

**Kuitupuun tehdaskäsittely
ja
sen kehittäminen**

**Kaarlo Rieppo
Antti Korpilahti**

Kuitupuun tehdaskäsittely ja sen kehittäminen

**Kaarlo Rieppo
Antti Korpilahti**

Metsätehon raportti 114
25.6.2001

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

Asiasanat: puunkäsittely, kuorinta, haketus, pienpuu

© Metsäteho Oy

Helsinki 2001

SISÄLLYS

| | |
|---|-----------|
| TIIVISTELMÄ | 4 |
| 1 JOHDANTO | 6 |
| 2 KIRJALLISUUSKATSAUS | 7 |
| 2.1 Puuaineen ominaisuuksien vaihtelu | 7 |
| 2.2 Lajittelu ja puunkäsittely | 9 |
| 3 PUUNKÄSITTELYN NYKYTILANNE | 13 |
| 4 PUUNKÄSITTELYN VAIHTOEHDOT JA KUSTANNUKSET | 24 |
| 4.1 Kuorinta- ja haketuskuostannukset tehdaskuorimolla..... | 24 |
| 4.2 Pienpuun erilliskäsittely | 31 |
| 4.2.1 Rumpukuorinta..... | 31 |
| 4.2.2 Reikäroottorikuorinta | 31 |
| 4.2.3 Ketjukarsinta | 32 |
| 4.2.4 Ketjukarsinnan ja rumpukuorinnan yhdistäminen..... | 32 |
| 4.2.5 Massahake | 33 |
| 4.3 Selektiivinen kuitupuun käsittely | 34 |
| 5 PÄÄTELMÄT | 38 |
| 6 JATKOTOIMET | 39 |
| KIRJALLISUUS | 40 |

TIIVISTELMÄ

Raaka-aineen laatu on yhä tärkeämpi tekijä sellun ja mekaanisen massan valmistuksessa. Jatkossa raaka-aineen erilaisia ominaisuuksia, jotka vaihtelevat saman puulajin ja yksittäisen rungonkin sisällä huomattavasti, on hyödynnettävä nykyistä paremmin.

Puun laadunmukaisella osittelulla voidaan tuottaa yhdenmukaisia, laadultaan tasaisia raaka-aineseoksia. Koska raaka-aineen laatu vaihtelee on minimoitu, voidaan myös käyttää suurempi määrä huonompilaatuista raaka-ainetta.

Perinteinen rumpukuorinta on bulkkimaista. Prosessin optimointikin on monista vaikuttavista tekijöistä johtuen vaikeaa. Sekakuorinnassa ohuet pölkyt katkeilevat ja pirstoutuvat, minkä seurauksena ylisuuren ja ylipaksun hakkeen sekä tikkujakeen määrät kasvavat. Pienpuun ja järeän puun lajittelulla saavutetaan paremman hakkeen laadun lisäksi pari prosenttiyksikköä pienempi puuhäviö sekakuorintaan verrattuna.

Tehtaiden puunkäsittelyä koskevan kyselyn mukaan, suuria puumääriä käyttävillä tehtailla kuitupuuvastokierro oli nopeampaa kuin vähemmän puuta käyttävillä tehtailla. Yli puolella tehtaista kuitupuuvastot vastasivat korkeintaan viikon käyttöä. Varastoinnissa erillään pidettävien raaka-aineriiden määrä vaihteli yhdestä seitsemään. Erillisinä kuorittavia raaka-aineriä on vähemmän kuin varastoinnissa erillään pidettäviä eriä, sillä tiettyjä raaka-aine-eriä syötetään sekoitettuna kuorintaan. Parilla kolmella tehtaalla puutavara kuorittiin ja hakettiin järeiden tai laadun mukaan jaoteltuna. Lajittelu kuorintaa ja haketusta varten voitiin tehdä vain puuhävikin pienentämiseksi. Tällöin haketuksen jälkeen hakkeet laitettiin samaan kasaan.

Kuorimon kapasiteetin arvioitiin jäävän ensiharvennuspuulla viidenneksen pienemmäksi kuin järeämmällä puulla. Lajittelemalla pienikokoinen puu pois järeämmän seasta voitaisiin rummun kapasiteettia kasvattaa. Osapuulla rummun kapasiteetti pieneni kolmanneksella. Osapuun käytön ongelmiksi on koettu rummun kapasiteetin pienenemisen lisäksi suuri kuorintatähteen määrä, hakkeen laadun huononeminen ja puuhäviöiden suureneminen.

Hakevarastokasoja oli tehtailla tyypillisesti kaksi – yksi havu- ja toinen koivuhakkeelle. Mahdollinen kolmas kasa muodostettiin ostohakkeesta (sahanhake).

Yleisin hakkeen varastointiaika oli 1–2 viikkoa. Parilla tehtaalla hakkeen kiertonopeus oli 2–3 vuorokautta. Pisin hakkeen kiertonopeus oli kolme kuukautta. Koivuhakkeen kiertoaika oli puolet lyhyempi kuin havuhakkeen.

Kuorintatähde poltetaan lähes aina omalla tehtaalla, eivätkä useimmat tehtaista pysty hyödyntämään nykyistä enemmän kuorintatähdettä.

Kuorinta- ja haketuskuostannusten määrittämisessä kuorimon vuotuiseksi puunkäytöksi oletettiin 2,2 milj. m³ ja kuorimon investointihinnaksi 189 milj. markkaa. Näin kuorinta- ja haketuskuostannuksiksi muodostui 18,94 mk/hakekiintokuutiometri, josta pääomakuostannusten osuus oli 8,13 ja käyttökuostannusten 10,81 mk/hakekiintokuutiometri.

Koska pienpuun lajittelu pois järeämmän seasta nostaa rummun kapasiteettia, on pienpuun käsittelykuostannus käytännössä keskimääräistä käsittelykuostannusta suurempi. Oletettaessa rummun kapasiteetin kasvuksi tämän lajittelun seurauksena viisi prosenttia, nousee pienpuun käsittelykuostannus sekakäsittelyssä 23,30 mk:aan/hakekiintokuutiometri. Tämän verran voitaisiin maksaa pienpuun erilliskäsittelystä ilman, että puunkäsittelyn kokonaiskuostannukset nousisivat.

Pienpuuta voidaan käsitellä perinteisessä rumpukuorimossa erillisinä erinä. Uusimmissa rumpukuorimoissa voidaankin päästä puuhävikkien osalta pienpuun erilliskäsittelyssä jo hyviin tuloksiin. Järeämpää osaa kuitupuusta voidaan käsitellä myös reikäroottorikuorintalaitteistolla. Ketjukarsinnan ja pienrumpukuorinnan yhdistävällä laitteistolla voidaan tehokkaasti joukkokäsitellä pienimmätkin kuitupuut ainakin 5 cm:n latvaläpimitaan saakka.

Jotta kuitupuurungonkin eri osissa säteen- ja pituussuuntaisesti olevia erilaisia ominaisuuksia voitaisiin hyödyntää nykyistä tehokkaammin, olisi puut ositeltava näiden ominaisuuksien mukaan. Pitkälle vietyyn ositteluun tarvitaan selektiiviseen kuitupuun käsittelyyn kykeneviä linjoja, joita tulisikin nyt kehittää. Uusia menetelmiä voitaisiin ottaa käyttöön siten, että niillä hoidettaisiin aluksi osa tehtaan raaka-ainevirrasta. Tällaiset laitokset voisivat olla yrittäjävetoisia ja sijaita muuallakin kuin tehdasalueella, esimerkiksi lämpölaitosten yhteydessä.

Projekti sai rahoitusta Tekesin HARJU-ohjelmasta.

1 JOHDANTO

Tavanomaisia kuitupuun laatukriteerejä ovat puulajipuhtaus, lahovikaisuus (kasvunaikainen laho ja varastolaho), alamittaisuus ja puhtaus (muovi, kumi, noki). Näiden kriteerien rinnalle on nousemassa uusia suureita, kuten keskimääräinen järeys ja puun kuivatuoretiheys, jotka ovat tärkeitä kuitulaadun ja valmistuskustannusten kannalta.

Kun kuitupuulle sovelletaan vain tavanomaisia laatuvaatimuksia, varmistetaan, että puuerän minimilaatuvaatimukset täyttyvät. Menettelyllä ei suoraanaisesti vaikuteta raaka-aineesta saatavan hakkeen kuituominaisuuksiin, sillä ne riippuvat puuraaka-aineen muista ominaisuuksista. Hakkeen laadun ja kuituominaisuuksien hallinta edellyttääkin minimilaatuvaatimusten noudattamisen lisäksi kuitupuiden tai kuitupuuraaka-aineen laatulajittelua. Muutamilla tehtailta onkin otettu käyttöön kuitupuun laatuluokkalajittelu, jolla pyritään aiempaa paremmin hallitsemaan raaka-aineen kuituominaisuuksia.

Kovassa kilpailussa lyhytkuituisten tuotteiden kanssa, teollisuuden on pystyttävä hyödyntämään raaka-aineen todellisia kuituominaisuuksia yhä tehokkaammin. Pelkkä käyttöön saatavan puumassan määrässä ja keskimääräisominaisuuksissa pitäytyvä kehitys ei riitä. Aiempi keskiarvoihin perustuva kuidutus ei tulevaisuudessa riitä takaamaan huippulaadukkaita tuotteita kilpailukykyiseen hintaan, ja siksi meidän tulee kaikin keinoin tukea sellaista kehitystä, joka mahdollistaa raaka-aineen tehokkaamman käytön. Prosessit tulevat olemaan enemmän ja enemmän räätälöityjä, samoin kuin lopputuotteetkin. Kuiduttavassa prosessissa onkin alettu kiinnittää enenevässä määrin huomiota raaka-aineen laatuun, sillä siten prosessit ovat helpommin säädettäviä ja lopputuote laadultaan tasaisempaa ja korkealaatuisempaa.

Tulevaisuudessa sellutehtaat erikoistuvat niihin laatuihin, joihin niiden raaka-ainepohja parhaiten soveltuu. Tämä pidentää puun kuljetusmatkoja, mutta erikoistumisen taloudellinen hyöty on suurempi kuin kuljetuskustannusten kasvu.

Männyn osuus maamme puustossa kasvaa, samoin kuin myös ensiharvennuksista saatavan mäntykuitupuun määrä. Tämä on ongelma, sillä korkean jalostusasteen vuoksi paperiteollisuutemme tarvitsee pitkäkuituista armeerausmassaa ja siksi sellutehtaat eivät ensiharvennuspuuta haluaisi – ainakaan hallitsemattomassa suhteessa. Hyvää armeerausmassaa saadaan pitkäkuituisesta havupuusta. Kuidun pituuden lisääntyessä paperin lujuusominaisuudet (veto-, repäisy-, puhkaisu-, taitto- ja puristuslujuus) kasvavat. Armeerausmassan määrä paperissa pyritään kuitenkin minimoimaan, sillä se vaikuttaa yleensä negatiivisesti optisiin ja painettavuusominaisuuksiin ja on huomattavasti muita raaka-ainekomponentteja kalliimpaa.

Kuusikuitupuulla tuoreus on ylivoimaisen tärkeä tekijä. Hankinnan onnistuminen edellyttää hankintaketjun logistiikan osaamista, sillä tällöin pitää toimia mahdollisimman pienillä varastoilla.

Puuraaka-aineen lajittelu kuituominaisuuksien mukaan on mahdollista riittävän tiedon, ohjeistuksen sekä lajittelu- ja välivarastointikapasiteetin avulla. Lajittelutarpeet ovat tehdaskohtaisia ja riippuvat asiakkaan tarpeista (sellun laatu), puuraaka-aineesta ja tehtaan teknologiasta.

On huomattava, että joskus pienellä, vähän kustannuksia aiheuttavalla muutoksella puunhankinnassa voidaan vaikuttaa merkittävästi kustannussäästöihin tehtaalla tai lopputuotteen laatuun. Tai päinvastoin, hieman suuremmalla puun laatutoleranssilla voi olla merkittävä vaikutus puun hankintakustannuksiin.

Kuten edellä esitetystäkin käy ilmi, ovat raaka-aineen laatuun liittyvät kysymykset viime aikoina nousseet yhä voimakkaammin esille. Raaka-aineen erilaisia ominaisuuksia tulisi kyetä hyödyntämään nykyistä paremmin. Tämän hankkeen tavoitteena oli selvittää vaihtoehtoja nykyiselle bulkkimaiselle puunkäsittelylle. Hanke perustui kirjallisuustarkasteluun, tehtaiden puunkäsittelyä koskevaan kyselyyn sekä erilaisiin kohdeasiaa valottaviin laskelmiin. Työssä hyödynnettiin lukuisia ensiharvennus- ja muun kuitupuun hankintaa ja käsittelyä koskevia tutkimuksia, joita Metsätehossa on viime vuosina tehty.

2 KIRJALLISUUSKATSAUS

2.1 Puuaineen ominaisuuksien vaihtelu

Rissanen ja Sirviö (2000) ovat tehneet laajan kirjallisuuteen perustuvan selvityksen männyn ja kuusen puuaineen ja -kuitujen ominaisuuksien vaihtelusta. Seuraavassa esitetty perustuu lähes kokonaan heidän raporttiinsa.

Saman puulajin ja yksittäisen rungonkin puuaineen ominaisuudet vaihtelevat huomattavasti, ja vaihtelua aiheuttavia tekijöitä on monia. Eri tekijät vaikuttavat puun ominaisuuksiin toisistaan poikkeavalla tavalla ja voimakkuudella. Puukappaleessa (tukki, kuitupuupölkkö, lauta jne.) ominaisuuden keskimääräinen suuruus riippuu mm. siitä, mistä kohtaa runkoa kappale on otettu (tyvi, latva, ydinpuu, pintapuu), millaisesta rungosta kappale on otettu (puulaji, ikä, kasvunopeus, vallittu/vallitseva puu jne.) ja mistä runko on peräisin (maantieteellinen sijainti, kasvuolot, leimikon tiheys jne.). Puuaineen ja kuidun ominaisuudet ja niiden vaihtelu vaikuttavat massan- ja paperinvalmistuksen prosessien hallintaan sekä lopputuotteen laatuun.

Massanvalmistuksessa tilavuusyksikössä mitattu puunkulutus vähenee puuaineen tiheyden kasvaessa. Mekaanisessa kuidutuksessa puuaineen tiheyden kasvu lisää kuidutusenergian tarvetta. Jos raaka-aine on tiheydeltään tasais-

ta, vältetään kuidutuksen kuormitushuipuilta, jolloin energiankulutus alenee ja kuidutus pystytään hallitsemaan paremmin.

Sellun valmistuksessa keittokemikaalit imeytyvät herkemmin alhaisen tiheyden omaavaan puuaineeseen, jolloin kemikaalikulutus on vähäisempi ja keittoaika lyhyempi. Keiton optimoinnin kannalta puuaineen tiheysvaihtelun tulisikin olla mahdollisimman vähäistä.

Männyn kuiva-tuoretiheys on keskimäärin 420 kg/m^3 . Kuiva-tuoretiheys kasvaa ytimestä pintaa kohti ja alenee tyvestä latvaa kohti. Ydintä lähellä olevan puuaineen ja pintapuun tiheysero on suurimmillaan noin 100 kg/m^3 pintapuun ollessa painavampaa. Ero tyven ja latvan puuaineen välillä on samaa suuruusluokkaa. Kuusen kuiva-tuoretiheys on keskimäärin 385 kg/m^3 . Kuusella kuiva-tuoretiheys alenee ensimmäiset 5–20 vuotta ytimestä pintaa kohti, minkä jälkeen kuiva-tuoretiheys alkaa kasvaa. Kuusella ytimen ja pinnan puuaineen tiheysero on $20\text{--}30 \text{ kg/m}^3$ ytimen läheisyydessä olevan puuaineen ollessa painavampaa puun tyvellä ja latvassa. Rungon korkeussuunnassa kuiva-tuoretiheys on alhaisimmillaan rungon keskiosissa. Rungon sisäinen kuiva-tuoretiheyden vaihtelu on kuusella huomattavasti vähäisempää kuin männyllä. Runkotasolla kuiva-tuoretiheys korreloi männyllä parhaiten iän ja kuusella kasvunopeuden kanssa. Kuusella voidaan saada kasvunopeuden perusteella luokittelemalla leimikoiden puuaineen tiheyteen 10–15 %:n eroja.

Männyn ja kuusen pintapuun kosteus on noin kaksinkertainen sydänpuun kosteuteen verrattuna. Pintapuussa kosteus on noin 60 %, kun se sydänpuussa on 23–30 %. Siten sydänpuuosuus määrää suurelta osin rungon keskimääräisen kosteuden. Sydän- ja kesäpuuosuuden vähentyessä tyveltä latvaa kohti puuaineen kosteus vastaavasti kasvaa.

Sydänpuuosuus vaihtelee varsin paljon riippuen puun iästä ja tarkastelukohdan sijainnista rungossa. Sydänpuuosuus on suurin vanhoilla puilla rungon tyviosissa. Nuorilla puilla ja runkojen latvaosissa sydänpuuta ei vastaavasti ole juuri lainkaan.

Kesäpuuosuus kasvaa ytimestä pintaa kohti ja vähenee tyveltä latvaa kohti. Rungon koon pienentyessä kesä- ja kevätpuun osuuksien erot ytimen ja pinnan sekä tyven ja latvan välillä pienenevät. Kesäpuuosuus korreloi parhaiten männyllä iän ja kuusella kasvunopeuden kanssa.

Männyllä kuoriosuus riippuu pölkyn sijainnista rungossa, sillä kaarnaisessa tyvipölkkyssä ja läpimitaltaan ohuessa latvapölkkyssä kuoriosuus on suuri. Kuusella kuoriosuus kasvaa tasaisesti pölkyn läpimitan pienentyessä. Moilemmilla puulajeilla kuoren tilavuusosuus kasvaa rungon koon pienentyessä.

Kuidun pituus vaihtelee männyllä 1–5 mm:n ja kuusella 1–6 mm:n välillä. Männyllä kuidun pituus on keskimäärin 3,1 mm ja kuusella 3,4 mm. Rungossa kuidun pituus kasvaa ytimeistä pintaa kohti. Korkeussuunnassa kuidun pituuden maksimi on männyllä 30–50 %:n ja kuusella 10–20 %:n rungonkorkeudella.

Runkokohtainen kuidun pituus alenee rungon koon pienentyessä. Pölkyittäinen kuidun pituus riippuu rungon koon lisäksi pölkyn pituudesta ja sijainnista rungossa. Tukkipuukokoa olevilla puilla pölkkykohtaisten kuidun pituuksien ero koko rungossa on suurimmillaan 1,0 mm:n luokkaa. Kuitupuuosan sisällä pisin kuitu saadaan kuitupuuosan ensimmäisestä pölkystä. Alhaisimmillaan kuidun pituus on viimeisessä latvapölkkyssä. Kuitupuuosasta saatavien pölkkyjen väliset erot kuidun pituuksissa kasvavat kuitupuuosan pituuden kasvaessa ja pölkyn lyhentyessä. Rungon koon pienentyessä siitä saatavien pölkkyjen väliset erot kuidun pituuksissa pienenevät.

Kuituseinämän paksuus kasvaa ytimeistä pintaa kohti, mikä johtuu kesäpuukuitujen osuuden kasvusta. Samasta syystä kuituseinämä ohenee tyveltä latvaa kohti. Kuituseinämän paksuuden kanssa parhaiten korreloivia tekijöitä ovat puun ikä ja kasvunopeus (luston leveys). Männyllä kuidut ovat keskimäärin kuusen kuituja paksuseinäisempiä.

Kuitujen pituusmassa kasvaa rungossa ytimeistä pintaa kohti ja pienenee tyveltä latvaa kohti.

Männyllä kuituominaisuuksia voidaan hallita tehokkaasti luokittelemalla puuraaka-aine iän mukaan. Kuusella tilanne on monimutkaisempi – myös kasvunopeus ja korkeus rungossa aiheuttavat vaihtelua kuituominaisuuksiin.

Homogeenisen keiton edellytyksenä on, että hakkeet ovat tiheydeltään samanlaisia.

2.2 Lajittelu ja puunkäsittely

Kuitupuupölkyn minimiläpimitan pienentämisen 5 senttimetriin on todettu parantavan hakkuun tuottavuutta 7 senttimetrin minimiläpimitaan verrattuna 9 % silloin, kun runkojen vähimmäiskoko pidetään ennallaan. Hakkuukoneella lajittelu kahteen eri paksuusluokkaan (9 ja 5 cm) ei saman selvityksen mukaan lisännyt puutavaran valmistuksen ajanmenekkiä. Tämän todettiin johtuvan siitä, että yksioteharvesterityöskentelyssä lajittelun vaatimat liikkeet voidaan tehdä samanaikaisesti karsinta-katkontavaiheen kanssa.

Puunkäsittelyssä käsitellään suuria ainemääriä ja sitä kautta myös suuria rahavirtoja. Puunkäsittelyn toiminnalla voidaan vaikuttaa merkittävästi koko tehtaan toimintaan ja käyttötalouteen. Puunkäsittelyn yleisperiaatteena on, että puu tulee syöttää prosessiin mahdollisimman tuoreena. Toinen tärkeä periaate on, että prosessiin syötetään puuta järeysluokittain.

Taulukossa 1 on esitetty puunkäsittelyn osa-alueet ja niiden tehtävät.

TAULUKKO 1 Puunkäsittelyn osa-alueet ja niiden tehtävät

| Puunkäsittelyn osa-alue | Tehtävä |
|-------------------------|--|
| Puukenttä | Syöttää kuorimoon eri puulajit kampanja-ajona aina kaatovanhimmasta päästä ja mahdollisesti ikä- ja kokoryhminä sekä pitää syötön kuorimolle tasaisena. |
| Kuorinta | Irrottaa kuori puusta riittävällä tarkkuudella ilman puuhävikkiä. |
| Haketus | Tuottaa tasalaatuisia, massanvalmistajan kannalta oikeankokoisia hakepaloja purua tai muuta epäkelvopuuta jätettävänä. |
| Varastointi | Mahdollistaa homogeeninen hakevirta prosessiin kuidunpituuden, iän, kosteuden, kuoripitoisuuden ja palakoon suhteen sekä sekoittaa eri puulajit haluttuun suhteeseen. Varmistaa tehtaan raaka-aineen saanti. |
| Seulonta | Yhdenmukaistaa hakevirran palakokoa poistamalla pienintä eli purujaetta ja muokkaamalla suurinta eli ylipaksumuuta jaetta keittokelpoiseksi poistamatta käyttökelpoista kuituainetta. |

Puukentän toiminnot muodostavat koko puunkäsittelyosaston kustannuskertymästä jopa yli puolet. Puutavaran varastointi tulisi minimoida, sillä jokainen tehdasvarastoitu pölli aiheuttaa suoranaisten varastonarvokustannusten lisäksi käsittelykustannuksia puukentällä. Varastointi puukentälle aiheuttaa ylimääräisen käsittelykerran verrattuna puun suoraan käyttöön syöttöön.

Varastoalueella on oltava jokaiselle lajikkeelle omat alueensa. Ainakin puulajit tulisi lajitella erilleen ja lajit vielä jakaa ohuempaan ja järeämpään puuhun. Lisäksi ensiharvennuspuun tulisi olla omana lajikkeenaan. Tehtaan tuotevalikoiman mukaan lajikkeita voi olla useampiakin. Pienpuun ja järeän puun lajittelulla saadaan 1,5–2 prosenttiyksikköä pienempi puuhäviö.

Lajittelua voitaisiin tehdä myös pölkkyjen pituuden mukaan. Kuorinnan kannalta 3-metrinen puu on edullisin. Lyhyt puutavara kuoriutuu pitkää nopeammin ja silloin kuorinnassa päästään helpommin vaadittavaan puhtautteen ja pienemmällä puuhäviöillä. Samalla minimoidaan puiden katkeilu kuorinnan aikana, mikä parantaa hakkeen laatua. Vapaamittaiseen puuhun verrattuna 3-metrisellä puulla saadaan 1,2 prosenttiyksikköä pienempi puuhäviö.

Tulevaisuudessa lyhyeksi katkotun puun osuus lisääntynee, kun kuidutuksessa kaikki kuidun ominaisuudet halutaan ottaa lopputuotteessa maksimaalisesti huomioon, myös taloudellisesti.

Pölkkyjen keskimääräinen kuorinta-aste riippuu niiden viipymääjasta kuorimarummussa. Viipymäaika on kuitenkin vain viitteellinen suure. Todelli-

suudessa kuorinta-aste riippuu pölkkyihin kohdistuneen mekaanisen paineen ja iskujen määrästä, joiden vaikutuksesta kuori irtoaa puun pinnalta.

Viipymääjan lisäksi kuorinta-asteeseen vaikuttavat rummun täyttöaste ja rummun pyörintänopeus. Täyttöasteen optimi riippuu toisaalta puun pituuden suhteesta rummun halkaisijaan ja toisaalta puun halkaisijan suhteesta puun pituuteen. Lyhyttä, esim. hiokepuuta, kuorittaessa rummun optimitäyttöaste on 50–60 %. Vapaamittaista sellupuuta kuorittaessa optimitäyttö on 35–45 %. Täyttöastetta säädetään purkausluukun asemaa säätämällä.

Kuorinta-asteeseen ja siten tarvittavaan viipymäaikaan rummussa vaikuttavat:

- puulaji (koivu, havu)
- puun tiheys
- puun tuoreus
- puun lämpötila
- puun pituus
- puun halkaisija
- rummun täytösaste
- rummun pyörimisnopeus
- rummun halkaisija ja pituus
- rummun kallistus.

Muuttujaparametrejä on lukuisia. Tästä johtuen kuorintaprosessin optimointi ei ole helppo tehtävä.

Rummun pyörimisnopeus vaikuttaa lähes lineaarisesti rummun kuorintakapasiteettiin. Pyörintänopeudella on kuitenkin käytännössä rajat, joiden ulkopuolelle ei voida mennä ilman, että kuorintaprosessi häiriintyy.

Pyörimisnopeuden alaraja määräytyy siitä, että puiden tulee liikkua rummussa jatkuvana massana. Mikäli nopeudessa mennään niin alas, että puumassa alkaa liikkua jaksottaisesti, menetetään kuorintatehoa ja samalla puuhäviö kasvaa. Yläraja pyörimisnopeudelle saavutetaan, kun puun liike tulee niin rajuksi, että puu säilytyy ja katkeilee aiheuttaen puuhäviötä liian paljon.

Rumpukuorinnassa kuorintaolosuhteiden muutokseen reagoidaan yleensä säätämällä rummun kierrosnopeutta. Rummun täyttöaste tulisi pitää aina mahdollisimman vakiona ja kullekin puutyypille optimaalisena.

Jos kuorittavien puiden joukossa on paljon ohuita pölkkyjä, ne katkeilevat ja pirstoutuvat pätkiksi kuorinnan aikana. Seurauksena on ylisuuren ja ylipaksum hakkeen määrän huomattava kasvu. Myös tikkujakeen määrä kasvaa.

Yhden rumpu-hakkulinjan maksimikapasiteetti tulisi rajoittaa tasolle 250 kiintokuutiometriä/h nykyisin käytössä olevan maksimikapasiteetin, 400 kiintokuutiometriä/h, sijasta. Tällöin kuorimarummun halkaisijaa voitaisiin pienentää yli viidestä metristä enintään viiteen metriin ja kuorinta tapahtuisi

hellävaraisemmin, pienemmillä puuhäviöillä ja vähemmän puita katkoen kuin nykyisillä rummuilla, joiden halkaisijat ovat suuria.

Puuhäviöitä voidaan minimoida seuraavin toimenpitein:

- Vain tuoretta puuta prosessiin
- Puun lajittelu ja syöttö prosessiin pölkkyjen halkaisijan ja laadun mukaan
- Puun katkaisu n. 3 metriin ennen kuorintaa (TMP-puu)
- Rumpulinja varustetaan sulatuskuljettimella
- Puun hellävarainen syöttö kuorimarumpuun
- Kuorimarummun halkaisija max 5 (5,5) m
- Rummun pyörimisnopeuden säätö
- Automatisoitu kuorinta-haketuslinja.

Kun samanaikaisesti haketetaan halkaisijaltaan eri suuruisia pölkkyjä, vain osa pölkkyistä saa kunnan tuennan hakkurin vastaterästä. Halkaisijaltaan pieni puu ei myöskään ole jatkuvasti hakun terien vetämänä, mikä aiheuttaa puun pomppimista syöttökidassa. Katkenneista puiden päistä tulee runsaasti purua ja tikkuja, ja lisäksi katkenneet, lyhyet puukappaleet kääntyilevät hakun syöttökidassa vinottain ja poikittain. Tuloksena saattaa olla isoja hakepaloja, säleitä ja päreitä.

Hakkeen laadun parantamiseksi olisi lyhyen puun haketuksessa käytettävä pienisyöttöaukkoista hakkua.

Hakepalojen paksuudella ja paksuusjakautumalla on olennainen merkitys hakkeen jatkojalostuksessa. Tuore puu hakettuu helpommin tasaiseksi palakooltaan. Tasainen hakkeen paksuus (4–6 mm) on tärkeä sekä hierteen että sellun teossa massan korkean laadun ja taloudellisen valmistusprosessin varmistamisessa. Koska klooria ei enää käytetä nykyaikaisessa selluteknikassa, on prosessi tullut herkemmäksi ja vaatii näin ollen parempaa ja tasalaatuisempaa raaka-ainetta.

Homogeeninen hake voidaan keittää matalampaan kappalukuun, jolloin keiton jälkeen massassa jäljellä olevan ligniinin määrä on pienempi. Tämän vuoksi voidaan käyttää vähemmän valkaisukemikaaleja tai yksinkertaisempia valkaisumenetelmiä. Tämä puolestaan vähentää ympäristökuormitusta ja pienentää jäteveden puhdistuskustannuksia. Lisäksi voidaan olettaa, että näin saadaan parempi ajettavuus paperikoneella ja laadukkaampi lopputuote. Tasaisempi- ja korkeampilaatuisempi sellu mahdollistaisi suuremmat paperikoneen ajonopeudet ja/tai pienemmän selluosuuden (sellu kalliimpaa kuin mekaaninen massa) paperissa.

Ideaalihakkeella armeeraussellun teossa saavutettaisiin 300 000 tonnia vuodessa tuottavalla tehtaalla 20–90 milj. markan kustannussäästö vuodessa (luvut vuodelta 1988).

Puun laadunmukainen lajittelu mahdollistaa yhdenmukaisten, laadultaan tasaisten raaka-aineseosten tekemisen. Tämä mahdollistaa edelleen sen, että voidaan käyttää suurempi määrä huonompilaatuista raaka-ainetta, kun raaka-aineen laatu vaihtelee on minimoitu.

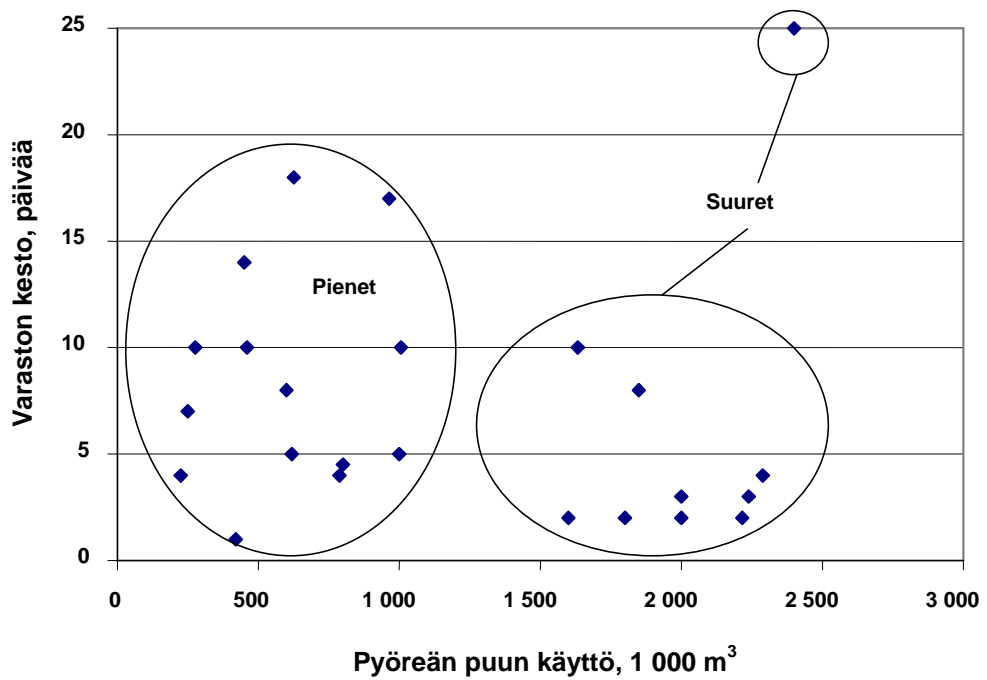
3 PUUNKÄSITTELYN NYKYTILANNE

Kuitupuun tehdaskäsittelyä kartoitettiin kyselytutkimuksella vuodenvaihteessa 1998/99. Kysely lähetettiin 28 tehtaalle, joilla oli omaa puunkäsittelyä. Vastauksia saatiin 25 eli vastausprosentti oli 89 %. Viidellä vastanneista tehtaista tehtiin pelkkää mekaanista massaa hierteestä tai hiokkeesta. Muilla tehtailla tehtiin sellua tai muuta kemiallista massaa ja mahdollisesti lisäksi mekaanista massaa.

Vastaajien puunkäyttö oli 38 milj. m³ vuodessa. Pyöreän puun osuus oli 81 % ja sahanhakkeen 19 %. Tehdaskohtainen puunkäyttö oli pienimmillään 225 000 m³ ja suurimmillaan 3 000 000 m³. Kolme tehtaista ei käyttänyt lainkaan sahanhaketta. Sahanhakkeen osuus oli enimmillään 65 % tehtaan kokonaispuunkäytöstä.

Kuitupuusta toimitettiin tehtaille 64,3 % puutavara-autolla, 29,3 % junalla, 4,7 % laivalla tai proomulla ja 1,7 % uittaen. Kolmelle tehtaista kuitupuu tuli pelkästään autokuljetuksena. Yhdelle tehtaalle toimitettiin puuta kaikilla neljällä kuljetusmuodolla. Tällä tehtaalla autokuljetuksen osuus (33 %) oli kaikista tehtaista pienin ja uittopuun osuus (37 %) suurin. Autokuljetusta käytettiin kaikkien tehtaiden puutoimituksissa. Junaa käytti raaka-aineen kuljetusmuotona 21, laivaa tai proomua 11 ja uittaa 6 tehdasta.

Pyöreän kuitupuun varasto koko tehdasalueella vaihteli 2 000:sta kuutiometristä 200 000:een kuutiometriin. Tämä vastasi 1–25 vuorokauden keskimääräistä käyttöä. Neljällätoista tehtaalla eli 56 %:lla vastanneista, kuitupuuvastastot vastasivat korkeintaan viikon käyttöä. Neljällä tehtaalla varastot vastasivat vähintään kahden viikon käyttöä. Suuria puumääriä käyttävillä tehtailla kuitupuuvastastokierto näytti olevan nopeampaa kuin vähemmän puuta käyttävillä tehtailla (kuva 1). Yksi suurikäyttäjä poikkesi selvästi muista. Kuitupuuvastastoalueen koko oli tyypillisimmillään 3–7 hehtaaria (minimi 0,4 ja maksimi 40 ha). Vain 7 tehtaalla varastoja oli ilmoitusten mukaan lisäksi muualla kuin tehdasalueella.



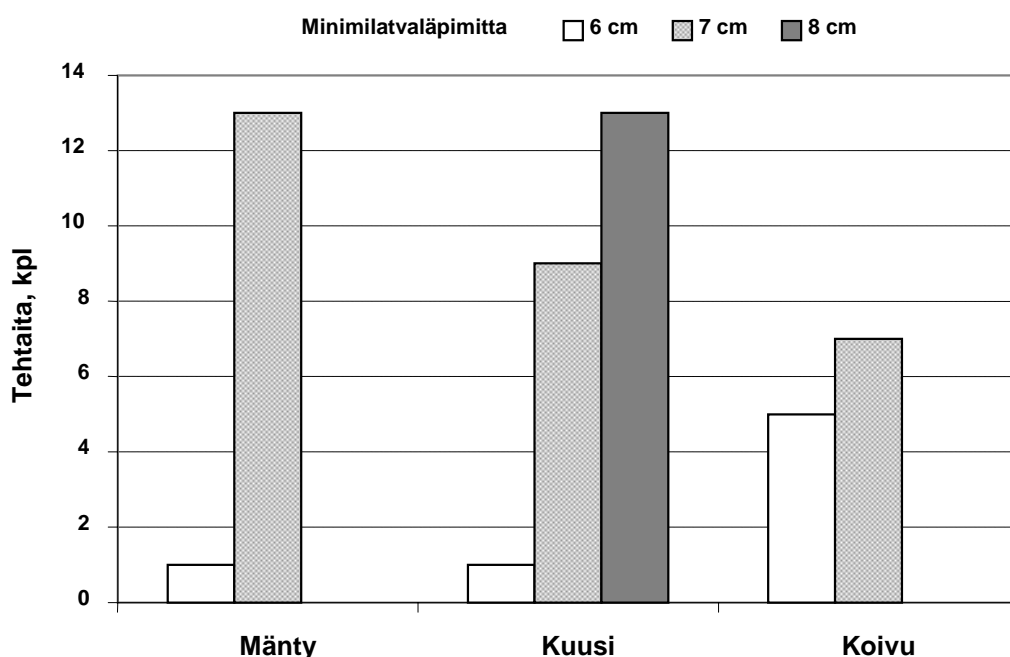
Kuva 1. Tehtaalla sijaitsevien kuitupuuvaretojen keskimääräinen varastossaoloaika.

Varastoinnissa erillään pidettävien raaka-aine-erien määrä riippui luonnollisesti merkittävästi tehtaan valmistamista tuotteista. Mikäli tuotteita on vähän, tarve pitää raaka-aineita erillään oli vähäisempi. Erillään pidettävien raaka-aine-erien määrä vaihteli tehtaaittain yhdestä seitsemään. Tyypillisimmillään erillään pidettiin vain puulajit tai puutavaralajit. Mänty ja kuusikin muodostavat usein vain yhden raaka-aine-erän. Niillä tehtailla, joilla pyrittiin laatulajitteluun, kuitupuutavara lajiteltiin yksinkertaisesti pituuden ja/tai järeyden mukaan. Tällöin sekä pituus- että järey.luokkia oli yleensä kaksi. Yhdellä tehtaalla havupuulle sovellettiin myös laatuun perustuvaa kaksiluokkaista lajittelua. Toisella tehtaalla erotettiin touko-kesäkuulla talvikaatonen ja kaatotuore puu sekä toisinaan lajiteltiin puutavara myös tuoreuden/vaaleuden mukaan.

Erillisinä kuorittavia raaka-aine-eriä oli vähemmän kuin varastoinnissa erillään pidettäviä eriä. Tämä johtuu siitä, että tiettyjä raaka-aine-eriä syötettiin sekoitettuna kuorintaan. Tyypillisesti mäntykuitupuun sekaan syötettiin kuusta ja koivukuitupuun sekaan pieni määrä haapaa. Tosin muutamilla tehtailla kuusi ja mänty sekä koivu ja haapa kuorittiin erillisinä erinä. Kuorinnassa erillään pidettävien raaka-aine-erien määrä vaihteli yleensä yhdestä neljään. Vain 2–3 tehtaalla puutavaraa syötettiin kuorintaan järeyden tai laadun mukaan luokiteltuna. Ainoa pienpuun käsittelyyn tarkoitettu erillinen kuorintalinja oli Stora Enso Oyj:n Kaukopään tehtailla, jossa toimii Pertti Szepaniak Oy:n ketjukarsintaan ja pienrumpukuorintaan perustuva erillis-kuorinta-haketusasema.

Erilläänkuorittuja ja -haketettuja raaka-aineita käytettiin jalostusprosesseissa vakiosuhteissa tuotelaaduittain tai ne esimerkiksi keitettiin omina keittolaitteina ja sekoitettiin halutuissa suhteissa vasta paperinvalmistusvaiheessa. Lajittelu kuorintaa ja haketusta varten voitiin tehdä myös vain puuhävikin pienentämiseksi. Tällöin hakkeet laitettiin haketuksen jälkeen samaan kasaan. Havu- ja lehtikuitupuut keitettiin luonnollisesti erikseen.

Yksi vastaajista ilmoitti mäntykuitupuun minimilatvaläpimitaksi 6 cm, kaikilla muilla se oli 7 cm. Yhdellä tehtaalla puolestaan kuusikuitupuun minimilatvaläpimita oli 6 cm, yhdeksällä 7 cm ja kolmella toista 8 cm. Koivukuitupuulle viisi tehdasta hyväksyi 6 cm:n ja seitsemän tehdasta 7 cm:n minimilatvaläpimitan (kuva 2).



Kuva 2. Kuitupuun minimilatvaläpimitat puulajeittain.

Puulajista riippumatta kuitupuiden sallittu minimipituus oli 2–3 metriä ja maksimipituus 4,6–6 metriä. Yhdellä tehtaalla hyväksyttiin kuitenkin koivukuitupuulle vain kolmen metrin pituus, kun havukuitupuilla pituudet saivat olla kuusi metriä.

Sulatusta käytettiin puutavaralle 3–6 kuukautta vuodessa. Tyypillisesti sulatustarve ajoittui marras–huhtikuulle. Lisäksi joillakin tehtailla käytettiin hiekan poistamiseksi vettä koko vuoden laitteistojen kulumisen ehkäisemiseksi. Neljän vastaajan mukaan heidän tehtailla ei käytetty sulatusta lainkaan.

Ensiharvennuspuun osuuden arvioitiin olevan tyypillisesti 10–20 % kuorimolla käsiteltävästä puumäärästä. Ensiharvennuspuun osuus ei juurikaan vaihdellut puolajaittain. Sen sijaan tehtaiden välinen vaihtelu oli merkittävää. Yhdellä tehtaalla ei käytetty ensiharvennuspuuta sen huonojen kuituominaisuuksien vuoksi lainkaan vapaaehtoisesti. Yhdellä puunkäytöllisesti pienellä tehtaalla käytettiin vain ensiharvennuspuuta ja toisella puunkäytöllisesti merkittävällä tehtaalla ilmoitettiin käytettävän 90-prosenttisesti ensiharvennuspuuta. Nämä tehtaot valmistivat kuusesta kemi-mekaanista ja mekaanista massaa. Ensiharvennuspuun osuus ei yleensä vaihdellut merkittävästi vuodenajan mukaan. Tosin yhdellä tehtaalla kaikki ensiharvennuspuu käytettiin talvella, ja parilla kolmella muulla tehtaalla pienemmän puun käyttö keskittyi jonkin verran talviaikaan.

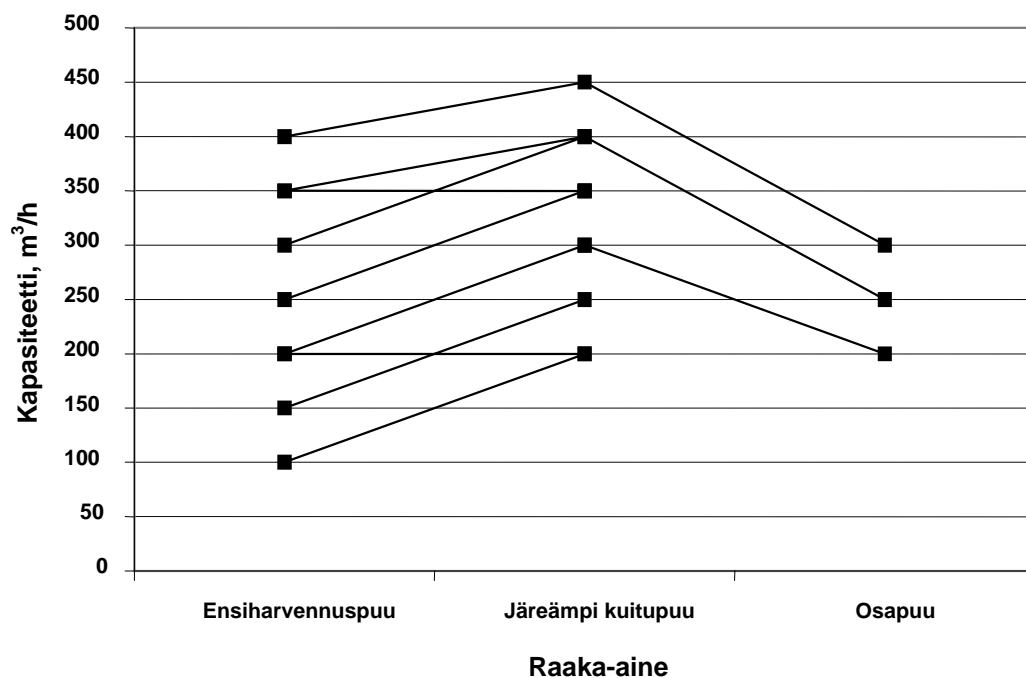
Vanhin vielä käytössä oleva kuorimo oli vuodelta 1936. Kuorimoista yhdeksän oli rakennettu tai niitä oli viimeksi uudistettu 1980-luvulla. Vastaavasti 10 kuorimoa oli rakennettu tai uudistettu 1990-luvulla. Viidellätoista tehtaalla oli käytössä vähintään kaksi kuorimarumpua. Rummun jäljellä oleva käyttöikä oli yhdeksällä tehtaalla korkeintaan viisi vuotta.

Puolessa kuorimoista noudatettiin työaikamuotoa 27 eli jatkuvaa kaksivuorotyötä. Muut käyttivät yhtä paljon työaikamuotoa 35 kuin 37. Ne tehtaot – neljännes kaikista –, joiden kuorimoita käytettiin jatkuvassa kolmivuorossa (työaikamuoto 37), eivät enää voi lisätä kuorimon kapasiteettia työaikaa muuttamalla. Muut tehtaot voivat yksinkertaisesti kasvattaa kapasiteettiaan kuorimon työaikaa lisäämällä.

Neljällä viidestä tehtaasta kuorimon miehitys työvuorossa oli korkeintaan 5 henkilöä. Kuorimon lisäksi puukentällä tarvittiin 1–4 ja muussa kuorimoon liittyvässä toiminnassa 1–5 henkilöä. Muu toiminta oli yleisimmin varalloa tai kunnossapito- ja huoltotöitä. Keskimäärin kuorimon ja puukentän toimintoihin tarvittiin 8 henkilöä vuoroa kohti.

Kuorimon kapasiteettia pidettiin kolmella tehtaalla vastaushetkellä ainakin osittain riittämättömänä. Tulevaisuudessa joillakin tehtailla oli tarve muuttaa työaikamuotoa, jotta selvittäisiin kasvavista kapasiteettitarpeista. Kolmella tehtaalla kuorimon kapasiteetin ei arvioitu riittävän tulevaisuudessa. Lisäksi kolmella muulla tehtaalla kuorimon kapasiteetti arvioitiin tulevaisuudessa riittämättömäksi.

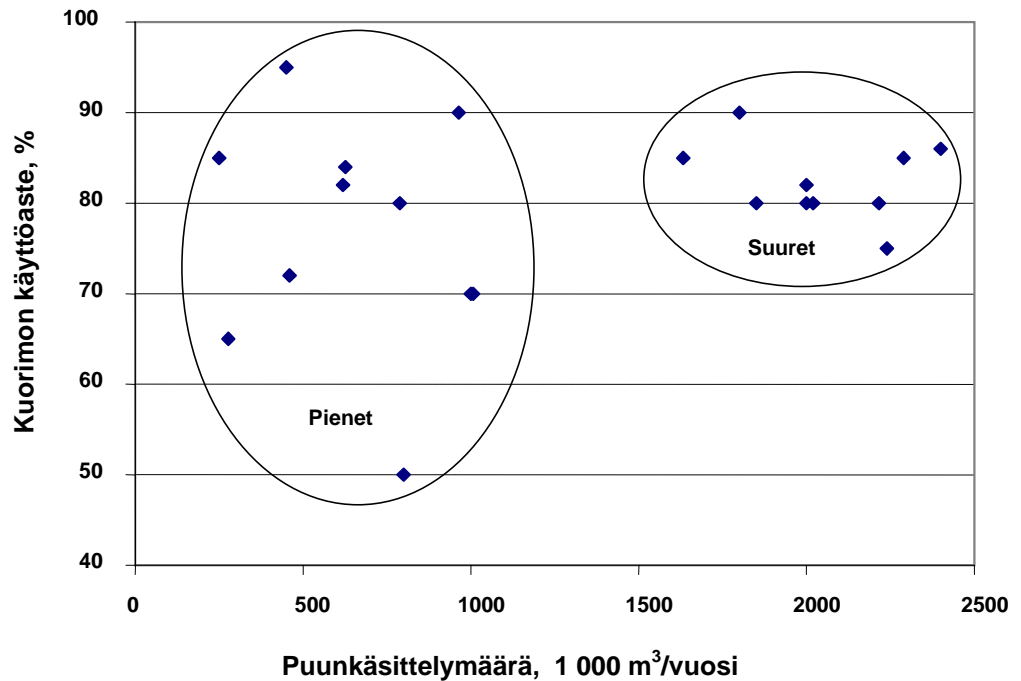
Kuorimoiden kapasiteetit olivat männyllä 200–450 m³/h, kuusella 100–480 m³/h ja koivulla 150–300 m³/h (kuva 3). Kapasiteetin arvioitiin jäävän ensiharvennuspuulla järeän puun kuorintaa viidenneksen pienemmäksi. Vastaavasti osapuulla kapasiteetin arvioitiin pienenevän kolmanneksella. Kokeimuksia osapuun käytöstä oli yhdeksällä tehtaalla, useat niistä lyhytaikaisia. Parilla tehtaalla käsiteltiin vieläkin jonkin verran osapuuta. Sitä syötettiin yleensä 10–20 % normaalin kuitupuun sekaan. Osapuun käytön ongelmiksi on koettu kapasiteetin pieneminen, suuri kuorintatähteen määrä, hakkeen laadun huononeminen ja puuhäviöiden suureneminen.



Kuva 3. Kuorimon kapasiteetit eri mäntyraaka-aineilla.

Mikäli pienikokoiset pölkyt – ensiharvennus- ja latvapuu – lajiteltaisiin pois järeämmän kuitupuun joukosta eli kuorittavien pölkköjen keskikoko kasvaisi, arveli valtaosa vastaajista, että myös kuorimon kuorintakapasiteetti kasvaisi. Prosentuaalisia arvioita ei juuri esitetty, mutta yksi vastaaja oli todennut kapasiteetin kasvuksi noin 10 %, ja toinen arvioi, että kapasiteetti kaksinkertaistuisi. Muutaman vastaajan mielestä tällä toimenpiteellä ei olisi merkitystä kuorimon kapasiteettiin. Muutama muu totesi, että kapasiteetti kasvaisi hieman tai erittäin vähän. Vastaajien mielestä järeyslajittelulla saavutettavia muita etuja olisivat puuhäviöiden pieneneminen ja hakkeen laadun paraneminen. Edut saavutettaisiin, kun pölkyt eivät katkeilisi ja pirstoutuisi niin paljon kuin sekakuorinnassa.

Kuorimoiden käyttöaste oli keskimäärin hieman alle 80 %. Tehtailla, joiden puunkäsittelymäärä oli korkeintaan miljoona kuutiometriä vuodessa, ilmoitettujen käyttöasteiden vaihtelu oli selvästi suurempi kuin niillä tehtailla, joiden puunkäsittelymäärät olivat yli 1,5 milj. m³ (kuva 4).



Kuva 4. Kuorimoiden käyttöasteet vuotuisen puunkäsittelymäärän mukaan.

Niissä kuorimoissa, joissa puunkäsittelymäärä oli vähintään 800 000 m³, kuorimo seiso huollon ja korjauksen vuoksi keskimäärin 420 tuntia vuodessa. Kuorimon huolto- ja korjaustöihin käytettiin keskimäärin 10 000 mies-työtuntia kuorimoa kohti vuodessa.

Kuorinnan puuainehävikit pyydettiin ilmoittamaan painoprosentteina kuorellisen puun kuivapainosta. Keskimääräiseksi kuorintahävikiksi männylle tai havupuulle, jos männyn seassa ajettiin myös kuusta, arvioitiin yhdestä vajaaseen kolmeen prosenttiin. Yksi vastaajista ilmoitti poikkeuksellisesti kuorinnan puuhävikiksi männyllä 15 %. Kuusella suurin osa puuhävikin ilmoittaneista tehtaista arveli sen olevan 1–3 %. Kolme vastausta poikkesi selvästi muista: näillä hävikkiarviot olivat 9–10, 12 ja 15 %. Koivulla keskimääräiseksi puuhävikiksi arveltiin 1,5–3 %. Jälleen kahdelta tehtaalta tuli jonkin verran poikkeavat arvot: 6 ja 7 %. Mikäli ensiharvennuspuu kuoritaisiin erillisenä, arveltiin tämän pienentävän ensiharvennuspuun raaka-aineen puuhävikkiä 1–3 % verrattuna sekakuorintaan. Useasta vastauksesta puuttui puuhävikkiarvio, ja edellä annetut arvotkin ovat suurimmalta osaltaan vain arvioita ilman täsmällisempää tutkimustietoa.

Haketettavien pölkkyjen järeyden kasvaessa myös hakkurin kapasiteetin esitettiin aika yleisesti kasvavan. Joillakin tehtailla vaikutukseksi arvioitiin jopa kymmeniä prosentteja. Hakkurin kapasiteettia pidettiin optimaalisena, kun pölkyn pituus on 3 metriä ja halkaisija 20–30 senttimetriä. Pölkyn läpimitan ja pituuden kasvun katsottiin melko yleisesti parantavan hakkeen laatua eli parantavan palakokojakaumaa ja suurentavan hyväksytyin hakkeen osuutta. Yli kahdessa kolmesta hakkurista käytettiin puhallukseen perustuvaa hakkeen purkaustapaa. Paremman hakkeen laadun tuottavat, allepurkavat tai läpivirtausperiaatteella toimivat, hakkurit olivat vielä harvinaisia.

Mänty-/havuhakkeen kuoripitoisuusvaatimus oli tehtailla enintään 0,3–2 %, yleisimmin korkeintaan 1 %. Kuusi yhdestätoista vastaajasta ilmoitti, että heidän saavuttamansa kuoripitoisuus mänty-/havuhakkeella on korkeintaan 0,5 %. Yksi tehdas ilmoitti saavutetuksi kuoripitoisuudeksi 1–1,5 % ja yksi 1–3 %. Jälkimmäinen näistä tehtaista oli ainoa, joka pääsi korkeintaan tavoitetasoonsa eli yhteen prosenttiin kuoripitoisuuden osalta. Kaikki muut alittivat vaaditun tehdaskohtaisen kuoripitoisuuden.

Kuusihakkeella kuoripitoisuusvaatimus oli tehtaittain 0–1,3 %. Puolella ilmoittaneista tehtaista kuoripitoisuus sai olla korkeintaan 0,5 %. Kaikilla kolmellatoista tehtaalla, joilta oli ilmoitettu sekä kuoripitoisuustavoite että saavutettu kuoripitoisuusprosentti, päästiin vähintään tavoitetasolle.

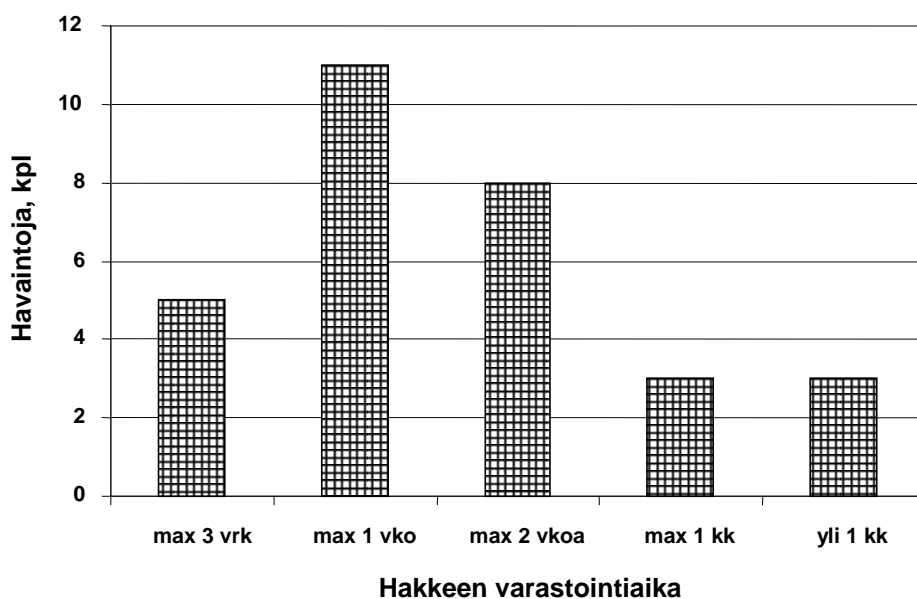
Koivuhakkeella kuoripitoisuusvaatimus vaihteli tehtaiden välillä 0,3–2 %. Kahdella tehtaalla kymmenestä sallittiin korkeintaan 0,5 %:n kuoripitoisuus ja kahdella sallittiin sen olevan yli 1 %. Kaikilla kymmenellä tehtaalla, joilta oli ilmoitettu sekä kuoripitoisuustavoite että saavutettu kuoripitoisuusprosentti, päästiin myös koivun osalta kuoripitoisuudessa vähintään tavoitetasolle.

Yhdeksällä tehtaalla 22:sta oli ainakin osalle raaka-aineesta siilovarastointi. Muilla tehtailla hake varastoitiin ulkona kasoissa. Yksi vastaajista ilmoitti ainoaksi hakkeen varastointipaikakseen siilot, joita oli kaksi. Lisäksi eräällä toisella tehtaalla siirryttiin keväästä 1999 lähtien yksinomaan siilovarastointiin. Siiloissa varastoitavat raaka-aineet vaihtelivat tehtaittain: joissakin siiloihin varastoitiin omaa haketta, joissain taas sahanhaketta. Yleisimmin hakevarastokasoja oli kaksi–yksi havu- ja toinen koivuhakkeelle. Jos oli kolmas kasa, niin se muodostettiin yleensä ostohakkeesta (sahanhake). Kolmella tehtaalla pärjättiin yhdellä hakekasalla ja kolmella niitä oli vähintään viisi (taulukko 2). Hakevarastokasojen tarve on luonnostaan suurempi, mikäli samassa integraatissa tehdään sekä sellua että mekaanista massaa. Yhdellä pelkkää sellua valmistavalla tehtaalla oli kuitenkin kuusi kasaa: 2 havuhakkeelle, 2 lehtipuuhakkeelle, 1 sahanhakkeelle ja 1 purulle. Kasojen määrä riippuu myös siitä, tehdäänkö tehtaalla sekä havu- että koivusellua.

TAULUKKO 2 Hakevarastokasojen määrä

| Hakevarastokasat, kpl | Tehtaita, kpl |
|-----------------------|---------------|
| 1 | 3 |
| 2 | 10 |
| 3 | 6 |
| 4 | - |
| 5 | 1 |
| 6 | 1 |
| 7 | 1 |

Hakekasojen koot vaihtelivat runsaasti tehtaittain. Pienemmillä tehtailla kasojen maksimikoko oli vain 10 000 m³, kun se isommilla tehtailla oli jopa 200 000 m³. Yleensä hakevarastot olivat suurimmillaan kevätkesällä ja pienimmillään loppukesällä. Yleisin hakkeen varastointiaika oli 1–2 viikkoa (kuva 5). Parilla tehtaalla hakkeen kiertonopeus oli koko raaka-aineen osalta 2–3 vuorokautta. Pisin hakkeen kiertonopeus oli puolestaan 3 kuukautta. Tyypillisin ero yksittäisen tehtaan kohdalla eri hakelaatujen välisessä kiertonopeudessa oli se, että havuhakkeen kiertoaika oli kaksinkertainen koivu-hakkeeseen verrattuna.



Kuva 5. Hakkeen varastointiaika.

Lähes kahdella kolmesta tehtaasta hakkeesta poistettiin sekä ylisuuret jakeet että puru. Kolmella neljästä tehtaasta poistettiin hakkeen seasta puru. Puruseulan koko oli 5–10 mm, yleisimmin 6 tai 8 mm. Puru käytettiin tavallisesti polttoon. Neljällä tehtaalla oli erillinen purukeitto. Lisäksi yhdellä tehtaalla osa erilleen seulotusta purusta syötettiin kuitenkin keittoon. Ylisuuret jakeet poistettiin neljällä viidestä tehtaasta. Ylisuurten jakeiden seulakoot vaihtelivat 45:stä 60:en millimetriin. Yhtä yleisiä olivat seulakoot 45, 55 ja 60 mm. Myös kokoa 50 mm esiintyi.

Edellä olevat tiedot osoittavat, että kuorimon tuotantolinjassa käytetään usein toisenlaisia seulakokoja kuin selluhakkeen laatuselonnassa, jossa koot ovat: 45 mm (ylisuuri), 8 mm rako, 13, 7 ja (puru) 3 mm.

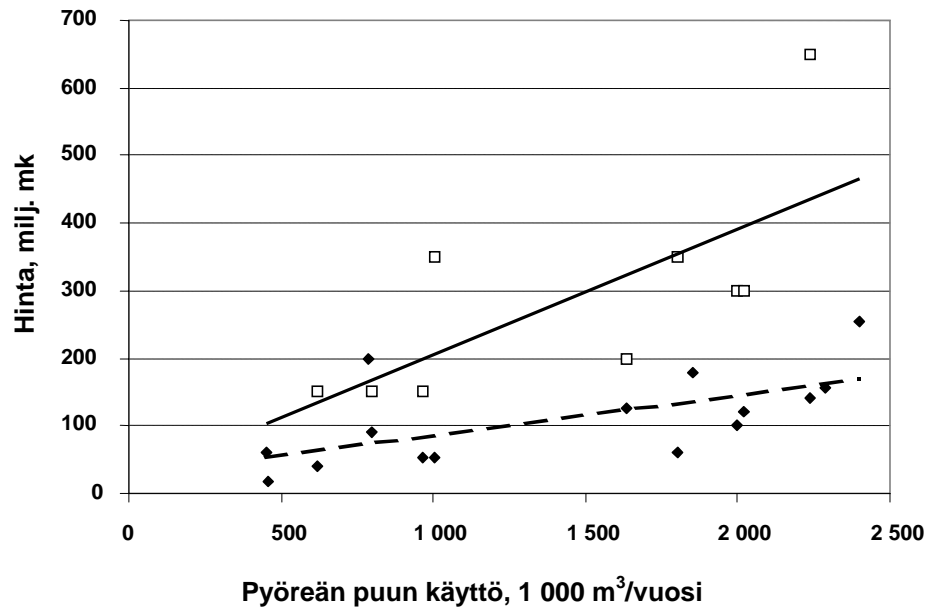
Kuorintatähde poltettiin lähes aina omalla tehtaalla. Vain kahdella tehtaista ei käytetty itse kuorintatähdettä. Vastaajat toivoivat kuorintatähteen olevan mahdollisimman kuivaa. Parin vastaajan mukaan poltto on taloudellisesti kannattavaa, kun kuiva-ainepitoisuus on vähintään 35 %.

Kuorintatähteen lämpöarvo paranisi, jos päästäisiin täydelliseen kuiva-kuorintaan. Samalla säästettäisiin energiaa lämpimän veden tai höyryn tarpeen vähetessä. Viisi vastaajista mainitsi täydellisen kuivakuorinnan eduksi myös jätevesikustannusten pienenemisen. Yhden vastaajan mielestä säästö täydellisestä kuivakuorinnasta olisi vuodessa useita miljoonia. Tämä vastaaja edusti yhtä suurimmista pyöreän puun käyttäjistä. Kuivakuorinnan ongelmista tuli esille pölyäminen. Myös epäilyksiä täydellisen kuivakuorinnan onnistumisesta esitettiin, erityisesti koivulla ja talviaikaan.

Useimmilla tehtaista ei olisi kyetty hyödyntämään esimerkiksi osapuusta kertyvää, enemmän oksiakin sisältävää kuorintatähdettä, sillä niillä oltiin omavaraisia poltettavan kuoren suhteen jo nyt tai niiden kuorikattiloiden kapasiteetit olivat riittämättömiä tai polttoaineen kuljettimet ja syöttölaitteet soveltumattomia oksaisen kuorintatähteen käsittelyyn. Viidellä tehtaalla olisi voitu kuitenkin hyödyntää nykyistä enemmän oksia sisältävää kuorintatähdettä.

Nykyisten puunkäsittelyjärjestelmien hinnat investointihetkellä olivat olleet alle kahdestakymmenestä yli 250 miljoonaan markkaan. Samanlaisten laitojen nykyhetken investointikustannuksiksi arvioitiin 150–650 milj. mk (kuva 6).

Kuusi tehdasta oli peruskunnostanut puunkäsittelyjärjestelmänsä 1990-luvulla. Seitsemällä tehtaalla oli tulossa peruskunnostus lähimmän viiden vuoden aikana.



Kuva 6. Nykyisten puunkäsittelyjärjestelmien hinta investointihetkellä (katkoviiva, mustat ruudut) ja vastaavan järjestelmän hinta nyt tehtynä uusinvestointina (yhtenäinen viiva, valkoiset ruudut).

Oman laitoksen puunkäsittelyn kehitysnäkymät vaihtelivat luonnollisesti paljon puunkäsittelyjärjestelmien iän mukaan. Yhdellä oli edessä alasajo. Esitettyjä tulevia tai harkinnassa olevia uudistuksia olivat:

- uuden kuorimon rakentaminen
- kaikkien prosessilaitteiden uusiminen
- kahden uuden kuorintalinjan rakentaminen ja toisen kuorintalinjan täydellinen modernisointi
- laitteistojen systemaattinen parantaminen
- automaation lisääminen esim. kuorinnan optimoimiseksi
- puun syötön kehittäminen hellävaraisemmaksi
- ensiharvennuspuun erilliskuorintaan siirtyminen
- pienpuun käsittelyratkaisujen miettiminen
- erilaisten puulajien hakettaminen omiin hakevarastoihin
- ulkovarastoinnin lopettaminen
- hakkeen keskimääräisen laadun parantaminen ja sen kehittäminen tasa-laatuiseksi
- jätevesivaatimusten kiristyessä kuivakuorinnan harkitseminen.

Yleisinä kehitysnäkyminä esille tuli seuraavia kommentteja:

- puunkäsittely siirtyy ulkopuolisille yrittäjille
- ulkopuolisen hakkeen toimitus kasvaa
- hakkureita tulisi kehittää
- puiden lajittelua tulisi kehittää
- hakkeiden erillään pitoa tulisi kehittää
- raaka-aine tulisi hallita mahdollisimman täydellisesti massan laadun hallitsemiseksi
- haketuksen ja massanvalmistuksen kehittyessä seulonnan merkitys vähenee
- halkaisijaltaan yli 6-metriset rummut poistetaan käytöstä, sillä puuhäviöt ovat kuorinnassa liian suuret
- vedenkäsittely minimoidaan ja kuivakuorinta yleistyy.

Erillisestä Stora Enso Oyj:n Kaukopään tehdasalueella sijaitsevasta Pertti Szepaniak Oy:n laitteiston kaltaisesta pienpuun käsittelyasemasta oli kiinnostunut tietyin ehdoin 3–4 tehdasta. Suurimmalla osalla tehtaista ei vastaajien mielestä yksinkertaisesti ollut tarvetta vaihtoehtoisiin tai täydentäviin järjestelmiin, sillä puunkäsittely hoitui heidän mielestään nykyisellä järjestelmällä. Monet eivät olleet kiinnostuneita, sillä nimenomaan pienpuu ei raaka-aineena kiinnostanut. Pari vastaajaa piti esitettyä 15–20 markan käsittelykustannusta hakekiintokuutiometriä kohti kalliina. Yksi vastaaja ilmoitti omiksi käsittelykustannuksikseen 10 mk/m³. Sekaannusta on saattanut aiheuttaa se, että kysymyksessä puhuttiin käsittelykustannuksista, kun tarkoitettiin kokonaiskustannuksia, joihin sisältyivät myös pääomakustannukset. Pääomakustannukset eivät sen sijaan sisältyne em. kymmeneen markkaan.

Yleisinä kehitystarpeina puunkäsittelyyn ja puunhankintaan esitettiin:

- tuoreempaa puuta tehtaalle – logistiikan kehittämistä
- kuljetusten ohjelmointia kehitettävä
- varantoja pienennettävä
- ylisuuret varastot pois
- sahoille varasto hakkeelle
- kuoren puupitoisuusmittaus käyttöön
- kuoritun puun kuoripitoisuusmittaus käyttöön
- kuorimon ohjausta parannettava
- hakkeen ja puun määrämittaukset käyttöön
- 3-metrinen pölkkö kuorintaa ja hakkuun syötön tasaisuutta varten
- rummun maksimihalkaisijaksi 5,5 metriä
- mahdollisimman täydellinen puuraaka-ainevirran hallinta kannolta lopputuotteeksi
- raaka-aineiden tehokkaampi hyödyntäminen.

4 PUUNKÄSITTELYN VAIHTOEHDOT JA KUSTANNUKSET

4.1 Kuorinta- ja haketuskustannukset tehdaskuorimolla

Sellutehtaan kuorimon hinnan määrittäminen ei ole yksiselitteistä. Eri lähtökohdista käsin voidaan päätyä varsin erilaisiin investointikustannuksiin. Esimerkiksi erään vuoden 1992 lähteen mukaan sellutehtaan kuorimon investointihinta oli vuotuisen käsiteltävän puumäärän ollessa 2,7 milj. m³ vuodessa jopa 120 mk/kiintokuutiometri/a. Näin kokonaiskustannukset olisivat noin 320 milj. markkaa.

Tässä tarkastelussa kuorimon investointihinta määritettiin seuraavasti. Puunkäsittelyn nykytilannetta koskevan kyselyn yhteydessä saatiin kuorimon investointitiedot seitsemältä sellaiselta tehtaalta, joiden pyöreän puun käyttö oli noin 2 milj. m³ vuodessa. Nämä investointihinnat muutettiin vuoden 1998 nykyarvoksi tukkuhintaindeksillä. Näin saaduista arvoista laskettiin tehdaskohtaisesti investointihinnan ja nykyisen vuotuisen puunkäsittelymäärän suhde, joka vaihteli välillä 73–114 mk/k-m³/a. Ylin ja alin arvoista jätettiin pois. Näin keskiarvoksi muodostui 86 mk/k-m³/a. Kun tämä kerrottiin 2,2 miljoonalla kuutiolla, mikä oletetaan laskelmissa kuorimon vuotuiseksi puunkäytön perusarvoksi, saatiin kuorimon investointihinnaksi 189 milj. mk. Kuorimolle tehdään yleensä noin kymmenen vuoden jälkeen peruskunnostus. Tämän kunnostuksen hinnan on tässä oletettu sisältyvän vuositaisiin huolto- ja korjauskustannuksiin.

Kuorimon elinkaari on korkeintaan 15–20 vuotta. Elinkaaren pituus riippuu kuorintamääristä, käyttöolosuhteista, kunnossapidon tasosta ja erityisesti kuorimon kiertoveden pH:sta. Kuorimon kunnossapitokustannukset nousevat kuorimon elinkaaren loppuvaiheessa suuriksi. Kunnossapitotoiminnan ohella on järkevää suorittaa laitteistojen uusintaa.

Tässä kuorimon pitoaikana käytettiin 20 vuotta. Edelleen on oletettu kuorimon toimivan 27:ssä eli kahdessa vuorossa seitsemänä päivänä viikossa. Työntekijöitä kuorimolla, sisältäen puukenttä- ym. vastaavat toiminnot, oletetaan olevan yhteensä 8 vuoroa kohti. Kuorimon viikkoseisokiksi on oletettu 160 ja huoltoseisokiksi 400 tuntia vuodessa. Lisäksi käynnistykseen ja pysäytykseen menee 250 tuntia vuodessa. Käyttöasteeksi seisokittomasta ajasta oletetaan 85 %. Pitoajaksi tulee näin reilut 82 000 tuntia. Jäännösarvon oletetaan olevan 1 % investointihinnasta.

Kuoren osuutena tehtaalle tulevasta kuoripäällisestä puusta käytetään 11 %. Kuorinnan puuhävikiksi koko pyöreälle puuraaka-aineelle oletetaan 2 %. Lisäksi seulonnan puuhävikki on 0,5 %.

Vieraan pääoman koroksi asetetaan 7 % ja oman pääoman 5 %. Oman pääoman osuuden ollessa 30 % investointikustannuksesta, on keskimääräinen korko 6,4 %.

Palovakuutusten ja siivous- ym. vastaavien kiinteiden kustannusten määrä on 1 000 000 mk vuodessa.

Muuttuvia kustannuksia oletetaan muodostuvan seuraavasti käsiteltäviä puukuutiometriä kohti. Arvot perustuvat eräältä tehtaalta saatuihin toteutuneisiin kustannuksiin:

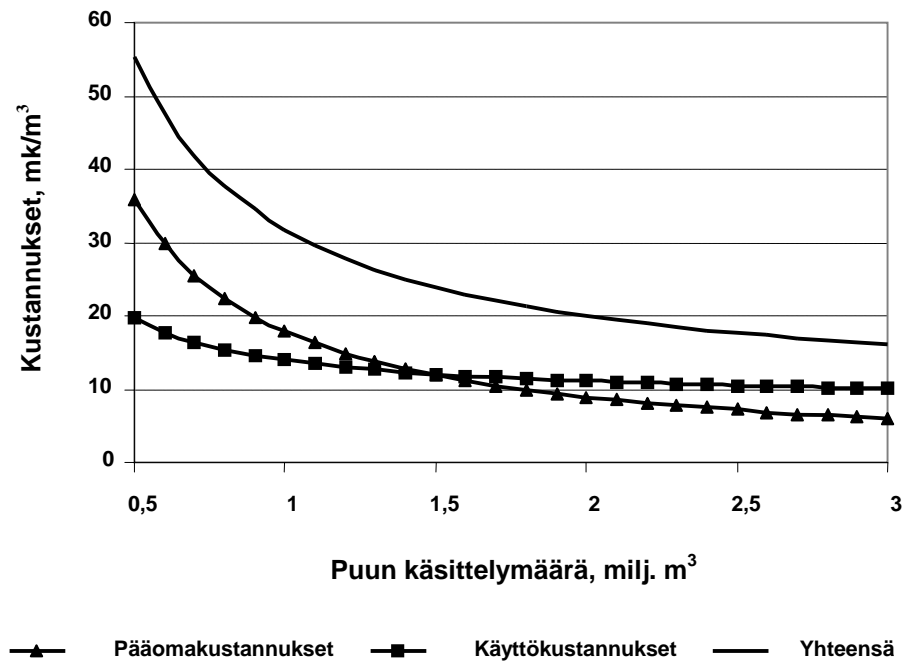
- sisäiset kuljetukset 3,56 mk/m³
- energia (sähkö, höyry, kuuma vesi) 0,42 mk/m³
- kunnossapito 2,73 mk/m³
- hakkurin terät ja laikat 0,27 mk/m³
- kuorimon osuus jäteveden puhdistuksesta 0,14 mk/m³.

Edellä esitetyin arvoin, ja siis olettaen kuorimon puunkäyttömääräksi 2,2 milj. m³ vuodessa, saadaan kuorinta- ja haketuskuorimokustannuksiksi 18,94 mk/hakekiintokuutiometri (taulukko 3). Kuorimon käyttötuntikustannukset ilman arvonlisäveroa ovat 8 777 mk.

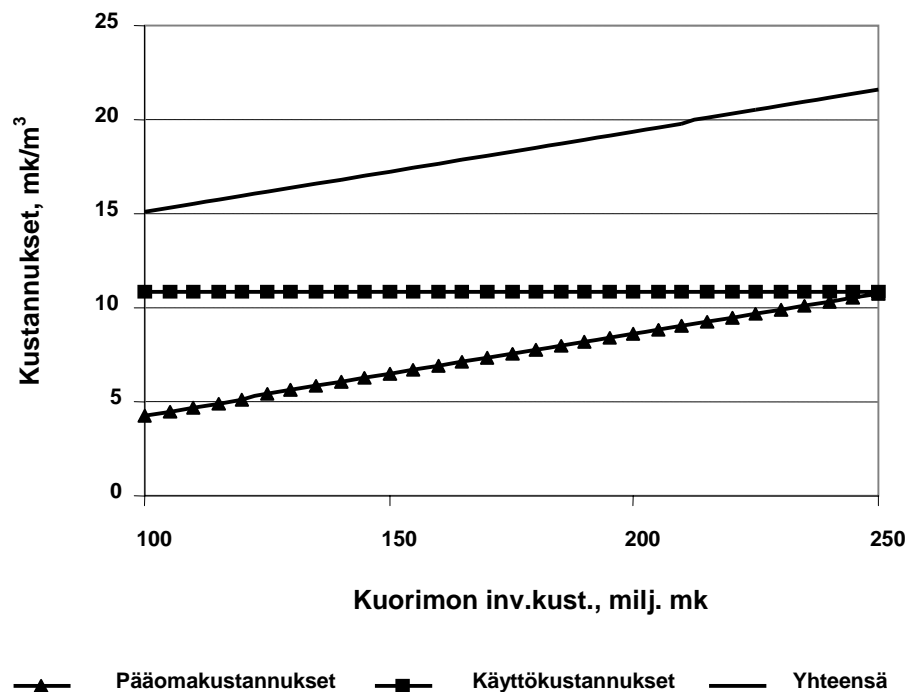
TAULUKKO 3 Kuorinta- ja haketuskuorimokustannukset tehdaskuorimolla

| Kustannuslaji | Kustannukset, mk/hakekiinto-m ³ | Osuus, % |
|--------------------|--|----------|
| Pääomakustannukset | 8,13 | 43 |
| Käyttökustannukset | 10,81 | 57 |
| Yhteensä | 18,94 | 100 |

Kuvassa 7 on esitetty kuorinta- ja haketuskuorimokustannusten riippuvuus puunkäsittelymäärästä ja kuvassa 8 kuorimon investointikustannuksesta.



Kuva 7. Kuorinta- ja haketuskuostannusten riippuvuus puun käsittelymäärästä tehtaalla, jonka kuorimoinvestointi on 189 milj. mk.



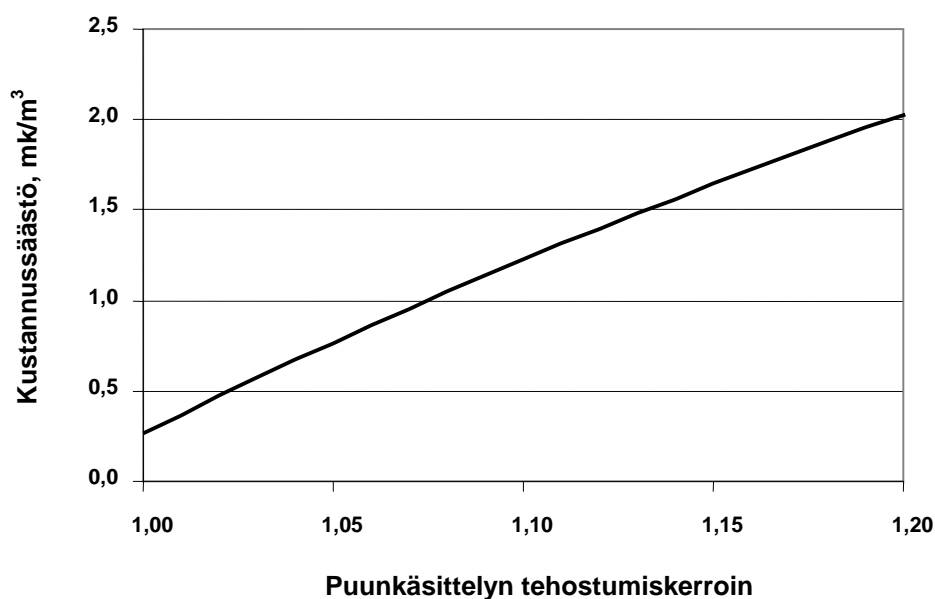
Kuva 8. Kuorimon investointikustannusten vaikutus kuorinta- ja haketuskuostannuksiin kuorimolla, jonka puunkäyttö on 2,2 milj. m³ vuodessa.

Jos pienpuu erotellaan pois järeämmän seasta, ja kuorimossa kuoritaan ja haketetaan pelkästään järeämpi osa, rummun kapasiteetti nousee. Tästä on etua ainakin siinä tapauksessa, että kuorintakapasiteetista alkaa olla puute.

Mikäli samalla rummulla, jolla käsitellään 2,2 milj. m³ normaalia kuitupuuta, jonka oletetaan sisältävän 15 % pienpuuta (330 000 m³ ensiharvennuspua ja ohutta latvapuuta), käsitelläänkin sama määrä järeämpää kuitupuuta, kuorintakustannukset pienenevät pelkästään pienemmästä lähtökuoripitoisuudesta ja kuorintahävikin pienenermisestä johtuen 0,27 mk/m³. Koko puunkäsittelymäärällä tämä tarkoittaa lähes 0,6 milj. markan säästöä.

Edellisessä pienpuosuuden lähtökuoripitoisuuden on oletettu olevan 15 %. Pienpuosuuden ollessa 15 %, on järeämmän puun lähtökuoripitoisuus 10,3 %. Vastaavasti pienpuun kuorintahävikiksi järeämmän puun seassa on oletettu 5 %. Tällöin keskimääräisen puuhävikin ollessa 2 % järeämmän puun kuorintahävikiksi tulee 1,5 %.

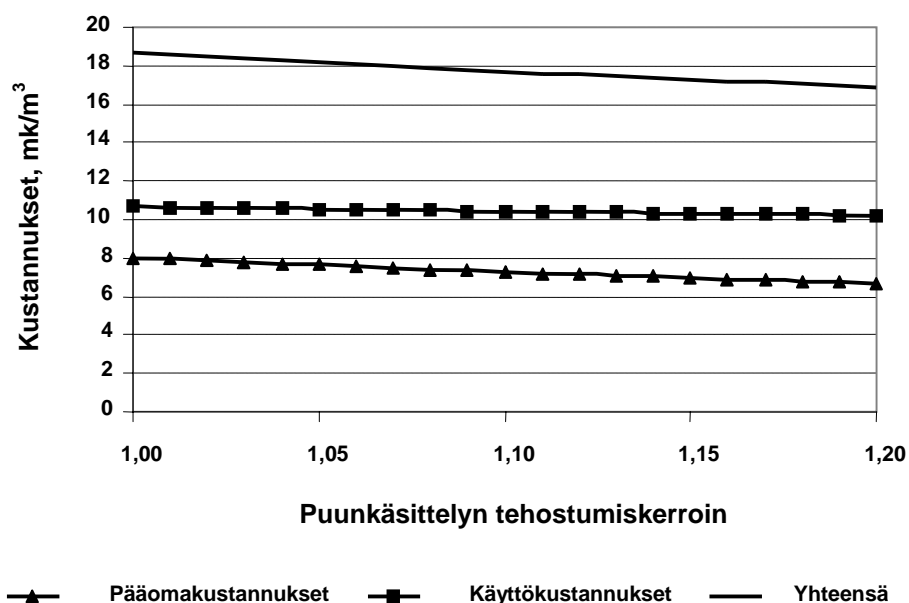
Jos järeämmän puun kuorinta ja haketus tehostuu pienpuun erottamisella 1–20 %, saavutetaan puunkäsittelyssä kuvien 9 ja 10 mukaiset kustannussäästöt. Tämä kustannussäästö voidaan kohdistaa pienpuun erilliskäsittelyyn ilman, että puunkäsittelyn kokonaiskustannukset nousevat. Etuna saavutettaisiin pienpuun parempi erossa pidettävyyys ja näin parempi hakkeen laadun hallinta. Myös kokonaispuuhäviöt vähenisivät. Puunkäsittelyn kustannuksiin tämä tehostuminen vaikuttaa kuvan 11 mukaisesti. Kuten kuvasta nähdään, vaikuttaa puunkäsittelyn tehostuminen enimmäkseen pääomakustannusten pienenermisestä kautta.



Kuva 9. Puunkäsittelyn tehostumisella aikaansaattava kustannussäästö käsiteltyä puukuutiometriä kohti 2,2 milj. m³:n vuotuisella puun käytöllä. Kertoimella 1,00 säästö tulee isomman puun pienemmästä kuoripitoisuudesta ja pienemmästä puuhävikistä.



Kuva 10. Puunkäsittelyn tehostumisella aikaansaattava kokonaiskustannussäästö 2,2 milj. m³:n vuotuisella puun käytöllä.



Kuva 11. Puunkäsittelyn tehostumisen vaikutus puunkäsittelyn kustannuksiin tehtaalla, jonka normaali puunkäyttö on 2,2 milj. m³.

Mikäli oletetaan, että lajittelemalla pienpuu pois järeämmän seasta kuorinnon kapasiteetti paranee 5 %, tarkoittaa tämä kuvan 9 mukaisesti 0,77 markan säästöä haketettua kiintokuutiometriä kohti. Tämä edellyttää, että rumulla käsitellään 5 % suurempi järeämmän puun määrä. Kohdistamalla tämä näin säästyvä kustannuserä kokonaan pienpuulle (osuus 15 % 2,2 milj. m³:stä) nousevat sen käsittelykustannukset alkuperäisestä 4,36 mk/hakekiinto-m³. Näin pienpuun ja järeämmän puun sekakäsittelyssä pienpuun käsittelykustannukseksi tulee 23,30 mk/hakekiinto-m³ (taulukko 4), eli tämän verran voitaisiin maksaa pienpuun erilliskäsittelystä ilman, että puunkäsittelyn kokonaiskustannukset haketettua kiintokuutiometriä kohti nousisivat.

TAULUKKO 4 Pienpuun käsittelykustannukset normaalissa rumpukuorinnassa

| | |
|---|---|
| Puunkäsittelymäärä, josta pienpuun osuus 15 % | 2,2 milj. m ³ 0,33 milj. m ³ |
| Normaali puunkäsittely | 18,94 mk/hakekiinto-m ³ |
| Järeän puun käsittely, kun kuorinnan tehostuminen 5 % | 18,17 mk/hakekiinto-m ³ |
| Edellisten hintaero | 0,77 mk/hakekiinto-m ³ |
| Hintaero kohdistettuna pienpuulle | 4,36 mk/hakekiinto-m ³ pienpuuta |
| Pienpuun todellinen käsittelyhint | 23,30 mk/hakekiinto-m ³ |

Helpoin tapa vaikuttaa kuorimon kapasiteettiin, on muuttaa työaikamuotoa, jos se on mahdollista. Työaikamuodon muuttamisen esteenä voi olla se, että suurimman tuntimäärän antama työaikamuoto 37 on jo käytössä. Yövuoron käytön voivat estää myös meluhaitat. Peruslaskelmassa on oletettu työaikamuodon olevan 27.

Kuorimon kapasiteetti nousee peruslaskelman 2,2 milj. m³:stä 2,4 milj. m³:iin, kun työaikamuoto vaihdetaan 35:een eli keskeytyvään kolmivuorotyöhön. Tällöin kuorimon kapasiteetin tunnissa on oletettu pysyvän muuttumattomana alkuperäiseen laskelmaan verrattuna. Mikäli kuorimon pitoajan tunteina oletetaan pysyvän muuttumattomana (n. 82 000 h), lyhenee kuorimon pitoaika tällöin puolellatoista vuodella eli 18,5 vuoteen. Mikäli taas kuorimon pitoajan vuosina oletetaan pysyvän muuttumattomana eli 20 vuotena, mikä ei sinänsä ole realistista, nousee pitoaika 89 000 tuntiin.

Jos vuotuista tuotantoaikaa edelleen lisätään siirtymällä työaikamuotoon 37 eli jatkuvaan kolmivuorotyöhön, nousee kuorimon kapasiteetti 3,5 milj. m³:iin. Mikäli kuorimon pitoaikaa tunteina ei muuteta, laskee kuorimon pitoaika 12,6 vuoteen. Jos taas kuorimon pitoaika pysyy 20 vuodessa, merkitsee se alkuperäisen pitoajan nousemista lähes 50 000 tunnilla eli peräti 130 000 tuntiin. Edellä esitettyjen työaikamuotojen vaikutukset kuorinta-haketuskustannuksiin on esitetty taulukossa 5.

TAULUKKO 5 Työaikamuotojen (TAM) vaikutukset kuorimon kapasiteettiin ja kuorinta-haketuskustannuksiin

| T A M | Kuorimon | | | Kuorinta- ja haketuskustannukset | | | Ero peruslaskelmaan |
|-------------|----------------------------------|----------|--------|----------------------------------|--------|----------|---------------------|
| | kapasit. milj. m ³ | pitoaika | | Pääoma | Käyttö | Yhteensä | |
| | | tuntia | vuotta | | | | |
| 27 | 2,2 | 88 000 | 20 | 8,13 | 10,81 | 18,94 | - |
| 35 | 2,4 | 88 000 | 18,5 | 7,88 | 10,81 | 18,69 | 0,25 |
| 35 | 2,4 | 89 000 | 20* | 7,50 | 10,81 | 18,31 | 0,63 |
| 37 | 3,5 | 88 000 | 12,6 | 6,94 | 10,57 | 17,51 | 1,43 |
| 37 | 3,5 | 130 000 | 20* | 5,13 | 10,57 | 15,70 | 3,24 |

* ei käytännössä realistista, että pitoaika vuosissa pysyy muuttumattomana pitoajan tunneissa kasvaessa

4.2 Pienpuun erilliskäsittely

4.2.1 Rumpukuorinta

Ohuet ensiharvennuspölkkyt katkeilevat yhteiskäsittelyssä järeämmän puutavarassa. Tämän vuoksi pienpuun puunhävikki voi tavallisessa rumpukuorinnassa kasvaa hyvinkin suureksi. Tarkkaa käsitystä ensiharvennuspuun kuorintahävikin todellisesta suuruudesta ei juurikaan ole. Sekäkäsittelyssä hävikki voi olla kuitenkin jopa yli kymmenen prosenttia kuorettoman puun tilavuudesta. Katkenneita pölkynpäitä joutuu kuorintatähteen mukana vähempiarvoiseen polttokäyttöön, ja murtopinnoista syntyy haketuksessa tikkuja ja purua, joista niin ikään aiheutuu hävikkiä.

Uusimmissa (parhaissa) rumpukuorimoissa voidaan päästä pienpuun erilliskuorinnassa jo hyviin tuloksiin. Vuosina 1993 ja 1994 Enocell Oy:n Uimaharjun tehtaalla tehdyissä kokeissa puun hävikki oli ensiharvennuspuulla 2–3 %:n tasolla, kun se oli tavanomaisella kuitupuulla noin 1 %. Hakkeeseen jäi kuorta 0,1–0,4 %. Uimaharjun Kone Wood Oy:n valmistama Drummatic-ristikkäiskuorintarumpu oli kokeiden aikaan ollut käytössä vasta 1–2 vuotta. Tälle kuorintalinjalle on ominaista, että katkenneet pölkynpätkät otetaan loukun kautta talteen ja haketetaan erillisellä hakkurilla kuituraaka-aineeksi. Hävikki kasvoi hieman, kun ensiharvennuspuun latvaläpimita alennettiin 5 senttimetriin, kun korjuuvaiheessa oli käytetty joukkohakkuutekniikkaa tai kun sovellettiin osapuumenetelmää, jossa puutavara syötetään rumpuun karsimattomana. Näissäkin tapauksissa hävikki pysyi kuitenkin kutakuinkin kohtuullisena jääden alle 4 %:n tasolle. Hävikki ei kohonnut huolestuttavan paljon edes sekakuorintakokeessa, jossa päätehakkuupuun joukossa oli 10 % ensiharvennuspuuta.

Nämä kokeet osoittivat, että nykyaikaisella, automaattisesti ohjautuvalla rumpukuorimolla voidaan tietyin edellytyksin päästä hyvään laadulliseen tulokseen myös ohuella puulla, erityisesti kun ohut puu käsitellään erillään järeämmästä kuitupuusta. On kuitenkin huomattava, että Uimaharjun kuorimo edusti alansa huippua, jollaista ei tällä hetkelläkään ole monella tehtaalla.

4.2.2 Reikäroottorikuorinta

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

Roottorikuorintaan perustuva laitos on ollut toiminnassa Imatralla Pertti Szeponiak Oy:llä vuodesta 1992 saakka. Laitoksessa käytetään kaksoisroottorikuorintaa ja sen enimmäissyöttönopeus on 100 m/min. Vuosina 1992-1995 suoritetuissa Metsäntutkimuslaitoksen kokeissa hävikki oli ensiharvennuskäytännöllä 2–3 % ja hakkeen kuoripitoisuus 0,1–0,2 %. Tuottavuus oli 35–40 m³ käyttötunnissa. Tuottavuus todettiin tyydyttäväksi, kun tällainen laitos käsitteli ensiharvennuspuusta vain sen järeimmän osan.

4.2.3 Ketjukarsinta

Yhdysvalloissa ja Kanadassa yleistyi 1980-luvun lopulla menetelmä, jossa kuitupuu sekä karsitaan että kuoritaan piiskaamalla läpi kulkevaa taakkaa teräsketjuilla. Yksi tällainen laite, Peterson Pacific DDC 5000, tuotiin myös Suomeen 1990-luvun alussa. Kokoonpano käsitti sekä ketjukarsijan että laikkahakkurin, joten se tuotti kuorittua teollisuushaketta. Yksikkö oli tarkoitettu toimimaan sekä metsävarastolla, terminaalissa että tehdasvarastolla, ja siksi se oli asennettu telialustaiselle puoliperävaunulle, jota siirrettiin kuorma-autolla.

Tekniikka soveltuu sekä karsitulle että karsimattomalle ensiharvennuspuulle. Runkopuun hävikki pysyi tutkimusten mukaan 3–4 %:n tasolla, vaikka pölkyt tehtiin 5 cm:n latvaläpimitaan saakka. Karsinnan laatu oli hyvä, mutta kuoripitoisuudessa päästiin vain parhaimmillaan alle 1 %:n rajan, ja kovalla pakkasella kuoripitoisuudeksi saattoi jäädä jopa 3–4 %. Täystyöllisenä yksikön vuosikapasiteetti nousee 100 000 m³:iin, mikäli työmaat ovat kooltaan suuria ja työskentelytiloiltaan riittävän avaria.

4.2.4 Ketjukarsinnan ja rumpukuorinnan yhdistäminen

Ketjukarsintamenetelmästä saatujen kokemusten perusteella Pertti Szeponiak Oy kehitti uudenlaisen ensiharvennuspuun joukkokäsittelymenetelmän, jossa hyödynnetään ketjukarsinnan ja rumpukuorinnan yhdistämisen tarjoamaa synergiaa. Menetelmässä pölkyt 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.

Laitteisto valmistui 1996 Imatralla Stora Enso Oyj:n Kaukopään tehtaiden yhteyteen. Tehtyjen kokeiden perusteella voitiin todeta, että tämä pienpuu-asema kykenee tuottamaan karsitusta ja karsimattomasta ensiharvennuskäytännöstä haketta, jonka kuoripitoisuus täyttää asetetut vaatimukset. Ongelmia saattaa esiintyä puutavaran ollessa vahvasti jäässä. Pakkaskautta lukuun ottamatta tyydyttävään tulokseen päästään myös karsitulla kuusi- ja koivu- puulla. Kuorintahävikki on asetunut 1–2 %:n välille. Seulontahävikki on ollut kuorintahävikkiin verrattuna kaksinkertainen.

Karsitulla mäntykuitupuulla tehdyissä lyhytaikaisissa kokeissa keskimääräinen käyttötuntituotos oli sulan puun aikana 54 m³ haketta. Laitteiston investointikustannukset ovat valmiille kentälle rakennettuna noin 6 milj. markkaa. Mäntykuitupuulla vuosikapasiteetiksi muodostuu keskeytyvässä kaksivuorotyössä (TAM 25) 140 000 m³ (kiintokuutiometriä) selluhaketta. Tuotantokustannukset ovat tällöin noin 17 markkaa hakkeen kiintokuutiometriä kohden. Pelkällä mäntyosapuulla vastaavat luvut ovat 23 mk/m³ ja 100 000 m³.

Kapasiteettiin ja haketuksen yksikkökustannuksiin voidaan vaikuttaa työaikajärjestelyin. Muuttamalla työaikamuoto 25:stä 27:ään, yksikköhinta laskee yli markan hakkeen kiintokuutiometriä kohden. Vastaavasti laitteiston vuosikapasiteetti nousee 140 000:stä 200 000 m³:iin. TAM 37:ssä päästään prototyypilaitteellakin jo melkein 300 000 m³:iin, jos tuottavuus on saman suuruinen eri työvuorojen aikana.

Jos ketjukarsinnan ja pienrummun muodostamalle erilliskäsittelyasemalle oletetaan sama investointihinta vuosittain käsiteltävää kuutiometriä kohti kuin isolla kuorimolla, saisi vuodessa 140 000 m³ kuorellista kuitupuuta käsittelevän erilliskäsittelyaseman hinta olla 13 milj. mk. Vertailussa laitosten käyttöiät on oletettu yhtä pitkiksi. Tässä raportissa esitetyt laskelmat on kuitenkin tehty laitos- ja komponenttikohtaisilla perusteilla. Rummun iäksi erilliskäsittelyasemalla on oletettu 11 vuotta eli vain noin puolet ison rummun käyttöiästä. Muun laitteiston iäksi erilliskäsittelyasemalla on oletettu vain puolet pienrummun käyttöiästä eli 5,5 vuotta.

4.2.5 Massahake

Yksi yritys pienpuun erilliskäsittelyyn oli 1990-luvun alussa voimakkaasti kehitetty Massahake-menetelmä. Hanke eteni pilot-laitokseen asti. Menetelmässä karsimattomina kerätyt osapuut haketetaan ja selluteollisuuden raaka-aineeksi kelpaava puuainees erotetaan polttojakeesta jauhinkäsittelyyn, mekaaniseen seulontaan, optiseen lajitteluun ja pneumaattiseen erotukseen perustuvalla tekniikalla. Menetelmää on teknisesti mahdollista käyttää kokopuu-, osapuu- ja tavaralajihakkeiden puhdistukseen ja vaikkapa kuoritun teollisuushakkeen laadun viimeistelyyn. Pilot-laitoksen investointihinta oli noin 15 milj. mk, kun laitos oli varustettu yhdellä optisella erottelijalla.

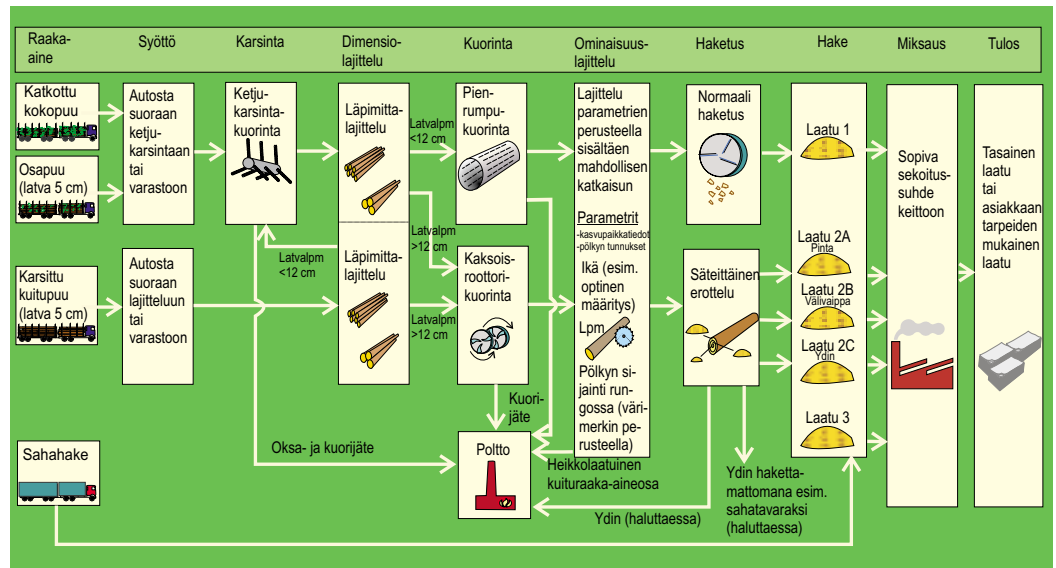
Menetelmän kapasiteetti on pienempi kuin ketju-rumpumenetelmän ja se on investointihinnaltaan kalliimpi, joten sillä tuotettu hake on kalliimpaa kuin ketju-rumpumenetelmällä. Massahakelaitoksen tuottavuudesta ja tuotantokustannuksista ei ole luotettavia tietoja. On esitetty, että kahdella erottelinlinjalla varustettuna investointikustannukset olisivat noin 15 milj. markkaa. Pilotlaitos maksoi yksilinjaisena saman verran, mutta sen hintaan sisältyi todennäköisesti mm. ajoneuvovaa'an hankinta, mitä ei ole sisällytetty muihin Massahake-menetelmän kustannuslaskelmiin. Laitoksen suorituskyvystä esitetyt luvut perustuvat lähinnä demonstraatiolaitteistolla tehtyihin testeihin ja oletuksiin.

Kun laskelmat tehdään keskeytyvän kaksivuorotyön mukaan, kuten ketjukarsinta-rumpukuorinnassa, kaksilinjaisen Massahake-menetelmän kapasiteetiksi saadaan 123 000 m³ osapuuta vuodessa. Siitä saadaan kuoretonta selluhaketta noin 76 000 m³. Käsittelykustannukset ovat osapuun osalta lähes 30 mk/m³ ja kuorettoman selluhakkeen osalta 47 mk/m³ (ilman energiajakeesta saatavaa hyvitystä).

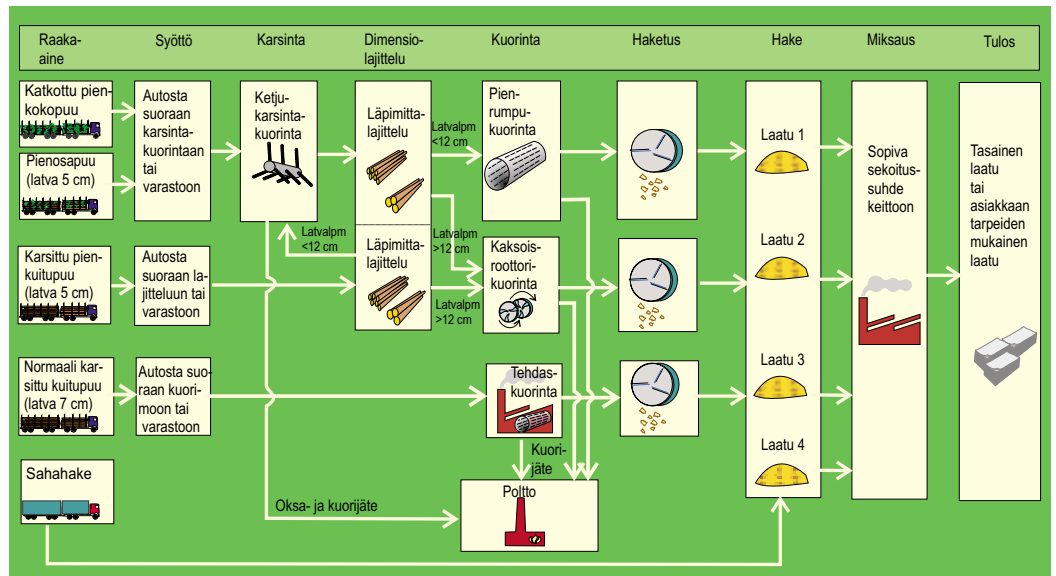
Pilot-laitos ei saavuttanut kannattavuutta. Ongelmia oli myös hakkeen puhautudessa. On ilmeistä, ettei latvusmassaa kannata hakettaa runkopuun joukkoon, sillä se lisää ja vaikeuttaa ainespuun ja energiajakeen optista erottelua merkittävästi. Latvusmassa voitaisiin helposti erottaa esimerkiksi ketjukarsijalla.

4.3 Selektiivinen kuitupuun käsittely

Kuitupuunkokoisessa rungossakin on runkopuun eri osissa säteen- ja pituus-suunnassa hyvinkin erilaisia ominaisuuksia. Jotta raaka-aine ja sen ominaisuudet voitaisiin hyödyntää tehokkaasti, puu tulisi osittaa näiden ominaisuuksien mukaan. Pitkälle viety osittelu ei onnistu perinteiseen rumpukuorintaan perustuvalla konseptilla, jolla operointi on bulkkimaista. Pieniä yksilöllisiä eriä ei tällaisella menetelmällä voida käsitellä. Tarvitaan selektiiviseen kuitupuun käsittelyyn kykeneviä linjoja. Kuvassa 12 on esitetty eräs tällaisen linjan toimintaperiaate. Osa kaaviossa esitetyistä kuitupuun käsittelyratkaisuista on jo käytössä, kuten edellä on kuvattu. Näillä ratkaisuilla on mahdollista toteuttaa jo nyt kuvassa esitettyä ratkaisua yksinkertaisempi kuitupuun käsittelymenetelmä (kuva 13). Jatkossa on kuitenkin kehitettävä menetelmiä, joilla puuta voidaan erotella säteensuuntaisesti. Vain näin päästään todelliseen raaka-aineen ominaisuuksien täysimittaiseen hyödyntämiseen.

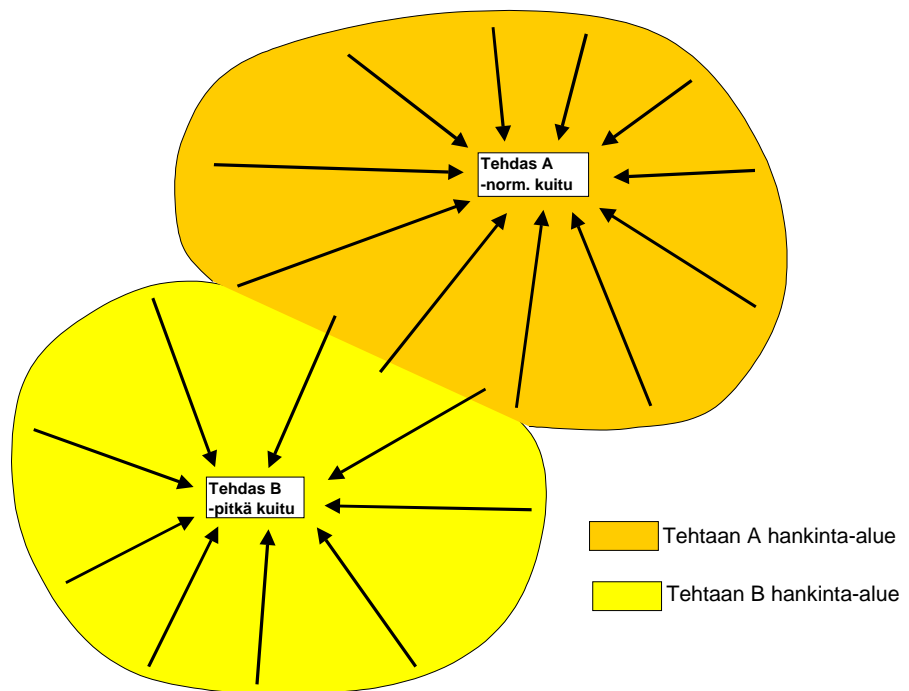


Kuva 12. Selektiivinen kuitupuun käsittelylinja, jossa sovelletaan kuitupuun säteittäistä erottelua. Linja voi toimia myös ison kuorintarummun rinnalla sivuvirtaperiaatteella.

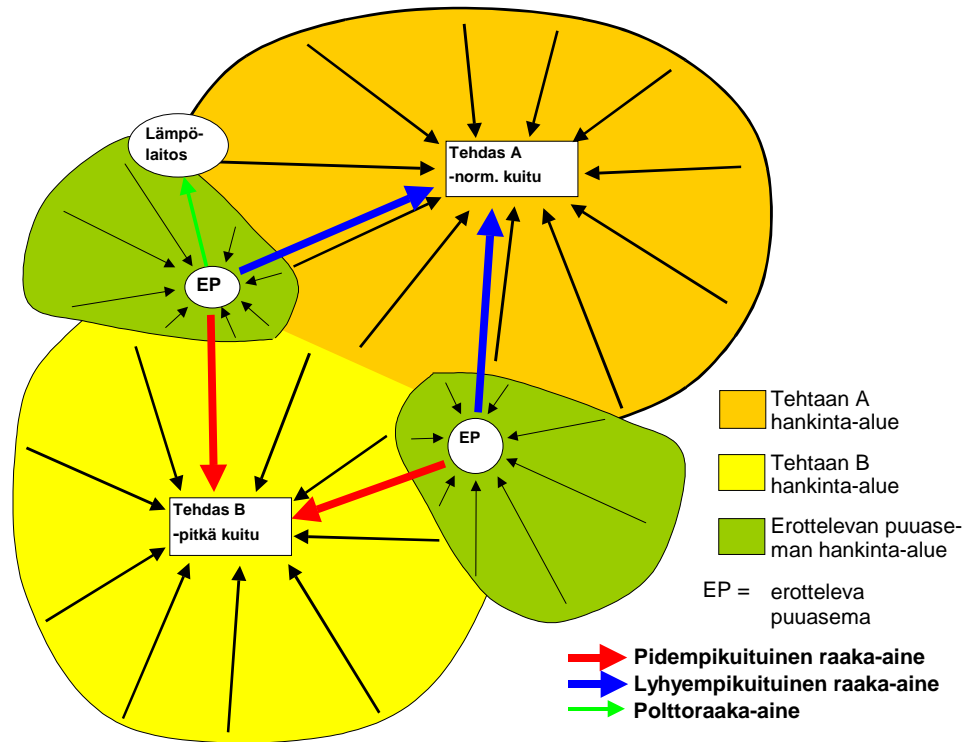


Kuva 13. Pienrumpu- ja roottorikuorintaan perustuva kuitupuun käsittely perinteisen kuorimon rinnalla. Pertti Szepaniak Oy:llä Imatralla on käytössä ketjukarsinta-pienrumpukuorintaan ja kaksoisroottorikuorintaan perustuvat erilliset laitokset. Niissä ei kuitenkaan tehdä raaka-aineen lajittelua.

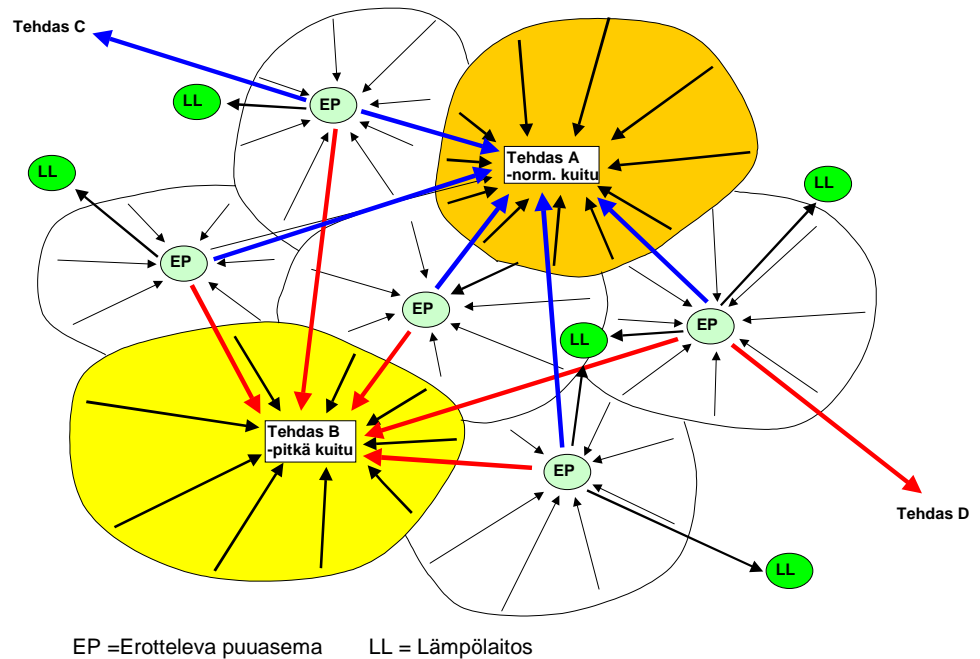
Kuorimoinvestoinnit ovat suuria ja pitkäaikaisia. Tämän vuoksi ison rummun korvaaminen kokonaan uudella menetelmällä tulee kyseeseen vasta silloin, kun kuorintarummun uusinta on edessä. Uusia menetelmiä voitaisiin ottaa käyttöön siten, että niillä hoidettaisiin aluksi osa raaka-ainevirrasta. Hyvä soveltamispaikka tällaiselle puunkäsittelylle on kahden sellaisen tehtaan, jotka voivat käyttää erilaisia raaka-aineosioita (toinen esim. pitempikuituista ja toinen lyhyempikuituista), ”välimaasto”. Selektiivinen kuitupuun käsittely toteutettaisiin esimerkiksi siten, että pitempikuituinen raaka-aineosio ohjattaisiin toiselle ja lyhyempikuituinen toiselle tehtaalle. Kuvissa 14–16 on kuvattu perinteisen ja selektiiviseen kuitupuun hankintaan perustuvia menetelmiä.



Kuva 14. Perinteinen kuitupuun hankinta.



Kuva 15. Selektiivisen kuitupuun hankinnan käyttäminen perinteisen hankinnan lisänä ns. sivuvirtaperiaatteella.



Kuva 16. Pelkästään selektiiviseen kuitupuun käsittelyyn perustuva toimintaperiaate.

5 PÄÄTELMÄT

Tässä raportissa esitettiin isoa rumpukuorimoa koskeviin laskelmiin sisältyy monia epävarmuustekijöitä, jotka voivat lisäksi vaihdella tehdaskohtaisesti huomattavastikin. Laskelmat kuitenkin osoittavat puunkäsittelykustannusten suuruusluokan isolla rumpukuorimolla. On huomattava, että pääomakustannusten osuus kokonaiskustannuksista on lähes puolet. Tämä osuus on usein jätetty vertailulaskelmia tehtäessä kokonaan huomioimatta. Se voi olla perusteltua, kun verrataan, onko juuri tällä hetkellä edullisempaa haketta omalla kuorimolla vai hankkia haketta ulkopuolelta. Pidemmän tähtäyksen vertailuissa ja uusia puunkäsittelyratkaisuja mietittäessä pääomakulut on kuitenkin luonnollisesti sisällytettävä kaikkien vertailtavien menetelmien kustannuksiin.

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 otettava huomioon myös puun hävikissä tapahtuvat muutokset sekä energiajakeen käyttö ja niiden vaikutus kokonaistalouteen.

Tässä hankkeessa määritetyn ison rumpukuorimon kustannuksen perusteella näyttäisi kuitenkin siltä, että ketju-rumpuasemalla tuotetun hakkeen tuotantokustannukset jäävät pienemmiksi kuin rumpukuorimolla tuotetun hakkeen kustannukset. Varsinkin pienikokoisesta puusta ketju-rumpuasemalla tuotettu hake voi olla edullisempaa kuin isolla rumpukuorimolla vastaavanlaisesta puusta tuotettu hake. Tämä perustuu siihen, että isossa rummussa pienpuun hävikit ovat suuremmat kuin ketju-rumpumenetelmässä, ja ison rummun kapasiteetti kasvaa, jos pienpuu erotetaan pois isomman puun joukosta ennen kuorintaa.

Mikäli maamme aikoo pysyä mukana maailman yhä kiristyvässä sellunvalmistuskilpailussa, on metsiemme raaka-ainetta opittava hyödyntämään yhä paremmin. Todellisia mahdollisuuksia kuitupuun raaka-aineen parempaan hyödyntämiseen antavat ennen kaikkea menetelmät, joilla kutakin pölkkyä voidaan käsitellä lajittelussa yksilöllisesti ja jopa pölkyn sisäiset ominaisuusvaihtelut huomioon ottaen. Mikä on tällaisten menetelmien kokonaisyöty, riippuu paljolti siitä, kuinka hyvin tuotteissa ja tuotantoprosesseissa pystytään hyödyntämään tarkasti lajiteltua kuituraaka-ainetta. Todennäköistä kuitenkin on, että tällaisen linjan käyttöönotto vaatii sillä saadun hyödyn tunnustamista siten, että sillä tuotetusta ”paremmasta” raaka-aineesta ollaan valmiita myös maksamaan tavallista raaka-ainetta enemmän. Hyöty saadaan lopputuotteen paremmasta hinnasta tai siitä, että tätä ”parempaa” raaka-ainetta tarvitaan lopputuotteen tekemiseen vähemmän kuin tavallista raaka-ainetta.

6 JATKOTOIMET

Kuitupuuraaka-aineen nykyistä parempaan hyödyntämiseen tähtäävät toimenpiteet ovat tärkeitä sekä laadullisista että määrällisistä syistä. Sahausmäärien on arvioitu laskevan lähivuosina merkittävästi viime vuosien huippusuhdanteesta. Se muuttaa massa- ja paperitehtaiden raaka-ainetilannetta, kun sahoilta ei enää jatkossa tule niin paljon sahaketta. Hakkeen vuotuisen määrän arvioidaan laskevan nykytasosta 2 miljoonaa kuutiometriä.

Tukkien pitkäkuituisesta pintapuusta saatava sahanhake on laadultaan parasta armeeraussellun raaka-ainetta, eikä sitä voida laadullisesti korvata tavanomaisella kuitupuuhakkeella. Puun säteensuuntaisella erotteluhaketuksella voitaisiin jopa ensiharvennusmännystä tuottaa alle ja selvästi yli 2 mm keskimääräisen kuidunpituuden omaavia hakkeita. Vanhemman kuitupuun erotteluhaketuksen voidaan olettaa tuottavan selvästi pitempikuituisen ositteen.

Ensiharvennuspuun ja yleensäkin kuitupuun hankintatekniikkaan ei ole puunkorjuun koneiden voimakkaasta kehittymisestä huolimatta vakiintunut uudenlaisia ratkaisuja. Pienikokoisten puiden joukkohakkuulaitteita on kehitetty, mutta menetelmän käyttö on jäänyt kokeilujen asteelle. Parhaillaan selvitetään ns. korjureiden (yhdistelmäkoneiden) kilpailukykyä tavanomaiseen koneketjuun nähden. Nämäkin tekniikat voivat avata uusia mahdollisuuksia kuitupuun hankinnan ja käsittelyn kehittämiseen.

Kuitupuun hankintaa ja prosessointia hakkeeksi tulee kehittää kokonaisuutena ja lopputuotteiden ominaisuudet huomioon ottaen. Jatkotutkimuksen ja kehittämisen tulisi muodostua hankekokonaisuudeksi, jolla on edellytykset tulla hyväksytyksi alan kansallisiin tutkimusohjelmiin.

Keskeisimpiä jatkotutkimusten aihealueita ovat:

1. Säteittäisen erottelun merkityksen ja kustannusten selvittäminen.
2. Selektiivisen kuitupuun käsittelylinjan kokoonpanojen, kapasiteettien, kustannusten ja toteutusmahdollisuuksien selvittäminen.
3. Joukkohakkuutekniikkaan perustuvan ensiharvennuspuun hankinnan soveltamismahdollisuuksien selvittäminen.
4. Kuitupuun muiden hankintamenetelmien arviointi ja kehittäminen.
5. Energiaositteen talteenoton merkityksen ja mahdollisuuksien selvittäminen.

KIRJALLISUUS

- Gullichsen, J.** 1998. Sellunvalmistajan näkemys hakeraaka-aineesta. AEL/METSKO Insko-seminaarit.
- Hakkila, P., Rieppo, K. & Kalaja, H.** 1998. Ensiharvennuspuun erilliskäsittely tehdasvarastolla. Ketjukarsintaan ja pienrumpukuorintaan perustuva menetelmä. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 700. Vantaa. 40 s.
- Hämäläinen, J. & Korpilahti, A.** 1999. Puupolttoaineiden tuotannon kehitystulosten arviointi. Energiapuun hankinta taimikon harvennuksen ja ensiharvennuksen yhteydessä. Raportti Bioenergian tutkimusohjelmalle. Metsäteho. 15.2.1999. 34 s.
- Imponen, V., Hakkila, P., Lilleberg, R., Pennanen, O. & Varhimo, A.** 1997. Ensiharvennusmänty sellutehtaan raaka-aineena. Metsätehon raportti 24. 30.5.1997
- Juvonen, M.** 1998. Sellutehtaan havuhakkeen käsittely. AEL/METSKO. Insko-seminaarit. 18 s. + liite.
- Kahilahti, M.** 1992. Kuitupuun vastaanotto, sulatus ja kuorinta. INSKO. 7 s. + liitteet.
- Klaavu, A.** 1992. Kuitupuun haketus. INSKO. 9 s. + liitteet.
- Klaavu, A.** 1998. Puun vastaanoton ja kuorinnan kehitys. AEL/METSKO. Insko-seminaarit. 9 s. + liitteet.
- Konola, A.** 1997. Kuorimon modernisointi. AEL/METSKO. Insko-seminaarit. 12 s.
- Koskinen, K.** 1992. Mikä maksaa puunkäsittelyssä. INSKO. 8 s.
- Koskinen, K.** 1997. Puunkäsittely vuonna 2005. AEL/METSKO. Insko-seminaarit. 9 s.
- Kärenlampi, P.** 1995. Mekaanisen massan puuraaka-aineen vaikutus puupitoisten painopaperien ominaisuuksiin. Paperi ja Puu – Paper and Timber. Vol. 77 NO 8/1995. s. 472–478.
- Kärenlampi, P., Suur-Hamari, H., Hämäläinen, T., Tikkanen, M. & Rantanen, R.** 1995. Havusellun laadun ohjaus raaka-ainetta luokittelemalla. Teknologiaohjelma ”Uudistuva Paperi”. Väiliraportti 1.9.1995. 31 s.

- Pulkki, R.**1991. A literature synthesis on the effects of wood quality in the manufacture of pulp and paper. FERIC. Technical Note TN-171. December 1991. 8 s.
- Rieppo, K.** 2000. Kohti tuotelähtöistä puunkäsittelyä. Metsäteho 1/2000. s. 13–15.
- Rissanen, A. & Sirviö, J.** 2000. Männyn (*Pinus sylvestris*) ja kuusen (*Picea abies*) puuaineen ja -kuitujen ominaisuuksien vaihtelu. Kirjallisuustutkimus. Helsingin yliopiston metsävarojen käytön laitoksen julkaisuja 23. Helsinki. 77 s.
- Sirviö, J. & Kärenlampi, P.**1997. Parempaa paperia lajitellusta raaka-aineesta? Metsätieteen aikakauskirja 1/1997. s. 109–113.
- Sundqvist, H.**1988. Puun haketuksen merkitys, nykytila ja kehitystarpeet. INSKO.
- Tikka, M.**1992. Puunkäsittely puukentällä. INSKO. 12 s.
- Tikka, P.**1992. Hakkeen laadun ja erityisesti paksuuden vaikutus sellunkeittoon ja massan laatuun. INSKO. 14 s.
- Unkuri, E.**1988. Puun haketuksen nykytila ja kehitystarpeet. INSKO. 2 s.
- Varis, E.**1999. Tehtaat erikoistuvat oman alueensa puuhun. Metsäliiton viesti 4/99. s. 10–11.
- Vuojolainen, J.**1997. Haketuksen kehitys, puuhäviöt. AEL/METSKO. Insko-seminaarit. 10 s. + liitteet.
- Vuorinen, H.**1997. Asiakaslähtöinen puunhankinta – asiakastarpeet ja ohjausjärjestelmät. AEL/METSKO. Insko-seminaarit. 7 s. + liitteet.
- Öhman, H.**1998. Kuitupuun ja hakkeen laadunhallinta tehtaalla. AEL/METSKO. Insko-seminaarit. 6 s.