

**Tyvilahoa sisältävän kuusen määrä,  
laatu ja käyttömahdollisuudet sellun  
raaka-aineena**

**Markku Mäkelä**  
**Katriina Lipponen**  
**Mikko Sainio**

Metsätehon raportti 50  
13.3.1998

Konsortiohanke: A. Ahlström Osakeyhtiö, Aureskoski Oy,  
Enso Oyj, Metsähallitus, Metsäliitto Osuuskunta, Metsä-Rauma Oy,  
Metsäteollisuus ry, Sunila Oy, UPM-Kymmene Oyj, Vapo Timber Oy,  
Yksityismetsätalouden Työnantajat ry

Asiasanat: kuusi, lahopuu, sellunkeitto

## Sisällys

<b>TIIVISTELMÄ</b> .....	<b>3</b>
<b>1 JOHDANTO</b> .....	<b>5</b>
<b>2 TOTEUTUS</b> .....	<b>6</b>
<b>3 LAHOA SISÄLTÄVÄN KUUSEN MÄÄRÄ JA LAATU</b> .....	<b>6</b>
3.1 Aineisto ja menetelmät.....	6
3.1.1 Lahon määrä .....	6
3.1.2 Lahon laatu .....	7
3.1.3 Lahon puun tiheys .....	10
3.2 Tulokset.....	10
3.2.1 Lahon määrä .....	10
3.2.1.1 Lahon määrä leimikoittain .....	10
3.2.1.2 Lahon määrä kunnittain .....	10
3.2.1.3 Lahon määrä metsäkeskuksittain .....	11
3.2.2 Lahon laatu .....	12
3.2.3 Laskelma eteläsuomalaiselle sellutehtaalle ohjautuvasta lahosta puusta .....	15
3.2.4 Lahon puun tiheys .....	16
<b>4 TYVILAHOVIKAINEN PUU SELLUN RAAKA-AINEENA</b> .....	<b>17</b>
4.1 Koejärjestelyt .....	17
4.1.1 Raaka-aineet .....	17
4.1.2 Keittokokeet .....	21
4.1.3 Valkaisukokeet .....	21
4.2 Tulokset .....	22
4.2.1 Lahovian vaikutus sulfaattikeitossa .....	22
4.2.2 Lahovian vaikutus happikemikaalivalkaisussa .....	24
4.2.3 Lahovian vaikutus sellun lujuusominaisuuksiin .....	25
4.2.3.1 Valkaisemattomat massat .....	25
4.2.3.2 Valkaistut massat .....	26
<b>5 TARKASTELUA</b> .....	<b>27</b>
5.1 Lahon puun määrä.....	27
5.2 Lahon puun laatu.....	27
5.3 Tyvilahovikainen puu sellun raaka-aineena .....	27
<b>KIRJALLISUUTTA</b> .....	<b>29</b>
<b>LIITTEET 1 - 5</b>	

## TIIVISTELMÄ

Tutkimuksessa selvitettiin tyvilahoa sisältävän kuusen määrä sekä vastaanotetun puun määrätilastoista että seurannalla Etelä-Suomessa. Lahon laatu (lahoamisaste ja lahon aiheuttajat) tutkittiin mittaamalla ja luokittelemalla tienvarteen ajettuja, käyttötarkoituksen mukaan lajiteltuja lahoppuupinoja hakkuutyömailla.

Tyvilahoa sisältävää kuusta oli Etelä-Suomessa 4,0 % kaikesta hakatusta puutavarasta ja 6,9 % kuusesta, mikä merkitsee, että esim. vuonna 1996 lahovikaista kuusta hakattiin alueelta runsas 600 000 m<sup>3</sup>. Lahoppuun määrästä runsas 4/5 täytti sellupuun laatuvaatimukset. Lahoppuosuuksissa (lahon osuus kaikesta kuusesta) oli suurta alueittaista vaihtelua. Suhteellisesti eniten lahoa oli etelärannikolla ja vähiten Savossa.

Lahovikaisen järeän kuusen osuus eteläsuomalaisen sellutehtaan luontaisessa raaka-ainevirrassa on tutkimuksen mukaan keskimäärin 17 %. Sellutehtaalte toimitettavaksi lajiteltu lahoppu sisälsi tervettä pintapuuta keskimäärin 59 %, värivikaista puuta 8 %, kovaa lahoa 29 % ja pehmeää lahoa 4 %.

Lahon puun soveltuvuus sulfaattisellun valmistukseen selvitettiin hankkimalla eriasteisesti tyvilahosta kärsineitä kuusipölkyjä. Tyvilahosta valtaosa oli juurikäävän aiheuttamaa. Pölkyt lajiteltiin lahon vaikeusasteen perusteella kolmeen laholuokkaan. Huonoimpaan luokkaan hyväksyttiin pölkyt, joissa pehmeää lahoa oli enintään puolet läpimitasta. Vertailuna käytettiin tuoretta, tervettä kuusta. Vertailuerän pölkyistä puolet oli pienikokoisempaa puuta kuin lahoppupölkyt. Pölkyt kuorittiin ja hakettiin. Hake seulottiin ja keitetiin tehdasmittaisessa eräkeitossa sekä valkaistiin laboratoriossa. Laatuominaisuudet analysoitiin laboratoriossa.

Kaikki tyvilahoa sisältävät pölkyt voitiin käsitellä tehdasmittaisessa kuorinta- ja haketusprosessissa. Kuorinnan puuhukka ja saadun hakkeen palakokojakauma eivät poikenneet terveen puun puuhukasta ja palakokojakaumasta.

Lahon vaikutus näkyi selvästi ja systemaattisesti vasta eniten pehmeää lahoa sisältävän luokan tuloksissa. Sulfaattikeitossa eniten pehmeää lahoa sisältänyt kuusipuu keittyi hitaammin (kappaluvun ero 0,5) kuin terve kuusipuu ja antoi heikomman saannon (ero 0,4 %), viskositeetin (ero 41 ml/g) sekä vaaleuden (ero ISO-% 1,5) ja enemmän rejektiä (ero 0,07 %).

Happidelignifioinnissa lahovikaiset massat käyttäytyivät terveen puun massan tavoin. Otsoni-peroksidivalkaisussa huonoimman laholuokan puista tehty massa ei samoilla valkaisuolosuhteilla saavuttanut samaa vaaleustasoja kuin terveistä tai vähemmän lahoa sisältäneistä puista keitetty massa. Lahovika hidasti delignifiointia valkaisuissa. Keiton jälkeen havaitut erot viskositeetissa näkyivät myös valkaisun jälkeen (ero loppuvalkaisuissa 30 mg/l).

Pitkälle edennyt kuusipuun lahovika aiheutti laatumenetyksiä ja kemikaalikulutuksen lisääntymistä sekä keitossa että valkaisuissa. Happidelignifioinnissa NaOH:n kulutus kasvoi 0,7 kg ja kemikaalikulutus valkaisuissa 0,6 kg sellutonna kohden.

Tässä tutkimuksessa lahoviasta kärsinyttä puuta oli poikkeuksellisen suuria osuuksia; kaikki pölkkyt sisälsivät lahovikaa, vaikka niissä olikin myös tervettä puuta. Käytännön tilanteessa, jossa lahovikaisia pölkkyjä on huomattavasti vähemmän terveiden pölkkyjen joukossa, lahon vaikutus ei näy yhtä selvästi laadussa tai prosessoitavuudessa.

Puunhankinnassa on aiheellista määrittää lahovikaiselle puulle tervettä matalampi arvo. Vaikka lahovikainen puu toimitetaan prosessiin hallitussa suhteessa terveen puun kanssa, se alentaa koko sellutuotannon laatutasoa. Lisäksi lahovika alentaa puun tiheyttä ja lisää näin puun kulutusta sellutonna kohden. Huippulujuuksia vaativiin sellulaatuihin lahovikaista raaka-ainetta ei pidä annostella.

# 1 JOHDANTO

Tyvilaho on seuraus kasvavan puun saamasta lahottajasienitartunnasta. Tyvilahosta käytetään kuitupuun laatuvaatimusten yhteydessä myös nimeä "keskilaho". Tyvilaho tulee erottaa varastolahosta, jolla tarkoitetaan puutavaraan varastoinnin aikana levinnyttä lahovikaa.

Etelä- ja Länsi-Suomessa keskimäärin joka kuudes päätehakkuikäinen kuusi on lahovikainen, itäisellä Uudellamaalla ja Ahvenanmaalla paikoitellen joka kolmas. On odotettavissa, että lahon puun määrä tulee vielä lisääntymään lähivuosisikymmenien aikana, sillä valtaosa järeän kuusen tyvilahosta eteläisen Suomen talousmetsissä on kesähakkuiden seurauksena leviävän juurikäävän (maannouseman) aiheuttamaa. Jo nyt tyvilahosta on laskettu aiheutuvan metsätaloudelle vuosittain noin 100 - 200 miljoonan markan menetykset.

Juurikäpä voi tartuttaa kasvavan puun juuri- ja tyvivaurioiden kautta. Sieni leviää myös rihmaston avulla sairaista puista tai lahoista kannoista juuriyhteyksien ja -kosketusten välityksellä terveisiin puihin. Puun tyvellä juurikäpä-tartunta näkyy aluksi violetinvärisenä rengasmaisena värivikana (rinkula) sydän- ja mantopuun rajalla. Värivika täyttää renkaan (umpiympyrä), joka vähitellen sienien hajotustoiminnan edetessä muuttuu kovaksi vaaleanruskeaksi lahoksi (kova laho). Myöhemmin laho pehmenee (pehmeä laho). Juurikäpälaho nousee rungossa useita metrejä rajoittuen pääasiassa sydänpuuhun. Laho on tyypiltään ruskehtavaa valkolahoihin kuuluvaa korroosiolahoa. Sieni aloittaa hajotustoimintansa ligniineistä, mutta alkaa pian hajottaa myös hiilihydraatteja.

Juurikäpälaho selittää noin 80 - 90 % kuusen tyvilahon tilavuudesta Etelä-Suomessa (esim. Tamminen 1985). Toinen yleinen tyvilahon aiheuttaja on mesisieni, jonka aiheuttama laho eroaa juurikäpälahosta. Mesisienilaho on tummanruskeaa ja raja terveeseen puuhun on jyrkkä. Lahon läpimitta on pienehkö, eikä laho yleensä nouse metriä korkeammalle puuhun. Pitkälle edenneenä mesisienilaho saa aikaan yleensä alle metrin pituisen kartiomaisen tummareunaisen onkalon.

Havupuilla tyvilahoa esiintyy yleensä vain tukin mitat täyttävillä kuusilla. Saha- ja vaneritukeissa tyvilahoa ei sallita, joten tyvilahovikainen kuusi on ohjattava muihin käyttötarkoituksiin. Kysymys on suurista puumääristä, sillä aikaisemmissa tutkimuksissa sahapuun määrän on todettu vähenevän tyvilahon takia Etelä-Suomessa keskimäärin 8,5 % (Tamminen 1985). Metsäteollisuudessa lahovikaista puuta pystytään laajalti käyttämään vain sellun valmistuksessa. Metsäteollisuuden lahon puun vastaanotossa on yritys- ja tehdaskohtaisia eroja, mikä johtuu siitä, että sellusta on tullut yhä enenevässä määrin asiakkaan tarpeita vastaava erikoistuote, jolloin myös raaka-aine on valittava asiakaskohtaisen reseptin mukaan. Havukuitupuussa voimassa olevien laatuvaatimusten mukaan pehmeää lahoa sallitaan enintään puolet läpimittasta. Tervettä puuta tulee tällöin kuitenkin olla vähintään minimiläpimittan verran.

Lahopuun käytön suunnittelua vaikeuttaa, että tyvilahon määrissä on suurta alueellista vaihtelua, jota ei riittävästi tunneta. Lahoja sisältävän puun laatusisällöstä ja käyttöarvosta sellun raaka-aineena on myös vähän tietoa ja sekin osittain ristiriitaista.

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli hankkia lisätietoa tyvilahoa sisältävän kuusen määrästä, määrien alueellisesta vaihtelusta ja lahopuun laatusisällöstä sekä käyttöarvosta sellun raaka-aineena. Tavoitteena oli saada viitteitä lahovikaisen puun laadun- ja arvonmääritykseen sekä hankintamenetelmien kehittämiseen. Tyvilahoa sisältävän puun käyttömahdollisuuksista energiantuotantoon Länsi-Suomessa on aiemmin valmistunut erillinen selvitys (Metsätehon raportti 40/1998).

## **2 TOTEUTUS**

Tutkimus on jatkoa Metsäntutkimuslaitoksen ja Metsätehon yhteistyössä tekemiin lahoja ja lahon torjuntaa käsitteleviin tutkimuksiin. Tutkimuksen suunnittelussa ja toteutuksessa olivat mukana Enso Oyj, Metsäliitto, Metsä-Rauma Oy, Sunila Oy ja UPM-Kymmene Oyj.

Toteutusvaiheessa aiheen tutkiminen jakautui raaka-aine- ja jalostusosaan. Raaka-aineen määrä- ja ominaisuustutkimukset tehtiin Metsäntutkimuslaitoksen ja Metsätehon yhteistyönä. Jalostusosassa lajittelu-, kuorinta- ja sellunkeittotutkimukset tehtiin Metsä-Rauma Oy:n tehtaalla, sellun valkaisu- ja analysoinnit Lännen Laboratoriot Oy:ssä.

## **3 LAHON SISÄLTÄVÄN KUUSEN MÄÄRÄ JA LAATU**

### **3.1 Aineisto ja menetelmät**

#### **3.1.1 Lahon määrä**

Puunhankinnassa vuosittain kertyvän lahovikaisen puun kokonaismäärä selvitettiin aluksi Länsi-Suomessa Rannikon (Helsinki, länsiosa), Lounais-Suomen, Häme-Uusimaan (läntinen osa) ja Pirkanmaan metsäkeskusten alueilta. Tietoja kerättiin kahdella eri menetelmällä: Enson, Metsäliiton ja UPM-Kymmene Metsän tietojärjestelmistä koottiin laaja aineisto vuosina 1990 – 1995 vastaanotetuista puutavaralajimääristä. Aineistoa täydennettiin syksyllä 1995 tehdyllä, 2 - 3 kuukautta kestäneellä työmaakohtaisella seurannalla. Siinä saatiin tietoa myös hakkuussa metsään jätettyjen lahopölkkyjen määrästä. Kuntakohtaiset keskimääräiset lahoprocentit saatiin yhdistämällä puunhankintayritysten tietojärjestelmistä kootut tiedot ja seurantajakson tulokset. Itä-Suomen osalta työmaakohtaiseen seurantaan ei ollut mahdollisuuksia ja lahopuun määräaineisto pohjautui kokonaisuudessaan puunhankintayritysten vastaanotetun puun määrätalastoihin. Alue käsitti Rannikon (Helsinki, itäinen

osa), Etelä-Savon, Häme-Uusimaan (itäinen osa) ja Kymen metsäkeskusten alueet. Aineiston suurin osa oli vuosilta 1996 - 1997.

Lahoa sisältävän puun osuus vaihtelee alueellisesti, kasvupaikoittain ja metsikön käsittelyhistorian perusteella. Tutkimuksessa ei pyritty selvittämään leimikoittaiseen lahoppuosuuteen vaikuttavia tekijöitä. Seuranta-aineiston keräyksessä kysyttiin kuitenkin kentällä toimivilta metsätoimihenkilöiltä havain-toja lahon esiintymisestä Länsi-Suomessa. Tiedusteluun tuli 106 vastausta, joista osa oli useamman henkilön havainnoista koottuja "tiimivastauksia".

### 3.1.2 Lahon laatu

Lahoa sisältävän puun laatuluokittelun kehittäminen edellyttää tietoa lahoppuun laatusisällöstä. Yhdistämällä tällainen tieto ja sellunkeittokokeiden tulokset voidaan tarvittaessa kehittää käytännössä toimivat lahoa sisältävän puun hankinta- ja käyttöohjeet.

Laatusisältö selvitettiin mittaamalla 22 lahoppuupinoa etelä- ja länsisuomalaisella hakkuutyömaalla. Tienvarteen ajetuista pinoista mitattiin 200 - 250 pölkyn läpimitat. Lisäksi mitattiin värivikaa sisältävän osan sekä kovan ja pehmeän laho-osan läpimitat laho-osuuksien tilavuuksien laskemista varten. Pölkkyt luokiteltiin pahimman vian mukaan seuraavasti:

- terve, ei väri- tai lahovikaa (tarkastelupäässä)
- värivika-rinkula (violetinvärinen)
- värivika-umpiympyrä (violetinvärinen)
- kovaa (tummaa) lahoa (juurikäpä)
- pehmeää lahoa (juurikäpä)
- alkavaa mesisienilahoa
- mesisienilahoa, muodostunut jo onkalo
- muuta lahoa (aiheuttaja tuntematon)
- vauriosta lähtenyttä lahoa
- lylyä
- juurikäävän ja mesisienen yhdessä aiheuttamaa lahoa
- pystyynkuivanutta puuta

Suurimmalla osalla leimikoista oli mitattavissa myös erillinen pino teollisuudelle kelpaamatonta hylkypuuta.

Esimerkkejä eri  
laholuokkien  
lajitelluista  
pölkkyfinoista  
Valok. Metsäteho Oy

Laho 1

Laho 2

Laho 3



Esimerkkejä eri  
laholuokkien  
pölkkyistä

Laho 1

Laho 2

Laho 3

### **3.1.3 Lahon puun tiheys**

Laholuokkien tuore- ja kuivatiheydet määritettiin Mittaportti Oy:n punnitsemien laholuokittaisten puumäärien ja Lännen Laboratoriot Oy:n määrittämien hakkeiden kosteuksien kautta.

## **3.2 Tulokset**

### **3.2.1 Lahon määrä**

#### **3.2.1.1 Lahon määrä leimikoittain**

Hakatun kuusipuun määrästä lasketut lahopuuprosentit vaihtelivat mitatuilla 22 leimikolla 3,3:sta 29,8:aan prosenttiin. Leimikoittaiset lahopuumäärät jakautuivat seuranta-aineiston perusteella siten, että teollisuudelle jalostettavaksi kelpasi lahopuun kokonaismäärästä 82 % loppujen 18 %:n jäädessä energia- tai vastaavaan käyttöön.

Metsätoimihenkilöille kohdistetun tiedustelun tuloksista ilmeni, että tyvilahoa on Länsi-Suomessa paljon varsinkin puhtaissa, vanhoissa kuusikoissa. Sekametsissä sitä on enemmän kuusi-mänty- kuin kuusi-koivu- tai kuusi-koivu-mäntysekametsissä (yli 70 % vastauksista). Havaintoa selittänee ainakin osittain se, että juurikäävän leviämismahdollisuuksia lisäävä kesäaikainen puunkorjuu on todennäköisesti ollut maaston kantavuudesta johtuen kuusi-mäntysekametsissä yleisempää kuin kosteammilla kasvupaikoilla kasvavissa sekametsissä. Ajoittainen kuivuus voi myös altistaa kuusia tyvilaholle kuusi-mäntysekametsissä kuivahkoilla kasvupaikoilla.

Turvemailla ja istutusmetsiköissä tyvilahoa on metsätoimihenkilöiden vastausten (yli 80 %) perusteella vähemmän kuin havaintoalueella keskimäärin. Tyvilahoa näyttää toistaiseksi esiintyvän Länsi-Suomessa vähän myös entisillä pelloilla, vaikka niillä juurikäävän leviämiskasvu on todettu suureksi esim. Ruotsissa.

Metsikön sisällä tyvilahovikaiset kuuset löytyvät varmimmin rinteiltä (80 % vastauksista), erityisesti pohjoisrinteiltä. Tiiviillä hiesu-savimailla tyvilahopesäkkeet ovat havaintojen mukaan yleisempiä notkelmissa kuin rinteillä tai mäkien päällä.

Aikaisempien tutkimusten mukaan tyvilaho on yleisintä Etelä-Suomessa lähellä merenpinnan tasoa sijaitsevilla, viljavien ja soistumattomien kasvupaikojen vanhoissa kuusikoissa (Tamminen 1985).

#### **3.2.1.2 Lahon määrä kunnittain**

Kuvassa 1 on esitetty kuntakohtaiset lahopuuosuudet kuusen kokonaishakkuumäärästä. Kuntakohtaisina hakkuumäärinä käytettiin Metsäteollisuus ry:n hakkuutilastoista saatuja vuosien 1990 - 1995 keskimääräismääriä.

Title:  
PROC GMAP6  
Creator:  
  
Preview:  
This EPS picture was not saved  
with a preview included in it.  
Comment:  
This EPS picture will print to a  
PostScript printer, but not to  
other types of printers.

### **Kuva 1.** Kuntakohtaiset lahopuuprosentit Etelä-Suomessa.

Lahoa oli eniten etelärannikolla ja vähiten Savossa. Teollisuuspaikkakuntien ympäristökunnissa tyvilahoa esiintyy keskimääräistä runsaammin. Lahon runsas esiintyminen asutuskeskusten lähialueilla ilmeni myös metsätoimihenkilöiden vastauksista.

Tulokset vahvistavat aikaisemmin esitettyjä tuloksia (Tamminen 1985), joiden mukaan lahoa on eniten eteläisellä rannikkoalueella.

#### **3.2.1.3 Lahon määrä metsäkeskuksittain**

Vuotuiset hakkuumäärät ja hakkuiden rakenne vaihtelevat melkoisesti eri suhdannevaiheissa. Metsäkeskuskohtaiset lahon puun määrät laskettiin vuoden 1996 puukaupamäärästä. Kaikkiaan ko. metsäkeskusten alueella ostettiin 15,3 milj. kuutiometriä puuta mainittuna vuonna. Määrästä oli kuusta 57 ja mäntyä 33 prosenttia. Taulukon 1 tulokset on laskettu kuntakohtaisista kuusen ja lahon puun hakkuumäärästä.

TAULUKKO 1 Hakkuissa vuosittain kertyvät lahopuumäärät ja lahopuun osuudet

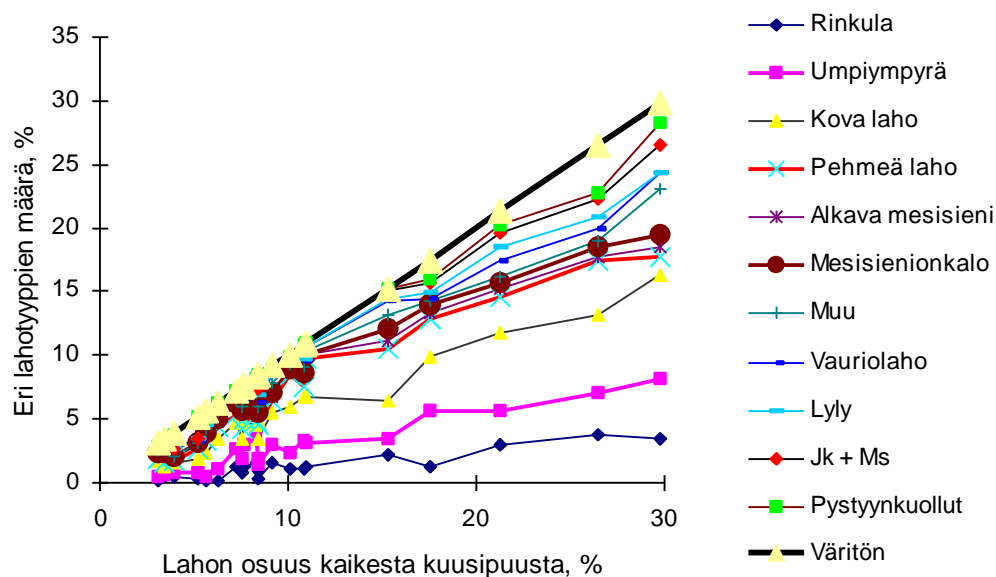
Metsäkeskus	Lahoa puuta, 1 000 m <sup>3</sup> kelpaa jalostukseen	Lahoa puuta, 1 000 m <sup>3</sup> ei kelpaa jalostukseen	Lahoa, *) % kuusesta
Rannikko, Helsinki	53,1	9,6	12,8
Lounais-Suomi	96,0	17,3	6,6
Häme-Uusimaa	141,8	25,5	6,6
Kymi	62,6	11,3	5,4
Pirkanmaa	95,3	17,2	5,3
Etelä-Savo	68,1	12,3	3,6
Yhteensä	516,9	93,1	5,8

\*) teollisuudelle kelpaavaa

Kuuden eteläisimmän metsäkeskuksen alueella kaikesta hakatusta kuusi- puusta lasketuksi puumäärillä painotetuksi lahopuuosuudeksi saatiin teolli- suudelle kelpaavalle laholle puulle 5,8 % ja kaikelle laholle puulle 6,9 %. Kokonaishakkuumäärästä lasketut vastaavat prosentit olivat 3,4 ja 4,0 ja kuitupuun kokonaismäärästä lasketut osuudet 7,3 ja 8,6 %. Hylkypuun osuus oli Länsi-Suomesta kootun seuranta-aineiston perusteella kuusi- valtaisten leimikoiden kokonaishakkuumäärästä keskimäärin 1,2 %.

### 3.2.2 Lahon laatu

Kuvassa 2 esitetään lahovikaisiksi luokiteltujen pölkkyjen määräjakauma mitatuilla työmailla. Pölkkyt luokiteltiin niissä olleen pahimman vian mukaan. Eniten oli kovaa lahoa. Jos yhdistetään kaikki värivikainen puu (rinkula, umpiympyrä) yhdeksi luokaksi, värivian osuus oli suurin melkein kaikilla työmailla. Pehmeää lahoa sisältäviä pölkkyjä oli myös melko runsaasti. Muita laho- ja vikalajeja oli selvästi mainittuja vähemmän. Eri- tyyppisten lahojen määrät lisääntyivät työmaan lahoprocentin (lahovikaisen puun osuus kaikesta kuusipuusta) kasvaessa melko suoraviivaisesti.



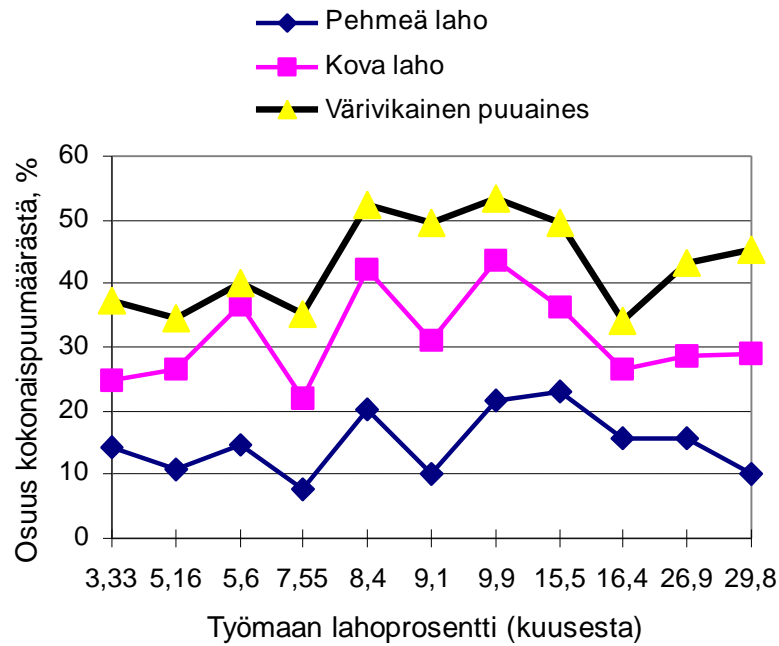
**Kuva 2.** Laholuokkien määrän riippuvuus leimikon lahopuuosuuksista (kumulatiivinen tarkastelu).

Jalostusta ajatellen selvitettiin erikseen, kuinka paljon sellukäyttöön tarkoitetuissa ja hylkypuiksi jäävissä erissä oli pahinta eli pehmeää lahoa (pehmeä laho, mesisienionkalo sekä mesisieni ja juurikäpä yhdessä). Selluun lajitelluissa lahopuupinoissa pehmeää lahoa sisältäviä pölkkyjen määrä vaihteli 2 %:sta 20 %:iin koko ko. lahopuuerän puuainemäärästä. Hylkyksi luokitelluissa erissä pehmeää lahoa sisältäviä pölkkyjä oli 11 - 49 % kokonaispuumäärästä. Sellun raaka-aineeksi kelpaavassa lahopuussa eri laholaajien osuudet eivät merkittävästi poikenneet leimikon keskimääräisestä laho-jakaumasta. Hylkypuiksi luokitelluissa lahopuuerissä oli lievää väri vikaa vähemmän, kovaa ja pehmeää lahoa sekä mesisienilahoja selvästi enemmän kuin sellupuuerissä

Kun leimikoiden metsäteollisuudelle kelpaava ja hylkypuu yhdistettiin, mitatut pölkkyt jakaantuivat laholuokkiin seuraavasti:

- väri vikaa 25 %
- kovaa lahoa 40 %
- pehmeää lahoa 20 %
- muuta lahoa 15 %.

Mittausaineistosta laskettiin myös pölkkyjen sisällä olleen terveen ja eriasteisesti lahovikaisen puun määräosuudet. Lahoja sisältävän puun osuudet olivat 35 - 55 % työmailla lahoksi ja hylkyksi määritetystä puumäärästä lopun ollessa tervettä puuainesta (kuva 3). Eniten oli kovaa lahoa (kova laho, alkava mesisieni, muu laho, vauriolaho), 20 - 30 % kokonaispuumäärästä. Pehmeää lahoa oli 10 - 20 % ja erilaisia väri vikoja 20 - 30 %. Muiden tekijöiden aiheuttamien vikojen osuudet olivat yleisemmin alle viisi prosenttia.



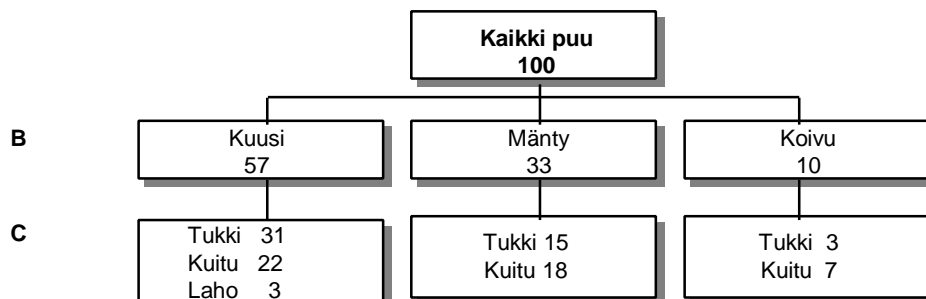
**Kuva 3.** Erilaisen lahon puun osuudet lahoksi luokitellusta puuaineesta (kumulatiivinen tarkastelu).

Terveen puun osuus oli keskimäärin kovaa lahoa sisältävissä pölkyissä 55 % pölkyn tilavuudesta, lopun 45 % ollessa kovaa lahoa. Pehmeää lahoa sisältävissä pölkyissä varsinaista pehmeää lahoa oli 30 % tilavuudesta ja tervettä puuainesta sekä kovaa lahoa kumpaakin 35 %.

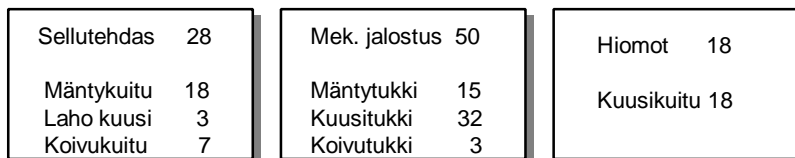
Noin puolet lahosta puuraaka-aineesta oli tervettä puuraaka-ainetta. Leimikon lahovikaisuuden määrä ei merkittävästi vaikuttanut eri laholaatujen osuuksiin. Muutokset lahon lajitteluohjeissa ja lajittelun toteutustavassa vaikuttavat laholajien jakautumiin.

### 3.2.3 Laskelma eteläsuomalaiselle sellutehtaalle ohjautuvasta lahosta puusta

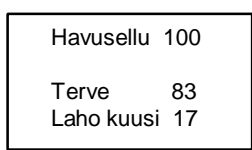
#### A PUULAJI- JA PUUTAVARALAJIJAKAUMAT



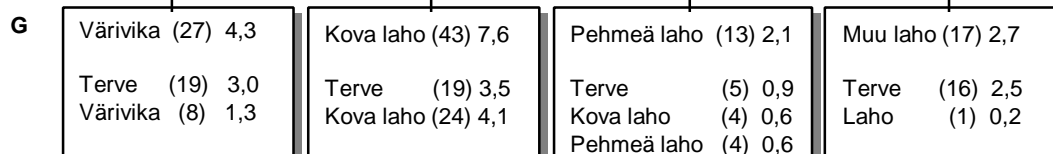
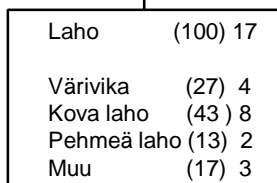
#### D KÄYTTÖKOHTEET



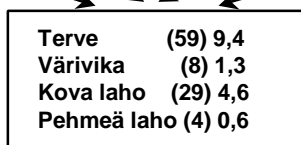
#### E SELLUN RAAKA-AINE



#### F LAHON SELLUPUUN RAKENNE



#### H KOOSTE LAHOSTA



**Kuva 4.** Lahon puun määrä ja rakenne (sellupuu).

Kuvassa 4 havainnollistetaan erilaisen puun ohjautuminen käyttökohteisiin sekä lahon puun määrä ja sisältö selluteollisuuden raaka-ainevirrassa. Puutaralajeittaiset hakkuumäärät perustuvat kyseisen alueen vuoden 1996 puunostotilastoihin. Vuotuisten hakkuiden puulaji- ja tavaralajijakaumat on kuvattu kohdissa A - C. Kohdassa D esitetään määrien jakautuminen eri käyttökohteisiin. Havusellua valmistavan tehtaan raaka-ainejakauma on kohdassa E. Kohdissa F - H on lahoa sisältävän puuaineksen rakenne.

Jos lahon puun määräosuus lasketaan sellutehtaan luontaisesta raaka-aineesta, mäntykuitupuun määrästä, saadaan selluun nykyluokituksella kelpaavan tyvilahon kuusen osuudeksi 17 %. Mikäli mukaan otetaan nykyisin metsäteollisuudelle kelpaamaton lahoppu, nousee lahokuusen osuus 20 %:iin (ei kuvassa).

Kohdissa F - H on kunkin laholajin kohdalla kaksi lukua; suluissa on osuus lahosta puusta ja ilman sulkua osuus sellutehtaalte tulevasta kokonaispuumäärästä. Kun lahoa sisältävä puu jaetaan aiheuttajittain, on siitä selvästi suurin osuus kovaa lahoa sisältäviä pölkkyjä (43 % lahosta). Seuraavaksi eniten on lahon aiheuttamaa värivikaa (27 %).

Kohdassa H on laholajit jaettu pölkkytasolla terveeseen ja lahoa sisältävään osuuteen. Tervettä puuainesta on yli puolet lahovikaisena tehtaalle toimitettavasta puusta. Kovaa lahoa on vajaa kolmannes ja prosessin kannalta haitallisinta pehmeää lahoa 4 %. Olennaisinta prosessin kannalta on, että pehmeän lahon osuus tehtaan käyttämästä kokonaispuumäärästä on nykyisen lajittelun mukaisessa puuvirrassa keskimäärin 0,6 %.

Alueellisesti lahon puun osuudet vaihtelevat melkoisesti. Suurimpia osuudet ovat rannikon läheisyydessä ja vanhojen teollisuuspaikkakuntien ympäristössä. Teollisuudelle kelpaavan tyvilahon kuusen osuus oli koko tutkimusalueella 5,8 %. Sellutehtaan luontaisessa puunhankinnassa tämä tietää 17 %:n osuutta tehtaiden raaka-ainevirrasta

### **3.2.4 Lahon puun tiheys**

Tuoretilavuudet osoittivat lahoa sisältävän puun olleen vertailupuuta kuivempaa (taulukko 2). Tämä johtuu luultavasti siitä, että lajiteltua lahoppuuta varastoidaan ennen toimitusta tehtaalle monesti kauemmin kuin muuta puuta. Kuivatiheydet olivat pahimmassa laholuokassa jonkun verran alhaisemmat kuin muissa laholuokissa, ollen kuitenkin korkeampia kuin kuitupuukokoisella vertailuerällä. Suurin tiheys oli tukkikokoisella vertailupuulla. Tosin tämä erä oli hakattu eriosasta Suomea kuin muut erät, mikä saattoi vaikuttaa sen kuivatiheyteen.



TAULUKKO 2 Eri laholuokkien tuore- ja kuivatilavuuspainot  
(Halonen 1997)

	Tuoretiheys, kg / m <sup>3</sup>	Kuiva- ainepitoisuus, %	Kuivatiheys, kg / m <sup>3</sup>
Terve kuusi, tukki	800	55	440
Terve kuusi, kuitupuu	860	47	404
Laho 1	760	57	429
Laho 2	760	56	429
Laho 3	714	59	418

## 4 TYVILAHOVIKAINEN PUU SELLUN RAAKA-AINEENA

### 4.1 Koejärjestelyt

#### 4.1.1 Raaka-aineet

Metsä-Rauman sellunkeittokokeessa oli kolme eriasteista lahoa sisältävää keittoerää. Vertailuerinä käytettiin kuusta, jonka puumäärästä puolet oli kuitupuukokoisia eli selvästi lahovikaisia pölkkyjä nuorempia ja pienempiä loppujen ollessa tukkikokoisia.

Pölkkyt lajiteltiin seuraavasti:

- Vertailuerä: tervettä kuusipuuta (puolet tukkia, puolet kuitupuuta)
- Laho 1: värivikaa; rinkulaa tai umpiympyrää rajattomasti
- Laho 2: pehmeää lahoa korkeintaan 1/3 läpimitasta, kovaa lahoa rajattomasti
- Laho 3: pehmeää lahoa (juurikäpää) korkeintaan 1/2 läpimitasta, kovaa lahoa ja onkaloita (mesisieni) rajattomasti

Lajittelu tehtiin Metsä-Rauman tehtaalle tulevasta puuvirrasta marraskuussa kaivukonealustaisella kuormaajalla. Syksyinen varastointi oli tummentanut pölkkyjen päitä melkoisesti, mikä hidasti lajittelua sekä huononsi sen tulosta. Sateinen sää ja lyhyt valoisa aika päivällä vaikeuttivat myös laholuokkien erottamista.

Lajitelluista pölkkyistä mitattiin sekä lahovikaisten pölkkyjen tilavuusosuudet lahotyypeittäin että lahoa ja tervettä sisältävän puun osuudet. Juurikäpää ja mesisieni vaurioittavat puuta ytimeistä alkaen, joten lahovikaisen rungon ulkovaipassa oli lähes aina myös tervettä puuta. Tämä selittää terveen puun suuren osuuden, vaikka lähes kaikki pölkkyt voitiin luokitella lahovikaisiksi. Pölkkyjen mittaustulokset esitetään taulukossa 3.

Lahon puun lajittelua Metsä-Rauman tehtaalla.

Laho 3:n pölkkyjä kuorinnan jälkeen.

Esimerkkejä eri  
laholuokkien  
pölyistä  
tehdystä  
hakkeesta

Laho 1

Laho 2

Laho 3

TAULUKKO 3 Luokkien laho-osuudet ja lahon jakautuminen tyypeittäin

	Laho 1	Laho 2	Laho 3
Tervettä puuta, %	72	69	57
Lahopuuta, %	28	31	43
Lahotyytit			
väritöntä tai värivikaa, %	39	27	16
kovaa lahoa, %	43	50	33
pehmeää lahoa, %	6	10	37
lylyä, tunnistamatonta lahoa, %	12	13	14

Pölkkyt kuorittiin ja hakettiin Metsä-Rauman puunkäsittelyssä lahoerittäin. Kuorinta toteutettiin lajipuhtaina erinä eli lahoa puuta oli kerrallaan rummussa selvästi tavanomaista enemmän. Puun lahoisuus ei aiheuttanut ongelmia kuorinnassa eikä haketuksessa. Hake oli hyvää, eikä lahopuun puuhukka kuorinnassa poikennut terveen puun puuhäviöstä.

Keittoihin otetut näytteet kerättiin hakkurin ja seulonnan väliseltä hihnakuuljettimelta koko hihna näytekohdalta tyhjentäen. Yksittäisiä näytteitä kerättiin kustakin lahoerästä 20 kpl, joista koottiin keittokokeisiin käytetyt erät. Hakeerät seulottiin, palakokojakauma määritettiin sekä 7 ja 13 mm reikäseulojen päälle jääneet jakeet otettiin talteen keittokokeita varten. Suuret ja pienet hakejakeet poistettiin keitoista satunnaisvaihteluiden suodattamiseksi. Hakekulontatulokset esitetään taulukossa 4.

TAULUKKO 4 Koehakkeiden palakokojakauma

	Ø 45	// 8	Ø 13	Ø 7	Ø 3	Puru
Vertailuerä	1,3	5,4	72,1	16,5	3,9	0,8
Laho 1	0,9	4,6	78,0	13,9	1,5	1,1
Laho 2	0,9	4,1	74,1	16,0	3,9	1,0
Laho 3	1,2	6,8	79,0	11,2	1,0	0,8

Lahojen pölkkyjen lahovika ei ole aiheuttanut hakkeen palakokojakaumaan mitään muutosta.

#### 4.1.2 Keittokokeet

Keittokokeita varten kustakin hake-erästä punnittiin 1 000 gramman annoksia (kuivapaino) hakekoriin annosteltavaksi. Keitot tehtiin ns. korikeittoina eli yksi annos kutakin lahoerää annosteltiin viirakoriin ja neljä kappaletta näitä suljettiin suurempaan teräskoriin, joka ripustettiin tehdaskeittimen sisään normaalin tuotantokeiton ajaksi. Tällä tavoin saatiin tarkkaan määritellystä hake-erästä tehdaskeittimessä, teollisessa sellukeitossa valmistettu massanäyte. Tällaisia koreja ripustettiin yhteen keittoon kolme kappaletta, eli jokaista lahoerää keitettiin kerralla kolme näytettä. Korit olivat keittimessä eri korkeuksilla, yksi suunnilleen keskellä keitintä, toinen noin neljänneksen keittimen korkeudesta huipusta alaspäin ja kolmas neljänneksen korkeudesta pohjasta ylöspäin.

Koekeittoja tehtiin kolme kappaletta, eli yksittäisiä massanäytteitä oli 36 kpl, 9 kpl kustakin lahoerästä. Kustakin näytteestä analysoitiin kokonaissaanto eli massan kuivapainon suhde käytetyn hakkeen kuivapainoon sekä kappaluku. Tämän jälkeen näytteet seostettiin lahoerittäin ja seokset lajiteltiin 0,25 mm tasolajittimella. Lajittimen päälle jääneestä osasta massaa laskettiin rejektipitoisuus puuta kohti (rejektin kuivapainon suhde käytetyn hakkeen kuivapainoon). Lajitelluista massoista määritettiin kappaluku, viskositeetti, ISO-vaaleus ja kuidunpituus Kajaani FS-200 -mittarilla. Lisäksi ne jauhettiin laboratoriossa PFI-jauhimella, valmistettiin käsiarkeiksi ja testattiin lujuusominaisuuksiltaan. Lajittelemattomien massojen kappaluvuista ja kokonaissaannoista laskettiin keskiarvot.

#### 4.1.3 Valkaisukokeet

Lajitellut massat valkaistiin vakioituilla valkaisuolosuhteilla valkaistavuuserojen selvittämiseksi. Käytetty valkaisu-sekvenssi oli kaksivaiheisella happidelignifioinnilla alkava otsoni-peroksidivalkaisu, O-O-ZQ-OP-ZQ-OP. Valkaisuvaiheiden välillä massa pestiin, paitsi otsoni- (Z) ja kelatointivaiheiden (Q) välillä. OP on hapella paineistettu peroksidivalkaisu-vaihe. Happi- ja paineelliset peroksidivaiheet tehtiin teflonoidussa, teräsrakenteisessa ja sähkölämmitteisessä reaktorissa. Otsonivaiheet suoritettiin paineettomassa pleksirakenteisessa reaktorissa. Molemmissa reaktoreissa oli jatkuva sekoitus. Kelatointivaiheet tehtiin muovipusseissa vesihauteella. Valkaisuvaiheiden jälkeen analysoitiin kappaluku, viskositeetti ja ISO-vaaleus. Valkaistut massat jauhettiin laboratoriossa PFI-jauhimella, valmistettiin käsi-arkeiksi ja testattiin lujuusominaisuuksiltaan.

## 4.2 Tulokset

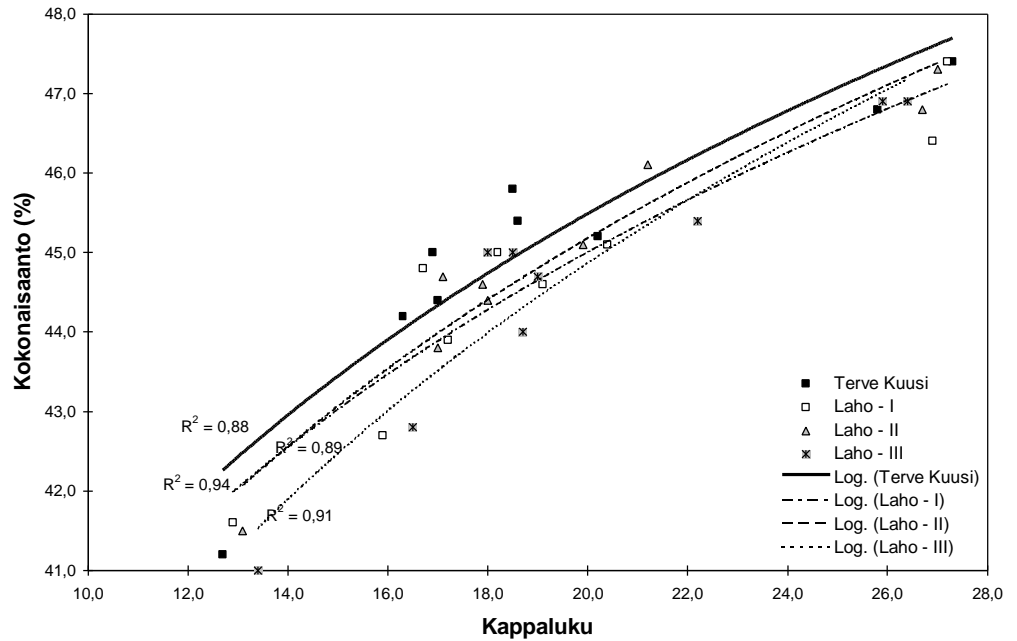
### 4.2.1 Lahovian vaikutus sulfaattikeitossa

Korikeittojen yksittäisten massanäytteiden kappa- ja saantotulokset esitetään liitteessä 1. Yksittäisten näytteiden tuloksista voidaan lähinnä arvioida keittimen sisäistä keittymisen tasaisuutta keittoastian korkeussuunnassa. Lahoerien välisiä eroja on tarkasteltava yksittäisten näytteiden keskiarvoista ja seosmassojen analyysituloksista. Nämä esitetään taulukossa 5.

TAULUKKO 5 Korikeittomassojen keskiarvotulokset ja seosmassojen analyysitulokset

Puulaatu	Keskiarvot		Massaseokset				
	Kappa	Kokonaissaanto	Rejekti, %	Kappa	Viskositeetti, ml/g	ISO-vaaleus, %	Kuidunpituus, mm
Vertailuerä	19,3	45,0	0,09	18,7	981	29,4	2,31
Laho 1	19,4	44,6	0,13	19,0	934	28,3	2,46
Laho 2	19,8	44,9	0,12	19,5	951	28,2	2,40
Laho 3	19,8	44,6	0,16	19,6	940	27,9	2,37

Lahoa sisältävien puiden keitto näytti tuottavan keskimäärin terveän puun keittoa korkeamman kappaluvun. Keitto oli siis lahovikaisella puulla tervettä puuta hitaampaa samoilla keitto-olosuhteilla. Erot olivat pieniä, mutta näkyivät systemaattisesti sekä keskiarvotuloksissa että seosmassojen analyyseissa. Saanto lahovikaista puuta keitettäessä vaikutti hieman pienemmältä terveeseen puuhun verrattuna. Tämä ilmenee taulukosta 4 ja myös kuvasta 5, jossa yksittäisten korimassojen saanto esitetään lahoerittäin kappaluvun funktiona. Pistejoukkojen hajonta vaikeuttaa eron havaitsemista, mutta sovitettujen käyrien selitysaste on tasolla 90 %.



**Kuva 5.** Yksittäisten korikkeitten kokonaissaantotulokset kappaluvun suhteen.

Raaka-aineesta johtuvaa saannon vaihtelua aiheuttaa ainakin kasvunopeus, johon kasvupaikka vaikuttaa merkittävästi. Puun ikä tai runkotiheys eivät sitä vastoin ole saannon kannalta kovin merkittäviä tekijöitä (Yngvesson 1993). Tämän tutkimuksen raaka-aineiden historiasta ei ole kovin tarkkaa tietoa. Pääosa pölkyistä oli peräisin Satakunnasta, osa vertailuerän pölkyistä Hämeestä. Kasvupaikkojen suhteen voidaan kuitenkin olettaa, että erien sisällä eri kasvupaikoilta olevat pölkyt olivat melko tasaisesti sekoittuneet, eikä kasvupaikasta johtuvaa saannon vaihtelua esiintynyt.

Edellisen perusteella pahimmin lahosta kärsinyt erä on keitossa tervettä puuta huonompi raaka-aine. Kappalukuero korostaa saantoeroa, sillä tasalaatuista puuta keittäessä korkeampi kappaluku johtaa myös korkeampaan saantoon. Lahovikaisten puiden tapauksessa suuntaus oli lievästi päinvastainen terveeseen puuhun verrattuna. Tässä suhteessa vertailuerän osin nuorempi puuaines ei selitä tuloksia, sillä keittymisnopeudessa ei ole havaittu eri ikäisten kuusten välillä eroja. Jos eri-ikäisten kuusten välillä on eroa saannossa, sen on havaittu olevan pikemminkin nuoremman puun tappioksi (Luhtanen 1995).

Muut seosmassojen analyysitulokset tukivat päätelmää lahon haitallisesta vaikutuksesta keitossa. Keitossa kuituuntumatonta puuta, rejektiä, muodostui hieman enemmän, viskositeetti oli hieman matalampi, samoin keiton jälkeinen vaaleus. Viskositeetilla kuvataan kuidun muodostavien hiilihydraattipolymeerien keskimääräistä polymerisaatioastetta ja vaaleudella voidaan arvioida massan vastetta valkaisulle. Vaikka ei tunneta tarkkaan mekanismia, jolla valkolahottaja vaikuttaa puun hiilihydraatteihin, sen voidaan olettaa

aiheuttavan muutoksia hiilihydraattipolymeereissa, ehkä jopa selluloosapolymerien kiteisillä alueilla, joiden seurauksena hiilihydraatit ovat tervettä puuta alttiimpia alkaliselle päätepilkkoutumiselle keiton aikana. Tämä selittäisi matalamman viskositeetin. Heikompi vaaleus voi johtua yksinkertaisesti lahon kehittämistä värillisistä yhdisteistä, mutta myös valkolahottajan takia muuntuneesta ligniinirakenteesta.

Kuidunpituuksissa vertailuerän muita pienempi tulos ei vaikuttanut loogiselta. Syy oli erilainen raaka-ainepohja; vertailuerän pölkystä noin puolet oli nuorta puuta, jossa kuidunpituus keskimäärin on vanhoja puuta pienempi (Kärenlampi ym. 1993). Referenssipuiden pienempi läpimitta vaikuttaa koetuloksiin myös tiheys- ja ligniinipitoisuuseron kautta. Lahovikaisten erien kesken lahovian lisääntyminen vaikutti laskevan kuidunpituutta. Ero oli suurimmillaan kymmenesosamillin luokkaa. Valkaistujen sellujen kuidunpituustulokset (liitteenä olevissa jauhatuseräraporteissa) muuttuivat samalla tavoin valkaisu- ja saantimassojen tulosten kanssa. Kuidunpituus on merkittävä sellun lujuusominaisuuksiin vaikuttava suure, sen laskeminen alentaa saavutettavissa olevaa lujuustasoa.

#### 4.2.2 Lahovian vaikutus happikemikaalivalkaisussa

Valkaisutulokset ja -olosuhteet esitetään koottuna liitteissä 2 ja 3. Kaikki valkaisukokeet tehtiin samoilla kemikaaliannoksilla ja reaktio-olosuhteilla. Mahdolliset erot valkaistujen massojen analyysituloksissa kuvaavat siis lahovikaisten puiden erilaista vastetta valkaisuun. Happidelignifioinnin tulokset ja valkaisun lopputulokset esitetään koottuna taulukossa 6.

TAULUKKO 6 Korikeittomassojen seosten happidelignifioinnin ja valkaisun tuloksia

	Vertailuerä	Laho 1	Laho 2	Laho 3
Happidelignifiointi				
Kappa	7,5	7,6	7,6	7,6
Viskositeetti, ml/g	845	802	788	770
ISO-vaaleus, %	42,6	41,7	42,4	42,2
Saanto, %	97,6	97,1	97,2	97,2
Loppuvalkaisu				
Kappa	0,4	0,7	0,7	0,6
Viskositeetti, ml/g	566	528	518	536
ISO-vaaleus, %	90,4	90,5	90,1	89,1
Saanto, %	91,7	92,0	92,0	91,7



Happidelignifointi toimi eri massoille samalla tavoin. Kappaluvuissa ja vaaleuksissa ei ollut käytännössä eroa näytteiden välillä. Viskositeetissa lahovikaisten massojen keiton jälkeinen matalampi taso näkyi myös happidelignifoinnin jälkeen. Happidelignifoinnin saanto oli kaikilla lahovikaisilla massoilla tervettä puuta matalampi.

Loppuvalkaisussa massanäytteiden välille muodostui joitakin eroja. Kappaluku oli lahovikaisilla massoilla systemaattisesti terveen puun massaa korkeampi, eli otsoni tai peroksidi tai molemmat eivät delignifioineet lahovikaisia massoja aivan yhtä tehokkaasti kuin terveen puun massaa. Tämä trendi näkyi myös valkaisun välituloksissa, joka vahvistaa lopputuloksesta tehdyn päätelmän.

Viskositeetissa keiton ja happidelignifoinnin jälkeinen lahovikaisten massojen alempi taso näkyi edelleen loppuvalkaisun jälkeen, joskaan ei aivan yhtä voimakkaana. Loppuvalkaisun saannoissa ei ollut eroja näytteiden välillä.

Koska valkaisun olosuhteet oli vakioitu, kertoi loppuvaaleus suoraan massojen valkaistavuudesta, eli vasteesta tiettyyn kemikaalin annostukseen. Vertailuerä ja Laho 1 olivat vaaleudessa identtiset. Laho 2 oli hieman, mutta ei merkittävästi matalampi, mutta Laho 3 oli selkeästi muita alemmalla tasolla. Ero loppuvaaleudessa oli hieman yli yksi vaaleusyksikkö. Eniten lahosta kärsinyt erä vaatii samaan loppuvaaleuteen pääsemiseksi siis suuremman valkaisukemikaaliannostuksen kuin muut lahoerät.

### 4.2.3 Lahovian vaikutus sellun lujuusominaisuuksiin

#### 4.2.3.1 Valkaisemattomat massat

Näytteiden jauhatuseräraportit esitetään liitteessä 4. Muutamia avainsuureita on kerätty taulukkoon 7.

TAULUKKO 7 Valkaisemattomien massojen lujuustestaustuloksia

	Vertailuerä	Laho 1	Laho 2	Laho 3
Repäisyindeksi vetolujuudessa 70 Nm/g	23,8	22,5	23,1	22,5
Repäisyindeksi vetolujuudessa 90 Nm/g	17,2	18,1	18,4	16,4
PFI-kierrokset vetolujuuteen 70 Nm/g	400	1 019	498	612

Repäisyindekseillä vakiovetolujuudessa kuvataan yleisesti massan lujuuspotentiaalia paperinvalmistuksessa. Yleisesti tarkastellaan tasoa 70, toisinaan myös tasoa 90. Terveen vertailuerän repäisyindeksi oli kaikkia lahopuueriä parempi vakiovetolujuustasolla 70 Nm/g. Tasolla 90 Nm/g lahoerät 1 ja 2 olivat tervettä puuta korkeammalla tasolla. Puolet vertailuerän pölkyistä oli lahoeriä nuorempaa, mikä vaikeuttaa vertailun tekemistä. Puiden järeysero

vaikutti todennäköisesti vertailuerän jauhautuvuuteen varsinkin intensiivisemmällä jauhatuksella (enemmän PFI-kierroksia), sillä nuoren puun kuidut ovat keskimäärin lyhyempiä ja niillä on matalampi pituusmassa kuin vanhemman puun kuiduilla

PFI-kierroksilla vakiovetolujuuteen kuvataan massan jauhautuvuutta, eli kuinka nopeasti se jauhettaessa kehittää tietyn vetolujuustason. Valkaisemattomien massojen välillä ei tässä suhteessa löytynyt kovin merkittäviä eroja. Vertailuerän muita nopeampi jauhautuneisuus, myös suotautuvuusmielessä (SR), johtunee nuoren puun suuresta osuudesta erässä.

#### 4.2.3.2 Valkaistut massat

Varsinainen lujuuspotentiaalinen arviointi oli tässä tapauksessa järkevää tehdä valkaistujen massojen tuloksista, koska ne edustavat lähinnä sitä tuotetta, joka sellutehtaalta lähtee paperinvalmistukseen. Valkaistujen massojen testituloksia on koottu taulukkoon 8 ja liitteeseen 5.

TAULUKKO 8 Valkaistujen massojen lujuustestaustuloksia

	Vertailuerä	Laho 1	Laho 2	Laho 3
Repäisyindeksi vetolujuudessa 70 Nm/g	17,2	15,7	16,4	16,1
PFI-kierrokset vetolujuuteen 70 Nm/g	2 370	2 483	2 003	2 854

Valkaistuilla massoilla erot repäisyindekseissä tulivat esiin selkeämmin kuin valkaisemattomia massoilla. Terveen puun massa oli keskimäärin yhden repäisy-yksikön korkeammalla kuin kaikki lahovikaiset massat. Tämä oli jo selkeä ero. Jauhautuvuudessa ei tässäkään tapauksessa ollut merkittäviä eroja.

Pientä epävarmuutta jauhatustulosten päätelmiin aiheutti vertailuerässä osana käytetty nuorempi puu. Vertailuerä osoitti pienempää kuidunpituutta sekä valkaistuilla että valkaisemattomilla massoilla. Toisaalta nuorempi kuitu on ohutseinäisempää ja sillä on matalampi pituusmassa, jonka ansiosta se on mukautuvampaa kuituverkostossa kuin vanhempi kuitu. Kuituverkoston lujuuden muodostuminen on siis useiden tekijöiden summa, jota kuidun lahovika kuitenkin selkeästi näyttää heikentävän.

## 5 TARKASTELUA

### 5.1 Lahon puun määrä

Tyvilahovikaisen puun määrä on varsin huomattava rannikkojen ja vanhojen teollisuuspaikkakuntien ympäristöissä. Ennustusten mukaan tyvilahon määrä tulee lisääntymään lähivuosisikymmenien aikana. Lahovika muuttaa puutavaran käyttötarkoitusta. Järeää kuusta siirtyy sahateollisuudesta ja pienikoista kuusta mekaanisesta kuidutuksesta sellun raaka-aineeksi. Tällöin sellutehtaat tulevat saamaan järeää kuusta raaka-aineeseen mikä vastaavasti vähentää sahateollisuuden kuusitukkimäärää.

Eteläsuomalaisen sellutehtaan raaka-ainevirrassa lahoa sisältävä puuraaka-aine näyttelee merkittävää osaa, vajaata viidennestä. Lahopölkkyistä suurin osa on kuitenkin tervettä, pitkäkuituista pintapuuta. Ongelmallisinta osaa, pehmeää lahoa, on 1/25 lahopuun kokonaismäärästä.

### 5.2 Lahon puun laatu

Tyvilahoa sisältäviä pinoja tarkasteltaessa niiden rakenteesta saa helposti huonon käsityksen. Muutama pinossa oleva runsaasti lahoa sisältävä pölkky huonontaa koko pinon kokonaiskuvaa. Tällaisia ovat erityisesti isot mesisien aiheuttamat onkalopölkkyt, joissa onkalo ei kuitenkaan yleensä jatku metriä syvemmälle. Pölkkyistä on myös vaikea hahmottaa terveiden vaippakerroksen tilavuutta verrattuna lahoa sisältävään ydinosaan. Voidaan siis yleistää, että lahoppuupinot näyttävät huonolaatuisemmalta, kuin mitä ne ovat raaka-ainesisällöltään.

### 5.3 Tyvilahovikainen puu sellun raaka-aineena

Tutkimuksessa kaikki, huonoimpaankin laholuokkaan luokitellut, pölkkyt voitiin prosessoida tehdasmittaisessa kuorinta- ja haketusprosessissa. Tämä johtunee siitä, että tyvilahoisissa pölkkyissä on aina ulkovaippa tervettä, pitkäkuituista puuta, jota laatuvaatimusten mukaan on oltava vähintään minimiläpimitan verran. Terve ulkovaippa pitää puun koossa kuorinnassa. Lahopuusta tehdyn hakkeen palakokojakauma ja kuorinnan puuhukka ei poikennut terveiden puun palakokojakaumasta ja puuhukasta.

Sulfaattikeitossa eniten pehmeää lahoa sisältänyt kuusipuu keittyi hitaammin kuin terve puu ja antoi heikomman saannon, viskositeetin ja vaaleuden sekä enemmän rejektiä. Happidelignifioinnissa lahovikaiset massat käyttäytyivät kuten terveiden puun massa. Otsoni-peroksidivalkaisussa runsaasti pehmeää lahoa sisältäneestä puusta tehty massa ei samoilla valkaisuolosuhteilla saavuttanut samaa vaaleustasoa kuin terveestä tai vähemmän lahoa sisältäneestä puusta tehty massa. Lahovika hidasti myös delignifointia valkaisuussa, kuten keitossakin havaittiin. Keiton jälkeen havaitut erot viskositeetissa näkyivät myös valkaisuun jälkeen.

Tutkimuksessa käytetystä vertailuerästä oli puolet pienempikokoista puuta kuin lahoppuerät, mikä vaikeuttaa terveen ja lahovikaisen raaka-aineiden vertailua. Toisaalta on muistettava, että perinteinen sellun raaka-aine on pienikokoinen mäntykuitupuu.

Saannon osalta vertailuraaka-aineen poikkeavuudella ei todennäköisesti ole suurta merkitystä, sillä Yngvessonin (1993) mukaan puun ikä ja runkotiheys eivät ole saannon vaihtelun kannalta kovin merkittäviä tekijöitä. Eniten osittain nuoremmista puista peräisin ollut vertailuerä on todennäköisesti vaikuttanut lujuusominaisuuksiin ja kuidunpituustuloksiin, sillä nuorilla puilla kuidunpituus on keskimäärin vanhoja puuta pienempi (Luhtanen 1995).

Merkittävä kuusipuun lahovika aiheutti laatumenetyksiä ja kemikaalikulutuksen lisääntymistä sekä keitossa että valkaisussa. Havaitut erot olivat melko pieniä, mutta selkeitä ja systemaattisia. On kuitenkin huomattava, että käytetyissä raaka-aineissa lahoviasta kärsinyttä puuta oli melko suuria osuuksia; kaikki pölkkyt olivat viallisia, vaikka sisälsivätkin myös tervettä puuta. Pienemmissä osuuksissa lahovika ei todennäköisesti näy käytännön tilanteessa niin selvästi laadussa tai prosessoitavuudessa. Toisaalta lahovika pienentää puun tilavuuspainoa ja lisää näin puun kulutusta sellun valmistuksessa.

Tässä tutkimuksessa lahoviasta kärsinyttä puuta prosessoitiin normaaleissa käyttöolosuhteissa, joten tulokset ovat sovellettavissa sellaisenaan arvioitaessa lahon puun jalostusarvoa. Lahovikaiselle puulle on aiheellista määrittää tervettä puuta matalampi arvo puunhankinnassa ja huolehtia siitä, että sitä toimitetaan prosessoitavaksi ainakin jollain tavoin hallitussa suhteessa terveeseen puuhun nähden. Huippulujuuksia vaativiin sellulaatuihin laho- vikaista raaka-ainetta ei pidä annostella.

## KIRJALLISUUTTA

- Halonen, M.** 1997. Lahon kuusipuun soveltuvuus sulfaattiselluloosa-prosessin ja metsäteollisuuden raaka-aineeksi. Pro Gradu-tutkimus, Jyväskylän yliopisto, Kemian laitos, Soveltavan kemian osasto, Luonnos, Moniste 30.4.1997
- Kärenlampi, P., Retulainen, E., Kolehmainen, H.** 1993. Nordic softwood alternatives for kraft pulps, XI International Paper Making Conference, Lodz, Poland 26. - 30.9.1993, SPP Progress 1993, Vol.2, s. 77 - 93.
- Luhtanen, M.** 1995. Havuraaka-aineen morfologian ja hakepaksuuden merkitys SuperBatch-eräkeitossa, diplomityö, Teknillinen korkeakoulu, Puunjalostustekniikan laitos, Selluloosatekniikan laboratorio, Espoo 1995, s. 102.
- Tamminen, P.** 1985. Butt-rot in Norway spruce in Southern Finland. Abstract: Kuusen tyvilahoisuus Etelä-Suomessa. Comm. Inst. For. Fenn 127, 52 pp.
- Yngvesson, M.** 1993. Kraft pulp from Norway spruce (*Picea abies*) thinned at 30 years age, Tappi Pulping conference, Atlanta USA 1. - 3.10.1993, TAPPI Press, 1993, Book 1, s. 87 - 94.