

Jari Sirviö ja Petri Kärenlampi

## Parempaa paperia lajitellusta raaka-aineesta?

### Johdanto

**P**aperin hinta määräytyy markkinoilla. Jos paperituote voidaan erilaistaa käyttäjän kannalta kilpailijoiden tuotteita paremmaksi, siitä ehkä voidaan saada hieman korkeampi hinta. Toisaalta, jos kysytty vakiotuote voidaan valmistaa edullisemmin kuin kilpailijat sen tekevät, saadaan taloudellista etua.

Nykyään paperin valmistuksessa käytettävä puuraaka-aine lajitellaan lähinnä puulajin ja tuoreuden mukaan, ja lisäksi usein sahanhake erotetaan kuitupuusta. Voidaanko puuraaka-ainetta lajitella tehokkaammalla tavalla? Mitä tällä ehkä voidaan saada aikaan?

### Ongelman kuvaus

#### Mekaaninen massa

Sanomalehtipaperin ajettavuus on usein kriittinen ominaisuus. Tätä voidaan parantaa lisäämällä mekaanisen massan joukkoon havusellua. Sellu on kuitenkin huomattavasti mekaanista massaa kalliimpaa. Olisiko mahdollista käyttää mekaanisen massan valmistuksessa sellaista puuraaka-ainetta tai sellaisia menetelmiä, että armeerausmassan liisäämistarve saataisiin minimoitua, ts. valmistettaisiin *lujaa mekaanista massaa*?

SC-paperia kiillotetaan voimakkaasti. Näin saadaan sileä ja kiiltävä pinta, mutta voimakkaassa

### Termien selityksiä

Ajettavuus Armeeraussellu	Paperirainan kyky kulkea häiriöttä paperi- ja jalostuskoneilla Mekaaniseen massaan sen ja siitä valmistettavan paperin lujuusominaisuuksien parantamiseksi lisättävä pitkäkuituinen sellu
Kalanterointi	Raakapaperin koneellinen jälkikäsitteily (puristus), jolla pyritään saavuttamaan paperiin haluttuja ominaisuuksia, kuten pinnan sileys, kiilto, paksuus jne.
Kalanterointimustuma Hienopaperi	Kalanteroinnista aiheutunut paperin osittainen tummuminen Yleisnimitys paperilajeille, jotka eivät sisällä lainkaan mekaanista massaa
Mikrofibrilli	Puukuidun perusrakenneyksikkö; selluloosamolekyyliden muodostama kimppu
Raina	Paperi- tai jalostuskoneella liikkuva, valmistumassa tai jatkokäsittelyssä oleva paperirata
SC-paperi	Superkalanteroitu paperi; täysin erillisenä työvaiheena tehty kalanterointi

kiillotuksessa paperi puristuu kokoon, ja optisten kuitu-ilma rajapintojen määrä siinä vähenee. Tästä voi seurata valonsirontaongelmia. Voimakkaan kalanteroinnin yhteydessä tapahtuvalta optisten kontaktien rajulta lisääntymiseltä ja tätä seuraavalta kalanterointimustumalta voidaan välttyä käyttämällä *valonsirontakykyistä mekaanista massaa*.

#### Armeeraus- ja hienopaperisellu

Armeeraussellua käytetään paperin lujuuden tai ajettavuuden parantamiseksi. Lujuutta tarvitaan lähinnä paperinvalmistuksen ja jalostuksen aikana. Ratkatkon aiheuttaa käytännössä aina jokin vika tai reikä, ja raina katkeaa nimellislujuuttaan merkittävästi alemmassa jännityksessä. Kuinka paperirainan vikojen sietokykyä voitaisiin lisätä?

Hienopaperin (mm. kopiopaperin) valmistuksessa havu- ja lehtisellu voivat ainakin osittain korvata toisiaan, vai voivatko?

#### Ratkaisuehdotuksia

##### Mekaaninen massa

Jo vuonna 1953 Brecht ja Klemm jakoivat mekaa-

nisen massan hienoaineksen kahteen ominaisuuskiltaan erilaiseen luokkaan: *Schleimstoff* ja *Flourstoff*. *Schleimstoff* koostuu pitkähköistä ja ohuista fibrilleistä, jotka ovat hyvin taipuisia. *Flourstoff* puolestaan on jauhomaista sisältäen rakeisia, jäykähköjä kuitupartikkeleita.

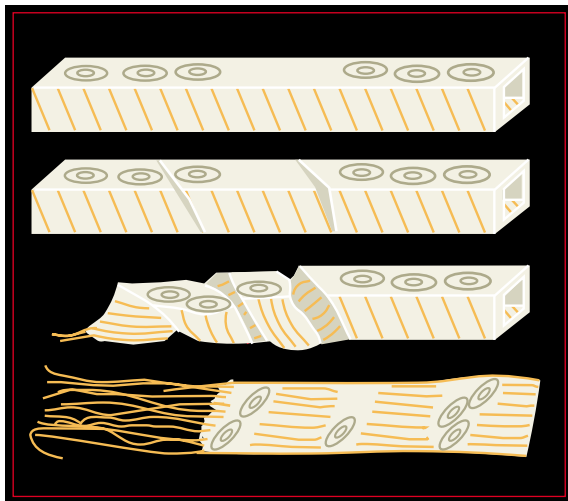
*Lujassa mekaanisessa massassa* partikkelien tulisi olla pitkiä ja taipuisia, jotta niiden sitoutumis-potentiaali olisi suuri. *Valonsirontakykyisessä mekaanisessa massassa* partikkelien tulisi olla jäykkiä ja raemaisia, jotta kalanteroinnin yhteydessä välttyään optisten kontaktien rajulta lisääntymiseltä ja tätä seuraavalta kalanterointimustumalta.

Luja mekaaninen massa ja valonsirontakykyinen massa näyttäisivät olevan täysin eri tuotteita, koska niiltä vaadittavat ominaisuudet ovat toistensa kanssa ristiriitaiset. Lisäksi molemmille tuotteille näyttäisi olevan selkeä käyttökohde – sanomalehtipaperi tai SC-paperi. Miten nämä erilaiset massatuotteet olisi sitten valmistettavissa?

Mekaanisen massan ominaisuuksiin vaikuttamismahdollisuudet voidaan jakaa kahteen periaatteelliseen vaihtoehtoon: prosessin hallinta ja raaka-aineen hallinta.

Ennen ratkaisua on tarkasteltava, mistä eri taipuisuuden omaavat partikkelit ovat peräisin.

On selvää, että mekaanisen massan partikkelit ovat puukuitujen osia – tarkemmin sanoen kuitujen



**Kuva 1.** Kuidun aukikiertyminen Forgacsin (1963) mukaan.

seinämämateriaalia. Kuitujen seinämät koostuvat useista ominaisuuksiltaan ja suhteellisilta paksuuksiltaan poikkeavista kerroksista: primääriseinämästä ja sekundääriseinämän kerroksista  $S_1$ ,  $S_2$  ja  $S_3$ . Näistä merkittävimmin kasvaa  $S_2$ -kerroksen paksuus koko seinämän vahventuessa (Fengel 1969). Päinvastoin kuin muissa kerroksissa,  $S_2$ -kerroksessa mikrofibrillit ovat lisäksi yhtenäisesti suuntautuneina. Niinpä paksuseinämaiset kuidut purkautuvat auki mikrofibrillien suuntaisesti niitä mekaanisesti jauhettaessa (Forgacs 1963, kuva 1). Mikrofibrillikimput purkautuvat edelleen ja muodostuvat hyvin retaleisiksi, pitkien ja taipuisten fibrillien muodostamiksi kuitupartikkeleiksi. Ohutseinämäisissä kuiduissa ei ole aukipurkautumisen mahdollistavaa yhdensuuntaisten selluloosakimppujen muodostamaa kerrosta, joten ne katkeilevat heikoimmista kohdistaan mekaanisen käsittelyn vaikutuksesta.

Vaikuttaa siis siltä, ettei ainakaan lujaa mekaanista massaa voitaisi valmistaa pelkällä prosessin hallinnalla. Valonsirontakykyistä massaa puolestaan voitaneen valmistaa hyvin terävällä hiomakivellä erilaisistakin raaka-aineista.

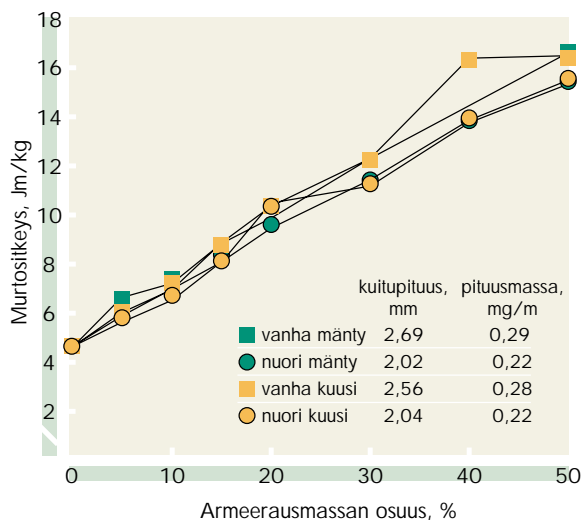
Ruotsalaisten kokeiden perusteella (Berg ym. 1995) suuren tiheyden kuusi-puuaineesta (jossa on paksut kuituseinämät) saadaan Schleimstoff-tyyppistä lujaa massaa. Matalan tiheyden puuainekses-

ta (ohuet kuituseinämät) saatiin korkean valonsirontapotentiaalin omaavaa massaa. Puuaineen tiheydellä on siis vaikutusta siitä saatavan mekaanisen massan laatuun. Puuaineen tiheys on kuitenkin riippuvainen sekä kuituseinämien paksuudesta että kuitujen ympäröimästä, joten seinämäpaksuuden tehokkain hallinta ei voi perustua pelkän tiheystiedon käyttöön. Mekaanisen massan laadun hallinnan on siis perustuttava kuituominaisuuksien, lähinnä kuituseinämän paksuuden, hallintaan.

### Armeeraus- ja hienopaperisellu

Rainan kykyä sietää vikoja katkeamatta voidaan parantaa huomattavasti lisäämällä siihen pitkiä armeerauskuituja, jotka pitävät särön reunoja kiinni toisissaan. Armeerausmassan suhteellisen osuuden kasvattamisen onkin havaittu lisäävän lujuutta (Kärenlampi ym. 1996, kuva 2).

Pääosin mekaanisesta massasta valmistetun paperin kalliimpi raaka-ainekomponentti on kuitenkin armeerausmassa, joten sen määrä olisi minimoitava. Paperin murtositkeys (normalisoituna



**Kuva 2.** Armeerausmassan osuuden vaikutus paperin sitkeyteen. Kaikki armeerausmassat on jauhettu suotautumisvastukseen 40-50 SR, ja paperit on kalanteroitettu kevyesti (Kärenlampi ym. 1996).

murtopolulla sijaitsevien kuitujen lukumäärällä) riippuneesta lineaarisesti kuidunpituudesta (Kärenlampi ym. 1995). Murtositkeyteen vaikuttanevat myös kuitujen lujuus sekä sidosten lukumäärä ja lujuus (Kärenlampi ym. 1995). Mitä pidempiä kuidut ovat, sitä kauemmin ne pystyvät pitämään aukeavaa säröä kiinni (kuva 3). Kuitujen ja sidosten lujuuteen voidaan jossain määrin vaikuttaa prosessoinnilla.

Hienopaperia voidaan valmistaa täysin ilman havusellua, siis pelkästään lehtisellusta ja täyteaineesta. Havusellun lisääminen parantaa kuitenkin ajettavuutta etenkin koneen määrässä päässä. Samalla vedenpoisto nopeutuu, mutta optiset ominaisuudet heikkenevät.

Jos raina saadaan kulkemaan luotettavasti ilman havusellua, havupuukuitujen kilpailukyky on heikko. Tämä johtuu siitä, että sellun valmistuksen talouden kannalta havupuiden kilpailuasema lehtipuita vastaan on onneton. Tähän ovat syynä

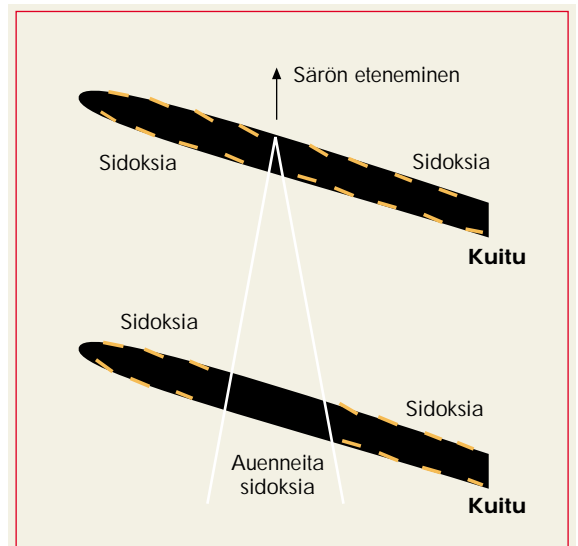
- alempi puuaineen tiheys
- alempi keittosaanto (suurempi ligniinipitoisuus)
- hitaampi keittyminen
- alemmasta saannosta johtuva suurempi soodakattilan kuormitus.

Miten lajitella kuitupuuta?

Paksuuskasvusolukko eli jälsi tuottaa puusoluja. Jäljen toiminta muuttuu sen ikääntyessä. Jälsi on puolestaan kärkikasvusolukon tuottama, joten myös kärkikasvusolukon iällä voi olla merkitystä. Näiden kasvusolukoiden ikääntymisilmiöiden lisäksi puun kasvunopeus saattaa vaikuttaa kuituominaisuuksiin. Myös kasvunsäätet (kasvuhormonit) vaikuttanevat jäljen aktiivisuuteen. Tätä voitaneen selittää latvusrajan sijainnilla, sillä kasvunsäätet muodostuvat latvuksessa, mistä ne siirtyvät runkoa myöten alaspäin. Kuitupuun luokitteluperusteena voi siis olla joko

- jäljen ikä tai
- jäljen ikä ja kasvunopeus tai
- jäljen ikä ja korkeus rungossa tai
- jäljen ikä, kasvunopeus ja korkeus rungossa.

Kun eri kasvumeکانismien yksittäis- ja yhteisvaikutukset puukuitujen pituuteen ja soluseinämän paksuuteen on selvitetty, voidaan perustaa tehokkaita



**Kuva 3.** Kaksi yhdensuuntaista kuitua särön kärjen tiellä.

mutta yksinkertaisia puuraaka-aineen luokittelujärjestelmiä.

Männyn kuituominaisuuksia voidaan hallita tehokkaasti luokittelemalla puuraaka-aine iän mukaan (Kärenlampi ja Suur-Hamari 1995, Sirviö ja Kärenlampi 1996). Kuusen kohdalla tilanne on kuitenkin monimutkaisempi – myös kasvunopeus ja korkeus rungossa aiheuttavat vaihtelua kuituominaisuuksiin (Kärenlampi ja Suur-Hamari 1995).

Kuituseinämän paksuus vaihtelee huomattavasti yhdenkin kasvukauden aikana. Tästä syystä ei suuria raaka-ainemääriä voida lajitella puhtaasti ohut- ja paksuseinämäisiin kuituluokkiin. Seinämänpaksuuden *jakaumaan* luokittelulla voidaan kuitenkin vaikuttaa merkittävästi (Sirviö ja Kärenlampi 1996). Kuituominaisuudet eivät myöskään ole toisistaan tilastollisesti riippumattomia. Perusteellinen tutkimus kuusen kuituominaisuuksien vaihtelusta on käynnistetty.

Lähteet

Berg, M., Bjurulf, A. & Löfgren, M. 1995. Uppdelning av granmassaved efter egenskaper. Skogforsk Resul-

- tat 6/1995. 4 s.
- Brecht, W. & Klemm, K.H. 1953. The mixture of structures in a mechanical pulp as a key to the knowledge of its technological properties. *Pulp Paper Can* 54(1): 72–80.
- Fengel, D. 1969. The ultrastructure of cellulose from wood. Part 1: Wood as the basic material for the isolation of cellulose. *Wood Sci. Tech.* 3(3): 203–217.
- Forgacs, O. 1963. The characterization of mechanical pulps. *Pulp Paper Can.* 64(C): T89–118.
- Kärenlampi, P., Niskanen, K. & Alava, M. 1995. The fracture toughness of paper: the role of fiber properties and fiber bonding. 1995 Paper Physics Conference, Niagara-on-the-lake, Ontario, Sept. 11–14. s. P39–46.
- Kärenlampi, P. & Suur-Hamari, H. 1995. Classified wood raw materials for diversified softwood kraft pulps. TAPPI 1995 Pulping Conference, Chigaco, Ill., Oct. 1995. s. 683–690.
- , Tikkanen, M., Hämäläinen, T., Rantanen, R. & Suur-Hamari, H. 1996. Opacity, smoothness and toughness of mechanical printing papers: the effect of softwood kraft pulp properties. 1996 Papermakers Conference, March 24–27, Philadelphia, PA. s. 152–160. Forthcoming in *Tappi* 80(4), 1997.
- Sirviö, J. & Kärenlampi, P. 1996. Distributions and correlations of softwood fiber properties within age-classified pulps. Forthcoming in *Wood & Fiber Science* 29(1), 1997.
- Kirjoittajat työskentelevät Helsingin yliopiston metsävarojen käytön laitoksessa.