte-hakkuukone. Se painaa 5,1 tonnia ja on 2,1metriä leveä. Hakkuulaitteena on Keto 51, joka painaa 350 kg ja jolla maksimikaatoläpimitta on 37 cm. Sampo-hakkuukoneella kokeiltiin osapuun valmistusta ja kaato-kasausta.



**Kuva 2.** Ruotsalainen P-O Gunnarssons Entreprenad'in omistama Logset SRG 6E -korjuukone varustettuna riippuvalla Pendo-ohjaamolla ja pikakiinnitteisillä pankoilla ja etusermillä.



**Kuva 3.** Sampo-Rosenlew 1046 -hakuukone sopii erityisesti harvennus-hakkuisiin.

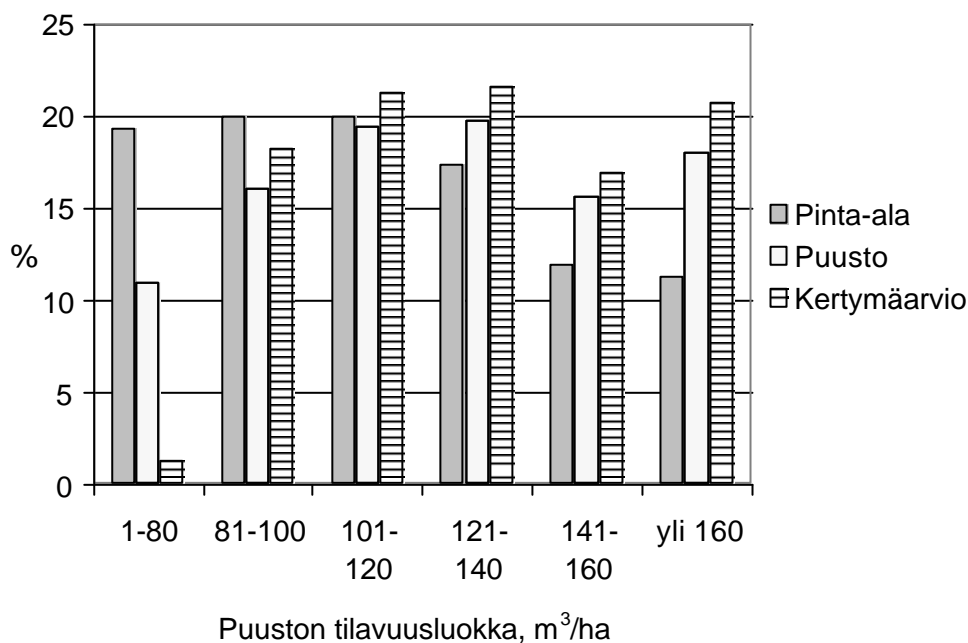
## 3 TULOKSET

### 3.1 Metsikkötiedot

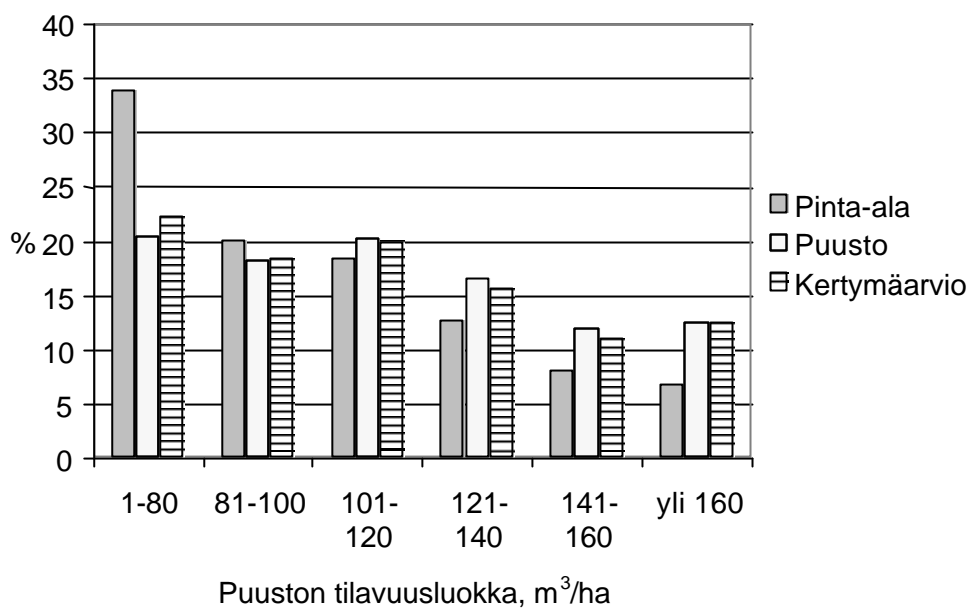
#### 3.1.1 Metsäsuunnitelmatietojen yhteenvedot

Metsäkeskusten laatimista alueellisista metsäsuunnitelmista poimittiin ensiharvennuksia kuvaavia tietoja. Tarkasteluun valituista pääosin enintään 6 vuotta vanhoista suunnitelmista poiminta kohdistettiin sellaisiin mänty- ja koivuvaltaisiin kuviioihin, jotka oli esitetty heti tai lähimmän viiden vuoden kuluessa harvennettaviksi. Pohjois-Karjalan metsäkeskuksen alueella poimintaan otettujen aluesuunnitelmien pinta-ala oli 345 000 ha kattaen 41 % alueen yksityismetsien metsämaasta. Etelä-Pohjanmaalla poimittujen aluesuunnitelmien kattavuus oli 612 000 ha ja 53 % alueen yksityismetsien alasta.

Pohjois-Karjalan aineistossa oli mänty- ja koivuvaltaisia ensiharvennusmetsiä runsaat 51 000 ha, josta mäntyvaltaisten osuus oli 72 %. Tilavuusluokittaisesta tarkastelusta käy ilmi, että koivikoista huomattavan suuri osuus kuului pienimmän tilavuusluokan metsiköihin, männiköt sen sijaan jakautuivat tasaisemmin eri tilavuusluokkiin (kuvat 4 ja 5). Arvioidut kertymät painottuvat koivulla vieläkin enemmän pienen tilavuuden metsiköihin mäntyyn verrattuna. Siihen vaikuttanee ainakin osaksi näiden puulajien erilainen kasvutilan tarve ja metsiköiden käsittelysuositukset.



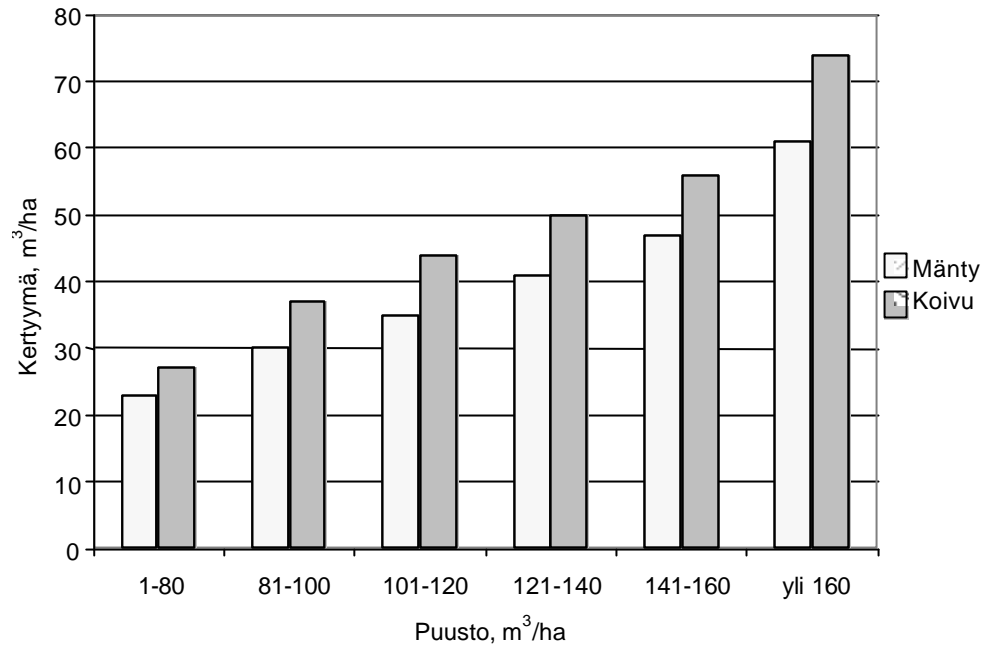
**Kuva 4.** Mäntyvaltaisten ensiharvennusmetsien pinta-alan, puuston määrän ja kertymäärävion jakauma puuston tilavuusluokittain Pohjois-Karjalan metsäkeskuksen alueella.



**Kuva 5.** Koivuvaltaisten ensiharvennusmetsien pinta-alan, puuston määrän ja kertymäärävion jakauma puuston tilavuusluokittain Pohjois-Karjalan metsäkeskuksen alueella.

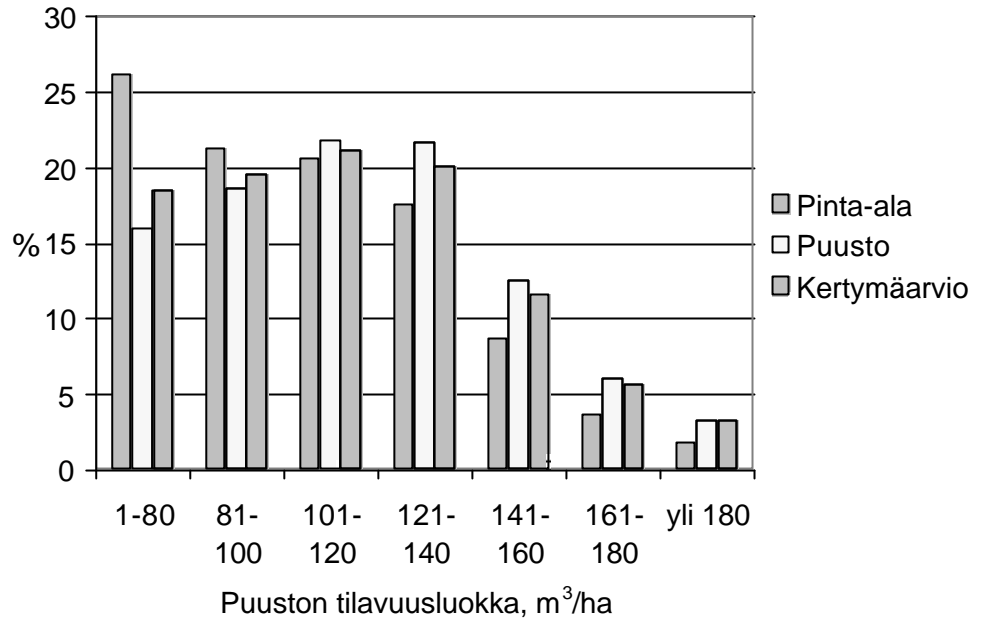
Tilavuusluokittaiset kertymääräviot vaihtelivat 23:sta 74:ään m<sup>3</sup>/ha (kuva 6). Hehtaariohtaiset kertymät olivat kaikissa tilavuusluokissa koivulla suuremmat kuin männyllä. Kun nuoren metsän kunnostusavustukseen hyväksyttävän ainespuukertymän rajana on enintään noin 30 m<sup>3</sup>/ha, voisi tämän aineiston männiköistä lähes 40 % ja koivikoista noin kolmannes olla siihen kelvollisia.



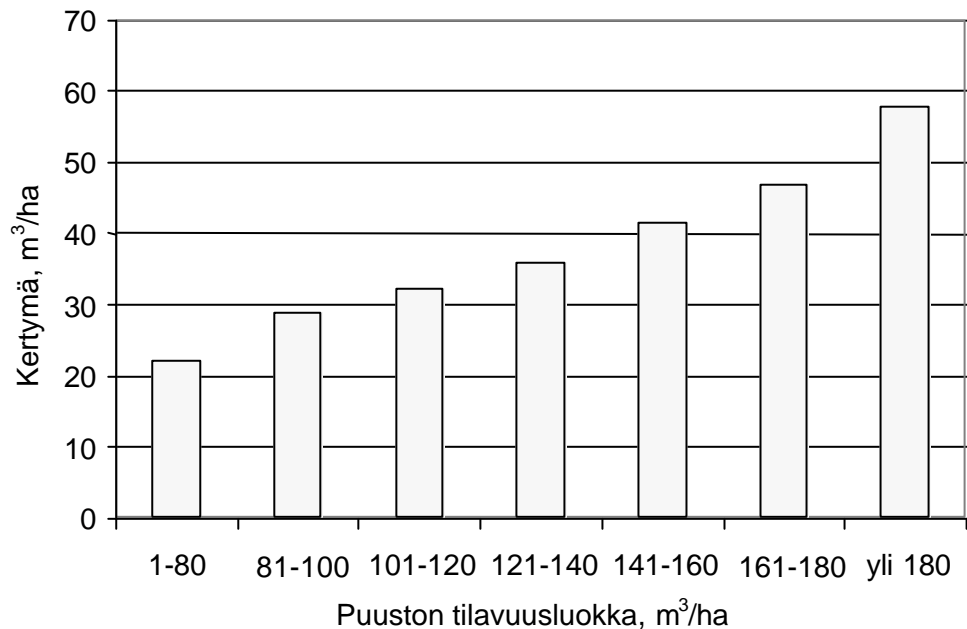


**Kuva 6.** Ensiharvennusten hehtaarikohtaiset kertymäärviot Pohjois-Karjalan metsäkeskuksen alueella.

Etelä-Pohjanmaan metsäkeskuksen aineistossa oli mänty- ja koivuvaltaisia ensiharvennusmetsiä lähes 82 000 ha. Näistä mäntyvaltaisia metsiä oli 80 %. Alueen pohjoisosassa, aiemman Keski-Pohjanmaan metsäkeskuksen eteläosassa, koivumetsiköt olivat hieman yleisempiä, siellä mäntyvaltaisten metsien osuus oli 77 %. Tilavuusluokittainen tarkastelu osoittaa, että eteläpohjanmaalaiset metsiköt sijoittuvat selvästi pienempiin tilavuusluokkiin kuin itäsuomalaiset metsiköt (kuva 7). Hehtaarikohtaiset kertymäärviot (kuva 8) olivat Etelä-Pohjanmaalla noin 10 - 20 % pienemmät kuin Pohjois-Karjalassa. Hehtaarikohtaisen kertymäärviot perusteella lähes puolet ensiharvennusmetsiköistä voi kuulua nuoren metsän kunnostusavustuksen piiriin.

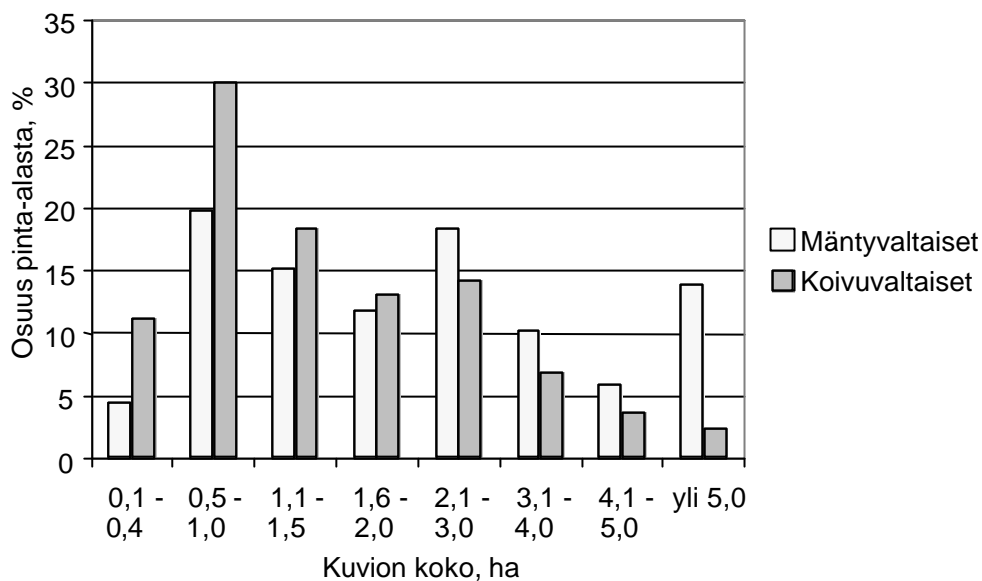


**Kuva 7.** Ensiharvennusmetsien pinta-alan, puuston määrän ja kertymäärviön jakauma puuston tilavuusluokittain Etelä-Pohjanmaan metsäkeskuksen alueella.

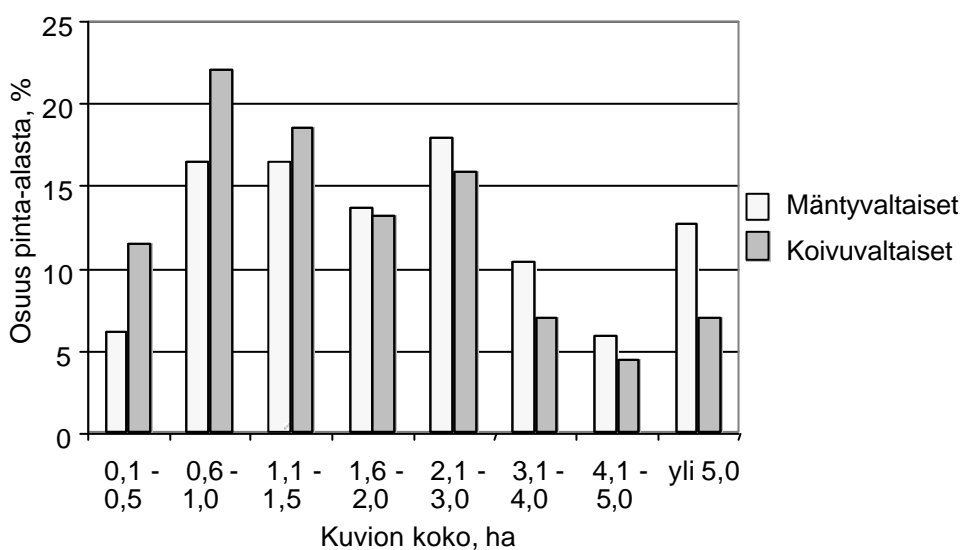


**Kuva 8.** Ensiharvennusten hehtaarikohtaiset kertymäärviöt Etelä-Pohjanmaan metsäkeskuksen alueella.

Ensiharvennuskuvioiden pinta-alajakaumat olivat kummankin metsäkeskuksen alueella pääosin samantapaiset (kuvat 9 ja 10). Pienialaisia koivumetsiköitä oli enemmän kuin pieniä mäntymetsiköitä. Enintään yhden hehtaarin suuruisten metsiköiden osuus oli männyllä 23 - 25 ja koivulla 34 - 41 %. Yli kolmen hehtaarin suuruisten kuvioiden osuus puolestaan oli männyllä 29 - 30 ja koivulla 14 - 19 %. Männyllä oli suuria, yli viiden hehtaarin kuvioita runsaasti, niiden pinta-alaosuus oli 13 - 14 %. Koivulla sen sijaan niin suuria kuvioita oli vähän. Nämä pinta-ala tiedot eivät suoraan kuvaa korjattavien leimikoiden kokoa, sillä leimikko käsittää yleensä useita kuvioita.



**Kuva 9.** Ensiharvennuskuvioiden jakaumat kuvion koon mukaan Pohjois-Karjalan metsäkeskuksen alueella.



**Kuva 10.** Ensiharvennuskuvioiden jakaumat kuvion koon mukaan

Etelä-Pohjanmaan metsäkeskuksen alueella.

Metsäsuunnitelmiin on sisällytetty tietoa myös energiapuun määristä. Kertymäärivossa esitetään pääpuulajien lisäksi kohdassa 'Muun puulaji' haavan, lepän jne. kertymä. Se voidaan pääosin olettaa energiapuuksi. Sen lisäksi kuviotietoihin on 1990-luvun alkupuolelta lähtien sisällytetty arvio korjattavissa olevan energiapuun määrästä. Muun puulajin osuudet ainespuun kertymäärivioista olivat kummankin tarkastellun metsäkeskuksen alueella koivuvaltaisissa ensiharvennuksissa suuret, 24 - 26 % (taulukko 2). Pohjanmaan alueella on myös mäntyvaltaisissa metsiköissä vähempiarvoista, energiapuuksi sopivaa muuta puuta kuin pääpuulajeja huomattavan runsaasti.

**TAULUKKO 2** Pääosin energiapuuksi soveltuvan muun puulajin osuus ainespuukertymästä metsäsuunnitelmien mukaan mänty- ja koivuvaltaisissa ensiharvennuksissa

Metsäkeskuksen alue	'Muun puulajin' osuus ensiharvennuskertymästä, %	
	Mäntyvaltaiset	Koivuvaltaiset
Pohjois-Karjala	8	24
Etelä-Pohjanmaa	19	26

Ainespuun mittoja pienempää eli varsinaista energiapuuta oli esitetty olevan korjattavissa Pohjois-Karjalassa vain 4 %:lla ensiharvennuskertymän alasta, kun vastaava arvio Etelä-Pohjanmaalla oli 15 %. Koivuvaltaisista metsistä arviot olivat Pohjois-Karjalassa 10 ja Etelä-Pohjanmaalla 24 %. Keskimääräinen hehtaarikohtainen kertymäärä arvio oli Pohjois-Karjalassa runsaat 20 m<sup>3</sup> ja Etelä-Pohjanmaalla 15 m<sup>3</sup>:n luokkaa. Energiasisällöltään ne olisivat 30 - 35 MWh/ha.

### 3.1.2 Tulokset koealamittauksista

Koealamittausten tarkoituksena oli tuottaa lähtötietoja energia- ja ainespuun määrien laskentaa varten. Mittaukset kohdistettiin männylle ja koivulle tyypillisille kasvupaikoille, mutta myös kangasmaan ja turvemaan puustojen eroa haluttiin selvittää. Taulukoissa 3 - 5 esitetään poistumaa koskevat tulokset, kun minimiläpimitta oli 7 ja 5 cm sekä kokopuuna (latva 0 cm). Kokopuuvaihtoehdossa poistumaan laskettiin kaikki rinnankorkeudelta vähintään 3 cm täyttävät puut. Rungon keskikoko tarkoittaa koko rungon kuorellista tilavuutta latvapuu mukaan lukien. Ainespuun kertymä tarkoittaa runkopuuta kuorineen annettuun minimiläpimittaan asti. Energiajake käsittää pelkästään edellä mainittuun minimiläpimitan täyttävään ainespuuosaan kuuluvan elävien oksien massan ja havupuilla myös neulasen. Kasvatettavaksi jäävän puuston määrä oli noin 1 000 kpl/ha.

Ensiharvennusvaiheessa poistettavaksi arvioitujen mäntyjen keskikoko oli kangasmailla 80 dm<sup>3</sup>:n luokkaa ja rämetyyppisillä turvemilla 50 - 70 dm<sup>3</sup>, kun latvaläpimitta oli 7 cm. Ainespuun kertymät olivat noin 40 - 70 m<sup>3</sup>/ha, turvemilla vähemmänkin. Ainespuun mukana kertyi oksamassaa 10 - 17 m<sup>3</sup>/ha.

Kun laskennassa käytettiin pienempää (5 cm) läpimittavaatimusta, harvennuksessa poistettavien puiden lukumäärä lisääntyi ja keskikoko pieneni voimakkaasti. Samalla ainespuun kertymät suurenivat 1,15 - 1,34-kertaisiksi (kunnostushakkuun luonteisissa kohteissa paljon enemmänkin) ja oksamassakertymät 1,3 - 1,6 - kertaisiksi. Turvemalla kasvuolot vaihtelevat enemmän kuin kankailla, ja siksi niiden puustojen ominaisuusvaihtelu on suurta verrattuna melko selväpiirteisten kangasmaan kasvupaikkojen puustoihin.

Ensiharvennuskoivun keskikoko oli tyypillisessä kohteessa 60 dm<sup>3</sup>:n luokkaa, mutta tiheissä metsiköissä selvästi pienempi. Koivun latvusrakenne on erilainen kuin männyn, ja siksi koivusta kertyy oksamassaa 7 cm:n latvaläpimittaan vain vähän. Siksi koivun korjuu kokopuuna lisääkin biomassakertymää paljon. Varsinkin reheville turvemaille (korvet) syntyy runsaasti luontaista koivua ja runkoluku saattaa olla suuri ensiharvennusvaiheessa. Jos koivua voidaan hyödyntää pieneen läpimittaan ja ottaa pienikokoisetkin puut talteen, sekä ainespuun että polttojakeen kertymä saadaan oleellisesti suuremmaksi kuin tavanomaisessa 7 cm:n minimiläpimittaan perustuvassa korjuussa.

TAULUKKO 3 Ensiharvennusmänniköiden ja -koivikoiden poistuman tunnuslukuja erilaisten minimilatvaläpimittojen mukaan Pohjois-Karjalassa

Metsikkö	Latva	Poistuma	Keskikoko	Ainespuuta		Energiaaiaetta	
	cm	kpl/ha	dm <sup>3</sup> /r	m <sup>3</sup> /ha	suhteell.	m <sup>3</sup> /ha	suhteell.
VT mänty	7	725	80	50,5	1,00	12,7	1,00
	5	942	68	57,9	1,15	15,4	1,21
	0	1175	57	61,6	1,22	17,2	1,36
MT mänty	7	833	83	63,4	1,00	16,2	1,00
	5	1033	70	69,5	1,10	19,0	1,17
	0	1183	62	72,9	1,15	20,9	1,29
Turvemaa mänty	7	814	52	37,0	1,00	10,2	1,00
	5	1114	43	44,8	1,21	13,7	1,34
	0	1329	37	48,8	1,32	16,3	1,60
OMT koivu	7	900	77	60,7	1,00	5,7	1,00
	5	1033	70	68,5	1,13	7,3	1,28
	0	1100	66	72,5	1,19	9,2	1,61
MT koivu	7	667	56	32,5	1,00	3,6	1,00
	5	1200	38	41,9	1,29	5,3	1,47
	0	1267	36	45,5	1,40	7,0	1,94
Turvemaa koivu	7	1000	56	48,2	1,00	5,7	1,00
	5	1533	43	60,5	1,26	7,8	1,37
	0	2053	34	68,7	1,43	10,8	1,89

TAULUKKO 4 Ensiharvennusmänniköiden poistuman tunnuslukuja erilaisten minimiläpäläpimittojen mukaan Etelä-Pohjanmaalla

Metsikkö	Latva	Poistuma	Keskikoko	Ainespuuta		Energiaaiaetta	
	cm	kpl/ha	dm <sup>3</sup> /r	m <sup>3</sup> /ha	suhteell.	m <sup>3</sup> /ha	suhteell.
VT Soini	7	800	101	74,2	1,00	13,9	1,00
	5	1000	84	81,2	1,09	16,2	1,17
	0	1300	66	85,4	1,15	17,9	1,29
VT Kauhajoki	7	600	82	46,5	1,00	17,6	1,00
	5	967	57	53,7	1,15	21,1	1,20
	0	1767	33	59,1	1,27	24,1	1,37
VT soist. Kauhajoki	7	650	46	25,2	1,00	5,4	1,00
	5	1175	33	35,5	1,41	9,2	1,71
	0	1717	24	41,0	1,63	12,3	2,30
VT Veteli	7	560	86	44,0	1,00	11,2	1,00
	5	780	66	49,4	1,12	13,1	1,17
	0	1400	39	54,7	1,24	14,9	1,33
Turvemaa Soini	7	533	77	37,4	1,00	10,9	1,00
	5	867	53	44,0	1,18	13,3	1,22
	0	1667	30	50,0	1,34	16,2	1,49
Turvemaa Kauhajoki	7	175	53	8,4	1,00	3,3	1,00
	5	450	31	12,9	1,54	5,1	1,55
	0	1225	15	18,3	2,18	7,9	2,39
Turvemaa Veteli	7	1000	70	63,3	1,00	17,4	1,00
	5	1171	62	70,4	1,11	20,8	1,20
	0	1686	45	75,6	1,19	23,5	1,35

TAULUKKO 5 Ensiharvennuskoivikoiden poistuman tunnuslukuja erilaisin minimiläpimittavaatimuksin Etelä-Pohjanmaalla

Metsikkö	Latva	Poistuma	Keskikoko	Ainespuuta		Energiaaiaetta	
	cm	kpl/ha	dm <sup>3</sup> /r	m <sup>3</sup> /ha	suhteell.	m <sup>3</sup> /ha	suhteell.
MT Kauhajoki	7	1067	66	60,7	1,00	6,3	1,00
	5	1467	52	71,5	1,18	8,3	1,32
	0	1733	45	77,2	1,27	10,7	1,70
MT Veteli	7	1050	61	56,3	1,00	12,5	1,00
	5	1650	45	70,4	1,25	17,7	1,42
	0	2900	28	82,1	1,46	25,0	2,00
Turvemaa Soini	7	800	98	72,8	1,00	9,9	1,00
	5	1025	80	79,3	1,09	11,5	1,16
	0	1150	72	82,6	1,13	13,4	1,35
Turvemaa Kauhajoki	7	1534	39	45,4	1,00	8,3	1,00
	5	2534	30	68,1	1,50	14,5	1,75
	0	4467	19	86,2	1,90	21,3	2,57

Edellä olevista tiedoista voidaan laskea myös ainespuun hankinnasta erillisenä tehtävän puupolttoaineen korjuun kertymiä. Jos esimerkiksi viimeisenä esitetystä turvemaan koivikosta Kauhajoella korjataan energiapuu ainespuun hakkuun jälkeen, saadaan runkopuuta  $86,2 - 45,4 = 40,8$  ja vastaavalla tavalla laskien oksamassaa  $13,0 \text{ m}^3/\text{ha}$ .

### 3.2 Puuaineen ominaisuudet ja koekeittojen tulokset

Kaikki sellumäärityksiin hankitut näytepuuerät toimitettiin Teollisuuden Hake Oy:lle Kuusankoskelle, jossa ne hakettiin hyvin kuorittuina kiekkohakulla. Käsitteilyyn kuului haketusaseman tuotantolinjan tavanomainen seulontakäsittely, jossa purujae poistettiin ja ylisuuret palat hakettiin pienemmiksi.

Koska erikokoisia näytepuita otettiin pareittain 5 ja 7 cm:n latvaläpimittoihin katkontaa varten, olivat kummatkin erät lähes identtiset 7 cm:n läpimitaan asti, mikä myös laskemalla todettiin. Viiden sentin minimiläpimitaan mukaan otetut pienet puut vähensivät kuitenkin keskimääräisiä tunnuslukuja selvästi (taulukot 6 ja 7, kuvat 12 ja 13).

TAULUKKO 6 Koekeittoihin toimitettujen mäntynäytteiden kuvaus

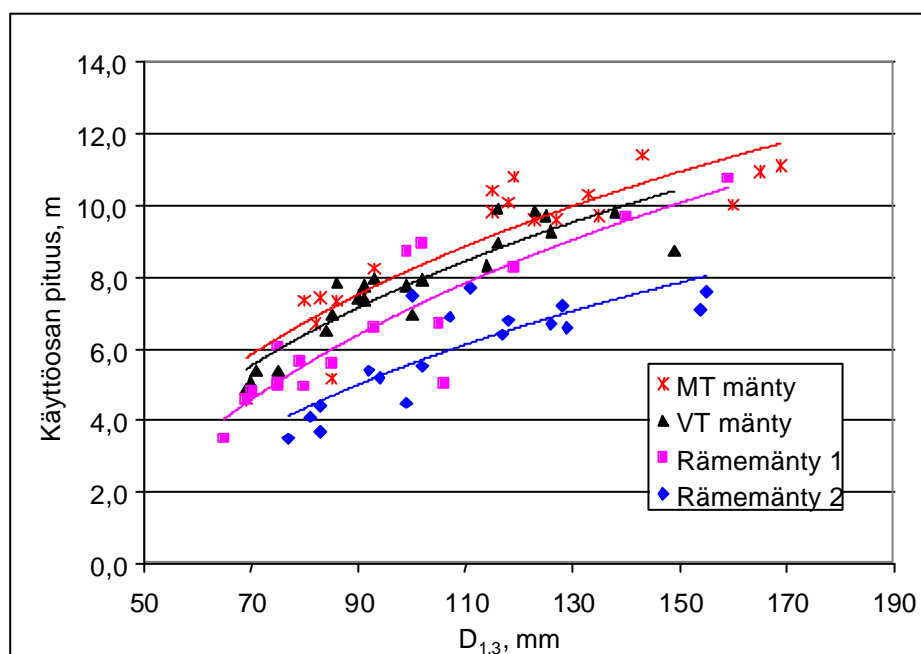
Näyte	D1.3 mm	Ikä v	D/ikä mm/v	Keskikoko dm <sup>3</sup> /r
Mänty Pohjois-Karjalasta				
VT				
7 cm	107	39	2,7	46,2
5 cm	96	39	2,5	36,8
MT				
7 cm	124	37	3,4	70,7
5 cm	109	36	3,0	54,2
Turvemaa 1				
7 cm	104	42	2,5	44,8
5 cm	89	40	2,2	29,1
Turvemaa 2				
7 cm	118	28	4,2	47,8
5 cm	103	29	3,6	33,3
Mänty Etelä-Pohjanmaalta				
VT 1				
7 cm	117	33	3,5	63,4
5 cm	102	34	3,0	48,6
VT 2				
7 cm	116	39	3,0	65,9
5 cm	100	40	2,5	52,0
Turvemaa 1				
7 cm	113	35	3,2	61,1
5 cm	100	34	2,9	47,9
Turvemaa 2				
7 cm	108	68	1,7	53,0
5 cm	99	65	1,6	44,2
Pienpuut				
VT	57			11,6
Turvemaa 2	58			11,1



TAULUKKO 7 Koekeittoihin toimitettujen koivunäytteiden kuvaus

Näyte	D1.3 mm	Ikä v	D/ikä mm/v	Keskikoko dm <sup>3</sup> /r
Koivu Etelä-Pohjanmaalta				
MT 1				
7 cm	111	39	2,9	69,1
5 cm	102	36	2,9	58,2
MT 2				
7 cm	113	43	2,5	65,9
5 cm	100	43	2,3	51,0
Turvemaa 1				
7 cm	117	40	3,0	72,0
5 cm	106	37	2,9	56,7
Turvemaa 2				
7 cm	112	33	3,6	74,3
5 cm	102	33	3,2	67,5
Pienpuut				
Turvemaa 1	54			10,5
Turvemaa 2	57			12,5

Pohjois-Karjalan näytteistä toisen turvemaan männyt poikkesivat runkokuodoltaan selvästi muiden kohteiden näytepuista. Kuten edellä olevasta taulukosta 6 käy ilmi, ne olivat kasvaneet paksuutta nopeasti. Kohteen puut olivat kuitenkin selvästi muiden kohteiden puita lyhyempiä, kuten pituuskäyristä näkyy (kuva 11).



**Kuva 11.** Pohjois-Karjalan mäntynäytepuiden pituushavainnot ja tasoitetut pituuskäyrät.



**Kuva 12.** Sellumäärityksiin Etelä-Pohjanmaalta ensiharvennuksista toimitettuja 5 ja 7 cm:n latvaläpimitaan katkottuja koivuja ja mäntyjä.



**Kuva 13.** Sellumäärityksiin Etelä-Pohjanmaalta toimitettuja pienikokoisia mäntyjä ja koivuja.

### 3.2.1 Mäntykeittojen tulokset

#### Hakeanalyysit

Näytepuiden haketuksessa saatiin palakooltaan varsin samankaltaisia hakkeita. SCAN-seulonnan mukaiset hyväksytyt jakeen osuudet olivat 88 - 91 %. Ainespuun mitat alittavasta pienpuusta saadun hakkeen palakoko painottui kuitenkin enemmän pienempiin jakeisiin kuin muista näytteistä tehdyn hakkeen.

Pohjois-Karjalan mäntynäytteistä mitatut kuiva-tuoretiheydet ( $400 - 432 \text{ kg/m}^3$ ) olivat hiukan ennakoituja suuremmat. Puolukkatyyppin metsikön näytteiden tiheys oli odotetusti suurempi kuin mustikkatyyppin metsikön näytteiden tiheys. Turvemaan kahden näyteparin tiheyksien ero oli noin  $20 \text{ kg/m}^3$ , mikä oli samansuuruisen kuin puolukka- ja mustikkatyyppin näytteiden välinen ero (taulukko 8). Turvemaan puunäytteet olivat erilaisia, sillä toisen metsikön puut olivat lyhyitä, mutta niiden paksuuskasvu oli ollut nopeaa. Tämän näytteen kuiva-tuoretiheys oli pieni. Aiemmissä tutkimuksissa (Hakkila ym. 1995 ja Imponen ym. 1997) on esitetty, että ensiharvennusmännyn keskimääräinen tiheys puolukkatyyppin (VT) leimikoissa on noin 405 ja mustikkatyyppin (MT) leimikoissa noin  $375 \text{ kg/m}^3$ .

Etelä-Pohjanmaan mäntynäytteistä mitatut kuiva-tuoretiheydet ( $398 - 439 \text{ kg/m}^3$ ) vastasivat puolukkatyyppin metsiköiden osalta aiempia tutkimuksia (keskiarvo  $406 \text{ kg/m}^3$ ). Turvemaan näytteistä mitattiin näitä suurempiakin tiheyksiä (taulukko 9).

Tiheyseroa ei selvästi todettu 5 cm:n ja 7 cm:n minimilatvaläpimitaan otettujen näytteiden välillä. Latvapuun (5 - 7 cm:n paksuinen latvapuun) kuiva-tuoretiheys sen sijaan oli 3 - 7 % pienempi kuin varsinaisten ensiharvennuspunäytteiden. Tuloksia voidaan arvioida siten, että latvaläpimitan pienentäminen seitsemästä viiteen senttiin lisää niin vähän pieniläpimitaisen ja -tiheyksisen latvapuun määrää, ettei se riitä aiheuttamaan merkittävää muutosta koko massan ominaisuuksiin. Pelkän latvapuun (5 - 7 cm paksuusalueelta) tiheys on luonnollisesti pienempi kuin järeämmän runkopuun tiheys.

Latvanäytteistä saatujen hakkeiden kuiva-ainepitoisuudet olivat suuremmat kuin runkopuunäytteiden, mikä voi osin johtua pienikokoisten näytepölkkyjen nopeasta kuivumisesta näytteiden käsittelyn ja haketuksen aikana.

### **Sulfaattikeitot ja valkaisu**

Kuitupuunäytteiden alkuperällä tai minimilatvaläpimitalla ei havaittu olevan vaikutusta prosessoitavuuteen sulfaattimassaksi. Keittymisen ja valkaisun kemikaalikulutusten väliset erot olivat merkityksettömät (taulukot 8 ja 9).

Pohjois-Karjalan ja Etelä-Pohjanmaan näytteiden valkaistujen massojen saannossa havaittiin keskimäärin noin 1 prosenttiyksikön ero edellisten eduksi. Tutkimuksessa käytettyjen massanvalmistusprosessien välisten erojen vuoksi saantoja ei kuitenkaan voida suoraan verrata keskenään. Ero selittyikin osaksi vertailukeitoissa todennetuilla saantoeroilla (laboratoriokeitto antaa hiukan suuremman saannon kuin tehdaskeitto). Kangasmaan metsiköiden osalta saannot olivat Pohjois-Karjalan näytteistä merkittävästi suuremmat kuin Etelä-Pohjanmaan näytteistä, eivätkä massanvalmistusprosessien väliset erot selitä niitä.

Valkaistun massan saanto oli kangasmaiden 5 ja 7 cm:n latvaläpimitaan otetuista kuitupuunäytteistä suurempi kuin turvemaisten kuitupuunäytteistä. Pohjois-

Karjalan näytteillä ero oli 1 - 2 %-yksikköä. Etelä-Pohjanmaan näytteillä se oli pienempi. Pohjois-Karjalan puolukka- ja mustikkatyypin näytteiden välillä ei ollut saantoeroa, ja myös erilaisista puustotunnuksista huolimatta turvemaan näytteistä saatiin keskenään samansuuruiset saannot (taulukot 8 ja 9, kuvat 14 ja 15). Etelä-Pohjanmaan näytteistä kuivahkon kankaan ja puustoltaan samankaltaisen turvemaan näytteistä saannot olivat vaihtelu huomioon otettuna samansuuruiset. Sen sijaan niitä vanhemmasta, hitaasti kasvaneesta turvemaan kuitupuusta saatiin pienempi valkaistun sellun saanto.

Valkaistun massan saanto ei riippunut selvästi ja yksiselitteisesti kuitupuiden minimilatvaläpimitasta. Pohjois-Karjalan kangasmaan metsiköiden näytteistä 5 cm:n latvaläpimita antoi vain hiukan pienemmän saannon kuin 7 cm:n läpimita. Etelä-Pohjanmaan näytteistä tulos oli päinvastainen. Turvemaan näytteistä saadut tulokset olivat niin ikään ristikkäiset. Puiden kasvunopeus (ja siis jällen ikä) ei näyttänyt vaikuttaneen sellun saantoon. Tulos selittyy osin yksittäisten runkojen välisellä suurella hajonnalla (esim. J. Lapin diplomityö 1998).

**Latvapuunäytteistä** massan saannot olivat kangasmaalla noin yhden prosenttiyksikön pienemmät kuin 7 cm:n minimilatvaläpimitaan otetuilla näytteillä. Turvemaan näytteillä erot olivat merkityksettömät. Ääritapauksessa latvapuunäytteille saatiin jopa yli 2 prosenttiyksikköä suuremmat saannot kuin runkopuulle (Etelä-Pohjanmaan turvemaan toinen näyte). Kyseistä tulosta voidaan aiempien tutkimusten valossa (esim. Lappi 1998) kuitenkin pitää epäluotettavana.

**Pienpuunäytteistä** valkaistun massan saanto oli lähes yhtä suuri kuin samanlaisien kasvupaikkojen kuitupuunäytteistä (taulukko 9). VT-mäntynäyte oli yhdistetty näyte kummastakin Etelä-Pohjanmaan puolukkatyypin metsiköstä otetuista pienpuista. Turvemaan näyte oli otettu yhdestä metsiköstä (turvema 2).

TAULUKKO 8 Pohjois-Karjalan mäntynäytteiden keitto- ja analyysitulokset

Näyte	Raaka-aine		Keitto		Valkaisu			
	Kuiva- tuoretiheys kg/m <sup>3</sup>	Kuiva- ainepit. %	Kokonais- saanto % (kappa 27)	Rejetti %	O2-kappa	Akt. Cl kulutus %	Vaaleus %	Valkaistun massan saanto %
VT, 7 cm	429	45,5	48,0	0,6	13,6	5,05	89,6	45,0
VT, 5 cm	430	44,4	47,5	0,5	14,4	5,29	89,5	44,7
VT, latva	400	45,4	47,2	0,5	13,5	5,03	89,8	44,5
MT, 7 cm	407	45,3	47,6	0,4	13,9	5,21	89,4	44,8
MT, 5 cm	412	45,4	47,5	0,5	13,8	5,18	89,2	44,7
MT, latva	383	48,0	46,2	0,7	13,6	4,92	89,8	43,5
Turvemaa 1, 7 cm	432	48,7	45,3	0,6	13,3	4,83	89,3	42,8
Turvemaa 1, 5 cm	425	47,9	46,2	0,7	13,4	5,12	89,7	43,3
Turvemaa 1, latva	416	51,5	46,5	0,7	13,7	5,08	89,3	43,5
Turvemaa 2, 7 cm	400	43,5	45,5	0,7	13,6	4,82	90,0	42,9
Turvemaa 2, 5 cm	410	43,8	45,9	0,6	13,6	4,98	89,9	43,5
Turvemaa 2, latva	382	44,1	45,2	0,7	13,6	5,16	89,7	42,3

TAULUKKO 9 Etelä-Pohjanmaan mäntynäytteiden keitto- ja analyysitulokset

Näyte	Raaka-aine		Keitto		Valkaisu			
	Kuiva- tuoretiheys kg/m <sup>3</sup>	Kuiva- ainepit. %	Kokonais- saanto % (kappa 27)	Rejetti %	O2-kappa	Akt. Cl kulutus %	Vaaleus %	Valkaistun massan saanto %
VT 1, 7 cm	407	41,2	45,6	0,1	15,3	3,82	89,0	43,3
VT 1, 5 cm	400	40,8	45,7	0,0	14,5	4,20	89,4	43,5
VT 1, latva	384	43,8	43,6	0,2	16,0	4,46	89,5	41,3
VT 2, 7 cm	401	42,8	44,8	0,2	15,4	4,17	89,7	42,4
VT 2, 5 cm	416	41,8	45,2	0,1	14,5	3,84	89,4	42,9
VT 2, latva	387	43,8	45,0	0,1	18,7	4,84	89,1	42,7
Turvemaa 1, 7 cm	416	42,5	46,4	0,1	15,0	4,44	89,2	43,3
Turvemaa 1, 5 cm	439	43,2	45,5	0,2	15,3	4,62	88,7	42,1
Turvemaa 1, latva		44,0	46,3	0,3	15,6	4,50	89,6	43,4
Turvemaa 2, 7 cm	416	42,2	44,5	0,1	16,0	4,30	89,4	42,0
Turvemaa 2, 5 cm	398	42,7	43,8	0,1	16,2	4,28	89,8	41,6
Turvemaa 2, latva		44,8	47,7	0,1	17,9	5,04	89,3	44,7
VT, pienpuu	419	45,1	45,4	0,2	21,0	5,76	89,1	42,6
Turvemaa, pienpuu		47,0	44,7	0,1	16,4	4,59	89,4	41,9

### Mäntymassojen kuituominaisuudet

Valkaistujen massojen kuidunpituus ja kuitujen pituusmassa määritettiin Kajaani FS 200 -laitteella. Tuloksista (taulukot 10 ja 11) voidaan havaita, että 7 cm:n latvaläpimitaan otetuista näytteistä saadut massat olivat yleensä pitkäkuituisimmat, ja niiden pituusmassa oli myös suurin. Erot olivat kuitenkin 5 cm:n latvaläpimitaan näytteistä saatuihin tuloksiin nähden pienet, ja kahdessa tapauksessa tulokset olivat jopa ristikkäiset. Latvapuunäytteistä saadut massat sen sijaan olivat lyhytkuituisimmat ja niiden kuitujen pituusmassatkin olivat pienimmät. Pienpuunäytteistä

saatiin pidempää kuitua kuin latvapuusta mutta selvästi lyhyempää kuin tavanomaisesta ensiharvennuspuusta.

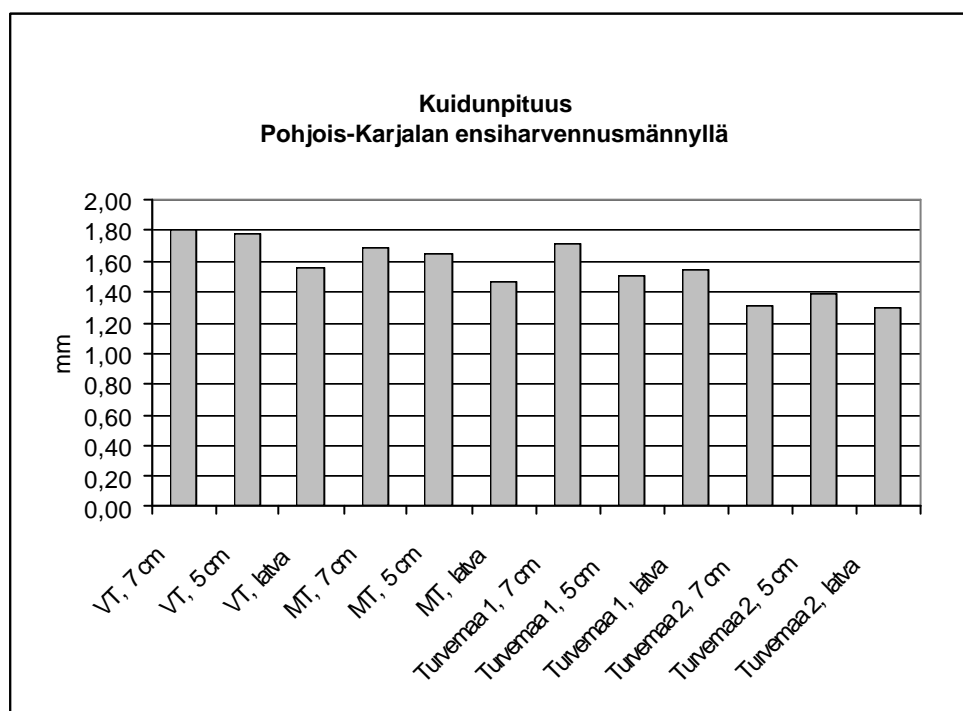
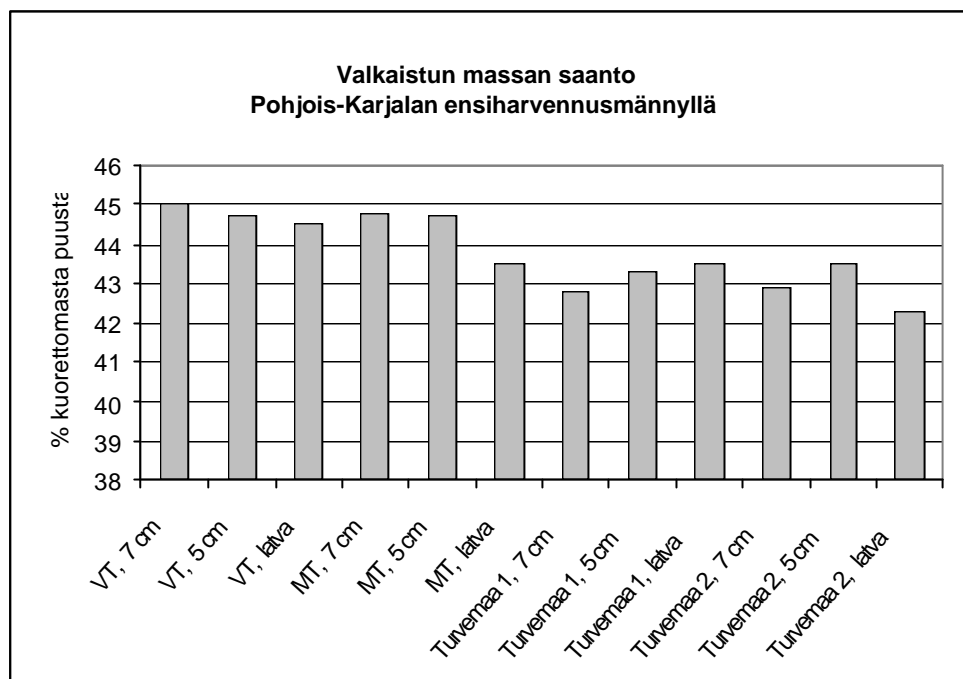
Kasvupaikan merkitys kuituominaisuuksille oli pieni. Kuidunpituutta voidaan selittää paremmin kasvunopeudella siten, että hitaasti kasvaneella puulla kuidunpituus on suurempi kuin nopeasti kasvaneella puulla. Poikkeuksena on kuitenkin hidaskasvuinen Etelä-Pohjanmaan turvemaan männikkö, josta saatiin varsin lyhytkuituista massaa. Koko aineiston lyhytkuituisin massa saatiin kuitenkin Pohjois-Karjalan nopeakasvuisesta turvemaan männiköstä.

TAULUKKO 10 Pohjois-Karjalan mäntymassojen kuituominaisuudet

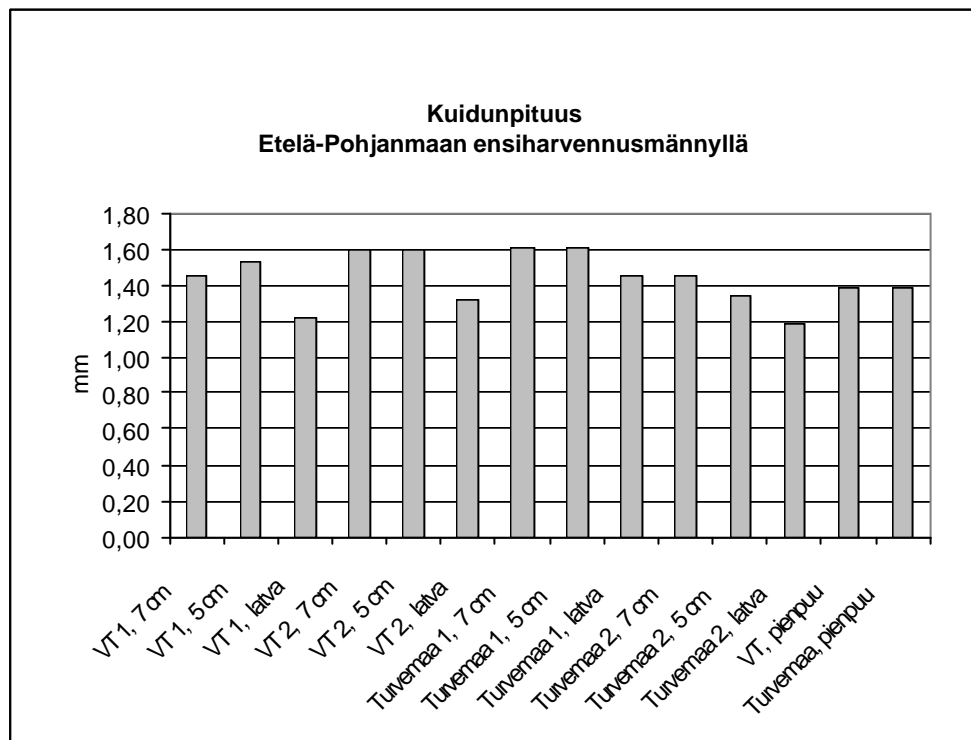
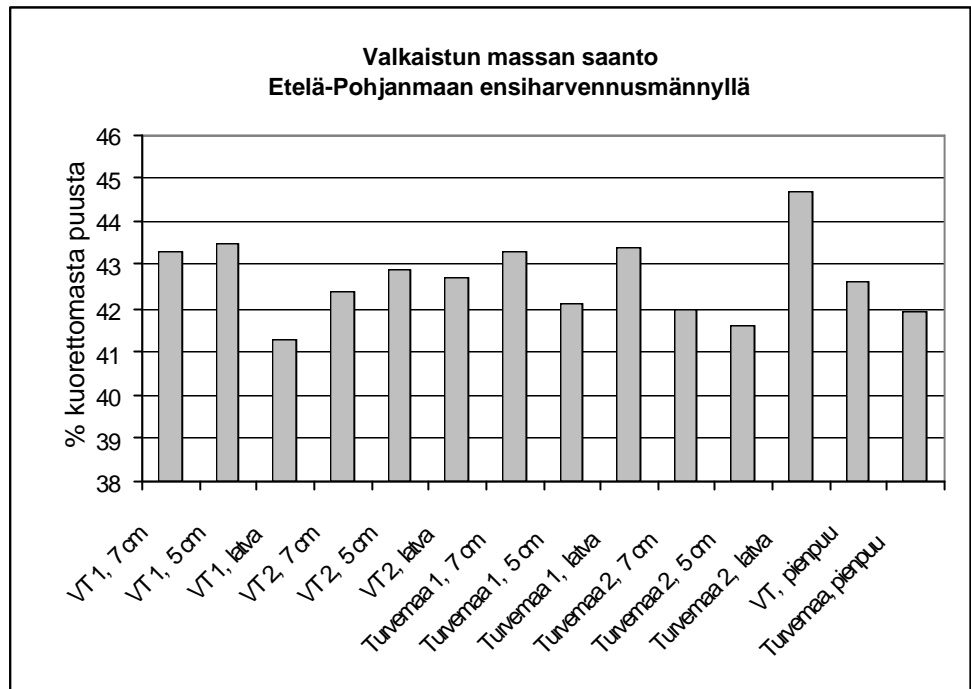
Näyte	Kajaani FS 200				Repäisyind. T70 mNm <sup>2</sup> /g	Armeerauskerroin	
	Kuidunpituus aritm. mm	pit. muk. mm	Pituus- massa mg/m	Kuitujen lukum. milj/g		l/w	T70*l/w
VT, 7 cm	0,93	1,80	0,217	4,96	15,6	8,29	129
VT, 5 cm	0,90	1,77	0,218	5,10	14,9	8,12	121
VT, latva	0,81	1,56	0,197	6,27	14,2	7,92	112
MT, 7 cm	0,87	1,69	0,220	5,22	14,4	7,68	111
MT, 5 cm	0,87	1,65	0,203	5,66	14,0	8,13	114
MT, latva	0,80	1,47	0,170	7,35	14,4	8,65	125
Turvemaa 1, 7 cm	0,84	1,72	0,222	5,36	14,5	7,75	112
Turvemaa 1, 5 cm	0,79	1,51	0,207	6,12	14,4	7,29	105
Turvemaa 1, latva	0,82	1,54	0,201	6,07	15,6	7,66	120
Turvemaa 2, 7 cm	0,70	1,31	0,203	7,04	12,6	6,45	81
Turvemaa 2, 5 cm	0,73	1,38	0,192	7,13	12,2	7,19	88
Turvemaa 2, latva	0,71	1,29	0,174	8,09	12,2	7,41	90

TAULUKKO 11 Etelä-Pohjanmaan mäntymassojen kuituominaisuudet

Näyte	Kajaani FS 200				Repäisyind. T70 mNm <sup>2</sup> /g	Armeerauskerroin	
	Kuidunpituus aritm. mm	pit. muk. mm	Pituus- massa mg/m	Kuitujen lukum. milj/g		l/w	T70*l/w
VT 1, 7 cm	0,77	1,46	0,206	6,30	13,3	7,09	94
VT 1, 5 cm	0,81	1,53	0,213	5,80	13,5	7,18	97
VT 1, latva	0,69	1,22	0,169	8,58	11,1	7,22	80
VT 2, 7 cm	0,83	1,60	0,187	6,44	15,7	8,56	134
VT 2, 5 cm	0,84	1,59	0,209	5,70	13,3	7,61	101
VT 2, latva	0,72	1,32	0,174	7,98	13,1	7,59	99
Turvemaa 1, 7 cm	0,88	1,61	0,213	5,34	15,3	7,56	116
Turvemaa 1, 5 cm	0,89	1,61	0,209	5,38	13,1	7,70	101
Turvemaa 1, latva	0,78	1,46	0,176	7,28	14,1	8,30	117
Turvemaa 2, 7 cm	0,78	1,46	0,205	6,25	13,8	7,12	98
Turvemaa 2, 5 cm	0,73	1,34	0,196	6,99	13,1	6,84	90
Turvemaa 2, latva	0,66	1,19	0,181	8,37	12,0	6,57	79
VT, pienpuu	0,77	1,39	0,192	6,76	14,1	7,24	102
Turvemaa, pienpuu	0,81	1,38	0,182	6,78	15,1	7,58	114



**Kuva 14.** Valkaistun massan saanto ja kuidunpituus Pohjois-Karjalan ensiharvennusmännyllä.



**Kuva 15.** Valkaistun massan saanto ja kuidunpituus Etelä-Pohjanmaan ensiharvennusmännyllä ja pienpuilla.





## Mäntymassojen paperitekniset ominaisuudet

Kuituominaisuuksien erot näkyivät massojen paperiteknisissä ominaisuuksissa (taulukot 12 ja 13, kuvat 16 ja 17). Ensiharvennuspuumassalle tyypillisiä ominaisuuksia verrattuna tavalliseen kuitupuumassaan ovat:

- nopea jauhautuminen
- huono repäisylujuus ja kuidun lujuus (Zero Span)
- tiheä ja tiivis arkki
- hyvä valonsirontakerroin ja sitoutumiskyky (Scott Bond).

Nämä ominaisuudet korostuvat kun ensiharvennusmännyn läpimittaa pienennetään. Latvanäytteet poikkeavat siten massaominaisuuksiltaan eniten tavallisesti käytetystä kuitupuusta. Pohjois-Karjalan turvemaan näytteissä esiintyy kuitenkin poikkeus. Toisesta latvapuunäytteestä saadun massan lujuus oli hyvä, eikä se muiltakaan ominaisuuksiltaan poikennut oleellisesti vastaavista runkopuunäytteistä saaduista massoista. Kuten kuituominaisuuksien perusteella saattoi odottaa, nopeakasvuisesta turvemaan männiköstä saadut erittäin lyhytkuituiset massat olivat lujuuksiltaan heikkoja, mutta sitoutumiskyvyltään koko aineiston parhaita.

Etelä-Pohjanmaan pienpuunäytteiden massaominaisuudet olivat varsin lähellä tavanomaisten ensiharvennuspuunäytteiden massaominaisuuksia.

Pohjois-Karjalan ja Etelä-Pohjanmaan näytteiden massaominaisuuksia ei voi prosessierojen vuoksi suoraan verrata keskenään. Käytävissä olevan vertailutiedon valossa merkittäviä eroja ei esiintynyt; esim. jauhautuvuuden näennäisesti suuri ero (taulukot 12 ja 13) on peräisin keittomenetelmien eroista.

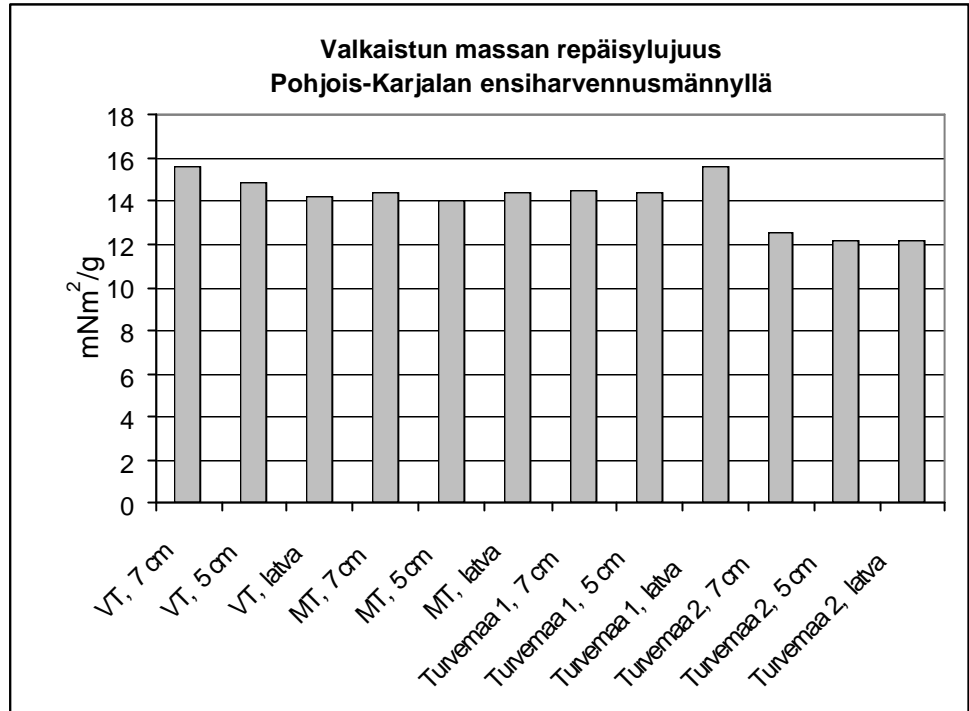
Kuituominaisuudet vaikuttavat merkittävästi sellun ominaisuuksiin. Hyvä lujuus edellyttää yleensä pitkiä kuituja, kun taas lyhyet hennot kuidut parantavat pinta- ja optisia ominaisuuksia.

TAULUKKO 12 Pohjois-Karjalan mäntymassojen paperitekniset ominaisuudet vetoindeksissä 70 Nm/g

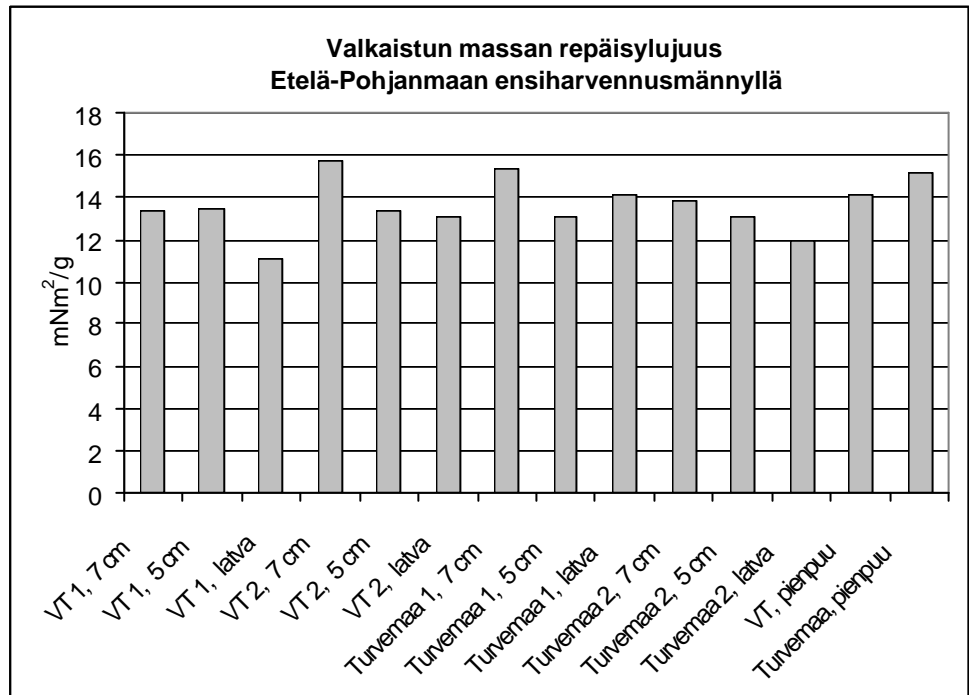
Näyte	Jauhatus- kierrokset	CSF	Zero-span	Repäisy- indeksi	Scott	Bulkki	Valonsironta- kerroin	Ilmanläpäisy- vastus (Gurley)
	PFI	ml	Nm/g	mNm2/g	J/m2	cm3/g	m2/kg	s
VT, 7 cm	1024	639	138,8	15,6	317	1,45	20,1	1,5
VT, 5 cm	1075	634	140,6	14,9	351	1,43	19,8	2,0
VT, latva	879	596	133,0	14,2	383	1,38	21,9	3,5
MT, 7 cm	1127	605	134,2	14,4	358	1,38	20,5	3,4
MT, 5 cm	985	591	137,5	14,0	388	1,39	20,7	3,8
MT, latva	566	585	124,0	14,4	402	1,35	23,1	8,2
Turvemaa 1, 7 cm	831	633	128,7	14,5	364	1,42	20,4	2,3
Turvemaa 1, 5 cm	886	605	129,2	14,4	390	1,39	21,8	3,5
Turvemaa 1, latva	735	594	132,4	15,6	377	1,43	22,2	3,3
Turvemaa 2, 7 cm	955	565	116,3	12,6	467	1,33	21,0	10,6
Turvemaa 2, 5 cm	919	571	116,8	12,2	485	1,32	20,9	9,2
Turvemaa 2, latva	659	517	119,0	12,2	510	1,30	22,8	17,6

TAULUKKO 13 Etelä-Pohjanmaan mäntymassojen paperitekniset ominaisuudet vetoindeksissä 70 Nm/g

Näyte	Jauhatus- kierrokset	CSF	Zero-span	Repäisy- indeksi	Scott	Bulkki	Valonsironta- kerroin	Ilmanläpäisy- vastus (Gurley)
	PFI	ml	Nm/g	mNm2/g	J/m2	cm3/g	m2/kg	s
VT 1, 7 cm	1677	516	115,1	13,3	500	1,33	20,8	8,4
VT 1, 5 cm	2054	497	122,1	13,5	429	1,37	19,9	4,2
VT 1, latva	1764	442	116,1	11,1	660	1,28	21,6	15,9
VT 2, 7 cm	1386	516	117,6	15,7	439	1,37	21,9	4,6
VT 2, 5 cm	1921	529	127,8	13,3	423	1,37	20,1	4,0
VT 2, latva	1188	488	115,5	13,1	560	1,32	23,3	13,5
Turvemaa 1, 7 cm	2104	505	119,0	15,3	386	1,38	20,3	3,4
Turvemaa 1, 5 cm	2310	480	131,0	13,1	440	1,35	19,6	6,0
Turvemaa 1, latva	1540	533	126,4	14,1	484	1,35	24,0	7,7
Turvemaa 2, 7 cm	1735	527	115,0	13,8	466	1,39	21,7	5,6
Turvemaa 2, 5 cm	1891	487	117,7	13,1	487	1,32	21,2	8,2
Turvemaa 2, latva	1294	519	116,8	12,0	610	1,25	21,9	15,4
VT, pienpuu	1407	519	117,9	14,1	461	1,37	22,2	5,4
Turvemaa, pienpuu	1622	463	122,1	15,1	447	1,41	22,9	4,0



**Kuva 16.** Valkaistun massan repäisylujuus Pohjois-Karjalan ensiharvennumännillä.



**Kuva 17.** Valkaistun massan repäisylujuus Etelä-Pohjanmaan ensiharvennusmännällä ja pienpuilla.

### 3.2.2 Koivukeittojen tulokset

Etelä-Pohjanmaan koivunäytteet keitettiin tehdasmittakaavassa korikeitoilla. J-kainen raaka-ainenäyte-erä (yhteensä 14 kpl) keitettiin kolmessa eri keitossa, jotta tuloksiin saatiin tilastollista luotettavuutta. Valkaisut, jauhatukset ja testaukset tehtiin laboratorio-oloissa. Tavoitteena oli selvittää eri harvennuspuunäytteiden saanto- ja lujuusarvoja.

Koivulla valkaistun sellun saanto oli samansuuruinen,  $48,0 \pm 0,5$  %, eri kasvu-paikkojen näytteistä lukuun ottamatta tuoreen kankaan (MT 2) näytettä (taulukko 14 ja kuva 18). Tämän metsikön näytteestä saanto oli  $46,7 \pm 0,2$  %, ja se oli selvästi muista näytteistä saatua pienempi. Kyseisen tuoreen kankaan metsikössä puiden kasvunopeus oli pienempi kuin muissa metsiköissä (taulukko 7).

Minimilatvaläpimitan muutos seitsemästä viiteen senttiin ei juurikaan vaikuttanut sellun saantoon. Vain edellä mainitussa tuoreen kankaan tapauksessa pienempi läpimittavaihtoehto johti vajaan prosenttiyksikön pienempään saantoon. Sen sijaan saanto 5 - 7 cm:n latvapuusta oli 1,9 - 3,4 %-yksikköä pienempi kuin vastaavista 7 cm:n latvaläpimitaan otetuista näytteistä.

Koivulla oli kaksi pienpuunäytettä turvemaan metsiköistä. Niistä sellun saannot,  $47,4 \pm 0,0$  %, olivat noin yhden prosenttiyksikön verran pienemmät kuin vastaavista metsiköistä 7 cm:n latvaläpimitaan otetuista näytteistä ( $48,3 \pm 0,2$  %).

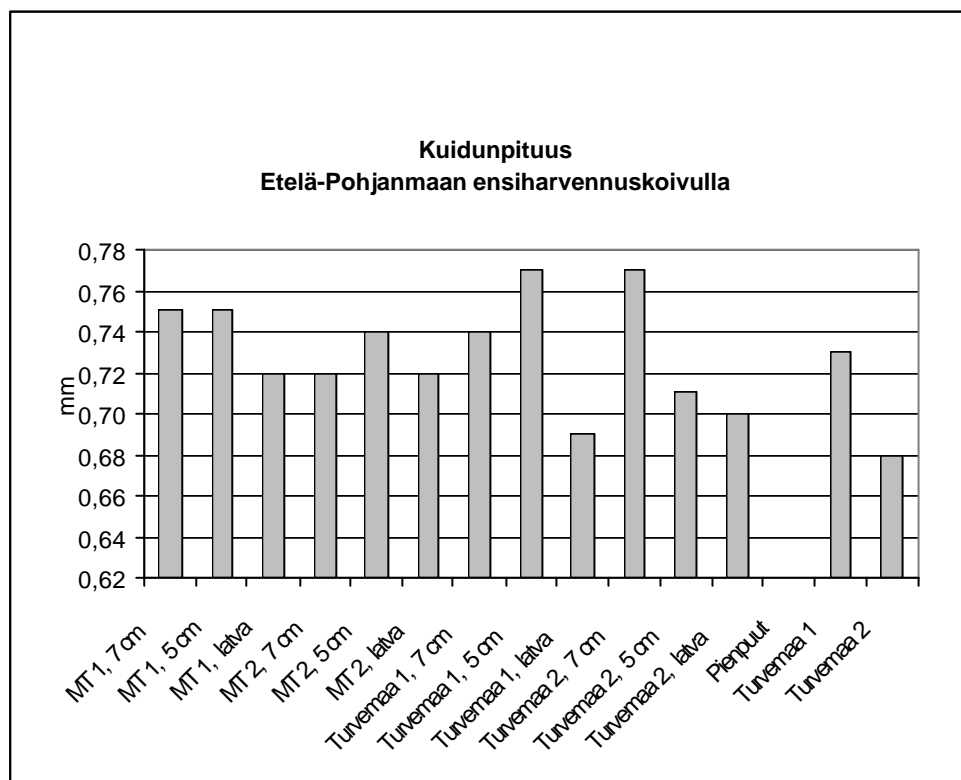
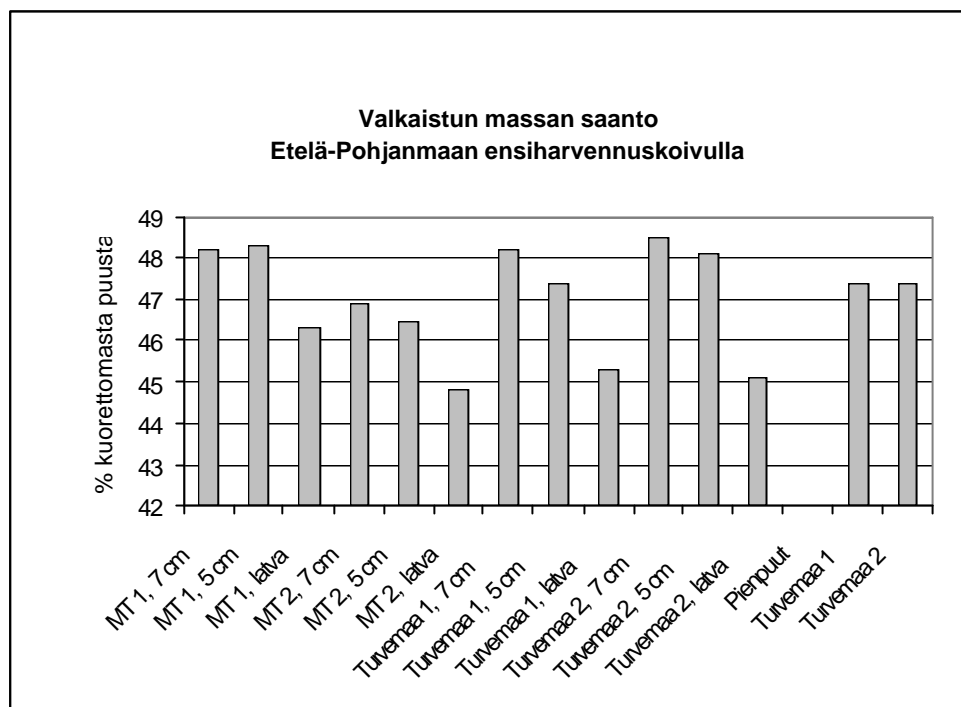
### Koivumassojen kuituominaisuudet

Koivumassojen kuidunpituudet ja pituusmassat vaihtelivat näytteittäin samantapaisesti kuin saannot (taulukko 14). Latvapuun näytteissä oli sekä kuidunpituus että pituusmassat pienempiä, mutta 5 ja 7 cm:n latvaläpimitan kuitupuilla ei nähty selvää trendiä (erot vaihtelivat). Pienpuunäytteistä toisen kuidunpituus oli kuitupuunäytteen veroinen mutta toisella latvapuunäytteen suuruinen.

Ensiharvennuspuun koekeittojen ohella keitettiin referenssinä tavanomaisesta kuitupuusta tehtyä haketta. Siihen nähden saanto ensiharvennuspuusta oli noin 2 %-yksikköä pienempi.

TAULUKKO 14 Etelä-Pohjanmaan koivunäytteiden keitto- ja analyysitulokset

Näyte	Raaka-aine	Keitto	Valkaisu			Paperitekniset ominaisuudet		
	Kuiva- ainepit. %	Saanto (kappa 17) %	Massan saanto %	Kuidun- pituus mm	Pituus- massa mg/m	Jauha- tuskier. PFI	Repäisy- indeksi mNm <sup>2</sup> /g	Valon- sironnak. m <sup>2</sup> /kg
Kasvupaikka ja latvaläpimitta								
MT 1, 7 cm	53,5	50,8	48,2	0,75	0,103	207	7,84	26,2
MT 1, 5 cm	53,2	50,8	48,3	0,75	0,104	174	7,70	27,2
MT 1, latva	53,6	49,2	46,3	0,72	0,090	171	7,84	28,4
MT 2, 7 cm	53,3	49,8	46,9	0,72	0,104	163	8,22	26,9
MT 2, 5 cm	54,4	48,8	46,5	0,74	0,108	180	7,90	28,1
MT 2, latva	56,7	47,5	44,8	0,72	0,099	159	7,76	29,2
Turvemaa 1, 7 cm	51,5	51,0	48,2	0,74	0,107	159	7,52	28,3
Turvemaa 1, 5 cm	52,0	50,5	47,4	0,77	0,107	120	7,18	26,8
Turvemaa 1, latva	52,0	48,1	45,3	0,69	0,088	115	7,04	31,0
Turvemaa 2, 7 cm	51,7	50,9	48,5	0,77	0,105	240	8,66	28,2
Turvemaa 2, 5 cm	52,4	50,9	48,1	0,71	0,107	250	8,18	27,0
Turvemaa 2, latva	55,1	47,9	45,1	0,70	0,096	143	7,42	30,0
Pienpuut								
Turvemaa 1	51,8	50,0	47,4	0,73	0,096	179	8,36	28,4
Turvemaa 2	53,0	50,0	47,4	0,68	0,091	161	8,06	29,6



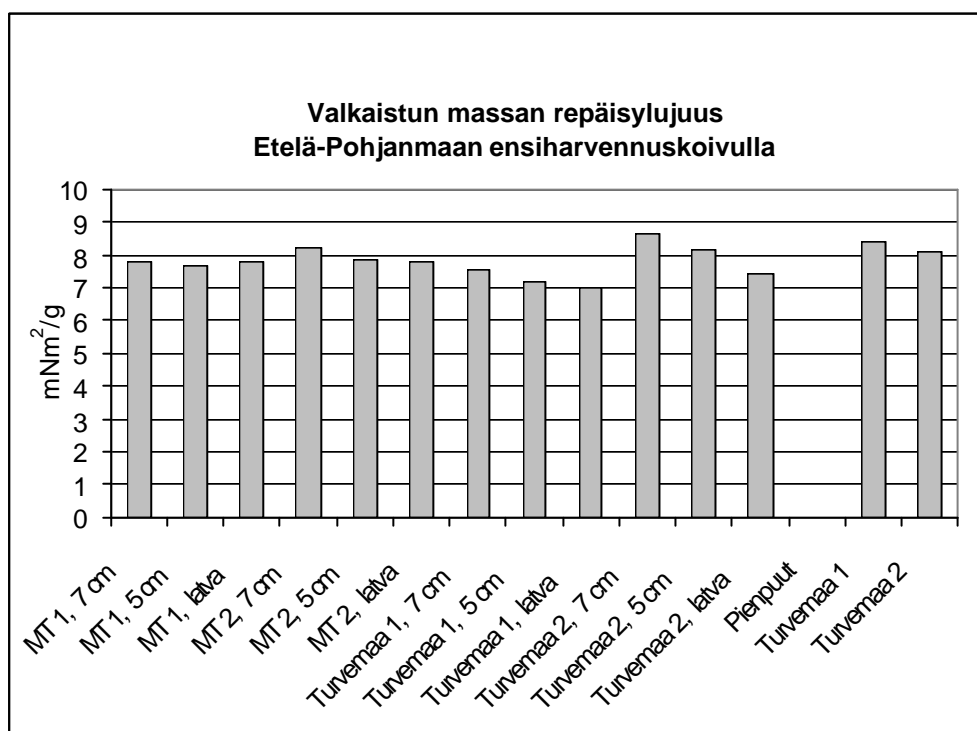
**Kuva 18.** Valkaistun massan saanto ja kuidunpituus Etelä-Pohjanmaan ensiharvennuskoivulla ja pienpuilla.



## Koivumassojen paperitekniset ominaisuudet

Monissa näytteissä (MT 2, Turvemaa 1 ja Turvemaa 2) nähtiin selvä korrelaatio puun minimiläpimitan ja paperiteknisten ominaisuuksien välillä. Esimerkiksi repäisylujuus (repäisyindeksi vetotasolla 50 Nm/g) huononi, kun puun minimiläpimita pieneni (taulukko 14 ja kuva 19). Sama trendi nähtiin optisten ominaisuuksien suhteen (kaikissa näytteissä), siis optiset ominaisuudet (valonsironta vetotasolla 50 Nm/g) paranivat, kun puun minimiläpimita pieneni. Erot lujuuksissa ja optisissa ominaisuuksissa johtuvat pitkälti kuitujen dimensioeroista (Paavilainen 1993).

Yleisesti voidaan sanoa, että tavanomaisesta kuitupuusta keitettyyn referenssiin nähden ensiharvennusmassa on mm. seuraavien seikkojen suhteen huonompaa: vaatii enemmän jauhatusenergiaa, bulkki on pienempi, ilmanläpäisyvastus suurempi ja uutepitoisuus suurempi. Ensiharvennusmassan etuja sen sijaan ovat helpompi valkaistavuus ja hyvät optiset ominaisuudet, eikä sen lujuus juurikaan eroa tavanomaisesta.



**Kuva 19.** Valkaistun massan repäisylujuus Etelä-Pohjanmaan ensiharvennuskoivulla ja pienpuilla.

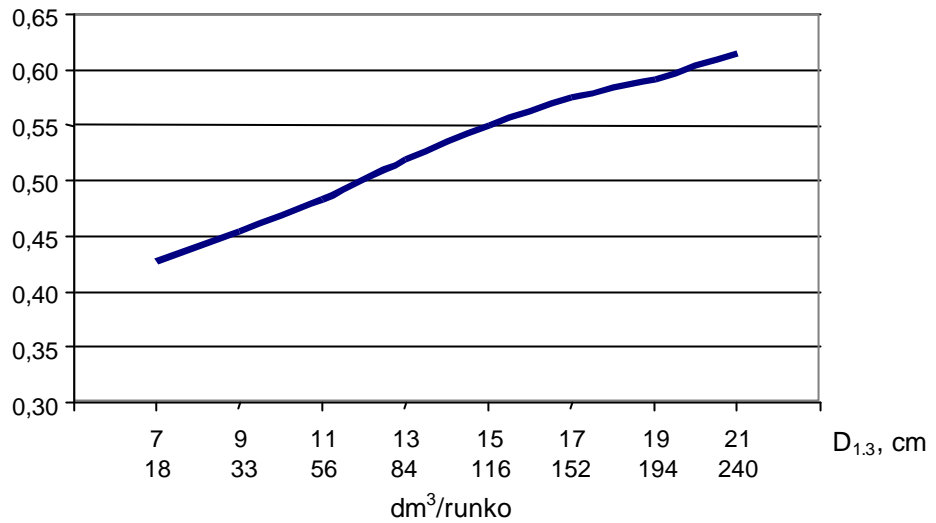
### 3.3 Energia-ainespuukorjuun kilpailukyky

Ensiharvennuspuun integroidun tuotannon kallein vaihe on korjuu. Merkittävin ongelma on karsimattoman puutavaran valmistus. Tavanomaisilla hakkuulaitteilla ei voida tehdä karsimatonta puutavaraa tehokkaasti. Hakkuulaitteet jopa poistavat suuren osan puutavaran kuoresta. Jo sillä, että hakkuulaitteet kehitettäisiin sellaisiksi, että ne eivät karsinnan yhteydessä kuorisi puutavaraa, saataisiin kuorta talteen ehkä 0,1 miljoonan öljytonnin verran vuodessa nykyistä enemmän.

Metsäkuljetuksen tuottavuus riippuu paljolti kuorman koosta. Metsäkuljetukseen on kuitenkin saatavissa esimerkiksi liukupankkoihin perustuva tiivistävä kuormatila, jonka ansiosta karsimattomastakin puutavarasta saadaan kohtuullisen suuri kuorma. Samantapaista tekniikkaa voitaisiin soveltaa myös kaukokuljetuksessa. Tosin kuorman tiivistystarve ei osapuulla ole kaukokuljetuksessa kovin suuri tai aina edes välttämätön.

Markkinoille on tullut korjuukoneita, joilla tehdään sekä hakkuu että metsäkuljetus. Korjuukoneet perustuvat yhdistelmäkouraan, joka soveltuu sekä puutavaran hakkuuseen että kuormaukseen. Uutuudestaan huolimatta yhdistelmäkourat ovat osoittautuneet hyvin toimiviksi. Vaikka korjuukoneet on varustettu samanlaisilla mittalaitteilla kuin tavanomaiset hakkuukoneet, ne on kuitenkin hinnoitettu selvästi hakkuukoneita edullisemmiksi. Sillä voi olla merkittävä vaikutus korjuukoneiden kilpailukyvyille. Myös uusia pienikokoisia hakkuukoneita on esitelty. Myös niiden hintaa on joissakin tapauksissa pidetty varustukseen ja aiempaan nähden edullisena.

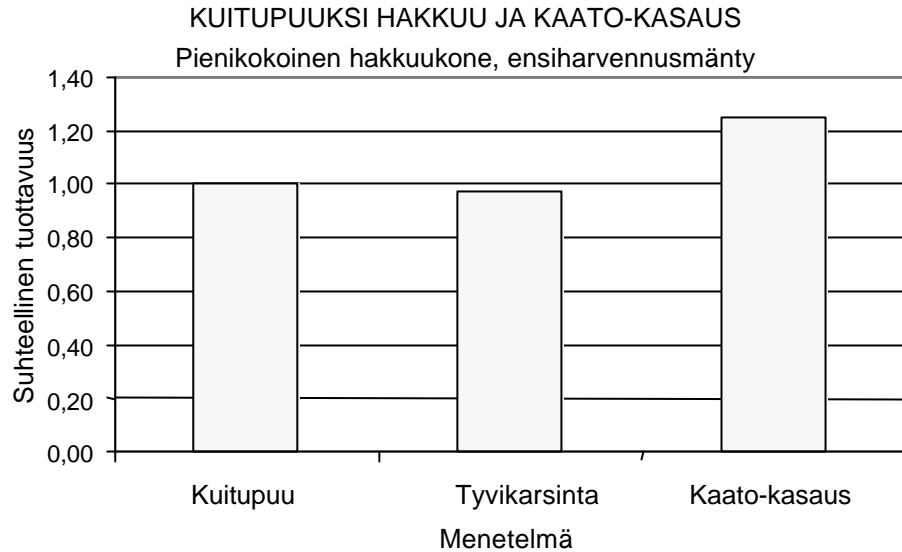
Osapuuna korjuuta kokeiltiin Logset-korjuukoneella ensiharvennusmännikössä, jossa poistettavien runkojen keskikoko oli lähes 100 dm<sup>3</sup>. Tavanomaisen karsitun kuitupuun valmistuksessa korjuukone oli yhtä tehokas kuin hakkuukonekuormatraktoriketju. Kokeiluissa karsimattoman puutavaran valmistus oli männyn ensiharvennuksessa 15 % hitaampaa kuin tavanomaisen kuitupuun teko. Osapuumenetelmässä kaato-kasausvaiheessa siirrellään kokonaisia runkoja tai rungonosia, joista on katkaistu tyvipölkky. Tiheässä metsikössä siirtely ja kasaus on vaikeaa ja hitaampaa kuin tavanomainen hakkuu, jossa puuta siirretään syöttämällä rullilla ja katkotaan kuljetuspituuksiin. Karsimattomia puita kylläkin katkotaan nippuna, mutta puunippuun tarttuminen on hidasta ja se on tehtävä erikseen jokaista katkaisua varten. Osapuun kuormaus ja metsäkuljetus osoittautuivat tuottavuudeltaan heikoiksi, sillä niissä ajanmenekki oli kaksinkertainen kuitupuumenetelmään verrattuna. Osapuun käsittely oli hidasta ja puutavaranippujen ja kuormien kiintotilavuus pieni. Osapuumenetelmän tuottavuus korjuukoneella oli kokonaisuudessaan vain 45 - 60 % tavaralajimenetelmästä, kun metsäkuljetusmatka oli 250 m (kuva 20).



**Kuva 20.** Osapuuna korjuun tuottavuus korjuukoneella verrattuna tavaralajikorjuuseen (1,00) männyn ensiharvennuksessa.

Kun korjuukoneita alettiin vuosikymmenen alussa kehittää, niillä arvioitiin voitavan korjata ensiharvennuksissa osapuuta edullisesti. Korjuukoneet on kuitenkin kehitetty karsitun puutavaran korjuuseen, eikä niiden yhdistelmäkurilla pystytty valmistamaan osapuuta kilpailukyysisesti karsittuun puutavaraan nähden.

Osapuukorjuuseen liittyvää kaato-kasausta kokeiltiin tässä tutkimuksessa pienikokoisella Sampo-Rosenlew-hakkuukoneella. Kokeilu tehtiin männikössä, jossa poistettavien runkojen keskikoko oli 70 dm<sup>3</sup> ja rinnankorkeusläpimitta 12 cm. Ainespuun valmistuksessa pienikoneen kilpailukyky oli tavanomaisten hakkuukoneiden luokkaa. Osapuun hakkuussa puu ajettiin syöttölaitteella ensimmäiseen katkaisukohtaan, tyvipölkky katkaistiin ja latvaosa siirrettiin kasaan päälle. Tuottavuus oli samansuuruinen kuin, jos koko runko olisi valmistettu kuitupuuksi. Sen sijaan pelkkä kaato-kasaus oli tässä kokeilussa nopeampaa (kuva 21). Kumpikin osapuumenetelmä edellyttää puiden katkontaa metsäkuljetuksen yhteydessä kourasahalla. Kuten edellä korjuukonekokeilussakin ilmeni, metsäkuljetuksen tuottavuus osapuulla jää pieneksi, eikä menetelmä kokonaisuudessaan näin toteutettuna saavuta kilpailukykyä.



**Kuva 21.** Ensiharvennumännikössä pelkkä kaato-kasaus oli kuitupuuhakkuuta ja tyvipölkyn katkaisun käsittänyttä hakkuutapaa nopeampaa pienellä hakkuukoneella.

Ruotsissa SkogForsk on tehnyt kokeiluja karsimattoman puun korjaamisesta (Brunberg ym. 1998). Kaato-kasauksessa yksiotehakkuukoneella tuottavuus oli runsas 150 puuta käyttötunnissa. Tanskalaisella Silvatec-keräilykaa-tolaitteella tuottavuus oli noin 190 - 225 puuta käyttötunnissa. Kokeessa vertailuna olleen yksiotehakkuukoneen tulos oli 86 - 96 puuta. Silvatec-ke-räilykaatolaite ei ilman muutoksia sovellu puunippujen katkaisuun. Korjuu edellyttää kourasahalla varustettua kuormatraktoria tai polttohakkeen tuottamista palstahakkurilla. Metsäkuljetuksen kustannukset osapuuna olivat ruotsalaisessa tarkastelussa 60 - 70 % korjuun kustannuksista.

Myös Ruotsissa on kehitetty keräilykaatolaitteita. Ketjusahalla varustetulla FGS 500 B -kaatolaitteella voidaan katkoa puunippuja ja jopa kuormata. Laite oli prototyypitasoinen ja sillä päästiin keräilykaadossa 113 - 182 puun käyttötuntisuoritukseen. Kun puuniput myös katkottiin, tulos oli 86 - 146 puuta tunnissa. Toinen uusi keräilykaatolaite on EnHar, joka on pienikokoinen ja tarkoitettu varsinkin nuoren metsän kunnostushakkuisiin. Laite on giljotiiniterällä varustettu keräilykaatolaite, mutta se ei sovellu puunippujen katkontaan. SkogForsk tutki laitetta kuusi-koivu-sekapuuston raivauksessa (Eriksson & Nordén 1999). Kokeessa kaato-kasattiin noin 160 puuta käyttötunnissa, mutta kannattavan toiminnan arvioitiin edellyttävän 200 - 250 puun hakkuuta käyttötunnissa heidän toimintaoloissaan..

Karsimattoman puutavaran valmistukseen ei toistaiseksi ole uusia, toimivia laitteita. Suomessa Outokummun Metalli Oy:n joukkohakkuulaitteella tehdyissä kokeiluissa saavutettiin edellä esitettyjä selvästi paremmat tulokset (Korpilahti 1997b).

Kaato-kasauksessa tuottavuus oli noin 320 ja osapuuksi valmistuksessa 200 - 230 puuta tehotunnissa. Ko. hakkuulaite on kuitenkin järeä, päätehakkuisiinkin sopiva. Ensiharvennuksiin tulisi kehittää pienemmän kokoinen ja ominaisuuksiltaan tarkoitukseen vielä sopivampi laite.

Aiemmissä tarkasteluissa on tuotantokustannusten osalta päästy siihen, että osapuuna korjuuseen perustuvilla menetelmillä voidaan tuottaa saman hintaista sellua kuin tavanomaisilla menetelmillä karsitusta kuitupuusta. Tässä tutkimuksessa ei saatu sellaisia uusia tuloksia tai tietoja, että integroitujen menetelmien kilpailukyvyistä aiemmin esitettyjä arvioita voitaisiin parantaa. Ongelmana on ennen muuta nykyisten hakkuulaitteiden kehittymättömyys ensiharvennuspuun osapuuksi valmistukseen.

## 4 TULOSTEN ARVIOINTI JA PÄÄTELMÄT

Karsimattoman puun korjuuseen ei ole pitkälle kehitettyä kalustoa. Korjuukoneet, joilla tehdään sekä hakkuu että metsäkuljetus, ovat vielä uusia ja omaavat kehityspotentiaalia. Niiden ja eräiden uusien pienehköjen hakkuukoneiden tuottavuushintasuhde vaikuttavat sellaiselta, että näillä koneilla tulee olemaan hyvä kilpailukyky. Ne antavat hyvän perustan myös osapuun korjuun kehittämiseen.

Karsimattoman puutavaran korjuu edellyttää ennen muuta hakkuulaitteiden kehittämistä. Karsimattoman puutavaran valmistuksessa hakkuukoneella tulisi voida työskennellä kuten yksiottehakkukoneella karsitun puutavaran teossa. Puu syötettäisiin rullilla tai teloilla katkaisukohtaan, mutta karsinnan sijasta terien tulisi taittaa oksat rungon suuntaisiksi. Karsinta voisi olla osittaista siten, että oksien pienosia ja neulasia jäisi palstalle. Myös keräilykaato- ja joukkokäsittelyominaisuuden kehittäminen näihin hakkuulaitteisiin on välttämätöntä.

Massan saanto ja kuitujen pituus ovat ensiharvennuspuusta pienemmät kuin tavanomaisesta kuitupuusta. Paperiteknisistä ominaisuuksista ensiharvennuspuumas- san repäisyjuuus jää pienemmäksi kuin järeästä puusta tehdyn massan lujuus. Erot viiden ja seitsemän sentin latvaläpimittojen suhteen eivät kuitenkaan ole suuret, mutta erot 5 -7 cm:n latvakappaleesta ja sitä paksummasta runkopuusta saatavan massan välillä ovat selvemmin havaittavissa. Puun massaominaisuuksia, kuten kuidunpituutta, on pyritty selittämään jäljen iällä. Kuusella korrelaatio on todettu suuremmaksi kuin männyllä (mm. Kärenlampi 1997). Nytkään ensiharvennusmännyllä tehdyissä kokeissa massan ominaisuudet eivät yksiselitteisesti riippuneet jäljen iästä tai puun kasvunopeudesta.

Valkaistun massan saanto oli mäntypienpuusta vain vähän pienempi kuin 7 cm:n latvaläpimittaan otetusta kuitupuusta. Vaikka pienpuun kuidunpituus oli pienempi kuin järeämmästä ensiharvennuspuusta saadulla massalla, massaominaisuudet

olivat kuitenkin varsin lähellä toisiaan. Koivulla massan saanto oli pienikokoisesta puusta prosenttiyksikön verran pienempi kuin 7 cm:iin otetusta kuitupuusta. Kuidunpituuden ja muiden paperitekniisten ominaisuuksien erot olivat pienet.

Ensiharvennuspuusta ja yleensäkin nuoresta puusta saatavalla massalla on myös hyviä paperitekniisiä ominaisuuksia. Niitä ovat mm. helpompi ja edullisempi valkaistavuus (koivumassat) ja paremmat optiset ominaisuudet kuin järeästä puusta saadulla massalla. Koivulla ensiharvennusmassan vedenpoistokyky ja lujuus olivat samaa suuruutta kuin tavallisesta kuitupuusta saadulla massalla.

## VIITEKIRJALLISUUS

- Ahonen, M., Seppänen, V. & Nikala, L.** 1996. MASSAHAKE-menetelmän soveltaminen koivulle sekä mekaanisen massan raaka-ainetuotantoon - 104. Bioenergian tutkimusohjelma. Julkaisuja 11. Vuosikirja 1995. Osa I. Puupolttoaineiden tuotantotekniikka. Toim. E. Alakangas. VTT Energia. s. 193 - 204.
- Brunberg, B., Andersson, G., Nordén, B. & Thor, M.** 1998. Uppdragsprojekt Skogsbränsle - slutrapport. SkogForsk Redogörelse nr 6, 1998. 60 s.
- Eriksson, P. & Nordén, B.** 1999. Bränsleuttag i bestånd med eftersatt röjning ett alternativ till motormanuell röjning. SkogForsk Resultat nr 7, 1999. 4 s.
- Hakkila, P., Kalaja, H. & Saranpää, P.** 1995. Etelä-Suomen ensiharvennuskäntököt kuitu- ja energialähteenä. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 582. 100 s.
- Hämäläinen, J., Lilleberg, R., Poikela, A. & Rieppo, K.** 1998. Energia- ja ainespuun korjuu taimikonhoidon ja ensiharvennuksen yhdistelmässä. Bioenergian tutkimusohjelma. Julkaisuja 21. Projektikirja 1993 - 1998. Osa I. Puupolttoaineiden tuotantotekniikka. Toim. P. Nikku. Jyväskylän Teknologiakeskus Oy. s. 187 - 196.
- Imponen, V., Hakkila, P., Lilleberg, R., Pennanen, O. & Varhimo, A.** 1997. Ensiharvennuskäntö sellutehtaan raaka-aineena. Metsätehon raportti 24. 30.5.1997. 22 s.
- Kerva, J.** 1998. Kauko-ohjattavan hakkuukoneen kehittäminen - 122. Bioenergian tutkimusohjelma. Julkaisuja 21. Projektikirja 1993 - 1998. Osa I. Puupolttoaineiden tuotantotekniikka. Toim. P. Nikku. Jyväskylän Teknologiakeskus Oy. s. 213 - 218.
- Korpilahti, A.** 1997a. Ensiharvennuskäntöt huomattavat. Metsäteho-lehti 3/1997. s. 22 - 23.
- Korpilahti, A.** 1997b. Integroitujen tuotantomenetelmien vertailu - 124. Loppuraportti bioenergian tutkimusohjelmalle. 28 s.
- Kärenlampi, P.** 1997. Classified wood raw materials for diversified softwood kraft pulps. Paperi ja Puu - Paper and Timber vol. 79/no 6/1997. s. 404 - 410.

- Lappi, J.** 1998. Mäntyraaka-aineen keitto- ja kuituominaisuuksien vaihtelu rungon eri osissa. Diplomityö, TKK, Prosessi- ja materiaalitekniikan laitos, Puunjalostustekniikan osasto. 54 s.
- Lilleberg, R.** 1994a. Yhdistelmäkone koko- ja osapuun korjuuseen. Metsätehon moniste 17.6.1994. 8 s.
- Lilleberg, R.** 1994b. Joukkokäsittelyharvesteri FMG 990/756 H ensiharvennumännikössä. Metsätehon katsaus 8/1994. 6 s.
- Mäkelä, J. & Rynänen, S.** 1998. Polttopuun korjuun kehittäminen metsänomistajien tekemissä ensiharvennuksissa - 108. Bioenergian tutkimusohjelma. Julkaisuja 21. Projektikirja 1993 - 1998. Osa I. Puupolttoaineiden tuotantotekniikka. Toim. P. Nikku. Jyväskylän Teknologikeskus Oy. s. 89 - 98.
- Nevalainen, P. & Kinnunen, K.** 1996. Yhdistelmäkoneen kehittäminen pienpuun korjuuseen sekä ensiharvennukseen - Y115. Bioenergian tutkimusohjelma. Julkaisuja 11. Vuosikirja 1995. Osa I. Puupolttoaineiden tuotantotekniikka. Toim. E. Alakangas. VTT Energia. s. 141 - 143.
- Nordén, B.** 1998. FGS 500 B Flerträdshanterande fälldon. SkogForsk Arbetsrapport nr 395, 1998. 14 s.
- Paavilainen, L.** 1993. Influence of fibre morphology and processing on the softwood sulphate pulp fibre and paper properties. Helsinki University of Technology, Espoo, 1993, 155 pp.
- Rieppo, K., Hakkila, P. & Aho, V-J.** 1996. Puupolttoaineen ja selluhakkeen integroitu tuotanto ketjukarsintakuorintatekniikalla - 101, D102. Bioenergian tutkimusohjelma. Julkaisuja 11. Vuosikirja 1995. Osa I. Puupolttoaineiden tuotantotekniikka. Toim. E. Alakangas. VTT Energia. s. 145 - 161.
- Tapion vuosikirja 1996 ja 1997. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio.