

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO
Kemiantekniikan laitos
Paperitekniikan laboratoriotyö
Kandidaatintyö

Uusiomassan laatuluokat, ominaisuudet ja käyttökohteet

Pvm: 11.01.2011
Tekijä: Teija Laukala, kete N
Tarkastaja: Mika Pulkkinen, DI

Sisältö

Johdanto.....	2
<hr/>	
1 Keräyspaperi	3
<hr/>	
1.1 Paperin kerääminen ja keräyspaperin kauppa.....	4
1.2 Keräyspaperin laatuluokat Euroopassa	8
1.3 Paperi ja kartonki. Eurooppalainen luettelo keräyspaperin ja -kartongin standardilajeista.....	9
2 Keräyspaperin käyttökohteet	11
<hr/>	
3 Uusiomassan valmistus.....	17
<hr/>	
3.1 Flotaatiosiistauslinja	18
4 Uusiomassan paperitekniset ominaisuudet	20
<hr/>	
4.1 Optiset ominaisuudet	23
4.1.1 Uusiomassan valkaisu	23
<hr/>	
4.2 Lujuusominaisuudet.....	24
4.2.1 Jauhatuksen vaikutus uusiomassaan.....	25
<hr/>	
4.3 Pintaominaisuudet ja painettavuus.....	26
4.4 Uusiomassan erityispiirteet	27
4.4.1 Sarveistuminen.....	28
4.4.2 Tahmot.....	29
<hr/>	
5 Yhteenveto	32
<hr/>	
Lähteet	33
<hr/>	

Johdanto

Eurooppalaisen paperiteollisuuden kustannusrakenteessa kuituraaka-aineen osuus on keskimäärin noin 34 %, mikä tekee siitä eurooppalaisen paperiteollisuuden suurimman yksittäisen kuluerän. Toisella sijalla on energia osuudella noin 21 %.

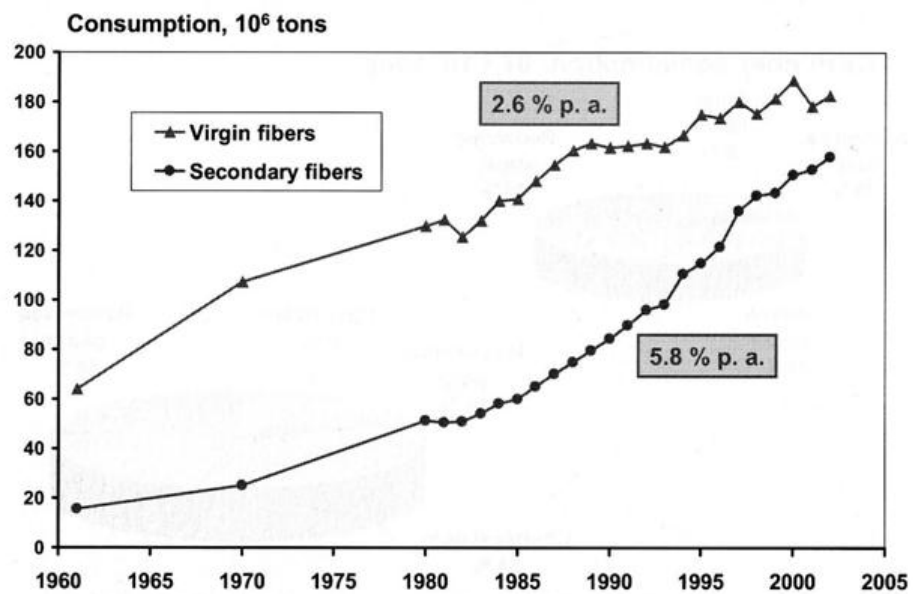
/1/ Tätä taustaa vasten on helppo ymmärtää, että jo varsin pienet prosentuaaliset kustannussäästöt kuituraaka-aineessa voivat olla rahallisesti suuria ja niin ollen niillä voi olla merkittävä rooli tehtaan kannattavuudessa.

Kierrätyskuitu on raaka-aineena suhteellisen halpaa, kierrätyspaperin saatavuus suhteellisen hyvä ja sen markkinat hyvin toimivat, joten edellytykset kierrätyspaperin käytölle paperiteollisuuden raaka-aineena ovat hyvät /2/. Oman osansa kierrätyskuidun käyttöön tuovat myös ympäristökysymykset, ympäristöasioihin aikaisempaa enemmän huomiota kiinnittävät kuluttajat ja tietyillä maantieteellisillä alueilla, kuten Japanissa ja Meksikossa, hyödynnettävissä olevan neitseellisen kuidun vähäisyys /3, 4/. Keräyspaperi on paperiteollisuudelle tärkeä raaka-aine, ja sen merkityksen oletetaan kasvavan entisestään.

Tässä työssä pyritään antamaan yleiskuva uusiomassan ja keräyspaperin käytöstä paperiteollisuuden raaka-aineena. Luvussa 1 käsitellään paperin keräämistä, keräyspaperin kauppaa ja keräyspaperin laatuluokkia Euroopassa. Luku 2 käsittelee keräyspaperin käyttökohteita pääosin paperiteollisuudessa, luku 3 uusiomassan valmistusta ja tyypillistä flotaatiosiistauslinjaa. Luvussa 4 edetään uusiomassan yleisiin ominaisuuksiin ja uusiomassalle tyypillisiin erityispiirteisiin, joista tarkemmin käsitellään tahmo-ongelmia ja kemiallisen massan kuitujen sarveistumista.

1 KERÄYSPAPERI

Keräyspaperi on paperiteollisuudelle tärkeä raaka-aine. Euroopassa keräyspaperi on jo kemiallisen metsäteollisuuden pääraaka-aine, ja sen käyttömäärien oletetaan kasvavan entisestään (kuva 1) /2, 5/. Esimerkiksi vuonna 2005, jolloin kierrätyskuidun osuus kuituraaka-aineesta oli maailmanlaajuisesti 50 %, kierrätyskuitua käytettiin 185 miljoonaa tonnia /1, 6/.

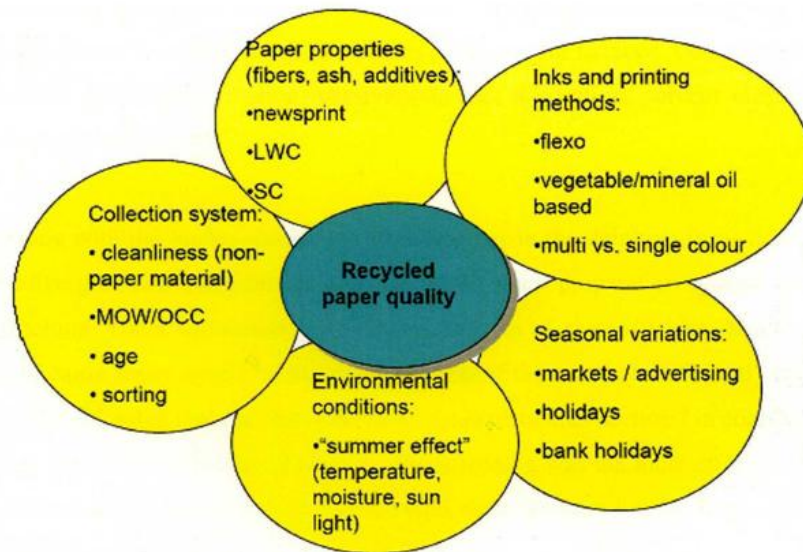


Kuva 1. Kierrätyskuidun ja neitseellisen kuidun kulutuksen kehitys paperin ja pahvin raaka-ainena. Kierrätyskuidun käytön kasvu alkoi lisääntyä voimakkaasti 1980-luvulla. /3/

Kuituraaka-aine muodostaa huomattavan osan pahvin ja paperin tuotantokustannuksista, esimerkiksi 40–50 % uusiomassapohjaisen sanomalehtipaperin tuotantokustannuksista pääomakulut poisluettuna. Kuituraaka-aineen hinta ja saatavuus ovat siis merkittäviä taloudellisia tekijöitä, ja ne myös vaikuttavat uusien tehtaiden sijoituspaikkoihin, jotka ovat perinteisesti olleet lähellä metsiä. Kierrätyskuidun osuuden kasvun vuoksi uusia tehtaita on kuitenkin alettu sijoittaa lähelle tiheästi asuttuja alueita, keräyspaperin lähteitä. /6/

Uusiomassan ja täten siitä valmistettavan tuotteen laatu riippuu suuresti massan raaka-aineen eli keräyspaperin laadusta, ja keräyspaperin laatu ja koostumus vaikuttavat myös siihen, mitä saatavasta massasta kannattaa valmistaa /2/. Keräyspa-

perin laatuun puolestaan vaikuttavat pääasiassa paperin ominaisuudet (esimerkiksi kuitujen tyyppi ja tuhkapitoisuus), käytetyt painatusmenetelmät ja musteet sekä keräystapa. Myös vuodenaajalla ja ulkoisilla tekijöillä, kuten säilytyslämpötilalla ja altistumisella auringonvalolle on merkitystä (kuva 2). /7/ Pääperiaatteena on se, että kukin keräyspaperilaji soveltuu sen tuotteen valmistamiseen, jota keräyspaperi edustaa /2/.



Kuva 2. Kierrätyspaperin laatuun vaikuttavat tekijät luokiteltuna viiteen eri kategoriaan: paperin ominaisuudet, musteet ja painomenetelmät, vaihtelut vuodenaikojen mukaan, ulkoiset tekijät ja keräysjärjestelmä. /7/

1.1 PAPERIN KERÄÄMINEN JA KERÄYSPAPERIN KAUPPA

Keräyskelpoista paperia syntyy useissa eri yhteyksissä. Käytännössä keräyspaperia saadaan mm. kotitalouksista, pienistä yrityksistä sekä erilaista teollisuuden ja kaupan yksiköistä kuten supermarketeista ja painotaloista. Keräyspaperin lähteestä riippuen voidaan selkeästi erottaa toisistaan loppukäyttäjiltä kerätty keräyspaperi ja keräyspaperi, joka ei ole kiertänyt loppukuluttajan kautta. /8/ RAC (The Recycling Advisory Council) määritteli vuonna 1992 keräyspaperin tätä kriteeriä käyttäen kahteen luokkaan: *pre-consumer recovered paper* ja *post-consumer recovered paper* /8, 9/.

Pre-consumer recovered paper tarkoittaa paperia ja kartonkia, joka on peräisin tuotannosta, jalostajilta ja ylijäämävarastoista. Ylijääneiden painotuotteiden ja jalostuksessa syntyneiden tähteiden keräys on perinteisesti järjestetty noutona niin, että keräyspaperia välittävät yritykset noutavat paperin konteista, jotka joko vaihdetaan toisiin tai tyhjennetään säännöllisin väliajoin. /8/

Post-consumer recovered paper tarkoittaa kuluttajilta peräisin olevaa paperia ja kartonkia. Tällaisia keräyspapereita syntyy mm. vähittäiskaupassa, toimistoissa ja kotitalouksissa, ja tuotteet ovat jo täyttäneet tehtävänsä kulutustavarana. Osa loppukäyttöön asti päässeestä paperista kerätään samanlaisella niin sanotulla pick-up -systemillä kuin ylijääneet painotuotteet ja jalostuksessa syntyneet tähteet. Tällainen järjestely soveltuu runsaasti paperia tuottaviin laitoksiin, mutta kotitalouksista paperinkeräys hoidetaan usein muutoin, esimerkiksi paperinkeräyslaatikoilla, joihin kuluttajien odotetaan itse kuljettavan tuottamansa keräyskelpoinen paperi. Mielekäs ratkaisu riippuu muun muassa alueen asukastiheydestä ja kotitalouksien rakenteesta. Valittu ratkaisu vaikuttaa alueen keräysasteeseen. /8/

Cepi-maissa keräysaste, kierrätysaste sekä kiertokuidun hyödyntämisaste ovat olleet jatkuvassa nousussa useiden vuosien ajan (taulukko I) /10, 11/. Sama trendi on ollut vallitseva myös muualla maailmassa /12/.

Taulukko I Cepi-maiden ja Euroopan paperinkeräykseen ja kierrätyskuituun liittyviä tunnuslukuja vuosilta 1991-2008. Euroopalla tarkoitetaan EU-27 -maita ja Norjaa sekä Sveitsiä. Keräysasteella (*recovery rate* tai *collection rate*) tarkoitetaan kaikkia eri käyttökohteisiin kerättyä paperia verrattuna paperin vuositasoiseen kulutukseen. Hyödyntämisasteella (*utilisation rate*) tarkoitetaan raaka-aineena käytetyn keräyspaperin määrää verrattuna valmistetun paperin määrään. Kierrätysasteella (*recycling rate*) tarkoitetaan hyödyntämisasteen ja nettokaupan summaa. /11/

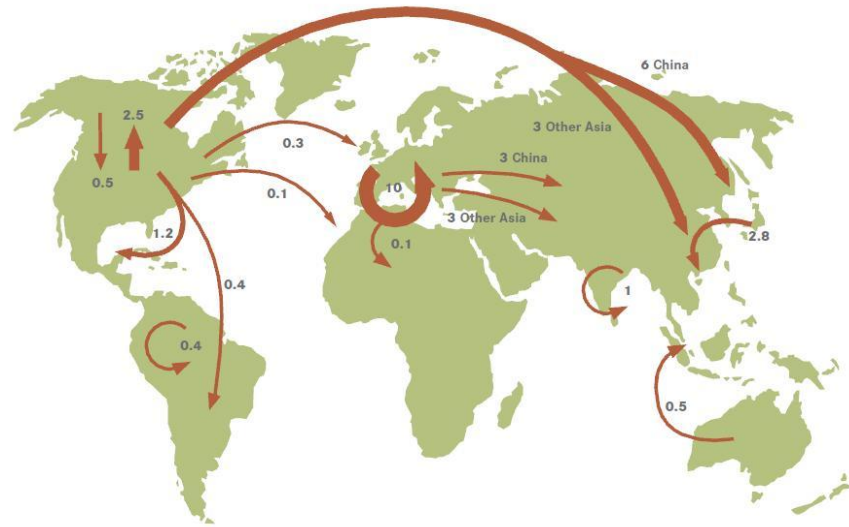
	1991	2000	2005	2007	2008	muutos 2008/2000	muutos 2008/2007
Keräysaste (1000 t/a)	25 856	44 643	54 064	58 264	58 995	32,2 %	1,3 %
Kiertokuidun hyödyntämisaste (%)	39,1	45,4	47,6	48,5	49,1	3,7	0,7
Kierrätysaste Euroopassa (%)	40,8	51,6	61,6	63,9	66,6	14,9	2,7

Euroopassa noin 50 % kerätystä paperista on peräisin kaupan ja teollisuuden piiristä ja noin 40 % kotitalouksista. Toimistojen osuus on loput, eli noin 10 % /10/. Suomessa luvut ovat hyvin samankaltaiset: 52 % keräyspaperista tulee teollisuudesta, 38 % kotitalouksista ja 10 % toimistoista /13/.

Kierrätyspaperin hinta vaihtelee lajista riippuen pääsäännön ollessa se, että mitä paremmin lajiteltua, puhtaampaa ja suurempia määriä valkaistua kemiallista massaa kierrätyspaperi sisältää, sen kalliimpaa se on. Suomessa hinnat vaihtelevat välillä 50 - 200 €/t (sekalainen keräyspaperi - valkoinen puuvapaa toimistopaperi). /2/

Paperin lajin ohella markkinahintaan vaikuttaa vallitseva markkinatilanne. Hetimitään vaikutus voi olla hyvinkin raju, joten vaihtelevat raaka-ainekustannukset ovat haittatekijä kierrätyskuitulinjainvestointeja harkittaessa. Koska keräyspaperin markkinat ovat varsin globaalit (kuva 3), keräyspaperin hinta Suomessa on pysytellyt jokseenkin samalla tasolla kuin Euroopassa. /2, 6, 14/

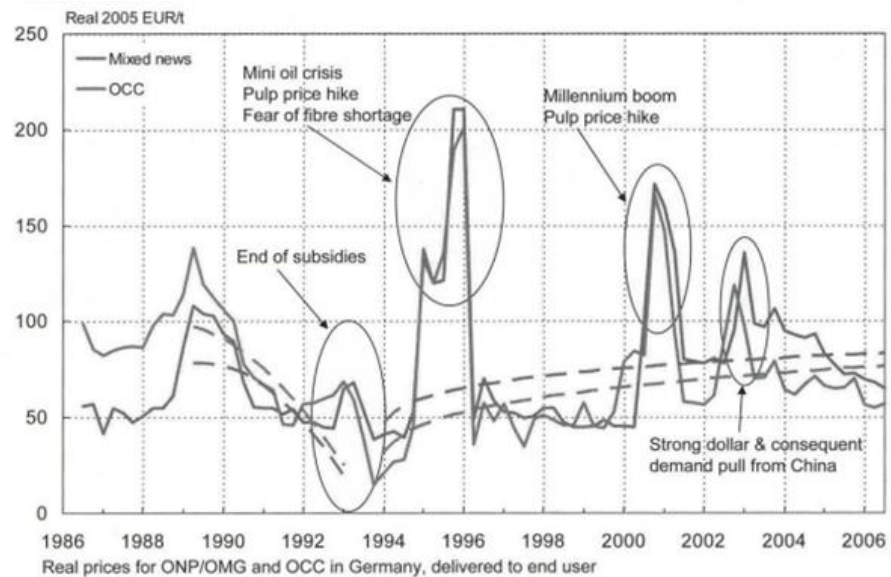
Major Global Trade Flows of Recovered Paper - 2004



Total: 35 Million Tonnes
Source: Jaakko Pöyry Consulting

Kuva 3. Merkittävimmät kauppavirrat keräyspaperin viennissä ja tuonnissa vuonna 2004. Virrat on ilmoitettu yksikössä miljoonaa tonnia. /10/

Viime vuosina Kiinan huomattava talouskasvu on lisännyt kierrätyspaperin kysyntää, mikä on näkynyt keräyspaperin hinnassa nousuna (kuva 4). Myös keräyspaperin vienti Capi-maista Kiinaan on ollut kasvussa: esimerkiksi vuonna 2000 vienti oli alle puoli miljoonaa tonnia ja vuonna 2005 jo 4,5 miljoonaa tonnia, mikä oli yli 60 % Capi-maiden keräyspaperin viennistä (kuva 5, taulukko II). /10, 12, 14/



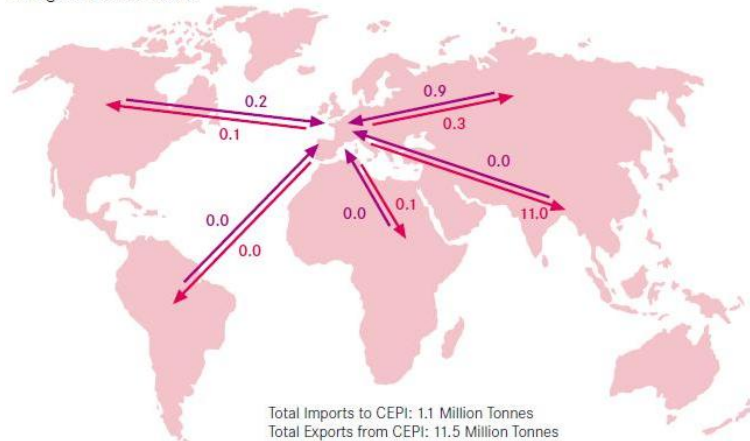
Kuva 4. Kahden keräyspaperilaadun, ONP/OMG:n (Mixed News) ja OCC:n (OCC), hinta Saksassa vuodesta 1987 vuoteen 2006. /12/

Taulukko II Cepi-maiden keräyspaperin vettiin ja tuotiin liittyviä tunnuslukuja vuosilta 2000-2008. /11/

	2000	2005	2007	2008	Muutos 2008/2000	Muutos 2008/2007
Vienti Cepi-maiden ulkopuolelle (1000 t/a)	3 545	7 645	9 504	115 20	225,0 %	21,2 %
Tuonti Cepi-maiden ulkopuolelta (1000 t/a)	729	895	1 173	1 141	56,5 %	- 2,7 %

Trade Flows of Recovered Paper to and from CEPI Countries in 2008

All Figures are '000 Tonnes



Kuva 5 Cepi-maiden merkittävimmät keräyspaperin kauppavirrat yksikössä 1000 t/a. /11/

1.2 KERÄYSPAPERIN LAATULUOKAT EUROOPASSA

Keräyspaperin kauppa Euroopassa nojaa keräyspaperin laatulistoissa esitettyihin määritelmiin. Useita kansallisia listoja sekä seuraavat eurooppalaiset listat on julkaistu: /15/

- Cepi (Confederation of European Paper Industries)
- B.I.R. (Bureau International de la Récupération)
- European Standard EN 643:1994 (European Organization for Standardization)
- List of Standard Grades of Recovered Paper and Board
- European Standard EN 643:2001

Cepi-lista on paperiteollisuuden laatima, kun taas B.I.R-lista on keräyspaperin myyjinä toimivien yritysten lista. Vuonna 1999 yhdistetty Cepi ja B.I.R- työryhmä loi uuden, yhdistetyn listan, *List of Standard Grades of Recovered Paper and Board*, jonka seurauksena European Organization for Standardization uusi standardin EN 643 vuonna 2001, jolloin syntyi standardi EN 643:2001. Tavoitteena on, että Eurooppaan jää voimaan ainoastaan yksi lista (EN 643:2001), joka esitellään lyhyesti luvussa 1.3. /15, 16/

Pohjois-Amerikassa ja Japanissa käytössä on erilainen keräyspaperin luokittelu. Japanissa laatuluokkia määritellään 26, USA:ssa peräti 51. Niistä kuitenkin 35 on niin kutsuttuja erikoislaatuja, *speciality grade(s)*, joiden käsittely vaatii räätälöidyn prosessointijärjestelmän ja jotka sisältävät esimerkiksi kertakäyttömukien valmistuksessa syntyneitä vahapitoista leikkuutähdettä. /16/

1.3 PAPERI JA KARTONKI. EUROOPPALAINEN LUETTELO KERÄYSPAPERIN JA -KARTONGIN STANDARDILAJEISTA

Standardi EN643:2001 korvaa aiemmin käytössä olleen standardin 643:1994. Se on vahvistettu suomalaisiksi kansalliseksi standardiksi. Suomen ohella myös Alankomaat, Belgia, Espanja, Irlanti, Islanti, Iso-Britannia, Italia, Itävalta, Kreikka, Luxemburg, Malta, Norja, Portugali, Ranska, Ruotsi, Sveitsi, Tanska ja Tšekki ovat CEN/CENELECin sääntöjen mukaisesti velvolliset vahvistamaan standardin. /17/

Standardi EN643:2001 esittää keräyspaperin ja -kartongin eurooppalaisten standardilajien luettelon, joka antaa yleiskuvan vakiolajeista määrittelemällä, mitä lajit sisältävät ja mitä ne eivät sisällä. Luettelo sisältää viisi ryhmää raaka-aineiden laatuluokituksen mukaan: /17/

- Ryhmä 1, alalajit
- Ryhmä 2, keskilajit
- Ryhmä 3, ylälajit
- Ryhmä 4, voimapaperilajit
- Ryhmä 5, sekalaiset pakkaukset

Standardi jakaa ryhmät luokkiin ja alaluokkiin sekä määrittelee *käyttökelvottoman materiaalin, paperille vieraat ainesosat ja tuotannolle vahingollisen paperin ja kartongin*. Standardi myös esittää ohjeet keräyspaperilajien tunnusten muodostamiselle ja lukemiselle. /17/

Standardi on tarkoitettu avuksi mm. teollisuuden ammattilaisille ja organisaatioille kierrätettävän raaka-aineen kaupassa, sekä tulli- ja valmisteveroviranomaisille, joilta edellytetään kykyä luokitella jätteestä erotettavat raaka-aineet jätteen siirron valvonnasta säädetyn ylikansallisen lainsäädännön nojalla. Standardin tarkoituksena on määritellä lähinnä tavallisimmat Euroopassa myytävät keräyspaperi- ja kartonkilajit, ei kaikkia eri markkina-alueilla esiintyviä lajeja. /17/

Tärkeimmät keräyspaperilajit Suomessa ovat 1.09, 1.05, 2.03, 3.10 ja 5.02 /2/:

- **Laji 1.09 Sekalaiset sanomalehdet ja aikakauslehdet 2** on sanoma- ja aikakauslehtien sekoitus, joka sisältää vähintään 60 % sanomalehtiä, liimalla tai ilman liimaa. /17/
- **Laji 1.05 Aaltopahvilaatikot** sisältää erilaiset käytetyt aaltopahvilaatikot ja -arkit. /17/

- **Laji 2.03 Kevyesti painettu valkoinen leikkuutähde.** Pääasiassa mekaanisesta massasta valmistettua paperia ilman liimaa, valkoista leikkuutähdettä kevyesti painettuna. /17/
- **Laji 3.10 Moniväripainettu paperi** on puuvapaata, päällystettyä paperia, jossa on kevyt väripainatus. Laji ei sisällä märkälujaa eikä massavärjättyä paperia. /17/
- **Laji 5.02 Sekalaiset pakkaukset** on sekoitus erilaisia käytettyjä paperi- ja kartonkipakkauksia, ei sanoma- eikä aikakausilehtiä. /17/

2 KERÄYSPAPERIN KÄYTTÖKOHTEET

Keräyspaperin hyödyntäminen on lisääntynyt lajikohtaisesti useimpien paperi- ja kartonkilajien valmistuksessa /5/. Käytön pääperiaate on se, että kukin keräyspaperilaji soveltuu sen tuotteen valmistamiseen, jota keräyspaperi edustaa. Puuvapaita keräyspapereita käytetään sovelluksiin, joita varten mahdollista painoväriä ei tarvitse poistaa, kun taas mekaanista massaa ja täyteaineita sisältävät laadut soveltuvat tarkoituksiin, joissa tuotteelta ei vaadita korkeaa vaaleutta tai lujuutta. /2/ Käyttömäärät ovat olleet jatkuvassa kasvussa maailmalla sekä Cepi-maissa (kuva 6).

Raw Materials Consumption in CEPI Countries 1991–2008



Kuva 6. cepi-maiden papereriteollisuuden raaka-aineiden kulutus vuodesta 1991 vuoteen 2008. /11/

Eniten kierrätystä rajoittavat kierrätyskuidun laatu ja saatavan massan puhtaus, itse kierrätysjärjestelmä ja erilaisten keräyspaperilaatujen käytettävyys vaihtelevissa lopputuotteissa. Kierrätysjärjestelmässä rajoittavia tekijöitä ovat tiettyjen paperilaatujen kuten hygieniapapereiden kierrätyskelvottomuus ja tuotanto- ja kulutusalueiden erilainen sijainti, joka johtaa kuljetusmatkojen kasvuun ja heikentää toiminnan kannattavuutta. /5/

Vuonna 2002 Cepi-maissa käytettiin 43 miljoonaa tonnia keräyspaperia (taulukko III). Suurimmat kohderyhmät olivat pakkausmateriaalit (45 %), sanomalehtipaperi (17 %) ja kääreet ja muut pakkauspaperit (10 %). Maakohtaiset vaihtelut keräyspaperin käytössä ovat suuret. /16/

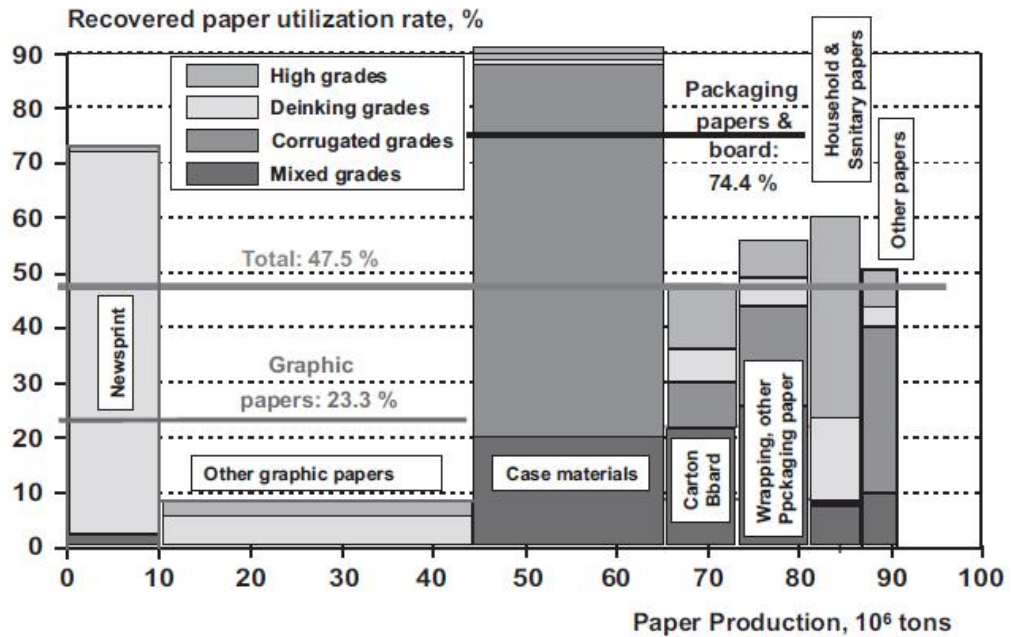
Taulukko III Cepi-maissa vuonna 2002 käytetty keräyspaperi kohteittain, prosentiosuukseen ja määrineen /16/.

paperityyppi	osuus [%]	Määrä [miljoonaa tonnia]
pakkausmateriaalit	45	19,35
sanomalehtipaperi	17	7,31
kääreet ja muut pakkauspaperit	10	4,30
kartonki	9	3,87
talous- ja saniteettipaperi	8	3,44
graafiset paperit	7	3,01
muut	4	1,72
yhteensä	100	43,00

Käytetystä keräyspaperista oli: /16/

- 41 % aalltotettua pahvia tai voimapaperia (lajit 1.04, 1.05, 4.01, 4.02, 4.03, 4.04, 4.05, 4.06, 4.07, 4.08, 5.04 /10/)
- 26 % *deinking grades*, siistattavat laadut
- 20 % sekakeräyspaperia (lajit 1.01, 1.02, 1.03, 5.01, 5.02, 5.03, 5.05 /10/)
- 13 % muita lajeja yllälajit mukaan lukien.

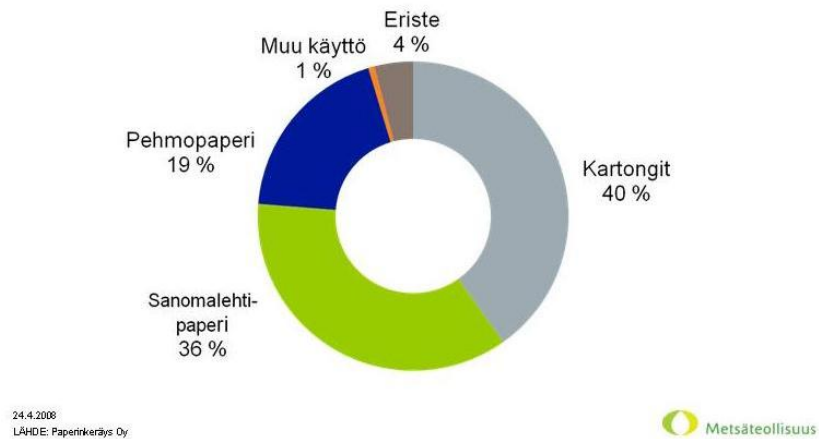
Lähes kaikki (91 %) aaltopahvista ja voimapaperista käytettiin pakkauspaperien ja kartongin valmistamiseen ja vastaavasti valtaosa siistattavista laaduista graafisen paperin valmistukseen /16/. Kuva 7 havainnollistaa keräyspaperilaatujen käyttökohteita.



Kuva 7. Keräyspaperin hyödyntäminen Cepi-maissa vuonna 2002 keräyspaperin lajin ja siitä valmistettavan massan käyttökohteen mukaan. /16/

Vuonna 2002 USA:ssa kerättiin lähes 48 miljoonaa tonnia keräyspaperia. Tärkeimmät lajit olivat OCC-lajit (*Old Corrugated Container*, vanhat aaltokartonki-set pakkaukset) osuudella 49 % ja siistattavat laadut osuudella 32 %. Loput 19 % oli sekakeräyspaperia. Samana vuonna Japanissa aaltopahvin ja valkaisuamattoman sulfaattisellupitoisten tuotteiden osuus oli 46 % ja sanomalehtipaperin 25 %. /2, 16/

Suomessa keräyspaperista valmistetaan pääosin kartonkia ja sanomalehtipaperia. Myös pehmopaperin valmistus kuluttaa huomattavan osan Suomessa käytetystä kierrätyskuidusta (kuva 8). Pieniä määriä keräyspaperia käytetään eristykseen ja munakennojen sekä kirjekuoripapereiden valmistukseen. /2, 13/

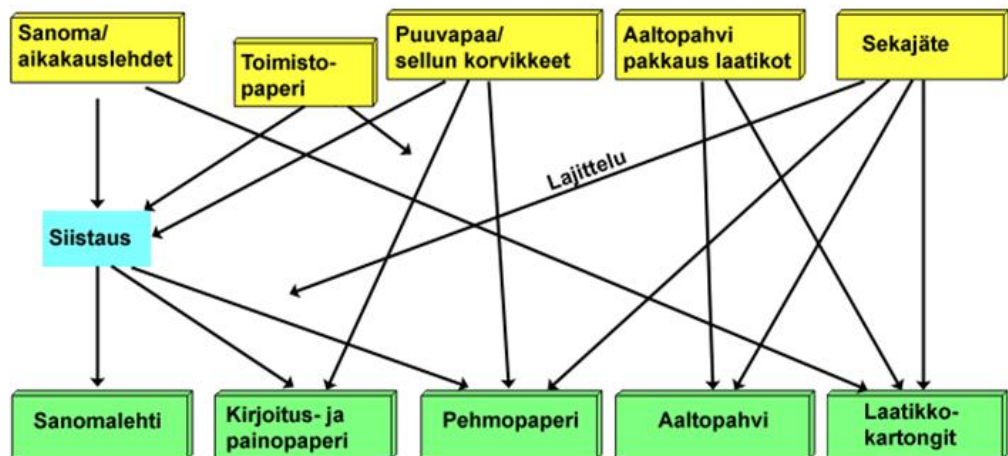


Kuva 8. Vuonna 2008 Suomessa käytetystä kierrätyskuidusta 40 % käytettiin kartonkiteollisuudessa ja 36 % sanomalehtipaperin valmistuksessa. /13/

Sanomalehtipaperia valmistetaan kotikeräyspaperista, jonka toivotaan sisältävän 50–80 % sanomalehtipaperia ja loppuosan olevan aikakausilehteä ja mainoksia. Sanomalehtipaperin kriittisiä ominaisuuksia ovat ajettavuusominaisuudet, opasiteetti, läpipainatus, vaaleus ja pinnan karheus. Näistä uusiomassan kannalta haastavimmat ovat vaaleus, läpipainatus ja karheus. Kuitenkin siistaustekniikan kehitys on vähentänyt uusiomassan käytöstä johtuvia ongelmia, ja sanomalehtipaperia on käytännössä mahdollista valmistaa jopa 100 % uusiomassasta. /2, 18/

Pehmopaperituotteiden valmistuksessa uusiomassan käyttömahdollisuudet ovat siinä määrin suuret, että monia pehmopaperilaatuja valmistetaan sataprosenttisesta uusiomassasta. Raaka-aineena käytetään vaaleaa konttoripaperia ja sekakeräyspaperia /2, 19/

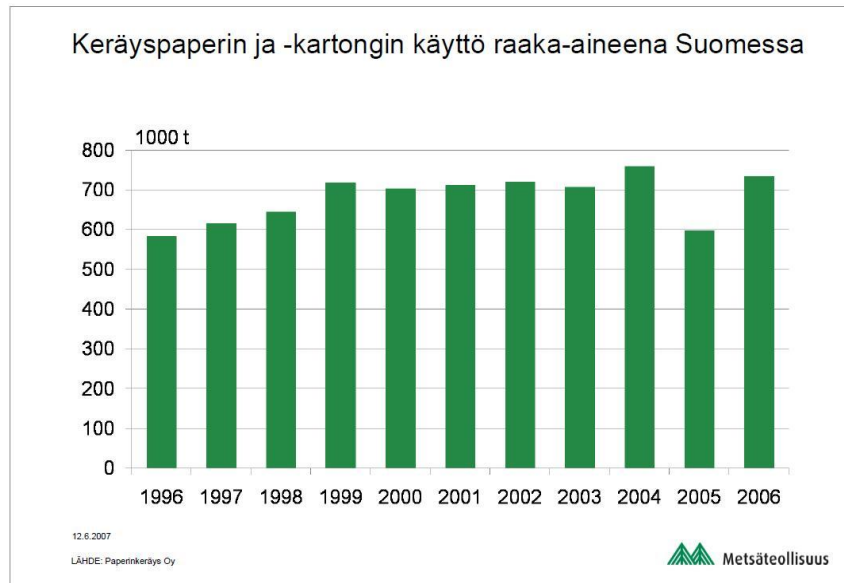
Keräyspahvia ja nestepakkauskartonkia hyödyntää kartonkiteollisuus, joka valmistaa siitä pääosin hylsyjä mutta myös kartongin keskikerrosta ja aallotuskartonkia eli flutingia. Etenkin ruskea aaltopahvijäte on flutingin valmistuksessa runsaassa käytössä, sillä siitä saadaan verrattain lujaa kuituraaka-ainetta, joka on ominaisuuksiltaan lähellä puolikemiallista massaa, joka sopii hyvin flutingiin. Kartongin keskikerrokseen soveltuu myös siistaamaton uusiomassa, sillä pintakerroksissa voidaan käyttää vaaleita massoja peittämään keskikerrosten huonoa vaaleutta. Kuva 9 havainnollistaa erilaisten paperien käyttöä uusiomassan raaka-aineena. /2, 18/



Kuva 9. Kierrätyspaperista valmistettujen massojen käyttökohteita. /2/

Uusiomassan käyttö on SC-paperissa huomattavasti rajoitetumpaa kuin sanomalehtipapereissa. SC-paperin kriittisiä ominaisuuksia ovat sileys, öljynabsorptio ja painatusjäljen tasaisuus, jotka, samoin kuin arkin tiivistyminen kalanteroinnissa, ovat vaikeammin saavutettavissa uusiomassalla kuin tuoremassalla. Opasiteetin lasku johtaa läpipainatusongelmien lisääntymiseen, ja päällystämättömissä papereissa painojäljen epätasaisuus ja läpipainatus rajoittavat uusiomassan käyttöä. Samoin LWC-papereissa lopputuotteelta vaaditut optiset ominaisuudet rajoittavat uusiomassan käyttöä, sillä ohut päällyste ei riitä peittämään pohjapaperissa esiintyviä puutteita. /2, 18/

Suomessa keräyspaperia on viime vuosia käytetty paperin ja kartongin valmistukseen vuositasolla hieman alle 750 000 tonnia (kuva 10) /13/, mikä vastaa noin 637 000 tonnia uusiomassaa, kun kierrätyspaperitonniin saadaan noin 850 kg uusiomassaa /18/. Kierrätyskuidun osuus kuituraaka-aineesta on noin 5 %, mikä on huomattavasti Cegi-maiden keskiarvon (42,7 % vuonna 2007) alapuolella /11, 13/. Kuitenkin lähes kaikki Suomesta saatava keräyspaperi käytetään Suomessa, eikä keräyspaperin tuonti Suomeen ole taloudellisesti ja ympäristönsuojelullisesti järkevää pitkin kuljetusmatkojen vuoksi. /13/



Kuva 10. Suomen paperiteollisuuden raaka-aineena käyttämä keräyspaperi ja -kartonki vuodesta 1996 vuoteen 2006. /13/

3 UUSIOMASSAN VALMISTUS

Kierrätyskuitulinjan suunnittelu tähtää tehokkaaseen epäpuhtauksia poistoon, korkeaan saantoon, tuhkapitoisuuden hallittavuuteen ja vaaleuden parantamiseen /7/. Raaka-aineen koostumuksen erojen vuoksi kierrätyskuitulinjat muodostuvat huomattavasti neitseellisiä kuituja käsitteleviä linjoja monimutkaisemmiksi, mutta tasapainottamalla linjan komponentit mielekkäästi ja käyttämällä tarkoitukseen sopivaa paperiraaka-ainetta on useissa tapauksissa mahdollista tuottaa halutunlaatuista paperia edullisemmin kuin käyttäen vain neitseellistä kuitua. /20/

Koska saatavan uusiomassan on sovittava sisältämiensä kuitujen ja täyteaineiden puolesta massaa käyttävälle paperikoneelle ja toisistaan eroavien tuotteiden valmistamiseen, konseptit kierrätyskuitujen prosessointiin vaihtelevat suuresti /20/. Pehmopapereita valmistettaessa tuhka pyritään poistamaan mahdollisimman hyvin, kun taas sanomalehtipaperiin käytettävässä massassa tuhka on periaatteessa arvokasta raaka-ainetta. Siistauslinjoissa on myös maantieteellisiä eroja: esimerkiksi Japanissa siistausmassoilta vaaditaan erityisen suurta puhtautta, joten linjoihin on voitu liittää muun muassa liuotussäiliö. Nykyisin flotaatiosiistaus eli vaahdotussiistaus on vallitseva siistausmenetelmä sekä Euroopassa että Amerikassa, mutta myös pesusiistausta käytetään jonkin verran. /2, 18, 20/

Uusiomassan valmistus voidaan nähdä viisivaiheisena prosessina, jossa paperiraaka-aine ensin kuidutetaan sulpuksi, josta toisessa vaiheessa erotetaan epäpuhtauksia, kolmannessa vettä. Neljännessä vaiheessa kuituja käsitellään, viidennessä massasta erotetaan siihen vielä jääneitä epäpuhtauksia. Vaiheet ovat osin päällekkäisiä ja niiden lisäksi linjoihin liittyy rejektien ja jätevesien käsittelyä. /20/

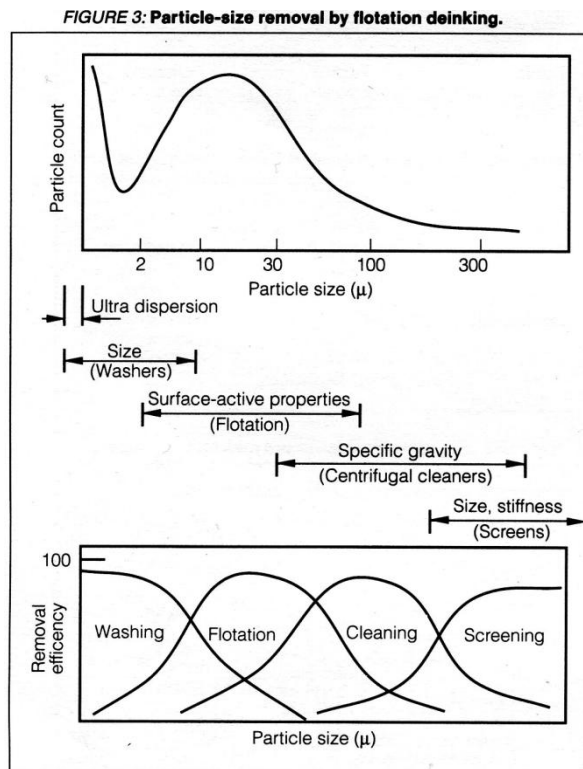
3.1 FLOTAATIO-SIISTAUSLINJA

Tyypillinen flotaatio-siistauslinja alkaa pulpperista, jossa keräyspaperi kuidutetaan vähintään pumpattavaan muotoon ja kuiduista irrotetaan painoväriä. Pulpperoinnin yhteydessä massasta poistetaan kiinteitä epäpuhtauksia sekä painomustetta ja siihen lisätään siistauskemikaaleja. Niitä ovat muun muassa natriumhydroksidi, joka turvottaa kuitua ja poistaa painoväriä, vesilasi ja kokoojakemikaalit, esimerkiksi rasvahapposaippua. Siistauskemikaalien tehtävänä on kerätä partikkeleja agglomeraateiksi ja siten muuttaa siistattavien partikkeleiden kokojakaumaa prosessin kannalta suotuisammaksi. /2, 20, 21/

Pulpperointia seuraa ensimmäinen puhdistusvaihe, joka sisältää karkean lajittelun esimerkiksi korkeassa sakeudessa toimivilla pyörrepuhdistimilla ja painelajittimilla. Ensimmäisen puhdistusvaiheen jälkeen suoritetaan flotaatio, joka yleensä suoritetaan kaksivaiheisena kuitutappioiden minimoimiseksi. Flotaatiossa laimeaan sulppuun puhalletaan ilmaa siten, että ilmakuplilla on tietty, siistauksessa poistettavien partikkelien kokojakaumaan sopiva kokojakauma. Hydrofobiset mustepartikkelit tarttuvat ilmakupliin, kun taas hydrofiiliset kuitupartikkelit jäävät veteen. Tällöin vaahdotusastian pinnalle muodostuu painovärejä sisältävä vaahto, joka poistetaan esimerkiksi ylijuoksutuksella. /2, 21, 22/

Siistauksen onnistumisen kannalta on tärkeää, että kuidutusvaiheessa on saatu aikaan sopiva mustepartikkelien kokojakauma. Käytännössä paperin siistattavuus riippuu voimakkaasti käytetystä painoväristä ja painomenetelmästä. Vaahdotuksen yhteydessä voidaan myös säätää massan tuhkareductiota. /2, 21, 22/

Flotaatiota seuraa puhdistusvaihe, jossa esimerkiksi pyörrepuhdistinten ja rakosih-tien avulla massasta poistetaan epäpuhtauksia. Puhdistettu massa sakeutetaan esi-merkiksi kiekkosuotimella ja pesupuristimella, minkä jälkeen se johdetaan disper-gointiin. /2, 21, 22/ Puhdistavia osaprosesseja tarvitaan useita erilaisia siksi, että erilaiset osaprosessit erottavat tehokkaasti erikokoisia ja -tyyppisiä epäpuhtauksia (kuva 11) /23/.



Kuva 11. Epäpuhtauksien kokojakauma (ylhäällä), puhdistavien osaprosessien tehokkuus partikkelikokojakauman suhteen (alhaalla) ja peruste, jolla erikokoiset epäpuhtau-det erottuvat sulpusta puhdistusvaiheissa (keskellä). /23/

Dispergoinnin tavoitteet riippuvat siitä, mihin tarkoitukseen massaa on tarkoitus käyttää. Tyypilliset päätavoitteet ovat jäljelle jääneiden mustepartikkeleiden pois-to, tahmojen erotus kuiduista, tahmojen koon pienentäminen ja massan optisen homogeenisuuden kasvatus. /7/ Kuitujen lujuusominaisuudet paranevat ja bulkki kasvaa. Mikäli massaan vielä valkaistaan, dispergoinnin yhteydessä siihen sekoitetaan valkaisukemikaaleja ja se johdetaan valkaisuvaiheeseen. Valkaisun jälkeen dispergoinnissa irronneita mustepartikkeleita poistetaan suorittamalla kaksivai-heinen jälkiflotaatio. Lopuksi massa sakeutetaan ja varastoidaan, ja tarvittaessa sitä voidaan vielä valkaista pelkistävällä valkaisulla. /2, 7, 21/

Valkaisun sijasta tai lisäksi linjaan saattaa liittyä massan fysikaalisten ominaisuuksien parantamiseen tähtäävä jauhatusvaihe. /2/ Uusiomassan jauhatusta käsitellään erikseen luvussa 4.2.1.

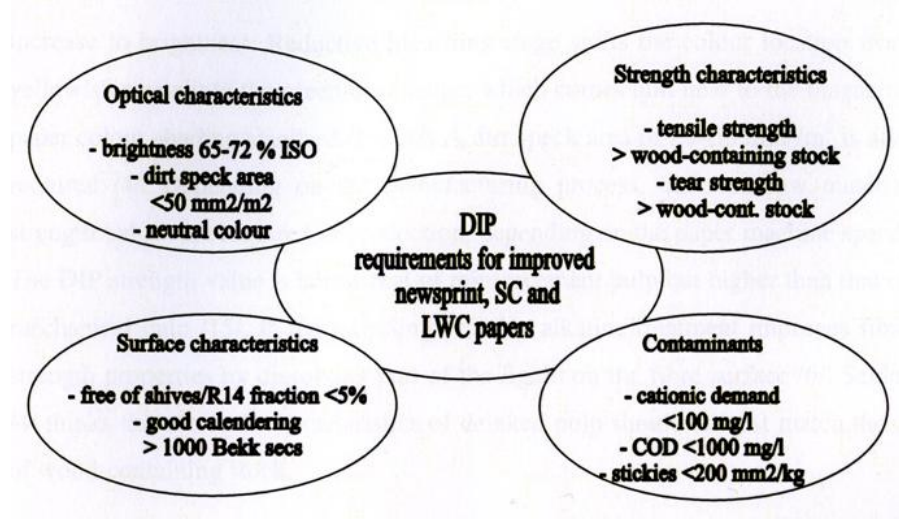
RCF-linjoilla saanto vaihtelee voimakkaasti sen mukaan, mitä tuotetta valmistetaan. Esimerkiksi pehmpaperilinjalla saanto voi olla vain 50 %, sillä raaka-aineen tuhkapitoisuus on suuri, jopa 30 %, ja tuhka pyritään poistamaan. Sen sijaan sanomalehtilinjalla saanto voi ylittää 85 %. /2/

Suurimmat häviöt tapahtuvat flotaatio- ja pesuvaiheiden yhteydessä. Kutakuinkin puolet poistuvasta materiaalista on täyteainetta ja pigmenttejä, katkeilleita kuituja ja kontaminanteja. On myös havaittu, että mekaanisten massojen kuiduilla on kemiallisten massojen kuituja suurempi taipumus poistua prosessista flotaation aikana, mikä on liitetty niiden huomattavasti runsaampiin hydrofobisiin ligniini- ja pihkajäämiin. /24/

Kun uusiomassoja vertaillaan muihin massoihin, tavanomaisten vertailtavien paperiteknisten ominaisuuksien lisäksi on otettava huomioon myös muita ominaisuuksia ja tekijöitä. Tällaisia ovat massan puhtaus, lainsäädännölliset tekijät ja massan sisältämät tahmot ja tahmoaineet /2/.

4 UUSIOMASSAN PAPERITEKNISET OMINAISUUDET

Raaka-aineen koostumuseroista johtuen uusiomassojen kuitu- ja muut ominaisuudet vaihtelevat runsaasti sen mukaan, millaisesta paperista massa on valmistettu. Vaihtelusta huolimatta uusiomassat vastaavat ominaisuuksiltaan varsin hyvin niiden pääasiallisten käyttökohteiden massalta vaatimia optisia ominaisuuksia, pinta- ja lujuusominaisuuksia sekä puhtausvaatimuksia (kuva 12) /2, 7/.



Kuva 12. Parannellun sanomalehtipaperin (*improved newsprint*) ja SC ja LWC-papereiden valmistamiseen käytettäviltä kierrätysmassoilta vaadittuja optisia ominaisuuksia, lujuus- ja pintaominaisuuksia sekä puhtautta. /7/

Käytännössä uusiomassoja on mielekästä vertailla siihen massaan, jota uusiomassa korvaa, eli sovellusten vuoksi puuvapaista keräyspapereista valmistettua uusiomassaa pitkälti selluihin ja vastaavasti puupitoisista papereista valmistettua mekaanisiin massoihin /2/. Tässä luvussa kuitenkin pyritään pysyttelemään hieinan yleisemmällä tasolla ja esittelemään muutamia kierrätyskuitumassoille ominaisia piirteitä.

Koska uusiomassan kuidut ovat jo ainakin kerran käyneet läpi kaikki paperinvalmistuksen vaiheet, uusiomassan paperitekniset ominaisuudet eroavat muista massoista /21/ (kuva 13). Suurimmat paperitekniset muutokset tapahtuvat kuidun ensimmäisen kierron aikana /7/.

	Vaaleus, %	Tuhkapit., %	Sellu- pitoisuus, %	Veto- indeksi, Nm/g	Repäisy- indeksi, mNm ² /g	Valon- siron- kerroin, m ² /kg
UUSIOMASSA						
keskiarvo	58,8	8,1	32	31,9	6,34	56
vaihteluväli	54-63	6-11	27-44	26-36	5,7-7,0	52-60
hajonta	2,3	11,9	11,2	5,3	3,6	2,8
MEKAANINEN MASSA						
vaihteluväli	60-64	0,3-1,5	-	24-32	2,6-4,5	68-79

*sanomalehtipaperin massa

Kuva 13. Tyypillisen siistatun ja kuivatun uusiomassan ominaisuuksien vertailu tyypilliseen mekaaniseen massaan (sanomalehtipaperimassa). /2/

Kemiallisten ja mekaanisten massojen kuidut reagoivat kierrätykseen siinä määrin eri tavoin, että kierrätyksen vaikutus eräisiin ominaisuuksiin on mekaanisilla massoilla päinvastainen kuin kemiallisilla. Pääsääntönä on, että mekaanisten massojen paperitekniset ominaisuudet muuttuvat (heikkenevät) vähemmän kuin kemiallisten massojen, joille on ominaista kuitujen sarveistuminen. /7, 25/

Sekä kemiallista että mekaanista alkuperää olevien kuitujen kierrätyksen seurauksena tapahtuvien ominaisuuksien menetystä on mahdollista kompensoida lisäämällä paperiin tuoretta kuitua ja/tai kasvattamalla paperin neliömassaa. Kiertokuitupohjaisten tuotteiden neliömassa onkin keskimäärin suurempi kuin neitseelliseen kuituun pohjaavien, vaikka neliömassan nostaminen on muutoin ristiriidassa alalla vallitsevan kehityksen kanssa. /5/

Massan ominaisuuksiin voi vaikuttaa myös sen raaka-aineena toimivan kierrätyspaperin varastointi. Etenkin eräitä paalattuja, kaupalliselta arvoltaan vähäisempiä kierrätyspaperilaatuja säilytetään usein ulkoilmassa, jossa kosteus ja mikrobitoiminta vaikuttavat haitallisesti kuituihin. /8/

4.1 OPTISET OMINAISUUDET

Koska kierrätyskuitumassojen kriittisin optinen ominaisuus on vaaleus, tässä luvussa keskitytään käsittelemään vaaleutta. Myös opasiteetti voi joissakin tapauksissa olla riittämätön, sillä kierrätyskuitumassat pyrkivät muodostamaan tiheitä arkkeja, joissa valonsirontapinta-alaa on vähän /5, 25/.

Korkea vaaleus on vaikeasti saavutettavissa, mikä johtuu pitkälti massan vaaleutta alentavasta jäännösmusteesta, jonka kanssa käytetyt valkaisukemikaalit eivät reagoi halutusti. Uusiomassojen käytön edellytyksenä vaaleissa papereissa onkin massojen vaaleuden kehittäminen edelleen. /21, 25/

Kuten kierrätyskuitumassojen ominaisuudet yleensä, myös vaaleus riippuu suuresti massan raaka-aineesta. Suomessa sekakeräyspaperia käytettäessä voidaan päästä vaaleustasolle 55-58 ISO, mutta siistatun massan värisävy on silti usein harmah-tava ja massa saattaa sisältää painoväripilkkuja. /2/

Mitä suurempaan vaaleuteen pyritään, sitä enemmän siistausprosessissa poistuu hieno- ja täyteainetta rejektin mukana /2/. Tämä tietenkin heikentää saantoa ja vaikuttaa haitallisesti prosessin taloudelliseen kannattavuuteen. Vaaleutta voidaan parantaa siistauksen jälkeen erilaisin jälkivalkaisuin 5-10 yksikköä, mikäli massan käyttötarkoitus sitä vaatii /2/. Uusiomassan valkaisua käsitellään luvussa 4.1.1.

4.1.1 UUSIOMASSAN VALKAISU

Taloudellisista syistä uusiomassan valkaisu tapahtuu usein flotaation tai pesun yhteydessä, mutta myös niin sanottu jälkivalkaisu on mahdollinen. Kloorivapaista valkaisukemikaaleista käytössä ovat vetyperoksidi ja ditioniitti, klooripitoisista klooridioksidi ja hypokloriitti. /26/

Vetyperoksidi ja ditioniitti soveltuvat sekä puupitoisille että puuvapaalle uusiomassoille, mutta klooridioksidia ja hypokloriittia käytetään lähinnä puuvapaalle

uusiomassalle, sillä molemmat ovat ligniiniä tuhoavia valkaisu-kemikaaleja. Nykyään klooria sisältävät kemikaalit pyritään korvaamaan kloorivapailta kemikaaleilla, joita käytetään yleisesti kemiallisen massan valkaisuissa. /26/

Huolimatta monien perinteisten valkaisu-kemikaalien käytöstä uusiomassan valkaisuun liittyy tiettyjä erityispiirteitä. Eräät niistä liittyvät uusiomassan suureen hienoainepitoisuuteen ja kierrätyskuitujen morfologiaan, joka poikkeaa neitseellisten kuitujen morfologiasta. Toiset taas aiheutuvat uusiomassan sisältämistä epäpuhtauksista, kuten painomustejäämistä ja värillisten paperien mukana tulevasta väristä. /26/

Epäpuhtaudet vaikuttavat vaaleuden ja mahdollisten likatäplien lisäksi myös valkaisu-kemikaalien reaktioihin valkaisuun aikana. Monia epäpuhtauksista ei ole mahdollista hävittää valkaisuissa, mutta toisaalta eräs uusiomassan valkaisuun tarkoituksista on poistaa värillisten paperien mukaa massaun tuleva väri. Tämä tapahtuu taloudellisesti vain pelkistävillä valkaisu-kemikaaleilla kuten ditioniitilla. /26/

Puupitoista paperia sisältävän uusiomassan valkaisuun tarkoitus on kompensoida kellastumista, joka on ominaista mekaanisen massan kuiduille. Juuri kellastumisen vuoksi puupitoisen uusiomassan valkaisuissa vaaleus usein paranee enemmän kuin valkaistaessa puuvapaata uusiomassaa. /26/

4.2 LUJUUSOMINAISUUDET

Kierrätysmassojen lujuusominaisuudet vaihtelevat voimakkaasti sen mukaan, millaisesta paperista massa valmistetaan. Tähän puolestaan vaikuttaa suuresti maantieteellinen sijainti, sillä muun muassa kulutustottumukset vaihtelevat alueittain. Mitä enemmän raaka-aineessa on sellukuituja, sitä paremmat massan lujuusominaisuudet ovat, ja sitä enemmän lujuusominaisuuksia voidaan kehittää jauhatuksella (luku 4.2.1). Uusiomassan jauhatus ei kuitenkaan ole rutiininomaista eräistä siihen liittyvistä ongelmista johtuen. /2, 25/

Kierrätyskuitumassojen lujuusominaisuudet ovat tyypillisesti matalammat kuin armeerausmassalla mutta korkeammat kuin mekaanisilla massoilla /7/. Kuitenkaan kierrätetty sellukuitu ei lisää lujuutta ja jäykkyyttä samalla tavalla kuin tuore, mikä voidaan havaita muun muassa vertailtaessa sanomalehtipapereita. Kierrätyskuitupohjaisessa paperissa kuituverkosto on huomattavasti tiheämpi kuin TMP-pohjaisessa, jollaista on tyypillinen neitseellisestä kuidusta valmistettu sanomalehtipaperi. /5/ Kuituverkon tiivistyminen johtaa paperin taipuisuuden lisääntymiseen, mikä ei ole toivottua, sillä alhainen jäykkyys heikentää ajo-ominaisuuksia ja aiheuttaa lopputuotteen ryhdittömyyttä. /5, 25/

Jauhatuksen lisäksi lujuusominaisuuksia on mahdollista kehittää myös alkalikäsitelyllä, joka liuottaa ligniiniä kuitujen pinnasta, turvottaa kuituja ja pienentää massan uuteainepitoisuutta /2, 7/. Näin saavutettavat muutokset ovat luokkaa 5-10 %, ja ne ovat seurausta kuitujen sitoutumiskyvyn paranemisesta /2/.

4.2.1 JAUHATUKSEN VAIKUTUS UUSIOMASSAAN

Kuten kaikkien massojen, myös uusiomassan jauhatuksen katsotaan vaikuttavan kuituihin neljällä erilaisella mekanismilla: /2, 27/

- poistamalla ulkoista pintakerrosta. Edellytykset kuidun turpoamiselle syntyvät kuidun pintakerroksen muutosten myötä ja massaan syntyy hienoainesta.
- ulkoisella ja sisäisellä fibrillaatiolla, joista ulkoinen fibrillaatio löystyttää ja karhentaa ulkopintaa, sisäinen murtaa kuidun sisäisiä rakenteita ja ilmenee kuidun turpoamisena.
- katkomalla kuituja, mikä lyhentää keskimääräistä kuitupituutta ja luo hienoainesta.
- liuottamalla kuidun komponentteja.

Etenkin runsaasti kemiallista massaa sisältävien uusiomassojen kuiduilla sitoutumiseen ja siten lopputuotteen fysikaalisiin ominaisuuksiin vaikuttavan turpoami-

sen edellytykset ovat merkittävästi pienemmät kuin neitseellisillä massoilla. Toisaalta samanaikaisesti kierrossa haurastuneet kuidut katkeilevat helposti, joten jauhatuksessa syntyy helposti suuria määriä hienoainetta. /2, 18, 27/

Koska hienoaine heikentää massan suotautuvuutta, hienoaineen määrän voimakas lisääntyminen johtaa siihen, että massan fysikaaliset ominaisuudet kehittyvät hitaasti suotautumisvastuksen lisääntymiseen verrattuna. Tämä on jauhettujen uusiomassojen käytön kannalta ongelmallista, ja hienoaineen liiallisen syntymisen estämiseksi uusiomassojen kuituja pyritään käsittelemään jauhimesta hellävaraisesti. Käytännön mahdollisuuksia ovat suursakeusjauhatus ja alhaisen ominaisvärin matalasakeusjauhatus. /2, 27/

4.3 PINTAOMINAISUUDET JA PAINETTAVUUS

Koska sanomalehtipaperi ja pakkausmateriaalit ovat erityisen merkittäviä uusiomassojen käyttökohteita, tässä kappaleessa keskitytään uusiomassan käytön vaikutukseen niiden ominaisuuksiin.

TMP-pohjaiseen sanomalehtipaperiin verrattuna kiertokuitupohjainen paperi on imukykyinen ja siten alttiimpi vettymiselle, mikä johtuu lipofiilisten uuteaineiden vähäisyydestä. Hyvä imukyky on toisaalta uusiomassalle eduksi silloin, kun siitä valmistetaan pehmopapereita. /18, 28/.

Uusiomassapohjainen sanomalehtipaperi on helpommin kalanteroitavissa kuin TMP-pohjainen /5/. Coldset offset -painatuksessa, joka on yleisin sanomalehtipaperin painatusmenetelmä, kiertokuitupohjainen paperi tarjoaa painomustelle hyvän tarttumispinnan. Coldset offset-painatuksessa, jossa painoväriä ei erikseen kuivateta, karhea paperi vähentää painovärin tarttumista muihin sivuihin ja pintoihin paremman painovärin absorption vuoksi /28/. Sanomalehden painatukseen käytetään myös kohopainoa (*letterpress*) ja flexopainatusta /28/.

Koska vain pientä osaa pakkauksista ei lainkaan paineta, painatusominaisuudet ovat tärkeitä myös pakkausmateriaaleissa. Käytettävät painomenetelmät ovat lukuisia. Esimerkiksi taivepakkauksille yleisimmin käytetty painatusmenetelmä on sheet fed off-set, taipuisille pakkauksille flexopainatus. /29/

Pakkausmateriaaleilta vaaditaan painatuksessa hyvin samankaltaisia ominaisuuksia kuin muiltakin painettavilta tuotteilta. Tärkeitä ajo-ominaisuuksia ovat pakkaus, dimensioiden stabiilisuus, pölyämättömyys ja palstautumislujuus, painettavuusominaisuuksia pintalujuus, kiilto, sileyys vaaleus sekä sävy ja adsorptio-ominaisuudet. /30/ Uusiomassoista valmistetut pakkausmateriaalit vastaavat varsin hyvin niiltä vaadittuja ominaisuuksia /2, 7/.

4.4 UUSIOMASSAN ERITYISPIIRTEET

Raaka-aineestaan ja käsittelystään johtuen uusiomassa on kuitusisällöltään heterogeenista ja sisältää täyteaineita, pigmenttejä sekä muita epäorgaanisia komponentteja, joiden poistaminen taloudellisesti olisi mahdotonta. Tällaisia komponentteja ovat esimerkiksi suolat ja silika, jotka vaikuttavat paperikoneella muun muassa vedenpoistoon. /7, 21, 22, 31/ Suolojen ja metalli-ionien pitoisuuden kasvu vesissä voi johtaa myös tahmo-ongelmiin, sillä ionivahvuuden kasvu helpottaa tahmopartikkelien agglomeroitumista /22/. Tahmo-ongelmia on käsitelty luvussa 4.4.2.

Vaikka periaatteessa mineraalipohjaiset pigmentit ja muu kuin mineraalista alkuperää oleva hienoaines on arvokasta paperinvalmistuksen raaka-ainetta, kierrätysmassan mukanaan tuoma hienoaines sisältää runsaasti epäpuhtauksia. Fraktion osittainen poisto voisi parantaa vaaleutta sekä ajettavuutta paperikoneella ja painossa, sillä mineraalipohjaiset pigmentit pyrkivät alentamaan bulkkia, lujuusominaisuuksia ja ilmanläpäisevyyttä sekä lisäämään pölyävyyttä. /24/

Koska kierrätyksen vaikutus kuituun riippuu kuidun historiasta, massan kuitukoostumus vaikuttaa kierrätysmassalle muodostuviin ominaisuuksiin. Esimerkiksi

kemiallisen massan kuiduille ominainen sarveistuminen heikentää kemiallisen massanvalmistuksen läpikäyneiden kuitujen kykyä muodostaa sidoksia. /7, 25/ Sarveistumista on käsitelty luvussa 4.4.1.

Lainsäädäntö ja erilaiset säädökset sekä lisäävät että rajoittavat uusiomassojen käyttömahdollisuuksia monin eri tavoin. Muun muassa rajallinen kaatopaikkakapasiteetti ja kuluttajien kiinnostuminen ympäristöasioista ovat ohjanneet lainsäätäjiä ympäri teollistunutta maailmaa säätämään erilaisia materiaalien kierrätystä tukevia lakeja. /32/

Toisaalta uusiomassojen käyttö elintarvikepakkausten raaka-aineena on lakien rajoittamaa. Useimmissa, vaikkakaan ei kaikissa maissa uusiomassaa voidaan käyttää elintarvikepakkauksissa, kunhan eräiden alkuaineiden, esimerkiksi lyijyn, kadmiumin ja kromin, migraatio pakattavaan aineeseen ei ylitä tiettyjä rajoja. Suomi kuuluu näiden maiden joukkoon. Lainsäädännön lisäksi uusiomassojen käyttöä etenkin elintarvikepakkauksissa saattaa rajoittaa myös massan mikrobiologinen epäpuhtaus sekä sen mahdollisesti aiheuttamat haju- ja makuhaitat. /2/

4.4.1 SARVEISTUMINEN

Sarveistumiseksi tai hornifikaatioksi kutsuttu ilmiö tarkoittaa kemiallisten kuitujen toistuvan kostutuksen ja kuivauksen aikana tapahtuvaa sitoutumiskyvyn heikkenemistä, jonka voimakkuus riippuu sekä kostutus- ja kuivauskerroista että kuivauskäsittelyn rajuudesta. Kysymyksessä on kierrätysmassan käytön kannalta erityisen tärkeä ilmiö, joka vaikuttaa suuresti kierrätyskuitumassojen mahdollisiin käyttökohteisiin. /2, 25/

Ilmiön selittäminen on ollut haastavaa, ja sen taustoista on esitetty useita teorioita. Tiedetään, että ensimmäisen kierron jälkeen kemiallisten massojen kuitujen turpoavuus vähenee. Tämän seurauksena jauhettavuus heikkenee, minkä seurauksena puolestaan kuidun taipuisuus ja sitoutumiskyky vähenevät. Huomattava on, että runsaasti ligniiniä sisältävien, mekaanisen massanvalmistuksen läpikäyneillä kui-

duilla samaa ei tapahdu, vaan päinvastoin sitoutumiskyky kasvaa jonkin verran. /4, 7/

Eroa kemiallisten ja mekaanisten massojen välillä selittävät kemiallisten massojen suuremmat luhistumis- ja kutistumispotentiaalit. Mekaanisten massojen kuitujen turpoamispotentiaali on huomattavasti pienempi kuin kemiallisilla massoilla, jolloin mekaanisen käsittelyn ja fibrilloitumisasteen vaikutus ominaisuuksien muutoksiin korostuu. /2, 7, 25/

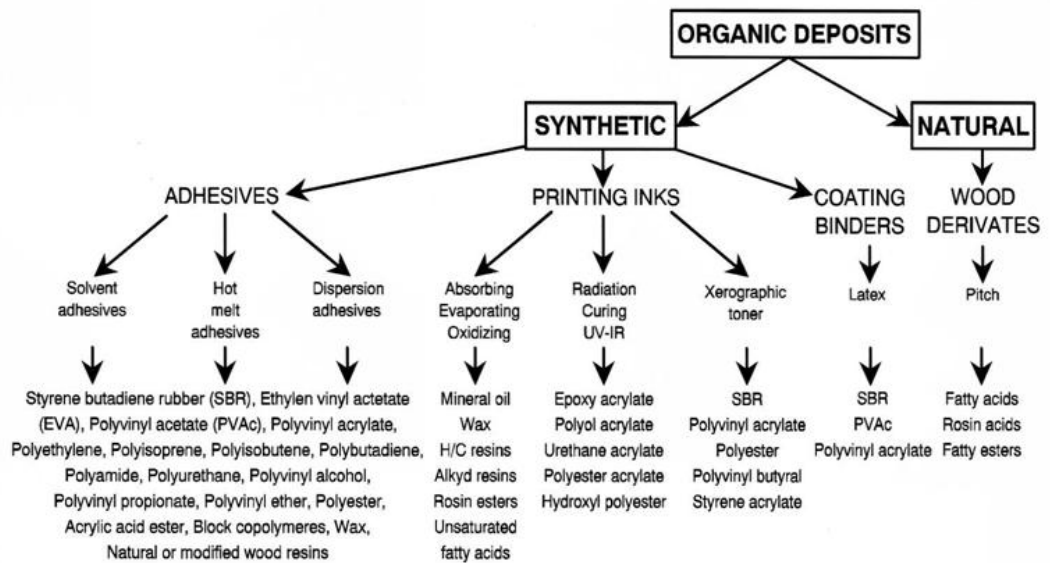
Hallitsevan käsityksen mukaan sarveistuminen aiheutuu kemiallisten kuitujen soluseinämän muutoksista. Tämän käsityksen mukaan mikrofibrillien orientaatiomuutokset ja syntyvät vetysidokset saavat aikaan tiiviisti sitoutuneen rakenteen, jossa vetysidokset ovat aikaisempaa vastustuskykyisempiä veden vaikutusta vastaan. Tämän vuoksi osa niistä ei purkaudu, ja koko kuitu jää jäykemmäksi hauraammaksi. /25/

Hallitseva käsitys selittää eron sellun kuivatuksen ja paperin valmistuksen välillä sarveistumista ajatellen. Sellua kuivattaessa kuidut pyritään kuivattamaan hellävaraisesti. Pyritään siihen, että kuivatuksessa syntyy mahdollisimman vähän kuitujen sisäisiä ja niiden välisiä sidoksia, kun taas päinvastaisesti paperinvalmistuksessa pyrkimyksenä on luoda runsaasti lujia kuitujen välisiä sidoksia. /2, 25/ Kuitenkin eräiden tuoreempien tutkimusten mukaan sarveistuminen ei lisää selluloosan kiteisyyttä tai kuidun seinämien selluloosan järjestäytyneisyyttä /25/.

4.4.2 TAHMOT

Tahmot ovat kierrätyskuitumassojen vaikeimpina pidettyjä kontaminantteja, joille ei annettu yhtä, yleisesti pätevää määritelmää. Yleisesti tahmoilla kuitenkin tarkoitetaan massojen ja prosessivesien sisältämiä tahmaisia aineita, jotka pyrkivät kertymään muun muassa viiroihin ja sylintereihin. /31/

Uusiomassoja käytävillä paperikoneilla suurimpia ongelmia prosessiin aiheuttavat juuri massan mukana tulleet tahmot ja tahmoaineet, joista jälkimmäiset voivat muodostaa tahmoja esimerkiksi prosessin olosuhteiden muuttuessa /2/. Nämä tahmot voivat olla luontaista tai synteettistä alkuperää, luontaista alkuperää olevien tahmojen ollessa peräisin puun uuteaineista. Synteettistä alkuperää olevat tahmot taas syntyvät päällysteiden sideaineista, painoväreistä ja liimoista (kuva 14). /22, 31/



Kuva 14. Luontaista alkuperää olevat tahmot muodostuvat puun uuteaineista ja sisältävät muun muassa rasva- ja hartsihappoja. Synteettistä alkuperää olevat tahmot sisältävät esimerkiksi vahaa ja synteettisiä polymeerejä. /31/

Tahmot voidaan luokitella myös primäärisiin (massan mukana tulleisiin) ja sekundäärisiin (prosessissa muutosten seurauksena muodostuviin). Yleisimmin tahmoja tyypitellään koon perusteella mikro- ja makrotahmoihin, joista mikrotahmot (alle 100 µm) läpäisevät prosessissa käytetyt sihdit, kun taas makrotahmot (yli 150 µm) poistuvat rejektin mukana. /22, 31/

Tahmoaineet voivat aiheuttaa ongelmia, sillä vaikka ne ovat hallittavissa hienojakoisiksi dispegroituna ja pieniin pitoisuuksiin saatettuina, etenkin prosessissa tapahtuvat muutokset voivat johtaa tahmonmuodostukseen. Esimerkiksi lämpötilan ja pH-arvon muutokset voivat aikaansaada tahmoaineiden reaktioita ja tätä kautta tahmoja. /2, 22/

Mahdollisia tahmo-ongelmia voi esiintyä muun muassa kiertovesijärjestelmässä ja lopputuotteen laadussa. Jälkimmäisessä ne tarkoittavat likatäpliä sekä reikiä ja ohuita kohtia, jotka voivat johtaa katkojen syntyyn paperikoneella ja painossa. Erityisen helposti tahmot tarttuvat huopien, viirojen, telojen ja kalantereiden syntetettiin pintoihin, joissa ne aiheuttavat muun muassa likaantumista ja vedenpoiston sekä retention huononemista. Pesutarve ja katkot lisääntyvät, kustannukset nousevat. /2, 22, 31/

Koska tahmojen määrittämiseen ei ole olemassa yleisesti tunnustettua ja soveltuvaa menetelmää, on tahmo-ongelmien hallintaan soveltuvia menetelmiä vaikea kehittää edelleen /31/. Tällä hetkellä tahmo-ongelmien hallintaan käytetään lukuisia menetelmiä, joista osa on mekaanisia, osa kemiallisia. Mekaanisia menetelmiä ovat esimerkiksi suursakeuspulpperointi ja -lajittelu sekä matalasakeuspyörrepuhdus, kemiallisia dispergointi, passivointi ja retentointi kemikaalien avulla. /2, 22/

Tahmo-ongelmien hallintastrategiat voidaan jakaa kuuteen alueeseen: /31/

- Muunteluun, jossa tutkimus- ja kehitystyö keskittyy korvaamaan tahmoja aikaansaavia komponentteja kuten adhesiiveja kierrätysprosessin kannalta vähemmän haitallisilla komponenteilla. Muuntelua voidaan pitää lupaa-
vimpana pitkän tähtäimen ratkaisuna tahmo-ongelmiin.
- Välttelyyn, jossa tahmojen ja potentiaalisten tahmojen päätyminen prosessiin paperiraaka-aineen mukana pyritään estämään. Välttely on potentiaalisesti tehokas menetelmä, joka vaatii optimaalisesti toimiakseen tahmojen koostumuksen tarkkaa tuntemusta ja mahdollisuutta korvata tahmoja aiheuttavat aineet toisilla, mikä ei ole kokonaisuudessaan mahdollista vielä lähitulevaisuudessa. Käytännön välttelyä vaikeuttaa se, että on vaikea tietää, milloin paperiraaka-aine sisältää huomattavan suuren määrän tahmoja.
- Poistoon, jossa tahmoja pyritään poistamaan prosessista erilaisten osaprosessien kuten siistauksen ja pesujen avulla.
- Dispergointiin, jossa tahmot ja tahmoaineet pyritään pitämään dispergointineina mataliin pitoisuuksiin, joissa ne aiheuttavat vähemmän ongelmia. Muun muassa siksi, että dispergointi ei koskaan vastaa tahmojen poistoa ja

pieneen partikkelikokoon saatetut tahmot läpäisevät sihdit, paperitehtailla panostetaan usein muihin strategioihin.

- Passivointiin, jossa tahmojen pinnalle pyritään kiinnittämään tarttumiskykyä laskevia materiaaleja ja näin vähentämään tahmojen tuottamia ongelmia. Passivointitarkoituksissa prosessiin lisättävien aineiden kirjo on suuri, ja lisäaineet voivat olla joko orgaanisia tai epäorgaanisia (esimerkiksi talkki ja kalsiumkarbonaatti).
- Ennaltaehkäisyyn, jossa paperikonetta suojellaan ennaltaehkäisevästi tahmojen vaikutuksilta esimerkiksi pesemällä viiraa ja suihkuttamalla sille kationista polymeeriä rintateltalta. Kationinen polymeeri synnyttää viiran pintaan kerroksen, joka suojelee sitä tahmoilta.

Myös keräyspaperin laadunvalvonta ja massan laadun tarkkailu tähtäävät omalta osaltaan tahmojen aiheuttamien ongelmien vähentämiseen /2, 22/. Samoin siistaus- ja paperitekniikan sekä vesijärjestelmien kemian hallinnan kehittyminen on helpottanut tahmo-ongelmia /5/.

5 YHTEENVETO

Kierrätyskuidun asema nykyisen paperiteollisuuden merkittävänä raaka-aineena on yleisesti tunnettu ja tunnustettu. Keräyspaperin markkinat ovat hyvin toimivat ja globaalit huolimatta eri toimijoiden laatimista, toisistaan eroavista keräyspaperin laatuluokitusjärjestelmistä.

Paperiteollisuudessa uusiomassojen käyttömäärien ennustetaan kasvavan edelleen huolimatta kierrätyskuitujen käyttöön liittyvistä prosessiteknisistä ja muista haasteista. Tällaisia ovat tahmo-ongelmat, kuitujen paperitekniisten ominaisuuksien muutokset kierrätyksessä ja kierrätyskuidun soveltuvuuteen liittyvät rajoitukset. Vaikka siistaustekniikka on kehittynyt suuresti kuluneina vuosikymmeninä, uusiomassojen käytettävyys on rajoittunutta monissa paperilaaduissa, esimerkiksi SC- ja LWC-papereissa. Eräisiin käyttökohteisiin, kuten sanomalehteen, kartonkiin ja pehmopapereihin kierrätysmassat kuitenkin soveltuvat hyvin.

Lähteet

- 1 Confederation of European Paper Industries, saatavilla:
<http://www.cepi.org/Content/Default.asp>, [viitattu: 11.04.2010]

- 2 VTT Tuotteet ja tuotanto, Pronowledge Oy, Know Pap 10.0. [viitattu: 10.04.2008], saatavissa LUT:n verkossa (vaatii kirjautumisen):
<http://kansi.cc.lut.fi/knowpap/knowpap.htm>

- 3 Sixta, H., Relevance of Recycled Fibers as Paper Raw Material, in Sixta, H., ed., *Handbook of Pulp*, Vol 2, 1st ed., Weinheim, 2006, s. 1154

- 4 Göttching, L., General aspects and basic statistics, in Göttching, L., Pakarinen, H., ed., *Papermaking Science and Technology*, Vol 7, 1st ed., Jyväskylä, 2000, s. 12-22

- 5 Dahlbo, H., Jouttijärvi T., Koskela, S., Melanen, M., *Paperituotteiden jätehuoltojärjestelmät elinkaaritutkimuksessa, kirjallisuuskatsaus*, Helsinki, 2002, s. 12, 16, 22-24, saatavissa:
<http://www.ymparistokeskus.fi/download.asp?contentid=12595&lan=fi>

- 6 Diesen, M., World paper markets, in Diesen M., ed., *Papermaking Science and Technology*, Vol 1, 1st ed., Jyväskylä, 2007, s. 33-39

- 7 Laatikainen E., Quality Potential of DIP nad Hardwood CTMP Based Raw Materials in Wood-containing Printing Paper, master's thesis, Lappeenranta University of Technology, 2008, s.6, 9-12, 14, 20-21

- 8 Putz, H-J., Collection systems, sources, and sorting of pecovered paper, in Göttching, L., Pakarinen, H., ed., *Papermaking Science and Technology*, Vol 7, 1st ed., Jyväskylä, 2000, s. 47-50, 57-58

- 9 Usherson J., National Standards for Recycled Paper: A Progress Report. *Waste Age* **23**(1992), 9, 99-100

- 10 Special Recycling 2005 Statistics, 2006, s. 1-8, [viitattu 10.05.2010], saatavissa: http://www.erna.info/images/Special_Recycling_2005_statistics.pdf
- 11 Key Statistics 2008 European Pulp and Paper Industry, s. 1-23, [viitattu 10.05.2010], saatavissa: <http://www.vnp-online.nl/index.cfm?firm=vnp&fuseaction=show.download&filename=S2V5U3RhdGlzdGljcyAyMDA4IEV1cm9wZXNlIFB1bHAtIGVuIFBhcGllemluZHVzdHJpZSAucGRm&p=MTE4>
- 12 Diesen, M., Fiber demand and outlook, in Diesen M., ed., *Papermaking Science and Technology*, Vol 1, 1st ed., Jyväskylä, 2007, s. 55-56,
- 13 Metsäteollisuuden tietopalvelu, saatavissa: <http://www.metsateollisuus.fi>, [viitattu 15.4.2010]
- 14 United States Environmental Protection Agency, saatavissa: <http://www.epa.gov/>, [viitattu 11.4.2010]
- 15 Putz, H-J., Recovered paper grades, quality control, and recyclability, in Göttching, L., Pakarinen, H., ed., *Papermaking Science and Technology*, Vol 7, 1st ed., Jyväskylä, 2000, s. 61-67
- 16 Sixta, H., Relevance of Recycled Fibers as Paper Raw Material, in Sixta, H., ed., *Handbook of Pulp*, Vol 2, 1st ed., Weinheim, 2006, s. 1157-1163
- 17 Standardi SFS-EN 643
- 18 Seppälä, M., *Paperimassan valmistus*, 2-1st ed., Gummerus Kirjapaino Oy, 2002, s.68-71
- 19 Kimari, O., Tissue, in Paulapuro, H., ed., *Papermaking Science and Technology*, Vol 18, 1st ed., Jyväskylä, 2000, s. 78

- 20 Schwarz, M., Desing of recycled fiber processes for different paper and board grades, in Göttching, L., Pakarinen, H., ed., *Papermaking Science and Technology*, Vol 7, 1st ed., Jyväskylä, 2000, s. 211-212
- 21 Friman E., Musteenpoiston optimointi siistausprosessissa, diplomityö, Lappeenrannan teknillinen yliopisto, 2002, s. 1-4, 20-25, 38-39, 45-50
- 22 Simola V., Uusiomassa raaka-aineen vaikutus siistattavuuteen ja paperikoneen ajettavuuteen, diplomityö, Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu, 1993, s. 23, 42-46
- 23 Patrick K. (ed.), *Paper Recycling Strategies, Economics, and Technology*, Miller Freeman, Inc, 1991, s. 68
- 24 Korpela A., Fibre Recyclability: A Comparison of Accept and Reject Composition in Full-Scale DIP Process, 1996, s. 5-6
- 25 Ackermann, C., Göttching L., Pakarinen H., Papermaking potential of recycled fiber, in Göttching L., Pakarinen H., ed., *Papermaking Science and Technology*, Vol 7, 1st ed., Jyväskylä, 2000, s. 359-360, 384-385, 423
- 26 Ackermann, C., Bleaching of deinked pulp, in Göttching, L., Pakarinen, H., ed., *Papermaking Science and Technology*, Vol 7, 1st ed., Jyväskylä, 2000, s. 307-311, 324
- 27 Sixta, H., Relevance of Recycled Fibers as Paper Raw Material, in Sixta, H., ed., *Handbook of Pulp*, Vol 2, 1st ed., Weinheim, 2006, s. 1281-1282
- 28 Oittinen, P., Saarelma, H., Mechanical printing, in Oittinen, P., Saarelma, H., ed., *Papermaking Science and Technology*, Vol 13, 1st ed., Jyväskylä, 1998, s. 139-160

- 29 Oittinen, P., Saarelma, H., Paper in printing, in Oittinen, P., Saarelma, H., ed., *Papermaking Science and Technology*, Vol 13, 1st ed., Jyväskylä, 1998, s. 215-221
- 30 Lahti, J., Hatanpää, I., Lahtinen, K., Converting of fibre-based packing materials, in Kuusipalo, J., ed., *Papermaking Science and Technology*, Vol 12, 2nd ed., Jyväskylä, 2008, s. 244-246
- 31 Putz, H-J., Stickies in recycled fiber pulp, in Göttching, L., Pakarinen, H., ed., *Papermaking Science and Technology*, Vol 7, 1st ed., Jyväskylä, 2000, s. 441-447, 473-498
- 32 Sixta, H., Relevance of Recycled Fibers as Paper Raw Material, in Sixta, H., ed., *Handbook of Pulp*, Vol 2, 1st ed., Weinheim, 2006, s. 1191