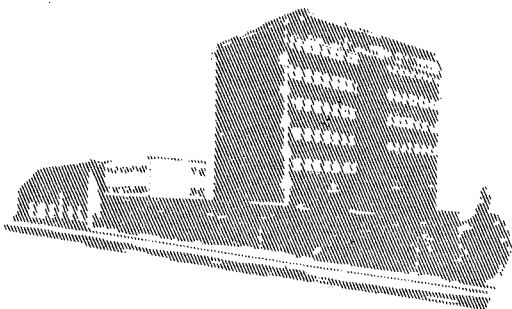




Fingerskjøting av konstruksjonslast

Undersøkelser av forhold ved produksjon og styrke

Per Lind



Norsk Treteknisk Institutt

☎ Boks 113 Blindern
0313 Oslo 3.

🏠 Forskningsveien 3B

☎ (02) 46 98 80, Oslo

📠 "Treteknisk", Oslo

✉ 74864 tsf n

Bankgiro 6039 05 16714

Postgiro 5 14 87 70

FORORD

Norsk Treteknisk Institutt har arbeidet med utviklingen av fingerskjøteteknikken siden 1960-årene. Siden 1966 i nær tilknytning til den industrielle utnyttelsen som da ble startet opp her i landet.

Gjennom den faglige bistand NTI har ytt Norsk Limtrekontroll har vi fått et godt innblikk i fingerskjøting under industrielle forhold. Det har gitt oss grunnlag for en oppfølging og videreutvikling av fingerskjøteteknikken. Denne rapporten er en oppsummering av elve enkeltundersøkelser utført i løpet av de siste 6 - 7 år. De bør gi et godt grunnlag for ytterligere å forbedre den gode kvalitet på fingerskjøtt konstruksjonslast vi allerede har. Det er i dag i Norge 30 bedrifter som er godkjente produsenter av fingerskjøtt konstruksjonsvirke.

Oslo, august 1987
NORSK TRETEKNISK INSTITUTT

Innhold

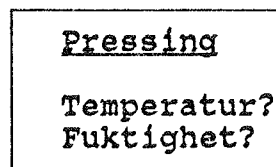
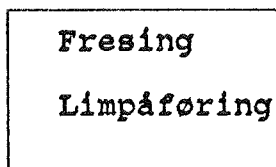
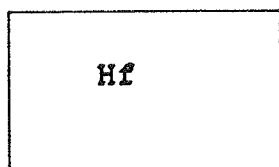
I	Innflytelse av høyfrekvens-forvarming på materialfuktighet og temperatur ved fingerskjøting	1
II	Temperaturfordelingen gjennom planketverrsnittet etter høyfrekvens forvarming	12
III	Trykkbruddfare ved fingerskjøting av konstruksjonsvirke	17
IV	Fingerskjøting av konstruksjonsvirke med varierende fuktighet, og ved bruk av høyfrekvens forvarming	39
V	Etterherding av fingerskjøter med høyfrekvens	48
VI	Undersøkelse av limpåføringsutstyr for fingerskjøting, der lim og herder sprøytes på hver for seg	52
VII	Fingerskjøters strekkstyrke som funksjon av trefuktigheten	56
VIII	Ekstra sterke fingerskjøter	60
IX	Endeskjøting der fingrene krysser hverandre	66
X	Håndteringsstyrke på fingerskjøtte materialer limt med smeltelim	68
XI	Fingerskjøting av furu	72

I Innflytelse av høyfrekvensforvarming på materialfuktighet og temperatur ved fingerskjøting

I denne rapporten ser vi på de faktorer som er bestemmende for hvilken temperatur en plankeende får i sammenpressingsøyeblikket. Dette er avhengig av hvorledes Hf-anlegget kjøres, materialkvalitet og fuktighet samt transporttiden fram til pressing.

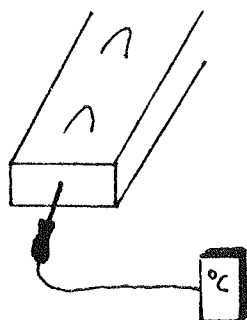
Vi har også satt opp endel betingelser som bør oppfylles for at skjøten skal være tilstrekkelig utherdet før en eventuell påkjenning.

Videre gir resultatene svar på hvor mye slike oppvarmede plankeender tørker ut på veien mot pressa. Dette vil antakelig ha betydning for limingens kvalitet.

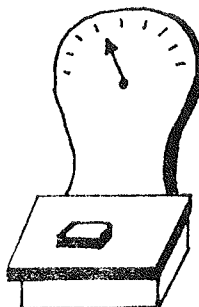


Rapporten og forsøket ble utført i 1978, og bakgrunnen for undersøkelsen var mistanken om at plankeendene kunne tørke for mye ut ved en uheldig kjøring av Hf-systemet. Det ble ikke utført skjøting, kun en registrering av fuktigheter og temperaturer i fingersonen.

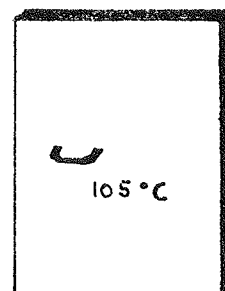
Måling av temp.



Veiing



Tørking

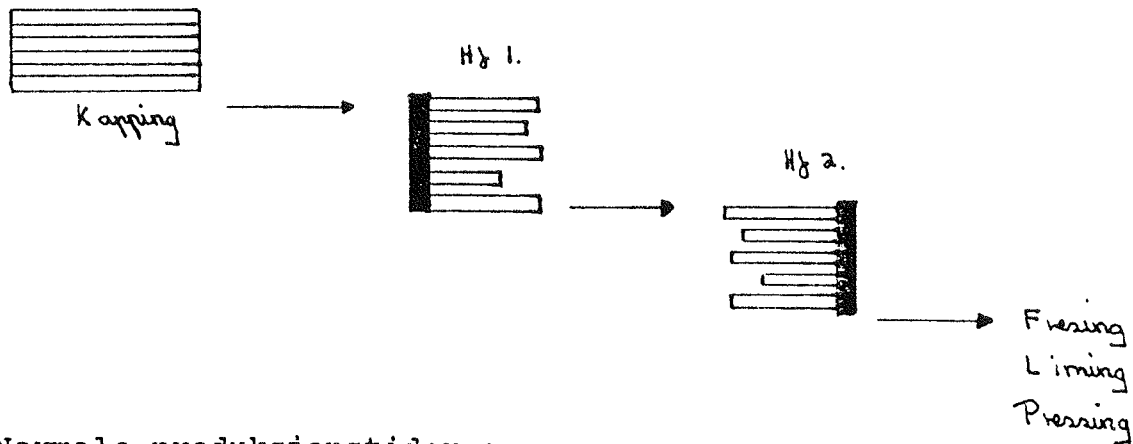


Samtidig har man fått et inntrykk av hvor stor avkjølings-tendensen er for de oppvarmede plankeendene.

Forsøket bestod av tre adskilte deler, nemlig betydningen av

- a) normale driftsbetingelser
- b) overoppheting
- c) driftstans

Anlegget som forsøkene ble utført på, er skissert nedenfor.



Normale produksjonstider :

Opphold i Hf-1 : ca. 1 min
Utgang Hf-1 til inngang Hf-2 : ca. 1 min
Opphold i Hf-2 : ca. 1 min
Utgang Hf-2 til inngang presse : ca 1 min 50 sek

Total avkjøling for ende nr.1 : ca 3 min 50 sek

Alle målingene ble utført på endene som har gjennomgått Hf-1, fordi disse fikk lengst avkjølingstid etter oppvarmingen.

Materialer

Det ble benyttet gran og furu med dimensjon 50 * 200 mm. I tabellen nedenfor er det gitt en oversikt over prøveseriens utgangstilstand.

<u>Treslag</u>	<u>% trefuktighet</u>	<u>Densitet (g/cm³)</u>	<u>Prøveantall</u>
gran	7	0.41	18
gran	15	0.38	19
gran	23	0.44	20

<u>Treslag</u>	<u>% trefuktighet</u>	<u>Densitet (g/cm³)</u>	<u>Prøveantall</u>
fur	7	0.46	15
fur	15	0.51	18
fur	23	0.46	20

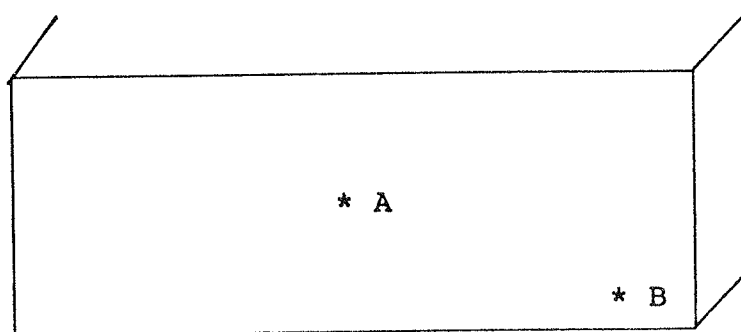
Prøver fra hver av disse seriene ble fordelt på :

- a) normale driftsbetingelser
- b) overoppheting
- c) simulert driftstans.

Temperaturmålinger

Alle temperaturregistreringene ble foretatt 2 min. etter at plankene forlot Hf-1. For seriene med driftstans, der de oppvarmede endene fikk ligge 10 min før ny oppvarming, registrerte man temperaturen også etter 3 min. 50 sek. Dette er transporttiden fra Hf-1 og fram til pressa under normale produksjonsforhold. Dermed fikk vi et inntrykk av temperaturforholdene i presseøyeblikket.

Temperaturen som er angitt for hver enkel plankeende, er et middel av 2 måleverdier som angitt nedenfor.

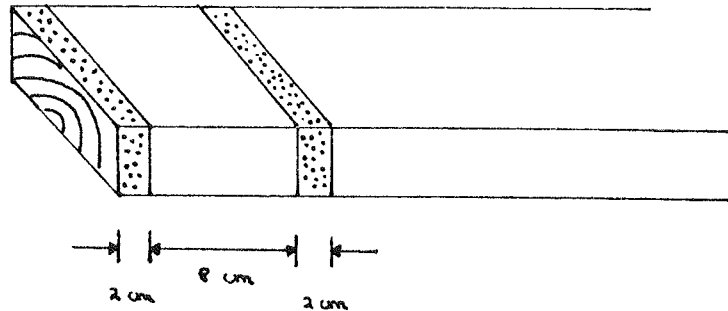


Senere undersøkelser har vist at oversiden blir varmest og undersiden kaldest ved de fleste elektrodeoppsett som benyttes i dag. For å få en riktig middelvei, burde en registrering nær oversiden også ha vært med.

Fuktighetsmålinger

Prøveuttak av de oppvarmede plankeendene ble foretatt 3 min. og 50 sek. fra planken forlot Hf-1, og skulle da beskrive forholdene ved sammenpressingen av fingrene.

Figuren nedenfor viser hvordan vi foretok utkappingen av prøver til bestemmelse av fuktinnholdet.



Vi tok ut to prøver, hvor den i front beskriver tilstanden i fingersonen, og den andre i området like bak elektrodene. Hensikten med dette siste var å se om tendenser til anrikning av fuktighet i dette området forekom. Vanninnholdet i prøvebitene ble bestemt ved tørke - veiemetoden.

Gjennomføring av forsøket

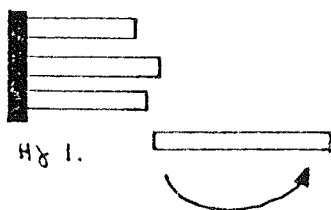
a) Normal produksjon.

Prøveplankene ble kjørt kun gjennom Hf-1, og tiden dette tok varierte i området 50 - 70 sek. Deretter ble målingene utført som beskrevet ovenfor.

b) Simulert overoppheting.

De fleste Hf - anlegg er bygget slik at generatorene koples automatisk ut dersom plankene blir stående under elektrodene for lenge. Ofte er det blitt registrert at dette ikke skjer før plankene har fått en meget høy temperatur, dvs. 130 - 150 °C.

Vi gjorde det på den måten under forsøket at plankene ble endesnudd etter Hf-1, slik at de fikk nok en oppvarming av Hf-2.




Plankene fikk altså dobbel oppvarmingstid av det normale, ca 2 min.

Registrering av temperaturer og fuktigheter ble utført som beskrevet for serie a).

c) Simulering av driftstans.

Dersom en stopp i produksjonen fører til at oppvarmede planker blir liggende for lenge, bør de taes tilbake for å varmes opp på nytt. Det blir da et spørsmål om hvor lang stopp som kan tolereres før en ny oppvarming er påkrevet. Vi har valgt å se på forholdene ved en stans i linjen på 10 minutter etter første oppvarming.

	Ut av Hf-1	Temp.regi- strering	Temp.regi- strering	Ny oppvarming Hf-1
Tid etter Hf-1	0 min	2 min	3 min 50 sek	10 min
				
			Angir temperatur i press-øyeblikket.	

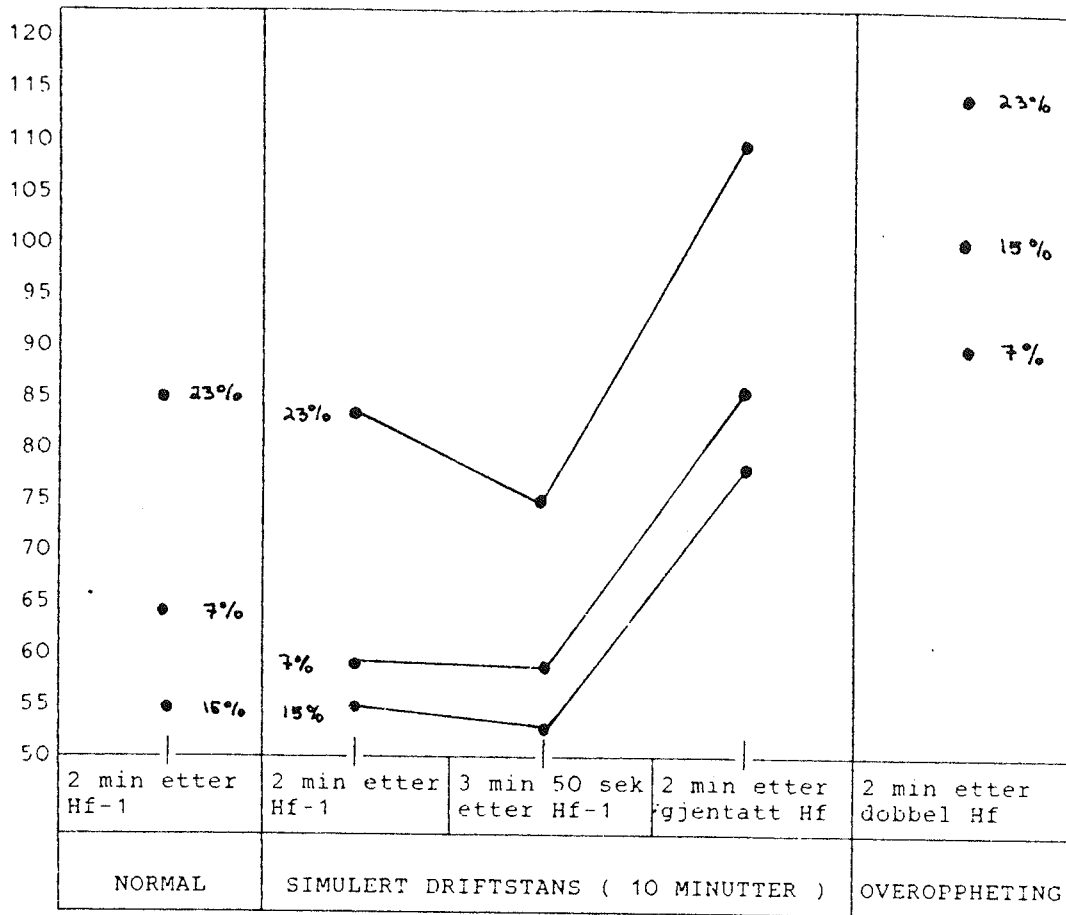
Fuktighet og temperaturregistrering etter gjentatt oppvarming i Hf-1 som for de andre seriene.

Resultater

Resultatene fra forsøket skal nå refereres, og det er de forskjellige serienes middelveidier som er angitt. På neste side er disse satt opp i kurveform.

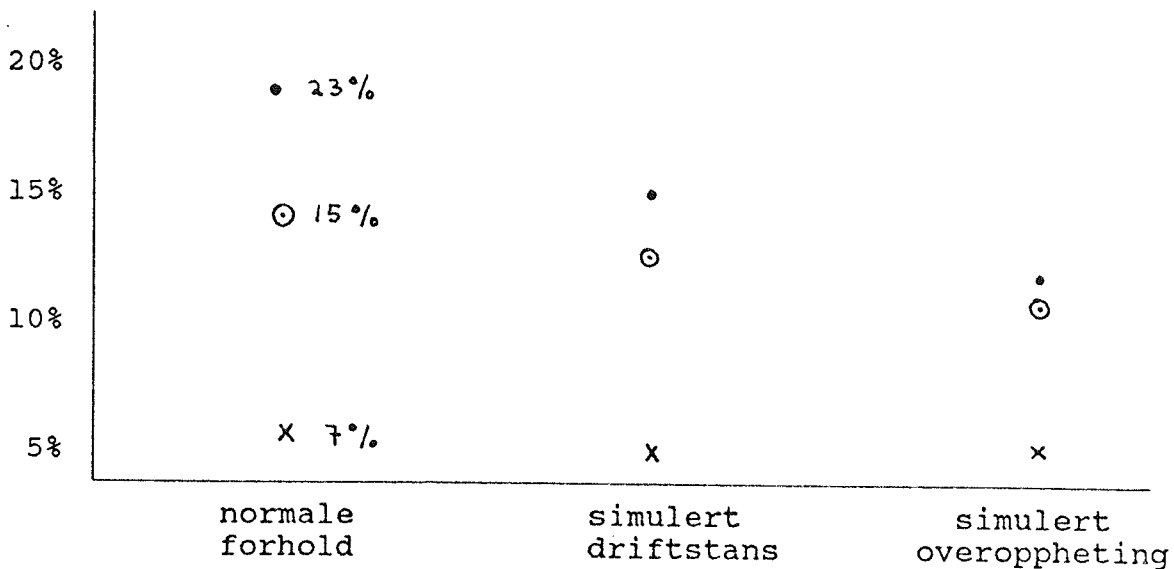
Furu

°C
↓
Oversikt over oppnådd temperatur etter Hf, ved tider angitt nedenfor (middelverdier).



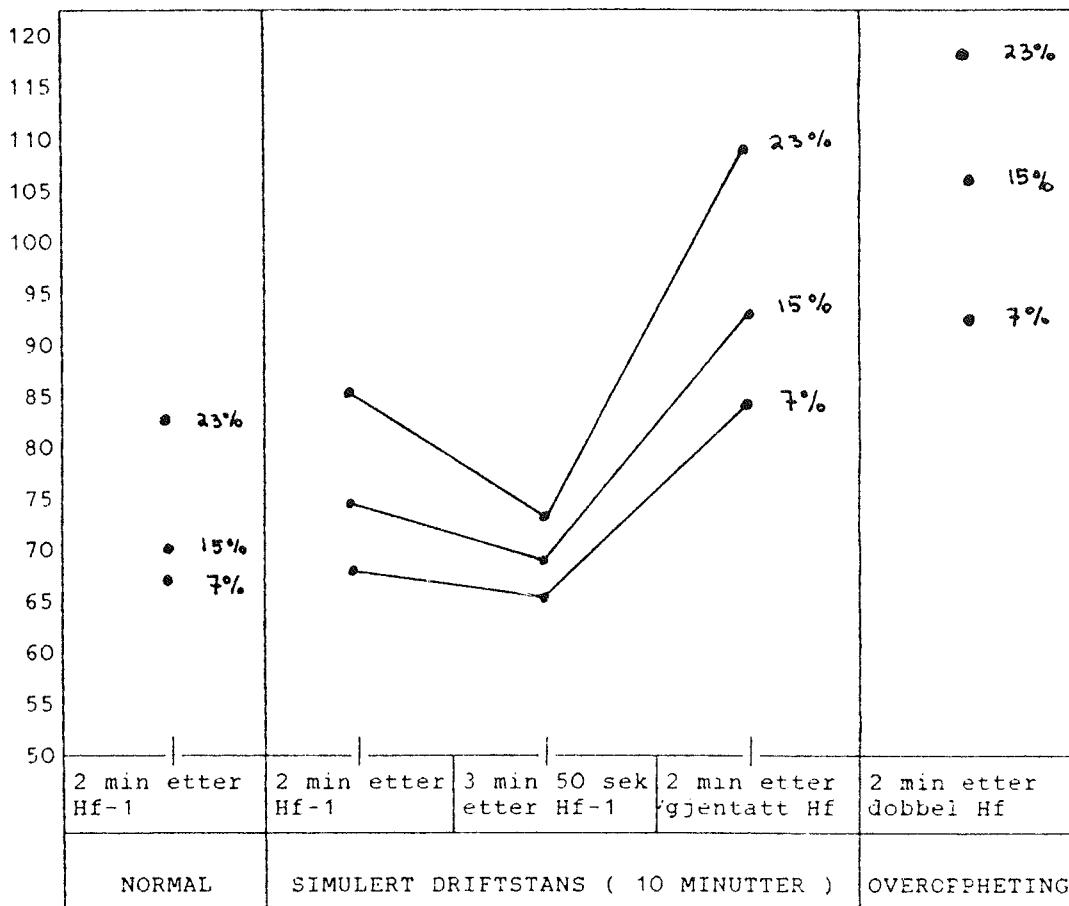
(Angitte prosenter bak markeringene er utgangsfuktigheten)

Trefuktigheten i fingersonen etter endt Hf-oppvarming. Tilsvarende forholdene i presseøyeblikket (middelverdier).



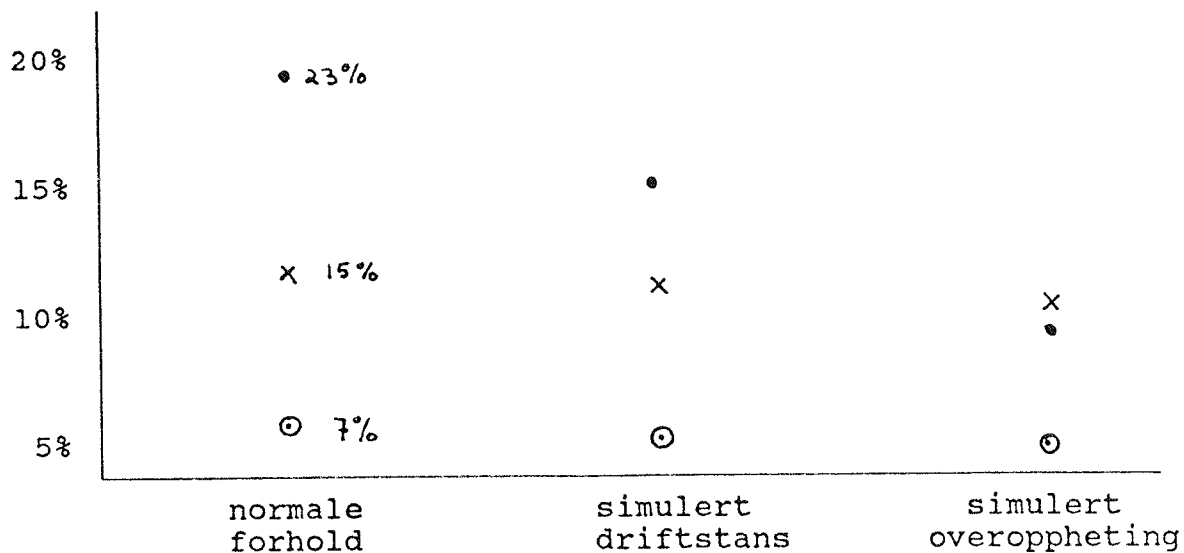
Gran

°C
↓
Oversikt over oppnådd temperatur etter Hf, ved tider angitt nedenfor (middelveidier).



(Angitte prosenter bak markeringene er utgangsfuktigheten)

Trefuktigheten i fingersonen etter endt Hf-oppvarming. Tilsvareer forholdene i presseøyeblikket (middelveidier).



Kommentarer

Temperaturmåling.

Gran.

Ser vi på de enkelte prøveseriene, vil planker med 23% fuktighet få den høyeste forvarmingstemperaturen. Differansen mellom 23 og 7% gruppen er 15°C ved normal oppvarming (60 sek.), 27°C ved overoppheting (120 sek.), og 26°C etter 10 min. avkjøling og gjentatt oppvarming.

Temperaturmålingene foretatt i gruppen "simulert driftstans" har gitt oss de temperaturer som gjelder ved pressing for endene fra Hf-1 ved dette anlegget (3 min. 50 sek. etter oppvarming).

Endene fra Hf-2 bruker ca 2 min. fram til pressing, slik at vi også har temperaturdata for disse.

På bakgrunn av de registrerte avkjølingstendensene, har vi nedenfor beregnet utgangstemperaturen i materialene fra Hf-anlegget. Dette er utført for gran.

<u>Tre- fukt</u>	<u>Utgangs- temp.</u>	<u>Pressetemp. ende fra Hf-1</u>	<u>Pressetemp. ende fra Hf-2</u>
7%	73 °C	64 °C	68 °C
15%	82 °C	67 °C	74 °C
23%	98 °C	72 °C	84 °C

Det man skal merke seg her er den store forskjellen mellom tørre og fuktige planker. Hvor raskt styrken øker i tiden etter pressing vil dermed også variere forholdsvis mye dersom man har stor variasjon i utgangsfuktigheten.

En tommelfingerregel sier at utherdningstiden på limet halveres for hver 10°C temperaturen øker.

Furu

Prøveseriene for furu viser de samme tendensene som for gran.

Ofte er produksjonen lagt opp slik at de skjøtte plankene blir påkjent forholdsvis raskt etter sammenpressingen, feks ved høvling i linjen. For at skjøten skal greie dette uten å skades, må styrken i forbindelsen rekke å komme opp på et forsvarlig nivå.

Dette bestemmes av :

- 1) Temperatur i fingersonene ved sammenpressing
- 2) Limsystemets utherdingsshastighet
- 3) Tiden det tar fra pressing til høvling

Limfugene i fingerskjøter herdes normalt ut ved temperaturer varierende fra 30 til 90°C.

Dersom en viss utherdingsgrad kreves for å stå imot påkjenningene ved feks høvling, kan dette oppnås ved :

- 1) temperatur rundt 90°C kombinert med kort etterherdingstid (minutter).
- 2) temperatur rundt 30°C med lang etterherdingstid (timer).

eller

- 3) middels temperatur med middels etterherdingstid.

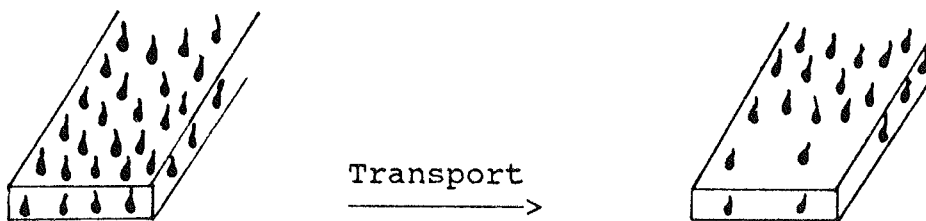
Når man stiller inn Hf-anlegget må man huske på å kompensere for avkjølingen fram til pressing

For å redusere forskjellene i temperatur fra planke til planke, bør man i størst mulig grad forsøke å :

- ha jevn materialkvalitet.
- ha jevn materialfuktighet.
- mate inn på Hf-banen så jevnt som mulig.
- la generatorene kople ut forholdsvis raskt ved en eventuell stopp.

Uttøking av endene.

På veien fra oppvarming til sammenpressing vil plankeendene tørke ut.



Graden av uttørking vil være avhengig av :

- 1) endenes temperatur fra Hf
- 2) materialenes fuktighet
- 3) transporttiden frem til pressing.

Normale driftsforhold:

Trefuktigheten går ned ca. 2-3 % i forhold til materialenes utgangsfuktighet for alle seriene. Dette skulle ikke skape problemer.

Simulert driftstans på 10 minutter:

23% gruppen har tørket ned til ca 15% trefuktighet

15% -----"----- ca 12% ----"----

7% -----"----- ca 5% ----"----

Overoppheting:

Kjører man anlegget slik at temperaturen ligger rundt 100 °C og oppover, vil man kunne få en reduksjon av fuktighetsprosenten på opptil 10 prosentenheter for fuktige planker.

—————00000—————

Fuktigheten i sonen like bak elektrodene har ikke vist avvikende tendenser.

Dette siste har en meget stor betydning . De aller fleste har registrert trykkbrudd ved sine anlegg der Hf benyttes, og de arter seg som fiberstukninger like bak elektrodeslutt. Forholdene ved dette forsøket har ikke vært slik at de har økt faren for stukebrudd.

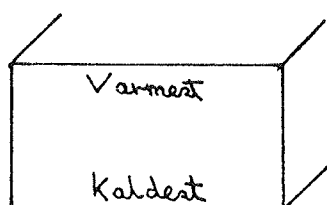
Sluttkommentarer

Vi har i denne rapporten pekt på hvor viktig det er at forvarmingen gir en tilstrekkelig temperatur ved sammenpressingen. Denne må tilpasses skjøtens muligheter for etterherding, før en eventuell påkjenning. Vi har sett hvordan temperaturen kan variere med materialfuktighet og med hvordan Hf-anlegget kjøres.

Videre har man fått et inntrykk av hvor mye plankeendene kan tørke ut, avhengig av hvilken temperatur plankeendene kommer opp i. Om dette siste har betydning for selve limingen og passingen i skjøten, vil fremtidige prosjekter vise.

II Temperaturfordelingen gjennom planketverrsnittet etter høyfrekvensforvarming

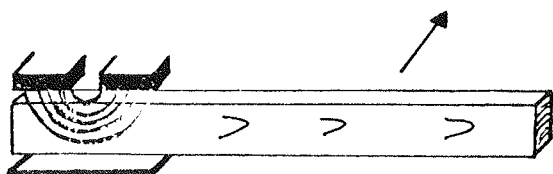
Ved de tradisjonelle elektrodesystemene til Philips-Elphiac, viser det seg at man får en forholdsvis stor temperaturforskjell mellom over - og undersiden.



Dette vil ha innvirkning på limets herdegrad gjennom tverrsnittet i tiden like etter pressing.

Målinger er utført ved 2 anlegg, og ved det ene har Philips-Elphiac endret elektrodeoppsettet etter den første registreringen.

Systemet er opprinnelig bygget opp slik at man har delt overelektrode samt en løs metallplate på undersiden. Denne platen skal trekke Hf-feltet nedover som vist på figuren.



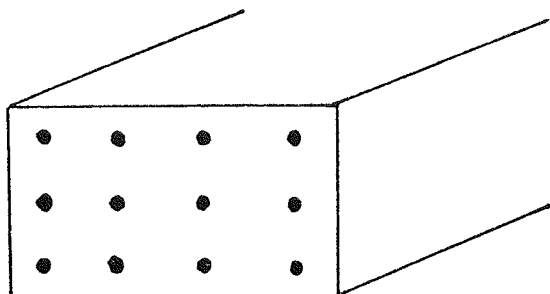
Det ser ut til at effekten av dette ikke alltid er like god.

Det er spesielt viktig for de som høvler direkte i linjen at temperaturfordelingen og dermed herdegraden er så jevn som mulig gjennom hele tverrsnittet.

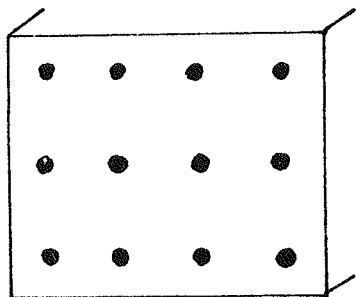
Man bør huske på tommelfingerregelen som sier at for hver 10°C temperaturen faller, fordobles herdetiden.

Temperaturregistreringer

Temperaturen ble registrert på følgende måte:



Det ble boret hull inn fra enden, og disse var ca 30 mm dype. De ytterste hullrekkene lå 10 mm inn fra kantene. Temperaturen ble målt umiddelbart etter Hf-oppvarmingen med et digitalt måleinstrument.



O = middel av verdiene fra oversiden

M = _____"_____ midtsonen

U = _____"_____ undersiden

Resultatene fra målingene er satt opp i tabellform.

Bedrift 1

Prøve nr.	Hf-tid (sek)	O (°C)	M (°C)	U (°C)	Differanse overside-underside.
1	50	87	61	49	38
2	50	93	70	49	44
3	50	87	67	49	38
4	60	102	80	61	41

Dimensjon på prøvene : 63 * 150 mm
Trefuktighet : 19%
Virkestemperatur før prøving : +7 °C
Målingene er foretatt ovenfra og nedover.

Som man kan se er det stor forskjell i temperatur mellom over og undersiden, ca 40 °C. Det er helt klart at dette gir en ujevn utherdingsshastighet gjennom tverrsnittet.

Legg merke til temperaturen i prøve 4 som har 10 sek. lengre oppvarmingstid. Differansen er like stor, men temperaturen er hevet ca. 10 °C i alle målepunktene.

Bedrift 2

Prøve nr.	Prøve dim. (mm)	Hf-tid (sek)	O (°C)	M (°C)	U (°C)	Differanse (O - U) (°C)
1	100 * 250	50	103	61	46	58
2	100 * 250	60	101	70	47	54
3	100 * 250	80	98	86	59	39
4	75 * 200	60	109	78	55	54

Materialfuktighet : 22%

Også ved dette anlegget ser vi at forskjellen mellom over og underside er meget stor.

Ser vi på prøve 2 og 3 har disse fått samme temperatur på oversiden, selv om Hf-tiden er økt fra 60 sek. for prøve 2 til 80 sek. for prøve 3.

Temperaturen ligger på rundt 100°C for begge, og økt energimengde tilført vil for en stor del gå med til å fordampe vann fra plankefronten. Dette vil særlig gjøre seg gjeldende dersom fuktige materialer blir benyttet.

Ved denne bedriften endret Philips-Elphiac elektrodesystemet, og nye målinger ble foretatt.

De tre første prøvene ble lagret i plast for å beholde fuktigheten, og ble etter elektrodeendringen varmet opp på nytt med de samme Hf-tider som ovenfor. Prøvene ble først kappet i enden.

Dimensjon (mm)	O (°C)	M (°C)	U (°C)	Differanse (O - U) (°C)
100 * 250	99	69	58	41
100 * 250	109	84	81	28
100 * 250	116	78	79	37

Temperaturdifferansen mellom over- og undersiden er fremdeles forholdsvis høy for denne store dimensjonen. Det man imidlertid har oppnådd er en markert økning av temperaturen på undersiden. Dermed skulle man få en hurtigere utharding i dette området.

Det ble i tillegg også forsøkt en prøve med dimensjon 75 * 200 mm.

O	M	U	Differanse
97 °C	86 °C	96 °C	1 °C

Det ser altså ut til at temperaturfordelingen i tverrsnittet nå er ideell. Dersom dette er representativt, vil ombyggingen virkelig ha ført til forbedringer for de mest vanlige dimensjonene.

Sluttkommentarer

Alle som benytter Hf-utstyr til forvarming levert av Philips-Elphiac, bør på grunnlag av våre målinger vurdere en omlegging av elektrode-systemet.

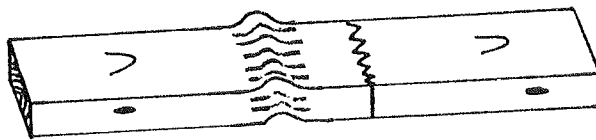
III Trykkbruddfare ved fingerskjøting av konstruksjonsvirke

Trykkbrudd i materialene under produksjon av fingerskjøtt konstruksjonsvirke, er et fenomen som er knyttet til anlegg som benytter Hf-forvarming eller Hf i pressen. Avhengig av Hf-metode vil skadene som fremkommer ved for høyt endetrykk arte seg på forskjellige måter. I begge tilfeller blir styrken i materialene redusert, ofte i betydelig grad.

Trykkbruddene kan være vanskelige å oppdage, og man har erfart at slike skjøter kan forlate bedriften uten at noen reagerer.

Denne rapporten vil forsøke å belyse forholdene rundt trykkbrudd som feiltype i produksjonen. Videre er hensikten å finne fram til betryggende produksjonsbetingelser, for dermed å unngå disse problemene i størst mulig grad.

Rapportens del 1 tar for seg anlegg som benytter Hf-forvarming, og del 2 dekker anlegg med Hf-oppvarming i pressen.



Hf-forvarming

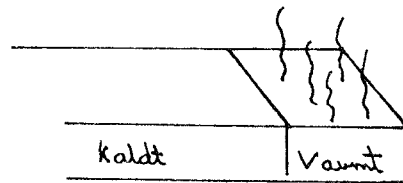


Hf i pressen.

Del 1

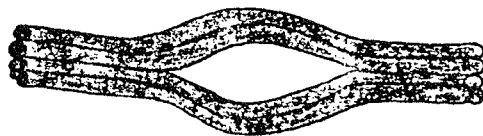
Trykkbrudd ved Hf-forvarming

Trykkbruddet her arter seg som fiberstukning i overgangen mellom varmt og kaldt virke.

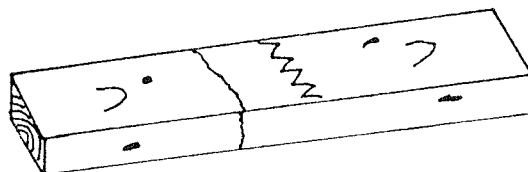
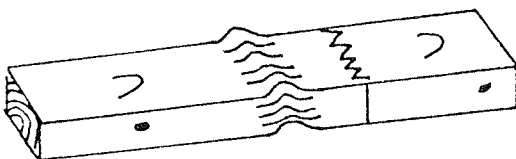


I denne sonen vil fuktigheten kunne bli meget høy, fordi vannet i plankeenden "drives" bakover og samler seg mot den kalde delen.

Varmt og fuktig trevirke har lav trykkfasthet, og vil dermed bare tåle et begrenset endetrykk. Overskrides trykkfastheten, vil fibrene folde seg som vist nedenfor.



Markerte eller diffuse stukelinjer vil komme til syne, alt avhengig av endetrykkets størrelse samt materialenes fuktighet og densitet.



Følgende faktorer er avgjørende for utløsning av slike brudd:

- 1) lav densitet
- 2) høy fuktighet
- 3) høy temperatur
- 4) høyt endetrykk

alene eller i kombinasjon.

Det er avgjørende for resultatet at man ved innstillingen av endetrykket tar hensyn til materialkvaliteten, samt den temperatur plankeenden får ved forvarmingen.

Det er utviklet en teoretisk beregningsmodell som sammen med resultatene fra forsøket danner grunnlag for den vedlagte trykktabell. Følges denne, skulle risikoen for stukebrudd være minimal.

Praktiske forsøk

Vi skjøtte opp serier der vi kombinerte forskjellige materialdensiteter og fuktigheter. Endetrykket ble økt fra et antatt sikkert nivå helt til vi fikk antydning til fiberstukning. Dermed skulle man kunne fastsette et forsvarlig endetrykk for de enkelte seriene. Forvarmingstemperaturen ble forsøkt holdt på ca. 90 °C.

Før hovedforsøket startet, ble pressa kalibrert med tanke på et eventuelt friksjonstap. Dette ble funnet å være meget høyt, slik at virkelig trykk ble langt lavere enn trykkinnstillingen skulle tilsi. NTI vil være behjelpelig med å utføre slike målinger.

Forsøksdata

Presse	:	Sundin
Hf-anlegg	:	Philips-Elphiac
Materialkvalitet	:	T 24, visuelt sortert
Densitet	:	0.34 og 0.40 g/cm ³
Fuktighet	:	15 og 22 %
Fingerlengde	:	20 mm

Teori

Som nevnt tidligere er det utviklet en teori for beregning av materialenes trykkfasthetsgrense under ulike forhold. Denne modellen vår antar vi inneholder stor grad av usikkerhet for temperaturer over ca. 90 °C, på grunn av manglende data i litteraturen. Derfor har vi kombinert erfaringene fra forsøket med beregningsmodellen, for dermed å kunne fastsette forsvarlige endetrykk under alle forhold.

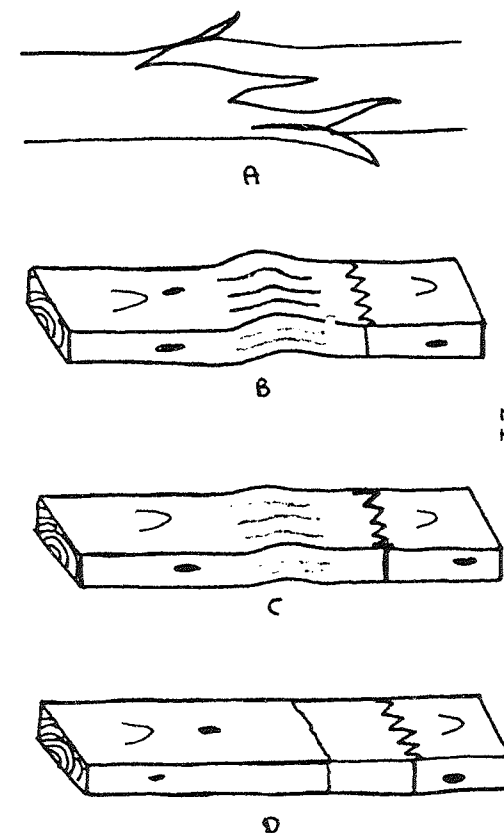
Resultater

På neste side er det satt opp i tabell resultatene fra forsøket, samt teoretisk bruddgrense for de aktuelle betingelsene. Husk at denne er forbundet med usikkerheter ved høye temperaturer.

Resultater

Nedenfor er det satt opp i tabell resultatene fra forsøket, samt en teoretisk bruddgrense for de aktuelle betingelsene. Husk at denne er forbundet med usikkerheter ved høye temperaturer.

SERIE	ANT.	TEMP (°C)	BENYTTET TRYKK (MPa)	TEORETISK BRUDDGRENSE (MPa)	ANTALL BRUDDTYPER				
					A	B	C	D	INGEN
Fukt 15% r = 0.40	5*	89	10.0	9.8	3(2)	2	-	-	-
	10	114	9.5	2.3	1(1)	-	1	2	6
	10	-	9.0	-	-	-	-	10	-
	9	-	8.0	-	-	-	-	-	9
Fukt 15% r = 0.34	8	91	8.0	7.8	4	-	-	-	4
	9	105	7.5	4.2	-	1	-	1	7
	9	107	7.0	3.7	-	-	-	-	9
Fukt 22% r = 0.40	20	113	8.0	2.9	5(5)	7	2	3	3
	21	106	7.0	4.4	-	2	2	11	6
	22	111	6.0	3.3	-	-	1	3	18
Fukt 22% r = 0.34	10	107	6.0	3.6	-	2	-	3	5
	9	111	5.5	2.9	-	-	2	3	4
	10**	106	6.0	3.8	-	-	-	2	8



Tallene i () under bruddtype A, angir antall av kombinasjonen A + B.

r = densitet (g/cm³)

* Serien ble delt i det utgangstrykket på de første prøvene var alt for høyt.

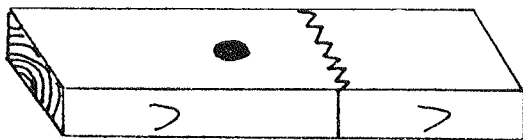
** Denne serien har en presstid på 1.5 sek., de øvrige har 3.5 sek.

Kommentarer

I alle prøveseriene (untatt 2) har vi fått stukeskader i den kritiske sonen der det kalde og varme partiet møtes. Vi ser også at overensstemmelsen mellom teoretisk og beregnet trykkfasthetsgrense er forholdsvis god der temperaturen ligger rundt 90 °C.

De fleste seriene har fått en Hf-temperatur rundt 105 - 115 °C, og her er forskjellen mellom teori og praksis større. Det påsatte endetrykket er ofte mye høyere enn de beregnede verdier for bruddgrense, selv om stukeskadene er små. Dette taes som bevis på at beregningsmodellen er usikker over ca. 90 °C. i forvarmingstemperatur.

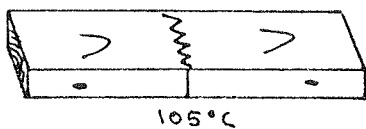
Forsøk er også utført der tillatte kvister ligger i den kritiske sonen. På grunn av deres fiberforstyrrelser, vil bruddene ha en tendens til å utløses ved et noe lavere endetrykk enn om de ikke hadde vært der. Dette har man tatt hensyn til ved oppsetting av trykktabellene.



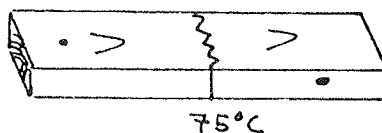
Vi regner med en naturlig variasjon rundt middeltemperaturen ved forvarmingen på ca +/- 15 °C. Dette skyldes forskjeller innen densitet og fuktighet i pakkene.

Dersom man kjører anlegget slik at ønsket midlere temperatur ligger på ca. 90 °C, fåes en øvre og en nedre verdi på henholdsvis 75 og 105 °C.

Forholdene ved 105 °C bør derfor være basis for trykkfastsettelsen, idet disse plankene vil tåle minst.



Lavere trykkfasthet



Høyere trykkfasthet

Ved beregning av et sikkert endetrykk for alle fuktigheter og densiteter, har vi benyttet den teoretiske beregningsmodellen ved 90 °C. Deretter har vi redusert verdiene med en viss prosent funnet fra de praktiske forsøkene, for dermed å komme fram til trykkene ved 105 °C. Fordi kvister i den kritiske sonen kan utløse bruddene tidligere enn antatt, har vi også justert noe for dette.

For forsøket, og de betingelsene som dette er utført under, kan vi sette opp følgende maksimale endetrykk som ikke skal gi stukebrudd :

Fuktighet %	Densitet g/cm ³	Hf-temp. °C	Maksimalt anbefalt trykk MPa
15	0.40	90	7.5
15	0.34	90	6.5
22	0.40	90	6.0
22	0.34	90	5.0

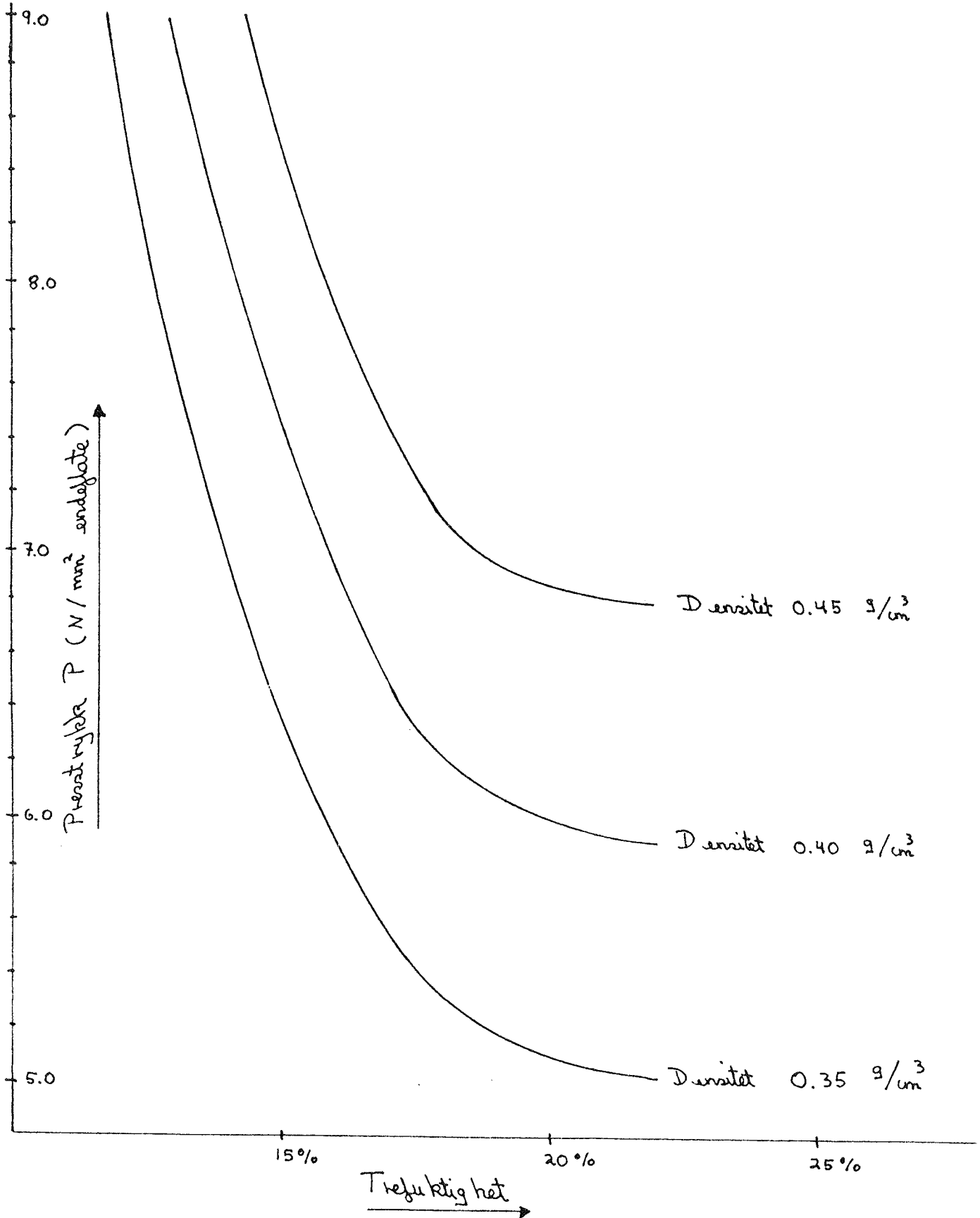
Tallene angir det virkelige trykk, altså ikke inkludert friksjonstapet. Dette må plusses på.

Sluttkommentarer

På neste side er anbefalt endetrykk for de produksjonsforhold man normalt har innenfor fingerskjøtekontrollens ramme satt opp i kurveform.

NB! Husk at friksjonstakpet i trykksystemet må legges til. Dersom fingerlengden er over 30 mm, må man også ta i betraktning splittingsfaren ved fingerbunnene. De gitte trykk vil dermed i enkelte tilfeller måtte reduseres ytterligere.

Kurvene angir øvre grense for endetrykk, ved en middlere Hf-temperatur på ca. 90 °C. Pressas eventuelle friksjonstap i trykksystemet må påplusses.

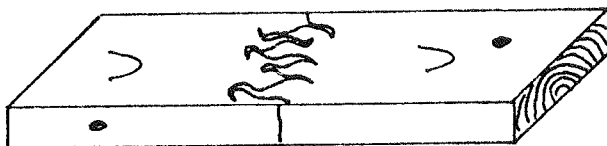


Del 2

Stukebrudd ved Hf-oppvarming under press

Ved denne måten å utherde limfugene på, vil limet i første rekke bli oppvarmet. Treet rundt er forholdsvis kaldt, med unntak av de nærmeste fiberlagene.

Ved et for høyt endetrykk, vil stukingen arte seg på en helt annen måte enn ved Hf-oppvarming. Deformasjonene vil nå komme direkte i fingrene, fordi treet rundt er kaldt nok til å tåle påkjennningene.



Under sammenpressingen antar vi at følgende skjer :

Det bygges opp krefter sideveis, grunnet kilevirkningen. Cellelagene like bak limfugen vil være varme, og kan bli komprimert for mye dersom endetrykket settes for høyt.

I starten av presset er temperaturen lav og trykkfastheten høy. Etter som temperaturen i de nærmeste cellelagene øker, vil trykkfastheten sideveis avta. Dermed kan man nå en grense hvor komprimeringen blir for stor. Fuktigheten i disse cellelagene kan bli forholdsvis høy, grunnet vannet i limet.

Sideveggene trykkes så sammen, og det blir plass for videre bevegelse innover. Dette kan fortsette helt til fingrene bunner, hvor de vil krølle seg eller skjære seg inn i motstående fingerbunn. Presstidene ved slike anlegg er forholdsvis lange, ca 10 til 15 sek. Deformasjonene har dermed god tid til å utvikle seg.

Ved avlastning av endetrykket, kan de krøllede fingrene føre til at trebitene føres noe fra hverandre igjen (fjærvirkning).

Utherdingshastigheten vil også være med på å bestemme graden av deformasjon. Hurtige lim vil herde mer på samme tid enn det de langsomme gjør. Presstiden kan kortes ned, og dermed vil også muligens komprimeringsfaren avta noe ved samme trykk.

Vi har et samspill mellom :

- limets reaktivitet
- presstiden
- temperatur i limfugen
- treets fuktighet og densitet

Dette vil avgjøre om man ved et visst trykk skal få deformasjoner eller ikke.

Teoretiske betraktninger

Det er utviklet en teoretisk modell som beregner hva fingerflatene tåler av sidetrykk før de komprimeres og gir rom for videre inntregning. Vi antar at denne kan benyttes for temperaturer opp til ca. 90°C med tilstrekkelig sikkerhet.

Vi har sammenliknet teoretiske og praktiske trykkbetingelser, for på den måten å komme fram til en tabell for fastsettelse av et forsvarlig endetrykk.

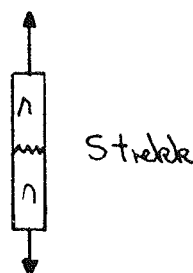
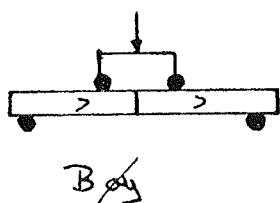
Utførelse av de praktiske forsøkene

Vi skjøtte opp 12 serier der densitet, fuktighet og forskjellige endetrykk ble variert som vist i tabellen på neste side.

På forhånd ble pressa kalibrert, slik at friksjonstapet ble kartlagt.

Serie	Densitet g/cm ³	Prøve antall	Fuktighet %	Trykk MPa
A1	0.39	23	22	6.0
A2	0.39	22	22	7.0
A3	0.39	22	22	8.0
B1	0.34	13	22	4.0
B2	0.34	13	22	5.0
B3	0.34	13	22	6.0
C1	0.39	14	15	8.0
C2	0.39	13	15	9.0
C3	0.39	13	15	9.7
D1	0.34	15	15	4.0
D2	0.34	15	15	5.8
D3	0.34	15	15	7.0

Etter en visuell karakterisering av stukeskadene, ble de fleste skjøtene testet mht. bøyebryddstyrke.



De resterende ble strukket i prøvemaskin for fastleggelse av strekkfastheten. Disse var i mindretall, fordi en forholdsvis lav andel av prøvene var lange nok til dette.

Øvrige forsøksdata

Presse : Obel Pedersen

Fingerlengde : 20 mm

Temperatur under utherdningen : 90-100 °C

Materialer : gran i dimensjon 46 * 98 mm

Presstid : 12-15 sek.

Resultater

Nedenfor er det satt opp i tabellform de enkelte seriers forsøksbetingelser, samt teoretisk bruddgrense og en karakteristikk av den observerte stukegraden.

Serie	\bar{r} g/cm ³	\bar{t} °C	\bar{u} %	P MPa	σ_{tN} MPa	P_N MPa	$P_N - \sigma_{tN}$ MPa	Deformasjon
A1	0.39	90	22	6.0	0.6	1.0	0.4	Endel
A2	0.39	90	22	7.0	0.6	1.2	0.6	Mye
A3	0.39	90	22	8.0	0.6	1.4	0.8	Mye
B1	0.34	90	22	4.0	0.5	0.7	0.2	Endel
B2	0.34	100	22	5.0	0.2	0.9	0.7	Mye
B3	0.34	100	22	6.0	0.2	1.0	0.8	Kraftig
C1	0.39	95	15	8.0	0.6	1.4	0.8	Mye-kraftig
C2	0.39	100	15	9.0	0.4	1.6	1.2	Mye-kraftig
C3	0.39	100	15	10.0	0.4	1.7	1.3	Kraftig
D1	0.34	90	15	4.0	0.6	0.7	0.1	Lite
D2	0.34	100	15	6.0	0.3	1.0	0.7	Kraftig
D3	0.34	95	15	7.0	0.4	1.2	0.8	Kraftig

\bar{r} = seriens middeldensitet (målt)

\bar{t} = seriens middeltemperatur (målt)

\bar{u} = seriens middelfuktighet (målt)

P = påsatt endetrykk, friksjonstap innkludert.

σ_{tN} = teoretisk bruddgrense for fingerflatene (beregnet)

P_N = endetrykkets komponent på fingerflatene (beregnet)

Fra tabellen kan vi se at endetrykkets komponent på fingerflatene, P_N , ligger over beregnet bruddgrense for fingerflatene, σ_{tN} i alle seriene.

Dette skulle tilsi at det påsatte endetrykket er for høyt, noe som også er tilfelle idet stukeskader ble funnet i alle seriene.

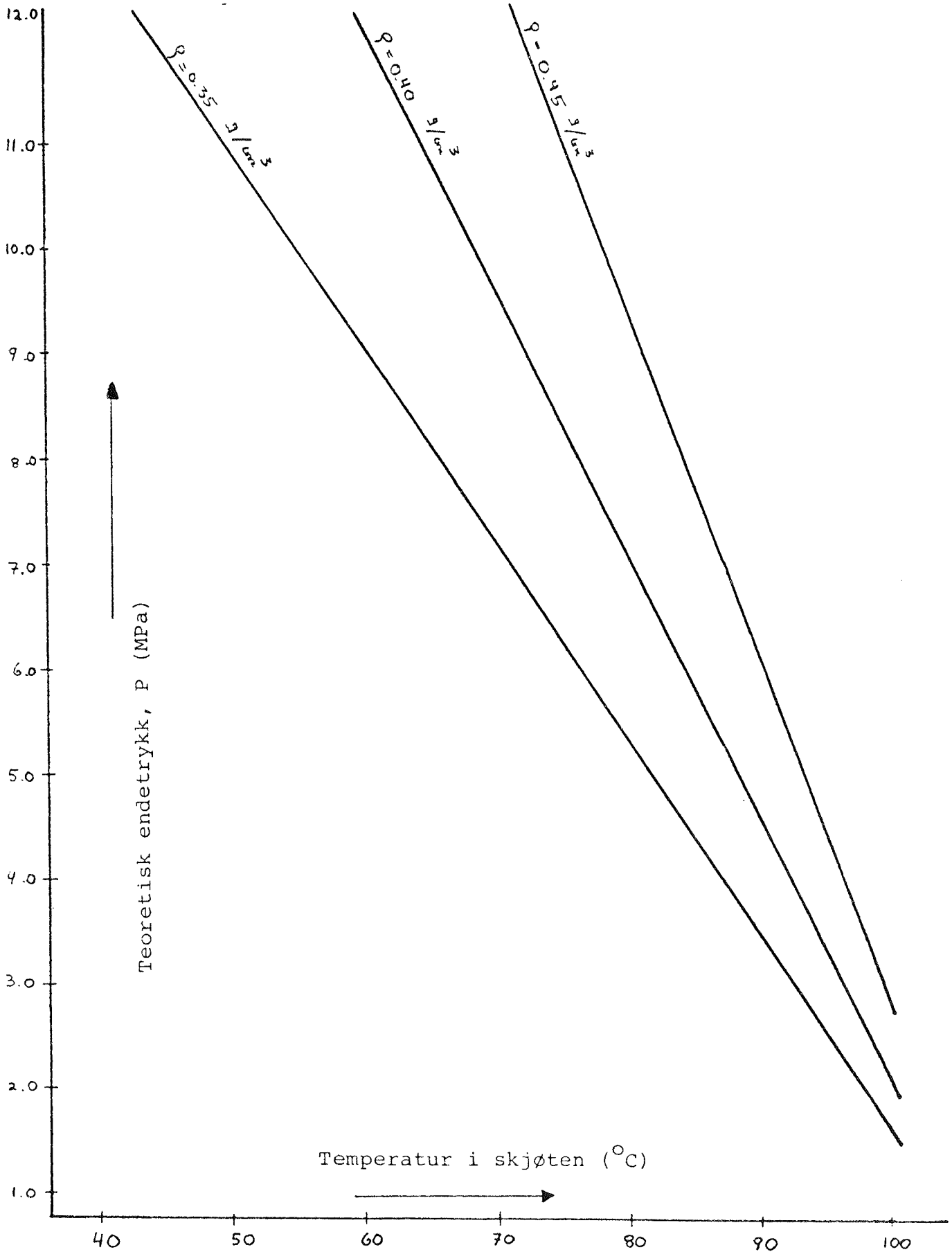
Serie D1 viser små skader, og de få enkeltprøvene hvor dette forekom, har spesielt store årringer. Forskjellen mellom bruddgrense og påsatt trykk er liten.

Disse resultatene skulle tyde på at beregningsmodellen har noe for seg, og at den kan benyttes til å lage trykkangivelser for alle produksjonsforhold der temperaturen under pressing ikke overstiger ca. 90°C.

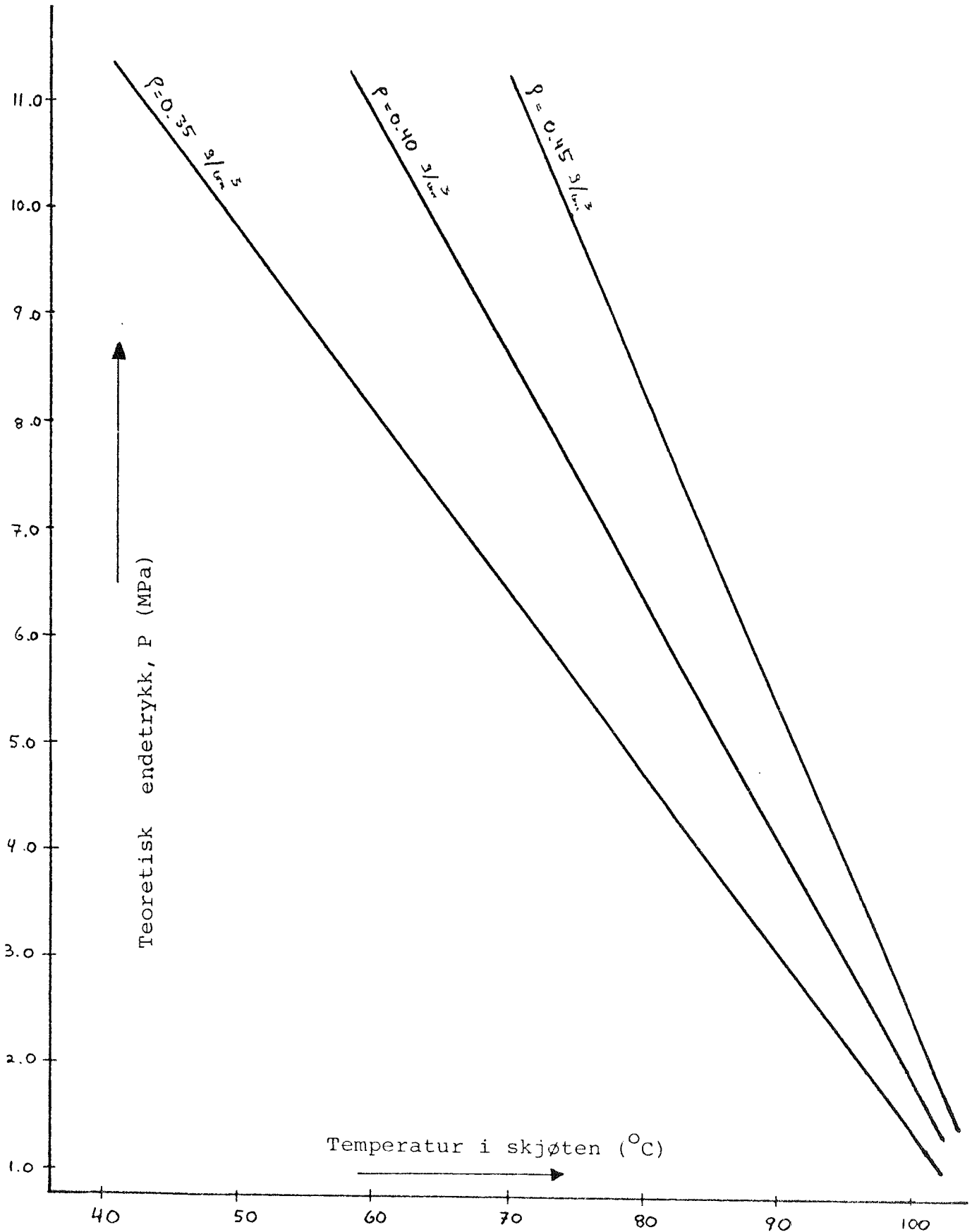
På de neste sidene er dette utført for de betingelser som normalt forekommer ved anlegg der Hf under pressing blir benyttet.

NB! Verdiene gjelder det eksakte påførte endetrykk, der friksjonstapet ikke er innkludert. Før tabellene taes i bruk, må altså pressa kalibreres.

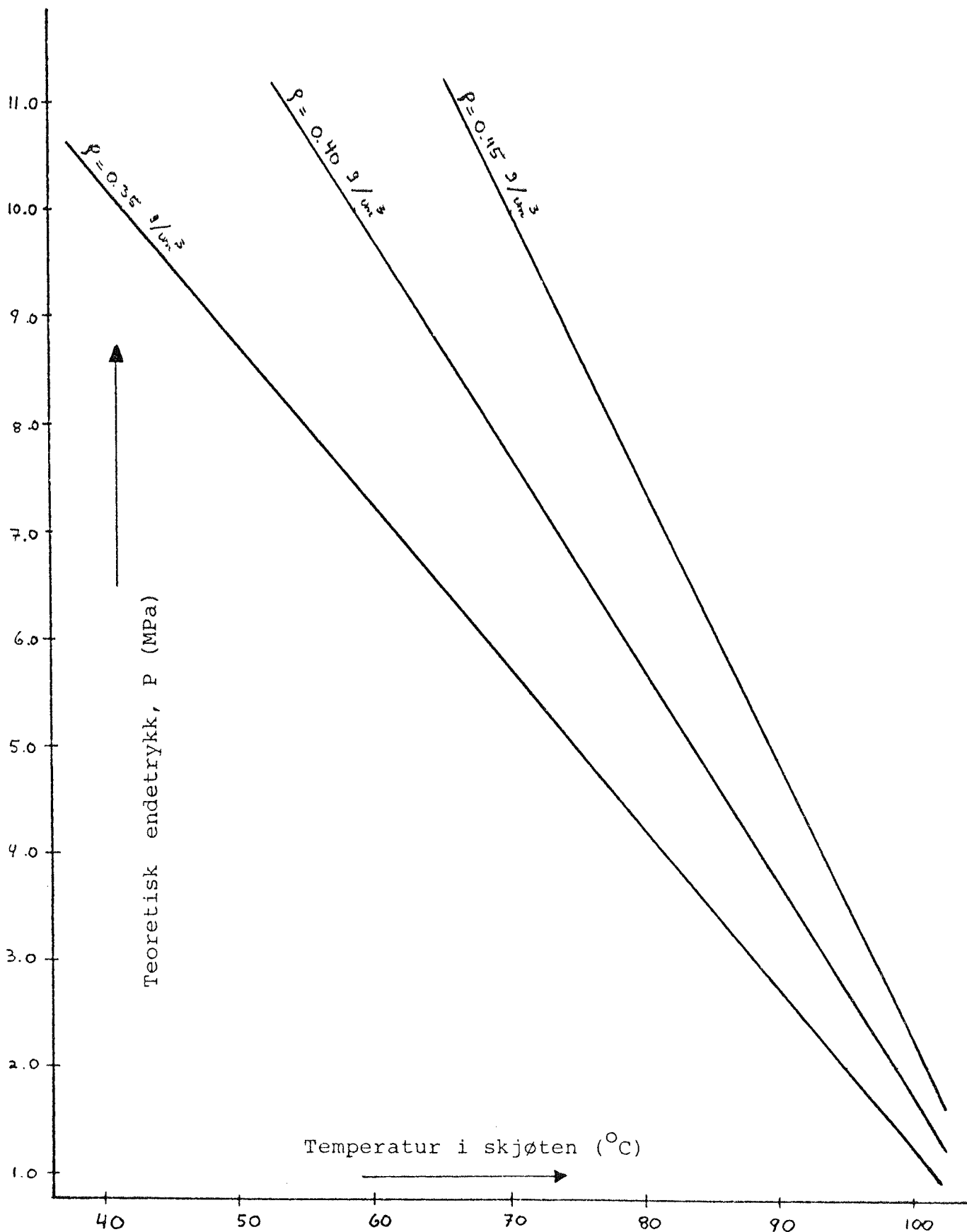
Kurvene viser det maksimalt tillatte endetrykk som funksjon av densitet og temperatur i limfugen ved 15% trefuktighet. Pressa må kalibreres før kurvene kan benyttes.



Kurvene viser det maksimalt tillatte endetrykk som funksjon av densitet og temperatur i limfugen ved 19% trefuktighet. Pressa må kalibreres før kurvene kan benyttes.



Kurvene viser det maksimalt tillatte endetrykk som funksjon av densitet og temperatur i limfugen ved 23% trefuktighet. Pressa må kalibreres før kurvene kan benyttes.



Bøyebruddstyrke

Nedenfor er det vist en tabell over resultatene fra prøvingen.

Serie	Ant	Bøyebruddstyrke, MPa					Grad av staking
		$\bar{\sigma}_B$	S	σ_C	Høyest	Lavest	
A1	14	31.0	7.2	16.6	44.7	12.2	Endel
A2	13	34.0	6.3	21.4	43.1	26.3	Mye
A3	15	29.6	6.1	18.0	40.3	18.9	Mye - kraftig
B1	7	26.1	10.1	3.9	44.1	14.9	Endel
B2	7	16.8	2.1	12.0	20.1	14.1	Mye
B3	6	17.6	3.9	8.6	24.0	13.5	Kraftig
C1	11	18.3	4.4	9.1	28.6	13.4	Mye - kraftig
C2	10	16.9	3.1	10.4	22.7	14.0	Mye - kraftig
C3	8	20.0	2.6	14.3	26.0	17.5	Kraftig
D1	10	37.9	15.1	7.7	55.3	18.0	Lite
D2	13	13.7	1.8	9.0	17.3	11.5	Kraftig
D3	6	14.5	1.9	10.3	17.1	11.8	Kraftig

$\bar{\sigma}_B$ = middelveidi

σ_C = karakteristisk verdi

S = standard avvik

Etter prøvingen kunne man tydelig se stukeformasjoner langsmed fingerfrontene.



Alle bruddene kom i selve skjøten, og det var som oftest meget lite trebrudd. Serie D1 var den som omtrent viste normale verdier, i middel

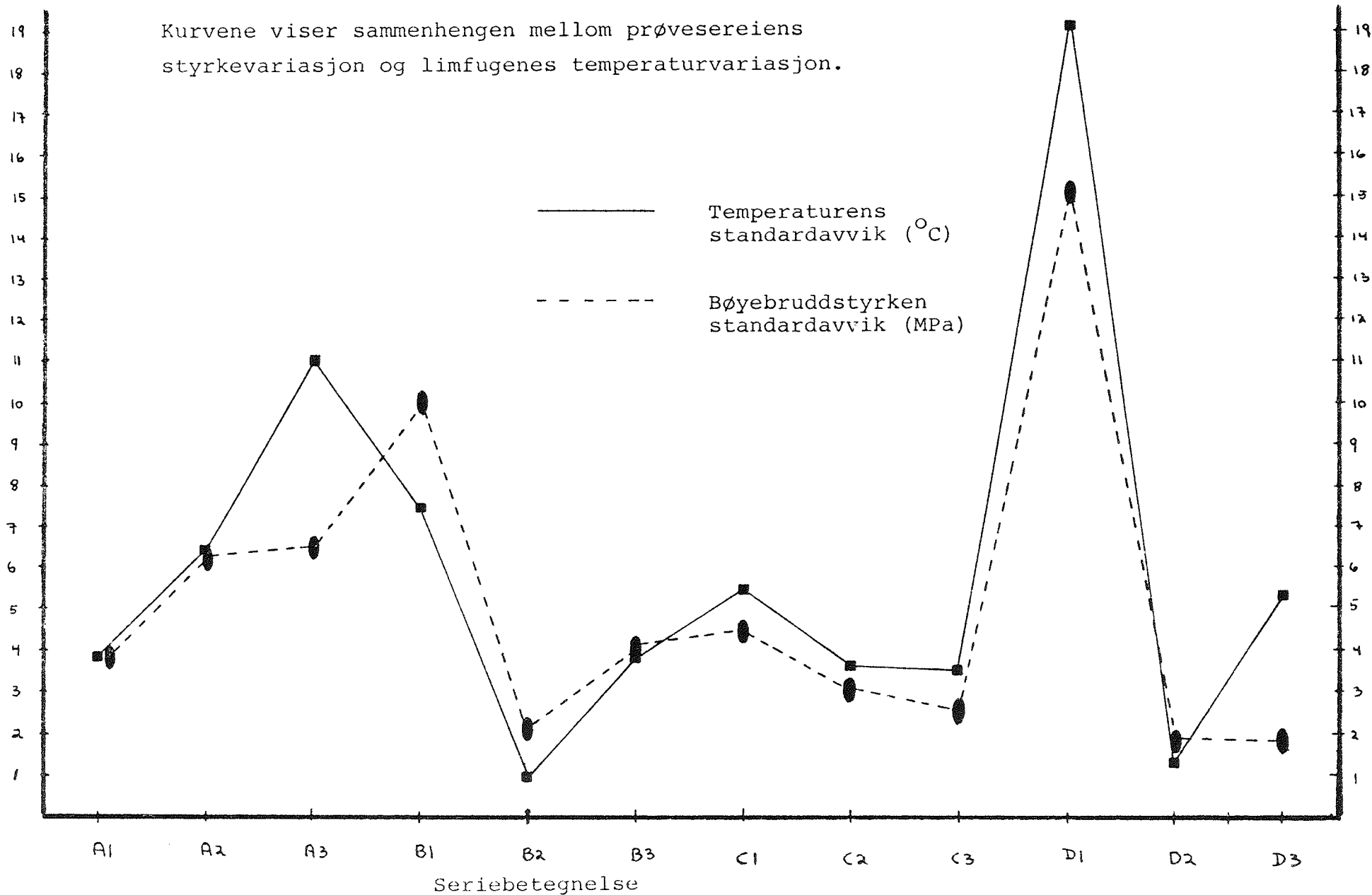
37.9 MPa. Her var trebruddsprosenten meget høy i flere av prøvene, samtidig som stukegraden var liten. Ellers kan man fra tabellen se at stukegraden følger bruddverdiene, dvs. store deformasjoner der styrken er lav.

Følgende serier tilfredsstillter F 24:

- A1 : Bortsett fra en prøve som viste meget store årringer samt lav densitet, ligger alle enkeltverdiene over 24 MPa.
- A2 : Alle enkeltverdiene over 24 MPa.
- A3 : Bortsett fra to prøver med store årringer (18.9 og 20.4 MPa), ligger alle over kravet.
- D1 : Denne serien har høyest middelvei, nemlig 37.9 MPa. Imidlertid er variasjonen i temperatur og dermed styrke så stor, at spredningen i serien er på hele 15 MPa. Vi har liten grad av stukiug, og det som er, opptrer på to prøver med meget høy temperatur (104 og 120 °C) og store årringer.

Resten av seriene når ikke opp mot kravet. Dersom vi ser på spredningen, altså standardavviket i bøyebriiddresultatene, er denne omtrent lik spredningen i temperatur innen hver enkelt serie. Dette er vist på neste side, og bekrefter stukeskadene's temperaturavhengighet.

Kurvene viser sammenhengen mellom prøvesereiens styrkevariasjon og limfugenes temperaturvariasjon.



Strekfasthet

De prøvene som var lange nok ble strukket, og resultatene er satt opp i tabellen nedenfor. Tallene er middelerverdier i MPa.

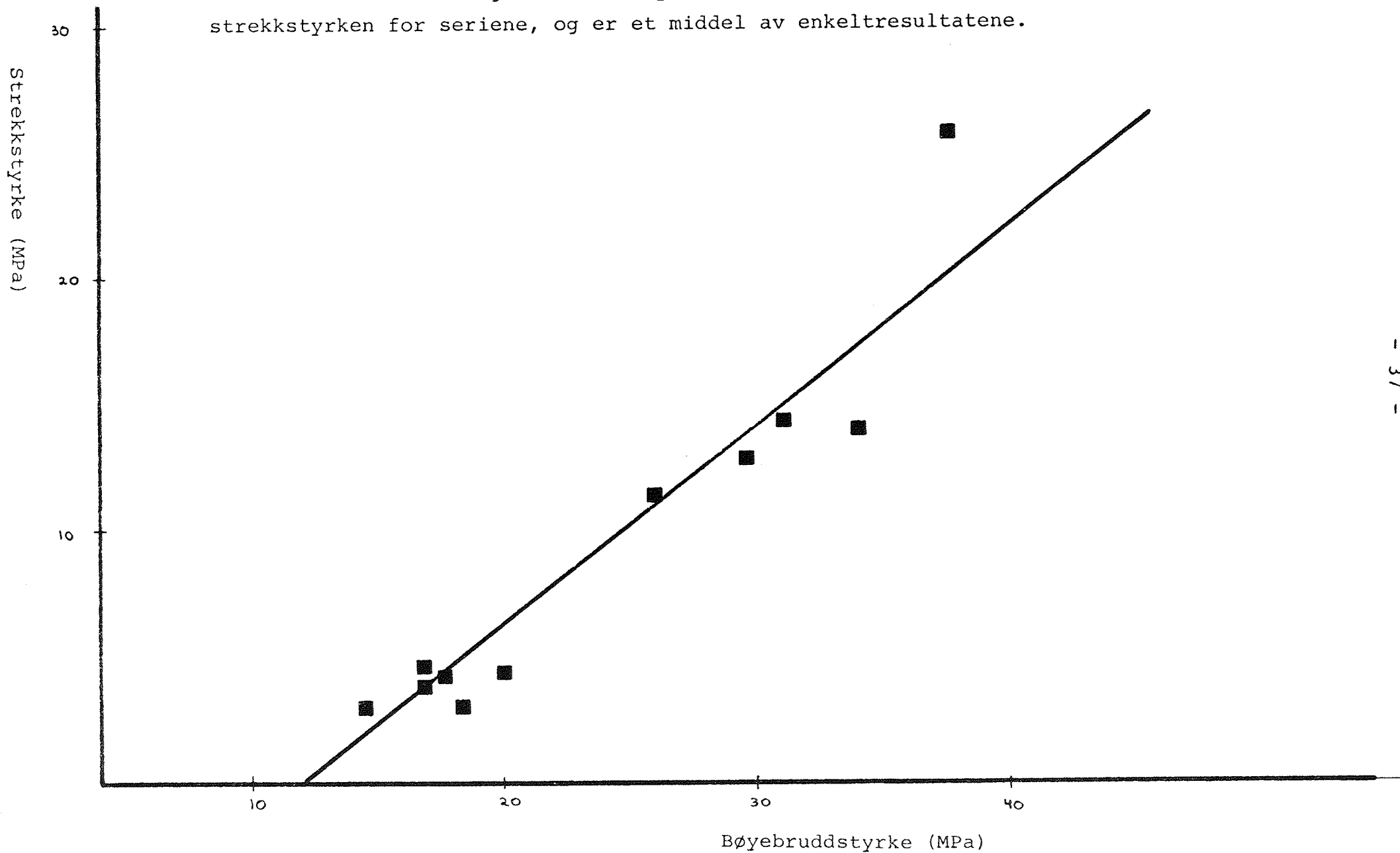
Serie	Prøveantall	Strekkestyrke	Grad av staking
A1	5	14.2	Endel
A2	4	13.9	Mye
A3	4	12.8	Mye - kraftig
B1	3	11.3	Endel
B2	4	3.8	Mye
B3	4	4.1	Kraftig
C1 *	2	3.0	Mye - kraftig
C2	2	4.6	Mye - Kraftig
C3	3	4.4	Kraftig
D1	2	25.6	Lite
D2	Ingen prøver for strekk		
D3 *	4	3.0	Kraftig

* Skjøten gled fra hverandre i det strekkbakkene ble frigjort.

Kravet til strekk for klasse F24 er for korttidsbelastning 16.5 MPa (karakteristisk verdi). Vi ser at våre prøver ligger langt under dette i middelerverdi, og det er kun serie D1 som viser noenlunde akseptable enkeltverdier. Prøveantallet er forholdsvis lite, men tendensen er helt klar. Strekkstyrken synker dramatisk med økende grad av deformasjon.

På neste side er det satt opp på kurveform sammenhengen mellom bøy og strekkverdiene.

Kurven viser sammenhengen mellom bøyebryddstyrken og strekkstyrken for seriene, og er et middel av enkeltresultatene.



Sluttkommentarer

Operatører som under den daglige kontroll registrerer stukebilder på materialene slik dette forsøket har gitt, må straks slå alarm. Slike materialer brukt som konstruksjonslast må ikke forekomme.

Skader i fingrene slik vi nå har omtalt, er blitt registrert ute på byggeplasser og påtalt av fingerskjøtekontrollen ved besøk på enkelte bedrifter. Vi ser på dette som en meget alvorlig feiltype, fordi skjøtene ser ut til å ha nok styrke til å komme gjennom skjøteprosessen uten å bli oppdaget. Skadene kan være vanskelige å se med det blotte øyet, spesielt dersom materialene ikke blir justert etter skjøting.

NTI oppfordrer alle bedrifter som benytter Hf under pressing til å få sitt utstyrt kalibrert. Dermed kan de vedlagte trykkurver brukes til å fastsette et forsvarlig endetrykk, avhengig av lastens kvalitet.

IV Fingerskjøting av konstruksjonsvirke med varierende fuktighet og ved bruk av Hf-forvarming

Prosjektet er todelt, der del 1 ser på betydningen av lave trefuktigheter mht. skjøtenes endelige styrke ved de forhold som kan opptre ved et Hf-anlegg. Videre er styrkeutviklingen straks etter sammenpressing undersøkt.

Del 2 tar for seg de samme forhold, men nå med kun den ene Hf-generatoren i drift. Det vi ønsket å få svar på her, var om det lot seg gjøre å overvåke automatisk temperaturen kun på den ene plankeenden. Man kan da risikere at en kald og en varm ende skjøtes sammen uten at kontrollsystemet reagerer. Forsøket går altså ut på å se om ensidig oppvarming er tilstrekkelig til å gi en styrke i skjøten som kan greie påkjenningene ved feks. høvling direkte i linjen.

DEL 1.

Lave trefuktigheter kan forekomme om vinteren, dersom trelasten lagres innendørs over tid.

Forsøksopplegg

Materialer	: Gran i kvalitet T 30.
Dimensjon	: 50 * 100 mm.
Fuktighetsnivåer	: 8, 17 og 23 % trefuktighet.
Fingerpresse	: Cook-Bolinder.
Fres	: Larsen, 11 mm.
Limtype	: Casco 1774 / 2573 + 2673
Presstrykk	: 8.0 MPa.
Lokaltemperatur	: 20 °C.
Temperatur under utharding	: Kaldskjøting, samt Hf-forvarming til 90 C.
Antall prøver i seriene	: ca. 17.
Prøving	: strekkfasthet ved NTI, samt bøyefasthet på bedriftens egen prøvemaskin.

Seriene som omfattet prøving på bedriftens prøvemaskin, inneholdt 5 skjøter.

Resultater fra strekkforsøkene

Verdier i MPa.

	Hf-forvarming			Kaldliming		
	8%	17%	23%	8%	17%	23%
Prøveantall	16	17	16	15	16	16
Middelverdi	37.7	37.9	38.2	33.5	38.7	38.8
St.avvik	3.9	6.1	4.3	9.2	3.5	5.4
Karakt. verdi	30.0	25.6	29.3	15.0	31.7	28.0

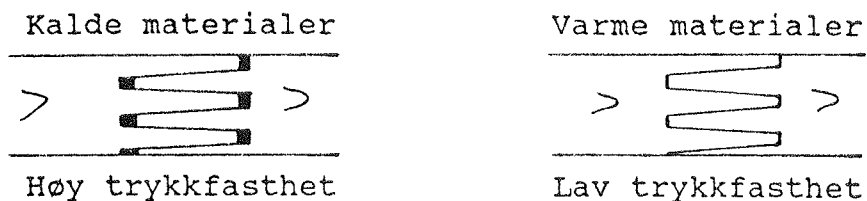
Alle seriene ble sortert slik at densitetsfordelingen i hver av dem var lik.

Når det gjelder Hf-delen, viser forsøkene at trefuktigheter ned mot 8% ikke virker nedsettende på strekkstyrken. Årsaken er antakelig at den høye temperaturen plastifiserer treet såpass at fuktingen av limet til overflaten samt passningen i skjøten blir tilfredsstillende.

Dersom man skjøter ved romtemperatur, ser det imidlertid ut som om en viss styrkenedsettelse finner sted. Prøveresultatene er behandlet statistisk, og man finner da en klar forskjell mellom seriene. Alle enkeltprøvene i 8% gruppen viser brudd i skjøten, samtidig som enkelte av dem har dårlig passning (stor bunnklaring).



Årsaken til dette ligger i at det benyttede endetrykk er innstilt med tanke på Hf-forvarming. Vi har benyttet 8.0 MPa, som er et vanlig trykk i en slik prosess. Ved kalde materialer vil trykkfastheten være høy, og dermed kreves det et forholdsvis høyt trykk for å føre fingrene helt sammen. Dette er særlig kritisk ved små fingre.



Ved vår benyttede fingerprofil (11mm) skulle trykket ifølge DIN-normen være ca 11.5 - 12.0 MPa ved kaldskjøting. Den situasjonen vi nå har simulert, vil være identisk med de tilfeller der forvarmingen av en eller annen grunn har sviktet, eller er sterkt redusert. Trykkreduksjonen er på hele 30% i forhold til DIN-normen.

Styrkeutviklingen i skjøten straks etter liming i de seriene der Hf benyttes

Fukt. (%)	Bøyefasthet 6 min etter skjøting (MPa)	Temp. (°C)	30 min. etter (MPa)	Temp. (°C)
8	24	87	37	54
17	23	85	31	61
23	21	97	31	65

Nødvendig håndteringsstyrke anslås til å være ca 10.0 MPa før en eventuell høvling. Vi ser at etter 6 min. ligger man på nivå med kravet til F 24, som er 24 MPa. Trefuktigheter ned mot 8% ser ikke ut til å ha hatt noen betydning.

Vi har i forsøket benyttet last sortert visuelt til T 30, og en fingerlengde lik 11.0 mm. Densiteten i prøvemengden er forholdsvis høy. Det er mulig andre produksjonsforhold, fingergeometrier og kvaliteter vil gi resultater forskjellig fra det vi har fått her.

Sluttkommentarer





Vi vet at «uforklarlige» brudd i fingerskjøter forekommer sporadisk, ofte fra anlegg der Hf-forvarming benyttes. Derfor tror vi at lavere temperaturer enn normalt ved slike anlegg kan føre til svake skjøter. Presstrykket er justert ned for ikke å risikere å få stukebrudd i sonen like bak fingerskjøten, på grunn av den høye temperaturen.

Man risikerer at tørre planker med forholdsvis høy densitet ikke får den sammenpressingen som skal til når temperaturen er lavere enn presstrykket tilsier. Dette kan redusere bøye- og strekkfastheten vesentlig. Dersom den utfreste profil i tillegg ikke er helt perfekt (sløve stål, feilsliping) vil situasjonen bare forverres.

DEL 2.

Utførelse

For å få et inntrykk av hvordan skjøtens styrke blir ved ensidig Hf-oppvarming, skjøtte vi opp følgende prøveserier:

serie 1	serie 2	serie 3	serie 4
8%	23%	8%	23%
			
*	*	*	*
8%	23%	23%	8%

* angir den enden som oppvarmes.

Øvrige forsøksdata

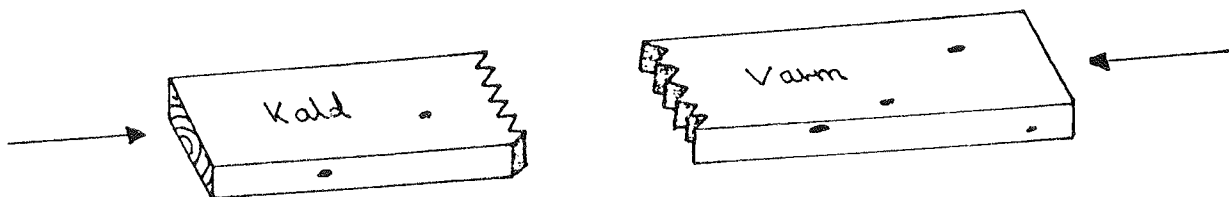
Forsøkene er utført på samme anlegg som under del 1.

Materialkvalitet : Visuelt sortert til F 24.

Presstrykk : 8.0 MPa.

Utgangstemperatur
i lasten : ca 15 °C.

Densitetsfordelingen i de forskjellige seriene er lik.



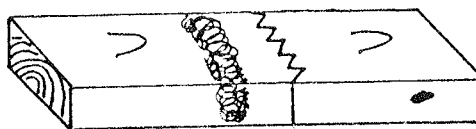
Resultater fra strekkforsøkene (MPa)

Serie	1	2	3	4
Antall	8	9	8	11
Middelverdi	35.5	36.0	33.0	38.5
St. avvik	6.9	7.9	4.0	7.6
Karakt. verdi	20.4	19.4	24.1	23.3
Temperatur i enden 4 min etter pressing	110°C	130°C	130°C	110°C

Serie 1 og serie 2 viser identiske verdier, med mye brudd i materialene.

For serie 3 og 4 viser statistiske beregninger at man kan ane en forskjell mellom dem, men det er ikke tilstrekkelig fastslått. Verdiene for alle seriene ligger over kravet til strekk for F 24, som er 16 MPa.

Produksjonstekniske årsaker førte til at materialene under dette forsøket ble liggende for lenge under Hf-elektrodene, slik at flere av de fuktige plankene ble for varme. Temperaturer opp mot 140°C ble registrert, noe som resulterte i forkulling i sonen like bak skjøten.



Endel av bruddene kom i slike soner, og det er derfor mulig at resultatene for de fuktige seriene ligger for lavt. Den høye temperaturen kan også ha ført til en noe forbedret passning for de tørre prøvene. Imidlertid ser det ut til at den ensidige forvarmingen har gitt god liminntregning samt passning, selv for de tørre materialene.

Det ser altså ut til at den endelige styrke blir tilfredsstillende med kun en generator i drift, men vi må ta et forbehold mot en eventuell innvirkning av de høye temperaturene.

Styrkeutviklingen i skjøten straks etter pressing

Ved dette anlegget får prøvene en oppholdstid på kun 4-6 min før de går inn i høvelen, og derfor har vi foretatt bøyepåkjenningen 4 min etter sammenpressingen.



Verdier i MPa.

Serie	Antall	Bøyefasthet	Temperatur ved prøving
8% i begge	4	12.8	110 °C
23% i begge	4	12.3	130 °C
23 og 8%, 8% varmes opp	3	10.0	105 °C
23 og 8%, 23% varmes opp	2	14.5	140 °C

Prøveantallet er forholdsvis lite, men visse slutninger kan trekkes.

Styrken synes tilstrekkelig for håndtering, men temperaturen er for høy spesielt for de fuktigste materialene. Vi har tidligere anslått 10.0 Mpa som minimumstyrke for en eventuell høvling direkte i linjen. For å greie dette ved ensidig oppvarming, ser det ut til at temperaturen ved utgangen av Hf må være ca. 115-120 °C. Dette er for høyt, og kan føre til skader som beskrevet tidligere.

Dersom anlegget hadde fungert tilfredsstillende under forsøket, ville temperaturen i endene ligget lavere. Dermed hadde herdereaksjonen gått tregere, og kravet til 10.0 MPa vært langt vanskeligere å nå, spesielt for tørre materialer.

Sluttkommentarer Del 2

Poenget med Hf-forvarming er å oppnå en rask produksjon, og et produkt som kan bearbeides umiddelbart. Metoden må være så stabil at alle skjøtene tåler påkjeningen. En automatisk kontroll og overvåking av forvarmingen, vil kunne eliminere en hel del problemer.

Tosidig kontroll.

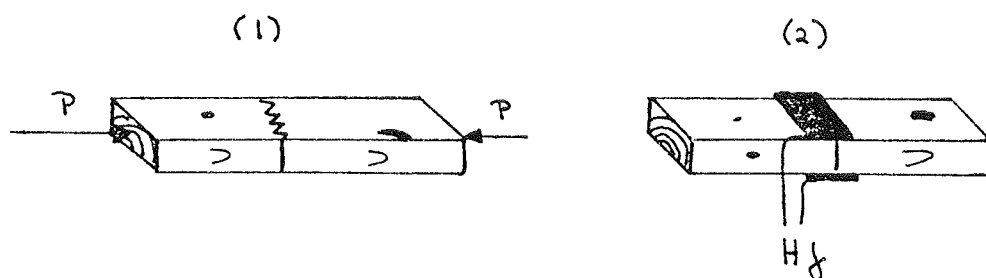
Kontroll av plankens begge ender vil være den sikreste metoden. Man kan tenke seg systemet fungere slik at planker med for lav temperatur automatisk taes ut av linjen før fresing. Disse bør da ligge en viss tid for avkjøling (dersom varme er tilført), før ny innmating skjer. Utgiftene til et slikt system kan lett blir store, og man kan spørre seg om det ikke er tilstrekkelig med kontroll av kun den ene enden.

Ensidig kontroll.

Ensidig oppvarming med Hf tilfører skjøten redusert varmemengde, noe som krever lengre etterherdingstid for å klare en eventuell høvling i linjen. Systemet må baseres på en tilstrekkelig høy minimumstemperatur. Skjøten må få nødvendig styrke i de tilfellene der den ene biten er helt kald, og temperaturen i den andre ligger på minimumsverdien. Det bør eventuelt stilles strenge krav til lastens temperatur i utgangspunktet. For fastsettelse av en forsvarlig minimumsverdi, må forsøk utføres ved de forskjellige typer anlegg.

V Etterherding av fingerskjøter med høyfrekvens (Hf)

Anlegg som skjøter ved romtemperatur, er pålagt å etterherde de skjøtte plankene strølagt ved 30°C i 12 timer. Dette forsøket går ut på å se om limet kan herdes ut med Hf separat etter sammenpressingen. Håndteringsstyrken bygges raskt opp, og dermed vil man kunne bearbeide de skjøtte materialene umiddelbart.



Materialer

Det ble benyttet gran i dimensjon 50 * 200 mm, som senere ble splittet ned til 20 * 88 mm før prøving på bøy og strekk.

Trelasten var rester etter prosjektet "Ekstra sterke fingerskjøter", og denne bestod av forskjellige kvaliteter.

Forsøksopplegg

Det ble i alt skjøtt 8 serier med 7 skjøter i hver. 4 av disse ble limt med lim på slutten av sin brukstid, og de resterende med nyblandet lim.

Innen hver av disse hovedgruppene foretok man skjøting med Hf-oppvarming under press, og Hf-oppvarming separat etter sammenpressing. Hver av disse ble sammenliknet med serier skjøtt kaldt og utherdet ved henstand.

Materialkvaliteten i hver Hf-serie og tilhørende serie skjøtt kaldt, var lik.

På neste side er opplegget skissert:

Gammelt lim		Nyblandet lim	
a	b	c	d
Hf 45 min etter press	Hf under pressing	Hf 45 min etter press	Hf under pressing
sammenliknes med	sammenliknes med	sammenliknes med	sammenliknes med
kald- skjøting	kald- skjøting	kald- skjøting	kald- skjøting
A	B	C	D

Serie a skal altså under tallbehandlingen sammenliknes med A, b med B, osv. fordi materialkvaliteten her er lik.

Delgruppene A-a, B-b, C-c, D-d har innbyrdes ulik materialkvalitet, slik at disse ikke kan sammenliknes seg imellom.

Øvrige forsøksdata

Lokaltemperatur	: 11°C.
Endetrykk ved pressing	: 9.7 MPa.
Fingerlengde	: 20 mm.
Lim	: 1711/2620 fra Casco.
Påføringsmetode	: manuell med kloss.
Gammelt lim	: limet var i bruk ca 1 1/2 time, og deretter oppbevart ca 2 timer i kjøleskap før det ble benyttet til våre forsøk.
Presstid kaldskjøting	: 8 sek.
Tider ved separat Hf-etterherding	: 8 sek presstid, 18 sek Hf-tid.
Presstid ved normal Hf-oppvarming	: ca 18 sek.
Etterbehandling	: skjøtene ble ved NTI splittet opp til endelig prøvedimensjon. Deretter etterkondisjonering ved 20°C og 65% Rf. før testing.

Resultater

Limets alder	Utherdingsmetode	Bøy (MPa)		Strekk (MPa)	
		$\bar{\sigma}_B$	σ_C	$\bar{\sigma}_S$	σ_C
Gammelt	Hf 45 min etter press	66.4	51.5	38.6	27.6
Gammelt	Kaldskjøting	60.3	40.5	36.9	17.5
Gammelt	Hf i pressen	62.5	51.3	46.8	31.7
Gammelt	Kaldskjøting	60.1	42.6	45.3	23.1
Nytt	Hf 45 min etter press	59.6	39.2	46.2	27.5
Nytt	Kaldskjøting	51.9	33.5	38.3	17.0
Nytt	Hf i pressen	56.2	30.2	42.2	20.1
Nytt	Kaldskjøting	56.5	36.0	37.5	23.3

Resultatene fra forsøket tyder på at utharding separat etter pressing, ikke reduserer skjøtenes styrke sett i forhold til normal Hf-oppvarming i pressa. Prøveantallet innen hver serie er lavt, og for å få et bedre tallgrunnlag kan man slå sammen verdiene for "nytt" og "gammelt" lim.

Utherdingsmetode	Bøy (MPa)		Strekk (MPa)	
	$\bar{\sigma}_B$	σ_C	$\bar{\sigma}_S$	σ_C
Hf 45 min etter press	63.0	46.4	42.7	27.5
Kaldskjøting	56.1	37.9	37.5	20.5
Hf i pressen	59.4	41.0	44.5	27.9
Kaldskjøting	58.2	42.6	41.0	23.6

Ved å sammenlikne Hf-gruppene med sine respektive referanseserier, vil man også nå se at Hf-utharding separat etter sammenpressing ikke gir dårligere resultater enn den tradisjonelle metoden.

Sluttkommentarer

Forsøkene tyder på at metoden der Hf-oppvarming av limet blir benyttet separat etter skjøting, ikke har negativ innvirkning på bøy- og strekkstyrken. Man har da sammenliknet med Hf i pres-seøyeblikket, samt serier skjøtt kaldt.

VI Undersøkelse av limpåførings- utstyr for fingerskjøting, der lim og herder sprøytes på hver for seg

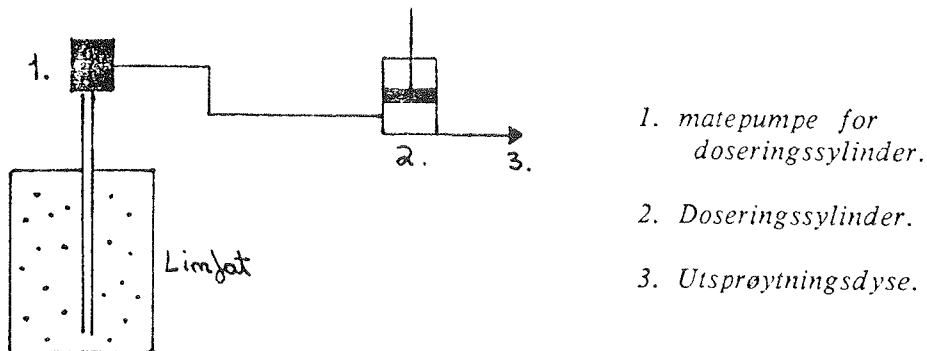
Denne type limpåføringsutstyr er av svensk fabrikat, og er montert ved endel fingerskjøteanlegg i Norge.

På bakgrunn av erfaringer med systemet gjennom Norsk Limtrekontroll, har man funnet det nødvendig å se på driftssikkerheten av dette.

Beskrivelse av anlegget

Systemet består av to separate enheter som fører fram herder og lim til hver sin(e) dyse(r).

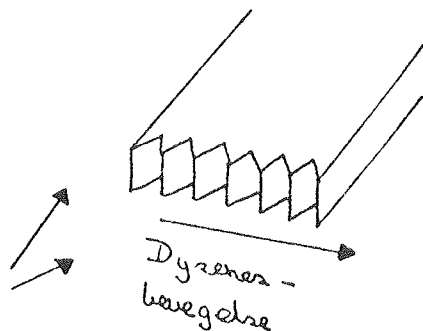
Skjematisk er en slik enhet vist nedenfor.



I Norge er det i alt 7 anlegg i drift, og disse kan være noe forskjellige mht. dysearrangement og sprøyteretning.

Type 1

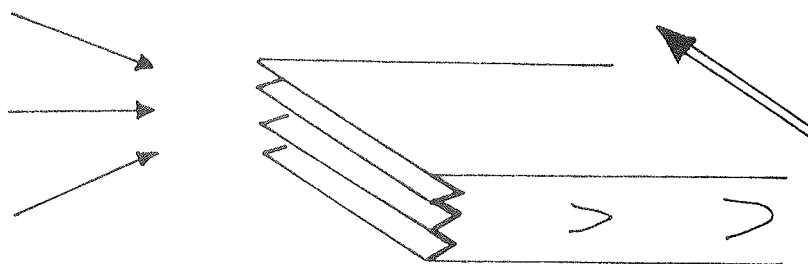
Fingrene er her synlige på flatsiden av planken, og denne står i ro under påføringen. Man har 1 limdyse og 1 herderdyse som sprøyter samtidig ved sideveis bevegelse.



3 bedrifter har anlegg som beskrevet her, men en av dem sprøyter også på returbevegelsen.

Type 2

Her passerer planken forbi dysene med konstant hastighet for alle dimensjoner. Fingrene er synlige på kantsiden, og man har 2 limdyser og 1 herderdyse.



2 anlegg er i drift. Det ene skal bygges om, slik at planken står rolig og dysene beveger seg opp og ned.

Type 3

Planken står rolig med liggende fingre, der 2 limdyser og 2 herderdyser påfører i opp-og nedadgående bevegelse (på tverrs av fingertuppene). 2 anlegg i drift.

Doseringstabellen for lim og herder

Denne er utviklet for brukere i Sverige, hvor det i hovedsak benyttes 32 mm fingre. Mengden ut av dysene er satt ut fra et limbehov på 300 g/m² fingerflate, og inkluderer noe søl under sprøytingen.

I Norge benyttes hovedsakelig 20 mm fingre. Disse har mindre limareal, og trenger derfor mindre doseringer enn det som tabellen sier.

Limmengde 20 mm fingre = 0.77 x limmengde 32 mm fingre.

Doseringstabellen gir med andre ord 23% mer ut enn strengt tatt nødvendig.

NB! Man må ikke redusere limmengdene på det nuværende tidspunkt, fordi sølet ved sprøytingen er for stort. Det ser ut til at de fleste anleggene av denne type er meget limkrevende slik de kjøres i dag.

4 bedrifter er blitt besøkt for gjennomgåelse av påførings-systemene, der vektmengder ut av dysene, blandingsforhold samt dekningsgrad av fingerflatene ble registrert. I det følgende er det satt opp et sammendrag over hva man har funnet.

Sammendrag over erfaringer

1. Limtapet som er registrert under selve påføringen er unødig stort. Dette er målt til å ligge i området 20- 53% av utsprøytet mengde. Det burde være mulig å få dette ned til rundt 10%, for dermed å kunne bruke revidert doseringstabell (basert på 20 mm fingre).
2. Flere anlegg har problemer med at filtre tettes og med utilfredsstillende sprøytebilder, spesielt ved nesten tomt limfat. Dette krever ofte rengjøring, noe som er meget tidkrevende.
3. Problemer med sprøytebildet oppstår ofte ved små dimensjoner. Operatøren må overdosere for å få en tilfredsstillende påføring
4. Det er et spørsmål om pumpe-systemene er gode nok til å dosere små kvanta med tilstrekkelig sikkerhet. Man har registrert store variasjoner i utsprøytet mengde, noe som i første rekke går ut over dekningsgraden. Kravet til blandeforhold mellom lim og herder, ser ut til å ligge innenfor toleranse-grensene. Dette gjelder utsprøytet herdermengde i forhold til utsprøytet limmengde.
5. Det stilles spørsmålstegn ved dagens dyse-utforminger, samt antall og plassering av disse. Videre bør man se på sprøyteretning i forhold til fingerretning. Dekningsgraden på materialtverrsnittet er ofte meget dårlig, og det er også registrert variasjoner innenfor korte tidsintervaller.

6. Operatørene må få skikkelig informasjon om innstilling av dyser og sprøyteavstander for hver dimensjon som skjøtes.
7. Sikringssystemet fungerer ikke tilfredsstillende, idet sprøytesølet ikke registreres. Det er umulig å få beskjed om nok lim treffer flatene. Videre er det registrert at soner i materialfronten helt kan mangle herder uten at varslingsystemet har reagert.

Sluttkommentarer

Vi sitter igjen med det inntrykk at limpåføringssystemet slik det fungerer ved de besøkte bedriftene, ikke gir den nødvendige sikkerhet som bør forlanges ved skjøting av konstruksjonslast.

Slik situasjonen er idag, virker det som om operatørens relativt lange erfaring med systemet er årsaken til at det hele går noenlunde bra.

Det ser ut til at limpåføring av tverrsnitt med tykkelse over 50 mm, ikke er akseptabel ved enkelte av de dysearrangementer som benyttes.

VII Fingerskjøters strekkstyrke som funksjon av trefuktigheten

Hensikten med dette forsøket er å se om det lar seg gjøre å skjøte tilfredsstillende ved meget lave trefuktigheter. Dette er kun et laboratorieforsøk, der skjøtingen skal illudere forholdene ved et anlegg hvor høyfrekvens forvarming benyttes.

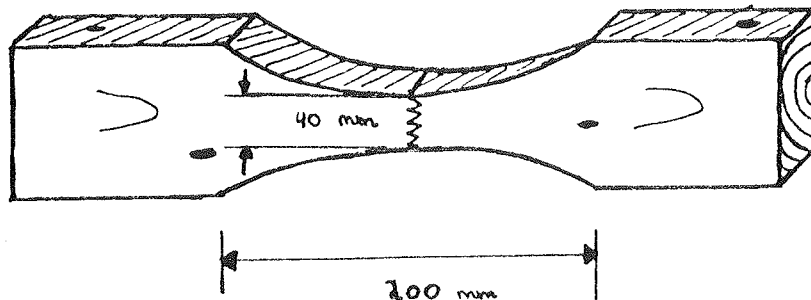
NTI vet av erfaring at det forekommer lave trefuktigheter i last som skal fingerskjøtes, spesielt på vinterstid. Videre har vi erfart at Hf-forvarmingen kan føre fuktigheten i plankeendene ned under 10% dersom tilført varmemengde er for høy.

Utførelse

60 * 150 mm planker i gran og furu ble splittet ned til en dimensjon 30 * 75 mm før skjøting. Fordelingen til de forskjellige prøveseriene var slik at densiteten i disse var sammenliknbare.

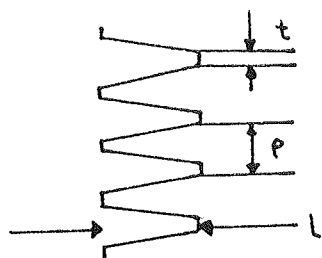
Prøvene ble lagt i varmeskap innpakket i aluminiumsfolie, for så å bli varmet opp til ca 90°C. Innpakkingen ble gjort for å bevare trefuktigheten under oppvarmingen. Deretter ble prøvene skjøtt og etterkondisjonert i klimarom ved 20°C og 65 % relativ luftfuktighet før testing på strekk.

For å få testet selve skjøten, ble prøvene snevret inn rundt skjøtesonen, som vist nedenfor.



Øvrige forsøksdata

Materialkvalitet	:	T 30 visuellt sortert
Antall i serien	:	ca 10
Fuktighetsnivåer	:	15, 10, 6.5, og 2 %
Lim	:	1711/2620 fra Casco
Presstrykk	:	5.5 MPa
Fingerlengde	:	15 mm (l)
Deling	:	3.7 mm (p)
Tupptykkelse	:	0.5 mm (t)



Den benyttede fres har en tverrsnittsreduksjon (R) lik 13.5 %, og et relativt limareal (A) lik 9.4.

R = summen av fingertuppene som prosent av materialbredden.
A = forholdet mellom limflatene og materialtverrsnittet.

Fresens data viser at den egner seg godt til skjøting av høyere materialkvaliteter.

På neste side vises resultatene fra forsøket.

Resultater

Treslag	% fukt	Strekfasthet (MPa)	Karakteristisk verdi (MPa)
Furu	14.0	56.9	39.5
"	10.0	53.8	32.8
"	6.5	57.3	34.2
"	2.0	50.8	32.2
Gran	15.0	46.1	34.5
"	9.5	50.9	35.0
"	6.5	37.5	25.1
"	2.0	56.0	38.4

På grunn av prøvenes fasong ved testingen, vil skjøtesonen få påført de største kreftene. De øvrige materialfeil vil få mindre betydning sett i forhold til skjøtens kapasitet.

Ved lave trefuktigheter vil limet etter teorien fukte treet dårligere, samt gi lavere grad av inntregning. Prøveresultatene tyder ikke på at en slik reduksjon påviselig kan sies å ha funnet sted. Seriene med så lav fuktighet som 2 % viser begge høye verdier, og sannsynligvis har den høye temperaturen (90°C) bedret fukting og inntregning.

Tidligere undersøkelser ved NTI har vist at en markert styrkereduksjon finner sted dersom man skjøter ved lave fuktigheter og ved en temperatur på 20°C.

Sluttkommentarer

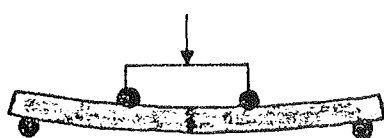
Forsøket konkluderer med at det lar seg gjøre å skjøte trelast ved lave trefuktigheter, dersom temperaturen er høy nok ved sammenpressingen (ca 90 °C). En forutsetning må også være at alle trinn i prosessen fungerer optimalt, og at endetrykket er tilstrekkelig til å føre fingrene skikkelig sammen.

Vi har ved dette forsøket benyttet en fres med gode egenskaper, og det er derfor mulig resultatet ville ha blitt annerledes dersom en mer ugunstig profil var blitt benyttet.

VIII Ekstra sterke fingerskjøter

Fingerskjøter med høyere styrke enn det som produseres i dag, kan med fordel benyttes i limtreproduksjonen. Lameller med stor kapasitet kan plasseres på trykk og strekksiden, for dermed å øke bjelkenes kapasitet.

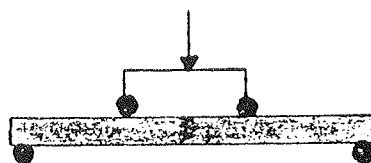
Utnyttelse av høyere lamellkvalitet forutsetter imidlertid tilsvarende sterke fingerskjøter.



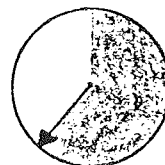
Normal kvalitet



Brudd



Høy kvalitet

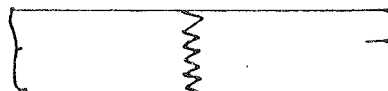
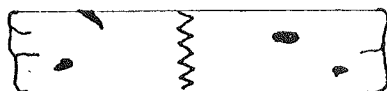


Brudd

I Norge benyttes det flere typer freser med ulik geometri. Teoretisk sett kan man plukke ut de som vil gi best kraftoverføring og styrke i skjøten, men materialkvaliteten varierer så mye at den stort sett overskygger fresens gode eller dårlige egenskaper.

Vi har sett at det lar seg gjøre å skjøte til F 30 dersom materialkvaliteten er god nok, selv med en ugunstig fres.

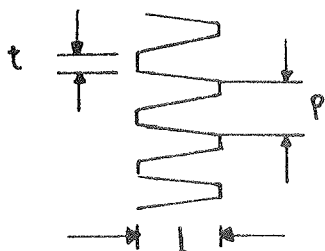
En fingerskjøt vil alltid være det svakeste punktet i en planke dersom denne er feilfri ellers.



Utførelse

Til dette forsøket har vi benyttet maskinsortert granvirke i klassene T 40, T 50, og T 60. Vi valgte å skjøte materialene på et anlegg der fingerlengden var 11 mm. Denne fresen egner seg ikke særlig godt for skjøting av høyere kvaliteter.

fresens geometri:



l = fingerlengde, 11.0 mm

p = deling, 3.7 mm

t = tupptykkelse, 0.4 mm

Tverrsnittsreduksjon, R

Fingertuppen vil bety en reduksjon av det kraftoverførende materialtverrsnittet. Denne reduksjonen uttrykkes i % , og er for vår fres 10.8.

Forsøk viser at for skjøting til F 30 bør R ikke overstige 11%.

Relativt limareal, A

Dette gir oss forholdet mellom limfugenes areal og plankens tverrsnitt (fratrasket fingertuppene).

Den benyttede fres har en A lik 6.7 % , noe som er i minste laget. Ifølge forsøk bør denne ligge i området 8.0 - 9.0 ved skjøting til F 30.

Øvrige data fra forsøket

Materialdensitet : 0.36, 0.40 og 0.42 for henholdsvis
T 40, T 50 og T 60.

Trefuktighet : 13 %

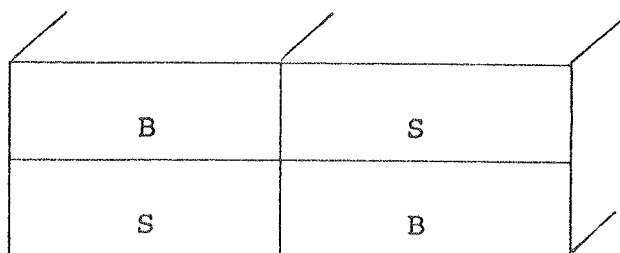
Dimensjon : 50 * 200 mm

Presse : Cook-Bolinder

Presstrykk : 10 MPa (kaldskjøting)

Presstid : 2 og 5 sekunder

Materialene ble etter skjøting splittet ned til dimensjon 20 * 90 mm, som vist nedenfor.



Prøvene merket B ble bøyeprovde, mens S ble testet på strekk. I og med at materialene ble delt opp etter maskinell sortering, må man gå ut fra at enkelte prøver ikke lenger holder sin opprinnelige sorteringsklasse. I første rekke vil dette gjelde kvistfordelingen.

Resultater

I tabellen nedenfor er resultatene fra bøy og strekkforsøkene referert.

Klasse	Presstid 2 sek.				Presstid 5 sek.			
	Bøy (MPa)		Strekk (MPa)		Bøy (MPa)		Strekk (MPa)	
	$\bar{\sigma}_B$	σ_C	$\bar{\sigma}_S$	σ_C	$\bar{\sigma}_B$	σ_C	$\bar{\sigma}_S$	σ_C
T 40	57.2	44.0	40.8	26.1	52.7	42.3	36.8	18.6
T 50	56.2	45.8	38.6	26.7	65.2	52.4	43.5	29.9
T 60	63.6	47.6	44.1	32.1	66.0	55.5	49.8	42.6

$\bar{\sigma}_B$ = bøyebryddstyrkens middelerdi

$\bar{\sigma}_S$ = strekkstyrkens middelerdi

σ_C = karakteristisk verdi

Ved 2 sek. presstid vil alle materialklassene kun tilfredsstillende kravene til F 40 etter skjøting mht bøyebryddstyrke. Ved 5 sek. presstid vil T 50 etter skjøting fremdeles holde sorteringsklassen, mens T60 går en klasse ned. Dette gjelder de karakteristiske verdiene.

Imidlertid er kravene til limtre-lammeller strengere, og kravgrensene må multipliseres med en faktor 1.3. Vi får dermed:

Klasse	Kravgrense, bøy (MPa)
-----	-----
LT 30	39
LT 40	52
LT 50	65
LT 60	78

Nå vil vi se at det kur er utsortert T 50 og T 60 med presstid 5 sek. som greier kravet til LT 40. De resterende seriene tilfredsstillter kun LT 30.

Dersom man slår sammen verdiene for T 50 og T60, øker de karakteristiske bruddverdiene med 20 % dersom man går opp med presstiden fra 2 til 5 sek.

Av dette kan man slutte at en viss forlengelse av presstiden ved kaldskjøting vil øke styrken i skjøten.

For å få en noe bedre oversikt over styrke som funksjon av materialkvalitet, kan verdiene for 2 og 5 sek. presstid slås sammen.

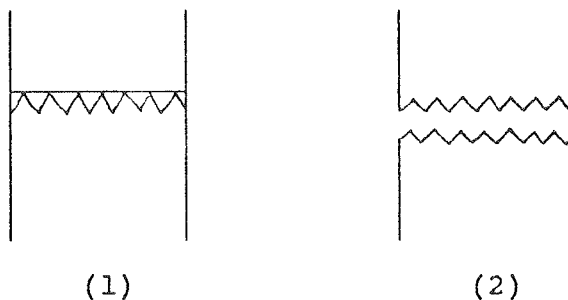
Klasse	Bøy (MPa)		Strekk (MPa)	
	$\bar{\sigma}_B$	σ_C	$\bar{\sigma}_B$	σ_C
T 40	55	43	38	22
T 50	61	47	41	28
T 60	65	52	47	36

Nå kan vi se helt tydelig at skjøtenes karakteristiske styrke mht strekk og bøy, øker med økende materialkvalitet.

Fresens geometri

Den benyttede fres har for lav teoretisk kapasitet for skjøting til høyere styrkeklasser. Ut fra prøveseriens bruddtyper har man fått mistanke om at dette også gjelder ved praktisk skjøting.

Nedenfor er det vist de bruddtyper som opptrer i forbindelse med selve skjøten:



Bruddtype (1) angir brudd i fingerroten, mens (2) viser brudd direkte i limfugene.

Nedenfor er det vist en oversikt over hvor stor prosentdel innen hver serie som viser slike brudd, alene eller i kombinasjon.

Klasse	% (1) + (2) + (1+2)
T 40	50
T 50	57
T 60	75

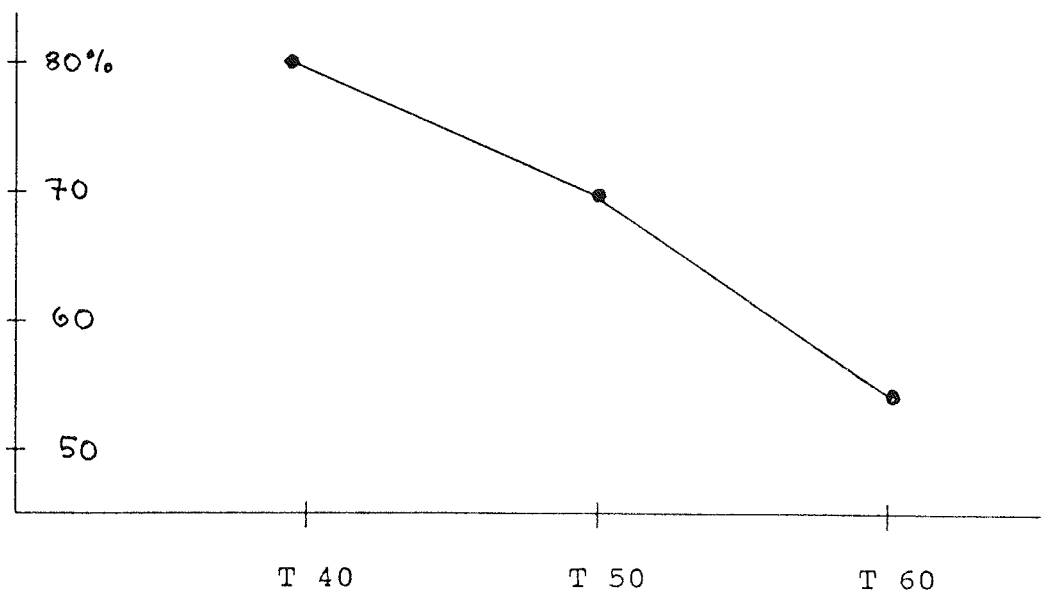
Vi ser at bruddene kanaliseres mot selve skjøten etterhvert som trekvaliteten øker.

Ser vi på bruddtype 2 alene, får man følgende fordeling:

Klasse	% (2)
T 40	0
T 50	14
T 60	29

Dette kan være et bevis for at limarealet er for lavt ved skjøting til høyere klasse enn T 40.

På figuren nedenfor er det satt opp en sammenheng mellom trebruddsprosent ved brudd, og sorteringsklasse.



Trebruddsprosenten avtar med økende materialkvalitet.

Sluttkommentarer

Forsøket tyder på at det er mulig å skjøte limtrelemeiler til høyere klasser enn det som gjøres idag. Resultatet vil sannsynligvis bli bedre enn det vi har funnet her, dersom en gunstigere freseprofil benyttes. Fingrenes limareal ved dette forsøk har vært noe lav, og av den grunn har vi ikke oppnådd høyere styrke enn den som tilfredsstillende LT 40. En økning av presstiden ved kaldskjøting fra 2 til 5 sekunder, har gitt en betydelig styrkeøkning.

IX Endeskjøting der fingrene krysser hverandre

Dette fenomenet kan forekomme under produksjon av fingerskjøtt last, særlig dersom kuvede planker benyttes. Flere av anleggene har forskjellige stasjoner for fresing, limpåføring samt pressing, og dermed vil fastspenningsavstandene ofte være ulike. Dette kan føre til at de utfreste fingrene ikke blir liggende i samme plan ved pressingen, og dermed vil fingrene skjære seg i hverandre.

Utførelse

Prøvebitene ble levert ferdig frest fra en leverandør av fingerfreser, og 1/4 av disse hadde fingre som dannet en vinkel på ca 5.7° med flatsiden. Fingrene var synlige på kanten. Forsøkene ble utført i NTI's laboratorium, og omfattet en serie med normal utfresing samt en serie der den ene prøvebiten var frest skjevt. De skjøtte prøvene ble testet på bøy.



Normalt frest

Skjevt frest

Øvrige forsøksbetingelser

Prøvedimensjon	: 25 * 88 mm
Limtype	: Bakelit-Hartz HL 286/280
Presstrykk	: 5.0 MPa
Fingerlengde	: 15.0 mm
Deling	: 3.7 mm
Tupptykkelse	: 0.5 mm
Materialfuktighet	: 12 %
Antall i prøveserien	: 10

Resultater

Serie	Middelveredi (MPa)	Standardavvik (MPa)	Karakteristisk verdi (MPa)
Normal frest	52.4	3.5	45.1
Skjevt frest	46.5	4.0	38.1

Under sammenpressing av en normal og en skrått utfrest profil, skar fingrene seg ihverandre som forventet. Fingrene bunnet normalt, og prøvestykkene var helt plane etter pressingen. Dette tydet på at de skar seg pent i hverandre, noe som kunne sees klart etter at prøvene var kjørt til brudd.

Det er helt tydelig at serien med de skrå fingrene har fått lavest bøyebryddstyrke. Middelverdien ligger ca 11% lavere enn serien skjøtt med normal profil, og den karakteristiske bøyebryddstyrken ca 16% lavere.

Dette tyder på at gjennomskjæringen har hatt en reduserende effekt, noe som kan stadfestes nøyere ved en statistisk behandling av resultatene.

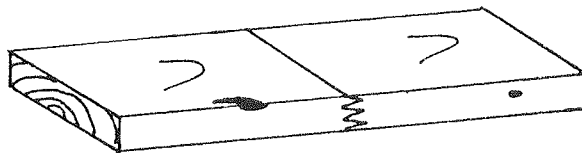
Vi kan foreta en såkalt "t-test" som vil gi oss beskjed om hvor stor sannsynligheten er for at seriene er forskjellige. Gjør man dette finnes en slik sannsynlighet til å være større enn 99.5%.

Sluttkommentarer

Det er fastlagt statistisk at våre to prøveserier er forskjellige, slik at man må se på en gjennomskjæring av fingrene som en reduserende faktor på bøyebryddstyrken. Denne er selvfølgelig bestemt av graden av kryssende fingre, og vil i enkelte tilfeller ikke ha betydning dersom den er liten.

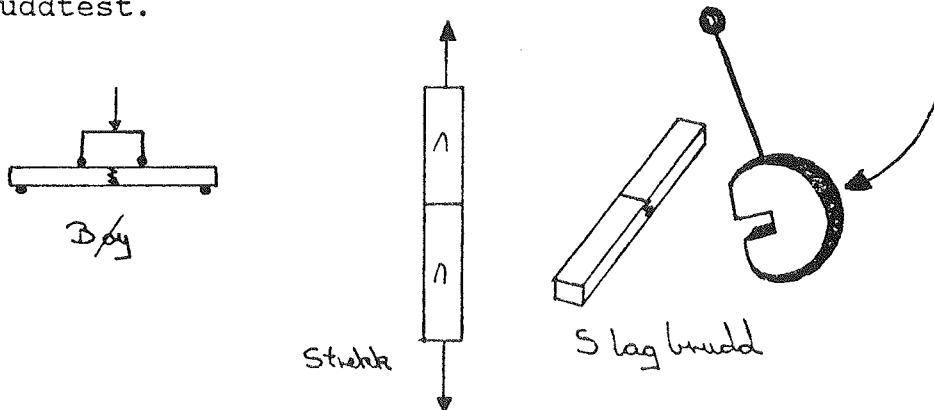
X Håndteringsstyrke på fingerskjøtte materialer limt med smeltelim

Hensikten med dette forsøket, er å finne ut om fingerskjøtter limt med smeltelim gir tilstrekkelig håndteringsstyrke for materialer som ikke har noen bærende funksjon. Man tenker da i første rekke på paneler og gulvbord for innendørs bruk.



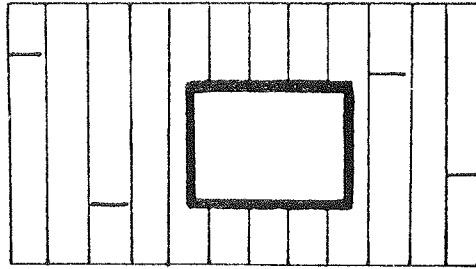
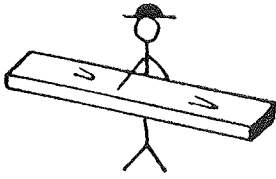
Rapporten vurderer også en industriell produksjon av dette, samtidig som økonomiske betraktninger er foretatt. Denne delen er ikke referert her.

For å få danne seg et bilde av forholdene, ble skjøtte prøver testet på bøy og strekk. Videre utførte man en såkalt slagbruddtest.



Smeltelimene er faste stoffer ved romtemperatur, som under påføringen blir varmet opp til ca 180 - 200 °C. Under avkjølingen vil limsubstansen stivne til et fast stoff igjen. Limene er termoplastiske av natur, og de har begrenset motstand mot vann, varme samt løsningsmidler. De tåler heller ikke konstant belastning over tid, og kan dermed ikke benyttes til konstruksjonsformål.

Til det aktuelle bruk av slike skjøtte materialer, er man hovedsakelig interessert i å få god nok styrke til at de kan håndteres og monteres uten fare for brudd.



Det er imidlertid de påkjenningene materialene blir utsatt for under produksjon, lagring, transport og på byggeplassen som er interessante i denne sammenheng.

Innvendige paneler og gulvbord blir som regel beskyttet mot regn og fuktighet, slik at man kan se bort i fra dette. Det er mer aktuelt å se på hvilke temperatur- og mekaniske påkjenninger materialene kan bli utsatt for under sommer og vinterforhold.

Hvor mye smeltelimet tåler av støt og slag i kulde, skal slagbruddprøvene gi enn viss pekepinn på.

Utførelse av forsøket

Limtyper.

Lim	Mykningspunkt	Smeltepunkt
Bostik 9990	70 °C	84 °C
Bostik 9644	73 °C	95 °C
Casco K625	89 °C	-

Disse temperaturene er oppgitt av leverandørene.

Bøy og strekkprøvinger.

Hver serie bestod av 10 skjøter hvor 5 ble testet mht. bøyefasthet, og 5 mht. strekkfasthet.

Temperaturen i materialene ved opplimingen var 20 °C. Seriene 4 til 7 ble limt opp ved 12% trefuktighet.

- 1) Limt ved 6% og testet ved 12% trefukt.
- 2) Limt ved 20% og testet ved 12% trefukt.
- 3) Limt og testet ved 20% trefukt.

- 4) Avkjølt til -20°C i 1 1/2 time, testet ved $+20^{\circ}\text{C}$.
- 5) Oppvarmet til $+40^{\circ}\text{C}$ i 1 1/2 time, testet ved $+20^{\circ}\text{C}$.
- 6) Oppvarmet til $+40^{\circ}\text{C}$ i 1 1/2 time, testet ved $+40^{\circ}\text{C}$.
- 7) Prøvene ble testet ved $+20^{\circ}\text{C}$

Slagbrudd.

Utgangsfuktigheten i hver av seriene var 12 og 20%.
Temperatur i materialene ved opplimingen var 20°C .

Hver fuktgruppe bestod av 10 prøver, der 5 ble påkjent 45 sek. etter pressing, og de resterende 300 sek. etter.

- 8) Avkjølt til -20°C i 1 1/2 time, testet ved -20°C .
- 9) Prøvene ble limt og testet ved 20°C .

Øvrige forsøksdata

Fingerlengde : 15 mm med fingrene synlige på kantsiden.

Presstrykk : 5.0 MPa.

Presstid : 10 sek.

Kondisjoneringstid til angitt fuktighetsprosent : 1 mnd.

Påføringsmetode : Limet ble påført med pistol i strenger langs fingertuppene.

Treslag : Furu

Dimensjon, bøy og strekk : 20 * 58 mm

Dimensjon slagbrudd : 23 * 42 mm

Resultater

Følgende verdier ansees som tilstrekkelige for en god håndteringsstyrke:

Bøyefasthet : 5.0 MPa

Strekkefasthet : 4.0 MPa

Slagbruddstyrke : 0.01 joule/mm²

En variasjon i trefuktigheten så ikke ut til å ha noen betydning. For alle tre limene lå styrken langt over det som kreves for at materialene skal kunne håndteres uten fare for brudd i skjøten.

Bøyebrudd- og strekkstyrken svekkes ikke i kulde. Resultatene i forsøket tyder derimot på at styrken fordobles ved - 20°C. Ved denne temperaturen svekkes imidlertid slagbruddstyrken kraftig, slik at det kan være fare for brudd i skjøten. Om vinteren må man derfor passe på at materialene ikke blir utsatt for støt og slag av særlig grad.

Dersom materialene ligger lenge nok i sola, kan temperaturen i limfugen komme opp mot ca 40°C. Dette gjelder det øverste laget i en pakke. Dersom materialene skal forflyttes, må dette gjøres meget forsiktig. Imidlertid får skjøtene tilbake sin opprinnelige styrke ved avkjøling.

Bostik 9990 oppnådde de høyeste verdiene av de tre limene som ble benyttet. Bostik 9644 oppnådde noe høyere verdier enn Casco K625, men begge disse to limene har imidlertid tilstrekkelig håndteringsstyrke ved de fleste temperaturpåkjenningene materialene kan bli utsatt for.

Det finnes mange typer av smeltelim, og ikke alle egner seg like godt til liming av gran og furu. Smeltelimene er meget miljøvennlige, og dette er en stor fordel i dagens situasjon. Dessuten oppnår limet sin maksimale styrke etter meget kort tid. Disse to momentene vil kunne gjøre sitt til at smeltelimet vil få flere bruksområder i tiden som kommer.

Sluttkommentarer

Resultatene tyder på at fingerskjøtte materialer limt med smeltelim for bruk innendørs som innvendig panel og gulvbord, gir tilstrekkelig håndteringsstyrke under vanlige temperatur- og fuktighetsforhold.

Materialene bør håndteres forsiktig dersom de er blitt soloppvarmet, eller utsatt for sterk kulde.

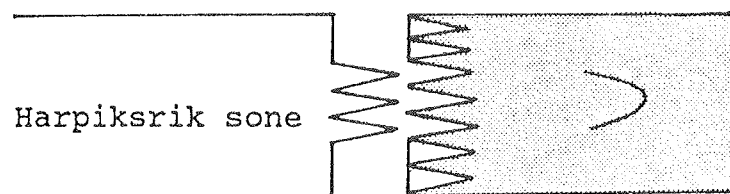
XI Fingerskjøting av furu

Det ser ut som om en del problemer er knyttet til fingerskjøting av furu. Årsaken til dette ligger ofte i et høyt harpiksinnhold, samt at furu har høyere densitet og dermed høyere trykkfasthet enn gran.

NTI har ved flere anledninger fått skjøter til vurdering som av en eller grunn har gått fra hverandre. Karakteristisk for disse er meget lav trebruddsprosent, og av og til kan det se ut som om limet er blitt borte fra fugene.

I et tilfelle var limtrekontrollen tilstede ved skjøting av furulammeller til limtre, og lasten ble karakterisert som forholdsvis "feit".

Limpåføringen var tilfredsstillende, men under prøving ved instituttet viste det seg at enkelte skjøter ga brudd der noen av fingrene stod igjen slik de var frest.



Betraktet man disse fingerflatene under mikroskop, viste det seg at limfugene var dekket med harpiks. Limet hadde ikke trukket inn i selve treet, men forankret seg til harpiksen som så hadde brutt sammen under prøvingen.

Rent teoretisk kan man betrakte dette på følgende måte :

Dersom furua er feit, vil harpiksinnholdet hindre limet i å trenge inn i de øverste trecellelagene. Dermed blir forankringen for dårlig, slik at vi står i fare for å sitte igjen med rent harpiksbrudd ved prøving. For å bedre på dette, kan det være nødvendig med et høyere endetrykk og en lengre presstid enn det som er vanlig for gran. Trykket må imidlertid ikke settes så høyt at man står i fare for å få stukebrudd.

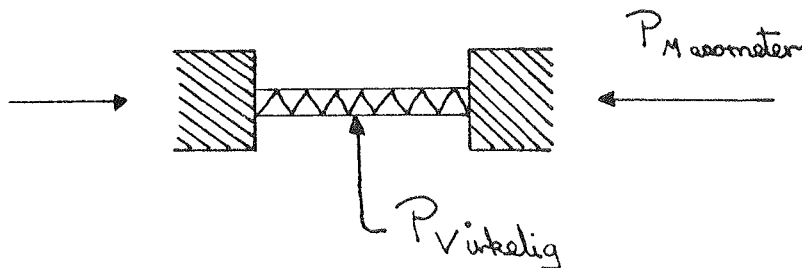
Nå er det som regel slik at furua har høyere densitet enn gran, slik at trykkfastheten i fiberretningen er større. Dermed tåles et høyere endetrykk før brudd inntreffer. Ved å stille endetrykket noe opp utover det som er vanlig for gran, skulle man være sikkert en bedre liminntregning og passning i skjøten.

Praktiske forsøk

Ved en av bedriftene har man hatt en del problemer ved skjøting av furu, og NTI ble bedt om å se på forholdene. Anlegget bestod av en Cook-Bolinder maskin med Hf-forvarming, og de skjøtte plankene ble høvlet i linjen etter ca 3-4 minutter.

Endetrykktabellen som operatørene benytter er utarbeidet med tanke på de densiteter som er vanlig for gran, noe som også er tilfelle ved de fleste andre anlegg.

Det første vi foretok oss var å kalibrere pressa, idet vi har erfart at trykksystemene som regel opererer med et stort friksjonstap. Dette fører til at skjøten blir påført et endetrykk som er lavere enn det man stiller inn.



Ved dette anlegget utgjorde friksjonstapet for dimensjon 50 * 200 mm hele 14%. Innstilt trykk var da 70 kp/cm².

Alle bedrifter bør få sine presser kalibrert, slik at et riktig trykk kan påføres skjøtene. Dette er særlig viktig dersom densiteten i materialene er høy. En slik kalibrering kan utføres av NTI.

Deretter skjøtte vi opp furuplanker med varierende endetrykk, og disse ble senere testet på bedriftens egen prøvemaskin (materialkvalitet T 24).

Følgende resultater framkom:

Trykk ₂ kp/cm ² endeflate.	Temp. ved høvling.	Bøyebruddstyrke (MPa)	Middel (MPa)	Herde tid
60	70 °C	36, 37, 27	33	200 min
74	68 "	36, 22, 32, 24, 25, 23	27	200 "
85	70 "	34, 27, 31, 26	30	160 "
96	67 "	32, 44, 43, 33	38	160 "
96	70 "	22, 31, 31, 27	28	120 "
118	69 "	Stukebrudd		

Trefuktigheten lå i området 15 - 19 %
Fingerlengden var 1½ mm, og disse bunnet helt ved et trykk høyere enn 85 kp/cm².

Furua var harpiksrik, og kvaeutkok på fingerflatene forekom i stor grad under Hf- oppvarmingen.

Som man ser har prøveseriene ulik herdetid, slik at lavest herdegrad finnes i seriene med høyest endetrykk. På bakgrunn av disse få prøvene, kan det derfor se ut som om styrken øker med økende endetrykk inntil en viss grense. Over denne får man stukebrudd med redusert bøyefasthet som resultat.

10 stk 50 * 200 mm ble tatt ut for testing ved NTI. Disse ble bøyeprøvd på høykant i full dimensjon, og var alle skjøtt med et endetrykk lik 93 kp/cm².

Middelverdi : 35.3 MPa
Standard avvik : 9.9 MPa
Karakteristisk verdi : 14.5 MPa

Laveste verdi : 24.0 MPa
Høyeste verdi : 52.1 MPa

Skjøten med den laveste bøyebruddstyrken bestod av meget

"feit" furu. Prøveserien vil tilfredsstillende klasse F 24, idet alle enkeltverdier ligger over kravet.

Etter at disse forsøkene ble utført, har bedriften selv gjort enkelte interne prøvinger på egen prøvemaskin. Dimensjonen var også her 50 * 200 mm i kvalitet F 24.

Verdier i MPa, 12 prøver i serien.

Trykk ₂ kp/cm ²	% tre- brudd	Middel- verdi	Karakteristisk verdi	Kommentarer
60	40	33.9	17.4	Lavest : 20 MPa
74	30	47.6	34.2	Lavest : 35 MPa
85	73	38.9	29.6	Enkelte stukebrudd
96	75	45.0	27.3	Endel stukebrudd
3 prøver ble skjøtt uten Hf-oppvarming				
60	7	17.0		

Som man kan se har vi nå fått tendenser til stukebrudd på et tidligere stadium enn det som ble registrert under det første forsøket. Dette har sannsynligvis med materialkvaliteten å gjøre, så som harpiksinnhold, densitet, andel kjerneved, osv.

Av den grunn vil det være vanskelig å sette eksakte grenser for endetrykket. Operatørene må selv ved skjøting av furu følge nøye med i prosessen, for eventuelt å foreta justeringer dersom dette er påkrevet. En enkel metode for sjekking av endetrykket, er å se på størrelsen av bunnklaringen. For freser med fingerlengde 10 og 11 mm, skal denne være omtrent lik 0. Ellers bør den ikke overstige ca. 0.5 mm for fingerlengdene 15, 20 og 30 mm.

Sluttkommentarer

Vi har altså funnet ved forsøk at skjøting av harpiksrik furu kan trenge et høyere endetrykk enn det som benyttes for gran. Dette er særlig tilfelle dersom densiteten er høy. Videre har vi sett tidligere at en forlengelse av presstiden med 2 – 3 sekunder kan gi økt styrke ved anlegg der Hf-forvarming benyttes.

Veiledende trykk:

Raskvokst gran: ca 50 kp/cm² endeflate (5 MPa)

Normal gran: ca 60 – 70 kp/cm² (6 – 7 MPa)

Furu: ca. 70 – 90 kp/cm² (7 – 9 MPa)
avhengig av densiteten.

NB! Verdiene gjelder effektivt trykk, og et eventuelt friksjonstap i pressa må legges til.

De veiledende trykk er basert på en HF-forvarmingstemperatur på ca 90 °C.