



Tørking-trekvalitet

Resultater fra 4 tørkeforsøk

Sverre Tronstad

**Norsk
Treteknisk
Institutt**



Forskningsveien 3B

Boks 113 Blindern
0314 Oslo, Norway
Tel.: 22 96 55 00
Telefax: 22 60 42 91
Bankgiro: 6039.05.16714
Postgiro: 0802 5 14 87 70

Innholdsfortegnelse

Forord	2
Sammendrag.....	3
1. Innledning.....	5
2. Forsøksopplegg.....	6
2.1. Forsøksutstyr	7
2.2. Måleprosedyrer.....	8
2.2.1. Før tørking	8
2.2.2. Under tørking.....	9
2.2.3. Etter tørking.....	9
3. Resultater.....	10
3.1. Klimaforløp.....	10
3.2. Middelfuktighet og spredning	13
3.3. Fuktighetsgradient	14
3.4. Tørkespenninger.....	17
3.5. Tørkesprekk	20
3.6. Endesprekk	20
3.7. Fuktighetsutjevning etter tørking (F1).....	21
3.8. Fuktighetsgradient og dimensjon.....	22
3.9. Yteherding og kuving.....	23
4. Konklusjoner	24
Summary.....	26

Forord

Med økende krav fra markedet til trelastens fuktighet og dimensjonsnøyaktighet har selve tørkeprosessen kommet mer og mer i fokus. Fra primært å være fokusert på å tørke med så lite sprekk som mulig ned til høvlingstørt, begynner man nå å merke et økende ønske fra markedet om å levere trelast med flere fuktighetsnivåer, mindre spredning i fuktigheten, mindre fuktighetsgradient og med kontrollerte spenninger. Dette stiller nye krav til tørkeanleggene og de som er ansvarlige for tørkingen på trelastbedriftene.

For å få en bedre forståelse av tørkeprosessen og hvilken betydning temperaturnivå, klimaforløp, kondisjonering og etterfølgende lagring har på fuktighet, sprekk, dimensjonsstabilitet, spenning og kuving, ble det kjørt 4 tørkeforsøk med 63 x 150 mm granplank. Forsøkene ble kjørt på forsøkstørka på Norges Trelastskole Stiftelse.

Forsøkene ble gjennomført av Per F. Jørgensen, Martin Hay, Kjell Lindrupsen og Sverre Tronstad, med sistnevnte som prosjektleder.

NTI vil rette en takk til rektor Reidar Holmen og hovedlærer John Barbakken ved Norges Trelastskole Stiftelse for hjelp ved overvåking av tørka.

Oslo, april 1993.

Norsk Treteknisk Institutt

Sammendrag

Tørkeprosessen har avgjørende betydning på en rekke av trelastens kvalitets-egenskaper som fuktighetsinnhold, sprekke, kvist, krymping, spenninger, soppangrep, annen misfarging og deformasjoner som kuving, kantkrok og vridning.

Med de skjerpede krav som markedet i det senere har stillet til nettopp disse kvalitetsegenskapene bl.a. gjennom nye og strengere sorteringsregler og nye standarder for trelastens fuktighetsnivå, fuktighetsspredning, fuktighetsgradienter og spenninger, er det viktigere enn noensinne å fokusere på en bedre forståelse og utførelse av tørkeprosessen.

På bakgrunn av dette er det kjørt en forsøksserie på instituttets forsøksstørke på Norges Trelastskole Stiftelse i den hensikt å utdype tørkeklimaets og kondisjoneringens innvirkning på en rekke av disse kvalitetsegenskapene.

Forsøkene bestod av 4 tørkeomganger med 63 x 150 mm gran, hvorav 2 forsøk med 40°C våttemperatur og 2 med 60°C våttemperatur, hvor man vekselvis kjørte med og uten kondisjonering. Etter tørkingen ble også trelasten fulgt opp etter 3 ukers lagring og etter oppkløving og høvling hvor en så på innvirkningen av 2 ukers mellomlagring av bordene før høvlingen.

Av de viktigste resultater kan en nevne følgende:

- * En økning i våttemperaturen fra 40°C til 60°C gav en reduksjon i sprekklengden til under en tredjedel.
- * Ved nedtørking av planken til 18% uten kondisjonering ble det i middel registrert en fuktighetsgradient på 8%.
- * Ved kondisjonering av planken i 40 timer ble fuktighetsgradienten redusert til ca. halvparten (8% til 4.5%).
- * Ved 3-bords kløving av 63 x 150 mm plank som kommer direkte fra tørka med 8% fuktighetsgradient, vil midtbordet teoretisk bli ca. 1.5 mm smalere enn ytterbordene etter fuktighetsutjevning. 3 ukers strølagt lagring av planken (i sommerklima) reduserte gradienten og førte til at midtbordet ble 0.3 mm smalere enn ytterbordene etter fuktighetsutjevning. 14 dagers mellomlagring av bordene mellom kløving og høvling reduserte gradienten og dimensjonsforskjellene ytterligere.
- * Spenningene i virket ble ved kondisjoneringen redusert fra middels spenninger til små spenninger (ifølge INSTA 141).

- * Ved 3-bords kløving av plank (spenning 0.8 etter tørking) som var lagret strølagt i 3 uker fikk ytterbordene en kuving på 0.5 mm, mens midtbordet fikk ubetydelig kuving. Ytterligere 14 dagers klosslagt lagring av bordene før høvling reduserte kuvingen av ytterbordene til halvparten.
- * Ved nedtørking av planken uten kondisjonering fikk man en spredning i slutfuktigheten på $s = 1.6\%$ i middel .Ved kondisjonering fikk man ved disse forsøkene en spredning på 1.0% , noe som i dette tilfelle også skyldes mindre spredning i startfuktigheten.
- * Renkapping av endesprekker i planken før tørkingen gav redusert endesprekkutvikling under tørkeprosessen. Dette åpner muligheten for å kappe trelasten mer på råsorteringen (mer rå flis) uten å risikere mer endesprekk.

Forøvrig registrerte man også følgende:

- * En utjevningstid på 24 timer for gaffelprøver som angitt i INSTA 141 synes å være for liten.
- * Målt spenningsnivå etter gaffelmetoden er klart påvirket av utjevningsklimaet, med økende spenninger med synkende utjevningsfuktighet.
- * Basing med vanndamp gir en rask og effektiv oppfukting av tørkelufta, men kan føre til overoppheting i kondisjoneringsfasen.
- * Selv på en forsøksstørke kan det være problematisk å avslutte tørkeprosessen ved ønsket slutfuktighet. Dette aktualiserer betydningen av å utvikle systemer for bedre kontroll av fuktigheten under tørkeprosessen.

1. Innledning

Kravene til trelastens fuktighet, dimensjoner og retthet er bare økende. Dette kommer til uttrykk gjennom skjerpede standarder både nasjonalt og internasjonalt. Ved at stadig flere kjøpere av trelast innfører strengere kvalitetsrutiner blir også kontrollen av trelasten ved innkjøp fulgt opp mer grundig enn før, noe som mange reklamasjonssaker i det siste tyder på. De fleste av disse reklamasjonssakene har dreiet seg om trevirkets fuktighetsforhold.

For å få en bedre forståelse for tørkeprosessens og kondisjoneringens innvirkning på flere av disse forhold, ble det lagt opp til en forsøksserie med 4 tørkeomganger med forskjellige tørkebetingelser, etterfulgt av en oppfølging av trelasten gjennom lagring og bearbeiding.

Blant de forhold som vi ønsket å få bedre klarhet i var:

- * Våttemperatures innflytelse på sprekkdannelsen.
- * Våttemperatures innflytelse på yteherdingstendensen.
- * Kondisjoneringens innvirkning på spenningsutjevningen.
- * Kondisjoneringens innvirkning på fuktighetsgradienten.
- * Endesprekkens innflytelse av renkapping i rå tilstand.
- * Fuktighetsgradientens innvirkning på høvellastens dimensjon.
- * Yteherdingens innvirkning på høvellastens kuving.
- * Mellomlagringens (kløving-høvling) innvirkning på de to forannevnte forhold.

I tillegg til disse observasjoner er det foretatt en registrering av klima, vann-avdunsting og energiforbruk under tørkeprosessen.

Flere av forsøkene er for små til å kunne dra statistisk sikre slutninger, men vil gi bidrag til bedre forståelse av de forannevnte forhold.

2. Forsøksopplegg

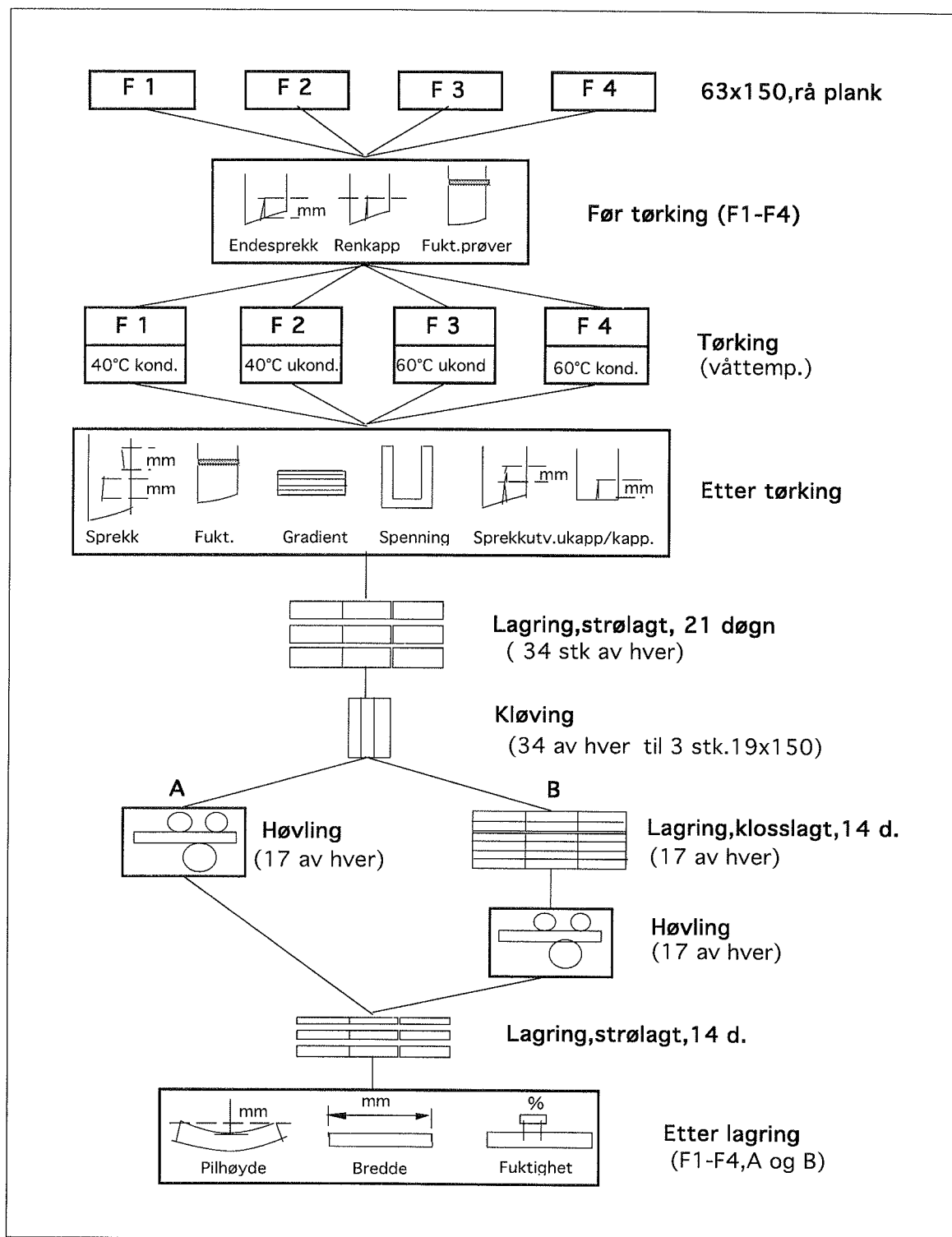


Fig. 1. Oversikt over hvilke forsøk som ble utført.

2.1. Forsøksutstyr

I figur 1 er det gitt en grafisk oversikt over forsøksopplegget, og i tillegg er det nedenfor gitt en mer utfyllende beskrivelse:

Forsøkene ble kjørt på forsøkstørka på Norges Trelastskole Stiftelse (se fig. 2). Det er en relativt ny tørke levert av ABB Fläkt, og som har styringsutrustning av typen Refricon. Tørka har plass til én pakke med tverrsnitt ca. 1.5 x 1.5 m og lengde på 6 m og har overliggende aksialvifter uten reversering. Tørka er utstyrt med både vann og dampbasing og har to elektroniske veieceller plassert i ene enden for veing av halve pakkevekten. Dette viste seg for unøyaktig, og det er nå (etter forsøkene) lagt inn 4 veieceller for direkte måling av totalvekten.

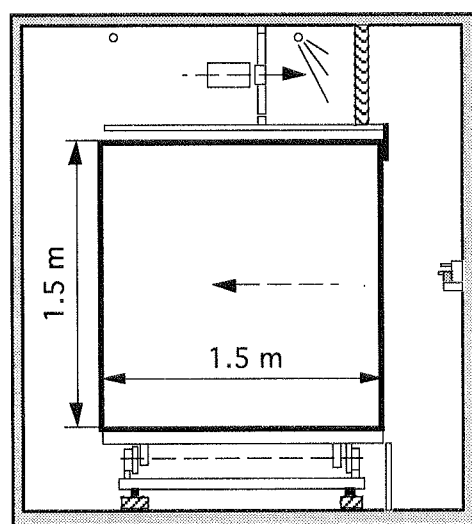


Fig. 2. Prinsipiell utforming av forsøkstørke.

Det ble valgt å tørke rå gran av dimensjon 63 x 150 mm. Det ble tørket 4 omganger hhv. med 40°C og 60°C våttemperatur med og uten kondisjonering. Tørkeskjemaene er basert på Malmquist's model og er vist samlet i tabell 1 på neste side.

De enkelte tørkeomganger er benevnt som følger:

- F1: 40°C våttemperatur med kondisjonering.
- F2: 40°C våttemperatur uten kondisjonering.
- F3: 60°C våttemperatur uten kondisjonering.
- F4: 60°C våttemperatur med kondisjonering.

2.2. Måleprosedyrer

2.2.1. Før tørking

- * Trelasten ble strølagt med fem strø av 22 mm tykkelse og to rettender med 7 planker i bredden og 17 i høyden.
- * Startfuktigheten ble undersøkt med 34 prøver i topp og 13 prøver i rot, alle tatt fra ytterrangene.
- * Begynnende sprekker i endene og på lasten forøvrig ble merket, og i halvparten av plankene ble endesprekken kappet bort.
- * Pakkevolumet ble eksakt målt for beregning av tørrvekt i forbindelse med vektregistrering av hele pakken.

Tabell 1. Innstilt klima ved de 4 tørkeforsøk.

	F1		F2		F3		F4	
Tørketrinn	Ttørr	Tvåt	Ttørr	Tvåt	Ttørr	Tvåt	Ttørr	Tvåt
1	41	40	41	40	61,6	60	61,6	60
2	42,3	"	42,3	"	63,9	"	63,9	"
3	43,1	"	43,1	"	65,3	"	65,3	"
4	43,5	"	43,5	"	66	"	66	"
5	43,8	"	43,8	"	66,4	"	66,4	"
6	43,9	"	43,9	"	66,5	"	66,5	"
7	43,8	"	43,8	"	66,5	"	66,5	"
8	43,8	"	43,8	"	66,3	"	66,3	"
9	43,7	"	43,7	"	66,1	"	66,1	"
10	43,5	"	43,5	"	65,8	"	65,8	"
11	43,4	"	43,4	"	65,6	"	65,6	"
12	43,2	"	43,2	"	65,3	"	65,3	"
13	43	"	43	"	65	"	65	"
14	42,9	"	42,9	"	64,7	"	64,7	"
15	42,7	"	42,7	"	64,4	"	64,4	"
16	42,8	"	42,8	"	64,2	"	64,2	"
17	43,2	"	43,2	"	64,4	"	64,4	"
18	43,5	"	43,5	"	64,6	"	64,6	"
19	43,8	"	43,8	"	64,9	"	64,9	"
20	44,2	"	44,2	"	65,2	"	65,2	"
21	44,6	"	44,6	"	65,5	"	65,5	"
22	45	"	45	"	65,9	"	65,9	"
23	45,5	"	45,5	"	66,3	"	66,3	"
24	46	"	46	"	66,7	"	66,7	"
25	46,6	"	46,6	"	67,2	"	67,2	"
26	47,2	"	47,2	"	67,8	"	67,8	"
27	47,9	"	47,9	"	68,4	"	68,4	"
28	48,8	"	48,8	"	69,4	"	69,4	"
29	49,6	"	49,6	"	70,1	"	70,1	"
30	50,5	"	50,5	"	71	"	71	"
31	51,4	"	51,4	"	71,9	"	71,9	"
32	52,4	40	52,4	40	72,9	60	72,9	60
Kondisjon.	53,5	51,9					74	72,4

2.2.2. Under tørking

- * Tørkeklimaet, som ble basert på Malmquist-modellen med en intensitetsparameter på 1.25 og med en kondisjoneringstid dobbelt så lang som modellen, ble registrert med temperaturlogger i tillegg til styringens egne registreringer.
- * Pakkens vektutvikling ble kontinuerlig registrert.
- * Lufthastigheten ble målt med pitotrør og inregulert på 3 m/s over fibermetningspunktet og 2 m/s under ved hjelp av frekvensregulator.

2.2.3. Etter tørking

- * Av de totalt 34 plankene i ytterrankene ble det for alle forsøk tatt følgende prøver:
 - slutfuktighet (tørke-veie)
 - fuktighetsgradient (kappet i fem deler)
 - gaffelprøver for spenningoppbygging.
- * Økningen av endesprekk (splintside) ble notert både på de planker som var renkappet og ikke renkappet før tørking.
- * Tørkesprekk på splintsidene ble registrert.
- * Etter ovennevnte prøvetaking ble de 34 prøveplankene lagret strølagt i 21 dager for deretter å bli kløvet i tre bord.
- * Halvparten av disse bordene (gruppe A) ble høvlet umiddelbart for så å strølegges i 14 dager, hvorefter kuving, bredde og fuktighet ble målt (tre steder på hvert bord).
- * Den andre halvparten (gruppe B) ble klosslagt og lagret i 14 dager, så høvlet og strølagt i 14 dager, hvorefter kuving, bredde og fuktighet ble målt (tre steder på hvert bord).

3. Resultater

3.1. Klimaforløp

De registrerte klimaforløp for alle fire tørkeomganger er vist i figur 3-6.

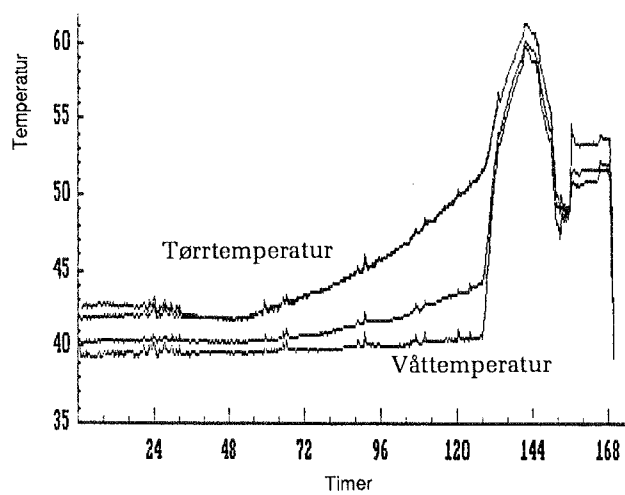


Fig. 3. Registrerte tørr- og våttemperaturer ved forsøk F1.

Som en ser av figur 3, ble det ved forsøk 1 (F 1) problemer med for høy temperatur i tørka ved basingen. Årsaken til dette skyldes for stor varme-tilførsel ved bruk av dampbasing. Det ble derfor koplet over til vann-basing som umiddelbart senket temperaturen til nærmere riktig verdi. Men vi ser også at det ble problemer med å holde tilstrekkelig lav psykometerdifferanse under kondisjoneringen ved bruk av vann. For å klare temperatur-problemene ble det likevel brukt vann som basing i de etterfølgende forsøk.

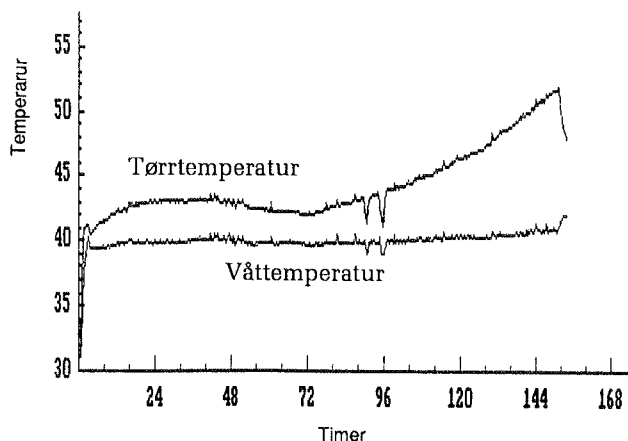


Fig. 4. Registrert tørr- og våttemperatur ved forsøk F2.

Ved forsøk 2 (F2) klarte tørka å holde ønsket klima rimelig bra, bortsett fra et par uforklarlige temperaturfall midt i tørkeperioden.

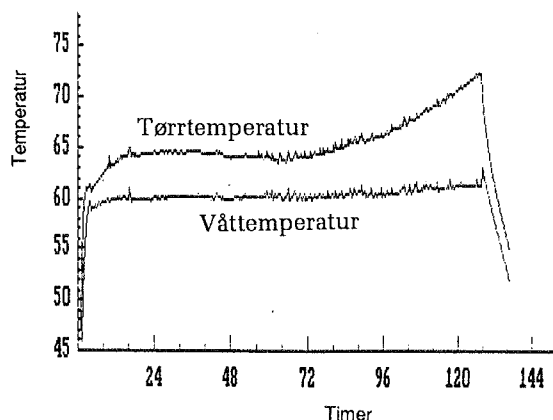


Fig. 5. Registrert tørr- og våttemperatur ved forsøk F3.

Klimaregistreringene for forsøk 3 (F3) er vist i figur 5. Det fremgår der at registrert klima i middel har fulgt ønsket klima rimelig bra.

Ved det siste forsøket (F 4) sviktet temperaturloggeren, så vi har bare temperaturutskrift fra tørkas egen styringsutrustning (se fig.6). Denne utskrift viser at klimaet under tørkeprosessen har vært som ønsket, men tørka har ikke maktet å oppnå en tilstrekkelig lav psykrometerdifferanse under kondisjoneringen.

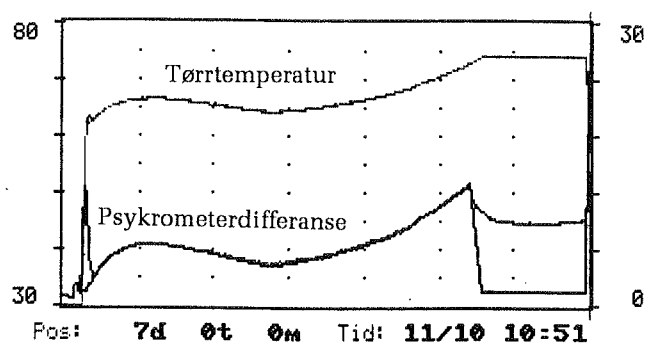


Fig. 6. Registert tørrtemperatur og psykrometerdifferanse ved forsøk F4.

Dette kan skyldes en kombinasjon av at tørka var utett og at det ble brukt vannbasing for å unngå overoppheting.

Med en psykrometerdifferanse ved "kondisjoneringen" på ca. 10°C må en karakterisere denne tørkeomgangen som ukondisjonert.

Av fig. 7 fremgår det at det er en klar temperaturskjevhet i tørka.

Temperaturen målt innerst i tørka og ved porten ved forsøk F1 viser en systematisk temperaturforskjell på 2-3°C, en tendens som også er bekreftet av de øvrige forsøk.

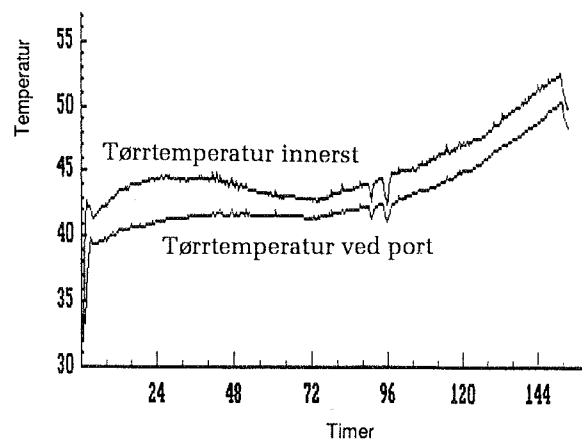


Fig. 7. Temperaturforskjell mellom portside og innerst i tørka.

3.2. Middelfuktighet og spredning

Middelfuktighet og spredning i plankene både før og etter tørking ble fastlagt for alle 34 plankene i ytterrangene (tørke/veiemetoden).

Tabell 2. Startfuktighet, slutfuktighet og spredning for alle forsøk.

	Startfuktighet	Std.avvik	Slutfuktighet	Std.avvik
Forsøk 1 (F 1) :	36.3%	9.4%	19.2%	1.0%
Forsøk 2 (F 2) :	41.8%	19.2%	18.8%	1.8%
Forsøk 3 (F 3) :	50.3%	20.5%	15.8%	1.4%
Forsøk 4 (F 4) :	61.9%		16.2%	1.5%

Som vi ser var det store forskjeller på startfuktigheten, selv om det var nyskåret virke fra sagbruket. Dette må skyldes manglende overrisling av tømmeret på forsommeren. For de tre første forsøkene ble derfor midlere startfuktighet lavere enn ønskelig.

Tilsiktet slutfuktighet var 17-18%, men en ser av verdiene at den virkelige variasjon er fra 16.2% til 19.2%. Dette er ikke tilfredsstillende når en tenker på at det er en forsøksstørke hvor man burde ha god kontroll med prosessen. Unøyaktig vekt er imidlertid hovedårsaken.

Spredningen i slutfuktigheten varierer mellom 1.0% og 1.8% for de 4 forsøkene. Den store forskjellen mellom F1 og F2 kan forklares ut fra to forhold: for det første hadde F2 vesentlig større spredning i startfuktighet, og for det andre var F1 kondisjonert. Spredningen i fuktighet for F3 og F4 er på et lavere og mer normalt nivå. Vurdert opp mot den nye nordiske fuktighetsstandarden INSTA 141, klasse 18, som sier at 84% av partiet skal ligge innen 14-22%, tilfredsstiller trelasten fra alle forsøkene standardens krav. (I følge standardens vedlegg A, som gir anbefalinger til produsenten om middelfuktigheter og spredning for å kunne oppfylle de generelle krav, ligger riktignok middelfuktigheten for F3 på 15.8% for lavt. Med en spredning på 1.4% ligger likevel 90% av partiet innen 14-22%.)

Ser en nærmere på forsøk F1 ble middelfuktigheten i de 17 plankene i ytterrangene på innløpssiden av luften målt til 18.5% med et standardavvik på 0.58%, mens plankene på utløpssiden hadde en middelfuktighet på 19.9% og et standardavvik på 0.82%. Dette viser at selv en relativt kort gjennomstrømningslengde på luften (ca. 1.4 m) har gitt en markant økning i både middelfuktighet og spredning.

Tørka har også innebygde veieceller under den ene enden av tørketralla. Forutsatt jevndratt last i begge ender og jevn fuktighets- og densitetsfordeling i pakkens lengderetning skulle en kunne måle pakkens totalvekt med rimelig grad av nøyaktighet ved bare å måle ene enden av pakken og multiplisere med to. Ved praktisk stabling av tørkepakken vil en imidlertid få alle rotendene mot ene enden og alle toppendene mot den andre enden av pakken. Det vil gi en skjevfordeling av pakkens vekt, en skjevhet som også vil forandre seg etterhvert som fuktigheten avtar.

De vektregistreringer som ble gjort under de respektive tørkeomganger viste så usannsynlige verdier at de ikke kunne brukes.

Dette faktum viser klart at man må supplere tørka med flere veieceller, slik at man veier hele pakken og at man dessuten jevnlig bør sjekke veiecellenes nøyaktighet.

3.3. Fuktighetsgradient

Fuktighetsgradienten ble målt ved å kløve prøvebiter av plankene i 5 deler i tykkelsen. Fuktigheten i de enkelte bitene ble så målt etter tørke-veiemetoden. Resultatene for de 4 tørkeomgangene er fremstilt grafisk nedenfor, representert ved 6 prøver for hver:

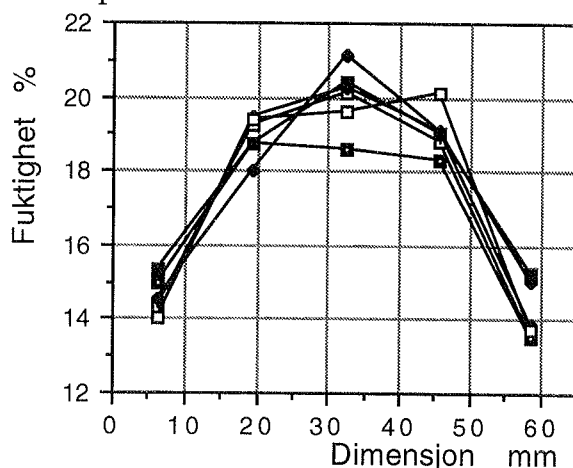
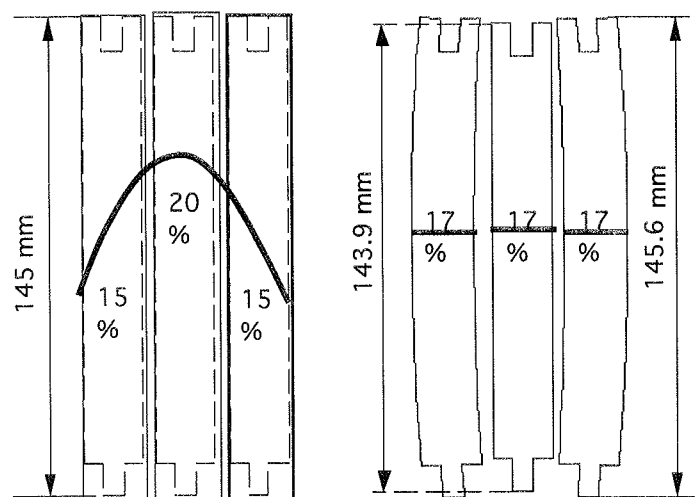


Fig.8. Fuktighetsgradienter ved 40°C våttemp. uten kondisjonering (F2).

En kan her observere en kraftig fuktighetsgradient som tilsvarer en forskjell i fuktigheten i midten og på overflaten på 7-8%. Dette er en uakseptabel stor variasjon for plank som skal kløves i 3 bord med direkte etterfølgende høvling. Fuktigheten i midtbordet ville således bli omkring 20%, mens de to ytterbordene ville få en fuktighet på ca. 15%.



Dimensjon og gradient
rett etter kløving/høvl.

Dimensjon, form og
gradient etter utjevning

Fig. 9. Stor fuktighetsgradient gir ujevn bredde og kuring etter kløving og høvling med etterfølgende fuktighetsutjevning.

Når fuktigheten senere blir utjevnet mellom midtbordet og ytterbordene vil en teoretisk få en breddeforskjell på 1.7 mm ved 140 mm brede bord eller 1.2 mm ved 95 mm brede bord. Dette er breddevariasjoner som tildels går ut over kravene i Norsk Standard.

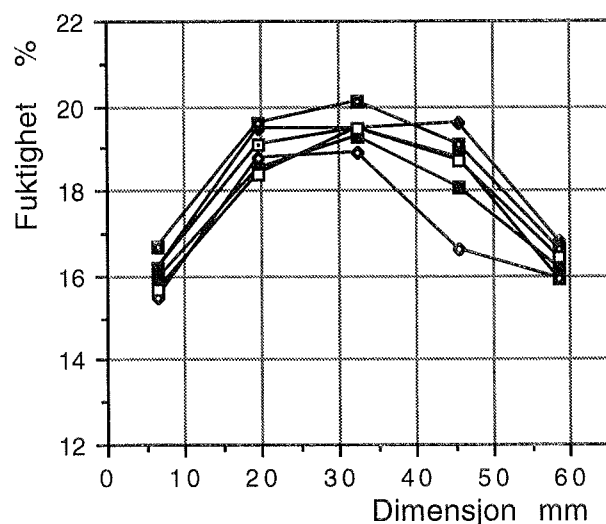


Fig.10. Fuktighetsgradienter ved 40°C våttemp. med kondisjonering (F1).

I fig. 10 er vist fuktighetsgradienten ved forsøk F1 hvor trelasten ble kondisjonert. Vi ser her klart effekten av kondisjoneringen. Fuktighetsgradienten er i middel redusert fra 7-8% ved ukondisjonert til ca. 4.5% ved kondisjonert virke. Midlere fuktighet ved kløving i tre bord vil her gi 19% i midtbordet og 17% i sidebordene. Etter utjevning av fuktigheten mellom bordene vil en her teoretisk få en breddeforskjell på 0.7 mm på 140 mm bord og 0.5 mm ved 95 mm bord. Disse variasjoner ligger klart innenfor kravene i NS.

Figur 11 viser gradienter ved tørking i 60°C uten kondisjonering.

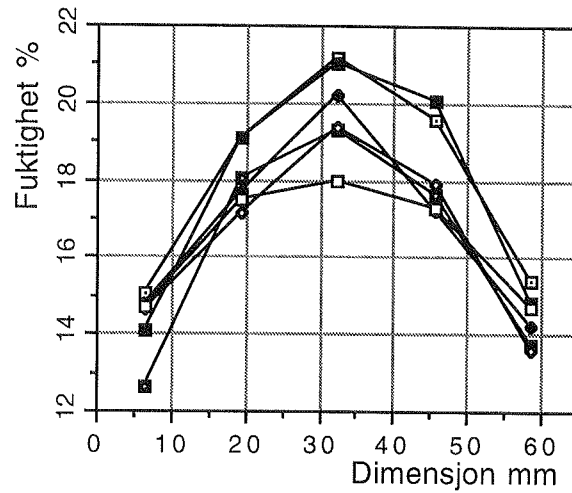


Fig.11. Fuktighetsgradienter ved 60°C våttemp. uten kondisjonering (F3).

Vi ser også her en markert fuktighetsgradient på 7-8%, som er for høyt for virke som skal gå direkte til kløving og høvling .

I figur 12 er vist gradientene ved tørking i 60°C våttemperatur ved delvis kondisjonering (basningen med vann gav ikke tilfredsstillende heving av våttemperatur og resultatet ble snarere en fuktighetsutjevning).

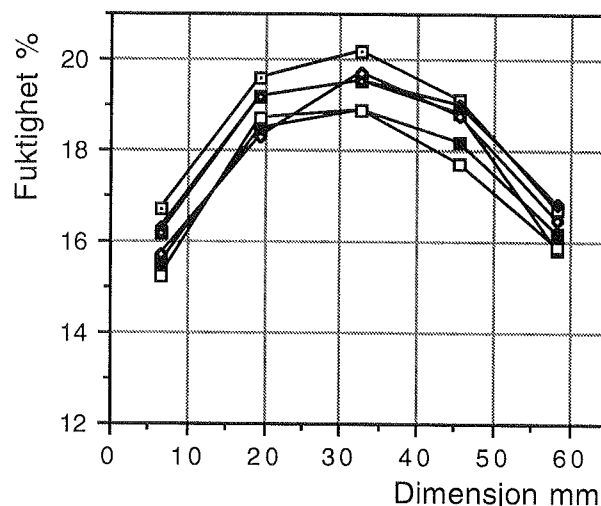


Fig.12. Fuktighetsgradienter ved 60°C våttemp. med fuktighetsutjevning (F4).

Selv om man her ikke oppnådde ønsket kondisjoneringsklima grunnet mangelfull basing, fikk man likevel en viss reduksjon i fuktighetsgradienten sammenlignet med tørkeforsøkene uten kondisjonering. Ifølge tørkas egne klimaregistreringer (egen temperaturlogger sviktet) ble det kondisjonert ca. 1.5 døgn ved 70°C og en psykrometerdifferanse på 9°C. Dette tilsvarer en likevektsfuktighet på ca. 11% basert på desorpsjon, som er for lav verdi til å kunne oppheve eventuelle spenninger i virket, men som burde gi mindre gradienter enn forsøk F3 hvor likevektsfuktigheten på slutten var ca. 8%. Innstilt (ønsket) psykrometer-differanse var 1.6°C som ville gitt en likevektsfuktighet på 18.5%, et nivå som er nødvendig for å kunne redusere eventuell yteherding.

3.4. Tørkespenninger

Etter hver tørkeomgang ble det tatt 20-30 gaffelprøver for bestemmelse av spenningen (yteherdingen) i virket. Graden av yteherding (se fig. 13) er ifølge NS-INSTA 141 definert som forholdet mellom gaffelens "tykkelse" d_2 , etter at gaffelprøven er fuktighetsutjevnet tilsvarende prøvens middel-fuktighet og gaffelens opprinnelige tykkelse d_0 .

Spenningsstilstanden blir i følge nedenstående figur lik d_2/d_0 . I dette tilfelle ble prøvene først fuktighetsutjevnet ved 85% RF (tilsvarende 18% LVF) i 24 timer ifølge INSTA 141. Etter 1 års lagring i romklima med de siste 2 mnd. i 30% klima, ble alle gaffelprøvene unntatt F2 målt igjen. Prøvenes fuktighet lå da på ca. 6%. Prøvene ble så lagt i 20°C, 65% klima i 2 mnd, hvorefter nye spenningsmålinger ble tatt. Prøvenes fuktighet var da i middel 12%.

Grunnen til at man ville følge med spenningsutviklingen over tid ved forskjellige fuktighetsnivåer var å få et inntrykk av i hvilken grad utjevningstiden og utjevningssklimaet påvirket måleresultatet.

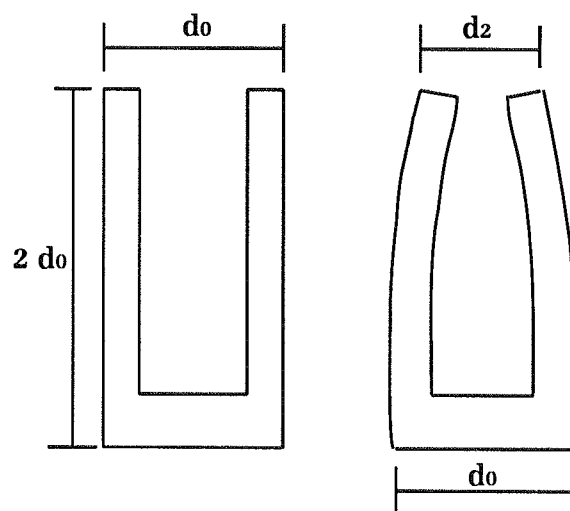


Fig.13. Målepunktenes beliggenhet i gaffelprøven.

Resultatet av prøvene er vist i tabell 3:

Tabell 3. Observerte spenninger og innflytelse av utjevningstid og RF på måleresultatet.

Utjevningssklima/tid:		85%RF(1-30d)	30%(14 mnd)	65%(2 mnd)
Fuktighet etter utjevning:		18% >	6% >	12%
Spenninger: F1 (kond.)		0.86	0.81	0.84
"	F2 (ukond.)	0.79		
"	F3 (ukond.)	0.92	0.75	0.80
"	F4 (utjevn.)	0.89	0.72	0.79

Gaffelprøvene som i utgangspunktet ble laget av prøver som hadde en middelfuktighet på 16-19% ble utjevnet i et klima på 20°C og 85% RF, som tilsvarer en LVF på ca. 18%. Utjevningstiden ble forskjellig fra de første prøvene (F1 og F2) hvor gaflene lå i klimarommet ca. en måned, til de siste prøvene (F3 og F4) som lå inne bare ett døgn (som er i overensstemmelse med INSTA 141).

Sammenligner man F1 og F2 ser man effekten av kondisjoneringen på innbøyningen av gaflene. Ved kondisjoneringen går trelasten opp en klasse (ifølge INSTA 141) fra middels til små spenninger.

Grunnet uforståelig lave spenninger ved tørking F3 og F4 ble det tvil om hvorvidt ett døgn er tilstrekkelig tid for utjevning av fuktigheten i gaffelprøver. Gaffelprøvene (F1, F3 og F4) ble derfor tatt vare på og kontrollmålt etter 14 mnd. lagring i romklima med de 2-3 siste månedene i ca. 30% RF. Prøvene hadde da en fuktighet på 6%. (Prøvene fra F2 ble ved en feiltagelse ikke tatt vare på etter den første spenningsmåling.)

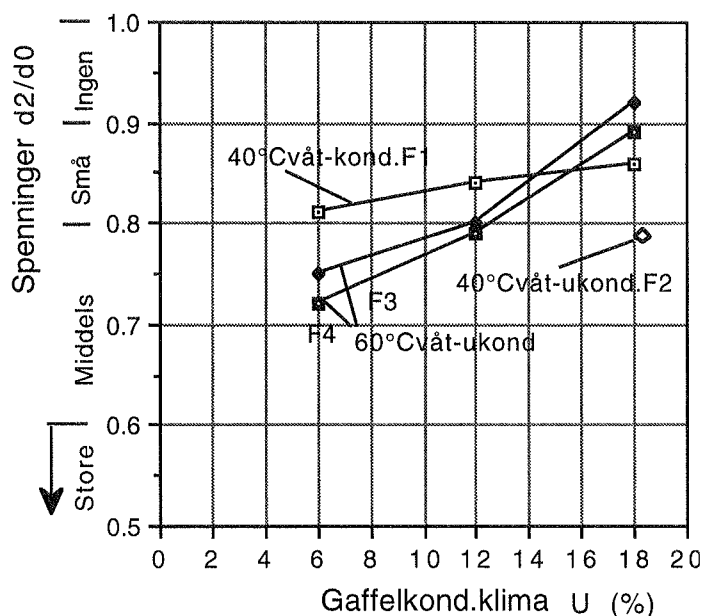


Fig. 14. Målt spenningstilstand i gaffelprøvene ved forskjellige kondisjoneringsklimaer.

Prøvene ble deretter lagret i 2 mnd. ved 65% klima, som gav en fuktighet i prøvene på 12% (absorpsjon), hvorefter de ble målt igjen.

Av tabell 3 og fig. 14 fremgår det at gaffelprøvene generelt blir påvirket av hvilket klima de blir fuktighetsutjevnet ved. Gaffelprøvene viser høyere spenninger jo lavere fuktighet de blir utjevnet ved.

Det er også grunn til å tro at gaffelprøvene ikke ble tilstrekkelig fuktighetsutjevnet ved 1 døgns lagring i 85% RF. En ser således at prøvene som var tørket ved 60°C uten kondisjonering (F3 og F4) hadde mindre spenninger enn F1 som var kondisjonert. Etter lengre tids utjevning, riktignok ved lavere fuktighetsnivåer, viste imidlertid de ukondisjonerte prøvene en høyere spenning enn de kondisjonerte.

Fra spenningsmålingene med gaffelprøver fremgikk det klart at at man må unngå å ta prøver fra planker med marg og kvist, da dette kan gi helt feilaktige verdier.

Spenningsmålingene ga forøvrig ikke noe svar på om våttemperaturen hadde noen innflytelse på graden av yteherding.

3.5. Tørkesprekk

Total sprekk lengde ble målt på splintsiden for alle planker i hvert forsøk.

Tabell 4. Sprekk lengde ved de forskjellige tørkeforsøk (splintside).

	Total sprekk lengde (m)	Total sprekk lengde (%)
F1 (40°C våttemp.):	22.2	4.1
F2 (40°C våttemp.):	15.3	2.8
F3 (60°C våttemp.):	0	0
F4 (60°C våttemp.):	10.0	1.8

Resultatene viser klart lavere sprekk mengder ved tørking med 60°C våttemperatur sammenlignet med 40°C våttemperatur. At man observerte null sprekk i tørkeomgang 3 må dog betegnes som et spesialtilfelle.

3.6. Endesprekk

Resultatet av målingene av endesprekk utviklingen på renkappede planke-ender sammenlignet med ukappede plankeender fremgår av tabell 5. Alle målinger er gjort på splintsiden av plankene.

Som en ser har sprekk utviklingen vært minst på de renkappede plankene i 3 av de 4 tørkeomgangene.

Tabell 5. Midlere endesprekk utvikling på planker som er renkappet og ukappet før tørking.

	Renkappet		Ukappet	
	Rot	Topp	Rot	Topp
Forsøk F1	2.01		4.08	
Forsøk F2		8.01		2.22
Forsøk F3	2.04		3.00	
Forsøk F4		3.66		4.35

Selv om en av tørkeomgangene (F 2) hadde større endesprekk ved renkappet virke, kan en konkludere med at man med fordel kan renkappe plankene i råsoringen uten risiko for at man taper mer i endesprekk under tørkeprosessen. Dette betinger imidlertid at man ikke utsetter de renkappede endene for hard uttørking (f.eks. gjennom direkte solbestraling) før trelasten settes i tørka.

Med de skjerpede krav (reduert pris) som masseindustrien har satt på flis produsert av tørt kapp, åpner dette muligheten for mer kapping på råsoringen uten særlig risiko for en økning av de totale kapp lengder.

3.7. Fuktighetsutjevning etter tørking (F1)

Etter tørking ble 34 av plankene i partiet lagret strølagt i 21 døgn, deretter kløvet til 3 bord, høvlet til glattkant og lagret strølagt 14 døgn. (August-sept.)

Fuktigheten i bordene ble etter siste lagring målt med elektrisk fuktighetsmåler og en fikk følgende verdier (middelverdi og spredning i %):

Tabell 6. Fuktighet og spredning for bord kløvet av planker lagret 21 dager fra forsøk F1 etter 14 døgns lagring i strølagt pakke.

	Rot (%) (s)		Midt (%) (s)		Topp (%) (s)		Middel(%)
Bakbord	16.72	(1.19)	16.76	(0.83)	16.25	(0.97)	16.57
Midtbord	16.44	(0.67)	16.43	(0.71)	15.71	(0.47)	16.19
Margbord	16.96	(1.12)	16.96	(0.79)	16.05	(0.51)	16.65
Middel	16.71		16.71		16.00		16.47

En ser herav at den fuktighetsgradienten som var i planken etter tørkingen (se fig. 10) er jevnet ut og en har stort sett et lavt standardavvik for alle målepunkter. En kan ikke se noen bestemt tendens til fuktighetsforskjeller mellom splint-, midt- og margbord. Det er også ubetydelig forskjell i bordenes lengderetning, men en kan observere litt lavere fuktighet i toppenden. Dette viser at 3 ukers lagring av planken før kløving og etterfølgende lagring av bordene i 2 uker i hvert fall er tilstrekkelig for en utjevning av fuktighetsgradienten som var tilstede etter tørkingen.

Disse forsøkene ble gjort i sommerklima, som vil gi en raskere utjevning av fuktighetsgradienten enn man ville fått i vinterklima.

3.8. Fuktighetsgradient og dimensjon

Bredden på margbord, midtbord og bakkbord ble målt i topp, midt og rot med skyvelære. En var interessert i å finne ut om en mellomlagring av bordene i 14 dager mellom kløving og høvling gav en jevnere bredde på de høvlete bordene enn om de ble direkte høvlet etter kløving. Nedenfor er vist middelverdien i mm av breddemålingene for de enkelte forsøk. (Δb = breddeforskjellen mellom midtbord og middel av marg- og bakkbord)

Tabell 7. Innvirkning av 14 dagers lagring mellom kløving og høvling på bredden av marg-, midt- og bakkbord.

	Marg	Midt	Bak	Δb_{midl}
Forsøk 1A (direkte høvling)	148.60	148.25	148.58	0.34
Forsøk 1B (lagring-høvling)	148.07	147.80	148.17	0.32
Forsøk 2A (direkte høvling)	148.26	148.00	148.41	0.34
Forsøk 2B (lagring-høvling)	148.36	148.17	148.44	0.23
Forsøk 3A (direkte høvling)	148.32	148.20	148.46	0.19
Forsøk 3B (lagring-høvling)	149.07	148.69	149.28	0.48
Forsøk 4A (direkte høvling)	148.42	148.24	148.48	0.21
Forsøk 4B (lagring-høvling)	148.73	148.72	148.68	-0.01
Middel	148.48	148.25	148.56	0.27

Som en ser, har midtbordene blitt smalere enn marg- og bakkbordene. Dette skyldes den fuktighetsgradienten som ennå var i plankene etter tørking og 3 ukers lagring, og som gjorde at midtbordene ennå hadde en høyere fuktighet enn marg- og bakkbordene ved høvling. Samlet for alle forsøkene lå denne forskjellen på 0.25 til 0.3 mm.

Kravene i høvellaststandarden tillater en variasjon i breddemålene på ± 1 mm for bredder ≥ 120 mm. De systematiske midlere breddeforskjeller som oppstår mellom midtbord og ytterbordene ligger således innenfor disse toleransegrensene.

Hadde plankene blitt kløvet direkte etter tørking, ville fuktighetsforskjellen mellom midtbord og ytterbordene på ukondisjonert plank vært ca. 5%, tilsvarende en breddekrympning på $148 \text{ mm} \times 0.24\%/ \% \times 5\% = 1.7 \text{ mm}$. I tillegg kommer effekten av den spredningen man har i slutt-fuktigheten. Samlet vil dette ved ukondisjonert virke kunne skape problemer med dimensjonsstandarden.

Sammenligner en de bordene som er direkte høvlet etter kløving og de som er mellomlagret før høvling, ser en at det i 3 av 4 tilfeller er litt mindre forskjeller i bredde på de bordene som er mellomlagret mellom kløving og høvling. Forskjellen er dog mindre enn kanskje ventet og det må skyldes at den 21 dagers lange mellomlagringen av plankene før kløvingen medførte en merkbar utjevning av middelfuktigheten i de enkelte planker og fuktighetsgradientene. Hvis denne mellomlagringen hadde skjedd vinterstid ville denne fuktighetsutjevningen sannsynligvis vært vesentlig mindre.

Konklusjonen her må bli at hvis man lagrer nytørkede planker, som senere skal kløves og høvles, i 2-3 uker (i sommerhalvåret) vil man utjevne fuktighetsgradienten så mye i plankene at man ikke har problemer med dimensjonskravene i NS for de enkelte bordene i planketverrsnittet, selv om planken er ukondisjonert. Er imidlertid spredningen i plankenes middelfuktighet stor og/eller det er kaldt klima med treg fuktighetsutjevning anbefales det dog å kondisjonere planken som skal kløves/høvles.

Videre kan en fastslå at en mellomlagring av bordene i 14 dager mellom kløving og høvling vil redusere dimensjonsforskjellen mellom midtbordet og ytterbordene etter høvling og fuktighetsutjevning. Betydningen av denne mellomlagringen vil selvfølgelig være større hvis plankene blir kløvet relativt umiddelbart etter tørking og justerkapping.

3.9. Yteherding og kuving

Gjennomsnittskuvingen på samtlige av de tre typer bord (marg, midt, splint) ble målt med kuvelinjal og angitt i mm. Målepunktene var på samme sted som ved breddemålingen.

Tabell 8. Pilhøyde avhengig av bordenes plassering i planken og mellomlagring før høvling.

	Marg	Midt	Splint
Forsøk 1A:	0.56	0.11	0.50
Forsøk 1B(lagring):	0.46	0.14	0.31
Forsøk 2A:	0.80	0.05	0.50
Forsøk 2B(lagring):	0.32	0.05	0.24
Forsøk 3A:	0.33	0.03	0.24
Forsøk 3B(lagring):	0.31	- 0.08	- 0.20
Forsøk 4A:	0.29	0.02	0.66
Forsøk 4B(lagring):	0.24 -	0.06	0.18
Middel (direkte)	0.50	0.05	0.48
Middel (lagring)	0.33	0.04	0.13

Av denne undersøkelsen ser en klart at midtbordene har minimal kuving i forhold til marg - og splintbordene.

En ser videre at bordene som var lagret i 14 dager mellom kløving og høvling har mindre kuving enn de som gikk direkte fra kløving til høvling.

4. Konklusjoner

Nedenfor er summert opp de viktigste erfaringer og konklusjoner man kan trekke av undersøkelsen. (En må være oppmerksom på at en del av konklusjonene er basert på for lite statistisk materiale.)

- * *Basing med vann* krever dyser med god forstøvning av vanndråpene. På forsøksstørka var dysene ikke egnet, og det ble problemer med å øke våttemperaturen tilstrekkelig, noe som førte til for stor psykrometer-differanse under kondisjoneringen.
- * *Basing med vanndamp* er et egnet alternativ. Hvis vanndampen er overhetet kan en imidlertid få problemer med at temperaturnivået stiger over ønsket verdi under kondisjoneringsperioden. For å sikre seg mot overheting av dampen er det på enkelte anlegg forsøkt å legge et vannbad med heteelementer direkte i tørka.
- * Ved tørking i våttemperaturer over 45-50°C er det uforsvarlig å gå inn i tørka for å *måle fuktigheten* i trelasten. Dette gjør det vanskelig å stoppe tørkeprosessen ved riktig slutfuktighet, noe som har blitt stadig viktigere ettersom kundene nå oftere ønsker spesifiserte fuktigheter på stadig flere nivåer. Selv på forsøksstørka var det problemer med å treffe slutfuktigheten med større nøyaktighet enn $\pm 2\%$. Her er det behov for utvikling av bedre metoder for måling av fuktigheten i trelasten under tørkeprosessen.
- * Ved nedtørking av plank til 18% uten kondisjonering ble det oppnådd en *spredning i fuktigheten* på $s = \text{ca. } 1.6\%$ i middel. Ved utjevning og kondisjonering av lasten var det mulig å redusere spredningen ned mot 1%. Ved kammertørker med store blåsedyp vil spredningen kunne bli vesentlig større. I følge INSTA 141 kan man dog for plank i klasse 18 ha en spredning på opp til $s = 2.8\%$ hvis man oppnår en middelfuktighet på akkurat 18%. Ender slutfuktigheten imidlertid på f.eks. 16% krever standarden at spredningen må reduseres til $s = 1\%$ for å kunne oppfylle kravet om at 84% av bitene skal ligge innen 14-22%.

- * *Fuktighetsgradienten*, uttrykt i forskjellen mellom fuktigheten i midten av planken og overflaten, var ved nedtørking av plank til 18% uten kondisjonering 7-8%. Tas slik plank, som også kan ha en spredning i sluttfuktigheten på 1.5-2.0%, direkte til kløving og høvling kan dette føre til så ujevn bredde på høvlasten at man kommer utenfor høvlaststandardens krav til dimensjoner.
- * Ved *kondisjonering* av planken i 35 timer ble *gradienten* redusert til 4.5% og *spredningen* til 1%, noe som gjør at planken kan tas direkte til kløving og høvling uten å få problemer med dimensjonsavvikene på de kløvde bordene etter høvling og utjevning.
- * *Spenningen* i plankene ble redusert fra middels spenninger (ifølge INSTA 141) til små spenninger ved kondisjoneringen. Denne målingen er referert til utjevning ved 65% RF.
- * For *utjevning av fuktigheten i spenningsgaflene* ser det ut som en utjevningstid på 24 timer, som er anbefalt i INSTA 141, er for liten. Etter en utjevningstid på flere måneder fikk man helt andre innbyrdes resultater enn etter 24 timer.
- * Målt spenningsnivå etter gaffelmetoden er klart påvirket av *utjevningsklimaet*, med økende spenninger ved synkende fuktighet.
- * Gaffelprøver som hadde *kvist og innesluttet marg*, viste helt feilaktige verdier og må derfor unngås.
- * En økning i *våttemperaturen* fra 40°C til 60°C gav en reduksjon i *sprekklengden* til under 1/3-del.
- * En *renkapping av sprekker* i trelasten før tørking ga i 3 av 4 forsøk mindre endesprekk under tørkeprosessen. Dette åpner for muligheter til å renkappe trelasten på råsorteringsanlegget (mer rått flishakk) uten å risikere noen økning i endesprekkingen. Dette forutsetter selvfølgelig at den strølagte trelasten ikke blir utsatt for et så skarpt klima at nye sprekker oppstår før trelasten kommer i tørka.
- * Bord som ble kløvet og høvlet av plank som i utgangspunktet hadde en fuktighetsforskjell mellom sentrum og overflate på 4-5% var etter 3 ukers strølagt lagring om sommeren som plank og 2 uker som bord nesten helt utjevnet i fuktighet.
- * Ved 3-bordskløving og høvling av plank som hadde en fuktighetsgradient på 5-8%, ble *midtbordet ca. 0.3 mm smalere enn ytterbordene* etter fuktighetsutjevning, selv om planken var lagret strølagt i 3 uker før kløving. Denne dimensjonsforskjellen ligger dog klart innenfor dimensjonskravene i høvlaststandarden. Ved en mer direkte kløving og høvling etter tørking ville nok denne dimensjonsforskjellen blitt vesentlig større.

- * En *mellomlagring* i 14 dager av bordene *mellom kløving og høvling* reduserte dimensjonsforskjellen mellom midtbord og ytterbord. Denne forskjellen var imidlertid ikke stor, noe som skulle tyde på at 3 ukers strølagt lagring av planken hadde gitt en brukbar utjevning av fuktigheten. På vinterstid kan en ikke regne med en tilsvarende utjevning.
- * Ved 3-bords kløving av plank med et spenningsnivå på 0.8 etter tørking og 21 dagers lagring fikk *ytterbordene markert mer kuving* enn midtbordene som hadde ubetydelig kuving.
- * *14 dagers mellomlagring* av bordene mellom kløving og høvling *reduserte kuvingen* av ytterbordene til det halve sammenlignet med direkte høvling.

Summary

The drying process has a decisive influence on the end quality of timber, like moisture content, cracks, knots, shrinkage, strain, discoloration, cupping and other deformations.

In the later years the quality requirements to timber as a material have substantially increased, which can be stated through new and stricter standards for sorting and moisture relations.

To get a better understanding of the influence of the drying process on many of the abovementioned qualities, a series of test runs were carried out on one of the Institute's test kilns.

The test consisted of 4 runs with 63 x 150 mm spruce, of which 2 runs were carried out with a wet bulb temperature of 40°C and 2 runs at 60°C, alternatively with and without conditioning. After the drying process the planks were stored stickered for 3 weeks before being sawn into 3 boards. The boards were divided into two groups - one group was planed immediately and the other group was stored for 2 weeks before planing.

The most important results are as follows:

- * An increase in the wet bulb temperature from 40°C to 60°C gave a reduction in the checking to a level less than one-third.
- * By the test runs without conditioning the moisture gradient in the planks was 8% by drying to approx. 18% moisture content.
- * By conditioning of the planks in 40 hours the gradient was reduced from 8% to 4.5%.

- * By sawing unconditioned planks with a gradient of 8% into 3 boards the difference in width between the center board and the outer boards will theoretically be approx. 1.5 mm after planing and equalizing. 3 weeks storing of the planks (stickered) reduced the difference between the boards to 0.3 mm. 2 weeks storing of the boards after sawing and before planing gave a further reduction in the difference between the widths of the boards.
- * The stresses in the planks caused by case hardening was reduced from moderate to small (according to INSTA 141) by a 40 hour conditioning treatment.
- * The two outer boards sawn from unconditioned planks stored for 3 weeks had a cupping of 0.5 mm after planing and equalizing. The center board had no cupping. Two weeks storing of the boards before planing reduced the cupping of the outer boards to 0.25 mm.
- * The end moisture spread (SD) was 1.6% in middle for the runs without conditioning treatment and 1.0% for the run with conditioning, the latter certainly with a lower initial spread.
- * Clear-cutting of initial end checks in the timber before drying reduced the amount of end checking during the drying process.

Among other observations the following can be mentioned:

- * An equalizing time for the test prongs of 24 hours as indicated in INSTA 141 is apparently too short.
- * The values from the prong tests are clearly influenced by the equalizing climate, with increasing stress values with decreasing moisture content.

Rapporter

1. Energisparing og energiøkonomisering ved trelasttørring. Magnar Eikerol, 1981.
2. Oppvarming og rengjøring av skurtømmer før barking del II.
Erfaringer og anbefalinger ved bruk av bløtebasseng.
Per Skogstad og Sverre Tronstad, 1982.
3. Betydningen av å kappe skurtømmeret etter kvalitet. Bjørn Lier, 1982.
4. NTI's simuleringsprogram for skur. A. Garnæs. 1982.
5. Metalldetektorer. En orientering om utstyr og om erfaringer fra praktisk bruk.
Bjørn Lier, 1983.
6. Bruk av tre i svømmehaller. Håkon Bergsrud og Hans-Kristian Ellingsen, 1983.
7. Kvalitetskrav til skurlast av lauvtre. Bohumil Kucera, 1983.
8. Skurnøyaktighet ved råskur. Bjørn Lier og Magnar Müller, 1983.
9. Emneproduksjon. Rolf Birkeland og John Rønningen, 1985.
10. Skurnøyaktighetsundersøkelser 1986. Magnar Müller og John Rønningen, 1987.
11. Fingerskjøting av konstruksjonslast. Per Lind, 1987.
12. Skjærforhold i sagblad. Håkon Toverød, 1988.
13. MPS i trelastindustrien. Andreas Garnæs, Per Roar Nordby og Håkon Toverød, 1988.
14. Trevirke. Prosjekt fasader - fornyet overflatebehandling. Redigert av Eirik Raknes, 1989.
15. Støydemping av sorterverk og internt transportutstyr. Andreas Garnæs, 1992.
16. Arbeidsmiljø ved båndkløyve. Endring av avsug og demping av støy.
Andreas Garnæs, 1992.
17. Tørring - trekvalitet. Resultater fra 4 tørkeforsøk. Sverre Tronstad, 1993.

Småskrifter

20. Tabeller over statiske verdier for trelast. 1992.
21. Skadeinsekter i forarbeidet trevirke. NTI. 1967.
23. Trebeskyttelse. Gustav S. Klem. og Fred G. Evans. 1992.
24. Mekaniske treforbindelsesmidler. NTI. 1991.
25. Sagbruksavfall som industribrensel. NTI. 1974.
26. Tregulv - typer og egenskaper. Michael Foslie. 1976.
28. Sortererhåndboka. Kvalitetsforhold i trevirke. M. Foslie. 1988.
29. ABC for fingerskjøting. Karl Mørkved. 1980.
30. Råteskader i bygninger. Årsaker - Forebyggende tiltak - Utbedring.
Jöran Jermer og Carl Michael Johannesson. Oversatt av Fred G. Evans. 1982.
31. Impregnert trevirke. Bruksområder og egenskaper. Fred G. Evans. 1984.
32. Fuktavhengige dimensjonsforandringer i høvellast. Michael Foslie. 1989.
33. Treteknisk Håndbok. 1991.

Utredninger

47. Kontroll og styring av trelasttørker. T. Raen og S. Tronstad. 1978.
48. Tørkeskjemaer for norske og utenlandske treslag. T. Raen og S. Tronstad. 1979.
49. BJØRK - Produksjon, egenskaper, bearbeiding og anvendelse.
K. Vadla, N. Berg og M. Foslie. 1980.
50. Trekonstruksjoner. Eksempelsamling. 1988.