



Tørking av bjørk

Resultater fra 9 tørkeforsøk

Per F. Jørgensen, KanEnergi AS,
Sverre Tronstad og Asle Tengs, NTI



Norsk Treteknisk Institutt

Adr.: Forskningsveien 3 B

P.B. 113 Blindern

N-0314 Oslo

Tel: +47 22 96 55 00

Fax: +47 22 60 42 91

Bank: 6039.05.16714

Post: 0802 5 14 87 70

Tørking av bjørk

Resultater fra 9 tørkeforsøk

Saksbehandlere: Per F. Jørgensen, KanEnergi AS, Sverre Tronstad og Asle Tengs, NTI
Dato: 1995-12-12
Oppdragsgiver: Landbruksdepartementet, TTVF
Prosjektnr.: 342552

Sammendrag

Det er utført 6 tørkeforsøk med 50 mm bjørk i laboratorietørke ved Norsk Treteknisk Institutt og 3 forsøk i fullskala i kondensasjonstørke hos Svenneby Sag & Høvleri. Maksimal tørretemperatur har vært mellom 58-80 °C med våttemperaturer på henholdsvis 50 og 60 °C og varierende tørkeskarphet.

Før tørking ble startfuktighet og uttak i stokken registrert. Under tørking ble det foretatt en kontinuerlig registrering av tørkeklima mht. tørr- og våttemperatur. I forsøkene i laboratorietørken ble det også løpende registrert trefuktighet, tretemperatur og fuktighetsgradient for et utvalg av plankene. Etter tørking er slutfuktighet og gradienter, sprekkdannelser, yteherding, mugg og fargeforandring notert, vurdert og/eller beregnet. Resultatene mht. slutfuktighet, fuktighetsgradient og yteherding er plassert i kvalitetsklasser ihht. EDGs forslag til tørkestandard.

Forsøkene viste at tørking av bjørk til 10 % med våttemperatur 50 - 60 °C og middels til skarp tørkekraft ga meget bra resultater både når det gjelder sprekke, soppkader og fargeendringer. En etterfølgende kondisjonering i 18 - 24 timer med en likevektsfuktighet 2 % over midlere slutfuktighet, ga også spenningsfri trelast med liten fuktighetsgradient.

<i>Stikkord:</i>	Tørking, tørkeskjemaer, bjørk.
<i>Keywords:</i>	Drying, drying schedule, birch.

I n n h o l d

Sammendrag.....	3
1 Innledning.....	7
1.1 Bakgrunn og mål for prosjektet.....	7
1.2 Prosjektorganisering.....	7
1.3 Forutsetninger for prosjektet og rapporten.....	7
2 Tørketerminologi og vedanatomi	8
2.1 Generelt	8
2.2 Tørketerminologi.....	8
2.2.1 Tørr temperatur	8
2.2.2 Våttemperatur.....	9
2.2.3 Psykrometerdifferanse.....	9
2.2.4 Luftfuktighet	9
2.2.5 Trefuktighet	9
2.2.6 Likevektsfuktighet (LVF).....	9
2.2.7 Tørkekraft	10
2.2.8 Krymping og svelling	10
2.2.9 Spenninger og yteherding	11
2.2.10 Densitet	11
2.2.11 Plastisitet	11
2.2.12 Fibermetningspunkt	12
2.3 Vedanatomi	12
3 Tørking i laboratorietørke ved NTI	15
3.1 Råvaren.....	15
3.2 Tørkeutrustningen.....	15
3.3 Forsøksmetodikk.....	16
3.3.1 Råstoff	16
3.3.2 Prøveuttak før tørking	16
3.3.3 Prøveuttak etter tørking.....	16
3.3.4 Plassering i tørka	17
3.3.5 Tørkeskjema.....	18
4 Resultater fra forsøkene ved NTI.....	19
4.1 Forsøk nr. 1, tv = 50°C, tmax = 65°C, mildt klima.....	19
4.1.1 Forsøksbetingelser	19
4.1.2 Resultater	20
4.1.3 Kommentarer	21
4.2 Forsøk nr. 2, tv = 50°C, tmax = 75°C, (skarpt) klima.	21
4.2.1 Forsøksbetingelser	21
4.2.2 Resultater	22
4.2.3 Kommentarer	23
4.3 Forsøk nr. 3, tv = 60°C, tmax = 85°C, (skarpt) klima.	23
4.3.1 Forsøksbetingelser	23
4.3.2 Resultater	24
4.3.3 Kommentarer	25
4.4 Forsøk nr. 4, tv = 50°C, tmax = 73°C, (skarpt) klima.	25
4.4.1 Forsøksbetingelser	25

4.4.2	Resultater	26
4.4.3	Kommentarer	27
4.5	Forsøk nr. 5, tv = 50°C, tmax = 80°C, skarpt klima.....	28
4.5.1	Forsøksbetingelser	28
4.5.2	Resultater	29
4.5.3	Kommentarer	30
4.6	Forsøk nr. 6, tv = 60°C, tmax = 80°C, skarpt klima.....	30
4.6.1	Forsøksbetingelser	30
4.6.2	Resultater	31
4.6.3	Kommentarer	32
5	Tørking i fullskala kondensasjonstørke ved Svenneby Sag & Høvleri.....	33
5.1	Råvaren.....	33
5.2	Tørkeutrustningen.....	33
5.3	Forsøksmetodikk.....	34
5.3.1	Råstoff	34
5.3.2	Klimamålinger	34
5.3.3	Prøveuttak før tørking	34
5.3.4	Prøveuttak etter tørking.....	35
5.3.5	Plassering i tørka	35
5.3.6	Tørkeskjema.....	35
6	Resultater fra forsøkene ved Svenneby Sag & Høvleri	36
6.1	Forsøk nr. 7, tv = 50°C, tmax = 65°C.....	36
6.1.1	Forsøksbetingelser	36
6.1.2	Resultater	37
6.1.3	Kommentarer	37
6.2	Forsøk nr. 8, tv = 50°C, tmax = 65°C.....	38
6.2.1	Forsøksbetingelser.....	38
6.2.2	Resultater	38
6.2.3	Kommentarer	39
6.3	Forsøk nr. 9, tv = 50°C, tmax = 65°C.....	39
6.3.1	Forsøksbetingelser.....	39
6.3.2	Resultater	40
6.3.3	Kommentarer	41
7	Sammenstilling av forsøksresultatene	42
8	Diskusjon.	43
9	Konklusjon.....	44
	Referanseliste:	46
Vedlegg	1: Resultater fra forsøk	1 og 2
"	2: "	3 og 4
"	3: "	5 og 6
"	4: Fordeling av inngangsfuktighet, forsøk 1-6	
"	5 og 6: Utgå	
"	7: Resultater fra forsøk	7
"	8: "	8
"	9: "	9
"	10: Kvalitetsklasser i.h.t. EDG-standard	

1 Innledning

1.1 Bakgrunn og mål for prosjektet

Bjørk utgjør 67 % av Norges lauvtrevolum, og utnyttelse av disse ressursene er økende. Det finnes imidlertid lite dokumentert om tørking av norsk lauvtre. Erfaringer fra industrien og anbefalinger gitt i litteraturen (i hovedsak utenlandsk), dokumentert i forprosjektet «Tørking av lauvtre», er meget forskjellige med hensyn til hvordan bjørk bør tørkes. Tørkeskjemaene, både de som blir benyttet i industrien og ikke minst skjemaene fra litteraturen, var så sprikende med hensyn til temperaturnivåer, tørkeskarphet etc., at det var behov for å kjøre egne forsøk.

Målet for prosjektet var således å skaffe erfaringer ved forsøktørking, dokumentere forsøkene og anbefale tørkeskjemaer til bruk for norsk industri.

1.2 Prosjektorganisering

Ansvarlig for prosjektet har vært KanEnergi AS, Per F. Jørgensen. Han har stått for den praktiske gjennomføringen med bearbeiding av data ved forsøkene på Svenneby Sag & Høvleri. Sverre Tronstad har vært ansvarlig for arbeidet utført ved NTI, mens Asle Tengs i det vesentlige har utført de praktiske forsøkene og bearbeiding av data ved NTI.

Styringsgruppa i prosjektet har bestått av: Stein Hellem, TeroConsult AS, Ole Svenneby, Svenneby Sag & Høvleri, Sverre Tronstad, Norsk Treteknisk Institutt og Willy Wahl, InMark AS.

Prosjektet er finansiert av Landbruksdepartementet, TTVF - Trevirke og Treindustrien - Verdiskapning og Foredling.

1.3 Forutsetninger for prosjektet og rapporten

Hovedformålet med prosjektet er å gi industrien grunnlag for utarbeidelse av tørkeskjemaer som kan benyttes med bruk av dagens tørkeutstyr. Styringsgruppa bestemte således å fokusere på tørketemperaturer som har størst relevans for norsk trelastindustri. Aktuelle tørketemperaturer var derfor fra 40-80 °C, og tørkeforsøk med ekstremverdier er derfor ikke prioritert. Tørking ved temperaturer over 80 °C gir økte krav til korrosjonsbestandighet for tørkeutrustning, varmforsyningen må utformes på en helt annen måte enn idag

(gjærne dampbasert), og alle elektriske motorer må trekkes ut av tørkene. Dette er tørketyper som, såvidt vi kjenner til, ikke finnes i Norge idag. Forsøksserien ble innledet med forsøk med 50 °C våttemperatur. Resultatene mht. fargeforandring, tørketider etc. var såpass bra at det ikke ble kjørt forsøk ved lavere temperatur.

Det er valgt å ta med deler av kapittelet «Tørketeknikk» fra forprosjektet «Tørking av lauvtre» om tørketerminologi og anatomi. Dette er gjort for at rapporten skal kunne stå «på egne ben».

2 Tørketerminologi og vedanatomi

2.1 Generelt

Det finnes flere tørkemetoder og styringssystemer som kan benyttes for tørking av bjørk, med luftvekslingstørker (kammer- og kanaltørker), kondensasjonstørker og vakuamtørker som de viktigste tørketypene.

Felles for anvendelse av alle disse tørketyper er at tørkepasseren må ha god kjennskap til det teoretiske grunnlaget for tørkeprosessen og den terminologi som benyttes. Nedenfor er derfor de viktigste begrepene som benyttes i tørketerminologien og i denne rapporten, listet opp. I tillegg er det tatt med et avsnitt om vedanatomi.

2.2 Tørketerminologi

2.2.1 Tørr temperatur

På engelsk: «*Dry bulb temperature*». Tørrtemperatur er den temperatur som måles med et vanlig termometer. Blir i tørketeknikken kalt «tørr»-temperatur til forskjell fra «våt»-temperatur.

2.2.2 Våttemperatur

På engelsk: «*Wet bulb temperature*». Legges en fuktig og porøs fille omkring føleren på et vanlig termometer, vil denne avkjøles på grunn av at vannet fordampes, og termometeret vil vise en temperatur som er lavere enn tørrtemperaturen. Denne temperaturen defineres som luftens våttemperatur. Ved en lufthastighet på minst 2 m/s er det en direkte sammenheng mellom våttemperatur, tørrtemperatur og relativ fuktighet. Kjenner man tørr- og våttemperaturen, kan man via tabeller eller diagram finne luftens relative fuktighet.

2.2.3 Psykrometerdifferanse

På engelsk: «*Wet bulb depression*». Forskjellen mellom våt- og tørretemperatur defineres som psykrometerdifferansen. Liten forskjell gir høy relativ fuktighet (%RF) og omvendt.

2.2.4 Luftfuktighet

På engelsk: Absolutt fuktighet: «*Absolute humidity*», relativ fuktighet: «*Relative humidity*» (%RH). Luftfuktighet kan betegnes som absolutt og relativ fuktighet. Absolutt fuktighet defineres som kg vann pr. kg tørr luft, og kan vanskelig måles direkte, men kan beregnes.

Relativ fuktighet, % RF, defineres som forholdet mellom den aktuelle vanndampmengden i lufta og den maksimale vanndampmengden luften kan inneholde ved en viss temperatur (regnes i prosent). Relativ fuktighet er avhengig av lufttemperatur og absolutt fuktighet. Jo varmere lufta er, dess større er luftas evne til å ta opp fuktighet. Derfor kan man ved samme absolute fuktighetsinnhold, men ved forskjellige temperaturer, ha forskjellig % RF. 0% RF er absolutt tørr luft, 100% RF er mettet luft.

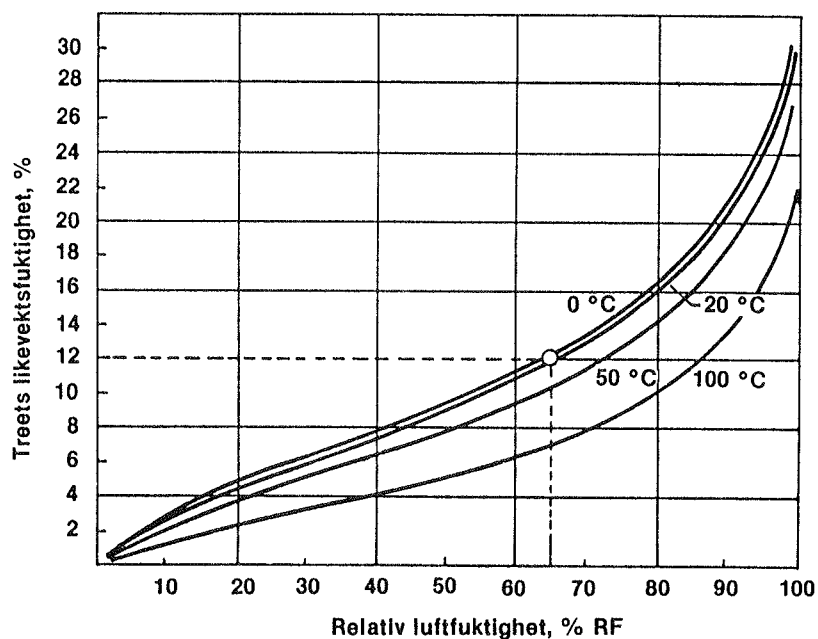
Eksempel: Absolutt fuktighet i lufta er 10 g/kg tørr luft.
Ved 14 °C har vi 100% RF, ved 25 °C, 50%RF og ved 34 °C, 30%RF.

2.2.5 Trefuktighet

På engelsk: «*Moisture Content*» (MC). Trefuktighet defineres i tørketeknikken som antall kg vann i prosent av antall kg absolutt tørt trevirke. Det er mulig å oppnå over 100% trefuktighet dersom vekten av vannet er større enn vekten av treet. Dette kan oppstå i splintved i nåletrær. For lauvtre er fuktigheten jevnere fordelt over hele stammetverrsnittet.

2.2.6 Likevektsfuktighet (LVF)

På engelsk: «*Equilibrium Moisture Content*» (EMC). Dette er ett av de viktigste begrepene i tørketeknikken. Likevektsfuktigheten er den fuktighet trevirket vil innstille seg på dersom det oppbevares ved en bestemt temperatur og relativ luftfuktighet over lengre tid. Til ethvert klima svarer det en bestemt likevektsfuktighet og denne vil kunne variere fra treslag til treslag. Se figur 2.1 og /1/.



Figur 2.1. Likevektsfuktighet for tre som funksjon av relativ luftfuktighet og temperatur. Må sees i sammenheng med LVF for det enkelte treslag, se /1/.

2.2.7 Tørkekraft

På engelsk: «*Drying gradient*» eller «*drying force*». Defineres som trelastens gjennomsnittsfuktighet dividert på trelastens likevektsfuktighet med lufta. Jo større forskjell mellom trefuktigheten og likevektsfuktigheten, dess hardere tørking. For trefuktighet over fibermetningspunktet (ca. 30%), finnes tørkekraften ved å dividere 30% på aktuell LVF.

2.2.8 Krymping og svelling

På engelsk: krymping: «*shrinkage*», svelling: «*swelling*»
 Enhver endring i fuktighetsinnhold under fibermetningspunktet gir volumforandring i trevirket. Krymping og svelling er ulik i de forskjellige retninger, og kan føre til sprekkdannelser og deformasjoner ved tørking. Krympningen er tilnærmet proporsjonal med endringen i fuktighetsinnholdet fra fibermetning og ned til absolutt tørt virke.

Forskjellige forhold ved treets oppbygging gjør at krympning i radiell retning er omtrent halvparten av krympning i tangensiell retning. Krympningen i lengderetningen er forholdsvis liten.

Krympning for bjørk:	Tangensiell krympning:	7,8%
	Radiell krympning:	5,3%
	Krympning i lengderetning:	0,6%
	Krympning i volum:	13,7%

2.2.9 Spenninger og yteherding

På engelsk: spenning: «*stress*», yteherding: «*case-hardening*»

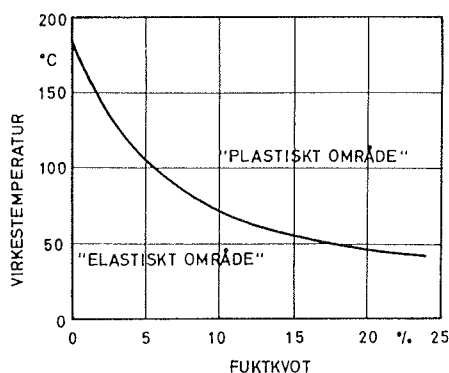
Når rått trevirke tørkes, vil fuktighetsforskjellen over tverrsnittet av virket føre til ulik krymping mellom overflaten og de indre delene. Man får en oppbygging av strekkspenninger i overflaten og trykkspenninger lenger inn i virket. Strekkspenningene kan føre til en plastisk forstrekning av overflaten. Denne forstrekningen betegnes yteherding, og vil gi uheldige formendringer av virket ved oppsplitting.

2.2.10 Densitet

På engelsk: «*density, specific gravity*». Densitet (eller spesifikk vekt) defineres som vekt dividert på volum og benevnes i kg/m^3 . Densiteten vil kunne oppgis ved forskjellig fuktighet og volum. Eksempelvis angis tørrdensitet, ρ , som tørr masse ved tørt volum. Imidlertid er det mest vanlig å angi densiteten som tørrvekt i forhold til råvolum, og betegnes da som basisdensitet.

2.2.11 Plastisitet

Ved økt temperatur blir treet «plastisk». Dette kan forklares med at ligninet mellom cellene mykner og at cellene kan «skli» i forhold til hverandre. Trevirket kan derfor forstrekkes mer ved høy temperatur uten å sprekke. Figur 2.2 viser plastisk og elastisk område for tre. Kurven er tatt frem for den minimumstemperatur hvor bølgeeffekt i finer kan utjevnes med press. (Keylwerth, Kübler) /2/.



Figur 2.2. Plastisk og elastisk område for lauvtre

2.2.12 Fibermetningspunkt

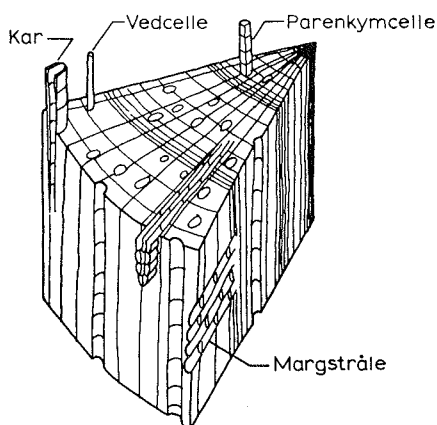
På engelsk: «*fibre saturation point*»

Over fibermetningspunktet finnes vann i treceller både fritt i cellehulrommet og som hydroskopisk bundet vann i celleveggen. Ved tørking vil det frie vannet først tørkes ut. Ved ca. 28-30 % trefuktighet finnes det ikke mere fritt vann i cellene. Dette kalles fibermetning eller fibermetningspunktet.

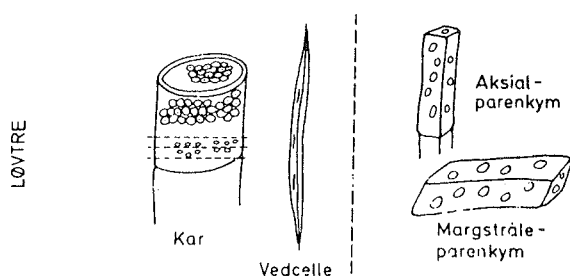
2.3 Vedanatomi

Lauvtrærnes anatomiske oppbygging er mer komplisert enn bartrærne. Mens bartrær kun har en hovedcelletype for væsketransport og avstivning, trakeider, har lauvtrærne karceller (vedrør) og fibre. Karene eller vedrørene er de viktigste for vanntransport. Andre celletyper er fibertrakeider, libriformfiber (styrke) og parenkymceller. Parenkymceller er levende celler som lagrer og leder byggestoffer.

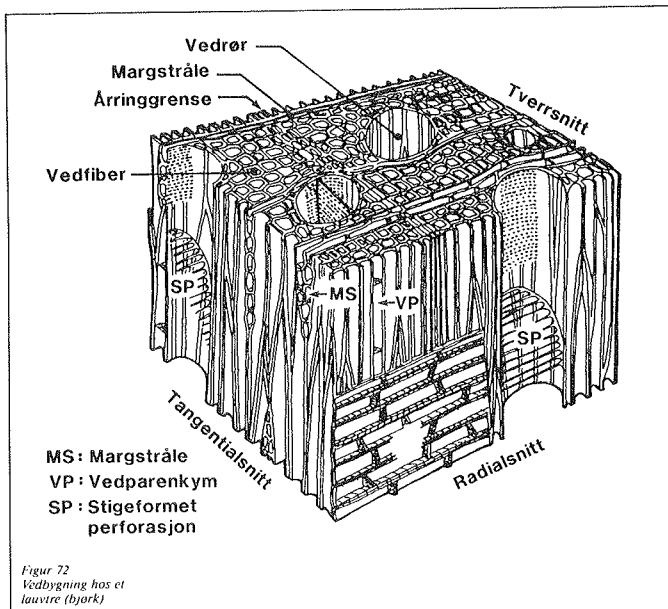
Margstrålene består stort sett av levende celler i radielle belter som transporterer og lagrer byggestoffer.



Figur 2.3 viser snitt av lauvtre /3/.



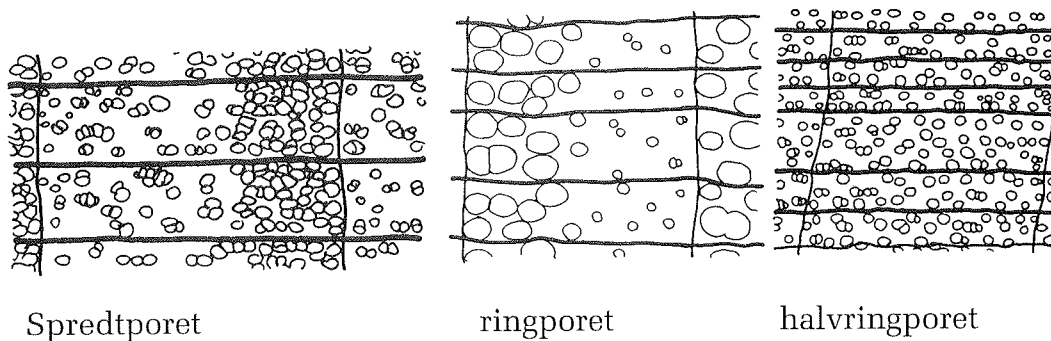
Figur 2.4 viser kar, vedcelle og parenkym fra lauvtre.



Figur 2.5 vedbygging hos bjørk /4/

Karene er korte, vide og tynnveggede, plassert oppå hverandre, slik at de danner et rør av varierende lengde. For noen lauvtreslag er karene jevnt fordelt over hele årringsbredden, såkalt spredtporede treslag, (osp, bjørk, bøk, lønn, or, rogn og selje). Dette gjør det vanskelig å finne årringbredden på disse treslagene.

For de ringporede lauvtreslag som eik, ask og alm er karellene først og fremst samlet i den første delen av årringene (vårveden), og det er derved enklere å finne årringbredden. Vårveden hos ringporede lauvtrær varierer lite i bredden og når årringene er brede, vil sommerveden utgjøre en stor del og veden får høy densitet. Karene er ofte grove og kan ha diameter på over 300 µm. Dermed kan de sees som små porer i tverrsnittet på veden. Halvringporede treslag er en mellomting mellom ring- og spredtporet (kirsebær).

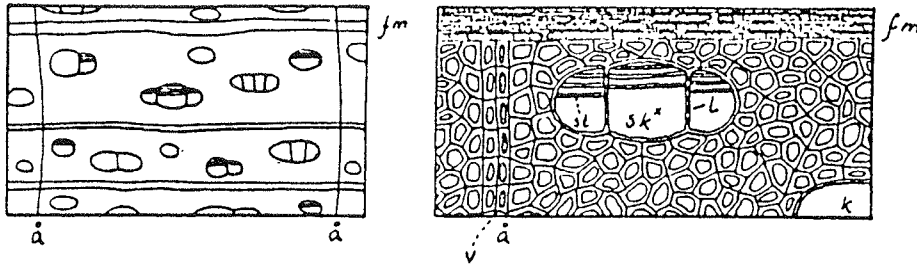


Figur 2.6: Skjematisk fremstilling av spredt-, ring- og halvringporede treslag. /4/.

Hos lauvtrær dominerer væsketransporten i aksial retning der hovedstrømmen går gjennom karene. Fuktvandringen er blant annet avhengig av karstørrelse og antall kar samt åpenhet og poretetthet på karveggene.

Åpenheten er størst i yteveden mens kjerneveden har en mere lukket struktur. Karene i kjerneveden er ofte fylt med tyller. Tylldannelse er en kjerneveddannende prosess. Hos f.eks. eik benyttes ofte bare kjerneveden på grunn av sopp og råteangrep på yteveden. For mer utdypning se /4/ og /5/.

Tverrsnitt



Figur 2.7 Tverrsnittsbilde av bjørk (spredtporet treslag) /4/

3 Tørking i laborietørke ved NTI

3.1 Råvaren

Plank av nyskåret bjørk ble levert NTI i lengder på ca. 240 cm. Bjørka er fra Østfold, hogget 1-6 uker før saging.

3.2 Tørkeutrustningen

Til forsøktørkingen på NTI ble det benyttet en laborietørke fra Brunner-Hildebrand, type Labortrockner BL.

Tekniske data for tørken:

Tørkevolum:	Lengde: 1200 mm
	Bredde: 800 mm
	Høyde: 900 mm
Varmeeffekt:	15 kW
Vifteeffekt:	1,1 kW
Basing:	Valgfritt vann/damp.
Arbeidsområde fuktighet:	Opptil 100% RH
Arbeidsområde temperatur:	Opptil 120°C
Lufthastighet:	Trinnløst justerbar til ca. 15 m/s, reverserbar vifte.
Avlufting:	Automatiske spjeld ved overskredet luftfuktighet, ikke evakueringsvifte.
Klimastyring:	Ifølge målt trefuktighet eller tidsstyring.

Tørken programmeres ved å legge inn klimabetingelser i fire tørkefaser:

- A: Oppvarming
- B: Tørking
- C: Kondisjonering
- D: Avkjøling

For de enkelte fasene legges følgende data inn:

- A: Oppvarmingstid, tørretemperatur (t_t) ved endt oppvarming og likevektsfuktighet.
- B: Tørkeperioden er delt i ti intervaller gitt av målt trefuktighet som måles v.h.j.a. 12 par elektroder som slås inn i materialene. Tørkeforløpet er således styrt av aktuell trefuktighet og ikke av forløpt tid. Mulighet for tidsstyring finnes, men ble ikke benyttet ved noen av forsøkene. For hvert fuktighetsintervall legges det inn data for tørretemperatur og tørkekraft.

- C: I kondisjoneringfasen legges det inn data for tørretemperatur og likevektsfuktighet. I de forsøk der kondisjonering ble gjennomført ble det basert med kaldt vann. Kondisjoneringstiden kan settes som en funksjon av målt fuktighetsgradient, f.eks. gradient $<1\%$. I vårt tilfelle ble kondisjoneringstiden imidlertid satt til 18-24 timer.
- D: I avkjølingsfasen oppgis en konstant likevektsfuktighet. Avkjølingen vil avsluttes når temperaturen har kommet under angitt nivå eller etter en gitt tid.

3.3 Forsøksmetodikk

I det følgende beskrives håndtering av prøvematerialet, uttak av prøver før og etter tørking, tørkeskjemaer osv.

3.3.1 Råstoff

Bjørkeplank med dim. 50 x150 mm ble levert NTI i et antall av 60 stk. med lengde ca. 240 cm i tre omganger. Hver omgang ga materiale for 2 tørkeforsøk. Umiddelbart etter mottak ble hver plank delt i to biter á 120 cm slik at man fikk to grupper testmateriale med tilnærmet like egenskaper fra hver leveranse. Gruppen som ikke gikk direkte til tørking ble oppbevart i kjølerom med klima 5°C/80% RF.

3.3.2 Prøveuttak før tørking

Fra de opprinnelige plankene på ca. 240 cm ble det tatt ut en tørkeprøve fra midtpartiet til hver annen plank (totalt 30 tørkeprøver pr. tørkeomgang) for kontroll av startfuktighet. Dette ga et standardavvik for middelveiden for startfuktighet på ca. 10% trefuktighet. Se vedlegg 4.

Margens plassering i hver plank ble registrert med følgende kode:

u = ingen marg, m = marg synlig og i = "nær" marg.

3.3.3 Prøveuttak etter tørking

Det ble tatt ut prøver mht. slutfuktighet, fuktighetsgradient og yteherding fra 12 plank etter tørking.

Middelveiden for slutfuktighet ble fastslått med et standardavvik på ca. 1% trefuktighet. Fuktighetsgradienten ble beregnet som differansen mellom midtlamell og middel av ytterlamellene. Yteherdingen ble registrert etter EDG-norm etter klimatisering i 20°C/65% RF i 24 timer.

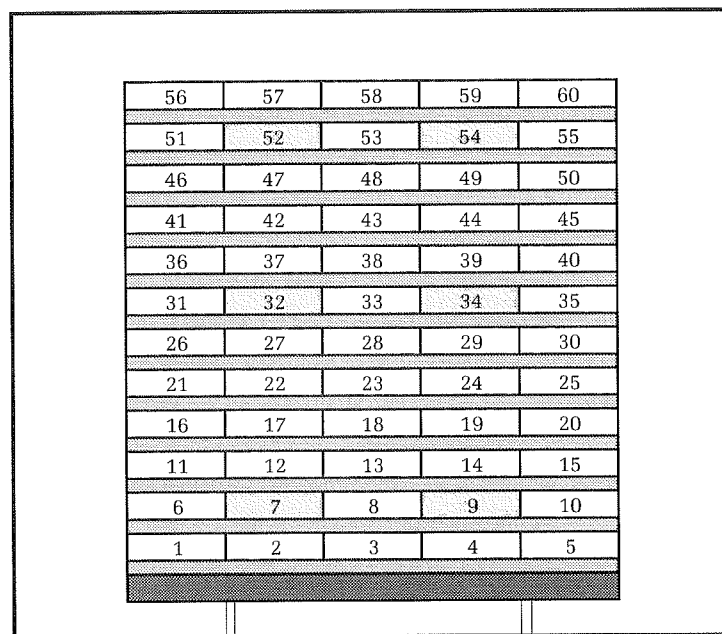
For samtlige planker ble total sprekk lengde på ytesiden registrert i cm. Sprekk inn mot marg ble markert med (m).

Videre ble muggvekst registrert på alle fire sider av hver plank. Flekkvis muggvekst ble benevnt (fl.), større sammenhengende flater ble oppgitt i cm². Videre ble det notert om muggveksten fantes på flatsiden (f) eller kanten (s). Eks. 50f + fl.s = 50 cm² område på flatsiden samt flekkvis mugg på kantene.

Fra hvert tørkeforsøk ble det tatt ut 5 planker for vurdering av fargeendringer.

3.3.4 Plassering i tørka

Plankebitene ble plassert 5 stk. kant i kant pr. flo, 12 planker i høyden, totalt 60 pr. tørkeomgang tilsvarende 0,54 m³. Med 25 mm strø av furu/gran ble dermed tørka fylt i dybde og høyde. Hver bit ble endeforseglet med aluminiumsmaling. Elektrodepar for fuktighetsmåling ble plassert i plank nr. 7, 9, 32, 34, 52 og 54. For måling av kjernefuktighet var innslagsdybden 25 mm, for måling av middelfuktighet 15 mm. For å oppnå spredning av fuktighetsmålingen over tørkevolumet, ble elektrodene vekselvis plassert i bakkant, midt i og i forkant i plankebitene. (bak (9,52), midt i (32,34), foran (7,54)). Elektrodeparene ble slått inn parallelt med fibrene.



Figur 3.2 Plassering av plankene i tørka.

3.3.5 Tørkeskjema

Etter revidert prosjektplan av 7. juni 1994 skulle det gjennomføres 6 tørkeforsøk i NTIs forsøksstørke med de foran nevnte registreringer. Det ble valgt tørkeskjema med våttemperatur 40, 50 og 60°C med hhv. mildt og skarpt klima, hvorav alle forsøk inkluderte kondisjonering.

For kondensasjonstørker vil oppnåelig tørretemperatur ofte være en begrensning, og det ble derfor forutsatt at denne ble begrenset til ca. 70° C i noen av forsøkene. Med mildt klima forstås en tørkekraft < 2, skarpt klima tørkekraft > 3, hvor tørkekraft er definert som midlere trefuktighet dividert på likevektsfuktigheten.

Hvert enkelt delforsøk er kommentert i kapittel 4. Der framgår også vurderinger som lå til grunn for avvik fra den opprinnelige prosjektplanen mht. hvilke tørkeskjema som skulle benyttes.

Med mindre annet er angitt under resultater er følgende parametre felles for alle forsøkene:

- * Ønsket slutfuktighet: 10 %
- * Oppvarmingstid: 6 timer
- * Reverseringstid vifter: 6 timer
- * Kondisjoneringstid: 24 timer ved 12% likevektsfuktighet (LVF).
- * Avkjølingstid (max): 10 timer ved 10 % LVF (eller temp < 40°C)
- * Viftehastighet: 2.5 m/s synkende til 2 m/s.
- * Automatisk spjeldregulering.

4 Resultater fra forsøkene ved NTI

Tørkeforsøkene utført ved NTI er nummerert fra 1 til 6. For hvert forsøk angis forsøksbetingelser, dvs. klima i form av tørretemperatur, psykrometerdifferanse og/eller likevektsfuktighet som funksjon av aktuell trefuktighet.

Resultatene vedr. trefuktighet, gradient og yteherding er middelveier basert på prøveuttaket (12 stk.). Muggvekst er gitt som summen av hele tørkevolumet (60 stk.). Sprekk er oppgitt i % av total lengde (72 meter).

Detaljerte resultater fra hvert enkelt forsøk er gjengitt i vedlegg 1 - 6 .

4.1 Forsøk nr. 1, $t_v = 50^\circ\text{C}$, $t_{tmax} = 65^\circ\text{C}$, mildt klima

4.1.1 Forsøksbetingelser

Forsøk nr. 1 ble gjennomført i perioden 25. juni til 18. august 1994 med følgende tørkeskjema:

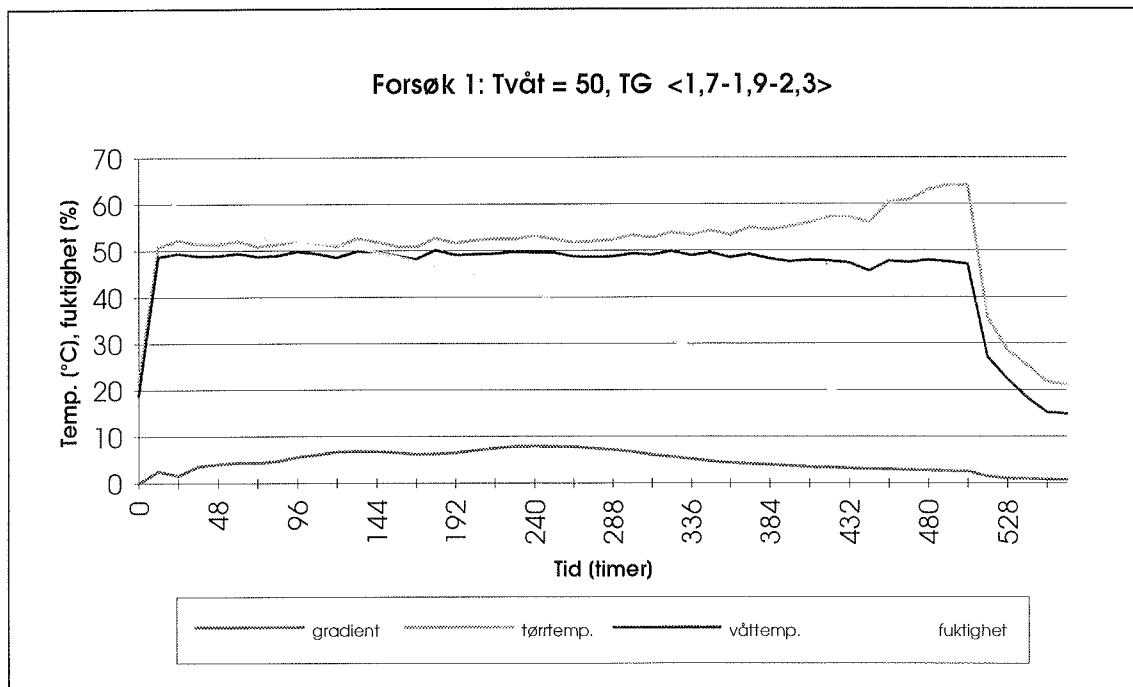
Tabell 4.1.1 Tørkeskjema for forsøk nr. 1.

Trefuktighet [%]	Tørretemp. [°C]	Psykrometer-diff. Dt [°C]	Tørkekraft	Likevektsfuktighet [%]
Oppvarming	20-52			18
> 70	52	2	1,7	
70 - 60	52	2	1,7	
60 - 50	52	2	1,7	
50 - 40	52	2	1,8	
40 - 30	53	3	1,9	
30 - 25	54	4	2,0	
25 - 20	56	6	2,1	
20 - 15	59	9	2,2	
15 - 10	69	19	2,3	
< 10	74	24	2,5	
Kondisjonering	74			12
Avkjøling				10

4.1.2 Resultater

Tabell 4.1.2: Resultater fra forsøk nr. 1.

Parameter	Verdi	Standardavvik
Startfuktighet [%]	65,6	11,5
Sluttfuktighet [%]	11,4	1,1
Gradient [%]	2,4	0,6
Yteherding [mm]	1,5	0,4
Sprekke [% av tot. lengde]	0,7	
Muggvekst	ingen	
Tørketid [døgn]	23	



Figur 4.1. Klima og fuktighetsutvikling i forsøk nr. 1.

Detaljerte resultater er gjengitt i vedlegg 1.

4.1.3 Kommentarer

Tørkestyringen gikk noe for tidlig over fra tørkefase til kondisjoneringfasen (ved fuktighet 10,7%). Kondisjoneringen ble avbrutt etter bare 1-2 timer grunnet problemer med vanddysene og forsøket måtte avbrytes uten at kontrollert avkjøling ble gjennomført. Dette er årsaken til stor fuktighetsgradient og yteherding.

Som ventet ble sprekkdannelsen minimal, totalt kun 4 kortere sprekker, hvorav alle gikk inn til marg. Tørketiden ble betydelig lengre enn forventet, selv med det milde tørkeskjemaet.

4.2 Forsøk nr. 2, $t_v = 50^\circ\text{C}$, $t_{\text{max}} = 75^\circ\text{C}$, (skarpt) klima.

4.2.1 Forsøksbetingelser

I henhold til prosjektplan ble forsøk nr. 2 kjørt med samme våttemperatur som i forsøk nr. 1, men med økt tørkekraft/psykrometerdifferanse. Dette burde resultere i kortere tørketid, men også økt fare for sprekke og misfarging. Forsøket ble gjennomført i perioden 19. august til 5. september 1994 med følgende tørkeskjema:

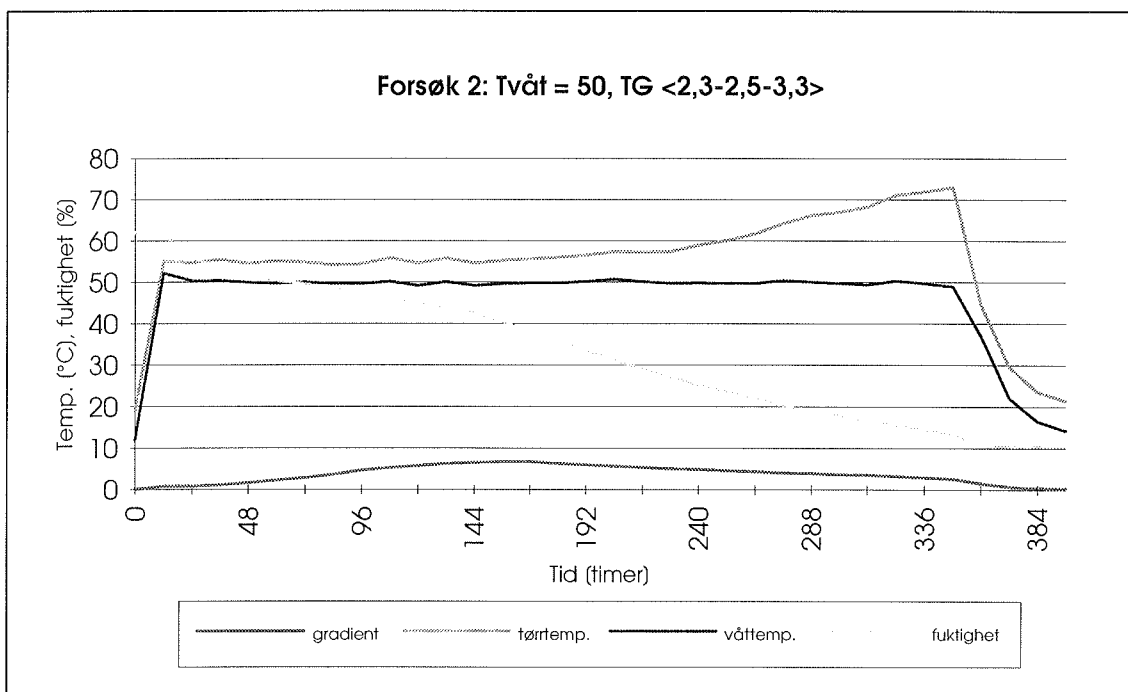
Tabell 4.2.1 Tørkeskjema for forsøk nr. 2.

Trefuktighet [%]	Tørretemp. [°C]	Psykrometerdiff. Dt [°C]	Tørkekraft	Likevektsfuktighet [%]
Oppvarming	20-55			18
> 70	55	5	2,3	
70 - 60	55	5	2,3	
60 - 50	55	5	2,3	
50 - 40	56	6	2,4	
40 - 30	56	6	2,5	
30 - 25	58	8	2,7	
25 - 20	62	12	2,9	
20 - 15	68	18	3,1	
15 - 10	75	25	3,3	
< 10	83	33	3,5	
Kondisjonering	75			12
Avkjøling				10

4.2.2 Resultater

Tabell 4.2.2: Resultater fra forsøk nr. 2

Parameter	Verdi	Standardavvik
Startfuktighet [%]	65,6	11,5
Sluttfuktighet [%]	10,4	1,1
Gradient [%]	2,1	0,8
Yteherding [mm]	1,5	0,5
Sprekke [% av tot. lengde]	2,0	
Muggvekst	250 cm ² + flekkvis	
Tørketid [døgn]	16	



Figur 4.2. Klima- og fuktighetsutvikling i forsøk nr. 2.

Detaljerte resultater er gjengitt i vedlegg 1.

4.2.3 Kommentarer

Slutfuktigheten ble målt til 10,4%, altså svært nær ønsket fuktighet. Kondisjoneringen fungerte heller ikke ved dette forsøket helt tilfredsstillende, idet likevektsfuktigheten ikke kom opp i 12% som forutsatt, men kun ca. 10,5%. Avkjølingsperioden forløp derimot som programmert. Dette kan være forklaringen på at yteherdingen ikke bedret seg fra foregående forsøk, mens en ser en liten forbedring mht. fuktighetsgradienten.

Sprekkdannelsen ble som ventet noe større, men må fortsatt sies å være liten. Sprekkene oppsto ikke i samme plankenummer som i forsøk nr. 1.

Det fantes muggvekst på 16 planker, hvorav alle var plassert i nedre halvpart av tørkevolumet. Det ble registrert en kraftig brunfarge på overflaten før tørking som resultat av lang oppbevaring i kjølerom før forsøket startet. Enkelte planker hadde også en begynnende muggvekst før tørkingen. Siden forsøk nr. 1 ikke ga antydning til muggvekst, antas denne derfor å skyldes lagringen og ikke klimaforholdene ved tørking.

Tørketiden ble redusert fra 23 døgn til 16 døgn.

4.3 Forsøk nr. 3, $t_v = 60^\circ\text{C}$, $t_{tmax} = 85^\circ\text{C}$, (skarpt) klima.

4.3.1 Forsøksbetingelser

Siden forsøk nr. 2 ikke resulterte i særlig sprekkdannelse og misfarging, ble forsøk nr. 3 kjørt med 10°C høyere våttemperatur, men med samme tørkekraft/psykrometerdifferanse. Dette medfører høyere tørretemperatur mot slutten av tørkeforløpet, opp mot 85°C , og dermed økt fare for misfarging. Startfuktigheten var i middel 73,5% i forsøk 3 og 4 (ny leveranse av plank). Tørkingen ble gjennomført i perioden 13. september til 27. september 1994 med følgende tørkeskjema:

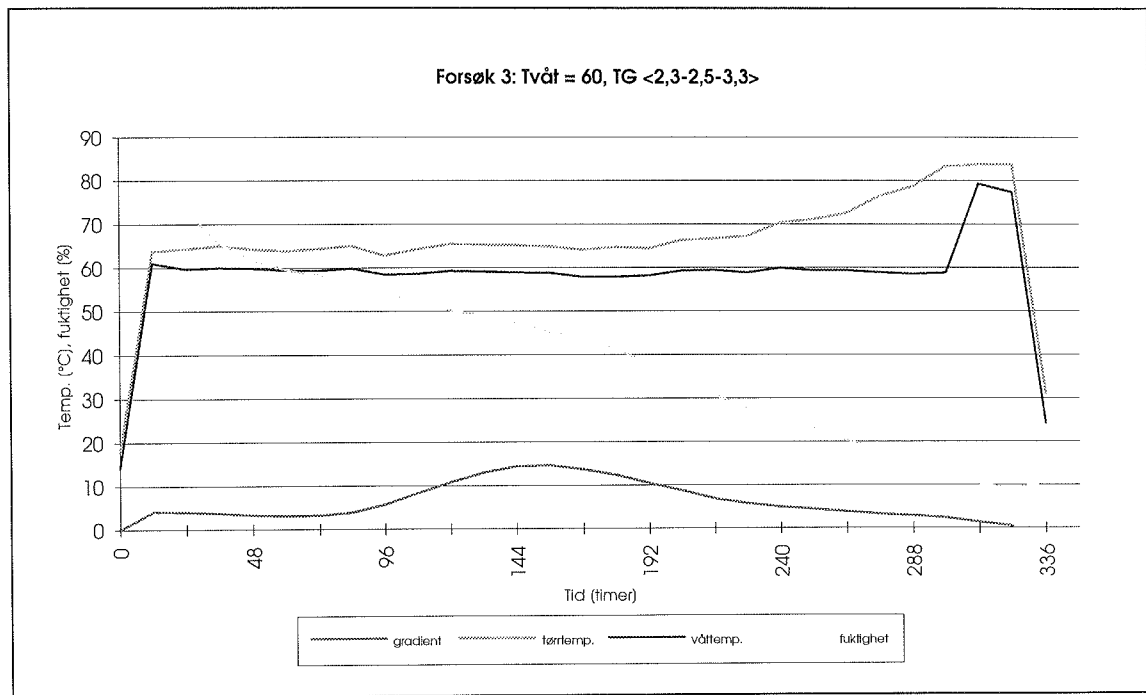
Tabell 4.3.1: Tørkeskjema for forsøk nr. 3.

Trefuktighet [%]	Tørretemp. [°C]	Psykrometer-diff. Dt [°C]	Tørkekraft	Likevektsfuktighet [%]
Oppvarming	20-65			18
> 70	65	5	2,3	
70 - 60	65	5	2,3	
60 - 50	65	5	2,3	
50 - 40	66	6	2,4	
40 - 30	66	6	2,5	
30 - 25	68	8	2,7	
25 - 20	72	12	2,9	
20 - 15	77	18	3,1	
15 - 10	85	25	3,3	
< 10	85	33	3,3	
Kondisjonering	85			12
Avkjøling				10

4.3.2 Resultater

Tabell 4.3.2: Resultater fra forsøk nr. 3

Parameter	Verdi	Standardavvik
Startfuktighet [%]	73,5	8,6
Sluttfuktighet [%]	10,3	1,1
Gradient [%]	1,4	0,8
Yteherding [mm]	0,5	0,5
Sprekk [% av tot. lengde]	0,8	
Muggvekst	ingen	
Tørketid [døgn]	13 3/4	



Figur 4.3: Klima- og fuktighetsutvikling i forsøk nr. 3.

Detaljerte resultater er gjengitt i vedlegg 2.

4.3.3 Kommentarer

Kondisjonering og avkjøling forløp som planlagt, og slutfuktigheten endte opp svært nær ønsket fuktighet. Både fuktighetsgradient og spesielt yteherding er sterkt forbedret fra foregående forsøk, dette gjelder også spredningen. Sprekkdannelsen ble minimal, totalt 55 cm fordelt på 6 planker hvorav 5 gikk til marg. Tørketiden ble som forventet redusert, selv med økt startfuktighet i forhold til forsøk 1 og 2.

4.4 Forsøk nr. 4, $t_v = 50^\circ\text{C}$, $t_{\text{max}} = 73^\circ\text{C}$, (skarpt) klima.

4.4.1 Forsøksbetingelser

Forsøk nr. 3 viste en klar forbedring fra foregående forsøk mht. fuktighetsgradient og yteherding. Det ble derfor besluttet å repetere betingelsene fra forsøk nr. 2 (våttemperatur 50°C , skarpt klima), da en i dette forsøket ikke fikk kondisjonert ved ønsket likevektsfuktighet (12%) og lasten dessuten var skjemet av endel muggvekst allerede før tørking.

Da sprekkdannelsen ikke var stor i forsøk nr. 2 (dog størst av de tre første forsøk), ble tørkekraften nå økt i første del av nedtørkingen for så å reduseres rundt fibermetning, med påfølgende økning ned mot ønsket sluttfuktighet ihht. Malmqvist-modellen.

Tørkingen ble gjennomført i perioden 28. september til 18. oktober 1994 med følgende tørkeskjema:

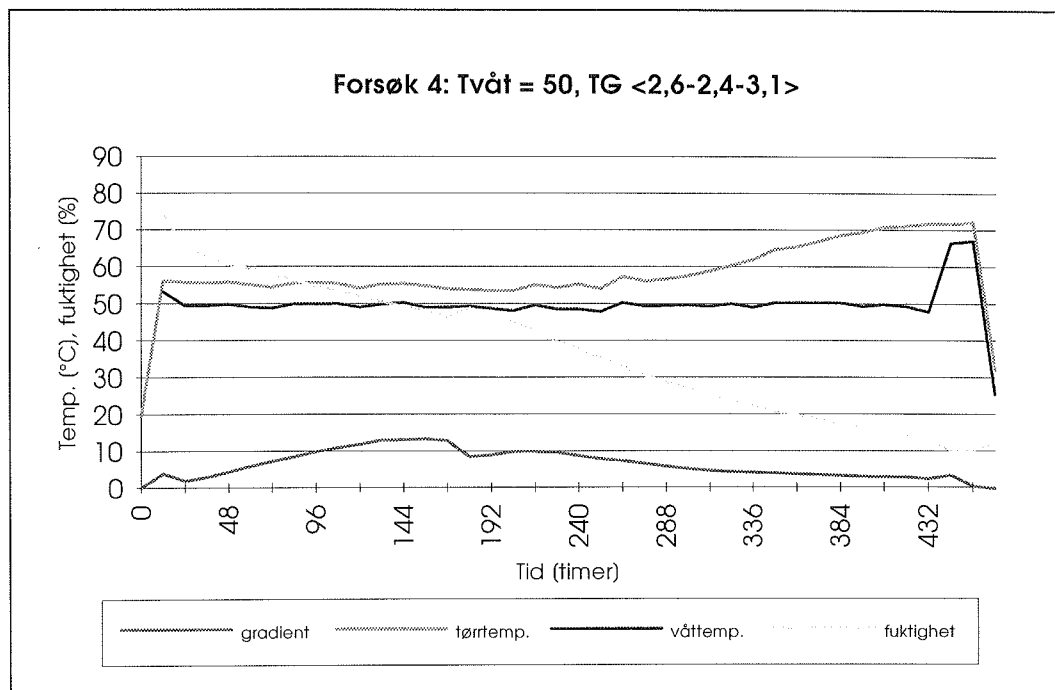
Tabell 4.4.1: Tørkeskjema for forsøk nr. 4.

Trefuktighet [%]	Tørretemp. [°C]	Psykrometer-diff. Dt [°C]	Tørkekraft	Likevektsfuktighet [%]
Oppvarming	20-56			18
> 70	56	6	2,6	
70 - 60	56	6	2,6	
60 - 50	56	6	2,5	
50 - 40	54	4	2,3	
40 - 30	55	5	2,4	
30 - 25	58	8	2,7	
25 - 20	62	12	2,9	
20 - 15	68	18	3,1	
15 - 10	73	23	3,1	
< 10	73	23	3,1	
Kondisjonering	73			12
Avkjøling				10

4.4.2 Resultater

Tabell 4.4.2: Resultater fra forsøk nr. 4

Parameter	Verdi	Standardavvik
Startfuktighet [%]	73,5	8,6
Sluttfuktighet [%]	10,2	0,9
Gradient [%]	0,9	0,5
Yteherding [mm]	0,1	0,2
Sprekk [% av tot. lengde]	1,4	
Muggvekst	ingen	
Tørketid [døgn]	19 ½	



Figur 4.4: Klima- og fuktighetsutvikling i forsøk nr. 4.

Detaljerte resultater er gjengitt i vedlegg 2.

4.4.3 Kommentarer

Kondisjonering og avkjøling forløp som planlagt, og slutfuktigheten endte opp svært nær ønsket fuktighet. Kun 2 av 12 tørke/veieprøver avvok mer enn 1% fra ønsket slutfuktighet.

Beste resultat til nå mht. fuktighetsgradient og yteherding, lasten var så godt som spenningsfri. Av den totale sprekk lengden på 101 cm var 71 cm relatert 3 plank hvor alle sprekke hadde visning til marg. Det ble ikke registrert muggvekst.

Tørketiden ble 3,5 døgn lenger enn i forsøk 2. Dette skyldes i alt vesentlig høyere startfuktighet. Tørketiden fra fibermetning til ferdig avkjøling var den samme, ca. 8 døgn.

4.5 Forsøk nr. 5, $t_v = 50^\circ\text{C}$, $t_{\text{max}} = 80^\circ\text{C}$, skarpt klima.

4.5.1 Forsøksbetingelser

Forsøk nr. 5 og 6 ble gjennomført i juni 1995. Før dette var to fullskalaforsøk kjørt på Svenneby Sag & Høvleri bygd på erfaringer fra forsøk nr. 1-4. (se kapittel 5 og 6). I de to siste tørkeomgangene i forsøksstørka ved NTI ble det bestemt å kjøre med enda skarpere klima enn i foregående forsøk 1-4. Dette for å minimalisere tørketid og samtidig holde sprekkdannelse og misfarging på et akseptabelt nivå. Tørkekraften ble satt til 3,0 i starten økende til 4,5 og utført med våttemperatur 50 og 60°C.

Forsøk nr. 5 ble gjennomført i perioden 1. juni til 16. juni 1995 med følgende tørkeskjema:

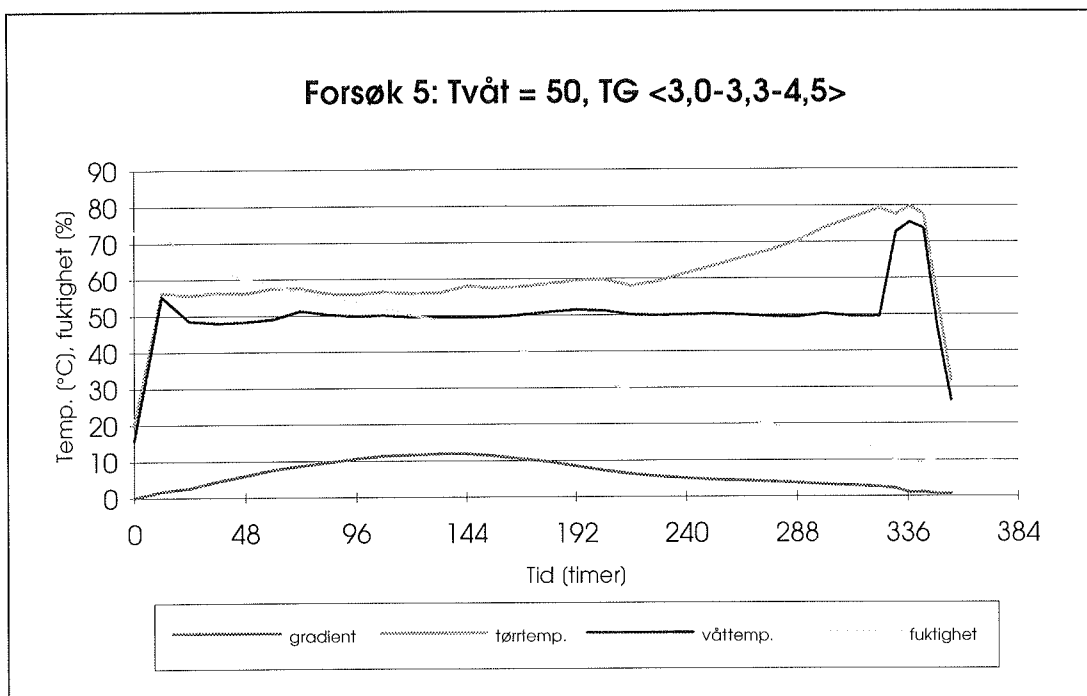
Tabell 4.5.1: Tørkeskjema for forsøk nr. 5.

Trefuktighet [%]	Tørretemp. [°C]	Psykrometer-diff. Dt [°C]	Tørkekraft	Likevektsfuktighet [%]
Oppvarming	20-58			18
> 70	58	8	3,0	
70 - 60	58	8	3,0	
60 - 50	58	8	3,0	
50 - 40	58	8	3,0	
40 - 30	59	9	3,1	
30 - 25	61	11	3,3	
25 - 20	66	16	3,6	
20 - 15	72	22	4,0	
15 - 10	80	30	4,5	
< 10	80	30	4,5	
Kondisjonering	80			12
Avkjøling				10

4.5.2 Resultater

Tabell 4.5.2: Resultater fra forsøk nr. 5

Parameter	Verdi	Standardavvik
Startfuktighet [%]	67,2	10,3
Sluttfuktighet [%]	9,2	0,8
Gradient [%]	1,2	0,4
Yteherding [mm]	0,5	0,3
Sprekk [% av tot. lengde]	0,6	
Muggvekst	ingen	
Tørketid [døgn]	15	



Figur 4.5: Klima- og fuktighetsutvikling i forsøk nr. 5.

Detaljerte resultater er gjengitt i vedlegg 3.

4.5.3 Kommentarer

Kondisjonering og avkjøling forløp som planlagt, men slutfuktigheten endte opp noe under ønsket fuktighet med et snitt på 9,2%. Imidlertid var spredningen svært liten, kun 1 av 12 tørke/veieprøver avvek mer enn 1% fra middelfuktigheten.

Fuktighetsgradient og yteherding i samme størrelsesorden som i forsøk nr. 3 og 4, dvs. meget bra.

Ubetydelig sprekkdannelse, totalt 45 cm, tyder på at bjørk kan tørkes meget skarpt uten å ta skade av det. Det ble ikke registrert muggvekst. Tørketiden ble bare ett døgn kortere enn i forsøk 2 som også ble kjørt med våttemperatur 50°C og med en startfuktighet i samme område (65,6% mot 67,2%). En hadde ventet noe større forskjell p.g.a. høyere tørkekraft i forsøk nr. 5. Det synes som om elektrodene for fuktighetsmåling i tørka gjennomgående har registrert for høy fuktighet gjennom hele tørkeforløpet. Det "forklarer" også at slutfuktigheten for første gang ble for lav ved kontroll med tørke/veieprøver. Faktisk registrerte tørka en fuktighet på 65% etter ett døgn tørking i forsøk nr. 5, mens fuktigheten etter ett døgn i forsøk nr. 2 var 56%. På den annen side kan det hende at det plankene i forsøk nr. 2 har tørket noe under perioden i kjølerom (ca. 1 måneds oppbevaring), og at startfuktigheten kanskje lå ned mot 60%.

4.6 Forsøk nr. 6, $t_v = 60^\circ\text{C}$, $t_{\text{max}} = 80^\circ\text{C}$, skarpt klima.

4.6.1 Forsøksbetingelser

Etter planen ble forsøk nr. 6 kjørt med våttemperatur 60°C og med samme tørkekraft som i forsøk nr. 5. I fuktighetsområdet under 20% måtte våttemperaturen senkes noe for å opprettholde en maksimal tørretemperatur på 80°C.

Tørkingen ble gjennomført i perioden 16. juni til 28. juni 1995 med følgende tørkeskjema:

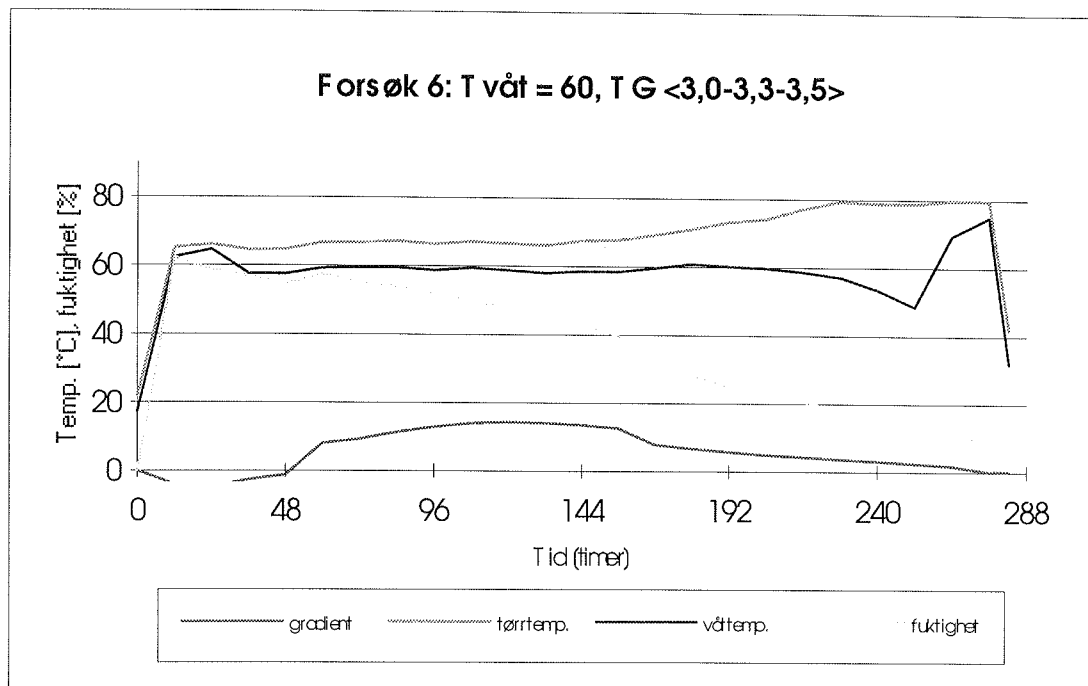
Tabell 4.6.1: Tørkeskjema for forsøk nr. 6.

Trefuktighet [%]	Tørtemp. [°C]	Psykrometer-diff. Dt [°C]	Tørkekraft	Likevektsfuktighet [%]
Oppvarming	20-68			18
> 70	68	18	3,0	
70 - 60	68	18	3,0	
60 - 50	68	18	3,0	
50 - 40	68	18	3,0	
40 - 30	68	18	3,1	
30 - 25	72	22	3,3	
25 - 20	76	26	3,6	
20 - 15	80	22	4,0	
15 - 10	80	25	4,5	
< 10	80	30	4,5	
Kondisjonering	80			12
Avkjøling				10

4.6.2 Resultater

Tabell 4.6.2: Resultater fra forsøk nr. 6

Parameter	Verdi	Standardavvik
Startfuktighet [%]	67,2	10,3
Slutfuktighet [%]	9,1	0,9
Gradient [%]	1,5	0,6
Yteherding [mm]	0,9	0,2
Sprekk [% av tot. lengde]	0,8	
Muggvekst	ingen	
Tørketid [døgn]	12	



Figur 4.6: Klima- og fuktighetsutvikling i forsøk nr. 6.

Detaljerte resultater er gjengitt i vedlegg 3.

4.6.3 Kommentarer

Slutfuktigheten endte igjen opp noe under ønsket fuktighet med et snitt på 9,1%. Dette er 1% mer enn det som ble registrert av elektrodene i tørka. Noe dårligere resultater mht. fuktighetsgradient og yteherding enn i forsøk nr. 3-5, men betydelig bedre enn i forsøk nr. 1-2 hvor kondisjonering og avkjøling ikke gikk etter planen.

Også denne gang ubetydelig sprekkdannelse, totalt 45 cm. Det ble registrert sprekke i flere plank enn tidligere, men alle var korte (fra 3-16 cm) og hadde visning til marg.

Tørketiden ble redusert med 3 døgn fra forsøk nr. 5 til 12 døgn, altså den korteste tørketiden av alle forsøk.

5 Tørring i fullskala kondensasjonstørke ved Svenneby Sag & Høvleri

5.1 Råvaren

Plank av nyskåren bjørk. Dimensjon: hovedsakelig 50 x 150 mm, men noe 50 x 200 mm i forsøk 8. Bjørka er fra Østfold og er hogget 1-6 uker før saging.

5.2 Tørkeutrustningen

Tørka hos Svenneby Sag & Høvleri er en kondensasjonstørke, type IM1500, levert av InMark AS.

Tørkevolum	ca. 20 m ³ pr. tørkeomgang
Antall trelastpakker	6 stk (tre i høyden og to i dybden)
Avfuktningskapasitet	1500 l/døgn med varmepumpe (i tillegg kommer avfuktning med friskluft)
Varmeeffekt	63 kW (nominelt) med varmepumpe, 30 kW med el.batteri
Effekt kompressor	15 kW (nominelt)
Vifteeffekt	3 x 4,0 kW
Luftmengde	3 x 28000 m ³ /h frittblåsende
Basing	Vann
Arbeidsområde fuktighet	Opp til ca. 95 % RF
Arbeidsområde temperatur	Opp til ca. 65 °C
Lufthastighet	Ca. 3,5 m/s, ikke reverserbar
Avlufting/evakuering	Automatisk ved for høy fuktighet og temperatur
Klimastyring	Temperatur- og tidsstyring

Tørkestyringen programmeres med inngående og utgående klimabetingelser samt tid i følgende 6 faser:

- A: Oppvarming
- B: Tørkefase 1
- C: Tørkefase 2
- D: Tørkefase 3
- E: Kondisjonering
- F: Avkjøling

Med denne inndelingen er det eksempelvis mulig å oppnå tilnærmede «Malmquist»-skjemaer.

For hver fase legges inn:

A: Oppvarming.

Våttemperatur, psykrometerdifferanse og oppvarmingstid. Varmepådrag og basing bestemmes av psykrometerdifferansen. Tidsforbruket er avhengig av startfuktighet og virkestemperatur.

B: Tørkefase 1-3.

Våttemperatur, psykrometerdifferanse (ved slutten av fasen) og tid. Inngående psykrometerdifferanse er utgående fra forrige fase. I forsøk 8 og 9 ble fase 2 hoppet over og fase 3 forlenget. Mot slutten av denne fasen tas kontrollmålinger manuelt med elektronisk fuktighetsmålinger. Fasen avsluttes eller forlenges etter behov.

C: Kondisjonering.

Tilsvarende verdier som for de andre fasene legges inn. Kondisjonering avsluttes etter en gitt tid. I forsøk 7 fungerte ikke kondisjoneringen, og forsøkene 8 og 9 ble kjørt uten.

D: Avkjøling.

Tid og psykrometerdifferanse legges inn. Avkjølingen avsluttes etter gitt tid.

5.3 Forsøksmetodikk

5.3.1 Råstoff

Bjørkeplank fortrinnsvis med dimensjon 50x150 mm, men også noe 50x200 mm ble benyttet.

Tørkeforsøkene skjedde med fullt kammer.

5.3.2 Klimamålinger

Det ble målt tørr- og våttemperaturer på hver side av trelastpakkene kontinuerlig i hele tørkeforløpet. I vedlegget for hver tørkeomgang gis temperaturutskrift for ett målepunkt for tørr- og våttemperatur på «storm»-siden av trelastpakkene.

5.3.3 Prøveuttak før tørking

Det ble tatt ut 10 tørke-veie prøver av hver pakke ca. 0.5 m fra enden for kontroll av startfuktighet. Snittfuktighet og standardavvik ble beregnet.

Hver planke ble registrert mht. fellingsskader, sprekke, mugg etc. I tillegg ble hver planke registrert med kode: u = ingen marg, m = synlig marg og i = «nær» marg.

5.3.4 Prøveuttak etter tørking

Det ble tatt prøver mht. slutfuktighet (8 fra hver pakke), fuktighetsgradient (totalt 16 prøver) og yteherding (totalt 16 prøver) etter tørking. Middel og standardavvik ble beregnet.

Yteherding ble registrert etter EDG-norm etter klimatisering 20°C/65%RF i 48 timer.

For samtlige planker ble total sprekk lengde på ytesiden registrert i cm. Evt. muggvekst ble registrert.

For hvert forsøk ble 2 planker tatt ut for sammenligning av farge.

5.3.5 Plassering i tørka

Tørkeprøver ble tatt og instrumentering ble gjort på de to midterste trelastpakkene.

5.3.6 Tørkeskjema

Etter revidert prosjektplan av 7. juni 1994 skulle det gjennomføres 3 tørkeforsøk hos Svenneby Sag & Høvleri.

Forsøksserien ble innledet med forsøk med 50 °C våttemperatur i labtørka hos NTI. Resultatene fra dette forsøket var således at det var ingen grunn til å tørke ved lavere temperaturer i de kommende forsøk. Kondensasjonstørker har en temperaturbegrensning på 65-70 °C. Alle forsøkene på Svenneby Sag & Høvleri er derfor utført med utgangspunkt i 50 °C våttemperatur, men med varierende skarphet i tørkeklimaet.

Felles parametere for alle tre forsøkene:

* Ønsket slutfuktighet	10%
* Reversering	Ingen
* Viftehastighet	100%, ca. 3,5 m/s
* Spjeldregulering	Automatisk
* Varmepumperegulering	AV/PÅ

6 Resultater fra forsøkene ved Svenneby Sag & Høvleri

Tørkeforsøkene utført av KanEnergi AS hos Svenneby Sag & Høvleri er nummerert fra 7 til 9. For hvert forsøk angis forsøksbetingelser, dvs. klima i form av tørretemperatur og psykrometerdifferanse avhengig av tørketiden.

Resultatene vedr. trefuktighet, gradient og yteherding er middelveidier basert på prøveuttaket (16 stk). Sprekk og mugg er gitt som summen av alle prøveplankene i de to prøvepakkene.

6.1 Forsøk nr. 7, $t_v = 50^\circ\text{C}$, $t_{\text{max}} = 65^\circ\text{C}$

6.1.1 Forsøksbetingelser

Forsøk nr. 7 ble gjennomført i perioden 22. desember 1994 til 6. januar 1995 med følgende tørkeskjema:

Tabell 6.1.1: tørkeskjema for forsøk 7

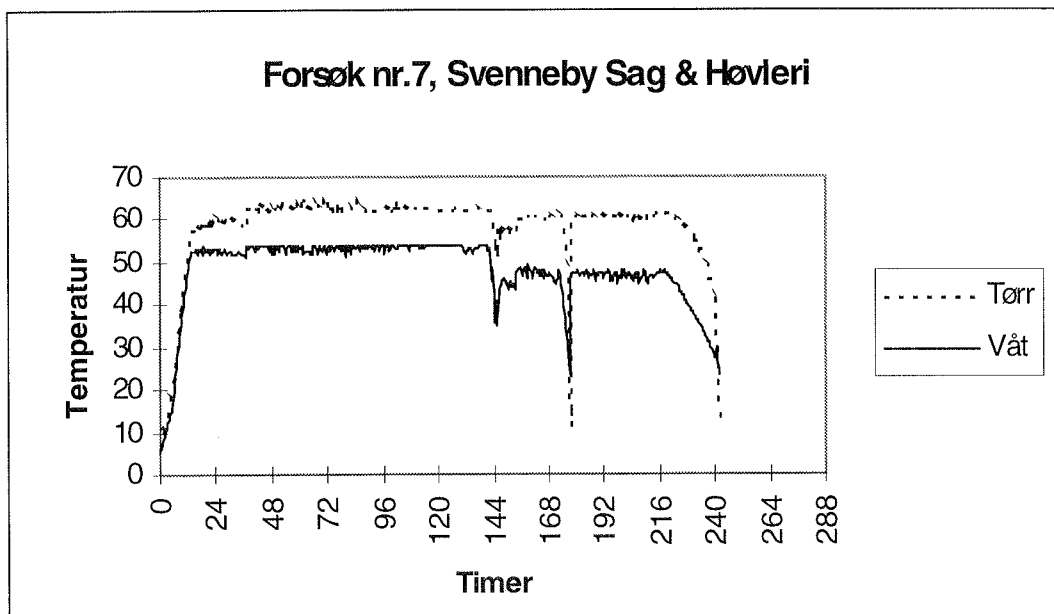
Fase		Skjema
Oppvarming	$t_{\text{våt}}$	50
	Psykro. diff	2
Tørkefase 1	$t_{\text{våt}}$	50
	Psykro. diff	6
	Tid	30
Tørkefase 2	$t_{\text{våt}}$	50
	Psykro. diff	3
	Tid	30
Tørkefase 3	$t_{\text{våt}}$	50
	Psykro. diff	8
	Tid	---
Kondisjonering	$t_{\text{våt}}$	50
	Psykro. diff	2
	Tid	24
Avkjøling	Psykro. diff	2
	Tid	11

6.1.2 Resultater

Detaljerte resultater er gjengitt i vedlegg 7.

Tabell 6.1.2: resultater fra forsøk 7

Parameter	Verdi	Standardavvik
Startfuktighet (%)	45,5	18,9
Sluttfuktighet (%)	11,5	1,1
Fuktighetsgradient (%)	2,7	0,7
Yteherding (mm)	2,1	0,4
Sprekk totalt (cm)	80	--
Sprekkprosent (%)	0,001	--
Muggvekst	Ingen	--
Tørketid u/avkjøl.(t)	226	--



Figur 6.1. Klimautvikling i forsøk 7.

6.1.3 Kommentarer

Oppvarming og tørkefase 1 går som planlagt både mht. tid og temperaturer. Deretter hopper programmet over tørkefase 2 og går rett over i tørkefase 3. Etter ca. 140 t blir tørkeforløpet skarpere enn planlagt, men tørkeforløpet rundt fibermetning går etter planen. Avviket i temperaturforløpet ved ca. 140 timer skyldes åpning av tørka, mens avviket ved ca. 175 timer skyldes strømbrudd.

Mangel på kondisjonering og skarpere klima mot slutten enn planlagt gir relativt store fuktgradienter og yteherding. Sprekkdannelse og deformasjoner

(vridning, flatbøy etc.) er ubetydelige, kun 2 plank med flatbøy. Ingen muggdannelse ble registrert.

6.2 Forsøk nr. 8, $t_v = 50^\circ\text{C}$, $t_{tmax} = 65^\circ\text{C}$

6.2.1 Forsøksbetingelser

Forsøk nr. 8 ble gjennomført i perioden 17. mars til 27. mars 1995 med følgende tørkeskjema:

Tabell 6.2.1 Tørkeskjema for forsøk 8

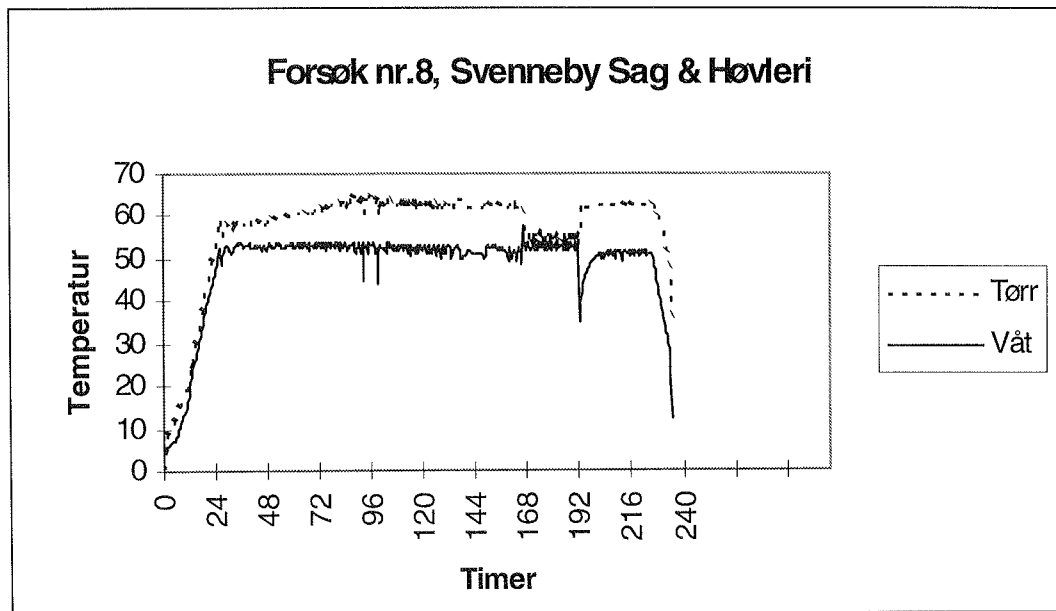
Fase		Skjema
Oppvarming	$t_{v\hat{a}t}$	50
	Psy Kro. diff	2
Tørkefase 1	$t_{v\hat{a}t}$	50
	Psy Kro. diff	8
	Tid	30
Tørkefase 2	$t_{v\hat{a}t}$	hoppet over denne fase
	Psy Kro. diff	
	Tid	
Tørkefase 3	$t_{v\hat{a}t}$	50
	Psy Kro. diff	12
	Tid	---
Kondisjonering	$t_{v\hat{a}t}$	ingen
	Psy Kro. diff	
	Tid	
Avkjøling	Psy Kro. diff	2
	Tid	11

6.2.2 Resultater

Detaljerte resultater er gjengitt i vedlegg 8.

Tabell 6.2.2 Resultater fra forsøk 8

Parameter	Verdi	Standardavvik
Startfuktighet (%)	74,9	6,7
Slutfuktighet (%)	13,0	1,8
Fuktighetsgradient (%)	5,8	1,2
Yteherding (mm)	2,8	0,9
Sprekk totalt (cm)	172	--
Sprekk prosent (%)	0,003	--
Muggvekst	Ingen	--
Tørketid u/avkjøl. (t)	221	--



Figur 6.2: Klimaforløp forsøk 8

6.3 Kommentarer

Denne tørkeomgangen ble kjørt uten tørkefase 2 og kondisjonering. Tørkeforløpet fulgte skjemaet gjennom oppvarming og tørking fram til ca. 170 timer. I de neste 20 timene var psykrometerdifferansen i gjennomsnitt ca. 3 °C grunnet styringsproblemer. Slutfuktigheten ble noe for høy p.g.a. stor fuktighet i perioden (ca.) 170-190 timer og noe for tidlig avsluttet tørkeprosess. Både spredningen i slutfuktighet og fuktighetsgradienten ville sannsynligvis ha antatt lavere verdier ved en slutfuktighet på 10%. Det ble ikke registrert muggdannelser eller deformasjoner.

6.3 Forsøk nr. 9, $t_v = 50^\circ\text{C}$, $t_{\text{max}} = 65^\circ\text{C}$

6.3.1 Forsøksbetingelser

Forsøk nr. 9 ble gjennomført i perioden 14. juni til 26. juni 1995 med følgende tørkeskjema:

Tabell 6.3.1: Tørkeskjema forsøk 9.

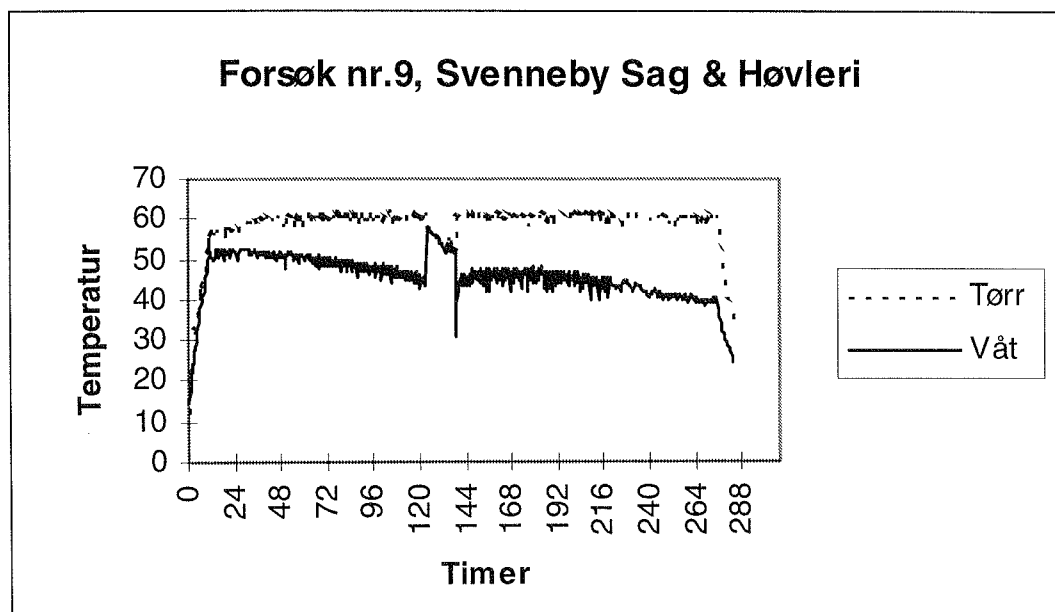
Fase		Skjema
Oppvarming	t _{våt}	50
	Psykhro. diff	2
Tørkefase 1	t _{våt}	50
	Psykhro. diff	6
	Tid	30
Tørkefase 2	t _{våt}	hoppet over denne fase
	Psykhro. diff	
	Tid	
Tørkefase 3	t _{våt}	50
	Psykhro. diff	16
	Tid	---
Kondisjonering	t _{våt}	ingen
	Psykhro. diff	
	Tid	
Avkjøling	Psykhro. diff	2
	Tid	11

6.3.2 Resultater

Detaljerte resultater er gjengitt i vedlegg 9.

Tabell 6.3.2: Resultater forsøk 9.

Parameter	Verdi	Standardavvik
Startfuktighet (%)	43,4	2,7
Slutfuktighet (%)	11,3	1,9
Fuktighetsgradient (%)	2,7	0,5
Yteherding (mm)	2,5	0,8
Sprekk totalt (cm)	175	--
Sprekkprosent (%)	0,002	--
Muggvekst	Ingen	--
Tørketid u/avkjøl.(t)	275	--



Figur 6.3: Klimaførløp forsøk 9

6.3.3 Kommentarer

Styringen følger oppsatt skjema uten tørkefase 2 og kondisjonering. Etter 125 timer gikk våtfølerbadet tomt for vann, og våt- og tørrtemperatur antok samme verdier. Ved tilførsel av kaldt vann til våtfølerbadet, ved ca. 140 timer, faller våttemperaturen i en kort periode før den igjen stiger. Da det ble satt en øvre begrensning for tørrtemperaturen, ble våttemperaturen regulert ned i siste fase av tørkingen for å oppnå ønsket tørkeskarphet. Tørketiden ble ca. 2 døgn lenger enn for tørkeomgang 6 og 7. Det ble registrert ubetydelige sprekkdannelser og deformasjoner, ingen muggvekst.

7 Sammenstilling av forsøksresultatene

Tabell 7.1: Sammenstilling av forsøksresultater

Forsøk nr.	NTI						SVENNEBY		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Våttemperatur	50 °C	50 °C	60 °C	50 °C	50 °C	60 °C	50 °C	50 °C	50 °C
Tørkeskjema									
LVF* ¹	18/6,3	12,7/3,7	12,6/3,8	11,8/4,1	10/2,8	9,8/4,9	14/6,5	12/7,5	13/2,9
Tørkekraft* ²	1,7/2,3	2,3/3,5	2,3/3,3	2,6/3,1	3,0/4,5	3,0/4,5	2,1/2,1	2,5/1,8	2,3/3,8
Tørketid* ³	505	348	302	440	328	255	226	221	275
Kondisjon.* ⁴	2	12	24	24	18	24	0	0	0
Avkjøling* ⁵	48	36	12	12	12	12	10	20	8,5
Tid til 17%* ⁶	452	306	288	385	295	234	207	203	253
Startfuktighet	65,6	65,6	73,5	73,5	67,2	67,2	45,5	74,9	43,4
Standard avvik	11,5	11,5	8,6	8,6	10,3	10,3	18,9	6,7	2,7
Slutfuktighet	11,4	10,4	10,3	10,2	9,2	9,1	11,5	13,0	11,3
Standard avvik	1,1	1,1	1,1	0,9	0,8	0,9	1,1	1,8	1,9
Fuktgradient	2,4	2,1	1,4	0,9	1,2	1,5	2,7	5,8	2,7
Standard avvik	0,6	0,8	0,8	0,5	0,4	0,6	0,7	1,2	0,5
Yteherding	1,5	1,5	0,5	0,1	0,5	0,9	2,1	2,8	2,5
Standard avvik	0,4	0,5	0,5	0,2	0,3	0,2	0,4	0,9	0,8
Sprekk (cm)	49	142	55	101	45	58	103	172	175
Sprekk (%)	0,7	2,0	0,8	1,4	0,6	0,8	0,001	0,003	0,002
Mugg	Ingen	Noe	Ingen	Ingen	Ingen	Ingen	Ingen	Ingen	Ingen
Kvalitetsklasse									
Fuktighet* ⁷	S	Q	Q	Q	Q	Q	S	S	S
Gradient* ⁷	S	S	Q	E	E	Q	Q		Q
Yteherding* ⁷	Q	S	E	E	E	Q	S	S	S

*¹ LVF- likevektsfuktighet ved start og slutt.

*² TK - tørkekraft ved start og slutt.

*³ Tørketid med oppvarming uten kondisjonering og avkjøling.

*⁴ Kondisjoneringstid.

*⁵ Avkjølingstid.

*⁶ Tørketid til 17% inkl. oppvarming og ekskl. kondisjonering, for forsøkene 7-9 er tiden antatt, for forsøk 1-6 er den målt.

*⁷ Kvalitetsklasse ihht. EDG Standard (European Drying Group). Se nærmere forklaring vedlegg 10. S-standard, Q-kvalitetstørket, E-eksklusiv.

8 Diskusjon.

Totalt sett var forsøkene hos NTI (1-6) mer vellykkede enn forsøkene på Svenneby Sag & Høvleri (7-9). I forsøk 7 fungerte styringen ikke helt etter det oppsatte tørkeskjema, våtfølerbadet gikk tom for vann i forsøkene 8 og 9, og i tillegg var det strømbrudd i løpet av forsøk 7 - med andre ord vanlige feil som kan oppstå under tørking.

I forsøkstørka ved NTI blir trefuktigheten registrert av elektroder innslått i materialene og tørkeprosessen avbrytes automatisk når ønsket trefuktighet er oppnådd. Hos Svenneby Sag & Høvleri må trefuktigheten sjekkes manuelt. Tørkeomgangene 7-9 ble, med de gitte tørkeskjemaene, avsluttet noe tidlig i forhold til ønsket slutfuktighet. Klimaet kunne dessuten vært noe skarpere mot slutten av tørkeforløpet.

Utfra forsøkene i laboratorietørke ved NTI og i fullskala på Svenneby Sag & Høvleri har vi høstet følgende erfaringer:

Bjork viser liten tendens til å sprekke i det temperaturområde som forsøkene er gjort. Dette synes å bekrefte at temperaturen der bjork blir plastisk, er noe lavere enn for gran og furu /2/.

Resultatene med hensyn til yteherding er meget bra (klasse E) for forsøkene 3, 4 og 5 (NTI). Også forsøk 6 ligger svært nær klasse E. Kondisjonering i 18 og 24 timer med en likevektsfuktighet 2% over midlere slutfuktighet ga altså gode resultater. Kondisjoneringstiden kan forøvrig senkes betydelig ved å øke likevektsfuktigheten i kondisjoneringsfasen med samme effekt på yteherdingen. For forsøkene 7 - 9 (Svenneby) er mangel på kondisjonering tydelig. Det samme gjelder forsøk 1 og 2, hvor kondisjoneringstiden var henholdsvis 2 og 12 timer. I sammenstillingen av forsøksresultatene i kapittel 7 ser en at disse har oppnådd klasse S for gradient og yteherding, dog ligger alle helt på grensen til klasse Q.

For fuktighetsgradientene ser en samme resultat. Kondisjonering og kontrollert avkjøling ved 10% likevektsfuktighet er avgjørende for et godt resultat. Ellers viste registreringene fra labtørka til NTI at maksimal fuktighetsgradient mellom kjerne og yte under tørkeprosessen oppstår ved ca. 40-45 % trefuktighet.

Både våttemperaturen og psykrometerdifferansen påvirker tørketiden. Jo høyere verdier, dess kortere tørketider. Tørkeforsøk 1 med mildt tørkeskjema og 50 °C våttemperatur, ga lang tørketid og dårligere tørkeresultat mht. gradient og yteherding enn f.eks. forsøk 3 og 6. For disse forsøkene (3 og 6) var tørkeskjemaene skarpere og våttemperaturen høyere (60 °C). En økning i våttemperaturen fra 50 til 60 °C ga en reduksjonen i tørketid på 23% mellom forsøkene 5 og 6 (parplanker, samme tørkeskarphet). Høy våttemperatur og korte tørketider gir er energieffektiv tørking som en positiv sideeffekt.

I labtørka hos NTI var tendensen til deformasjoner (vridning, kuling etc.) større enn hos Svenneby Sag & Høvleri der kun 1-2 deformasjoner pr. tørkeomgang ble observert. Dette kan forklares med at prøvepakkene i fullskala hadde en trelastpakke som «vekt» på toppen.

Noe uventet finnes ingen sammenheng mellom fargeforandring og våttemperatur. Det er så godt som umulig å skille forsøkene fra hverandre ved å se på fargen til høvlet overflate eller tverrsnittsprøver. Ett unntak er dog forsøk 1 som hadde lang tørketid, og som ble en aning mørkere enn de øvrige forsøk. Dette tyder på at lang tørketid i kombinasjon med høy relativ luftfuktighet har noe å si for mørkningen. Det er uansett stort fargespill i bjørka både mellom planker, men også langs en og samme plank. Sammenligningen med friluftstørkede planker viser som ventet at kunstig tørket bjørk blir noe mørkere.

9 Konklusjon

Det er ikke registrert problemer med tørking av bjørk ved de aktuelle temperaturnivåer og tørkeskarpheter. Det ble oppnådd meget bra resultater både med hensyn til sprekke, soppkader, farge, yteherding og fuktighetsgradient.

Spredningen i slutfuktighet lå for alle forsøks vedkommende i området rundt et standardavvik på 1%. At man ikke oppnådde klasse E iflg. EDG-norm for slutfuktighet i noen av forsøkene skyldes derfor hovedsaklig at man ikke har truffet ønsket slutfuktighet.

Forsøkene tyder på noe bedre tørkeresultater med hensyn til fuktighetsgradient og yteherding ved tørking med middels og skarpt klima i forhold til mildt klima. Det er mulig å oppnå klasse E både ved 50 °C og 60 °C våttemperatur. Dette betinger dog kondisjonering mot slutten av tørkeprosessen. I forsøkene er det benyttet både 18 og 24 timer kondisjonering med meget gode resultater.

Bjørk viser liten tendens til å sprekke i det temperaturområdet forsøkene er gjort.

Bjørk blir mørkere tvers igjennom ved kunstig tørking i forhold til friluftstørking. Det er ikke registrert forskjell i grad av mørkning ved å øke våttemperaturen fra 50 til 60 °C.

Det ble ikke registrert problemer med sopp som skyldtes tørkeklimaet.

Tørketiden er sterkt avhengig av tørkekraft og til dels våttemperaturnivå. Yttergrensene er gitt ved forsøk 1 (våttemperatur 50 °C, mildt skjema) og forsøk 6 (våttemperatur 60 °C, skarpt klima) med en tørketid eksklusiv kondisjonering

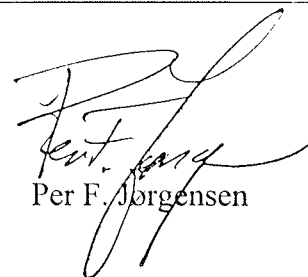
og avkjøling på henholdsvis 505 timer og 255 timer for plank med tilnærmet samme startfuktighet.

For kunstig tørking av bjørk til 10 % anbefales således våttemperatur på 50-60 °C med middels til skarpt skjema. Dette for å tørke på kortest mulig tid og på en energieffektiv måte. Lasten bør kondisjoneres etter tørkefasen. En kondisjonering med likevektsfuktighet 2 % over midlere slutfuktighet i 18 timer vil være tilstrekkelig til å kunne oppnå EDG-klasse E for yteherding og fuktighetsgradient.

Blindern, 1995-12-12

Norsk Treteknisk Institutt


Sverre Tronstad


Per F. Jørgensen

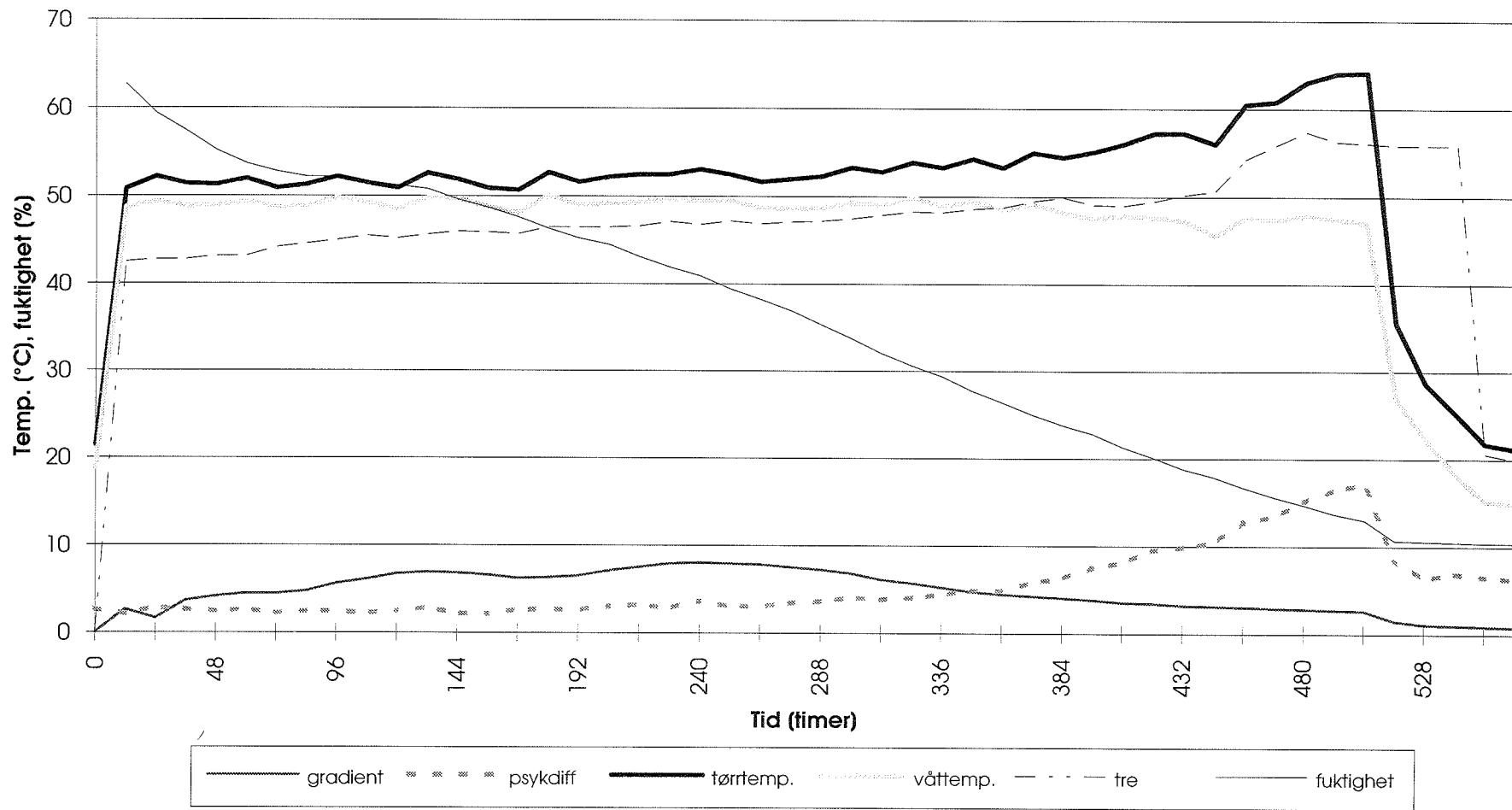
Vedlegg.

Referanseliste:

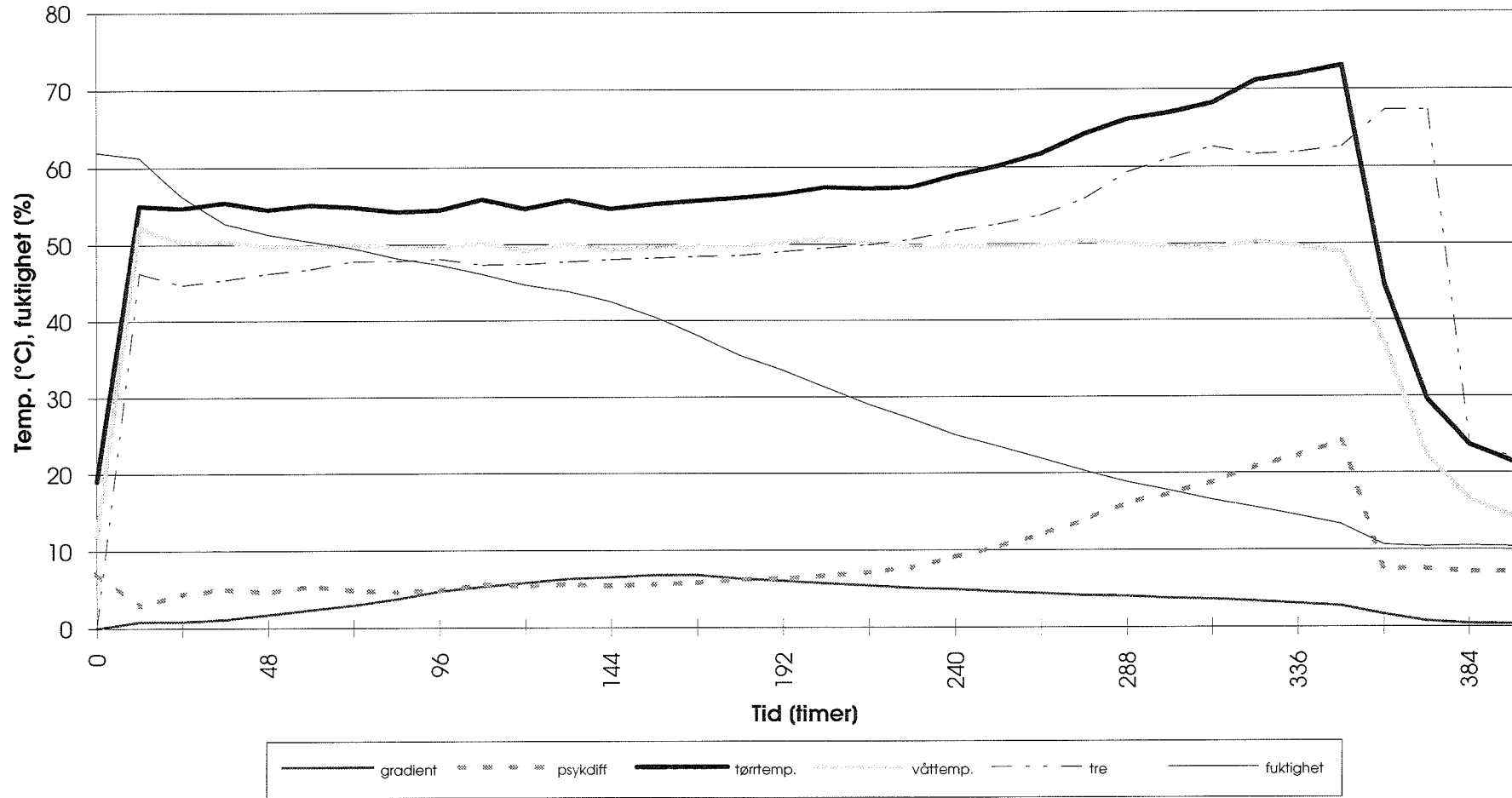
- /1/ Tørking av lauvtre, forprosjekt. 1994. Rådgivende Ingeniør Per F. Jørgensen.
- /2/ Trätorkning 1a, 1992, Björn Esping, Träteknik, Stockholm
- /3/ Trevirkets teknologi. 1976, M. Foslie, TO/NTI
- /4/ Trevirkets oppbygging - Vedanatomi, 1988, Kristian Stemsrud Universitetsforlaget. Etter tillatelse fra Universitetsforlaget.
- /5/ Vedanatomi, 1946, Elias Mork
- /6/ Ordbok for VVS, 1980, Universitetsforlaget
- /7/ Terminologi for trelastbransjen, 1983, M. Foslie, NTI.
- /8/ Forslag til europeisk standard for tørkekvalitet - et konsentrat Sverre Tronstad, NTI

Fellesdata			Forsøk nr. 1					Forsøk nr. 2				
Plank nr.	Før tørking		Etter tørking					Etter tørking				
	U rå %	utfak u,i,m	U tørr %	Sprekk cm	Sopp cm ²	Grad %	Yteherd. EDG-mm	U tørr %	Sprekk cm	Sopp cm ²	Grad %	Yteherd. EDG-mm
1		u								60f		
2	54,2	u										
3		u	10,3			1,8	1,2	8,9			1,5	1,3
4	61,4	i								fl.s/f		
5		u										
6	55,7	i								50f + fl.f		
7		u							4			
8	53,3	i	10,5			2,1	1,4	10,2		fl.s	2,2	1,3
9		i								fl.s		
10	61,9	m								fl.f/s		
11		m										
12	54,3	i								40f + fl.f		
13		i	12,3			2,9	0,9	11,0		fl.s	2,4	1,2
14	62,8	i		11						fl.s		
15		i										
16	62,5	m							10	fl.s		
17		u								fl.s		
18	63,6	i	11,0			2,3	1,0	10,2		fl.s	2,4	1,0
19		u										
20	49,3	u								fl.f/s		
21		i										
22	46,1	u								40f + fl.f		
23		u	12,6			2,8	1,9	10,7	43		0,5	1,6
24	70,6	m								fl.f		
25		m								100s		
26	79,2	i										
27		i		23								
28	73,7	i	12,2			3,0	1,7	11,3			2,9	1,9
29		i										
30	48,7	i										
31		m										
32	56,4	u										
33		i	11,3			2,4	1,3	9,4			1,9	0,9
34	84,4	i										
35		i										
36	66,3	i							13 m			
37		m							4 m			
38	67,9	m	13,2			3,1	2,0	12,6	9		3,6	2,7
39		i										
40	76,1	i										
41		i										
42	59,8	u		13					8			
43		m	9,8			1,5	1,0	8,8			1,7	0,8
44	72,6	u										
45		u										
46	57,4	i										
47		m							11 m			
48	60,9	i	12,6			3,1	2,4	11,8			3,2	2,2
49		i										
50	98,1	m										
51		m										
52	79,5	u										
53		u	10,2			1,7	1,2	9,2			1,6	1,2
54	71,6	i										
55		m		2					7 m			
56	72,5	u										
57		m							23 m			
58	77,9	u	10,9			1,8	1,4	10,6			1,9	1,5
59		u										
60	67,8	m							10			
middel	65,6		11,4			2,4	1,5	10,4			2,1	1,5
stdav	11,5		1,1			0,6	0,4	1,1			0,8	0,5

Forsøk 1: Tvåt = 50, TG <1,7-1,9-2,3>

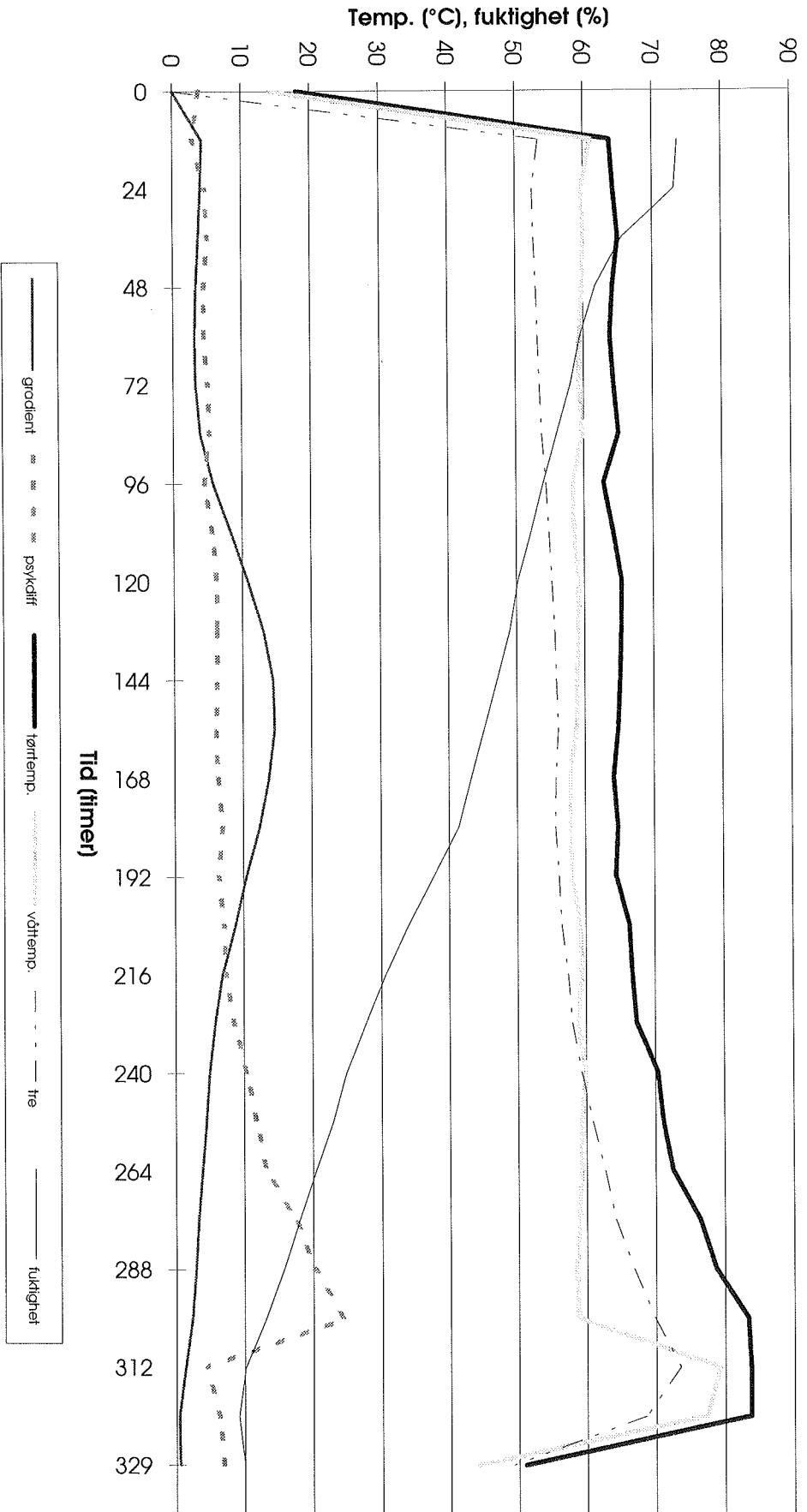


Forsøk 2: Tvåt = 50, TG <2,3-2,5-3,3>

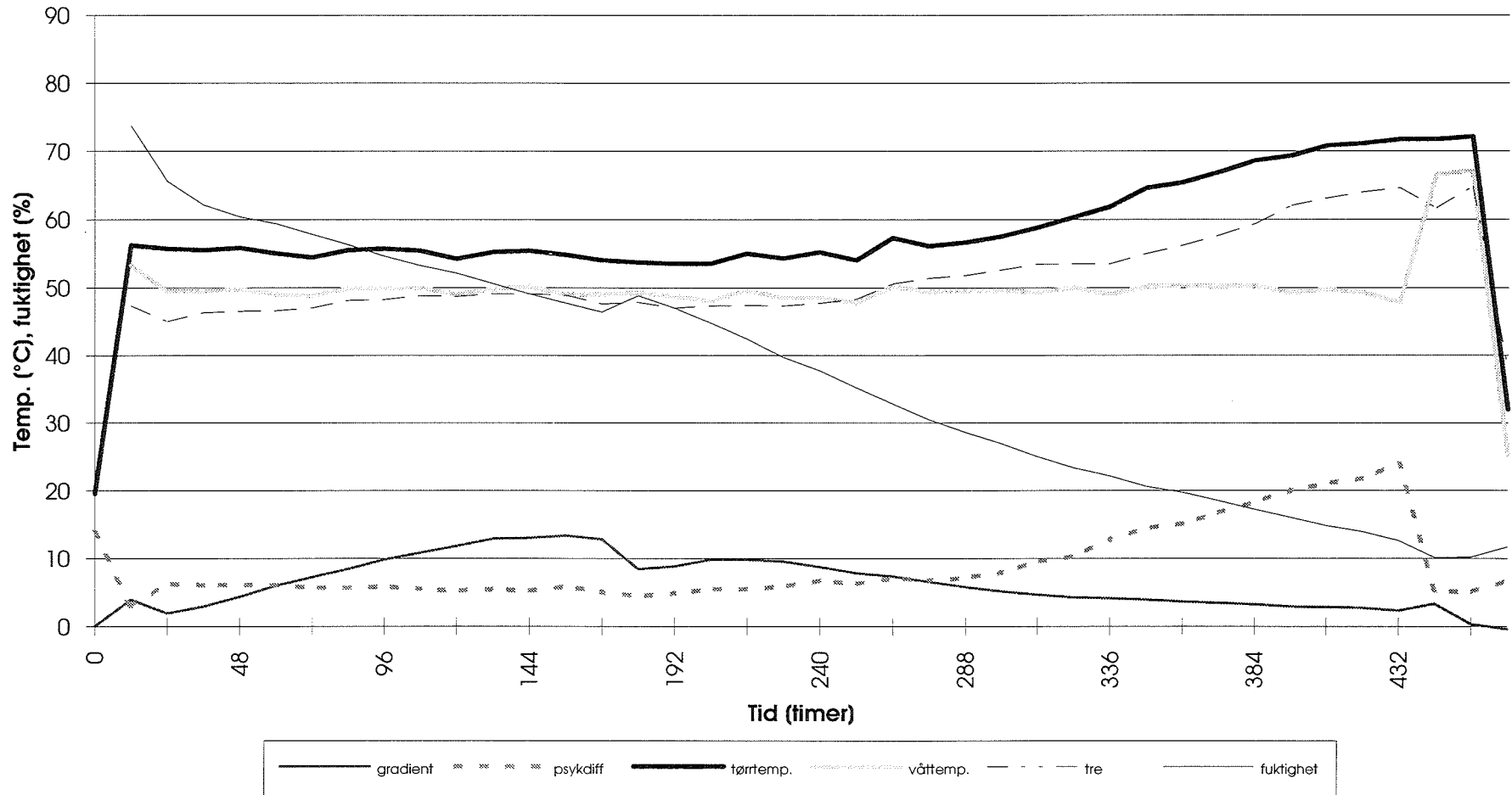


Fellesdata			Forsøk nr. 3					Forsøk nr. 4				
Plank nr.	Før tørking		Etter tørking					Etter tørking				
	U rå %	uttak u,l,m	U tørr %	Sprekk cm	Sopp cm ²	Grad %	Yteherd. EDG-mm	U tørr %	Sprekk cm	Sopp cm ²	Grad %	Yteherd. EDG-mm
1	67,9	m										
2	72,8	i										
3	72,2	i	10,9			0,9	0,1	10,4			1,0	0,0
4	67,6	m							4			
5	60,7	i										
6	55,0	i										
7	80,4	u										
8	68,0	m	11,4			1,6	0,5	11,0	13 m		2,1	-0,1
9	62,6	u										
10	76,2	u										
11	79,3	u							7			
12	64,4	u										
13	73,8	m	10,5	5 m		2,1	0,9	10,0	14		0,2	0,5
14	60,9	u										
15		m										
16	70,1	m										
17		i										
18	66,1	i	9,2			0,3	0,2	8,8			0,2	-0,3
19		u										
20	69,6	i										
21		m										
22	74,1	i										
23		m	8,7	10 m		0,5	0,0	10,1			0,2	-0,3
24	71,3	m										
25		i										
26	75,7	m		5 m								
27		m										
28	69,3	u	10,5			0,4	0,0	10,7			-0,4	0,2
29		m										
30	74,6	m							5			
31		m										
32	71,5	u										
33		i	11,1			2,4	0,8	9,4			0,1	0,0
34	82,6	m										
35		i										
36	75,4	m										
37		u										
38	79,6	m	11,1			2,2	1,0	12,1			0,4	0,1
39		m										
40	80,3	i										
41		i										
42	82,2	i										
43		i	12,0			2,8	1,4	11,2			-0,1	0,2
44	71,2	m										
45		m										
46	70,6	i										
47		i										
48	77,4	u	8,9			1,1	0,2	9,7			-0,1	0,1
49		i										
50	89,2	i										
51		u										
52	91,8	m		15 m								
53		m	10,3			1,3	0,3	9,5			1,1	0,1
54	77,8	u										
55		u										
56	69,1	u		5								
57		m							25 m			
58	97,9	m	9,5			0,8	0,1	9,5			0,5	0,1
59		m										
60	70,9	i		15 m					33 m			
middel	73,5		10,3			1,4	0,5	10,2			0,4	0,1
stdav	8,6		1,1			0,8	0,5	0,9			0,7	0,2

Forsøk 3: Tvåt = 60, TG <2,3-2,5-3,3>

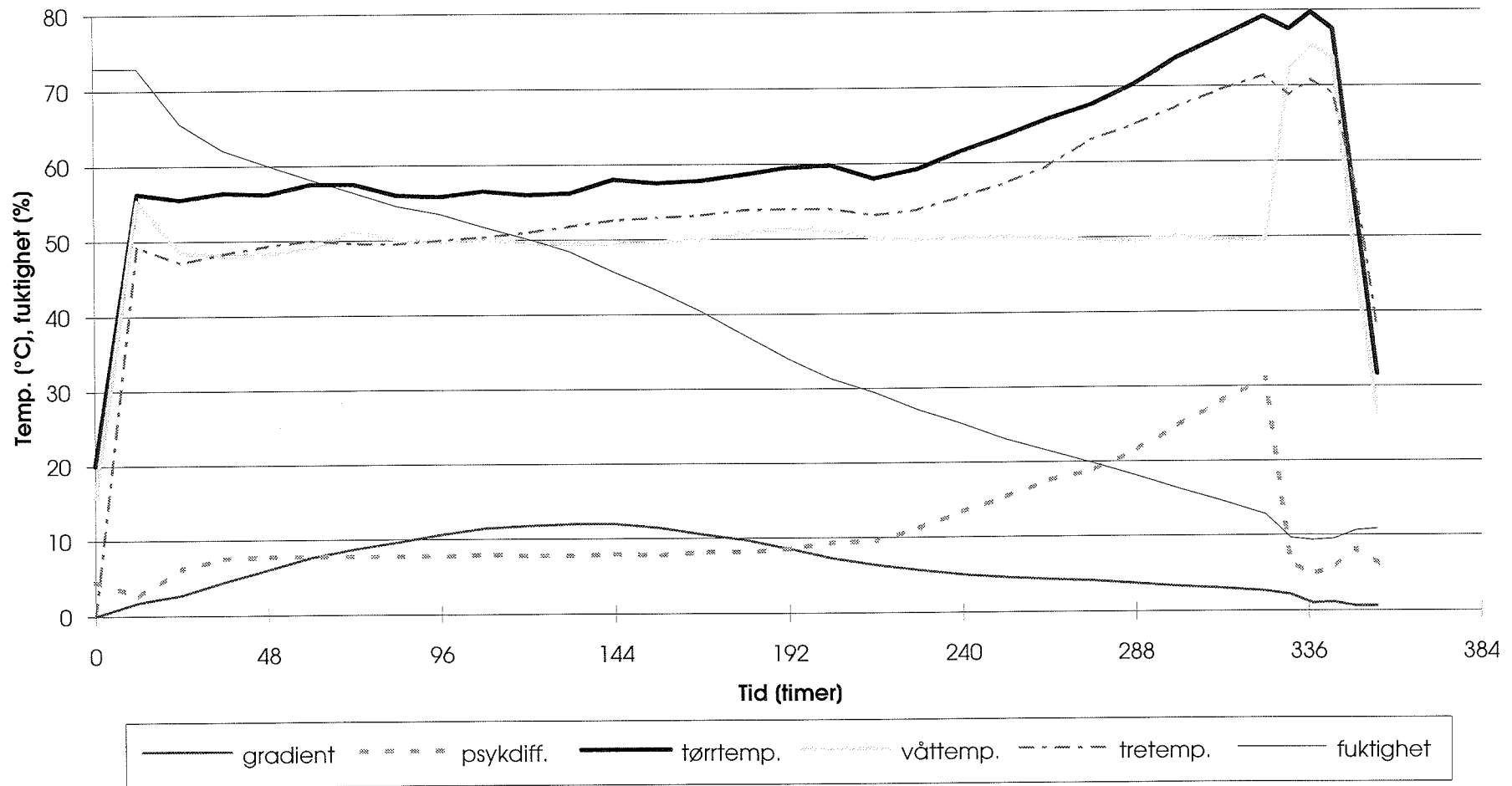


Forsøk 4: Tvåt = 50, TG <2,6-2,4-3,1>

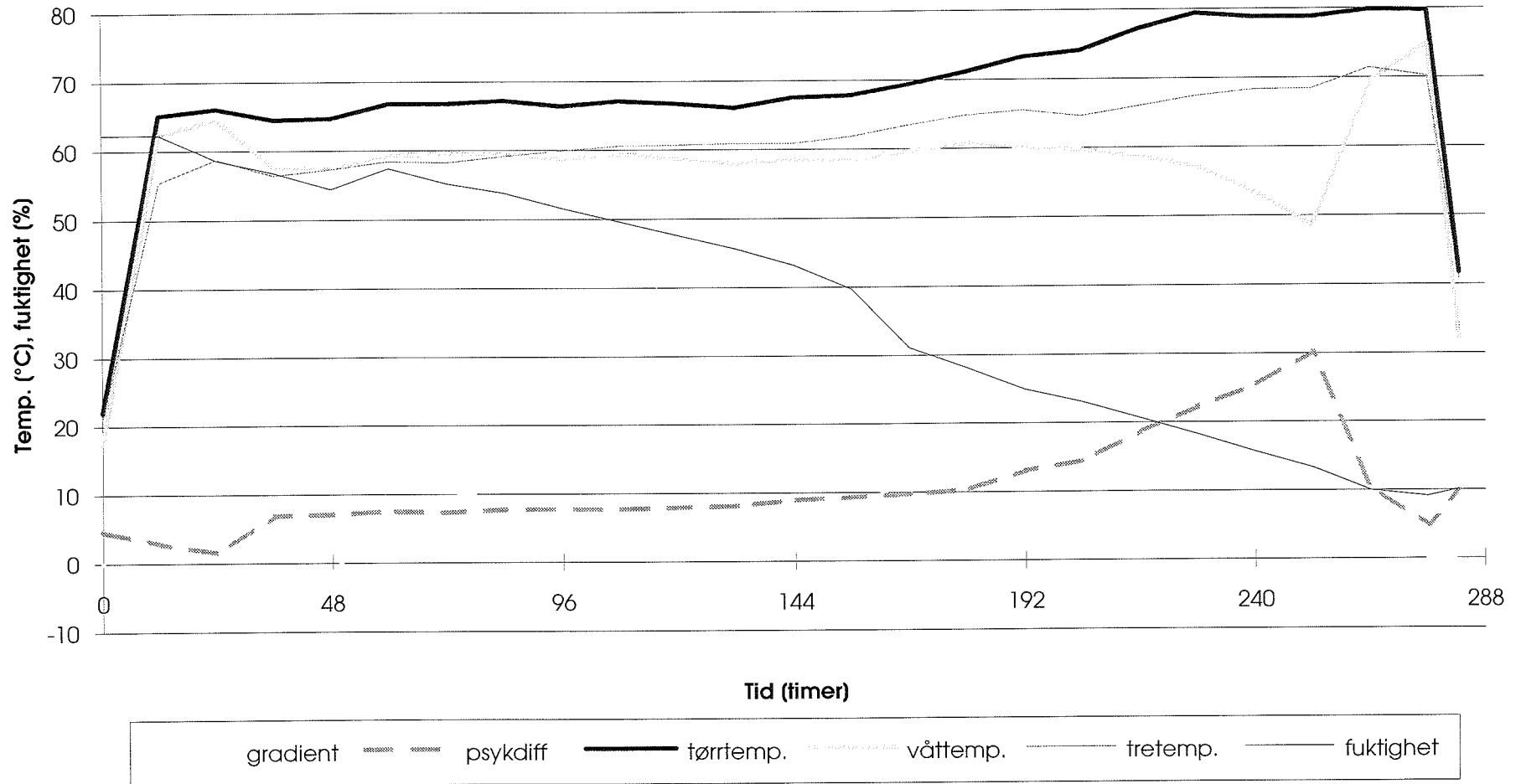


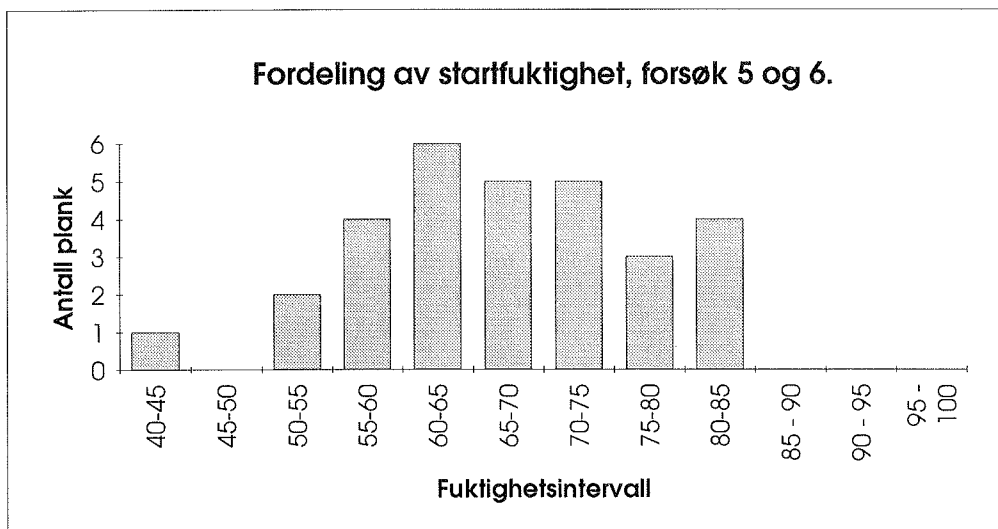
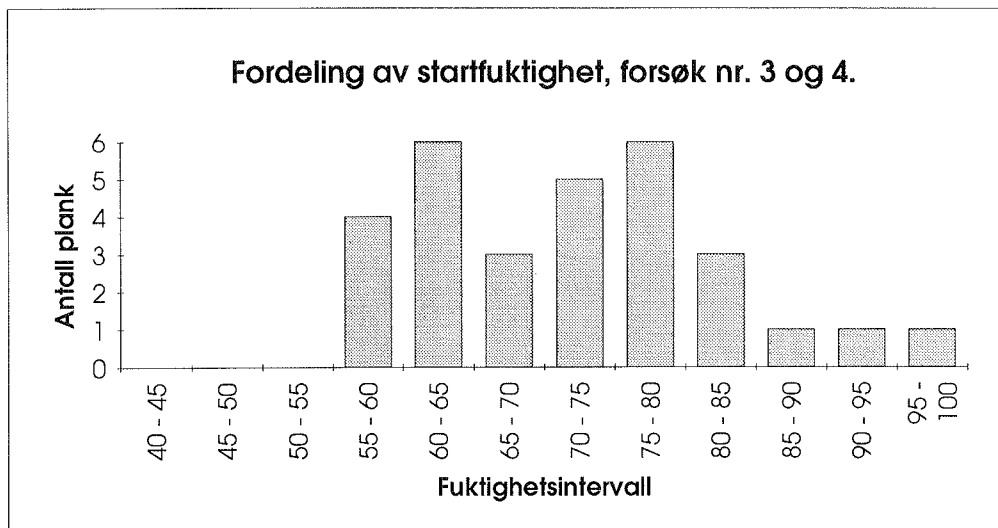
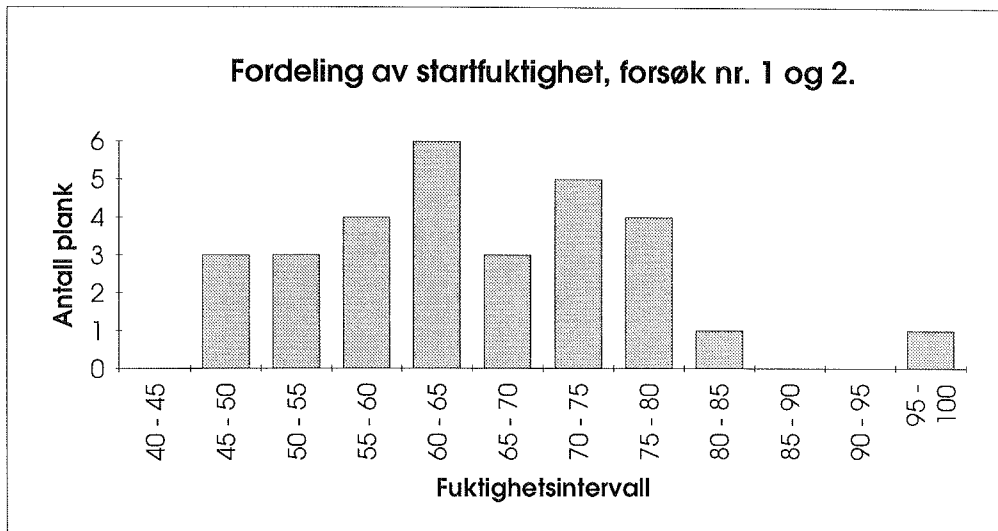
Fellesdata			Forsøk nr. 5					Forsøk nr. 6				
Plank nr.	U rå %	uttak u,i,m	U tørr %	Sprekk cm	Sopp cm ²	Grad %	Yfeherd. EDG-mm	U tørr %	Sprekk cm	Sopp cm ²	Grad %	Yfeherd. EDG-mm
1		m										
2	74,8	m										
3		m	8,9			0,8	0,3	8,7	5 m		0,6	0,7
4	60,1	m										
5		m										
6	69,1	m										
7		m							8 m			
8	67,5	u	9,3	5		1,3	0,7	8,6			1,0	0,6
9		m										
10	78,0	i										
11		m										
12	74,1	u										
13		m	10,1	13		1,7	0,9	10,1	3		2,0	0,9
14	77,1	i										
15		m							5 m			
16	82,5	m							9 m			
17		m										
18	52,6	m	9,2			1,2	0,6	7,3			-	-
19		m										
20	62,9	i										
21		i										
22	81,2	m										
23		m	9,8			1,4	0,8	9,0			1,4	0,9
24	63,4	m										
25		m										
26	41,8	u										
27		m							16 m			
28	83,2	i	8,9			1,4	0,2	9,1			1,4	0,6
29		i										
30	57,4	m										
31		m										
32	77,6	i										
33		i	9,1			0,9	0,4	9,8			1,5	1,1
34	58,5	m										
35		i										
36	62,7	i										
37		m										
38	63,6	m	6,9			0,1	0,0	7,9			1,0	1,0
39		i										
40	67,4	i										
41		i										
42	72,5	i										
43		u	8,8			1,2	0,4	8,8			1,2	1,1
44	50,9	i										
45		i		16 m								
46	66,1	i										
47		m										
48	59,8	i	9,9			1,3	0,8	9,4			1,8	0,9
49		i										
50	62,9	m		11 m								
51		m							12 m			
52	71,1	m										
53		i	9,8			1,6	1,0	10,4			2,9	1,2
54	55,5	i										
55		m										
56	84,5	i										
57		m										
58	67,1	m	9,1			1,1	0,4	10,2			2,2	1,0
59		u										
60	70,3	i										
middel	67,2		9,2			1,2	0,5	9,1			1,5	0,9
stdav	10,3		0,8			0,4	0,3	0,9			0,6	0,2

Forsøk 5: Tvåt = 50, TG <3,0-3,3-4,5>



Forsøk 6: Tvåt = 60, TG <3,0-3,3-3,5>





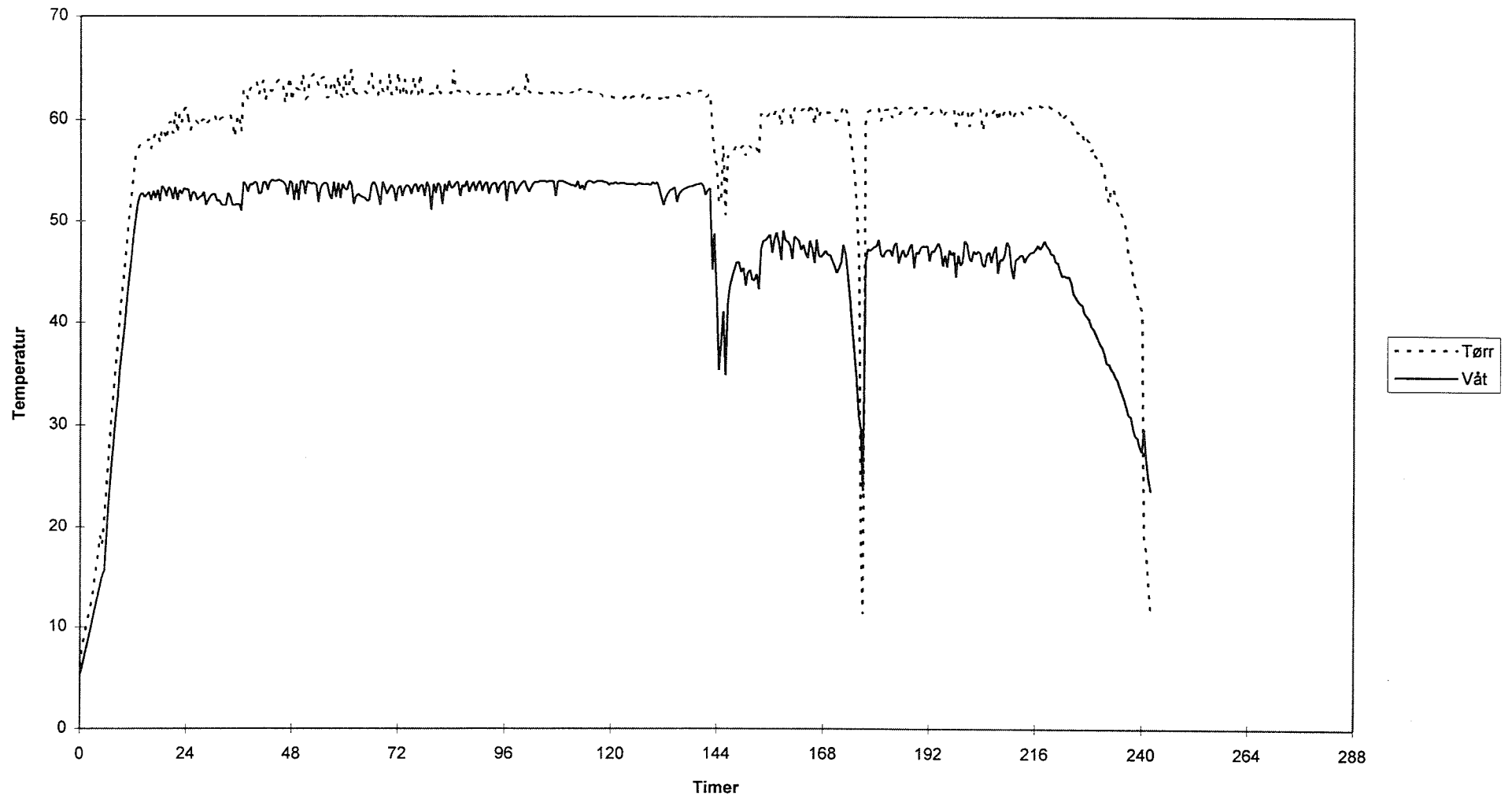
VEDLEGG 7

	Forsøk nr. 7	T våt = 50		pk1=98 plank		pk2=70 plank		
	Før tørking	Etter tørking						
Nr	U rå %	Uttak, pk1 u,i,m	Uttak, pk2 u,i,m	Sprekk, pk1 cm	Sprekk, pk2 cm	U tørr %	Sopp cm2	Grad %
1		m	u					1,78
2		m	u	4				2,16
3	31,19	m	u	13				
4		u	u					
5		i	i					
6		i	m					
7		m	m					
8		m	m					
9	30,45	i	m					
10		u	u					
11		m	u	10				
12	41,86	u	u					
13		u	u	4				
14		m	m					
15		i	i					
16		m	u			13		
17		i	u			12,6		2,28
18		i	u			12,4		2,46
19		i	u					
20		u	i					
21	29,79	i	i	8				
22	31,22	i	m					
23		m	u					
24		u	m	5				
25		u	i		2			
26		u	u					
27	46,13	u	m			13		
28		u	i					
29		m	i					
30		u	i		10			
31	36,45	u	u			11,6		1,55
32		u	u			9,5		3,48
33		m	u					
34		i	u			10,1		2,73
35		u	u			12,6		1,06
36	92,41	i	u					
37		u	u					
38		u	u					
39		u	i	10				
40		u	i					
41		u	u					
42		i	i					
43	50,92	i	u					
44		u	m					
45		u	u			12,4		2,72
46		i	u					
47		m	u			9,9		0,79
48	39,12	m	u			11,7		2,12
49		i	m					

VEDLEGG 7

50		u	i			10,3		1,49	
51	30,54	u	i						
52		i	i			11,4		2,16	
53	63,55	i	u			11,7		2,62	
54		m	u			10,9		1,78	
55		u	u			11,3		2,33	
56		u	i		2				
57	85,93	u	i		6				
58		u	u		5				
59		u	u						
60		i	u						
61		i	m						
62		u	i						
63		u	u						
64		u	u						
65		m	u		7				
66		u	m						
67		u	i						
68		u	i						
69		i	u						
70		u	u						
71		i							
72		i			2				
73		i							
74	47,55	u							
75		m							
76		i			10				
77		u							
78		u			5				
79		u							
80		u							
81		m							
82		u							
83	36,36	u							
84		u							
85		m							
86		u							
87		m							
88		u							
89		u							
90	30,05	u							
91		m							
92		u							
93		u							
94	35,5	u							
95	60,08	i							
96		i							
97		u							
98		u							
	45,49				71	32	11,53	ingen	2,07
	18,89				cm	cm	1,13		0,68

Forsøk nr.7, Svenneby Sag & Høvleri



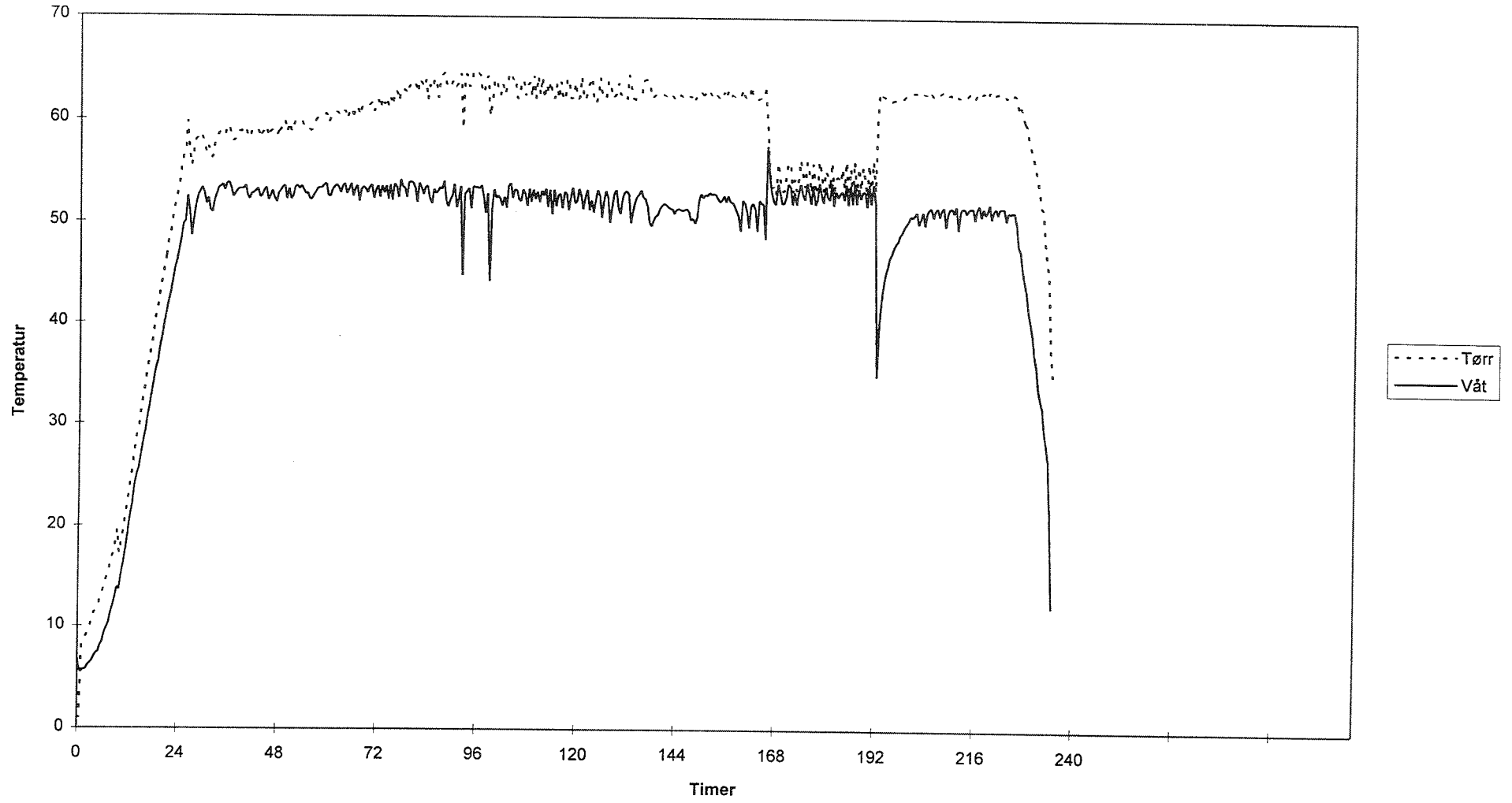
VEDLEGG 8

Nr	Forsøk nr.8	T våt = 50		pk1=86 plank		pk2=78 plank		Grad %
	Før tørking	Uttak, pk1 u,i,m	Uttak, pk2 u,i,m	Sprekk, pk1 cm	Sprekk, pk2 cm	U tørr %	Sopp cm2	
1	72,49	m	u		5			
2		m	u					
3		u	m					
4	84,81	u	m					
5	76,05	m	u					
6	65,71	u	m					
7	81,22	m	u					
8		u	m	12				
9		u	i					
10		i	u					
11		i	u		2			
12	69	u	m					
13		i	u		10			
14		i	u					
15	70,7	u	u					
16		i	u					
17		u	u					
18		u	u			7,98		6,89
19		i	u					
20		i	u		20			
21		u	m					
22		u	u					
23		m	i			12,96		5,71
24		i	m	10	10			
25		m	u	10				
26		i	u					
27	69,73	u	m					
28		u	m			14,41		4,7
29		m	u		3	12,99		4,24
30		m	u			13,95		5,1
31		i	i			11,45		4,51
32	68,1	i	u					
33	68,37	u	u					
34		i	u					
35		i	i			13,7		6,98
36		u	u					
37		u	i					
38		i	u					
39	73,28	m	u			14,55		5,68
40	90,93	m	u			13,41		3,35
41	70,91	i	u					
42		u	u			14,82		7,7
43		u	i					
44		m	u					
45		u	u					
46		u	u		5			
47		u	i			12,36		5,47
48		u	u					
49		u	u		10	12,39		4,05

VEDLEGG 8

50		m	m					
51		i	u			14,97		5,21
52		m	u					
53		u	u					
54		i	i	15				
55		u	i					
56		u	i					
57	78,03	u	u					
58	80,89	m	u		20	11,34		4,45
59		i	m		10	11,78		3,41
60	81,65	i	u	5				
61		u	u					
62		i	i		20			
63		u	m					
64		u	m					
65		u	i					
66		u	i					
67		m	m			15,18		5,44
68		u	m					
69		u	m					
70		m	i					
71		u	m					
72		m	u					
73		i	u					
74		i	u					
75		u	u					
76		i	u					
77		i	u		5			
78	72,69	i	u					
79	73,37	m	u					
80		i	u					
81		u	i					
82		u						
83		u						
84		u						
85		u						
86		u						
87		u						
	74,89			52	120	13,02	ingen	5,18
	6,74			cm	cm	1,78		1,24

Forsøk nr.8, Svenneby Sag & Høvleri

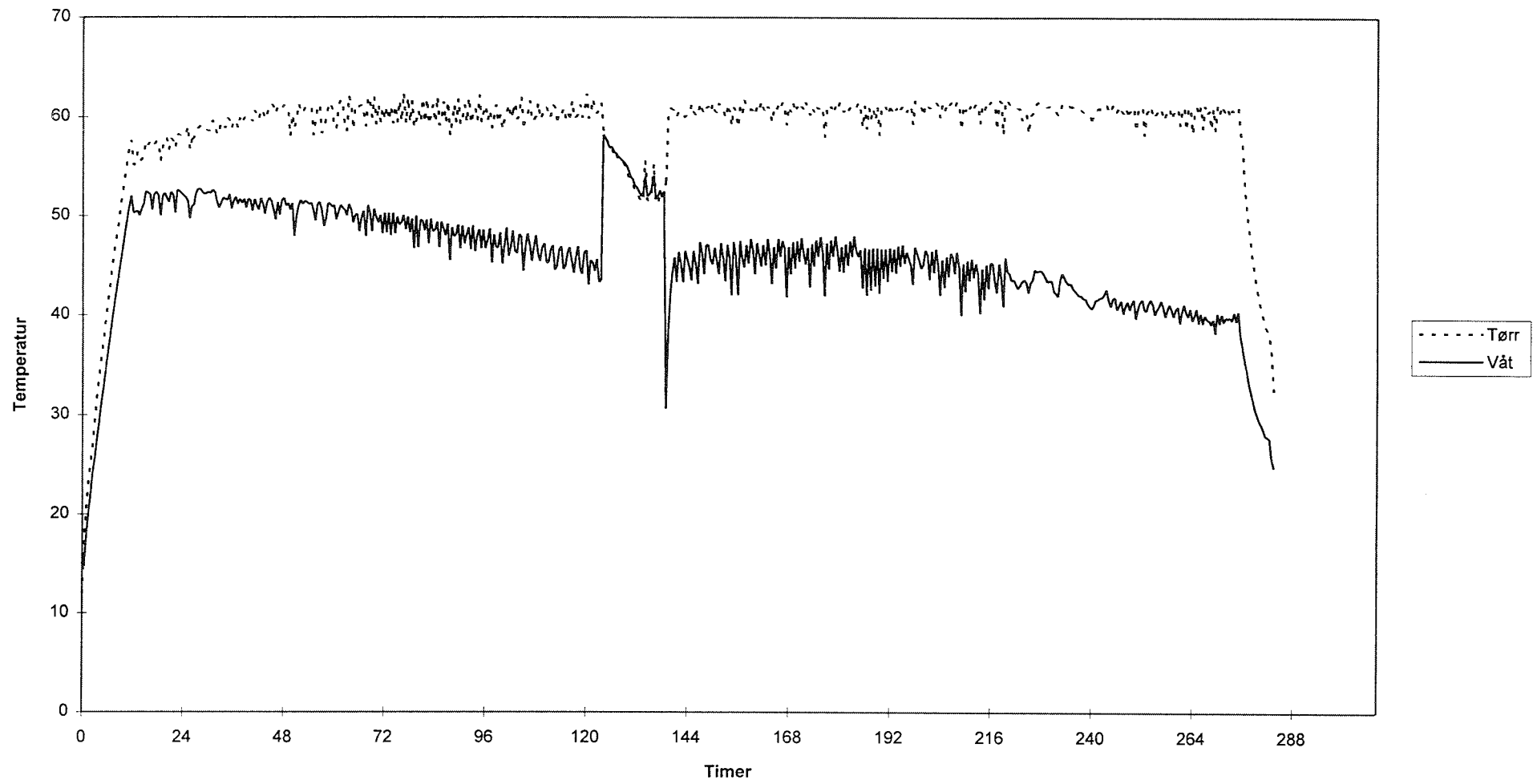


Nr	Forsøk nr. 9	T våt = 50		pk1=98 plank		pk2=98 plank		
	Før tørking	Etter tørking						
	U rå %	Uttak, pk1 u,i,m	Uttak, pk2 u,i,m	Sprekk, pk1 cm	Sprekk, pk2 cm	U tørr %	Sopp cm2	Grad %
1	59,01	m	u					
2	41,45	u	i	3	2			
3	43,81	m	m					
4		u	m					
5		m	i		5			
6	40,39	u	u		2			
7	44,19	m	m		10			
8		u	i					
9		i	u					
10		u	u					
11		i	u					
12		u	u					
13	47,02	m	u					
14		i	m					
15		u	i			11,75		3,07
16		i	i					
17		i	m	1		12,58		2,32
18		u	i					
19		u						
20		m	m					
21		m	u					
22		u	u	2				
23	41,84	u	i					
24	41,62	m	u		5			
25	42,76	u	i					
26	42,03	u	i			12,68		2,26
27	45,13	m	i			12,17		2,48
28		m	m		5	12,09		2,9
29		u	u					
30		u	u					
31		m	u					
32		m	i					
33		u	u					
34		i	m					
35		m	m					
36		m	i					
37		m	m			11,33		2,34
38		m	m			11,53		1,93
39	31,39	u	m			8,73		3,25
40		i	i			12,79		3,15
41		i	m			9,18		1,66
42		m	u			12,91		
43		u	m			13,08		
44	35,55	m	i					
45	46,63	m	m					
46		i	i			11,3		
47		u	m			10,49		2,26
48		i	u					
49		m	u					

Ark8

50		m	u					
51		u	u					
52		m	i					
53	43,36	i	u					
54		u	i					
55		u	m		2			
56	43,36	i	m					
57		u	u					
58		i	u		15			
59		u	u	5				
60		m	i		20			
61		m	i					
62		i	u					
63	49,41	u	i					
64		u	u		20			
65		m	u					
66		i	u					
67		i	m					
68		u	i		30			
69		i	m			12,75		3,56
70		i	i					
71		m	i		10			
72		i	u					
73		u	u					
74		m	u					
75		u	i					
76	46,5	m	m	3	4			
77	41,55	m	i					
78		m	i		5			
79		m	m					
80		m	u					
81		u	i					
82		m	u					
83		u	m					
84		u	i					
85		m	i					
86	45,86	u	m					
87		u	m		8	12,47		
88		u	m					
89		u	u			12,46		3,1
90		u	u					
91		m	u		10			
92		i	i					
93		i	m		8			
94		m	u					
95		u	m					
96		m	u			11,34		2,82
97		i	u			10,97		
98		i	m			11,41		2,74
	43,66			14	161	11,3	ingen	2,7
	5,54			cm	cm	1,94		0,5

Forsøk nr.9, Svenneby Sag & Høvleri



VEDLEGG 10 - Kvalitetsklasser i hht EDG-standard

Tabell 1: Tillatt variasjon av **fuktighet** ($U1/3$) omkring ønsket fuktighet ($U_{bør}$)

Kvalitetsklasse	90% av alle fuktighetsmålinger ($U1/3$) må ligge innen følgende grenser:	Tillatt variasjon hvis $U_{bør}=10\%$
S (standard)	$U_{bør} \pm U_{bør} \times 0,3$	7,0 - 13,0
Q (kvalitetstørket)	$U_{bør} \pm U_{bør} \times 0,2$	8,0 - 12,0
E (eksklusiv)	$U_{bør} \pm U_{bør} \times 0,1$	9,0 - 11,0

Tabell 2: Tillatt nivå i **fuktighetsgradienten** ($U1/2 - U1/6$) i de 3 kvalitetsklasser som funksjon av fuktigheten

Kvalitetsklasse	90% av alle fuktighetsgradienter ($U1/2-U1/6$) må være mindre enn (%):	Maks. tillatt graient (%) hvis $U_{bør}=10\%$
S (standard)	$U_{bør} \pm U_{bør} \times 0,4$	4
Q (kvalitetstørket)	$U_{bør} \pm U_{bør} \times 0,3$	3
E (eksklusiv)	$U_{bør} \pm U_{bør} \times 0,2$	2

Tabell 3: Tillatt **yteherding** etter kondisjonering for de 3 kvalitetsklassene.

Kvalitetsklasse	90% av alle åpninger må være lik eller mindre enn:
S (standard)	3 mm
Q (kvalitetstørket)	2 mm
E (eksklusiv)	1 mm

Rapporter

1. Energisparing og energiøkonomisering ved trelasttørking. Magnar Eikerol. 1981.
2. Oppvarming og rengjøring av skurtømmer før barking. Per Skogstad og Sverre Tronstad. 1982.
3. Betydningen av å kappe skurtømmeret etter kvalitet. Bjørn Lier. 1982.
4. NTI's simuleringsprogram for skur. Andreas Garnæs. 1982.
5. Metalldetektorer. 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. Markeder og produksjonsanlegg. Rolf Birkeland og John Rønningen. 1985.
10. Skurnøyaktighetsundersøkelser '86. Nye sirkelsagmaskiner - råskur med sagbladstyringer og tørrkløyving. Magnar Müller og John Rønningen. 1987.
11. Fingerskjøting av konstruksjonslast. Undersøkelser av forhold ved produksjon og styrke. Per Lind. 1987.
12. Skjærforhold i sagblad. Håkon Toverød. 1988.
13. MPS i trelastindustrien. Andreas Garnæs, Per R. Nordby og Håkon Toverød. 1988.
14. Trevirke. Prosjekt fasader - fornyet overflatebehandling. Redigert av Eirik Raknæs. 1989.
15. Støydemping av sorterverk og internt transportutstyr. Samarbeidsprosjekt Odden Verksted A/S og NTI. Andreas Garnæs. 1992.
16. Arbeidsmiljø ved båndkløyve. Endring av avsug og demping av støy. Andreas Garnæs. 1992.
17. Tørking - trekvalitet. Resultater fra 4 tørkeforsøk. Sverre Tronstad. 1993.
18. Tørking av stolper. Resultater fra litt.studier, forsøk og økonomiske kalkyler vedr. kunstig tørking av stolper. Marie-Louise Edlund og Sverre Tronstad. 1993.
19. Nordisk samkalibrering av styrkesorteringsmaskiner. Kjell Solli. 1993.
20. Sammenliming av gulvbord ved lakkering. Blocking tendency of floor seals. Eirik Raknes. 1993.
21. Metoder for destruksjon/deponering av avfall fra impregneringsindustrien. En litteraturstudie. Fred G. Evans. 1994.
22. Miljø ved produksjon og bruk av trykkimpregnert tre. Sluttrapport. Fred G. Evans. 1994.
23. Årringer som uttrykk for tømmerkvalitet. Wei Han og Håkon Toverød. 1994.
24. Måling av tømmerkvalitet. Seminarrapport. Wei Han. 1995.
25. Lysbeskyttende forbehandling av tre kombinert med klarlakk. Lightprotecting pretreatment of wood in combination with clear coatings. Eirik Raknes. 1995.
26. Styrkesortering ger mervärde. Del 1 - Spørreundersøkelse. Strength grading gives added value. Part 1 - Questionnaire. Kjell Helge Solli. 1995.
27. Miljøargumenter for nordisk trevirke og treprodukter. Environmental arguments for Nordic wood and wood products. Tore Opdal. 1995.
28. Langtidsbestandighet av lim for bærende trekonstruksjoner (sluttrapport). Long-term durability of structural adhesives for wood (final report). Eirik Raknes. 1995.
29. Tørking av bjørk. Per F. Jørgensen, KanEnergi AS. Sverre Tronstad og Asle Tengs, NTI. 1995.
30. Kvalitetsforbedringsprogram basert på avvikskostnadsoppfølging. Quality Improvement Program based on Poor Quality Cost Measurements. Rune Moen. 1996.

Tekniske småskrifter

20. Tabeller over statiske verdier for trelast. 1992.
21. Skadeinsekter i forarbeidet trevirke. 1967.
22. Endeskjøting av trelast. 1968.
23. Trebeskyttelse. Gustav S. Klem og Fred G. Evans. 1992.
24. Mekaniske treforbindelsesmidler. 1991.
25. Sagbruksavfall som industribrensel. 1974.
26. Tregulv - typer og egenskaper. Michael Foslie. 1976.
28. Sortererhåndboka. Kvalitetsforhold i trevirke. Michael Foslie. 1979.
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. Impregnerert 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. Trygve Raen og Sverre Tronstad. 1978.
48. Tørkeskjemaer for norske og utenlandske treslag. Trygve Raen og Sverre Tronstad. 1979.
49. Bjørk - Produksjon, egenskaper, bearbeiding og anvendelse. K. Vadla, N. Berg og M. Foslie. 1980.
50. Trekonstruksjoner. Eksempelsamling. 1988.

Meddelelser

1. Skurutbyttings variasjon med skurordre, tømmerdimensjon og avsmaling ved en moderne sirkelsag. Gustav S. Klem og Ole Karlsen. 1951.
2. Sammenliknende skurforsøk mellom sirkelsagblad med viggete og stukete tenner. Gustav S. Klem og Ole Karlsen. 1951.
3. En undersøkelse av skurnøyaktigheten ved forskjellige sagbrukstyper. Gustav S. Klem og Martin Seem. 1951.
4. Tannvinklenes innvirkning på kraftforbruket ved saging med og mot fibre. Curt Skoglund og Gullik Hvamb. 1953.
5. En transportteknisk undersøkelse på stabeltomtene ved trelastbrukene. Utført ved Produksjonsteknisk Forskningsinstitutt etter oppdrag og i samarbeid med NTL. 1954.
6. Fuktighetsopptak i gulvbord under lagring på byggeplassen. Ole Karlsen. 1954.
7. Noen resultater fra undersøkelser over saging med og mot fibre. Torstein Englessen, Gullik Hvamb og Bertil Thunell. 1954.
8. Skurnøyaktigheten ved våre viktigste sagbrukstyper. Gullik Hvamb. 1956.
9. Laminering av trykkimpregnert furu. Magnus M. Selbo og Ole Grønvold. 1956.
10. Fastmasse i stablet, kappet bakhon. Michael Foslie. 1957.
11. Undersøkelser over metoder for tørking av rå sagflis. Per Granlund. 1958.
12. Tørrkløyving med koniske sirkelsagblad. Lester H. Reineke og Gullik Hvamb. 1958.
13. Metode for beregning av pneumatiske tørkeanlegg basert på eksperimentelle undersøkelser med sagflis. Per Granlund. 1959.
14. Brikettering av bark og sagflis. H. Millstein og K. Mørkved. 1960.
15. Strength and Stiffness of Glued Laminated Timber Beams. Johannes Moe. 1961.
16. Fingerskjøting av furubord. Eirik Raknes. 1961.
17. A Study of Nail-Glued Timber Truss Joints. Johannes Moe. 1961.
18. Stability in Fire of Protected and Unprotected Glued Laminated Beams. K. Imaizumi. 1962.
19. The Mechanism of Failure of Wood in Bending. Johannes Moe. 1962.
20. Studier over stukete og viggete rammesagblad og skurnøyaktighet. M. Breznjak og G. Hvamb. 1962.
21. Liming av trykkimpregnert bøk. E. Raknes. 1962.
22. Forsøk med trykkimpregnering av skurlast av gran etter en spesiell metode. Per Hanetho. 1962.
23. Studier over skurnøyaktigheten ved båndagskur av frosset og ikke frosset virke. Rolf Birkeland og Gullik Hvamb. 1963.
24. Styrkeegenskapene hos furu (*Pinus sylvestris*) fra Pasvik og fra Østlandet. Michael Foslie. 1963.
25. Strength Properties and Testing Methods of Glued Finger Joints in Structural Timbers. O. Brynildsen. 1965.
26. Sammenligning av beregningsmetoder for enkle tretakstoler. O. Brynildsen. 1966.
27. Limte bjelkelagselementer. O. Brynildsen. 1966.
28. Varigheten av granvirke behandlet med forskjellige konserveringsmidler og under anvendelse av forskjellige konserveringsmetoder. Gustav S. Klem. 1966.
29. Slagbruddfasthet og kløvfasthet til furuvirke trykkimpregnert med et vannløselig saltkonserveringsmiddel. Gustav S. Klem. 1966.
30. Investigations on Sawing Accuracy for Big Bandsaw when Sawing Frozen and Unfrozen Logs with Different Feed Speeds and Different Swage Sizes. Rolf Birkeland. 1967.
31. Langtidsbestandighet av lim for bærende trekonstruksjoner. Eirik Raknes. 1968.
32. Fingerskjøting med resorcinlim ved høy trefuktighet. Eirik Raknes. 1967.
33. Norsk granvirkes styrkeegenskaper. 1. Bøystyrke, elastisitetsmodul og strekkstyrke målt på 3" x 8" og 2" x 4". Michael Foslie og Knut Moen. 1968.
34. Resultatene av målinger av skurnøyaktigheten ved sirkelsagbruk og båndagsbruk. R. Birkeland. 1968.
35. Lagringsskader på ubarket skurtømmer og effekten av sprøyting med insekt- og soppdrepende midler. Gunnar Wilhelmsen og Michael Foslie. 1968.
36. Fingerskjøting av konstruksjonsvirke med høy trefuktighet. Eirik Raknes. 1969.
37. Frittstående tretakstoler. Odd Brynildsen og Rolf Schjødt. 1969.
38. Skur med stukete tenner på sirkelsagblad med høymatning pr. tann. M. Breznjak og Knut Moen. 1969.
39. Betydningen av sterk tilvekstøkning hos vanlig furu for trevirkets tørkeskader, børefasthet og skjærfasthet. Gustav S. Klem. 1970.
40. On the Vibration of the Circular Saw Blade under Sawing Conditions. M. Breznjak og Knut Moen. 1970.
41. Fingerskjøting av "lufttørr" trelast ved hjelp av høyfrekvensoppvarming. Eirik Raknes og Martin Seem. 1971.
42. Norsk granvirkes styrkeegenskaper. 3. Styrkeegenskaper for små, feilfrie prøver. Michael Foslie. 1971.

43. NTT's Trebjelkefasit. NTI. 1971.
44. Langtidsbestandighet av lim for bærende trekonstruksjoner. Eirik Raknes. 1972.
45. Norsk granvirkes styrkeegenskaper. 2. Bøyestyrkens og strekkstyrkens sammenheng med enkelte sorteringskriterier. Michael Foslie og Knut Moen. 1972.
46. On the Lateral Movement of the Bandsaw Blade under Various Sawing Conditions. M. Breznjak og K. Moen. 1972.
47. Korrosjon på metaller i kontakt med trykkimpregnert trevirke. Egil Ormstad. 1973.
48. Theory and Experiment on the Optimal Operation of Circular Saws. C.D. Mote, Jr. og Sindre Holøyen. 1973.
49. The Temperature Distribution in Circular Saws during Cutting. C.D. Mote, Jr. og Sindre Holøyen. 1973.
50. Saltakstoler. Asbj. Aass jr. og Odd Brynildsen. 1974.
51. Egenskaper til trevirke fra gjødslet gran- og furuskog. Gustav S. Klem. 1974.
52. Automatic setting of a twin circular saw. M. Breznjak, A. Garnæs, S. Holøyen og B. Lier. 1975.
53. Langtidsbestandighet av lim for bærende trekonstruksjoner. Resultater etter 10 års eksponering. Eirik Raknes. 1976.
54. Apparat for ikke-ødeleggende prøving av sponplater. K. Mørkved, S. Johannesen og E. Ormstad. 1976.
55. Sagbladstyringer. Sindre Holøyen. 1977.
56. Feedback control of sawblade temperature with inductionheating. C.D. Mote, Jr. og S. Holøyen. 1977.
57. Krokkskur. M. Breznjak, B. Lier, M. Müller og A. Storm. 1977.
58. Småhusfundamenter av tre. Tore Haavaldsen. 1979.
59. Structural models for trussed rafters. O. Brynildsen. 1979.
60. Saw stability control by thermal tensioning. S. Holøyen, C.D. Mote, Jr. og G.S. Schajer. 1979.
61. Tverravstivning av bjelkelag. Jon Lundesgaard. 1980.
62. Langtidsbestandighet av lim for bærende trekonstruksjoner. Resultater etter 15 års eksponering. Eirik Raknes. 1981.
63. Oppbøying av takstoler. N. Mjøs og O. Ellingsrud. 1982.
64. Temperaturspenninger og sideutbøying på enkeltkoniske sirkelsagblad. Sindre Holøyen. 1982.
65. Hydrodynamic sector bearings as circular saw guides. C. D. Mote, Jr., G.S. Schajer og L.I. Telle. 1982.
66. Målesystem for vurdering av kantingsoperasjoner. 1983. I. Sandqvist, K.O. Sommardahl, L.I. Telle og A. Usenius.
67. Usymmetriske sirkelsagblad. Sindre Holøyen. 1983.
68. Korrosjon på metaller. Fred G. Evans. 1984.
69. Gran og sitka innplantet på Vestlandet. M. Foslie. 1985.
70. Usymmetriske sirkelsagblad. Del II. S. Holøyen. 1985.
71. Sawing Accuracy at Norwegian Bandsaw Mills. Nobuaki Hattori. 1986.
72. Konstruksjonsvirke med små tverrsnitt. 1986. Kjell Solli og Reinhard Lackner.
73. Langtidsbestandighet av lim for bærende trekonstruksjoner. Resultater etter 22 års eksponering. E. Raknes. 1987.
74. Gran fra Vestlandet. Styrke og sortering. R. Lackner og M. Foslie. 1988.
75. Lysbeskyttende forbehandling av tre. E. Raknes. 1988.
76. Belastningstidens innflytelse på strekkfasthet for konstruksjonsvirke i dimensjon 45 x 145 mm. R. Lackner. 1990.
77. The performance of glued laminated beams manufactured from machine stress graded norwegian spruce. R.H. Falk, K.H. Solli og E. Aasheim. 1992.