

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Paperitekniikan koulutusohjelma
Paperitekniikka

Opinnäytetyö

Simo Karjalainen
MEKAANINEN MASSA SC-PAPERISSA; TUTKIMINEN JA ANALYSOINTI

Työn ohjaaja: DI Arto Nikkilä
Työn teettäjä: Metso Paper, valvoja Saija Lampinen
Tampere 2008

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

Paperitekniikan koulutusohjelma

Paperitekniikka

Karjalainen, Simo Mekaaninen massa SC-paperissa; tutkiminen ja analysointi

Opinnäytetyö

81 sivua + 9 liitesivua

Työn ohjaaja

DI Arto Nikkilä

Työn teettäjä

Metso Paper, valvoja Saija Lampinen

Toukokuu 2008

Hakusanat

mekaaninen massa, TMP, PGW, SC-paperi

TIIVISTELMÄ

Työssä analysoitiin mekaanisten massojen ominaisuuksia SC-paperin raaka-aineina. Tärkeimpänä tavoitteena oli löytää ominaisenergiakulutukseltaan edullisesti jauhettavaa massaa, jonka laadulliset ominaisuudet olisivat riittävät SC-paperin raaka-aineeksi.

Työssä käsiteltiin neljää TMP-massaa ja yhtä PGW-massaa. Massat olivat jauhettu Metso Paper Anjalankosken koelaitoksella. Näitä massoja verrattiin yhteen käytössä olleeseen tehdasmassaan, joka toimi referenssinä mittauksille.

Massamittaukset suoritettiin Anjalankosken koelaitoksella, jonka jälkeen laboratorioarkkien valmistus ja testaus suoritettiin TAMK:ssa. Arkkien kalanterointi tapahtui TKK:n tiloissa Otaniemessä.

Turbiini- ja DD-massoilla oli paras energianominaiskulutus TMP-massoista. Ainoastaan PGW:n valmistus vei vähemmän energiaa.

Lujuusominaisuuksiltaan parhaat olivat LE- sekä STD-terillä jauhetyt massat. Parhaimmat optiset ominaisuudet olivat DD- ja PGW-massoilla.

Mikään testatuista massoista ei ole vielä valmis tehdastuotantoon. DD- ja turbiinijauhetut massat vaativat parempia lujuusominaisuuksia. LE- sekä STD-jauhetut massat kuluttavat liikaa energiaa.

Työ pitää sisällään salassa pidettävää aineistoa.

TAMPERE POLYTECHNIC UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Paper Technology

Paper Manufacturing

Karjalainen, Simo

Mechanical pulp in SC-paper; measuring and analyzing

Engineering Thesis

81 pages + 9 appendices

Thesis Supervisor

Arto Nikkilä (MSc)

Comissioning Company

Metso Paper, supervisor Saija Lampinen

May 2008

Key words

Mechanical pulp, TMP, PGW, SC-paper

ABSTRACT

In this thesis mechanical pulp properties were analyzed in general aiming to find a way to produce mechanical pulp with lower energy consumption for SC-paper grades.

There were 5 different pulps in all to be analyzed, four of those were refined using TMP process, one of the pulps were traditional PGW-pulp. All the results were compared to mill pulp which worked as a reference.

The pulps were analyzed at Metso Paper fiber technology center in Anajalankoski. Sheets were made and analyzed at Tampere University of applied science. The calandering were done at Helsinki University of technology in Espoo.

The SEC of turbine pulp and double disc pulp were significantly lower when comparing to reference TMP pulp. Only the PGW pulp used less energy.

The LE- and standard pulps had the best strenght qualities. On the other hand, the optical properties weren't as good as the PGW- and DD pulps had.

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ ABSTRACT

SISÄLLYSLUETTELO	1
1 JOHDANTO	4
2 TYÖN KUVAUS	4
3 HIERTEEN VALMISTUS	5
3.1 Hiertomenetelmät	6
3.1.1 Kuumahierre	6
3.1.2 Kemikuumahierre	6
3.2 Hiertämisen vaiheet	7
3.2.1 Hakkeen esikäsittely	7
3.2.2 Hiertoprosessi	7
3.2.3 Jauhituksen valvonta ja ohjaus	8
3.3 Hierrejauhimen rakenne ja toimintaperiaate	9
3.3.1 Yksikiekkojauhin	9
3.3.2 Kaksikiekkojauhin	10
3.3.3 Levy-kartiojauhin	11
3.3.4 Kartiojauhin	12
3.4 Jauhinterät	12
3.4.1 Jauhinterien materiaali	13
3.4.2 Vaihtoehtoiset terämallit	13
3.4.2.1 Low Energy -terät	14
3.4.2.2 Turbiiniterät	14
3.5 Hierremassan lajittelu ja jälkikäsittely	15
3.5.1 Painelajittimet	15
3.5.2 Pyörrepuhdistus	16
3.5.3 Rejektin käsittely	16
4 HIOKKEEN VALMISTUS	17
4.1 Hiontaprosessit	17
4.1.1 Painehieke	18
4.1.2 Painehiomakone	19
4.2 Hionnassa vaikuttavat tekijät	19
4.2.1 Kiven teroitus	19
4.2.3 Suihkuvedet	20
4.2.4 Kiven kehänopeus	20
4.2.5 Kiven kuormitus	20
5 KOKEELLINEN OSA	20
5.1 Massat	Error! Bookmark not defined.
5.1.1 Massan hajotus	Error! Bookmark not defined.
5.1.2 Latenssi	Error! Bookmark not defined.
5.2 Märkähajoittaminen	Error! Bookmark not defined.
5.3 Sakeuden määrittäminen	Error! Bookmark not defined.
5.4 Tikkujen poisto	Error! Bookmark not defined.

5.5 Arkitus	Error! Bookmark not defined.
5.5.1 Massa-arkit	Error! Bookmark not defined.
5.5.2 Seosarkit	Error! Bookmark not defined.
5.6 Retentioaineen laimennus	Error! Bookmark not defined.
5.7 Pigmentti sekä sen laimennus	Error! Bookmark not defined.
5.8 Kalanterointi	Error! Bookmark not defined.
6 MITTAAMINEN, LAATUSUURET JA NIIDEN MERKITYKSET	<i>Error! Bookmark not defined.</i>
6.1 Massasta tehdyt mittaukset	Error! Bookmark not defined.
6.1.1 Suotautuvuus	Error! Bookmark not defined.
6.1.2 Kuidun pituus ja kuitupituusjakauma	Error! Bookmark not defined.
6.1.2.1 Bauer Mcnett	Error! Bookmark not defined.
6.1.2.2 Fiberlab	Error! Bookmark not defined.
6.1.2 Tikkupitoisuus	Error! Bookmark not defined.
6.2 Paperitekniset mittaukset	Error! Bookmark not defined.
6.2.1 Neliömassa	Error! Bookmark not defined.
6.2.2 Tiheys ja paksuus	Error! Bookmark not defined.
6.2.3 Tuhka	Error! Bookmark not defined.
6.2.4 Kiilto	Error! Bookmark not defined.
6.2.5 Ilmanläpäisy ja huokoisuus	Error! Bookmark not defined.
6.2.6 Repäisylujuus	Error! Bookmark not defined.
6.2.7 Optiset ominaisuudet	Error! Bookmark not defined.
6.2.8 Vetolujuus ja venymä	Error! Bookmark not defined.
6.2.9 Pinnankarheus	Error! Bookmark not defined.
7 MITTAUSTULOKSET	<i>Error! Bookmark not defined.</i>
7.1 Massamittaukset	Error! Bookmark not defined.
7.1.1 Suotautuvuus	Error! Bookmark not defined.
7.1.2 Energian ominaiskulutus	Error! Bookmark not defined.
7.1.3 Kuidun pituus ja hienoaine	Error! Bookmark not defined.
7.1.4 Kuitujakauma	Error! Bookmark not defined.
7.1.4.1 Päälinjamassat	Error! Bookmark not defined.
7.1.4.2 Prima-massat	Error! Bookmark not defined.
7.1.4.3 Kierroslukumassat	Error! Bookmark not defined.
7.1.5 Tikkupitoisuus	Error! Bookmark not defined.
7.2 Pohja-arkit	Error! Bookmark not defined.
7.2.1 Neliömassa	Error! Bookmark not defined.
7.2.2 Tiheys	Error! Bookmark not defined.
7.2.3 Tuhka	Error! Bookmark not defined.
7.2.4 Huokoisuus	Error! Bookmark not defined.
7.2.5 Karheus	Error! Bookmark not defined.
7.2.6 Optiset mittaukset	Error! Bookmark not defined.
7.3 Massa-arkit	Error! Bookmark not defined.
7.3.1 Neliömassa	Error! Bookmark not defined.
7.3.2 Tiheys	Error! Bookmark not defined.
7.3.3 Huokoisuus (ilmanläpäisevyys)	Error! Bookmark not defined.
7.3.4 Karheus	Error! Bookmark not defined.
7.3.5 Optiset ominaisuudet	Error! Bookmark not defined.
7.3.6 Repäisylujuus	Error! Bookmark not defined.
7.3.7 Vetolujuus	Error! Bookmark not defined.
7.3.8 Venymä	Error! Bookmark not defined.
7.4 Kalanteroidut arkit	Error! Bookmark not defined.
7.4.1 Neliömassa	Error! Bookmark not defined.
7.4.2 Tiheys	Error! Bookmark not defined.
7.4.3 Huokoisuus (ilmanläpäisevyys)	Error! Bookmark not defined.
7.4.4 Karheus	Error! Bookmark not defined.

Simo Karjalainen

7.4.5 Pinnankarheus	_____	Error! Bookmark not defined.
7.4.6 Kiilto	_____	Error! Bookmark not defined.
7.4.7 Opasiteetti	_____	Error! Bookmark not defined.
7.4.8 Valonsirontakerroin ja ISO-vaaleus	_____	Error! Bookmark not defined.
7.4.9 Repäisylujuus	_____	Error! Bookmark not defined.
7.4.10 Vetolujuus	_____	Error! Bookmark not defined.
7.4.11 Venymä	_____	Error! Bookmark not defined.
8 LOPPUTULOKSET JA PÄÄTELMÄT	_____	<i>Error! Bookmark not defined.</i>
8.1 Standardi	_____	Error! Bookmark not defined.
8.2 Low Energy	_____	Error! Bookmark not defined.
8.3 Turbiini	_____	Error! Bookmark not defined.
8.4 Double Disc	_____	Error! Bookmark not defined.
8.5 PGW	_____	Error! Bookmark not defined.
8.6 Kierroslukumassat	_____	Error! Bookmark not defined.
8.7 Sellun merkitys	_____	Error! Bookmark not defined.
8.8 Kalanteroinnin merkitys	_____	Error! Bookmark not defined.
9 PÄÄTELMÄT	_____	<i>Error! Bookmark not defined.</i>
LÄHDELUETTELO	_____	<i>Error! Bookmark not defined.</i>

1 JOHDANTO

Kuumahierteen (TMP) käyttö paperinvalmistuksessa on kasvussa. TMP:n suosio perustuu sen hyviin lujuusominaisuuksiin, joiden ansiosta on sellun määrää tietyissä paperilaaduissa pystytty vähentämään. Joissain tapauksissa sellun käytöstä on voitu luopua kokonaan.

Suurin haittapuoli TMP:n valmistuksessa on sen suuri sähkönkulutus. Paperinvalmistajat ja laitetoimittajat ovat jo pitkään yrittäneet vähentää TMP:n energiankulutusta. Säästöjä pyritään löytämään ennen kaikkea kehittämällä uusia, energiataloudellisia terämalleja ja optimoimalla hierreprosessia. Usein kuitenkin sähkönkulutuksen vähentäminen heikentää massan laadullisia ominaisuuksia liikaa.

Suuria läpimurtoja TMP:n energiankulutuksen vähentämiseksi ei olla vielä löydetty, mutta kehitys alalla jatkuu maailmalla intensiivisesti.

2 TYÖN KUVAUS

Työssä tutkittiin viittä erilaista mekaanista massaa, joiden tuloksia verrattiin referenssimassaan. Referenssimassana toimi todellisuudessa käytössä oleva TMP-tehdasmassa. Massoista neljä oli TMP-massaa ja yksi PGW-massa. TMP-massat erosivat toisistaan jauhatustavan tai terämallin perusteella. Massat olivat, lukuun ottamatta DD-massaa, jauhettu Metso Paper Anjalankosken koetehtaalla. Raaka-aineena oli jokaisella TMP-massalla samanlainen kuusihake.

Massat analysoitiin Inkeroisissa Metson Paperin omissa tiloissa. Massa-analyysien jälkeen valmistettiin arkkeja käyttäen ainoastaan puhdasta mekaanista massaa. Massa-arkit valmistettiin ns. päälinjaumassasta (vähemmän jauhettu, korkeampi freeness) ja prima-massasta (teoriassa valmis SC-paperin raaka-aine, matala freeness). Arkituksessa käytettiin hyväksi kiertovesimenetelmää, jotta hienoaineen osuus voitiin vakioda.

Lisäksi jokaisesta prima-massasta valmistettiin kaksi koesarjaa seosarkkeja.

Toisessa koesarjassa sellun osuus massasta oli 10 % ja toisessa 20 %.

Täyteaineen (kaoliini) osuus, noin 30 %, pyrittiin pitämään vakiona koesarjojen välillä. Arkit kalanteroitiin käyttäen kahta erilaista nippikuormaa: 200 kN/m ja 300 kN/m.

Valmiista arkeista tehtiin tarvittavat paperitekniset mittaukset. Tuloksia verrattiin toisiinsa ja tehtiin johtopäätökset.

3 *HIERTEEN VALMISTUS*

Tyypillisesti hierre valmistetaan haketetusta puuraaka-aineesta joko yhdessä tai kahdessa vaiheessa. Kuorittu ja haketettu puu-aines syötetään jauhimien terien väliseen tilaan, jossa hakepalat lopulta kuituuntuvat yksittäisiksi kuiduiksi mekaanisen rasituksen sekä lämmön vaikutuksesta. Usein hierrettä tehtäessä apuna voidaan käyttää erilaisia ligniiniä pehmentäviä kemikaaleja tai lämmitystä.

Hierteen raaka-aineena käytetään yleensä havupuita, joista kuusi on osoittautunut parhaaksi, vaikka myös mäntyä käytetään. Lehtipuut, ennen kaikkea haapa on myös tulossa hierteen raaka-aineeksi. Tämä koskee etenkin kemihierrettä, joka vaatii erityisen hyvälaatuisen puuraaka-aineen.

Yleensä laadukkaimpiin papereihin käytetyt mekaaniset massat valkaistaan ennen käyttöä. Tyypillisesti tähän käytetään peroksideja ja ditioniittia. Poikkeuksena tässä on kemihierre (CTMP, APMP), joka usein kelpaa paperinvalmistukseen ilman valkaisua.

Hierteen valmistus vaatii huomattavan määrän energiaa. Yleisesti on laskettu valmistuksen vievän 2 – 3,5 MWh/t jauhatusasteen mukaan. Tämä on huomattavasti enemmän kuin muut massanvalmistusmenetelmät. Nykyään prosessin energiataloutta on pyritty parantamaan erilaisilla lämmöntalteenotto- ja kierrätysjärjestelmillä.

Alla esitelty erilaisia hiertomenetelmiä

- RMP –(Refiner Mechanical Pulp) = kylmähierre, atmosfäärinen hierto. Saanto 97,5 %
- TMP –(Thermo Mechanical Pulp) = kuumahierre, hakkeen esilämmitys ja hierto paineen alaisena. Saanto 97,5 %
- CMP) –(Chemi-Mechanical-Pulp) = Kemihierre, hakkeen kemikaalikäsittely ennen hiertoa. Saanto 80 %–95 %
- CTMP –(Chemi-Thermo-Mechanical Pulp) = kemikuumahierre, lievä kemikaalikäsittely ennen hiertoa ylipaineessa. Saanto yli 90 %./1, 2, 6/

3.1 Hiertomenetelmät

3.1.1 Kuumahierre

Kuumahierteen valmistuksen erikoisuutena on hakkeen esilämmitys ennen hiertoprosessia. Lämmityksellä pyritään pehmentämään kuidussa olevaa ligniiniä jotta kuidut irtautuisivat toisistaan paremmin ja säilyttäisivät kokonsa ja muotonsa paremmin. Hakkeen lämmitys tapahtuu hiertoprosessista tulevalle höyryllä joko atmosfäärissä (80–95 °C) tai paineenalaisessa astiassa (105–122°C). Esilämmityksen kesto on noin 1,5–5 min. Ylipaine esilämmityksessä on noin 0,5–1 baria. Korkea lämpötila esilämmityksessä parantaa lujuusominaisuuksia, alhaisempi on edullinen optisille ominaisuuksille. Paineellisesta esilämmityksestä hake syötetään ensimmäisen vaiheen jauhimelle jossa on 3–5 barin ylipaine sekä 143–158:n asteen lämpötila. Ensimmäisen vaiheen jälkeen hierretty massa puhalletaan höyryn avulla toiselle jauhimelle, jossa on suunnilleen sama paine sekä lämpötila. Höyry otetaan talteen ja hierre ohjataan pää- ja rejektilinjalle ennen paperikonetta./1, 2, 6/

3.1.2 Kemikuumahierre

Kemikuumahierteen valmistu kuumahierreestä eroaa hakkeen kemiallisella esikäsittelyllä. Tällä pyritään pehmentämään kuituja ennen varsinaista hiertämistä. Tyypillisesti kemikaalikäsittely parantaa kuidutusta, jolloin on mahdollista saada alhaisempi tikkupitoisuus vähemmällä jauhatuksella. Kemikaaleina käytetään natriumsulfaattia, lipeää sekä jossain tilanteissa vetyperoksidia.

Hakkeen käsittely kemiallisesti on mahdollistanut lehtipuiden käytön hierteen valmistuksessa. Se on myös mahdollistanut paremmin yksilöidyn massan valmistamisen tietyille paperilaaduille./1, 6/

3.2 Hiertämisen vaiheet

3.2.1 Hakkeen esikäsittely

Haketusprosessin jälkeen lastut lajitellaan tasoseuloissa tai kiekko-seuloissa. Seulonnan tarkoituksena on erotella purujae sekä ylisuuri jae, joka murskauksen jälkeen palautetaan takaisin prosessiin. Hakkeen seulomisen jälkeen se on valmis siirrettäväksi hakesäiliöön.

Ennen hiertoprosessia hake on kuitenkin pestävä. Pesun tavoitteena on poistaa hakkeen joukosta purujae, joka on kulkeutunut hakkeen mukana hakesäiliöön. Prosessissa poistuvat myös muut epäpuhtaudet kuten kivet, hiekka, metalliromut ja raskaat jakeet, jotka voisivat olla haitallisia jauhimen terille sekä huonontaa massan laatua. Hakkeen pesuun käytetään pesulaitteistossa kiertovettä, jota sekoitetaan voimakkaasti, jolloin epäpuhtaudet irtoavat tehokkaasti. Pesun jälkeen ylimääräinen vesi poistetaan ennen esilämmitystä. Hakkeen pesuvettä lämmitetään hiertämisestä saadulla energialla. Tyypillisesti lämpötila pesussa on noin 70–80 °C. Korkealla pesuveden lämpötilalla pyritään lisäämään ja tasoittamaan hakkeen kosteutta.

Pesun ja vedenpoiston jälkeen hake ohjataan esilämmittimeen, jossa sitä lämmitetään höyryllä muutaman minuutin ajan. Seuraavaksi hake syötetään hierrejauhimeen jauhattavaksi./1, 2, 6/

3.2.2 Hiertoprosessi

Hiertoprosessissa pestystä hakkeesta jauhetaan valmista hierremassaa. Hake syötetään kiekkojauhimen terien väliin, jossa se jauhetaan aluksi pienemmiksi tikkumaisiksi palasiksi, edelleen kuitukimpuiksi ja lopulta yksittäisiksi kuiduiksi. Hierteen ominaisuudet riippuvat paljon jauhatukseen käytetyn energian määrästä ja jauhatusolosuhteista. Kuidun irtoamistapahtuman perusmekanismina toimii

monien nopeiden rasispulsien johtaminen puuaineeseen. Hakkeen kuidutuksessa ja kuitujen jauhatuksessa hake kuituuntuu ja kuidut muokkautuvat muotoonsa puristus- ja leikkausvoimien vaikutuksesta. Puristusvoimat aiheuttavat kuidun puuaineen lämpenemistä ja rakenteen löystymistä. Leikkausvoimat taas hajottavat puuaineen kuitukimpuiksi ja edelleen yksittäisiksi kuiduiksi. Jauhatusvaihe muokkaa kuituja. Niiden haiventuminen ja taipuisuus lisääntyvät, pinta-ala kasvaa sekä sitoutumiskyky paranee./1, 2, 6/

3.2.3 Jauhatuksen valvonta ja ohjaus

Jauhatusta hallinnalla pyritään pitämään vakiona jauhatukseen vaikuttavat tekijät. Niitä muutoksia, joita ei pystytä vakioimaan, voidaan mitata ja säätötoimenpitein hoitaa. Edellytyksenä kuitenkin on, että muutokset jotka vaikuttavat massan laatuun, ovat tiedossa. Käytännössä tähän on vielä hankala päästä puutteellisten tietojen vuoksi. Puutteelliset tiedot koskevat esimerkiksi puuraaka-ainetta, terien kuntoa, energianominaiskulutusta ja jauhatussakeutta.

Jauhatustulos riippuu seuraavista muuttujista:

- kuitu
- jauhatuksen määrä
- jauhatustapa
- prosessiolosuhteet.

Jauhimen syötössä tavoitteena on pitää hakkeen laatu mahdollisimman tasaisena.

Laatusuureina tässä toimii

- puulajisuhde
- hakkeen kosteus (mahdollisimman tasainen, yleensä noin 50 %)
- jakeiden koko (vähän pieniä ja suuria jakeita)
- lämpötila (vakio, noin 100 °C)
- tiheysvaihtelu (mahdollisimman pieni)
- sahaakeannostelu.

Jauhatuksen määrä riippuu aina jauhimen läpi ajetusta tuotannosta ja käytetystä moottoritehosta. Tätä säädetään muuttamalla jauhimen terärakoa, jotta

saavutettaisiin tavoiteltu energianominaiskulutus. Jauhatuksen määrä riippuu myös käytetystä jauhatustavasta./1/

Jauhatustapa vaikuttaa oleellisesti saatavaan kuitumateriaaliin. Korkea intensiteettinen, raju jauhatus tuottaa alhaisen suotautuvuuden omaavaa massaa alhaisemmalla energiankulutuksella. Haittapuolena tässä on kuitupituuden ja repäisylujuuden heikkeneminen. Kuitupituuksia valvomalla saavutetaan juuri haluttu intensiteetti. Jauhatustapaan vaikutetaan jauhatuksen määrällä, prosessiolosuhteilla sekä ennen kaikkea terämällä.

Jauhatussakeutta hallitaan laimennusvettä lisäämällä. Normaalisti sakeus jauhatusvyöhykkeellä on noin 40–50 % ensimmäisessä vaiheessa ja 5 % pienempi seuraavassa vaiheessa. Yleisesti sakeuden alarajana pidetään 25 %:a. Tätä alhaisemmassa sakeudessa jauhetuissa massoissa lujuudet alkavat laskea ja tikkuisuus lisääntyy./1, 6/

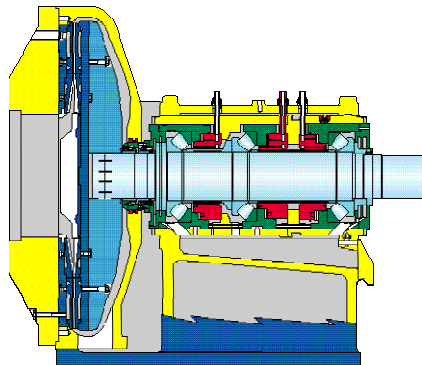
3.3 Hierrejauhimen rakenne ja toimintaperiaate

Jauhatuksessa käytetään levyjauhimia, joissa on kaksi teräkiekkoa. Teräkiekkojen pinnat valmistetaan valetuista segmenteistä kasaamalla. Jauhatuksessa laitteistoon kohdistuu suuria voimia, joka edellyttää akselilta, rungolta ja laakereilta vankkaa rakennetta. Rakennemateriaalina käytetäänkin ruostumattomia ja haponkestäviä metalleja. Terärakoa jauhimen sisällä on voitava säätää. Ainakin toisen teräkiekoista on oltava säädettävissä./1, 2/

3.3.1 Yksikiekkojauhin

Yksikiekkojauhin (SD, Single Disc) on rakenteeltaan yksinkertaisin levyjauhin (kuva 1), jonka toinen teräkiekko on pyörivä (roottori) ja toinen kiinteä (staattori). Terävällystä säädetään tarvittaessa liikuttamalla pyörivää teräkiekkoa. Hake syötetään prosessiin kiinteän teräkiekon keskiön läpi. Yksikiekkojauhimet voivat maksimissaan olla noin 1,8 metriä halkaisijaltaan. Tämän suuremmissa jauhimissa keskipakovoimat nousevat rakenteille liian suuriksi. Kierrosnopeudet

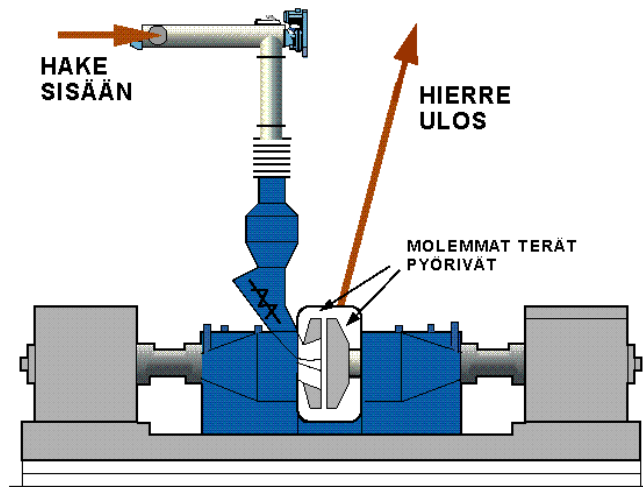
vaihtelevat 1000 rpm ja 2300 rpm välillä jauhimen koon mukaan. Yksikiekkojauhimissa on ainoastaan yksi moottori, jonka teho vaihtelee jauhimen koon mukaan suurimpien ollessa noin 20 MW. Tyypillisesti yhdessä jauhinlinjassa toimii kaksi jauhinta kytkettynä sarjaan rejektin ohjautuessa omalle jauhimelleen. Kapasiteetti tällaiselle jauhinlinjalle on noin 250 tonnia päivässä./1, 2, 6/



Kuva 1 Yksikiekkojauhin /6/

3.3.2 Kaksikiekkojauhin

Kaksikiekkojauhimen (DD, Double Disc) muodostaa kaksi vastakkaisiin suuntii pyörivää teräkiettoa (kuva 3). Kumpaakin terää liikuttaa oma moottori. Tyypillisesti yhteenlaskettu teho on suurimmissa jauhimissa noin 30 MW. Jauhatuksessa kuituihin kohdistuu kaksinkertainen määrä iskuja yksikiekkojauhimeen verrattaessa. Hake syötetään terärakoon kiekossa olevien solien kautta. Teräsäädöt tehdään aina siirtämällä aukotonta kiekkoa. DD-jauhimen kierrosnopeudet ovat luonnollisesti huomattavasti SD-jauhimia suuremmat, korkeimmillaan noin 3600 rpm (2x1800 rpm). Teräkiettojen halkaisijat ovat samankokoisia muiden jauhintyyppien kanssa. Kaksikiekkojauhinta käytettäessä on mahdollista suorittaa hiertäminen ainoastaan yhdessä vaiheessa, esimerkiksi jauhettaessa massaa sanomalehtipaperin valmistukseen. Jauhin kuluttaa arviolta 15% vähemmän energiaa verrattaessa 1500 rpm DD-jauhinta 1500 rpm SD-jauhimeen jauhettaessa samaan freeness-tasoon. DD-jauhetussa massassa kuitujen pituudet ovat hieman lyhyempiä ja valonsirontakerroin hieman suurempi SD-jauhettuun massaan verrattuna./1,2,6/

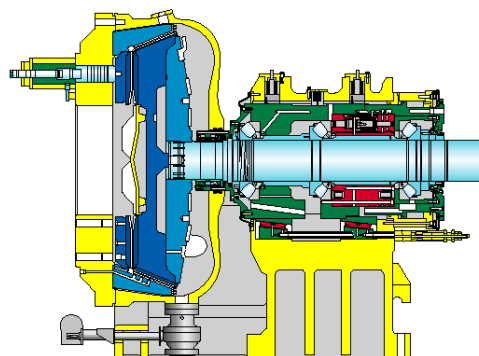


Kuva 3 DD-jauhimen toiminta periaate /6/

3.3.3 Levy-kartiojauhin

Levy-kartiojauhin (CD, Conical Disc) kehitettiin alun perin, jotta teräkiekon kokoa voitaisiin nostaa huolimatta suurista keskipakovoimista (kuva 4). Nykyään tämän tyyppin jauhimet ovatkin suurimpia markkinoilla. Terien halkaisijat ovat yli 2 metriä ja moottorin tehon ylittää 30 MW. Jauhimen perustana on käytetty SD-jauhinta, johon on lisätty kartio-osa. CD-jauhimessa teräkiekon ja kartio-osan välystä voidaan kumpaakin säätää erikseen. Tällä jauhatustavalla tuotettu massa on hieman pitkäkuituisempaa. Levy-kartiojauhin kuluttaa myös hieman normaalia jauhinta enemmän energiaa. Pääsyyinä jauhimen suurempi jauhatuspinta-ala./1, 2, 6/

LEVY-KARTIOJAUHIN



Kuva 4 Levykartiojauhin /6/

3.3.4 Kartiojauhin

Kartiojauhin (SC-90, Twin-jauhin) eroaa CD-jauhimesta siinä, että sillä on ainoastaan kartio-osa. Etuja tällä ratkaisulla on suurempi teräpinta-ala sekä teräraon tarkempi ja helpompi säädettävyys. Jauhimesta teräkierro pyörii kahden kiinteän terän välissä muodostaen kaksi jauhatusvyöhykettä maksimoiden tuotannon. Kartiojauhimilla on yhdessä CD-jauhinten kanssa suurin kapasiteetti. Jauhinlinja voi tuottaa jopa 550 tonnia kuumahierrettä päivässä jauhettaessa 1800 rpm nopeudella./1, 2, 6/

3.4 Jauhinterät

Jauhinterät ovat hierreprosessin tärkein osa-alue. Ne määräävät suurelta osaltaan massan ominaisuudet ja laadun. Jauhimen teräkierrokot koostuvat siihen kiinnitetyistä erillisistä terälohkoista, segmenteistä. Kokonaisuutena jauhinterä voidaan jakaa kolmeen eri osaan: keskuslevyyn, sisäterään ja ulkoterään. Terän pinta koostuu teräharjoista ja -urista. Ulkoterällä, jossa kuitukimput hajotetaan yksittäisiksi kuiduiksi, teräharjat ovat tiheimmillään./1, 2, 6/

Jauhinterillä pyritään vaikuttamaan höyryn sekä massan virtauksiin terävälissä sekä myös kuituuntumis- ja jauhatustapahtumaan. Terien suunnittelulla pyritään vaikuttamaan jauhimen ajettavuusominaisuuksiin, energiankulutukseen sekä massan laatuun./6/

Alla olevassa luettelossa esitelty erilaisten teräprofiilien vaikutusta hierro tuloksiin:

- Korkeat teräharjat ja syvät urat nopeuttavat massan viipymäaika terävälissä ja aiheuttavat pyörteitä.
- Matalat terävälit pakottavat massan tehokkaammin teräväliin. Ne nostavat viipymäaika.
- Leveät terävälit lisäävät höyrynpoistoa, heikentävät massan laatua

- Kapeat terävälit taas nostavat massan laatua mutta heikentävät höyrynpoistoa.
- Padoilla teräväleissä ohjataan massan ja höyryn virtauksia. Runsas ”padotus” heikentää höyrynpoistoa.
- Selektiiviuralla helpotetaan ajettavuutta sekä parannetaan höyrynpoistoa
- Hammaskulmalla pyritään säätelemään massan viipymäaikaa sekä höyryn virtauksia eri vyöhykkeillä./6/

Teräsegmentit vaihtelevat paljon eri tuotantoyksiköissä, koska eri tehtailla tarvitaan hieman erilaista massaa, jotta ajettavuus ja laatuominaisuudet olisivat parhaalla tasolla. Ensimmäisen ja toisen vaiheen jauhatus, sekä rejektin jauhatus vaativat myös kukin yksilöllisen teräratkaisun, jotta optimaalinen tulos voitaisiin savuttaa./1, 6/

3.4.1 Jauhinterien materiaali

Teräkiekkojen tulisi kestää suurta määrää sekä kemiallista että mekaanista kulutusta. Tämä asettaa suuret vaatimukset halutuille terämateriaaleille. Aluksi teräkiekkojen materiaalina käytettiin valkoista valurautaa. Pian kuitenkin kävi ilmi, että ne kestivät todella huonosti korroosiota. Pitempi kesto saavutettiin käyttämällä teräseoksia, joissa hiilipitoisuutta on vaihdeltu. Yleensä hiilipitoisuus vaihtelee väillä 0,5 %–1 %. Seosaineina teräseoksille käytetään pääasiassa kromia, mutta myös nikkeliä, molybdeeniä ja titaania käytetään. Nykyään terien kesto on noin 1000–3000 tuntia riippuen hierretystä massasta ja sen puhtaudesta./1, 2/

3.4.2 Vaihtoehtoiset terämallit

Tyypillisesti energiakustannukset hiertämöillä ovat noin 35 % hiertämön kokonaiskustannuksista ja ne muodostavat toiseksi suurimman meno-erän raaka-aineiden jälkeen. Uusimmilla teräratkaisuilla pyritään vähentämään merkittävästi energianominaiskulutusta kuitenkin massan laatuominaisuuksista tinkimättä.

Uusilla terätkaisuuilla pyritään vaikuttamaan massan viipymäaikaan terillä, höyryn määrään, lämpötilaan ja virtauksiin terillä sekä massan pumppauskulmiin./3, 7, 9/

Tutkitusti parhaimman tuloksen uudet terämallit antavat, mikäli niitä käytetään kartiojauhinessa. Kartiojauhimen suurempi teräväli ja paremmat säätöominaisuudet auttavat prosessin pitämistä stabiilina.

3.4.2.1 Low Energy -terät

Low-energy -terät (LE) kehitettiin nimensä mukaisesti vähentämään energian kulutusta hiertämöillä. LE-terillä pyritään vähentämään massavirran viipymäaika terillä ja siten vähentämään ominaisenergiankulutusta. Tyypillisesti LE-terillä jauhettu massa käyttää jopa noin 20 prosenttia vähemmän energiaa kuin standarditerillä jauhettu massa.

Laadulliset ominaisuudet ovat hyvin lähellä standarditerillä jauhettua massaa. Samaan freeness-arvoon ajettaessa kuidun pituudet hieman pienenevät mutta vastaavasti tikkupitoisuus alenee. Venymä ja vetolujuus pysyvät standardin tasolla, mutta repäisylujuus hieman alenee. Optiset ominaisuudet vastaavasti ovat jopa standarditerillä ajettuja massoja paremmat.

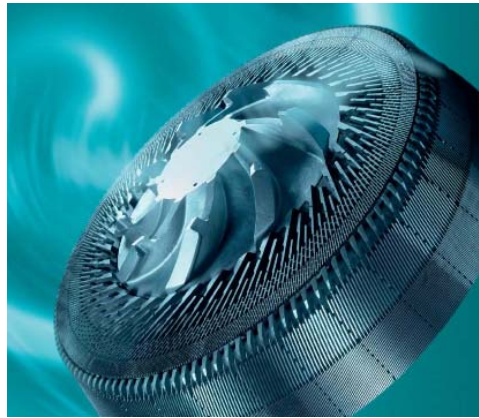
Tarvittaessa kuidun pituutta voidaan kasvattaa painetta nostamalla. Tämä kuitenkin samalla laskee massan vaaleutta./7, 9/

3.4.2.2 Turbiiniterät

Perinteisesti jauhinteriä on pyritty kehittämään kokemuksen ja kokeilun kautta. Kuvassa 5 esitelty turbiiniterä on poikkeus tästä kaavasta. Se on ensimmäinen suurimmalta osalta matemaattisiin malleihin perustuva terämalli.

Turbiiniterät perustuvat materiaali- ja höyryvirtojen tarkkaan optimointiin. Prosessin lämpötila turbiiniterillä on huomattavasti muita teriä alempi, jolla saavutetaan alhaisempi energianominaiskulutus. Alhaisempi lämpötila parantaa myös optisia ominaisuuksia huomattavasti, jopa niin paljon että massan valkaisu on joissain tilanteissa pystytty luopumaan täysin.

Lujuudet jäävät turbiiniterillä ajettaessa hieman standardiin ja LE-terää heikommiksi. Vastaavasti optiset ominaisuudet ovat näitä paremmat sekä energiankulutus pienempi. /7, 8, 9/



Kuva 5 Turbiiniterä /8/

3.5 Hierremassan lajittelu ja jälkikäsittely

Hierteen lajittelu eroaa kivihiokkeen lajittelusta siten, että karkealajittelu on tarpeeton hierteen vähäisemmän tikkupitoisuuden vuoksi. Hierre lajitellaan käyttäen painelajittimia. Painelajittimien toiminta perustuu profiloituun rakolevyyn, joka on jokaisella massalla hieman erilainen vaihdellen massan laadun ja puhtauden suhteen. Nykyaikaisilla painelajittimilla on jo pystytty luopumaan kokonaan pyörrepuhdistimien käytöstä. /1/

3.5.1 Painelajittimet

Painelajittimissa hierre pumpataan painelajittimeen, jossa se kulkee paine-eron vaikutuksesta rakopinnan läpi. Energiankäyttöä pyritään optimoimaan syöttöpumpuilla, joissa on portaaton kierrosnopeuden säätö.

Painelajittelussa hyvään lopputulokseen päästään jatkuvalla hallinnalla ja säätötoimenpiteillä. Käytännössä lopputulokseen vaikuttavia suureita ovat:

- massan syöttöpaine sihdillä
- massan sakeus
- paine-ero syötön ja akseptin välillä

- rejektisuhde sekä rejektin laimennus
- roottorin pyörimisnopeus
- tuotannon määrä (käytössä olevien yksikköjen määrä).

Tärkein yksittäinen painelajitteluun vaikuttava tekijä on massan sakeus. Mikäli massalla on korkea sakeus, se on huomattavasti vaikeampi puhdistaa tehokkaasti, jolloin rejektisuhde kasvaa tarpeettoman korkealle./1/

3.5.2 Pyörrepuhdistus

Vaikkakin monilla tehtailla pyörrepuhdistuksesta on jo luovuttu hierteen lajittelussa, se on silti osalla hiertämöistä yhä tärkeä osa prosessia.

Pyörrepuhdistimen toiminta perustuu keskipakovoimaan ja siihen, että hyväksytyt kuidut käyttäytyvät puhdistimessa erilalla kuin kuitukimput, tikut ja muut epäpuhtaudet. Pyörreliike puhdistimen sisälle saavutetaan syöttämällä lajiteltava massa tangentiaalisesti kartiokkaan lajittimen laajempaan päähän. Aksepti massajae poistuu puhdistimen laajemmasta päästä ja rejekti ohuemmasta päästä. Parhaiten pyörrepuhdistimet toimivat alhaisessa massan sakeudessa (alle 0,5%). Tähän kuitenkin harvoin päästään koska alhainen sakeus lisää huomattavasti käyttö- ja investointikustannuksia./1, 6/

3.5.3 Rejektin käsittely

Lajittelusta tullut rejektimassa ohjataan rejektijauhatukseen. Ensin massa on kuitenkin saostettava. Esisaostus tapahtuu kaarisihdeillä, joilla saavutetaan noin 3–4 % sakeus. Kaarisihdit poistavat myös massan hienoainetta, joka on edullista itse jauhatusta ajatellen. Varsinaisina saostimina käytetään kiekkosuodattimia ja erilaisia puristimia. Näillä toimenpiteillä päästään yli 30 % sakeuteen.

Rejektijauhimet ovat samanlaisia jauhimia kuin päälinjan jauhimet, ainoastaan segmenttien kuviointi on erilainen. Jauhatuksen jälkeen massa ohjataan painelajittimille ja tuotantoon. Tyypillisesti rejektilinjasta saatava massa on itse päälinjan-massaa parempaa, etenkin kuitujen sitoutumiskyvyssä on eroa./1/

4 HIOKKEEN VALMISTUS

Hioke valmistetaan siten, että halutut raaka-aineet, puut, ladotaan pölleinä kiven akselin suuntaisesti koneen uuniin. Puita painetaan uunin pyörivää kiveä vasten käyttäen hyväksi säädettävissä olevaa hiontapainetta. Tavoitteena saada puun kuidut poikittain hiontasärmien liikerataa vasten. Hiontaväyhykkeeseen suihkutetaan myös lämmintä vettä, jonka lämpötilaa on mahdollisuus säätää tarpeen mukaan./1/

Kuidun irtoamisen teoria

Kuidun irtoaminen vaatii energiaa. Hionnassa pyritään kuitu irrottamaan puusta välittämällä energia puuhun hiontakiven avulla. Hiontakivi aiheuttaa puuhun nopeaa värähtelyä (40000–50000 isku sekunnissa), joka lämmittää ja heikentää puunpintaa irrottaen ohuen kerroksen kuituja. Kuidun irtoaminen jatkuu kitkavoimien vaikutuksesta. Irronneet kuidunosat kulkeutuvat tämän jälkeen kiven pintakoloissa pois ja hajoavat lopullisesti hiomapinnan loppupuolella oleva mekaanisen paineen alla.

Tärkeä yksittäinen tekijä hiontapinnalla on vesi, joka muodostaa voitelevan kerroksen hiontarakeiden ja puun kuitujen väliin. Voitelukerroksella pyritään vähentämään kitkaa ja välittämään hiontakiven värähtelyt puuhun. Vesi myös jäädyttää puun pintaa estäen sen palamisen./1/

4.1 Hiontaprosessit

Yleisesti ottaen hiontaprosessit jaetaan päätyyppieihinsä prosessissa olevan ylipaineen ja suihkuvesien lämpötilan mukaan. Saanto hionnassa on noin 98,5 %.

Alla esitelty lyhyesti eri hiontaprosesseja:

Kivihioke (GW)

- Suihkuvesien lämpötila 65–75 °C. Massan lämpötila 10-25 °C korkeampi kuin suihkuvesien

Kuumahioke (TGW)

- Hieman kivihioketta korkeammat suihkuvesien lämpötilat. Saavutetaan lievällä ylipaineella.

Painehioke (PGW)

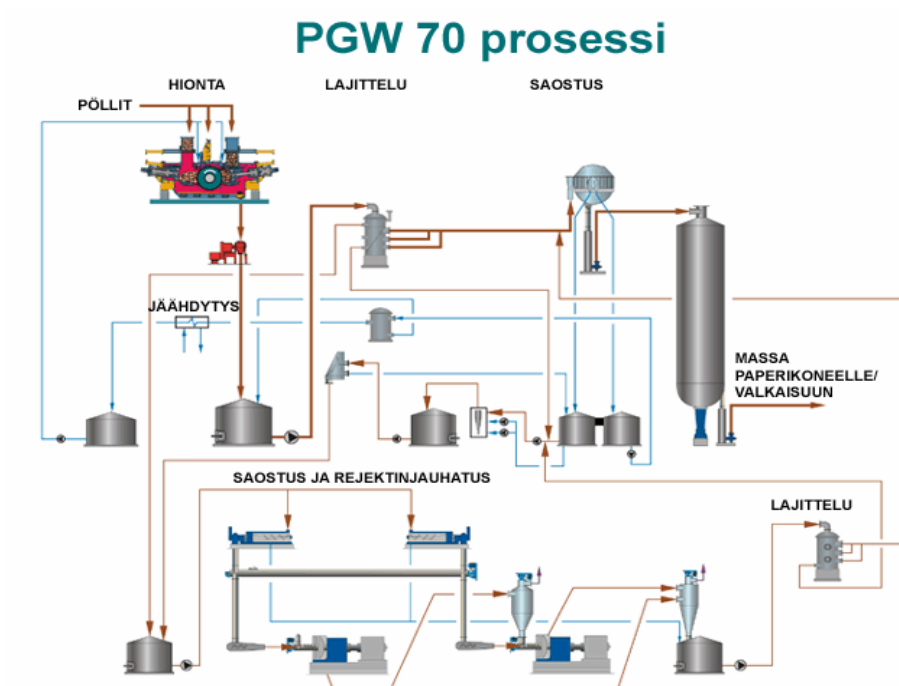
- Suihkuvesien lämpötila 90-95°C. Ylipaine noin 3 baria.

PGW70

- Suihkuvedet hieman PGW:a alaisemmat. Koko prosessi esitelty kuvassa 6.

Superpainehioke (PGW-S)

- Suihkuvesien lämpötila 120 °C. Ylipaine 5 bar./1, 2/



Kuva 6. PGW70 prosessi kokonaisuudessaan./6/

4.1.1 Painehioke

Painehiontamenetelmä (PGW) syntyi 1970- ja 1980 lukujen vaihteessa Tampellan ja MoDon yhteistyön tuloksena. Ensimmäiset koneet käynnistyivät Myllykoskella vuonna 1980. Vuonna 1998 käytössä tai tilattuna oli jo 102 painehiomakonetta./1/

Painehionnassa hionta tapahtuu paineen alaisena (enintään 3 bar) Suihkuvesien lämpötila on tyypillisesti 90–95 °C, jolloin myös poistuvan massan lämpötila

nousee tasolle 105-120°C. Raaka-aineen syöttö tapahtuu paineistetun välikammion kautta./1/

Painehionta voidaan suorittaa myös matalassa lämpötilassa (PGW70), jolloin hiokkeen ominaisuudet vastaavat hyvin vaativien mekaanisten painopaperien (LWC, SC, MWC) tarpeita. Alhaisemmalla lämpötilalla saadaan parempi massan vaaleus matalilla CSF-tasoilla, ja samanaikaisesti pystytään saavuttamaan tyypillinen painehiokkeen lujuus. Useilla painehiomoilla on lämpötilaa alennettu vastaamaan paremmin nykyajan vaatimuksiin./1, 2, 6/

4.1.2 Painehiomakone

Kaksiuunisessa painehiomakoneessa on kaksi paineistettua hiontauunia kiven vastakkaisilla puolilla. Hiomavyöhykkeen kokonaispituus on tällöin jopa 40 % kiven ympäröimistä.

Puu syötetään koneeseen sen yläpuolella olevien paineellisten syöttötaskujen kautta. Kun uuni on tyhjä, vetäytyy paineantura takaisin ja syöttötaskujen luukut avautuvat pudottaen puut uuniin. Täyttötapahtuman on automaattinen ja vie nykyaikaisissa koneissa ainoastaan 20–30 sekuntia. Yhden uunillisen hiominen kestää tyypillisesti 5–15 minuuttia. Puulajit, -laadut ja massalajit vaikuttavat hionnan kestoon./1,2,3/

Painehiomakoneen kiven halkaisija on noin 1,8 metriä ja normaali kehänopeus noin 28 m/s. Moottorin teho tyypillisesti vaihtelee 4MW:n ja 8 MW:n välillä./1,2/

4.2 Hionnassa vaikuttavat tekijät

4.2.1 Kiven teroitus

Kiven teroituksella pyritään vaikuttamaan kiven pinnan muotoon ja säädellään pinta-alaa eli niitä hiontaraehuippuja, jotka koskettavat puuta hionnan aikana. Jos

kivi on terävä, ainoastaan rakeiden huiput koskettavat puuainesta ja hiontapaine kasvaa. Suuri hiontapaine saa aikaan karkeaa ja tikkuista hioketta. Pieni kuormituksen kevennys teroituksen jälkeen vähentää massan tikkupitoisuutta. Kiven teroituksella pyritään ennen kaikkea vaikuttamaan paperitekniisiin ominaisuuksiin./1/

4.2.3 Suihkuvedet

Suihkuveden tehtävän on puhdistaa hiomakiven pinta sekä jäähdyttää kivi. Alhaisessa suihkuveden lämpötilassa puu ei pehmene. Liian korkea lämpötila vastaavasti haihduttaa veden hiontapinnalta ja heikentää massan vaaleutta. Suihkuvesien määrä pyritään pitämään vakiona siten, että saavutetaan 1,5–2 %:n allassakeus./1/

4.2.4 Kiven kehänopeus

Kiven kehänopeutta säädetään tuotannon määrää. Yleisesti nopeudet liikkuva tasolla 20–40 m/s. Kehänopeuden lisääminen heikentää massan tasalaatuisuutta, vaaleus heikkenee ja kuidun pituus alenee. Kiven nopeutta vaihdettaessa on huomioitava myös kasvanut kuormitus. Suihkuvesiä ja kiven teroitusta on myös muutettava jotta hiontakivi kestää muutoksen./1/

4.2.5 Kiven kuormitus

Hiomakonetta kuormitetaan muuttamalla puuainesta työntävien anturoitten painetta. Koneen kuormituksen nostaminen lisää tuotantoa mutta samalla nostaa massan freeness-lukua. Jos halutaan pitää massan laatu samana tuotannon lisäämisestä huolimatta, on teroitusta kevennettävä./1/