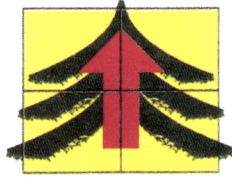


ENSIHARVENNUSPUUN ERILLISKÄSITTELY TEHDASVARASTOLLA

Pentti Hakila, Kaarlo Rieppo ja Hannu Kalaja

METSÄNTUTKIMUSLAITOS
METSÄTEHO OY





Ensiharvennuspuun erilliskäsittely tehdasvarastolla

**Ketjukarsintaan ja pienrumpukuorintaan
perustuva menetelmä**

Pentti Hakkila, Kaarlo Rieppo ja Hannu Kalaja

Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 700

Vantaa 1998

Hakkila, P., Rieppo, K. ja Kalaja, H. 1998. Ensiharvennuspuun erilliskäsittely tehdasvarastolla. Ketjukarsintaan ja pienrumpukuorintaan perustuva menetelmä. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 700. 40 s. ISBN 951-40-1641-6, ISSN 0358-4283.

Toistuviin alaharvennuksiin perustuvassa metsänhoitojärjestelmässämme on välttämätöntä, että nuorten metsien ensiharvennukset toteutetaan ajallaan. Ensiharvennuksiin liittyä kuitenkin monia teknis-taloudellisia ongelmia, joitten seurauksena on jääty tavoitteesta uhkaavasti jälkeen. Ongelmavyöhyti koostuu lukuisista osasista, ja niihin kaikkiin on löydetävä ratkaisu. Eräs avainongelmista on pienikokoisen ensiharvennuspuun kuorinta ja muu tehdaskäsittely niin, että saatavan hakkeen kuoripitoisuus ja palakoko vastaavat kuituteollisuuden vaatimuksia, puun hävikki ei riisäydy kohtuuttomaksi ja käsittelyn tuottavuus ja kustannukset pysyvät hallinnassa.

Perti Szepaniak Oy on kehittänyt tätä tarkoitusta varten pienpuun käsittelyaseman, joka on ollut jatkuvassa toiminnassa Enso Oyj:n Kaukopään tehtailla vuodesta 1996 lähtien. Asemalla puu kuoritaan kahdessa vaiheessa, ensin kevyessä ketjukarsintakuorintalaitteessa ja sitten pienikokoisessa kuivarummussa. Metsäteho Oy ja Metsäntutkimuslaitos ovat osallistuneet Bioenergian tutkimusohjelman puitteissa aktiivisesti menetelmän kehittämiseen.

Julkaisu on kooste kehitystyöstä ja sen taustasta, vuoden ajan jatkuneen laatu- ja käyttöasteseurannan tuloksista karsitulla mäntykuitupuulla sekä eräistä lyhytkestoisista erityiskokeista, joissa selviteltiin mm. puu- ja puutavaralajin sekä puun jäätyamisen vaikutusta lopputulokseen. Kirjoittajat päättelevät, että Kaukopään pienpuu-asema, vaikka onkin luonteeltaan vielä prototyypilaitos, tarjoaa teknis-taloudellisesti käyttökelpoisen ratkaisun ohutläpimittaisen puun tehdaskäsittelylle.

Avainsanat: pienpuu, ensiharvennus, kuorinta, karsinta, haketus, kuoripitoisuus, palakoko, puun hävikki, tuottavuus.

Julkaisija: Metsäntutkimuslaitos. Hanke: 3137. Hyväksynyt: tutkimusjohtaja Matti Kärkkäinen 1.10.1998.

Kirjoittajien yhteystiedot: *Pentti Hakkila ja Hannu Kalaja:* Metsäntutkimuslaitos, Vantaan tutkimuskeskus, PL 18, 01301 Vantaa. Puh: (09) 857 051, Fax: (09) 8570 5361. *Kaarlo Rieppo:* Metsäteho, PL 194, 00131 Helsinki. Puh: (09) 132 521, Fax: (09) 659 202.

Jakelu: Metsäntutkimuslaitos, Kirjasto, PL 18, 01301 Vantaa. Puh: (09) 857 051, Fax: (09) 85705582.

Taitto: Maija Heino ja Essi Puranen

*Omistettu koneyrittäjä, toimitusjohtaja
Pertti Szepaniakin muistolle*

Sisällysluettelo

ESIPUHE	5
1. ENSIHARVENNUSTEN NOIDANKEHÄ	6
1.1 Ongelmavyyhti	6
1.2 Ratkaisut	8
2 KETJUKARSINTAAN JA RUMPUKUORINTAAN PERUSTUVA	
ERILLISKÄSITTELY	10
2.1 Kehitystaustaa	10
2.2 Kehittämistavoite	14
2.3 Kaukopään pienpuuasema	16
3 PIENPUUASEMAN TUOTTAMAN HAKKEEN LAATU	18
3.1 Hakkeen kuoripitoisuus	18
3.2 Hakkeen palakoko	22
4 PUUN HÄVIKKI	26
5 PIENPUUASEMAN TUOTTAVUUS, KAPASITEETTI JA KÄSITTELY-	
KUSTANNUKSET	30
5.1 Käyttöaika	30
5.2 Tuottavuus	32
5.3 Tuotantokustannus ja kapasiteetti	34
6 UUDEN TEKNIIKAN MAHDOLLISUUDET	37
7 KIRJALLISUUS	39
7.1 Hankkeen julkaisut	39
7.2 Muu viitekirjallisuus	40

Esipuhe

Metsänhoitomme korkea taso ja metsäteollisuutemme laadukas puuraaka-aine ovat suureksi osaksi tulosta harvennushakkuista, joilla kaikki talousmetsämme toistuvasti käsitellään. Olosuhteitten muuttuessa ja metsiemme ikäluokkarakenteen nuortuessa pienikokoista puuta tuottavia varhaisia harvennuksia on kuitenkin alkanut jäädä toteutumatta. Vain kolmannes vuotuisesta tavoitteesta saavutetaan.

Ensiharvennuksiin ja ensiharvennuspuun käyttöön liittyy monenlaisia teknis-taloudellisia ja asenteellisiakin ongelmia. Niistä ei selviydytä yhdellä ainoalla ratkaisulla, vaan tarvitaan kokonainen ratkaisupaketti ja kaikkien osapuolten myötävaikutusta. Eräs ratkaisupaketin lenkeistä on ensiharvennuspuun erilliskäsittely kiinteällä pienpuuasemalla. Sen avulla supistetaan puun kuorintahävikkiä, mahdollistetaan talteenotto entistä pienempään latvaläpimittaan, tasoitetaan ensiharvennuspuun poikkeavista kuituominaisuuksista aiheutuva raaka-ainevirran hallitsematon laatuvaihtelu ja avataan mahdollisuus ensiharvennussellun käyttöön sille parhaiten soveltuviin tuotteisiin.

Tähän tarkoitukseen suunniteltu pienpuusasema valmistui Pertti Szepaniak Oy:n ja Enso Oyj:n yhteistyönä Kaukopään tehtaille Imatralla vuonna 1996. Laitoksen kehittelyyn liittyi voimakas tutkimuskomponentti Bioenergian tutkimusohjelman hankkeena 119, jonka loppuraportti tämä kooste on. Metsäteho Oy vastasi hankkeen johdosta ja laitoksen tuottavuuteen kohdistuneesta tutkimuksesta, Metsäntutkimuslaitos taas raaka-aineen ja tuotteen laadun tutkimuksesta. Tätä kirjoitettaessa laitos on ollut toiminnassa 2 vuotta ja tuottanut ensiharvennusmännystä 220 000 m³ (550 000 i-m³) selluhakkeen laatuvaatimukset täyttävää haketta. Raportissa kuvataan laitoksen tavoitteita, tekniikkaa ja toimintaa vuosina 1997 ja 1998 tehtyjen tutkimusten ja laitosseurannan valossa.

Kiitämme tutkimus- ja kehitystyössä mukana olleita. Erityisesti haluamme mainita toimitusjohtaja Pekka Szepaniakin Pertti Szepaniak Oy:sta, asiakaspalvelupäällikkö Kari Kuvajan ja metsätalousinsinööri Jukka Huovisen Enso Oyj:sta sekä kehittämisinsinööri Veli-Juhani Ahon VTT Energiasta. Metsätehosta työhön osallistuiivat Reima Liikkanen, Asko Poikela ja Kari Uusi-Pantti. Metsäntutkimuslaitoksesta olivat mukana Maija Heino, Jonna Muronranta, Pirkko Kinanen, Essi Puranen, Erkki Salo ja Veijo Salo.

Laitoksen ideoi ja rakensi toimitusjohtaja Pertti Szepaniak pienpuun hyödyntämiseen kohdistuneessa liiketoiminnassa ja kehitystyössä vuosikymmenien kuluessa saavuttamansa perinpohjaisen asiantuntemuksen ja poikkeuksellisen laajan näkemyksen pohjalta. Pertti Szepaniak menehtyi vaikean sairauden murtamana 17.2.1998 kesken uraauurtavan hankkeen, johon hänellä olisi ollut vielä paljon annettavaa. Hän kuitenkin ennätti nähdä tämän viimeiseksi jääneen keksintönsä saavuttavan teknisen tason ja toimintavarmuuden, jotka luovat vankan pohjan nykyistäkin laajemmille sovelluksille. Muistamme Pertti Szepaniakia ja hänen panostaan pienpuun käytön kehittäjänä suurella kunnioituksella ja kiitollisuudella.

Syyskuussa 1998

Pentti Hakkila
Metsäntutkimuslaitos

Kaarlo Rieppo
Metsäteho Oy

Hannu Kalaja
Metsäntutkimuslaitos

1. Ensiharvennusten noidankehä

1.1 Ongelmavyöhyke

Suomalainen metsänhoitojärjestelmä perustuu toistuviin alaharvennuksiin, joilla ohjataan ja nopeutetaan puuston kehittymistä ja ylläpidetään metsikön elinvoimaisuutta. Kiertoiän kuluessa tehdään ensin tuloja tuottamaton taimikon harvennus ja myöhemmin kaksi tai kolme kaupallista harvennusta, joista saadaan 25–35 % metsiämme tuottamasta puutavarasta. Pääsato korjataan 80–120 vuoden iällä pääte- eli uudistushakkuusta.

Metsiämme ikäluokkarakenne on nuortunut 1960-luvulla käynnistyneen laajan metsänuudistamis- ja ojitustoiminnan seurauksena. Noin 25–40 vuoden iällä toteutettavien ensimmäisten kaupallisten harvennusten eli ensiharvennusten tarve on nykyisin jopa 250 000 ha vuodessa, mikä hukkapuu mukaan luettuna vastaa hyvinkin *10 milj. m³:n vuotuista runkopuun poistumapotentiaalia* (kuva 1). Kun ensiharvennushakkuita ei eritellä hakkuutilastoissa, niiden nykytasoa ei tunneta tarkoin, mutta arvioitten mukaan ehkä vain kolmannes tarpeesta tulee tyydytetyksi.

Niin kauan kuin puutavara hakattiin miestyönä ja kuljetettiin tien varteen hevosella, harvennushakkuita ei koettu erityiseksi korjuutekniseksi ongelmaksi. Vasta kun korjuuta ryhdyttiin 1960-luvulla koneellistamaan, harvennushakkuitten vaikeammat olosuhteet alkoivat vaikuttaa entistä selkeämmin myös kustannuksiin ja leimikoitten hinnoitteluun. Poistettavan puuston pieni koko kustannustekijänä korostui.



Kuva 1. Ensiharvennusleimikoista korjattua mäntykuitupuuta Kaukopään pienpuuasemalla (kuva Hannu Kalaja).

Ensiharvennukset hahmotettiin tulevaisuuden ongelmaksi jo 1970-luvun alussa. Asetettiin harvennushakkuitten koneellistamistoimikunta (HAKO), jonka työssä olivat mukana kaikki suomalaiset metsäteknologian tutkimuslaitokset. Harvennushakkuitten koneellistamisesta tuli myös ensimmäinen SITRAn rahoittama tutkimus- ja kehittämishanke metsäalalla. Sittemmin ensiharvennusten koneellistaminen on ollut tutkimuksen kohteena paitsi lukuisissa kansallisissa hankkeissa toistuvasti myös muun muassa IUFRO:n, FAO/ECE/ILO Joint Committeen, NSR:n, IEA Bioenergin sekä EUn kansainvälisissä yhteisohjelmissä. Toimintaympäristön muutokset ovat tuoneet mukanaan yhä uusia teknis-taloudellisia ja ekologisia haasteita, eikä ensiharvennuksia ole vielä kukaan kyettä ratkaisemaan tyydyttävällä tavalla.

Ensiharvennushakkuitten ja ensiharvennuspuun käytön ongelmat ovat moninaiset, ja ne ruokkivat toinen toistaan noidankehän omaisesti. Ongelmavyöhyke koostuu lukuisista osasista:

1. Pienikokoisen ensiharvennuspuun *korjuukustannus on korkea* järeämpiin leimikoihin verrattuna:

	Korjuun kustannustaso kannolta tien varten, mk/m ³
Ensiharvennus metsurihakkuuna	100–150
Ensiharvennus konehakkuuna	70–90
Muu harvennus konehakkuuna	50–65
Päätehakkuu konehakkuuna	30–35

2. Ohuet kuitupuupölkkyt murskaantuvat helposti kuorimarummussa, kun niitä käsitellään järeämmän kuitupuun seassa. *Kuorintahävikki* nostaa jo muutoinkin kalliiksi tulevan ensiharvennuspuun kustannuksia entisestään ja johtaa pölkyn vähimmäisläpimittaa koskevien vaatimusten kiristymiseen.
3. Kun puuta ei voida ottaa talteen pieneen latvaläpimittaan saakka, *korjuuhävikki* muodostuu suureksi ja kuitupuun kertymä supistuu. Kuljetuksen yksikkökustannukset ja hankinnan yleiskustannukset kasvavat ja kantorahakertymä hupenee.
4. Nuoren puun *kuituominaisuudet poikkeavat* normaaliraaka-aineesta, jota varten tehdasprosessit on mitoitettu ja säädetty. Tästä aiheutuu prosessiongelmia ja saantomenetyksiä massaa valmistettaessa, lujuuden heikkenemistä armeerausmassassa ja kiusallista vaihtelua tuotteen laadussa.
5. Kun ensiharvennuspuu näin tulee kalliiksi ja aiheuttaa massassa ja paperissa hallitsematonta laatuvaihtelua, teollisuus käy haluttomaksi sen jalostamiseen. Ensiharvennuspuulle *ei synny hakkuutarvetta* vastaavaa menekkiä.

6. Kertymän supistuessa ja yksikköhinnan laskiessa *metsänomistaja menettää kiinnostuksen ensiharvennuksiin*, ja ennen pitkää myös taimikot saattavat jäädä hoitamatta. Kun hoitamaton taimikko aikanaan kypsyy ensiharvennusikään, korjuuolot ovat sekavat ja koneellistamisen kannalta vaikeat, mikä jälleen kasvattaa kustannuksia ja nakertaa perustaa kannattavalta toiminnalta.

Jos tilanne jatkuu tällaisena, koko metsänhoitojärjestelmämme alkaa horjua ja järeän teollisuuspuun tuotanto ennen pitkää vaikeutua. Jos metsänomistajat sysäävät vastuun ensiharvennuksista puun käyttäjille, jos paperinvalmistajat katsovat kysymyksessä olevan heille kuulumattoman metsätalouden ongelman, tai jos valtiovalta uskoo markkinavoimain kyllä hoitavan ensiharvennuksetkin kuntoon, niin töitä alkaa jäädä pysyvästi tekemättä ja puuntuotannon pohja rapautuu.

Kysymyksessä on uhka, josta selviytyminen edellyttää yhteistyötä ja yhteiskunnan mukaantuloa. Mutta *ongelmaan kätkeytyy samalla mahdollisuus*, sillä ensiharvennusleimikot ovat määrällisesti mittavin kuitureservimme, josta riittäisi raaka-ainetta kuitutuotannon laajentamiseenkin.

1.2 Ratkaisut

Ensiharvennustehtävä on niin mittava ja epäonnistumisen seuraukset niin laajakantoisia, että kaikki osapuolet on saatava mukaan rästejä purkamaan. Ratkaisuja etsittäessä ei tule rajoittua pelkästään nykykäytäntöön, jonka puitteissa ensiharvennuspuu korjataan ja käsitellään yleistekniikalla ja ohjataan järeämmän puun seassa vakiotuotteisiin. Ongelmaan voidaan paneutua myös aivan uudelta pohjalta lähtökohdanaan ensiharvennuspuun käsittely *kannolta kattilaan muusta kuitupuusta erillisenä raaka-ainevirtana*, jonka poikkeavia kuituominaisuuksia hyödynnetään erikoistuotteissa.

Monitahoinen ongelma ei hoidu yhdellä ainoalla teknisellä tai taloudellisella toimenpiteellä, vaan tarvitaan kokonainen ratkaisupaketti. Se saattaisi koostua vaikkapa seuraavista osasista:

1. Metsänomistajat parantavat ensiharvennusleimikoitten korjuukelpoisuutta *huolehtimalla taimikoitten perkaus- ja harvennustehtävistä* ajallaan ja asianmukaisesti. Ensiharvennuksen kustannukset alenevat ja kuitupuun osuus hakkuupoistumasta paisuu.
2. *Ensiharvennusleimikoitten korjuuolosuhteita parannetaan* myös muilla tavoin, esimerkiksi myöhäistämällä ensiharvennuksen ajankohtaa metsikön kasvatusohjelmassa ja kokoamalla ensiharvennuksista alueellisia leimikkokeskiä. Kuitupuun ominaisuudet paranevat ja erikoiskaluston ohjailu ja työllistäminen helpottuvat.

3. Leimikon korjuukelpoisuutta parannetaan edelleen *alentamalla kuitupuupölyn latvaläpimittavaatimusta*, jolloin kertymä kasvaa sekä pinta-alayksikköä että leimikkoa kohti. Tämän ei tarvitse merkitä sitä, että myös pienimmän korjuukelpoisen rungon rinnankorkeusläpimittavaatimusta alennetaan, mikä johdaisi korjuukustannusten kohoamiseen.
4. *Alamittaisen hukkapuun energiakäyttöä edistetään*, jolloin kuitu- ja energia-puun korjuun integroiminen saattaa avata mahdollisuuksia kustannussäästöihin. Ensiharvennusleimikon biomassapoistuman ohjaaminen yksinomaisesti energiakäyttöön sen sijaan ei ole näillä näkymin mielekäästä sen koommin kansantalouden, metsäteollisuuden kuin metsänomistajankaan kannalta. Se merkitsisi ensiharvennuspuun kantohinnan romahtamista.
5. Milloin metsänomistaja on valmis omatoimiseen korjuuseen, hänelle tulisi tarjota tilaisuus myydä ensiharvennuspuuta hankinta- tai puolihankintakaupalla. *Ensiharvennuspuun hankintahakkuut* aktivoivat metsänomistajaa, niihin ei liity vaativaa laatuosaamista, ja ne vapauttavat metsäteollisuuden hankintaorganisaation voimavarat tuottavampiin hakkuukohteisiin.
6. Osa ensiharvennusleimikoista on sopimattomia koneelliseen hakkuuseen esimerkiksi taimikonhoidon laiminlyömisestä, maan huonon kantavuuden, vähäisen leimikkokohtaisen kertymän tai pienpuun hakkuuseen soveltuvan konekaluston puuttumisen vuoksi. Siksi tulee varmistua myös *metсурityövoiman saatavuudesta*. Kokemukset metsänhoitoyhdistysten ja metsäteollisuuden puunhankintaorganisaatioitten yhteistyöstä metsureitten työllistämässä nuorten metsien kunnostustehtävissä ovat myönteisiä. Menettely on toistaiseksi kuitenkin pikemminkin poikkeus kuin sääntö.
7. Järeämmän puun hakkuuseen suunnitellun ja mitoitettun yleiskaluston rinnalle tulee varata kevyttä *ensiharvennusten erikoiskalustoa*, joka esimerkiksi ajo-uraveyden ja -tiheyden suhteen täyttää mahdollisuuksien mukaan myös metsänomistajan odotukset. Erikoiskaluston käytön ongelma on aikaisemmin ollut vajaatyöllisyys sekä leimikoitten pieni koko ja hajanaisuus. Metsänhoitoyhdistysten tulisi omaksua ensiharvennusleimikoitten erikoiskaluston työllistämässä aktiivinen rooli, johon liittyisivät leimikkokeskitysten kokoaminen ja yhteistyö metsäteollisuuden hankintaorganisaatioitten kanssa. Uudet teknikat, esimerkiksi joukkokäsittelyharvesteriin ja yhdistelmäkoneeseen perustuvat menetelmät, saattavat jo nyt alentaa korjuun kustannuksia 10 mk/m³, mutta ehtona on erikoiskaluston täystyöllisyys.
8. Ensiharvennusleimikoitten hakkuupoistuma saattaa sisältää myös sellaista *laadukasta pikkutukkia*, joka soveltuu esimerkiksi sahatavaran tai terveoksaisten liimapuun raaka-aineeksi. Pikkutukkien erikoiskäyttö keventäisi kuituteollisuuden kohdistuvaa ensiharvennuspuun tarjontapainetta ja kasvattaisi met-

sänomistajan kantorahatuloja. Raaka-aineen jakoperusteista riippuen jäljelle jäävän ohutläpimittaisen kuitupuuositteen arvo saattaisi kuitenkin alentua.

9. Metsäteollisuuden rakenteen ja *kotimaisen havupuun käytön tulisi vastata harvennustarvetta* nykyistäkin paremmin. Jos havupuukuidun tarve tyydytty sahanhakkeella, uudistusleimikoitten kuitupuulla ja tuontipuulla, harvennuspuiden kysyntä pyrkii ainakin ajoittain ja alueellisesti jäämään riittämättömäksi. Nimenomaan ensiharvennuspuiden muodostuu silloin ongelmatuote.
10. Massatehtaille tulee rakentaa *erillislinjoja pieniläpimittaisen puun käsittelyä varten*. Hakkeen laatu paranee, kuorinnan puunhävikkiongelma ratkeaa ja ensiharvennuspuiden poikkeavista kuituominaisuuksista aiheutuva raaka-ainevirran laatu vaihtelu saadaan hallintaan, jos ensiharvennuspuiden voidaan näin käsitellä sille parhaiten soveltuvalla tekniikalla. Kun häiriötekijät saadaan kuriin, myös raaka-aineen käyttöarvo kasvaa.
11. Jos ensiharvennuspuiden kulkee edellä mainitun erillislinjan läpi, siitä syntyvä hake erkanelee muusta kuituvirrasta. Avautuu mahdollisuus palauttaa tämä *nuorpuuhake* kuituraaka-aineen yleisvirtaan hallitussa suhteessa, jolloin lopputuotteen laatu vaihtelu tasoittuu. Mutta samalla avautuu mahdollisuus hyödyntää kuituiden erikoisominaisuuksia paljon pitemmällekin. Voitaisiin luoda kuituominaisuuksiltaan uusi tuote, *ensiharvennussellu eli nuorpuusellu*, tai vastaavasti ensiharvennushierre eli nuorpuuhierre. Erilliskäsittelyn ansiosta ensiharvennuspuiden voidaan ohjata sille parhaiten soveltuviin tuotteisiin (Arjas 1998).
12. Taimikonhoitoa ja ensiharvennuksia edistäisi niiden sisällyttäminen näkyvästi puun tuotannon ja korjuun *laatujärjestelmiin sekä metsien sertifiointiin*. Asenteet nuorten talousmetsien kunnostamiselle ovat otolliset, sillä tälle toiminnalle on olemassa paitsi metsätalouden myös ympäristöjärjestöjen hyväksyntä. Metsänhoidollisesti poistettavan pienpuun talteenotto ja hyödyntäminen teollisuuden raaka-ainehuollossa voidaan nähdä ympäristöä säästävänä toimintana.

2 Ketjukarsintaan ja rumpukuorintaan perustuva erilliskäsittely

2.1 Kehitystaustaa

Kuten edellä on kuvailtu, ensiharvennuspuiden hyödyntämisen tiellä on lukuisia esteitä. Erityisen haitalliseksi on koettu *yletön puunhävikki rumpukuorinnassa* ohuitten ensiharvennuspölkkyjen katkeillessa yhteiskäsittelyssä järeämmän puutavaran seas-

sa. Katkenneita pölkynpäitä joutuu kuorintatähteen mukana vähempiarvoiseen poltto- käyttöön, ja murtopinnoista syntyy haketuksessa tikkuja ja purua, joista niinikään aiheutuu hävikkiä.

On hankalaa yksilöidä, minkälaisista pölkyistä rumpukuorintahävikki on lähtöisin, etenkin kun hävikki vaihtelee laitoskohtaisesti laiteratkaisuista, prosessisäädöistä, pölkkyjen pituudesta ja läpimittaeroista sekä kuoripitoisuudelle asetetuista vaatimuksista riippuen. Hävikin kyllä tiedetään olevan suurin ohuilla pölkyillä ja kasvavan pölkkyjen läpimittaerojen myötä, mutta tarkkaa käsitystä ensiharvennuspuun kuorintahävikin todellisesta suuruudesta ei kuorimoilla juurikaan ole. Teollisuuden piirissä usein esitetyn arvion mukaan ensiharvennuspuun hävikki on sekakäsittelyssä 10–20 % kuorettoman puun tilavuudesta. Uusimmilla kuorimoillamme hävikki lienee kuitenkin pienempi.

Kun ensiharvennuspuun korjuu tulee muutoinkin kalliiksi, kohtuuton kuorintahävikki rasittaa kannattavuutta sitäkin kipeämmin. Se johtaa myös kuitupuun läpimittavaatimusten kiristämiseen, sillä hävikin lähteenä ovat nimenomaan ohuimmat pölkynosat. Seurauksena on leimikon puutavarakertymän supistuminen, mikä puolestaan edelleen kohottaa korjuun kustannuksia. Metsäntutkimuslaitoksen hukkapuuselvi- tyksen alustavien tulosten mukaan ensiharvennuspuun kertymä kasvaisi männiköissä keskimäärin 6 m³/ha ja kuusikoissa 8 m³/ha, jos kuitupuu voitaisiin ottaa talteen 5 cm:n latvaläpimittaan saakka. Tällöin ei vielä lisittäisi talteen otettavien runkojen lukumäärää entistä pienemmillä puilla, vaan juoksetettaisiin vain kuitupuuosaa pitemmälle rungon latvaa kohti.

Kuorintatekniikan kehittäminen on kohtalon kysymys ensiharvennuspuun hyödyn- tämiselle. Viime vuosina onkin tutkittu erilaisia kuorintatekniikoita *lähtökohtana ensiharvennuspuun erilliskäsittely*. Seuraavassa kerrotaan koesarjoista, jotka avasi- vat tietä Pertti Szepaniak Oy:n kehittämälle ensiharvennuspuun erilliskäsittelyme- netelmälle (Hakkila ym. 1995).

Rumpukuorinta

Rummun pyöriessä pölkyt iskeytyvät toisiinsa ja rummun seinämiin. Kuoren irtoa- minen käynnistyy, kun kuorivaippa iskujen ja hankautumisen vaikutuksesta rikkoutuu ja pölkyn pinnalle paljastuu kuoriseinämiä. Kuoriutuminen lähtee liikkeelle nimen- omaan näistä seinämistä.

Ensiharvennusmännyn erilliskuorintaa tutkittiin vuosina 1993 ja 1994 Enocell Oy:n Uimaharjun tehtaalla Kone Wood Oy:n valmistamalla Drummatic ristikkäisrumpu- kuorimolla, jonka tekniikalle on ominaista, että myös katkenneet pölkynpätkät saa- daan loukun kautta talteen kuituraaka-aineena. Kun puun hävikki oli normaaliraa- ka-aineella noin 1 %, se oli ensiharvennuspuulla 2–3 %:n tasolla. Hakkeeseen jäi kuorta 0,1–0,4 %.

Hävikki kasvoi hieman, kun ensiharvennuspuun latvaläpimitta alennettiin 5 cm:iin, korjuuvaiheessa oli käytetty joukkokarsintatekniikkaa tai kun sovellettiin osapuumenetelmää, jossa puutavara syötetään rumpuun karsimattomana. Näissäkin tapauksissa hävikki pysyi kuitenkin kuta kuinkin kurissa jääden aina alle 4 %:n tason. Hävikki ei kohonnut hälyttävästi edes sekakuorintakokeessa, jossa päätehakkupuun joukossa oli 10 % ensiharvennuspuuta. Rummutuksen tuottavuuskaan ei kärsinyt puun pienestä läpimitasta.

Koesarja osoitti, että nykyaikaisella automaattisesti ohjautuvalla rumpukuorimolla voidaan tietyin edellytyksin päästä hyvään laadulliseen tulokseen myös ohuella puulla, erityisesti kun ohut puu käsitellään järeämmästä kuitupuusta erillään. Pantakoon kuitenkin merkille, että Uimaharjun kuorimo edustaa uusinta tekniikkaa, jollaista ei ole monellakaan tehtaalla. Kokeitten aikaan kuorimo oli ollut käytössä vasta 1–2 vuotta, eikä rummun kuoriaukoissa ollut vielä tapahtunut kulumista, mikä laitteiston ikääntyessä johtaa yleensä hävikin kasvuun.

Kuorimarummut ovat raskaita ja pitkäkestoisia investointikohteita, eikä niitä voida uusia pelkästään ohuen puun hävikin supistamiseksi. Siksi ensiharvennuspuun hävikkiongelmata tulevat ilman erikoisjärjestelyjä jatkumaan useimpien tehtaitten rumpukuorimoilla vielä pitkään. Näin myös siksi, että pienikokoisen puun hakkuumäärät tulevat metsiemme ikäluokkarakenteen muutosten seurauksena lähivuosina lisääntymään.

Reikäroottorikuorinta

Reikäroottorikuorinnassa pölköt kulkevat yksitellen terillä varustetun roottorin läpi. Roottorin mukana kiertävät terät puristuvat pölkyn ympärille ja kaapivat kuoren irti. Tuottavuus määräytyy pölkyn syöttönopeuden, syöttövirran katkeamattomuuden sekä puun läpimitan tuloksena. Menetelmää sovelletaan yleisesti tukkipuun kuorinnassa, mutta kuitupuulla yksinpuinkäsittelyn tuottavuutta ei pidetä riittävänä.

Perti Szepaniak Oy rakensi vuonna 1992 Imatralla kuitupuuterminaalin, jossa kuorinta tapahtuu Valon Kone Oy:n VK480-2R kaksoisreikäroottorikoneella enimmäissyöttönopeudella 100 m/min. Vuosina 1992–1995 ensiharvennusmännyllä tehdyissä kokeissa hävikki oli 2–3 % ja hakkeen kuoripitoisuus 0,1–0,2 %. Pölkkyjen annostelu, syöttö ja kuorinta edellyttävät karsittua puutavaraa.

Tuottavuus oli 35–40 m³ käyttötunnissa, mutta jos joukossa oli paljon ohueen läpimitaan tehtyä tavaraa, tuottavuus kärsi. Todettiin, että tuottavuus olisi tyydyttävä, jos terminaali käsittelisi ensiharvennuspuusta vain sen järeimmän osan.

Ketjukarsinta

Yhdysvalloissa ja Kanadassa yleistyi 1980-luvun lopulla menetelmä, jossa kuitupuun sekä karsitaan että kuoritaan piiskaamalla läpi kulkevaa taakkaa teräsketjuilla. Pertti Szepaniak Oy toi vuonna 1991 Suomeen siirrettävän Peterson Pacific DDC 5000 ketjukarsija-kuorija-hakettajan ja mukautti sen meillä vallitsevaan puunhankintajärjestelmään. Yksikkö on tarkoitettu toimimaan sekä metsävarastolla, terminaalissa että tehdasvarastolla, ja siksi se on asennettu telialustaiselle puoliperävaunulle, jota siirretään kuorma-autolla.

Tekniikka soveltuu sekä karsitulle että karsimattomalle ensiharvennuspuulle. Runkopuun hävikki pysyy 3–4 %:n tasolla, vaikka pölkyt tehtäisiin 5 cm:n latvaläpimittaan saakka. Karsinnan laatu on hyvä, mutta kuorinnassa päästään vain parhaimmillaan alle 1 %:n rajan, ja kovalla pakkasella kuoripitoisuudeksi saattaa jäädä jopa 3–4 %. Kuorivaippa rikkoontuu tehokkaasti, mutta jäljelle pyrkii jäämään kuoriutumattomia kaistoja ja laikkuja. Kuorinta jää ikäänkuin kesken.

Täystyöllisenä yksikön vuosikapasiteetti nousee 100 000 m³:iin, mikäli työmaat ovat kooltaan suuria ja työskentelytiloiltaan riittävän avaria. Pienillä ja ahtailla metsävarastoilla työskentely käy vaikeaksi ja kalliiksi, eikä prosessitähdettä saada energiakäyttöön, vaan se joutuu hukkaan. Jos toiminta keskitetään terminaalii tai käyttöpaikalle, tähde voidaan käyttää energian tuotantoon.

Ketjukarsinnan ja rumpukuorinnan yhdistäminen

Edellä kuvatuissa ensiharvennuspuun kuorintakokeissa saavutettiin niin tuotteen laadun, puun hävikin kuin työn tuottavuudenkin suhteen rohkaisevia tuloksia. Mikään tutkituista vaihtoehdoista ei kuitenkaan osoittautunut yleisratkaisuna täysin tyydyttäväksi. Kokemusten perusteella Pertti Szepaniak Oy ryhtyi kehittämään uudenlaista ensiharvennuspuun joukkokäsittelymenetelmää, jossa hyödynnetään ketjukarsinnan ja rumpukuorinnan yhdistämisen tarjoamaa synergiaa.

Menetelmässä pölköt ensin karsitaan ja osittain myös kuoritaan ketjuilla piiskaamalla, minkä jälkeen kuorinta viimeistellään pienikokoisella kuivarummulla. Piiskausvaiheen tehtävänä on karsinta sekä kuoren rikkominen. Kun kuorivaippaan saadaan piiskaamalla syntymään reunamia, kuoren irtoaminen rummutuksessa nopeutuu ratkaisevasti. Periaatteen testaamiseksi rakennettiin vuonna 1994 ensin Imatran Kurkвуoreen prototyypilaitteisto ja sen pohjalta vuonna 1996 Kaukopään pienpuuasema (kuva 2), josta saatuja kokemuksia tässä koosteessa kuvataan ja arvioidaan.



Kuva 2. Kaukopään pienpuuasema kesällä 1998 (kuva Hannu Kalaja).

2.2 Kehittämistavoite

Kehittämistavoitteeksi asetettiin ensiharvennuspuulle mitoitettu käsittelyasema, jonka päätuote on laadukas kuituhake ja sivutuote prosessitähteestä koostuva energiapuuh. Aseman sijoituspaikaksi tuli Enso Oyj:n Kaukopään tehdasvarasto.

Kaukopään tehtaitten pääasiallisena raaka-aineena on mänty. Hankintaorganisaation tekniikka ja logistiikka on suunniteltu karsitulle puulle. Siksi mäntykuitupuuh toimitetaan myös pienpuuasemalle karsittuna.

Tavoitteena oli, että tekniikan tulee männyn ohella soveltua myös kuuselle ja koivulle. Laitoksen tulee kyetä käsittelemään karsimatontakin puutavaraa, jos pienpuun korjuutekniikka kustannussyistä tai puun energiakäytön edistämiseksi kehittyä kohti kuitu- ja energiapuun integroitua talteenottoa. Asemalle asetettiin seuraavat vaatimukset:

1. *Hakkeen kuoripitoisuus.* Sellutehtailla suurin sallittu kuorimäärä on yleensä 1 % hakkeen kuivamassasta. Kun massan valkaisu menetelmät ovat pehmenneet ja lopputuotteen laatuvaatimukset samanaikaisesti kiristyneet, kehitystavoite tulee asettaa sallittua ylärajaa tiukemmaksi. Kaukopään pienpuuaseman kehityshankkeessa kuoripitoisuuden tavoitteeksi asetettiin 0,5 %:n alitus.

2. *Kuorintahävikki.* Mitä perusteellisemmin kuorinta tehdään, sitä suuremmaksi muodostuu kuorintahävikki. Siksi hakkeen kuoripitoisuutta ja hävikkiä on arvioitava rinnakkain. Tavoitteeksi asetettiin, ettei runkopuun kuorintahävikki saa olla enempää kuin 2 %, kun hakkeen kuoripitoisuus on 0,5 %. Tämä merkitsisi huikeaa edistysaskelta ja kustannussäästöä sellaisilla tehtailla, joilla ensiharvennuspuun kuorintahävikin arvioidaan kohoavan nykyisin 10–20 %:iin.
3. *Puun vähimmäisläpimitta.* Kuorintahävikki on peräisin paljolta ohuimmista pölkkyistä ja pölkynosista, jotka katkeilevat kovakouraisessa käsittelyssä. Jotta hävikki saataisiin edes jotenkuten kuriin, kuitupuun vähimmäislatväläpimitta nostettiin vuosikymmenen alkupuolella 6 cm:stä 7–8 cm:iin. Kuorintahävikki todella supistui, mutta toisaalta korjuuhävikki paisui. Menettely kavensi kuituraaka-ainepohjaa ja johti valtakunnan tasolla ainakin 1 milj. m³:n vuosittaiseen siirtymään kuitupuusta hakkuutähteeseen. Siksi kehityshankkeen tavoitteeksi tuli, että pienpuuaseman tulee kyetä käsittelemään kuitupuuta aina 5 cm:n vähimmäisläpimittaan saakka tuottavuuden oleellisesti kärsimättä ja keskimääräisen kuorintahävikin silti nousematta yli 2 %:n.
4. *Seulontahävikki.* Pienpuuasemalla tapahtuvaa puunhävikkiä tulee tarkastella kokonaisuutena, joka koostuu toisaalta kuorintahävikistä sekä toisaalta haketus- ja seulontahävikistä, kun alamittainen hakejake eli alite poistetaan kuituhakkeesta. Alite on pääosaltaan hakkurilähtöistä eikä ole varsinaisesti kytöksissä kuorintaprosessiin. Kuitenkin osa siitä on seurausta rajusta kuorintakäsittelystä, sillä pölkyn murtumat, vaipan pinnan tikkuuntuminen ja päitteen pensselöityminen kaikki lisäävät alitteen määrää hakkeessa. Tutkimuksen kannalta on ongelmallista, ettei ole juurikaan mahdollista erottaa haketusperäistä alitetta kuorintaperäisestä.

Alite vaikuttaa lopputulokseen kahta kautta. Se joko poistetaan hakkeesta seulomalla ja joutuu seulontahävikkinä polttoaineeksi, tai se jää hakkeen joukkoon ja alentaa laatua purun ja neulajakeen kasvun kautta. Riippuu jalostusprosessista, miten paljon hakkeessa siedetään alitetta ja miten palakoko vaikuttaa hakkeesta maksettavaan hintaan. Tässä kehityshankkeessa katsottiin Enso Oyj:n noudattaman käytännön mukaisesti, että kuituhakkeeseen ei saa jäädä lainkaan alle 3 mm:n purua ja että 3–7 mm:n neulajakeen osuus saa olla enintään 3 % hakkeen massasta. Tämän osuuden ylittävästä alamittaisesta hakkeesta maksettava hinta alenee, ja siksi osa alitteesta poistetaan reikäseuloilla. Tavoitteeksi asetettiin seulontahävikin pysyttäminen alle 3 %:n.

5. *Aseman kapasiteetti.* Pienpuuaseman kapasiteettivaatimus on tehdaskohtainen. Siihen vaikuttavat tehtaan raaka-aineen kokonaiskäyttö, hankinta-alueen metsien ikäluokkarakenne, kuitupuuvirran koostumus sekä käytössä olevan rumpukuorimon ominaisuudet. Kaukopään pienpuuaseman kapasiteettitavoitteeksi asetettiin 150 000 m³ (375 000 i-m³) laatuvaatimukset täyttävää kuituhaketta keskeytyvässä kaksivuorotyössä. Mitä suurempi puumäärä työvuo-

roa kohti pystytään käsittelemään, sitä pienemmin yksikkökustannuksin myös yleensä toimitaan.

Investointikustannus ei saisi olla kapasiteettiin suhteutettuna oleellisesti korkeampi kuin tehtaan varsinaisella rumpukuorimolla. Kannattavuuteen vaikuttavat olemassa olevan kuorimon mahdollinen yli- tai alikapasiteetti, laitteistojen uusimistarve sekä se, miten paljon pienpuuasema supistaa runkopuun hävikkiä. Käyttökustannusten kannalta on avainasemassa työvoiman tarve.

Puutavaran pienestä koosta johtuen lienee hyväksyttävissä, että käsittelykustannus voi nousta ensiharvennuspuulla hieman suuremmaksi kuin järeämmällä kuitupuulla. Kustannuslisä ei saa kuitenkaan olla suuri, koska ensiharvennuspuun rasitteina ovat myös korkeammat korjuukustannukset, jotka kaikki joudutaan kompensoimaan kantohinnasta tinkimällä.

Pyrkimyksenä on ollut myös vedenkäytön välttäminen kuorinnassa. Ensiharvennuspuusta jäävän prosessitähteen kosteus on tuoreella puulla yleensä 50–55 %. Sellaisena tähtede on polttokelpoista, ellei kuorinnassa käytetä vettä. Samalla vältetään jätevesiongelma.

2.3 Kaukopään pienpuuasema

Kaukopään pienpuuaseman muodostavat nosturi, ohjaamo, syöttöpöytä, ketjukarsinta-kuorintayksikkö, pienrumpu, laikkahakkuri, seulasto sekä pölkköjen, kuorintatähteen, hakkeen ja purun siirtokuljettimet. Laitteistossa on kaksi valvontakameraa, joilla voidaan seurata tilannetta rummussa ja sen jälkeisellä kuljettimella. Kuvan 3 toimintokaavioon on piirretty myös karsinta- ja kuorintatähteen murskain, vaikkei Kaukopäässä sellaista toistaiseksi olekaan.

Raaka-aine siirretään nosturin ulottuville suoraan puutavara-autosta tai varastopinosta pyöräkuormaajalla. Nosturi on tyypiltään 2-jatkeinen Foresteri 1010, jonka ulottuma on 9,8 metriä. Laitteistoa käyttää yksi henkilö. Tutkimusvaiheen aikana hän siirsi raaka-aineen syöttöpöydälle nosturilla ja huolehti prosessin toimivuudesta. Myöhemmin syöttöä on automatisoitu kiramon avulla. Tämä on nopeuttanut syöttöä ja vapauttanut käyttäjän aikaa muihin toimintoihin, mutta kiramosyötön vaikutus ei näy vielä tämän raportin tuottavuusluvuissa.

Ohjaamo on äänieristetty ja lämmitetty. Laitteiston yhteinen moottoriteho on vajaat 500 kW ja mitat seuraavat:

- Syöttöpöydän pituus 6 m
- Syöttötelaston leveys 1,2 m
- Ketjukarsija-kuorijan pituus 2,5 m
- Ketjukarsija-kuorijan jatkokuljettimen pituus 3 m

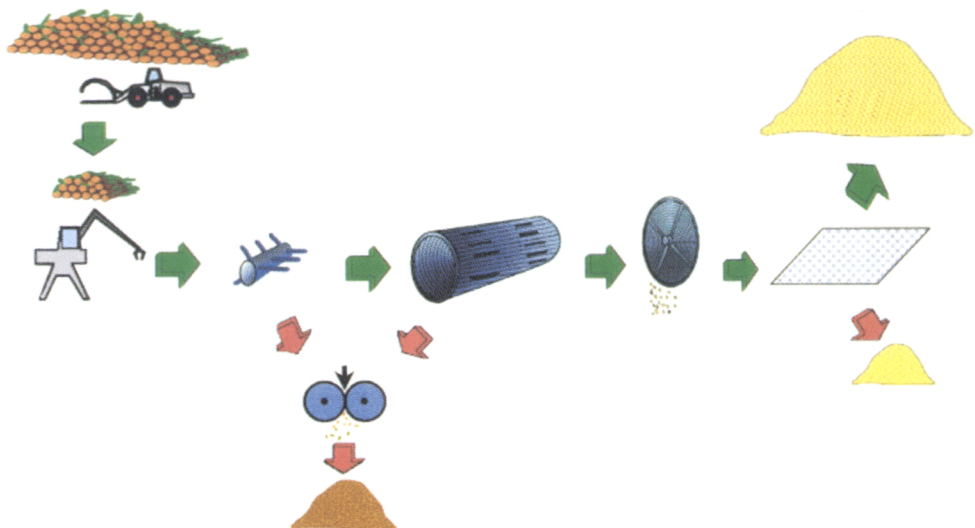
- Rummun pituus 10 m, halkaisija 2,2 m ja pyörimisnopeus 9,2 r/min
- Rummusta hakkurille vievän kuljettimen pituus 11 m, kuljetinketjun leveys 0,4 m
- Hakkuri, seulasto ja laitteiston eteen sijoitettu jätekuljetin mukaan luettuina laitteiston kokonaispituus on lähes 50 m.

Ketjukarsinta-kuorintayksikön syöttötelaston alapuolen muodostaa yksiosainen hammastettu tela, telaston yläpuolen rungon paksuutta mukaileva 10-osainen telasto. Ketjukarsija-kuorirjarumpuja on kaksi. Toinen sijaitsee puuvirran ylä- ja toinen alapuolella. Kummankin rummun pyörimisnopeudet ovat säädettäviä välillä 300–600 r/min. Niitä pyöritetään sähkömoottorilla hihnavälityksellä.

Hakkuri on Perusyhtymä Oy:n (nykyinen valmistaja Heinolan Sahakoneet Oy) 6-teräinen laikkahakkuri tyypiltään T 1500 SR. Laikan halkaisija on 1,6 m.

Hake syötetään hakkurilta polynerotussuppilon kautta seulalle, jossa on 45 ja 7 mm:n reikäseulaverkot. Kummankin pinta-ala on 3,3 m x 3 m. Seulontaliike saadaan aikaan seulan ylä- ja alapuolella pyörivillä epäkeskoilla. Ylipitkät palat palautetaan hihnakuljettimella takaisin hakkuriin.

Hyväksytyt hakejauhe siirretään seualta 25-metrisellä hihnakuljettimella ja purujauhe 15-metrisellä kolakuljettimella omiin kasoihinsa. Oksa- ja kuoritähde siirretään laitteiston alla sijaitsevalla kuljettimella kasaan laitteiston etupuolelle. Laitteisto erottelee tähteen sekaan joutuneet katkenneet pölkynpätkät, jotka palautetaan kauhakuormajalla rummusta hakkuriin johtavalle kuljettimelle.



Kuva 3. Kaukopään pienpuuaseman toimintokaavio (kuva Kaarlo Rieppo).

3 Pienpuuaseman tuottaman hakkeen laatu

3.1 Hakkeen kuoripitoisuus

Ensiharvennuspuun kuori

Pystypuuston kuoripitoisuus on Etelä-Suomen ensiharvennusleimikoissa ennen hakkuuta taulukon 1 mukainen. Ensiharvennusmäennyssä on kuorta hieman enemmän kuin järeämmässä kuitupuussa, mutta kuusella tällaista eroa ei juurikaan ole. Mäennyllä kuorta on eniten tyvipölkyissä, kuusella taas latvapölkyissä.

Puutavaraa käsiteltäessä ja siirreltäessä siitä irtoaa kuorta. *Kuoren korjuuhävikki* on suurin kevätkesällä nila-aikana ja pienin talvella, jolloin kuoren ja puun välinen sidos on lujimmillaan. Sidoksen lujuus on jäätyneessä puussa jopa kymmenkertainen alkukesän nilakauteen verrattuna. Myös puun kasvunopeus vaikuttaa niin, että sidos on löysin hyötykasvuissa puussa (Wästerlund 1986). Kuorihävikin on havaittu kasvaneen hakkuun koneellistumisen myötä, ja keskimäärin ehkä jopa viidenes kuoresta irtoaa, ennen kuin puutavara saapuu tehtaalle.

Kuoressa on runsaasti pihkaa ja muita uuteaineita, ja kuoren kuidut ovat kovin lyhyitä. Siksi *kuori aiheuttaa ongelmia* prosessin eri vaiheissa:

- Kuori kuluttaa runsaasti keittokemikaaleja mutta tuottaa niukasti kelvollista kuitua. Sellun saanto kuoresta on vain 15–25 %, ja kuidut ovat liian lyhyitä.
- Kuori kuituuntuu vajavaisesti ja lisää kemikaalien kulutusta valkaisuissa.
- Tummasta ulkokuoresta jää paperiin likaläikkiä.

Taulukko 1. Kuoren määrä ensiharvennusleimikoitten kuitupuussa ennen hakkuuta ja kuljetusta. Tyvipölkyn pituus 3 m ja pölkyn vähimmäisläpimitta 5 cm.

Rungon osa	Mänty	Kuusi	Koivu
	Kuoren paksuus, mm		
Tyvipölkyt	5,3	3,5	3,4
Muut pölkyt	2,6	3,1	2,5
Kaikki pölkyt	4,5	3,4	2,9
	Kuoren tilavuus, %		
Tyvipölkyt	15,6	10,5	10,3
Muut pölkyt	11,1	12,3	9,8
Kaikki pölkyt	14,4	11,0	10,0
	Kuoren kuivamassa, %		
Tyvipölkyt	9,8	9,0	11,2
Muut pölkyt	8,3	10,4	11,2
Kaikki pölkyt	9,4	9,4	11,2

Kuorintatehtävä

Vaikka kuitupuu kuoritaan huolellisesti, hakkeessa on aina jonkin verran kuorta. Hakkeen kuoripitoisuus määritetään kuoren kuivamassan osuutena näytteen kuivamassasta. Riippuu kuidutusprosessista ja lopputuotteesta, *paljonko kuorta voidaan sallia*. Rajan määräytymiseen vaikuttavat sekä prosessihäiriöt että paperin ulkonäkövaatimus. Enso Oyj sallii sahojen toimittamassa selluhakkeessa kuorta 1,0 % ja hierrehakkeessa 0,4 % ilman, että kuori alentaa hakkeen hintaa. Rajan ylityksestä seuraa hinnan alennus, joka on kuusinkertainen ylityssadannekseen verrattuna. Jos siis selluhakkeessa on kuorta esimerkiksi 1,3 %, kuoripitoisuus ylittää sallitun rajan 0,3 %:lla, ja hakkeen hinta alenee 1,8 %. Jos kuoripitoisuus on selluhakkeessa enemmän kuin 3,0 % tai hierrehakkeessa enemmän kuin 1,3 %, hake ei ole kuidutukseen kelvollista ja luokitellaan polttihakkeeksi.

Kuoren irrottamiseksi on rikottava 0,01–0,02 mm:n paksuisen jälsikerroksen sidos puuhun tai kuoreen. Sidoksen lujuus riippuu puulajista, vuodenajasta ja puutavaran varastoinnista. Se on heikoin puun aktiivisen kasvun aikaan kevätkesällä, jolloin ohutseinäinen jälsisolukko tytärsoluineen on jakautumisensa seurauksena leveimmillään. Silloin kuori irtoaa puusta herkästi. Loppukesään mennessä jälsisolujen jakautuminen on päättynyt, ympäröivien solujen seinämät ovat vahvistuneet ja puutuneet sekä puun ja kuoren välinen sidos saanut takaisin lujuutensa. Jos puutavaraa säilytetään vesivarastossa tai kastellaan, sidos höllentyy.

Kuorintatulokseen vaikuttavat toisaalta puutavaran ominaisuudet ja toisaalta kuorintalaitteiston säädöt ja ajoarvot. Samat tekijät vaikuttavat usein myös kuorinnan puunhävikkiin siten, että hakkeen kuoripitoisuuden alentaminen saattaa merkittävästi kasvua. Hakkeeseen jäävän kuoren määrään vaikuttavat mm. seuraavat tekijät:

	Kuoren määrä hakkeessa
Raaka-ainetekijät:	
– Pölkyn pituuden kasvu, rumpukuorinta	Lisääntyy
– Pölkyn pituuden kasvu, ketjukuorinta	Supistuu
– Pölkkyjen läpimittaerojen kasvu	Lisääntyy
– Pölkyn kuivuminen	Lisääntyy
– Pölkyn jäätyminen	Lisääntyy
Pienpuuaseman ajoarvot:	
– Syöttötaakan koon kasvu	Lisääntyy
– Syöttönopeuden kasvu	Lisääntyy
– Ketjujen piiskausnopeuden kasvu	Supistuu
– Rumpuviipymän pidentyminen	Supistuu
– Rummun täyttöasteen kasvu	Supistuu

Pienpuuaseman tuottaman hakkeen kuoripitoisuus

Hakkeen kuoripitoisuutta seurattiin kehityshankkeen alkuvaiheista lähtien. Kun tekniikka vakiintui, käynnistettiin keväällä 1997 laatusuranta (kuva 4). Seurantajakson ensimmäisessä vaiheessa, maaliskesäkuussa 1997, karsitusta ensiharvennuskannasta tuotetun hakkeen kuoripitoisuus oli 0,66 %.

Sen jälkeen tehtiin teknisiä parannuksia, joista merkittävin oli ketjurumpujen edessä olevan yhtenäisen yläsyöttötelan korvaaminen rungon paksuutta mukailevalla kymmenosaisella telastolla. Täten estetään taakan ohuimpia pölkkyjä ampaisemasta ennen aikaisesti läpi piiskauskäsittelyn. Samassa yhteydessä ylemmän ketjurummun kierrosnopeus muutettiin säädeltäväksi tarpeen mukaan. Muutosten ansiosta kuorintatulos parani ratkaisevasti niin, että hakkeen kuoripitoisuus oli heinä-lokakuussa 1997 vain 0,29 %. Pakkaskauden alettua kuoripitoisuus kuitenkin kasvoi, ja joulumaaliskuun aikana se oli keskimäärin 0,93 %.

Keskimääräinen kuoripitoisuus koko seurantavuoden aikana oli 0,58 %. Nykyisellä tekniikalla ja kokemuksella vuoden keskimääräinen kuoripitoisuus jäänee karsitulla mäntykuitupuulla muutosten ansiosta alle 0,5 %:n, mikä oli asetettu kehityshankkeen tavoitteeksi. Pakkaskaudella tähän ei kuitenkaan ylltetä.

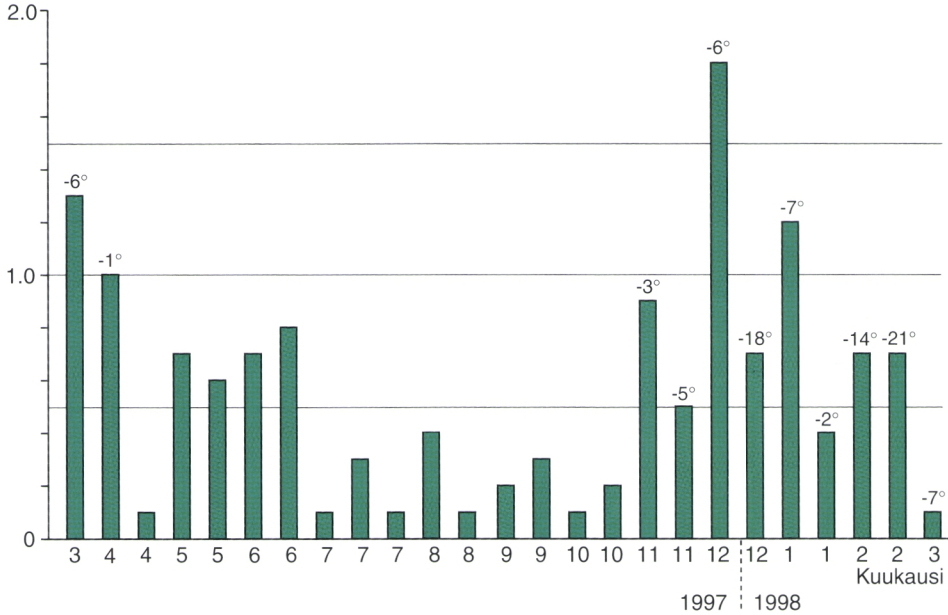
Koska kuorintatulos riippuu myös puu- ja puutavaralajista, tutkimushankkeessa tehtiin täydentäviä lyhytkestoisia kokeita, joissa oli mukana eri puulajeja ja karsimattomaa osapuuta. Kuusella ja erityisesti koivulla kuorta jäi enemmän kuin männyllä, mutta karsitun puun osalta tulos oli niilläkin kuitenkin pakkaskautta lukuun ottamatta tyydyttävä. Männyllä karsimattomalla osapuulla päästiin samaan kuoripitoisuuteen kuin karsitulla kuitupuulla.

Maaliskuussa 1998 tehdyssä kokeessa, jolloin lämpötila oli -9–17°C, kuoripitoisuus jäi eri puutavaralajeilla 1–2 %:n välille (taulukko 2). Tulos kohentui oleellisesti, kun puutavarakuormaa säilytettiin kuorintaa edeltävän yön ajan lämmitetyssä hallissa, jolloin kuori ainakin kuorman reunaosissa pääsi sulamaan.

Taulukko 2. Eri puutavaralajeista tehdyn hakkeen kuoripitoisuus lyhytkestoisissa kokeissa kesä- ja talviaikana.

Koeaika	Lämpötila °C	Karsinta- aste	Mänty Hakkeen kuoripitoisuus, %	Kuusi	Koivu
Kesäkuu 1996	+5 – +11	Karsittu	0,3	0,2	0,8
		Karsimaton	0,2	0,6	1,6
Elokuu 1997	+16 – +19	Karsittu	0,3	0,6	0,5
		Karsimaton	0,4		
Maaliskuu 1998	-9 – -17	Karsittu	1,1	2,1	1,2
		Karsimaton	1,0		2,0

Kuoren osuus, %



Kuva 4. Kaukopään pienpuuaseman tuottaman hakkeen kuoripitoisuus maaliskuusta 1997 maaliskuuhun 1998 jatkuneella seurantakaudella kahden viikon välein mitattuna. Kukin pylväs perustuu 5 hakenäytteeseen yhdestä työvuorosta. Pakkaslämpötila merkitty pylvään yläpuolelle.

Puutavaran kuivuminen saattaa aiheuttaa ongelmia kuorinnassa. Elokuussa 1997 tehdyssä puutavaralajikokeessa tarkkailtiin tästä syystä myös kesäaikaisen kuivahtamisen vaikutusta kuorintatulokseen. Hakkeen kosteusmittaukset tosin osoittivat, ettei kuivuminen ollut edennyt kovin pitkälle, eikä kuori ollut nahistunut tiukasti puuhun kiinni. Kuivahtaneeseen puuhun jäi vastoin odotuksia kaikilla puulajeilla kuorta vähemmän kuin vastakaadettuun. Yllättävä tulos lienee seurausta mahdollisesti kaatoajankohtana vallinneista eroista, sillä kuivahtanut puutavara oli hakattu kevätkesällä kuorisidoksen ollessa höllimmillään mutta tuore puutavara sen sijaan loppukesällä sidoksen jo lujituttua. Hyvä kuorintatulos ei siis aivan kaikissa tapauksissa edellytä, että puutavara tulee pienpuuasemalle kaatotuoreena.

	Kesäkoee	
	Tuore puu	Kuivahtanut puu
	Hakkeen kuoripitoisuus, %	
Karsittu mäntykuitupuu	0,3	0,1
Karsittu kuusikuitupuu	0,6	0,5
Karsittu koivukuitupuu	0,5	0,1

Pienpuuasema kykenee siis tuottamaan karsitusta ja karsimattomasta ensiharvennuskannasta haketta, jonka kuoripitoisuus täyttää asetetut vaatimukset. Ongelmia saattaa esiintyä puutavaran ollessa vahvasti jäässä. Pakkaskautta lukuun ottamatta tulos on tyydyttävä myös karsitulla kuusi- ja koivupuulla. Hakkeen kuoripitoisuut-

ta ei pidä kuitenkaan tarkastella muista kriteereistä erillään, vaan sitä tulee viime kädessä arvioida kokonaisuutena rinnan kuorinnassa tapahtuvan puun hävikin kanssa (luku 4).

3.2 Hakkeen palakoko

Palakokotavoite

Keittokemikaalit imeytyvät hakepalaseen penetraation ja diffuusion keinoin. *Penetraatiossa* nesteet tunkeutuvat puuaineeseen soluonteloitten ja niiden välisten huokosten kautta paine-eron vaikutuksesta. *Diffuusiossa* keittonesteet etenevät solun seinämien läpi nesteitten väkevyyseron vaikutuksesta. Diffuusion merkitys on oleellisesti suurempi kuin penetraation, ja sen nopeus on lähes sama hakepalasen kaikissa suunnissa. Siksi hakepalasen pienin dimensio eli paksuus määrää paljolta imeytymisnopeuden ja on niin ollen keiton kannalta palan pituutta ja leveyttä tärkeämpi.

Hakkeen palakokotavoite on tehdaskohtainen jalostusprosessista riippuen. Vaikka paksuudella on kuidutuksessa suurempi merkitys kuin pituudella, palakokovaatimukset kohdentuvat useimmiten reikäseulalla määritettävään pituuteen. Palan pituus kuvastaa kuitenkin myös paksuutta, joka on yleensä 1/5–1/6 pituudesta (Kivimaa & Murto 1949). Paksuuden osalta valvotaan suoranaisesti vain ylipaksua jaetta, jollaiseksi luetaan 8 mm:n rakoseulalle jäävä osuus hakkeesta.

Enso Oyj:n tavoitteena on hake, jossa palasten pituus asettuu reikäseulonnessa 13–45 mm:n välille ja paksuus jää rakoseulonnessa alle 8 mm:n. Hinnanlaskennan lähtökohtana on hakkeen suhteellinen perusarvo 100, joka vastaa kaupassa sovittua hintaa. Kaikille tavoitteesta poikkeaville palakokoluokille on asetettu *peruspitoisuus*, josta poikkeaminen joko alentaa tai nostaa hakkeen arvoa taulukon 3 mukaisesti. Taulukko osoittaa myös palakokoluokittaiset enimmäisrajat, joita kuukausittainen keskiarvo ei saa ylittää.

Taulukko 3. Enso Oyj:n sahanhakkeelle asettamat palakokoluokkien enimmäispitoisuudet ja arvokertoimet. p = jakeen pitoisuus, % (Enso Metsä 1996).

Palakokoluokka, mm (seulatyppi)	Sallittu enimmäispitoisuus	Arvonlaskennan peruspitoisuus %	Poikkeaman vaikutus hintaan
Ylipitkä, yli 45 (reikä)	3	0	- p
Ylipaksu, yli 8 (rako)	15	7	$0,7 \cdot (7 - p)$
Tavoitejake, 13–45 (reikä)			
Pienjake, 7–13 (reikä)	40	27	$0,4 \cdot (27 - p)$
Neulajake, 3–7 (reikä)	10	3	$0,7 \cdot (3 - p)$
Puru, 0–3 (reikä)	3	0	- p

Palakokoon vaikuttavat tekijät

Hakkeen palakokoon vaikuttavat sekä raaka-ainemuuttujat että prosessimuuttujat, jotka viimeksimainitut liittyvät kuorintaan, haketukseen, seulontaan ja hakkeen siirtelyyn. Tärkeitä tekijöitä ovat esimerkiksi (vrt. Twaddle 1995):

Raaka-ainemuuttujat

- *Pölkyn läpimitta.* Ohuista pölkyistä pyrkii syntymään tavoitehakkeesta poikkeavia paloja enemmän kuin järeistä pölkyistä, sillä kevyen massansa vuoksi ne pompahtelevat hervottomasti hakkurin terien iskiessä. Ensiharvennuspuun läpimitta vaihtelee 5–20 cm:n välillä.
- *Pölkyn pituus.* Pitkät pölkkyt pysyvät haketettaessa tukevammin paikallaan. Pölkyn alkupään ensimmäiset ja loppupään viimeiset hakepalaset ovat muodoltaan usein epäsäännöllisiä. Siksi tavoitepituudesta poikkeavia palasia tulee vähiten pitkästä tavarasta. Kaukopään käsittelyasemalle tulevan kuitupuun pituus on noin 4,5 m.
- *Puutavaran kosteus.* Kosteuserojen merkitys haketuksessa on vähäinen, ellei kuivuminen pääse edistymään kovin pitkälle. Mutta jos kosteus alittaa puun sytyttämisen eli noin 24 % kokonaismassasta, puu käy lujemmaksi ja hakettaminen vaikeutuu. Voiman tarve, alamittaisten palojen osuus sekä palojen vauriot kasvavat. Käsittelyasemalle tulevassa ensiharvennuspuussa kosteus on aina tämän rajan yläpuolella.
- *Puuaineen tiheys.* Puun leikkauslujuus haketuksessa on sitä suurempi, mitä tiheämpää puuainetta on. Kevyestä ja hauraasta puuaineksestä syntyy tavallista enemmän alamittaisia palasia. Ensiharvennusmännnyssä puuaineen tiheys on keskimäärin 2–5 % alempi kuin vanhemmista puustoista korjatulla kuitupuulla, joten ero ei ole kovin suuri. Kuusella ero on vieläkin pienempi. Koska koivun puuainetta on tiheämpää ja lujempaa kuin männyn ja kuusen, siitä syntyy vähemmän alamittaisia paloja.
- *Rungon sisäiset oksat.* Oksapuun korkeasta puuaineen tiheydestä ja poikkeavasta syynsuunnasta johtuu, että oksan kohdalla hakepalanen ainakin osaksi irtoaa usein repeämällä ja lohkeamalla pikemminkin kuin leikkautumalla. Tämän vuoksi oksista ja niitä ympäröivästä puuaineksestä syntyy runsaasti ylipaksuja hakepalasia. Ensiharvennuspuussa oksapuuta on keskimääräistä enemmän.
- *Puutavaran lämpötila.* Jäätäneestä puusta syntyy runsaasti alamittaisia hakepaloja. Alitteen osuus kaksinkertaistuu, kun sula puu jäätyy lämpötilaan -30°C (Hartler & Stade 1977). Näin käy erityisesti suurilla hakkurinopeuksilla. Siksi hakkurin kierrosnopeutta tulisi alentaa, kun puu on syvässä jäässä.

Ensiharvennusmännnyksen ominaisuuksia luonnehtivat ohut läpimitta, keskimääräistä korkeampi oksapuupitoisuus sekä suuren nuorpuupitoisuuden aiheuttama hauraus. Nämä tekijät kärjistyvät, kun pölkyn latvaläpimittavaatimus alennetaan 5 cm:iin. Siksi ensiharvennusmänty on vaativa haketuskohte, mutta kun prosessimuuttujat säädetään puun ominaisuudet huomioon ottaen, hakkeen palakoko voidaan hallita.

Prosessimuuttajat

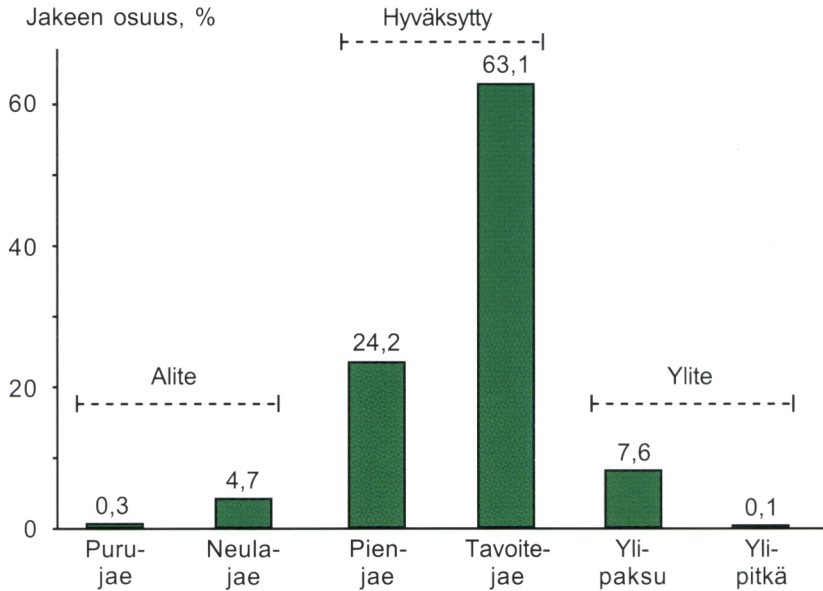
- *Kuorinta.* Pölkyn vaippapinnan tikkuuntuminen ja päitten pensselöityminen lisäävät alitteen osuutta. Pölkyn murtumakohdista syntyy aina epäsäännöllisiä hakepaloja. Kuorintakäsittelyn pehmentäminen vaikuttaa siis myönteisesti hakkeen palakokojakaumaan.
- *Hakkurin syöttö.* Syöttökuljettimen nopeuden tulisi olla noin 90 % hakkurin nopeudesta (Twaddle 1995). Silloin hakkuria lähestyvä pölkky ei pääse törmäämään edellisen pölkyn loppupätkään ja työntämään sitä hakkurin edessä poikittain, mistä aiheutuisi epäsäännöllisiä hakepalasia. Jos syöttönopeus taas on liian hidasku, syntyy alamittaista haketta. Syötön vakaudella ja hallinnalla on siis tärkeä merkitys hakkeen palakoon muodostumiselle.
- *Hakkurin ominaisuudet ja säädöt.* Hakkeen palakokoon vaikuttavat hakkurin syöttökulma, vetokulma, teräkulma, rintakulma, terän kärjen ja vastaterän välinen väly, terän ulottuvuus eli leikko, terän nopeus, terän terävyys, vastaterän ja laikan kulumisen sekä hakkeen poisto sen läpäistyä terälaikan. Hakkurin huoltoon kannattaa kiinnittää huomiota, koska hakkeen hinta määräytyy palakoon mukaan.
- *Seulat.* Hakkeen palakokojakaumaa korjataan seulonnassa. Ylipitkät palaset poistetaan yleensä 45 mm:n ja alite 7 mm:n reikäseulalla. Koska tavoitekoosta poikkeavia palasia siedetään tietty osuus, kaikkia niitä ei tarvitse poistaa. Ylite voidaan kierrättää tikkuhakkurin kautta takaisin seulontaan. Ylipaksujen palojen keittävyyttä voidaan ehottaa puristamalla ja litistämällä.

Pienpuuseman tuottaman hakkeen palakokojakauma

Karsitusta ensiharvennusmännystä tehty hake täytti vuoden jatkuneen seurannan aikana palakokovaatimukset kohtuullisen hyvin (kuva 5, taulukko 4). Alitteen osuus oli 5 % ja ylitteen 8 %. Pakkasoloissa alitteen osuus kasvoi ja ylitteen supistui. Koska yli 45 mm:n ylipitkä jae kierrätettiin uudelleen hakkurin kautta, ylite koostui miltei yksinomaan ylipaksuista palasista, joitten synty liittyi paljolta puun sisäisiin oksiin. Peräti 55 % ylipaksun hakkeen kuivamassasta koostui palasista, joissa oli mukana oksapuuta tai ainakin oksanympärypuuta.

Kun laatusurantatulokset jyvitetiin taulukon 3 arvokertoimien mukaisesti, hakkeen suhteellinen arvo oli vuoden keskiarvona 99 % perushinnasta. Ensiharvennuspuun tekniset ominaisuudet huomioon ottaen tulosta voidaan pitää täysin tyydyttävänä.

	Mäntyhakkeen suhteellinen arvo, %
Sopimuksen mukainen perushinta	100,0
Sulan puun kaudella tuotettu hake	100,0
Pakkaskaudella tuotettu hake	98,3
Koko vuoden aikana tuotettu hake	99,1



Kuva 5. Kaukopään pienpuuaseman tuottaman hakkeen keskimääräinen palakokojakauma seurantavuoden aikana.

Hakkeen kuoripitoisuus ja palakokojakauma täyttivät jokaisena 26 tarkkailupäivänä selluhakkeen vaatimukset. Lähinnä alitteesta kuitenkin johtui, että vuoden keskimääräinen arvo jäi 0,9 % alle sopimuksen mukaisen perushintatason. Pienpuuaseman toimintaa arvioitaessa ei kuitenkaan tule rajoittua pelkästään seulonnan jälkeen mitattuun palakokoon, vaan sen kanssa rinnakkain on tarkasteltava myös seulonnassa prosessitähteeseen joutuneen alitteen määrää (luku 4).

Taulukko 4. Kaukopään pienpuuaseman tuottaman hakkeen palakokojakauma seurantavuoden aikana.

Haketuksen ajankohta	Keskim. lämpötila °C	Hakkeen palakoko, mm						Yhteensä
		0-3	3-7	7-13	13-45	8R	45+	
Sula kausi	+11,8	0,3	3,8	22,8	64,5	8,7	0,2	100,0
Pakkaskausi	- 8,3	0,4	5,9	26,0	61,2	6,5	0,0	100,0
Koko vuosi	+3,3	0,3	4,7	24,2	63,1	7,6	0,1	100,0

Taulukko 5. Karsitusta mänty-, kuusi- ja koivukuitupuusta tuotetun hakkeen palakokojakauma erilliskokeissa.

Ajankohta (lämpötila, °C)	Puulaji	Hakkeen palakoko		
		Alite	7–45 mm	Ylite
		Osuus kuivamassasta, %		
Elokuu 1997 (+16 – +19)	Mänty	3,3	85,7	11,3
	Kuusi	4,9	87,4	7,7
	Koivu	2,8	90,4	7,4
Maaliskuu 1998 (-9 – -17)	Mänty	5,6	87,2	7,2
	Kuusi	5,5	88,7	5,8
	Koivu	2,6	91,7	5,7

Kaukopään tehtaan raaka-ainepohjan mukaisesti laatuseuranta kohdistui karsit-
tuun ensiharvennusmäntyyn. Erillisaineistolla tutkittiin myös karsimatonta män-
tyosapuuta. Palakokojakaumaan ei tuolloin vaikuttanut, syötettiinkö kuitupuu
prosessiin karsittuna vai karsimattomana, sillä karsiutuminen oli täydellistä jo
piiskauksessa.

Männyn ja kuusen väliset erot olivat vähäisiä, mutta koivulla palakoko oli
havupuita edullisempi sekä jäätyneellä että jäätyneellä puulla (taulukko
5). Koivupuun suuremman lujuuden ja kovuuden ansiosta alitetta syntyi vähem-
män.

4 Puun hävikki

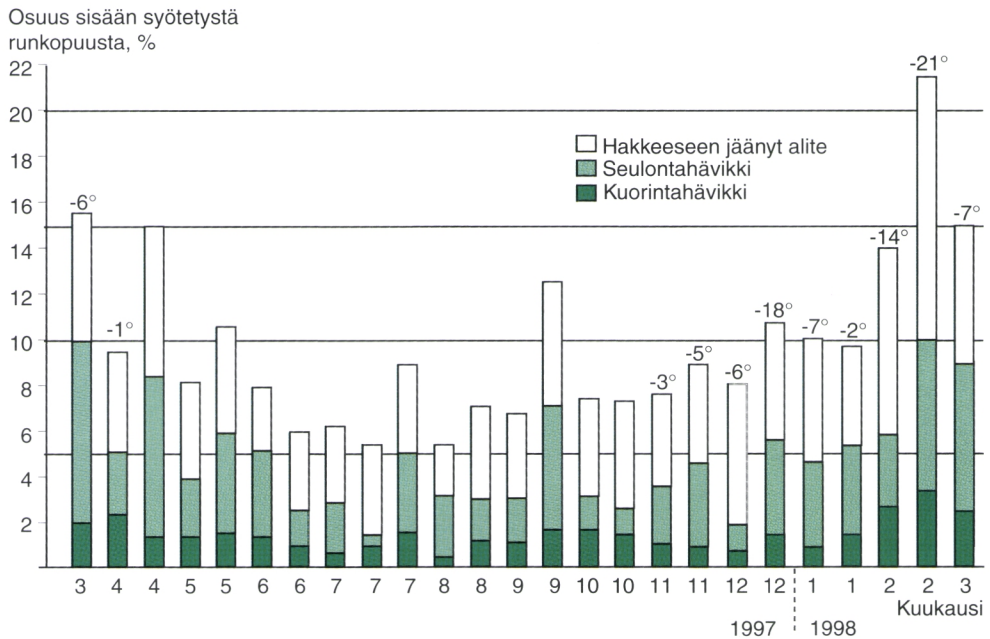
Eräs visaisimmista ensiharvennuspuun ongelmista on rummutuksessa syntyvä
yletön *kuorintahävikki*, jonka suuruudeksi teollisuuden piirissä arvioidaan ylei-
sesti 10–20 %. Kuorintahävikin kaventuminen kehitystavoitteen mukaisesti 2 %:iin
synnyttäisi niin tuntevan säästön, että ensiharvennuspuun käytön kannattavuus ko-
hentuisi ratkaisevasti.

Kuorinnan lisäksi runkopuuta joutuu prosessitähteeseen myös seulonnassa, kun
osa 7 mm:n reikäseulan läpäisevistä palasista poistetaan. Mitä enemmän hake-
tuksessa syntyy alamittaisia palasia, sitä suuremmaksi muodostuu *seulontahä-
vikki*, johon vaikuttaa myös seulonnan perusteellisuus. Koska hakkeessa sallit-
aan tietty osuus alamittaisia palasia, alitetta ei ole kuitenkaan tarpeen poistaa
täydellisesti. Seulontahävikki ei ole käytännössä saanut osakseen yhtä paljon

huomiota kuin kuorintahävikki, mutta tietyissä oloissa senkin osuus saattaa nousta suureksi. Niin pian kuin kuorintahävikki saadaan kuriin, seulontahävikki jää itse asiassa sitä suuremmaksi.

Kuva 6 osoittaa kuorinta- ja seulontahävikin sekä hakkeeseen seulonnasta huolimatta jääneen alitteen osuuden pienpuuaseman käsittelemästä kuorettomasta runkokuusta seurantakaudella. Kuorintahävikki, joka Kaukopään pienpuuasemalla syntyy osaksi piiskauksessa ja osaksi rummutuksessa (kuvat 7 ja 8), onnistuttiin kutistamaan 1–2 %:n välille. Seulontahävikki oli 2–5 % eli kuorintahävikkiin nähden yli kaksinkertainen. Kun puu jäätty, seulontahävikki samoin kuin hakkeeseen jääneitten alamittaisten hakepalojen osuus kasvoi herkästi. Koko vuoden aikana tulos oli keskimäärin seuraava:

	Osuus sisään syötetystä runkokuusta, %
Kuorintahävikki	1,4
Seulontahävikki	3,5
Hävikki yhteensä	4,9
Hakkeeseen jäänyt alite	5,0



Kuva 6. Runkokuun hävikin ja hakkeeseen jääneen alle 7 mm:n alitteen osuus sisään syötetystä kuorettomasta runkokuusta seurantavuoden aikana.



Kuva 7. Piiskaus- ja rummutuskäsittelyn jälkeen kuitupuun kuoripitoisuus on keskimäärin noin 0,5 %.

Kun kuorintahävikki ja hakkeen kuoripitoisuus on onnistuttu kiristämään tavoitetasoille, pienpuuaseman laatuongelmat keskittyvät enemmänkin hienojakeen ympärille. Tässä tapauksessa alitteen paljous ei liene ainakaan ensisijaisesti seurausta rajusta kuorintakäsittelystä, vaan kysymyksessä ovat suoranaisesti haketukseen liittyvät ongelmat, jotka aiheutuvat osaksi raaka-aineesta ja osaksi hakkurista ja sen syötöstä. Siksi pienpuuaseman kehittäely olisi seuraavaksi kohdennettava haketukseen ja hakkeen palakokojakauman parantamiseen. Kuten kuvasta 9 nähdään, ongelma liittyy osaksi puun jäätymiseen.

Karsitun ensiharvennuspuun kuorintahävikki näyttää olevan kesäaikana männylä ja koivulla lähes sama, mutta kuusella se on suurempi. Kesäaikaisella kuitupuun kuorintakäsittelystä ei todettu olevan selvää vaikutusta lopputulokseen (kuva 10), mutta odottamattoman tuloksen syynä saattoivat olla koejärjestelyn erot kaatoajoissa, kuten luvussa 3.1 on todettu.

Voidaan päätellä, että puun hävikin ja hakkeen laadun suhteen *pienpuuaseman laitteisto soveltuu kaiken ensiharvennusleimikoista saatavan tuoreen ja tuoreehkon karsitun sellupuun kuorinta-haketuskäsittelyyn sulan puun aikana.* Männyn osalta se soveltuu yhtä hyvin myös karsimattoman osapuun käsittelyyn,

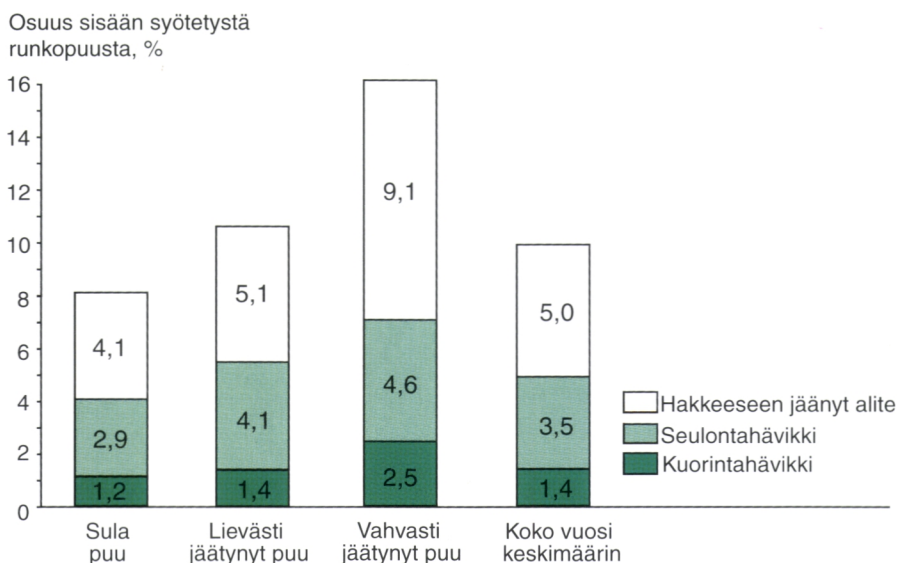


Kuva 8. Piiskaus- ja rummutuskäsittelyssä prosessitähteen sekaan joutuu myös runkokuuta, mutta kuorintahävikin osuus jää kuitenkin yleensä alle 2 %:n (kuva Hannu Kalaja).

jos osapuumenetelmä muutoin on sovitettavissa korjuuorganisaation kokonaisuuteen. Aikaisempien kokeitten perusteella voidaan olettaa, että todennäköisesti myös koivun osapuulla saavutetaan hävikin ja hakkeen laadun suhteen tyydyttävä tulos. Sen sijaan kuusen osapuulla latvusmassan määrä on niin suuri, että hakkeen laatu kärsii ja tuottavuus laskee, kun suuri latvusmassaosuus tukehduttaa kapasiteettia.

Talvikokeessa, jonka aikana lämpötila oli -10 – -13°C , männyn ja kuusen kuorinta- ja seulontahävikki enemmän kuin kaksinkertaistui kesäkokeeseen verrattuna. Puun sulattaminen käsittelyä edeltävän yön aikana sisätilassa ei vaikuttanut kuorintahävikkiin, mutta hienojakeen osuus ja seulontahävikki supistuivat voimakkaasti. Päinvastoin kuin havupuilla, koivulla jäätyminen ei vaikuttanut puun hävikkiin, joka oli samansuuruinen sekä kesällä että talvella.

Kaukopään pienpuuaseman *tekniikka tarjoaa ratkaisun ensiharvennuspuun kuorinnan hävikkiongelman*. Mitä suuremmaksi hävikki perinteisessä rumpukuorinnassa jollakin tehtaalla nousee, sitä parempi on erilliskäsittelyn ja uuden tekniikan suhteellinen kilpailukyky, kunhan ensiharvennuspuun käyttömäärä on riittävän suuri erillisen pienpuulinjan työllistääkseen.



Kuva 9. Jäätymisen vaikutus runkopuun hävikkiin ja hakkeeseen jääneeseen alle 7 mm:n alitteeseen seuranta vuoden aikana. Lievästi jäätyne puu = ulkoilman lämpötila -1 – -10°C; vahvasti jäätyne puu = ulkoilman lämpötila -11 – -21°C.

5 Pienpuuaseman tuottavuus, kapasiteetti ja käsittelykustannukset

5.1 Käyttöaika

Käyttöaikaa seurattiin helmi-elokuussa 1997 kuuden kuukauden ja helmi-maaliskuussa 1998 kuukauden ajan. Seurantajaksojen välillä laitteistoon tehtiin oleellisia parannuksia, mm. prosessitähteen kuljetin muutettiin kulkemaan koko laitteiston alta suoraan eteen. Aikaisemmin jätekuljettimen loppuosassa oli 90 asteen mutka, joka aiheutti tukoksia.

Vuosien 1997 ja 1998 aikana tehtiin myös kolme viikon mittaista aikatutkimusta, joilla tarkennettiin lyhyiden eli alle 15 minuutin keskeytysten osuutta käyttöajasta. Näistä viimeinen tehtiin edellä mainittujen muutosten jälkeen.

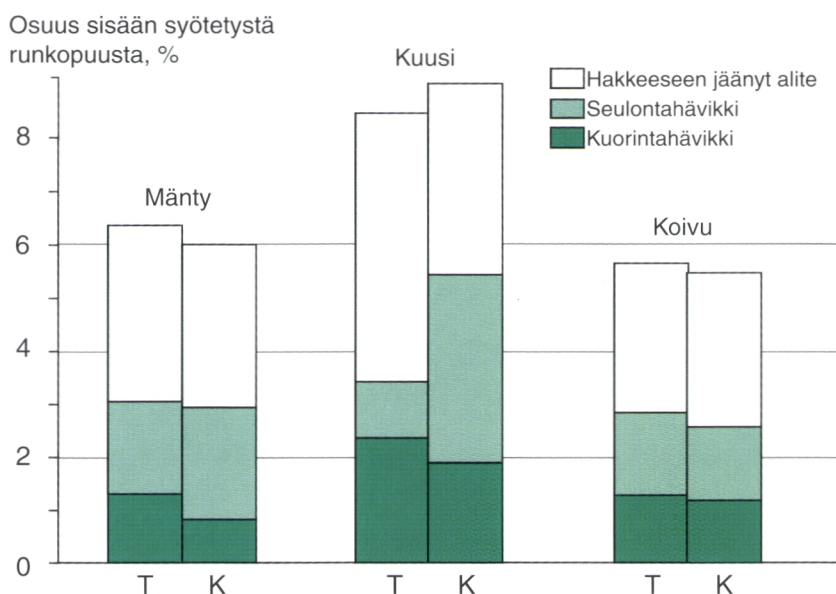
Ensimmäisen, noin puoli vuotta kestäneen seurantajakson aikana käyttöaste eli käyttöajan osuus tuotantoajasta oli 66,4 %. Lyhyiden keskeytysten osuus käyttöajasta oli merkittävä. Tehoajan osuus tuotantoajasta oli 53,0 %. Korjaus vei tuotantoajasta varsin suuren osan, 15,4 %. Henkilökohtaisiin keskeytyksiin, kuten lepoon ja ruokailuihin, käytettiin 7,0 % (kuva 11).

Toisen noin kuukauden kestäneen seurantajakson aikana käyttöaste nousi 70,9 %:iin. Lyhyiden keskeytysten määrä pienentyi oleellisesti, ja niiden osuus oli nyt vähemmän kuin kymmenesosa käyttöajasta. Näin tehoajan osuus tuotantoajasta oli jo 66,4 %. Myös korjaukseen käytetty aika supistui 6,7 %:iin tuotantoajasta. Henkilökohtaisten keskeytysten osuus oli edelleen korkea.

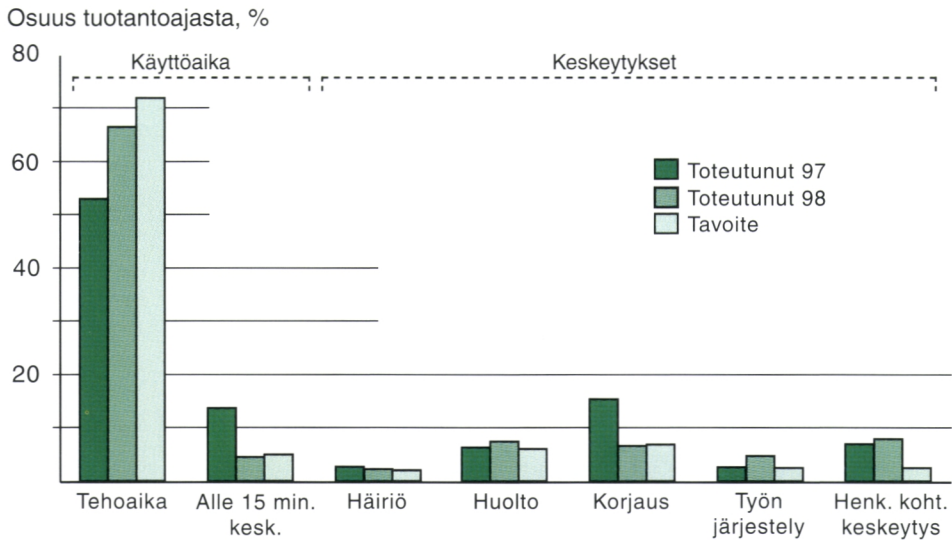
Häiriöiden vähentyminen kasvatti yhtämittaisen prosessointijakson pituutta. Vuonna 1997 keskeytymättömän jakson mediaanipituus oli 10 minuuttia, mutta vuonna 1998 se oli jo 20 minuuttia. Samalla kuitenkin lyhyiden keskeytysten mediaanipituus oli kasvanut 2,5 minuutista 4 minuuttiin. Tämä kuvastaa sitä, että nimenomaan helpommat, pienemmät häiriöt olivat vähentyneet.

Kun vastaava laitteisto rakennetaan uusista, kapasiteeteiltaan hyvin yhteensovite- tuista komponenteista ja hyödynnetään prototyypilaitteistosta kertyneet kokemukset, on mahdollista saavuttaa nykyistä korkeampi käyttöaste. Erityisesti korjauksen osuus kokonaisajasta supistuu.

Käyttöasteen nostamiseksi on myös organisointiin ja henkilökohtaisiin keskeytyk- siin kuluva aika lyhennettävä. Kuljetukset tulee järjestää siten, että mahdollisim- man suuri osuus raaka-aineesta voidaan purkaa suoraan nosturin ulottuville, jolloin vältetään yksi siirtokerta. Laitteiston käyttäjän henkilökohtaisten taukojen aikana hakeauton tai pyöräkoneen kuljettajan tulisi huolehtia hänen tehtävistään.



Kuva 10. Runkopuun hävikki ja hakkeeseen jääneen alitteen osuus männyn, kuusen ja koivun ensiharvennuksissa elo- ja syyskuun vaihteessa 1997 tehdyssä puulajikokeessa. T= tuore raaka-aine, K= kuivahtanut raaka-aine.



Kuva 11. Laitteiston ajankäytön toteutunut ja tavoiteltu rakenne.

Nosturisyötön ongelmana on epätasaisuus. Syöttöannos vaihtelee yhdestä jopa pariinkymmeneen pölkkyyn. Vaihtelu vaikuttaa haitallisesti sekä kuorintajälkeen että puun hävikkiin. Seurantatutkimuksen jälkeen syöttöä on automatisoitu kiramolla, joka annostelee pölkkyt prosessiin aikaisempaa tasaisemmin. Automaattisyötön ansiosta kuljettaja voi paneutua enemmän laadun tarkkailuun ja ehkäistä häiriöitä. Myös lyhyitä henkilökohtaisia taukoja voidaan hoitaa helpommin toiminnan keskeytymättä. Automatisoidun syötön yhteydessä on ehkä mahdollista lisätä karsitun puutavaran joukkoon nosturilla myös karsimatonta raaka-ainetta.

5.2 Tuottavuus

Tuottavuus ilmoitetaan tässä selluhakkeen kiintokuutiometreinä (m^3) käyttötuntia (tehotyöaika sekä alle 15 minuutin keskeytykset) kohti. Selluhakkeen lisäksi saadaan karsinta-, kuorinta- ja seulontatähteestä polttoainetta, jonka osuus on 12–16 % sisään syötetyn karsitun mäntykuitupuun kuorellisesta massasta.

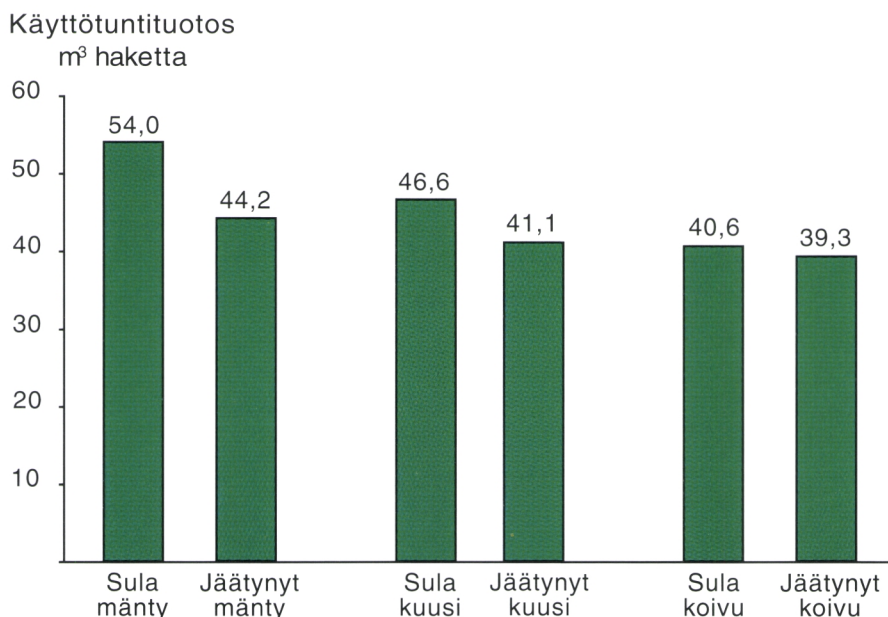
Tuottavuutta tutkittiin kaikkiaan kuudella koesarjalla. Laitteistoa kehitettiin kokeiden myötä. Seuraavassa esitettävät tulokset perustuvat lähinnä neljään viimeiseen koesarjaan: kokeet sulalla puulla marraskuussa 1996 ja elokuussa 1997 sekä kokeet jäätyneellä puulla helmikuussa 1997 ja maaliskuussa 1998. Pääasiallisena puuraaka-aineena oli karsittu mäntykuitupuuta, koska käytännössä asemalla käsitellään vain sitä. Yksittäisiä kokeita tehtiin myös karsitulla kuusi- ja koivukuitupuulla sekä kaikkien puulajien osapuulla. Kokeet tehtiin ennen kuin laitteiston syöttöjärjestelmään lisättiin kiramo.

Suurimmassa osassa kokeita kuljettajia pyydettiin työskentelemään täysin normaalilla tavalla. Eräissä kokeissa vaihdeltiin kuitenkin taakan kokoa ja syöttönopeutta. Tuoloin etsittiin taakan koon merkitystä hakkeen laatuun ja tuottavuuteen.

Karsitulla mäntykuitupuulla keskimääräinen käyttötuntituotos oli normaalilla syöttönopeudella ja -tavalla sulan puun aikana 54 m³ haketta (kuva 12). Yksittäisissä koe-erissä päästiin huomattavasti suurempiinkin lukemiin. Enimmillään käyttötuntituotos oli lähes 120 m³ haketta, kun puuta syötettiin tavallista suurempina taakkoina. Jatkuvassa työssä laitteisto ei nykyisessä kokoonpanossaan kuitenkaan tällaista kuormitusta kestäisi, vaan seurauksena olisi ennenaikainen rikkoutuminen. Myös hakkuri rajoittaa aseman kapasiteettia.

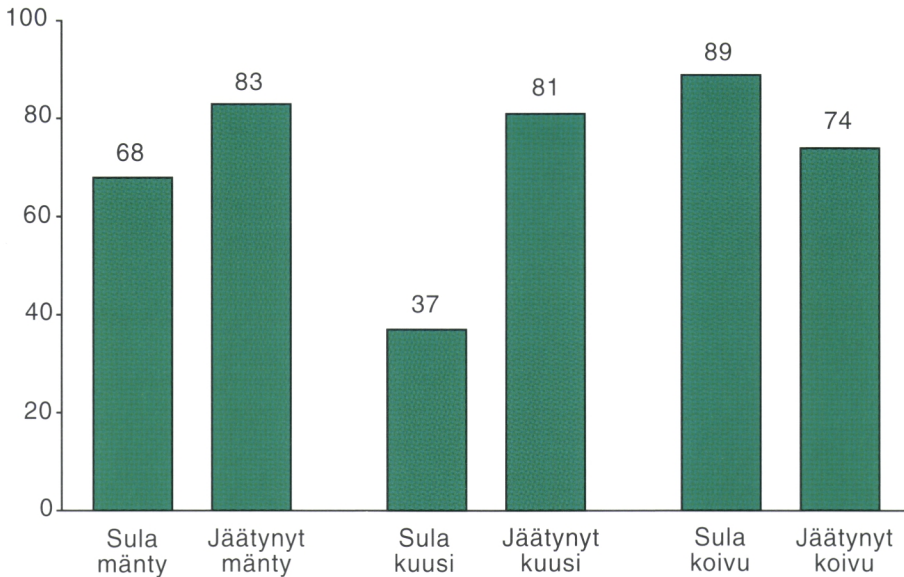
Jäätäneellä karsitulla mäntykuitupuulla käyttötuntituotos oli noin 20 % sulan puun aikaista pienempi eli keskimäärin 44 m³ haketta. Jäätäneellä kuusikuitupuulla ja sulalla ja jäätäneellä koivukuitupuulla käyttötuntituotos oli noin 40 m³ haketta.

Osapuuta käsiteltäessä tuottavuus oli raaka-aineittain ja olosuhteittain 37–89 % vastaavasta karsitun puuraaka-aineen tuottavuudesta (kuva 13). Karsimattomuus supisti tuottavuutta eniten sulalla kuusella ja vähiten sulalla koivulla, mikä johtui paljolta puulajien välisistä eroista oksien määrässä. Männyllä ja kuusella tuottavuuden alentuminen oli sulalla puulla suurempi kuin jäätäneellä, mutta koivulla tulos oli päinvastainen. Koska vertailussa oli koe-eriä olosuhteittain ja puuraaka-aineittain vain 1–3, tulokset on ymmärrettävä suuntaa-antaviksi.



Kuva 12. Selluhakkeen tuotos karsitulla kuitupuulla sulan ja jäätäneen puun aikana kiintokuutiometreinä käyttötuntia kohti.

Tuottavuuksien suhde, %



Kuva 13. Osapuun ja karsitun puun käsittelyn tuottavuuksien suhde sulalla ja jäätyneellä puuraaka-aineella.

Ennen kiramosyötön käyttöönottoa nosturin kouraan otettiin noin kolmen syöttöannoksen verran pölkkyjä. Kuljettaja pyrki tipauttamaan kourasta syöttöpöydälle kerrallaan sopivan määrän pölkkyjä, mutta annoksen kokoa oli vaikea hallita. Karsitulla kuitupuulla se oli yleensä noin viisi pölkkyä, mutta mänty- ja koivuosaapuulla annoksen koko jäi keskimäärin alle neljän pölkkyyn. Yksittäiset syöttöerät vaihtelivat tutkimuksissa yhdestä kahdeksaantoista pölkkyyn.

Pienillä taakoilla puun hävikki kasvaa, ja suurilla taakoilla puolestaan kuorintajälki huononee. Myös kapasiteetti kärsii syötön epätasaisuudesta. Syötön hallinnalla ja tasaisuudella on siis tärkeä merkitys sekä tuottavuudelle että tuotteen laadulle.

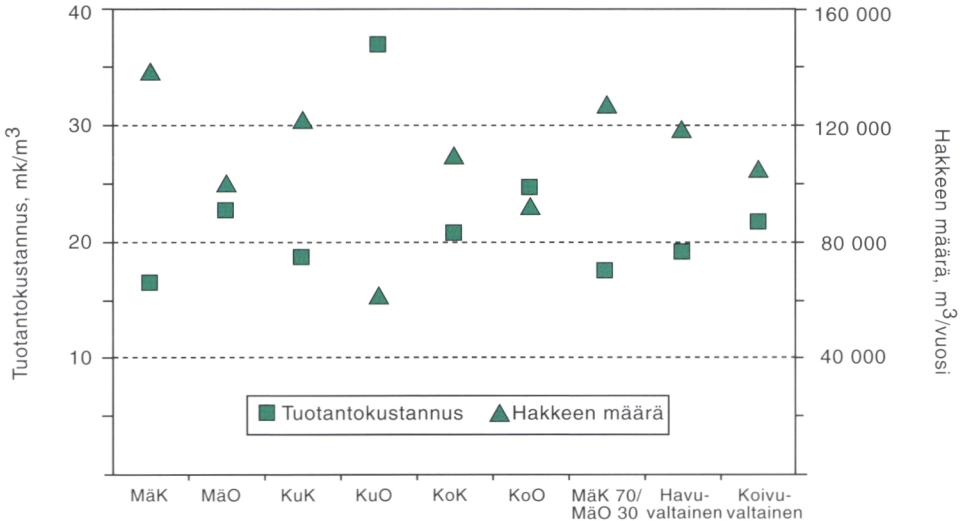
5.3 Tuotantokustannus ja kapasiteetti

Selluhakkeen laskennalliset tuotantokustannukset koostuvat ketjukarsinnasta, kuorinnasta, haketuksesta, seulonnasta ja tähteen murskauksesta laitteistoon kiinteästi liitettyllä murskaimella. Olemassaolevaan laitteistoon murskainta ei tosin ole asennettu. Tuotantokustannuksissa ovat mukana neljäsosa tehtaan varastoalueella työskentelevän apumiehen palkkakustannuksista, puolet uuden pyöräkuormaajan pääomakustannuksista sekä pyöräkuormaajan käyttökustannukset, jotka syntyvät puutavaran siirrosta varastopinoilta laitteistolle sekä hakkeen, purun ja tähteen tilapäi-

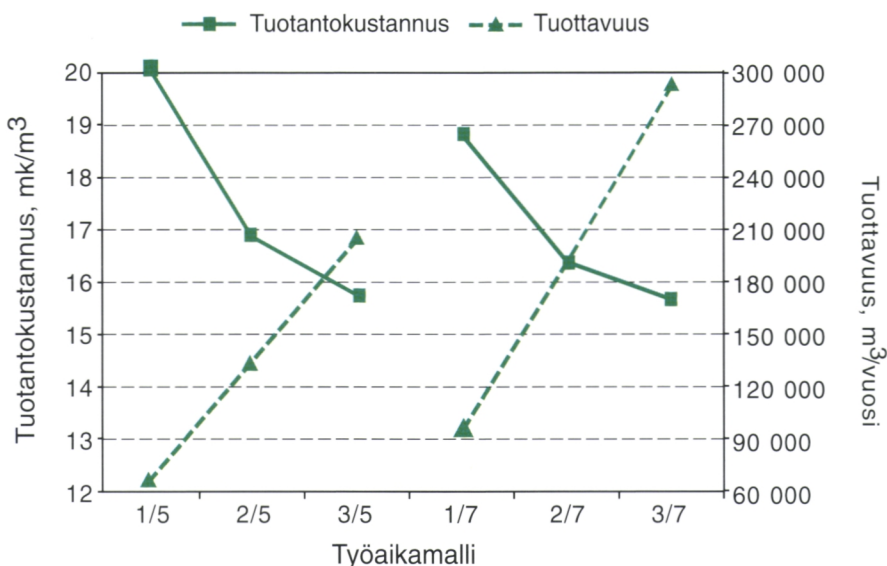
sestä siirtelystä niiden syntypaikoilla. Tuotantokustannuksiin eivät sisälly hakkeen, puun ja murskeen siirrot asemalta niiden käyttöpaikoille.

Laitteiston investointikustannus, joka sisältää puolet uuden pyöräkuormaajan pääomakustannuksesta, on noin 6 milj. markkaa. Tällöin oletetaan laitteisto rakennettavan valmiille kentälle. Käytettäessä laitteistoa viitenä päivänä viikossa kaksivuorotyössä käyttöasteella 71 % on rummun pitoaika 11 vuotta ja muun laitteiston 5,5 vuotta. Näillä edellytyksillä muodostuu kustannusrakenne seuraavaksi:

	mk/vuosi
— Poistot	850 000
— Korot	210 000
— Työkustannukset	430 000
— Muut kiinteät kustannukset (vakuutukset, hallinto, jne.)	170 000
— Muuttuvat kustannukset (sähkö, ketjut, terät, korjaus, huolto)	620 000



Kuva 14. Selluhakkeen tuotantokustannus ja -määrä eri raaka-aineilla työaikamallilla 2/5 (2 vuorokautta eli 16 tuntia viitenä päivänä viikossa). MäK = mäntykuitupuu 100 %, MäO = mäntyosapuu 100 %, jne., Havuvaltainen = MäK 25/MäO 25/KuK 40/KoK 5/KoO 5, Koivuvaltainen = MäK 10/MäO 20/KuK 10/KoK 20/KoO 40.



Kuva 15. Hakkeen tuotantokustannus ja -määrä eri työaikamalleilla. Raaka-aineena karsittu mäntykuitupuuh.

Edullisin kustannustaso ja vuotuinen haketusmäärä saavutetaan karsitulla mäntykuitupuulla. Kustannus, joka sisältää myös aseman toimintoihin nykyisin kuulumattoman karsinta-kuorintatähteen murskauksen, on noin 17 markkaa hakkeen kiintokuutiometriä kohden. Vuosikapasiteetiksi muodostuu keskeytyvässä kaksivuorotyössä lähes 140 000 m³ (kiintokuutiometriä) selluhaketta. Pelkällä mäntyosapuulla vastaavat luvut ovat 23 mk/m³ ja 100 000 m³. Heikoin tulos on kuusiosapuulla, jolla haketusmäärä on jo 38 mk/m³ ja vuosikapasiteetti vain 60 000 m³ (kuva 14).

Kapasiteettiin ja haketuksen yksikkökustannuksiin voidaan vaikuttaa työaikajärjestelyin. Siirtymällä tähän asti käytetystä keskeytyvästä kaksivuorotyöstä keskeytymättömään kaksivuorotyöhön yksikköhinta laskee yli markan hakkeen kiintokuutiometriä kohden. Vastaavasti laitteiston vuosikapasiteetti nousee 140 000:sta 200 000 m³:iin. Keskeytymättömässä kolmivuorotyössä päästään nykyiselläkin laitteistolla jo melkein 300 000 m³:iin (kuva 15). Laskelmissa on oletettu tuottavuuden säilyvän muuttumattomana eri vuorokaudenaikoina. On kuitenkin todennäköistä, että tuottavuus hieman laskee öiseen aikaan.

Pienpuuasemalla tuotetun selluhakkeen hintaa ei sellaisenaan voi verrata perinteisellä sekarumpukuorinnalla tehdyn hakkeen hintaan, sillä lähtökohdat ovat erilaiset ja laskelmat on tehtävä tehdaskohtaisesti. Kun tällaisia vertailuja tehdään, on luonnollisesti otettava huomioon myös puun hävikissä tapahtuvat muutokset ja niiden vaikutus kokonaistalouteen. Samasta syystä on myös mahdotonta tehdä yleispäteviä laskelmia pienpuuasemalla sivutuotteena tuotettavan polttoaineen tuotantokustannuksista. Tämähän edellyttää selluhakkeen hinnan kiinnittämistä johonkin tasoon ja muiden kustannusten kohdistamista jäännöseränä polttoaineelle.

6 Uuden tekniikan mahdollisuudet

Laadukkaan puuraaka-aineen tuotannon turvaaminen ja puuston elinvoimaisuuden ylläpito edellyttävät, että metsiemme ensiharvennukset tehdään ajallaan. Koska ensiharvennuksiin ja ensiharvennuspuun teolliseen käyttöön liittyy vaikeita teknis-taloudellisia ongelmia, vain kolmannes tavoitteesta toteutuu.

Metsätalouden ja -teollisuuden kaikkien osapuolten yhteinen etu vaatii, että ensiharvennuksista huolehditaan. Kuten luvussa 1.2 on osoitettu, ongelma ei ole ratkaistavissa yhdellä erillisellä toimenpiteellä, vaan tarvitaan kokonainen ratkaisupaketti. Siinä edellytetään kaikkien osapuolten myötävaikutusta, alkaen metsänomistajille kuuluvasta taimikonhoidosta ja päätyen paperiteollisuuden laadunohjaukseen, tavoitteena ensiharvennuspuun käyttäminen sen ominaisuuksia vastaaviin tuotteisiin.

Ketjukarsintaan ja pienrumpukuorintaan perustuva ensiharvennuspuun erilliskäsittelyasema on yksi lenkki tässä kokonaisuudessa. Se tarjoaa ratkaisumallin eräisiin avainongelmiin, mutta sen rinnalla on kehitettävä myös ketjun muita heikkoja lenkkejä erityisesti puun korjuun osalta. Pienpuuasema poistaa joka tapauksessa osan ensiharvennuspuun käyttöä haittaavista esteistä ja helpottaa raaka-aineen laatupotentiaalin hyödyntämistä:

1. Kuorintahävikki, jonka suuruudeksi teollisuudessa arvioidaan nykyisin yleisesti 10–20 %, supistuu alle 2 %:n. Jos kuituhakkeen arvo käyttöpaikalla on esimerkiksi 250 mk/m³ ja polttuhakkeen 80 mk/m³, on tätä kautta syntyvä säästö vastaavasti 14–31 mk kuoretonta ja 12–29 mk kuorellista runkopuun kuutiometriä kohti. Jos ensiharvennukset nousisivat tavoitteena olevalle 200 000 ha:n vuosisolulle ja raaka-aine käytettäisiin kuituteollisuudessa, *kuorintahävikin supistuminen* vastaisi suuruusluokaltaan 1 milj. m³ runkopuuta.
2. Kun ensiharvennuspuu ohjataan tehdasvarastolle pienpuuaseman kautta, se voidaan sekoittaa muuhun raaka-ainevirtaan hallitusti ja halutussa suhteessa, jolloin *hakkeen satunnainen laatuvaihtelu tasoittuu*.
3. Pienpuuasema avaa mahdollisuuden myös ensiharvennuspuun erilliskeittoon ja erikoistuotteen, *ensiharvennuskuidun eli nuorpuukuidun valmistamiseen*. Vaikka tällä tuotteella olisikin heikko repeämälujuus, siitä tehdyillä papereilla olisi todennäköisesti myös lukuisia edullisia ominaisuuksia, joita olisi mahdollisuus hyödyntää erikoispapereissa. Sellaisia voisivat olla esimerkiksi korkea vetolujuus, läpikuultamattomuus ja sileä pinta.
4. Kun kuorintahävikki saadaan kuriin, *puupölkyn läpimittavaatimusta voidaan alentaa* jopa 5 cm:iin. Tämä merkitsisi kuitupuukertymän kasvua Etelä-Suomen ensiharvennusköydyksissä 6 m³ ja ensiharvennusköydyksissä 8 m³ hehtaaria kohti ilman, että talteenotettavan rungon vähimmäiskokoa vielä alennettaisiin. Eli jos ensiharvennukset nousisivat tulevaisuudessa 200 000 ha:n

vuositasolle, kuitupuun kokonaiskertymä kasvaisi vähimmäisläpimitan alenemisen ansiosta enemmän kuin 1 milj. m³ vuodessa.

5. Pienpuuasema *kykenee käsittelemään myös karsimatonta osapuuta*, jos raaka-aineena on mänty tai koivu. Energiakäyttöön ohjautuvan prosessitähteen määrä kaksinkertaisuus silloin männyllä 10 %:sta 20 %:iin oksien ansiosta. Koivulla muutos on pienempi. Kuuselle osapuumenetelmä sen sijaan ei sovellu, sillä latvusmassan runsauden vuoksi kaiken biomassan talteenotto johtaisi kasvupaikan köyhtymiseen, kasvattaisi liiaksi kuljetuskustannuksia ja söisi pienpuuaseman ketjukarsintalaitteen kapasiteettia.

Sekä vuoden jatkunut seurantatutkimus että käytännön kokemukset osoittavat, että pienpuuasemalla karsitusta ensiharvennusemännystä tuotettu hake täyttää selluteollisuuden vaatimukset. Erilliskokeet osoittavat, että myös karsimattomasta ensiharvennusemännystä ja karsitusta ensiharvennusemännystä ja -koivusta saadaan laatuvaatimukset täyttävää haketta, ellei puutavara ole vahvassa jäässä. Kovalla pakkasella ilmenee ongelmia sekä kuoripitoisuudessa että palakoossa, mutta Etelä-Suomessa ei ole tällaisia päiviä vuoden mittaan kovin paljon.

Ketjukarsintaan ja pienrumpukuorintaan perustuvalla menetelmällä voidaan siis yleisesti ottaen tuottaa laatuvaatimukset täyttävää haketta. On kuitenkin tärkeää oppia säätämään ajoarvoja puutavaran ominaisuuksien, säätilan, sisään syötettävän puumäärän sekä hakkeen laatuvaatimusten mukaan. Säädot tulisi tehdä puutavaralajitai jopa eräkohtaisesti ottaen huomioon esimerkiksi puulaji, karsinta-aste, järeys, jäätyneisyys, kuivusaste jne. VTT Energian täysmittakaavaisesta ketjukarsinnan testilaitteistosta on odotettavissa käyttökelpoista lisätietoa näihin kysymyksiin.

Pienpuuaseman soveltuvuuden ratkaisee lopulta sen kustannustaso verrattuna tarjolla olevaan vaihtoehtoon, joka yleensä on ensiharvennuspuun sekakäsittely muun kuitupuun seassa kuorimarummussa. Siksi on mahdotonta laatia yleispätevää kannattavuuslaskelmaa, vaan *vertailu on aina tehdaskohtainen*. Kannattavuuteen vaikuttavia tekijöitä ovat erityisesti:

- Käsiteltävän ensiharvennuspuun määrä
- Käytössä olevan rumpukuorimon kapasiteetin riittävyys
- Käytössä olevan rumpukuorimon puunhävikki
- Kuituhakkeen ja polttihakkeen hintojen ero
- Pienpuuaseman investointi- ja käyttökustannukset
- Pienpuuaseman tuottavuus työvuoroa ja vuotta kohti
- Pienpuuaseman toiminnan integrointi tehdasvaraston muihin toimintoihin

7 Kirjallisuus

7.1 Hankkeen julkaisut

- Alakangas, E. & Rieppo, K. 1996. Tree-processing using a chain system in Finland. *CADDET Renewable Energy Newsletter* 2/1996: 14–15.
- Hakkila, P. & Rieppo, K. 1997. Finnish applications of chain flail techniques. Finnish Forest Research Institute. *Research Papers* 640: 71–80.
- Hakkila, P., Rieppo, K. & Kalaja, H. 1998. Ketjukarsinta- ja pienrumpukuorintaan perustuvan laitteiston kehittäminen tuotantovalmiiksi – 119, D102. Julkaisussa: Bioenergian tutkimusohjelman julkaisuja. Vuosikirja 1997. Osa I: Puupolttoaineiden tuotantotekniikka. Jyväskylä 1998. Painossa.
- Rieppo, K. 1995. Ketjukarsinta-kuorintatekniikalla joustavuutta puunkäsittelyyn. *Tekniikan Näköalat* 2/1995:19.
- Rieppo, K. 1995. Aines- ja energiapuun tuotanto ketjukarsinta-kuorintahaketusyksiköllä. Moniste. Bioenergian tutkimusohjelma. VTT Energia. 4 s.
- Rieppo, K. 1995. Pienpuu hyötykäyttöön piiskausmenetelmällä. *Koneyrittäjä* 1/1995: 14–15.
- Rieppo, K. 1995. Production of merchantable wood with a chain delimeter-debarber-chipper. 4 s.
- Rieppo, K. 1995. Puupolttoaineen ja selluhakkeen integroitu tuotanto ketjukarsinta-kuorintatekniikalla. Julkaisussa: Nurmi, J. & Heino, E. (toim.): Metsäntutkimuspäivä Kalajoella 1995. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 570: 17–24.
- Rieppo, K. 1998. Toimiva menetelmä pienpuun erilliskäsittelyyn. *Metsäteho* 1/98: 10–11.
- Rieppo, K., Aho, V-J., Hakkila, P., Nikala, L. & Poikela, A. 1996. Puupolttoaineen ja selluhakkeen integroitu tuotanto ketjukarsinta-kuorintatekniikalla. *Metsätetehon raportti* 2/1996. 76 s.
- Rieppo, K., Hakkila, P. & Aho, V-J. 1996. Puupolttoaineen ja selluhakkeen integroitu tuotanto ketjukarsintakuorintatekniikalla – 101, D102. Julkaisussa: Bioenergian tutkimusohjelman julkaisuja 11. Vuosikirja 1995. Osa I: Puupolttoaineiden tuotantotekniikka. Jyväskylä 1996. 145–161.
- Rieppo, K., Hakkila, P. & Kalaja, H. 1997. Ketjukarsinta- ja pienrumpukuorintaan perustuvan laitteiston kehittäminen tuotantovalmiiksi – 119, D102. Julkaisussa: Bioenergian tutkimusohjelman julkaisuja 14. Vuosikirja 1996. Osa I: Puupolttoaineiden tuotantotekniikka. Jyväskylä 1997. 177–190.
- Rieppo, K., Hakkila, P. & Kalaja, H. 1997. Ketjukarsinta- ja pienrumpukuorintaan perustuvan laitteiston kehittäminen tuotantovalmiiksi. *Väli raportti* 1996. 26 s.
- Rieppo, K., Hakkila, P. & Kalaja, H. 1998. Ketjukarsinta- ja pienrumpukuorintaan perustuvan laitteiston kehittäminen tuotantovalmiiksi – 119. Julkaisussa: Bioenergian tutkimusohjelman julkaisuja 17. Vuosikirja 1997. Osa I: Puupolttoaineiden tuotantotekniikka. Jyväskylä 1998. 159–170.

- Rieppo, K., Poikela, A., Hakkila, P. & Aho, V-J. 1995. Puupolttoaineen ja selluhakkeen integroitu tuotanto ketjukarsintakuorintatekniikalla. Julkaisussa: Bioenergian tutkimusohjelman julkaisuja 6. Vuosikirja 1994. Osa I: Puupolttoaineiden tuotanto. VTT Energia. 189–205.
- Rieppo, K., Poikela, A., Hakkila, P. & Aho, V-J. 1995. Puupolttoaineen ja selluhakkeen integroitu tuotanto ketjukarsintakuorintatekniikalla. Väkiraportti 1994. Moniste. Helsinki 3.3.1995. 29 s.

7.2 Muu viitekirjallisuus

- Arjas, A. 1998. Pienpuun mahdollisuudet – kannolta tuotteeksi. Pienpuustako paperia? Esitelmä 70. metsäviikolla 31.3.1998 Helsingissä. 2 s.
- Hakkila, P., Kalaja, H. ja Saranpää, P. 1995. Etelä-Suomen ensiharvennumänniköt kuitu- ja energialähteenä. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 582. 99 s.
- Hartler, N. & Stade, Y. 1977. Chipper operation for improved chip quality. Svensk papperstidning 80 (14): 447–453.
- Kivimaa, E. & Murto, J. O. 1949. Investigations on factors affecting chipping of pulpwood. The State Institute for Technical Research. Publication n:o 9.
- Sahanhakkeiden hankintaohje. 1996. Enso Metsä. Moniste. 8 s.
- Twaddle, A. 1995. The production of chip fractions from disc chippers. Department of Forestry, Mississippi State University. 61 p.
- Wästerlund, I. 1986. The strength of bark on Scots pine and Norway spruce trees. Sveriges Lantbruksuniversitet. Institutionen för skogsteknik. Rapport 167. 100 s.



Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 700

ISBN 951-40-1641-6

ISSN 0358-4283

Kansikuva: Hannu Kalaja