

Happidelignifioinnin vaikutus mustalipeän ominaisuuksiin

Liva Söderhjelm
Pehr-Erik Sågfors

KCL seloste 2038

1.9.1992

Oy Keskuslaboratorio - Centrallaboratorium Ab
Katuosoite: Tekniikantie 2, Otaniemi, Espoo, Postiosoite: PL 70, 02151 Espoo
Puh. (90) 43 711, Telefax: (90) 464 305, Teletex: 1001522 KCLsf

Asiasanat:

analysis
black liquor
oxygen delignification
properties

Yhteysryhmä:

Keijo Imeläinen
Juha Kouki
Teuvo Poikela

KCL seloste 2038

1.9.1992

**HAPPIDELIGNIFIONNIN VAIKUTUS MUSTALIFEÄN
OMINAISUUKSIIN**

Liva Söderhjelm
Pehr-Erik Sögfors

SISÄLLYS

Sivu

TIIVISTELMÄ

	3
1 JOHDANTO	3
2 AIKAISEMMAT TUTKIMUKSET	4
3 ESITUTKIMUS	6
4 HAPPIVAIHEEN KÄYTTÖÖNOTTO SUNILASSA	8
4.1 Näytteet	8
4.2 Tulokset	8
4.3 Johtopäätökset	9
5 HAPPIVAIHEEN KÄYTTÖÖNOTTO METSÄ-BOTNIAN KEMIN TEHTAALLA	10
5.1 Tulokset	10
5.2 Johtopäätökset	11
6 TEHDASVAIKUTUKSET	12
7 MUIDEN TEHTAIDEN KOKEMUKSET	13
8 YHTEENVETO	13
VIITELUETTELO	13
LIITE	15

HAPPIDELIGNIFIOINNIN VAIKUTUS MUSTALIFEÄN OMINAISUUKSIIN

TIIVISTELMÄ

Työn tarkoituksena oli selvittää, vaikuttaako happidelignifioinnin käyttöönotto siinä määrin mustalifeän ominaisuuksiin, että muutokseen olisi varauduttava haihduttamalla ja soodakattilalla.

Tehdaslifeät analysoitiin kahdella laitoksella happivaiheen käyttöönoton yhteydessä ja kokemukset kerättiin sekä näiltä että muilta laitoksilta.

Tulokset osoittavat, ettei happivaiheen mukaantulo aiheuttanut mullistavia muutoksia mustalifeiden ominaisuuksissa. Saostumistaipumus ei pahentunut olennaisesti. Lievää lämpöarvon laskua oli todettavissa, ja kokemukset kattilalaitoksilla osoittivat myöskin, että höyryntekijä heikkeni.

Nämä huomiot koskevat tilannetta, jossa keitto-oloja ei ole muutettu siirryttäessä käyttämään happea. Jos kuitenkin keiton jälkeistä kappalukua nostetaan, kasvanee mustalifeän viskositeetti vastaavasti.

Tutkimuksen tuloksia voidaan hyödyntää niillä tehtailla, joilla happivaiheen käyttöönottoa suunnitellaan.

JOHDANTO

Happidelignifiointia pohditaan ympäristönsuojelullisista syistä jokaisessa sulfaatti-tehtaassa, ja tehdas toisensa jälkeen ryhtyy käyttämään sitä. Kuitenkin on varsin niukasti tietoa, mitä se vaikuttaa mustalifeän ominaisuuksiin, eli haihdutettavuuteen ja palamiseen.

Happivaiheen jäteliemi on laihaa, kuiva-ainepitoisuus on noin 1 - 1,5 %. Pääasialliset komponentit ovat natriumhydroksidi, natriumsulfaatti, ligniinifragmentit ja sokerihapot. Havupuumassaa valmistettaessa liemi sisältää myös magnesiumsulfaattia. Scholander (1) on vuonna 1974 julkaissut tutkimuksen, jossa selostetaan happiliemen orgaanisen aineksen koostumusta. Hän on löytänyt enimmäkseen pienimolekyyllisiä neutraaliaineita, ligniinifragmentteja (fenoleja) ja karboksyylihappoja. KCL:ssä vuonna 1972 tehdyn diplomityön laboratoriokokeissa saatujen jätelienten analyysiarvot on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Koevalkaisujen happivaiheen jäteliementen analyysitulokset (2).

Kuiva-aine	1 - 2	%
Tuhka	0,5 - 1	%
NaOH	0,6 - 1,4	%
Mg	20 - 70	mg/kg
COD	8 - 16	g O ₂ /l

Jäteliemi yhdistetään laihaan mustalipeään suhteessa 1:20 kuiva-aineisiin nähden. Voidaan olettaa, että haihduttamolle menevän mustalipeän natriumsuolapitoisuus nousee, minkä johdosta saostumispiste laskee, ja lämpöarvo alenee. Vaikutusta viskositeettiin on vaikeata arvioida, mutta lievää laskua saattaa esiintyä ja turpoaminen kuivaa lipeää kuumennettaessa saattaa huonontua epäorgaanisen aineksen osuuden kasvaessa.

Koska pienetkin lipeän muutokset saattavat vaikuttaa haihdutettavuuteen ja palamiseen, ryhdyttiin tarkastelemaan happivaiheen käyttöönoton vaikutusta mustalipeän ominaisuuksiin.

2 AIKAISEMMAT TUTKIMUKSET

TKK:n diplomityön yhteydessä (3) keitettiin mäntyhaketta kappalukuihin 32,5 ja 43,3. Massat käsiteltiin hapella, jonka jälkeen kappaluvut olivat 21,5 (kappaluvusta 32,5) ja 16,3 (kappaluvusta 43,3). Happivalkaisun suodokset otettiin talteen.

Kun verrattiin happivaiheiden suodoksia mustalipeään, todettiin, että happivalkaisun suodoksen kuiva-aineessa oli mustalipeään verrattuna huomattavasti enemmän natriumia, kalsiumia, magnesiumia ja karbonaatti-ioneja. Kaliumpitoisuus oli alhaisempi, C- ja H-pitoisuudet olivat myös hieman pienemmät.

Happivaiheen jäteliemi sekoitettiin keitosta saatuun mustalipeään keitossa ja happivaiheessa syntyvien kuiva-ainemäärien mukaan. Alempaan kappalukuun keitetyn keiton mustalipeän ja happiliemen suhde oli 4,1:95,9 ja korkeampaan kappalukuun keitetyn 5,5:94,5 kuiva-aineiden mukaan.

Seoksia tutkittaessa huomattiin, että viskositeetti mitattuna 90°:ssa ja 55 %:n kuiva-aineessa

oli hieman suurempi kuin puhtaalla mustalipeällä. Pintajännityksessä ei ollut merkitsevää muutosta, mutta lämpöarvo laski, kun happivaiheen suodosta lisättiin mustalipeään.

Taulukko 2.

Taulukko 2. Happivalkaisun suodoksen vaikutus lämpöarvoon (3).

Näyte	Kuiva-aineen kal. lämpöarvo
Mustalipeä, kappaluku 32,5	15,65 MJ/kg
Mustalipeä + happisuodos (21,5)	15,45 "
Mustalipeä, kappaluku 43,3	15,30 "
Mustalipeä + happisuodos (16,3)	15,15 "

Saostumistaipumus muuttui, kun mustalipeään sekoitettiin happisuodosta siten, että saostumispiste aleni 48 %:sta 47 %:iin alemman kappaluvun keitolla ja 43 %:sta 37 %:iin korkeamman kappaluvun keitolla.

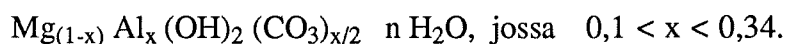
Sovellettaessa edellä selostetun tutkimuksen tuloksia käytännön oloihin voidaan päätellä, ettei happivaihe tuo mukanaan mullistavia mustalipeän ominaisuuksien muutoksia. Silmiinpistävin muutos on saostumispisteen aleneminen silloin, kun kappalukua alennetaan 43,3:sta 16,3:een hapella. Tässä kokeessa oli kuitenkin oloja liioteltu siinä määrin, etteivät ne vastaa tehdastilannetta.

Aveberg ja Warnqvist (4) ovat tarkastelleet lämpöarvon muutosta teoreettisesti. He esittävät, että mustalipeään ja happiliemeen liuenneilla hiilihydraateilla on likimain sama lämpöarvo, mutta mustalipeään liuenneella ligniinillä on kaksinkertainen lämpöarvo happiliemen ligniiniin verrattuna. Käytettävissä olevaan lämpömäärään vaikuttaa massan kappaluku keiton jälkeen siten, että mitä pehmeämmäksi massa keitetään ennen happivaihetta, sitä suurempi on mustalipeän lämpösisältö.

KCL:ssä verrattiin 1989-1990 erään tehtaan lipeitä ennen happivaiheen käyttöönottoa ja sen jälkeen (5). Koe ei ollut aivan hallittu, joten vertailu jäi epätarkaksi. Tuloksista voitiin kuitenkin päätellä, että happiliemen lisäys alentaa saostumispistettä jonkin verran. Viskositeetti nousi ja lämpöarvo laski tässä kokeessa. Syynä viskositeetin nousuun saattoi olla keiton jälkeisen kappaluvun lievä nousu. (Mustalipeän viskositeetti nousee jyrkästi massan kappaluvun noustessa.)

Drehmer (6) on todennut, että happiliemen sisältämät magnesiumsuolat estävät alumiinisaostumien muodostumista lipeälinjoissa. Kuorimatonta tai huonosti kuorittua puuta keitetessä lisääntyvät yleensä kierrossa olevat alumiinisulolat siinä määrin, että tästä aiheutuu vaikeuksia keittämöllä ja haihduttamalla. Happiliemestä peräisin oleva magnesium muodostaa kuitenkin sulavaiheessa veteen liukenemattoman kaksoissuolan alumiinin kanssa, ja tämä suola poistuu tehtaasta soodasakan mukana. Tämä selittää sen, etteivät magnesium- eivätkä alumiinipitoisuudet kasva haitalliselle tasolle nykyaikaisissa suljetuissa tehtaissa, joissa käytetään happidelignifointia.

Drehmerin mukainen kaksoissuola on hydrotalsiitti



Magnolta ja Courchene (7) ovat laboratoriokokeissaan havainneet, että laihan mustalipeän vaahtoaminen vähenee, kun lipeään lisätään happilientä. Happiliemi toimii vaahdon-tappajana.

3 ESITUTKIMUS

Keväällä 1990 tehtiin esitutkimus, jossa havupuulipeä hankittiin Sunilasta ja happiliemi Metsä-Botnian Kaskisten tehtailta. Happilientä lisättiin mustalipeään 5 % kuiva-aineiden määrästä.

Alkuperäisestä vahvalipeästä sekä vahvalipeästä, johon oli sekoitettu happilientä, määritettiin viskositeetti 110°:ssa kuiva-aineen funktiona sekä saostumispiste ja turpoaminen 380°:ssa. Vahvalipeästä ja happiliemestä tehtiin erikseen muutamia analyyseja.

Analyysitulokset ovat taulukossa 3. Happiliemen ligniinin molekyyli-massajakauma verrattuna tavallisen mustalipeän vastaavaan jakaumaan ja viskositeettikäyrä on liitteenä.

Taulukko 3. Sunilan vahvalipeän, Metsä-Botnian happiliemen ja näiden yhdistelmän analyysitulokset.

		Vahvaliemi	Happiliemi	Vahvalipeä + happiliemi
Viskositeetti	mPa.s ¹⁾	125		140
Saostuspiste	% k.a.	54,5		53
Turpoaminen	ml/0,5 g	22		24
Kuiva-aine	%	62,3	2,0	
Tuhka	% ²⁾	45,7	62,9	
Na	% ²⁾	18,4	24,8	
Mg	% ²⁾	0,01	0,4	
S	% ²⁾	2,7	6,9	
Ligniini	% ²⁾	n. 37	30,0	
HMML, M> 10 000 % ³⁾		n. 11	15	

1) 110o, 70 % k.a.

2) kuiva-aineesta

3) HMML = high molar mass lignin, osuus ligniinistä

Happiliemen lisäys huononsi tässä tapauksessa vain vähän lipeää (nosti viskositeettia ja laski saostumispistettä). Turpoamisessakaan ei tapahtunut olennaista muutosta, joten vaikeuksia ei ollut odotettavissa haihduttamalla eikä soodakattilalla, kun Sunilassa käynnistettiin happivalkaisu.

Happiliemen ligniinin molekyylimassajakauma erosi selvästi tavanomaisen lipeän vastaavasta jakaumasta. Happiliemessä oli varsin runsaasti suurimolekyylistä ainetta. Taulukko 4.

Taulukko 4. Moolimassajakaumat esikokeessa.

Prosenttinen osuus ligniinistä, jonka moolimassa on > M

Näyte	M 10 000	M 5 000	M 3 000	M 1 500	M 1 000
Happiliemi	15	31	43	59	69
Mustalipeä	11	23	33	47	57

4 HAPPIVAIHEEN KÄYTTÖÖNOTTO SUNILASSA

4.1 Näytteet

Sunilan tehtaalla otettiin kaksi vahvamustalipeänäytettä toukokuussa 1990 ennen happidelignifioinnin käynnistystä ja kaksi näytettä elokuussa 1990, jolloin happivaihe oli ollut käytössä pari kuukautta. Samanaikaisesti merkittiin keittotiedot talteen. Lipeistä tehtiin perusteelliset analyysit.

4.2 Tulokset

Analyysitulokset ilmenevät taulukosta 5 ja keitto-olot on listattu taulukkoon 6. Taulukossa 7 on yksityiskohtaiset sokerianalyysit.

Taulukko 5. Sunilan mustalipeäanalyytit ennen happivaiheen käyttöönottoa ja sen jälkeen.

		<u>Toukokuu 1990</u>		<u>Elokuu 1990</u>	
Kuiva-aine	%	62,2	62,7	60,8	60,9
tuhka	%	39,6	41,6	48,1	47,6
epäorg./org.		0,41	0,40	0,45	0,44
Na	%	18,5	19,6	21,2	22,5
Ca	%	0,00	0,008	0,01	0,012
Mg	%	0,01	0,01	0,03	0,02
S	%	4,5	5,0	4,9	5,1
Na ₂ S	%	6,3	6,1	5,9	6,0
NaOH	%	0,9	1,3	0,2	0,6
Na ₂ SO ₄	%	2,9	2,7	4,6	4,2
Na ₂ CO ₃	%	5,3	5,4	6,6	8,0
ligniini	%	35,8	35,8	36,6	36,7
mäntyöljy	%	0,4	0,4	0,4	0,5
polysakkaridit	%	5,9	-	5,3	-
HMML *		10,3	10,3	11,6	11,2
Lämpöarvo	MJ/kg	15,0	14,7	14,3	14,5
Visk., 110°, 70 %	k.a. mPa.s	145	125	115	115
Saostumispiste	%	56,0	60,5	55,5	56,0
Turpoaminen	ml/g	46	48	47	46

* HMML = high molar mass lignin, M > 10 000, osuus ligniinistä

Taulukko 6. Mustalipeänäytteisiin liittyvät keitto-olot.

	25/5	30/5	15/8	17/8
Alkalinlisäys, %	15,6 - 15,9	15,6 - 15,9	18	18
H-tekijä	1100	1100	1050	1050
Jäänn.alk., g/l Na ₂ O	12,02	12,20	13,2	13,5
Sulfiditeetti, %	38,5	37,2	36,9	38,2
Kappaluku keiton jlk.	26,4 - 29,0	23,5 - 29,3	28,0 - 32	27,7 - 36,8

Taulukko 7. Polysakkaridien sisältämät monosakkaridit.

	25/5	15/8
Ramnoosi %	0,1	0,0
Arabinoosi %	24,0	23,4
Ksyloosi %	26,7	23,8
Mannoosi %	2,5	2,7
Galaktoosi %	35,9	39,7
Glukoosi %	10,8	10,4

4.3 Johtopäätökset

Analyysien perusteella voidaan todeta, että lipeissä on vain pieniä eroja. Happivaiheen liemi on aiheuttanut sen, että

- epäorgaanisen aineksen (Na₂SO₄) osuus on noussut,
- lämpöarvo on pudonnut vähän,
- viskositeetti on laskenut vähän,
- suurimolekyylisen ligniinin osuus on kasvanut.

5 HAPPIVAIHEEN KÄYTTÖÖNOTTO METSÄ-BOTNIAN KEMIN TEHTAALLA

Oy Metsä-Botnia Ab:n Kemin tehdas (entinen Kemi Oy:n tehdas) on kaksilinjainen. Toisella linjalla, Kamyr 2:lla, otettiin happivaihe käyttöön lokakuussa 1990. Tällä linjalla valmistetaan valkaistavaa koivu- ja havupuumassaa. Mustalipeä yhdistyy Kamyr 1:n ja purukeittimen mustalipeään ennen haihduttamoa. Jotta happivaiheen vaikutus saataisiin selville, on siten verrattava Kamyr 2:n laihalipeitä ennen happivaiheen käyttöönottoa ja sen jälkeen.

Happidelignifiointi ei ole aiheuttanut muutoksia massan kappaluvuissa tai alkalilisäyksessä.

5.1 Tulokset

Vuosina 1988-1989 otetut näytteet edustavat happidelignifiointia edeltävää jaksoa. Havupuulipeiden analyysivertailu on esitetty taulukossa 8 ja koivulipeiden taulukossa 9.

Taulukko 8. Kemin havupuulipeiden analyysiarvot ennen happivaiheen käyttöönottoa ja sen jälkeen.

		Ennen happivaihetta		Happivaihe
		28.9.1988	29.-30.5.1989	8.2.1991
Kuiva-aine	%	18,3	-	13,3
rikki S	%	4,7	-	5,0
natrium Na	%	18,4	-	17,2
hydroksidi NaOH	%	ei hav.	-	ei hav.
sulfidi Na ₂ S	%	9,6	-	6,8
ligniini	%	37,3	-	36,0
polysakkaridit	%	3,3	-	2,1
HMML ¹⁾	%	11,5	-	12
Saostumispiste	%	59	59	61
Viskositeetti 110 ²⁾	mPa.	220	195	215

1) M > 10 000, osuus ligniinistä

2) k.a. 70 %

Taulukko 9. Kemin koivulipeiden analyysiarvot ennen happivaiheen käyttöönottoa ja sen jälkeen.

			Ennen happivaihetta			Happivaihe
			7.9.88	10.11.88	21.2.91	12.2.91
Kuiva-aine	%		20,2	17,8	14,8	16,6
rikki S	%		4,4	-	-	5,9
natrium Na	%		17,6	16,9	-	19,0
teh.alk. NaOH	%		-	1,3	2,4	4,7
hydroksidi NaOH	%		-	ei hav.	ei hav.	0,6
sulfidi Na ₂ S	%		-	9,0	7,6	8,1
ligniini	%		35,3	-	-	32,0
polysakkaridit	%		4,5	-	-	4,4
HMML ¹⁾	%		4	-	-	4
Saostumispiste	%		62,5	-	-	65,5
Viskositeetti 110° ²⁾	mPa.s		130	120	115	175

1) M> 10 000, osuus ligniinistä	2) k.a. 70 %
---------------------------------	--------------

5.2 Johtopäätökset

Valitettavasti ei kaikkia arvoja ole määritetty, joten tulokset jäävät jossain määrin ontuviksi. On kuitenkin havaittavissa, että

- viskositeetti on pysynyt samana havupuulipeällä, mutta noussut koivulipeällä, kun happivaihe on otettu käyttöön,
- saostumispiste on vastaavasti noussut, eli lipeä on muuttunut vähemmän saostusherkeksi. Tässä suhteessa tulokset ovat ristiriitaisia esitutkimuksessa tehtyjen havaintojen kanssa,
- polysakkaridipitoisuus on lievästi laskenut ja suurimolekyylisen ligniinin osuus on lievästi noussut tai pysynyt samana. Tämä käy yhteen Sunilan tulosten kanssa.

Muutokset ovat vähäisiä eivätkä ylitä tehdaslipoille luonteenomaista vaihteluväliä.

6 TEHDASVAIKUTUKSET

Happiliemen lisäys mustalipeään ei ole aiheuttanut merkittäviä muutoksia haihduttamalla tai soodakattilalla Sunilassa eikä Kemissä. Syynä on happiliemen pieni määrä; kuiva-aineen suhteen happiliemi edustaa vain 4 - 5 % mustalipeästä.

Mahdollisia kvalitatiivisia vaikutuksia kemikaalikiertoon on kuitenkin pohdittu:

- Alkalin tarve lisääntyy, mikä kuormittaa kaustistamoa.
- Natriumin ja rikin tasapainoon vaikuttaa tapa millä lisääntynyt alkalin tarve tyydytetään. Jos make-up suola on natriumsulfaattia, siirtyy tasapaino entistä enemmän rikin puolelle. Ruotsalainen laskelma osoittaa, että erään tehtaan sulfiditeetti, joka aikaisemmin oli 26 %, nousee 40 %:iin kun happivaiheen alkali valmistetaan hapettamalla valkolipeää (8). Sulfiditeettia voidaan kuitenkin säädellä natriumhydroksidilisäyksellä. Suomen tehtaissa käytetään ennestäänkin hyvin vähän natriumsulfaattia eikä sulfiditeettia ole varaa nostaa, joten hapen mukaantulo korostaa tarvetta löytää uusia keinoja natriumin ja rikin tasapainon säätämiseksi. Myös happivaiheessa käytettävän magnesiumsulfaatin rikki vaikuttaa tilanteeseen epäedullisesti.
- Kierrossa olevan sulfaatin määrä kasvaa. Valkolipeän hapetuksessa syntyvä tiosulfaatti hapettuu happivaiheessa muodostaen sulfaattia. Kasvanut sulfaattimäärä lisää haihduttamon tukkeutumista ja kuormittaa soodakattilaa.
- Happiliemen suuri epäorgaanisen aineen osuus (natrium, magnesium ja rikki) orgaaniseen aineeseen verrattuna lisää sekin haihduttamon tukkeutumista ja aiheuttaa myös lipeän kuiva-aineen lämpöarvon laskua.
- Happiliemen talteenotto lisää poltettavan kuiva-aineen määrää ja vähentää näin soodakattilan kapasiteettia.
- Jos keiton jälkeistä kappalukua nostetaan siirryttäessä hapen käyttöön, kasvaa mustalipeän viskositeetti, mikä aiheuttaa vaikeuksia soodakattilalla pyrittäessä korkeaan kuiva-aineeseen.

7 MUIDEN TEHTAIDEN KOKEMUKSET

Oy Metsä-Botnia Ab:n Kaskisten tehtaalla on koko tehtaan tuotantoa valkaistu hapella aina syksystä 1989. Ainoa käytännössä todettu ero haihduttamalla ja soodakattilalla aikaisempaan verrattuna on ominaishöyrykehityksen aleneminen.

Oy Wisaforest Ab:lla on toisen linjan tuotantoa valkaistu hapella jo noin kaksi vuotta. Mitään merkitsevää muutosta ei ole todettu haihduttamalla eikä soodakattilalla happivaihetta käynnistettäessä. Pitkäaikainen tilasto on kuitenkin osoittanut, että ominaishöyrykehityksessä on ollut lievää laskua.

Veitsiluoto Oy:n Oulun tehtaalla ei happivaihetta käynnistettäessä todettu mitään muutosta mustalipeän ominaisuuksissa. Ajan mittaan on kuitenkin havaittu toistuvia tukkeumia mäntyöljykeittämöllä; tällaisia tukkeumia ei esiintynyt ennen happivaiheen käyttöönottoa.

8 YHTEENVETO

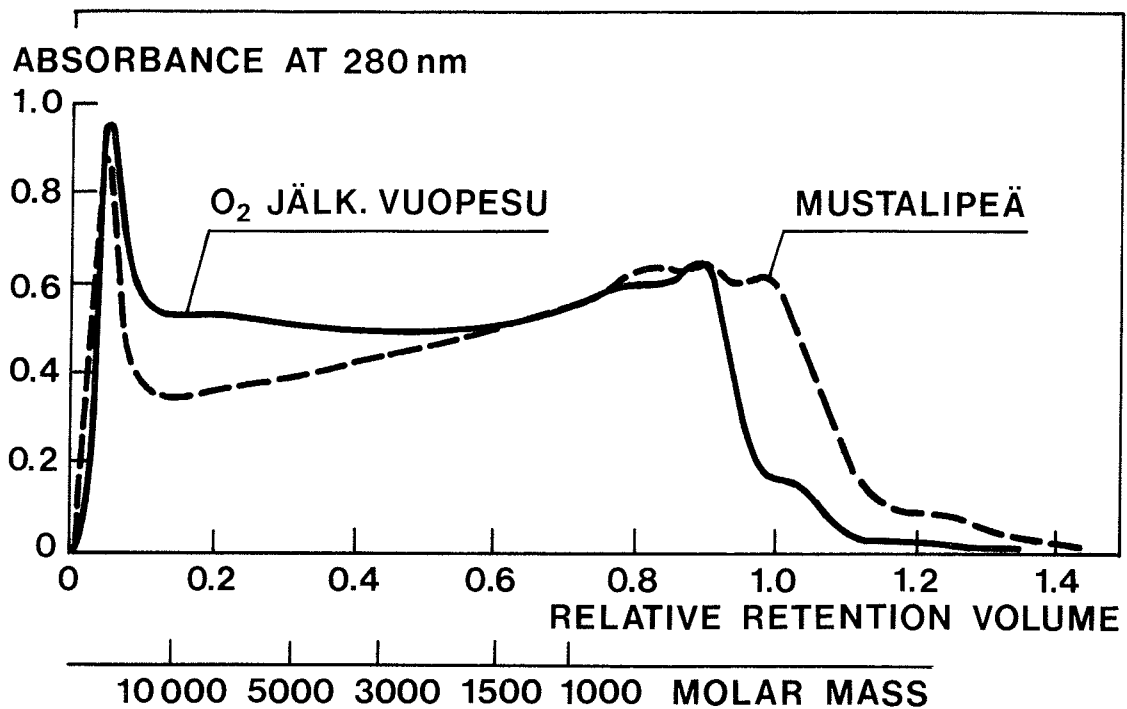
Happidelignifiointi ei vaikuta mustalipeän ominaisuuksiin siten, että sen käyttöönotto aiheuttaisi näkyviä vaikeuksia haihduttamalla tai soodakattilalla. Lievää lämpöarvon laskua ja vastaavaa höyrykehityksen vähenemistä on kuitenkin ollut havaittavissa.

Pitkäaikaisia vaikutuksia kemikaalikiertoon saattaa kuitenkin ilmetä. Alkalin tarve kasvaa, mikä kuormittaa kaustistamoa. Epäorgaaninen aines lisääntyy ja haihdutettavan nesteen määrä nousee.

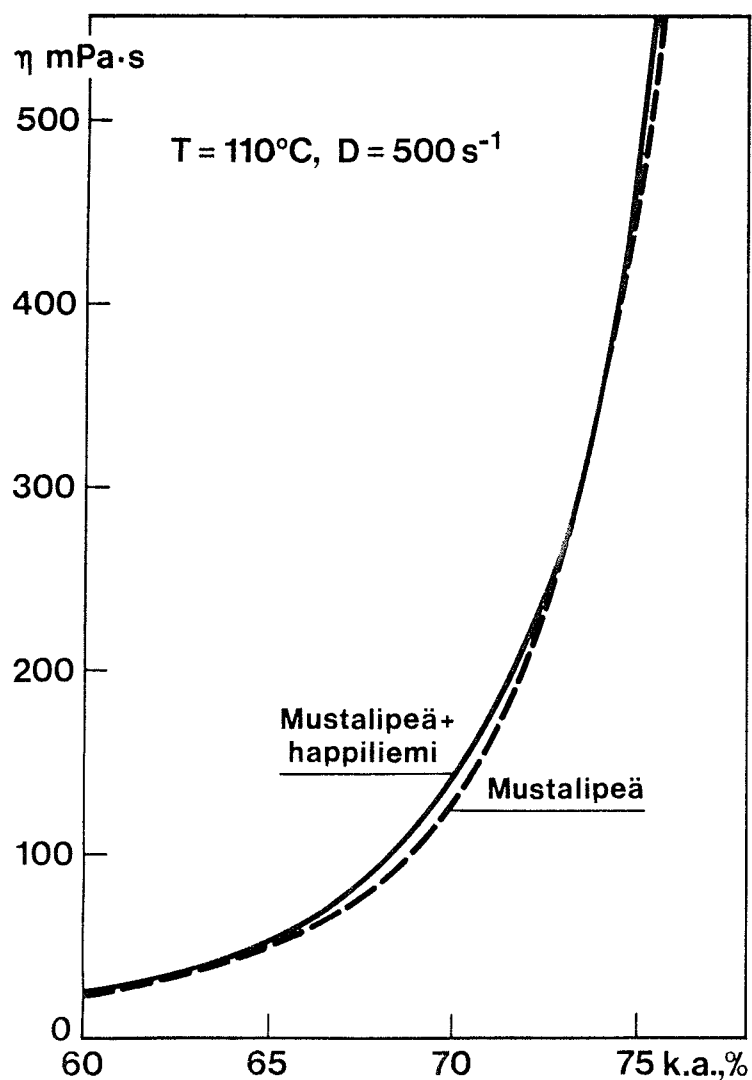
VIITELUETTELO

- 1 Scholander, E. et al: The characterization of spent alkali/oxygen bleaching liquor. Tappi J. 57 (1974):3, 142-145.
- 2 Runsten, A.: Happivalkaisun jäteliemen talteenotosta sulfaattiprosessissa. Diplomityö. TKK. KCL:n seloste 1079 (1972).
- 3 Fagerström, P.: Korvauskemikaalien ja sivuvirtaamien vaikutus mustalipeän fysikaalisiin ominaisuuksiin. Diplomityö. TKK. 1974.

- 4 Aveberg, V., Warnqvist, B.: Models for heat values of spent liquors from kraft cooking and oxygen bleaching. Svensk Papperstidn. 86 (1983):9, 88-94.
- 5 Söderhjelm, L.: Mustalipeän viskositeettiin vaikuttavat keittotekijät. KCL:n seloste 1937 (1990).
- 6 Drehmer, B.: Impact of the Mg-salt from the oxygen stage washing liquor on the aluminum build-up in the alkali loop. TAPPI Eng. Conf., Atlanta 1986, book 2, 615-619.
- 7 Magnotta, V.L., Courchene, C.E.: Process effects of entrained black liquor and oxygen stage filtrate solids on oxygen delignification. TAPPI Pulping Conf., Toronto 1982, 309-312.
- 8 Warnqvist, B.: Processändringen i sulfatfabrikens kemikaliesystem - konsekvenser för natrium- och svavelbalansen. Kem. tidskr. 90 (1978):9, 84-91.



Happiliemen ja mustalipeän ligniinin moolimassajakaumat.



Viskositeetti kuiva-
aineen funktiona.
Sunilan mustalipeä
sekä mustalipeä, johon
happiliemi on lisätty.