

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Teknillinen tiedekunta

Energia- ja ympäristötekniikan osasto

BH10A0200 Energiatekniikan kandidaatintyö ja seminaari

**IMATRAN TEHTAIDEN ENERGIA- JA KUITUTASE**

**BALANCE OF ENERGY AND FIBER IN IMATRA MILLS**

Lappeenrannassa 5.10.2008

0278886 Saara Takoja EnTe 5

## SISÄLLYSLUETTELO

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO.....	3
1 JOHDANTO .....	4
2 IMATRAN TEHTAAT .....	4
3 KATTILATASEET.....	8
3.1 Kuorikattila .....	8
3.2 Soodakattilat.....	12
3.2.1 Soodakattila 5.....	15
3.2.2 Soodakattila 6.....	15
4 SELLUN KEITTO .....	16
4.1 Kuitulinja 2 .....	16
4.2 Kuitulinja 3 .....	18
5 TULLEEN PUUN SUHDE SIITÄ SAATUUN MUSTALIPEÄÄN JA KUOREEN	20
5.1 Tuotetun mustalipeän suhde vastaanotettuun puuhun.....	20
5.2 Tuotetun kuoren ja puujätteen suhde vastaanotettuun puuhun .....	23
6 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET.....	25
LÄHTEET .....	29

**SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO**

$H_U$	kemiallinen energia	[J/kg]
$h$	entalpia	[J/kg]
$m$	massa	[kg]
$Q$	energia	[J]

## Kreikkalaiset

$\eta$	hyötysuhde
--------	------------

## Alaindeksit

evt	ennen välitulistinta
hyöty	hyödyksi saatava
i	ilma
jvt	välitulistimen jälkeen
muu	muu
pa	polttoaine
sula	sulat keittokemikaalit
sv	syöttövesi
th	tuorehöyry
tuotu	sisääntuleva
UP	ulospuhallus
vt	välitulistus

## 1 JOHDANTO

Imatra on perinteinen metsäteollisuuskaupunki. Sellun valmistus aloitettiin Imatralla jo vuonna 1935. Nykyään Imatralla on Stora Enso Oyj:n omistama tehdaskokonaisuus, jonka prosessin päätuotteita ovat paperi ja kartonki. Suuri osa Imatralla käsiteltävästä puusta tuodaan Venäjältä. Puun hankkimiskustannukset nousevat jatkuvasti etenkin Venäjältä tuotavan puun osalta. Venäjä on jo tähän mennessä tuplannut puun tullimaksut ja tulevaisuudessa ne tullevat vielä kasvamaan runsaasti.

Imatran tehtailla on tutkittu pintapuolisesti käytetyn puun määrän ja tuotetun energian suhdetta. On herännyt epäily, että tehtaan toiminnan analysoinnissa käytettävät taseet eivät ole paikkaansa pitäviä. Tässä työssä tulen tutkimaan Imatran tehtaan prosessia ja etsimään syytä liian huonolle energian- ja selluntuotantosuhteelle. Varsinaisen analyysin kohteena ovat tehtaan tärkeimmät taseet, kuten kattilan energiatase ja koko tehtaan massatase.

Imatran tehtaat ovat suuri tuotantointegraatti ja taselaskennassa huomioitavia seikkoja on useita. Taseet perustuvat aina mittauksiin. Paremmissakin mittasuureissa on virhemarginaali noin 5 %. Näin suuret virhemarginaalit huomioon ottaen ei tasetarkastelu ole aivan luotettavaa, mutta yritän tässä työssä päästä mahdollisimman hyvään lopputulokseen.

## 2 IMATRAN TEHTAAT

Stora Enso Oyj:n Imatran tehtaat sijaitsee Kaakkois-Suomessa, Imatran kaupungissa. Imatran tehdaskokonaisuus käsittää kaksi tehdasyksikköä, Kaukopään ja Tainionkosken. Sellun valmistus alkoi Kaukopäässä vuonna 1935, Tainionkoskelle perustettiin oma tehdas vuonna 1961. Imatran tehtaiden liikevaihto oli vuonna 2007 937 miljoonaa euroa. Suurin osa tehtaan tuotannosta on kartonkia (vuonna 2007 900 000 t), toinen päätuote on paperi (vuonna 2007 325 000 t). Tuotannosta suuri osuus eli noin 92 % viedään ulkomaille. Viennin tärkeimmän markkina-alueen muodostaa Eurooppa.

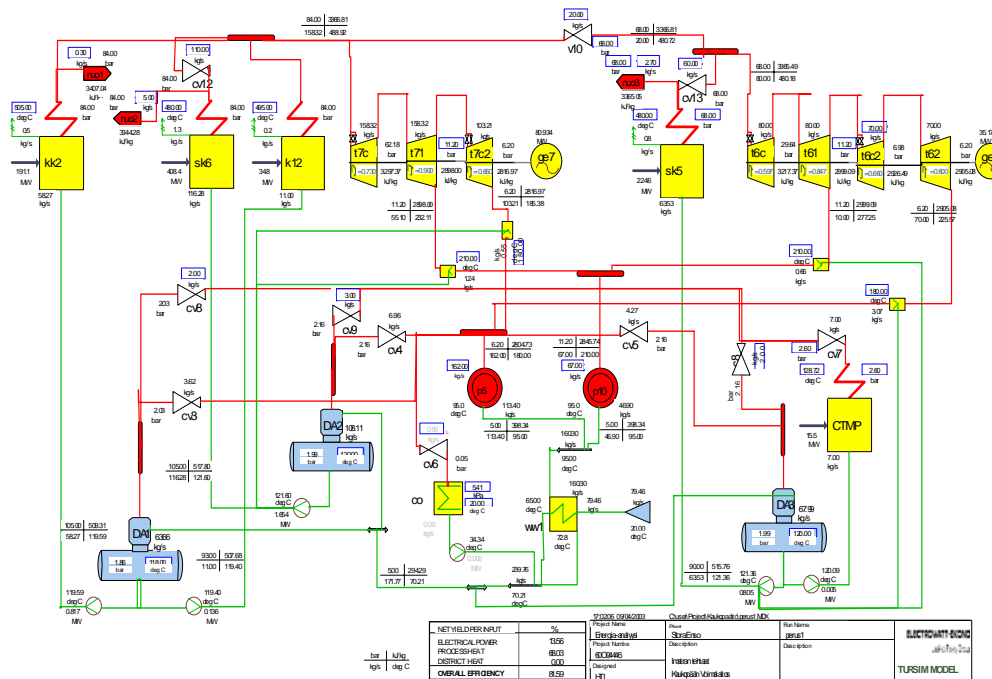
Merkittävä osuus viennistä suuntautuu myös Kaukoitään ja Kaakkois-Aasiaan. (Stora Enso Oyj. 7.3.2008.)

Imatran tehtaille tuodaan vuosittain puuta noin viisi miljoonaa kuutiota, josta havupuun osuus on noin yksi kolmannes ja lehtipuun osuus on noin kaksi kolmannesta. Ensin puusta erotetaan kuori, joka kuljetetaan voimalaitosalueelle odottamaan polttoa kuorikattilassa. Kuoreton puu jatkaa matkaansa hakettimelle, jossa puu rikotaan hakkeeksi mahdollisimman vähin kuituvaurioin. Hake kuljetetaan hakekasoille odottamaan jatkokäyttöä. Imatran tehtaille tulee myös ostohaketta. Jonain vuosina haketta on myös myyty pois tehtaalta. Tainionkosken tehtaalla on oma kuorimo, haketin ja sellutehdas, mutta ei omia voimakattiloita. Tainionkosken kuori kuljetetaan Kaukopäähän poltettavaksi. Tainionkosken sellunkeitosta saatava lipeä ajetaan Kaukopään linjastoon. Kaukopään kaustisointilaitokselta ajetaan keittolipeää Tainionkosken sellutehtaan tarpeisiin. Vastaavasti Kaukopään tuottamaa höyryä käytetään myös Tainionkoskella. (Stora Enso Oyj. 7.3.2008.)

Kuitulinja 2:lla keitetään valkaistua mäntysellua. Kuitulinja 3 valmistaa valkaistua koivusellua. Tainionkoskella käytetään ainoastaan havupuita, 90 % mäntyä, loput kuusta. Kuitulinjoista käytän jatkossa lyhenteitä KL2 ja KL3. Hakekasalta hake kuljetetaan seulomon kautta keittoon kuitulinjoille. Sulfaattikeitossa valmistetaan sellua I. selluloosakuitua keittämällä haketta keittolipeässä. Sellun valmistuksesta jäljelle jää laihaa mustalipeää. Tämän lipeän kuiva-ainepitoisuus on aivan liian pieni, jotta se soveltuisi polttoon. Lipeän kuiva-ainepitoisuus nostetaan riittävälle tasolle haihduttamoissa. Tämän jälkeen lipeä on soveltuvaa poltettavaksi soodakattilassa. Kuitulinjoilla sellu myös valkaistaan. Sellusta valmistetaan paperia ja kartonkia. Kaukopäässä on kolme kartonkikonetta ja kaksi paperikonetta. Tainionkoskella on yksi kartonki- ja yksi paperikone. (Raiko (toim.) et al.1995, 447–448 .)

Kuvassa 1 on esitetty prosessimalli Imatran tehtaiden energiantuotantojärjestelmästä. Kuori poltetaan kuorikattilassa 2, josta käytän jatkossa lyhennettä KK2. Kuorikattila toimii höyryverkoston säätävänä kattilana. KK2:lla voidaan tuottaa höyryä 79,4 kg/s, joka on 85 barin paineessa ja lämpötilaltaan 530°C. Kuorikattilassa poltetaan myös jätevedenpuhdistamolta saatavaa lietettä sekä tarvittaessa maakaasua ja raskasta

polttoöljyä. Kuorikattila on varustettu kyseisille polttoaineille sopivilla leijukerrospolttolaitteilla. Höyrykattila on ylhäältä kannatettu luonnonkiertokattila. Leijukerros on kuplivaa petityyppiä, jossa hiekkakerros pysyy matalana eikä hiekka lähde kiertoon. Tämä petityyppi soveltuu hyvin huonolämpöarvoisten ja kosteiden polttoaineiden polttoon. (Raiko (toim.) et al.1995, 417.) (Stora Enso Oyj. 7.3.2008.)



Kuva 1. Prosessimalli Imatran tehtaiden energiantuotannosta (Kuisma et al. 2004).

Kuorikattilaan otetaan polttoaine kuorikentältä. Kuorikentälle ajetaan myös pieniä määriä risupaalia, puujätettä, erilaisia rejektejä, purua ja lietettä. Lisäksi kuorta myydään vuodesta riippuen laskennassa huomattaviakin määriä. (Stora Enso Oyj. 7.3.2008.)

Kuitulinjoilla 2 ja 3 tuotettavaa mustalipeää poltetaan soodakattiloissa 5 ja 6. Soodakattilasta 5 käytän jatkossa lyhennettä SK5 ja soodakattilasta 6 SK6. Soodakattilaan 5 voidaan ajaa maksimissaan 1700 tonnia kuiva-ainetta vuorokaudessa. Tästä määrästä mustalipeää saadaan mitoitustilassa tuotettua 67 kg/s höyryä, jonka tila on 7,0 MPa ja 480°C. SK6 pystyy käsittelemään vuorokaudessa 3300 tonnia kuiva-ainetta, jonka avulla saadaan mitoituspisteessä tuotettua 140 kg/s höyryä arvoltaan 8,4 MPa ja 480°C. (Stora Enso Oyj. 7.3.2008.)

Soodakattilat ovat höyrykattiloita, jotka on suunniteltu ja varusteltu mustalipeän erikoisominaisuudet huomioon ottaen. Soodakattilat tuottavat höyryä sellun valmistusprosessiin, mutta niillä on myös merkittävä tehtävä kemikaalientalteenottojärjestelmän muuntoreaktorina. Lipeän poltossa otetaan talteen orgaanisen aineen sisältämä energia, samalla saadaan otettua talteen ja muutettua kemikaalit. Näitä kemikaaleja voidaan taas hyödyntää selluloosan valmistuksessa sen jälkeen, kun niiden kemiallista koostumusta on muutettu kaustisointilaitoksessa. Kaustistamalla natriumkarbonaattiin lisätään poltettua kalkkia ja saadaan aikaan natriumhydroksidia. Tätä kemikaalien kiertoa kutsutaan kemikaalien regeneroinniksi. (Raiko (toim.) et al.1995, 448.)

Voimalaitosalueella on myös neljä apukattilaa. Näiden apukattiloiden tarkoituksena on toimia höyryn tuottajana tilanteissa, joissa sooda- ja kuorikattiloiden höyryn kehitys ei riitä puunjalostusprosessin tarpeisiin. Apukattiloiden polttoaineena on maakaasu sekä raskas polttoöljy. Apukattiloista 9, 10 ja 11 saadaan tarvittaessa höyryä yhteensä 54 kg/s painetasolla 70 bar ja lämpötilassa 500°C. Apukattilalla 12 voidaan tuottaa 35 kg/s höyryä tilassa 84 bar ja 520°C. Apukattiloista käytän jatkossa lyhenteitä K9, K10, K11 ja K12. (Stora Enso Oyj. 7.3.2008.)

Kattiloissa tuotettua höyryä tarvitaan paperintuotantoprosessissa. Höyryn paine lasketaan halutulle tasolle turbiineissa, samalla saadaan otettua energiaa talteen sähkön muodossa. Kaukopäässä on kaksi turbiinia; turbiini 6, josta käytän jatkossa lyhennettä TU6 sekä turbiini 7, vastaavasti TU7. Maksimikuormalla ajettaessa saadaan turbiinista 7 sähkötehoa 91,4 MW. Turbiinilla 6 voidaan tuottaa sähköä 64 MW. TU6 ja TU7 tuottavat höyryä prosessin tarpeisiin painetasoilla 10 bar ja 5 bar. Turbiinille 7 ohjataan höyryä SK6:lta, KK2:lta ja K12:lta. TU7:n kapasiteetti ei riitä käsittelemään kaikkea tätä höyryä, jos kattiloita ajetaan riittävän suurella teholla. TU7:n painetukilta ajetaan osa höyrystä paineenalennusventtiilin kautta TU6:n painetukille ja siten turbiinille 6. Mustalipeän osuus höyryn tuotannosta on noin 80 % ja kuoren 20 %. (Stora Enso Oyj. 7.3.2008.) (Varis, haastattelu 8.3.2008.)

### 3 KATTILATASEET

#### 3.1 Kuorikattila

Tutkitaan vuosittaista höyryntuotantoa kuorikattilan osalta. Vuonna 2007 kuorikattila on tuottanut energiaa 4 155 571 GJ. Kuplivan leijukerroskattilan hyötysuhde on valmistajan mukaan noin 88 %. Kuorikattilaan syötetystä puujätevirrasta otetaan tehtaalla vuorokausittain näyte, josta määritellään kuiva-ainepitoisuus. Kuukausittain lasketaan keskiarvo kuiva-ainepitoisuudelle ja sen mukaan määritellään puujätteen kuiva-aineen tehollinen lämpöarvo. Näiden kuukausittaisten lämpöarvojen keskiarvo oli vuonna 2007 18,8 GJ/tonnia kuiva-ainetta. (Varis, sähköpostiviesti 2.4.2008.)

Höyrykattilan vuosihyötysuhde saadaan suoralla menetelmällä yhtälön 1 avulla

$$\eta = \frac{Q_{\text{hyöty}}}{Q_{\text{tuotu}}} \quad (1)$$

$\eta$  = hyötysuhde

$Q_{\text{hyöty}}$  = kattilasta vuodessa hyödyksi saatu lämpövirta [J]

$Q_{\text{tuotu}}$  = kattilaan tuotu energiavirta vuodessa [J]

Kattilasta hyödyksi saatu lämpövirta on tuorehöyryyn siirtyneen energian, välitulistuksessa siirtyneen energian ja ulospuhallukseen sitoutuneen energian summa, kuten yhtälöstä 2 huomataan

$$\begin{aligned} Q_{\text{hyöty}} &= Q_{\text{th}} + Q_{\text{vt}} + Q_{\text{UP}} \\ &= m_{\text{th}} \cdot (h_{\text{th}} - h_{\text{sv}}) + m_{\text{vt}} \cdot (h_{\text{jvt}} - h_{\text{evt}}) + m_{\text{UP}} \cdot (h_{\text{UP}} - h_{\text{sv}}) \end{aligned} \quad (2)$$

$Q_{\text{th}}$  = tuorehöyryyn lämmitykseen sitoutunut energia [J]

$Q_{\text{vt}}$  = höyryyn välitulistukseen sitoutunut energia [J]

$Q_{\text{UP}}$  = ulospuhallukseen sitoutunut lämmitysenergia [J]



$m_{th}$  = tuorehöyryn virta vuodessa [kg]

$m_{vt}$  = välitulistushöyryn virtaama vuodessa [kg]

$m_{UP}$  = ulospuhalluksen virtausmäärä vuodessa [kg]

$h_{th}$  = tuorehöyryn entalpia [J/kg]

$h_{sv}$  = syöttöveden entalpia [J/kg]

$h_{jvt}$  = höyryn entalpia välitulistimen jälkeen [J/kg]

$h_{evt}$  = höyryn entalpia ennen välitulistinta [J/kg]

$h_{UP}$  = ulospuhallusveden entalpia [J/kg]

Valitettavasti mittadatana on käytettävissä ainoastaan tuorehöyryn lämmitykseen sitoutunut energia. Kuorikattilassa ei ole välitulistusta. Oletetaan ulospuhallukseen sitoutuneen energian määrä mitättömän pieneksi.

Kattilaan vuodessa tuotu energiavirta saadaan yhtälöstä 3

$$Q_{tuotu} = m_{pa} \cdot H_u + Q_{pa} + Q_i + Q_{muu} \quad (3)$$

$m_{pa}$  = polttoaineen massa [kg]

$H_u$  = polttoaineeseen sitoutunut kemiallinen energia [J/kg]

$Q_{pa}$  = polttoaineen esilämmitykseen sitoutunut lämpöenergia [J]

$Q_i$  = palamisilman esilämmitykseen sitoutunut energia [J]

$Q_{muu}$  = polttoainemäärästä riippumattomat energiat, kuten höyryluvon lämmitys, erilaisten sähkömoottoreiden käytöt ja ruiskutusveden lämmitysenergia [J]

Valitettavasti mittadatana on käytettävissä ainoastaan polttoaineen vuosittainen käyttömäärä sekä polttoaineen lämpöarvon vuosittainen keskiarvo. Oletetaan palamisilman ja polttoaineen esilämmitykseen kuluneet energiat sekä muut polttoainemäärästä riippumattomat energiat mitättömän pieniksi hyötysuhteen laskennassa. Laskennassa ei myöskään oteta huomioon palamatta jääneen polttoaineen

osuutta. Kun otetaan huomioon mittadatan vajaavaisuus, saadaan supistettua kattilan vuosihyötysuhde yhtälön 4 mukaiseen muotoon

$$\eta = \frac{Q_{th}}{m_{pa} \cdot H_u} \quad (4)$$

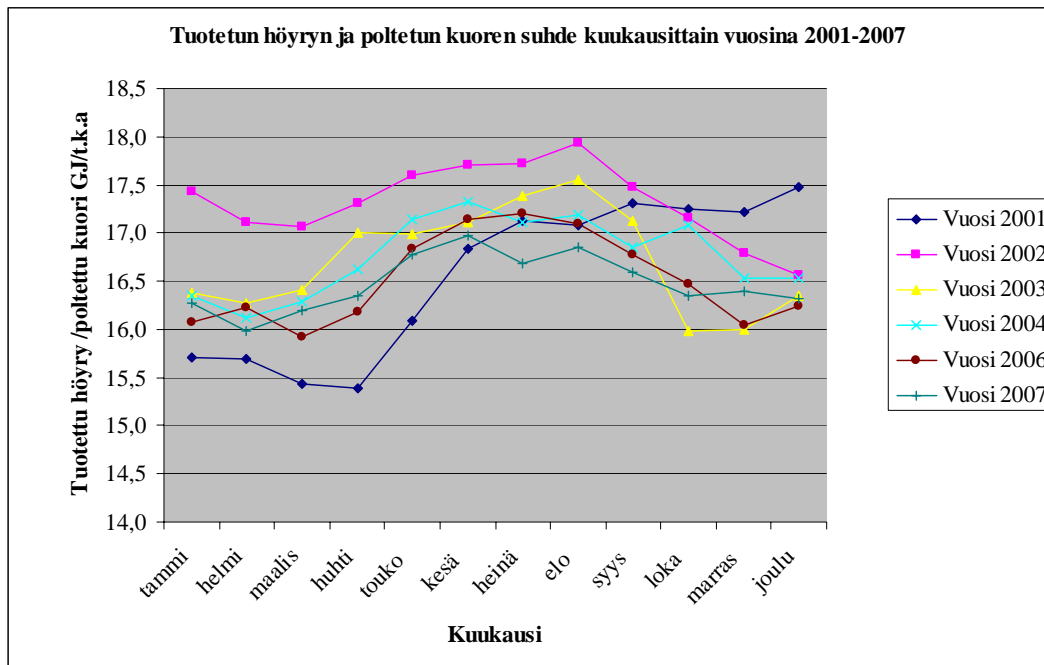
Kun oletetaan polton vuosihyötysuhteeksi 88 %, saadaan muiden tietojen avulla vuonna 2007 poltetun puujätteen määräksi 251 183 tonnia kuiva-ainetta. Tehtaan oman polttoaineenmäärämittauksen avulla on saatu polttoaineen määräksi 252 548 tonnia kuiva-ainetta.

Kuorikattilan osalta on siis raportoitu vuoden 2007 osalta lähes samansuuruinen polttoainemäärä kuin oletettujen toiminta-arvojen perusteella voitaisiin olettaa. Tällä laskelmalla voidaan osoittaa, että kuorikattilan vuositason tasevirhe on pieni.

Suhde kuorikattilassa tuotetun höyryn määrälle ja poltetun puujätteen kuiva-ainemassalle tulisi edellä esitettyjen yhtälöiden perusteella olla yhtälön 5 mukainen

$$\frac{Q_{hyöty}}{m_{pa}} = \eta \cdot H_u \quad (5)$$

Tämä suhde on hyötysuhteen 88 % ja lämpöarvon 18,8 GJ/kuiva-ainetonna puujätettä avulla laskettuna 16,5 GJ/tonnia kuiva-ainetta. Kuvassa 2 on tutkittu edellä mainitun suhteen trendiä vuosina 2001–2007.



**Kuva 2.** Tuotetun höyryn ja poltetun kuoren suhde kuukausittain vuosina 2001-2007.

Kuvaajasta huomataan, että kesäaikaan tuotetun höyryn ja polttoaineen suhde on ollut ohjearvoa suurempi. Talviaikana suhde on taas ollut ohjearvoa matalampi. Tuotettu höyrymäärä vaihtelee, koska poltetun biomassan kosteus vaihtelee vuodenaikojen mukaan. Vuosi 2005 oli paperiteollisuudessa poikkeusvuosi työsulun takia, joten sen vuoden tuotantoa ei ole järkevää tarkastella.

Taulukossa 1 on vertailtu tuotetun höyryn ja poltetun kuoren suhdetta eri vuosien kokonaislukujen avulla.

**Taulukko 1.** Tuotetun höyryn ja poltetun kuoren suhde vuosittain.

Vuosi	Tuotetun höyryn ja poltetun kuoren suhde [GJ/t k.a.]
2001	16,5
2002	17,3
2003	16,6
2004	16,7
2006	16,5
2007	16,5

Taulukosta 1 havaitaan, että kuoresta tuotetun höyryn ja kuoren vuosisuhde on vaihdellut hieman vuosien 2001-2007 aikana, mutta havaittavissa ei ole nousu- tai laskusuhdannetta. Lähes jokaisena vuonna on vuosituotantosuhde ollut oletetun suuruinen.

### 3.2 Soodakattilat

Soodakattiloiden toiminnan tutkiminen ei ole yhtä yksinkertaista kuin kuorikattilan tutkiminen. Soodakattilassa puusta peräisin olevat orgaaniset aineet palavat. Vapautuva energia kuluu sekä höyryn tuottamiseen että natriumsulfaatin muuttamiseen natriumsulfidiksi. Tähän reduktioon kulunutta energiaa ei voi suoraan mitata. Voidaan siis tutkia ainoastaan kattilasta hyödyksi saadun lämpövirran ja kattilaan tuodun energiavirran suhdetta, jota ei voida varsinaisesti kutsua hyötysuhteeksi. Lisäksi on tiedossa ainoastaan mustalipeän tehollinen lämpöarvo. (Raiko (toim.) et al.1995, 448.)

Kattilasta hyödyksi saadun energian ja kattilaan tuodun energian suhde saadaan yhtälöstä 6

$$\frac{Q_{\text{hyöty}}}{Q_{\text{tuotu}}} = \frac{Q_{\text{th}} + Q_{\text{sula}} + Q_{\text{vt}} + Q_{\text{UP}}}{m_{\text{pa}} \cdot H_{\text{u}} + Q_{\text{pa}} + Q_{\text{i}} + Q_{\text{muu}}} \quad (6)$$

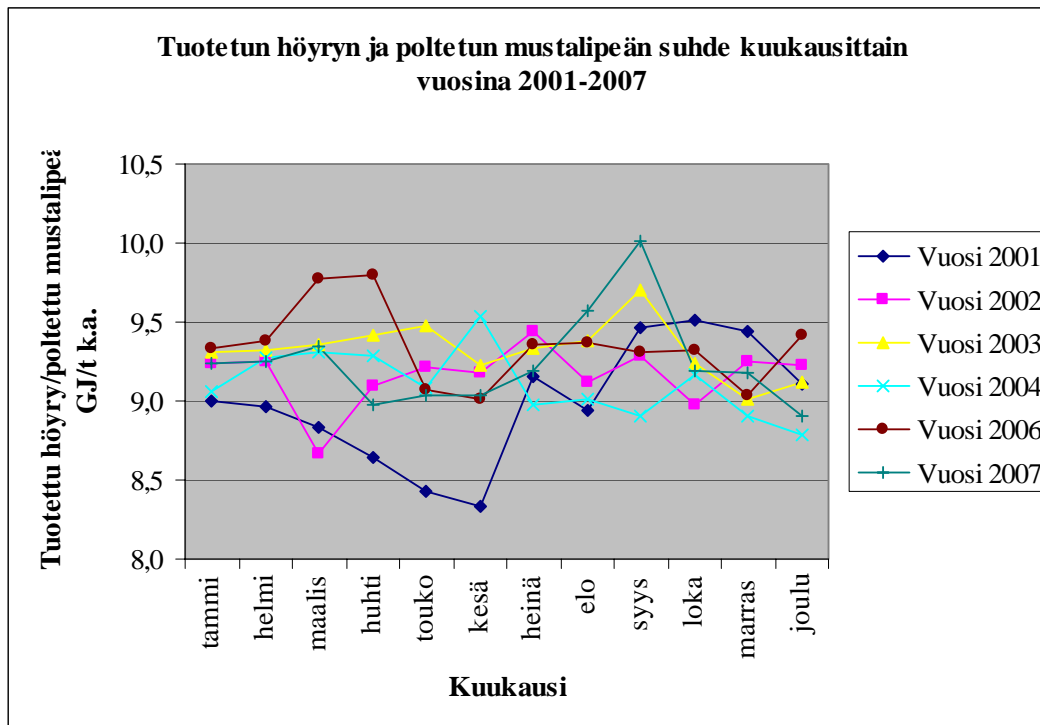
$$Q_{\text{sula}} = \text{keittokemikaaleihin sitoutunut lämpöenergia [J]}$$

Myös soodakattiloiden osalta oletetaan ulospuhallukseen sitoutunut lämpöenergia sekä polttoaineen ja palamisilman esilämmitykseen kuluva energia niin pieniksi muiden energiavirtojen rinnalla, että ne voidaan jättää laskuissa huomioimatta. Soodakattilassa osa lämmöstä sitoutuu kuumiin keittokemikaaleihin, jotka otetaan kattilasta talteen kemikaalikiertoa varten. Oletetaan siis edellä mainitut muuttujat muihin lukuihin verrattuna niin pieniksi, etteivät ne ole välttämättömiä laskennassa. Soodakattiloissa ei myöskään ole välitulistusta. Laskennassa ei myöskään huomioida palamatta jääneen polttoaineen osuutta. Yhtälö 6 saadaan siis supistettua muotoon

$$\frac{Q_{\text{hyöty}}}{Q_{\text{tuotu}}} = \frac{Q_{\text{th}}}{m_{\text{pa}} \cdot H_{\text{u}}} \quad (7)$$

Kirjallisuudesta on löydettävissä tälle suhteelle arvo 74 % silloin, kun laskelmissa käytetään tehollista lämpöarvoa. Soodakattiloiden laskennassa käytetyn mustalipeän lämpöarvo tutkitutetaan laboratoriossa kerran vuodessa otetusta näytteestä. Laboratoriossa teetetystä määrityksestä saadaan tietää nimenomaan kuiva-aineen lämpöarvo. Mustalipeän kosteus ei siis vaikuta laskentaan. Lämpöarvon mittausta voidaan siis pitää luotettavana. (Varis, sähköpostiviesti 2.4.2008.)

Soodakattiloissa tuotetun höyryn ja poltetun mustalipeän massa suhde saadaan siis vastaavasti yhtälöstä 5, joka on esitetty edellä kuorikattilan laskentaosassa. Soodakattiloille käytetään hyötysuhteen tilalla edellä mainittua arvoa 74 %. Soodakattiloille kuiva-aineen tehollinen lämpöarvo on 11,8 GJ/tonnia kuiva-ainetta. Näiden arvojen perusteella saadaan soodakattiloiden osalta tuotetun höyryn ja poltetun mustalipeän massan suhteeksi noin 8,7 GJ/tonnia kuiva-ainetta. Kuvassa 3 on esitetty tämän suhteen arvoja vuosilta 2001–2007. Laskennassa ei ole eritelty soodakattiloita, vaan tuotettu energia ja poltetu polttoaine ovat yhteenlaskettuja arvoja molemmilta kattiloilta.



**Kuva 3.** Tuotetun höyryn ja poltetun mustalipeän suhde kuukausittain vuosina 2001–2007.

Kuvasta 3 havaitaan, että vain harvoin on tuotetun höyryn ja poltetun mustalipeän suhde ollut ennustetun kaltainen. Vuodesta 2002 lähtien on suhde ollut aina enemmän kuin ennustettiin. Se, että suhde on oletettua suurempi, voidaan selittää raportoinnin virheellisyydellä. Kaavion tulokset verrattuna ennustettuun tulokseen antavat olettaa, että poltetun mustalipeän määrä olisikin todellisuudessa suurempi kuin on raportoitu. Johtopäätöksiä tehdessä on kuitenkin huomioitava, että suoritettu laskenta on hyvin paljon yksinkertaistettu mallinnus todellisesta tilanteesta, joten tulokset eivät ole kovin luotettavia. Vuoden 2005 osalta ei suhdetta ole järkevää tarkastella paperiteollisuuden poikkeustilan takia.

Taulukossa 2 on vertailtu vuosien 2001-2007 ajalta tuotetun höyryn ja poltetun mustalipeän suhteita käyttäen vuosien kokonaishöyryntuotantoa ja mustalipeän yhteismäärää.

**Taulukko 2.** Tuotetun höyryn ja poltetun mustalipeän suhde vuosittain.

<b>Vuosi</b>	<b>Tuotetun höyryn ja poltetun mustalipeän suhde [GJ/t k.a.]</b>
2001	9,0
2002	9,2
2003	9,3
2004	9,1
2006	9,3
2007	9,2

Taulukkoon 2 on koottu mustalipeän ja siitä tuotetun höyryn vuosisuhteita vuosien 2001–2007 ajalta. Vertailusta huomataan, että suhde on pysynyt lähes vakiona tutkittuina vuosina. Kaikkina tarkasteltuina vuosina suhde on ylittänyt selvästi ohjearvon 8,7 GJ/t k.a.

### **3.2.1 Soodakattila 5**

Soodakattila 5 on tuottanut raportoinnin mukaan vuonna 2007 höyryä 4 459 487 GJ. Soodakattilassa poltetun mustalipeän lämpöarvo oli vuonna 2007 keskimäärin 11,8 GJ/tonnia kuiva-ainetta. Käyttämällä laskennassa esimerkkiarvoa 74 % hyödyksi saadun energian ja tuodun energian suhteen arvoksi, saadaan vuonna 2007 soodakattilassa 5 poltetun mustalipeän määräksi 510 712 kuiva-ainetonnia.

Kun tätä verrataan tehtaan oman raportointijärjestelmän arvoon 472 519 kuiva-ainetonnia, huomataan, että soodakattilassa 5 poltetun mustalipeän määrä raportoidaan noin 7 % pienemmäksi kuin tuotetun energian perusteella voidaan olettaa. Ero laskennallisen ja mitatun polttoainemäärän välillä ei ole kovin merkittävä, etenkin kun huomioidaan laskennassa käytetty karkea yksinkertaistus. Lisäksi todellista polttoainemäärää laskevat erilaiset poikkeustilat, kuten alas- ja ylösajot.

### **3.2.2 Soodakattila 6**

Soodakattila 6 on tuottanut höyryä 9 011 776 GJ tarkasteluvuonna 2007. Käyttämällä mustalipeän lämpöarvoa 11,8 GJ/ tonnia kuiva-ainetta ja olettamalla tuotetun höyryn

sisältämän energian ja käytetyn polttoaineen sisältämän energian suhteeksi 0,74 saadaan poltetun mustalipeän määräksi 1 032 040 kuiva-ainetonna. Tehtaan oman polttoaineenmäärämittauksen avulla on saatu polttoaineen määräksi vuonna 2007 988 820 kuiva-ainetonna.

Soodakattilassa 6 poltetun mustalipeän määrä raportoitiin siis vuonna 2007 noin 4 % pienemmäksi kuin tuotetun energian määrän avulla voidaan olettaa. Soodakattilan 6 kohdalla voidaan luottaa polttoaineen määrän mittauksen oikeellisuuteen. Neljän prosentin ero todellisessa ja teoreettisessa polttoainemäärässä selittynee poikkeustilanteilla, kuten alas- ja ylösajoilla sekä laskennan yksinkertaistuksella.

Edellä mainituissa laskennoissa on siis käytetty vuoden 2007 arvoja. Vuosi 2007 oli Imatran tehtailla varsin tavallinen vuosi tuotannollisesti. Suurin yksittäinen seisokki oli turbiinilla 7, joka oli pois ajosta yhteensä kuusi viikkoa. Soodakattilan 5 huoltoseisokki kesti vuonna 2007 noin 10 vuorokautta tavanomaista pidempään eli yhteensä noin 15 vuorokautta. Tämä seisokit ovat kuitenkin aivan tavanomaisen kestoisia eivätkä ne vaikuta saatuihin tuloksiin. (Varis, sähköpostiviesti 2.4.2008.)

## **4 SELLUN KEITTO**

### **4.1 Kuitulinja 2**

Kuitulinjalla 2 tuotetaan mäntysellua. Tehtaan toimintatavoitteen mukaan vuorokaudessa ajetaan kuitulinjalla 2 keittoon haketta 3320 kiintokuutiota. Tästä määrästä haketta saadaan vuorokaudessa tuotettua 704 tonnia valkaisematonta sellua, jonka kuiva-ainepitoisuus on 90 %. Käytän jatkossa lyhennettä ADt ilmaisemaan tonneja, joissa on kuiva-ainetta 90 %. Voidaan ajatella, että toimintatavoitteen mukainen suhde tuotetun sellun määrän ja keittoon ajetun hakkeen määrän välillä olisi tuotannon kannalta kannattavinta. Tämä suhde on siis vuorokautisten arvojen perusteella 0,21 ADt/m<sup>3</sup>.



Vuonna 2007 on kuitulinjalla 2 ajettu keittoon haketta yhteensä 1 399 760 kiintokuutiota. Tästä määrästä haketta on saatu tuotettua valkaistua sellua 212 437 ADt. Valkaisussa puun kiintoaineesta häviää yleensä noin 4 %, joten edellä mainittu määrä valkaistua sellua on valmistettu 221 289 tonnista ruskeaa sellua, jonka kiintoainepitoisuus on 90 %. Vuoden 2007 kokonaistuotannon arvoilla saadaan keitosta saatavan sellun määrän ja keittoon ajetun hakkeen määrän suhteeksi 0,16 ADt/m<sup>3</sup>.

Taulukkoon 3 on kerätty vuosien 2002-2007 sellun tuotannon ja keittoon ajetun hakkeen määrien suhteet kuitulinjan 2 osalta. Vuoden 2001 osalta ei ole tarkasteltavissa kyseisiä lukuja.

**Taulukko 3.** Valmistetun ruskean sellun ja keittoon ajetun hakkeen suhde vuosittain kuitulinjan 2 osalta.

<b>Vuosi</b>	<b>Valmistetun ruskean sellun ja keittoon ajetun hakkeen suhde [ADt/m<sup>3</sup>]</b>
2002	0,16
2003	0,17
2004	0,17
2006	0,19
2007	0,16

Kuitulinjan 2 tarkastelusta huomataan, että toteutunut suhde keittoon ajetun hakkeen ja keitosta tuotetun sellun välille ei ole optimoidun kaltainen. Ero saattaa johtua joko siitä, ettei keittimen toiminta olekaan oletetun kaltainen tai siitä, että jommankumman muuttujan mittaustapa on virheellinen. Jos vuoden jokainen päivä olisi ollut tehtaan toimintatavoitteen mukainen, olisi vuonna 2007 pitänyt keittoon ajetun hakkeen määrän olla 1 211 800 kiintokuutiota, ja tästä tuotetun valkaisemattoman sellun määrä 256 960 ADt. Kumpikaan raportoitu arvo ei ole yhteneväinen tuotantotavoitteen mukaisen arvon kanssa. Sellua on tuotettu huomattavasti vähemmän kuin voidaan olettaa ja haketta on käytetty runsaasti enemmän kuin voidaan olettaa. Vuoden 2006 raportoiduista arvoista saadaan keitosta tuotetun ruskean sellun ja keittoon ajetun hakkeen suhteeksi 0,19 ADt/m<sup>3</sup>. Virhe ei voi olla valkaisuhäviöissä, koska ero huomattaisiin vedenpuhdistamon kuormassa. Taulukon 3 arvoista huomataan, että valmistetun sellun ja keittoon ajetun

hakkeen määrien välinen suhde on pysynyt lähes samana. Vuonna 2006 suhde oli hieman muita vuosia parempi.

Vuonna 2007 Imatran tehtaille on tuotu mäntypuuta yhteensä 1 292 375 kuutiota. Voidaan olettaa, että mäntypuun häviö kuoreen on 12 %. Näin olleen tästä määrästä puuta tulisi saada keittoon kelpaavaa haketta 1 136 410 kuutiota. Keittoon ajettu hakemäärä saadaan lisäämällä tähän määrään ostetun mäntyhakkeen määrä vuodelta 2007. Summaksi saadaan 1 440 382 kuutiota. Tehtaan oman raportoinnin mukaan haketta on ajettu keittoon kuitulinjalla 2 vuonna 2007 yhteensä 1 399 760 kuutiota. Ero teoreettisen ja mitatun hakkeen määrien välillä on 3 %. Tehtaan oma raportointijärjestelmä antaa vain hieman pienemmän arvon kuin teoria. (Vakkilainen, sähköpostiviesti 15.4.2008.)

## **4.2 Kuitulinja 3**

Kuitulinjalla 3 tuotetaan koivusellua. Tehtaan toimintatavoitteen mukaan vuorokaudessa kuitulinjan 3 keittimen pitäisi käyttää haketta 6155 kiintokuutiota. Tästä määrästä haketta pitäisi saada valkaisematonta sellua keskimäärin 1821 ADt. Toimintatavoitteen mukainen suhde keitetyn hakkeen ja keitosta saadun sellun välille olisi 0,30 ADt/m<sup>3</sup>.

Vuonna 2007 on kuitulinjalla 3 ajettu keittoon haketta yhteensä 2 661 124 kiintokuutiota. Tästä määrästä haketta on keitetty valkaistua sellua yhteensä 584 570 tonnia, joka on kuiva-ainepitoisuudeltaan 90 %. Tämä määrä valkaistua sellua on saatu 608 927 tonnista valkaisematonta sellua, jonka kuiva-ainepitoisuus on myös 90 %. Vuoden 2007 osalta keitosta tuotetun sellun ja keittoon ajetun hakkeenmäärän suhde on siis noin 0,23 ADt/m<sup>3</sup>.

Taulukossa 4 vertaillaan kuitulinjan 3 osalta tuotetun sellun määrää sellun keittoon ajetun hakkeen määrään vuosien 2002-2007 osalta.

**Taulukko 4.** Tuotetun ruskean sellun ja keittoon ajetun hakkeen suhde vuosittain kuitulinjan 3 osalta.

<b>Vuosi</b>	<b>Tuotetun ruskean sellun ja keittoon ajetun hakkeen suhde [ADt/m<sup>3</sup>]</b>
2002	0,23
2003	0,22
2004	0,22
2006	0,23
2007	0,23

Myös kuitulinjan 3 osalta optimaalisen keittoon ajetun hakkeen ja keitosta saadun sellun määrän suhteen ja raportoidun suhteen välillä on huomattava ero. Mikäli kuitulinjalla 3 olisi vuoden 2007 jokainen päivä ollut toimintatavoitteen kaltainen, olisi vuonna 2007 pitänyt ajaa keittoon yhteensä 2 246 575 kiintokuutiota haketta. Tästä määrästä haketta olisi pitänyt saada tuotettua valkaisuamatonta sellua 664 665 ADt. Kumpikaan raportoitu vuosituotantoarvo ei ole läheskään samansuuruinen optimaaliseen tilaan verrattuna. Sellua raportoidaan tuotetuksi vuonna 2007 8 % vähemmän, kuin tuotanto tavoitteen mukaan olisi pitänyt saada tuotettua. Keittoon ajetun hakkeen määrä taas on raportoitu vuonna 2007 18 % optimia suuremmaksi. Sellun keitossa puuta ei siis saada hyödynnettyä niin hyvin kuin on oletettu. Ero optimiarvojen ja toteutuneiden arvojen välillä on suuri ja sille en ole löytänyt yksiselitteistä selitystä. Kuitulinjan 3 osalta valmistetun sellun ja keittoon ajetun hakkeen suhde on pysynyt samana tarkastelujen vuosien 2002-2007 aikana.

Kuitulinjalla 3 käsiteltävää koivuhaketta saadaan ainoastaan ostokoivusta. Imatran tehtaille ei osteta koivuhaketta. Vuonna 2007 on Imatran tehtaille tuotu koivua yhteensä 2 813 351 kuutiota. Koivun osalta häviö kuoreen on noin 14 %. Näin olleen vastaanotetusta puumäärästä olisi pitänyt tulla koivuhaketta 2 419 482 kuutiota. Tehtaan raportoinnin mukaan vuonna 2007 on ajettu kuitulinjalla 3 keittoon haketta yhteensä 2 661 124 kuutiota. Koivuhakkeen osalta tehtaan oma raportointijärjestelmä antaa 10 % suuremman arvon kuin teoria. (Vakkilainen, sähköpostiviesti 15.4.2008.)

Vertailtaessa taulukoiden 3 ja 4 tuloksia havaitaan, että eri kuitulinjojen valmistetun sellun ja keittoon ajetun hakkeen määrät eivät ole sidoksissa toisiinsa. Kuitulinjojen kaksi ja kolme arvot vaihtelevat toisistaan riippumatta.

## **5 TULLEEN PUUN SUHDE SIITÄ SAATUUN MUSTALIPEÄÄN JA KUOREEN**

Imatran tehtaitten oman tuotantotavoitteen mukaan vuorokaudessa tulisi koko tehtaalla ottaa vastaan puuta ja ostohaketta yhteensä 13216 kuutiota. Tästä määrästä puuta tulisi saada mustalipeää 4004 kuiva-ainetonnia ja puujätettä 464 kuiva-ainetonnia. Kuitulinjan 2 tulisi vastaanottaa vuorokaudessa puuta yhteensä 3111 kuutiota ja ostohaketta 674 kuutiota; kuitulinja 3 osaltaan vastaanottaa puuta 7209 kuutiota vuorokaudessa, tehtaalle ei osteta koivuhaketta. Tainionkosken puunkäsittelylinjaston tulisi toimintatavoitteen mukaan vastaanottaa puuta 1826 kuutiota ja 396 kuutiota haketta vuorokaudessa.

Tuotantotavoitteen mukaan koko tehtaalla pitäisi tuottaa mustalipeää vuorokaudessa 4004 kuiva-ainetonnia. Vastaanotetusta puusta tulisi saada kuorta ja puujätettä polttoon 464 kuiva-ainetonnia vuorokaudessa. Tuotetusta mustalipeästä tulisi kuitulinjan 2 osuus olla 1105 t k.a., kuitulinjan 3 osuus 2410 t k.a. ja Tainionkosken osuus 489 t k.a. Kuitulinjalta 2 tulisi saada polttoon puujätettä 253 kuiva-ainetonnia, kuitulinjalta 3 63 t k.a. ja Tainionkoskelta 148 t k.a.

Voidaan olettaa, että tulleen puun suhde siitä tuotettuun mustalipeään ja kuoreen tulisi olla samansuuruinen toteutuneessa toiminnassa millä tahansa aikavälillä tarkasteltuna kuin tuotantotavoitteen mukaisessa päivätuotannossa. (Vakkilainen, haastattelu 3.4.2008.)

### **5.1 Tuotetun mustalipeän suhde vastaanotettuun puuhun**

Tuotantotavoitteen mukaan tulisi koko Imatran tehtaalla vastaanottaa vuorokaudessa puuta ja haketta yhteensä 13 216 kuutiota. Tästä määrästä puuta ja haketta tulisi saada

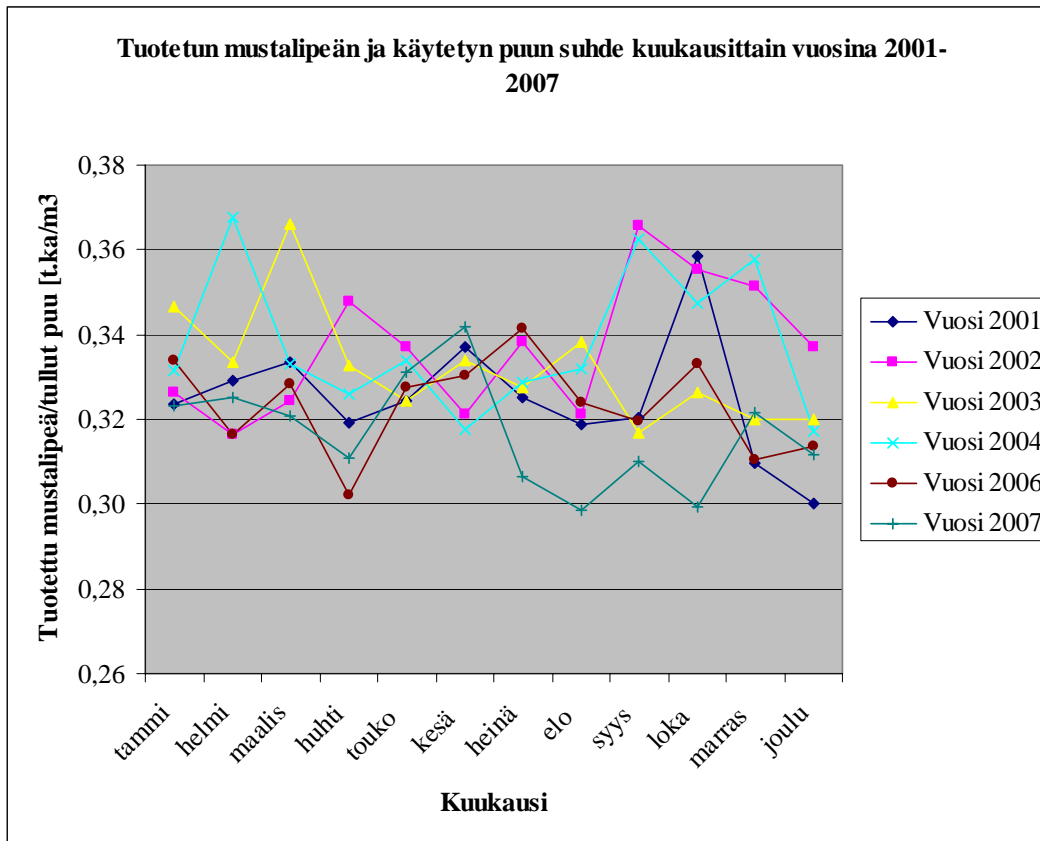
mustalipeää 4004 kuiva-ainetonna. Tuotantotavoitteen mukainen suhde tuotetulle mustalipeälle ja vastaanotetulle puulle on siis noin 0,30 t k.a./m<sup>3</sup>.

Vuonna 2007 on Imatran tehtaille tuotu puuta ja ostohaketta yhteensä 4 608 133 kuutiota. Tästä määrästä puuta on tuotettu mustalipeää yhteensä 1 461 340 kuiva-ainetonna. Vuoden 2007 raportoinnin perusteella on tuotetun mustalipeän ja vastaanotetun puun määrien suhde ollut 0,32 t k.a./m<sup>3</sup>. Vuonna 2006 on tämä suhde ollut myös 0,32 t k.a./m<sup>3</sup>.

Taulukkoon 5 on kerätty vuosien 2001-2007 tuotetun mustalipeän ja vastaanotetun puun määrien suhteet.

**Taulukko 5.** Poltetun mustalipeän ja vastaanotetun puun suhde vuosittain.

<b>Vuosi</b>	<b>Poltetun mustalipeän ja vastaanotetun puun suhde [t k.a./m<sup>3</sup>]</b>
2001	0,32
2002	0,34
2003	0,33
2004	0,34
2006	0,32
2007	0,32



**Kuva 4.** Tuotetun mustalipeän ja käytetyn puun suhde kuukausittain vuosina 2001-2007.

Kuvassa 4 on tutkittu tuotetun mustalipeän ja vastaanotetun puun suhdetta kuukausittain vuosina 2001–2007. Kuvasta huomataan, että lähes aina on suhde ollut enemmän kuin sen pitäisi olla toimintatavoitteen mukaan. Vastaanotetusta puusta saadaan siis enemmän mustalipeää kuin oletettiin. Tuotetun mustalipeän ja vastaanotetun puun suhteen suuruus voidaan selittää joko sillä, että keitosta saataisiin mustalipeää oletettua enemmän tai sillä, että tulleen puun määrä raportoidaan liian pieneksi. Toisaalta on myös otettava huomioon jo aiemmin tehty huomio, jonka mukaan poltetun mustalipeän määrä on todellisuudessa hiukan suurempi kuin raportoidaan. Jos tulleen puun määrä olisikin todellisuudessa suurempi kuin on raportoitu, olisi myös tuotetun mustalipeän ja tulleen puun suhde lähempänä tuotantotavoitteen antamaa suhdetta.

Puun käytön suhteen optimaalisinta olisi, että puusta saatavan sellun määrä olisi mahdollisimman suuri ja näin mustalipeän määrä olisi mahdollisimman pieni.

Selluloosakuitu on taloudellisesti arvokkaampaa kuin mustalipeä. (Vakkilainen, haastattelu 3.4.2008.)

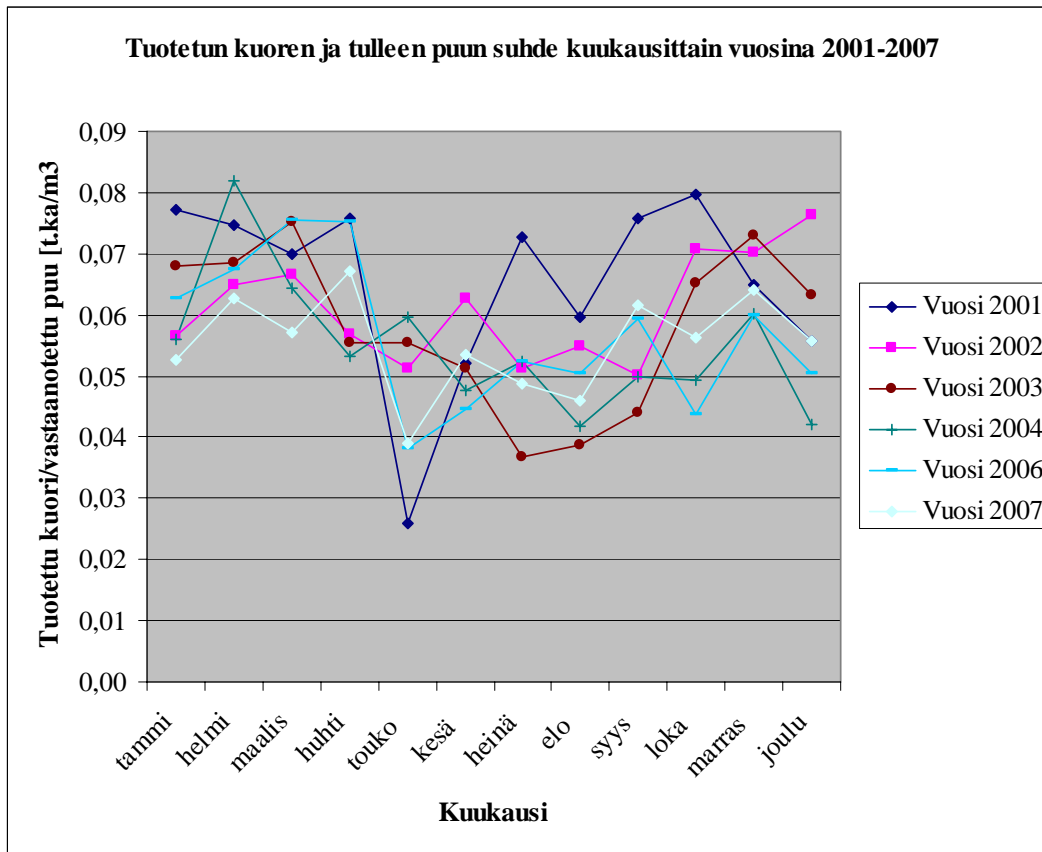
## 5.2 Tuotetun kuoren ja puujätteen suhde vastaanotettuun puuhun

Imatran tehtaiden toimintatavoitteen mukaan tulisi Imatran tehtaiden hakettamojen vastaanottaa puuta ja ostohaketta vuorokaudessa 13 216 kuutiota. Tästä määrästä puuta tulisi saada kuorta ja puujätettä polttoon vuorokaudessa 464 kuiva-ainetonnia. Toimintatavoitteen mukainen suhde tuotetun kuoren ja vastaanotetun puun määrille olisi noin 0,035 t k.a./m<sup>3</sup>.

Vuonna 2007 Imatran tehtaille on tuotu puuta ja ostohaketta yhteensä 4 608 133 kuutiota. Tästä määrästä puuta on tuotettu kuorikattilan polttoon kuorta ja puujätettä yhteensä 252 547 kuiva-ainetonnia. Vuoden 2007 raportoiduista arvoista saadaan laskettua tuotetun kuoren ja vastaanotetun puun määrien suhteeksi 0,055 t k.a./m<sup>3</sup>. Taulukossa 6 on esitetty vuosien 2001-2007 ajalta poltetun kuoren ja vastaanotetun puun suhde.

**Taulukko 6.** Poltetun kuoren ja vastaanotetun puun suhde vuosittain.

<b>Vuosi</b>	<b>Poltetun kuoren ja vastaanotetun puun suhde [t k.a./m<sup>3</sup>]</b>
2001	0,065
2002	0,061
2003	0,057
2004	0,055
2006	0,056
2007	0,055



**Kuva 5.** Tuotetun kuoren ja tulleen puun suhde kuukausittain vuosina 2001-2007.

Kuvassa 5 on esitetty kuukausittaisia arvoja poltetun kuoren ja vastaanotetun puun suhteelle vuosina 2001–2007 lukuun ottamatta poikkeusvuotta 2005. Kuvasta huomataan, että vain harvoina kuukausina on poltetun kuoren määrän ja vastaanotetun puun määrän suhde ollut toimintatavoitteen mukainen. Raportoinnista saatujen arvojen perusteella lasketun suhteen havaitaan olevan suurimman osan ajasta välillä 0,045–0,070 t k.a./m<sup>3</sup>. Poltetun kuoren ja vastaanotetun puun suhde on siis lähes aina huomattavasti suurempi kuin tuotantotavoitteen mukainen suhde 0,035 t k.a./m<sup>3</sup>.

Näyttäisi siis siltä, että myös kuorentuotannossa on virhe joko raportoinnissa tai tuotantotavoitteissa. Jotta tuotetun kuoren ja vastaanotetun puun suhde olisi tuotantotavoitteen mukainen, olisi vastaanotetun puun määrän oltava huomattavasti suurempi. Tässä työssä on aikaisemmin tarkasteltu kuorikattilan tasetta ja havaittu, ettei poltetun kuoren määrän mittauksessa ole ainakaan suurta virhettä.



Puusta saatavan kuoren määrän suhteessa vastaanotettuun puuhun huomataan laskeneen huomattavasti vuosien 2002-2007 aikana. Vuonna 2002 oli tämä arvo 0,065 t k.a./m<sup>3</sup> ja vuonna 2007 0,055 t k.a./m<sup>3</sup>. Tämä tekemäni havainto on merkittävä, koska puun ydinosasta saatava sellu on huomattavasti arvokkaampaa kuin polttoon ajettava kuori. Vastaavasti kuitenkin vastaanotetun puun ja polttoon ajettun mustalipeän suhde ei ole noussut. Kuoren osuuden laskuun löytyy monta mahdollista syytä kuten puunkorjuumenetelmien muuttuminen ja puun käsittelyketjun kasvaminen tuontipuun määrän lisääntymisen myötä.

## **6 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET**

Tässä työssä olen tutkinut Stora Enso Oyj:n Imatran tehtaiden toimintajärjestelmiä parhaimpani mukaan. Aluksi selvitin Imatran tuotantokokonaisuuden toimintaa ja siihen liittyviä mittauksia. Tutkin eri kattiloiden toimintaa ja niiden eri toiminta-arvojen mittauksia ja raportointeja. Vertailin kuitulinjojen keittimien toiminta-arvoja tavoitearvoihin. Vertailin myös tulleen puun määrän suhdetta siitä saatavan mustalipeän ja kuoren määriin. Tutkin myös keittoon syötetyn hakkeen määrää ja vertailin sitä vastaanotetun puun sisältämään oletettuun hakemäärään.

Tutkittavien suureiden vertailu on vaikeaa, koska lipeät, kuori ja hake säilytetään tehtaalla erilaisissa varastoissa ja säiliöissä. Laskuissani tein sen olettaman, että näiden varastojen suuruus pysyy samana kaikkien vuosien alussa ja lopussa. Tokikaan näin ei ole, mutta laskennan yksinkertaistamiseksi näin on tehtävä.

Sooda- ja kuorikattiloita koskevien mittausjärjestelmien toiminnasta en löytänyt suuria eroavaisuuksia kirjallisuudessa mainittujen erimerkkien kanssa. Toki todelliset arvot poikkesivat hieman ideaaliarvoista, mutta ero selittynee laskennan yksinkertaistuksella. Tutkin myös kattiloiden toiminta-arvojen kuukausittaisia vaihteluita eri vuosina. Mustalipeän osalta ei poltetun polttoaineen ja siitä tuotetun energian välinen suhde vaihdellut vuodenaikojen mukaan. Tämä oli täysin oletettavissa, koska mustalipeä kulkee polttoon suljetuista putkistoista ja varastoista, joissa se on suojassa sateelta ja auringolta. Kuoren osalta taas havaitsin selvää

vuodenaikaisvaihtelua. Tämä on selitettävissä kuorikasojen olosuhteiden muutoksilla. Kuorikasoilla polttoaine joutuu luonnonvoimien armoille ja etenkin sen kosteus vaihtelee runsaasti.

Kuorikattilan osalta raportoinnin perusteella saatiin vuoden 2007 vuosihyötysuhteeksi 88 %, joka on aivan yhtä suuri arvo kuin valmistajan antama takuuarvo. Muiden tutkittujen vuosien osalta hyötysuhde oli lähes yhtä suuri kuin vuonna 2007.

Soodakattiloiden osalta ei ole helppoa tutkia hyötysuhdetta, koska polttoaineen sisältämä energia kuluu sekä höyryn tuotantoon että kemialliseen muutokseen. Tutkin soodakattiloiden osalta polttoaineen määrän mittausta olettamalla, että polttoaineen mukana tuodusta energiasta 74 % kuluu höyryn tuotantoon. Laskelmieni perusteella soodakattilassa 5 poltetun mustalipeän määrä raportoidaan noin 7 % pienemmäksi kuin tuotetun höyryn määrän perusteella voidaan olettaa. Soodakattilan 6 osalta poltetun mustalipeän määrä raportoidaan noin 4 % pienemmäksi kuin tuotetun höyryn määrä antaa olettaa.

Sellun keiton osalta tutkin keittoon ajetun hakkeen ja keitosta saadun ruskean sellun suhdetta ja vertailin saatuja arvoja tehtaan tuotantotavoitteen mukaiseen suhteeseen. Kuitulinjan 2 osalta keitosta saadun sellun ja keittoon ajetun hakkeen suhde ei ollut optimoidun kaltainen. Kuitulinjan 2 raportoiduista arvoista sain suhteeksi 0,16 ADt/m<sup>3</sup> vuoden 2007 osalta. Vuosien 2002–2007 aikana tämä suhde on pysynyt lähes samana. Toimintatavoitteen mukaan suhteen tulisi olla noin 0,21 ADt/m<sup>3</sup>. Kuitulinjan 3 osalta tuotantotavoitteen antama suhde keitosta saatavalle sellulle ja keittoon ajettulle hakkeelle tulisi olla 0,30 ADt/m<sup>3</sup>. Vuoden 2007 raportoinnin perusteella koko vuoden yhteenlaskettujen ajomäärien suhde on 0,23 ADt/m<sup>3</sup>. Tämäkään suhde ei ole juuri muuttunut vuosien 2002–2007 ajalla. Molempien kuitulinjojen kohdalla ero on siis huomattava. Ei tietenkään voida olla varmoja siitä, olisiko toimintatavoitteen mukainen suhde käytännössä mahdollista toteuttaa. Jos kuitenkin oletetaan, että toimintatavoitteen mukainen suhde on oikein, on virheen löydyttävä joko sellun tai hakkeen määrän mittauksesta. Jos taas oletetaan, että sellun ja hakkeen määrän mittaukset ovat luotettavia, on keittimien toiminta erilaista kuin oletettiin. Keittoon syötetystä hakkeesta

saadaankin enemmän mustalipeää ja vähemmän sellua kuin oletettiin. Tainionkosken osalta en voinut tutkia selluloosan keittoa, koska tarvittavaa mittadataa ei löytynyt.

Tutkin myös Imatran tehtaille toimitetun puun määrän suhdetta siitä saatavan mustalipeän ja puujätteen määrään. Mustalipeän tuotannon osalta raportoiduista arvoista saatu suhde ei täysin vastannut tuotantotavoitteen mukaista suhdetta. Raportoinnin mukainen suhde oli vuonna 2007 0,32 t k.a./m<sup>3</sup>, kun sen olisi pitänyt toimintatavoitteen mukaan olla 0,30 t k.a./m<sup>3</sup>. Ero ei kuitenkaan ole kovin suuri. Tämä ero tukee edellisessä kappaleessa esitettyä veikkausta siitä, että keitosta saataisiinkin enemmän mustalipeää ja vähemmän sellua kuin on oletettu.

Polttoon ajettavan puujätteen määrän ja vastaanotetun puun määrän suhde oli vuoden 2007 raportoinnin perusteella 0,055 t k.a./m<sup>3</sup>. Tämä arvo poikkeaa huomattavasti tuotantotavoitteen mukaisesta arvosta 0,035 t k.a./m<sup>3</sup>. Jo edellä on todettu, että poltetun puujätteen määrän mittauksessa ei ole suurta virhettä. Virheen on siis oltava joko tuotantotavoitteen antamassa suhteessa tai vastaanotetun puun määrän mittauksessa. Jos vastaanotetun puun määrä olisi luotettava, olisi kuorintahäviöiden oltava huomattavasti oletettua suurempia, jolloin puusta saatavan hakkeen määrä vähenee huomattavasti. Tutkimuksissani kuitenkin havaitsin sen positiivisen seikan, että vuosien 2002 ja 2007 välillä on polttoon ajettujen puujätteen ja vastaanotetun puun suhde laskenut arvosta 0,065 t k.a./m<sup>3</sup> arvoon 0,055 t k.a./m<sup>3</sup>.

Tutkin myös, vastaako keittoon syötetty hakemäärä vastaanotetun puunmäärän sisältämää haketta, kun tiedetään paljonko puu sisältää kuorta ja paljonko itse puuainesta. Koivuhakkeen osalta otin laskelmissani huomioon ainoastaan kokonaisuena ostetun koivun, koska Imatran tehtaille ei tule ostokoivuhaketta. Olettamalla, että koivun häviö kuoreen on noin 14 %, huomasin, että vastaanotetun puun määrän perusteella laskettu hakemäärä oli huomattavasti pienempi kuin raportoitu keittoon ajettu hakemäärä. Tämä yllättävä tulos antaa olettaa, että koivun osalta häviöt kuoreen ovat huomattavasti suuremmat kuin pitäisi tai että vastaanotetun puun määrässä on huomattava virhe. Koivuhakkeen osalta raportoitu hakemäärä oli 10 % suurempi kuin vastaanotetun puun määrän avulla laskettu.

Sellun keittoon syötettävä havuhake on peräisin joko vastaanotetusta männystä tai ostomäntyhakkeesta. Summasin yhteen ostohavuhakkeen ja vastaanotetun havupuun määrän perusteella lasketun hakemäärän olettamalla, että männyt häviö kuoreen on 12 %. Huomasin, että männyn osalta ero raportoidun keittoon ajetun hakkeen määrän ja vastaanotetun puun määrän perusteella lasketun hakemäärän välillä ei ole yhtä huomattava kuin koivun osalta. Tehtaan oma raportointijärjestelmä antaa noin 3 % pienemmän arvon havuhakkeelle kuin vastaanotetun puun määrän perusteella voidaan olettaa.

Sain tutkimuksissani selville, että sekä mustalipeän että kuoren osalta suhde vastaanotetun puun määrään on oletettua suurempi. Mustalipeän osalta suhde on vain hiukan suurempi kuin toimintatavoite olettaa, kun taas kuoren osalta suhde on huomattavasti suurempi. Näiden kahden havainnon perusteella herää epäily, että puuta ei saada hyödynnettyä tarpeeksi hyvin vaan suuri osa puusta menee kuoren polttoon. Kuitenkin on otettava huomioon, että koska sekä mustalipeän että kuoren tuotanto on suurempaa kuin oletettiin, olisi myös tehtaalle vastaanotetun puun määrä todellisuudessa suurempi kuin tähän asti on luultu. Tosin tutkimuksissani en ole verrannut lainkaan vastaanotetun puun suhdetta siitä valmistettavaan selluun.

Mielestäni tässä työssä tekemäni havainnot etenkin keittoon syötetyn hakkeen ja keitosta saadun sellun suhteesta, polttoon syötetyn kuoren ja vastaanotetun puun määrän suhteesta ja vastaanotetun koivun ja keittoon ajetun koivuhakkeen suhteesta osoittavat, että Imatran tehtaiden tuotantoprosessi ei toimi niin kuin on oletettu. Mielestäni etenkin näitä edellä mainittuja tunnuslukuja kannattaa tutkia tarkemmin ja yrittää löytää kehityskohteita, jotta prosessi saataisiin mahdollisimman tuottavaksi.

## LÄHTEET

Gullichsen Johan ja Fogelholm Carl-Johan. Chemical Pulping. Jyväskylä. ISBN 952-5216-06-3.

Huhtinen Markku et al. Höyrykattilatekniikka. 2. Painos. Helsinki. ISBN 951-37-1327-X.

Kuisma Kari, Suominen Markku ja Vakkilainen Esa. Power Plant Energy Efficiency Analysis - An Effective Tool to Reduce Pulp and Paper Mill Energy Production Costs. PulPaper.

Raiko Risto (toim.) et al. Poltto ja palaminen. Jyväskylä. ISBN 951-666-448-2.

Stora Enso Oyj. Perehdytysmateriaali paikallisessa internetissä. Imatra. Käytetty 7.3.2008.

Vakkilainen Esa. Professori, Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Lappeenranta. Haastattelu 3.4.2008.

Vakkilainen Esa. Professori, Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Sähköpostiviesti 15.4.2008.

Varis Mika. Energiainsinööri, Stora Enso Oyj. Imatra. Haastattelu 8.3.2008.

Varis Mika. Energiainsinööri, Stora Enso Oyj. Sähköpostiviesti 2.4.2008.