

Opinnäytetyö

Mira Ojala

**GEKKO-KOELAITTEEN SOVELTUVUUS
METALLIHIHNAKALANTEROINNIN
PILOT-AJOJEN SIMULOINTIIN**

Työn ohjaaja TkL Päivi Viitaharju
Työn teettäjä Metso Paper Oy Järvenpää,
ohjaajana FL Reijo Pietikäinen
Tampere 2008

Ojala, Mira	Gekko-koelaitteen soveltuvuus metallihihnakalanteroinnin pilot-ajojen simulointiin
Opinnäytetyö	84 sivua + 31 liitesivua
Työn ohjaaja	Päivi Viitaharju, TkL
Työn teettäjä	Metso Paper Oy Järvenpää, ohjaajana tutkimuspäällikkö Reijo Pietikäinen, FL
Kesäkuu 2008	
Hakusanat	Gekko, koelaite, ValZone, simulointi, kalanterointi

TIIVISTELMÄ

Tämän työn tarkoituksena oli saada selville, miten hyvin Metso Paper Oy Järvenpään tasopuristukseen perustuva Gekko-koelaite soveltuu ValZone-metallihihnakalanterikonseptin pilot-ajojen simulointiin. Erityisesti kiinnitettiin huomiota simuloinnin epävarmuustekijöihin ja niiden vaikutuksen minimoimiseen. Lisäksi määritettiin kalanterointituloksen herkkyyttä Gekon säätösuureille. Herkkyyksianalyysin tavoitteena oli selvittää, miten ja kuinka laatu muuttuu Gekon tiettyjen prosessisuureiden mukaan. Tulosten perusteella analysoitiin, miten paljon Gekon suorituskyvyn rajoitukset aiheuttavat eroa Gekolla simuloidun kalanterointituloksen ja referenssinä olevan tuloksen välille.

Simuloitavuutta testattiin yhdellä paperilajilla (WFU) ja yhdellä kartonkilajilla (WLC). Metallihihna-pilot-kalanteri Calamarilla suoritetuista koeajoista valittiin referenssijot ja ne pyrittiin toistamaan Gekolla niin, että koeajo-olosuhteet vastaisivat mahdollisimman hyvin Calamarin koeajoa. Tuloksia tarkasteltiin Bendtsen-karheuden ja bulkin suhteen.

Kaiken kaikkiaan voidaan Gekon sopivuuden ValZone-kalanterikonseptin simulointiin päätellä olevan lupaavaa. Joidenkin työn aikana esiinnousseiden asioiden osalta jatkotutkimukset ovat kuitenkin suositeltavia.

Työhön kuuluu luottamuksellinen osuus.

Ojala, Mira	The suitability of the experimental device Gekko to simulate pilot trials of metal belt calendering
Engineering Thesis	84 pages + 31 appendices
Thesis Supervisor	Päivi Viitaharju, Lic. Tech.
Commissioning Company	Metso Paper Oy Järvenpää, as instructor research manager Reijo Pietikäinen, Ph. Lic.
June 2008	
Keywords	Gekko, experimental device, ValZone, simulation, calendering

ABSTRACT

The purpose of this study was to find out how well the platen-press experimental device Gekko of Metso Paper Inc. Järvenpää is suitable to simulate pilot trials of the metal belt calendering concept (ValZone). Especially, the factors causing uncertainty and ways to minimize the effects of them were spotlighted. The sensitivity of the certain controlled variables of Gekko was studied, too. The aim of the analysis of sensitivity was to clarify how and how much the quality of paper changes due to the changes of controlled variables of Gekko. According to the results of the analysis, the difference between the simulated quality of paper and reference quality was analysed.

The simulation was tested by using WFU and WLC. Reference trials of the metal belt pilot calender Calamari were chosen and the circumstances in those trials were replicated as accurately as possible. The results were considered in terms of bulk and Bendtsen roughness.

All in all, the suitability of Gekko to simulate pilot calendering can be considered as promising. In terms of some issues which came up during this study, additional clarifications are recommended.

There is also a confidential part in this study.

ALKUSANAT

Opinnäytetyö tehtiin Metso Paper Oy:n Järvenpään yksikön CCR RTD-osaston toimeksiannosta. Työ osoittautui sekä mielenkiintoiseksi että haastavaksi.

Lisähaastetta toi myös kiireinen aikataulu.

Haluan kiittää työni ohjaajaa FL Reijo Pietikäistä: väsymätön mielenkiintosi ja asiantuntemuksesi auttoivat asettamaan ”riman korkealle” ja tekemään sen ylityksestä mahdollisen.

Lisäksi kiitän Metso Paper Järvenpään yksikön työntekijöitä ja alihankkijoita – erityisesti Anne Lipposta (Insinööritoimisto Keijo Kärki Oy) – saamastani avusta ja kannustuksesta. Suuret kiitokset kuuluvat myös Jani Yli-Alholle, Tomi Nurmiselle ja Tony Lehdolle (Kenttäviiva Oy), joilla oli merkittävä vaikutus työni kokeellisen osuuden onnistumiseen. Erityiskiitoksen ansaitsee Metso Paper Oy Järvenpään paperilaboratorion henkilökunta, josta oli suurta apua näytteiden mittaamisessa.

Opinnäytetyön ohjaaminen kuului Tampereen ammattikorkeakoulun lehtorille Päivi Viitaharjulle; häntä kiitän palautteesta ja opastuksesta.

Tampereella kesäkuussa 2008

Mira Ojala

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

ALKUSANAT

LYHENTEET

1	JOHDANTO	8
2	PAPERIN KÄYTTÄYTYMINEN KALANTERIN NIPISSÄ	9
2.1	Nippitapahtuma	9
2.2	Paperin muodonmuutosten mekanismit.....	9
2.3	Kalanterointitekijät	10
2.3.1	Mekaaninen kuormitus	11
2.3.2	Paperin lämpötila	12
2.3.3	Paperin kosteus	14
2.3.4	Kalanterointitekijöiden yhteisvaikutus	15
2.4	Kalanteroitumismekanismit.....	16
3	MB-PILOT-KALANTEROINNIN SIMULOINTI	18
3.1	Pilot-prosessin tutkiminen tasopuristuskoelaitteella	18
3.1.1	Kalanteroinnin tutkiminen pilot- ja laboratoriolaitteilla.....	18
3.1.2	Kalanteroitumismekanismit tasopuristusprosessissa.....	20
3.2	Tasopuristuskoelaitte Gekko	21
3.3	MB-pilot-kalanterointi.....	23
3.3.1	Calamari-pilot-kalanteri	23
3.3.2	Kalanterointivyöhyke	24
4	YHTEENVETO JA PÄÄTELMÄT	26
	LÄHDELUETTELO	27
	LIITTEET	30

LYHENTEET

BS	alapuoli (bottom side)
CI 95	95 %:n luottamusväli
dev.	hajonta
hinnapulssi	metallihihnakalanterin erikoispulssi, jossa lisäkuormitusta ei ole
ka	keskiarvo
MB-kalanteri	metallihihnakalanteri
MB-pulssi	metallihihnakalanterin painepulssi
WLC-kartonki	valkopintainen keräyskuitukartonki (white lined chipboard)
WFU-paperi	päällystämätön hienopaperi, kopiopaperi (woodfree uncoated paper)
TS	yläpuoli (top side)

1 JOHDANTO

Kalanterointi on viimeinen vaihe paperin valmisprosessissa. Tällöin paperitekniisiin ominaisuuksiin voidaan vielä vaikuttaa. Kalanterointiprosessin ilmiöitä, trendejä ja muutossuuntia tutkitaan paljon. Tutkiminen tapahtuu useimmiten joko pilot- tai laboratoriokalantereilla tai muuntotyypisillä koelaitteilla.

Gekko-koelaitte on Metso Paper Järvenpäässä kehitetty ja rakennettu tasopuristustyypinen koelaitte, joka on tarkoitettu mm. pilot-kalanteroinnin tarpeisiin. Gekolla on pienten laboratoriokalantereiden hyvät puolet: kokeita voidaan tehdä pienemmässä mittakaavassa kuin pilot-laitteilla, mikä alentaa kustannuksia. Gekko on myös pilot-kalantereihin verrattuna rakenteensa ja toimintaperiaatteensa vuoksi helpommin muunneltavissa. Periaatteessa Gekolla on jopa mahdollista simuloida kalanteriratkaisuja, joita ei ole vielä edes olemassa.

Tämän työn tavoitteena oli selvittää, kuinka hyvin Gekko soveltuu pilot-kalanteroinnin simulointiin. Erityisesti kiinnitettiin huomiota siihen, millä edellytyksillä Gekko-ajojen tulokset korreloivat parhaiten pilot-ajojen kanssa: tarkoituksena oli löytää simuloinnin epävarmuustekijät, selvittää niiden merkittävyys ja mahdollisuuksien mukaan eliminoida ne. Lisäksi analysoitiin kalanterointituloksen herkkyyttä Gekon säätösuureille.

Kalanterikonsepti, jonka simuloitavuutta tässä tutkimuksessa selvitettiin, oli Metson metallihihnakalanteri ValZone. Simuloitavuutta testattiin yhdellä paperilajilla (WFU) ja yhdellä kartonkilajilla (WLC). Työssä tarkasteltiin Metso Paper Järvenpään metallihihna-pilot-kalanteri Calamarin ja Gekon koeajojen korrelaatiota ja Gekko-säätösuureiden herkkyyttä Bendtsen-karheuden ja bulkin suhteen. Paperin muiden ominaisuuksien tarkastelu rajattiin työn ulkopuolelle.

2 PAPERIN KÄYTTÄYTYMINEN KALANTERIN NIPISSÄ

2.1 Nippitapahtuma

Kalanterin nippi muodostuu kahdesta toisiaan vasten puristavasta kontaktipinnasta (esim. teloista tai telasta ja hihnasta). Nipissä paperin mekaaninen rasitus kasvaa ensin maksimiinsa likimain nipin keskikohdalla ja palautuu taas nollassolle. Prosessin aikana paperiin syntyy nipissä vaikuttavien kalanteroitumismekanismien ansiosta muodonmuutoksia, jotka ilmenevät paperin rakenteessa, pinta- ja lujuusominaisuuksissa ja optisissa ominaisuuksissa. Pintaominaisuudet, kuten kiilto ja sileys paranevat. Samalla tapahtuu myös epätoivottujakin muutoksia: bulkki, jäykkyys ja optiset ominaisuudet kuten opasiteetti ja vaaleus huononevat. Kalanteroinnin jälkeen paperin pinta- ja taustapuolen ominaisuudet eivät välttämättä ole samanlaisia, mikä aiheutuu paperin toispuoleisuudesta ja kontaktipintojen eroavuudesta. Pinnat voivat erota toisistaan mm. kovuudeltaan ja pintalämpötiloiltaan. /23/

2.2 Paperin muodonmuutosten mekanismit

Paperin muodonmuutokset nipissä johtuvat kolmen eri mekanismin vaikutuksesta. Siksi paperilla voidaan myös sanoa olevan kolmenlaisia muodonmuutoksia: elastisia, plastisia ja viskoottisia. /23/

Paperilla on ns. lasisiirtymälämpötila, missä sen ominaisuudet muuttuvat jäykistä viskoottisemmiksi. Lasisiirtymälämpötilan alapuolella muodonmuutokset ovat suurimmaksi osaksi elastisia ja yläpuolella taas enenevässä määrin plastisia. Elastiset muodonmuutokset tarkoittavat palautuvia ja plastiset palautumattomia muutoksia paperin rakenteessa. Plastisuus siis kertoo, kuinka muokattavissa paperi on. Plastisten muodonmuutosten analysointia hankaloittaa se, että paperin eri komponenttien plastisuus vaihtelee. Mm. tämän vuoksi puupitoinen ja puuvapaa

paperi kalanteroituvat eri tavoin. Paperissa olevat pigmentit eivät tavallisesti ole plastisia, mutta pigmentitkin tarvitsevat plastisen ympäristön sideaineiden muodossa. Paperin elastisuuteen ja plastisuuteen eli elastoplastisuuteen vaikutetaan valmistusprosessin jälkeen paperin kosteudella ja lämpötilalla. /23; 20, s. 22/

Kuten edellä on mainittu, lasisiirtymälämpötilan yläpuolella paperin ominaisuudet ovat enenevässä määrin viskoottisia. Paperilla on viskoottinen luonne, mikä tarkoittaa sitä, että paperin rakenne muokkaantuu kuormituksen keston ja voimakkuuden mukaan. Pysyvä muodonmuutos vaatii myös riittävän pitkää kuormitusaikaa. /23; 4, s. 205/

Käytännössä paperin muodonmuutokset ovat tulosta kaikkien mekanismien yhteisvaikutuksesta eli paperin elasto-visko-plastisuudesta. Muodonmuutosten suuruus riippuu mekanismien yhteisvaikutuksesta ja tähän vaikuttavista kalanterointitekijöistä: mekaanisesta kuormituksesta, lämpötilasta ja kosteudesta. /23/

2.3 Kalanterointitekijät

Paperin muokkauspotentiaali eli kalanteroituvuus muodostuu jo paperia valmistettaessa ja päällystettäessä. Siihen vaikuttavat ainakin massakoostumus, käytetyt lisäaineet, päällystyspastan koostumus ja kalanteroimattoman paperin formaatio. Kalanterointiprosessin aikana kalanterointiin voidaan vaikuttaa kolmella päätekijällä, joita ovat mekaaninen kuormitus, paperin lämpötila ja paperin kosteus. /23/

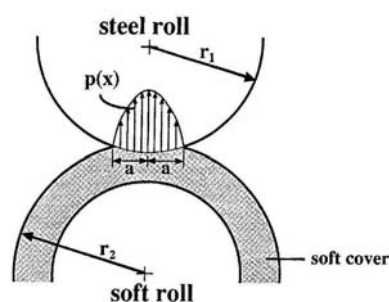
Tuotantomittakaavan kalantereiden säätösuureet, joilla paperin kuormitukseen, lämpötilaan ja kosteuteen vaikutetaan, riippuvat laitetyypistä: onko säädettävä laite perinteinen pyöriväteläinen vai laajemman kalanterointivyöhykkeen sisältävä

kalanteri, kuten kenkä- tai metallihihnakalanteri, vai onko laite tuotantolinjassa off-line- vai on-line-positiossa ja käytetäänkö lisäkostutusta. /23/

2.3.1 Mekaaninen kuormitus

Paperiin kohdistuu nipissä mekaaninen kuormitus, jota voidaan riittäväällä tarkkuudella karakteroida kalanterin nippikontaktin pintapainejakauman eli painepulssin avulla, jolloin kalanterointitulokseen vaikuttavat seuraavat tekijät: painepulssin muoto, painepulssin amplitudi (maksimipaine) ja painepulssin leveys. /23; 27/

Kalanterin nipissä syntyvä painepulssin muoto riippuu nipin tyypistä. Tähän työhön liittyvää MB-kalanteroinnin paineimpulssia käsitellään kappaleessa 4.3.2. Käytännössä on havaittu, että myös painepulssin muodon symmetrisyydellä tai epäsymmetrisyydellä on merkitystä /27/. Kuvassa 1 oleva nippi saa aikaan sini-muotoisen painepulssin, jonka painejakauma $p(x)$ voidaan laskea esim. Hertzin kontaktiteorian avulla (liite 1). /23, 3, s. 10–11/



Kuva 1. Painejakauma kova-pehmeä-telanipin tapauksessa. /3, s. 10/

Käytäntö osoittaa, että painepulssin amplitudilla eli maksimipaineella on hallitsevin vaikutus kalanterointitulokseen. Maksimipaine määräytyy kuormituksen, paperin jouston ja kalanteroivien pintojen ominaisuuksien kuten telan halkaisijan, pinnoitteen kovuuden ja pinnoitteen paksuuden mukaan. On havaittu, että kalanterointitulos kasvaa likimain logaritmisesti puristuspaineen

kasvaessa /14, s. 180–185/. Painepulssin kesto eli nippiaika taas määräytyy ajonopeuden ja nipin pituuden perusteella. Telanipissä nipin pituuteen vaikuttavat samat asiat kuin nippipaineeseen. Painepulssin kesto vaikuttaa myös välillisesti kalanterointitulokseen lämmönsiirtymisen kautta. /21, s. 28–29; 4, s. 207/

Painepulssin suuruutta kuvataan joskus paineimpulssilla, joka on integraali nippipaineesta ajan suhteen. Impulssi sinänsä ei kerro kalanterointituloksesta, eikä se välttämättä korreloi saavutettuun paperin laatuun. Tiedetään kuitenkin, että saman impulssin omaavilla painepulsseilla on eri kalanterointivaikutus, jos toisen maksimipaine on korkeampi. /27/

2.3.2 Paperin lämpötila

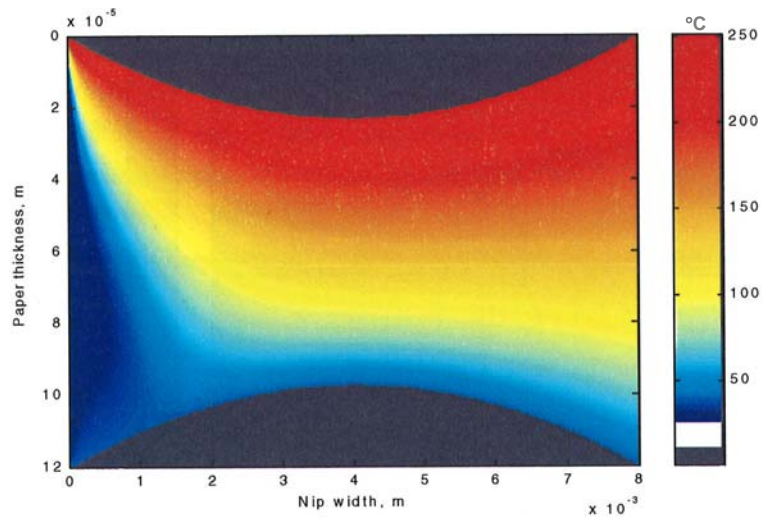
Lämpötilaa nostamalla paperi plastisoituu helpommin ja nopeammin, jolloin saavutetaan yleensä paremmat pintaominaisuudet alhaisemmalla nippipaineella /3, s. 22–23/. Off-line-kalanteroinnissa radan lämpötila ennen nippiä on 30–40°C ja on-line-kalanteroinnissa noin 60–80°C /27/.

Lämpötilagradientti

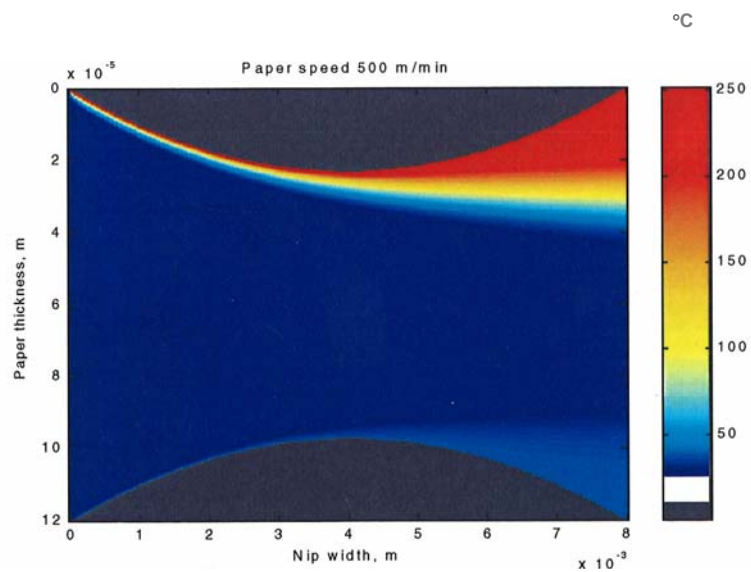
Kun paperin paksuussuunnassa esiintyy lämpötilaeroja, on kyse lämpötilagradientista. Kalanteroinnissa syntyvä lämpötilagradientti muodostuu paperin pintaosan lämmitessä termotelan vaikutuksesta sisäosaa enemmän. /5, s. 35/

Mitä suurempi lämpötilaero paperin ja kalanteroivan pinnan välillä on, sitä voimakkaampi on gradientti. Lisäksi lämmönsiirtyminen kalanteroivasta pinnasta, paperin lämmönjohtavuus ja paksuus sekä aika, jona paperi koskettaa kalanteroivaa pintaa, vaikuttavat gradientin muotoon ja suuruuteen. Kuvassa 2 on esitetty suuri ja kuvassa 3 pieni lämpötilagradientti. Suuri lämpötilagradientti säästää paperin

sisäosan bulkkia sen plastisuuden ollessa pintaosia alhaisempi. /3, s. 22–23; 5, s. 32–35/



Kuva 2. Paperin lämpötilajakauma ajonopeudella 5 m/min. /3, s. 33–34/



Kuva 3. Paperin lämpötilajakauma ajonopeudella 500 m/min. /3, s. 33–34/

2.3.3 Paperin kosteus

Paperin kosteus vaikuttaa paperin plastisuuteen huomattavasti. Kosteuden noustessa paperin muodonmuutokset muuttuvat plastisemmiksi, kun taas kosteuden lasku aiheuttaa muodonmuutosten elastisuutta, eli paperi pyrkii nipin jälkeen palautumaan alkuperäiseen muotoonsa. Korkeammassa kosteudessa kalanteroituun paperiin saadaan yleensä parempi sileys kuin alhaisemmassa kosteudessa kalanteroituun paperiin. /5, s. 39; 1, s. 446/

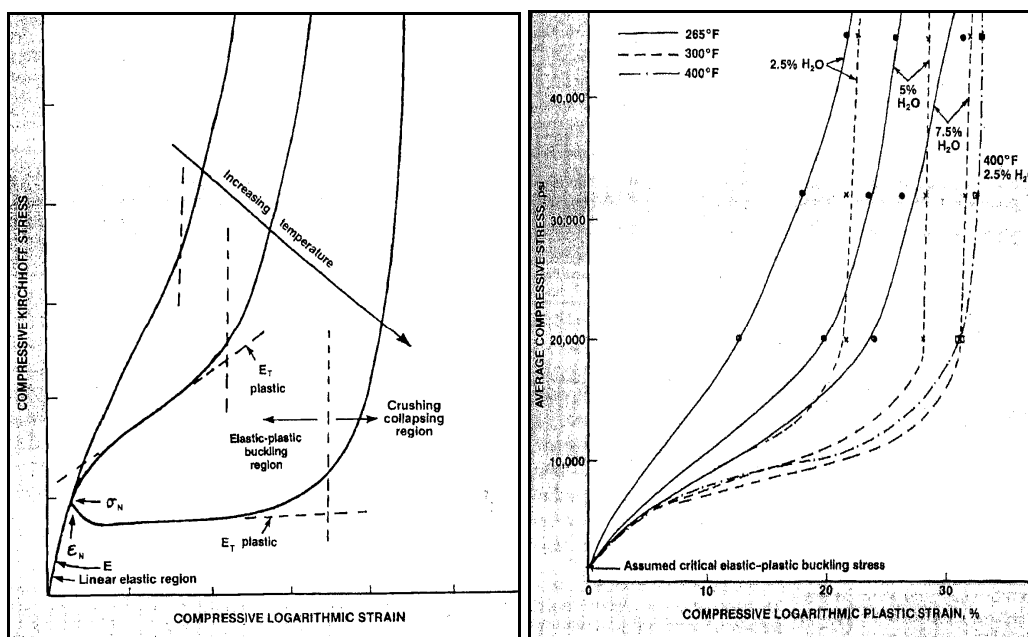
Kalanterointiprosessi aiheuttaa joitakin rajoituksia paperin kosteudelle: käytetty kosteus on usein noin 4 %:sta 9 %:iin. Paperin kalanteroiminen liian märkänä aiheuttaa mm. ylikalanteroitumista ja kalanterointimustumaa. /23/

Kosteusgradientti

Kosteusgradientilla ymmärretään paperin paksuussuunnassa esiintyvää kosteusvaihtelua. Normaalisti sylinterikuivatuksen jälkeen paperin pinnan kosteuspitoisuus on keskiosaa matalampi. Käytännössä kosteusgradientti voidaan saada aikaan kostuttamalla paperin pintaa. Jos paperin pintakerroksen kosteuspitoisuutta nostetaan ennen kalanterointia, paperin kalanteroitumistulos paranee tiettyyn rajaan saakka, ja paperin keskiosan bulkki jää korkeammaksi kuin ilman kosteusgradienttia. Gradientti voi myös syntyä termotelan voimakkaan lämmityksen vaikutuksesta kosteuden liikuessa paperin kylmempää pintaa kohti. /5, s. 37–38; 27/

2.3.4 Kalanterointitekijöiden yhteisvaikutus

Mekaanisen kuormituksen, lämpötilan ja kosteuden yhteisvaikutusta paperin plastisuuteen voidaan tarkastella Rodalin esittämien muodonmuutos-mallien avulla. Kuvassa 4 olevat kuvaajat esittävät paperin sisäisten jännitysten voimakkuuden suhteellisen logaritmisin puristuman funktiona. /12, s. 180/



Kuva 4. Paperin sisäisten jännitysten voimakkuus suhteellisen logaritmisin puristuman funktiona. /12, s. 180, 185/

Mallit kuvaavat paperin käyttäytymistä kalanterointiprosessin aikana eri olosuhteissa. Käyriltä nähdään, miten plastinen muodonmuutos syntyy eri tekijöiden seurauksena. Kummastakin mallista voidaan erottaa kolme erityyppistä aluetta seuraavasti: Ensimmäisellä alueella kuormituksen ollessa pieni ei plastista muodonmuutosta juuri esiinny, vaan muodonmuutos on elastista paperin suhteellisen puristuman ollessa korkeintaan 5 %. Toinen alue on kalanteroinnin kannalta oleellisin, sillä siinä tapahtuu suurin osa elasto-plastisista muodonmuutoksista. Kokoonpuristuminen voi olla noin 30 %. Kolmannella alueella kuituihin syntyy pysyviä vaurioita, jotka johtavat paperin fysikaalisten ominaisuuksien heikkenemiseen. /7, s. 36–39; 20, s. 17/

Lämpötila ja kosteus vaikuttavat oleellisesti kuvaajan muotoon. Lämpötilan ja kosteuden noustessa elasto-plastinen alue laajenee: huolimatta puristumisen lisääntymisestä paperin sisäiset vauriot eivät lisäänty. Lisäksi kosteuspitoisuuden nousu vaikuttaa välillisesti kalanterointitulokseen parantamalla paperin lämmönjohtavuutta /2, s. 96/. Kosteuspitoisuuden kasvattaminen myös alentaa polymeerien lasisiirtymälämpötiloja /21, s. 30/. Kalanteroinnin tulisi siis tapahtua kuvaajan toisella alueella. Tähän päästään valitsemalla kalanterointitekijät optimaalisesti. /7, s. 36–39 /

2.4 Kalanteroitumismekanismit

Kalanteroitumismekanismeista on esitetty useita ja toistensa kanssa jopa ristiriitaisiakin teorioita. Mielenkiintoista on, että niiden tekijät ovat pystyneet perustelemaan teorioidensa oikeellisuuden, ja toisaalta ne on voitu eri tavoin kyseenalaistaa. Seuraavassa käsitellään teorioita erään näkemyksen mukaan, jolla kalanteroitumista kuvaavat mekanismit voidaan jakaa neljään ryhmään seuraavasti: puristuminen, siirtyminen ja orientoituminen, liukuminen ja kopioituminen. /9, s. 32–34/

Kokoonpuristuminen

Teorian kokoonpuristumisesta hallitsevana kalanterointimekanismina on esittänyt Rodal (1989). Hänen mukaansa kalanterointitulo on seurausta huokoisen paperin reagoinnista kuormitukseen. Kuormitettaessa paperia kuidut muokkautuvat ja kuitujen väliset sidokset purkautuvat, mikä ilmenee kokoonpuristumisena. Mekaaninen kuormitus puristaa paperin paksuja kohtia ohuempia kohtia enemmän, minkä vuoksi ne myös puristuvat enemmän kasaan, jolloin paperi tiivistyy ja silenee. Paperi myös tihenee eniten näistä kohdista. /9, s. 33/

Siirtyminen ja orientoituminen

Mikäli kyseessä on pehmeä–kova-telapari, pehmeän telan pinnoite puristuu nipin alkuosan aikana jonkin verran kasaan, minkä vuoksi telan pintanopeus ko. kohdassa kasvaa hetkellisesti. Nipin loppuosalla telan pinnoite taas palautuu normaalimittoihinsa ja pintanopeus laskee. Tämä aiheuttaa telojen välisen pintanopeuksien eron, minkä vuoksi paperiin syntyy leikkaus- ja kitkavoimia. Pfeiffer (1970) esitti, että nipissä paine ja leikkausvoimat saavat yhdessä aikaan plastisen ”virtauksen” eli partikkelien siirtymisen. Erikseen vaikutus on vähäisempi. Partikkeleja siirtyy paperin korkeammilta kohdilta matalammille alueille. Epäedullisissa olosuhteissa siirtyminen voi olla partikkelien irtoamista, mikä aiheuttaa pölyämistä /4, s. 205/. Plastinen siirtyminen parantaa pintaominaisuuksia ja erityisesti paperin kiiltoa. /9 s. 33; 5, s. 26/

Lisäksi Pfeiffer esitti pintapartikkelien orientoitumisella olevan vaikutusta paperin pintaominaisuuksien kehittymiselle. Paperin pintapartikkeleja (erityisesti päällysteen levymäisiä pigmenttejä) voidaan verrata epäjärjestyksessä oleviin valoa heijastaviin peileihin, joita leikkaus- ja kitkavoimat liikuttavat paperin pinnan tason suuntaisiksi, mikä parantaa sileyttä ja erityisesti kiiltoa. /23; 9, s. 33; 5, s. 26/

Rodalin mukaan (1989) leikkausvoimia ei tarvita paperin kaltaisen huokoisen rakenteen muokkaamiseen. Hän esitti, että Pfeiffer teki virheen olettaessaan, että paperi käyttäytyy kuormituksen alaisena samoin kuin polymeerit ja metallit kalanteroinnissa (valssauksessa). /9, s. 33/

Totuus lienee jossain näiden kahden teorian välissä: leikkausvoimia saattaa jonkin verran esiintyä, jolloin ne edesauttavat muokkautumista. /27/

Kiillottuminen

Ensimmäisissä kalanterointiteorioissa (mm. Peel ja Jones, 1966; O’Gara et al., 1966; Schmiedt, 1971) paperin pintaominaisuuksien pääteltiin paranevan kiillottumisen seurauksena. Kiillottumisen ajateltiin aiheutuvan pienestä

nopeuserosta radan ja telojen välillä, mikä aiheuttaa paperin pinnan liukumista telan pintaa vasten. Nykyään on kuitenkin havaittu (mm. Pfeiffer, 1970), että liukumat ovat hyvin pieniä (muutamia mikrometrejä), niitä esiintyy vain nipin alku- ja jättöreunalla, ja niiden vaikutus paperin pintaominaisuuksien syntyyn on vähäinen. /23; 9, s. 32–33/

Kopioituminen

Kopioitumisella ymmärretään puristavan pinnan pienimittakaavaisen muodon jäljentymistä paperin pintaan. Kokeellisesti on osoitettu, että kalanteritelojen pinnan epätasaisuudet jäljentyvät paperiin, mikä on tärkeää kiillon muodostuksessa. Sekä Rodal että Pfeiffer (1970) olivat vakuuttuneita kopioitumisen merkityksestä. /23; 9, s. 33; 12, s.177/

3 MB-PILOT-KALANTEROINNIN SIMULOINTI

3.1 Pilot-prosessin tutkiminen tasopuristuskoelaitteella

3.1.1 Kalanteroinnin tutkiminen pilot- ja laboratoriolaitteilla

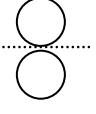
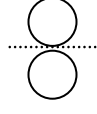
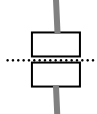
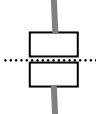
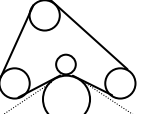
Taulukossa 1 on esitetty Teknillisen Korkeakoulun laboriokalanterin Enfoplan 210 - ja MTS 810 -koelaitteiden, Metson pilot-kalantereiden Calibrin ja Calamarin ja Gekko-koelaitteen perusominaisuuksia ja operointi-ikkunoita.

Calibri-pilot-kalanteria käytetään Metson OptiHard (konekalanteri) -, OptiSoft (soft-kalanteri) -, OptiSoft Matt (matta soft-kalanteri) - ja OptiDwell (kenkäkalanteri) -konseptien tutkimiseen. Laboriokalanterilla voidaan selvittää resursseja säästämällä kalanteroinnin vaikutuksia arkkimittakaavassa.

Laboriokalanteri soveltuu kuitenkin vain kone- ja soft-kalanteri-konseptien tutkimiseen, eikä sillä siis voi analysoida OptiDwell- eikä myöskään ValZone-konsepteja. ValZone on Metson metallihihnakalanteri (MB-kalanteri), jonka

vaikutuksia kalanterointitulokseen tutkitaan Calamari-pilot-kalanterilla. MTS (Material Testing System) - ja Gekko-koelaitteella on mahdollista havainnoida periaatteessa kaikkien kalanterointikonseptien vaikutuksia. Rajoittavina tekijöinä näillä laitteilla on niiden suorituskyky, joka ei riitä esimerkiksi kaikkein pienimpien nippi-aikojen simuloimiseen.

Taulukko 1. Laboratorio- ja pilot-laitteita ja niiden operointi-ikkunoita.

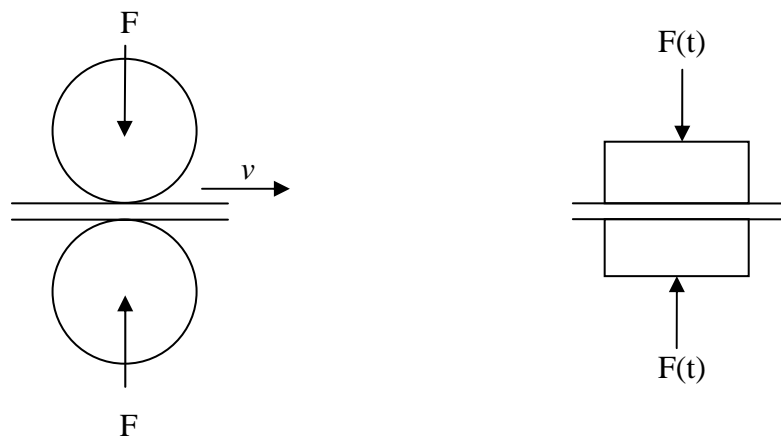
	Enfoplan 210 lab.- kalanteri	Calibri- pilot- kalanteri	MTS 810 – koelaite /8/	Gekko- koelaite	Calamari- pilot- kalanteri
periaatekuva					
laitetyyppi	telanippi	telanippi	taso- puristus	taso- puristus	higna- vyöhyke
konsepti	soft- ja kone- kalanteri	soft- , kone- ja kenkä- kalanteri	kaikki	kaikki	MB- kalanteri
näyte	arkki	rulla (550 mm)	arkki	arkki (A4)	rulla (550 mm)
maksimi- ajonopeus [m/min]	30	1800	-	-	550*
viipymä [ms]	~ 5–15	~ 0,5–5	> 15	> 5	> 65
paine [MPa]	~ 5–60	~ 5–60	> 30	0,4–15	p(higna): 0,1– 0,5 p(lisäk.): 1– 10
kontaktipinto-jen maksimi- lämpötila [°C]	250	250	250	250	200

*) Hihnanpeiton pituutta säätämällä voidaan simuloida kaikki nykyiset ja näköpiirissä olevat kalanterointinopeudet.

3.1.2 Kalanteroitumismekanismit tasopuristusprosessissa

Telat tai hihnan sisältävän kalanterin kalanterointitulokseen vaikuttavat oleellisesti nipin kuormitus sekä ajonopeus. Tasopuristusprosesseissa kalanterointitulokseen taas määräytyy puristavan kuormituksen ja kuormituksen vaikutusajan mukaan.

Kuvassa 5 on esitetty kuormittavat voimat perinteisessä pyörivät telat sisältävässä ja tasopuristustyypisessä kalanterointitapahtumassa: tasopuristustapahtumasta puuttuvat siis kitka- ja leikkausjännitysvoimat. Tämä saattaa aiheuttaa joitakin eroja kalanteroitumismekanismeissa, sillä tasopuristusprosessista voidaan olettaa ainakin siirtymisen ja liukumisen puuttuvan.



Kuva 5. Periaatekuvat telanippi- (vasemmalla) ja tasopuristustyypisestä kalanterointitapahtumasta (oikealla).

Vertailututkimuksia tasopuristuslaitteiden ja telanippikalanterien välillä on tehty varsin vähän. Peter Rättö vertasi STFI:n soft-pilot-kalanteria ja tasopuristusperiaatteella toimivaa MTS-laitetta. Kokeet kummallakin laitteella suoritettiin vastaavissa olosuhteissa. Käytetyt paineet laskettiin Hertzin kontaktiteorian avulla. Suhteellinen kokoonpuristuminen oli MTS:llä ajetuissa näytteissä jonkin verran suurempi. Tämä saattaa selittyä sillä, että Hertzin teoriaa käytettiin paineiden ennustamiseen. Sen mukaan laskettujen paineiden voidaan olettaa olevan hieman korkeammat kuin todellisuudessa, koska teoria ei huomioi nipissä olevan paperin pehmentävää vaikutusta. Paksuudenmuutokset ja kiillot

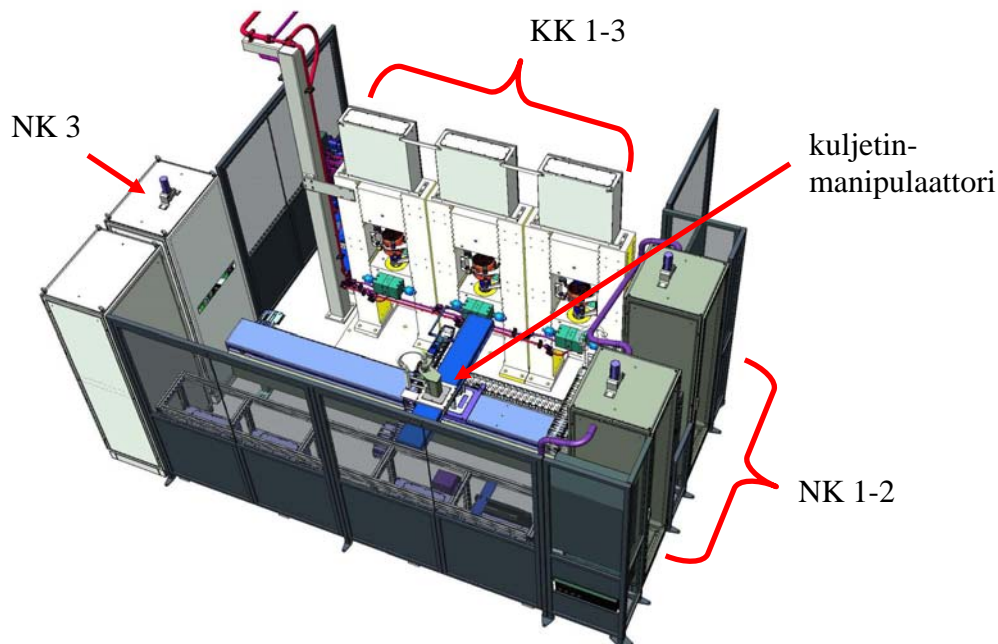
olivat melko samoilla tasoilla pilot-kalanterilla ja MTS-laitteella ajettaessa. Lisäksi Rätön tutkimusten mukaan suhteellinen kokoonpuristuminen on suoraan verrannollinen käytettyyn maksimipaineeseen /13, s. 11, 19–21/

Tulokset ovat lupaavia tasopuristusprosessin kannalta, sillä kokoonpuristumista pitäisi Rätön kokeiden perusteella tapahtua tasopuristusprosessissa vastaavasti kuin telanippikalanteroinnissa. Rätön pilot-kalanterilla ja tasopuristuslaitteella saamista samankaltaisista tuloksista voidaan päätellä, ettei tasopuristusprosessista puuttuvilla leikkaus- ja kitkavoimilla näyttäisi olevan havaittavaa merkitystä.

Rodalin mukaan kokoonpuristuminen on hallitsevin mekanismi kalanteroinnissa ja tämä mahdollistaa kontaktipinnan kopioitumisen paperiin /20, s.16–17/. Myös tämä tukisi hypoteesia, jonka mukaan pilot-kalanterilla ja tasopuristuslaitteella saadaan samanlaisia tuloksia vastaavilla olosuhteilla, sillä tasopuristusprosessissa näiden kalanteroitumismekanismien pitäisi vastaavasti olla läsnä.

3.2 Tasopuristuskoelaite Gekko

Gekko on koelaite ja simulointiympäristö, jolla voidaan laboratoriomittakaavassa tutkia puristus-, kuivatus- ja kalanterointiprosesseja. Gekko koostuu kahdesta olosuhdekaapista (NK 1 ja 2), kuljetinmanipulaattorista, kolmesta kuormakehästä (KK 1-3) ja yhdestä näytekaapista (NK 3) (kuvat 6 ja 7). Koeajon alussa näytteet ilmastoidaan olosuhdekaapeissa haluttuun kosteuteen. Tämän jälkeen näytteiden käsittely tapahtuu mekaanisesti eli kuljetinmanipulaattori vie ne yksitellen puristinyksiköille, joilla saadaan aikaan haluttu painepulssi. Lopuksi manipulaattori kuljettaa näytteen näytekaappiin. A4-kokoiset näytteet ovat prosessin ajan kukin näytepidikkeissään (kuva 7). /10/

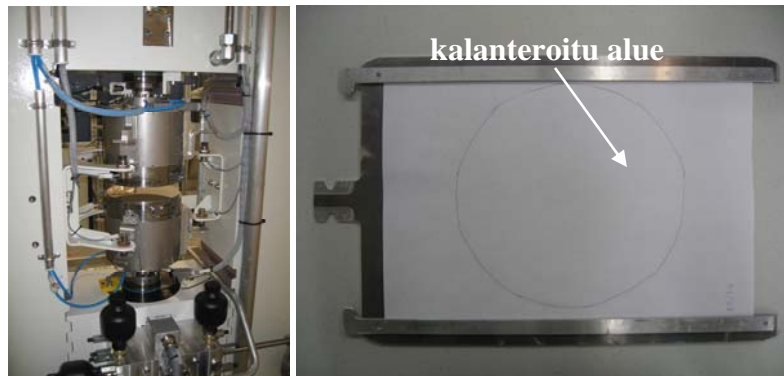


Kuva 6. Gekko-puristinkoelaite /22/



Kuva 7. Kuormakehät NK 1-3 (vasemmalla) ja olosuhdekaappi NK 1 (oikealla).

Jokaisessa kuormakehässä on ylä- ja alapainin (kuva 8), joille on oma lämmönsäätönsä. Painimet voidaan myös tarvittaessa vaihtaa kimmokertoimeltaan erilaisiin painimiin (esim. polymeeripinnoitettuihin levyihin). Painimien liikettä ja kuormituksen suuruutta hallitaan hydraulisesti ja painimien pinta-alan avulla: pienemmällä painimella saadaan aikaan suurempi painepulssi kuin vastaavalla kuormituksella käytettäessä suurempaa paininta. Painimia on tällä hetkellä läpimitaltaan kolmea kokoa: 180 mm, 140 mm ja 80 mm.

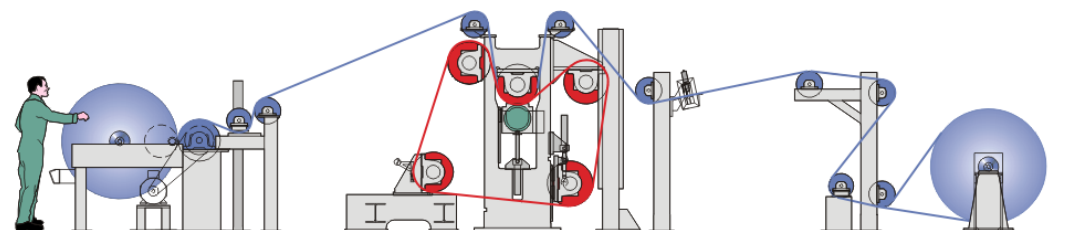


Kuva 8. Kuormakehän KK 1 ylä- ja alapainin (vasemmalla) ja A4-arkki näytepidekkeessä (oikealla).

3.3 MB-pilot-kalanterointi

3.3.1 Calamari-pilot-kalantteri

Calamari-pilot-kalantterilla (kuva 9) ajetaan Metson tuotantomittakaavan metallihinakalantterin ValZone-koeajoja. Calamari on MB-kalantteri, jossa kalantterin hihnanjohtotelojen ympärillä kiertää kokoonpuristumaton metallihihna. Termotelan ja hihnan välinen kontaktipinta-ala on konesuuntaan nähden noin 600 mm. Metallihihnaa kuormitetaan myös lisäkuormitustelalla, jonka kontaktivyöhykkeen pituus on noin 1–20 mm. /6, s.55; 27/



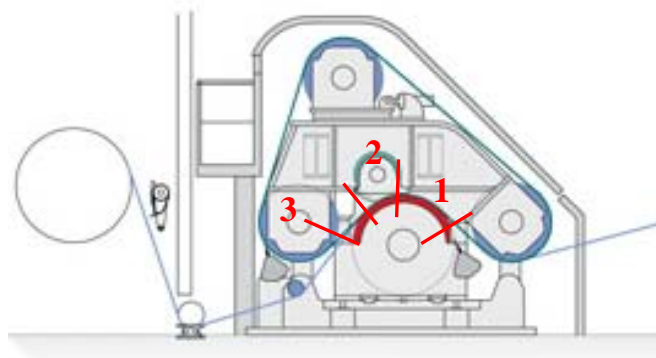
Kuva 9. Calamari-pilot-kalantteri. /25/

3.3.2 Kalanterointivyöhyke

ValZone-kalanteroinnin nippiä kutsutaan sen pituuden vuoksi nippi- tai kalanterointivyökkeeksi. Termotelan ja hihnan välinen kontaktipinta-ala on konesuuntaan nähden noin 1000 mm. Metallihihnan ja lisäkuormitustelan välisen kontaktivyöhykkeen pituus on noin 20–25 mm. Koska kalanterointivyöhyke on pitkä ja lämmönsiirto tehokasta, hyvät laatuominaisuudet saadaan maltillisella lämpötilalla (120-170 °C) ja pienellä paineella. Tämä säästää bulkkia ja näin ollen raaka-aineita jopa 8–10 %. Lisäksi ValZonen etuna perinteiseen kalanteriin nähden on mahdollisuus nostaa tuotantolinjan nopeutta. /26/

Vyöhykkeen painepulssista voidaan erottaa kolme vaihetta: esipuristus-, lisäkuormitus-, ja jälkipuristusvaihe (kuva 10). Esipuristuksen aikana rata plastisoidaan lämmittämällä sitä metallihihnan tai termotelan välissä.

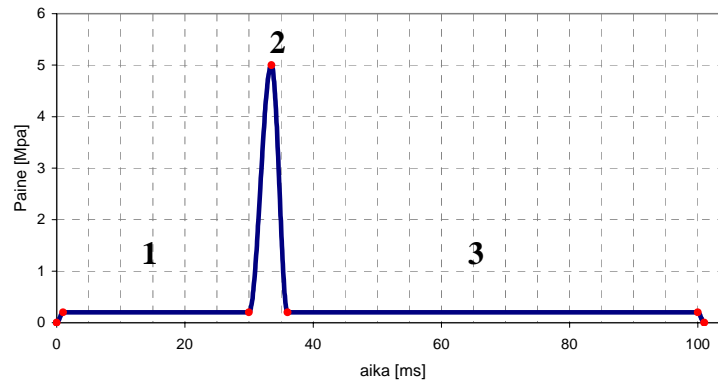
Lisäkuormitusvaiheen aikana taipumakompensoitu lisäkuormitustela tuottaa halutun suuruisen lisäkuorman, jolloin paperiin saadaan aikaan sopiva paksuus ja laatuominaisuudet. /26/



Kuva 10. ValZone-tuotantokalanteri ja sen kalanterointivyöhyke /26/. 1 = esipuristusvyöhyke, 2 = lisäpuristus- ja profiointivyöhyke ja 3 = jälkipuristusvyöhyke.

Kuvasta 11 nähdään, että lisäkuorman vaikutusaika on varsin lyhyt verrattuna koko impulssin kestoajaan, ja tyypillisesti esi- ja jälkikuormitusaikojen suhde on 2:3. Yleensä esipito kestää noin 30 ms (0,1–0,2 MPa), lisäkuormitus noin 1,5–2 ms

(10–20 MPa) ja jälkipito 50–70 ms (0,1–0,2 MPa). Pulssin kokonaiskesto on tyypillisesti noin 50 ms painopapereilla ja noin 100 ms kartongeilla. /11; 27/



Kuva 11. Esimerkki MB-pulssista. 1 = esipuristusvyöhyke, 2 = lisäpuristus- ja profilointivyöhyke ja 3 = jälkipuristusvyöhyke.

Calamari-pilot-kalanterilla säätösuureet poikkeavat hieman telakalanterin säätösuureista. Tärkeimpiä tekijöitä, joilla Calamaria säädetään, ovat seuraavat:

- lisäkuormitustelan viivakuorma
- hihnanpaine (jota hallitaan hihnan kireyttä säätämällä)
- esi- ja jälkipidon suhde (jota hallitaan lisäkuormitustelan paikkaa tai hihnan geometriaa muuttamalla)
- ajonopeus
- hihnan ja termotelan lämpötila
- kostutus. /27/

4 YHTEENVETO JA PÄÄTELMÄT

Tämän työn tarkoituksena oli saada selville, miten hyvin Gekko-koelaitte soveltuu metallihihnakalanterikonsepti ValZonen pilot-ajojen simulointiin. Ennen simuloinnin testaamista tiedostettiin ja huomioitiin testauksen epävarmuustekijät. Lisäksi määritettiin kalanterointituloksen herkkyyttä Gekon säätösuureille.

Gekon soveltuvuuden ValZone-kalanterikonseptin simulointiin on lupaavaa. Koeajot näyttäisivät olevan simuloitavissa melko hyvin. Gekko sopii siis hyvin ilmiöiden, trendien ja muutossuuntien tutkimiseen.

LÄHDELUETTELO

Painetut lähteet

- 1 Atwood, B.M ym., Pulp and Paper Manufacture: Paper Machine Operations (volume 7). 1991. 694 s.
- 2 Baggerud, Erik, Modelling of Mass and Heat Transport in Paper, Evaluation of Mechanism and Shrinkage. Väitöskirja. Lund University, Department of Chemical Engineering. 2004. 213 s.
- 3 Chi HUU, LUONG. Experimental and Theoretical Investigations of Mechanical and Thermal Relations by Calendering of Paper. Väitöskirja. Norwegian University of Science and Technology, Department of Applied Mechanics, Thermodynamics and Fluid Dynamics. 1999. 66 s.
- 4 Häggblom-Ahnger, Ulla – Komulainen, Pekka, Paperin ja kartongin valmistus. Kemiallinen metsäteollisuus 2. 2003. 290 s.
- 5 Järvinen, Heidi, Korkean kalanterointilämpötilan vaikutus paperin rakenteeseen ja mekaanisiin ominaisuuksiin. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu, Puunjalostustekniikan osasto. 2005. 127 s.
- 6 Lepola, Maria, Kalanterointiparametrien vaikutus pitkänippikalanterissa. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu, Puunjalostustekniikan osasto. 2003. 151 s.
- 7 Liimatainen, Tommi, On-line monitelakalanterin kiiltomalli. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu, Puunjalostustekniikan osasto. 2005. 161 s.
- 8 MTS-esite. Esite. Metso Paper Järvenpää.
- 9 Nyberg, Timo, Seminaariesitelmät: Ensimmäinen kansallinen nippipäivä 27.9.1995. 1995. 151 s. Teoksessa Nyberg, Timo (toim.), Kalanterinipin mallintaminen.
- 10 Pietikäinen, Reijo. Muistio. Metso Paper Oy Järvenpää.14.8.2006.
- 11 Pietikäinen, Reijo, Valzone-vyöhykkeen simulointi -testiajot 8.2.2008. Muistio. Metso Paper Oy Järvenpää. 2008.

- 12 Rodal, José J.A, Soft-nip calendering of paper and paperboard. Tappi Journal May (1989), s. 177-189.
- 13 Rättö, Peter, On the Compression Properties of Paper – Implication for Calendering. Väitöskirja. Royal Institute of Technology, Department of Pulp and Paper Chemistry and Technology, Division of Paper Technology. 2001.
- 14 Rättö, P. – Rigdahl M., Description of the deformation behaviour of paper in the thickness direction when subjected to a short pulse, Nordic Pulp Paper Res. Journal 13:3 (1998), s. 180-185.
- 15 Rättö, Platen Press and Calendering studies on Paper – A Model to Estimate Deformation in the Thickness Direction. Lisensiaattityö. Kungliga Tekniska Högskolan, 1998, 87 s.
- 16 SCAN-P2:75. Näytteiden ilmastoiminen testausta varten. Scandinavian pulp, paper and board testing committee. 1976. 2 s.
- 17 SCAN-P4:63. Paperin ja kartongin kosteus. Scandinavian pulp, paper and board testing committee. 1963. 2 s.
- 18 SCAN-P7:96. Paksuus ja arkin tiheys tai kiintotiheys. Scandinavian pulp, paper and board testing committee. Uusittu 1996. 5 s.
- 19 SCAN-P21:67. Paperin ja kartongin karheus määritettynä Bendtsenin laitteella. Scandinavian pulp, paper and board testing committee. 1967. 3 s.
- 20 Suontausta, Olli, Coating and Calendering – Means of Improving Surface of Coated Paper for Printing. KCL Communications 4. 2002. 200 s.
- 21 Vainio, Linda, Nippiajan vaikutus paperin ja kartongin laatuun kalanteroinnissa. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu, Puunjalostustekniikan osasto. 2000. 112 s.

Sähköiset lähteet

- 22 Gekko-koelaitteen havainnekuva. [sisäinen suunnitteluaineisto]. Metso Paper Oy. [viitattu toukokuussa 2008].
- 23 Ehrola, Juha ym., Papermaking Science and Technology: Papermaking Part 3, Finishing. [CD-ROM]. The Finnish Paper Engineers' Association PI and TAPPI. 1999.

- 24 KnowPap 8.0, Paperiteknikan ja automaation oppimisympäristö. [CD-ROM]. VTT Tuotteet ja tuotanto. Prowledge Oy.
- 25 Lotus Notes: Trial instructions 2006. [sisäinen verkkotietokanta]. Metso Paper Oy. [viitattu 28.5.2008].
- 26 Viljanmaa, Mika – Halmari, Eero, ValZone metal belt calender starts a new era in calendaring. [pdf-tiedosto]. Metso Paper Oy. [viitattu 28.5.2008 2008]. Saatavissa:
[http://www.metsopaper.com/MP/Marketing/mpv2store.nsf/BYWID/WID-061127-2256E-38FFF/\\$File/ValZone_article_in_FP_3_2006.pdf?openElement](http://www.metsopaper.com/MP/Marketing/mpv2store.nsf/BYWID/WID-061127-2256E-38FFF/$File/ValZone_article_in_FP_3_2006.pdf?openElement)

Haastattelut

- 27 Pietikäinen, Reijo. Tutkimuspäällikkö, Metso Paper Oy Järvenpää. Haastattelut. helmikuu–toukokuu 2008.

LIITTEET

LIITE 1 Hertzin kontaktiteoria

$$p(x) = p_0 \sqrt{\frac{x}{a}}, \text{ jossa}$$

x on paikkakoordinaatti (m),

p_0 on maksimipaine (Pa) ja

a on puolikas kontaktipituus (m).

$$a = \sqrt{\frac{4FR}{\pi E^*}}, \text{ jossa}$$

F on viivakuorma (N/m),

R on suhteellinen telan säde (m),

E^* on suhteellinen kimmomoduli (Pa).

Maksimipaine p_0 lasketaan yhtälöstä

$$p_0 = \frac{2F}{\pi a}, \text{ jossa}$$

F on viivakuorma (N/m),

R on suhteellinen telan säde (m),

a on puolikas kontaktipituus (m).

Suhteellinen telan säde R ja kimmomoduli E^* määritellään seuraavasti:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \quad \text{ja} \quad \frac{1}{E^*} = \frac{1-\nu_1^2}{E_1} + \frac{1-\nu_2^2}{E_2}, \text{ joissa}$$

r_1 on telan 1 kaarevuussäde (m) ja

r_2 on telan 2 kaarevuussäde (m),

E_1 on telan 1 kimmomoduli (Pa),

E_2 on telan 2 kimmomoduli (Pa),

ν_1 on telan 1 Poisson-luku (-) ja

ν_2 on telan 2 Poisson-luku (-)