STFI NYTT 2-81 MP massa och papper

Ernst Back, Lennart Salmén, Jan-Erik Wikén

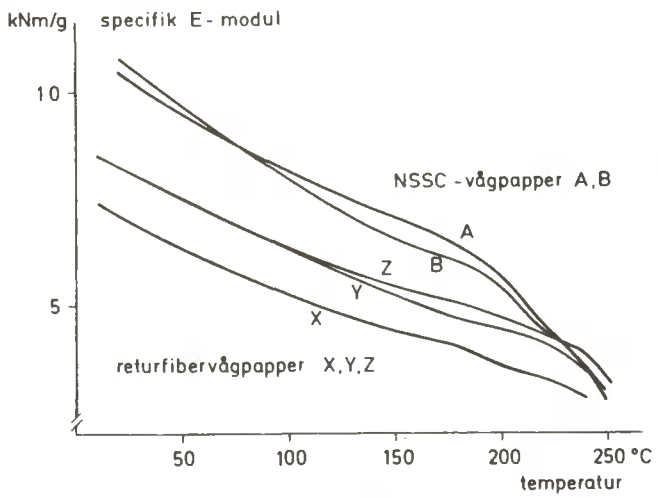
Korrugerbarhet hos NSSC- och returfibervågpapper

STFI-meddelande serie B nr 572

Rapporten kan beställas av företag och anställda inom svensk skogsindustri på bifogade svarskort.

Fördelar hos vågpapper av NSSC framför sådana av returfiber

De svenska vågpapperna (fluting) av NSSC möter en stark konkurrens på den europeiska marknaden av de returfiberbaserade produkterna. Det är därför väsentligt att de fördelar som NSSC-vågpapper besitter kan kvantifieras bättre. Här har dessa två vågpapperstyper jämförts med avseende på bl a korrugerbarhet och fuktkänslighet, som har betydelse för wellpappens våtstyvhet. I båda avseenden visas här klart NSSC-våtpapperens fördelar. Själva korrugeringsprocessen har även ägnats en ingående analys, speciellt betydelsen av vågpapperens mjukning och stelning. Det framgår att sulfitligninets mjukning i hög grad påverkar formningen av NSSC-vågpapperen.



Specifika elasticitetsmoduler, dvs dragstyvheter dividerade med ytvikten, för torra vågpapper av NSSC och returfiber som funktion av temperaturen.

Mätningarna avser dragprovningsparametrar över ett stort temperatur- och fuktintervall. I torrt tillstånd har dessa parametrar mätts upp till 250°C för att täcka in mjukningen av papperskomponenterna, medan fuktiga prov undersökts mellan − 10 och + 45°C upp till 20% fukthalt, vilket vid 20°C motsvarar 95% relativ fuktighet.

Vid korrugeringen av vågpapper värms vågpapperet av heta valsar och direkt ånga innan det formas mellan ett par heta kugghjulsvalsar, avsvalnar och stelnar för att därefter limmas mot linern. I korrugeringsnypet utsätts vågpapperet då för en komplex spänningssituation av varierande drag-, böj-, skjuv- och kompressionskrafter. Vågpapperets formbarhet och den bildade vågprofilens stabilitet avgör den färdiga wellpappens styrkeegenskaper.

Mikrosprickor i vågpapperet kan inverka på flatkrosstyrkan. De s k high and lows, dvs variationer i vågprofilens form och storlek påverkar bl a lådans kompressionsstyrka. Materialegenskaper av betydelse för korrugerbarheten är särskilt vågpapperets styvhet och töjbarhet vid fukt- och temperaturbetingelserna i korrugeringsförloppet.

I korrugeringsnypet där själva formningen sker önskar man en låg elasticitetsmodul hos vågpapperet. Efter nypet skall modulen stiga momentant så att vågformen stabiliseras. Av figuren som ger elasticitetsmodulens beroende av temperaturen, framgår att de returbaserade vågpapperen är mjukast vid låg temperatur. Därför kan dessa returpapper även wellas vid lägre temperatur. NSSC-vågpapperen mjuknar kraftigt vid högre temperatur varvid styvheten minskar till nivån för de returbaserade vågpapperen. De kan således wellas vid tillräckligt hög temperatur och stelnar sedan snabbt vid avkylningen till en jämn vågprofil. Mjukningen hos NSSC-vågpapperen beror bl a på dess innehåll av sulfitlignin. NSSC-vågpapperet ger således god korrugerbarhet om man håller sig inom mjukningsområdet, vilket då kräver en mer kritisk balans av fukt och temperatur.

Wellpappens våtstyvhet är betydelsefull i användningar vid högre relativa fuktigheter, antingen fukten kommer från godset eller utifrån. Vid normala temperaturer är NSSC-vågpapperet då starkt överlägset det returbaserade. NSSC-vågpapperets specifika elasticitetsmodul vid 20% fukthalt är då ca dubbelt så stor som de returfiberbaserade. Där våtegenskaperna ska vara dimensionerande måste då den torrtänkta ytvikten för returfibervågpapperna ökas betydligt vilket försämrar dess konkurrensförmåga.

Rapporten riktar sig till tekniker och forskare inom området emballagepapper.

Kontaktpersoner är Ernst Back och Lennart Salmén.

Nyckelord
corrugating medium
temperature
mechanical properties
moisture
softening
corrugation

Vid beställning: ange serie A, B eller C samt nr enligt ovan
Svenska Träforskningsinstitutet, Box 5604, 114 86 Stockholm, Tel 08/22 43 40

1981-03-03

Detta digitala dokument
skapades med anslag från

**Stiftelsen Nils och Dorthi
Troëdssons forskningsfond**

Ernst Back, Lennart Salmén, Jan-Erik Wikén

KORRUGERBARHET HOS NSSC- OCH RETURFIBERVÅGPAPPER

STFI-meddelande serie B nr 572

Innehållsförteckning

	sid.
Problemställning vid korrugering	5
Resultat	
Pappersmaterial	8
Dragstyrkeegenskaper över temperatur- och fuktintervall	12
Kemiska massakomponenters inverkan	18
Diskussion	
Vågpapperets mjukning vid korrugering	19
Korrugeringsprocessen	22
Vågpapperets bruksegenskaper	26
Experimentellt	28
Tackord	29
Referenser	30

Stockholm april 1981 (FS B:78)

Problemställning vid korrugering

Formningen av vågpapper - fluting - till en vågprofil, dvs korrugeringsprocessen är till stor del baserad på empiriska kunskaper. Först på senare år har ett antal faktorer som påverkar förloppet analyserats (1 - 6). Det mesta intresset har därvid ägnats åt vågpapperets formbarhet. Några nyare arbeten har även uppmärksammat den formade vågprofilens stabilitet (1,3). Här behandlas båda dessa aspekter. Formbarheten diskuteras utifrån en mjukning hos pappersmaterialet medelst fukt och temperatur i korrugeringsnypet, medan den formade vågens stabilitet behandlas utifrån den stelning dvs återuppstyvning hos vågpapperet som sker vid utgången ur korrugeringsnypet genom förångning.

I själva korrugeringsnypet kan vågpapperet hålla 4 - 8 % fukt och en temperatur klart över 100°C (1,3,4). Två typer av svårigheter kan uppstå. Är formbarheten hos vågpapperet på vägen in i korrugeringsnypet otillräcklig, fås lokala mikrobrott i det färdigwellade vågpapperet, som sänker bl a wellpappens flatkrosstyrka. Är vågformen inte tillräckligt stabil efter korrugeringsnypet fås små skillnader i höjd hos efter varandra följande vågor hos enkelwellen, s k high and low. Mikrobrott eller t o m banbrott kan uppkomma vid hög banspänning, hög friktion mellan bana och valsar och vid hög banhastighet eller vid låg korrugeringstemperatur och för låg fukthalt i banan. Höjdskillnader hos vågen överstigande 50 µ reducerar kantkrosstyvheten hos wellpappen och därmed stapelkrosstyrkan hos den färdiga wellpapplådan.

Vid korrugeringen dras vågpappersbanan in i korrugeringsnypet och kan då utsättas för betydande dragpåkänningar. Vid själva vågformningen utsätts papperet dessutom för betydande böj- och kompressionskrafter. Alla dessa krafter på vågpapperet har analyserats av Göttsching med medarbetare (5). Deras analyser visar bl a att vid normala banspänningar och friktionskoefficienter dragpåkänningen på vågpapperet väl kan överstiga dess brottkraft (5). Betydelsen av friktionen mellan pappersbana och korrugeringsvals för de uppkomna krafterna har även belysts av McKee och Garner (2). Göttsching

och Otto (1) har även utförligt studerat betydelsen av maskinhastighet, banspänning, linjetryck och vågpapperets egenskaper bl a ytviktsvariationer och flockighet.

Väsentliga aspekter på vågprofilens formstabilitet har klarlagts genom mätning av utfjädringskrafter ur korrugeringsnypet medelst "mätfingrar" i modellskala (3) vid given banspänning och givet linjetryck mellan korrugeringsvalsarna. På så sätt har i ett arbete av P. Jonsson korrugerbarheten hos returfibervågpapper och NSSC-vågpapper vid olika ingångsfukthalt och vid olika temperaturer i korrugeringsvalsen jämförts i figur 1 på en Concora-laboratoriekorrugator (3). Här visar sig returfibervågpapper lättast att korrugera till stabil vågform vid låga temperaturer och låga fuktinnehåll, medan NSSC-vågpapper är lättast att korrugera till stabil form vid höga temperaturer och höga fuktinnehåll.

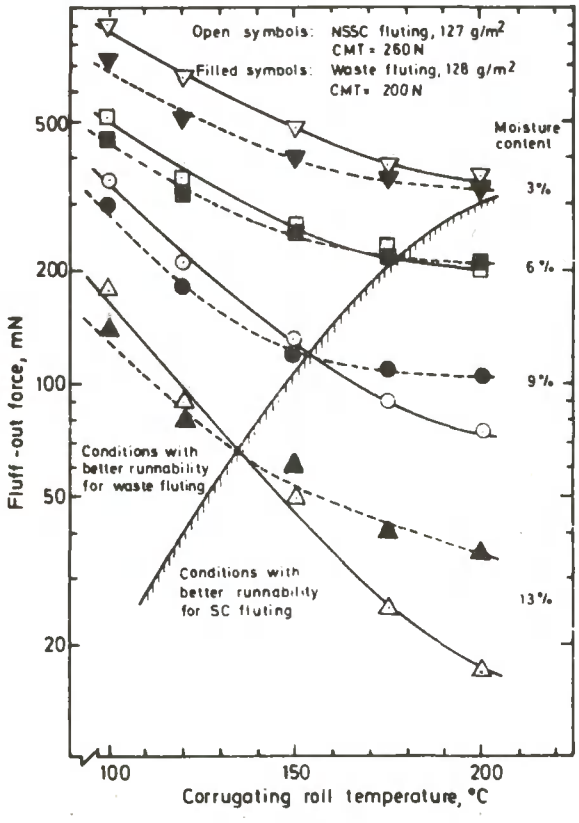


Fig. 1 "Fluff out"-kraften efter korrugeringsnypet som funktion av korrugeringsvalsarnas temperatur och pappersmaterialens fuktinnehåll för ett NSSC- och ett returfibervågpapper. Data av Per Jonsson (3). Ju lägre denna kraft är ju stabilare är den i nypet formade vågen. Kraften är således ett omvänt mått på korrugerbarheten.

Andra arbeten visar NSSC-vågpapperets överlägsna korrugerbarhet värderad som vågstabiliteten, high and low, eller värderad som remslängden efter Concora-laboratoriekorrugering jämfört med t ex blekta och andra massor (4). Den bättre korrugerbarheten hos NSSC-papper hänförs normalt till lignin- och hemicellulosakomponenterna och deras termiska mjukning (4) som då är beroende av den temperatur och fukthalt vågpapperet uppnår i korrugeringsnypet. Den särskilda betydelsen av hög temperatur och viss minimifukthalt i vågpapperet vid korrugeringen är väl belagd.

Under senare år har dock Institute of Paper Chemistry i Appleton, Wisconsin (7) visat att man med en förvärmd kallstelnande stärkelse mycket väl kan korrugera en ouppvärmd vågpappersbana. Dock måste man då minska banans friktion mot korrugeringsvalsarna in i nypet. Viss förekomst av mikrosprickor i vågpapperet med därmed reducerad flatkrosstyrka är omtvistad för denna process. Själva låsningen av vågformen sker då genom en snabbstelning av stärkelsen i och med ett snabbt temperaturfall i kontakt med pappersbanan.

I föreliggande arbete illustreras för normal korrugering den särskilda betydelsen av det sulfonerade ligninet. Mjukningens roll har studerats genom att mäta temperaturens och fuktens inverkan på papperens styrkeegenskaper. För två kvaliteter av NSSC-papper och tre kvaliteter av returfibervågpapper jämförs dragstyrkeparametrar dels över ett stort temperaurintervall under helt torra betingelser, dels över ett stort fuktintervall vid 20^{o}C och slutligen över ett mindre intervall av såväl temperatur och fuktinnehåll. För att specifikt belysa de olika massakomponenternas inverkan medtas också laboratoriepapper tillverkade av en NSSC-massa som särskilt extraherats på hemicellulosa respektive särskilt delignifierats.

I en därpå följande diskussion sättes dessa styrkeparametrar i relation till korrugerbarheten och den formade vågens dvs wellpipans och wellpappens egenskaper. För korrugeringsförloppet är dessa styrkeegenskaper viktigast i absoluta mått, dvs redovisade för papperet med befintlig tjocklek och ytvikt eller som relativ förändring med temperatur såsom för E-modulen. I en jämförelse av olika vågpappers värde för den färdiga wellpappens egenskaper, t ex ECT och kantkrosstyrka, är sedan den "specifika" styrkeparametern, dvs styrkeparametern dividerad med ytvikten, lämpligast.

Resultat

Pappersmaterial

Här jämförs två svenska NSSC-kvaliteter och tre europeiska returfiberbaserade kvaliteter. NSSC-vågpapper är ett relativt väl definierat material där dock givetvis vedråvarukomponenter, ytvikt och densitet kan variera. Sammansättningen hos returfiberbaserat vågpapper, s.k. avfallsfluting, varierar givetvis mera och specificeras här genom en fiberanalys och en kemisk analys.

Råvarusammansättningen ges i Tabell 1, där för de returpappersbaserade vågpapperen den ungefärliga fibersammansättningen bestämts genom efteranalys. Oblekta sulfat- och halvkemiska fibrer i dessa tre kvaliteter härrör troligen från wellpappretur. Slipmassa, oblekt sulfit och blekt massa härrör från tryckpapper. Två av kvaliteterna innehåller även halmmassa. Redovisade analyser inkluderar inte de bindemedel som sannolikt tillförts returfibermälden för styrkeförbättring. Dessa kan innehålla stärkelsebaserade produkter. Innehållet av andelen organiskt kväve, Tabell 2, tyder inte på tillsatser av kvävehaltiga våtförstärkningshartser. Däremot finns tillsatser av stärkelseprodukter i två av fallen. Denna stärkelse kan vara tillsatt i limpress och på så sätt vara anrikad i papperets ytterskikt, så att en särskild inverkan fås på vissa styrkeegenskaper. De returbaserade vågpapperen - tillverkade 1977 - behöver givetvis inte vara helt representativa för avfallsvågpapper. Det föreligger relativt stora inbördes skillnader mellan sådana kvaliteter.

Den kemiska sammansättningen för de undersökta vågpapperen ges i Tabell 2. Den använda NSSC-massan B har även extraherats på hemicellulosa respektive delignifierats före framställning av laboratorieark för att klargöra inverkan av dessa två papperskomponenter. Även för dessa papper ges den kemiska sammansättningen.

De vanligaste mekaniska egenskaperna för dessa vågpapper, mätta enligt standardutförande vid 50 % RH,23^{o}C, ges i Tabell 3 som absoluta egenskaper. Där bör speciellt noteras de relativt sett höga styrkedata för returfibervågpapper Y, som dock uppnåtts med en betydligt högre ytvikt än hos övriga vågpapper. Varje jämförelse som denna måste tas med viss försiktighet, och några generella slutsatser om egenskaperna för NSSC och returfibervågpapper bör ej dras.

Tabell 1

VÅGPAPPERENS RÅVARUSAMMANSÄTTNING

returpappers-baserat vågpapper	oblekt sulfit %	oblekt sulfat %	blekt massa %	halvkemisk massa %	slip-massa %	halm %
X	3	18	45	8	20	7
Y	15	16	35	9	25	-
Z	8	40	24	14	10	4

Analys

NSSC-vågpapper	NSSC %	sulfatkvist %	sediment %	vedråvara
A	90	7 - 8	2	björk och 5 - 10 % barrved
B	100	-	-	50 % björk 50 % övrig lövved (al, bok, asp)

Leverantör-uppgifter

Tabell 2

VÅGPAPPERENS KEMISKA SAMMANSÄTTNING

vågpapper resp. massa	hemicellulosa %	cellulosa %	lignin %	kristallinitet beräknad på cellulosa + hemicellulosa %	bundet svavel i lignin %	andel organiskt kväve %	andel stärkelse %
returpapper X	29	53	18	68	0,6	0,11	2,6
" Y	19	65	16	69	0,9	0,09	0,3
" Z	21	62	17	70	0,7	0,06	1,4
NSSC-papper A	29	47	24	64	1,2	0,06	0,2
" B	29	48	23	69	1,1	0,08	0,2
hemiextraherad NSSC B	11	66	23	66	1,1	-	-
delignifierad NSSC B	34	65	1	69	-	-	-

Tabell 3

VÅGPAPPERENS ABSOLUTA STYRKEEGENSKAPER INKLUSIVE STANDARDDEVIATIONEN VID 50 % r.f. 23°C

		NSSC-vågpapper		Returfiberbaserat		
Prov		A	B	X	Y	Z
ytvikt (torr) i g/m^2		116	107	113	145	126
tjocklek (65 % 20°C) i mm		0,21	0,20	0,21	0,26	0,25
kompressions-styrka, STFI i kN/m	längs	4,9 ±0,2	4,4 ±0,4	2,8 ±0,3	4,2 ±0,4	3,2 ±0,4
	tvärs	2,6 ±0,2	2,7 ±0,3	1,9 ±0,2	3,0 ±0,3	1,9 ±0,2
dragstyrka i kN/m	längs	11,2 ±0,2	7,9 ±0,5	5,6 ±0,3	7,9 ±0,4	7,1 ±0,5
	tvärs	3,3 ±0,2	3,6 ±0,1	2,4 ±0,1	4,4 ±0,2	2,7 ±0,1
dragbrott-töjning i %	längs	1,9 ±0,1	1,5 ±0,1	1,7 ±0,2	1,3 ±0,1	1,4 ±0,1
	tvärs	2,5 ±0,4	2,2 ±0,3	2,6 ±0,3	1,7 ±0,2	2,4 ±0,3
dragbrottarbete i J/m^2	längs	139 ± 9	79 ±12	66 ±10	71 ±10	68 ±12
	tvärs	60 ± 13	58 ± 6	47 ± 7	54 ± 9	48 ± 9
CCT i kN/m	längs	2,4 ±0,3	2,6 ±0,3	1,6 ±0,1	2,7 ±0,1	2,0 ±0,2
CMT i N	längs	310 ±40	290 ±30	165 ±20	235 ±20	250 ±20
böjstyvhet i mN	längs	31 ±3	20 ±2	17 ±2	61 ±2	39 ±2

Dragstyrka, töjning, brottarbete mätta vid inspänningslängd 180 mm och draghastighet 0,36 mm/s

CMT mätt enligt SCAN-P 27:69 med 30 min mellankonditionering

CCT mätt med 30 min mellankonditionering

Böjstyvhet mätt enligt SCAN-P 29:69 med 50 mm inspänningslängd och 38 mm remsbredd.

Dragstyrkeegenskaper över temperatur- och fuktintervall

Nedan redovisas belastningstöjningsdiagram över ett stort intervall i temperatur och fuktinnehåll. För kommersiella papper avser dessa mätningar maskinriktningen, MD, i vilken de töjs vid korrugeringen. Mätningarna över temperaturintervallet avser remsor som konditionerats till ett visst fuktinnehåll eller torkats vattenfria. Provremsornas temperatur inställs på några sekunder i direkt kontakt med ett förtermostaterat inert medium bestående av silikonoljor (8) och i vilka hela dragprovningen sker. Dragstyrkeparametrar redovisas först som funktion av temperaturen för helt torra papper, sedan som funktion av fuktinnehåll vid 20°C och därefter som funktion av en kombination av temperatur och fuktinnehåll.

Figur 2 ger den "specifika" elasticitetsmodulen och brottöjningen i maskinriktningen för de helt torra vågpapperen över temperaturintervallet upp till 250°C. Den "specifika" elasticitetsmodulen definieras som elasticitetsmodulen dividerad med densiteten. Denna har framräknats som dragstyvheten, dvs dragkraften per % töjning och mm remsbredd dividerad med den torra ytvikten.

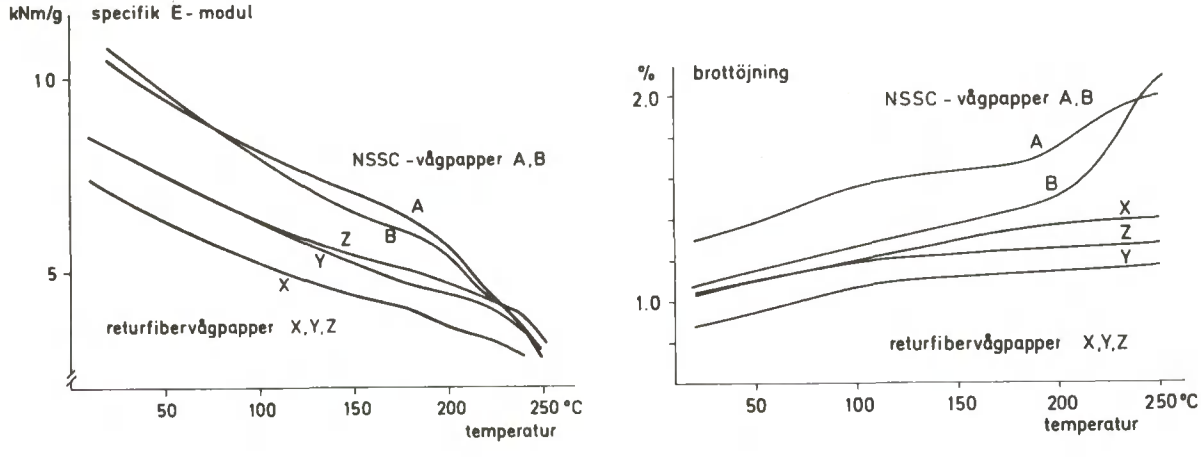
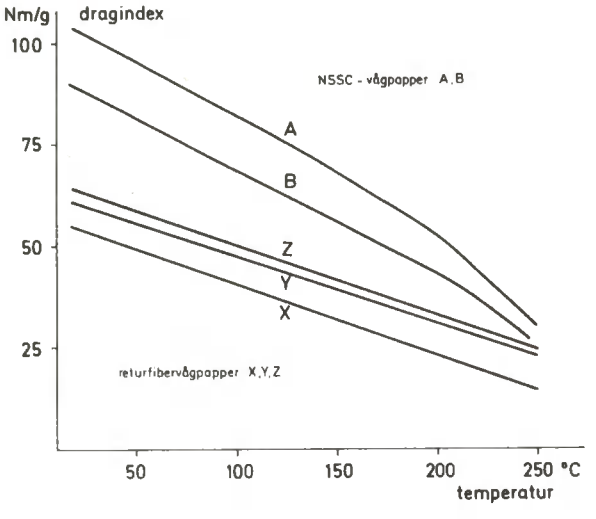
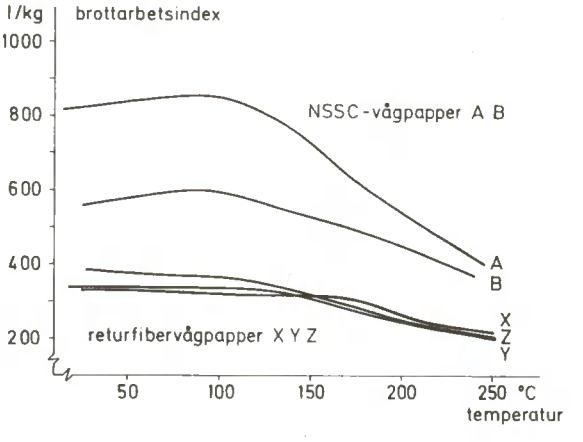


Fig. 2 Specifik elasticitetsmodul och brottöjning vattenfritt i temperaturområdet upp till 250°C för kommersiella svenska NSSC-vågpapper, A och B, och europeiska returfibervågpapper, X, Y och Z. Data avser maskinriktningen.

De specifika egenskaperna är ett bättre mått för jämförelser papper emellan på grund av att papper är inhomogent och kompressibelt. Vid rumstemperatur har NSSC-vågpapperen väsentligt högre specifik E-modul, dvs specifik dragstyvhet, än de returfiberbaserade vågpapperen men också väsentligt högre brottöjbarhet. I temperaturområdet upp till 200°C faller den specifika E-modulen för alla dessa papper ungefär parallellt. Sedan minskar NSSC-vågpapperens specifika E-modul snabbt så att de vid 230°C ligger vid samma låga nivå som hos returfibervågpapperen. Någon lika påtaglig nedgång av specifika elasticitetsmodulen inom området 200-250°C föreligger ej hos returfibervågpapperen.

På motsvarande sätt ökar den från början väsentligt högre brottöjningen hos NSSC-vågpapperen påtagligt inom området 200 - 250°C utan att något liknande sker hos returfibervågpapperen.





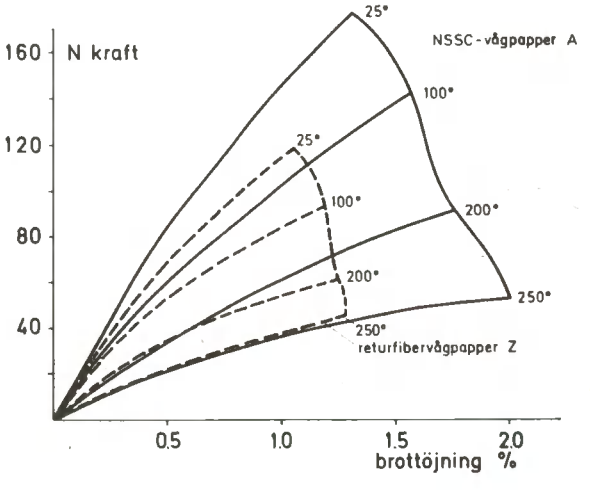


Fig. 3 Dragindex och brottarbetsindex vattenfritt i temperaturområdet upp till 250°C för svenska NSSC-vågpapper och europeiska returfibervågpapper. Dessa mått är ytviktsoberoende. Exempel ges även på brottgränskurvor för dessa vågpapper. Dessa dragspänningar anges absolut dvs beroende av ytvikten som för NSSC-vågpapper A är 116 g/m² och för returfibervågpapper Z är 126 g/m².

Figur 3 ger dragindex och brottarbetsindex i torrt tillstånd över temperaturintervallet upp till 250°C. Totalbilden av dessa egenskaper exemplifieras även med brottgränskurvor för ett NSSC och ett returbaserat vågpapper över detta temperaturområde där även spännings-töjningskurvor för ett antal temperaturer lagts in.

På samma sätt illustreras i följande figurer fuktens inverkan på belastningstöjningsdiagrammen vid 20°C. I Tabell 4 ges även de specifika egenskaperna dvs de ytviktsoberoende egenskaperna vid fyra olika relativa luftfuktigheter.

Figur 4 ger den specifika elasticitetsmodulen och brottöjningen. Denna figur visar att papperen vid 20°C har en kritisk fukthalt av ca 7 à 8 % ovanför vilken en påtaglig mjukning, dvs nedgång i specifik elasticitetsmodul och uppgång i brottöjning sker. Nedgången i specifik elasticitetsmodul sker ungefär parallellt för alla

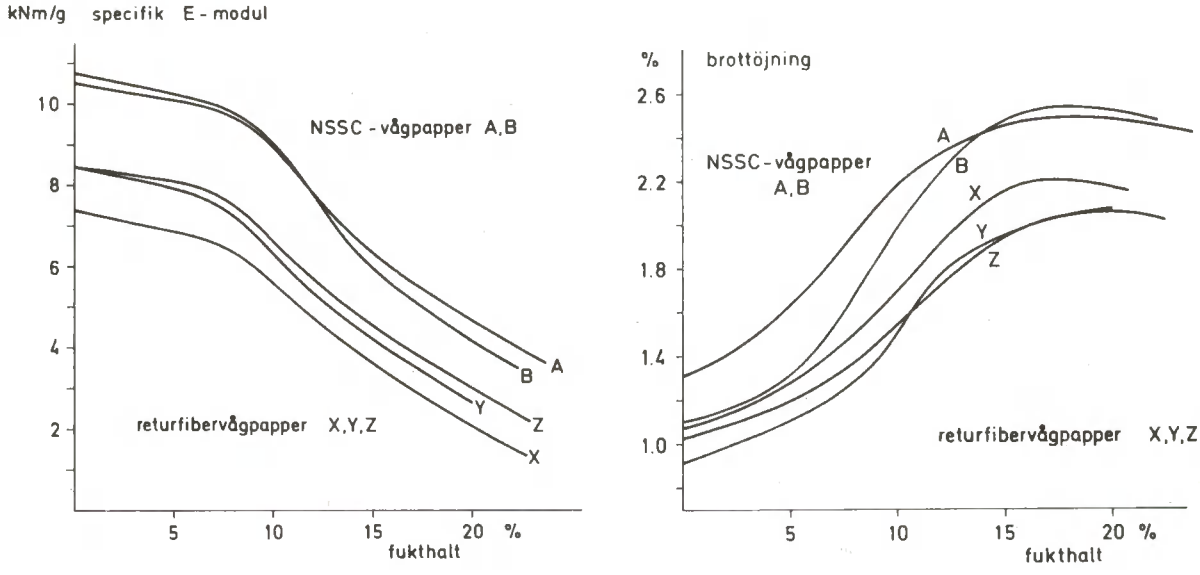


Fig. 4 Specifik elasticitetsmodul och brottöjning över ett fukthaltsområde upp till 21 % för svenska NSSC-vågpapper och europeiska returfibervågpapper. Observera hur den relativa skillnaden i specifik elasticitetsmodul ökar med ökad fukthalt hos materialen. Här har inom fuktiga området NSSC-vågpapper väsentligt högre specifik styvhet än returfibervågpapper. Angivna parametrar är ytviktsoberoende.

Tabell 4

VÅGPAPPERNAS SPECIFIKA DRAGEGENSKAPER INKLUSIVE 95 % -IGT KONFIDENSINTERVALL VID 20°C VID OLIKA KLIMAT

	Dragindex i Nm/g			
Vågpapper	0 % r.f.	50 %	70 %	95 %
NSSC - A	103	97 ± 2	86 ± 2	34 ± 1
NSSC - B	87 ± 1,2	81 ± 2	75 ± 1	29 ± 2
returfiber-X	54 ± 1,2	43 ± 2	36 ± 2	14 ± 1
returfiber-Y	60 ± 1,2	53 ± 1	45 ± 1	21 ± 1
returfiber-Z	64	54 ± 2	46 ± 2	21 ± 1

	Specifik E-modul i kNm/g			
Vågpapper	0 % r.f.	50 %	70 %	95 %
NSSC - A	10,5	9,6 ± 0,07	8,8 ± 0,09	3,6 ± 0,15
NSSC - B	10,1 ± 0,1	9,7 ± 0,2	9,0 ± 0,1	3,4 ± 0,09
returfiber-X	6,8 ± 0,2	6,2 ± 0,1	5,1 ± 0,2	1,5 ± 0,07
returfiber-Y	7,8 ± 0,1	7,4 ± 0,1	6,1 ± 0,1	5,6 ± 0,15
returfiber-Z	8,2	7,5 ± 0,15	6,6 ± 0,15	2,3 ± 0,2

	Brottöjning i mm			
Vågpapper	0 % r.f.	50 %	70 %	95 %
NSSC - A	1,3	1,93 ± 0,07	2,19 ± 0,08	2,38 ± 0,10
NSSC - B	1,14 ± 0,03	1,57 ± 0,11	1,92 ± 0,08	2,48 ± 0,12
returfiber-X	1,19 ± 0,06	1,40 ± 0,09	1,83 ± 0,09	2,10 ± 0,09
returfiber-Y	1,00 ± 0,05	1,20 ± 0,09	1,64 ± 0,09	2,06 ± 0,12
returfiber-Z	1,05	1,31 ± 0,11	1,50 ± 0,19	2,02 ± 0,09

	Brottarbetsindex i J/kg			
Vågpapper	0 % r.f.	50 %	70 %	95 %
NSSC - A	830	1220 ± 65	1260 ± 70	580 ± 25
NSSC - B	615 ±	875 ± 85	1020 ± 55	520 ± 40
returfiber-X	-	410 ± 55	470 ± 40	230 ± 15
returfiber-Y	390 ±	420 ± 40	510 ± 40	310 ± 25
returfiber-Z	380	470 ± 60	475 ± 80	290 ± 30

dessa vågpapperskvaliteter. Detta innebär då att den relativa skillnaden i styvhet mellan returfiberbaserad och NSSC-vågpapper blir speciellt påtaglig vid höga relativa luftfuktigheter. Vid användning av wellpapp i dessa fuktigheter måste man då i kritiska fall kompensera för returfibervågpapperets lägre specifika dragstyvhet genom en högre ytvikt.

Figur 5 ger motsvarande data för dragindex och brottarbetsindex.

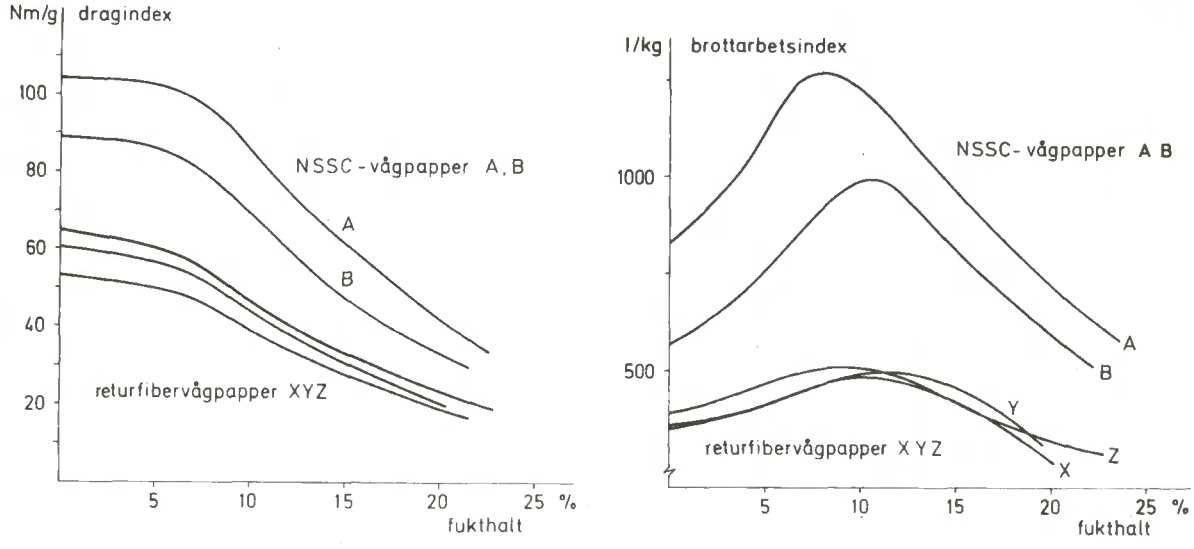


Fig. 5 Dragindex och brottarbetsindex över fukthaltsområdet upp till 21 % för svenska NSSC-vågpapper och europeiska returfibervågpapper. Ytviktsoberoende egenskaper.

I figur 6 redovisas över ett mindre temperaturintervall inverkan av både fukt och temperatur på den specifika elasticitetsmodulen och på brottöjningen för vardera ett NSSC-vågpapper och ett returfibervågpapper liksom brottgränskurvor.

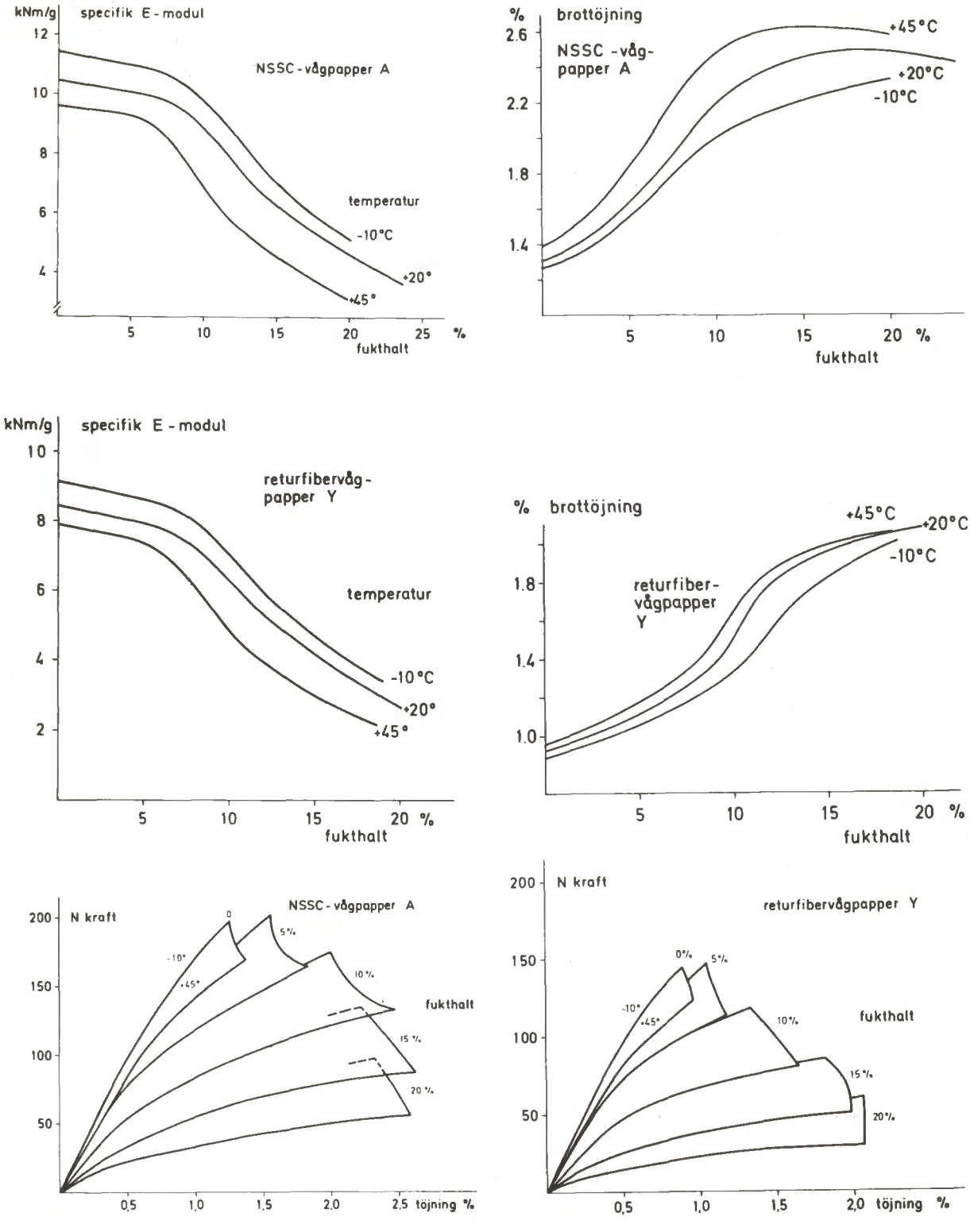


Fig. 6 Specifik elasticitetsmodul och brottöjning över ett större temperatur- och fuktområde för NSSC-vågpapper A och returfibervågpapper Y samt brottgränskurvor över dessa områden. Den specifika elasticitetsmodulen är ytviktsoberoende medan dragspänningen anges absolut dvs beroende av ytvikten som för NSSC-vågpapper A är 116 g/m² och för returfibervågpapper Y är 145 g/m².

Kemiska massakomponenters inverkan

För att klargöra mjukningen vid höga temperaturer studerades NSSC-fluting som extraherats på hemicellulosa respektive delignifierats.

Av figur 2 framgår att speciellt NSSC-vågpapper *B* mjuknar påtagligt i helt torrt tillstånd över 200°C. I figur 7 och 8 redovisas elasticitetsmodul och brottgränskurva över temperaturintervallet för NSSC-vågpapper *B* i maskinriktningen resp. för isotropa laboratorieark av samma ytvikt efter delignifiering resp. efter hemicellulosaextraktion av NSSC-massan. Dessa figurer visar att den påtagliga nedgången i elasticitetsmodulen och uppgången i brottöjning i området 200 - 250°C till stor del är att hänföra till NSSC-vågpapperets höga ligninnehåll. Den mjukning, dvs nedgång i E-modul som sker vid ca 205°C försvinner vid delignifieringen. Detta måste tydas så att den härrör från ligninmaterialets glastransition (9).
I konsekvens härmed ökar ej heller brottöjningen över 200°C för den delignifierade massan såsom sker med de ligninhaltiga. Jämförelser med en rad andra papperskvaliteter tyder på att det är speciellt närvaron av sulfitlignin som ger upphov till en betydande mjukningseffekt i papper (9).

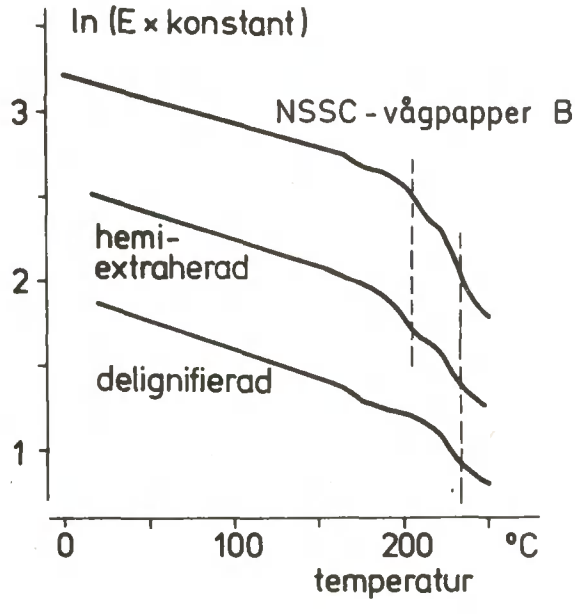


Fig. 7 Specifik elasticitetsmodul i logaritmisk skala för vattenfria prov i temperaturområdet upp till 250°C av NSSC-vågpapper B i maskinriktningen och av isotropa laboratoriepapper av NSSC-massa som antingen delignifierats (nederst) eller hemicellulosaextraherats. De karakteristiska skillnaderna i mjukning mellan dessa tre papper är att hänföra till hemicellulosans glastransition vid 175°C, ligninmaterialets glastransition vid 205°C och cellulosans vid 230°C.

Diskussion

Vågpapperets mjukning vid korrugering

Såsom framgått av de redovisade mätningarna sker en påtaglig mjukning hos torra vågpapper vid en temperatur över 200°C. I anslutning till fig. 7 och 8 hänfördes den särskilt påtagliga mjukningseffekten hos NSSC-vågpapper till det ingående sulfitligninet. I fuktigt tillstånd sker mjukningen vid betydligt lägre temperatur eftersom vatten fungerar som en mjukgörare för papperskomponenterna, såväl för hemicellulosa-cellulosakomponenterna som till en viss gräns även för lignin, särskilt sulfonerat lignin. I själva korrugeringsnypet

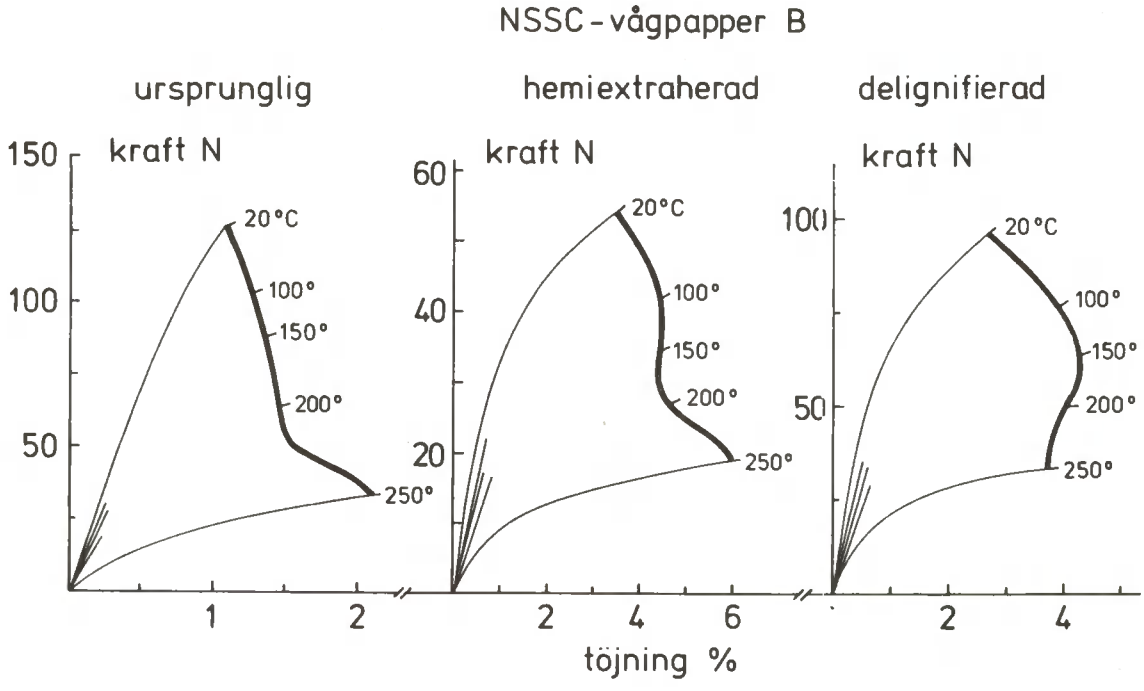


Fig. 8 Brottgränskurvan för NSSC-vågpapper B och motsvarande hemicellulosaextraherade respektive delignifierade pappersmaterial av lika ytvikt. Jämför den stora inverkan av hemicellulosa inom området 150 - 200°C och av lignin i temperaturområdet över 200°C på brottöjningen. Skalan för lasten har valts olika för dessa tre papper. Avsikten är att illustrera skillnader i brottgränskurvans form.

håller vågpapperet ca 4 - 8 % fukt och under en kort tid en temperatur väl över 100°C. Korrugeringen sker då under betingelser där mjukning väl kan ha skett men är mättekniskt besvärlig att utvärdera.

Den sänkning av mjukningstemperaturen som kan fås för NSSC-vågpapper har därför illustrerats i figur 9 med mätningar i närvaro av en mindre flyktig organisk mjukgörare, etylenglykol (10). Med 6,4 % av denna mjukgörare i vågpapperet har mjukningstemperaturen reducerats från 205°C för sulfitlignin och 230°C för amorf cellulosa till en gemensam mjukning vid ca 110°C. Den yttrar sig som ett starkt fall i E-modul i ett snävt temperaturintervall med en betydande ökning av brottöjningen som följd. Denna mjukningstemperatur, 110°C med 6,4 % etylenglykol, är ungefär den beräknade enligt en ansats av Kaelble (10) för både lignin och cellulosakomponenterna. Detta ger stöd för att denna ansats kan användas för att beräkna inverkan av vatten på mjukningen av NSSC-vågpapper, även om detaljerna för

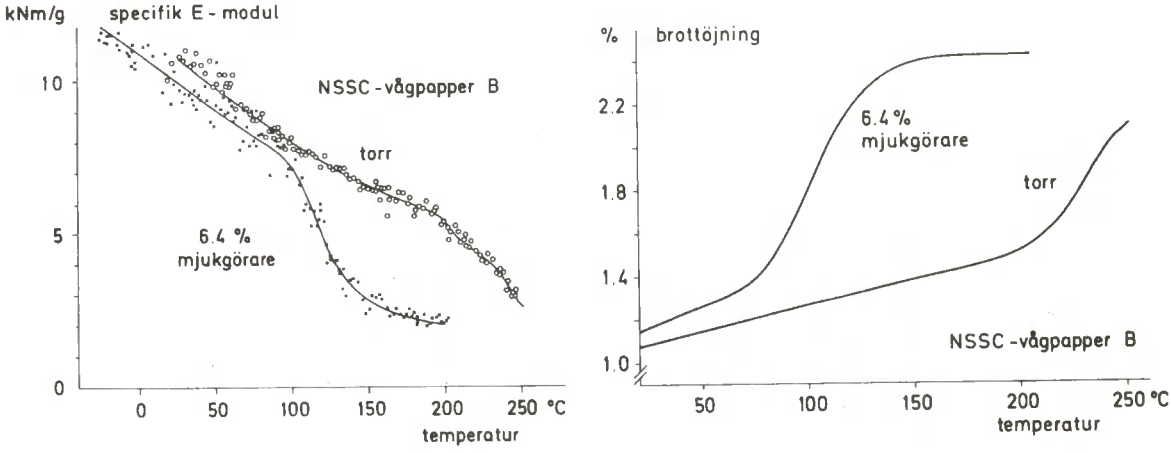


Fig. 9 Specifik elasticitetsmodul och brottöjning för NSSC-vågpapper B dels helt torrt och dels med 6,4 % etylenglykol. Närvaron av mjukgörare sänker vågpapperets mjukningstemperatur ner till ca 110°C.

ligninets och cellulosans samverkan i ett varmt pressnyp såsom ett korrugeringsnyp fortfarande ej är helt kartlagda. Mjukningstemperaturen som funktion av fuktinnehåll i ett cellulosamaterial har tidigare uppskattats (11) enligt Kaelbles ansats och redovisas i figur 10 för en kristallinitet av 68 % vilket är ett medelvärde för de här undersökta flutingkvaliteterna. Med ökad kristallinitet minskas dock själva mjukningseffekten, t ex nedgången i E-modul vid mjukningstemperaturen. Vatten har även en viss mjukgörande effekt på lignin (12). För det sulfonerade ligninet i t ex ett NSSC-vågpapper är vattnets effekt något större. Atack och Heitner (13) har exempelvis visat att mjukningstemperaturen vid vattenmättnad kan sänkas från ca 110°C för nativt lignin ner till 50 à 60°C för starkt sulfonerat lignin. För sulfitligninet i NSSC-vågpapper ges här i figur 10 vattnets beräknade mjukgörande effekt (10) enligt Kaelble, på samma sätt som för cellulosamaterialen. Beräkningarna antar 20 % sulfitlignin i vågpapperet med en vattenabsorption av en fjärdedel av den i det amorfa cellulosamaterialet (10). Små mängder vatten sänker sulfitligninets mjukningstemperatur snabbt ner till ca 50 à 60°C där troligen mättnad inträder. För korrugeringen kan då mjukningen av sulfitligninet i NSSC-kvaliteterna vara lika eller även mer betydelsefull än mjukningen av cellulosamaterialen. Genom en samverkan av komponenterna i strukturen kommer formbarheten att vara beroende av den styvaste av dessa komponenter vid de aktuella temperatur- och fuktbetingelserna.

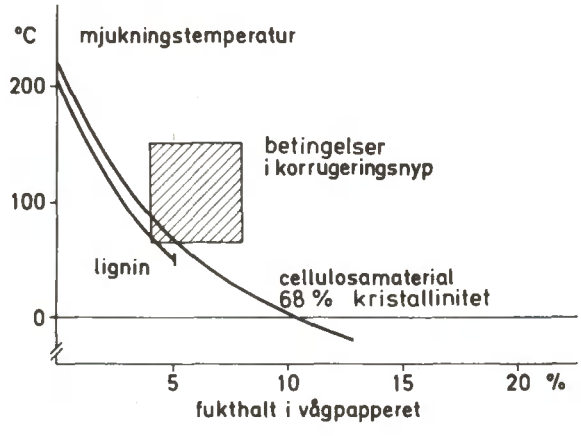


Fig. 10 Glastransition, den karakteristiska mjukningstemperaturen för amorf cellulosa beräknad enligt Kaelble (26) vid en kristallinitet på cellulosamaterialet av 68 % motsvarande de studerade vågpapperna samt motsvarande data för lignin (10). Det inritade området indikerar inom vilka förhållanden korrugering troligen sker.

I figur 10 anges även temperatur - fuktförhållanden där korrugeringen kan antas ske. Den undre temperaturgränsen är satt med hänsyn till flutingbanans temperatur vid ingången till nypet (4). Den övre gränsen är satt med hänsyn till uppmätta bantemperaturer vid låga hastigheter i Concora-corrugator (14) och i fabriksskala exemplifierade i figur 11. Fuktgränserna är tagna som högsta normala ingångsfukthalt och lägsta uppmätta utgångsfukthalt. Troligen är således både sulfitligninet och de amorfa cellulosakomponenterna mjukgjorda i ett tillräckligt varmt korrugeringsnyp, varvid då NSSC-vågpapper får bättre formbarhet än returfibervågpapper.

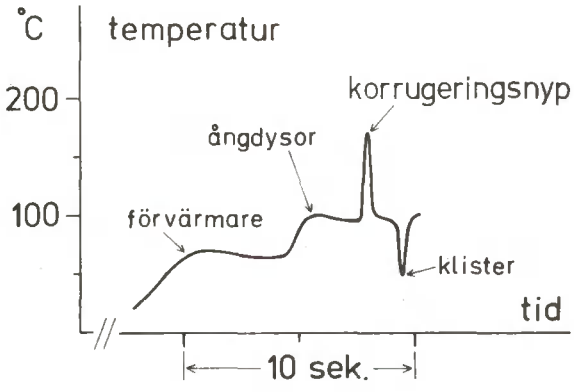


Fig. 11 Temperaturen i en vågpappersbana vid banhastighet 16 m/min. Temperaturen mätt med termoelement mellan två 112 g:s vågpapper. Korrugeringsvalsarnas yttemperatur 180°C.

Korrugeringsprocessen

Ett antal materialegenskaper påverkar korrugerbarheten och körbarheten i ett korrugeringsnyp. Till dessa hör särskilt vågpapperets styvhet, töjbarhet och brottöjbarhet under de fukt- och temperaturbetingelser som råder vid korrugeringsförloppet. Formningen av vågen vid korrugeringen kan uppdelas i en uppvärmningszon, en indragningszon och en formningszon.

I själva uppvärmningszonen utsätts vågpapperet nästan uteslutande för dragpåkänningar. Dessa bestäms av banspänningen och även av friktionen mot korrugeringsvalsen såvida banan dras runt den övre korrugeringsvalsen. Dessa dragpåkänningar är dock försumbart små

i relation till de som föreligger i indragnings- och formningszonen.

I indragningszonen ökar dragpåkänningen betydligt beroende på friktionen mot de övre och undre kuggarna i det konvergerande nypet. Dragspänningen byggs upp från den banspänning som vågpapperet körs med. Samtidigt överlagras en böjpåkänning så att vågpapperet utsätts för ännu större dragpåkänningar i ett av ytterskikten och för tryckpåkänningar i det andra som ligger an mot kuggtoppen.

Reitz, Otto och Göttsching (5) har beräknat hur enbart dragpåkänningen på vågpapperet utvecklas vid indragningen i nypet. Vid en banspänning av 0,4 kN/m och en friktionskoefficient på 0,4 skulle den största dragspänningen på vågpapperet dvs på den sista kuggen före formningsnypet uppgå till hela 5 kN/m. Denna dragspänning utgör en påkänning i närheten av brottlasten för vissa av returfiberpapperen vid 23°C och 50 % r.f., se tabell 3. Som framgår av figur 3 sjunker även brottlasten påtagligt med den ökning i temperatur som ju delvis skett redan i denna punkt av korrugeringsförloppet. Därför skulle dragpåkänningen vara kritisk, speciellt då för svagare papper i låga ytvikter. Mot detta talar den allmänna uppfattningen att vågpapper i högre ytvikter och därmed med större absolut styrka (i kN/m) lättare får mikrosprickor dvs lokala brottanvisningar eller banbrott. Här bör således finnas ytterligare samverkande faktorer.

Den böjpåkänning som vågpapperet utsätts för ger speciellt stora påkänningar i vågpapperets ytterskikt. Dessa påkänningar ökar med ökad papperstjocklek. Böjpåkänningarna medför en betydande töjning av ena ytterskiktet i en våg, vilken beroende på vågprofil har beräknats till mellan 7 och 9 % (2, 5). Denna töjning överstiger betydligt den brottöjbarhet som vågpapperet har vid 23°C och 50 % r.f. och även den största brottöjbarheten upp till 20 % fukthalt vid 20°C som ses i tabell 3 och figur 4. En temperaturökning medför som synes i figur 6 att den maximala töjbarheten uppnås vid lägre fukthalter, dvs förskjuts mot sådana fukthalter som råder i vågpapperet vid korrugeringen. Detta är mer påtagligt för NSSC-vågpapperet, där även förhöjd temperatur tycks medföra en viss ökning

i den maximala töjbarheten. NSSC-vågpapperen har även en betydligt högre brottöjning än avfallsvågpapperen. Den ökade töjbarheten i detta fukt-intervall vid låga temperaturer beror troligen på en mjukning av hemicellulosa och amorfa cellulosakomponenter. Vid något högre temperaturer mjuknar även ligninet och en samverkan i lastupptagning torde fås av alla dessa komponenter i mjukgjort tillstånd.

Som tidigare visats medför mjukningen av sulfitligninet att brottöjningen hos NSSC-vågpapperen kraftigt ökar. Om därför temperaturen vid korrugeringen nådde upp till eller över sulfitligninets mjukningstemperatur skulle man till någon del kunna förklara att banan klarar de betydande töjningsnivåer som beräknats (2, 5), om man antog att det fuktiga ligninets mjukning medförde en ytterligare ökning av töjbarheten utöver den som uppnås för hemicellulosa - och amorf cellulosa. Eventuellt skulle en flytning på kompressionssidan hos vågpapperet vid böjningen (15) som således förskjuter neutralplanet mot yttersidan ingå som en del i förklaringen. Härvid skulle möjligen ett stort förhållande mellan drag- och kompressionsstyrka vara positivt. Det blir också då av större vikt att banspänningen hålls på en låg nivå så att man verkligen har en kompressionsbelastning på vågens konkava sida.

I själva formningszonen utsätts vågpapperet för ett kraftigt tryck beräknat av Reitz et al (5) till ca 180 N/mm^2 (180 MPa) för en normal vågprofil. I och med korrugeringsvalsarnas höga temperatur och det tryck som byggs upp i formningszonen kan ett högt ångtryck och därmed hög temperatur byggas upp i detta pressnyp. Mätningar av temperaturen i vågpappersarket genom korrugatorn vid låga hastigheter visar på att temperaturer betydligt över $100^{o}C$ kan fås i korrugeringsnypet, figur 11. Givetvis sjunker temperaturen med ökande hastighet men når fortfarande över $100^{o}C$ vid hastigheter på 150 m/min (16). En temperatur i nypet på $150^{o}C$ skulle motsvara ett ångtryck i nypet på 47 N/cm^2 (0,47 MPa), alltså betydligt under det maximala mekaniska presstrycket i nypet. I nypet har man således hetvatten motsvarande detta tryck, samt ånga som fyller upp porerna i materialet. Att sådana snabba temperaturökningar kan fås i ark och i samband därmed ett vattenångtryck visas av Back och

Andersson (17). Vid utgången av nypet fås då ett kraftigt temperaturfall vars konsekvenser behandlas nedan.

Mjukningen av vågpapperet i korrugeringsnypet leder till en god slutgiltig formning i nypet samtidigt som de vid indragningen uppbyggda spänningarna i vågpapperet kan relaxera. Detta ger bl a en bättre vågstabilitet. Även den permanenta tjockleksminskningen av vågpapperet i nypet, som torde orsakas av en plastisk flytning kan som föreslagits (1) reducera spänningar i vågpapperet genom att det leder till en längdökning. Dock torde den minskade böjspänningen förorsakad av själva tjockleksminskningen ej vara av betydelse då ju även vågpapperets böjstyvhet minskar.

Banans kraftiga temperaturökning i korrugeringszonen har betydelse även för en exakt vågform. Vid utgången av formningsnypet reduceras ångtrycket i papperet momentant genom förångning vilket givetvis leder till en momentan temperatursänkning, se figur 11. Därigenom kan det mjukgjorda vågpapperet stelna momentant genom att vågpapperet kommer under sin mjukningstemperatur och således E-modulen ökar kraftigt. Därigenom stabiliseras vågformen. Detta kräver givetvis att fukthalten i vågpapperet ej är så hög från början att vågpapperet vid utgången av nypet efter avdunstningen fortfarande är mjukgjort. Alltför höga fukthalter har också vid korrugering noterats ge mycket dålig vågformstabilitet. Vågformstabiliseringen har stor betydelse, då variationer i vågform s.k. high & lows försämrar wellpappens kvalitet. Eftersom graden av mjukning är avsevärt större hos NSSC-vågpapper än hos returfibervågpapper blir även den motsvarande effekten av stelningen större. Emellertid sker en utveckling mot fingerlösa korrugervalsar där flutingpiporna kvarhålls i kuggformen med vakuum tills de limmats mot linern vilket kommer att minska betydelsen av denna faktor.

Således är den större mjukningen och stelningen hos NSSC-vågpapperna av stor betydelse för den nuvarande korrugeringsprocessen. Det snäva temperaturintervall inom vilket mjukningen sker, möjliggör den snabba stelningen av vågprofilen. Detta mjukningsintervall för NSSC-vågpapperet förskjuts mot allt lägre temperaturer ju högre

fukthalten är. Genom att kombinera en tillräckligt hög korrugeringstemperatur med en lämplig fukthalt i vågpapperet utnyttjas denna egenskap hos NSSC-vågpapperet maximalt. De lämpliga temperatur - fuktförhållandena varierar givetvis med banhastigheten och måste därför optimeras till en viss hastighet eller regleras med denna.

Vågpapperets bruksegenskaper

I wellpappen bidrar vågpapperets styvhet till bärförmågan, varvid både böjstyvhet och drag/kompressionsstyvhet kan vara viktiga. Detta gäller särskilt vid hög luftfuktighet antingen fukten kommer från godset eller utifrån. Exempel är fruktlådor, blomlådor eller lådor för kyltransport. Det har här visats att NSSC-vågpapper är betydligt dragstyvare och starkare än returfibervågpapper. Detta gäller såväl vid wellpappens normala användningsklimat som vid högre luftfuktighet. Vid exempelvis 95 % relativ fuktighet dvs ca 20 % fuktinnehåll är dragstyvheten hos NSSC-vågpapper nästan dubbelt så hög som för returfibervågpapper. Den relativa inverkan av fukthalten på E-modulen vid 20°C, figur 12, är hos returfibervågpapperen betydligt större än hos NSSC-vågpapperen. Vid 20 % fukthalt bibehåller NSSC-vågpapperet 44 % av sin elasticitetsmodul i torrt tillstånd medan returfibervågpapperet endast bibehåller 35 %. Sulfitligninet i NSSC-vågpapperet utgör troligen en mer fuktresistent bindningskomponent. Även det faktum att sulfitligninet synes tvärbinda med kolhydraterna under sulfitkoket (18) kan bidra till detta.

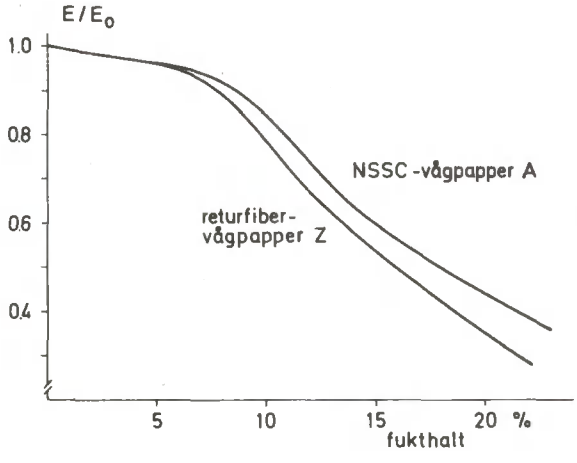


Fig. 12 Relativa E-modulen E/Eo, där E är modulen i fuktigt tillstånd och Eo modulen i torrt tillstånd, som funktion av fukthalten vid 20°C för NSSC-vågpapper A och returfibervågpapper Z.

Som tidigare nämnts är variationerna i egenskaperna avsevärt större hos returfibervågpapper än hos NSSC-vågpapper. Detta framgår tydligt även inom ett ringa provmaterial om ett antal m^2 som använts i detta arbete, se tabell 5. Den genomsnittliga variationskoefficienten har här angivits för egenskaperna vid 20°C över hela fuktintervallet. För att med en given säkerhet klara vissa egenskapskrav fås därför för NSSC-vågpapperen en gynnsammare beräkningsfaktor. Även på detta sätt kan NSSC-vågpapperet utnyttjas effektivare i en wellpappkonstruktion, än returfibervågpapper.

Det kan antas att relationen mellan de olika vågpapperskvaliteterna i dragstyrka är densamma för kompressionsstyrka eller även något fördelaktigare för NSSC-vågpapper som har ett högre utbyte, i enlighet med studier av Fellers m fl (19). Således visar båda dessa jämförelser på viktiga fördelar i användandet av NSSC-kvaliteter framför returfiberbaserade,som då kan omsättas i lägre ytviktsbehov för NSSC-vågpapper.

Tabell 5

GENOMSNITTLIG VARIATIONSKOEFFICIENT FÖR NSSC- OCH RETURFIBERVÅGPAPPER VID 20°C ÖVER FUKTINTERVALLET 0-20 %

Egenskap	Variationskoefficient %					Relation i variationskoefficient
	NSSC vågpapper		returfiberpapper			
	A	B	X	Y	Z	$\frac{(A + B)/2}{(X + Y + Z)/3}$
dragindex	3,2	4,6	5,9	4,7	6,2	0,70
brottöjning	5,4	8,0	7,7	9,9	11,0	0,70
specifik E-modul	2,3	2,5	4,8	4,1	4,2	0,55
brottarbetsindex	8,1	11,4	12,0	14,0	17,2	0,68

Experimentellt

Metoden att bestämma dragstyrkeparametrar över ett stort temperatur- och fuktintervall har tidigare beskrivits (8, 20). I torrt tillstånd över ett större temperaturintervall uppmättes här sådana belastnings-töjningsdiagram för ungefär varannan ^{o}C på sätt som illustreras i figur 13.

Vid mätning över ett större fuktområde har ett stort antal prov-remsor konditionerats vid olika relativa luftfuktigheter. Tio sådana remsor har uppmätts vid lika fuktinnehåll och temperatur. Medelvärde och standarddeviation exemplifieras med dragelasticitetsmodulen i figur 13. Materialet till undersökningarna har uttagits slumpvis ur ett material på 5 - 10 m^2. För att jämföra korrugerbarheten rapporteras här huvudsakligen alla styrkeparametrar enbart i maskinriktningen. Belastnings-töjningskurvorna genomfördes vid konstant töjningshastighet om 0,17 % /s. De avslutades inom 10 à 30 sek. efter att remsorna kommit i kontakt med värmemediet. Såsom tidigare visats kan man på detta sätt även vid 250^{o}C undvika effekt på belastningstöjningsdiagrammen av självförnätning och nedbrytning av cellulosamaterialet.

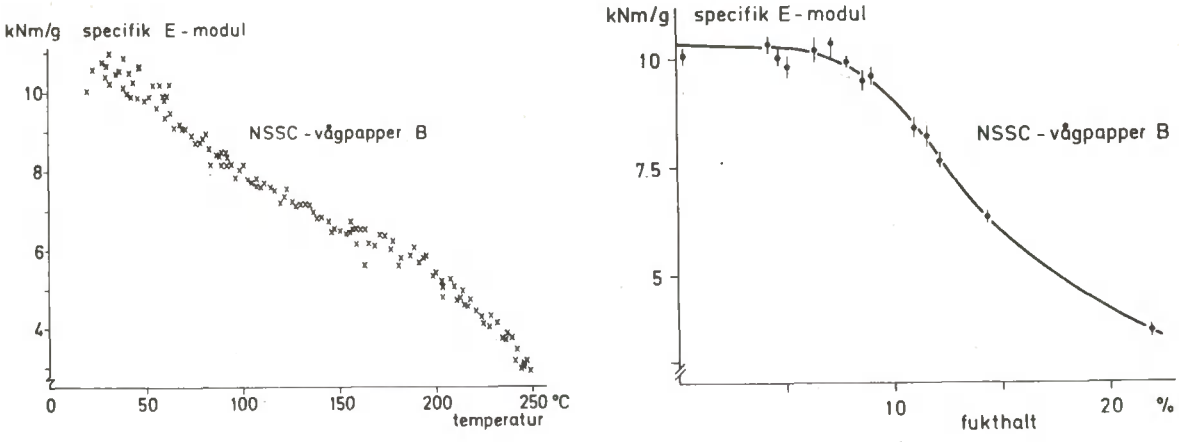


Fig. 13 Illustration av mätvärdenas standardspridning för den specifika elasticitetsmodulen för NSSC-vågpapper B, *dels i vattenfritt tillstånd upp till 250^{o}C, dels över fukthaltsområdet där standarddeviationen anges.*

Delignifieringen av NSSC-massan genomfördes med natriumklorit på konventionellt sätt. Extraktionen av hemicellulosa genomfördes med natronlut enligt Spiegelberg (21). Sammansättningen av dessa modifierade massor redovisas i tabell 2. Nämnda alkaliextraktion har ingen påtaglig merceriseringseffekt. Den ändrar såsom framgår inte heller påtagligt ligninmaterialets svavelinnehåll, som för alla NSSC-massor låg vid ungefär 1 %. Den kemiska sammansättningen enligt tabell 2 bestämdes med kolhydratanalys i enlighet med beräkningar av Aurell och Hartler (22, 23) och kristalliniteten ur röntgendiffraktionsspektra enligt Jayme (24). Andelen organiskt kväve analyserades enligt Kjeldahl-metoden (25).

Tackord

Författarna vill härmed framföra ett tack till José Ramón Idiazábal för tålmodigt genomförda mätningar och till Tomas Svahn för värdefull hjälp i sammanställningen av experimentella data.

Referenser

1. Göttsching, L., Otto, W.
"Uber das Laufverhalten von Wellenpapieren"
Das Papier 30 no 6:221 (1976)
" 30 no 10:417 (1976)
" 30 no 11:457 (1976)
" 31 no 2:45 (1977)
" 31 no 3:85 (1977)
" 31 no 4:129 (1977)
" 31 no 5:169 (1977)

2. McKee, R.C., Gander, J.W.
"Properties of corrugating medium which influence runnability"
Tappi 50 no 7:35 A (1967)

3. Jonsson, P., Hulteberg, A.
"A new technique for determination of fluting runnability characteristics".
Paperboard Packaging, March 1976.

4. Nordman, L., Toroi, M.
"Faktoren, welche die Hoch- Tief- Defekte beeinflussen"
Papier Kunststoff-Verarbeiter 5 no 10:7 (1979)

5. Reitz, K., Otto, W., Göttsching, L.
"Mechanische Beanspruchungen von Wellenpapier in der Riffelzone"
Das Papier 33 no 6:245 (1979)
" 33 no 10 A:V78 (1979)

6. Thomas, C.E.
"Flute formation on the single facer".
Tappi 63 no 8:67 (1980)

7. Sprague, C.H.
"Cold corrugation: development and commercial application"
Tappi 62 no 6:45 (1979)

8. Salmén, L., Back, E.
"Simple stress-strain measurements on dry papers from -25°C to 250°C"
Svensk Papperstid. 80 no 6:178 (1977)

9. Salmén, L.
"Thermal Softening of the Components of Paper: Its effect on mechanical properties"
Pulp & Paper Can., Trans.Tech. Sec. 5 no 3:TR45 (1979)

10. Salmén, L., Back, E., Alwarsdotter, Y
"Effect on non-aqueous solvents on the elastic modulus of paper"
Kommande publikation

11. Salmén, L., Back, E.
"The influence of water on the glass transition temperature of cellulose"
Tappi 60 no 12:137 (1977)

12. Goring, D.A.I.
"Thermal softening of lignin, hemicellulose and cellulose"
Pulp & Paper Mag. Can. 64 no 12:T-517 (1963)

13. Atack, D., Heitner, C.
"Dynamic mechanical properties of sulphonated eastern black spruce"
Pulp & Paper Can., Trans.Tech.Sec. 5 no 4:TR99 (1979)

14. McKenzie, A.W., Yuritta, J.P.
"The runnability of corrugating media: the effects of roll temperature and medium moisture content".
Appita 27 no 2:106 (1973)

15. Carlsson, L., Fellers, C., de Ruvo, A.
"The mechanisms of failure in bending of paperboard"
J. Materials Sci. 15 2636 (1980)

16. Opublicerade data
Nordman, L., Torroi, M., KCL Helsingfors

17. Back, E., Anderson, R.
"Multistage press drying of paper"
Svensk Papperstid. 82 no 2:35 (1979)

18. Glasser, W., Barnett, C.
"The structure of lignins in pulps: III"
Tappi 62 no 8:101 (1979)

19. Fellers, C., de Ruvo, A., Elfström, J., Htun, M.
"Edgewise compression properties. A comparison of handsheets made from pulps of various yields"
Tappi 63 no 6:109 (1980)

20. Salmén, L., Back, E.
"Moisture-dependent thermal softening of paper, evaluated by its elastic modulus"
Tappi 63 no 6:117 (1980)

21. Spiegelberg, H.L.
"The effect on hemicellulose on the mechanical properties of individual pulp fibers".
Tappi 49 no 9:388 (1966)

22. Aurell, R.
"Kraft pulping of birch. Part 1. The changes in the comosition of the wood residue during the cooking process".
Svensk Papperstid. 67 no 2:43 (1964)

23. Aurell, R., Hartler, N.
"Kraft pulping of pine. Part 1. The changes in the composition of the wood residue during the cooking process".
Svensk Papperstid. 68 no 3:59 (1965)

24. Jayme, G., Knolle, H.
"Beitrag zur empirischen röntgenographischer Bestimmung des Kristallinitätsgrades zellulosehaltiger Stoffs.
Das Papier 18 no 6:249 (1964)

25. Tappi Standard Method T-418
"Organic nitrogen in paper and paperboard"

26. Kaelble, D.H.
"Physical Chemistry of Adhesion"
Wiley-Interscience, New York 1971

Svenska Träforskningsinstitutet • Swedish Forest Products Research Laboratory

Box 5604 • S-114 86 Stockholm • Telefon 08-22 43 40 • Telex 10880 Woodres

CASLON PRESS