

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU  
Paperitekniikan koulutusohjelma

Tutkintotyö

Antti Pykäläinen

RETENTION HALLINTA ARKINVALMISTUKSESSA

Työn valvoja  
Työn teettäjä  
Tampere 2005

DI Arto Nikkilä  
Tampereen ammattikorkeakoulu

## TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

Paperitekniikan koulutusohjelma

Antti Pykäläinen Retention hallinta arkinvalmistuksessa

Tutkintotyö 37 sivua + 9 liitesivua

Työn valvoja DI Arto Nikkilä

Työn teettäjä Tampereen ammattikorkeakoulu

Maaliskuu 2005

Hakusanat arkinvalmistus, retentio, retentioaineet, hallinta

### TIIVISTELMÄ

Paperinvalmistuksessa retention hallinnan tarkoituksena on hallita viiralle huonosti jäävän hieno- ja täyteaineen pysymistä muodostuvassa paperirainassa. Retention hallintaa käytetään retentioaineita.

Työn tavoitteena oli selvittää laboratoriossa valmistettavien koearkkien retentio ja sen parantamisen vaikutukset arkkien ominaisuuksiin. Tutkimuksessa etsittiin myös hyvää retentioaineen annostelumäärää, jolla tehdyt kokeet oli järkevä suorittaa.

Työssä tehtiin ensin koe oikean retentioaineen annostelumäärän löytämiseksi. Kokeessa valmistettiin arkkierät jokaista eri retentioainemäärää kohden. Arkeista määritettiin neliömassat ja formaatiot, joiden perusteella valittiin oikeat retentioaineen annostelumäärät. Varsinaisessa kokeessa käytettiin neljää eri massaa, haapa-, koivu-, eukalyptus- ja havumassaa. Massat jauhettiin kahdella eri jauhatusajalla, 10 minuuttia ja 20 minuuttia, havumassa 10 minuuttia ja 30 minuuttia. Jokaisesta massasta valmistettiin ilman retentioainetta täyteaineettomat ja täyteaineelliset koearkit, sekä retentioainetta käyttäen täyteaineettomat ja täyteaineelliset koearkit. Arkeista määritettiin neliömassa, formaatio, tiheys, vetolujuus, venymä, repäisyjujuus ja tuhkapitoisuus.

Liian suurella retentioainemäärällä saavutetaan huonommat arkin ominaisuudet, eikä retentio välttämättä ole yhtään parempi. Arkin valmistuksessa retentioaineen lisäystapa vaikuttaa valmistettavien arkkien formaatioon ja lujuusominaisuuksiin. Jotta lisäystavan vaikutusta saataisiin pienennettyä, pitäisi retentioaineena käytetty kationinen polyakryyliamidi (C-PAM) saada sekoittumaan tasaisesti massan joukkoon ilman voimakasta flokinmuodostusta.

**SISÄLLYSLUETTELO**

1 JOHDANTO.....	4
2 RETENTIO.....	4
2.1 Yleistä .....	4
2.2 Kemiallinen retentio .....	5
2.3 Mekaaninen retentio .....	7
2.4 Retentioon vaikuttavat tekijät .....	8
2.5 Retention vaikutus formaatioon.....	12
3 RETENTIOAINEET .....	12
3.1 Yleistä .....	12
3.2 Retentioaineiden toimintamekanismit .....	13
3.2.1 Varauksen neutralointi .....	13
3.2.2 Mosaiikinmuodostusmekanismi .....	14
3.2.3 Sillanmuodostusmekanismi .....	15
3.2.4 Retentioaineyhdistelmät .....	16
4 RETENTION HALLINTA.....	16
4.1 Retention säätö.....	16
4.2 Hyvän retention säädön vaikutukset .....	16
5 RETENTIOTUTKIMUS .....	17
5.1 Yleistä .....	17
5.2 Esikoe retentioaineen käytöstä.....	17
5.3 Massojen retentiokokeet .....	18
6 MITTAUSTULOKSET .....	19
6.1 Esikoe retentioaineen käytöstä.....	19
6.2 Massoilla tehtyjen kokeiden tulokset.....	21
7 TULOSTEN TARKASTELU.....	32
7.1 Esikoe retentioaineen käytöstä.....	32
7.2 Massojen retentiokokeet .....	32
8 JOHTOPÄÄTÖKSET .....	35
LÄHDELUETTELO .....	37
LIITTEET	

## 1 JOHDANTO

Työn tarkoituksena on kartoittaa laboratorioarkinvalmistuksen retentio eri massoilla ja täyteaineilla sekä rakentaa sopiva retentiojärjestelmä arkinvalmistukseen. Työssä neljä eri massalajia havu-, koivu-, eukalyptus-, ja haapamassa jauhettiin kahteen jauhausasteeseen. Massoista valmistettiin laboratorioarkkierät ilman täyteainetta ja retentioainetta, sekä täyteainetta ja retentioainetta yhdessä ja erikseen käyttäen. Valmistetuista arkeista mitattiin työn kannalta tärkeät ominaisuudet, joista tehdään johtopäätökset. Työhön kuului erillinen koe, jonka tavoitteena oli löytää oikea kokeissa käytettävä retentioaineen annostelumäärä. Kokeissa käytettiin retentioaineena kationista polyakryyliamidia.

Työn teoriaosassa käsitellään retentiota yleisesti, eli mistä käytetään nimitystä retentio, mitkä tekijät vaikuttavat retentioon ja miten sitä voidaan hallita. Lisäksi teoriaosassa käsitellään yleisesti retentioaineiden käytön tarkoitusta, ja niiden toimintamekanismeja. Kokeellisessa osassa esitetyt tulokset on saatu syksyllä 2003 Tampereen ammattikorkeakoulun paperitekniikan laboratoriossa tehtyjen kokeiden perusteella.

## 2 RETENTIO

### 2.1 Yleistä

Paperin valmistuksessa ns. viirarententio kertoo viiralle syötetystä massasta paperirainaan jääneen osan, joten retentio on tärkeä viiraosan tehokkuuden mittari. Likimääräinen retentio voidaan laskea seuraavasta kaavasta (1):

$$\text{Retentio} = \frac{\text{viiralle syötetyn massan sakeus} - \text{viiraveden sakeus}}{\text{viiralle syötetyn massan sakeus}} \cdot 100 \% \quad (1)$$

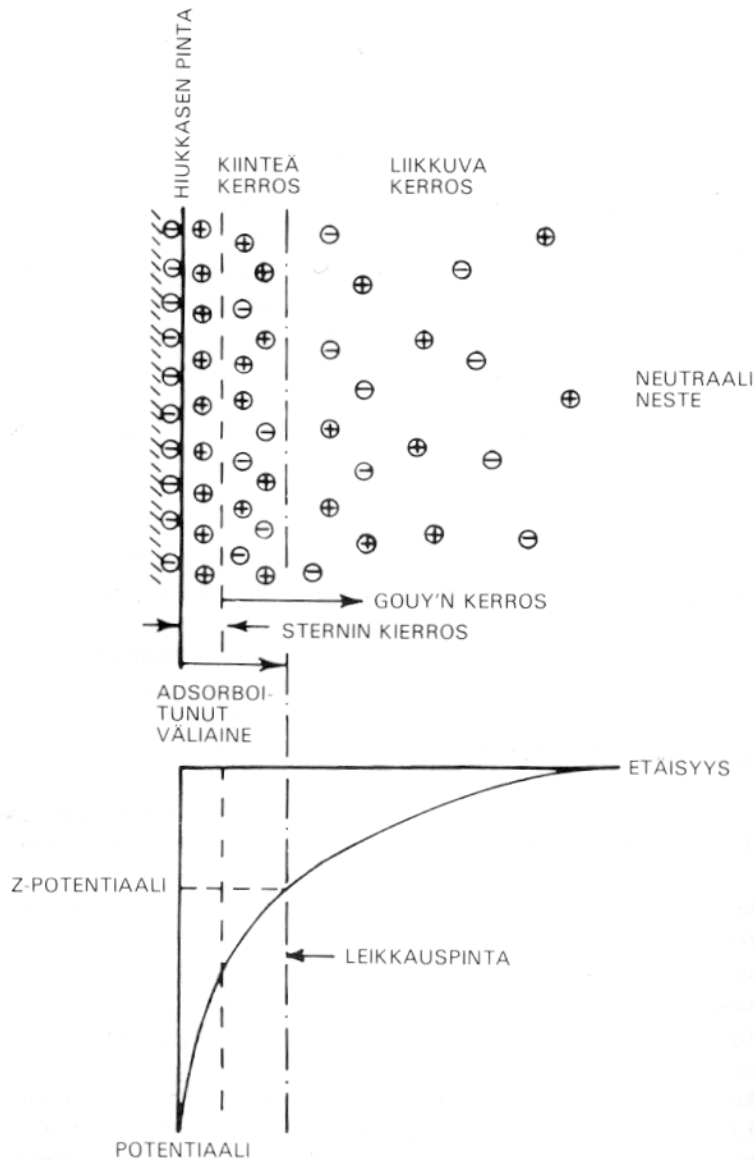
Mahdollisimman korkea retentio ei yleensä ole tavoitteena, koska esimerkiksi paperin neliömassan pienimittakaavainen vaihtelu eli formaatio, paperirainan vedenpoistovastus ja retentiota parantavan retentiokemikaalin annostelumäärä yleensä menevät tavoitellun korkean retention takia väärään suuntaan. Paperin eri raaka-aineiden retentiot voidaan

määrittää erikseen, esimerkiksi täyteaineen, kuituaineen, massaliiman, väriaineen retentio.

Retentio jaetaan kemialliseen ja mekaaniseen retentioon. Kemiallisella retentiolla tarkoitetaan retentoitumista, jossa täyteainehiukkaset ja kuidun hienoaines saadaan kiinnittymään kuituihin ja toisiinsa kemikaalien avulla. Tällainen retentoituminen on pääosassa ennen paperirainan muodostumista. Mekaanisella retentiolla tarkoitetaan retentoitumista, jossa kiintoaine jää muodostuvaan paperirainaan partikkelikoon ja rainan tiiveyden takia.

## **2.2 Kemiallinen retentio**

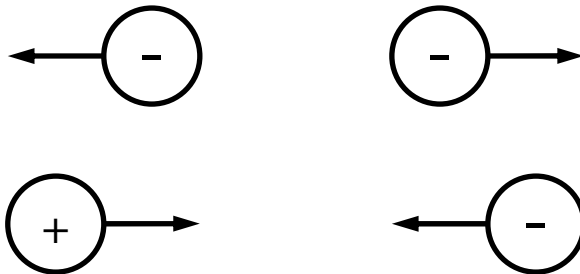
Paperin valmistuksessa käytettävät raaka-aineet kuten kuidut ja täyteainehiukkaset saavat veteen joutuessaan pintaansa sähköisen varauksen, joka on yleensä negatiivinen eli anioninen. Varaus synnyttää kiinteän aineen pinnassa sähköstaattisen kaksoiskerroksen (kuva 1).



Kuva 1 Sähköstaattinen kaksoiskerros /2, s. 258/

Kuvan mukainen negatiivisesti varautunut pinta sitoo lähimmän positiivisen ionikerroksen hyvin kiinteästi itseensä. Etäisyyden kasvaessa negatiivisten ionien lukumäärä lisääntyy, kunnes saavutetaan neutraalin nesteen ioninen tasapaino. Leikkauspinnalla tarkoitetaan etäisyyttä, jonka sisäpuolella olevat ionit seuraavat hiukasta sen liikkeessä. Hiukkasen elektrokineettinen potentiaali eli z-potentiaali on mainitun leikkauspinnan ja neutraalin nesteen välinen potentiaalihyppäys. Jos z-potentiaali on negatiivinen, ainetta kutsutaan anioniseksi. Päinvastaisessa tapauksessa aine on kationinen. /2, s. 257/

Sellukuitujen ja täyteainehiukkasten z-potentiaali on vedessä yleensä -10 - -30 mV. Kuitujen, kuitujen hienoaineen ja täyteainehiukkasten pintojen samanmerkkiset varaukset muodostavat niiden välille hylkiviä sähköstaattisia voimia (kuva 2).

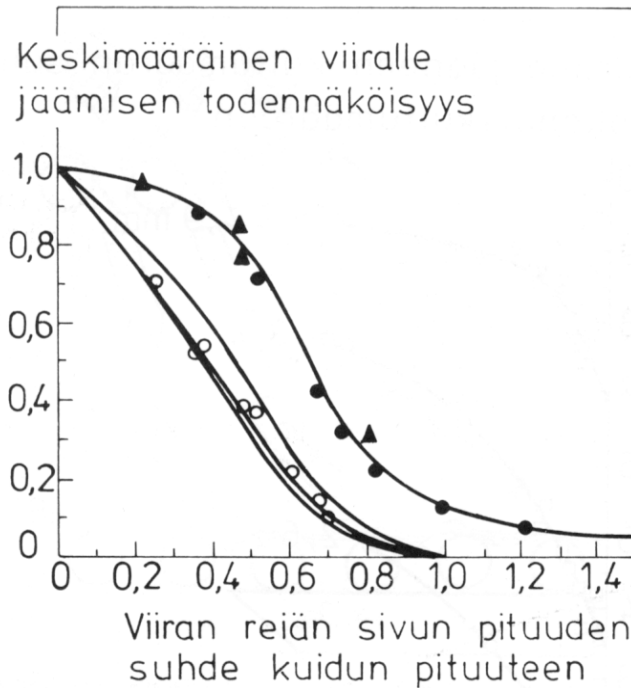


Kuva 2 Saman- ja erimerkkisten varausten käyttäytyminen

Ilman retentioaineita viirarentio on huono, koska pitkät kuidut hylkivät kuitujen hienoaine- ja täyteainehiukkasia, jolloin harva kuitumatto ja viira eivät mekaanisesti pysty pidättämään kuin kuituja, kuitujen hienoaine- ja täyteainehiukkasten kulkiessa veden mukana viiran läpi.

### 2.3 Mekaaninen retentio

Ilman retentioaineiden käyttöä, suotautumisen alkaessa vain viiran kudontatavan ja reikäkoon määräämää kokoa suuremmat kuidut ja kuitukimput voivat jäädä viiralle. Kuvassa 3 on esitetty kuidun pituuden vaikutus kuidun todennäköisyyteen jäädä viiralle suotautumisen alussa. Kuvan todennäköisyydet ovat voimassa vain ensimmäisten kuitujen osuessa viiralle. Kuvan tulokset on saatu määrämittaisilla kuiduilla, jotka on suotautettu hyvin dispergoituneina. Käytännössä suotautumisen alussa tapahtuvaan retentoitumiseen vaikuttavat kuitujen ja kuitukimppujen koon lisäksi kuitujen jäykkyys, suuntakulma, jolla ne kohtaavat viiran, ja poistuvan veden virtausnopeus. Viiralle suotautuneen kuitukerroksen kasvaessa viiran tehollinen reikäkoko pienenee nopeasti, jolloin pienetkin partikkelit jäävät muodostuvaan rainaan.



Kuva 3 Kuitupituuden vaikutus kuidun todennäköisyyteen jäädä viiralle suotautumisen alussa /2, s. 561/

## 2.4 Retentioon vaikuttavat tekijät

Retentioon vaikuttavat seuraavat tekijät:

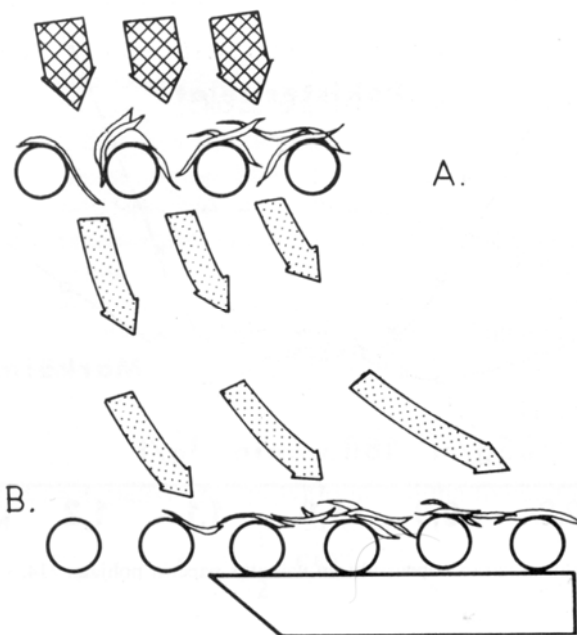
- perälaatikosta viiralle tulevan massan sakeus
- paperin neliömassa
- vedenpoiston nopeus viiraosalla
- retentioaineen laatu, annostelumäärä, -paikka, ja -tapa
- massakomponenttien ja täyteainekomponenttien laatu
- lyhyen kierron kemiallinen ja mikrobiologinen tila
- viiran laatu
- koneen rakenne
- koneen nopeus
- äkilliset muutokset prosessissa.

Perälaatikosta viiralle tulevan massan sakeuden kasvaessa viiraretentio paranee, koska kuidut muodostavat kasaumia eli flokkeja, jotka jäävät paremmin viiralle. Myös viiraosan vedenpoiston tarve vähenee, jolloin hieno- ja täyteainetta viiran lävitse kuljettavan veden virtaus pienenee. Perälaatikon sakeuden kasvaessa paperin formaatio



huononee. Paperin neliömassan kasvaessa viiraretentio paranee, koska mekaaninen retentio kasvaa. Hieno- ja täyteainepartikkelit jäävät paremmin jo muodostuneeseen kuitumattoon.

Nopea intiaalivedenpoisto eli alkuvedenpoisto huulisuihkun ja viiran kohtaamisalueella huonontaa viiraretentiota (kuva 4). Myös nopea vedenpoisto suotautumisalueella huonontaa viiraretentiota, koska poistuvan veden suuri virtausnopeus jo muodostuneen kuitumaton läpi lisää hieno- ja täyteainepartikkeleiden irtoamista kuiduista.



Kuva 4 Kuitujen asettuminen viiralle intiaalivedenpoistossa, A. nopea intiaalivedenpoisto ilman rintapöytää, B. hidus intiaalivedenpoisto rintapöydällä /2, s. 563/

Viiraretentio paranee, jos retentioaine saadaan sekoittumaan massaan mahdollisimman tasaisesti. Sekoittamisessa syntyy kuitenkin leikkausvoimia, jotka katkovat pitkiä retentioainemolekyyliketjuja, jolloin retentioaineen tehokkuus pienenee. Joidenkin retentioaineiden tehokkuus palautuu leikkausrasitusten jälkeen. Retentioaineen annostelupaikka on valittava prosessikohtaisesti. Leikkausvoimia huonosti kestävät retentioaineet annostellaan yleensä perälaatikkoa edeltävän leikkausvoimia virtaukseen aiheuttavan laitteen jälkeen. Myös massan flokkaantumisnopeus vaikuttaa

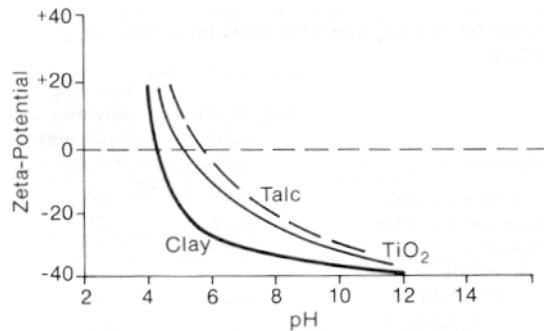
annostelupaikkaan. Suurilla partikkeleilla flokkaantuminen tapahtuu hitaammin kuin pienillä.

Massan hienoinemäärän kasvu huonontaa viirarententiota. Kuitujen ulkoinen fibrillaatio eli kuidun ulkokerrosten osittainen irtoaminen ja haiventuminen yleensä parantavat viirarententiota, koska täyteainehiukkaset tarttuvat kuitujen pinnasta ulospäin suuntautuneisiin fibrilleihin. Eri täyteaineiden ominaisuudet vaikuttavat niiden retentioon (taulukko 1). Täyteaineretentio on yleensä alle 50 %. Päällystetyn hylyn määrän kasvu huonontaa retention pysymistä vakiona, koska päällysteessä käytettyjä täyteainehiukkasia pienemmät pigmenttihiukkaset jäävät huonommin rainaan. Lisäksi päällityksessä käytetyt anioniset dispergointi- ja sideaineet kuluttavat retentioainetta.

Taulukko 1 Täyteaineiden ominaisuuksien vaikutus retentioon

Täyteaineen ominaisuus	Vaikutus retentioon
Hiukkaskoko, $\mu\text{m}$	Hiukkaskoon pienentyessä retentio huononee
Hiukkasmuoto	Levymäisen rakenteen lisääntyessä retentio paranee
Tiheys, $\text{kg}/\text{m}^3$	Tiheyden kasvaessa retentio huononee
Ominaispinta, $\text{m}^2/\text{g}$	Ominaispinnan kasvaessa retentio paranee

Massasulppu sisältää kuitujen, hieno- ja täyteaineen lisäksi, kolloidisia ja liuenneita aineita. Liuenneet ja kolloidiset aineet eli LK-aineet ovat yleensä hyvin anionisia, jolloin ne kuluttavat kationista retentioainetta. LK-aineita ovat mekaanisesta massasta peräisin olevat ligniini, hemiselluloosa ja uuteaineet. Muita LK-aineita ovat päällityspastojen lisäkemikaalit sekä keitto- ja valkaisukemikaalien jäänteet. Prosessin pH:n nousu lisää puun ainesosien liukenemistä, jolloin LK-aineiden määrä kasvaa. pH:n nousu lisää kuitujen ja täyteaineiden pintavarausta, jolloin retentioaineen tarve lisääntyy. Kuvassa 5 on esitetty pH:n vaikutus eri täyteaineiden z-potentiaaliin.



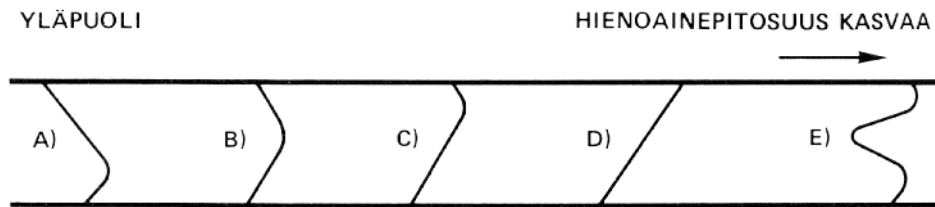
Kuva 5 pH:n vaikutus eri täyteaineiden pintavarauksiin /8, s. 156/

Kuvassa z-potentiaali on esitetty x-akselilla. Alimmainen kuvaaja on kaoliinin, keskimäinen titaanidioksidin ja ylimmäinen talkin.

Viirakudoksen ominaisuuksista poikittaisten lankojen välimatka vaikuttaa eniten viirarententioon. Ensimmäiset viiralle jäävät kuidut orientoituvat voimakkaasti konesuuntaan, jolloin ne jäävät poikittaisten lankojen tukemaksi.

Viiraosan yhtäjaksoisella vedenpoistolla saavutetaan suurempi viirarententio kuin jaksottaisella vedenpoistolla, koska jaksottaisessa vedenpoistossa vedenpoistoelimien (esim. rekisteritelat, päästölistat) aiheuttamat äkilliset poistuvan veden virtaukset huuhtovat hieno- ja täyteainepartikkeleita kuitumatosta. Jaksottainen vedenpoisto aiheuttaa alhaisen hieno- ja täyteainepitoisuuden vedenpoistopuolella, jolloin tasoviirakoneella valmistetun paperin alapuolen hieno- ja täyteainepitoisuus on alhaisempi kuin yläpuolen. Kuvassa 6 on esitetty paperin hieno- ja täyteainepitoisuuden paksuussuuntaisen jakauman eli z-jakauman muoto eri vedenpoistotyypeillä. A-kohdassa on esitetty yhtäjaksoinen vedenpoisto (laboratorioarkkimuotti), B-kohdassa märkäimulaatikoilla varustettu tasoviira, C-kohdassa jaksottainen vedenpoisto (rekisteriteloilla ja päästölistoilla varustettu tasoviirakone), D-kohdassa rekisteriteloilla ja päästölistoilla varustettu tasoviirakone viirarullalla, E-kohdassa Webster-tyyppinen kitaformerin. Tasoviirakoneen viirarententio on suurempi kuin hybridiformerin, koska hybridiformerin vedenpoisto ja samalla hieno- ja täyteainetta poistava vaikutus tapahtuu ylä- ja alapuolelta. Kitaformerilla, jossa veden poisto aloitetaan formeritelalla (ei pulseeraavalla listakengällä) eli tasaisella vedenpoistolla, saavutetaan yhtä korkea viirarententio kuin tasoviirakoneella. Perälaatikon aiheuttama suurempi massan pienimittakaavainen turbulentsisuus huonontaa viirarententtiota, koska turbulenssi hajottaa

suuria flokkeja, jotka jäävät paremmin viiralle. Pienimittakaavainen turbulenttisuus parantaa formaatiota. Koneen nopeuden nousun takia täytyy vedenpoiston nopeutta nostaa, jolloin myös viirarentio huononee.



Kuva 6 Hieno- ja täyteainepitoisuuden z-jakauman muoto eri vedenpoistotyypeillä /2, s. 556/

## 2.5 Retention vaikutus formaatioon

Kuiduilla on taipumus takertua toisiinsa, kun ne liikkuvat vesisuspensiossa, jolloin kuidut muodostavat flokkeja. Flokkeja pitävät koossa kitka ja puristusvoimat. Massan suotautuessa viiralle flokit eivät hajoa vaan aiheuttavat paperiin epätasaisen rakenteen, jolloin myös paperin neliömassa vaihtelee pienessä mittakaavassa. Tätä neliömassan vaihtelua kutsutaan formaatioksi. Formaatio on tärkeä paperin ominaisuus, koska sillä on merkittävä vaikutus paperin painettavuuteen ja lujuusominaisuuksiin.

Tekijät, jotka nostavat viirarentiota, yleensä huonontavat formaatiota, koska viirarention nousun aiheuttavat tekijät yleensä lisäävät pitkien kuitujen flokkaantumista. Tällöin myös formaatio huononee.

## 3 RETENTIOAINEET

### 3.1 Yleistä

Retentioaineiden käytön tarkoituksena on parantaa massan sisältämien huonosti retentoituvien aineiden retentiotta, jolloin myös kokonaisviirarentio nousee. Lisäksi retentioaineiden käytöllä voidaan vähentää paperin z-suuntaisen hieno- ja täyteainepitoisuuden vaihtelua, koska hieno- ja täyteaine pysyy retentioaineen ansiosta

paremmin kuitumatossa vedenpoistopuolella. Eri retentioaineet vaikuttavat tiettyjen täyteaineiden retentioon eritavalla, myös eri retentioaineiden muodostamat flokit ovat kooltaan erikokoisia, jolla on vaikutusta valmiin paperin formaatioon. Retentioaineilla saavutettu viiraretention nousu perustuu kemialliseen retentioon.

Retentiomekanismit voidaan jakaa seuraaviin ryhmiin:

- varauksen neutralointiin
- mosaiikinmuodostusmekanismiin
- sillanmuodostusmekanismiin
- retentioaineyhdistelmiin.

Yleisimpiä retentioaineita on lueteltu taulukossa 2.

Taulukko 2 Eri retentioaineita /10/

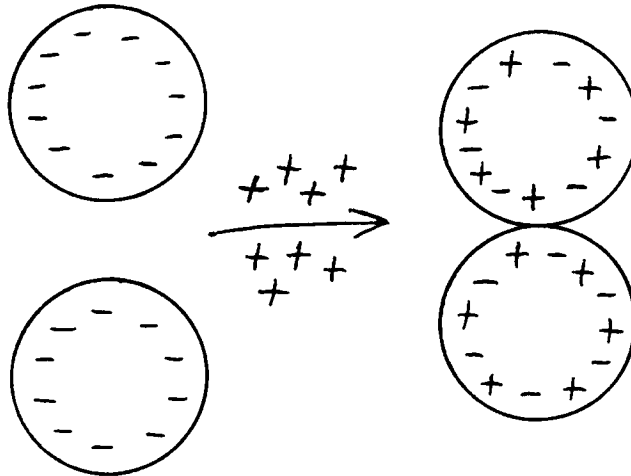
<b>Varauksen neutralointi</b>	<b>Mosaiikinmuodostusmekanismi</b>	<b>Sillanmuodostusmekanismi</b>	<b>Retentioaineyhdistelmät</b>
epäorgaaniset suolat esim. aluna, PAC	polyamiinit (PA)	polyakryyliamidi (PAM)	PEI / PAA / PA + A-PAM
alhaisen molekyylipainon omaavat polymeerit	polyamidiamiinit (PAA)	polyetylenioksidi (PEO)	C-PAM + A-PAM
	polyetyleni-imiini (PEI)		C-tärkkelys + silikasoolit
	PDADMAC		C-PAM + bentoniitti (Na-montmorillonitti)
			C-PAM + silikasoolit

## 3.2 Retentioaineiden toimintamekanismit

### 3.2.1 Varauksen neutralointi

Massasulpun sisältämät partikkelit voidaan yhdistää toisiinsa koagulaatiolla. Partikkeleiden koaguloituminen tapahtuu kun vesisuspensioon lisätään kationisia

elektrolyyttejä, jolloin negatiivisesti varautuneiden partikkeleiden sähköinen kaksoiskerros kutistuu kokoon eli z-potentiaali pienenee. Z-potentiaalin ollessa nolla partikkelit hylkivät vähiten toisiaan, jolloin tapahtuu koaguloituminen. Kuvassa 7 on esitetty partikkeleiden koaguloituminen.



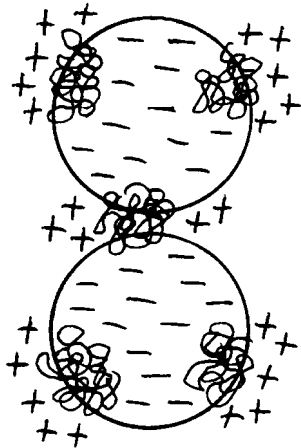
Kuva 7 Varauksen neutralointi

Alunan käyttö koagulointiaineen perustuu alumiini-ionin kolmiarvoisuuteen, koska elektrolyytin määrä riippuu siitä, minkä arvoinen ioni on.

### 3.2.2 Mosaiikinmuodostusmekanismi

Mosaiikinmuodostuksessa partikkeleiden yhdistämiseen käytetään polyelektrolyyttejä, jotka ovat kationisia polymeerejä. Näillä polymeereillä on suhteellisen alhainen molekyylipaino (< 1000 000) ja korkea varaustiheys.

Kationiset polyelektrolyytit absorboituvat negatiivisesti varautuneiden partikkeleiden pinnalle, jolloin partikkeleiden pinnalla muodostuneet vastakkaismerkkiset ja epätasaisesti jakaantuneet varauskohdat kiinnittyvät toisiinsa. Kuvassa 8 on esitetty partikkeleiden kiinnittyminen toisiinsa mosaiikinmuodostusmekanismilla.

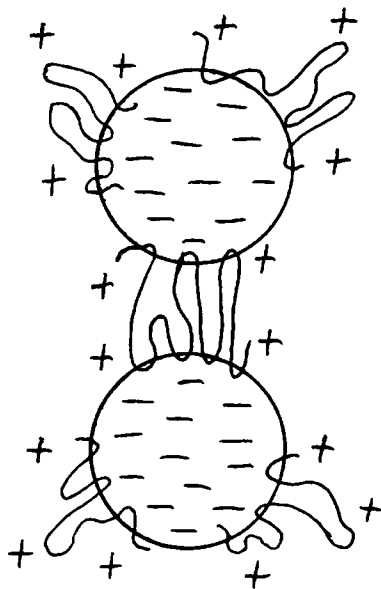


Kuva 8 Partikkeleiden kiinnittyminen toisiinsa mosaiikinmuodostusmekanismilla

### 3.2.3 Sillanmuodostusmekanismi

Sillanmuodostuksessa käytettävät kationiset polyelektrolyytit ovat hyvin pitkäketjuisia polymeerejä (molekyylipaino  $> 1000\ 000$ ), joilla on alhainen varaustiheys.

Pitkäketjuiset ja kationiset polyelektrolyytit yhdistävät negatiivisesti varautuneet partikkelit toisiinsa siltojen ja häntien avulla. Kuvassa 9 on esitetty partikkeleiden kiinnittyminen toisiinsa sillanmuodostusmekanismilla.



Kuva 9 Partikkeleiden kiinnittyminen toisiinsa sillanmuodostusmekanismilla

### 3.2.4 Retentioaineyhdistelmät

Retentioaineyhdistelmiä tarvitaan, koska paperinvalmistusprosessin vesikiertojen sulkemisasteen nousun seurauksena LK-aineet rikastuvat kiertovesiin. Oikeanlaiset retentioaineyhdistelmät kestävät paremmin LK-aineiden määrän kasvua ilman, että joudutaan käyttämään retentioaineen yliannostusta. Myös vedenpoiston nopeutuminen konenopeuden nousun myötä on johtanut retentioaineyhdistelmien käyttöön.

Retentioaineyhdistelmissä käytetään esim. kahta eri polyelektrolyyttiä. Ensin korkean varaustiheyden ja alhaisen molekyylipainon omaavat kationiset polyelektrolyytit kiinnittyvät partikkeleihin, jonka jälkeen alhaisen varaustiheyden ja korkean molekyylipainon omaavat anioniset polyelektrolyytit yhdistävät partikkelit toisiinsa.

## 4 RETENTION HALLINTA

### 4.1 Retention säätö

Säädettäessä retentiota retentiokemikaalien annostelua muuttamalla tarvitaan tieto viiraretention suuruudesta, joka saadaan selville viiralle syötetyn massan ja viiraveden sakeuksista laskemalla (kaava 1). Nykyisin viiraretention säätö perustuu pelkästään viiraveden kokonaissakeuden mittaamiseen ja sen stabilointiin, koska viiralle syötetyn massan ja viiraveden sakeusmittaukset ovat toisilleen viiveelliset, jolloin viiraretention säädettävyyys ei välttämättä ole hyvä.

### 4.2 Hyvän retention säädön vaikutukset

Hyvällä retention säädöllä saadaan pienennettyä retention hetkittäisiä muutoksia, jolloin paperin konesuuntaisten laatuominaisuuksien vaihtelut pienenevät selvästi. Myös retentioaineiden kulutus pienenee, koska retentioaineen yliannostusta ei tarvitse käyttää. Retentioaineen yliannostuksen tarkoituksena on parantaa sakeushäiriöiden sietokykyä.



## 5 RETENTIOTUTKIMUS

### 5.1 Yleistä

Tarkoituksena oli selvittää, mitkä ovat eri massojen, täyteaineen, retentioaineen ja eri jauhatusaikojen yksittäis- ja yhteisvaikutukset laboratorioarkinvalmistuksen retentioon ja arkkien ominaisuuksiin.

Kokeissa käytettyjen eri massojen jauhatuksessa ja testauksessa, koearkkien valmistuksessa ja testauksessa käytettiin standardimenetelmiä. Massojen jauhatukseen käytettiin Valley-laboratoriahollaneria ja massojen suotautumisnopeuden mittaamiseen Schopper-Riegler -laitetta (SR-luku). Koearkkien valmistaminen arkkimuotilla tapahtui ilman kiertovettä, jolloin arkkimuotin viiran läpi kulkenutta vettä ei käytetty uudestaan arkinteossa.

Retentioaineen lisäys tapahtui seuraavasti. Koearkkierään tarvittavaan massamäärään sekoitettiin tietyllä kierrosnopeudella samalla, kun retentioaine (kap = 0,004 %) lisättiin hitaasti massan joukkoon. Tarkoituksena oli, että retentioaine sekoittuisi mahdollisimman hyvin massaan ja että sekoitus vaikuttaisi mahdollisimman vähän retentioaineen toimintaan. Yhteen koearkkiin tarvittava massamäärä mitattiin ja kaadettiin arkkimuottiin. Retentioaineena käytettiin kationista polyakryyliamidia (C-PAM), jonka toiminta perustuu sillanmuodostusmekanismiin. Polyakryyliamidit ovat yleisiä paperiteollisuuden käyttämiä retentioaineita.

### 5.2 Esikoe retentioaineen käytöstä

Tarkoituksena oli selvittää, miten retentioaineen käyttö vaikuttaa laboratorioarkkimuotilla valmistettujen koearkkien neliömassaan ja formaatioon, ja tämän perusteella löytää pienin retentioainemäärä, jolla retentio ja formaatio olisivat parhaat mahdolliset. Kirjallisuudessa esitettyjen retentioaineiden (polyakryyliamidien) yleisten käyttömäärien (100...500 g/t) perusteella kokeessa käytettiin 0...0,11 % (0...1100 g/t) retentioainemääriä. Jokaista eri retentioaineannostusta kohden valmistettiin useampi koearkki, joista mitattiin neliömassa ja formaatio.

Esikoe tehtiin havumassalla, joka oli jauhettu 16,5 SR-asteeseen. Koe tehtiin massalla, jossa ei ollut täyteainetta ja massalla, jossa oli mukana täyteainetta. Täyteaineen osuus oli 30 % massan kiintoaineesta. Taulukossa 3 on esitetty tehty koeohjelma.

Taulukko 3 Koeohjelma retentioaineen käytöstä

retentioaine, g/t	havumassa, jauhatu (16,5 SR <sup>o</sup> )																							
	50		100		200		300		400		500		600		700		800		900		1000		1100	
täyteaine, %	0	30	0	30	0	30	0	30	0	30	0	30	0	30	0	30	0	30	0	30	0	30	0	30
arkki	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7

### 5.3 Massojen retentiokokeet

Kokeissa käytettiin neljää eri massaa, haapa-, koivu-, eukalyptus- ja havumassaa. Massat jauhettiin 10 ja 20 minuutin jauhatuajalla paitsi havumassa, joka jauhettiin 10 ja 30 minuuttia. Jokaisesta massalaadusta valmistettiin ilman retentioainetta täyteaineettomat ja täyteaineelliset koearkit, sekä retentioainetta käyttäen täyteaineettomat ja täyteaineelliset koearkit. Täyteaineen määrä arkkia kohden oli puolet pienempi kuin esikokeessa eli 17,6 % massan kiintoaineesta.

Koearkeista määritettiin neliömassa, formaatio, tiheys, repäisylujuus, repäisyindeksi, vetolujuus, vetoindeksi, venymä, sekä tuhkapitoisuus. Käytetyille massoille tehtiin lisäksi Fiberlab -kuituanalyysi. Taulukossa 4 on esitetty tehty koeohjelma.

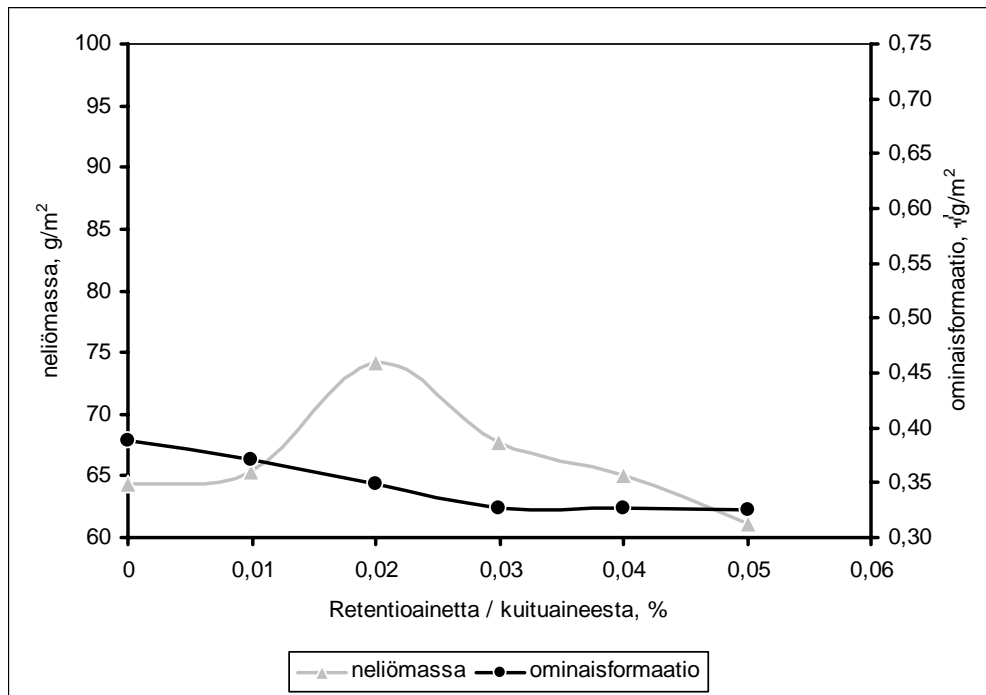
Taulukko 4 Koeohjelma massojen retentiokokeista

massa	haapa						koivu						eukalyptus						havu									
	10			20			10			20			10			20			10			30						
jauhatus, min.																												
täyteaine	ei		on		ei		on		ei		on		ei		on		ei		on		ei		on		ei		on	
retentioaine, g/t	0	200	0	50	0	200	0	50	0	200	0	50	0	200	0	50	0	200	0	50	0	200	0	50	0	200	0	50
arkki	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7

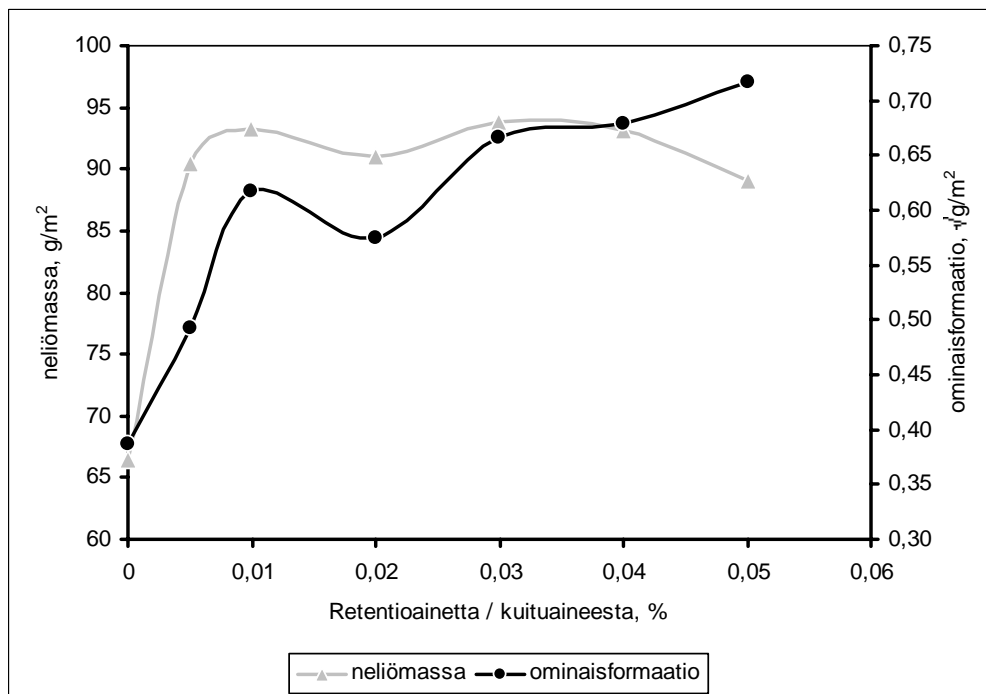
## 6 MITTAUSTULOKSET

### 6.1 Esikoe retentioaineen käytöstä

Kaavioissa (kuva 10 ja 11) on esitetty retentioaineen annostelumäärän vaikutus koearkkien neliömassaan ja ominaisformaatioon. Ominaisformaatiota eli normeerattua neliömassahajontaa käytetään, kun vertaillaan näytteitä, joiden neliömassat poikkeavat toisistaan. Arvopisteiden arvot on saatu mittaustulosten keskiarvojen perusteella. Yksittäiset mittaustulokset on esitetty liitteessä 1.



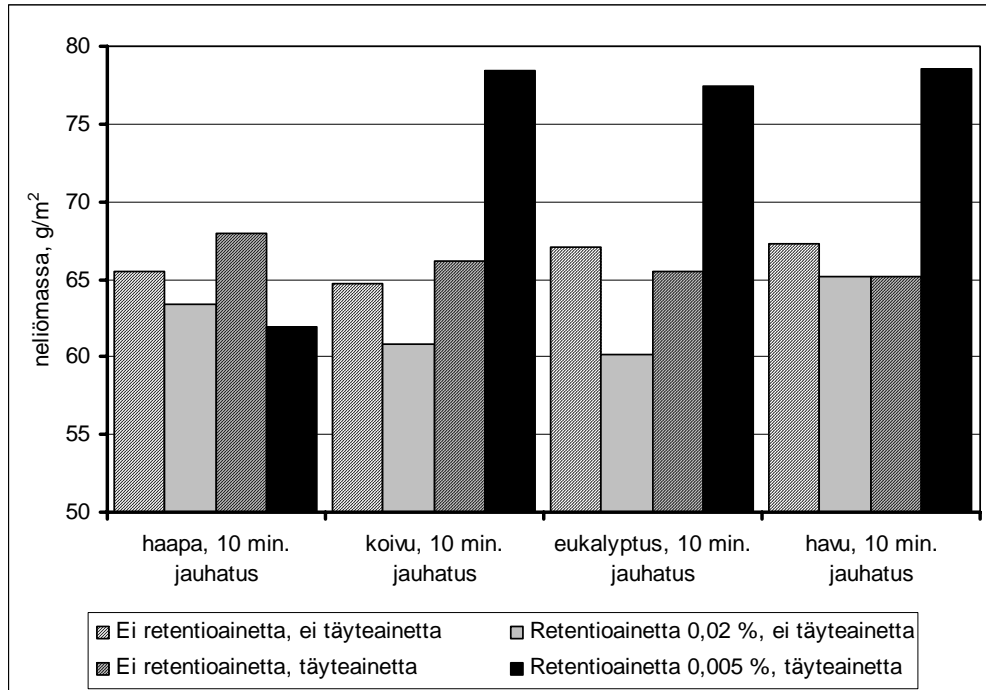
Kuva 10 Retentioaineen annostelumäärän vaikutus täyteaineettomien koearkkien neliömassaan ja ominaisformaatioon



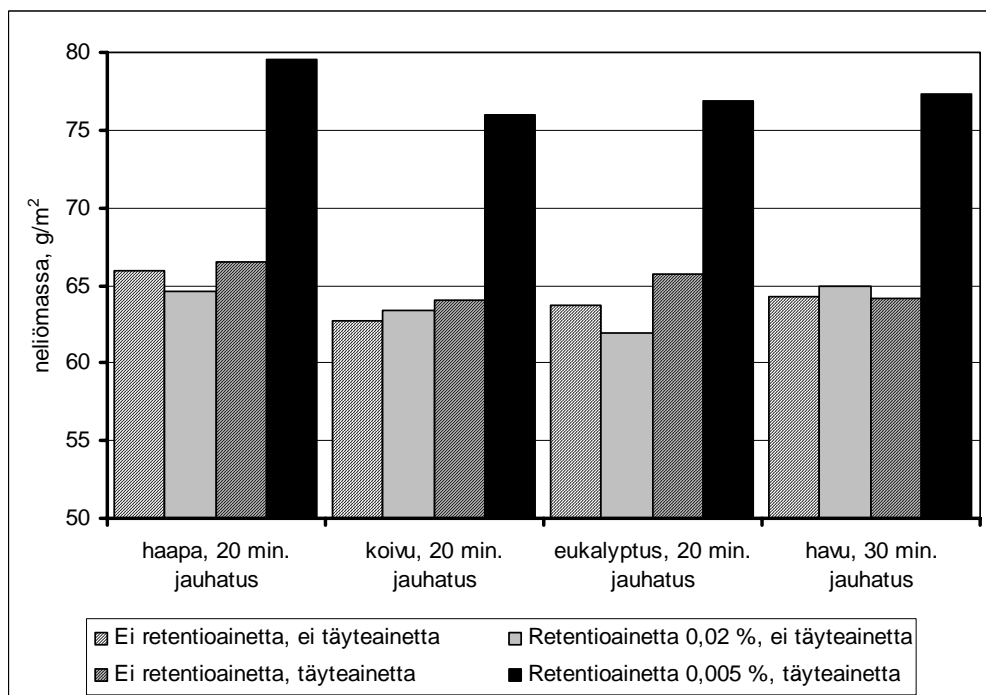
Kuva 11 Retentioaineen annostelumäärän vaikutus täyteaineellisten koearkkien neliömassaan ja ominaisformaatioon

## **6.2 Massoilla tehtyjen kokeiden tulokset**

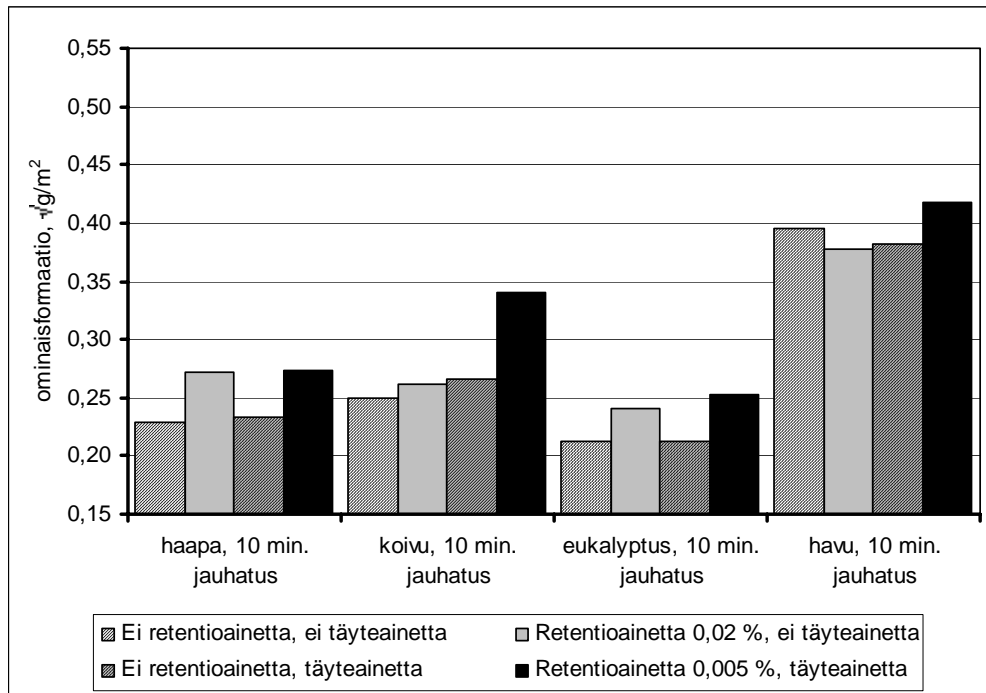
Seuraavissa kaavioissa on esitetty koearkeista mitatut eri ominaisuudet. Jokaisesta massasta ja jauhatusajasta on esitetty omat tulokset. Yksittäiset mittaustulokset on esitetty liitteessä 2.

**Neliömassa, lyhyt jauhatus**

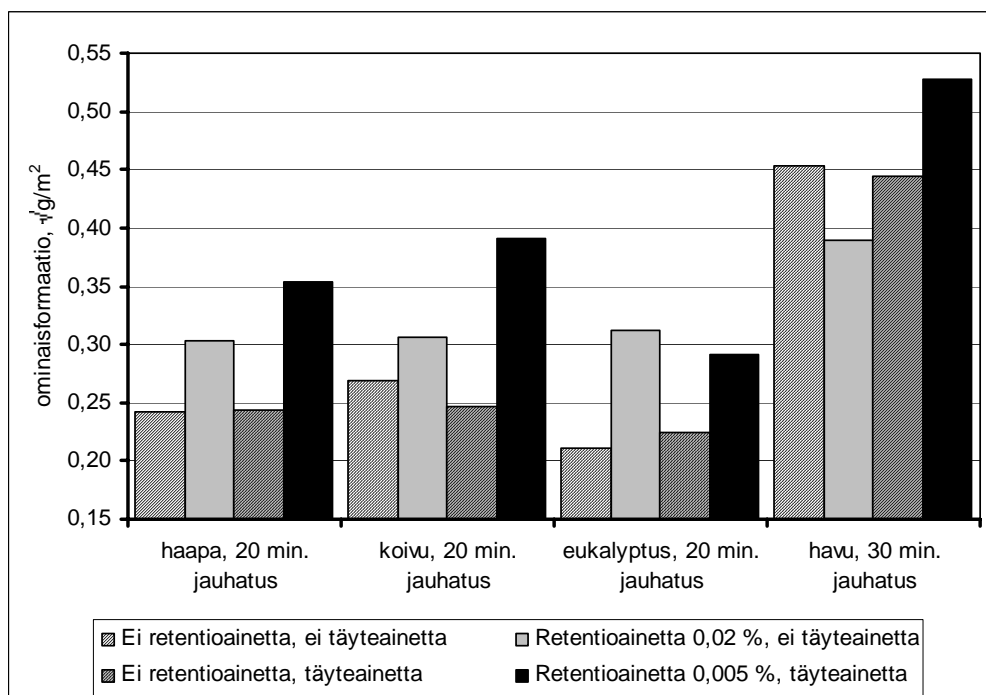
Kuva 12 Neliömassatulokset massojen lyhyillä jauhatusajoilla

**Neliömassa, pitkä jauhatus**

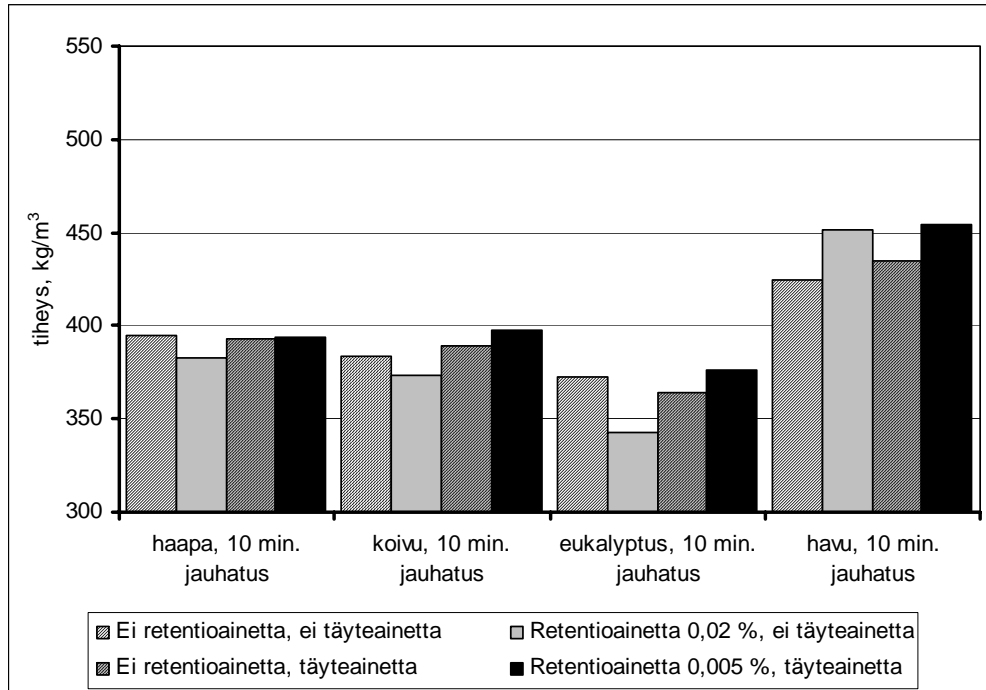
Kuva 13 Neliömassatulokset massojen pitkällä jauhatusajoilla

**Formaatio, lyhyt jauhatus**

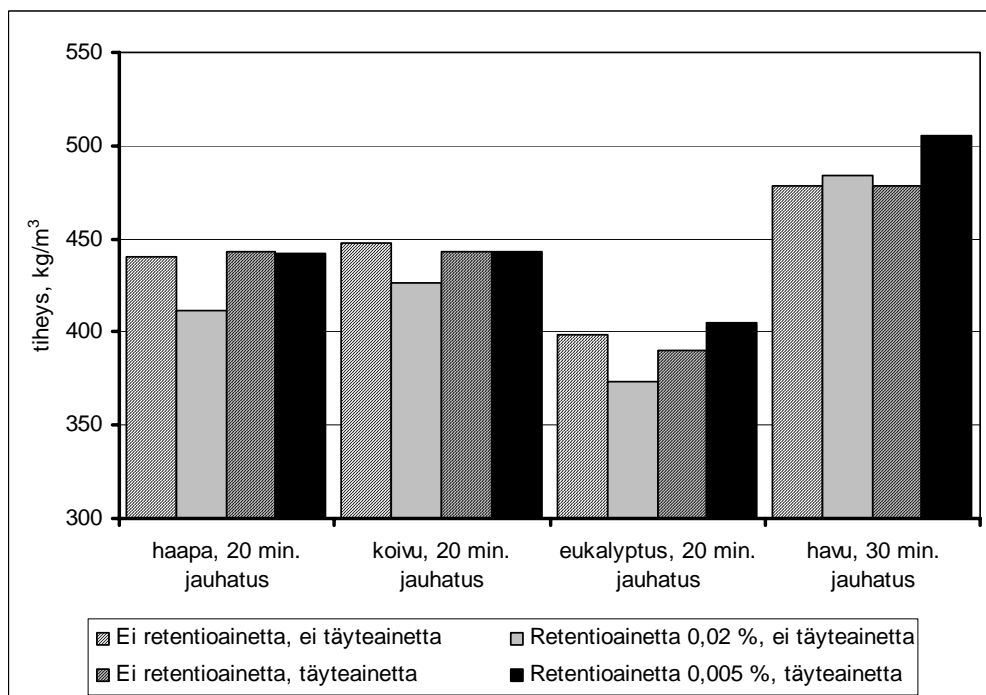
Kuva 14 Ominaisformaatiotulokset massojen lyhyillä jauhatusajoilla

**Formaatio, pitkä jauhatus**

Kuva 15 Ominaisformaatiotulokset massojen pitkällä jauhatusajoilla

**Tiheys, lyhyt jauhatus**

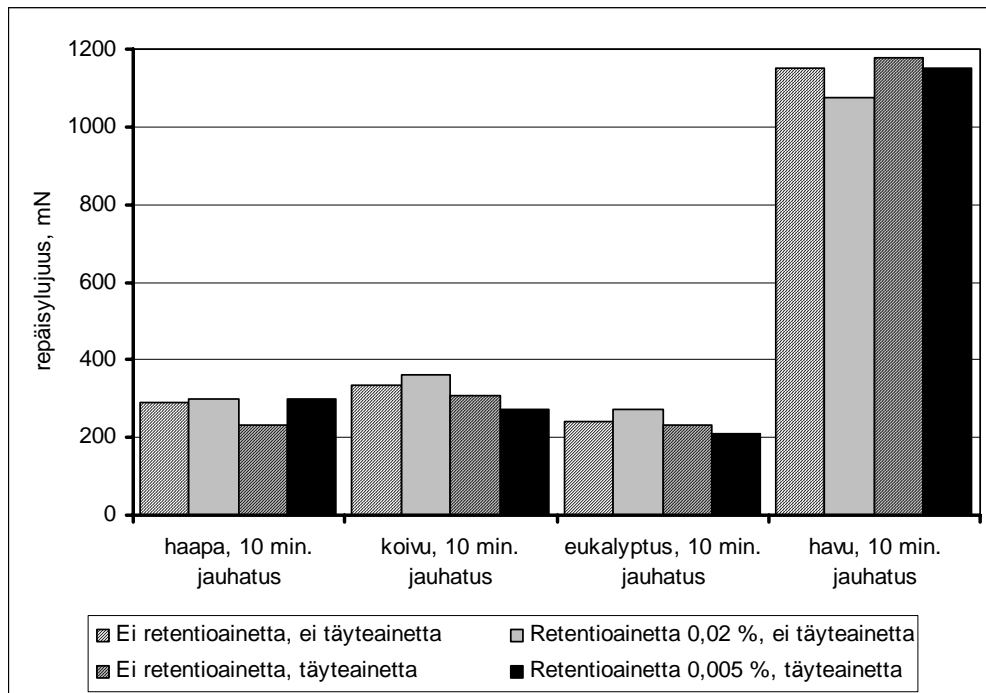
Kuva 16 Tiheystulokset massojen lyhyillä jauhatusajoilla

**Tiheys, pitkä jauhatus**

Kuva 17 Tiheystulokset massojen pitkällä jauhatusajoilla

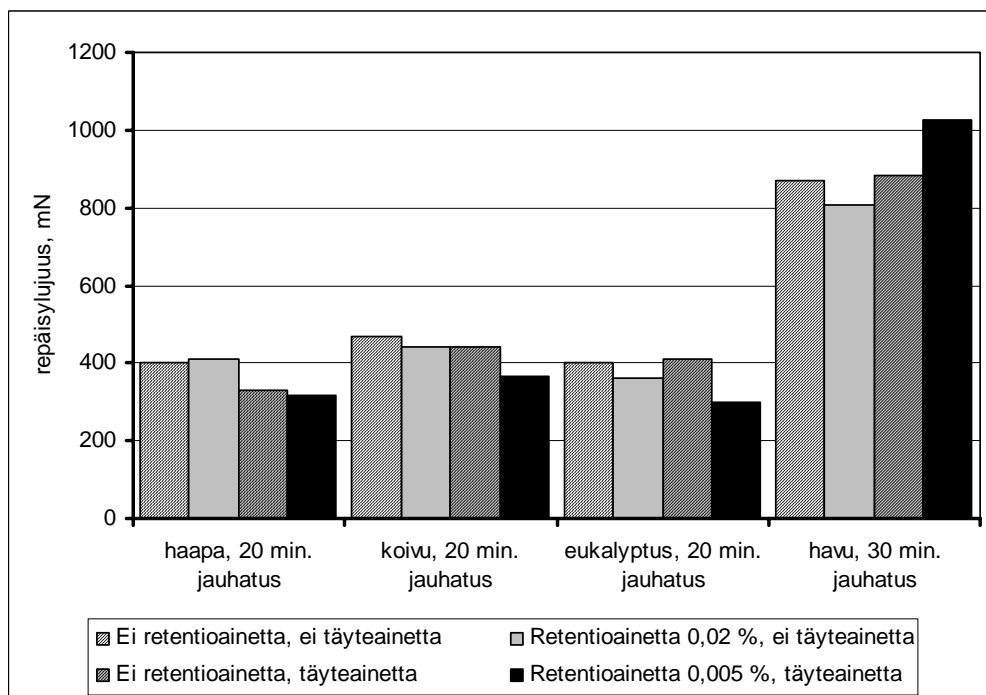


### Repäisylujuus, lyhyt jauhatus

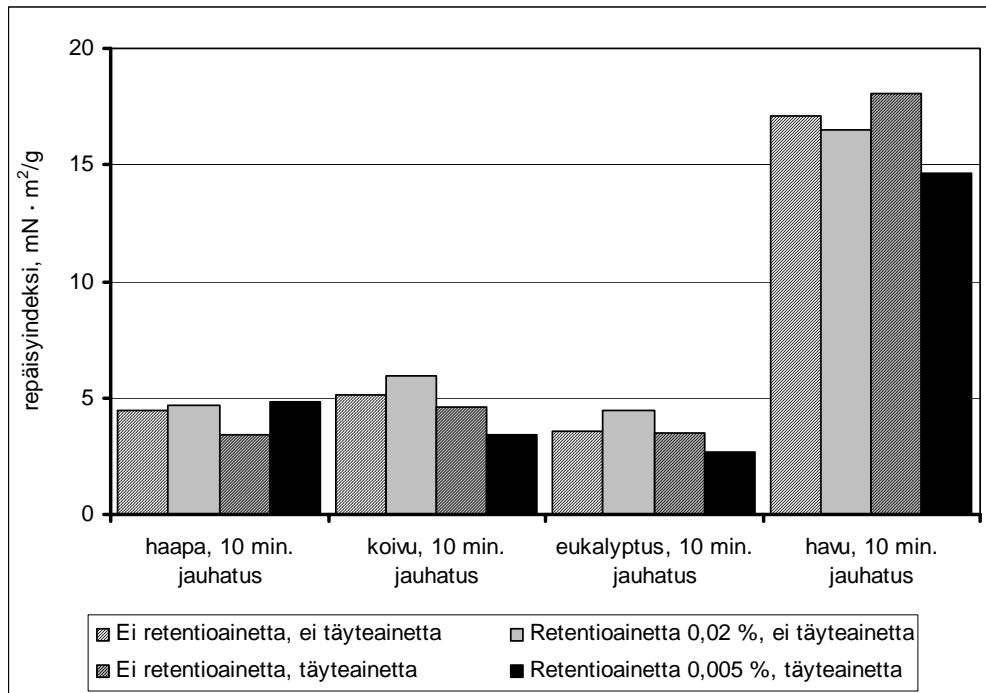


Kuva 18 Repäisylujuustulokset massojen lyhyillä jauhatusajoilla

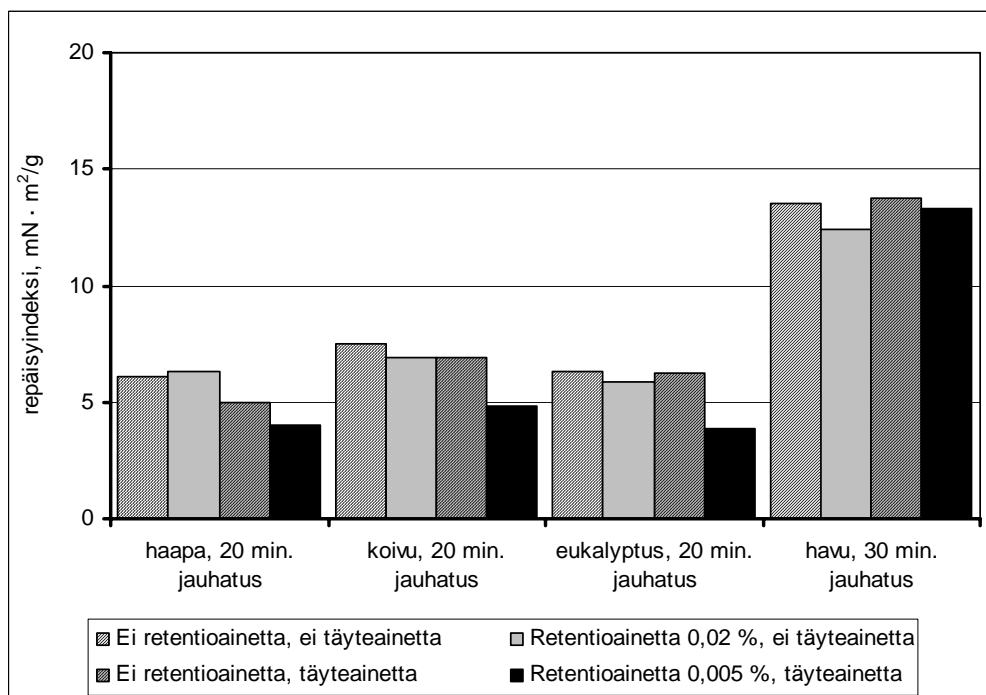
### Repäisylujuus, pitkä jauhatus



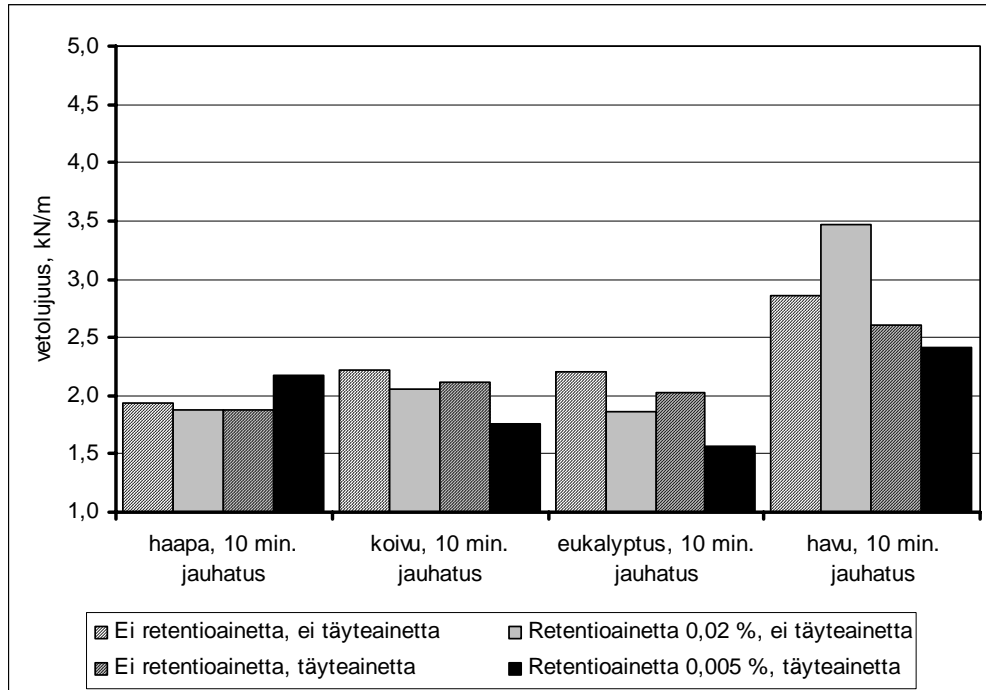
Kuva 19 Repäisylujuustulokset massojen pitkällä jauhatusajoilla

**Repäisyindeksi, lyhyt jauhatus**

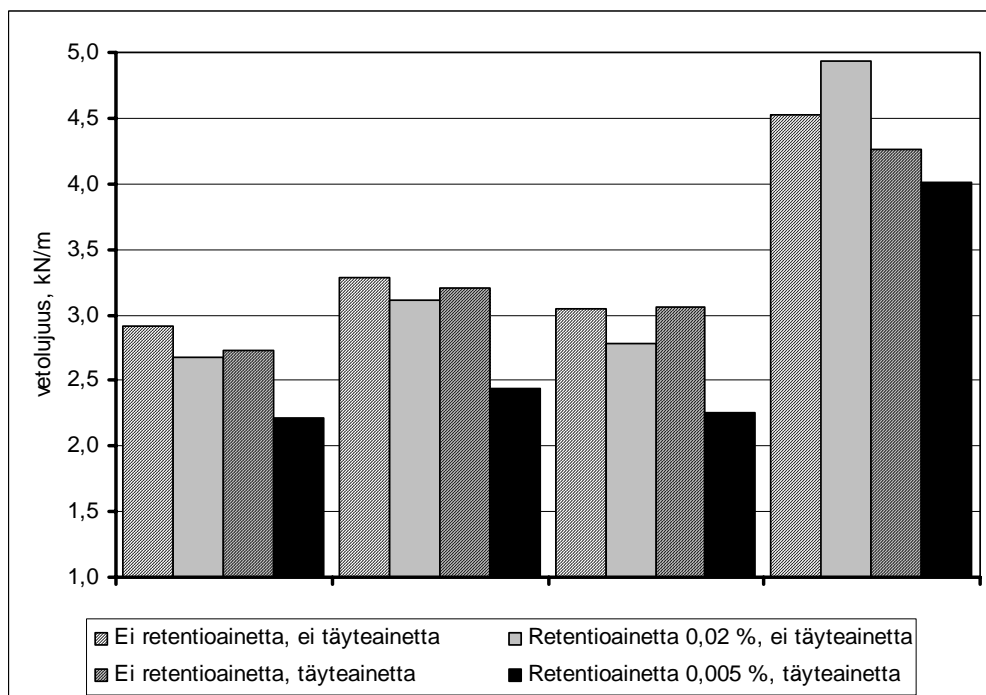
Kuva 20 Repäisyindeksitulokset massojen lyhyillä jauhatusajoilla

**Repäisyindeksi, pitkä jauhatus**

Kuva 21 Repäisyindeksitulokset massojen pitkällä jauhatusajoilla

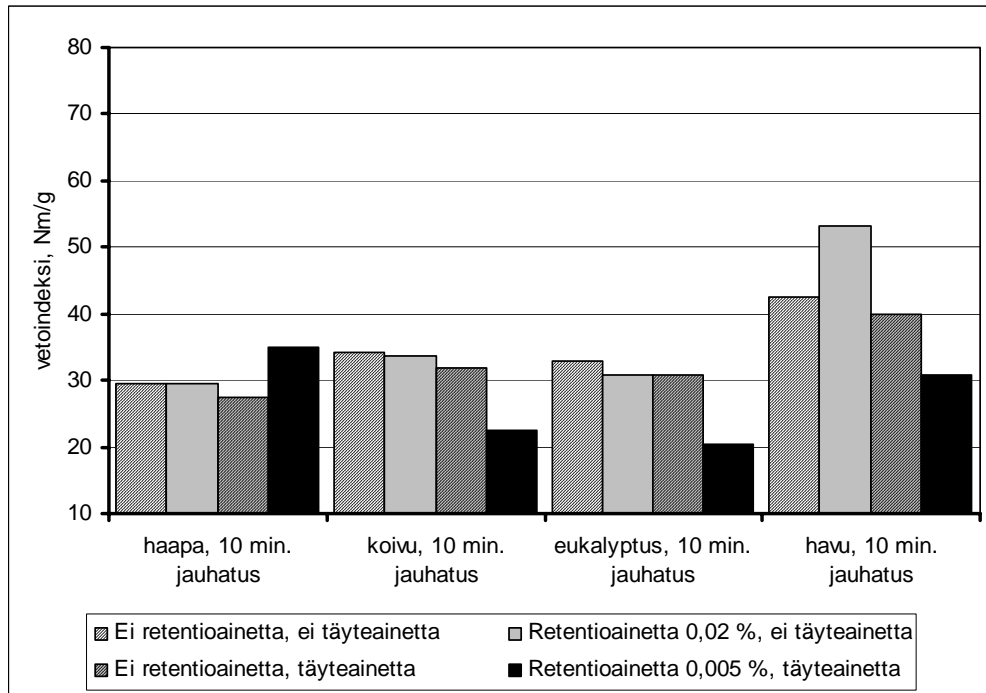
**Vetolujuus, lyhyt jauhatus**

Kuva 22 Vetolujuustulokset massojen lyhyillä jauhatusajoilla

**Vetolujuus, pitkä jauhatus**

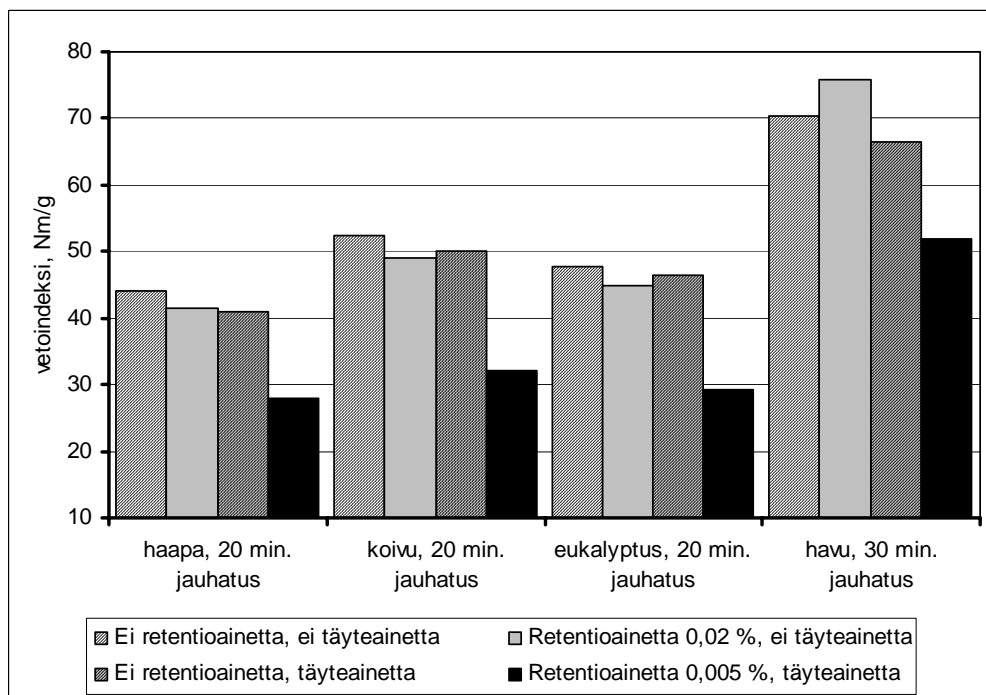
Kuva 23 Vetolujuustulokset massojen pitkällä jauhatusajoilla

### Vetoindeksi, lyhyt jauhatus



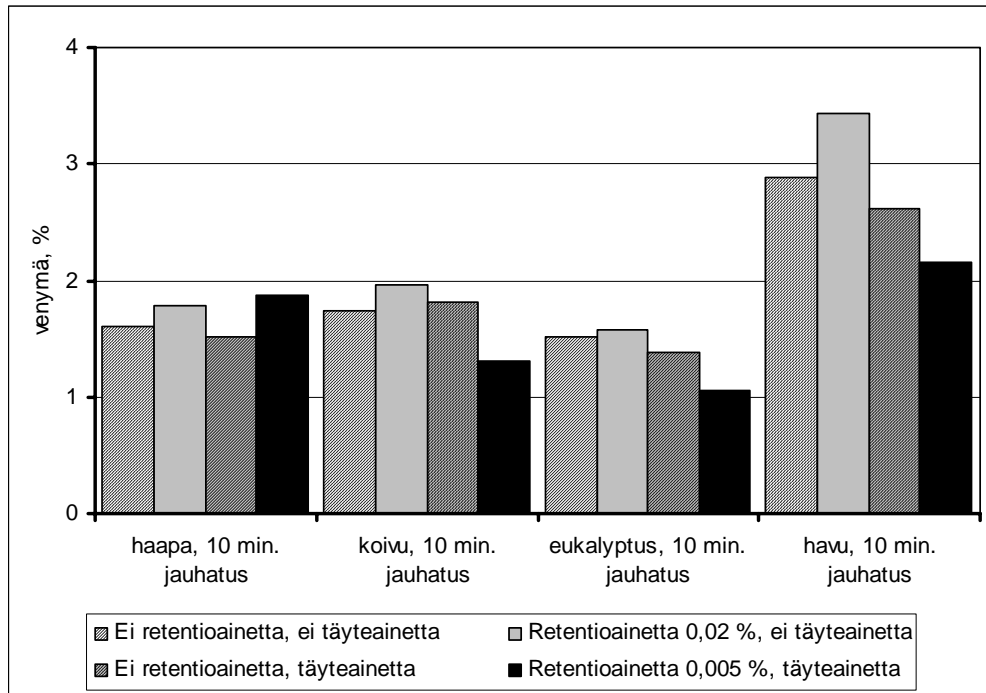
Kuva 24 Vetoindeksitulokset massojen lyhyillä jauhatusajoilla

### Vetoindeksi, pitkä jauhatus



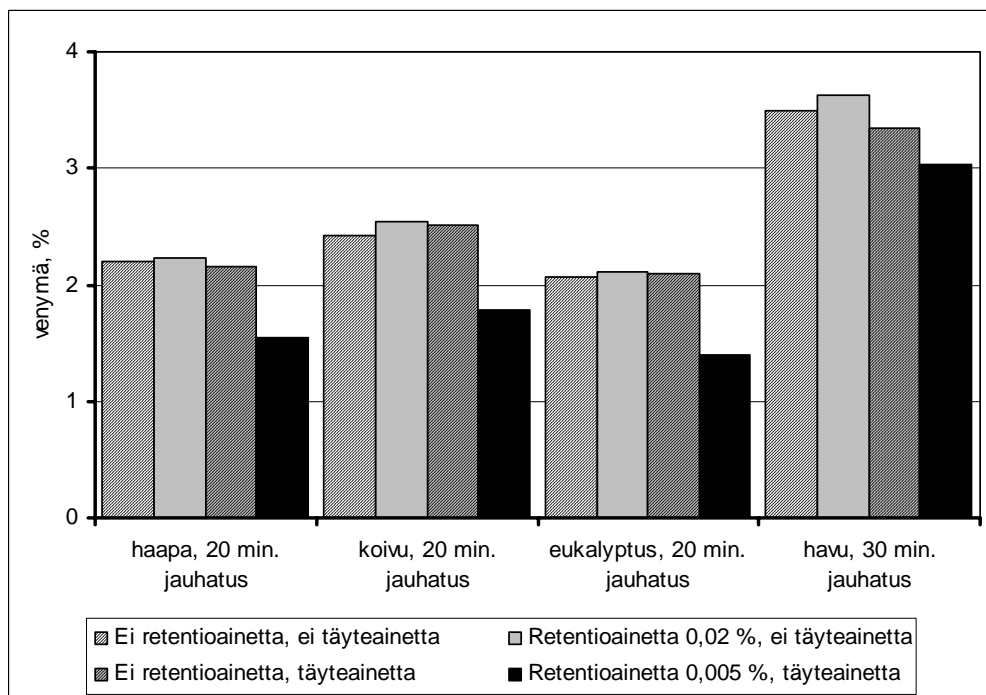
Kuva 25 Vetoindeksitulokset massojen pitkällä jauhatusajoilla

### Venymä, lyhyt jauhatus

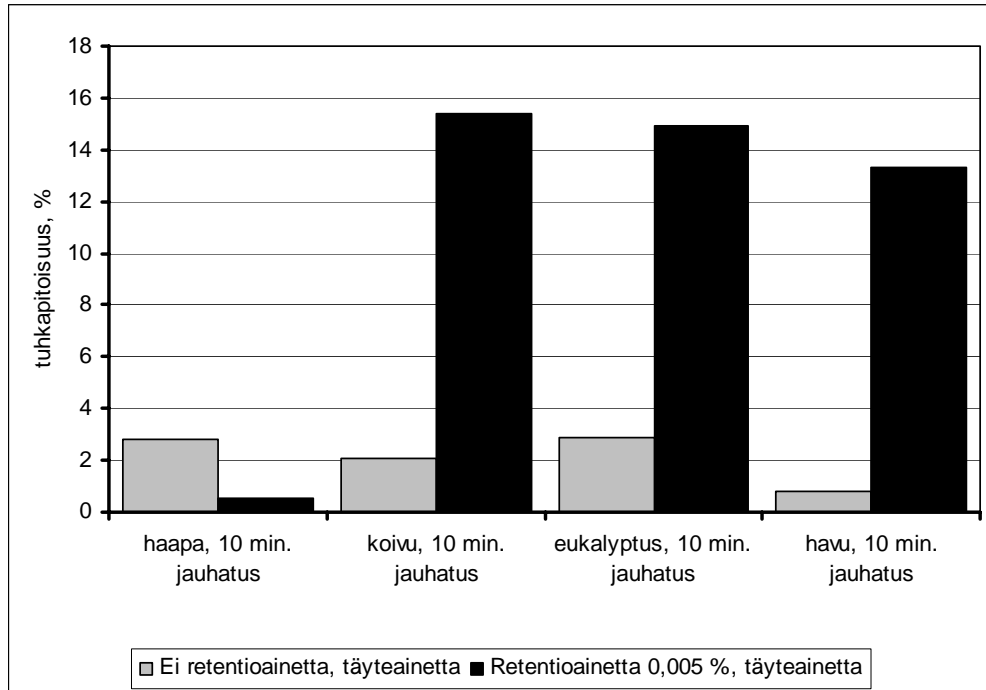


Kuva 26 Venymätulokset massojen lyhyillä jauhatusajoilla

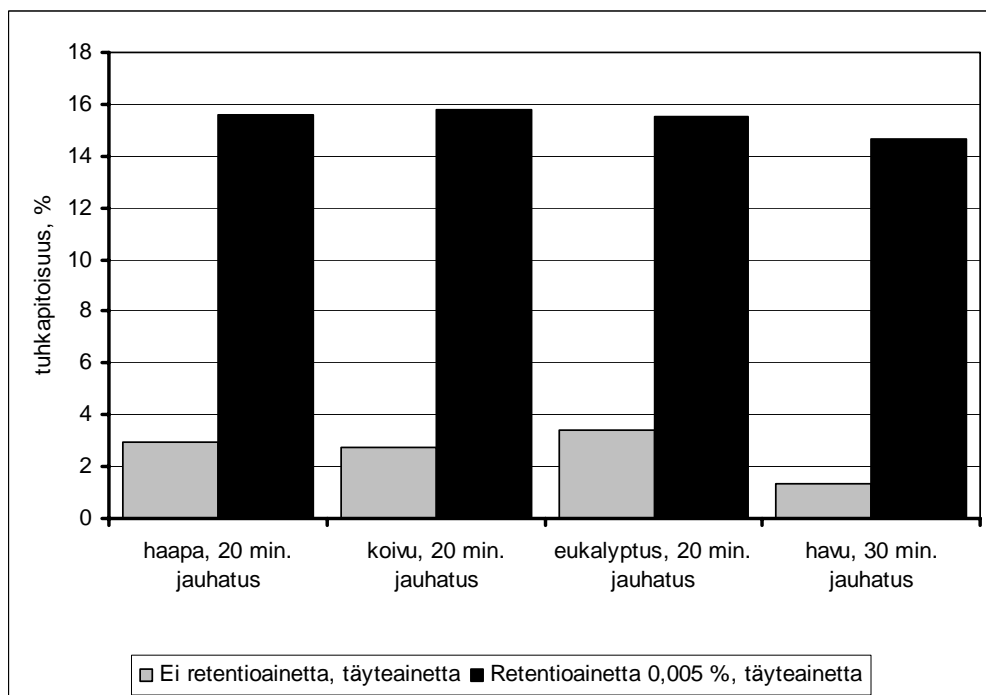
### Venymä, pitkä jauhatus



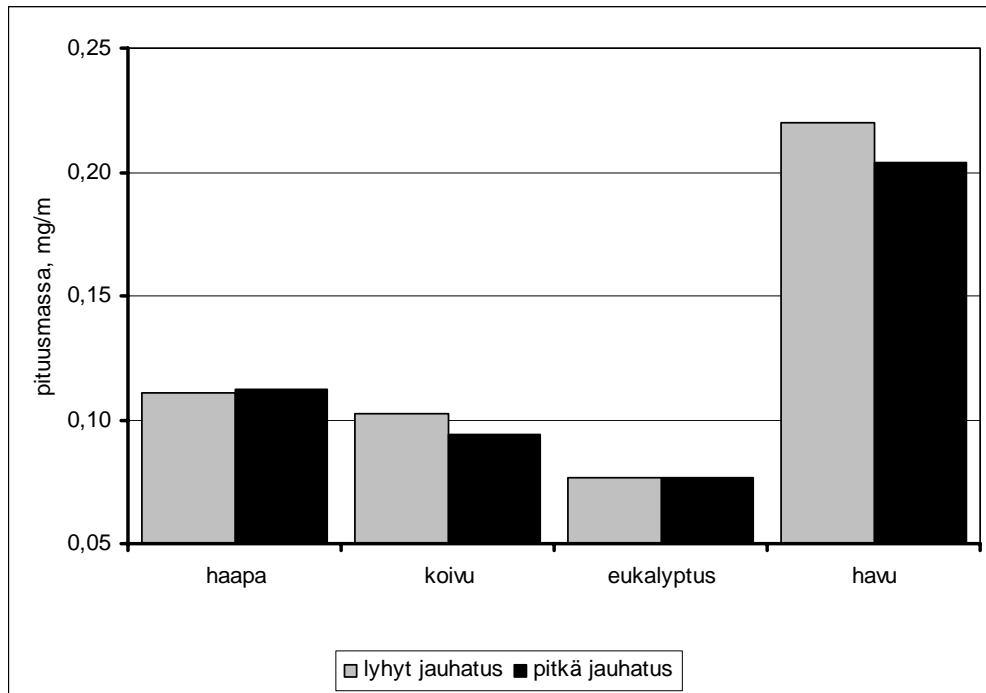
Kuva 27 Venymätulokset massojen pitkällä jauhatusajoilla

**Tuhkapitoisuus, lyhyt jauhatus**

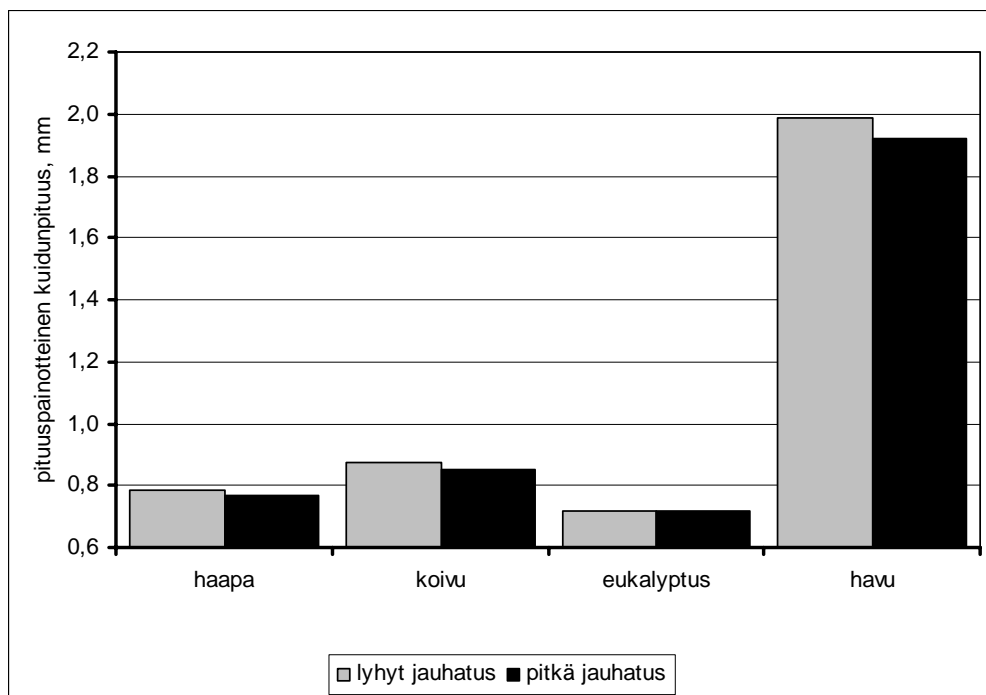
Kuva 28 Tuhkapitoisuustulokset massojen lyhyillä jauhatusajoilla

**Tuhkapitoisuus, pitkä jauhatus**

Kuva 29 Tuhkapitoisuustulokset massojen pitkällä jauhatusajoilla

**Kuituanalyysi**

Kuva 30 Pituusmassatulokset



Kuva 30 Pituuspainotteinen kuidunpituustulokset

## 7 TULOSTEN TARKASTELU

### 7.1 Esikoe retentioaineen käytöstä

Kaaviosta nähdään, että täyteaineettomasta massasta tehtyjen koearkkien suurin neliömassa, eli suurin retentio saatiin 0,02 %:in retentioaineannostuksella. Tätä suuremmilla retentioainemäärillä saatiin pienempi retentio. Koearkkien ominaisformaatio pieneni retentioainemäärää lisättäessä 0,03 %:iin asti, jolloin saavutettiin paras ominaisformaation taso. Tulokset osoittavat, että pienin retentioainemäärä, jolla retentio ja formaatio ovat mahdollisimman hyvät, saatiin 0,02 %:in retentioaineannostuksella.

Täyteainetta käytettäessä retentioaineen vaikutus retentioon ja ominaisformaatioon oli suuri jo pienillä retentioainemäärillä. Koearkkien neliömassa ei juurikaan kasvanut 0,005 % suuremmilla retentioainemäärillä. Koearkkien ominaisformaatio oli korkea jo 0,01 % retentioainemäärällä. Tulosten perusteella pienin retentioainemäärä, jolla saatiin parhaat tulokset oli 0,005 %.

### 7.2 Massojen retentiokokeet

Vertailemalla arkkien tuhkapitoisuuksia huomataan, että lyhyemmän jauhatusajan haapamassasta täyteainetta ja retentioainetta käyttäen valmistettujen arkkien tuhkapitoisuudet ovat selvästi muita alhaisemmat, joten voi olettaa tuloksen epäluotettavaksi. Koska retentioaineen käytön tarkoituksena on parantaa täyteaineen retentiota ja koska tuhkapitoisuus nousee täyteainepitoisuuden myötä huomataan, että käytettäessä koivu- tai havumassaa valitulla retentioaineannostuksella saadaan parempi retentio kuin käytettäessä eukalyptusmassaa.

Kuituanalyysin tulosten perusteella huomataan, että ilman täyteaineen käyttöä retentioaineen vaikutus retentioon on paras, kun massan pituusmassa (mg/m) on suuri. Tämä käy ilmi vain 10 minuuttia jauhettuja massoja käytettäessä.

Saaduista koetuloksista saadaan parempi kuva kun jokaisesta massasta tehdään oma prosessianalyysi. Prosessianalyysistä selviää, onko tietyn hallintasuuren esim. retentioaineen käytön vaikutus tilasuureisiin esim. formaatioon parantava vai



huonontava. Seuraavissa taulukoissa parantava vaikutus on merkitty +-merkillä ja huonontava vaikutus --merkillä. Erittäin selvä vaikutus on merkitty useammalla merkillä.

Taulukko 3 Arkinvalmistuksen prosessianalyysi. Arkit on valmistettu haapamassasta ilman täyteainetta

HAAPA, EI TÄYTEAINETTA						
	retentio	formaati	tiheys	repäisyind.	vetoind.	venymä
pitkä jauhatus	+	-	--	+++	+++	+++
retentioaineen käyttö	-	--	+	+		++
retentioaineen käyttö ja pitkä jauhatus	-	---	-	+++	+++	+++

Taulukko 4 Arkinvalmistuksen prosessianalyysi. Arkit on valmistettu haapamassasta täyteainetta käyttäen

HAAPA, TÄYTEAINETTA						
	retentio	formaati	tiheys	repäisyind.	vetoind.	venymä
pitkä jauhatus	-	-	--	+++	+++	+++
retentioaineen käyttö	--	--		+++	++	++
retentioaineen käyttö ja pitkä jauhatus	++	---	--	++	+	+

Taulukko 5 Arkinvalmistuksen prosessianalyysi. Arkit on valmistettu koivumassasta ilman täyteainetta

KOIVU, EI TÄYTEAINETTA						
	retentio	formaati	tiheys	repäisyind.	vetoind.	venymä
pitkä jauhatus	-	-	--	+++	+++	+++
retentioaineen käyttö	--	-	+	++	-	++
retentioaineen käyttö ja pitkä jauhatus	-	--	--	+++	+++	+++

Taulukko 6 Arkinvalmistuksen prosessianalyysi. Arkit on valmistettu koivumassasta täyteainetta käyttäen

KOIVU, TÄYTEAINETTA						
	retentio	formaati	tiheys	repäisyind.	vetoind.	venymä
pitkä jauhatus	-	++	--	+++	+++	+++
retentioaineen käyttö	++	--	-	---	---	---
retentioaineen käyttö ja pitkä jauhatus	++	---	--	+	+	-

Taulukko 7 Arkinvalmistuksen prosessianalyysi. Arkit on valmistettu eukalyptusmassasta ilman täyteainetta

EUKALYPTUS, EI TÄYTEAINETTA						
	retentio	formaati	tiheys	repäisyind.	vetoind.	venymä
pitkä jauhatus	-		-	+++	+++	+++
retentioaineen käyttö	--	--	++	++	--	+
retentioaineen käyttö ja pitkä jauhatus	--	---		+++	+++	+++

Taulukko 8 Arkinvalmistuksen prosessianalyysi. Arkit on valmistettu eukalyptusmassasta täyteainetta käyttäen

EUKALYPTUS, TÄYTEAINETTA						
	retentio	formaati	tiheys	repäisyind.	vetoind.	venymä
pitkä jauhatus		-	-	+++	+++	+++
retentioaineen käyttö	++	--	-	---	---	---
retentioaineen käyttö ja pitkä jauhatus	++	---	--	+	-	+

Taulukko 9 Arkinvalmistuksen prosessianalyysi. Arkit on valmistettu havumassasta ilman täyteainetta

HAVU, EI TÄYTEAINETTA						
	retentio	formaati	tiheys	repäisyind.	vetoind.	venymä
pitkä jauhatus	-	--	--	---	+++	++
retentioaineen käyttö	-	+	-	-	++	++
retentioaineen käyttö ja pitkä jauhatus	-	+	--	---	+++	++

Taulukko 10 Arkinvalmistuksen prosessianalyysi. Arkit on valmistettu havumassasta täyteainetta käyttäen

HAVU, TÄYTEAINETTA						
	retentio	formaati	tiheys	repäisyind.	vetoind.	venymä
pitkä jauhatus	-	--	-	---	+++	++
retentioaineen käyttö	++	-	-	---	---	---
retentioaineen käyttö ja pitkä jauhatus	++	---	--	---	+++	++

## 8 JOHTOPÄÄTÖKSET

Jotta koeohjelma ei olisi kasvanut liian suureksi, valmistettavien koearkkien määrää piti rajoittaa. Tästä seuraa saatujen tulosten huono luotettavuus. Lisäksi retentioaineena käytetyn C-PAM:in sekoitus- ja lisäystavan, arkinvalmistustavan ja mahdollisten sakeusvaihteluiden muutosten vaikutusta tuloksiin ei tiedetä.

Täyteainetta sisältäviä laboratorioarkkeja valmistettaessa jo pienellä retentioaineen annostusmäärällä saadaan selvästi lisättyä täyteaineen retentiota. Laboratorioarkkeja valmistettaessa jokaiselle massalle ja täyteainepitoisuudelle on löydettävä oma retentioaineen annostelumäärä. Liian suurella retentioainemäärällä saavutetaan huonot arkin ominaisuudet, eikä retentioon saada merkittävää parannusta. Havumassa eroaa muista massoista selvästi. Eri massojen käytön vaikutusta arkinvalmistuksen

kokonaisretentioon, täyteaineretentioon ja arkkien ominaisuuksiin olisi hyvä tutkia, jos kokeet tehtäisiin eri retentioainemäärillä.

**LÄHDELUETTELO**

- 1 Aaltonen, P., Kuituraaka-aineen ja paperin testausmenetelmiä. Otakustantamo 1986. 98 s.
- 2 Arjas, A., Suomen Paperi-insinöörien yhdistyksen oppi- ja käsikirja. Paperin valmistus. osa 1. 2. painos. Suomen Paperi-insinöörien yhdistys r.y. 1983. 724 s.
- 3 Heinovirta, L., Retentio HD-paperin valmistuksessa. Insinööri työ. Tampereen teknillinen oppilaitos. Prosessiosasto. Tampere. 1995. 58 s.
- 4 Häggblom-Ahnger, U. - Komulainen, P., Kemiallinen metsäteollisuus 2. Paperin ja kartongin valmistus. Opetushallitus 2000. 290 s.
- 5 Neimo, L., Papermaking science and technology. Papermaking chemistry. Fapet Oy 1999. 329 s.
- 6 Puusta paperiin. M-501. Massojen käsittely. Metsäteollisuuden työnantajaliitto 1984. 85 s.
- 7 Puusta paperiin. M-504. Hienopaperin valmistus. 2. muunnettu painos. Sepsilva LTD Oy 1997. 140 s.
- 8 Scott, W.E., Principles of wet end chemistry. Tappi press 1996. 185 s.
- 9 Thorp, B.A., Pulp and paper manufacture. Paper machine operations. 3. painos. The Joint textbook committee of the paper industry 1991. 693 s.
- 10 Viilo, P., Paperifysiikka ja -kemia. Luennot 2003. Tampereen ammattikorkeakoulu.

Esikokeen yksittäiset mittaustulokset

	HAVU, 30 MIN.												
retentioaineen annostelu, %	0	0	0,005	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04	0,05	0,05
täyteaineen annostelu, %	0	15	15	0	15	0	15	0	15	0	15	0	15
neliömassa, g/m <sup>2</sup>	64,4	66,5	90,5	65,4	93,2	74,2	91,0	67,7	93,8	65,1	93,1	61,1	89,0
ominaisformaatio, √g/m <sup>2</sup>	0,373 0,405	0,396 0,379	0,484 0,500	0,373 0,368	0,571 0,664	0,339 0,360	0,598 0,552	0,326 0,328	0,690 0,643	0,335 0,319	0,705 0,653	0,329 0,322	0,705 0,730
keskiarvo	0,389	0,388	0,492	0,371	0,618	0,350	0,575	0,327	0,667	0,327	0,679	0,326	0,718
keskihajonta, %	2,26	1,20	1,13	0,35	6,58	1,48	3,25	0,14	3,32	1,13	3,68	0,49	1,77

Yksittäiset neliömassa-, paksuus-, ja tiheysmittaustulokset

	HAAPA, 10 MIN. (17,5 °SR)				KOIVU, 10 MIN. (17 °SR)				EUKALYPTUS, 10 MIN. (19 °SR)				HAVU, 10 MIN. (13,5 °SR)			
retentioaineen annostelu, %	0	0,02	0	0,005	0	0,02	0	0,005	0	0,02	0	0,005	0	0,02	0	0,005
täyteaineen annostelu, %	0	0	15	15	0	0	15	15	0	0	15	15	0	0	15	15
neliömassa, g/m <sup>2</sup>	65,5	63,4	67,9	61,9	64,7	60,8	66,2	78,4	67,1	60,2	65,5	77,4	67,3	65,2	65,2	78,5
paksuus, mm	0,16	0,17	0,19	0,15	0,16	0,16	0,17	0,20	0,18	0,17	0,18	0,22	0,16	0,14	0,15	0,18
	0,16	0,17	0,17	0,16	0,17	0,16	0,17	0,20	0,18	0,17	0,18	0,21	0,16	0,15	0,15	0,18
	0,16	0,16	0,17	0,16	0,17	0,16	0,17	0,20	0,18	0,17	0,18	0,21	0,15	0,14	0,15	0,17
	0,17	0,16	0,17	0,16	0,17	0,16	0,17	0,19	0,18	0,18	0,18	0,20	0,16	0,15	0,15	0,17
	0,17	0,16	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,19	0,18	0,18	0,18	0,20	0,16	0,15	0,15	0,17
	0,17	0,17	0,17	0,15	0,17	0,16	0,17	0,21	0,18	0,18	0,18	0,20	0,16	0,14	0,15	0,17
	0,17	0,17	0,17	0,15	0,17	0,17	0,17	0,19	0,18	0,18	0,18	0,20	0,16	0,14	0,15	0,17
keskiarvo	0,166	0,166	0,173	0,157	0,169	0,163	0,170	0,197	0,180	0,176	0,180	0,206	0,159	0,144	0,150	0,173
keskihajonta, %	0,53	0,53	0,76	0,76	0,38	0,49	0,00	0,76	0,00	0,53	0,00	0,79	0,38	0,53	0,00	0,49
tiheys, kg/m <sup>3</sup>	395,3	382,6	392,8	393,9	383,8	373,3	389,4	397,7	372,8	342,6	363,9	376,3	424,4	451,9	434,7	454,1

Yksittäiset neliömassa-, paksuus-, ja tiheysmittaustulokset

	HAAPA, 20 MIN. (19,5 °SR)				KOIVU, 20 MIN. (20,5 °SR)				EUKALYPTUS, 20 MIN. (21 °SR)				HAVU, 30 MIN. (16,5 °SR)			
retentioaineen annostelu, %	0	0,02	0	0,005	0	0,02	0	0,005	0	0,02	0	0,005	0	0,02	0	0,005
täyteaineen annostelu, %	0	0	15	15	0	0	15	15	0	0	15	15	0	0	15	15
neliömassa, g/m <sup>2</sup>	66,0	64,6	66,5	79,6	62,7	63,4	64,0	76,0	63,7	61,9	65,7	76,9	64,3	65,0	64,2	77,3
paksuus, mm	0,15	0,16	0,15	0,19	0,14	0,15	0,14	0,19	0,16	0,17	0,16	0,21	0,14	0,13	0,14	0,15
	0,15	0,15	0,15	0,19	0,14	0,15	0,14	0,18	0,16	0,17	0,17	0,19	0,13	0,13	0,14	0,15
	0,15	0,15	0,15	0,18	0,14	0,14	0,15	0,17	0,16	0,16	0,17	0,19	0,13	0,13	0,14	0,16
	0,15	0,16	0,15	0,18	0,14	0,15	0,15	0,17	0,16	0,16	0,17	0,19	0,13	0,14	0,13	0,16
	0,15	0,16	0,15	0,17	0,14	0,15	0,15	0,16	0,16	0,16	0,17	0,19	0,13	0,13	0,13	0,15
	0,15	0,16	0,15	0,18	0,14	0,15	0,14	0,16	0,16	0,17	0,17	0,18	0,14	0,14	0,13	0,15
	0,15	0,16	0,15	0,17	0,14	0,15	0,14	0,17	0,16	0,17	0,17	0,18	0,14	0,14	0,13	0,15
keskiarvo	0,150	0,157	0,150	0,180	0,140	0,149	0,144	0,171	0,160	0,166	0,169	0,190	0,134	0,134	0,134	0,153
keskihajonta, %	0,00	0,49	0,00	0,82	0,00	0,38	0,53	1,07	0,00	0,53	0,38	1,00	0,53	0,53	0,53	0,49
tiheys, kg/m <sup>3</sup>	440,0	411,1	443,3	442,2	447,9	426,7	443,6	443,3	398,1	373,5	389,7	404,7	478,8	484,0	478,1	505,7



Yksittäiset formaatiomittaustulokset

	HAAPA, 10 MIN. (17,5 °SR)				KOIVU, 10 MIN. (17 °SR)				EUKALYPTUS, 10 MIN. (19 °SR)				HAVU, 10 MIN. (13,5 °SR)			
retentioaineen annostelu, %	0	0,02	0	0,005	0	0,02	0	0,005	0	0,02	0	0,005	0	0,02	0	0,005
täyteaineen annostelu, %	0	0	15	15	0	0	15	15	0	0	15	15	0	0	15	15
ominaisformaatio, $\sqrt{g/m^2}$	0,225 0,234	0,283 0,262	0,218 0,249	0,285 0,262	0,247 0,251	0,273 0,249	0,279 0,252	0,359 0,321	0,210 0,215	0,259 0,223	0,209 0,216	0,256 0,249	0,393 0,399	0,369 0,386	0,358 0,406	0,465 0,370
keskiarvo	0,230	0,273	0,234	0,274	0,249	0,261	0,266	0,340	0,213	0,241	0,213	0,253	0,396	0,378	0,382	0,418
keskihajonta, %	0,64	1,48	2,19	1,63	0,28	1,70	1,91	2,69	0,35	2,55	0,49	0,49	0,42	1,20	3,39	6,72

Yksittäiset formaatiomittaustulokset

	HAAPA, 20 MIN. (19,5 °SR)				KOIVU, 20 MIN. (20,5 °SR)				EUKALYPTUS, 20 MIN. (21 °SR)				HAVU, 30 MIN. (16,5 °SR)			
retentioaineen annostelu, %	0	0,02	0	0,005	0	0,02	0	0,005	0	0,02	0	0,005	0	0,02	0	0,005
täyteaineen annostelu, %	0	0	15	15	0	0	15	15	0	0	15	15	0	0	15	15
ominaisformaatio, $\sqrt{g/m^2}$	0,240 0,244	0,300 0,306	0,232 0,255	0,309 0,399	0,254 0,283	0,299 0,314	0,249 0,243	0,436 0,346	0,214 0,209	0,338 0,285	0,215 0,234	0,295 0,287	0,476 0,430	0,367 0,411	0,448 0,441	0,525 0,530
keskiarvo	0,242	0,303	0,244	0,354	0,269	0,307	0,246	0,391	0,212	0,312	0,225	0,291	0,453	0,389	0,445	0,528
keskihajonta, %	0,28	0,42	1,63	6,36	2,05	1,06	0,42	6,36	0,35	3,75	1,34	0,57	3,25	3,11	0,49	0,35

Yksittäiset repäisylujuus-, vetolujuus-, ja venymämittaustulokset

	HAAPA, 10 MIN. (17,5 °SR)				KOIVU, 10 MIN. (17 °SR)				EUKALYPTUS, 10 MIN. (19 °SR)				HAVU, 10 MIN. (13,5 °SR)			
retentioaineen annostelu, %	0	0,02	0	0,005	0	0,02	0	0,005	0	0,02	0	0,005	0	0,02	0	0,005
täyteaineen annostelu, %	0	0	15	15	0	0	15	15	0	0	15	15	0	0	15	15
repäisylujuus, mN	290,00	296,67	233,33	300,00	333,33	360,00	306,67	270,00	240,00	270,00	230,00	210,00	1150,00	1076,67	1176,67	1150,00
repäisyindeksi, mN · m <sup>2</sup> /g	4,43	4,68	3,44	4,85	5,15	5,92	4,63	3,44	3,58	4,49	3,51	2,71	17,09	16,51	18,05	14,65
keskihajonta, %	5,97	5,15	4,95	3,33	1,73	12,11	3,77	3,70	8,33	9,80	11,50	14,29	11,76	2,14	14,48	12,87
vetolujuus, kN/m	1,94	1,87	1,87	2,17	2,22	2,05	2,11	1,76	2,21	1,86	2,02	1,57	2,86	3,47	2,60	2,42
vetoindeksi, Nm/g	29,62	29,55	27,47	35,00	34,25	33,72	31,89	22,50	32,99	30,92	30,77	20,31	42,47	53,20	39,88	30,86
keskihajonta, %	4,54	2,63	2,82	8,12	4,60	3,16	4,25	3,95	7,81	6,49	2,66	7,13	4,67	4,08	3,52	7,08
venymä, %	1,60	1,78	1,51	1,88	1,74	1,97	1,81	1,31	1,51	1,58	1,39	1,05	2,88	3,43	2,61	2,16
keskihajonta, %	8,10	10,93	8,02	11,57	9,72	6,69	7,40	10,11	15,06	9,21	10,47	11,01	7,37	7,59	4,34	16,71

Yksittäiset repäisylujuus-, vetolujuus-, ja venymämittaustulokset

	HAAPA, 20 MIN. (19,5 °SR)				KOIVU, 20 MIN. (20,5 °SR)				EUKALYPTUS, 20 MIN. (21 °SR)				HAVU, 30 MIN. (16,5 °SR)			
retentioaineen annostelu, %	0	0,02	0	0,005	0	0,02	0	0,005	0	0,02	0	0,005	0	0,02	0	0,005
täyteaineen annostelu, %	0	0	15	15	0	0	15	15	0	0	15	15	0	0	15	15
repäisylujuus, mN	400,00	410,00	330,00	316,67	470,00	440,00	443,33	366,67	403,33	363,33	410,00	296,67	870,00	806,67	883,33	1026,67
repäisyindeksi, mN · m <sup>2</sup> /g	6,06	6,35	4,96	3,98	7,50	6,94	6,93	4,82	6,33	5,87	6,24	3,86	13,53	12,41	13,76	13,28
keskihajonta, %	7,50	8,79	3,03	1,82	7,67	2,27	6,89	1,57	12,23	18,33	4,22	5,15	1,15	3,98	1,73	1,12
vetolujuus, kN/m	2,91	2,68	2,73	2,22	3,29	3,11	3,20	2,44	3,05	2,78	3,06	2,25	4,53	4,94	4,26	4,01
vetoindeksi, Nm/g	44,11	41,51	41,01	27,91	52,44	49,10	50,08	32,07	47,83	44,84	46,52	29,31	70,46	75,95	66,36	51,91
keskihajonta, %	2,88	4,32	3,67	6,36	3,21	4,27	4,86	11,51	5,66	3,17	4,32	14,22	3,41	7,64	4,63	7,29
venymä, %	2,20	2,23	2,16	1,55	2,43	2,55	2,52	1,79	2,07	2,11	2,09	1,40	3,50	3,63	3,35	3,04
keskihajonta, %	6,95	6,19	7,11	11,44	9,30	8,23	7,41	18,06	14,09	8,13	10,30	18,24	5,88	12,35	4,70	8,21

Yksittäiset kuituanalyysin pituusmassan mittaustulokset

	HAAPA, 10 MIN. (17,5 °SR)	KOIVU, 10 MIN. (17 °SR)	EUKALYPTUS, 10 MIN. (19 °SR)	HAVU, 10 MIN. (13,5 °SR)
pituusmassa, mg/m	0,111	0,105	0,077	0,219
	0,110	0,100	0,076	0,221
keskiarvo	0,111	0,103	0,077	0,220
keskihajonta, %	0,07	0,35	0,07	0,14

	HAAPA, 20 MIN. (19,5 °SR)	KOIVU, 20 MIN. (20,5 °SR)	EUKALYPTUS, 20 MIN. (21 °SR)	HAVU, 30 MIN. (16,5 °SR)
pituusmassa, mg/m	0,111	0,093	0,077	0,204
	0,113	0,095	0,076	0,204
keskiarvo	0,112	0,094	0,077	0,204
keskihajonta, %	0,14	0,14	0,07	0,00

Yksittäiset kuituanalyysin pituuspainotteisen kuidunpituuden mittaustulokset

	HAAPA, 10 MIN. (17,5 °SR)	KOIVU, 10 MIN. (17 °SR)	EUKALYPTUS, 10 MIN. (19 °SR)	HAVU, 10 MIN. (13,5 °SR)
pituuspainotteinen kuidunpituus, mm	0,79 0,78	0,87 0,88	0,72 0,72	1,97 2,01
keskiarvo	0,785	0,875	0,720	1,990
keskihajonta, %	0,71	0,71	0,00	2,83

	HAAPA, 20 MIN. (19,5 °SR)	KOIVU, 20 MIN. (20,5 °SR)	EUKALYPTUS, 20 MIN. (21 °SR)	HAVU, 30 MIN. (16,5 °SR)
pituuspainotteinen kuidunpituus, mm	0,77 0,77	0,86 0,84	0,72 0,72	1,92 1,92
keskiarvo	0,770	0,850	0,720	1,920
keskihajonta, %	0,00	1,41	0,00	0,00