

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Paperitekniikan koulutusohjelma
Paperitekniikka

Insinöörityö

Minna Vantaa

PAKSUUSSEULAN TOIMINNAN OPTIMOINTI

Työn ohjaaja
Työn teettäjä

Kaskinen 2006

DI Pertti Viilo
Oy Metsä-Botnia Ab, Kaskisten tehdas
Valvoja: käyttöinsinööri Petri Viinikainen

Minna Vantaa	Paksusseulan toiminnan optimointi
Insinööri	36 sivua + 12 sivua liitteitä
Työn ohjaaja	DI Pertti Viilo
Työn tilaaja	Oy Metsä-Botnia Ab, Kaskisten tehdas Valvojana käyttöinsinööri Petri Viinikainen
Huhtikuu 2006	
Hakusanat	paksusseulonta, puruseulonta, hake

TIIVISTELMÄ

Hakkeen tasainen palakoko on edellytys laadukkaan massan valmistukselle, joten hakkeen seulonta on tärkeä prosessi ennen sellunkeittoa. Seulonnassa hakkeesta erotellaan oksamassaa aiheuttavat ylisuuret jakeet sekä alkalia syövä puru. Erotuksen jälkeen ylisuuri hake käsitellään esim. litistäjällä, jonka jälkeen se soveltuu keittoon.

Oy Metsä-Botnia Ab:n Kaskisten tehtaan seulantaprosessi uudistettiin kesällä 2005. Vanhat tasoseulat purettiin ja tilalle asennettiin paksusseula sekä puruseula. Tämän insinööriyön tarkoituksena oli löytää optimaaliset pyörimisnopeudet seuloille, jotta keittosaanto parantuisi ja oksamassaa syntyisi keitossa vähemmän.

Työn aikana mitattiin hakemääriä sekä jakaumia eri seulan nopeuksilla. Näiden tuloksena suositeltava paksusseulan nopeus on 70-85 r/min. Tätä pienemmillä nopeuksilla hakepatja on melko paksu, ainakin normaalilla tuotantovauhdilla, joten hyväksyttäväkin hake kulkeutuu hakepatjan päällä seulan yli jatkokäsittelyyn. Suuremmilla seulan nopeuksilla hakapalaset alkavat puolestaan hypellä seulan päällä pääsemättä kunnolla kosketuksiin seulakiekkojen kanssa.

Puruseulan rullien nopeuden nostolla saavutetaan enemmän hienojaetta (tikkuja ja purua) keittoon. Teetettyjen koekeittojen mukaan saanto ei juuri pienene koivua keitettäessä, vaikka purua ja tikkua menisi keittoon suuriakin määriä. Tämän vuoksi puruseulan nopeutta nostettiin lähelle maksimiarvoa, jotta puunkulutus olisi mahdollisimman pientä.

Minna Vantaa Optimizing the operation of thickness screen
Engineering thesis 36 pages + 12 appendix pages
Supervisor DI Pertti Viilo
Orderer Oy Metsä-Botnia Ab, Kaskinen Mill
 Supervisor: operating engineer Petri Viinikainen

April 2006
Keywords disc screening, roll screening, chips

ABSTRACT

An even size of wood chips is a necessity for producing pulp of good quality, so screening of the chips is an important process before chemical pulping. In the screening process knot pulp causing oversized particles and alkali consuming sawdust are separated from the chips. After separation the oversized chips are e.g. flattened, after which the chips are suitable for cooking.

The screening process of Metsä-Botnia Kaskinen Mill was renewed in summer 2005. The old gyrating screens were removed and a disc screen and a pocket roll screen were installed. The aim of this thesis was to find the optimal speed of rotation for the screens in order to improve the yield in cooking and to reduce the amount of knot pulp.

During the work chip amounts and distributions were measured with different screen rotation speeds. As a result of these measurements the recommended rotation speed is 70-85 rpm. With lower speeds the chip layer is quite thick, at least with a normal running speed, so even the acceptable chips are carried along on the top of the layer over the screen to further processing. With higher screen speeds the chips start jumping on top of the screen without getting in good contact with the screen discs.

By increasing the reel speed of the pocket roll screen more fines are obtained for cooking. As a result of experimental cookings, the yield does not decrease significantly when cooking birch in spite of large amounts of sawdust and shives in the cooking process. Consequently the speed of the roll screen was increased close to the maximum in order to minimize the wood consumption.

ALKUSANAT

Tämä työ on tehty Oy Metsä-Botnia Ab:n Kaskisten tehtaan toimeksiannosta.

Työn tekemisen aikana olen käynyt lukuisia keskusteluja etenkin Kamyr-keittäjien kanssa seulomon toimintaan liittyen. Kiitokset heille hyvistä neuvoista sekä kärsivällisyydestä mittauksia suorittaessani.

Kiitokset myös muille tehtaan palveluksessa oleville henkilöille, jotka ovat auttaneet minua monin tavoin mm. näytteiden otossa.

Tahdon kiittää etenkin Petri Viinikaista, joka tarjosi minulle insinööriäihettä ja toimi työni valvojana, sekä työni ohjaajana toiminutta Pertti Viiloa.

Kaskisissa huhtikuussa 2006

Minna Vantaa

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ	2
ABSTRACT	3
ALKUSANAT	4
1 JOHDANTO.....	7
2 SEULONNAN TARKOITUS.....	8
3 SEULONTALAITTEISTOJA.....	11
4 SEULONTAPROSESSI KASKISTEN TEHTAALLA	14
4.1 Paksuus- ja puruseulonta	14
4.2 Ylisuuren jakeen käsittely	16
5 MITTAUSMENETELMÄT JA KOEAJOSUUNNITELMA	18
5.1 Näytteidenotto	18
5.2 Hakejakaumien määrittäminen	19
5.3 KCL:n koekeitot	21
5.4 Seulan pyörimisnopeudet	21
6 KOEAJOT.....	22
6.1 Seulomolle tulevan hakkeen jakauma koeajojen aikana	23
6.2 Paksusseulan käyttäytyminen.....	24
6.3 Litistäjän toiminta.....	27
6.4 Puruseulan käyttäytyminen	29
6.5 Keittoon menevä hake	32
6.6 Sommerville-tikkuanalyysit	33
7 HUOMIOITA PAKSUUSSEULAN KÄYTTÄYTYMISESTÄ.....	34
8 LOPPUTULOKSET JA PARANNUSEHDOTUKSET	34
8.1 Hakkeen levittyminen.....	34
8.2 Seulojen nopeudet	35
8.3 Toimenpide-ehdotukset Kamy-keittäjän toiminnan helpottamiseksi.....	35
LÄHDELUETTELO	36

LIITTEET

1. Seulomon materiaalivirrat
2. Koeajotulokset
3. Hakemäärän muutos tonneista irtokuutioiksi

1 JOHDANTO

Oy Metsä-Botnia Ab perustettiin vuonna 1973, ja sen ensimmäinen tehdas valmistui v. 1977 Kaskisiin (kuva 1). Tehtaan kapasiteetti oli alussa 250 000 tonnia valkaistua sulfaattisellua vuodessa, mutta jatkuvan kehityksen myötä tehtaan kapasiteetti on liki kaksinkertaistunut ollen tällä hetkellä 450 000 tonnia. Keittomenetelmä Kaskisten tehtaalla on jatkuvatoiminen vuokeitto. /6/

Tehdas valmisti sekä pitkä- että lyhytkuitumassaa aina vuoden 2002 loppuun saakka. Tällöin tehdas ryhtyi valmistamaan pelkästään lyhytkuitumassaa käyttäen raaka-aineinaan koivua ja haapaa. Tätä työtä tehdessäni raaka-aineena kokeiltiin myös eukalyptusta, jota meni keittoon koko ajan n. 8 %.



Kuva 1. Oy Metsä-Botnia Ab, Kaskisten tehdas /6/

Kesällä 2005 Kaskisten tehtaan seulontamenetelmä muutettiin perinteisestä tasoseulasta paksuusseulonnaksi. Vanhat tasoseulat purettiin ja niiden tilalle asennettiin BMH Wood Technologyn paksuusseula sekä PocketRoll-puruseula. Ylisuuren hakkeen käsittely (litistäjä) säilytettiin ennallaan.

Tämän insinööriyön tarkoituksena oli löytää optimisäädöt paksuus- ja puruseulalle muuttamalla niiden pyörimisnopeuksia, jotta keittosaanto parantuisi ja oksamassaa syntyisi keitossa vähemmän. Hakkeesta suoritettiin määrä- ja jakaumamittauksia erilaisilla seulan säädöillä. Jakaumamittaukset suoritettiin SCAN-CM- mittausmenetelmällä. Työn aikana teetettiin koekeittoja KCL:ssä erilaisilla hakkeen jakaumilla optimaalisen saannon selvittämiseksi.

2 SEULONNAN TARKOITUS

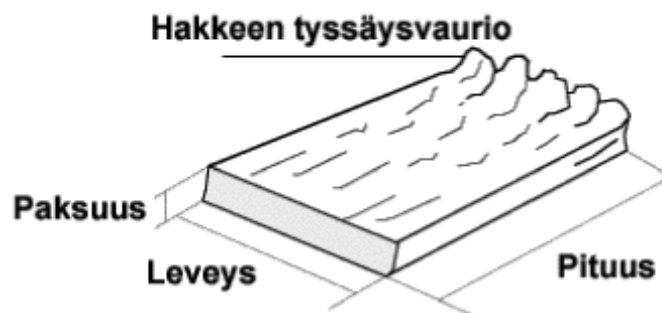
Seulonnan tarkoituksena on pitää hakkeen palakokojakauma mahdollisimman tasaisena, koska hyvin pienet hakepalaset keittyvät liian pitkälle ja hyvin suurilla taas keitto jää keskeneräiseksi. Seulonnassa erottuvat ylisuuret jakeet voidaan käsittelyn jälkeen palauttaa varsinaiseen hakevirtaan. Ylisuuri hake voidaan käsitellä tikkuhakulla, hakeleikkurilla tai litistäjällä. /5,10/

Hake voidaan seuloa ennen tai jälkeen hakevarastoinnin. Suositeltavaa on, että seulonta suoritetaan vasta juuri ennen keittoa. Tällöin hakekasalla ja kuljetuksessa mahdollisesti vaurioituneet partikkelit ja lisääntynyt hienojae saadaan poistettua. Varastoinnin jälkeinen seulonta myös estää tuulen kasaamia pururyöppyjä joutumasta keittoon. On kuitenkin huomioitava, että huonolaatuisesta hakkeesta ei enää seulonnan avulla saada hyvää. /3,8/

Hakekoko vaikuttaa keittokemikaalien imeytymiseen ja hakkeen pakkautumistiheyteen keittimessä. Hakkeen dimensioista paksuus on monen massan laatukriteerin kriittisin tekijä. Eräissä tutkimuksissa on esitetty, että

suurin sallittu hakepalan paksuus olisi 8 mm. Hakkeen pituutta on pyritty lisäämään, paitsi parempien massaominaisuuksien, myös keittimien virtausolosuhteiden parantamiseksi. /3,4,5/

Sellun valmistuksessa keskimääräinen puuhake on 15-25 mm pitkä ja saman verran leveää sekä 2-5 mm paksua. Yleensä havupuuhake on hieman suurempaa (pituus 25 mm, leveys 25 mm, paksuus 4 mm) kuin lehtipuusta tehty hake (20 mm × 20 mm × 3 mm). /9/ Hakepalan dimensiot on esitetty kuvassa 2.



Kuva 2. Hakepalan dimensiot /5/

Hakepaksuuden kasvaessa keittoliipeän imeytyminen hakkeen sisäosiin vaikeutuu, hake keittyy epätasaisesti ja aiheuttaa kuituuntumattoman jakeen kasvun. Hakepaksuuden kasvaessa on imeytymisolosuhteita parannettava kuituuntumattoman jakeen vähentämiseksi. Hakepinnassa olevat halkeamat ja epätasaisuudet edistävät imeytymistä. Vakiokappaan keitettäessä paksu hake vaatii ohutta haketta enemmän alkalia. Jos keittohakkeen palakokojakauma on epätasainen, pienempi hakeaines keittyy nopeasti ja kuluttaa keiton alkalin ja paksummat hakepalat jäävät keittymättä. /4,10/

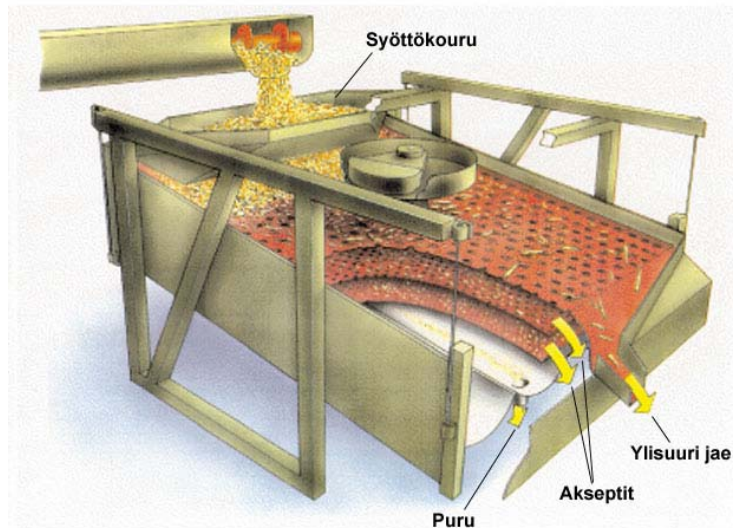
Hakkeen ohentaminen pienentää pakkaustiheyttä keittimessä ja saattaa aiheuttaa kapasiteettirajoituksen (hakepituutta ei välttämättä voida vastaavasti lyhentää kuidunpituuden lyhenemisen vuoksi). Pakkautumistiheys osoittaa, miten suuri osa mitatusta haketilavuudesta on kiinteää puuta. Pakkautumistiheyden vaihtelu vaikuttaa keittimessä hakkeen suotautumisvastuksen muutoksiin ja siten myös lämmön ja keittokemikaalien siirtymiseen. /5/

Hienoaine ja liian tiivis pakkautuminen saattavat aiheuttaa hakepatsaan tarttumista sihteihin ja kellumista vastavirtavyöhykkeellä. Vaihteleva hakekoko voi myös aiheuttaa pakkautumistiheyden vaihtelua, mikä voi pahastikin keikuttaa hakepintaa. Keittimen hakepinnan säädön tulee olla rauhallinen, koska pakkautumistiheyden vaihtelut ja varsinkin hakepilarin katkeaminen shokkipuskun seurauksena aiheuttavat helposti ongelmia sihdeillä ja kertaantuvat aiheuttaen edelleen suurempia pintaheittoja. Pakkautumistiheyden vaihtelu aiheuttaa myös vaihtelua keittimen viipymäaikaan ja sitä kautta kappalukuvaihtelua. /5/

3 SEULONTALAITTEISTOJA

Tasoseula

Tavallisessa tasoseulassa on päällekkäin yleensä kolme seulalevyä 5 - 10°:n kulmassa vaakatasoon nähden. Hake syötetään ylimmälle levylle, jolloin seulan edestakainen liike saa varsinaisen hakkeen putoamaan rei'istä alemmille seulalevyille. Ylisuuret jakeet jäävät yläseulalle ja kahdelta alemmalta levyltä saadaan hyväksytty jae (aksepti). Puru puolestaan kerääntyy seulan pohjalle. Välilevyn tehtävänä on keventää ala- eli purutason kuormitusta, jotta päästään tehokkaampaan purunerotukseen. Tasoseulan suurimpana heikkoutena on, että sillä ei pysty erottamaan ylipaksua jaetta, joka jää yleensä vielä raa'aksi keitossa lisäten rejektin määrää. Tasoseulan rakenne ja toimintaperiaate on esitetty kuvassa 3. /3,5,7,8/



Kuva 3. Tasoseula /5/

Paksuusseula

Paksuusseulontalaitteita on tehty 70-luvun lopulta saakka. Alkujaan ne olivat hyvin monimutkaisia ja vaativat jatkuvaa huoltoa ja kunnossapitoa tulosten jäädessä keskinkertaisiksi. Paksuusseulontalaitteet ovat kehittyneet hyvin voimakkaasti viime vuosien aikana. Tänä päivänä ne ovat parhaimmillaan varmatoimisia ja pitkäikäisiä laitteita. Paksuusseulassa (kuva 4) on vierekkäisille akseleille sijoitettu kiekkoja niin, että lomittain olevien kiekkojen väliin jää oikean kokoinen aukko, joka on yleensä n. 7 mm. Akselit pyörivät samaan suuntaan, jolloin lomitusraossa kiekot pyörivät vastakkaisiin suuntiin ja rako pysyy puhtaana. Hake syötetään toiseen päähän, josta se etenee kiekkojen siirtämänä eteenpäin. Tällöin rakoä ohuemmat jakeet läpäisevät seulan ja ylipaksu jae kulkeutuu seulan yli jatkokäsittelyyn /3,5,8/.

Paksuusseulonnan huonona puolena on se, että erotetun ylipaksun jakeen joukkoon joutuu aina myös akseptihaketta, jonka jatkoprosessointi ns. ylipaksuna jakeena ei ole toivottavaa /4/.

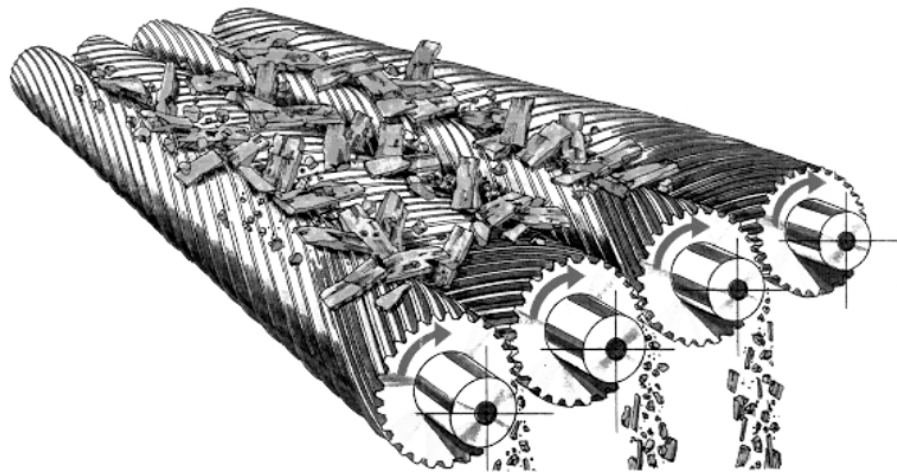


Kuva 4. Paksuusseulan kiekot (Oy Metsä-Botnia Ab, Kaskisten tehdas)

Rullaseula

Rullaseuloja (kuva 5) käytetään pääasiassa hienojakeen poistoon hakkeen joukosta. Seulontamenetelmässä on yhdensuuntaisia muotoiltuja rullia, jotka pyörivät samaan suuntaan. Hakepalanen kääntyy rullaseulan nipeissä ja läpäisee seulan, mikäli jae on tarpeeksi pientä. Rullien välinen etäisyys (halkaisija) määrää seulan läpäisevän materiaalin koon. Suuret hakepalaset eivät läpäise seulaa, vaan kulkeutuvat rullaston kuljettamana seulan yli. /2,8/

Rullaseulojen kaksi päätyyppiä ovat timanttikuvioiturullaseula ja kohokuvioitu pocket-roll-seula. Timanttikuvioidussa seulassa on timantinmuotoisia koloja. Hienoaines tunkeutuu koloihin ja rullan pyörähtäessä hienoaines läpäisee seulan. Pocket-roll periaatteella toimivassa seulassa on esim. tiiliskiven muotoisia kohokuvioita, joiden väliin pienet partikkelit tunkeutuvat läpäisten seulan. /2/



Kuva 5. Rullaseula /2/

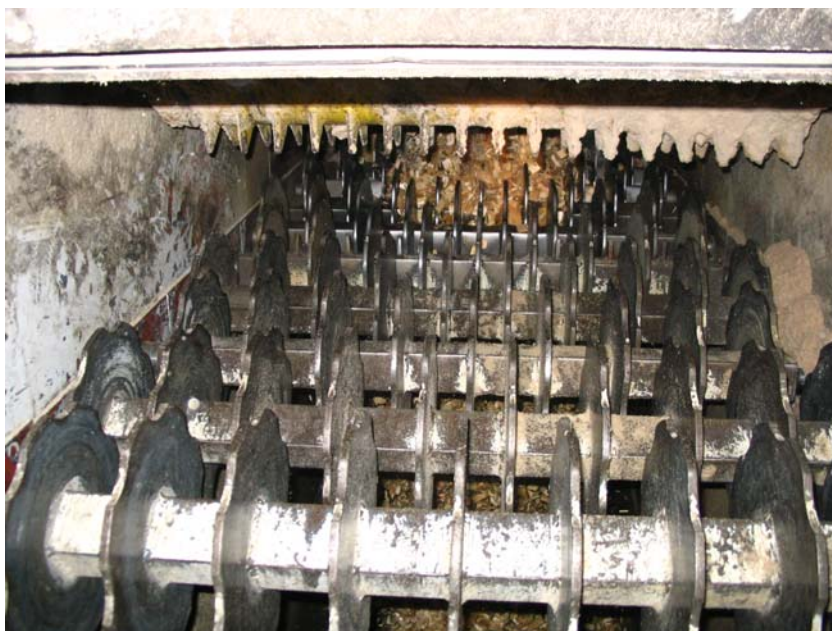
Nykyisin rullaseulaa voidaan käyttää myös ylipaksun jakeen seulonnassa /3/.

4 SEULONTAPROSESSI KASKISTEN TEHTAALLA

4.1 Paksuus- ja puruseulonta

Kaskisissa seulonta suoritetaan vasta juuri ennen keittoa. Paksuusseulan kapasiteetti on $800 \text{ i-m}^3/\text{h}$, mutta tätä ei lähennellyt kertaakaan koeajojen aikana. Yleisimmin keittoon otettiin haketta $160\text{-}170 \text{ t/h}$, joka koivulla on irtokuutioina ilmaistuna n. $430\text{-}460 \text{ i-m}^3/\text{h}$ tuotantovauhdin ollessa n. 1200 t/d . Suurimmillaan hakeotto oli mittausten aikana n. $510 \text{ i-m}^3/\text{h}$ (190 t/h). Seulan suurta kapasiteettia tarvitaan tällä hetkellä lähinnä silloin, kun mahdollisen häiriötilanteen jälkeen keittämöllä väliavarastona toimiva hakesiilo on tyhjentynyt ja keittoon tarvitaan nopeasti haketta.

Liitteessä 1 on kuva seulomon materiaalivirroista. Hake tulee kasalta seulomolle hakekuljetinta pitkin, mistä se putoaa ensin kiekkoiseulalle (kuva 6). Kiekkoseula erottelee hakkeen joukosta kaikkein suurimmat ja pisimmät puukappaleet. Kiekkoseulan yli ei kuitenkaan kulkeudu paljon puukappaleita, sillä kiekkojen väli on melko suuri. Hake puolestaan läpäisee seulan ja putoaa hakeruuville, joka kuljettaa hakkeen paksuusseulontaan.



Kuva 6. Kiekkoseula

Paksusseula on varustettu sulkuluukulla, jonka tarkoituksena on levittää hake yhdessä hakeruuvien kanssa tasaisesti seulalle tai toisaalta suljettaessa ohittaa paksusseulonta /1/. Sulkuluukku suljetaan yleensä vain häiriötilanteissa, sillä tällöin hake kulkeutuu keittoon seulomattomana. Paksusseulan seulantapitus on n. 7 m ja leveys 3 m.

Paksusseulan läpäisemätön jae ohjataan suppilolla litistäjän syöttöhihnalle (kuva 7).



Kuva 7. Paksusseulan ylite

Paksusseulan läpäissyt jae puolestaan putoaa PocketRoll-puruseulalle. PocketRoll-puruseula on esitetty kuvassa 8. Puruseulan pituus on n. 2,8 m ja leveys 3 m.

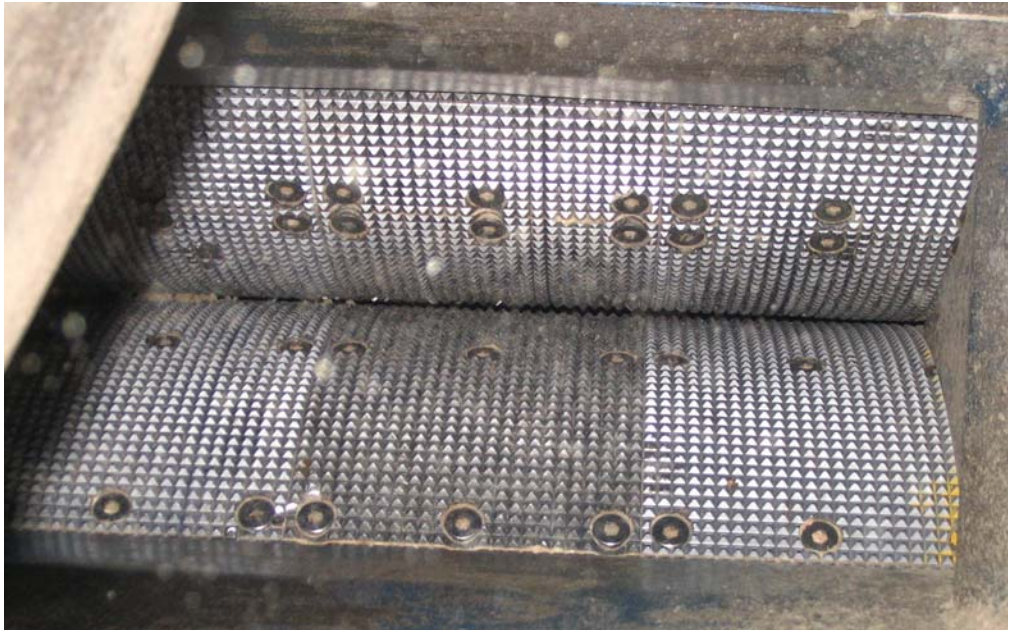


Kuva 8. PocketRoll-puruseula. Paksuusseulan läpäissyt jae putoaa puruseulalle ja puruseulan ylite kulkeutuu keittoon menevälle kuljettimelle.

Puruseulan ylite (aksepti) kulkeutuu keittoon menevälle hihnakuljettimelle ja alite ketjukuljettimen ja ruuvin avulla puruhihnalle, joka kuljettaa purun purukasalle.

4.2 Ylisuuren jakeen käsittely

Ylisuuri jae käsitellään litistäjällä (kuva 9). Litistäjässä on kaksi lähekkäin pyörivää pyramidi-muotoiltua telaa. Ylisuuri hake kulkeutuu telojen välistä, jolloin se joutuu pienen puristuksen alaiseksi. Hake pehmenee ja halkeilee, jolloin keittokemikaalit imeytyvät paremmin hakkeeseen. Kuvassa 10 on esitetty hakepala, joka on kulkeutunut litistäjän läpi. Litistyksen jälkeen hake ohjataan suoraan keittoon menevälle hihnakuljettimelle syöttämättä sitä uudestaan seulontaan.



Kuva 9. Litistäjä



Kuva 10. Litistäjän läpikulkenut ylisuuri hakepala

5 MITTAUSMENETELMÄT JA KOEAJOSUUNNITELMA

5.1 Näytteidenotto

Mittauksia suoritettiin seulomolle tulevasta hakkeesta, akseptista (puruseulan ylittävä hake), litistäjälle menevästä ja tulevasta hakkeesta sekä keittoon menevästä hakkeesta. Lisäksi mitattiin seulomolta purukasalle menevän purun määrä ja jakauma.

Seulomolle tulevan hakkeen määrä saatiin selville haketunnelissa sijaitsevasta puntarista. Litistäjälle menevä hake puolestaan mitattiin ajamalla ylisuuri jae litistäjän ohituksella ulos siellä odottavalle kuorma-auton lavalle. Otettiin aika ja punnittiin lavalle kertynyt hakemäärä. Litistäjälle menevän ja sieltä tulevan hakkeen paino on sama. Purukasalle menevä purunmäärä mitattiin puolestaan kauhakuormaajan avulla: kauhakuormaaja ajettiin purukasan päälle ja kauhaan kerättiin tietyn ajan seulomolta tulevaa purua. Puru punnittiin ja näin saatiin selville, paljonko purua kertyy kasalle tunnissa.

Hakenäytteet otettiin pysäyttämällä hakehinnat ja ottamalla pysähtyneeltä hinnalta näytteet kehdon avulla (kuva 11). Kehto asetettiin hakehinnalle hakkeen päälle ja painettiin se hakkeen läpi. Tämän jälkeen siirrettiin kehdon ulkopuolelta haketta syrjään, jotta vain kehdon sisään jäänyt hake saataisiin kerättyä koeseulontaan hakejakauman määrittämiseksi.



Kuva 11. Hakkeen näytteenottokehto

5.2 Hakejakaumien määrittäminen

Hakkeen jakaumien määrittäminen suoritettiin SCAN-CM 40:94 seulontamenetelmällä (kuva 12). Ylimmäisenä levynä koeseulassa on 45 mm:n reikäseula, joka erottaa hakkeesta ylisuuret jakeet. Sen alapuolella on 8 mm:n rakoseula, joka puolestaan erottaa ylipaksut jakeet. Näiden alapuolella on 13 mm:n ja 7 mm:n reikäseulat, joissa on hyväksytyt hake. Toiseksi alimmalla levyllä, jossa on 3 mm:n reikäseula, erotellaan tikut. Pohja on umpinainen, ja sinne kerääntyy puru. Seulonta-aika on 10 min. Seulonnan jälkeen kultakin seulalevyiltä saadut jakeet punnitaan prosenttiosuuksien selvittämiseksi. Seulomolta purukasalle menevän purujakauman selvittämiseksi käytettiin koeseulonnassa seuraavanlaisia seulalevyjä:

7 mm:n reikäseula

5 mm:n reikäseula

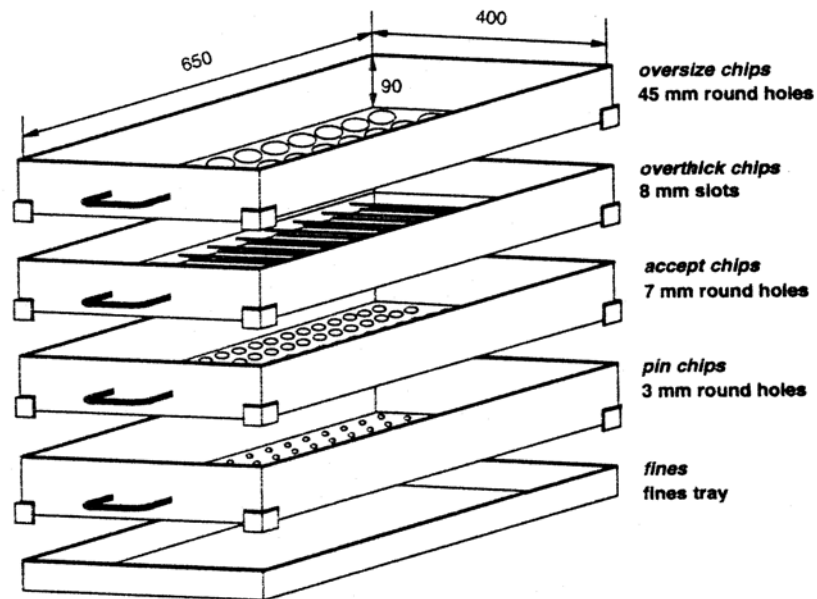
3 mm:n reikäseula

2 mm:n reikäseula

1,5 mm:n reikäseula

Pohja (umpinainen).

Syy, miksi päädyttiin käyttämään koeseulontamenetelmänä juuri SCAN-CM-seulontamenetelmää, johtuu sen luotettavuudesta verrattuna muihin koeseulontamenetelmiin (Gradex, VisiChips).



Kuva 12. SCAN-CM 40:94 seulontamenetelmä /2/. Kuvasta poiketen koeseulassa käytetään myös 13 mm:n reikäseulaa 8 mm rakoseulan alapuolella.

5.3 KCL:n koekeitot

Työn alussa teetettiin KCL:ssä muutamia koekeittoja erilaisilla hakejakaumilla optimaalisen saannon selvittämiseksi. Koekeitot suoritettiin sekoittamalla akseptihakkeeseen eri määriä tikku- ja purujaetta. Akseptihakkeen suhteeksi valittiin 85 % 13 mm:n reikäseulalta ja 15 % 7 mm reikäseulalta. Koekeittojen hakejakaumat sekä tulokset esitetty taulukoissa 1 ja 2.

Taulukko 1. Koekeittojen hakejakaumat

	Aksepti	Ø3 mm seula	Pohja (puru)
A	100,0 %	0,0 %	0,0 %
B	96,5 %	2,5 %	1,0 %
C	94,0 %	5,0 %	1,0 %
D	91,0 %	7,5 %	1,5 %

Taulukko 2. Koekeittojen saannot eri jakaumilla

	Saanto	Oksat	Kokonaissaanto	Kappa
A	50,76 %	0,43 %	51,19 %	17,5
B	50,76 %	0,28 %	51,04 %	17,3
C	50,52 %	0,43 %	50,95 %	17,2
D	50,28 %	0,43 %	50,71 %	17,7

Taulukoista 1 ja 2 näemme, että saanto pienenee vain hieman vaikka purua ja tikkua menisi keittoon jopa 9 % hakkeen joukossa. Oksamassaakaan ei näyttäisi syntyvän sen enempää pelkästään akseptia keitettäessä kuin keitossa, jossa on tikku- ja purujakeita yhteensä 9 %. Näillä perusteilla keittoon halutaan mahdollisimman paljon kyseisiä jakeita, mikäli ne eivät vain häiritse itse keittoprosessia.

5.4 Seulan pyörimisnopeudet

Paksusseulan säätöalue on 52-130 r/min (40-100 Hz) ja puruseulan puolestaan 80-250 r/min (40-120 Hz) /1/. Taulukossa 3 on esitetty, millaisilla seulojen nopeuksilla koeajoja suunniteltiin suoritettavaksi.

Taulukko 3. Seulojen suunnitellut koeajonopeudet r/min sekä sitä vastaavat hertsi määrät

Paksuusseula (r/min)	Paksuusseula (Hz)	Puruseula (r/min)	Puruseula (Hz)
60	46,15	95	45,67
70	53,85	115	55,29
85	65,38	135	64,90
85	65,38	165	79,33
100	76,92	175	84,13
100	76,92	195	93,75
110	84,62	195	93,75
110	84,62	215	103,37
125 (85)	96,15	215	103,37
125 (65)	96,15	240	115,38

Paksuusseulan nopeuksista suurin (125 r/min) jätettiin kuitenkin suorittamatta, sillä seulan nopeuden ollessa 110 r/min hakepalaset alkoivat hypellä seulan päällä, joten oli turha enää lisätä seulan nopeutta, sillä se ei olisi ollut kuitenkaan paras nopeus. Täten kaksi viimeistä koeajoa suoritettiin paksuusseulan nopeuden ollessa 85 r/min ja 65 r/min.

6 KOEAJOT

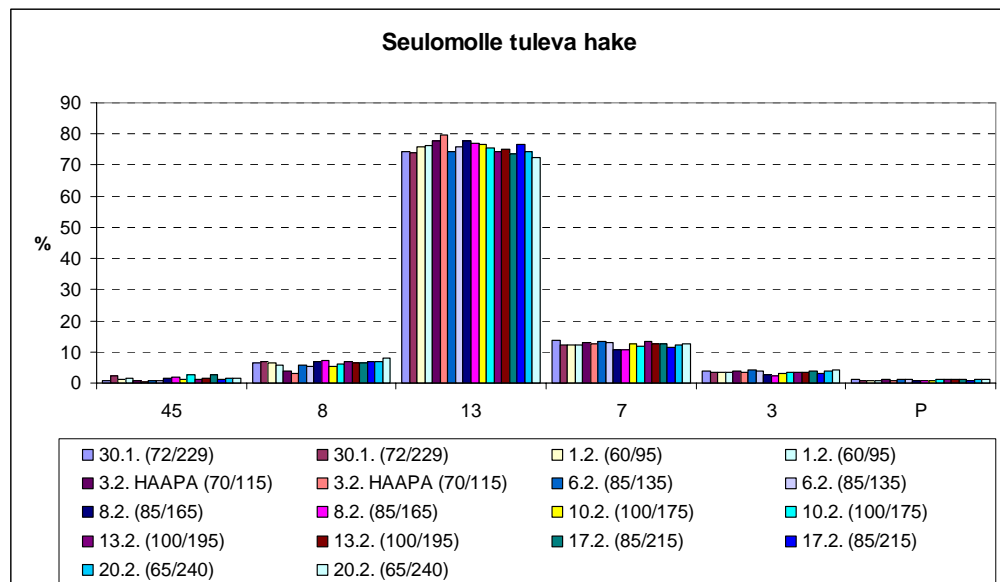
Koeajoja suoritettiin pääosin 30.1.2006 - 20.2.2006 välisenä aikana. Tällöin muuteltiin seulojen nopeuksia ja mitattiin hakejakaumia sekä määriä. Liitteestä 2 löytyvät kaikkien koeajojen tulokset sekä liitteestä 3 kuvaaja, jonka avulla tuloksissa esitetyt haketonnit voidaan muuttaa irtokuutioiksi.

Koeajojen aikana otettiin näytteitä Kamyryn puskusta oksamäärän määrittämiseksi erilaisilla seulan nopeuksilla Sommerville-analyysissä. Tässä oli kuitenkin hieman ongelmia, sillä näytteet oli tarkoitus ottaa kappaluvussa 19, mutta kapin vaihtelu näytteissä oli niin suurta, että kaikkia näytteitä ei ollut kannattavaa tutkia. Muutamia näytteitä kuitenkin tutkittiin ja niiden tulokset on esitetty kappaleessa 6.6.

Koeajojen aikana hake sisälsi pääraaka-aineen lisäksi 8 % eukalyptusta, jonka vaikutuksista koeajoihin ei ole tietoa.

6.1 Seulomolle tulevan hakkeen jakauma koeajojen aikana

Seulomolle tulevan hakkeen jakauma oli hyvin tasainen kaikilla mittauskerroilla, kuten kuvasta 13 näemme. Näytteitä otettiin seulomolle tulevasta hakkeesta kaksi kappaletta kullakin mittauskerralla.



Kuva 13. Seulomolle tulevan hakkeen jakauma helmikuun 2006 aikana tehdyissä mittauksissa. Suluissa paksuusseulan ja puruseulan nopeudet kyseisinä koeajopäivinä (r/min)

Ylisuuren määrä (> Ø45 mm) vaihteli 0,5 prosentista aina 2,5 prosenttiin. Tähän kuitenkin vaikuttaa paljon se, millaisesta kohdasta näyte on otettu. Mikäli näytteeseen on osunut esim. yksi iso puukappale, niin pienessä näytteessä (n. 10 kg) tällä on melko suuri merkitys. Ylipaksun jakeen määrä (< Ø45 mm/ > //8 mm) näytteissä puolestaan oli koivulla 5-8 %. Ainoassa haapanäytteessä ylisuuren- ja etenkin ylipaksun jakeen määrä oli pienempi kuin koivunäytteissä. Haavalla ylisuurta jaetta oli 0,4-0,8 % ja ylipaksua

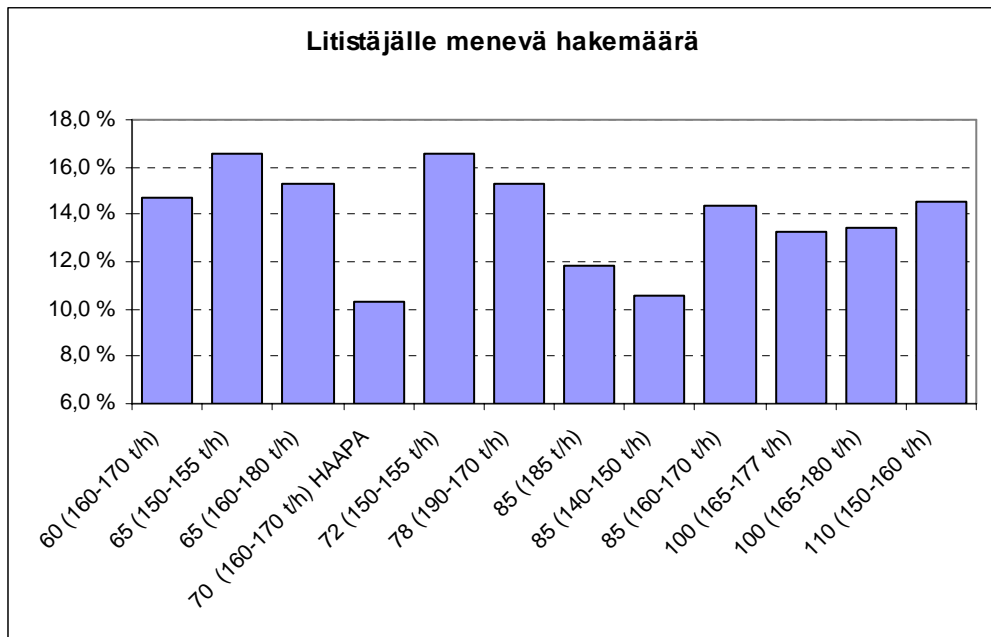
3-4 %. Haavan kohdalla ei kuitenkaan voida tehdä suurempia johtopäätöksiä hakkeen koosta johtuen haapanäytteiden vähyydestä.

Suuremman akseptin ($\varnothing 13$ mm seula) määrä vaihteli koivulla 74-78 %:n välillä ja pienemmän akseptin ($\varnothing 7$ mm:n seula) 10-13 % välillä. Haavalla vastaavat arvot olivat 78-80 % ja 12,5-13 %. Tikkujakeita ($< \varnothing 7$ mm/ $> \varnothing 3$ mm) oli molemmissa puulajeissa 3-4 %. Purua puolestaan 0,8-1,3 %.

6.2 Paksuusseulan käyttäytyminen

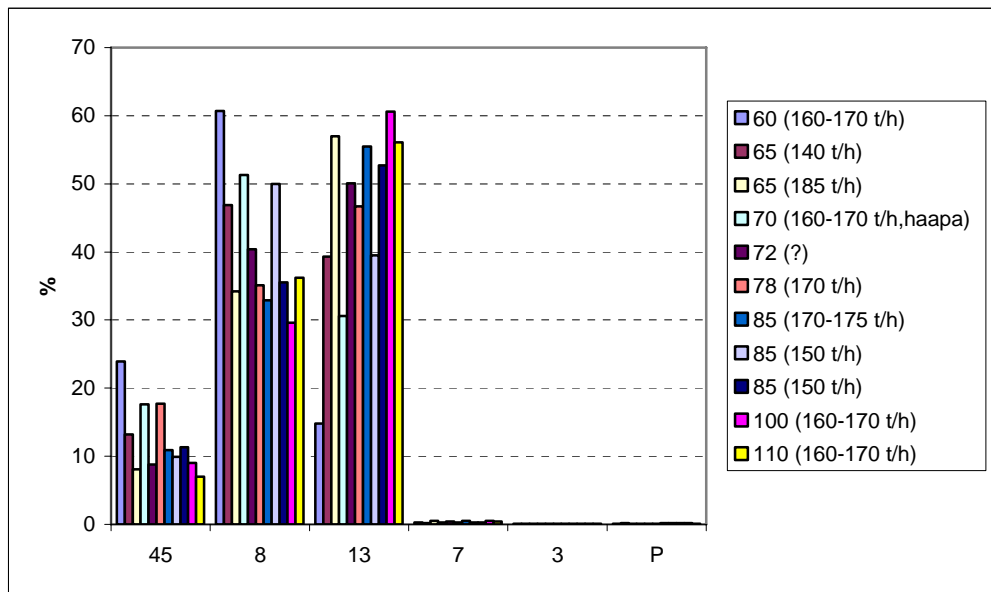
Paksuusseulan käyttäytymistä eri nopeuksilla seurattiin litistäjälle menevän hakkeen jakaumalla sekä määrällä. Tällöin saadaan selville, kuinka hyvin paksuusseula erottelee akseptin ylisuuresta ja ylipaksusta jakeesta. Mitä enemmän litistäjälle menee pelkästään ylisuuria ja ylipaksuja jakeita, sitä paremmin paksuusseula toimii. Hakkeen leviämisessä paksuusseulalle on kuitenkin ollut ongelmia, joten mittaustuloksiin täytyy suhtautua pienellä varauksella. Hakeruuvien ja sulkuluukun tehtävänä on jakaa hake tasaisesti seulalle, mutta hakkeenlevitysmenetelmällä oli pyrkimys tukkeutua. Tällöin jokin seulan kohta saattoi olla kokonaan ilman haketta. Tukkeuma saatiin kuitenkin aina auki pelkästään sulkuluukua liikuttamalla. Mittauksien ja näytteiden oton yhteydessä on aina varmistettu seulan olevan tukkeutumaton.

Litistäjälle menevän hakkeen määrä mitattiin ajamalla hake litistäjän ohitusruuvilla ulos kuorma-auton lavalle. Haketta kerättiin lavalle niin kauan kunnes se täyttyi, yleisimmin 9-15 minuuttia. Tämän jälkeen punnittiin kuorma-auton lavalle kertynyt hakemäärä ja laskettiin kuinka paljon litistäjälle menee tunnissa haketta. Kuvassa 14 on esitetty mittaustulokset prosentteina seulomolle tulevan hakkeen määrästä. Näyttää siltä, että vähiten haketta litistäjälle menee silloin, kun paksuusseulan nopeus on 70 - 85 r/min (54 - 65 Hz).



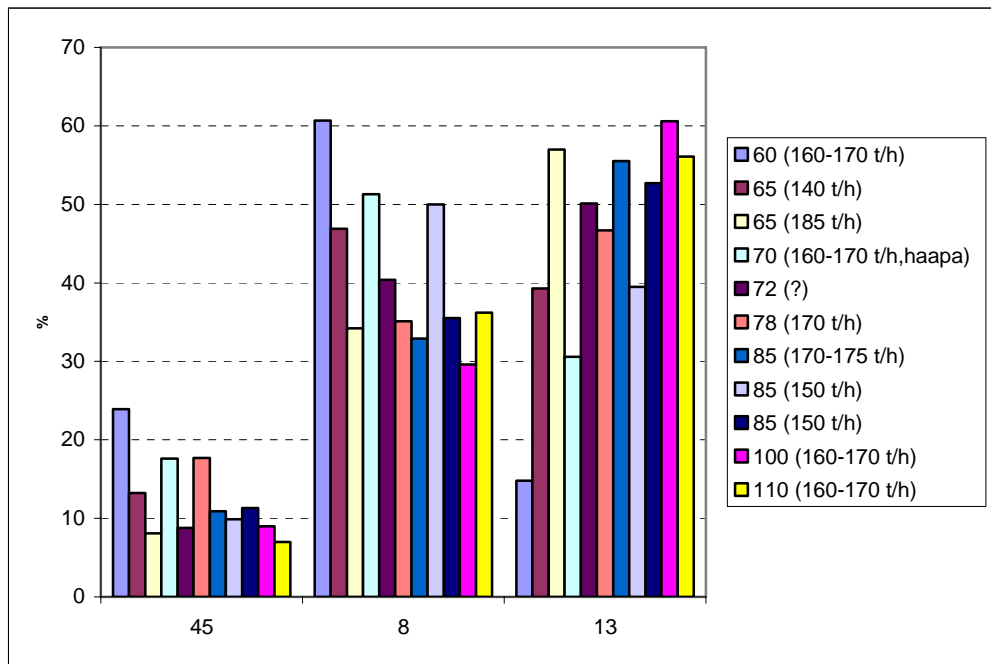
Kuva 14. Litistäjälle menevä hakemäärä paksusseulan eri nopeuksilla (r/min). Suluissa seulomolle tulevan hakkeen määrä.

Litistäjälle menevän hakkeen jakauma näyttää kuitenkin hieman toisenlaiselta kuin määrä antaisi ymmärtää: paras jakauma saavutetaan pienimmillä paksusseulan nopeuksilla (kuvat 15 ja 16).



Kuva 15. Litistäjälle menevän hakkeen jakaumat eri paksuusseulan nopeuksilla (r/min)

Kuvasta 15 ilmenee, että pienten jakeiden määrät eivät juuri muutu seulan nopeutta muutettaessa. Tämän vuoksi on viisaampaa tarkastella pelkästään suurimpien jakeiden jakaumia (kuva 16). Litistäjälle menee tikkua 0,1 % jokaisella paksuusseulan nopeudella ja purua 0,1-0,2 %. Purun hieman suurempi määrä johtuneee kosteasta hakkeesta, jolloin puru tarttuu hakkeeseen ja kulkeutuu hakkeen mukana paksuusseulan yli litistäjälle.

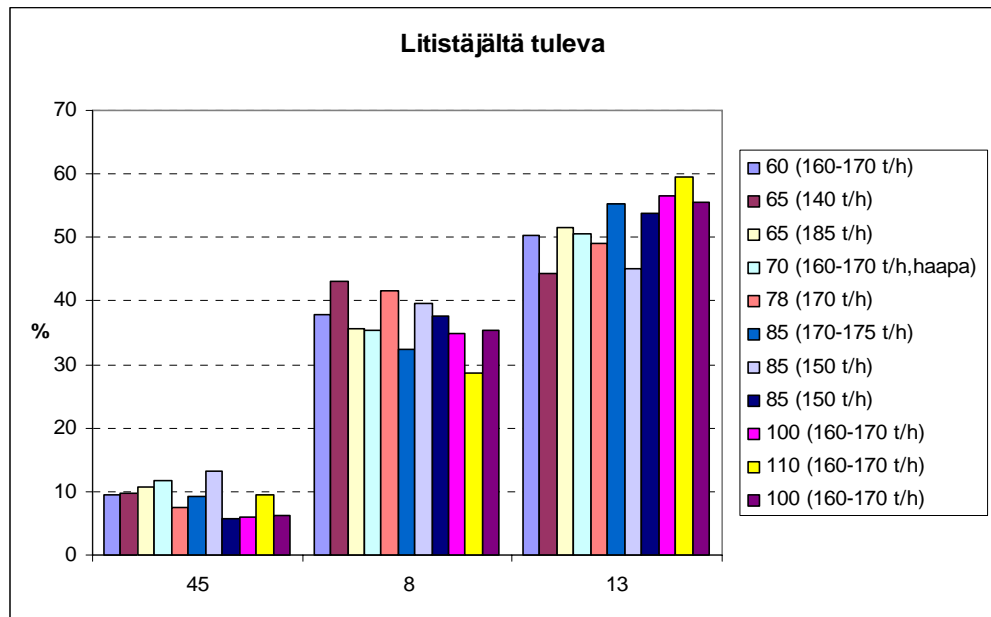


Kuva 16. Litistäjälle menevän hakkeen tarkempi tarkastelu suurimpien jakeiden osalta.

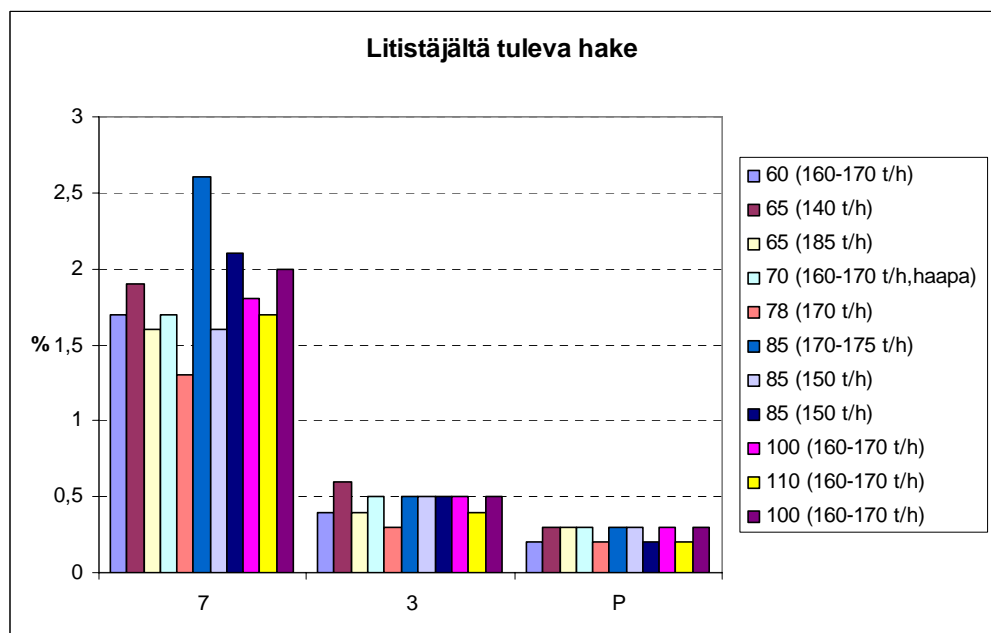
Kuvasta 16 näemme, että parhaat jakaumat saavutetaan pienimmillä seulan nopeuksilla. Mittaustuloksissa täytyy kuitenkin huomioida, ettei seualta putoa tasaisesti haketta litistäjälle menevälle hakehihnalle. Tämä johtuu siitä, että hakeruuvi, joka levittää hakkeen seualle yhdessä jakopellin kanssa, saattaa joskus pudottaa haketta enemmän seualle, josta seurauksena on toisinaan paksu hakepatja, jolloin litistäjälle kulkeutuu myös paljon hyväksyttävää haketta. Toisinaan taas ruuvi pudottaa vähän haketta seualle, jolloin hakepatja on ohut ja täten hake myös seuloutuu paremmin.

6.3 Litistäjän toiminta

Litistäjältä tuleva hake oli mittauksissa lähes joka kerta pienempää kuin sinne menevä hake. Lisäksi litistuksen jälkeen hake pehmeni ja halkeili, joten tämän ansiosta litistäjällä käsitelty ylisuuri jae keittyy paremmin kuin se keittyisi ilman litistystä. Kuvissa 17 ja 18 on esitetty litistäjältä tulevan hakkeen jakaumat eri paksuusseulan nopeuksilla. Käsitteilyn seurauksena syntyy purua ja tikkua, mutta ei kuitenkaan huolestuttavia määriä.



Kuva 17. Litistäjältä tulevan hakkeen jakaumat suurimpien jakeiden osalta eri nopeuksilla



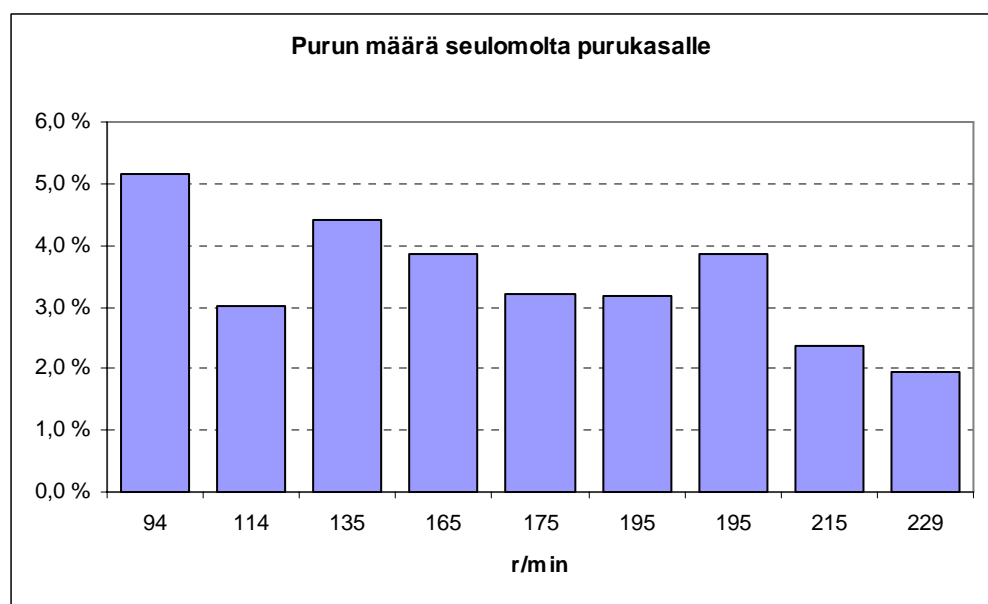
Kuva 18. Litistäjältä tuleva pienen jakeen määrä eri paksuusseulan nopeuksilla

6.4 Puruseulan käyttäytyminen

Puruseulan käyttäytyminen eri nopeuksilla osoittautui melko selkeäksi.

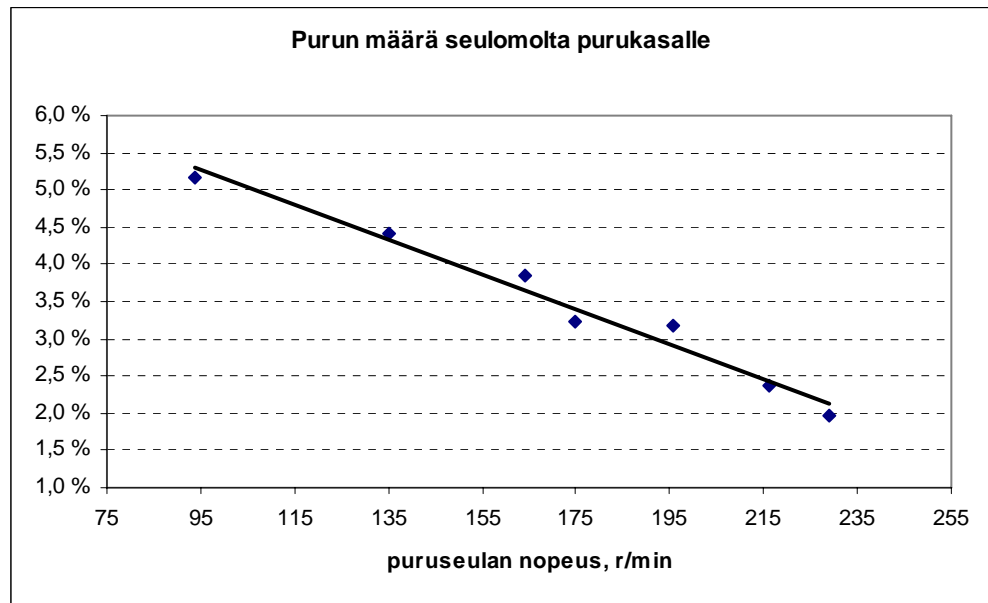
Puruseulan nopeutta nostamalla saadaan keittoon enemmän tikku- ja purujakeita eli seulomolta

purukasalle menee vähemmän kyseisiä jakeita kun seulan nopeutta nostetaan (kuva 19).



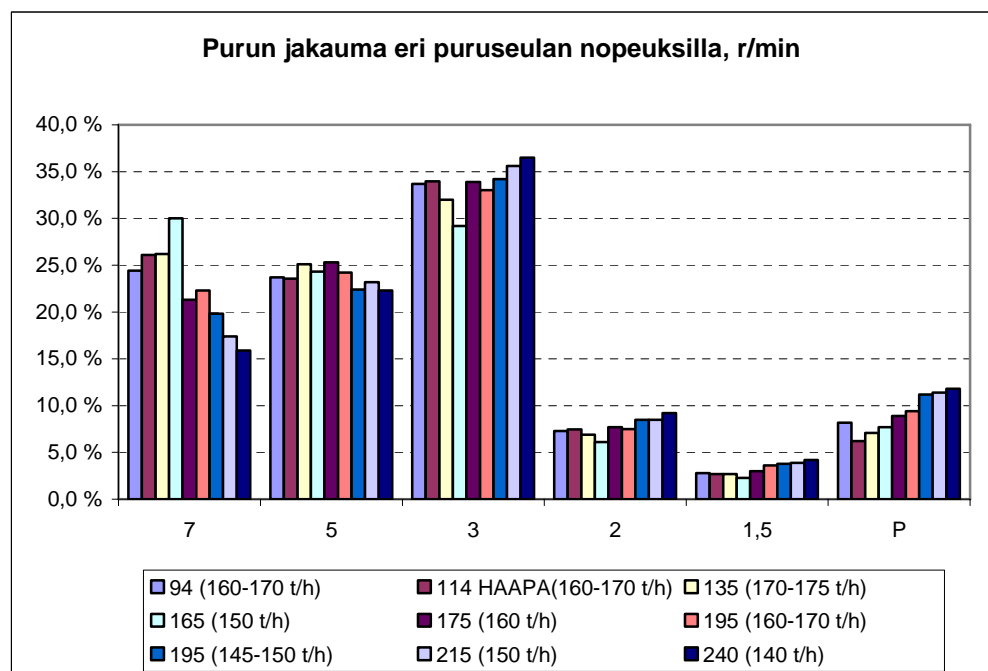
Kuva 19. Purun määrä seulomolta purukasalle (prosentteina seulomolle tulevan hakkeen määrästä)

Kun kuvan 19 arvoista poistetaan kaksi mittausta, 114 r/min ja toinen 195 r/min:n mittaustuloksista, huomaamme, että purun määrä seulomolta purukasalle on lähes lineaarinen (kuva 20). Syy, miksi kyseiset arvot eivät ole kovinkaan luotettavia, johtuu siitä, että 114 r/min:n mittaus on suoritettu haavalla. Kaikki muut mittaukset on suoritettu koivulla. 195 r/min:n mittauksessa puolestaan on mahdollista, että juuri silloin on seulomolle tullut tuulen hakekasalle kasaama pururyöppy, sillä toinen 195 r/min:n nopeudella tehty mittaus on huomattavasti pienempi.



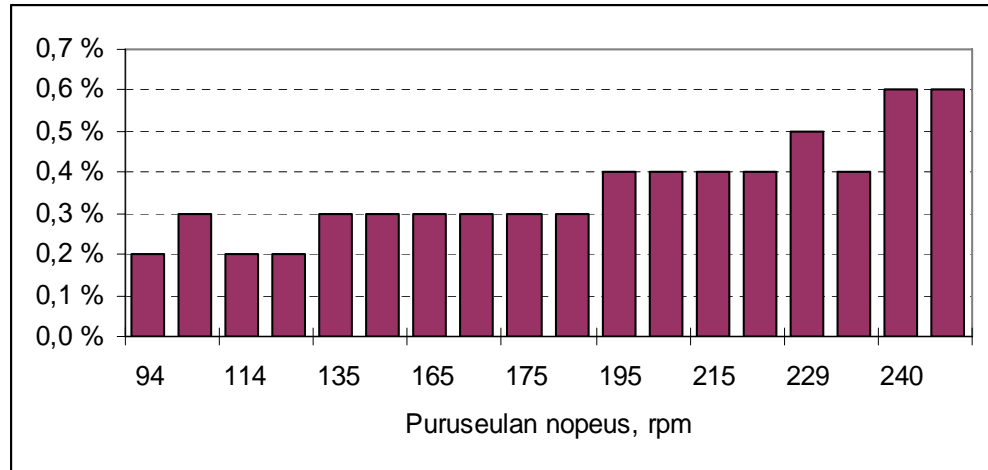
Kuva 20. Purumäärän pieneneminen seulomolta purukasalle puruseulan nopeutta nostettaessa

Purun jakauma ei kuitenkaan juuri muutu erilaisilla seulan nopeuksilla. Kuvasta 21 on kuitenkin havaittavissa, että purun suurimpia jakeita menee purukasalle hieman vähemmän, kun seula pyöri nopeammin.



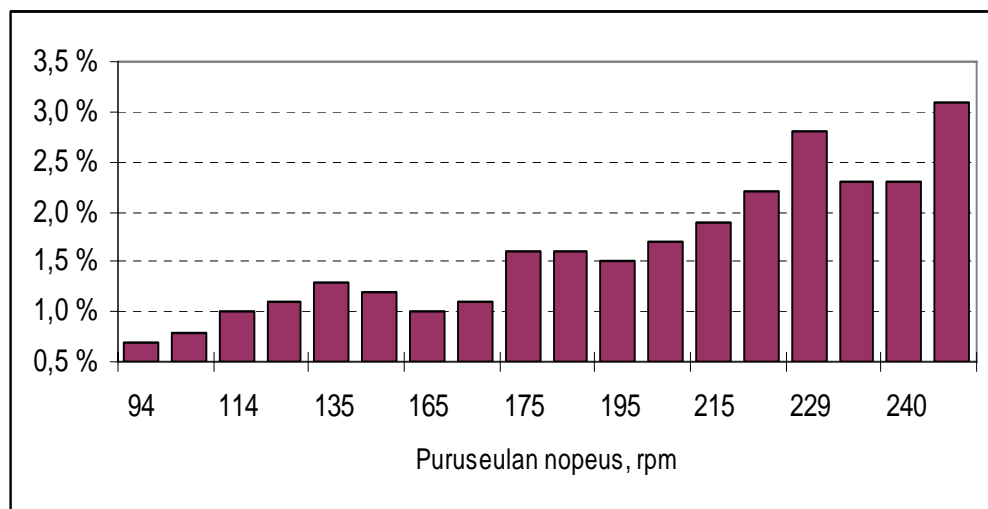
Kuva 21. Purun jakauma purukasalle eri seulan nopeuksilla

Purun ja tikkujakeen määrä keittoon siis lisääntyy, mitä nopeammin puruseula pyörii. Kuvasta 22 näemme, miten purun osuus keittoon menevässä hakkeessa kasvaa, kun seulan nopeutta nostetaan.



Kuva 22. Purun osuus keittoon menevässä hakkeessa seulan eri nopeuksilla

Pienimmällä nopeudella keittoon menee purua ainoastaan 0,2 %, mutta nostamalla puruseulan nopeutta lähelle maksimiarvoa, voidaan purun osuutta aina kolminkertaistaa, jolloin sitä saadaan keittoon 0,6 %. Puru ei kuitenkaan ole toivottava raaka-aine toisin kuin tikut. Myös tikkujen osuus lisääntyy puruseulan nopeutta nostettaessa (kuva 23). Tikkujen määrä n. nelinkertaistuu nostettaessa seulan nopeutta miniminopeudesta aina maksiminopeuteen.

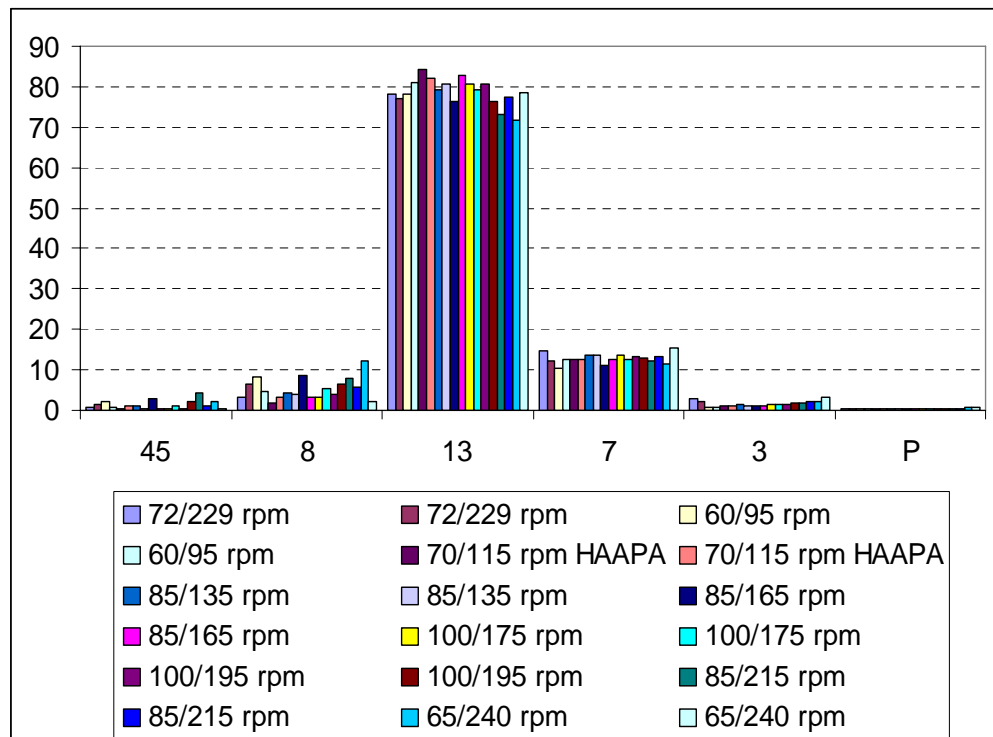


Kuva 23. Tikkujen ($\langle \varnothing 7 \rangle / > \varnothing 3 \text{ mm}$) osuus keittoon eri nopeuksilla

6.5 Keittoon menevä hake

Keittoon menevästä hakkeesta otettiin myös näytteitä, mutta niiden osalta tulokset ovat sattumanvaraisia etenkin ylisuuren- ja ylipaksunjakeen osalta. Tämä johtuu siitä, että litistäjältä tuleva hake putoaa keittoon menevälle hakehihnalle ruuvien avulla, joka pudottaa haketta hihnalle epätasaisesti. Tämän vuoksi näytettä ottaessa ei tiennyt, sisältääkö näyte lainkaan litistäjältä tulevaa haketta.

Puraa ja tikkua keittoon kuitenkin kulkeutuu sitä enemmän mitä nopeammin puruseula pyörii, kuten jo kappaleessa 6.4 todettiin. Kuvassa 24 on esitetty keittoon menevän hakkeen jakaumat erilaisilla seulan nopeuksilla.



Kuva 24. Keittoon menevä hake erilaisilla seulan nopeuksilla

6.6 Sommerville-tikkuanalyysit

Kuten jo aiemmin todettiin, niin suunnitellut massan tikkurejektin määräanalyysit epäonnistuivat. Näytteitä oli suunniteltu otettavaksi kappaluvussa 19, mutta kapp-analysoija osoitti aluksi väärin, ja näytteiden kappaluvut olivat jopa 16. Tällöin näytteitä ei ollut viisasta lähettää eteenpäin tutkittavaksi. Kapp-analysoijan kalibroinnin jälkeen puolestaan keittimen kappa vaihteli suuresti ala- ja ylärajan välillä, joten oikeaa näytteenottoaika piti jonkin verran odotella. Aina tähän ei aikaa ollut, joten seulaan oli vaihdettava jo uudet säädöt ennen kuin näytettä oli ehditty ottaa. Tämän vuoksi tikkunäytteitä lähetettiin Kemin tehtaalle Sommerville-analyysiin vain muutamia.

Taulukossa 4 on esitetty teetettyjen tikkuanalyysien tulokset. Tuloksissa ei ole mitään selvää suuntaa, vaan tikkurejektin määrä on suunnilleen 5-6 % kappaluvussa n. 19. Yllättävää kuitenkin on, että rejektiä ei synny enempää vaikka purua ja etenkin tikkua menee keittoon melko paljon. Tämä ilmeni myös KCL:ssä tehdyistä koekeitoista.

Taulukko 4. Sommerville-tikkuanalyysien tulokset. Näytteiden oton aikana tuotanto 1200 t/d.

tikut (%)	kappa	seulan säädöt	aika
6,12	18,9	60/95 r/min	2.2. klo 8.40
4,34	18,7	85/165 r/min	9.2. klo 9.55
5,13	18,2	100/175 r/min	10.2 klo 7.25
3,01	19,3	85/215 r/min	17.2. klo 9.30
2,83	16,9	72/229 r/min	1.2. klo 8.10

7 HUOMIOITA PAKSUUSSEULAN KÄYTTÄYTYMISESTÄ

Pienellä tuotantovauhdilla ylisuuri jae näytti erottuvan jokaisella seulan nopeudella hyvin akseptista, jolloin litistäjälle menee vain vähän haketta. Pienellä tuotantovauhdilla hake kylläkin levittyi seulalle melko huonosti, jolloin seulan kapasiteetista oli käytössä silmämääräisesti arvioituna n. 70-80 %.

Suurella tuotantovauhdilla seulomolle tulee paljon haketta. Tämä näkyy myös hakkeen levittymisessä seulalle. Tällöin haketta tulee suuria ryöpsäyksiä oikealle puolelle (seulomon ovelta katsottuna) seulaa, jolloin hakepatja on paikoitellen paksu ja tällöin myös paljon akseptia kulkeutuu litistäjälle.

Seulan keskellä hakepatja oli jokaisella tuotantovauhdilla selvästi paksuin. Tästä johtuen seula pudotti litistäjälle menevälle hihnalle eniten haketta juuri keskeltä.

8 LOPPUTULOKSET JA PARANNUSEHDOTUKSET

8.1 Hakkeen levittyminen

Suurin ongelma seulomon toiminnassa on hakkeen levittyminen seulalle. Tätä onnistuttiin kuitenkin hieman parantamaan siirtämällä sulkuluukun aukirajaa n. 0,5 cm enemmän auki. Tällöin hake levittyy paremmin myös seulan vasemmalle puolelle, minne aiemmin ei tullut juurikaan haketta. Tällä tavalla myös suuremmilla ajonopeuksilla ilmenneet hakeryöpyt seulan oikealle puolelle ovat pienentyneet.

Lisäksi kokeilemisen arvoista on nostaa hakeruuvien nopeutta. Tätä ei kuitenkaan ehditty tehdä tämän työn aikana, sillä ruuvien kierrosnopeuden muuttaminen vaatii ruuvien pitkäkhön pysäytyksen ja samainen ruuvi toimii

myös seulomon ohitusruuvina. Täten hakeruuvien kierrosnopeuden nosto voidaan tehdä vain seisokin aikana. Tällä hetkellä hakeruuvi pyörii 55 r/min, joten kierrosnopeuden nosto esimerkiksi 65 r/min saattaisi auttaa hakkeen levittymisessä. Kierrosnopeutta nostettaessa on syytä tarkistaa uudelleen sulkuluukun aukiraja.

8.2 Seulujen nopeudet

Suosittelava paksusseulan nopeus on 70-85 r/min. Tällöin hakepatjan paksuus ei kasva liian suureksi ja toisaalta tätä suuremmilla nopeuksilla hakepalaset alkavat hypellä seulan päällä pääsemättä kunnolla kosketuksiin seulan kanssa.

Puruseulan nopeus normaalitilanteessa voi olla niin suuri kuin mahdollista, eli jopa 250 r/min. Tällöin keittoon kulkeutuu mahdollisimman paljon purua ja tikkua, mikä ei tunnu haittaavan keittoprosessia. Bauer-keittimen ongelmatilanteessa seulan nopeutta voidaan pudottaa lähelle minimiä, koska tällöin hakekasalta tulee vain vähän pieniä jakeita keittoon. Tämä saattaa auttaa Kamyryn toimintaa käännettäessä oksamassa Bauer-keittimeltä Kamyriille.

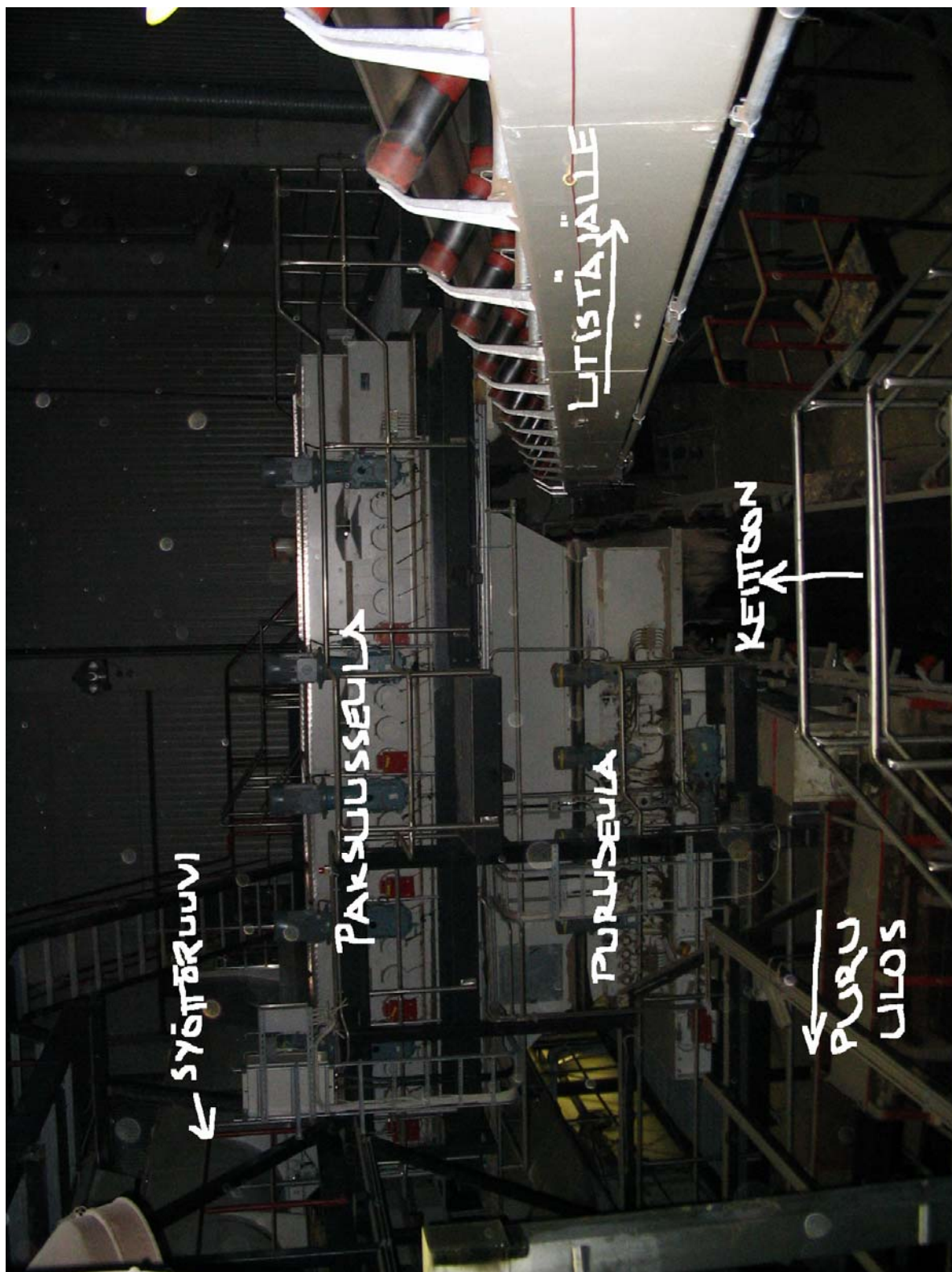
8.3 Toimenpide-ehdotukset Kamyri-keittäjän toiminnan helpottamiseksi

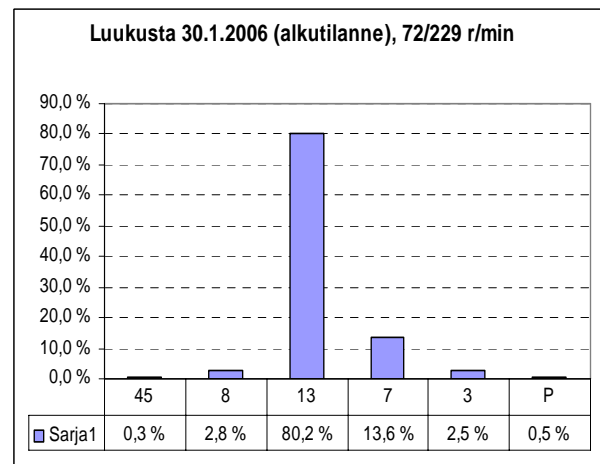
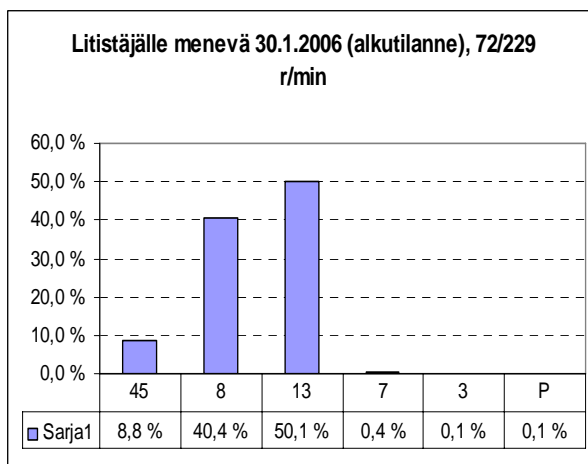
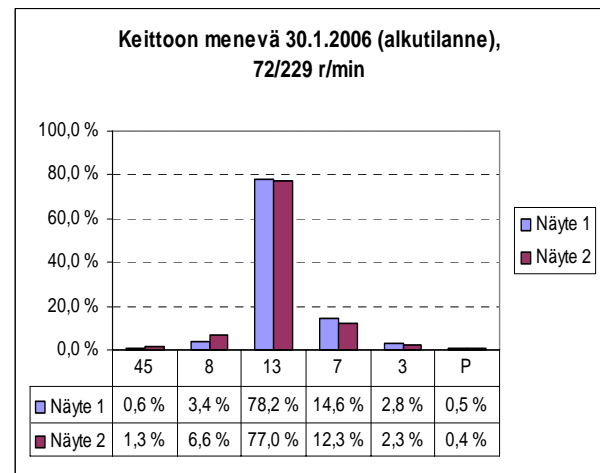
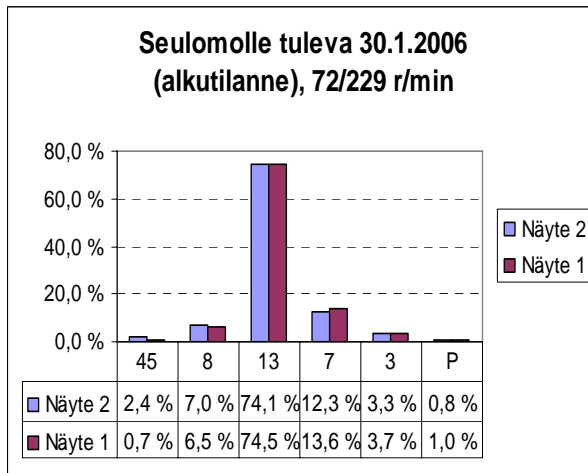
Kamyri-keittäjällä ei ole mahdollisuutta muuttaa valvomosta käsin seulujen nopeuksia. Etenkin puruseulan nopeutta olisi voitava muuttaa, sillä sen avulla pystytään säätelemään keittoon tulevaa puru- ja tikkujakeiden määrää.

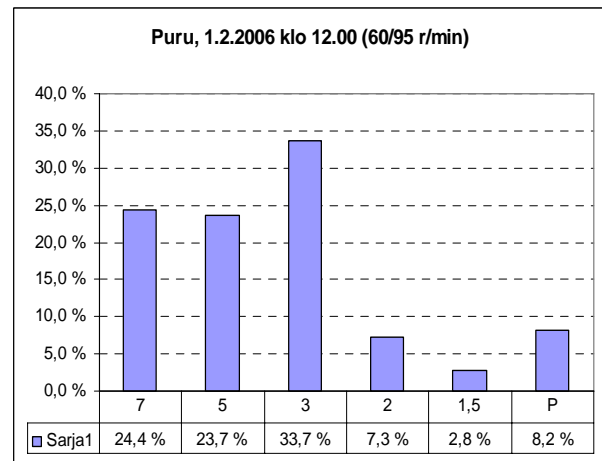
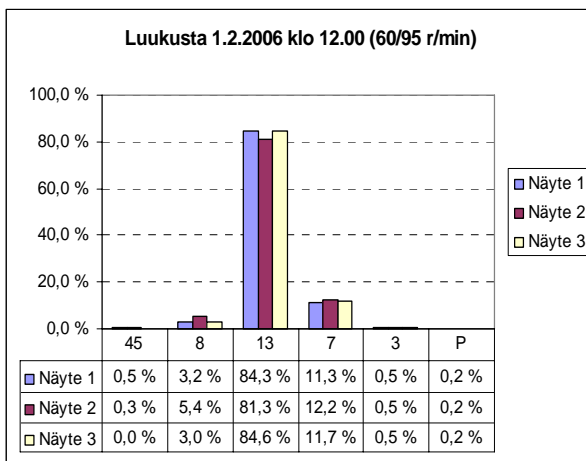
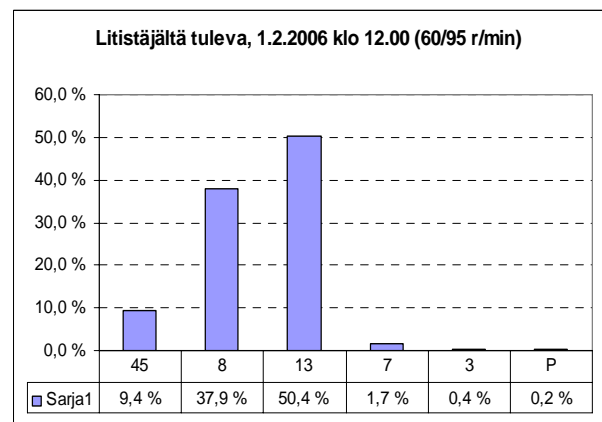
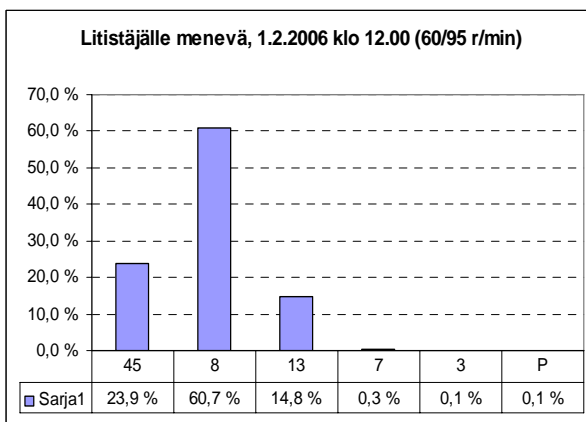
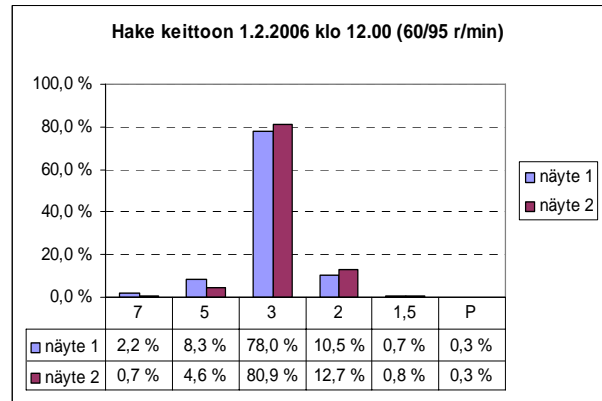
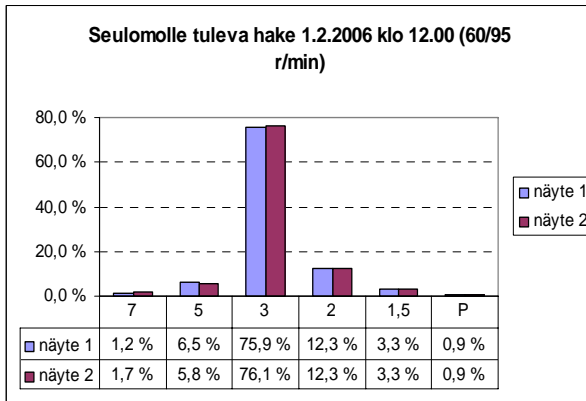
Kamyri-keittäjän olisi myös hyvä tietää, miten hake on levittänyt paksusseulalle. Toki tämä on pääteltävissä litistäjälle menevästä hakemäärästä, mutta selvempää joka tapauksessa olisi kuvayhteys suoraan seulan sisään. Tällöin osattaisiin heti puuttua tilanteeseen, mikäli hakkeen syöttö seulalle on osittain tukkeutunut.

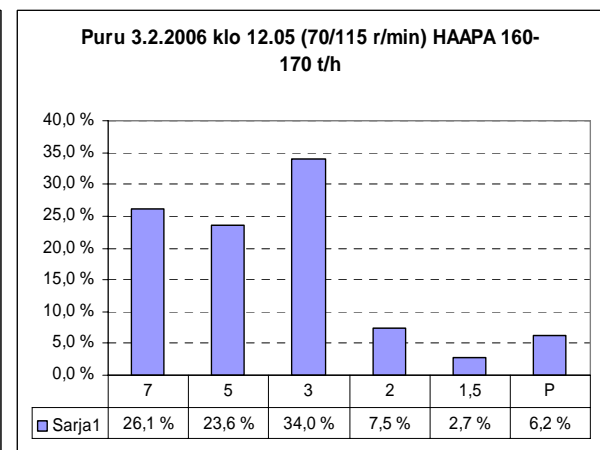
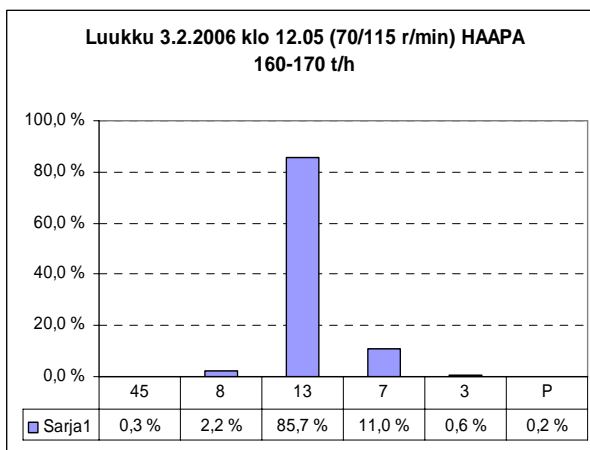
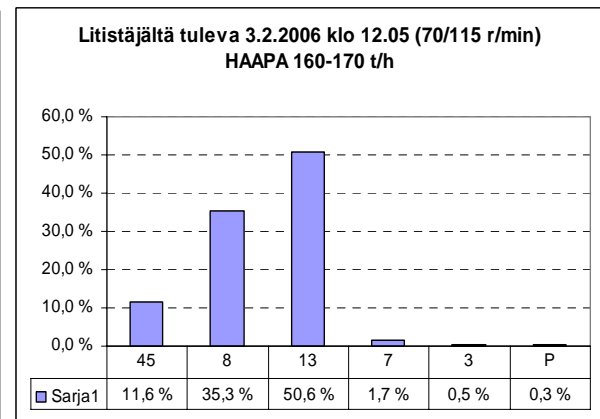
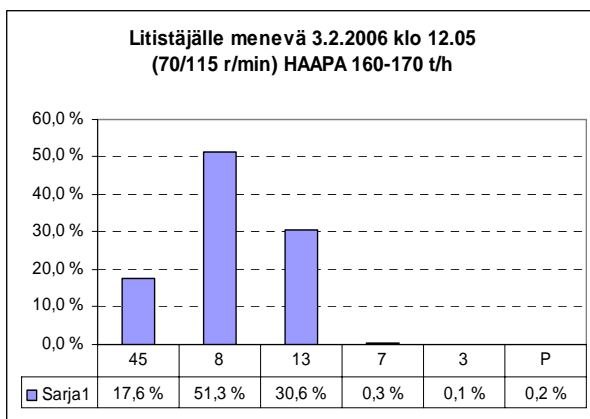
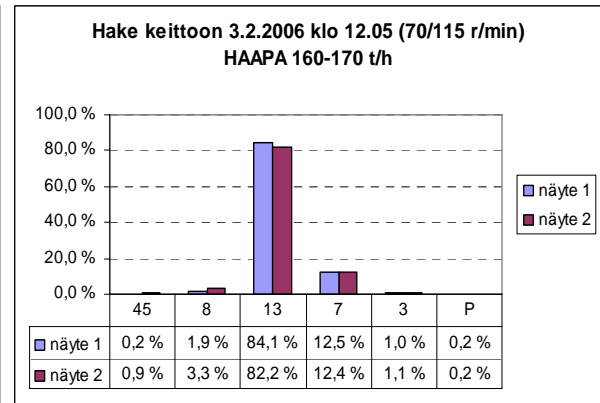
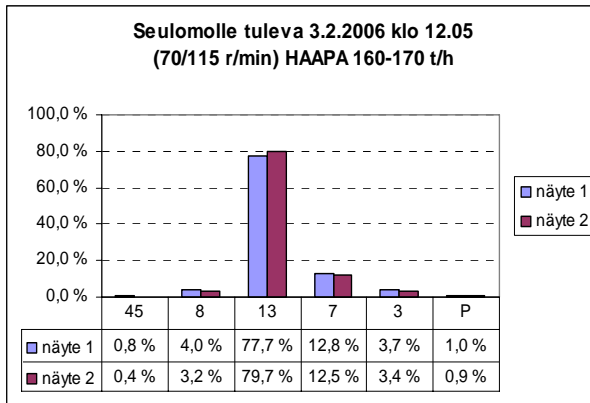
LÄHDELUETTELO

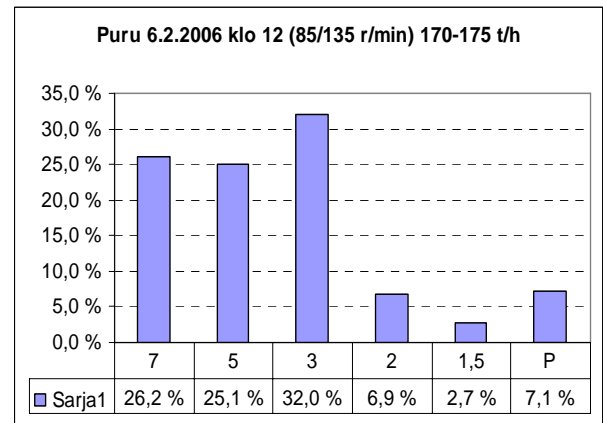
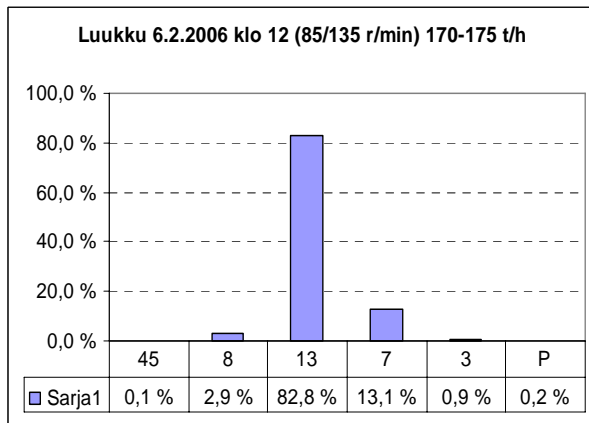
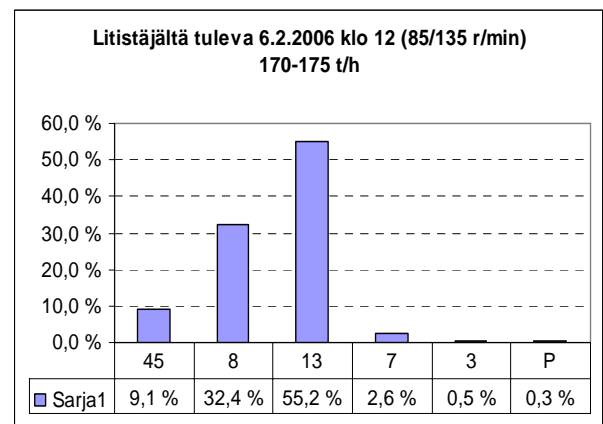
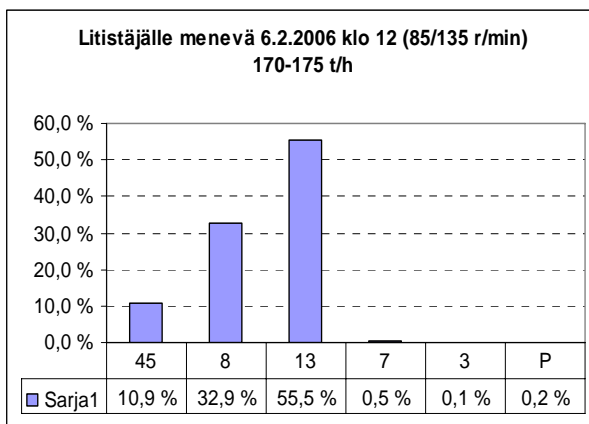
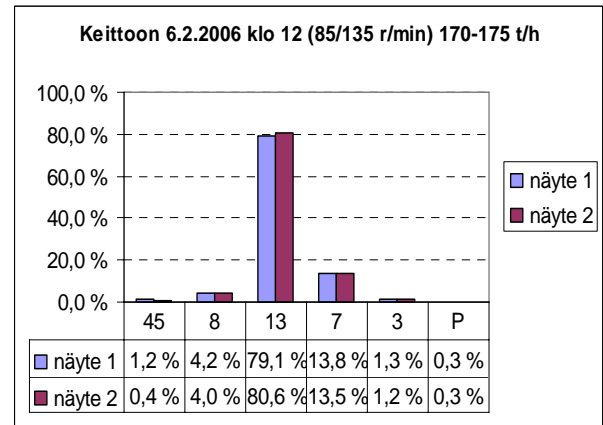
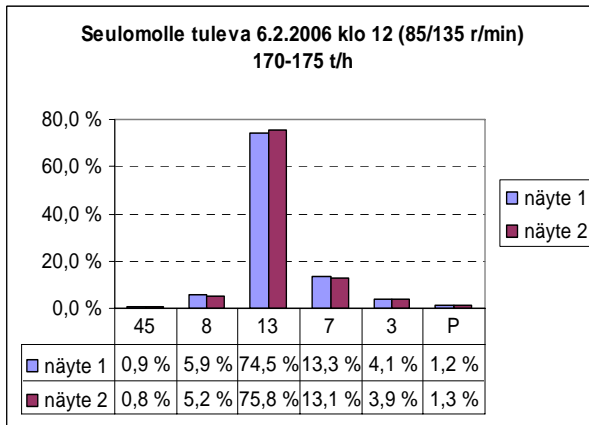
1. BMH Wood Tecnology. Paksuusseulonta: Käyttö- ja huolto-ohjeet. 2004.
2. Gullichsen, J., Fagerholm, C-J. Papermaking Science and Technology, book 6A, Chemical Pulping. Fapet Oy. Helsinki 1999.
3. Isokangas, Ari, Rumpukuorinnan puuhäviöiden mallintaminen ja optimointi. Diplomityö, Oulun yliopisto, Prosessi- ja ympäristötekniikan osasto. Oulu 2000.
4. KnowPap – Paperitekniikan ja automaation oppimisympäristö. Versio 3.0.
5. KnowPulp – Sellutekniikan ja automaation oppimisympäristö. Versio 2.4.
6. Oy Metsä-Botnia Ab. [www-sivu]. [viitattu 27.03.2006] Saatavissa: <http://www.metsabotnia.com/>
7. Puusta paperiin, Puun käsittely, M-201. Metsäteollisuuden Työnantajaliitto. Lappeenranta 1979.
8. Seppälä, M., Klemetti, U., Kortelainen V.-A., Lyytikäinen, J., Siitonen, H. & Sironen, R. Kemiallinen metsäteollisuus I: Paperimassan valmistus. Saarijärvi 2002.
9. Sixta, Herbert. Handbook of Pulp, vol. 1. Weinheim 2006
10. Tapion taskukirja. Keskusmetsälautakunta Tapion julkaisu. 20. uudistettu painos. Jyväskylä 1986.

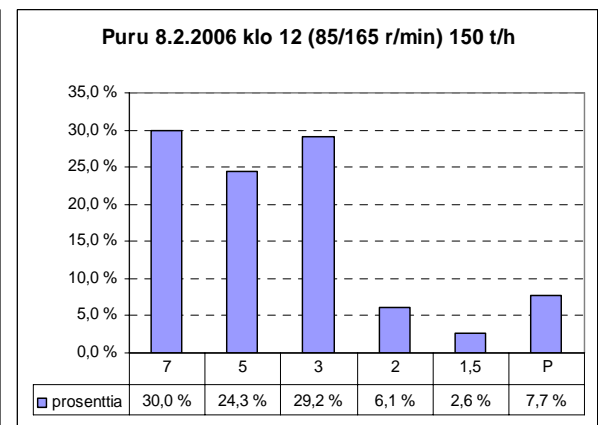
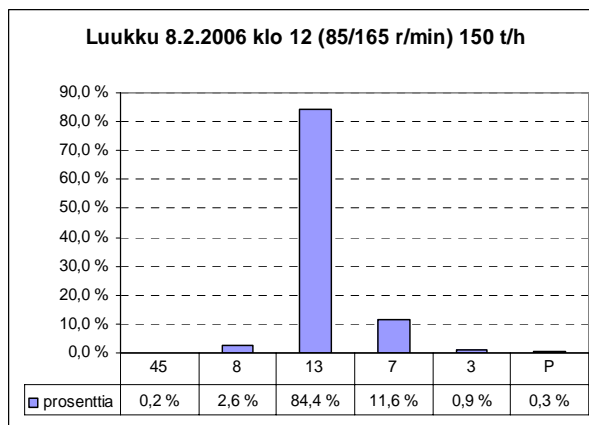
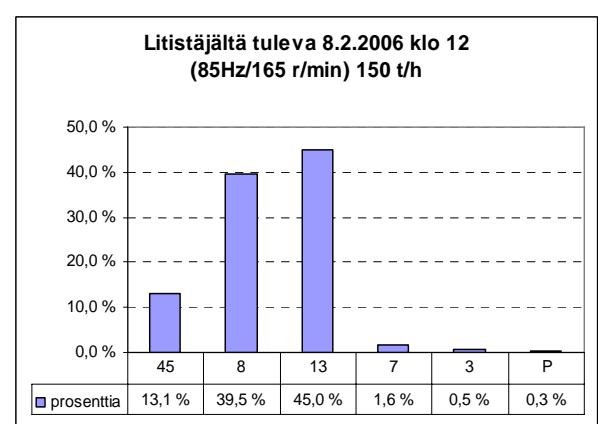
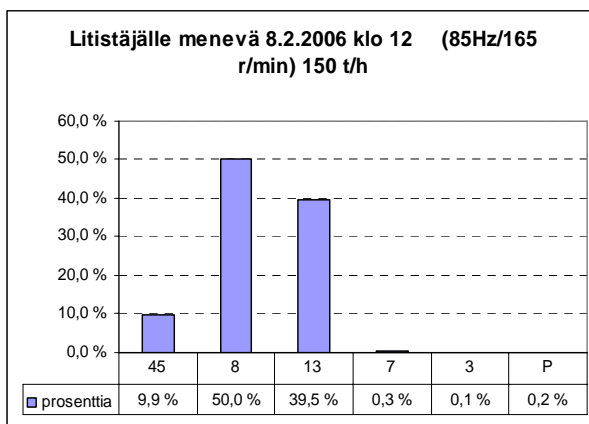
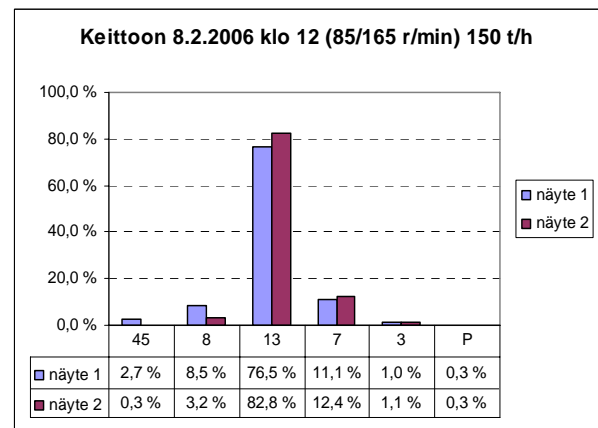
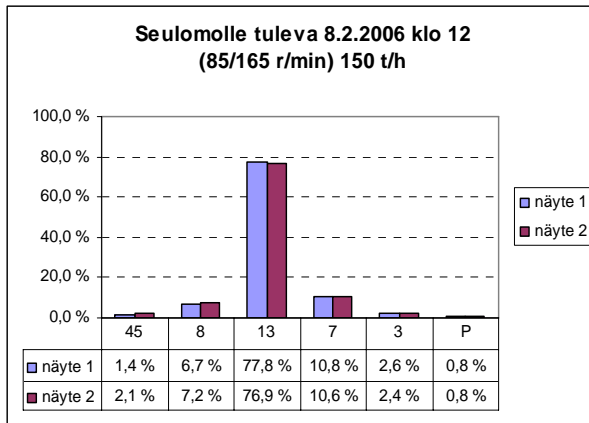


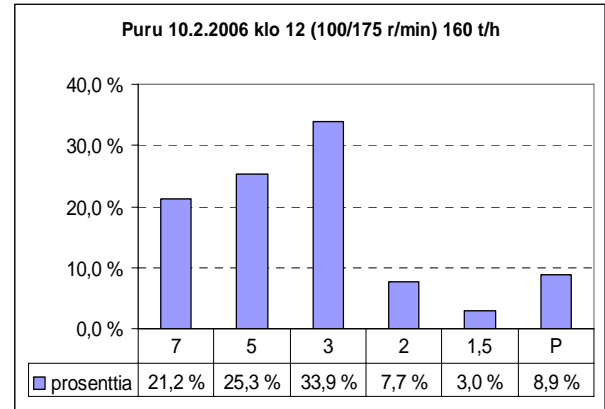
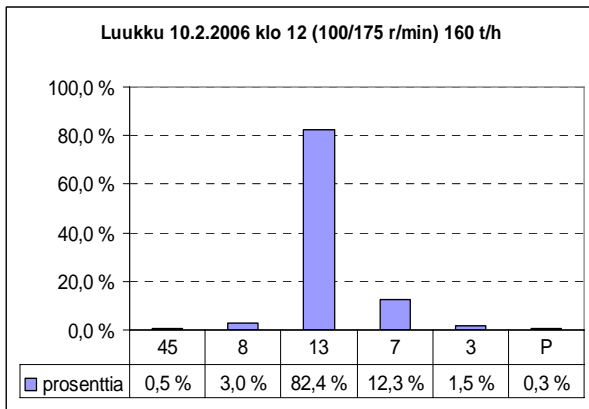
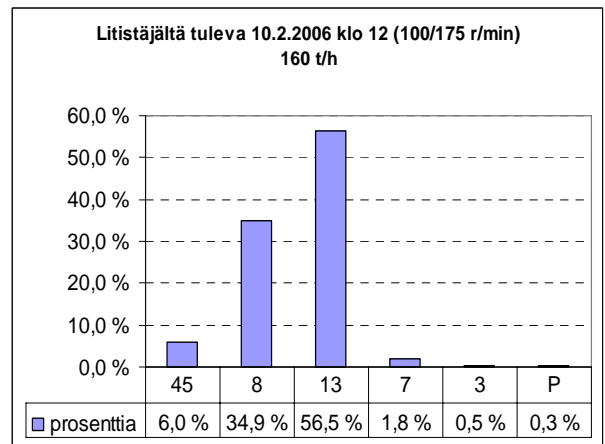
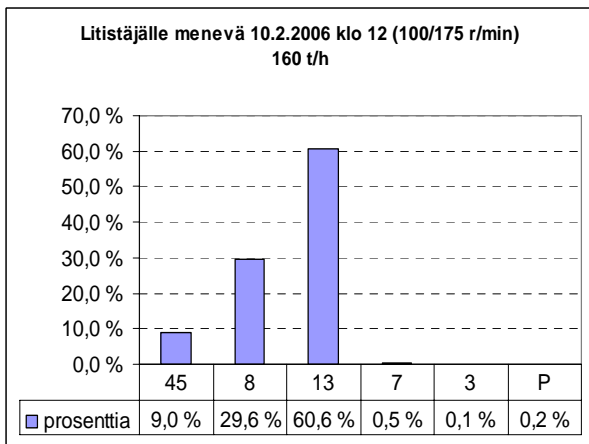
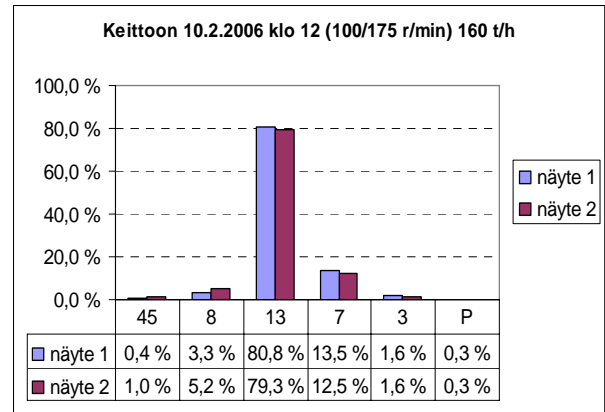
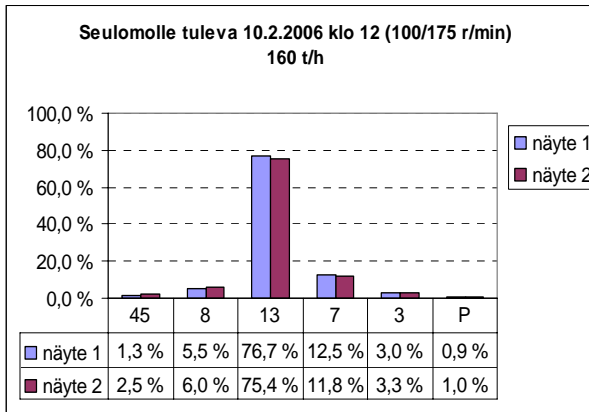


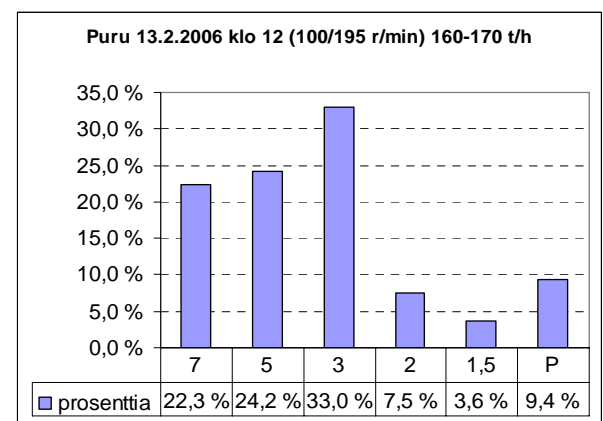
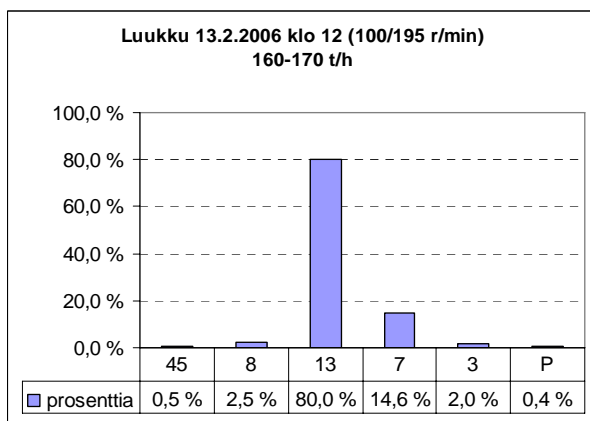
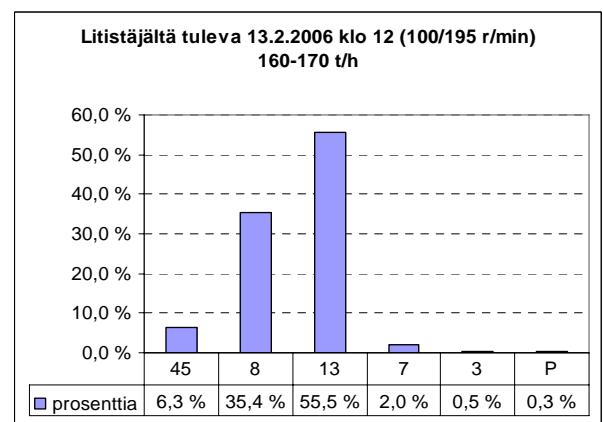
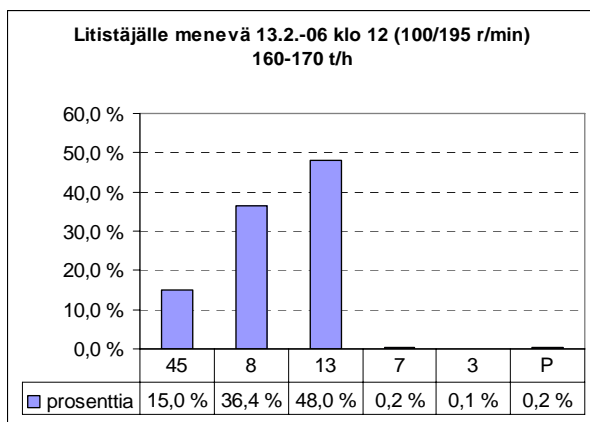
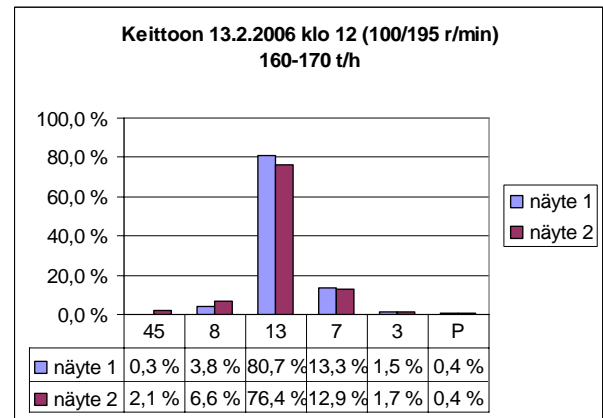
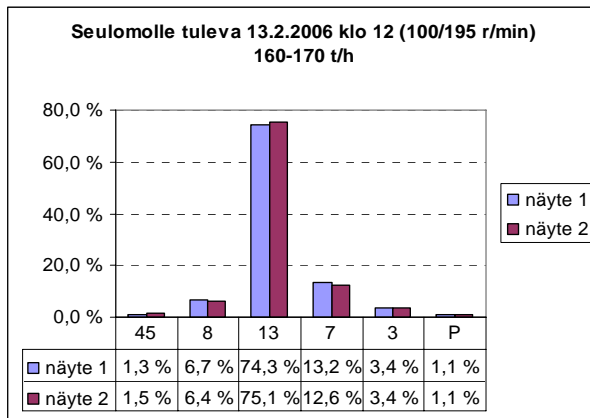


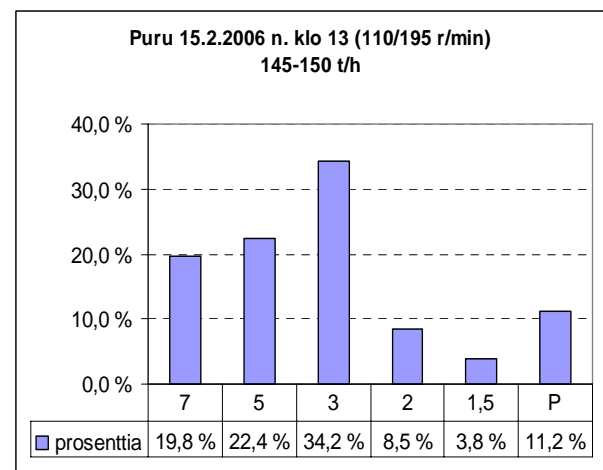
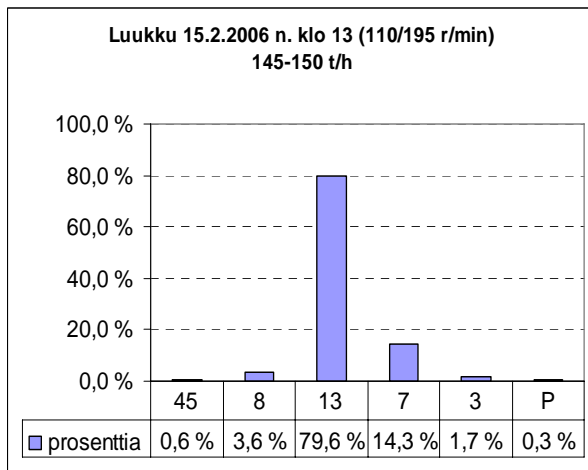
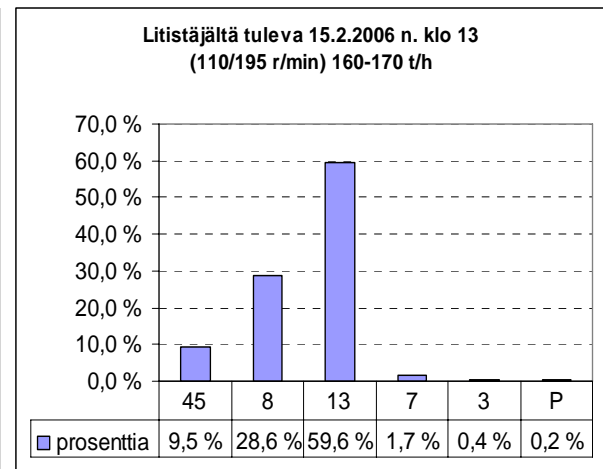
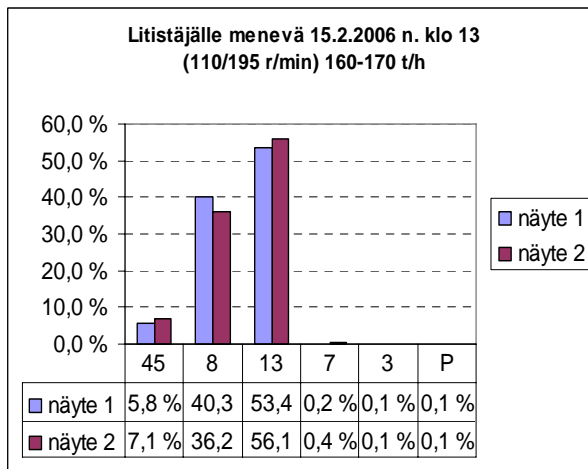


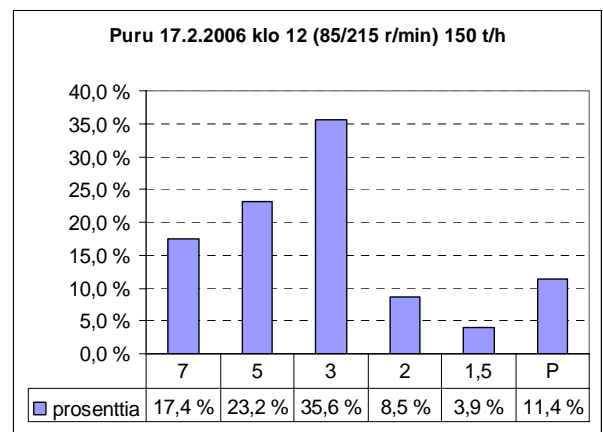
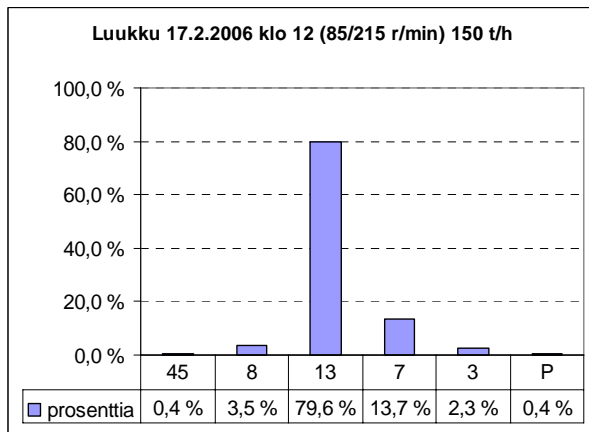
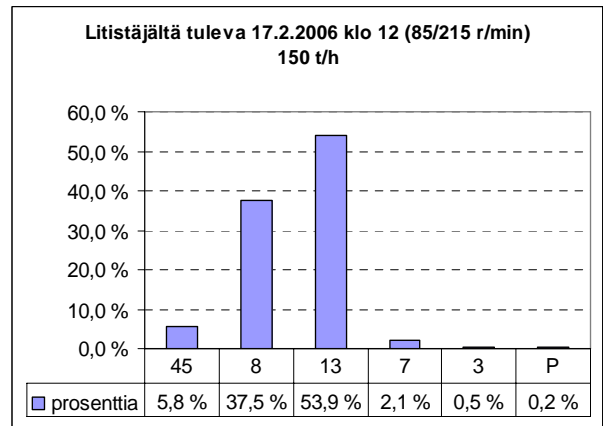
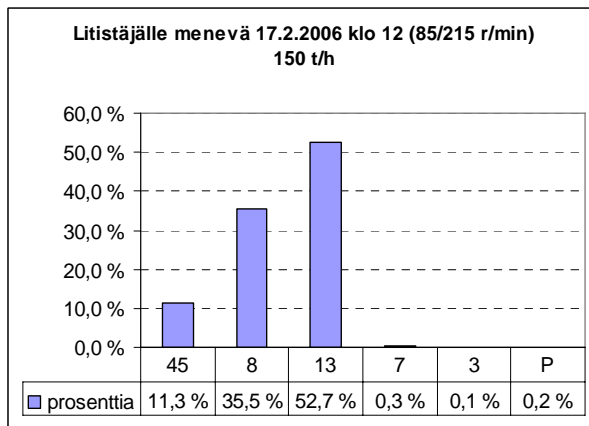
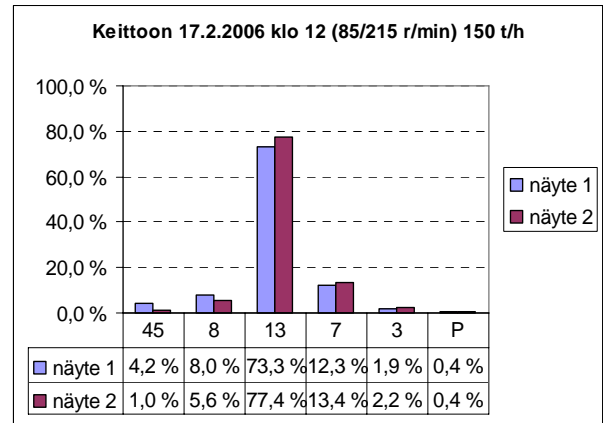
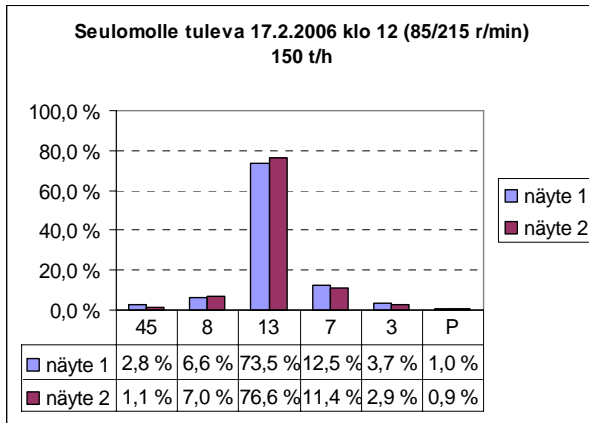


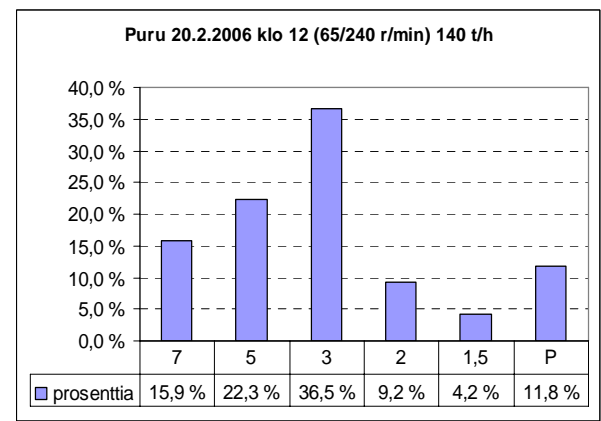
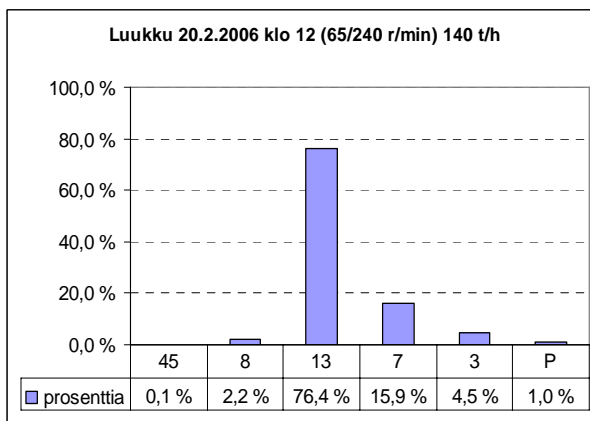
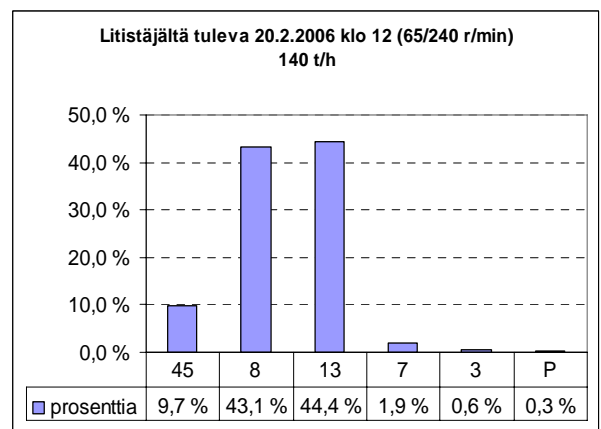
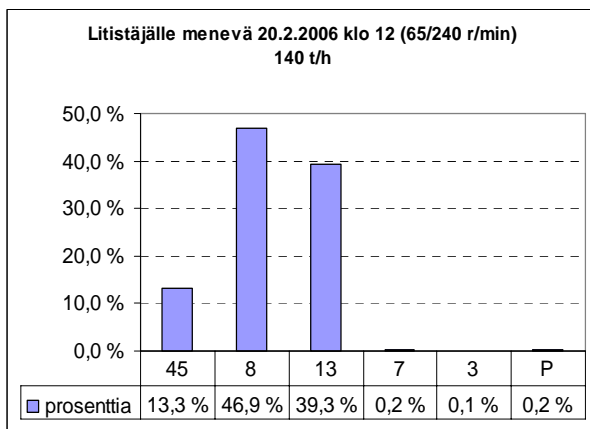
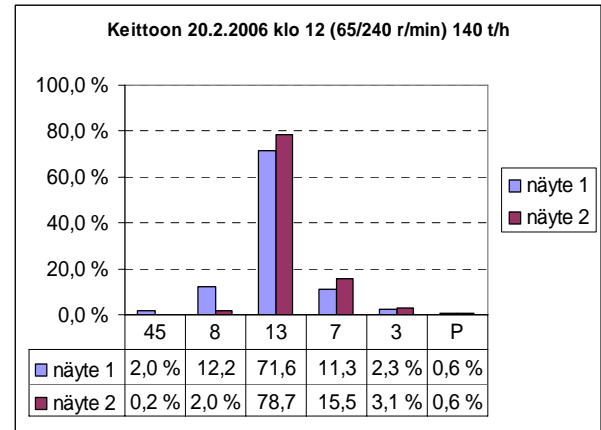
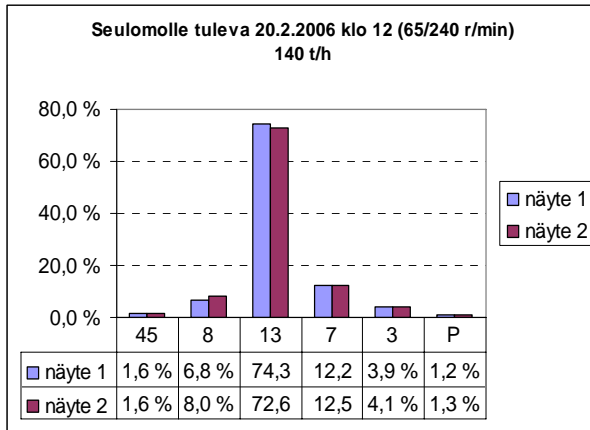












Hakemäärän muutos tonneista irtokuutioiksi helmikuussa

