

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Paperitekniikan koulutusohjelma
Paperitekniikka

Tutkintotyö

Pekka Rantila

MIKROKREPPAUS

Työn ohjaaja
Työn teettäjä
Tampere 2006

Pertti Viilo
UPM-Kymmene Tervasaari, valvojana Juha M. Räsänen

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

Paperitekniikka

Räntilä, Pekka	Mikrokreppaus
Tutkintotyö	54 sivua + 4 liitesivua
Työn ohjaaja	DI Pertti Viilo
Työn teettäjä	UPM-Kymmene, ins. Juha M. Räsänen
Toukokuu 2006	
Hakusanat	säkkipaperi, nippiprofiili, nippi, kuidun kuivatus

TIIVISTELMÄ

Insinööritö tehtiin UPM-Kymmenen Tervasaaren PK 6:lla. Paperikone 6 valmistaa mikrokrepattuja säkkipapereita sekä rullakäärepapereita. Mikrokreppaus tapahtuu Expanda-yksikössä metallitelan ja kumitelan nipissä. Työn tarkoitus oli selvittää mikrokreppaustapahtumaa ja sen vaikutusta kuituverkoston rakenteeseen sekä yksittäiseen kuituun. Lisäksi työssä tuli mallintaa Expanda-yksikön toimintaa ja käytettävän kumitelan ominaisuuksia.

Työssä tarkastellaan säkkipaperia yleisesti sekä esitellään Tervasaaren PK 6:n valmistama säkkipaperi. Mikrokreppaus on keskeinen prosessi säkkipaperin valmistuksessa. Koska PK 6:lla käytetään Expanda-nippiä, työhön on liitetty kalanterinipin teoreettinen tarkastelu.

Kuituosuudessa käsitellään kuidun rakennetta, veden vaikutusta kuituun, kuidun kuivamista sekä tarkastellaan mikrokreppauksen vaikutusta kuituihin mikroskooppikuvauksen avulla. Säkkipaperin valmistuksessa PK 6:lla käytetään valkaisuamatonta pitkäkuitusellua.

Työhön sisältyi koeajo, jossa tutkittiin Expanda-nipin vinokuormituksen vaikutusta kumitelan lämmönmuodostukseen ja paperin ominaisuuksiin.

Työssä on käytetty apuna lämpökamerakuvauksia, nippiprofiilin mittausta sekä UPM:n Lappeenrannan tutkimuskeskusta.

TAMPERE POLYTECHNIC

Paper technology

Räntilä, Pekka

Engineering Thesis

Thesis Supervisor

Commissioning Company

May 2006

Keywords

Micro-creping

54 pages, 4 appendices

MSc Pertti Viilo

UPM-Kymmene. Supervisor: Eng. Juha M. Räsänen

sackpaper, gapprofile, calandergap, fiber drying

ABSTRACT

Final thesis was done at UPM-Kymmene Tervasaari Mills PM 6. Paper machine 6 manufactures reel wrapping and micro-creped sack paper. Micro-creping occurs in a calender nip, between metal- and rubber roll. Target of the thesis includes micro-creping process and its influence to single fibre and fibre network. In addition, there is studied the behaviour of the rubbercoating of a Expanda-roll.

In thesis is generally contemplated sack papers and Tervasaari's PM 6 manufactured sack papers. Micro-creping is one significant process of manufacturing sack papers. In PM 6 is in use Expanda-nip, therefore thesis includes basic theory of calender nip.

Fibre item contain fibre structure, influence of water to fibre and the drying of fibre. Scanning electronmicroscope is used to find damages in fibre network. Tervasaari's PM 6 use long fibre soft wood pulp.

Experimental item consist test run at Expanda-gap, when tested skew loading of the nip. Test run was to trace generation of heat in rubber coating and skew loadings influence to paper properties.

During this thesis there is utilized thermographic camera operations, gapprofile measuring and UPM-Kymmene Research Center at Lappeenranta.

ALKUSANAT

Tämä opinnäytetyö on tehty UPM-Kymmene Tervasaaren PK 6:lle 17.1 2006-15.5 2006 välisenä aikana. Työn valvojana on toiminut diplomi-insinööri Pertti Viilo Tampereen ammattikorkeakoulusta. Työn ohjaajana on toiminut insinööri Juha M. Räsänen UPM-Kymmene Tervasaaresta. Heille ja kaikille työn aikana auttaneille osoitan kiitokseni kaikesta saamastani avusta.

Tampereella 15. toukokuuta 2006

Pekka Räntilä

1. JOHDANTO	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
1.1 TYÖN TAUSTA	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
1.2 TYÖN SUORITUS	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
2. SÄKKIPAPERI	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
2.1 JALOSTUKSEN VAATIMUKSET	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
2.2 LOPPUKÄYTÖN VAATIMUKSET	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
2.3 TÄRKEIMMÄT LAATUSUUREET	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
2.3.1 Huokoisuus.....	<i>Error! Bookmark not defined.</i>
2.3.2 Venymä ja vetolujuus	<i>Error! Bookmark not defined.</i>
2.3.3 Repäisyjujuus.....	<i>Error! Bookmark not defined.</i>
2.3.4 Jäykkyys	<i>Error! Bookmark not defined.</i>
2.3.5 Kitka.....	<i>Error! Bookmark not defined.</i>
2.4 TENSILE ENERGY ABSORPTION TEA	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
2.5 TERVASAAREN PK 6:N SÄKKIPAPERI	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
3. TERVASAAREN PAPERIKONE 6	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
3.1 MASSAOSASTO.....	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
3.1.1 Putkisellu	<i>Error! Bookmark not defined.</i>
3.1.2 Jauhatus.....	<i>Error! Bookmark not defined.</i>
3.1.3 Lisäaineet.....	<i>Error! Bookmark not defined.</i>
3.1.4 Perälaatikko.....	<i>Error! Bookmark not defined.</i>
3.2 VIIRAOSA	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
3.3 PURISTINOSA.....	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
3.4 KUIVATUSOSA	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
4. KALANTERINIPIN TEORIAA	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
4.1 VIIVAKUORMA	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
4.2 PURISTUSPAINEN JA MAKSIMIPAINEN	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
4.3 VIIPYMÄAIKA.....	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
4.4 PURISTUSIMPULSSI.....	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
4.5 LÄMPÖ JA VESI.....	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
5. CLUPAK-EXPANDA-YKSIKKÖ	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
5.1 ALATELA	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
5.2 YLÄTELA	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
5.3 YLÄTELÄN PINNOITE	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
5.4 EXPANDA-NIPIN AJOMALLI.....	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
5.5 MIKROKREPPAUSTAPAHTUMA	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
5.6 EXPANDAN KALANTEROIVAT OMINAISUUDET	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
6. KUIDUN KUIVAMINEN JA KUTISTUMINEN	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
6.1 KUIDUN RAKENNE.....	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
6.2 VEDEN VAIKUTUS KUIDUN RAKENTEeseen.....	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
6.3 KUIDUN KUIVATUS.....	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
7. NIPPIPROFIILIMITTAUS	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
7.1 NIPPIPROFIILIMITTAUS PK 6:LLA	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
7.2 HAVAINNOT NIPPIPROFIILIMITTAUKSESSA	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.

8. EXPANDA KOEAJO.....	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
8.1 SUUNNITELMA	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
8.2 TOTEUTUS.....	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
8.3 TULOKSET.....	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
9. KUITUKUVAUKSET.....	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
10. JOHTOPÄÄTELMÄT JA EHDOTUKSET	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
LÄHTEET	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
LIITTEET	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.

1. JOHDANTO

Paperisäkkien kehitys on johtanut monikerrossäkkien kerrosten vähenemiseen sekä kevyempien neliömassojen käyttöön. Samalla vaatimukset säkkipaperille ovat kasvaneet. Yhtenä tärkeimmistä vaatimuksista ovat paperin lujuudet ja sitä kautta paperin murtotyö. Murtotyön lisääminen tapahtuu paperin venyvyyttä parantamalla. Tämä tapahtuu kuitenkin vetolujuuden ja jäykkyyden kustannuksella. Työllä haluttiin selvittää paperin konesuuntaisen venymän kasvattamiseen käytetyn mikrokreppauksen vaikutusta paperin kuituverkoston sekä yksittäisiin kuituihin. Tätä kautta pyrittiin selvittämään vetolujuuden heikkenemiseen vaikuttavia tekijöitä.

Vastaavan suuntaisia tutkimuksia ei PK 6:lla ollut tehty aikaisemmin. Sen sijaan säkkipaperin jäykkyydestä oli tehty varsin laaja tutkimus talvella 2003-2004. Tämän tutkimuksen ohessa oli tehty eräitä koeajoja Expanda-yksiköllä.

Työ keskittyi varsinaisesti yhteen prosessiin eli mikrokreppaukseen Expanda-yksikössä. Mikrokreppaus on olennainen osa säkkipaperin valmistuksessa. Tämä tapahtuu yhdessä nipissä paperikoneella. Tästä johtuen nippitapahtuman mallintamiseen on käytetty nippiteorian lisäksi Expanda-yksikön esittely ja kumitelan käyttäytymistä selvittävä osuus.

Expanda-nipin toimintaa tutkittiin lämpökamerakuvauksilla, jolloin selvitettiin telojen toimintalämpötila ja paperiradan lämpötiloja ennen ja jälkeen Expanda-nippiä. Nippiprofiilimittauksella selvitettiin nipin pituuksia eri paineilla sekä haettiin nipin hallintaan vaikuttavia tekijöitä.

Työssä käydään läpi PK 6:n osaprosessit massaosastolta popelle asti. Tämä antaa kuvan kuidun käsittelystä prosessin aikana. Näin kuiduille tapahtuvia ilmiöitä voidaan tarkastella tiettyä taustaa vasten. Kuituteoriaa on esitelty kirjallisuuden avulla. Varsinaisen kuitututkimuksen suoritti UPM:n Lappeenrannan tutkimuskeskus. Näytteinä olivat poikkiratanäytteet sekä perälaatikonäytteet. Tutkimukseen sisältyi paperin pinnan kuvaus sekä ylä- että alapuolelta. Paperista tehtiin hartsivalu, josta kuvattiin poikkisuunta.

Expandakoeajossa nippiä vinokuormitettiin. Tällä haluttiin saada esille paineen vaikutus kumipinnoitteen lämmönmuodostukseen sekä paperin ominaisuuksiin.

2. SÄKKIPAPERI

Tässä kappaleessa tarkastellaan yleisesti säkkipaperin vaatimuksia ja tärkeimmät laatusuuret. Lopuksi esitellään Tervasaaren PK 6:n valmistamat säkkipaperilaadut, ominaisuudet ja käyttökohteet.

Säkkipaperi on hyvin erikoinen paperi verrattuna esimerkiksi painopapereihin. Säkkipaperin valmistuksessa raaka-aineena käytetään pääasiassa valkaisuamatonta pitkäkuitusellua. Säkkipaperin tärkeimpiä ominaisuuksia ovat jalostettavuus ja loppukäyttöominaisuudet. Tyypillinen säkkipaperikone on tasoviirakone. Pitkäkuitusellujen voimakkaan flokkaantumistaipumuksen vuoksi sakeudet perälaatikolla on hyvin alhaiset, noin 0,15-0,20 % välillä riittävän hyvän pohjanmuodostuksen edellyttämiseksi. Säkkipaperikoneella paperirata kuivataan pienillä kireyksillä venymän säilyttämiseksi. Venymää voidaan lisätä myös mikrokreppausmenetelmällä eli clupakoinnilla jopa 10 %-yksikköä. Paperisäkkejä käytetään kaivos-, rakennus-, rehu-, kemian- ja elintarviketeollisuudessa erilaisten jauheiden, rakeiden ja puristeiden pakkaamiseen. /2,5/

2.1 Jalostuksen vaatimukset

Säkkipaperin jalostuksessa paperi painetaan tavallisesti fleksomenetelmällä, paperista muodostetaan letku ja pohja paperisäkille /2/. Lisäksi paperiin voidaan laminoida erilaisia pintoja. Jalostuksessa paperin hyvä ajettavuus jalostuskoneella on tärkeää. Ongelmia aiheuttavat vaihtelut paperin venymässä sekä alhainen jäykkyys. Mikäli paperi venyy erilailla keskellä rataa verrattuna radan reunoihin, ajettavuus jalostuskoneella heikkenee /6/. Ongelmaa esiintyy leveillä rullilla sekä silloin, kun jalostettavan rullan paikka konerullassa vaihtelee. Liian alhainen jäykkyys puolestaan vaikeuttaa paperisäkin täyttöä. Ilmanläpäisykyky takaa paperisäkin pölyttömän täytön ja korkean täyttöasteen. Riittävän sileä pinta parantaa painojäljen näyttävyyttä sekä alentaa impregnoinnissa impregnointiaineen kulutusta.

Jalostuksen kannalta ihanteellinen säkkipaperi on sileää, huokoista, jäykkää ja venymäprofiileiltaan tasaista. Paperin täytyy myös olla lujuuksiltaan riittävää kestääkseen jalostuksessa syntyvät rasitukset.

2.2 Loppukäytön vaatimukset

Paperisäkkeihin pakataan erilaisia tuotteita aina 50 kilogrammaan asti. Tämä asettaa paperisäkkien kestävyydelle suuret vaatimukset. Pakkausten tulee kestää rikkoutumatta useita, jopa kymmenenkin käsittelykertaa riippuen käyttökohteesta. Tässä markkina-alueilla on eroja. Tietyillä alueilla säkkejä käsitellään isoina yksikköinä muutamia kertoja koneellisesti, toisilla säkkejä puretaan ja lastataan käsin monta kertaa useammin /1/. Paperisäkin täytyy kestää pudotuksia ja nostoja eri asennoissa. Tällöin säkkien liimaukset, ompeleet ja erityisesti itse paperi joutuvat kestämaan paljon voimia.

Pinottaessa paperisäkkejä riittävä kitka paperissa estää säkkejä liukumasta toistensa yli. Pinnan täytyy kuitenkin olla riittävän sileä näyttävän painojäljen kannalta. /17/

2.3 Tärkeimmät laatusuureet

Säkkipaperin valmistuksessa, niin kuin paperin valmistuksessa yleensä, paperille tehdään suuri joukko mittauksia, jotka kuvaavat prosessia ja laatua. Säkkipaperin jalostuksen ja loppukäytön kannalta tärkeimmät ominaisuudet ovat huokoisuus, lujuudet, jäykkyys ja kitka.

2.3.1 Huokoisuus

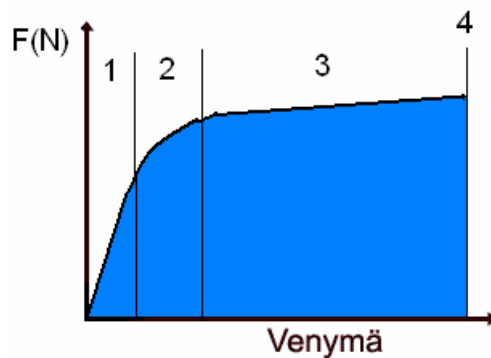
Huokoisuus eli ilmanläpäisykyky on säkkipaperin tärkeä ominaisuus säkin täyttövaiheessa. Säkkien täyttö tapahtuu ilmakuljetuksen avulla, jolloin ylimääräinen ilma läpäisee paperin ja kuljetettava aine jää säkkiin /2/. Huokoisuus säilytetään pitkiä kuituja katkomattomalla korkeasakeusjauhatuksella eli HC (high consistency) -jauhatuksella. Huokoisuuden mittana käytetään Gurley-lukua, jonka laatu on s/100 ml eli aikayksikkö jaettuna tilavuusyksiköllä. Arvosta ilmenee, että mitä pienempi Gurley-luku, sitä huokoisempi paperi.

2.3.2 Venymä ja vetolujuus

Paperin murtotyö muodostuu venymästä ja vetolujuudesta. Murtotyön suuruutta voidaan kasvattaa nostamalla vetolujuutta tai lisäämällä venymää kuten mikrokreppauksessa tapahtuu. Mikrokreppaus laskee vetolujuutta kuitenkin jopa 25 %, joten murtotyön kasvattaminen mikrokreppaamalla on kompromissi näiden kahden ominaisuuden välillä. Korkea venymä on kuitenkin tärkeä varmistaakseen, että monikerrossäkeillä kaikki kerrokset ottavat yhdessä vastaan energiaiskuja /1/.

Säkkipaperin, kuten kaikkien muidenkin papereiden venymäkäyrästä voidaan erottaa karkeasti kolme aluetta: (ks. kuva 1).

1. Elastinen alue. Käyrä on pohjimmiltaan suora ja jyrkästi nouseva.
2. Visko-elastinen alue. Käyrä on suhteellinen vetävän voiman ja venymän suhteen.
3. Plastinen alue. Venymä on pysyvää.
4. Murtoraja.



Kuva 1. Paperin murtotyö.

Kuvan 1 venymäkäyrän alle jäävä sininen alue kuvaa murtotyön suuruutta.

Mikrokreatulla säkkipaperilla käyrä on matala venyttävän voiman suhteen (alue 1 ja 2), mutta pitkä venymän suhteen (alue 3).

2.3.3 Repäisylujuus

Erityisesti poikkisuunnan repäisylujuus on tärkeää säkkipaperille. Säkkejä tehtäessä paperiin tehdään taitoksia ja ompeleita. Repäisylujuuden täytyy kestää pienien vaurioiden leviäminen näistä kohdista.

2.3.4 Jäykkyys

Säkkipapereista puhuttaessa jäykkyydellä tarkoitetaan taivutusjäykkyyttä. Korkea taivutusjäykkyys näkyy säkkipaperilla säkkikoneella ja täyttökoneella hyvänä ajettavuutena. Paperin jäykkyys määritellään sen kyvyksi vastustaa taivuttavaa voimaa. Kaksi tärkeintä käsitettä, joista jäykkyys muodostuu, ovat paksuus ja kimmokerroin eli kimmomoduli /5/.

2.3.5 Kitka

Kitkalla tarkoitetaan säkkipapereilla valmiiden täytettyjen säkkien välistä kitkaa. Kitka auttaa säkkejä pysymään pinossa varastoinnin ja kuljetusten aikana. Kitka ilmoitetaan lepokitkana. /10/

2.4 Tensile energy absorption TEA

Tensile energy absorption eli vetoenergian absorptiokyky kuvaa, kuinka paperi pystyy ottamaan vastaan rajuja iskuja eli shokkeja. TEA on tärkeä säkkipaperille, joka kohtaa shokkeja säkin täytössä ja rajussa käsittelyssä. TEA on yhtä suuri kuin työ, joka tarvitaan paperin repeämiseen ja on siten saman suuruinen kuin murtotyö. TEA on ilmaistu repeämiseen tarvittava energia pinta-alayksikköä kohti (J/m^2). /7/

Käytössä on myös TEA-indeksi, joka ilmaisee repeämiseen tarvittavan energian painoyksikköä kohti (J/g).

2.5 Tervasaaren PK 6:n säkkipaperi

Tervasaaren PK 6 valmistaa ruskeaa säkkipaperia useita eri laatuja. Loppukäyttökohteita ovat säkit sementille, valmis sekoituksille, mineraaleille, kemikaaleille, ruokatuotteille sekä eläintenruoalle. Neliöpainot ovat 60-110 g/m^2 /8/.

Tervasaaren säkkipaperit voidaan jakaa karkeasti kolmeen luokkaan: huokoisiin ja mikrokrepattuihin LD- (Low Density), pitkälle jauhettuihin ja mikrokrepattuihin SP- (Superior Performancy) ja WEX (Walki Extensible) -lajeihin. LD-lajeissa on yhdistetty korkea huokoisuus erinomaisiin lujuusominaisuuksiin. Huokoisuus takaa säkin pölyttömän täytön ja korkean täyttöasteen. SP-lajeilla on erittäin korkeat lujuudet jauhatuksen ansiosta. Huokoisuudet ovat alhaisemmat kuin LD-lajeilla, mutta lujuudet mahdollistavat kevyempien neliöpainojen käytön. WEX-lajit ovat hyvän lujuuden, ajettavuuden ja painettavuuden omaavia lajeja. Näitä käytetään myös teollisuuskääreinä ja päällystettyinä papereina. /5, 8/

LD-lajista on saatava myös LDF (Low Density Friction) -laji. LDF eroaa LD:stä konesuuntaisen urituksen vuoksi. Uritus saadaan Expandanipissä ura-alatelalla ajettaessa. Uritus antaa paperille konesuuntaista jäykkyyttä ja parantaa kitkaa.

3. TERVASAAREN PAPERIKONE 6

Tervasaaren PK 6 on rakennettu 1966 ja uusittu 1999. Kone on tasoviirakone. Koneen leveys on 4600 mm, nopeus on noin 850 m/min ja vuosituotanto 115 000 tonnia. Neliömassa-alue on 60-110 g/m².

3.1 Massaosasto

Massaosasto käsitetään tässä sellutehtaalta tulevasta sellusta perälaatikolle.

3.1.1 Putkisellu

PK 6 saa sellunsa putkea pitkin omalta sellutehtaalta. Sellua ei kuivata ennen jauhustusta. Näin säästetään kuidun kutistumapotentiaalia. Sellun tavoitekappaluku on 55. Sellua ei myöskään valkaista, joten se sisältää runsaasti ligniiniä. Tämä säästää kuituseinämän rakennetta, jolloin massaa voidaan jauhaa enemmän lujuuden saavuttamiseksi huokoisuus säilyttäen. /5/

3.1.2 Jauhatus

Jauhatus on tärkein kuitua muokkaava tekijä paperin valmistuksessa./5/ PK 6:lla käytetään HC (high consistency)- ja LC (low consistency)- jauhatuksen yhdistelmää. Massa jauhetaan ensin HC-jauhimella ja sitten kahdella LC-jauhimella. Jauhinten yhteinen energian ominaiskulutus voi nousta yli 1 MWh/t. Vaikka HC-jauhin kuluttaa paljon enemmän tehoa, sen vaikutus kuituihin on hyvin erilainen kuin LC-jauhimen.

Sakeus HC-jauhimissa on noin 30 %. HC-jauhatuksessa kuitukimput jauhautuvat toisiaan vasten. Tämä kasvattaa kuitujen joustavuutta kuivatuskykyä menettämättä. HC-jauhatus aiheuttaa kuidun kihartumista ja aksiaalista kompressiota parantaen paperin venyvyyttä /10/. Samalla säilytetään huokoisuus hienoaineen alhaisen määrän ansiosta.

LC-jauhatuksen sakeus on 3-4 % eli kuidut jauhautuvat jauhinterien välissä. Tämä pehmentää kuidun pinnan rakennetta, fibrilloi kuitua ja synnyttää hienoainetta. LC-jauhatus parantaa kuitujen sitoutumiskykyä ja paperin tasaisuutta sekä nostaa TEA:ta. Huokoisuus kuitenkin laskee kun kuidut lommahtavat herkemmin ja paperista tulee tiiviimpää. /5, 10/

3.1.3 Lisäaineet

Säkkipaperin valmistuksessa ei käytetä lainkaan täyteaineita ja lisäaineitakin verrattain vähän. PK 6:lla lyhyeen kiertoön lisätään kationisia lisäaineita: tärkkelystä, alunaa, hartsiliimaa sekä tarvittaessa märkälujaliimaa. Retentioaineena on anioninen kaksikomponenttinen nanopartikkeli. Vaahdonestoaineita annostellaan tarpeen mukaan.

Lisäaineista suoraan lujuuksia parantavia ovat tärkkelys ja märkälujaliima. Tärkkelys toimii kuivalujaliimana. Se lisää vetysidosten määrää kuitujen välillä. Vetysiltojen muodostuminen vaatii veden poistumista kuitujen välistä. Tärkkelys ei siten lisää kuituverkoston lujuutta alhaisessa kuiva-ainepitoisuudessa. Kuivassa paperissa tärkkelys lisää veto- ja repäisylujuuksia.

Märkälujaliimalla parannetaan märän paperin lujuuksia. Märkälujaliimat tarvitsevat kuitenkin kypsymisajan kuivatusosalla ja varastoinnissa. Kuivatusosalla märkälujaliima ei lisää paperiradan lujuutta.

3.1.4 Perälaatikko

PK 6:lla on Valmetin toimittama huulilistasäätöinen Sym-flow-perälaatikko. Sakeus perälaatikossa pidetään hyvin alhaisena, noin 0,15 prosentissa pitkäkuituisen massan flokkautumistaipumuksen vuoksi. Paperin profiilit alkavat muodostua jo perälaatikolla. Kone- ja poikkisuunnan lujuussuhdetta säädetään suihkusuhteella.

3.2 Viiraosa

Viira on tasoviira, jossa vedenpoisto tapahtuu alkuosalla foilien avulla ja loppuosalla imulaatikoiden avulla. Viiraosalla paperiradan kuiva-ainepitoisuus nousee 0,15 prosentista 19 prosenttiin eli vedenpoisto hyvin on raju. Kuitenkin kuituorientaation täytyy olla tasaisesti jakautunut poikkisuuntaisten lujuuksien ja venymän saavuttamiseksi.

3.3 Puristinosa

Puristinosa on Voith-Sulzerin kolmenippinen Nipco-Flex. Puristinosaan kaksi ensimmäistä nippiä ovat tavallisia ja kolmas on kenkäpuristin. Kenkänipin viivakuorma-alue on 350-1000 kN/m:n välillä. Puristinosaalla voidaan kasvattaa paperin lujuutta lisäämällä puristusta. Tällöin menetetään kuitenkin tärkeää huokoisuutta. Puristinosaalla paperin kuiva-ainepitoisuus nousee 19 prosentista 40 prosenttiin.

3.4 Kuivatusosa

Kuivatusosalla on 55 höyrylämmitteistä kuivatussylinteriä seitsemässä ryhmässä. Ryhmien neljä ja viisi välissä on Clupak-Expanda-yksikkö. Paperiradan kosteus on nelosryhmän jälkeen arviolta 50 %. Lopullinen tavoitekosteus popella on 7 %. Kuivatus tapahtuu pienillä kireyseroilla eli paperin annetaan kutistua mahdollisimman vapaasti kuivamisen aikana. Näin kuitujen saadaan talteen kuitujen kutistumisesta parempi venyvyys.

4. KALANTERINIPIN TEORIAA

Tervasaaren PK 6:lla mikrokreppaus tapahtuu Expanda-nipissä. Tässä kappaleessa käsitellään yleisiä kalanterinipin ominaisuuksia.

Expanda-yksikön tarkempi kuvaus on seuraavassa kappaleessa.

4.1 Viivakuorma

Kahden täydellisen sylinterimäisen kappaleen, kuten telan, vaippojen koskettaessa toisiinsa pituussuunnassa, kosketuspinta-alaa voidaan kuvata viivaksi. Teloja puristetaan toisiaan vasten tietyllä voimalla eli kuormitetaan. Tätä kuormaa kutsutaan viivakuormaksi. Todellisuudessa telat ja paperi telojen välissä puristuvat kasaan, jolloin puristusvoiman pinta-ala kasvaa. Viivakuormaa käytetäänkin kuvaavana suureena nipitapahtumassa. Viivakuorma ilmaistaan voimana pituusyksikköä kohti kN/m.

4.2 Puristusaine ja maksimipaine

Kalantarinipissä vallitseva maksimipuristusaine ja nipin leveys määräytyvät käytetystä viivakuormasta, telojen kovuudesta (kimmomodulista ja Poisson-

luvusta) ja pehmeän telan pinnoitteen paksuudesta /3/. Keskimääräinen puristusaine lasketaan kaavasta

$$P = \frac{q}{b} \quad (1)$$

jossa,

P = keskimääräinen nippipaine, kPa

q = viivakuorma, kN/m

b = nipin leveys.

Maksimipaine nipissä saadaan kaavasta

$$P_{\max} = \frac{4}{\Pi} \times P \approx 1,273 \sqrt{\frac{q \times E_1}{\frac{D_1 D_2}{D_1 + D_2} \times (1 - \nu^2)}} \quad (2)$$

jossa,

P_{\max} = maksimipaine nipissä, kPa

ν = pehmeän telan Poisson-luku

E_1 = pehmeän telan kimmomoduli, Mpa

D_1 = pehmeän telan halkaisija, m

D_2 = kokillitelan halkaisija, m.

Maksimipaine samalla viivakuormalla voi vaihdella paljonkin riippuen telojen kovuudesta. Kahden kovan telan välillä maksimipaine on korkea ja nipin pituus lyhyt. Pehmeiden telojen välillä maksimipaine on pieni, mutta nippi on pidempi.

Nipin pituutta ei voi painetta nostamalla rajattomasti lisätä. Telojen kovuus asettaa rajat nipin pituudelle paineen suhteen. /25/

Paperia on kuormitettava ulkoisella voimalla, jos siihen halutaan syntyvän pysyviä muodonmuutoksia. Paperin rakenteesta voidaan erottaa kolme eri painetasoa vaativaa aluetta: kuituverkoston kokoon painuminen, kuitujen painuminen kasaan ja kuitujen murskaantuminen. Rakenteen murskautumiskynnys on 60-80 MPa:n välillä /4/.

4.3 Viipymäaika

Viipymäaika eli paineen vaikutusaika paperiin kalanterinipissä on yksi ratkaiseva tekijä lopputuloksen kannalta. Tästä riippuu, kuinka kauan paperi on puristuksen alaisena ja kuinka kauan lämpö pääsee vaikuttamaan paperiin. Paperin viskoelastinen luonne vaatii muodonmuutosten tapahtumiseen tietyn ajan. Viipymäaika riippuu nipin pituudesta ja ajonopeudesta. Viipymäajat kalanterinipissä ovat luokkaa 0,1-1 ms eli tapahtuma on erittäin dynaaminen. /3, 5/

4.4 Puristusimpulssi

Impulssi on fysiikan suure, joka kuvaa vaikuttavan voiman ja vaikutusajan tuloa. Kalanterinipissä puristusimpulssia saadaan kaavasta

$$\text{impulssi (kPas)} = \frac{\text{viivakuorma (kN / m)}}{\text{nopeus (m / s)}} \quad (3)$$

Paperi käyttäytyy puristuksen alaisena sekä viskoottisesti että elastisesti. Hyvin nopean impulssin vaikutuksesta paperiin syntyy palautuvaa ja pysyvää muodonmuutosta. Plastiseen eli pysyvään muodonmuutokseen pääseminen vaatii

paperin muokkautuvuutta ja riittävän pitkää viipymäaika paineen vaikutuksessa. Paperi vastaa siis puristukseen viiveellä.

4.5 Lämpö ja vesi

Lämpötila ja kosteus helpottavat paperin muokkaamista. Vesi pehmentää kuidun rakennetta, jolloin kuidut ovat muokkautuvampia. Korkeampi lämpötila edistää kuidun ja kuituverkoston muodonmuutosta ja plastisuutta. Lämpötila tulisi olla nipissä niin suuri, että lämmönsiirto radasta teloihin olisi estetty. /12, 13/

5. CLUPAK-EXPANDA-YKSIKKÖ

Expandayksikkö on kahden metalli- ja kumipinnoitteen telan muodostama nippi. Kumipinnoitettu tela on yläpositiossa. Runkorakenne on suora ylöspäin. Nipin kuormittaminen tapahtuu liikkuvalla alatelalla. Alatela on nivelöity kuormitusvarsilla runkoon, ja kuormittaminen tapahtuu pneumaattisilla palkeilla. Molemmille teloille on oma käyttöakseli. Ennen nippiä on johtotela, ja paperirata tulee nippiin hieman alaviistosta. Paperirataa kostutetaan kolmosneloskuivatusryhmän välissä vesisuihkulla.

5.1 Alatela

Tervasaaren PK 6:lla on käytössä sileä ja uritettu alatela. Molempia teloja on mahdollista lämmittää kiertovedellä. Lämmitystä ei PK 6:lla käytetä, vaan alatela kuumenee nipin vaikutuksesta.

Sileää alatelaa käytetään SP- ja LD-laaduilla.

Ura-alatelassa on konesuuntainen uritus. Paperi painuu nipissä telan uriin, jolloin se saa konesuuntaisen jäykistävän profiilin. Uritettu alatela on massaltaan suurempi. Massaero on 1700 kilogrammaa.

5.2 Ylätela

Expandan ylätela on kumipinnoitettu ja vesikierrolla jäähdytetty. Ongelmia on aiheuttanut pinnoitteen kuluminen, halkeilu ja irtoaminen rungosta. Kuluminen epätasaista erityisesti käyttöpuolella. Epätasainen kuluminen voidaan hioa pois muutamia kertoja, jolloin telan halkaisija pienenee. /27/



Kuva 2. Kumipinnoitettu tela.

5.3 Ylätelan pinnoite

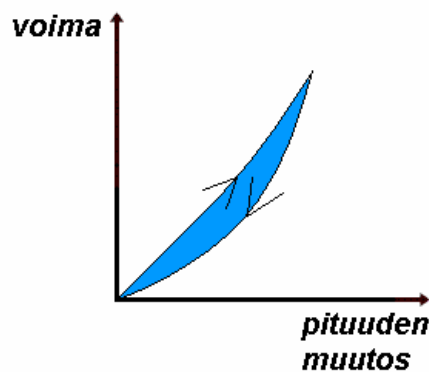
Pinnoite on luonnonkumiseos. Myös synteettistä kumia on käytetty. Kahta täysin samanlaista kumitusta on hyvin vaikea saavuttaa. Eroavuuksia löytyy prosessissa ja prosessiolosuhteissa, aina jopa raakakumin polymeerien vaihtelevuuteen asti. /26/

Hystereesi-ilmiö

Kumimateriaalin ominaisuuksiin vaikuttavat kuormitustaajuus ja lämpötila. Kuormitustaajuus kasvaa, kun pyörimisnopeus kasvaa. Kumille ominainen kimmokerroin kasvaa, kun kumiin kohdistuvan voiman nopeus kasvaa. Kimmokertoimeen vaikuttaa myös lämpötila. Lämpötilan nousu puolestaan laskee kumin kimmokerrointa. Kumi muodostaa kuormituksen alaisena lämpöä. Sisäisellä lämmönmuodostuksella tarkoitetaan niin sanottua hystereesi-ilmiötä.

Kumilla on sekä kimmoista että plastista ominaisuutta. Kun kumia venytetään, osa venyttämiseen kuluneesta energiasta menee plastiseen muodonmuutokseen ja lämmöksi. Kun venyttävää voimaa pienennetään, kumin pituus ei palaakaan enää takaisin samaa jännitysvenymäkäyrää pitkin kuin venytettäessä.

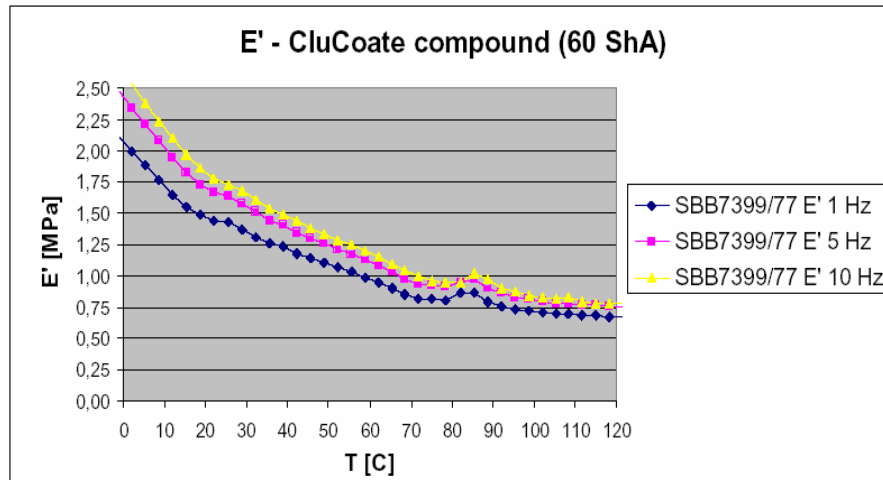
Muodonmuutostyö kumia jännitettäessä on suurempi kuin jännitystä poistettaessa suoritettu työ. Erotus eli hystereesihäviö muuttuu lämmöksi. /9, 11, 12/



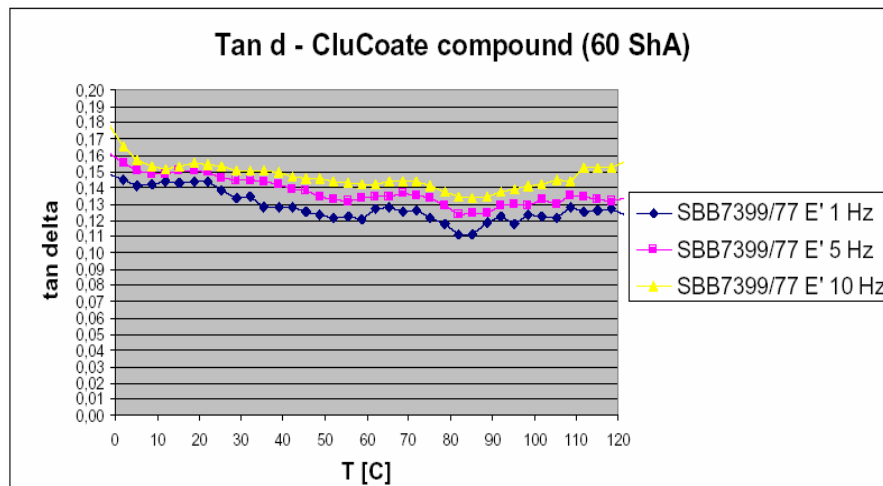
Kuva 3. Hystereesin syntyminen. Käyrien väliin jäävä sininen alue kuvaa hystereesihäviössä syntyvää lämpöenergiaa.

Pinnoitteen ominaisuuksia

Kumipinnoite käyttäytyy eri tavalla eri lämpötiloissa ja eri kuormitustaajuuksilla. Kuvassa 3 on esitetty Metson toimittaman CluCoate-pinnoitteen kimmomodulin kehitys lämpötilan funktiona eri kuormitustaajuuksilla. Käyrät ovat lineaarisesti laskevia aina 85 °C lämpötilaan asti, jonka jälkeen kimmomodulissa tapahtuu hetkellinen nousu. Tämän jälkeen käyrät jälleen vakiintuvat tasaiseen arvoon. Sama lämpötila esiintyy myös häviökerroin (tan delta)käyrässä. Häviökerroin kuvaa viskoosisen ja elastisen modulin suhdetta. Häviökerroin on mitta materiaalin taipumukselle kehittää lämpöä nopeissa, korkeakuormitteisissa tilanteissa. Häviökerroin alkaa kasvaa lämpötilan 85 °C jälkeen, eli sisäinen lämmönkehitys kasvaa ja lämpeneminen kiihtyy. Jyrkin nousu tapahtuu korkealla kuormitustaajuudella. /13/



Kuva 4. Dynaamis-mekaaniset ominaisuudet lämpötilan funktiona (DMTA mittaus) eri kuormitustaajuuksilla. /15/



Kuva 5. Häviökertoimen kehittyminen eri kuormitustaajuuksilla. /15/

Kuormitustaajuus voidaan laskea kaavasta

$$f = \frac{v}{\lambda}$$

(4)

jossa,

f = kuormitustaajuus, Hz

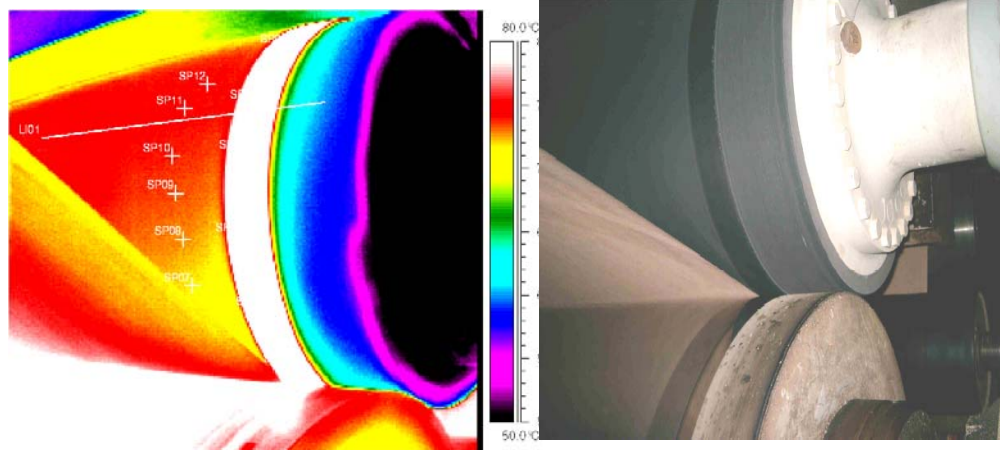
v = telan pintanopeus, m/s

λ = telan kehän pituus, m.

Kaavasta ilmenee, että kuormitustaajuutta nostaa telan nopeuden nosto ja telan halkaisijan pieneneminen.

Toimintalämpötila

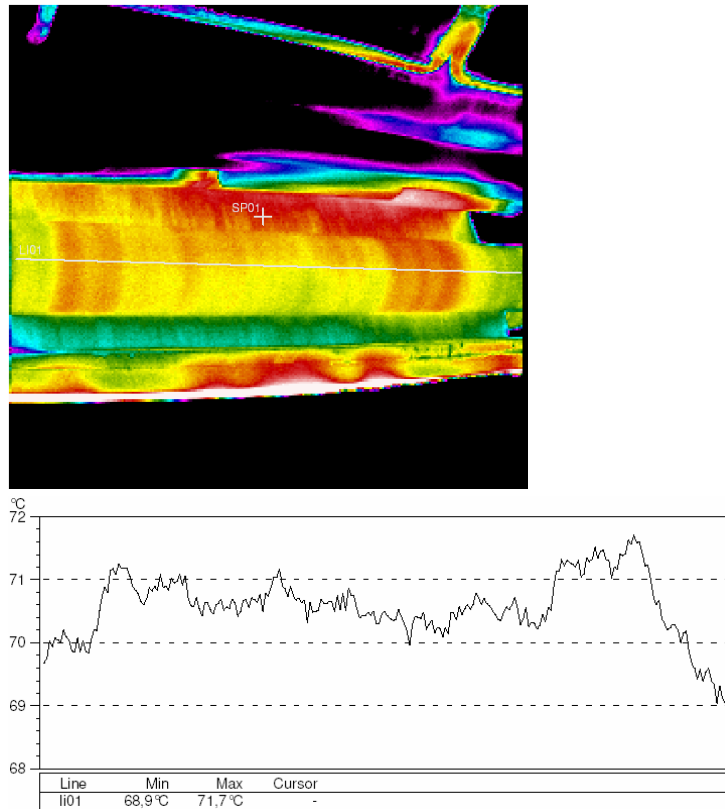
Lämpökamerakuvauksissa selvitettiin ylätelan toimintalämpötiloja. Nippiä kuvattiin lämpökameralla etu- ja takapuolelta. Kuvassa 6 näkyy selvästi erittäin kuuma vyöhyke telan päädyssä. Tällä alueella paperirata ei ole kuljettamassa lämpöä pois vaan telat ovat vastakkain. Taulukon lämpötiloissa korkeammat arvot ovat alueelta, jossa telat ovat vastakkain.



Label	Value
SP01	93,1 °C
SP02	92,3 °C
SP03	92,6 °C
SP04	94,9 °C
SP05	94,9 °C
SP06	92,2 °C
SP07	72,0 °C
SP08	73,0 °C
SP09	73,6 °C
SP10	74,0 °C
SP11	74,5 °C
SP12	74,3 °C

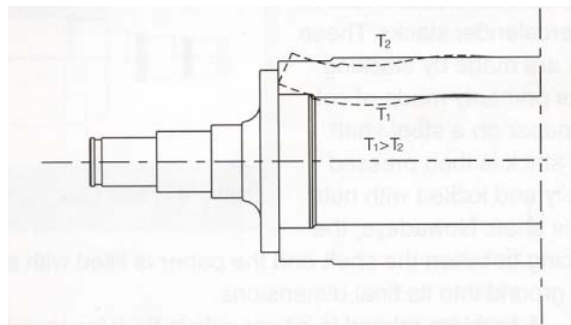
Kuva 6. Lämpökamerakuva ja tavallinen kamerakuva telojen päädyistä 10.2.2006 kello 11.55.

Koko telan leveydellä, päätyjä lukuun ottamatta, lämpötilaerot ovat asteina pieniä, noin kahden asteen luokkaa.



Kuva 7. Lämpökamerakuva ylätelasta 1.2.2006 kello 9.11

Paikalliset lämpötilaerot telojen pinnoilla voi aiheuttaa telojen lämpöbombeerausautumista eli lämpölaajenemista. Tällöin kuumempaan olevaan kohtaan muodostuu telaan halkaisijaltaan suurempi kohta ja nippiin kovempi paine. Telojen päätyjen kuumeneminen voi aiheuttaa varsinkin metalliseen telaan niin sanottua Oxbow-ilmiötä, jossa telan päiden halkaisija on suurempi kuin viileämmillä alueilla. Telan dimensioiden vaihdellessa on Barring-ilmiö mahdollinen. Barring eli radan raipottuminen johtuu telojen värähtelyistä, joka näkyy paperissa konesuuntaisina vikoina. Barring-ilmiö voi johtua myös monesta muusta seikasta kuten telojen soikeudesta, laakereiden vioista tai muista tekijöistä, jotka aiheuttavat telojen värähtelyä. /13, 16, 28/



Kuva 8. Oxbow-ilmion periaate. Lämpölaajeneminen aiheuttaa telapinnoitteen käyristymistä. /24/

Kumitelan kulumisen korkean lämpötilan alueelta on erittäin voimakasta. Pinnoite kuluu ja jopa halkeilee. Kuluminen vuoksi paperirataa joudutaan kaventamaan, ja kulumisen pääsee jatkumaan.



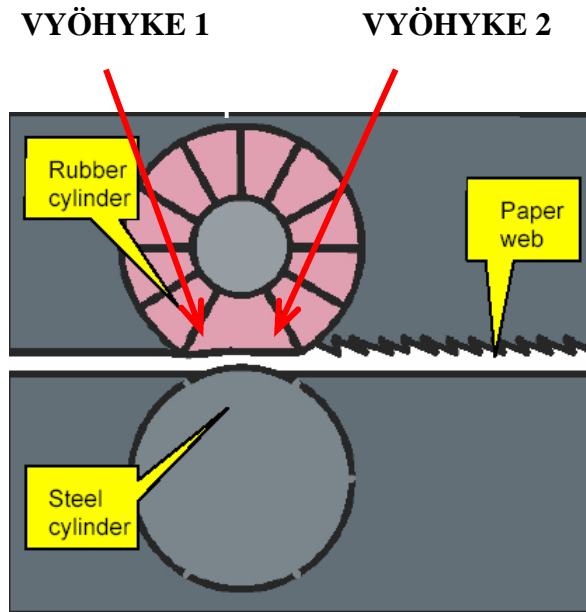
Kuva 9. Pinnoitteen kulunut pääty. Kuvassa kolikko on madalletun olakkeen puolella.

5.4 Expanda-nipin ajomalli

Expanda-yksikön telojen nopeuksia säädetään halutun kreppausasteen mukaan. Korkean kreppausasteen saavuttamiseksi ylätelaa pyöritetään hitaammalla nopeudella kuin alatelaa. Telojen nopeuseroa säättää automaatio. Nipin painetta säädetään käsiohjauksella säätöpulpetista.

5.5 Mikrokreppaustapahtuma

Vallassa olevan teorian mukaan paperin mikrokreppautuminen Expanda-nipissä tapahtuu kumipinnoitteen pintanopeuden muutosten ansiosta nippitapahtuman aikana. Pinnoitteena käytettävän kumi on käytännössä kokoon puristumatonta (Poisson-luku 0,5). Kun teloja puristetaan toisiaan vasten, pehmeämpi kumitela painuu nipissä. Tällöin kumitelan kehä pienenee ja pintanopeus kiihtyy (vyöhyke 1). Kiihtyminen jatkuu nipin maksimipaineen kohdalle asti, jolloin kehä on pienimmillään. Tämän jälkeen pintanopeus alkaa laskea (vyöhyke 2). Kumitelan pintanopeus hidastuu vyöhykkeen 2 matkalla alle paperiradan nopeuden, jolloin paperirata ottaa hidastumisen vastaan ja tyssäytyy eli mikrokreppautuu. Kumipinnoite kohtaa nippitapahtumassa periaatteessa kahden suuntaisia voimia, puristusaineesta johtuvia telan tangentin normaalin suuntaisia voimia ja telojen pyörimisnopeuden erosta johtuvia telan tangentin suuntaisia venyttäviä ja puristavia voimia.



Kuva 10. Mikrokreppaustapahtuma.

Paperin pinnan rikkoutumista voi tapahtua jo nipin menopuolella vyöhykkeellä 1 ennen kuin kumitelan pintanopeus ehtii kiihtyä paperiradan nopeuteen. Tällöin paperin yläpinta joutuu leikkausvoimien alaiseksi.

5.6 Expandan kalanteroivat ominaisuudet

Kalanteroinnilla tarkoitetaan perinteisesti paperin pintaominaisuuksien paranemista silittymällä, pinnan tiivistymisellä ja paperin paksuusvaihteluiden tasoittumista. Tähän verrattuna Expandanipillä ei voi sanoa olevan kalanteroivia ominaisuuksia. Telojen nopeuserosta johtuen muutokset paperissa ovat lähes päinvastaiset.

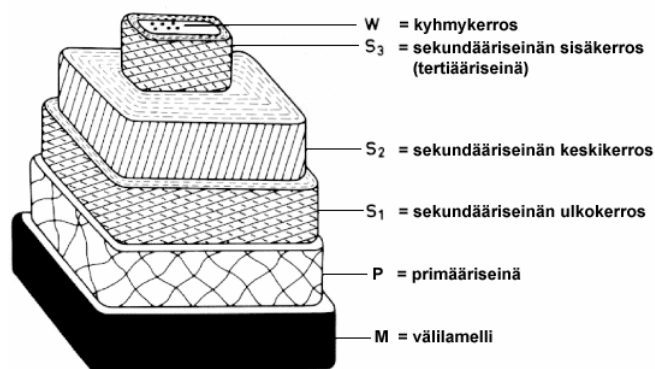
6. KUIDUN KUIVAMINEN JA KUTISTUMINEN

Vedellä on suuri vaikutus kuituun ja kuidun ominaisuuksiin. Kuidun rakenteesta johtuen kuitu turpoaa kastuessaan ja kuitu muuttuu helpommin muotoutuvaksi. Kuidun kuivuminen ja kuivatusolosuhteet vaikuttavat valmiin paperin ominaisuuksiin. Vesi onkin lämmön ohella suurin kuidun ominaisuuksiin vaikuttava tekijä. Kuidun mekaanisiin ominaisuuksiin vaikuttaa kuidun seinämän paksuus, kuidun pituus ja jäykkyys. Jauhatuksella on suuri vaikutus kuidun mekaanisiin ominaisuuksiin.

6.1 Kuidun rakenne

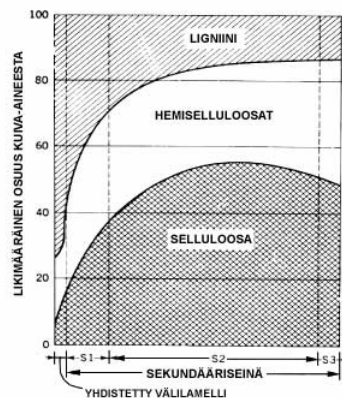
Puukuidut ovat muodoltaan pitkiä ja ohuita. Kuidut ovat onttoja putkiloita, joiden keskellä on lumeneksi kutsuttu ontelo. Kuidun seinämän paksuuteen vaikuttaa, onko kuitu kevät- tai kesäpuuta. Kevätpuun kuidut ovat kapeampia seinämältään kuin kesäpuun kuidut. Seinämän paksuus vaikuttaa kuidun lommahtamiseen sekä kuidun jäykkyyteen. Pohjoismaisten havupuukuidun pituus on yleisesti 2-4 millimetriä ja paksuus 20-40 mikrometriä.

Kuidun rakenne muodostuu polymeereistä: selluloosa-, hemiselluloosa- ja ligniinimolekyyleistä. Nämä muodostavat kuituun kerroksia eli seinämiä.



Kuva 11. Puukuidun rakenne. /2/

Kuidun polymeerit ovat jakautuneet kuidun seinämässä epätasaisesti. Uloimmassa kerroksessa on suhteellisesti enemmän kuituja toisiinsa sitovaa ligniiniä kuin sisemmissä kerroksissa. Välilamelli, jossa suhteellisesti ligniiniä on eniten, ei ole enää varsinainen kuidun seinämä vaan kuitujen välillä yhteinen. Ligniiniä on havupuukuidussa n. 30 %. Ligniini poikkeaa rakenteeltaan selluloosa- ja hemiselluloosamolekyyleistä, jotka ovat hiilihydraatteja, kun ligniini on polyfenoli. Ligniinimolekyylissä on rajoitetusti vesimolekyylien kanssa reagoivia polaarisia ryhmiä. Tästä johtuen ligniini on hydrofobisempi kuin hiilihydraattiset hemiselluloosa- ja selluloosamolekyylit. /2, 18/

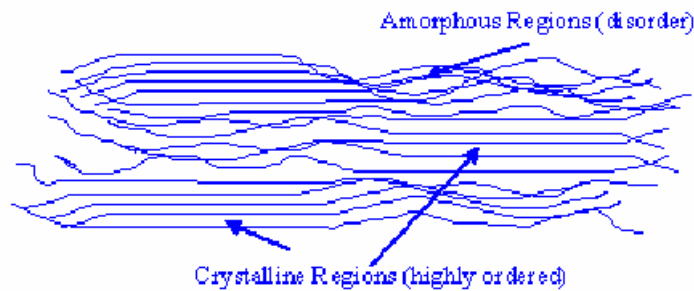


Kuva 12. Kuidun rakenneosien jakautuminen kuidun kerroksissa. /2/

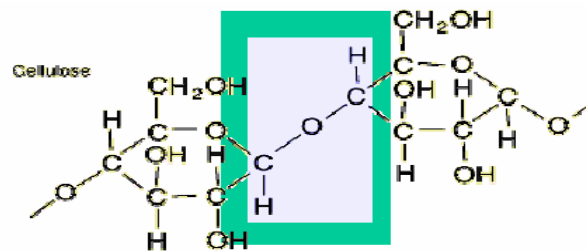
Hemiselluloosaa on kuidussa n. 20-30 %. Kuten hiilihydraateilla yleensä, hemiselluloosamolekyylissä on paljon sidoksia muodostavia hydroksyyli ryhmiä (-OH). Rakenteeltaan hemiselluloosa on amorfinen ja hydrofiilisempi kuin selluloosa. /18/

Selluloosa muodostaa kuidun sisimmät osat. Kuidussa on selluloosaa n. 40 %. Selluloosa on lineaarinen haaroittumaton pitkäketjuinen polymeeri. Selluloosamolekyylin rakenne voi kiteinen eli järjestäytynyt tai amorfinen eli järjestäytymätön. Selluloosamolekyylissä on paljon hydroksyyli ryhmiä, jotka pystyvät reagoimaan vesimolekyylien kanssa. Kiteisellä alueella molekyylit ovat kuitenkin niin tiiviisti järjestäytyneet, että vesimolekyylit eivät pääse tunkeutumaan niiden väliin vaan joutuvat liittymään uloimpiin -OH-ryhmiin.

Amorfisella alueella vesi pystyy tarttumaan selluloosamolekyylien vapaisiin –OH-ryhmiin. Puukuitujen selluloosasta suurin osa on yleensä järjestäytyneessä muodossa. /21/



Kuva 13. Selluloosan kiteiset alueet (highly ordered) ja amorfiset alueet (disorder). /22/



Kuva 14. Selluloosamolekyylin glukoosianhydridiyksiköt sitoutuvat toisiinsa happisillan avulla. Jokaisessa yksikössä on kolme –OH-ryhmää. /23/

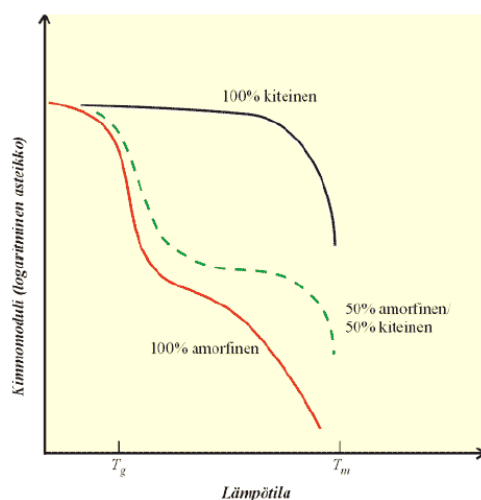
6.2 Veden vaikutus kuidun rakenteeseen

Puun kuidut ovat hygroskooppisia, eli ne adsorboivat vettä. Vesi voi tunkeutua kuidun huokosiin, kuituseinämään, kuidun lumeniin tai kuitujen välisiin huokosiin. Veden liittymistä kuidun pintaan tai tunkeutumista kuidun sisään kutsutaan sorptioksi. Kuitu pyrkii sorptiomekanismin avulla tasapainokosteuteen ympäristön kanssa. Kuidun tasapainokosteus riippuu paitsi ympäröivän ilman kosteudesta myös kuidun kuivatushistoriasta. /20/

Kuidun kostuessa kuitu turpoaa paksuussuunnassa n. 30 % ja pituussuunnassa n. 1 %. Vesi adsorboituu kuidun amorfisiin osiin sekä kiteisten osien pinnalle. Tämä turvottaa kuituja voimakkaasti varsinkin paksuussuunnassa. Lisäksi kuitu voi sitoa ns. vapaata vettä runsaasti huokosiin, lumeniin ja kuitujen välisiin huokosiin. Adsorboitunut eli sitoutunut vesi poikkeaa vapaasta vedestä. Se ei jäädy alle 0 °C, ja sen poistaminen kuidusta vaatii enemmän energiaa kuin vapaan veden. /2, 20/

Lasisiirtymä

Alhaisissa lämpötiloissa amorfiset ja osittain kiteiset polymeerit ovat ns. lasitilassa. Lasitilassa polymeerit ovat jäähmettyneet kiteisiksi ja hauraiksi lasimaiseksi aineeksi. Lasitilassa polymeerit käyttäytyvät plastisesti. Polymeerit muuttuvat kuitenkin pehmeämmiksi ns. lasisiirtymäpisteen jälkeen. Lasisiirtymäpisteeseen vaikuttaa kosteus, polymeerin kiteisyysaste ja lämpötila. Lasisiirtymälämpötilan yläpuolella amorfiset polymeerit pehmenevät kokonaan, mutta kiteiset vain osittain. Kosteus heikentää polymeeriketjujen välisiä voimia, jolloin ne muuttuvat pehmeämmiksi. Lasisiirtymälämpötilan yläpuolella polymeerit käyttäytyvät plastisesti. /4, 18/



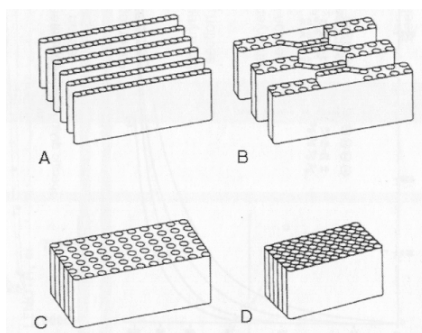
Kuva 15. Periaatekuva polymeerien pehmenemisestä lämpötilan funktiona. Pehmenemistä kuvaa kimmomodulin logaritminen asteikko. /22/

Kuvasta 14 näkyy puoliksi amorfisella polymeerilla alhaisten lämpötilojen suuri kimmomoduli, joka on tyypillinen lasitilassa oleville polymeereille. Tämän jälkeen on jyrkkä lasku, jonka keskikohdan lämpötilaa kutsutaan lasisiirtymälämpötilaksi. Jyrkän laskun jälkeen kimmomoduli ei laske merkittävästi lämpötilan noustessa. Lämpötilan noustessa polymeeri muuttuu kumimaiseksi ja lopulta lämpötilan edelleen noustessa kimmomoduli laskee jyrkästi, joka kuvaa viskoottisen virtauksen aluetta. /4/

Selluloosalla lasisiirtymälämpötila absoluuttisen kuivana on kiteisyydestä riippuen 200-250 °C ja hemiselluloosalla 130-205 °C. Selluloosan lasisiirtymälämpötila lähtee laskemaan melko tasaisesti 5 % kosteudesta ja pudottaa lasisiirtymälämpötilan 0 °C:een jo 15 % kosteudessa. Ligniinin lasisiirtymälämpötila ei putoa juurikaan alle 115 °C:en, vaikka kosteutta lisättäisiin. Tämä johtuu ligniinin rajallisesta kyvystä sitoa vettä itseensä. Ligniinin raja-arvo saavutetaan n. 2,5 %:n kosteudessa. /18/

6.3 Kuidun kuivatus

Kuitua kuivatettaessa se kutistuu paksuussuunnassa n. 30 % ja pituussuunnassa n. 1 %. Paksuussuuntainen kutistuma on seurausta kuidun seinämien välissä olevan veden poistumisesta. Veden vaikutuksesta turvonneet kuidun seinämät tiivistyvät ja kuidun paksuus pienenee.



Kuva 16. Kuidun seinämän kutistuminen veden poistuessa. /19/

Kuidussa oleva vesi on vapaata tai sitoutunutta vettä. Vapaa vesi vaatii poistukseen kuidusta vähemmän energiaa kuin sitoutunut vesi. Näin kuitua kuivattaessa vapaa vesi alkaa poistua ensin. Veden poistuessa kuidut alkavat sitoutua toisiinsa ja kuituverkosto alkaa muodostua. Nanko ja Ohsawa/19/ esittävät kuituverkoston kuivumisen aikana tapahtuvat muutokset seuraavasti:

kuiva-ainepitoisuus	kuidussa tapahtuvat muutokset
50-55 %	Rainan kuiva-ainepitoisuus kasvaa ilman muutoksia morfologiassa.
50-55 % → 60-65 %	Vesi poistuu kuidun lumenista, kuidut alkavat kutistua, rainan pinnassa ei muutoksia.
60-65 % → 70-75 % veden	Pitkittäissuuntainen rynkkyntyminen alkaa kuidun pinnasta. Kutistuminen ja lommahtaminen jatkuu poistuessa kuidun seinämästä.
70-75 % → 80-85 %	Poikittaissuuntainen kutistuminen alkaa kuidun sitoutumattomissa osissa. Lumen lommahtaa ja rynkkyntyminen jatkuu.
80-85 % →	Poikittaissuuntainen kutistuminen alkaa kuitujen sitoutuneilla kohdilla. Lopullinen rakenne muodostuu n. 90 % kuiva-aineessa.

Edellä esitetyt kuiva-ainepitoisuuksien rajat ovat suuntaa-antavia ja vaihtelevat puolajeittain, massatyypin sekä kuidun saaman käsittelyn mukaan. Kuiva-ainepitoisuuden noustessa riittävän korkeaksi kuitujen selluloosan hydroksyyliiryhmät alkavat muodostaa vetysidoksia. Sidokset muodostuvat kuitujen risteyskohtiin. Taulukossa 3 on esitetty kuidun ominaisuuksien suhdetta sidosten muodostumiseen. Suhteellinen sitoutunut alue (RBA) kuvaa kuitujen

pintojen toisiinsa sitoutunutta osuutta. RBA yhdessä ominaissidoslujuuden kanssa muodostaa kuituverkoston sidosten lujuuden. Kuituverkosto on kuitenkin yhtä luja kuin sen heikoin kohta. Tällöin yksittäisen kuidun lujuus määrää lujuuden maksimitason.

Taulukko 1. Kuituominaisuuden merkitys sidosten muodostuksessa. /2/

Kuituominaisuus	Merkitys sidosten muodostuksessa
- Kuitulujuus	- määrää lujuuden maksimitason
- Pituusmassa	- yhden kuidun lujuus, ominaispinta-ala ja mukautumiskyky
- Kuitupituus	- yhteen kuituun mahtuvien sidosten lukumäärä
- Kuidun ympärystymitta	- sidoksen maksimi pinta-ala ja ominaispinta-ala
- RBA (relative bonded area)	- sitoutuneen kuidun pinnan suhteellinen osuus
- Ominaissidoslujuus	- sidoksen lujuus sitoutunutta pinta-alayksikköä kohti

Mikrokompressio

Kuituverkosto kutistuu voimakkaasti kuivaessaan, ellei sitä estetä venyttämällä paperirataa kuivatuksen aikana. Jauhatuksella on suuri merkitys kuidun kykyyn kutistua. Pitkälle jauhetuilla massoilla kuituseinämä on rikkonaisempi ja seinämä pystyy ottamaan enemmän vettä vastaan. Pitkälle jauhetusta kuidusta tehty paperi alkaa vapaasti kuivaessaan kutistua jo 20-30 % kuiva-aineessa, kun taas jauhamattomasta kuidusta valmistettu paperi alkaa kutistua n. 40-50 % kuiva-aineessa. /19/

Hemiselluloosan ja kuivatushistorian vaikutus kuidun kutistumiseen on myös merkittävä. Runsaasti hemiselluloosaa sisältävät kuidut imevät enemmän vettä ja siten kutistuvat enemmän kuivaessaan. Kuidun kuivaessa osa sen hydroksyyliyhdyntien muodostamista vetysidoksista jää pysyviksi. Näin kuidun kyky imeä vettä uudelleen itseensä heikkenee. Runsaasti hemiselluloosaa sisältävät kuidut pystyvät muodostamaan enemmän ja lujempia sidoksia. Jos nämä sidokset ovat riittävän lujia, muodostuu kuitujen ristikkäisiin sidoksiin kuidun

pituussuuntaista rynkkyä eli mikrokompressiota. Mikrokompressiossa poikittaissuuntaan enemmän kutistuva kuitu vetää siihen ristiin sitoutuneen kuidun pituussuuntaan kasaan. Mikrokompressioon vaikuttaa paperiin kuivatuksen aikana kohdistuvat jännitykset sekä kuitujen orientaatio. Voimakkaasti konesuuntaan orientoitunut kuituverkosto kutistuu enemmän poikkisuunnassa kuin konesuunnassa.

7. NIPPIPROFIILIMITTAUS

Nippiprofiilimitauksessa selvitetään nipin pituutta. Mittauksessa asetetaan paineanturit mitattavaan nippiin. Tämän jälkeen nippiä kuormitetaan. Paineanturit lähettävät signaalia paineen vaikutusalueesta, joka on nipin pituus. Nippiprofiilimitaus kertoo nipin pituuden asetetulla paineella. Nipin todellinen paine ei profiilimitauksessa selviä.

7.1 Nippiprofiilimitaus PK 6:lla

Nippiprofiilimitaus suoritettiin huoltoseisokin aikana 22.2 2006. Mittauksessa käytetty ylätela oli ollut ajossa kaksi päivää ja hieman kulunut. Mittaus tehtiin sekä sileällä että ura-alatelalla. Expandanipissä kuormitusta voidaan säätää erikseen sekä hoito- että käyttöpuolelle.



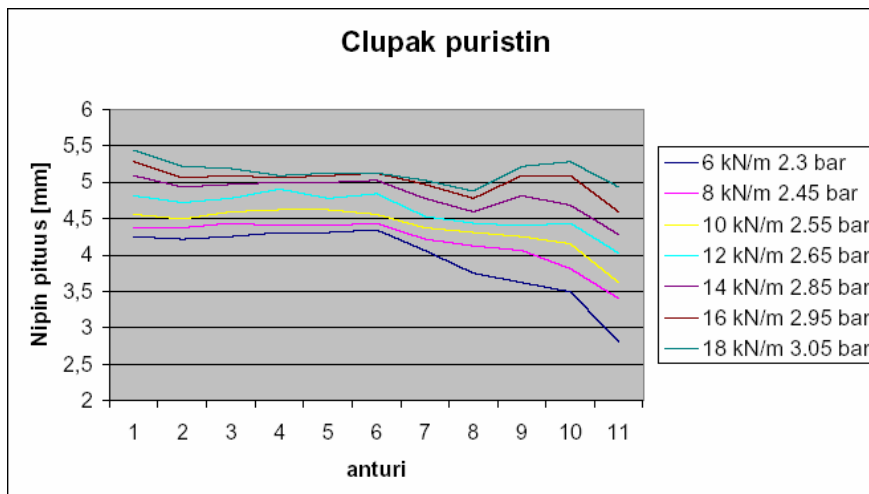
Kuva 17. Metson miehet T. Kuninkaanniemi ja O. Heiskanen asentamassa paineantureita Expandanippiin.

Mittaukset sileällä alatelalla

Nippiprofiilimittaus aloitettiin pyörittämällä seisokissa olleita teloja ajonopeudella

noin 20 minuuttia. Näin poistettiin teloihin syntynyt staattinen taipuma.

Ensimmäinen mittaussarja suoritettiin sileällä alatelalla. Nippiä kuormitettiin ensin tasakuormalla välillä 6 kN/m(2.3 bar) – 18 kN/m(3.05 bar). Taulukossa x-akselilla on paineantureiden paikka. 1 on hoitopuoli ja 11 on käyttöpuoli. Y-akselilla on nipin pituus millimetreinä.

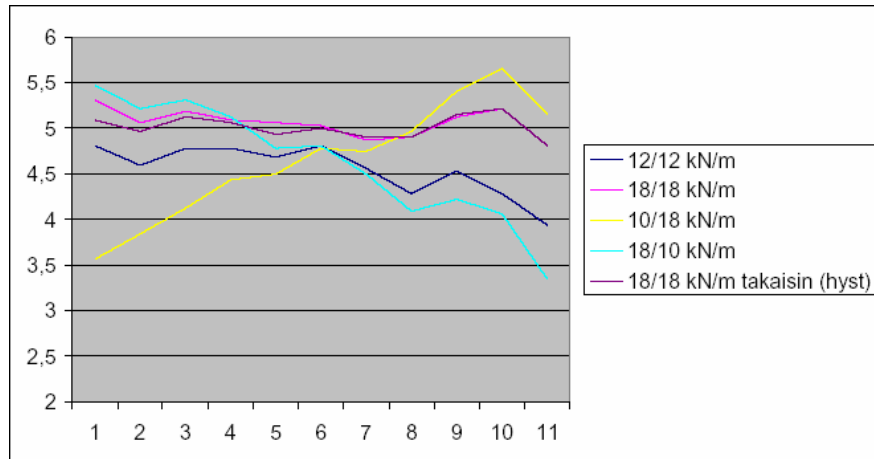


Kuva 18. Nippiprofiilit sileällä alatelalla ja tasakuormalla. /11/

Nippi sulkeutuu kuormituksessa hyvin epätasaisesti. Nippi sulkeutuu hoitopuolella noin 10 sekuntia ennen käyttöpuolta. Kun alatela on bombeerattu, vinosta sulkeutumisesta voi aiheutua hoitopuolelle suurempi kuorma.

Käyristä näkyy selvästi vinosulkeutumisen vaikutus alhaisilla kuormituksilla. Korkeammalla kuormituksella ero hoitopuolen ja käyttöpuolen välillä pienenee. Pienempään kuormitukseen käyttöpuolella vaikuttaa myös käyttöakselista johtuva suurempi massa, joka painaa teloja auki käyttöpuolella.

Toisessa mittaussarjassa sileällä alatelalla nippiä kuormitettiin vinossa. Näin tutkittiin nipin vastetta vinokuormitukseen sekä nipin liikettä vastustavia voimia.

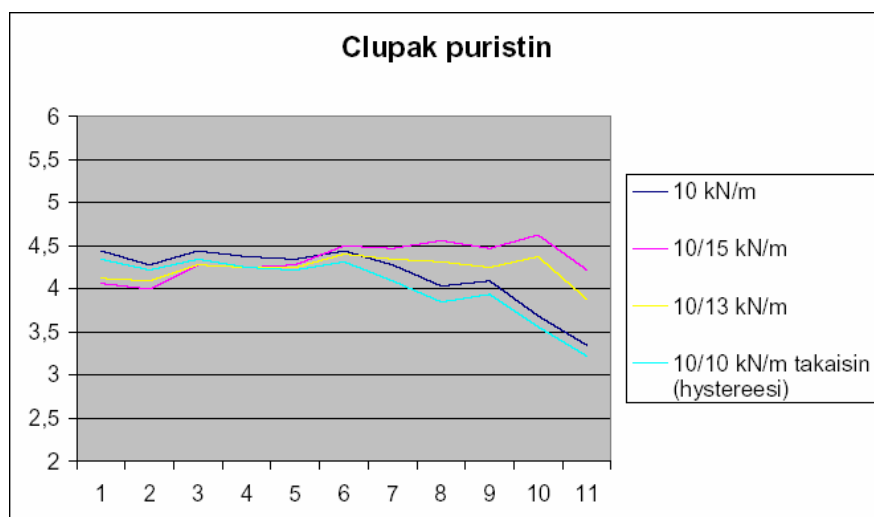


Kuva 19. Nippiprofiilit vinokuormilla sileällä alatelalla. /11/

Käyrät osoittavat, että nippi vastaa vinokuormitukseen hyvin.

Kuormitusmuutoksia on tehty alkaen viivakuormatasolta 18 kN/m ja palaten lopuksi samalle tasolle. Käyrien ero on pieni eli nipissä ei ole suuria kuormitusta vastustavia voimia.

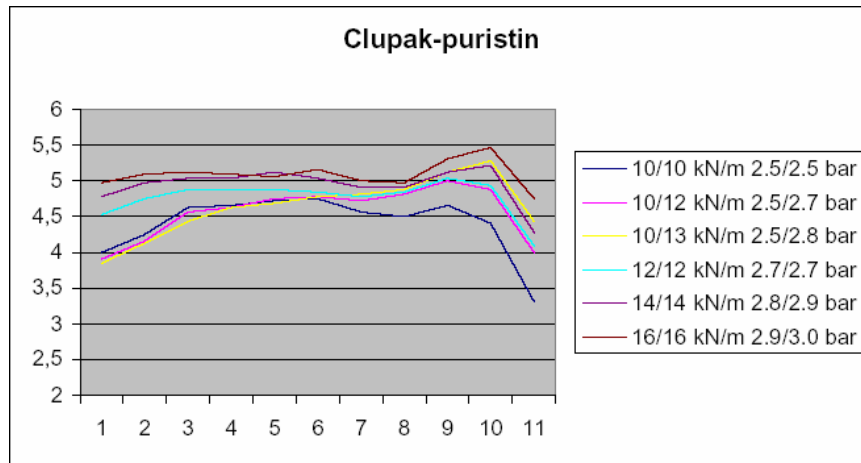
Viimeisessä mittaussarjassa haettiin tasaista nippiä. Tasaisin nippi saavutettiin kuormitustasolla hp 10/kp 13 kN/m.



Kuva 20. Tasainen nippi sileällä alatelalla. /11/

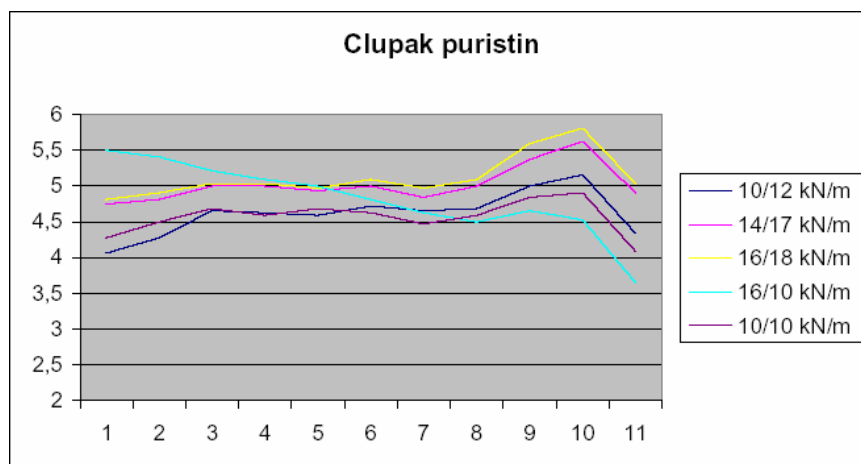
Mittaukset ura-alatelalla

Uritetulla alatelalla suoritettiin kaksi mittaussarjaa, joissa vinokuormitettiin nippiä ja haettiin tasaista nipin pituutta.



Kuva 21. Nippiprofiileja ura-alatelalla. /11/

Käyristä näkyy raskaamman telan vaikutus. Nippi jää samalla kuormituksella lyhyemmäksi kuin kevyemmällä sileällä alatelalla. Ero on kuitenkin pieni, alle 0,5 millimetriä.



Kuva 22. Vinokuormitettu nippi ura-alatelalla. /11/

Nippi vastaa myös raskaammalla alatelalla hyvin vinokuormitukseen. Tasainen nipin pituus saadaan kun käyttöpuolelle annetaan 2 kN/m enemmän kuormaa kuin hoitopuolelle.

7.2 Havainnot nippiprofilimittauksessa

Nippi sulkeutuu huomattavan vinossa. Tästä voi aiheutua alhaisilla kuormituksilla suurempi paine ennemmin kiinni menevälle puolelle. Tämä vinokuormitus ei välttämättä tasoitu edes ajossa vaan jää pysyväksi.

Käyttöpuoli vaatii enemmän kuormitusta tasaiseen nippiin. Syynä tähän on käyttöpuolen suurempi massa ja ehkä osaltaan myös nipin vino sulkeutuminen.

Nipin vaste on hyvä sillä jo 1 kN/m muutokset nippikuormassa näkyvät nipin pituudessa. Tällöin nipin kuormitusmekanismissa ei ole suuria kuormitusta vastustavia voimia. Nipin pituus palautuu kuormitusvaihtelujen jälkeen lähes alkuperäiseen pituuteen.

Nipin tarkka kuormittaminen viivakuormamittareiden mukaan on hankalaa. Viisarinäyttö voi jumittua ja asettua hitaasti, mikä vaikeuttaa tarkan kuormituksen asettamista. Automaation antama kuormituspaino on tarkempi, mutta luotettavasti toimiakseen vaatii säännöllisen huoltamisen ja säätämisen.

Kuormituspainon maksimiarvo on rajoitettu noin 3,5 bariin.

Viivakuormaero sileän ja uritetun alatelan välillä on 3,2 kN/m ura-alatelan suuremmasta massasta johtuen.

Metson arvion mukaan nykyisillä bombeerauksilla viivakuormalla 10 kN/m nippiprofiili on keskikuormitteinen ja viivakuormalla 18 kN/m reunakuormitteinen.

8. EXPANDA-KOEAJO

Teorian perusteella Expandan kumitelan pinnoitteen lämmönmuodostuksen tulisi kasvaa paineen kasvaessa. Samalla paperin ominaisuuksien tulisi muuttua paineen mukana. Expanda-koeajolla haluttiin selvittää paineen muutosten eli vinokuormituksen pinnoitteen lämpötilaan ja paperin muokkautuvuuteen.

8.1 Suunnitelma

Expanda-koeajo päätettiin toteuttaa 31.3.2006 kello 10.20 alkaen. Koeajon pituudeksi oli sovittu kaksi konerullaa. Paperikoneella täytyi olla stabiili tilanne ennen koeajoa sekä sen aikana, jotta näytteet olisivat edustavia. Koeajolaaduksi valittiin 70 g/m² SP. Kevyellä grammapainolla haluttiin saada pidempi konerullan pyörimisaika ja siten aikaa kumipinnoitteen reagoinnille. Kreppausaste SP-laadulla on korkea eli telan pinnoite joutuu kovemmalle kuin vähemmän krepattavilla laaduilla. Kumitelan lämpötilan kehitystä seurataan lämpökameralla ylhäältäpäin.

Nippipaineet koeajoon valittiin nippiprofiilimittauksen perusteella ja niillä haluttiin saada yhtä suuret vinokuormat sekä hoitopuolelle (HP) että käyttöpuolelle (KP). Paine arvot ovat taulukossa 1. Taulukossa lähtötilanne on tilanne ennen koeajon aloittamista.

Taulukko 2. Expanda-koeajon toteutuneet nippipaineet

	HP, bar	KP, bar
lähtötilanne	2,47	2,64
AJO 1	2,47	3,21
AJO 2	2,97	2,62

8.2 Toteutus

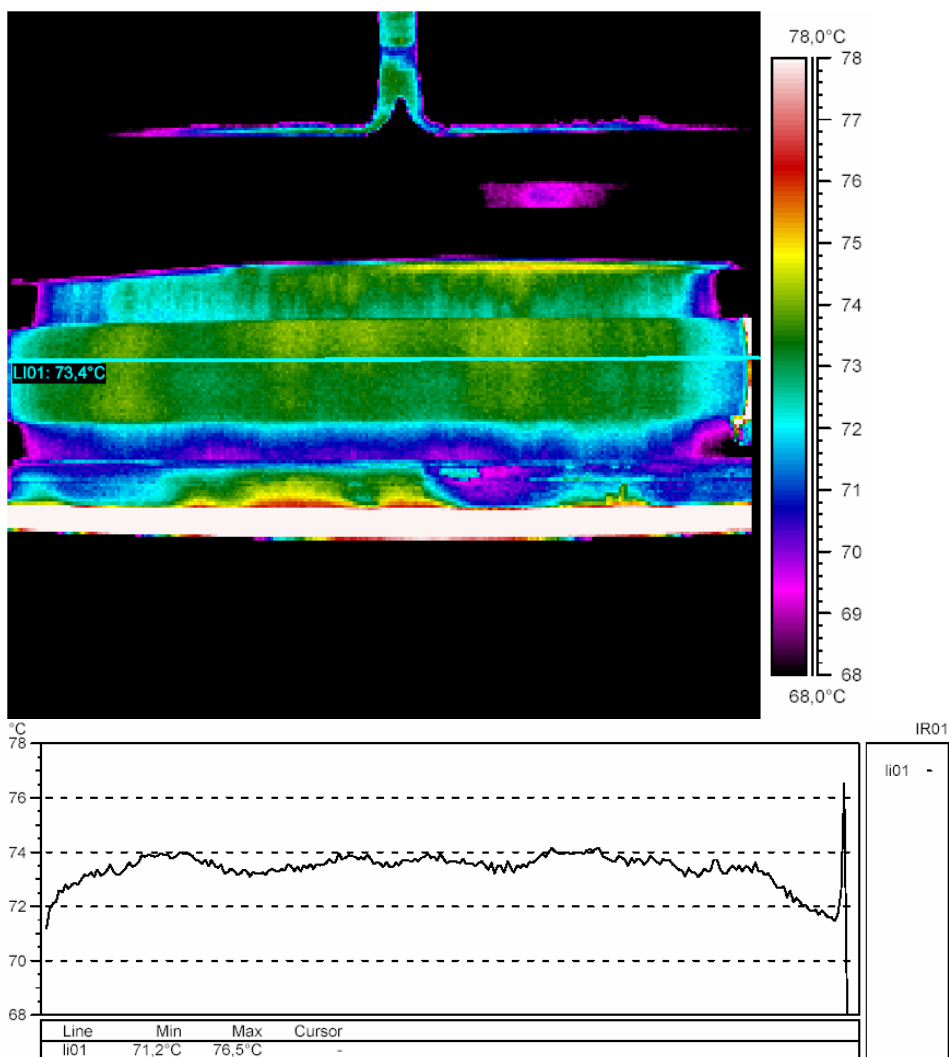
Koeajon alussa paperirataan tuli käyttöpuolelle märkä reuna. Ratakatkoa ei kuitenkaan tullut ja koeajo pääsi jatkumaan. Poikkiratanäytteitä otettiin yhteensä 45 kappaletta, 15 ennen paineiden muutoksia ja 15 kummastakin koekonerullasta. Näytteet lähetettiin paperilaboratorioon analysoitaviksi.

8.3 Tulokset

Expanda-koeajon tulokset on käsitelty erikseen lämpökameralla saadut tulokset ja paperilaboratorion mittaukset sekä yleiset havainnot.

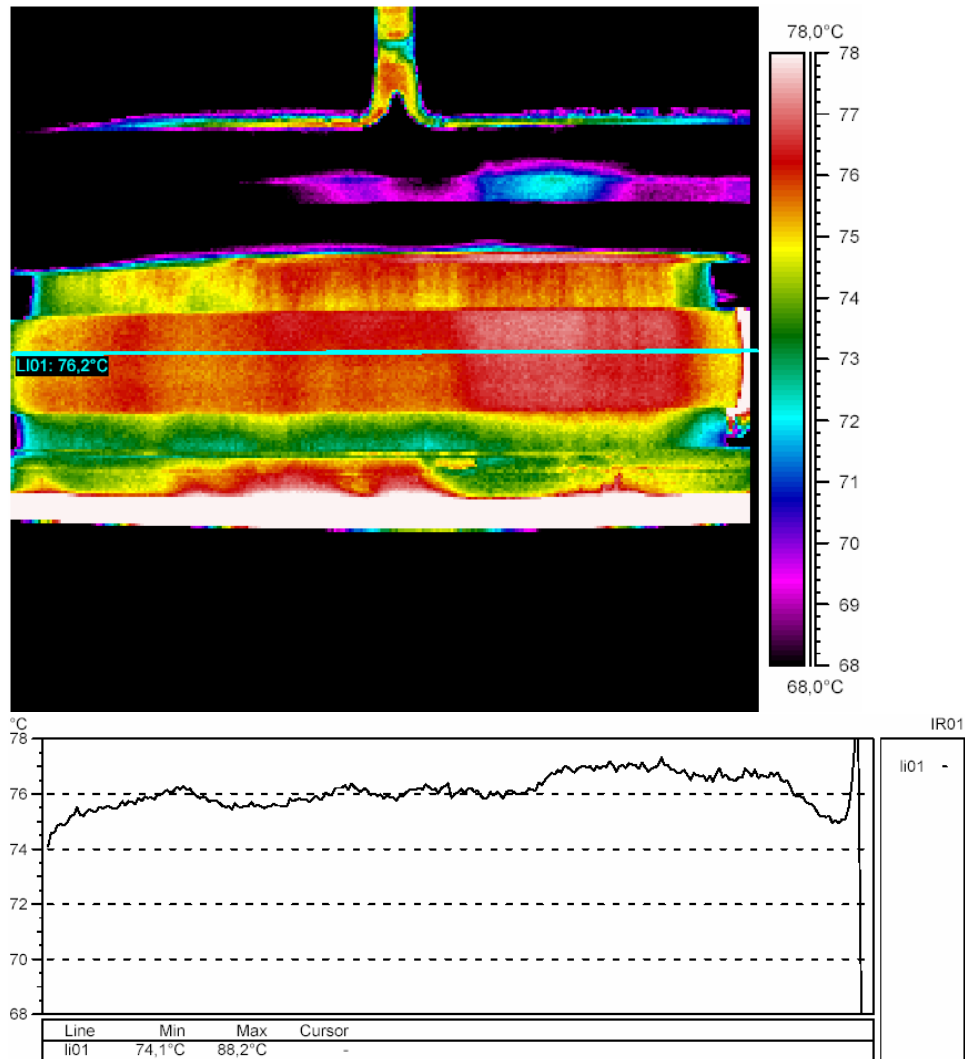
Lämpökamerakuvat

Lämpökamera kuvasi koko koeajon ajan Expanda-yksikköä ylhäältäpäin. Kamera on kohdistettu kumitelan keskelle, jossa näkyy kohdistuslinja. Koeajon aikana kumitelan harjaus oli pois päältä eli harjatelaa ei näy kuvissa.



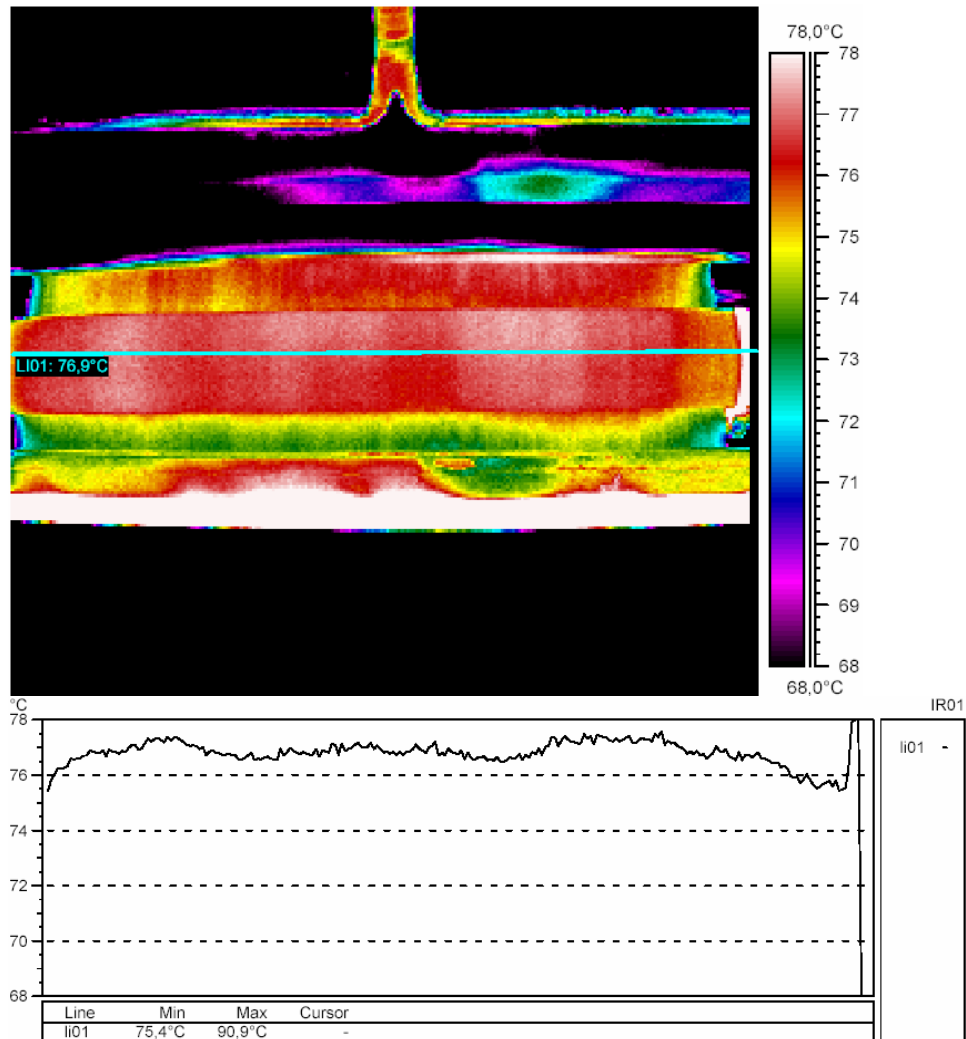
Kuva 23. Lämpökamerakuva ja lämpökäyrä kumitelasta ennen koeajopaineiden asettamista eli lähtötilanne.

Käyrä osoittaa, että telan pinta on tasaisen lämmin. Vaihtelut ovat keskimäärin yhden asteen luokkaa. Reunat ovat noin kaksi astetta viileämmät kuin telan keskiosat. Käyttöpäässä näkyy lämpöpiikki, joka johtuu telojen kosketuksesta toisiinsa. Lämpökamerakuvan perusteella näyttää, että paperirata on kuumempi käyttöpuolella, mutta telan lämpökäyrästä tätä ei näy.



Kuva 24. Lämpökamerakuva ja lämpökäyrä paineilla HP 2,47 bar, KP 3,21 bar.

Kuvassa 14 paineet ovat vaikuttaneet 32 minuuttia. Koeajo on vaiheessa AJO 1. Telan lämpötila on noussut hoitopuolella noin kaksi astetta ja käyttöpuolella noin kolme astetta. Erityisen huomattavaa on lämpöpiikin muutos käyttöpuolella. Lämpötilan nousu telojen kontaktialueella on lähes 12 astetta. Lämpökäyrän skaalaus ei riitä näyttämään, mutta lämpötila on nähtävissä maksimilämpötilan kohdalta. Telojen kontaktialueen lämpötila on noussut jo yli 85 °C, jolloin sisäinen lämmönmuodostus kiihtyy.



Kuva 25. Lämpökamerakuva ja lämpökäyrä paineilla HP 2,97 bar, KP 2,62 bar.

Kuvassa 15 on koeajon vaihe AJO 2. AJO 2:n paineet ovat vaikuttaneet 31 minuuttia. Kumitelan pinta on tasaisen lämmin noin 77 °C. Vaikka käyttöpuolelta on painetta vähennetty, 30 minuuttia ei riitä pinnoitteen jäähtymiseen. Lämpöpiikki käyttöpuolella on noussut yli kaksi astetta.

Koeajo tuli täyteen kahden konerullan jälkeen ja paineet Expandassa laskettiin tasolle HP 2,44 ja KP 2,72. Lämpökamera kuvasi tämän paineiden laskun jälkeen 16 minuuttia. Tässä ajassa telan lämpötiloissa ei tapahtunut muutoksia.

Laboratoriomittaukset

Poikkiratanäytteet ajettiin rullaraportit Plab:lla Tervasaaren paperilaboratoriossa. Rullaraporteista otettiin lähempään tarkasteluun seuraavat ominaisuudet:

- Gurley-huokoisuus
- veto KS ja PS
- KS/PS eli lujuuksuhde
- venymä KS ja PS
- repimä KS ja PS.

Jokaisesta ominaisuudesta on käyrät liitteenä. Käyristä ei ole huomattavissa selviä muutoksia kuormituksen muuttuessa. Odotetunlaisia johdonmukaisia ominaisuuksien muokkautumista ei Plab:n mittausten mukaan tapahtunut. Erityisesti odotettua poikittaissuunnan venymän muutoksia ei ilmennyt. Vaihtelut venymissä kuten muissakin ominaisuuksissa voi johtua prosessin sykkimisestä, ei vain Expandan paineiden muutoksista.

Yleiset havainnot koeajon aikana

Koeajo sujui kokonaisuudessaan hyvin. AJO 1:n aikana takareunaan ilmestyi piirtoa ja rynkkyä. Osasyynä oli ilmeisesti alkava kuraus ja ongelmat märässä päässä. Paineen nostaminen käyttöpuolella lisäsi näitä ilmiöitä. Ratakatkoa ei tullut vaikka nipin kuormitus oli täysin vinossa. Konerullien reunat olivat kuitenkin niin huonoja, että pituusleikkurilla rata katkesi ja lopulta AJO 1 ja AJO 2 konerullat rullattiin hylkyyn.

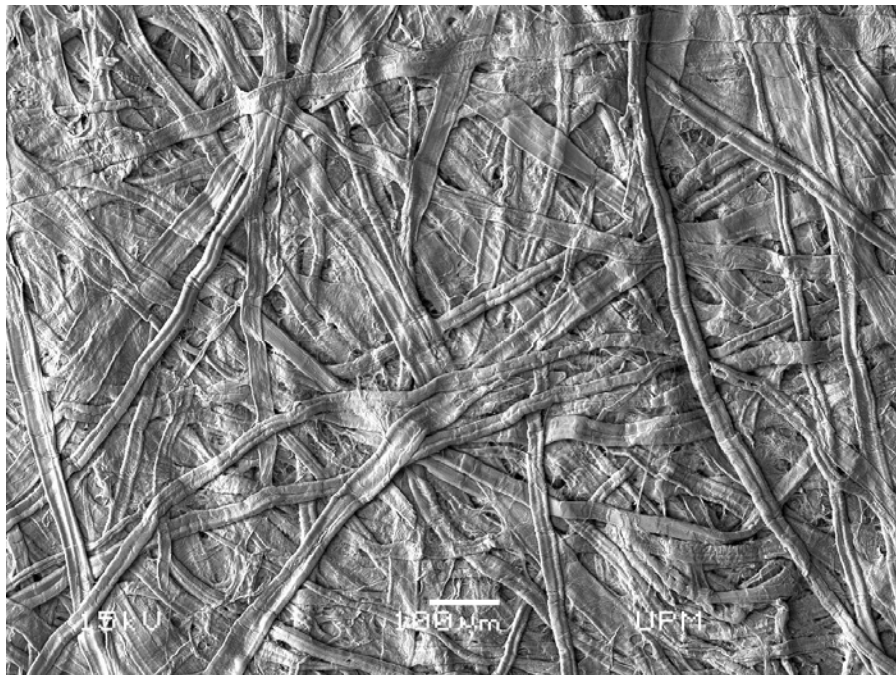
9. KUITUKUVAUKSET

Kuitukuvaukset suoritettiin UPM-Kymmenen Lappeenrannan tutkimuskeskuksen mikroskopiaosastolla. Mikroskooppikuvia otettiin 80 g/m² LD-, SP- ja UG-laaduista sekä ylä- että alapinnoilta. Lisäksi paperista tehtiin hartsivalu, josta

kuvattiin paperin poikkileikkauskuvat. Kuvien avulla pyrittiin selvittämään vetolujuuden heikkeneminen mikrokreppauksessa ja tutkia mahdollisia kuituvaurioita mikrokreppatuilla pinnoilla.

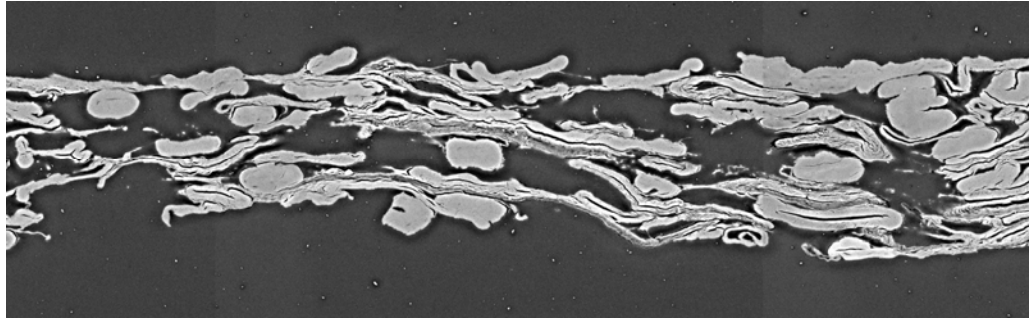
SEM-pintakuvat

Pyyhkäiselektronimikroskoopilla (scanning electron microscopy SEM) otetuissa kuvissa valo on kohdistettu sivulta siten, että paperin korkeammat kohdat ovat vaaleampia ja montut näkyvät tummempina. Kuvassa 30 on mikrokreppattu pinta. Pinta näyttää suhteellisen hyvin sitoutuneelta, mutta kuitenkin selviä huokosia on nähtävissä. Käytetyllä suurennoksella (100-kertainen) ei vielä näy kuidun pinnoilla selviä vaurioita. Paperissa on poikkisuuntaista aaltoilua, mutta konesuunnassa ei ole havaittavissa ryppyntymistä.



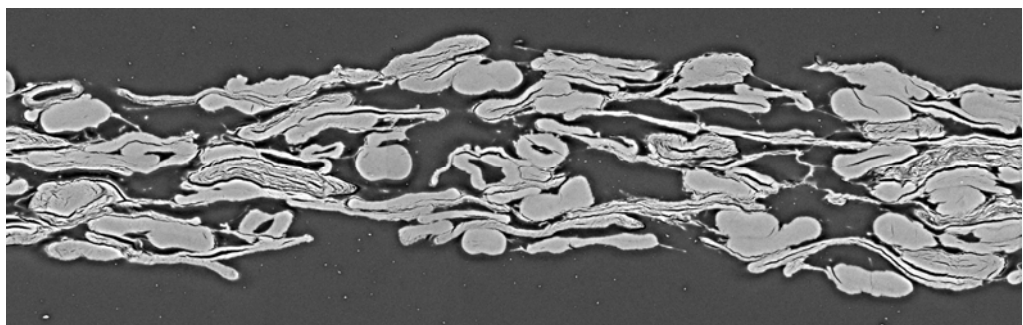
Kuva 30. SP-laadun mikrokreppattu pinta. Kuvassa konesuunta on ylhäältä alaspäin.

Hartsivalusta otetuissa poikkileikkauskuvissa mikrokrepattu pinta on yläpinta. Pinnalla näkyy kihartuneita ja osittain irronneita kuituja. Kuidut ovat lähes täysin lommahtaneet, mutta kuitujen välissä on huokoisuutta. Poikkileikkauskuvasta vasemmalla on paperissa ohut kohta.



Kuva 31. SP-laadun poikkileikkauskuva. Kuvassa näkyy yläpinnalla irronneita kuituja ja vasemmassa laidassa huokoinen alue.

Mikrokreppaamaton UG-laatu on poikkileikkauskuvan perusteella tasaisempaa ja kuidut ovat pinnassa paremmin sitoutuneet ja vähemmän kihartuneet/29/. Pinnalla ja keskikerroksissa on lommahtamattomia kuituja. Huokosia on läpi paperin, mutta pinnat näyttävät kuitenkin ehjemmiltä kuin mikrokrepatussa paperissa.

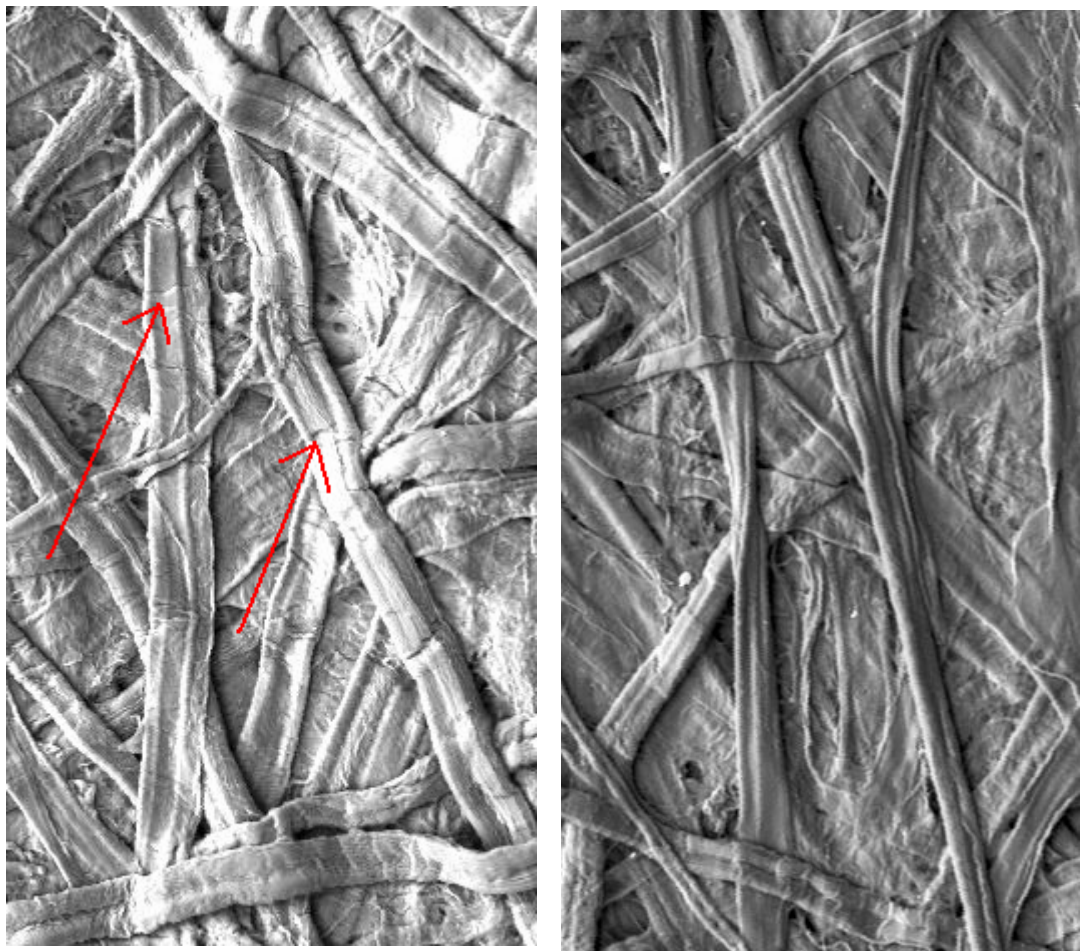


Kuva 32. UG-laadun poikkileikkauskuva.

Mikrokrepattua pintaa suurentamalla kuidun pinnalta konesuunnassa näkyy vaurioita, jotka johtuvat todennäköisesti mikrokreppauksen aiheuttamasta tyssäytymisestä. Vaurioituneet kohdat ovat selvimmät konesuuntaan

orientoituneilla kuiduilla kohdissa, joissa mikrokompressiota ei kuvan perusteella ole.

Myös konesuunnassa olevan kuidun pinta on korkeassa kohdassa rikkoutunut. Mikrokreppaamattomalla UG-laadulla konesuuntaiset kuidut ovat verrattain ehjiä. Samankaltaisia vaurioita kuten SP-laadulla ei ole havaittavissa kuiduissa. Kuidut ovat suorja ja pinta on sileämpi ja ehjempi.



Kuva 33. Vasemmassa kuvassa mikrokreppauksen aiheuttamia tyssäytymiä kuiduissa SP-laadulla. Oikealla mikrokreppaamaton UG-laatu. Kuvissa konesuunta on pystyyn.

10. JOHTOPÄÄTELMÄT JA EHDOTUKSET

Johtopäätelmät

Expandatelan kumipinnoitteen keskialueen kulumiseen ei löytynyt yksiselitteistä syytä. Kulumisen aiheuttajia voi olla useita, kuten paperin paksuus- ja kosteusprofiilin vaihtelut poikkisuunnassa, irtolian kertyminen telan pintaan, lämpötilasta ja epätasaisesta nipin kuormituksesta johtuvat paineen epätasaisuus nipissä. Lämpökamerakuvissa ei ollut havaittavissa suuria lämpötilaeroja, mutta jo parin asteen vaihtelut voivat vaikuttaa. Lisäksi nämä ilmiöt korostavat toisiaan. Korkeampi paine tai paksumpi paperi nostaa painetta nipissä, jolloin lämpötila nousee ja telan kimmomoduli laskee ja pinnoite pehmenee. Lämmityshöyry tulee kuivatussylintereihin käyttöpuolelta. Tämä voi myös aiheuttaa paperiradan ominaisuuksien vaihtelua poikkisuunnassa.

Telan päätyjen lämpötilaan ja kulumiseen näyttäisi paineella ja paperiradan leveydellä olevan suuri merkitys. Koeajon aikana havaittu lämpötilan nousu paineen noston yhteydessä alueella, jossa telojen välissä ei ole paperia, on selvä. Voi olettaa, että kumimateriaali, jonka käyttölämpötilaksi esitetään n. 60 °C, alkaa kulua normaalia voimakkaammin lähellä 100 °C. Lisäksi suuret lämpötilaerot lyhyellä n. 20 cm matkalla ei voi olla vaikuttamatta telojen dimensioihin.

Koeajossa haettua paperin muokkautuvuutta ei ilmennyt. Vaikka koeajo oli lyhyt, telan lämpötilat ehtivät kehittyä odotetunlaisesti. Paperin muokkautumiseen olisi ehkä tarvittu pidempi asettumisaika. Paperissa tapahtui koenäytteiden mukaan muutoksia, mutta selkeästi paineen muutoksiin ne eivät vastanneet. Muutokset peittyivät tai osittain selittyivät kokonaisprosessin heilahtelulla. Koeajolla haettiin ensisijaisesti muutoksia poikkisuunnan venymän profiliin. Tehdyn koeajon perusteella täytyy todeta, että vinokuormalla ei voi poikkisuuntaista venymää muokata halutulla tavalla.

Kuitukuvauksista saatujen tulosten perusteella vetolujuuden heikkenemiseen voi vaikuttaa paperin rakenteen rikkoutuminen, isojen huokosten muodostuminen

paperiin ja paperin yläpinnan kuitujen kihartuminen ja irtoaminen. Kuituvaurioita itse kuidun rakenteessa löytyi konesuunnassa, jotka voi olla mikrokreppauksen aiheuttamia tyssäytymiä. Myös nämä kuidun pitkittäissuuntaiset vauriot voivat heikentää yksittäisen kuidun lujuutta. Paperin poikittaiskuvissa näkyy kohtia, joissa huokoisessa kohdassa kuituverkosto on hyvin ohut. Nämä kohdat ovat todennäköisimpiä heikkoja kohtia, joissa yksittäisen kuidun lujuus on ratkaiseva.

Ehdotukset

Kumipinnoitteen kulumisen hidastamiseksi keskialueilta tulisi telan pinta pitää puhtaana. Telan kulumisessa syntyvä kumijauho puhdistetaan tällä hetkellä harjatelalla, joka pyörii nipin menopuolella. Puhdistus olisi tehokkaampaa, jos harjatelalla pyöriisi nipin tulopuolella siten, että jauho ei jäisi pyörimään telan mukana vaan poistuisi radan mukana. Lisäksi harjatelalla tulisi olla päällä koko ajan heti vaihdon jälkeen.

Paineen vaikutus lämpötilan kehittymiseen telojen päädyissä alueilla, joissa telat ovat vastakkain, näyttäisi olevan suuri. Rataa kavennettaessa painetta on lisätty. Paineen korottaminen nostaa lämpötilaa huomattavasti. Painetta nostamalla koko tela lämpenee. Paineet tulisi pitää mahdollisimman alhaisina ja varsinkin radan kavennuksen yhteydessä painetta ei tulisi nostaa käyttöpuolella.

Telan sorvauksen yhteydessä voisi pinnoitteen päätyyn tehdä mikroviisteen, jolla pyritään laskemaan painetta alueilla, joissa telat ovat vastakkain.

Nipin olosuhteita tulisi mallintaa siihen tarkoitetuilla ohjelmilla. Tämä antaisi laskennallista tietoa nipin käyttäytymisestä ajotilanteesta. Lisäksi Expandayksikön käyttäytymiseen tulisi syventyä enemmän. Pohjatietona on nippiprofiilin mittauksesta ja lämpökamerakuvista saatavat tiedot.

Paperin ominaisuuksia kehitettäessä kevyempään ja kestävämpään suuntaan täytyisi selvittää mikrokreppaustapahtuman kehityssuunta. Tapahtuma näyttäisi tällä hetkellä olevan raju. Telan halkaisijaa, lämpötilaa, painetta ja erityisesti telapinnoitteen ominaisuuksia muuttamalla voidaan nippitapahtumaa muuttaa joko

vieläkin rajummaksi tai pehmeämmäksi. Samalla telapinnoitteen kestävyys voisi hakea parannuksia.

Expand-yksikön paineensäätöpiiri tulisi olla takaisinkytketty säätöpiiri. Tällöin paineet asettuisivat automaattisesti halutulle tasolle ja pulpetista käsin säätäminen loppuisi.

LÄHTEET

1. Gurnagul, N. Shuohui, J. Shallhorn, P. Miles, K. Optimizing high-consistency refining conditions for good sack paper quality. Appita toukokuu 2005.
2. Hautala, M. Peltonen, H. Insinöörin fysiikka, Osa 1. Oppikirja. Lahden teho-opetus Oy. 6. painos.
3. Häggblom-Ahnger, U. ja Komulainen P. Paperin ja kartongin valmistus. Opetushallitus, Hakapaino Oy, Helsinki, 2000.
4. Kalanteroinnin kehitys-seminaarin luentokansio. Espoo 1999. Teknillisen korkeakoulun kirjasto.
5. Karlsson, M. Papermaking Science and Technology. Papermaking part 2, drying. Fabet Oy Helsinki 2000. s. 337-340.
6. Kirwan, M J. Paper and paperboard packing technology. Environmental and technical association for the paper-sack industry ETAPS.
7. Keskinen, A. Säkkipaperin jäykkyys. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto, paperinjalostustekniikan laitos. Tampere 2004.
8. KnowPap, versio 5.0, Paperitekniikan ja -tehtaan oppimisympäristö. VTT Tuotteet ja tuotanto, 1997-2004.
9. Kuninkaanniemi, T. Heiskanen, O. Expanda nippiprofiilimittaukset 22.2.2006. Valkeakoski. Metso Paper Oy.
10. Maddern, K., Sack kraft, Stretching paper to the limit, Appita journal marraskuu 2003 s. 41.
11. Manner, H. Putkinen, P. Kuituverkoston lujuuden heikkeneminen puristuskuormituksen johdosta. Osa 3: Paperin kosteuden vaikutus kalanteroitessa. Otaniemi 1994.
12. Metso Paper tuote-esitteet.
13. Niskanen, J. Nippipaineen tasaisuuteen vaikuttavat tekijät kalanteroinnissa. Oulun yliopisto, Konetekniikan osasto. Paperi ja puu huhtikuu 1996.
14. PaperHelp Contents, main paperhelp pages, 2.4.2 tensile properties. PaperLoop.
15. Paulapuro, H. Papermaking Science And Technology. Papermaking Part 1, Stock Preparation and Wet End. Fabet Oy 2000 Helsinki. s. 413.
16. PowerPoint-esitys, Tervasaari paperikone 6. UPM-Kymmene Oyj.

17. Saharinen, K. Termoteknologian kehittäminen ja kalanterointiprosessin kehittäminen. Diplomityö. Oulun yliopisto, konetekniikan osasto. Oulu 2000.
18. Scott-Kerr, C. Manufacture of multiwall sack papers. Artikkel. Pulp and paper Canada Maaliskuu 1997.
19. Soini, P. Kalanterointi, kirjallisuustutkimus. TKK, Otaniemi 1997.
20. Tuote-esittelykortit. UPM-Kymmene, Tervasaari, Valkeakoski.
21. Vaittinen, H. Korkea kosteus paperin kalanteroinnissa. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu, kemiantekniikan osasto. Järvenpää 2000.

SÄHKÖISET VIITTEET

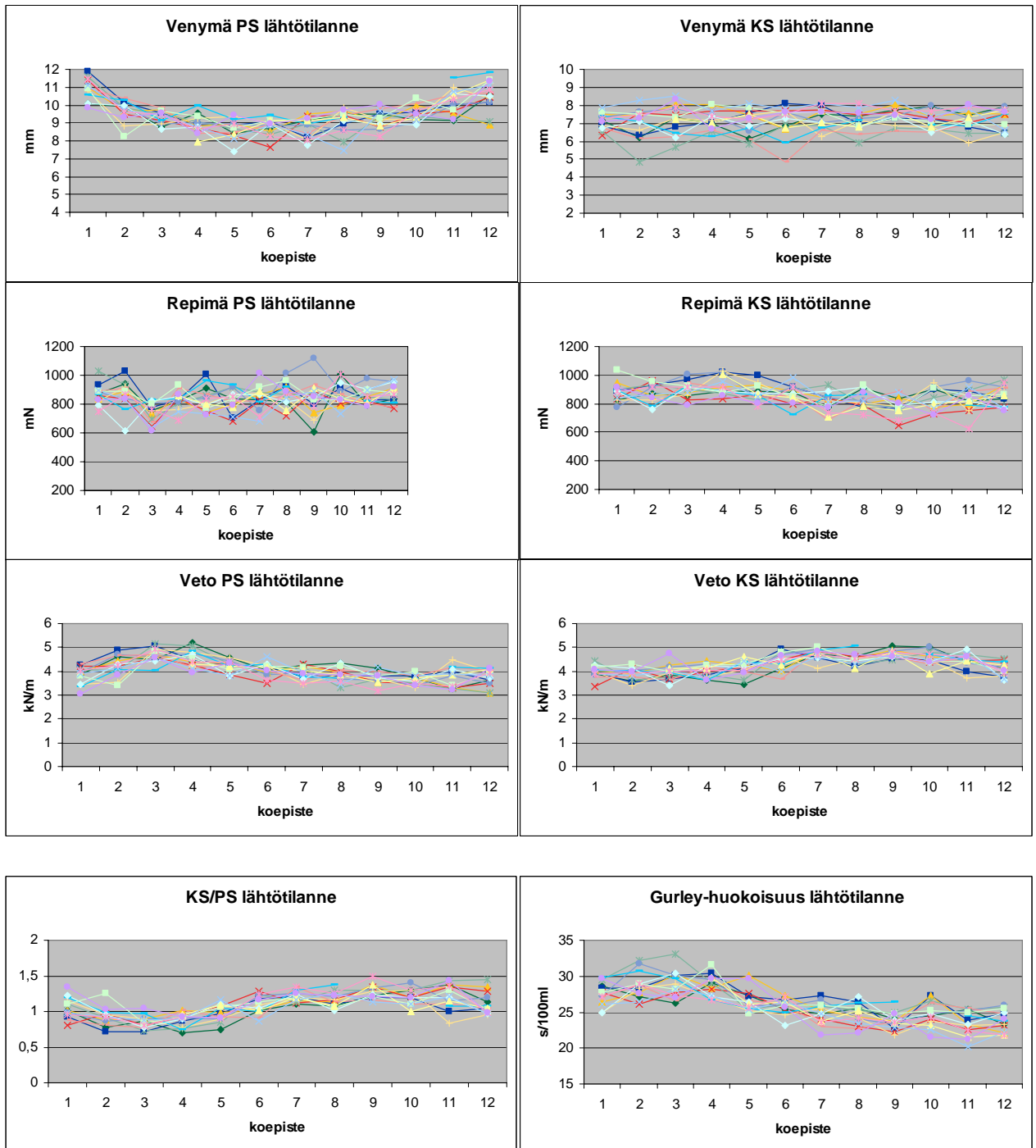
22. www.ims.tut.fi/vmv/pdf/vmv_2004_02_28.pdf. TTY, muovi- ja elastomeeritekniikka, 15.4 2006.
23. http://www2.lut.fi/kete/mempo/tpk_eoj04/luennot/Puu%20sen%20rakenne....pdf. LUT, membraanitekniikka ja teknillinen polymeerikemia, 20.4 2006.
24. www.ims.tut.fi/vmv/pdf/vmv_2004_02_28.pdf. TTY, muovi- ja elastomeeritekniikka 30.4 2006

SUULLISET VIITTEET

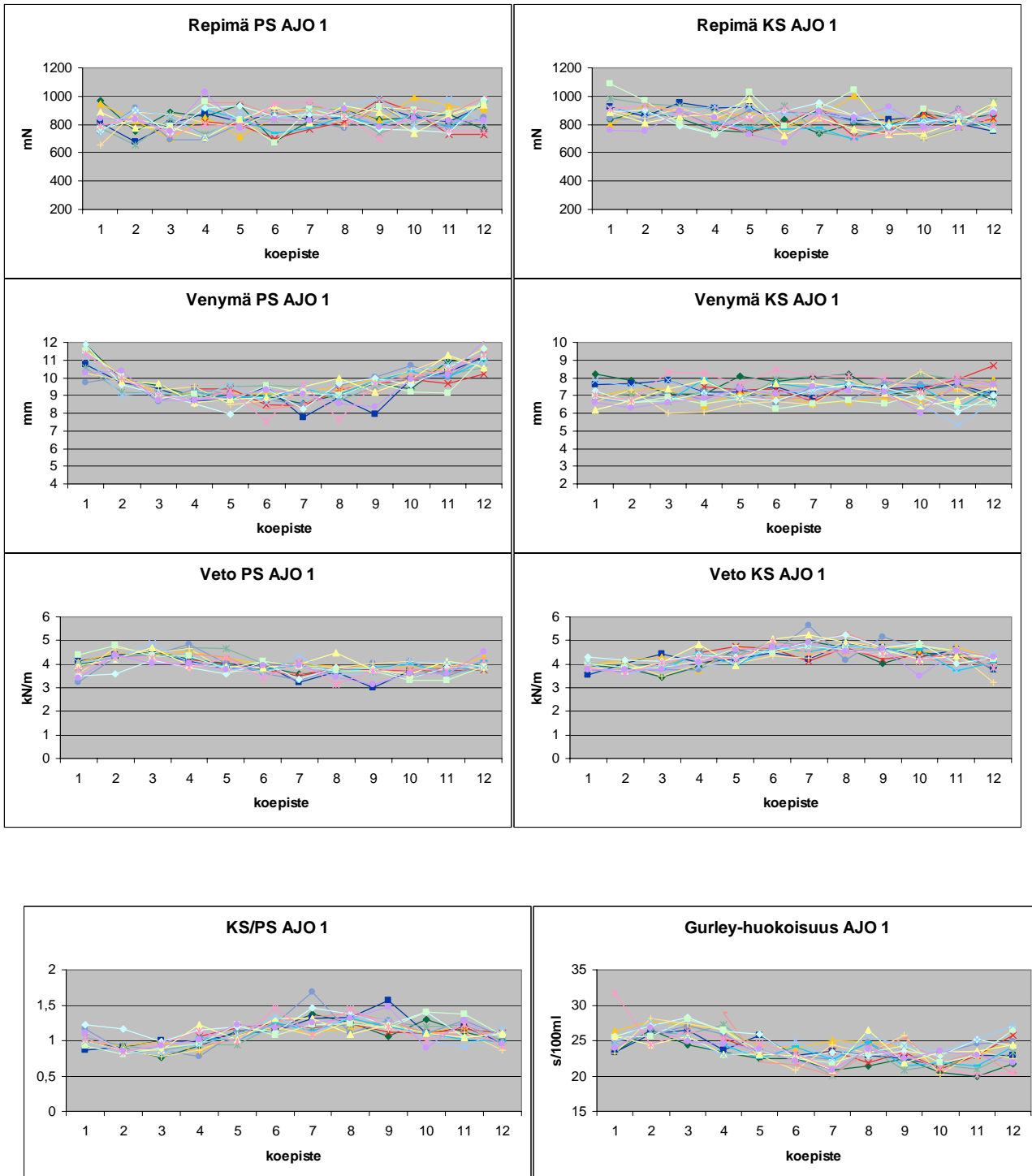
25. Kuninkaanniemi, Toni, keskustelu, Valkeakoski, 22.2 2006.
26. Lahtinen, Jouko, keskustelu, Valkeakoski 15.2 2006 15.00.
27. Mäkelä, A-L. sähköpostiviesti, Valkeakoski 18.4 2006 17.13.
28. Nikkilä, A. keskustelu, Tampere AMK 19.4 2006 kello 12.00.
29. Väliaho, Esa, keskustelu, Tampere 10.2 2006 kello 8.00.

LIITTEET

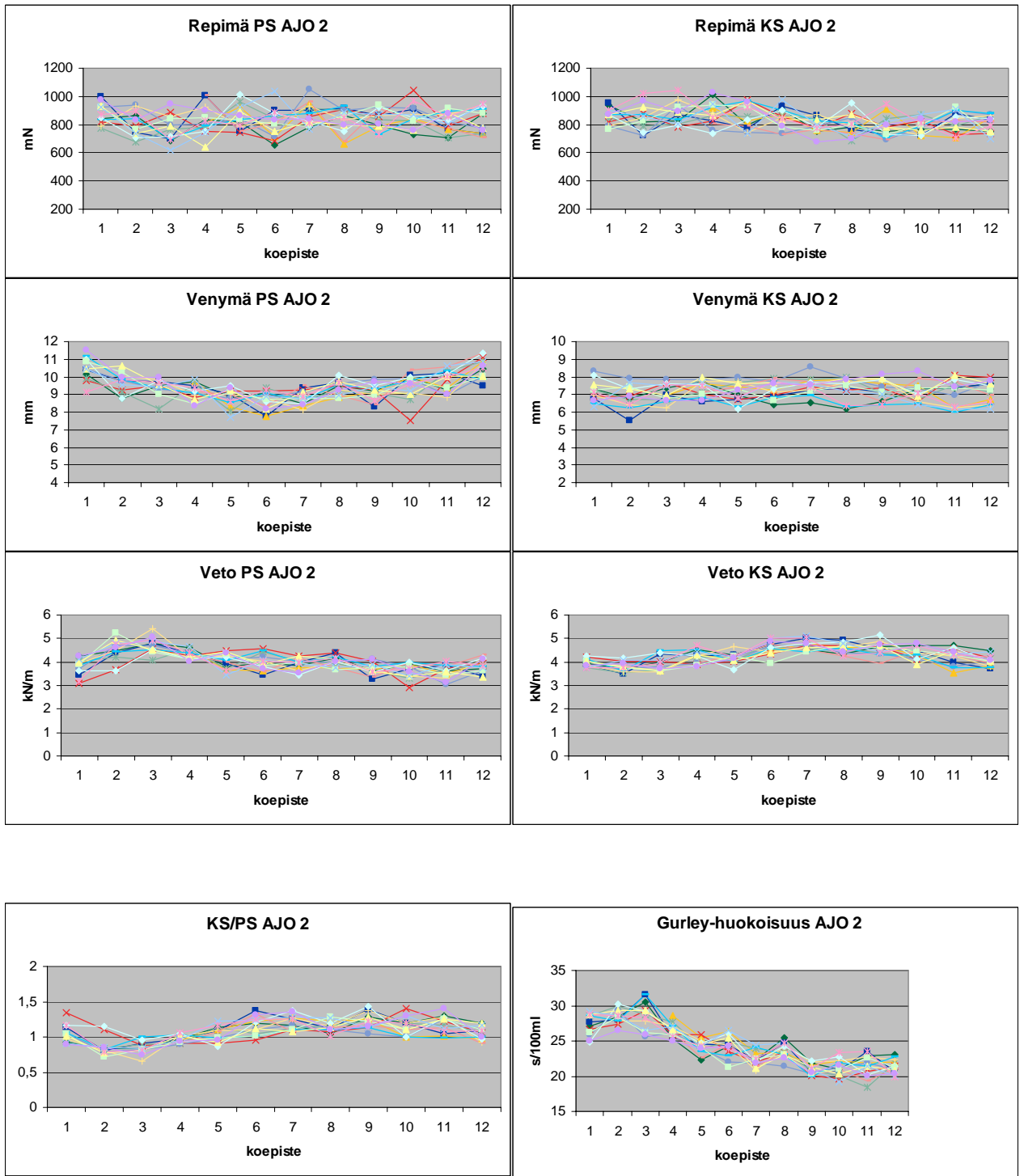
LIITE 1. Expanda-koeajon laboratoriomittausten profiilit lähtötilanteessa.



LIITE 2. Expanda-koearon laboratoriomittausten profiilit ensimmäisestä koerullasta.



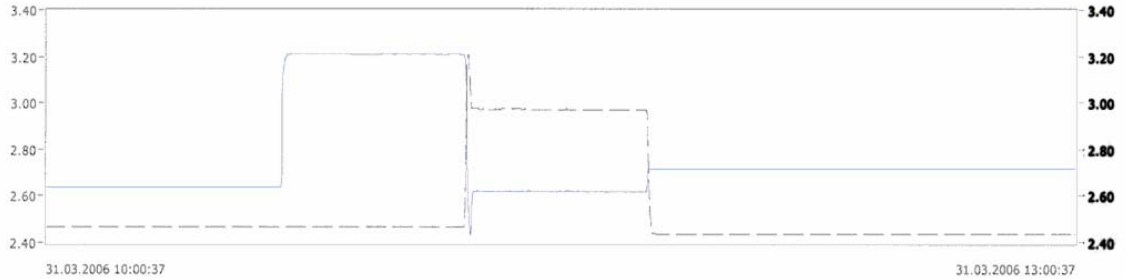
LIITE 3. Expanda-koearon laboratoriomittausten profiilit toisesta koerullasta.



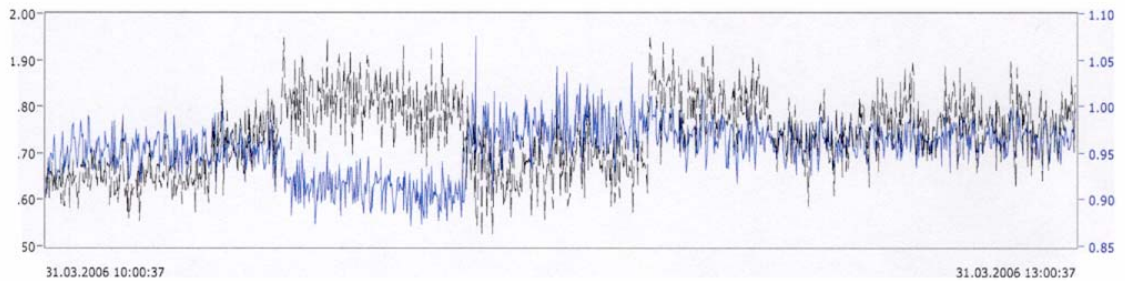
LIITE 4. Expanda-koeajon aikana poimitut tiedot tehdasmittausjärjestelmästä.



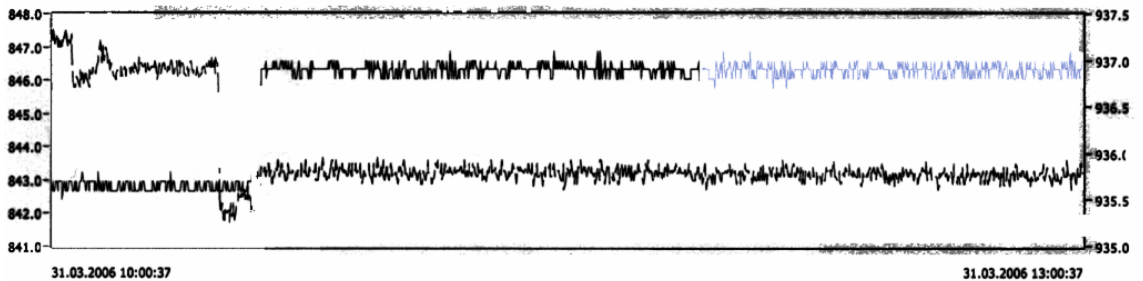
Kone: PM6
Päivä: 02.05.2006
Kello: 15:59



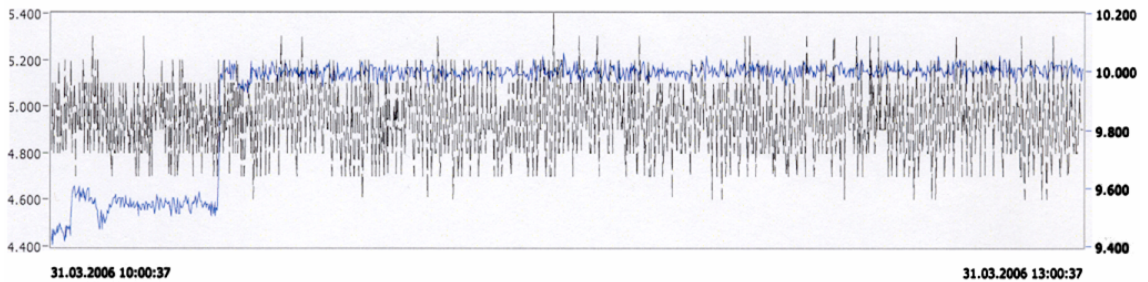
Signaali	Arvo	Laatu	KA	KH	Min.	Max.	Ristikorrelaatio
PI-76759.1 Expandan alateelan kuormitus HP	2.44	bar	2.55	0.20	2.44	3.21	Kerroin Viipe
PI-76759.2 Expandan alateelan kuormitus KP	2.72	bar	2.77	0.21	2.43	3.21	0.957 -1920



Signaali	Arvo	Laatu	KA	KH	Min.	Max.	Ristikorrelaatio
XI-76436.1 Expandan värinä HP	1.85	mm/s	1.74	0.08	1.52	1.95	Kerroin Viipe
XI-76436.2 Expandan värinä KP	1.00	mm/s	0.95	0.03	0.87	1.07	0.444 2660



Signaali	Arvo	Laatu	KA	KH	Min.	Max.	Ristikorrelaatio
SI-76589.80 Expandan yläteelan nopeus	843.2	m/min	843.7	1.25	841.7	847.6	Kerroin Viipe
SI-76589.10 Expandan alateelan nopeus	937.0	m/min	936.6	0.50	935.4	937.1	-0.884 390



Signaali	Arvo	Laatu	KA	KH	Min.	Max.	Ristikorrelaatio
	4.900		4.949	0.16	4.800	5.400	Kerroin Viipe
	10.011		9.924	0.17	9.406	10.064	-0.031 -1080