

Metsätehon raportti 186
12.10.2005

Rajoitettu jakelu

Järvi-Suomen Uittoyhdistys
Kuhmo Oy
Metsähallitus
Metsäliitto Osuuskunta
Metsäteollisuus ry
Pölkky Oy
Stora Enso Oyj
UPM-Kymmene Oyj
Vapo Timber Oy
Visuvesi Oy
Metsäntutkimuslaitos
Teknillinen korkeakoulu
Tampereen teknillinen yliopisto
Tekes

**Puuraaka-aineen lajittelu-
vaihtoehdot puun hankinta- ja
käsittelyketjussa**

Antti Korpilahti
Vesa Imponen
Markku Mäkelä
Olavi Pennanen
Asko Poikela

Puuraaka-aineen lajitteluvaihtoehdot puun hankinta- ja käsittelyketjussa

**Antti Korpilahti
Vesa Imponen
Markku Mäkelä
Olavi Pennanen
Asko Poikela**

Metsätehon raportti 186
12.10.2005

Rajoitettu jakelu:

Järvi-Suomen Uittoyhdistys, Kuhmo Oy, Metsähallitus, Metsäliitto
Osuuskunta, Metsäteollisuus ry, Pölkky Oy, Stora Enso Oyj, UPM-
Kymmene Oyj, Vapo Timber Oy, Visuvesi Oy, Metsäntutkimuslaitos,
Teknillinen korkeakoulu, Tampereen teknillinen yliopisto ja Tekes

Asiasanat: puunhankinta, puutavara, puuraaka-aine, lajittelu

© Metsäteho Oy

Helsinki 2005

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ.....	4
1 YLEISTÄ.....	5
2 PUUAINEEN OMINAISUUDET RUNGOSSA	5
2.1 Havupuut.....	5
2.2 Lehtipuut.....	9
3 LAJITTELUTAVOITTEET TUOTTEITTAIN.....	11
3.1 Mäntysahatavara	11
3.2 Kuusisahatavara	12
3.3 Vaneri ja kertopuu.....	12
3.4 Sellu	12
3.5 Hioke ja hierre.....	13
4 LAJITTELUMAHDOLLISUUDET JALOSTUSPAIKALLA.....	14
4.1 Sahatukit	14
4.2 Vaneritukit	15
4.3 Sellupuu	15
4.4 Hiomo- ja hierrepuu.....	16
5 LAJITTELUMAHDOLLISUUDET JA -TEHOKKUUS PUUNHANKINTAKETJUSSA	17
5.1 Sahapuun lajittelu puunkorjuussa	17
5.2 Sellupuun lajittelu puunkorjuussa.....	18
5.2.1 Maantieteellinen sijainti	18
5.2.2 Metsätyyppi	18
5.2.3 Metsän käsittely	19
5.2.4 Hakkuutapa.....	19
5.2.5 Rungonosien ja pölkkyjen erillään pito	19
5.2.6 Puulaji.....	20
5.2.7 Puiden asema metsikössä.....	20
6 LAJITTELUN KUSTANNUSVAIKUTUKSET PUUN KORJUUSSA JA KULJETUKSESSA.....	20
7 PUUNKÄSITTELYTERMINAALI LAATULAJITTELUN KEINONA	22
8 LAJITTELUN HYÖDYNTÄMISMAHDOLLISUUDET.....	22
9 SELVITYSTARPEITA.....	23
VIITEKIRJALLISUUS.....	24

TIIVISTELMÄ

Puuaineen ominaisuudet ovat erilaiset rungon eri osissa ja sekä metsiköittäinen että runkojenvälinen vaihtelu on suurta. Siksi tehokkaaseen lajittelutalokseen ei päästä pelkästään esimerkiksi kasvupaikan laatuun tai hakkuutaan perustuvalla raaka-aineen erillään pidolla.

Puulajeista männyn puuaineen ominaisuudet vaihtelevat voimakkaimmin. Sellun kannalta ensiharvennusmännyn kuituominaisuudet ovat huonot suurta lujuutta edellyttävään armeerausmassaan. Siksi pääosin ensiharvennusmäntyä käsittävät kuitupuukuormat pyritään eräillä tehtailla tunnistamaan ja ottamaan erilleen. Myös pölkkyjen järeydenmukaista erottelua autokuormittain tai nipuittain tehdään jonkin verran.

Sahapuun erottelu käsittää pääosin hakkuun yhteydessä sahojen tilauksia vastaavien dimensioiden mukaista valmistusta ja toimituskohteista erillään pitoa. Lopullinen lajittelu läpimitan mukaisesti sahauseriin tehdään sahalla. Sahapuun osalta voidaan päästä tehokkaampaan puun ominaisuuksien hyödyntämiseen, jos laatu tai sitä ennustavat tekijät kyetään mittaamaan hakkuun yhteydessä ja käyttämään hyväksi runkojen apterauksessa. Samanlaista mittaustekniikkaa tarvitaan myös sahalla, jossa yksittäisten tukkien laatu on tunnistettava sahauseriin lajiteltaessa.

Uusien menetelmien kehittäminen raaka-aineen laadun mittaamiseen on välttämätöntä lajittelun tehokkuuden parantamiseksi ja automatisoimiseksi. Pölkyn katkaisupinnasta saatavat lustotiedot sekä tiedot lahon ja lyllyn esiintymisestä ovat tärkeimpiä puuaineen laatua selittäviä seikkoja. Sahapuun laadunmittaus tulee kehittää hakkuun yhteydessä käytettäväksi. Kuitupuun laadunmittaus metsävaiheessa on myös tärkeää. Eräkohtaisesti todettu laatu-tieto voi sitten olla tehdasvastaanotossa erillään pidon perusta. Kovin pienieräiseen kuitupuun lajitteluun ei korjuun yhteydessä kannatta ryhtyä.

1 YLEISTÄ

Puunjalostuksen muodosta riippumatta parhaaseen jalostustulokseen päästään kun käytettävä raaka-aine on mahdollisimman tasalaatuista. Tällöin valmistusprosessi ja tuotteen laatu ovat hyvin hallittavissa. Puuaineen ominaisuudet ovat erilaiset rungon eri osissa ja sekä metsiköittäinen että runkovenjäläinen vaihtelu on suurta. Siksi on välttämätöntä kehittää menetelmiä raaka-aineen laadun mittaamiseen ja sen mukaiseen lajitteluun.

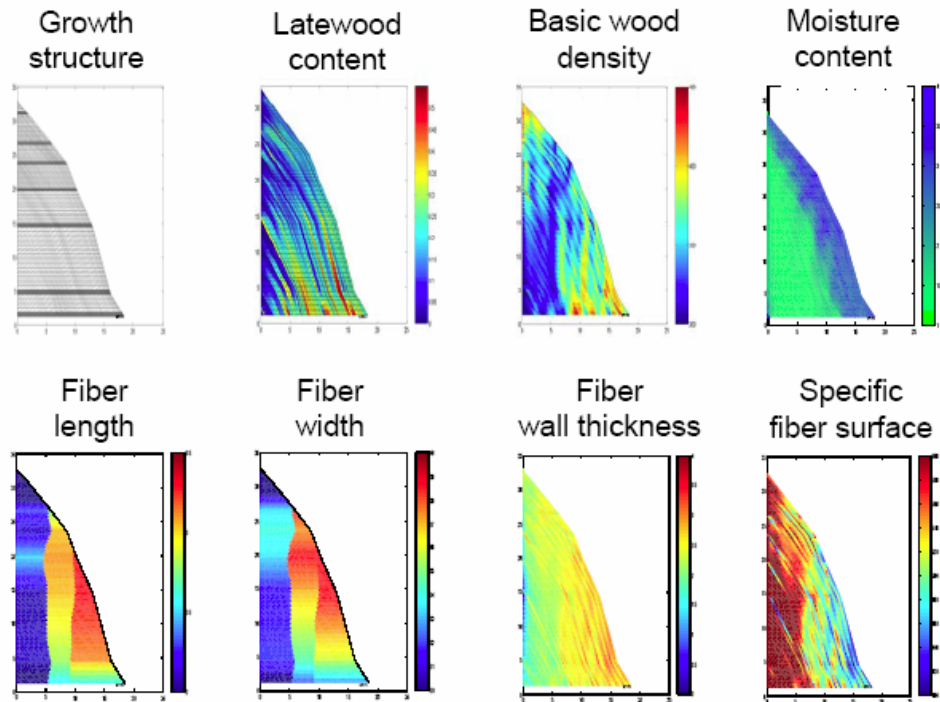
Käytännön puunkorjuu ja puun tehdaskäsittely asettavat rajoituksia lajittelun toteutukseen ja sen tuloksellisuuteen. Lajiteltavien laatuojen erottelusta, erillään pidosta, laadun säilytyksestä ja varastoinnista sekä hyödyntämisestä jalostuksessa aiheutuu lisätyötä, kustannuksia ja usein varastointitilat ovat rajalliset. Tarkan lajittelun hyödyntäminen edellyttää myös sitä, että kaikille raaka-aineosille, myös huonolaatuksille, löytyy sopiva käyttötarkoitus ja asiakaskunta. Lisäksi kannattava jalostustoiminta edellyttää tuotantolinjan kapasiteettia vastaavaa jatkuvaa raaka-ainevirtaa.

Tarkimmillaan laadun määrittäminen ja lajittelu on toteutettu sahatukkien valmistuksessa ja sahan tukkilajittelussa. Periaatteessa puuraaka-aineen ominaisuudet tulisi hyödyntää maksimaalisesti, mutta kuten edellä mainittiin, kakkia raaka-aineosille tulisi pystyä hyödyntämään tuotannollisesti jatkuvana prosessina. Käytännössä merkittävää hyötyä saadaan kuitenkin jo muutamien hyvien puutavaralaatuojen erilleen otosta. Esimerkiksi sahapuun osalta sellaisia ovat vähäoksalet tyvitukit ja hyvät lujuusominaisuudet omaavat tukit. Havukuitupuun osalta pitkäkuituinen ja suuritiheksinen puuaine on tavoiteltua, toisaalta lyhytkuituinen lehtipuu on oma raaka-aineosittensa.

2 PUUAIINEEN OMINAISUUDET RUNGOSSA

2.1 Havupuut

Puuaineen ominaisuudet vaihtelevat suuresti rungon eri osissa. Rungon sisäinen vaihtelu on männillä suurempaa kuin kuusella. Puunjalostuksen kannalta merkittävimpiä ominaisuuksia ovat puuaineen tiheys, kuidunpituus ja kosteus. Vaihtelun tunteminen antaa perustan puuaineen lajittelulle ja erilaatuisten osien hyödyntämiselle. Kuva 1 havainnollistaa näitä ominaisuusvaihteluita (Lundqvist ym. 2003).



Kuva 1. Puuaineen ominaisuuksien vaihtelu rungossa (Lundqvist ym. 2003).

Sydänpuuosuus

Havupuu koostuu vaaleasta pintapuusta (mantopuu) sekä sydänpuusta. Sydänpuu on havupuillamme selvästi pintapuuta kuivempaa, männyllä lisäksi tummanruskeaa. Sydänpuun määrään puussa vaikuttavat mm. puun ikä ja kasvunopeus.

Sydänpuun kosteus on suuruusluokkaa 25 %, eikä se suuresti vaihtelee. Kuivalla näin alhainen kosteus sulkee huokokset, jolloin puuainekseen ei enää imeydy nesteitä - ei vettä eikä keittokemikaaleja.

Sekä sydän- että pintapuuta sisältävien pölkkyjen puuaineksen suuret kosteuserot aiheuttavat ongelmia tasalaatuista puuraaka-ainetta tarvitsevissa jalostusmuodoissa, kuten hiomoilla. Sydän- ja pintapuun erisuuruinen kutistuminen ja turpoaminen kosteusmuutoksissa on ongelmallista lähes kaikissa puutuotteissa.

Puuaineen kuivatilavuuspainot

Kuivatilavuuspaino eli tiheys (kuivamassan suhde tuoretilavuuteen) vaihtelee havupuilla melkoisesti rungon eri osissa. Säteen suunnassa tiheys suurenee ytimestä pintaan mentäessä. Korkeussuunnassa männyllä ja kuivalla tiheysmuutokset ovat erilaiset. Runkojen väliin tiheyseroihin vaikuttavat eniten puun ikä ja kasvunopeus. Nopeakasvuisten runkojen puuaineen tiheys on muita pienempi, mikä johtuu pienitiheyksisen kevätpuun suuresta osuudesta vuosilustoissa.

Männyn kuivatilavuuspainot vaihtelevat yleisimmin välillä 380–440 kg/m³. Mänty on Etelä-Suomessa hieman tiheämpää kuin Pohjois-Suomessa. Mäntyrungoissa tiheys pienenee tyveltä latvaan päin mentäessä. Muutos voi olla jopa yli 100 kg/m³. Säteen suunnassa ytimestä pintaan päin mentäessä tiheys selvästi suurenee. Tyviosassa tiheys ero ytimen ja pinnan välillä voi olla lähes 100 kg/m³, latvaosissa enää suuruusluokkaa 20 kg/m³. Rehevillä kasvupaikoilla nopeasti kasvaneiden mäntyjen tiheys eli tilavuuspaino on pieni.

Kuusi on pääpuulajeistamme kevyin. Sen kuivatilavuuspaino on yleisimmin välillä 370–405 kg/m³. Kuusi on pohjoisessa tiheämpää kuin etelässä. Rungon sisäiset kuivatilavuusmuutokset eivät ole kuusirungon pituussuunnassa kovin suuria, kuivatilavuuspaino on pienimmillään runkojen keskiosissa. Ero on yleisimmin alle 20 kg/m³. Säteen suunnassa tilavuuspaino nousee hieman ytimestä pintaan päin mentäessä. Erot ovat pienemmät kuin männyltä, ollen maksimissaankin suuruusluokkaa 25 kg/m³. Kasvupaikka vaikuttaa kuusen tiheyteen. Puu on sitä tiheämpää mitä huonommalla kasvupaikalla (mitä hitaammin) se kasvaa.

Kuidun pituus ja paksuus

Pitkillä ja mukautumiskykyisillä kuiduilla saadaan aikaan lujuutta paperin rakenteeseen (armeerauskyky), joka merkitsee hyvää lujuutta ja ajettavuutta painokoneella. Ohuet kuidut parantavat paperin pinta- ja painettavuusominaisuuksia. Paksut kuidut puolestaan soveltuvat hyvin tarkoituksiin, jossa tuotteelta vaaditaan lujuutta, kuten esimerkiksi säkkipaperi ja kartonkien keskikerrokset. Varsinkin ensiharvennuskuidun puuainessa ohutseinäisten kevätpuusolujen osuus on suuri. Sellaiset solut litistyvät paperintekoprosessissa ja saadaan suurta veto-, puhkaisu- ja taittolujuutta sekä hyviä optisia ominaisuuksia omaavaa paperia (Hakkila ym. 1995). Vanhemmasta puusta, jossa tiheän kesäpuun osuus on runsas, saadaan suurta repäisyjuuutta omaavaa armeerausmassaa.

Varsinkin männyllä kuidunpituus vaihtelee huomattavasti puiden kasvuvaiheen ja rungonosan mukaan. Kärenlampi ym. (1994, ks. Rissanen & Sirviö 2000, s. 54) esittävät seuraavat leimikkotyypeittaiset keskiarvot.

TAULUKKO 1 Männyn ja kuusen kuidun pituus leimikkotyypeittäin, mm (Kärenlampi ym. 1994).

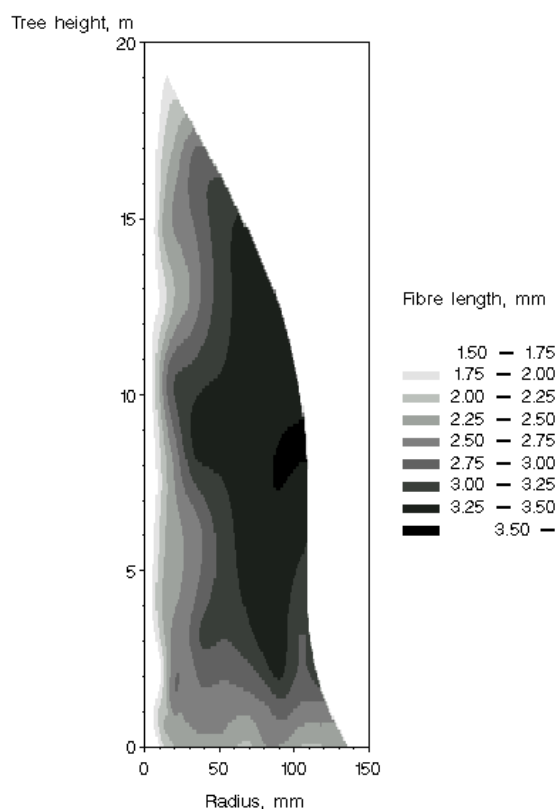
Leimikkotyyppi	Kuidun pituus, mm	
	Mänty	Kuusi
Ensiharvennus	1,7	2,1
Myöhempi harvennus	2,5	2,2
Päättehakkuu	2,6	2,9

Tarkemman kuvan havupuiden kuituominaisuuksista antaa Rissanen ja Sirviön (2000) esittämä taulukko kuidunpituudesta rungon eri osissa. Voidaan havaita, että männyllä ensiharvennuspuu ja päättehakkuun latvakuitupuu ovat kuituominaisuuksiltaan samanveroisia.

TAULUKKO 2 Männyn ja kuusen kuidun pituus erikokoisissa rungoissa ja rungonosissa, mm (Rissanen & Sirviö 2000).

Runko tai rungonosa	Kuidun pituus, mm	
	Mänty	Kuusi
Sahanhake	3,2	3,5
Päätehakkuupuu	3,0	3,2
Päätehakkuupuun kuitupuuosaa	2,5	3,1
Myöhemmän harvennuksen puu	2,8	2,9
Myöhemmän harvennuksen kuitupuuosaa	2,9	2,8
Ensiharvennuspuu	2,5	2,7

Rungon ytimen lähellä kuidut ovat selvästi lyhyempiä kuin pintapuun kuidut. Hakkilan ym. (1995) tutkimuksessa kuivahkolla kankaalla kasvaneista ensiharvennuksen männystä saatiin kuidunpituudeksi ytimestä 30 mm etäisyyteen olevalle puulle 1,35 – 2,17 ja keskimäärin 1,94 mm. Sitä ulompana olevassa puuaineessa kuidunpituus oli 2,49 – 2,83 ja keskimäärin 2,7 mm. Lyhytkuituista puuainesta on tukkipuunkin ytimen lähellä. Pitkäkuituista havusellua saadaankin kuusesta ja mäntysahapuun pintahakkeesta (kuva 2).



Kuva 2. Kuidunpituuden vaihtelu on männyssä melko selvärajaista (mallinnettu Metsätehossa Atmerin ja Thörnqvistin aineistosta).

Puuaineen kasvuaikaiset viat

Kasvavissa puissa voi olla korjuun, lumen, myrskyjen yms. aikaansaamia vikoja, kuten koroja, latvanvaihdoksen aiheuttamia mutkia, halkeamia, erilaisia lahovikoja ja tervasrosaa. Lylyn syntyminen johtuu puun taipumuksesta oikaista vinoa kasvuasentoaan. Kallistuksen puolelle runkoon kasvaa kovaa reaktiopuuta, lylyä, joka aiheuttaa esimerkiksi sahatavaran vääntelyä.

Kuusella voi lisäksi esiintyä sydänpuuvyöhykkeellä kasvuaikaista tyvilahoa, männyllä tyvitervastaudista johtuvaa pihkoittumista, kuivumista ja puiden kuolemista (Mäkelä ym. 1998, Puun laadun... 2004). Kuusella juurikkäpäsienen aiheuttama laho nousee korkealle, useita metrejä. Sitä esiintyy Etelä-Suomen kangasmaametsissä. Kuusella esiintyvä mesisieni lahottaa puun keskiosaa tyvellä ja se ei yleensä nouse metriä korkeammalle. Männyn tyvitervastauti on yleistä etenkin Saimaan tuntumassa.

Kasvuaikaiset viat alentavat puun arvoa sahauksessa ja muussakin mekaanisessa jalostuksessa. Parhaimmin vioittunutta puuta voidaan käyttää sellun raaka-aineena.

Puuaineen varastointiaikaiset viat

Varastoinnin aikana puutavaraan iskeytyvät väri- ja lahovikaa aiheuttavat sienet ja myös erilaiset hyönteiset käyttävät puutavaraa lisääntymispaikanaan. Hyönteiset kuljettavat mukanaan sienitaudin aiheuttajia lisäten siten puutavaran pilaantumista. Hyönteisten parveiluajankohdat ja kehityskierto tunnetaan ja siten hyönteistuhot vältetään toimittamalla puutavara ajoissa käyttöön.

Sienet pääsevät iskeytymään puuaineeseen pölkkyjen päistä ja kuorettomista pinnoista. Havupuilla puuainemuutosten alkaminen vaatii puun kuivahtamista. Syksyllä ja talvella hakatussa puutavarassa on jo toukokuun loppupuolella värivikaa ja myös alkavaa lahoa (Mäkelä ym. 1999 ja 2000). Männyn ja kuusen välillä on pieniä eroja vikojen laajentumisessa ja niiden esiintymisessä kevätkuukausina hakatussa puutavarassa.

Varastointiaikaiset viat heikentävät raaka-aineen käyttöarvoa varsinkin mekaanisessa puunjalostuksessa ja hiokkeen valmistuksessa. Laatumuutokset lisäävät sellunvalmistuksen kustannuksia ja heikentävät saantoa, jopa sellun paperitekniisiä ominaisuuksia.

2.2 Lehtipuut

Puuaineen rakenne

Lehtipuiden rakenne poikkeaa havupuiden rakenteesta. Se muodostuu pääosin rungon suuntaisista putkiloista. Lehtipuilla ei ole sydänpuuta, vaan puuaines on melko tasalaatuista. Puuaineen rungonsisäinen vaihtelu on lehtipuilla vähäisempää kuin havupuilla.

Puuaineen kuiva-ainetiheys

Koivu on pääpuulajeistamme tihein. Sen kuivatilavuuspaino on usein välillä 460 – 515 kg/m³. Koivulla ei ole merkittäviä tiheyseroja maan eri osissa. Koivurungossa tiheys pienenee tyvestä latvaan päin. Muutos on suuruusluokkaa 20 – 30 kg/m³. Kuten havupuillakin, koivulla tiheys lisääntyy ytimestä pintaan mentäessä. Suurimmat erot ovat selvästi alle 100 kg/m³. Koivun tiheys on karuilla kasvupaikoilla kasvaneilla puilla suurempi kuin viljavien kasvupaikkojen puilla.

Haavan kuivatilavuuspaino on yleensä hieman alle 400 kg/m³. Tiheys pienenee tyveltä keskirunkoon päin ja kasvaa uudelleen latvaa kohti. Muutos on suuruusluokkaa 60 – 80 kg/m³. Säteen suunnassa haavan tiheys on suurimmillaan ytimen lähellä. Pintaan päin mentäessä tiheys aluksi pienenee ja alkaa sitten uudelleen kasvaa.

Lepän kuivatilavuuspaino on suuruusluokkaa 420 – 440 kg/m³. Tiheys lisääntyy tyvestä latvaan päin. Muutos on luokkaa 20 – 40 kg/m³. Säteen suunnassa tiheys poikkeuksellisesti laskee ytimestä pintaan päin mentäessä.

Kuidut

Lehtipuiden sellukuidut ovat lyhyempiä kuin havupuiden kuidut. Paperissa lehtipuusellun päätarkoitus on parantaa paino-ominaisuuksia, ei lujittaa rakennetta. Koivun keskimääräinen kuidun pituus on 1,0 – 1,2 mm. Haavalla kuidun pituus on vastaavasti 0,6 – 0,8 mm ja lepällä 0,7 – 0,8 mm. Lehtipuiden solut ovat erikoistuneempia kuin havupuiden solut. Erilaisten kuitusolujen osuus on lehtipuillamme noin 68, putkiloiden 10 – 25 %, lopun ollessa pääosin ydinsäteitä. Lehtipuiden solut ovat yleensä paksumpia kuin havupuusolut.

Puuaineen kasvuaikaiset viat

Suurikokoisten ja vanhojen runkojen tyviosassa on usein tummaa kovaa lahoa. Se kehittyy edelleen pehmeäksi lahoksi ja reikälahoksi. Myös haavalla isojen ja vanhojen puiden tyviosissa esiintyy jonkin verran lahoa. Koivulla merkittävin hyönteisten aiheuttama vika on pilkullisuus. Sen aiheuttaa ruskotäpläkärpäsen toukka, joka kasvaa ja liikkuu puun nilakerroksessa. Toukkakäytävistä johtuva värivika heikentää koivun käyttöarvoa huonekalupuuna.

Puuaineen varastointiaikaiset viat

Koivu puuainemuutokset kehittyvät nopeammin ja voimakkaammin kuin havupuilla. Muutokset alkavat jo kaatokosteudessa. Puuainemuutokset tapahtuvat vain pölkkyjen päiden kautta mutta etenevät nopeasti koko pölkkyyn (Mäkelä ym. 2000). Pölkynpään tuntumaan ilmestyy vaaleanruskeaa väriä, joka johtunee hartsien hapettumisesta ja bakteeritoiminnasta. Laho leviää värimuutoksen perässä. Syksyllä ja talvella hakattuun kuitupuuhun alkaa ilmestyä pehmeää lahoa jo kesällä, mikä vähentää sellun saantoakin.

Myös järeän koivun käyttöarvo laskee huomattavasti värivian vuoksi. Koska hyvälaatuisesta koivusta on pulaa, puuaineen vikaantuminen varastoinnin aikana aiheuttaa ongelmia esimerkiksi hyvälaatuisen pintaviilun saantiin kesäaikana.

Sydänhalkeamia on koivulla enemmän kuin havupuilla. Ne aiheutuvat yleisimmin kasvujännitysten laukeamisesta runkojen katkonnan jälkeen sekä puuaineen kuivumisesta. Koska tiheyden kasvaminen lisää sydänhalkeamia, voi olettaa haavalla ja lepällä olevan niitä koivua vähemmän.

Haapaa on pidetty vanhaan aikaan kestäväenä aitojen tai latojen seinien materiaalina. Kuorittu ja nopeasti kuivanut haapa onkin tätä. Kun kuitenkin nykyisessä puunkorjuussa haapa varastoidaan kuorellisena, sen puuaineessa tapahtuvat muutokset ovat nopeita ja suuria, kuitenkin vähäisempiä kuin koivulla.

Lepälle on ominaista käsittelypintojen voimakas ja nopea punertuminen kaadon jälkeen.

3 LAJITTELUTAVOITTEET TUOTTEITTAIN

3.1 Mäntysahatavara

Mäntysahatavaraa käytetään runsaasti pintamateriaalina. Siksi puuaineen laadulla on sen arvoon suuri merkitys. On tärkeää, että varsinkin hyvälaatuiset tyvitukit pystytään tunnistamaan ja lajittelemaan erilleen puuvirrasta. Ulkoisista tunnuksista mm. vähäoksaisuus ja tiheälustoinen sydänpuu ennustavat hyvää sahatavaralaa. Sellaiset tukit tulisi voida käyttää erityistuotteisiin. Myös terveoksiselle sahatavaralle on joskus erityiskysyntää. Hakkuussa sahan tilaaman tavoitejakauman mukainen pölkkytys (läpimitta, pituus) on männällä tärkeää.

Sahatukin päästä havaittavaa lustonpaksuutta tukin sisäisen oksaisuuden selittäjänä on tutkittu runsaasti jo 1900-luvun alkupuolella. Heiskanen (1954) esittää tuloksia silloisen mäntytukkien laatuluokituksen tarkistamiseksi tehdyistä tutkimuksista. Luokituksen mukaan ”I-laatuluokan tukeissa luston paksuus ei saa ylittää 3 mm. Luston paksuus mitataan tukin tyvipäästä kolmen tuuman matkalta ytimeistä lukien”. Heiskasen mukaan lustonpaksuudet 0 – 4 cm:n etäisyydellä ytimeistä selittivät parhaiten sahatavaran laatua, mutta aivan nuorella iällä puun kasvun vaihtelut ovat suuret. Siksi laatuluokituksessa esitetty kolmen tuuman alue antoi niin hyvän selityksasteen, että luokitustapaa ei ollut syytä muuttaa. Eri tutkimuksissa on esitetty sopivaksi mittauseräalueeksi 4 – 6, 0 – 5 ja 3 – 5 cm ytimeistä. Myös kuusen sisäoksaisuutta voidaan selittää em. lustotiedoilla. Käytännössä lustomittauksia sovelletaan Ruotsissa mittausyhdistysten tekemissä tukkimittauksissa.

Lustotiedoilla voidaan selittää myös puuaineen tiheyttä ja lujuutta. Keskimääräinen lustonleveys korreloi negatiivisesti lujuusominaisuuksien kanssa ja selitysvoimaa voidaan parantaa kun pystytään mittaamaan luston kevät- ja

kesäpuuosuudet. Kärkkäinen (2003) esittää runsaasti eri tutkijoiden tuloksia puuaineen rakenteesta ja ominaisuuksista. Männyn kevätpuun tiheydeksi on esitetty 300 – 370 ja kesäpuun 810 – 920 kg/m³. Lustoissa kesäpuun leveys vaihtelee vain vähän kevätpuun leveyteen verrattuna. Nopeasti kasvaneessa puussa kevätpuuosuus on suuri.

3.2 Kuusisahatavara

Kuusisahatavaraa käytetään pääosin rakenteisiin, jolloin lujuudella on suurempi merkitys kuin ulkonäöllä. Kun kuusisahatavaraa höylätään paneeliksi, terveoksaus on tärkeä laatutekijä. Kuusitukkien laatulajittelulla ei ole perinteisesti saavutettu merkittäviä etuja. Tietyt ominaisuudet, kuten mm. hidas kasvuisuus, pienoksaus, suoruus ja muoto ovat kuitenkin tärkeitä kuusitukin apterauksen ja laatulajittelun kriteereitä. Kuusisahatukilla lustonleveys tietoja voitaisiin käyttää ennen muuta lujuuden ennustamiseen.

3.3 Vaneri ja kertopuu

Koivuvanerin valmistuksessa viilun laadulla on suuri merkitys. Vanerin pintaan tulisi löytää hyvälaatuisia viilua. Viilun laatu vaihtelee sorvipölkyn sisälläkin. Lopullinen laadunmääritys ja lajittelu tehdäänkin arkeittain sorvauksen jälkeen. Viilun laatu on toki jossain määrin ennakoitavissa sorvitukkien ominaispiirteistä. Mutta koska kesäaikaisessa varastoinnissa koivun laatu alkaa huonontua nopeasti, se rajoittaa varastointia edellyttävän lajittelun käyttöä.

Havuvaneriin käytetään järeitä, jopa sahoille ylijäreitä, kuusitukkeja ja myös pienempiä, mutta usein sahauksen kannalta heikkolaatuisia tukkeja. Sorvipölkkyjen järeys on eduksi sorvauksessa. Kun sorvipölkkyt ovat lyhyitä, niin rungon mutkaisuus ei huononna sorvauksessa saantoa eikä tuoteominaisuuksia niin paljon kuin sahauksessa.

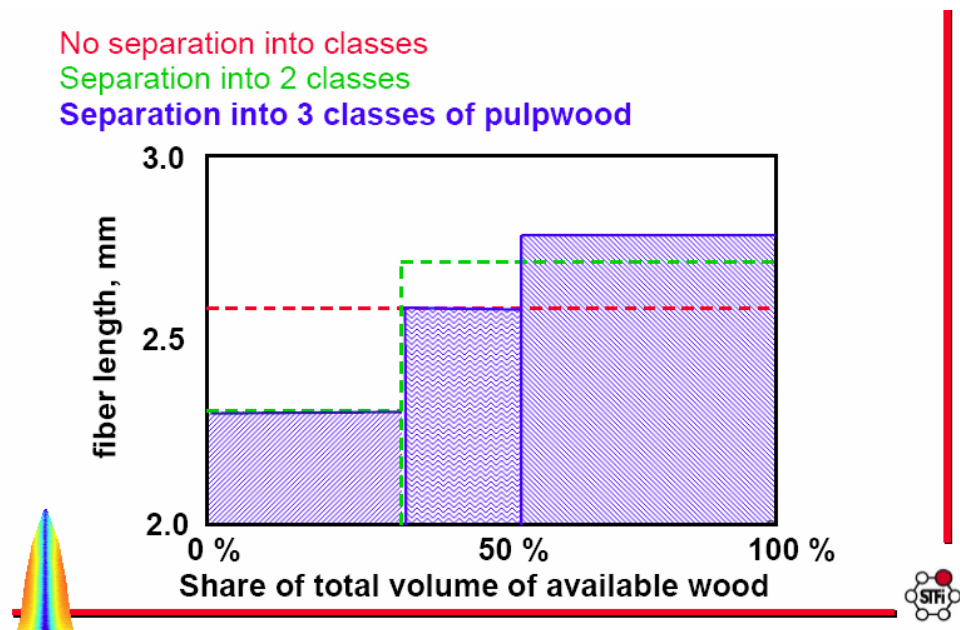
Havuvanerin pääkäyttöalueet ovat rakenteet ja pakkaukset. Havuvanerin pintaan käytettävän viilun tulisi olla terveoksaista kuusta. Sisäosiin käytettävän viilun laatu vaihtelulla ei ole kovin suurta merkitystä.

Havupuuviiilusta tehdään liimaamalla kertopuupalkkeja, tolppia ja levyjä. Hyvä kertopuun raaka-aine on terveoksaista kuusitukki.

3.4 Sellu

Havusellua käytetään paitsi hienopaperin raaka-aineena myös muissa paperilaaduissa rakenteen muodostajana, armeerausselluna. Kuidun pituus vaikuttaa rakenteen lujuuteen, paksuus paperin pintaominaisuuksiin ja painettavuuteen. Tällöin on tärkeää, että raaka-aine sisältää mahdollisimman pitkäkuituista puuainetta. Pyritään myös siihen, että kuituraaka-aine olisi ominaisuuksiltaan tasalaatuista. Tehtäälle tarvittaisiin tietoa vastaanotettavan puuraaka-aineen todennäköisestä kuitupituudesta, jolloin voitaisiin erotella homogeenisiä puu- ja hake-eriä. Laatulajiteltuja eriä hallitusti sekoittamalla pystytään hallitsemaan sellun laatua.

Mikäli kuitumateriaalista erotetaan erityisen pitkäkuituiset erät erilleen, on myös lyhytkuituisille osille oltava käyttäjiä. Kuva 3 havainnollistaa Keski-Suomessa sijaitsevan sellutehtaan raaka-aineen jakautumista erilaiset kuidunpituudet omaaviin eriin. Keskimääräinen kuidunpituus on noin 2,6 mm. Jos raaka-aineesta lajiteltaisiin lyhytkuituisin kolmannes erilleen, niin pääosan keskimääräinen kuidunpituus olisi noin 2,75 mm. Kuvassa tumma diagrammi esittää jakoa kolmeksi ositteeksi, jossa keskimmäisenä on kuidunpituudeltaan koko raaka-ainemäärän keskiarvo.



Kuva 3. Esimerkki keskisuomalaisen sellutehtaan raaka-aineen osittelusta kuidunpituuden mukaan (Lundqvist ym. 2003).

Koivusellua käytetään paperin pintaominaisuuksien ja painatusominaisuuksien parantamiseen. Kuitujen laatuominaisuuksilla ei ole lehtipuusellussa samanlaista merkitystä kuin havupuusellussa.

Puuerien varastointiaikojen pituudet olisi syytä tietää, sillä niillä on vaikutusta puuainemuutoksien määrään ja siten jalostusarvoon.

3.5 Hioke ja hierre

Hiomo- ja hierrepuu on kuusikuitupuuta. Poikkeustapauksissa on oikealaa-tuisen kuusikuitupuun puutteen vuoksi käytetty myös kuusitukkaa. Mänty-kuitupuuta soveltuu periaatteessa mekaanisen massan valmistukseen, mutta kuusta runsaammat pihka- ja uuteainepitoisuudet estävät käytännössä sen käytön. Mekaanisen massan valmistukseen käytettävässä puussa ei saa olla kasvuaikana eikä varastoinnin aikana syntyneitä lahoja. Ei myöskään varas-toinnin aikana syntyvää värivikaa.

Kuusikuitupuun **hiomisessa** on tärkeää puuaineen kosteus ja vaaleus. Kosteaa puu kuoriutuu helpommin ja täydellisemmin kuin kuivahtanut puu. Huono kuorimistulos vähentää vaaleutta ja lisää hiokkeen valkaisun tarvetta. Se puolestaan lisää hiokkeen tuotantokustannuksia.

Kuusesta tehdyn hiokkeen vaaleus vaihtelee vuodenajoittain. Kasvukauden ulkopuolella se on selkeästi vaaleampaa kuin kasvukauden aikana. Hyvä kartonkihioke on vaaleata ja sitä saadaan mm. viljavien kasvupaikkojen nopeakasvuisista puista. Hidaskasvuinen, tiheälustoinen kuusikuitupuu soveltuu paremmin sellun valmistukseen.

Hionnan kannalta puun tulisi olla kosteaa ja kosteuden mahdollisimman tasaista. Kasvukauden ulkopuolella hakatun puun vaaleuden säilyttämisestä olisi hyötyä, mutta kuusihiomopuu alkaa tummentua pitkäaikaisessa kastelu- ja vesivarastoinnissa. Vain kylmävarastoissa säilytetyn puun luontainen vaaleus säilyy hyvin.

Hiertämisessä kuidutus tehdään hakkeesta, joka esikäsitellään ennen prosessia. Silloin puuraaka-aineen kosteudella ei ole yhtä suuri merkitys kuin hiomoprosessissa. Vaaleus on hierteellekin tärkeää. Hiertoprosessin kannalta on hakkeen palakoolla ja sen tasaisuudella suuri merkitys.

4 LAJITTELUMAHDOLLISUUDET JALOSTUSPAIKALLA

4.1 Sahatukit

Sahalla tukit lajitellaan sahauseriin kuorettoman latvaläpimitan ja usein myös pituuden ja laatutekijöiden perusteella. Sahauserässä tukkien tulisi olla kuorettomina samankokoisia. Kun kuoren paksuus vaihtelee ja sen määrittäminen perustuu keskiarvoihin ja arviointiin, läpimittaluokkiin lajittelu ei tapahdu aivan tarkasti kuorettoman läpimitan mukaan. Myöskään hakkuukoneen mittaamat läpimitat eivät vastaa tarkkoja kuorettomia tai kuorellisia läpimittoja.

Tietyt sahat ovat erikoistuneet käyttämään tiettyä puulajia tai tietyn kokoluokan tukkeja (pikkutukki tai normaali tukki). Tämä erottelu tehdään metsässä ja sahauseriin lajittelu tapahtuu kuten edellä.

Tukkien sisäisen laadun toteamista varten on kehitetty röntgenlaitteistoja. Tällä hetkellä niitä on Suomessa käytössä kolmella sahallalla. Röntgenin avulla pystytään näkemään tukkien sisäinen oksaisuus ja muita ominaisuuksia. Myös kuorettomasta läpimitasta pyritään saamaan aiempaa tarkempi tieto. Laitteisto on melko kallis investointi ja sen signaalinkäsittely on hyvin vaativaa. Näistä syistä röntgenlaitteistoja on toistaiseksi hankittu vain suurimmille sahoille.

Uutena laadun määrittämiskeinona on tutkittu digitaalikuvatekniikkaa tavoitteena kehittää konenäköön perustuvaa automaattista dimensio- ja laatulajit-

telua sahatukeille. Kameratekniikalla voidaan tuottaa 3-ulotteista kuvaa tukeista. Pölkyn päästä saadaan puun ominaisuuksia kuvaavia tunnuksia kuten koko pölkynpään kuoreton muoto, vuosilustojen leveydet, mahdollisesti kevät/kesäpuuosuudet, sydän/pintapuu, laho ja lyly. Niiden perusteella voidaan ennustaa tukista saatavan sahatavaran pinta- ja lujuusominaisuuksia.

Digitaalikuivatekniikan kehittämisen ja soveltamisen sahatukkien lajitteluun uskotaan olevan paljon helpompaa ja edullisempaa kuin läpivalaisuun perustuvien tekniikoiden. Siksi digitaalikuivatekniikka tulee olemaan myös pienten sahojen käytettävissä. Sitä edistävät nähtävissä olevat monipuoliset sovelluskohteet mm. jatkojalostuksessa ja muilla tuotannonaloilla, myös kuitupuun lajittelussa.

Parhaiten sahatavaran laadun lajittelu onnistuu valmiiden sahatavarakappaleiden lajitteluna, kuten nykyisin pääsääntöisesti tehdään. Tietyllä esilajittelulla metsässä tai tukkien vastaanotossa tehostetaan tulosta ja mahdollistetaan erikoistuotteiden saanti.

4.2 Vaneritukit

Koivuvanerin valmistuksessa ei ole koskaan liikaa hyvälaatuisia viilua. Erityisesti kesällä ja alkusyksyllä siitä on puutetta. Vaneritukeista pystytään melko hyvin arvioimaan hyvälaatuisen viilun saanto. Hakattujen koivutukkien laatu alkaa kuitenkin huonontua kesäaikaisessa varastoinnissa varsin nopeasti. Sorvattua viilua ei varastoida kuin poikkeustapauksissa. Erityislaatuista erää varten on perusteltua lajitella hyvälaatuisia tukkeja ja niistä varastoida parhaat pintaviilut. Vaneritukkien laajamittainen lajittelu ei ole käytäntöön soveltuvaa.

Kuusivaneritukeilla tärkein lajittelu tapahtuu hakkuuvaiheessa, kun tukin käyttötarkoitus päätetään – sorvaukseen vai sahaukseen. Myöhemmin tehtävällä laatulajittelulla ei enää saavuteta lisähyötyä.

4.3 Sellupuu

Sellutuotannossa on yleensä tavoitteena mahdollisimman tasainen, asiakkaiden tarpeita vastaava laatu. Niinpä tehtaalla yhdistellään raaka-aineita siten, että saadaan tilaajan laatuvaatimukset täyttävää sellua ja tuotantoprosessi sujuu vakaasti. Sovittua paremmasta laadusta ei yleensä saa parempaa hintaa, huonompi laatu voi sen sijaan alentaa hintaa. Prosessiin menevä puu varastoidaan pääosin hakkeena, jota käytetään tiettyinä sekoituksina halutusta sellun laadusta riippuen. Hakekasoja on sellutehtailla yleisimmin kolme, maksimissaan viisi. Kunkin hakekasan hake pyritään saamaan raaka-aineominaisuuksiltaan mahdollisimman tasalaatuiseksi. Halutut sellun ominaisuudet saadaan sekoittamalla eri kasojen haketta hallitussa suhteessa.

Käytännössä lajittelu hakekasoihin tehdään kuitu- ja massaominaisuuksien; kuivatiheyden ja kuidun pituuden perusteella, osittain myös puulaji huomioidaan ottaen. Yleistä on, että yhdessä kasassa on pääsääntöisesti kuusipölkky- ja kuusisahanhaketta, toisessa mäntypölkkyhaketta (lyhytkuituista) ja kol-

mannessa mäntysahanhaketta (pitkäkuituista). Mäntykuitupuuta voidaan ohjata hakkuutapatiedosta pääteltävän kuitupituuden perusteella - ensiharvennuspuu lyhytkuituiseen ja päätehakkuupuu pitkäkuituiseen hakekasaan.

Sellutehtailla lajittelun merkittävä lisääminen nykyisestä saattaa olla vaikeasti hyödynnettävissä. Mikäli raaka-ainevirrasta erotettaisiin huippulaatuinen hake, huonontaisi tämä loppuosan laatua. Tällöin on olemassa vaara, ettei lopusta, eli suurimmasta osasta puuraaka-ainetta, enää saadakaan asiakkaille riittävän hyvälaatuista sellua. Puun kuituominaisuudet vaihtelevat suuresti sekä puutavaraerittäin että erän pölkyittäin. Toistaiseksi ei ole käytäntöön sopivaa laadunmittausmenetelmää. Tehokas lajittelu edellyttäisi oikeastaan pölkyittäisen erottelun. Lajittelun laventamista nykyisestä voi monesti rajoittaa käytettävissä oleva tilakin.

4.4 Hiomo- ja hierrepuu

Hiomoissa puut menevät prosessiin pölkyinä. Lajittelua voidaan tehdä kosteuden ja oletetun vaaleuden perusteella - puun vastaanotossa nipuittain tai autokuormittain (vaalea nopeakasvuinen / tumma hidaskasvuinen, tuore / kuivahko).

Pölkyjen suuret kosteuserot vaikeuttavat kuorintaa aiheuttaen tavanomaista suurempaa puuhukkaa ja/tai huonoa kuoriutumista. Jäävä kuori lisää valkaisu tarvetta; 1 % kuorta alentaa vaaleutta 2 – 4 yksikköä. Puuaineen vaaleusarvo on noin 70 (%), tavanomaisella hiokkeella se on 64 – 66 ja TMP -hiokkeella 62. Pelkistävällä ditioniitivalkaisulla vaaleutta voidaan lisätä noin 10 ja hapettavalla peroksivalkaisulla noin 15 yksikköä (Korpilahti ym. 2001) Kosteuden perusteella tehtävä lajittelu voidaan tehdä kuitenkin vasta puun käyttöönottoaiheessa. Puunkäsittelyyn tarvittaisiin on-line kosteudenmittaus; toistaiseksi sellaiseen sopivaa mittauslaitetta ei ole markkinoilla.

Toinen lajittelumahdollisuus hiomoilla on puiden koon mukainen lajittelu. Siitä on hyötyä kuorinnassa – samankokoiset pölkyt kuoriutuvat hyvin. Muita etuja on samankaltaisten kuitujen saaminen samaan erään. Pölkykoko ei kuitenkaan aina osoita kuituominaisuuksia, vaan tarvittaisiin esimerkiksi pölkynpäiden analysointi.

Talviaikana kuusipuu on vaaleampaa kuin kesä kautena. Vaaleutta voidaan säätää sekoittamalla kesäaikana tuoretta ja varastoitua puuta hallitussa suhteessa. Tämä voidaan toteuttaa puun vastaanoton ja tehdasvaraston hallinnan keinoin.

Hierteen raaka-aineeksi käsiteltävä puu haketetaan ja hake esikäsitellään (pestään) ennen prosessia. Tärkeään hakepalan tasakokoisuuteen ja -laatuisuuteen päästään helpommin kosteudeltaan ja kooltaan samanlaisista pölkyistä. Sama koskee selluhakkeenkin tekoa.

5 LAJITTELUMAHDOLLISUUDET JA -TEHOKKUUS PUUNHANKINTAKETJUSSA

5.1 Sahapuun lajittelu puunkorjuussa

Metsässä ja kuljetuksessa erillään pidettävät tukkierät voidaan muodostua lähinnä laadun perusteella, kuten hyvälaatuiset tyvitukit, terveoksaïset, kuivaoksaïset ja sorvitukit. Tietyt mahdollisuudet ovat myös kokonaisten leimikoiden tai korjuulohkojen rajaamisessa puuston ominaisuuksien mukaan tiettyihin tarpeisiin, kuten nopeasti/hitaasti kasvaneet puustot. Käytännössä metsävaiheessa erotellaan eri sahoille kuljetettavat tukit. Sahan lajittelussa metsävaiheessa erillään pidetyt tukkierät lajitellaan lopullisiin sahauseriin dimensioiden ja laadun perusteella.

Eri laatujen erillään pito hoituu pienemmin lisäkustannuksin suurilla leimikoilla kuin pienillä. Kun eri puulajit pidetään erillään ja usein kuljetetaan eri tehtaisiin, käytännössä joudutaan pitämään pieniäkin puutavaraeria erillään, esimerkiksi lehtipuutavaralajit havupuuleimikoissa.

Jotta puun ominaisuudet voidaan hyödyntää mahdollisimman tehokkaasti, ne tulee kyetä mittaamaan hakkuuvaiheessa ja käyttää laatutietoa rungon pölkytyksessä. Erillään pito olisi edelleenkin sahakohtaista ja lajittelu lopullisiin sahauseriin tehtäisiin sahalla. Lajittelussa pölkyistä mitattaisiin laatu ja dimensiot esimerkiksi digitaalitekniikkaa käyttäen. Toinen keino olisi tunnistaa metsässä valmistettu pölky sahan lajittelussa ja siirtää hakkuukoneella tuotettu mitta- ja laatutieto sahan tietojärjestelmään. Tunnistimena voisi olla erillinen transponderi tai pölkypään kuvatieto.

Mäntytukkirunkojen laatuluokitteluun esitettiin 1980-luvun alussa kuivaoksarajaan perustuvaa menetelmää (mm. Kärkkäinen 1980). Menetelmän käyttö käytännössä jäi kuitenkin vähäiseksi. Puun nuoruusiän kasvunopeuden (lustonleveyden) on todettu selvästi korreloivan sahatavaran laadun kanssa. Hidas paksuuskasvu nuoruusvaiheessa tuottaa hyvälaatuisia sahatavaraa (Heiskanen 1954). Myös tässä projektissa todettiin että lustonleveys indikoi tyvitukeilla sahatavaran laatua hyvin (Sorsa ym. 2005). Sen sijaan kuivaoksarajan selitysarvo oli käytännöllisesti katsoen merkityksetön.

Kun samalla kasvupaikalla kasvaneiden puiden lustojen kesäpuun leveys on melko vakio, niin paksuuskasvun vaihtelu johtuu kevätpuusta (Thörnqvist 1990). Se merkitsee sitä, että lustonleveystieto indikoi myös puun tiheys- ja lujuusominaisuuksia.

Lusto- ja muun pölkynpäätidon hyödyntäminen edellyttää, että ne voidaan mitata ja puun laatu kuvata malleilla, jotka kytketään rungon apteerauslaskeintaan. Hakkuukoneen kuljettajan silmävaraisen havainnoinnin ja arvioinnin perusteella ei pölkynpäätidon hyödyntäminen. Metsikössä runkojen välinen lustonleveyden vaihtelu on niin suuri, että metsikkötietojen perusteella ei voida riittävän tarkasti ennustaa yksittäisten runkojen ominaisuuksia (esim. Varmola 1989). Koneäkötekniikan kehittäminen hakkuukoneisiin onkin erittäin haastava tehtävä, mutta onnistuessaan suuri harppaus tuottavampaan puun hyödyntämiseen.

5.2 Sellupuun lajittelu puunkorjuussa

Seuraavassa käsitellään sellun raaka-aineeksi tarkoitettun puun lajittelumahdollisuuksia. Selkein puun ominaisuuksia kuvaava muuttuja on puuaineen kuivatilavuuspaino, joka kuvaa havupuilla jossain määrin myös kuidun pituutta.

5.2.1 Maantieteellinen sijainti

Puun ominaisuudet eroavat Suomenkin alueella suuralueittain jonkin verran. Mänty on yleensä Etelä-Suomessa tiheämpää kuin Pohjois-Suomessa, kuu-sella tilanne on päinvastoin. Yhden tehtaan puunhankinta-alueella puuomi-naisuuksien vaihtelua aiheuttavat pienipiirteisemmät kasvupaikkojen erilai-suudet, kuten lämpöolot, maaperän laatu ja hakkuupaikan korkeus meren-pinnasta.

Vaikka kuituominaisuudet riippuvat kasvupaikan maantieteellisestä sijain-nista, sitä ei voida käytännössä käyttää yksittäisen tehtaan raaka-aineen laa-dun säätelyssä. Kuitupuu kun toimitetaan tehtaille pääosin mahdollisimman läheltä puutavaralajikohtaisuus kuljetusoptimointi huomioon ottaen.

5.2.2 Metsätyyppi

Metsätyypit kuvaavat kasvupaikan ravinteisuutta ja luonnollisesti puiden kasvunopeus vaihtelee metsätyypeittäin. Kasvunopeus puolestaan vaikuttaa kuituominaisuuksiin – puun tiheyteen ja kuitujen pituuteen. ”Väärällä” kas-vupaikalla kasvavien puiden puunlaatu saattaa poiketa melkoisesti puulajin keskimääräisestä laadusta.

Metsätyyppitietoa ei yleensä kirjata korjuusuunnitelmiin tai puukauppatie-toihin. Koska puun kasvunopeus ja siksi laatu riippuvat kasvupaikan laadus-ta, metsätyyppitieto voisi ennustaa puun kuituominaisuuksia. Selitysvoimaa lisäksi se, että mukaan otettaisiin puuerän hakkuutapatieto.

Mustikkatyypillä (tuoreella kankaalla) kasvaneen mäntykuitupuun kulutus sellutonnia kohti oli eräässä ensiharvennumännillä tehdyssä tutkimuksessa (Imponen ym. 1997) 6,44 ja puolukkatyypin mäntypuulla 5,88 m³. Samassa tutkimuksessa puolukkatyypillä kasvanutta päätehakkuun kuitupuuta kului 5,48 m³/t sellua. Saman suuntaisi eroja havaittiin mm. kuidunpituuksissa ja repäisyjuuksissa. Myös muissa tutkimuksissa on havaittu kasvupaikkojen välisiä puuaineen ominaisuuseroja (mm. Korpilahti ym. 2000, Varhimo ym. 2003). Ominaisuuksien vaihtelun hyödyntäminen edellyttäisi hyvin tarkkaa ja pienialaista kasvupaikkojen määrittystä. Lisäksi turvemaametsien luokitus tulisi osata rinnastaa sopivaan kangasmaan metsätyyppiin. Turvemailla pui-den kasvuolot saattavat vaihdella suuresti mm. ojitustilanteen, puuston hoi-totoimien ja ravinnetasapainon mukaan. Siksi kasvupaikkaluokituksen osu-vuuteen puun laadun kuvaamisessa voi jäädä huomattavaa vaihtelua.

5.2.3 Metsän käsittely

Metsien käsittelyllä pyritään vaikuttamaan lähinnä tukkipuiden laatuun. Oikea-aikaiset harvennukset ja mm. pystykarsinta parantavat puiden laatua mekaanisessa jalostuksessa. Metsän käsittely vaikuttaa jonkin verran myös kuitupuiden laatuun. Myöhemmässä harvennuksessa poistettavat puut ehtivät hyödyntää ensiharvennuksessa vapautunutta kasvitilaa ja siten niiden kevätpuuosuus voi suurentua.

5.2.4 Hakkuutapa

Sellupuun kuituominaisuuksia voidaan luokitella hakkuutavan perusteella. Ensiharvennuspuu on yleensä nopeakasvuista, sydänpuutonta, kevyttä ja lyhytkuituista. Muissa harvennuksissa ulompien kerrosten puu on painavaa ja kuidut ovat pitkiä, mukana on jonkin verran sydänpuuta. Päätehakkuiden puussa on vielä enemmän pitkiä kuituja ja sydänpuuta.

Hakkuutavan perusteella voidaan tehdä vastaanotettavan kuitupuun lajitte-
lua. Ensiharvennuspuu sijoitetaan lyhyen kuidun eli kevyen puun osioon, päätehakkuiden puu pitkäkuituiseen osioon sekä muut harvennukset ulko-
näön ja kasvunopeuden perusteella joko lyhyt- tai pitkäkuituiseen osioon.

Tieto hakkuutavasta ei nykyisin yleensä seuraa puuerää. Kuitupuita ei myöskään varastoida ja kuljeteta tehtaalle hakkuutavan mukaan eroteltuina. Hakkuutapa voidaan melkoisella varmuudella päätellä silmävaraisesti puun ulkonäöstä puun vastaanottovaiheessa. Hakkuutavasta saatavaa kuituomi-
naisuustietoa voitaisiin tarkentaa leimikkokohtaisen kasvun yms. tekijöiden määrityksillä.

5.2.5 Rungonosien ja pölkyjen erillään pito

Vaikka puuaineen ominaisuuksien vaihtelu rungossa on jokseenkin säännöl-
listä ja tunnettua, lajittelu ei aina tuota selvää tulosta. Ensiharvennusmänyl-
lä tehtiin koe, jossa pölkyt lajiteltiin 9 cm latvaläpimitan täyttäviin ja alitta-
viin (Imponen ym. 1997). Ositteiden kuivatuoretiheydet olivat silti samaa
luokkaa ja pienemmät kuin vastaavien kasvupaikkojen lajittelemattomien
erien tiheydet. Eivätkä massa- ja paperitekniset ominaisuudet tässä kokeessa
olleilla ensiharvennuspuilla selvästi systemaattisesti eronneet toisistaan.
Kuorinnassa tosin puuaineen hävikki oli järeillä pölkyillä pienempi kuin
pienillä pölkyillä. Tulos osoittaa, että tehokas lajittelu edellyttää jotain muu-
ta perustetta, tehokkaimmillaan pölkykohtaista laadun mittausta ja erotte-
lua.

Pölkyn tai rungon eri osissa olevien erilaisten kuitujen erottaminen omiksi
erikseen on teknisesti vaikeaa ja kallista. Periaatteessa on olemassa tekniset
valmiudet jopa säteensuuntaiseen, pitkäkuituisen pintapuun ja lyhytkuitui-
sen keskiosan erotteluun nykyaikaisilla pelkkahakkureilla (Korpilahti ym.
2001). Kuormittain tai nipuittain tapahtuva erottelu olisi käytännössä vas-
taanotossa helposti toteutettavissa.

Koivulla puuaineen laadun vaihtelu puuaineessa on vähäistä. Lajittelulla ei
siten ole saavutettavissa merkittävää vaikutusta.

5.2.6 Puulaji

Puutavara toimitetaan tehtaille pääsääntöisesti puulajeittain eroteltuna. Sel-lupuussa voi kuitenkin olla mäntykuitupuun seassa kasvuaikaisen lahon vaurioittamaa kuusta, usein tukkipuun tyvilumppeja. Niiden kuituominaisuudet ovat yleensä selvästi paremmat kuin tavanomaisella mäntykuitupuulla. Hyvän raaka-ainehallinnan aikaansaamiseksi kuuset tulisi erottaa mäntysellupuusta ja ohjata prosessiin erikseen.

5.2.7 Puiden asema metsikössä

Myöhemmissä harvennuksissa ja päätehakuissa puuston ikärakenne voi käsittelyhistoriasta riippuen vaihdella suurestikin. Vallitut, alempien latvuserosten hidaskasvuiset puut poikkeavat kuituominaisuuksiltaan ja tiheydeltään selvästi vallitsevan latvuserroksen puista. Hakkuukoneen kuljettajan olisi mahdollista tunnistaa ja hakata erilleen tällaiset rungot. Toinen asia sitten on, kertyykö yksittäisestä leimikosta merkittävää määrää tällaista erikoisositetta. Kuten seuraavasta tarkastelusta ilmenee, hakkuuvaiheessa aloitettu erillään pito ei helposta teknisestä toteutuksesta huolimatta ole välttämättä kustannustehokasta.

6 LAJITTELUN KUSTANNUSVAIKUTUKSET PUUN KORJUUSSA JA KULJETUKSESSA

Hakkuuvaiheessa tiedetään jokaisen rungon kilpailuasema ja ulkoiset laatu-tunnukset sekä jokaisen rungosta katkotun pölkyn sijainti rungossa. Näiden helposti tunnistettavien ja rekisteröitävien muuttujien avulla voidaan tunnistaa ja lajitella erilleen hyvinkin erilaisia kuitu- ja tukkipuuositteita. Lähi- ja kaukokuljetusvaiheen tehtäväksi jää hakkuussa valmistettujen, usein eri tuotantolaitoksille suunnattujen ositteiden erillään pito ja mahdollisten lajitteluvirheiden korjailu. Kaukokuljetusvaiheessa on lisäksi mahdollista tarkentaa esimerkiksi raaka-aineen tuoreuteen perustuvaa lajittelua.

Vaikka hakkuuvaiheessa aloitettu ja koko hankintaketjun läpi kulkeva erillään pito on laadullisesti tehokasta, sen kustannukset nousevat ainakin aikautkimusten valossa korkeiksi. Jos lajittelun intensiteettiä lisätään esimerkiksi jakamalla perinteinen kuitupuutavalaraji kahteen erilliseen ositteeseen, kustannuksia eri työvaiheissa suurentavat mm. seuraavat tekijät:

Hakkuu:

- katkonta hidastuu erityisesti silloin, kun samasta rungon osasta ryhdytään 'kilpailemaan' kaksi tavaralajiositetta, esimerkiksi pikkutukki ja tyvikuitu
- kasaus hidastuu, koska aiemmin yhteen kasaan katkottu osa rungosta jaetaan kahteen eri kasamuodostelmaan. Jos kasojen keskikoko pyritään pitämään ennallaan, niiden etäisyys kasvaa, mikä lisää osaltaan ajanmenekkiä

Metsäkuljetus:

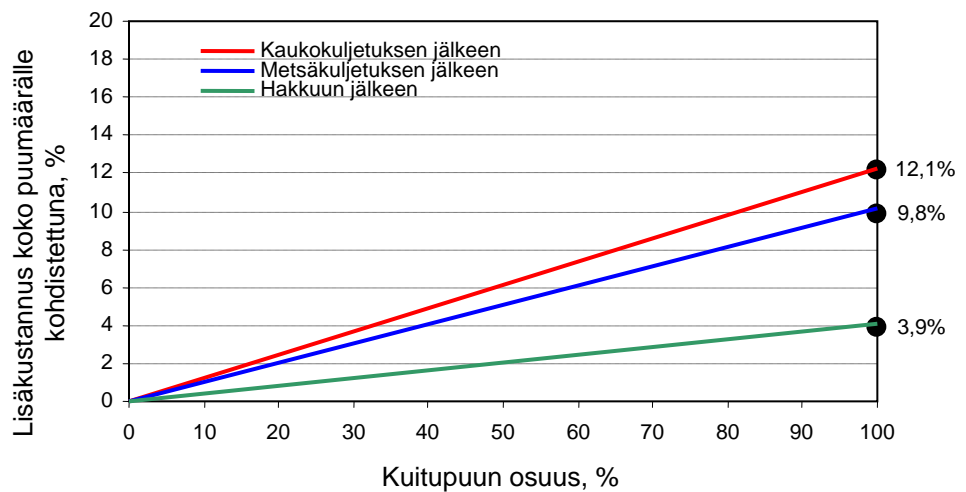
- jos kasojen keskikokoa ei kyetä hakkuuvaiheessa säilyttämään ennaltaan, kuormausvaiheen taakkojen keskikoko pienenee ja kuormaus hidastuu
- kuormausajomatkat kasvavat ja työpistesiiirtymiset lisääntyvät lajipuhaita kuormia ajettaessa
- vajaakuormien määrä kasvaa

Kaukokuljetus:

- keräilyajon tarve kasvaa

Kuitupuulle tehdyssä tarkastelussa lajittelu lisäsi hakkuun kustannuksia noin 10 %, metsäkuljetuksen 20 – 30 % ja kaukokuljetuksen noin 5 %. Kun lajiteltu kuitupuu kulkee koko toimitusketjun lävitse, lajitellulle kuitupuulle kohdistetut lisäkustannukset (hakkuu-, metsä- ja kaukokuljetus) ovat yli 10 prosentin luokkaa (kuva 4).

Käyttöpaikalla puun vastaanoton tai mittauksen yhteydessä ei aiheudu lisää kustannuksia laadun määrittämisestä. Sahoilla tämä on käytäntö tällä hetkellä. Myös kuitupuun vastaanotossa määritetään laatu, tosin lähinnä minimilaatu ja otannalla raakkien osuus. Erillinen varastointi saattaa lisätä hieman tehtaalla varastokustannuksia.



Kuva 4. Lajittelun vaikutus puunkorjuun ja kuljetuksen kokonaiskustannuksiin, kun kuitupuu lajitellaan kahteen ositteeseen. Oikeassa reunassa kustannusvaikutukset kuitupuuositteelle kohdistettuna (= kuitupuun osuus 100 %). Viite Poikela & Alanne 2002.

7 PUUNKÄSITTELYTERMINAALI LAATU- LAJITTELUN KEINONA

Joissain maissa käytetään puunkäsittely- tai runkotermiinaaleja puutavaran lajitteluun. Etuina termiinaaleissa on mahdollisuus tehokkaaseen ja kustannuksellisesti edulliseen lajitteluun, mikäli puumäärät ovat suuria. Haittoina ovat pidentyvät kuljetusmatkat sekä vaikeus löytää kaikille lajitelluille puutaveralajeille sopivaa käyttökohdetta.

Puun korjuu ja kuljetus terminaalikäsittelyyn olisi Suomessakin teknisesti mahdollista. Sahapuun tukkiosahankinnan tutkimuksissa todettiin, että tukkiosien korjuu- ja kuljetuskustannukset eivät oleellisesti poikkea tavaralajimenetelmän kustannuksista. Ratkaisevaa oli sellaisen ajoneuvoyhdistelmän kuormatilaratkaisun toteuttaminen, joka mahdollistaa 60 t kokonaispainon.

Puunkäsittelyterminaalin tulisi sijaita paikassa, missä on lähistöllä mahdollisimman monenlaista puunjalostusta. Sijoituspaikean löytymistä helpottaisi, jos siellä voitaisiin lajitella usean puunjalostusyrityksen puutavaraa.

Eräs terminaalikäsittelyn kohde voisi olla energiapuun ja jalostukseen menevän kuitupuun erottelu. Toinen lajittelukohde saattaisi olla järeät koivurungot, jotka jaettaisiin sorvaukseen ja puutuoteollisuuden raaka-aineeseen. Sen sijaan pääosaa sahatukeista ja kuitupuusta ei kannata kuljettaa terminaalien kautta.

8 LAJITTELUN HYÖDYNTÄMISMAHDOLLISUUDET

Sahoilla lajittelu on ollut pääosin mittoihin perustuvaa automaattista kokoluokittelua. Nykytekniikan avulla voidaan sahoille kuitenkin kehittää konenäköön, kuva-analyysiin tai röntgenlaitteisiin perustuvia, mittaukseen ja muuhun laadun määrittämiseen soveltuvia laitteistoja ja ohjelmistoja.

Sahatukkien automaattisessa lajittelussa tavoitteen tulee olla mittaajan silmävaraiseen havainnointiin perustuvan laadutuksen vähentäminen. Uudella tekniikalla tulisi löytää ja pystyä automaattisesti luokittelemaan tukkien mutkat ja lenkoudet sekä tuottamaan oksaisuutta ja lujuutta selittävää tietoa ja havaitsemaan laho ja lyly.

Sellupuulla hyötyä on saavutettavissa tarkemmalla kuituominaisuuksien mukaisella lajittelulla. Tehtaat voivat paremmin ja edullisemmin tuottaa tavoitteiden mukaisia sellulaatuja, jos käytettävissä olevat raaka-aineositteet ovat nykyistä homogeenisempiä, tarkemmin lajiteltuja. Sellu- ja paperitehtaille tasainen, hallittu tuotteen laatu on tärkeä. Siihen päästään hallitsemalla raaka-aineen laatua. Näin paranevat myös erityislaatuisten toimitusmahdollisuudet.

Puuraaka-aineen laadunmukainen lajittelu jalostuspaikalla tai sen välittömässä läheisyydessä on käytännössä toteuttamiskelpoinen, monessa tapauksessa myös ainoa kustannustehokas lajitteluvaihtoehto. Laadun toteutuksen tulisi tapahtua puun mittauksen yhteydessä. Erilleen lajiteltavan erän tulisi kuitupuulla olla vähintään nippu, tukkipuulla lajittelun kohteena on tukki.

9 SELVITYSTARPEITA

Lajittelun tehostaminen hyödyttäisi eniten sellutehtaiden ja sahojen puuraaka-aineen laadun hallintaa. Käynnissä on hankkeita, joissa tutkitaan uusien tekniikoiden ja laitteiden soveltuvuutta ja suorituskykyä puun laadun määrittämisessä ensin saha- ja vaneritukin ja myöhemmin kuitupuun lajittelussa. Osaksi perustukimustakin edellyttävä kehittäminen voi kestää pitkään ennen kuin saadaan tuotantokäyttöön valmiita sovelluksia ja tuotteita. Siksi samanaikaisesti on tarpeen tehdä laadunhallinnan nykytilaa parantavia toimenpiteitä. Toimintatavan muutoksilla voitaisiin vaikuttaa lähinnä sellun raaka-ainepohjaan.

Sellupuun hankinnassa tulisi tarkemmin selvittää mm. hakkuutapaan (puuston ikään) ja kasvunopeuteen perustuvan lajittelun tehokkuutta ja soveltamismahdollisuuksia. Tehdasvastaanotossa tapahtuvan puutavaran silmävaraisen tarkastelun lisäksi olisi tarpeen selvittää leimikkotietojen käyttämistä laatuarvioiden tukena. Lajittelun tehostaminen edellyttäisi myös korjuusta alkavaa laatuluokittelua ja erillään pitoa.

Eräänä esimerkkinä uudesta toimintatavasta esitetään seuraavaa. Omasta hankinnasta (pystykaupoista) kuitupuu eroteltaisiin hakkuutavoittain esimerkiksi seuraavasti:

- ensiharvennuspuu
- myöhemmän harvennuksen kuitupuu
- päätehakkuun kuitupuu
- lisäksi otettaisiin huomioon poikkeavien puutavaralajien vaikutukset kuitupuuositteeseen (pikkutukkien ottaminen, huonolaatuinen tukkipuu kuitupuuksi tms.)

Hankinta- ja toimituspuun laatu selvitettäisiin kokonaisuudessaan puun vastaanotossa. Ominaisuuksiltaan poikkeavat muu harvennus- / päätehakkuerät pyrittäisiin ohjaamaan laadun perusteella vastaavaan haketuserään.

VIITEKIRJALLISUUS

- Atmer, B. & Thörnqvist, T.** 1982. Fiberegenskaper i gran och tall. SLU, Institution för virkeslära. Rapport nr 134.
- Hakkila, P., Kalaja, H. & Saranpää, P.** 1995. Etelä-Suomen ensiharvennumänniköt kuitu- ja energiapuulähteenä. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 582.
- Heiskanen, V.** 1954. Vuosiluston paksuuden ja sahatukin laadun välisestä riippuvuudesta. *Comminucationes Instituti Forestalis Fenniae* 44(5).
- Imponen, V., Hakkila, P., Lilleberg, R., Pennanen, O. & Varhimo, A.** 1997. Ensiharvennumänty sellutehtaan raaka-aineena. Metsätehon raportti 24.
- Korpilahti, A., Alanne, H. & Rieppo, K.** 2001. Puuaineen säteensuuntainen erottelu. Metsätehon raportti 112.
- Korpilahti, A., Varhimo, A., Backman, M. & Rieppo, K.** 2000. Männyn ja koivun ensiharvennumetsiköiden ja puuaineen ominaisuuksia. Metsätehon raportti 85.
- Kärenlampi, P., Retulainen, E. & Kolehmainen, H.** 1994. Properties of kraft pulps from different forest stands – Theory and experiment. *Nordic Pulp and Paper Research Journal* 4/1994.
- Kärkkäinen, M.** 2003. Puutieteen perusteet. Hämeenlinna, 2003.
- Kärkkäinen, M.** 1980. Mäntytukkirunkojen laatuluokitus. *Comminucationes Instituti Forestalis Fenniae* 96(5).
- Lundqvist, S-O., Grahn, T., Hedenberg, Ö. & Hansen, P.** 2003. Visions and tools for forest and mill integration. EuroFiber Seminar. STFI.
- Mäkelä, M., Korhonen, K. & Lipponen, K.** 2000. Varastoinnin vaikutus kuitupuuhun. Metsätehon raportti 91 B.
- Mäkelä, M., Lipponen, K., Korhonen, K., Hallaksela, A-M., Karppelin, M., Öhman, H. & Sainio, M.** 1999. Varastolaho, esiintyminen ja vaikutukset. Metsätehon raportti 71.
- Mäkelä, M., Lipponen, K. & Sainio, M.** 1998. Tyvilahoa sisältävän kuusen määrä, laatu ja käyttömahdollisuudet sellun raaka-aineena. Metsätehon raportti 50.
- Poikela, A. & Alanne, H.** 2002. Puutavaran lajittelu korjuun yhteydessä. Metsätehon raportti 135.
- Puun laadun säilyttäminen. 2004. Metsätehon opas.

- Rissanen, A. & Sirviö, J.** 2000. Männyn (*Pinus Sylvestris*) ja kuusen (*Picea abies*) puuaineen ja –kuitujen ominaisuuksien vaihtelu. Helsingin yliopiston metsävarojen käytön laitoksen julkaisuja 23.
- Sorsa, J-A., Imponen, V., Hujo, S., Korpilahti, A., Poikela, A. & Räsänen, T.** 2005. Kuvaan perustuva mittaus apteerauksessa ja puutavaran lajittelussa. Metsätehon raportti.
- Thörnqvist, T.** 1990. En jämförelse av några egenskaper hos barr- och lövved. Serien uppsatser 35. SLU.
- Varhimo, A., Kojola, S., Penttilä, T. & Laiho, R.** 2003. Quality and Yield of Pulwood in Drained Peatland Forests: Pulwood Properties of Scots Pine in Stands of Forest Commercial Thinning. *Silva Fennica* 37(3).
- Varmola, M.** 1989. Männyn istutustaimikoiden lustonleveysmalli. *Silva Fennica*. Vol. 23 (4).