

Tørking av osp

Saksbehandlere: Per F. Jørgensen, KanEnergi AS, Sverre Tronstad og Asle Tengs, NTI
Dato: 1998-01-27
Oppdragsgiver: Landbruksdepartementet – TTVF og Statens Landbruksbank
Prosjektnr.: 362577

Sammendrag

Det er utført 8 tørkeforsøk med 50 mm osp (*Populus tremula*) i laboratorietørke ved Norsk Treteknisk Institutt, og 5 forsøk i fullskala i kondensasjonstørke hos Svenneby Sag & Høvleri og Haugestad Sagbruk. Maksimal tørretemperatur har vært mellom 58 og 85 °C, med våttemperaturer mellom 48 og 60 °C, og varierende tørkeskarphet.

Før tørking ble startfuktighet og uttak i stokken registrert. Under tørking ble det foretatt en kontinuerlig registrering av tørr- og våttemperatur. I forsøkene i laboratorietørken ble det også løpende registrert trefuktighet 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 osp til 10 % med våttemperatur 50 - 60 °C og middels til skarp tørkekraft ga bra resultater både når det gjelder sprekk, soppskader og fargeendringer. Kondisjonering i 18 timer med en likevektsfuktighet 4 % over midlere slutfuktighet, ga også trelast med lite spenninger.

Standardavviket for slutfuktigheten blir imidlertid meget høyt for osp. Dette skyldes dels at enkelte planker oppviser svært høy kjernefuktighet selv etter lang tids tørking, og dels en generelt større spredning i slutfuktighet enn for eksempel furu, gran og bjørk. Gjennomføres en utjevning i 48 timer med en likevektsfuktighet 1 % under ønsket slutfuktighet, kan et standardavvik på ca. 1 % oppnås. Utjevning bedrer også resultatene mht. fuktighetsgradienter betydelig.

<i>Stikkord:</i>	Tørking, tørkeskjemaer, osp.
<i>Keywords:</i>	Drying, drying schedule, aspen.

Summary

Eight drying tests with 50 mm aspen (*Populus tremula*) have been carried out in NTI's lab kiln, as well as five full scale tests in conditioning kiln at Svenneby Sag & Høvleri and Haugestad Sagbruk. Maximum dry temperature has been between 58 and 85 °C with wet temperatures between 48 and 60 °C, and varying drying rate.

Before drying the initial moisture content (MC) and sawing pattern were registered. During drying a continuous registration of the dry and wet temperature was made. In the lab kiln tests also the timber MC were continuously registered in some of the planks. Following the drying, final MC and gradients, checks, case hardening, mould and change of colour were registered. The results regarding final MC, MC gradient and case hardening are grouped in quality classes according to European Drying Group (EDG)'s proposal for drying standard.

The test results showed that drying of aspen to 10 % with wet temperature 50-60 °C and medium to high drying rate were favourable both concerning checks, fungi damage and colour changes. Conditioning for 18 hours at equilibrium MC 4 % above average final MC also resulted in timber with only insignificant case hardening.

However, the standard deviation for final MC in aspen is considerable. This is partly due to the fact that some of the planks have a very high core MC even after long-run drying, and partly because of a generally wider distribution of final MC compared with pine, spruce and birch. If an equalisation with an equilibrium MC of 1 % below the desired final MC is made for 48 hours, a standard deviation of abt. 1 % may be obtained. In addition to this, an equalisation will improve the results regarding moisture gradients considerably.

Innhold

Sammendrag	3
Summary	4
1 Innledning	9
1.1 Bakgrunn og mål for prosjektet	9
1.2 Prosjektorganisering	9
1.3 Forutsetninger for prosjektet og rapporten	9
2 Tørketerminologi og vedanatomi	10
2.1 Generelt.....	10
2.2 Tørketerminologi	10
2.2.1 Tørr temperatur.....	10
2.2.2 Våttemperatur	10
2.2.3 Psykrometerdifferanse	11
2.2.4 Luftfuktighet.....	11
2.2.5 Trefuktighet.....	11
2.2.6 Likevektsfuktighet (LVF)	11
2.2.7 Tørkekraft.....	12
2.2.8 Krymping og svelling.....	12
2.2.9 Spenninger og yteherding.....	13
2.2.10 Densitet	13
2.2.11 Plastisitet	13
2.2.12 Fibermetningspunkt.....	14
2.3 Vedanatomi.....	14
3 Forsøksopplegg - laboratorietørke ved NTI.....	16
3.1 Råvaren	16
3.2 Tørkeutrustningen	16
3.3 Forsøksmetodikk	17
3.3.1 Råstoff.....	17
3.3.2 Prøveuttak før tørking.....	18
3.3.3 Prøveuttak etter tørking	18
3.3.4 Plassering i tørka.....	18
3.3.5 Tørkeskjema.....	19
4 Resultater fra forsøkene ved NTI.	20
4.1 Forsøk nr. 1, $t_v = 50\text{ °C}$, $t_{tmax} = 67\text{ °C}$	20
4.1.1 Forsøksbetingelser	20
4.1.2 Resultater	21
4.1.3 Kommentarer	21
4.2 Forsøk nr. 2, $t_v = 50\text{ °C}$, $t_{tmax} = 80\text{ °C}$, (skarpt) klima.....	22
4.2.1 Forsøksbetingelser	22
4.2.2 Resultater	23
4.2.3 Kommentarer	23
4.3 Forsøk nr. 3, $t_v = 50\text{ °C}$, $t_{tmax} = 67\text{ °C}$	24
4.3.1 Forsøksbetingelser	24
4.3.2 Resultater	25
4.3.3 Kommentarer	26
4.4 Forsøk nr. 4, $t_v = 60\text{ °C}$, $t_{tmax} = 85\text{ °C}$	26

4.4.1	Forsøksbetingelser	26
4.4.2	Resultater	27
4.4.3	Kommentarer	28
4.5	Forsøk nr. 5, $t_v = 60\text{ °C}$, $t_{\text{max}} = 80\text{ °C}$, skarpt klima.....	28
4.5.1	Forsøksbetingelser	28
4.5.2	Resultater	29
4.5.3	Kommentarer	30
4.6	Forsøk nr. 6, $t_v = 50\text{ °C}$, $t_{\text{max}} = 67\text{ °C}$, mildt klima.....	30
4.6.1	Forsøksbetingelser	30
4.6.2	Resultater	31
4.6.3	Kommentarer	32
4.7	Forsøk nr. 7, $t_v = 60\text{ °C}$, $t_{\text{max}} = 80\text{ °C}$, skarpt klima.....	32
4.7.1	Forsøksbetingelser	32
4.7.2	Resultater	33
4.7.3	Kommentarer	34
4.8	Forsøk nr. 8, $t_v = 50\text{ °C}$, $t_{\text{max}} = 70\text{ °C}$, skarpt klima.....	35
4.8.1	Forsøksbetingelser	35
4.8.2	Resultater	36
4.8.3	Kommentarer	36
5.	Forsøksopplegg - fullskala kondensasjonstørker ved Svenneby Sag & Høvleri og Haugestad Sagbruk.....	38
5.1	Råvaren	38
5.2	Tørkeutrustningen	38
5.3	Forsøksmetodikk	39
5.3.1	Råstoff.....	39
5.3.2	Klimamålinger.....	40
5.3.3	Prøveuttak før tørking.....	40
5.3.4	Prøveuttak etter tørking	40
5.3.5	Plassering i tørka.....	40
5.3.6	Tørkeskjema	40
6	Resultater fra forsøkene ved Svenneby Sag & Høvleri og Haugestad Sagbruk.....	41
6.1	Forsøk nr. 9, $t_v = 50\text{ °C}$, $t_{\text{max}} = 65\text{ °C}$	41
6.1.1	Forsøksbetingelser	41
6.1.2	Resultater	42
6.1.3	Kommentarer	43
6.2	Forsøk nr. 10, $t_v = 55\text{ °C}$, $t_{\text{max}} = 65\text{ °C}$	43
6.2.1	Forsøksbetingelser	43
6.2.2	Resultater	44
6.3	Kommentarer	45
6.3	Forsøk nr. 11, $t_v = 60\text{ °C}$, $t_{\text{max}} = 65\text{ °C}$	45
6.3.1	Forsøksbetingelser	45
6.3.2	Resultater	46
6.3.3	Kommentarer	47
6.4	Forsøk nr. 12, $t_v = 50\text{ °C}$, $t_{\text{max}} = 65\text{ °C}$	47
6.4.1	Forsøksbetingelser	47
6.4.2	Resultater	48

6.4.3	Kommentarer	49
6.5	Forsøk nr. 13, $t_v = 50\text{ °C}$, $t_{\text{max}} = 62\text{ °C}$	49
6.5.1	Forsøksbetingelser	49
6.5.2	Resultater	50
6.5.3	Kommentarer	51
7	Sammenstilling av forsøksresultatene.....	52
7.1	Sammenstilling av forsøksresultatene - NTI.....	52
7.2	Sammenstilling av forsøksresultatene – fullskala hos Svenneby Sag & Høvleri og Haugestad Sagbruk.....	53
8	Diskusjon.....	54
9	Konklusjon	55
	Referanseliste.....	57

Vedlegg 1:	Resultater fra forsøk	1 og 2
"	2:	" 3 og 4
"	3:	" 5 og 6
"	4:	" 7 og 8
"	5:	" 9
"	6:	" 10
"	7:	" 11
"	8:	" 12
"	9:	" 13
"	10:	Fordeling av slutfuktighet, forsøk 9-13.
"	11:	Kvalitetsklasser ihht. EDG-standard.

1 Innledning

1.1 Bakgrunn og mål for prosjektet

Osp (*Populus tremula*) utgjør ca. 9 % av Norges stående lauvtrevolum. Osp brukes til panel bl.a. i badstuer og kjølerom, til listverk og utvendig kledning, i tillegg til spesielle prosjekter. Det er anslått av Foreningen Norske Lauvtrebruk at det skjæres ca. 3000 m³ trelast av lauvtre i Norge per år. Interessen for utnyttelse av osp er økende.

Det var kjent på forhånd at tørking av osp er problematisk, spesielt med tanke på "fuktighetslommer". Fenomenet arter seg slik at selv etter endt tørkeprosess er det noen planker som har områder der fuktigheten er langt høyere enn resten av planken og trelastpartiet forøvrig. Dette var en spesiell utfordring for prosjektet.

Det finnes lite dokumentert om tørking av osp i Norge. Erfaringer fra industrien og anbefalinger gitt i litteraturen (i hovedsak utenlandsk), dokumentert i forprosjektet "Tørking av lauvtre", var meget sprikende med hensyn til hvordan osp bør tørkes.

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

Målet for prosjektet var 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 ved sivilingeniør Per F. Jørgensen. Han har utført forsøkene på Svenneby Sag & Høvleri, i samarbeid med Ole Svenneby, og på Haugestad Sagbruk med tilhørende bearbeiding av forsøksdata fra disse to sagbrukene. Sverre Tronstad har vært ansvarlig for arbeidet utført ved NTI, mens Asle Tengs har utført de praktiske forsøkene med tilhørende databearbeidelse og rapportskrivning.

I tillegg til de ovennevnte har Stein Hellem, TeroConsult AS og Willy Wahl, InMark AS bidratt med råd.

1.3 Forutsetninger for prosjektet og rapporten

Hovedformålet med prosjektet er å gi industrien grunnlag for utarbeidelse av tørkeskjemaer som kan benyttes ved bruk av dagens tørkeutstyr. Det ble derfor valgt å fokusere på tørketemperaturer som har størst relevans for norsk trelastindustri, dvs. temperaturer mellom 50-80 °C. Tørking ved temperaturer over 80°C gir økte krav til korrosjonsbestandighet for tørkeutrustning,

varmeforsyningen må utformes på en helt annen måte enn i dag, gjerne dampbasert, og alle elektriske motorer må trekkes ut av tørkene. Dette er en teknologi som svært få norske trelastprodusenter har i dag.

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 osp, med luftvekslingstørker (kammer- og kanaltørker), kondensasjonstørker og vakuumbørker som de viktigste tørketyper.

Felles for anvendelse av alle disse tørketyper er at tørkepasseren må kjenne godt til det teoretiske grunnlaget for tørkeprosessen og den terminologi som benyttes. Nedenfor er derfor listet opp de viktigste begrepene som benyttes i tørketerminologien og i denne rapporten. 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.

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 fordamper, 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 tørr temperatur defineres som psykrometerdifferansen. Liten forskjell gir høy relativ luftfuktighet (% RF) og omvendt.

2.2.4 Luftfuktighet

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

Relativ luftfuktighet defineres som forholdet mellom den aktuelle vanddampmengden i luften ved en viss temperatur, og den maksimale vanddampmengden luften kan inneholde ved denne temperaturen (regnes i prosent). Relativ fuktighet er avhengig av lufttemperatur og absolutt fuktighet. Jo varmere luften er, dess større er luftens evne til å ta opp fuktighet. Derfor kan man ved samme absolutt fuktighetsinnhold, men ved forskjellige temperaturer, ha forskjellig RF. 0 % RF er absolutt tørr luft, 100 % RF er vannmettet 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 det tørre trevirket. Dette kan oppstå i yteved i nåletrær. For lauvtre er fuktigheten mer jevnt fordelt over hele stammetverrsnittet.

2.2.6 Likevektsfuktighet (LVF)

På engelsk: «*Equilibrium Moisture Content*» (EMC).

Dette er et 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. Kurvene kan variere noe med 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 fører til deformasjoner og eventuelt sprekkdannelser ved tørking. Sammenhengen mellom krymping og fuktighetsinnholdet fra fibermetning og ned til absolutt tørt virke er tilnærmet lineær.

Forskjellige forhold ved treets oppbygging gjør at krympingen i radiell retning er omtrent halvparten av krympingen i tangentiell retning. Krympingen i lengderetningen er forholdsvis liten, men kan ha praktisk betydning ved store lengder.

Krymping for osp /9/: (fra rått til helt tørt)	Tangentiell krymping:	8,7 %
	Radiell krymping:	3,8 %
	Krymping i lengderetning:	0,2 %
	Krymping i volum:	12,7 %

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*». Densitet defineres som vekt dividert på volum, og benevnes i kg /m³. Densiteten vil kunne oppgis ved forskjellig fuktighet og volum.

Eksempelvis angis tørrdensitet, ρ_0 , som tørr masse ved tørt volum. Imidlertid er det mest vanlig å angi densiteten som tørr vekt i forhold til rått volum, og den betegnes da som basisdensitet.

2.2.11 Plastisitet

Ved økt temperatur blir treet mer "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 trefiner. Kurven er tatt frem for den minimumstemperatur hvor bølgeeffekt kan utjevnes med press. (Keylwerth, Kübler) /2/.

Figur 2.2. Plastisk og elastisk område for lauvtre.

2.2.12 Fibermetningspunkt

På engelsk: «*fibres saturation point*».

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

2.3 Vedanatomi

Lauvtrærnes anatomiske oppbygging er mer komplisert enn hos bartrærne. Mens bartrær kun har én 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 næringsstoffer.

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

Figur 2.3 viser snitt av lauvtre /3/.

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 karene 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).

spredtporet

ringporet

halvringporet

Figur 2.4: Skjematisk fremstilling av spredt-, ring- og halvringporede lauvtre/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 mer lukket struktur.

For en del treslag blir kjerneveden "innleiret" med stoff som gjør den mer motstandsdyktig mot sopp- og insektsangrep enn yteveden. Eik er et typisk eksempel på dette.

Figur 2.5 Tverrsnittsbilde av osp (spredtporet treslag) /4/.

3 Forsøksopplegg - laboratorietørke ved NTI

3.1 Råvaren

Plank av nyskåret osp ble levert NTI i lengder på ca. 240 cm. Ospa er fra Østfold, hogget 1-8 uker før saging.

3.2 Tørkeutrustningen

Til forsøks tørkingen på NTI ble det benyttet en laboratorietørke fra Brunner-Hildebrand, type Labortrockner BL.

3.2.1 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 (Brunner) eller tidsstyring (Alent).

Forsøks tørken er utstyrt med to separate styringssystemer som kan kjøres parallelt.

3.2.2 Brunner tørkestyring

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, tørrtemperatur (t_d) ved endt oppvarming og likevektsfuktighet.
- B: Tørkeperioden er delt i ti intervaller gitt av målt trefuktighet som måles med 12 par elektroder som slås inn i materialene. Tørkeforløpet er således styrt av aktuell trefuktighet og ikke av forløpt tid. For hvert fuktighetsintervall legges det inn data for tørrtemperatur og tørkekraft.
- C: I kondisjoneringfasen legges det inn data for tørrtemperatur og likevektsfuktighet. Kondisjoneringstiden kan settes som en funksjon av målt fuktighetsgradient, f.eks. gradient $<1\%$, eller som en funksjon av tid. Det kan bases med vann eller damp.
- D: I avkjølingsfasen oppgis en konstant likevektsfuktighet. Avkjølingen vil avsluttes når temperaturen har kommet under angitt nivå eller etter en gitt tid.

Fase C og/eller D kan benyttes til å sette et utjevningssklima. Utjevning er et effektivt virkemiddel for å oppnå ønsket midlere slutfuktighet og lavere spredning omkring denne.

3.2.3 Alent tørkestyring

I tillegg til Brunner tørkestyringen er forsøksstørken utstyrt med en moderne styring fra Alent. Dette er en ren tidsstyring, hvor man innenfor valgfrie tidsintervaller setter klimabetingelsene som funksjon av tørr- og våttemperatur. Fordelen med Alent styringen er mer nøyaktig regulering av klimaet, samt mulighet for å logge andre parametere i sanntid direkte til regneark på en PC. Dette betyr at for eksempel vekttap og krymping av lasten kan registreres under tørkingen.

3.3 Forsøksmetodikk

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

3.3.1 Råstoff

Til forsøkene nr. 3, 4, 7 og 8 ble ospeplank med dim. 50 x 150 mm levert NTI i et antall av 60 stk. med lengde ca. 240 cm i to omganger. Hver omgang ga materiale for to tørkeforsøk. Umiddelbart etter mottak ble hver plank delt i to lengder à 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 ved temperatur 5 °C/80 % RF. Til de øvrige forsøkene ble det benyttet enkeltleveranser.

3.3.2 Prøveuttak før tørking

Fra de opprinnelige plankene på ca. 240 cm ble det tatt ut en tørkeprøve fra midtpartiet på hver annen plank (totalt 30 tørkeprøver pr. tørkeomgang) for kontroll av startfuktighet.

3.3.3 Prøveuttak etter tørking

Det ble tatt ut prøver mht. sluttluftighet, fuktighetsgradient og yteherding fra 20 - 40 plank etter tørking.

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).

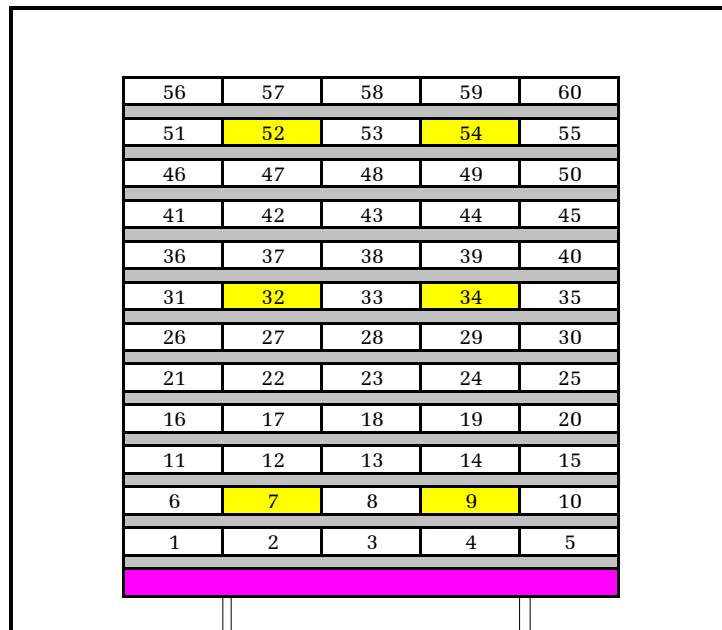
Videre ble muggvekst registrert på alle fire sider av hver plank. Flekkvis muggvekst ble benevnt (fl.), større sammenhengende flater ble oppgitt i cm². Videre ble det notert om muggveksten fantes på flatsiden (f) eller kanten (s). Eks. 50f + fl.s = 50 cm² område på flatsiden, samt flekkvis mugg på kantene.

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

3.3.4 Plassering i tørka

Plankene 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 plank ble endeforseglet med aluminiumsmaling eller silicon.

Elektrodepar for fuktighetsmåling ble plassert i plank nr. 7, 9, 32, 34, 52 og 54 i dybde 15 mm som skal representere middelfuktighet i tverrsnittet. For å oppnå spredning av fuktighetsmålingen over tørkevolumet, ble elektrodene vekselvis plassert i bakkant, midt i og i forkant i plankene. (Bak (9,52), midt i (32,34), foran (7,54)). Elektrodene ble slått inn parallelt med fibreene.



Figur 3.2 Plassering av plankene i tørka.

3.3.5 Tørkeskjema

Etter prosjektplan av 21. august 1996 skulle det gjennomføres 8 tørkeforsøk i NTIs forsøktørke med de foran nevnte registreringer. Det ble valgt tørkeskjema med våttemperatur 50 og 60 °C med hhv. normalt og skarpt klima. Alle forsøk skulle inkludere kondisjonering, og effekten av utjevning skulle utprøves.

For kondensasjonstørker vil oppnåelig tørretemperatur ofte være en begrensning, og denne ble derfor begrenset til ca. 67 °C i noen av forsøkene. Med mildt klima forstås en tørkekraft < 2, skarpt klima tørkekraft > 3.

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: 18 timer ved 14 % likevektsfuktighet (LVF).
- * Avkjølingsklima: 10 % LVF.
- * 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 8. For hvert forsøk angis forsøksbetingelser, dvs. klima i form av tørrtemperatur, psykrometerdifferanse og/eller likevektsfuktighet som funksjon av aktuell trefuktighet.

Resultatene vedr. trefuktighet, gradient og yteherding er middelveier basert på prøveuttaket (20-40 stk.). Sprekk og muggvekst er gitt som summen av hele tørkevolumet (60 stk.).

Detaljerte resultater fra hvert enkelt forsøk er gjengitt i vedlegg 1 - 4 .

4.1 Forsøk nr. 1, $t_v = 50 \text{ }^\circ\text{C}$, $t_{\text{max}} = 67 \text{ }^\circ\text{C}$.

4.1.1 Forsøksbetingelser

Forsøk nr. 1 ble gjennomført i perioden 17. september til 2. oktober 1996 med følgende tørkeskjema:

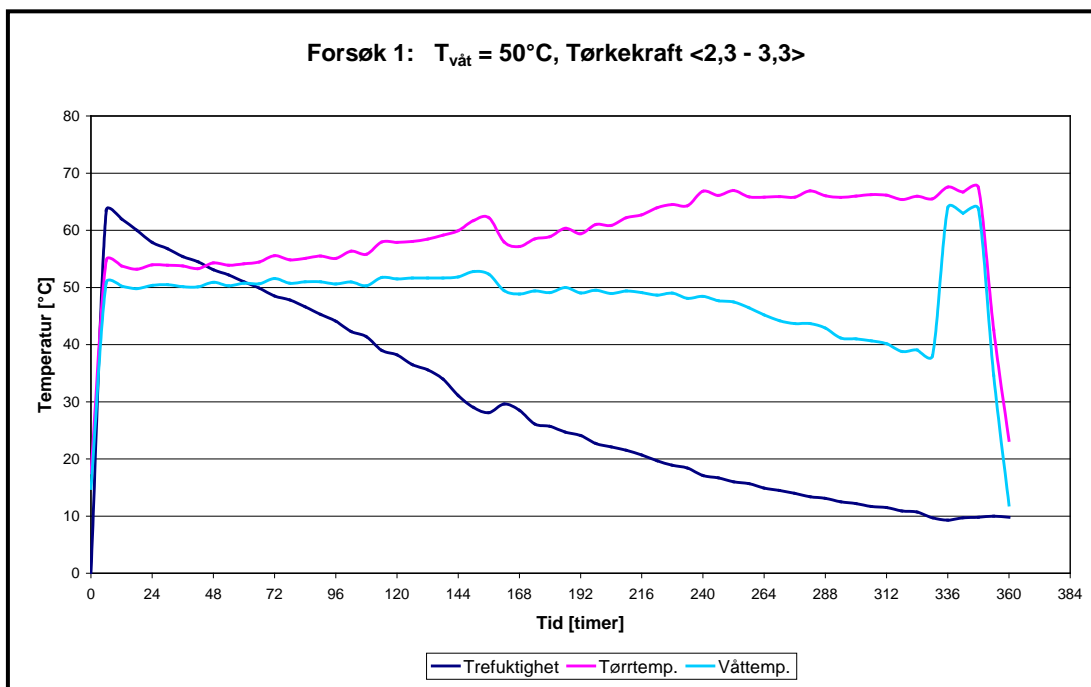
Tabell 4.1.1 Tørkeskjema for forsøk nr. 1.

Trefuktighet [%]	Tørrtemp. [°C]	Psykrometer-diff. [°C]	Tørkekraft	Likevekts-fuktighet [%]
Oppvarming	55			18
> 70	55	5	2.3	12,7
70 - 60	55	5	2.3	12,7
60 - 50	55	5	2.3	12,7
50 - 40	56	6	2.4	11,6
40 - 30	57	7	2.5	10,6
30 - 25	58	8	2.7	9,9
25 - 20	62	12	2.9	7,7
20 - 15	67	17	3.1	5,9
15 - 10	67	17	3.3	5,9
< 10	67	17	3.3	5,9
Kondisjonering	67			14,0
Avkjøling	10			10,0

4.1.2 Resultater

Tabell 4.1.2: Resultater fra forsøk nr. 1.

Parameter	Verdi	Standardavvik
Startfuktighet [%]	54,3	10,2
Sluttfuktighet [%]	10,7	2,7
Gradient [%]	2,1	1,8
Yteherding [mm]	1,2	0,7
Sprekke [% av tot. lengde]	~0	
Muggvekst	ingen	
Tørketid inkl. oppvarming [h]	333	
Utjevning [h]	0	
Kondisjonering [h]	18	



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

Detaljerte resultater er gjengitt i vedlegg 1.

4.1.3 Kommentarer

Det oppsto en feil ved Alent styringssystemet etter ca. 7 døgn, og det ble derfor byttet om til Brunner systemet. Som nevnt i kapittel 3.2, blir ikke temperaturen registrert i samme punkt for de to systemene. Dette, sammen med ulik måte å

registrere våttemperatur på, er årsaken til uregelmessighetene i kurven ved ca. 160 timer.

Standardavviket for sluttfuktigheten ble 2,7 %, som er omtrent det dobbelte av hva som normalt oppnås ved tørking av for eksempel gran og furu. Også fuktighetsgradient og yteherding viser større spredning for osp.

Sprekkdannelsen var minimal, totalt kun 3 kortere sprekker, hvorav alle gikk inn til marg.

4.2 Forsøk nr. 2, $t_v = 50 \text{ }^\circ\text{C}$, $t_{\text{max}} = 80 \text{ }^\circ\text{C}$, (skarpt) klima.

4.2.1 Forsøksbetingelser

Forsøk nr. 2 ble 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 14. til 31. oktober 1996 med følgende tørkeskjema:

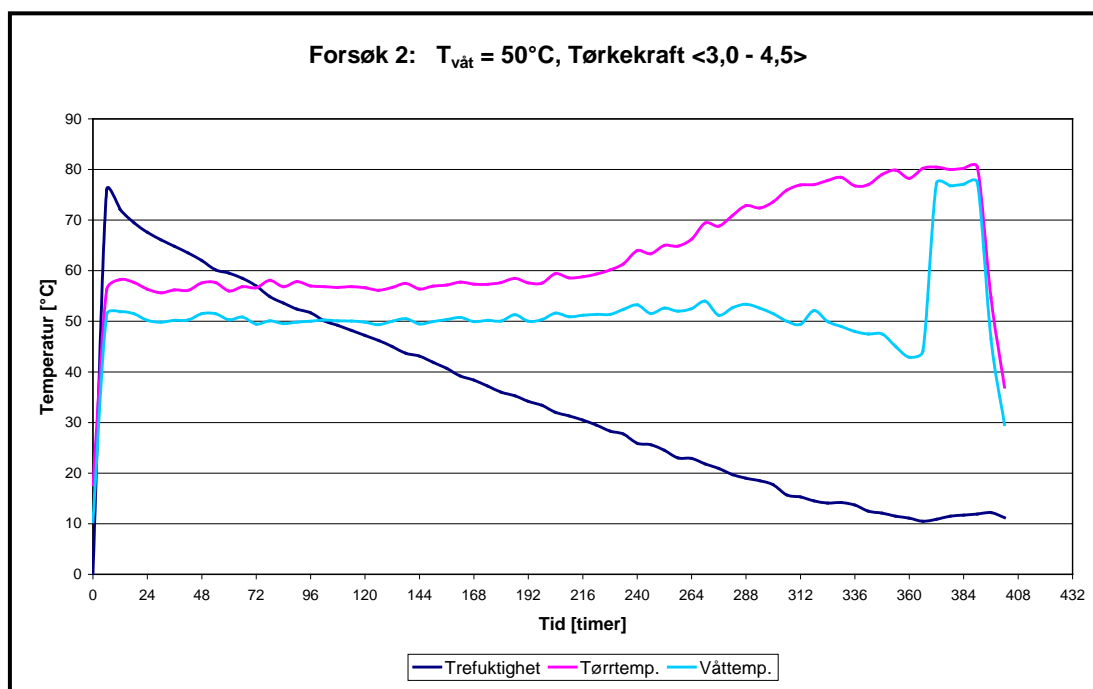
Tabell 4.2.1 Tørkeskjema for forsøk nr. 2.

Trefuktighet [%]	Tørretemp. [°C]	Psykrometer-diff. [°C]	Tørkekraft	Likevekts-fuktighet [%]
Oppvarming	20-58			18,0
> 70	58	8	3,0	9,9
70 - 60	58	8	3,0	9,9
60 - 50	58	8	3,0	9,9
50 - 40	58	8	3,0	9,9
40 - 30	59	9	3,1	9,3
30 - 25	61	11	3,3	8,2
25 - 20	66	16	3,6	6,2
20 - 15	72	22	4,0	4,6
15 - 10	80	30	4,5	3,0
< 10	80	30	4,5	3,0
Kondisjonering	80			12,0
Avkjøling				10,0

4.2.2 Resultater

Tabell 4.2.2: Resultater fra forsøk nr. 2.

Parameter	Verdi	Standardavvik
Startfuktighet [%]	51,7	11,0
Sluttfuktighet [%]	8,8	2,0
Gradient [%]	1,0	1,9
Yteherding [mm]	0,7	1,0
Sprekk [% av tot. lengde]	0,2	
Muggvekst	flekkvis	
Tørketid inkl. oppvarming [h]	369	
Utjevning [h]	0	
Kondisjonering [h]	18	



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

Detaljerte resultater er gjengitt i vedlegg 1.

4.2.3 Kommentarer

Sluttfuktigheten ble målt til 8,8%, altså en del under ønsket fuktighet. Dette skyldtes at flere av elektrodene som ble benyttet til å måle trefuktigheten, uheldigvis var plassert i planker med større fuktinnhold enn gjennomsnittet.

Lavere slutfuktighet kan forklare en bedring av standardavviket fra 2,7 til 2,0 % i forhold til forsøk 1. Også fuktighetsgradient og yteherding viste bedre resultater. Det ble registrert flekkvis muggsopp på en del av plankene allerede før tørkingen ble igangsatt. Vi har indikasjoner på at muggvekst forlenger tørketiden noe. Denne økte også med 36 timer fra første forsøk.

4.3 Forsøk nr. 3, $t_v = 50 \text{ }^\circ\text{C}$, $t_{tmax} = 67 \text{ }^\circ\text{C}$.

4.3.1 Forsøksbetingelser

Da de to første forsøkene ikke ga tilfredsstillende resultater med hensyn til standardavvik for slutfuktigheten, ble det i dette forsøket lagt inn en utjevningsperiode med likevektsfuktighet 9 % før kondisjonering. Fuktighetsendringen målt med elektroder ble registrert hver time over 6 døgn. Tørkebetingelsene var for øvrig som i forsøk 1, dog vesentlig høyere startfuktighet.

Råstoffet til dette forsøket var skåret med så stort overmål (snittykkelse 59,2 mm) at det kun ble plass til 55 planker. Forsøket ble gjennomført i perioden 14. januar til 4. februar 1997 med følgende tørkeskjema:

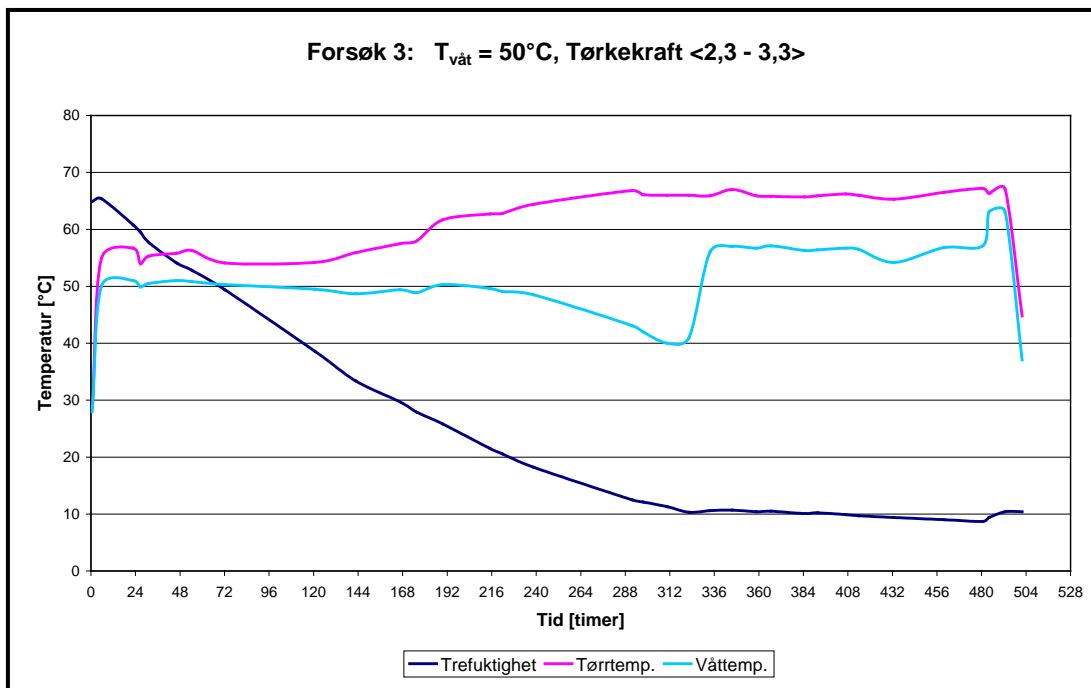
Tabell 4.3.1: Tørkeskjema for forsøk nr. 3.

Trefuktighet [%]	Tørrtemp. [°C]	Psykrometerdiff. [°C]	Tørkekraft	Likevektsfuktighet [%]
Oppvarming	55			18,0
> 70	55	5	2.3	12,7
70 - 60	55	5	2.3	12,7
60 - 50	55	5	2.3	12,7
50 - 40	56	6	2.4	11,6
40 - 30	57	7	2.5	10,6
30 - 25	58	8	2.7	9,9
25 - 20	62	12	2.9	7,7
20 - 15	67	17	3.1	5,9
15 - 10	67	17	3.3	5,9
< 10	67	17	3.3	5,9
Utjevning	67			9,0
Kondisjonering	67			14,0
Avkjøling	10			10,0

4.3.2 Resultater

Tabell 4.3.2: Resultater fra forsøk nr. 3.

Parameter	Verdi	Standardavvik
Startfuktighet [%]	86,6	11,4
Slutfuktighet [%]	8,9	1,3
Gradient [%]	0,7	1,2
Yteherding [mm]	0,6	0,8
Sprekk [% av tot. lengde]	1,0	
Muggvekst	ingen	
Tørketid inkl. oppvarming [h]	333	
Utjevning [h]	138	
Kondisjonering [h]	18	



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

Detaljerte resultater er gjengitt i vedlegg 2.

4.3.3 Kommentarer

Standardavviket for slutfuktigheten ble redusert til 1,3 %, mot 2,7 % i første forsøk som hadde samme klimabetingelser i tørkefasen. Den samme tendensen gjelder også for fuktighetsgradient og spenninger. Forsøket bekrefter betydningen av utjevning både med hensyn til å treffe riktig slutfuktighet og å minimere spredningen omkring middelfuktigheten.

Det ble ikke registrert sprekke av betydning, men noe deformasjon.

4.4 Forsøk nr. 4, $t_v = 60 \text{ }^\circ\text{C}$, $t_{\text{max}} = 85 \text{ }^\circ\text{C}$.

4.4.1 Forsøksbetingelser

De tre første forsøkene ble kjørt med våttemperatur på $50 \text{ }^\circ\text{C}$, som hadde gitt en tørketid på 14-17 døgn inkl. kondisjonering. Denne ble nå økt til $60 \text{ }^\circ\text{C}$, men med samme tørkekraft/psykrometerdifferanse og råstoff som i forsøk nr. 3, dog uten utjevning. Plankene var dekket av til dels kraftig muggvekst på grunn av lang oppbevaring i kjølerom.

Forsøk nr. 4 ble gjennomført i perioden 28. februar til 11. mars 1997 med følgende tørkeskjema:

Tabell 4.4.1: Tørkeskjema for forsøk nr. 4.

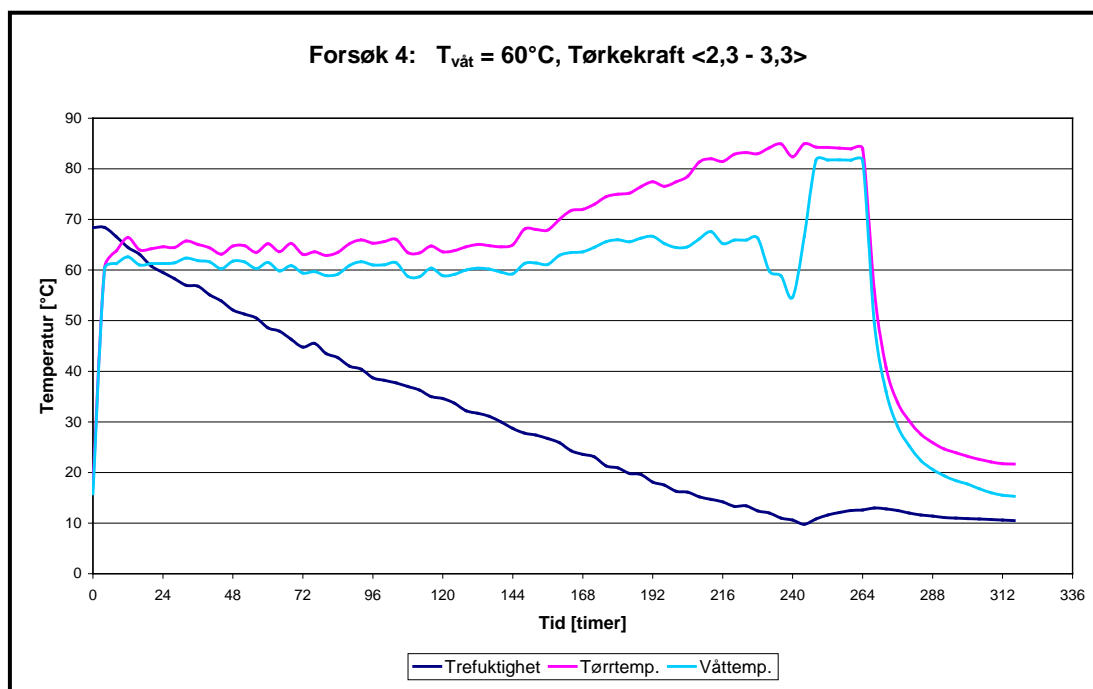
Trefuktighet [%]	Tørretemp. [$^\circ\text{C}$]	Psykrometerdiff. [$^\circ\text{C}$]	Tørkekraft	Likevektsfuktighet [%]
Oppvarming	20-65			18,0
> 70	65	5	2,3	12,7
70 - 60	65	5	2,3	12,7
60 - 50	65	5	2,3	12,7
50 - 40	66	6	2,4	11,6
40 - 30	66	6	2,5	11,6
30 - 25	68	8	2,7	9,9
25 - 20	72	12	2,9	7,7
20 - 15	77	17	3,1	5,9
15 - 10	85	25	3,3	4,0
< 10	85	25	3,3	4,0
Kondisjonering	85			14,0
Avkjøling				10,0

4.4.2 Resultater

Tabell 4.4.2: Resultater fra forsøk nr. 4.

Parameter	Verdi	Standardavvik
Startfuktighet [%]	86,6	11,4
Slutfuktighet [%]	10,4	2,4
Gradient [%]	2,4	3,5
Yteherding [mm]	0,6	0,6
Sprekke [% av tot. lengde]	0	
Muggvekst	mye *)	
Tørketid inkl. oppvarming [h]	246	
Utjevning [h]	0	
Kondisjonering [h]	18	

*) Allerede mye ved innlasting.



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

Detaljerte resultater er gjengitt i vedlegg 2.

4.4.3 Kommentarer

I dette forsøket ble det tydeliggjort hva som kan være et problem ved tørking av osp, nemlig at enkelte plank avviker betydelig fra gjennomsnittlig slutfuktighet. Det ble ikke påvist lokale fuktlommer i den enkelte planke, derimot meget høy kjernefuktighet og derfor stor fuktighetsgradient. I det mest ekstreme tilfellet var fuktighetsgradienten 13,6 % med en kjernefuktighet på 28 %. Se ellers vedlegg 2.

Det ble ikke registrert forandringer i farge, sprekk eller deformasjoner som følge av økt våttemperatur. Tørketiden ble redusert til 10 døgn.

4.5 Forsøk nr. 5, $t_v = 60\text{ °C}$, $t_{\max} = 80\text{ °C}$, skarpt klima.

4.5.1 Forsøksbetingelser

Dette forsøket ble kjørt med samme våttemperatur som i forsøk nr. 4, men med økt tørkekraft. Et forventet resultat av dette burde være kortere tørketid (selv med noe høyere startfuktighet, 90 % mot 87 %), men fare for sprekkdannelse, misfarging og deformasjoner.

Forsøk nr. 5 ble gjennomført i perioden 1. juni til 16. juni 1997 med følgende tørkeskjema:

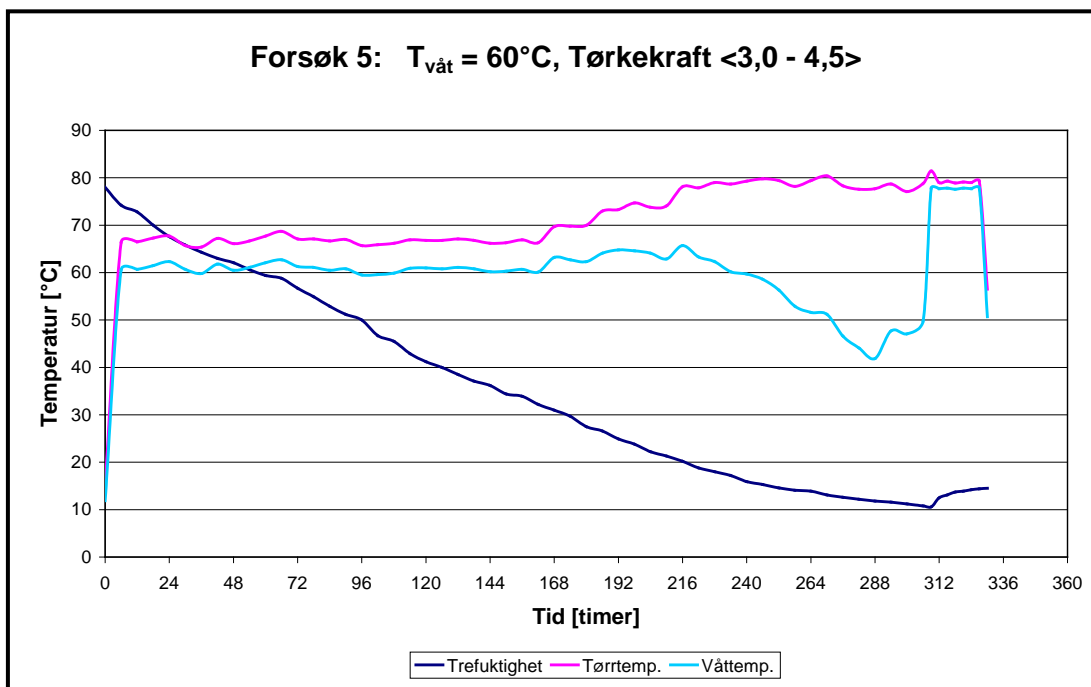
Tabell 4.5.1: Tørkeskjema for forsøk nr. 5.

Trefuktighet [%]	Tørretemp. [°C]	Psykrometer-diff. [°C]	Tørkekraft	Likevektsfuktighet [%]
Oppvarming	20-68			18,0
> 70	68	8	3,0	9,9
70 - 60	68	8	3,0	9,9
60 - 50	68	8	3,0	9,9
50 - 40	68	8	3,0	9,9
40 - 30	68	8	3,1	9,9
30 - 25	72	12	3,3	7,7
25 - 20	76	16	3,6	6,2
20 - 15	80	20	4,0	5,1
15 - 10	80	20	4,5	5,1
< 10	80	20	4,5	5,1
Kondisjonering	80			14,0
Avkjøling				10,0

4.5.2 Resultater

Tabell 4.5.2: Resultater fra forsøk nr. 5.

Parameter	Verdi	Standardavvik
Startfuktighet [%]	90,3	12,1
Slutfuktighet [%]	9,3	2,4
Gradient [%]	1,6	3,1
Yteherding [mm]	0,6	1,2
Sprekke [% av tot. lengde]	0,6	
Muggvekst	ingen	
Tørketid inkl. oppvarming [h]	309	
Utjevning [h]	0	
Kondisjonering [h]	18	



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

Detaljerte resultater er gjengitt i vedlegg 3.

4.5.3 Kommentarer

Tørketiden ble ikke redusert i forhold til forsøk nr. 4, til tross for skarpere klima. En noe lavere slutfuktighet kan forklare dette. Det ble ikke registrert misfarging eller sprekke av betydning, heller ikke deformasjoner.

Standardavviket for slutfuktigheten ble igjen høyt, 2,4 %. Flere plank med betydelig høyere fuktinnhold enn gjennomsnittet bidrar til dette, og samtidig til stor fuktighetsgradient. Det synes ikke mulig å forbedre dette uten utjevning.

4.6 Forsøk nr. 6, $t_v = 50\text{ °C}$, $t_{tmax} = 67\text{ °C}$, mildt klima.

4.6.1 Forsøksbetingelser

Rask uttørking av det ytre skiktet fører til redusert væsketransport fra det indre mot overflaten på grunn av at porene lukker seg når trefuktigheten kommer under fibermetning. I litteraturen antydes det at enkelte lauvtreslag bør tørkes særdeles forsiktig for å holde porene mer åpne over lengre tid, da graden av porelukking ellers fører til en blokkering av det frie vannets transportveier ut av treet. Et mildt tørkeskjema ble benyttet i forsøk nr. 6 for å sjekke om dette også gjelder for osp.

Forsøket ble gjennomført i perioden 22. april til 26. mai 1997 med følgende tørkeskjema:

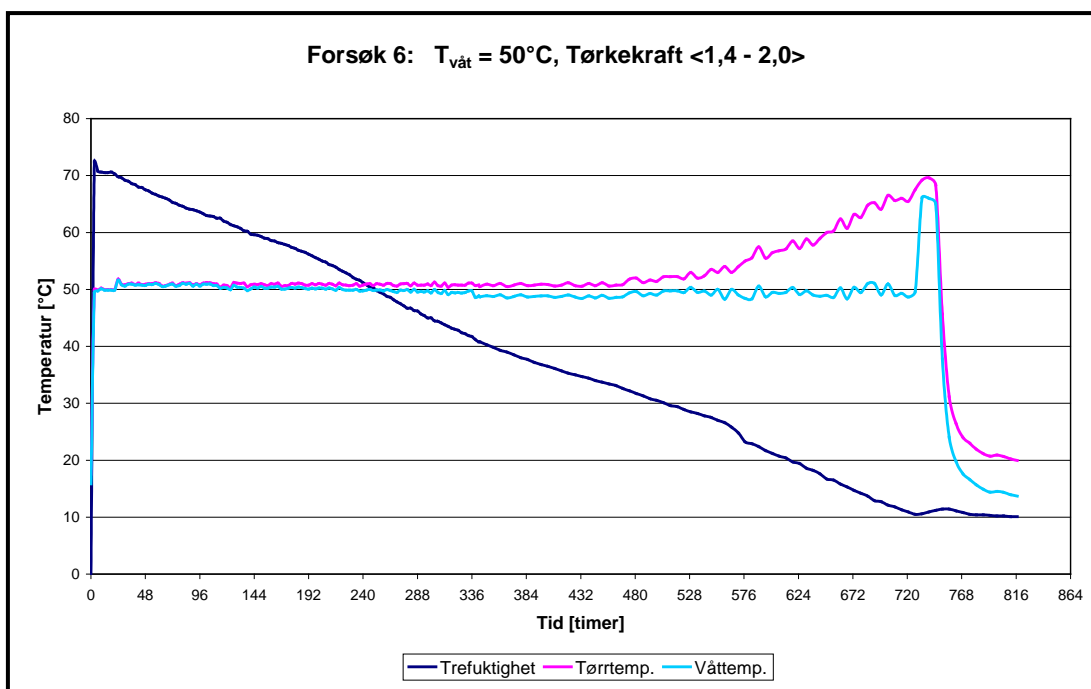
Tabell 4.6.1: Tørkeskjema for forsøk nr. 6.

Trefuktighet [%]	Tørrtemp. [°C]	Psykrometer-diff. [°C]	Tørkekraft	Likevektsfuktighet [%]
Oppvarming	20-51			18,0
> 70	51	1	1,4	21,9
70 - 60	51	1	1,4	21,9
60 - 50	52	2	1,7	18,4
50 - 40	52	2	1,7	18,4
40 - 30	52	2	1,7	18,4
30 - 25	54	4	2,0	14,2
25 - 20	56	6	2,0	11,7
20 - 15	60	10	2,0	8,8
15 - 10	66	16	2,0	6,3
< 10	70	20	2,0	5,1
Kondisjonering	70			14,0
Avkjøling				10,0

4.6.2 Resultater

Tabell 4.6.2: Resultater fra forsøk nr. 6.

Parameter	Verdi	Standardavvik
Startfuktighet [%]	82,5	22,8
Sluttfuktighet [%]	10,6	2,4
Gradient [%]	1,9	1,6
Yteherding [mm]	0,8	0,6
Sprekke [% av tot. lengde]	1,4	
Muggvekst	ingen	
Tørketid inkl. oppvarming [h]	743	
Utjevning [h]	0	
Kondisjonering [h]	18	



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

Detaljerte resultater er gjengitt i vedlegg 3.

4.6.3 Kommentarer

Forsøket viste at osp ikke er blant de treslag som tørker raskt med forsiktig tørking ned til fibermetning. Den lange tørketiden hjalp heller ikke på standardavviket for midlere slutfuktighet eller fuktighetsgradien. Som vist i vedlegg 3, var imidlertid standardavviket for startfuktigheten over dobbelt så stort som for de øvrige forsøkene, 22,8 %. Tørreste plank før tørking var på ca. 44 %, fuktigste på hele 127 %.

4.7 Forsøk nr. 7, $t_v = 60\text{ °C}$, $t_{max} = 80\text{ °C}$, skarpt klima.

4.7.1 Forsøksbetingelser

Av de seks første forsøkene ga bare ett, forsøk nr. 3, tilfredsstillende resultater med hensyn til spredning i slutfuktighet. I dette forsøket ble det, som tidligere beskrevet, lagt inn en utjevningsperiode før kondisjonering. Denne var på hele 6 døgn og forlenget dermed tørketiden betydelig. Da resultatene så langt ikke tydet på at sprekk, deformasjoner og misfarging har en direkte sammenheng med våttemperatur og tørkeskarphet, ble det besluttet å kjøre de to siste tørkeomgangene med en tørkekraft fra 4,0 til 6,5 og våttemperatur hhv. 50 og 60 °C. Hensikten var å få ned tørketiden, slik at det kunne legges inn en utjevningsperiode på 2 døgn og allikevel oppnå tilfredsstillende totaltid. For å vurdere effekten av utjevningen ble halve tørkevolumet tatt ut av tørken før utjevning. Midlere slutfuktighet og standardavvik for denne ble så sammenliknet med den delen av lasten som gjennomgikk utjevning. Kondisjonering ble ikke utført, så yteherding og fuktighetsgradient ble ikke registrert i tørkeomgang nr. 7 og 8.

Forsøk nr. 7 ble gjennomført i perioden 8. august til 21. august 1997 med følgende tørkeskjema:

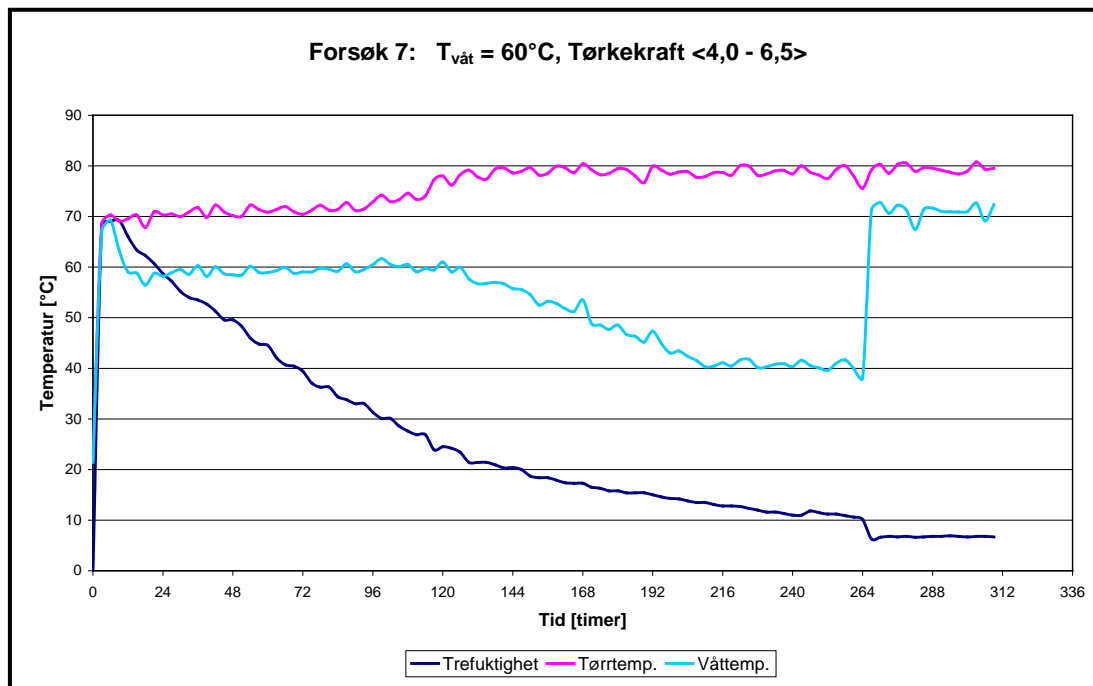
Tabell 4.7.1: Tørkeskjema for forsøk nr. 7.

Trefuktighet [%]	Tørretemp. [°C]	Psykrometer-diff. [°C]	Tørkekraft	Likevektsfuktighet [%]
Oppvarming	20-72			18,0
> 70	72	12	4,0	7,6
70 - 60	72	12	4,0	7,6
60 - 50	72	12	4,0	7,6
50 - 40	72	12	4,0	7,6
40 - 30	72	12	4,0	7,6
30 - 25	75	15	4,1	6,5
25 - 20	80	20	4,4	5,0
20 - 15	80	27	5,0	3,6
15 - 10	80	37	6,5	1,9
< 10	80	40	6,5	1,5
Utjevning	80			9,0
Avkjøling				10,0

4.7.2 Resultater

Tabell 4.7.2: Resultater fra forsøk nr. 7.

Parameter	Verdi	Standardavvik
Startfuktighet [%]	73,1	11,9
Sluttfuktighet [%] før utjevning	7,5	3,8
Sluttfuktighet [%] etter utjevning	6,1	1,3
Sprekk [% av tot. lengde]	1,1	
Muggvekst	ingen	
Tørketid inkl. oppvarming [h]	264	
Utjevning [h]	48	
Kondisjonering [h]	0	



Figur 4.7: Klima- og fuktighetsutvikling i forsøk nr. 7.

Detaljerte resultater er gjengitt i vedlegg 4.

4.7.3 Kommentarer

Av fig. 4.7.2 ser vi at våttemperaturen må slippes ned allerede fra like under fibermetning for å oppnå ønsket tørkekraft med maksimal tørretemperatur 80°C . Slutfuktigheten ble for lav. Dette skyldes at enkelte elektroder var plassert i plank med vesentlig høyere fuktighet enn gjennomsnittet. Før utjevning ble, som tidligere nevnt halvparten av lasten tatt ut, og dermed også halvparten av elektrodene. De gjenværende elektrodene ga et mer korrekt uttrykk for virkelig fuktighet. Dette kan tydelig sees på fig. 4.7, hvor kurven for trefuktighet gjør et kraftig fall ved start utjevning.

Av tabell 4.7 ser vi at standardavviket for slutfuktigheten ble kraftig redusert etter utjevning, fra 3,8 % til 1,3 %. Tørketiden inkludert utjevning ble på 13 døgn. Trekker vi fra ca. 2 døgn p.g.a. for lav slutfuktighet og legger til ca. 1 døgn kondisjonering, blir effektiv tørketid ca. 12 døgn.

Det ble ikke registrert mer sprekke enn i foregående forsøk, heller ikke misfarging.

4.8 Forsøk nr. 8, $t_v = 50 \text{ }^\circ\text{C}$, $t_{\text{max}} = 70 \text{ }^\circ\text{C}$, skarpt klima.

4.8.1 Forsøksbetingelser

Foregående forsøk ga positive resultater både med hensyn til tørketid og spredning i slutfuktighet. Imidlertid er det en del tørkeutrustninger som ikke klarer å oppnå $80 \text{ }^\circ\text{C}$ tørrtemperatur. Siste forsøk ble derfor gjennomført med en maksimal tørrtemperatur på $70 \text{ }^\circ\text{C}$, men med samme tørkeskarphet og betingelser forøvrig som i forsøk nr. 7.

Forsøk nr. 8 ble gjennomført i perioden 3. september til 16. september 1997 med følgende tørkeskjema:

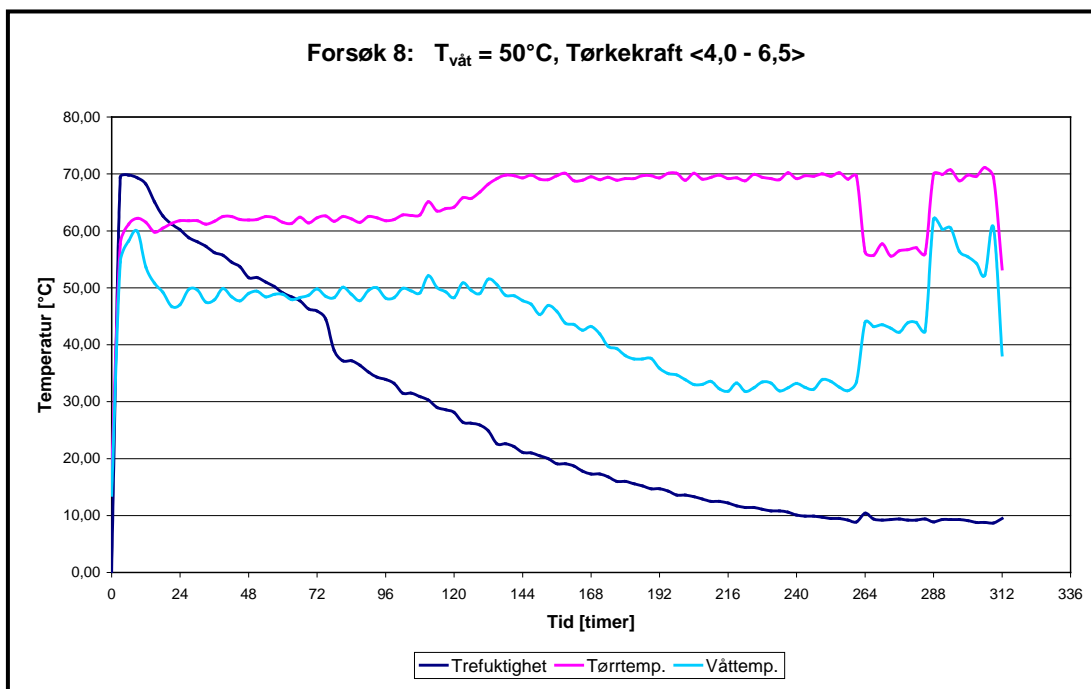
Tabell 4.8.1: Tørkeskjema for forsøk nr. 8.

Trefuktighet [%]	Tørrtemp. [$^\circ\text{C}$]	Psykrometer-diff. [$^\circ\text{C}$]	Tørkekraft	Likevektsfuktighet [%]
Oppvarming	20-72			18,0
> 70	62	12	4,0	7,8
70 - 60	62	12	4,0	7,8
60 - 50	62	12	4,0	7,8
50 - 40	62	12	4,0	7,8
40 - 30	62	12	4,0	7,8
30 - 25	65	15	4,1	6,6
25 - 20	70	20	4,4	5,1
20 - 15	70	27	5,0	3,4
15 - 10	70	34	6,5	2,0
< 10	70	36	6,5	1,6
Utjevning	70			9,0
Avkjøling				10,0

4.8.2 Resultater

Tabell 4.8.2: Resultater fra forsøk nr. 8.

Parameter	Verdi	Standardavvik
Startfuktighet [%]	73,1	11,9
Sluttfuktighet [%] før utjevning	13,7	7,8
Sluttfuktighet [%] etter utjevning	8,3	3,3
Sprekke [% av tot. lengde]	0,8	
Muggvekst	ingen	
Tørketid inkl. oppvarming [h]	263	
Utjevning [h]	48	
Kondisjonering [h]	0	



Figur 4.8: Klima- og fuktighetsutvikling i forsøk nr. 8.

Detaljerte resultater er gjengitt i vedlegg 4.

4.8.3 Kommentarer

Vi ser av fig. 4.8 at tørretemperaturen under utjevning ikke var 60 °C. Dette skyldes en feil ved styringssystemet, som ble rettet etter ca. 1 døgn. Likevektsfuktigheten var imidlertid som planlagt på 9 %. Midlere sluttfuktighet for lasten som ble tatt

ut før utjevning, ble for høy. Dette skyldes flere planker med særdeles høy slutfuktighet, se vedlegg 4 for detaljer. Resultatet av utjevningen er imidlertid mer enn en halvering av spredningen i slutfuktighet. Heller ikke nå ble det registrert sprekk, misfarging eller deformasjoner av betydning.

Total tørketid ble som i forsøk nr. 7, om lag 13 døgn inkl. 2 døgn utjevning.

5 Forsøksopplegg - fullskala kondensasjonstørker ved Svenneby Sag & Høvleri og Haugestad Sagbruk

5.1 Råvaren

Plank av nyskåren osp med dimensjon hovedsakelig 50 x 150 mm, men også noe 50 x 200 mm. Ospa er fra Østfold og Vestfold, og er hogget 1-8 uker før saging.

5.2 Tørkeutrustningen

Tørkene hos Svenneby Sag & Høvleri og Haugestad Sagbruk er kondensasjonstørker levert av InMark AS.

Beskrivelse	Svenneby	Haugestad
Tørkevolum	ca. 20 m ³ per tørkeomgang	ca. 35 m ³ per tørkeomgang
Antall trelastpakker	6 stk (tre i høyden og to i dybden)	16 stk (fire i høyden og fire i dybden)
Avfuktningskapasitet	1500 l/døgn med varmpumpe (i tillegg kommer avfuktning med friskluft)	1500 l/døgn med varmpumpe (i tillegg kommer avfuktning med friskluft)
Varmeeffekt	63 kW (nominelt) med varmpumpe, 30 kW med el.batteri	63 kW (nominelt) med varmpumpe, 60 kW med el.batteri
Effekt kompressor	15 kW (nominelt)	15 kW (nominelt)
Vifteeffekt	3 x 4,0 kW	4 x 2,2 kW
Luftmengde	3 x 28.000 m ³ /h frittblåsende	4 x 20.000 m ³ /h frittblåsende
Basing	Vann	Vann
Arbeidsområde fuktighet	Opp til ca. 95 % RF	Opp til ca. 95 % RF
Arbeidsområde temperatur	Opp til ca. 65 °C	Opp til ca. 65 °C
Lufthastighet	Ca. 3,5 m/s - ikke reverserbar	Ikke målt – ikke reverserbar
Ventilasjon/evakuering	Automatisk ved for høy fuktighet og temperatur	Automatisk ved for høy fuktighet og temperatur
Klimastyring	Temperatur- og tidsstyring	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 mulig å oppnå tilnærmede ”Malmquist”-skjemaer.

For hver tørkeomgang legges inn:

Oppvarming

Våttemperatur, psykrometerdifferanse og oppvarmingstid. Pådraget av varme og behovet for basing styres mht. psykrometerdifferansen. Tidsforbruket er avhengig av startfuktighet og årstid.

Tørkefase 1-3

Våttemperatur, psykrometerdifferanse (ved slutten av fasen) og tid. Inngående psykrometerdifferanse er utgående fra forrige fase. Det er mulig å hoppe over faser eller å forlenge fasene. Fase 3 er typisk for det sistnevnte: Mot slutten av denne fasen tas kontrollmålinger manuelt med elektronisk fuktighetsmålinger for å finne ut om tørkeprosessen skal avsluttes.

Kondisjonering

Tilsvarende verdier som for de andre fasene legges inn. Kondisjonering avsluttes etter en gitt tid.

Avkjøling

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

5.3 Forsøksmetodikk

5.3.1 Råstoff

I forsøkene hos Svenneby Sag & Høvleri ble ospeplank benyttet, hovedsakelig med dimensjon 50 x 150 mm, men også noe 50 x 200 mm. I det ene forsøket på Haugestad Sagbruk ble ukantet 50 mm plank tørket.

Alle tørkeforsøkene skjedde med fullt kammer.

5.3.2 Klimamålinger

Det ble målt tørr- og våttemperaturer på hver side av trelastpakkene kontinuerlig i hele tørkeforløpet. Temperaturutskrifter for tørr- og våttemperatur i ett punkt på «storm»-siden av trelastpakkene er vist under resultater for hvert enkelt forsøk.

5.3.3 Prøveuttak før tørking

Det ble tatt ut 8 tørke-veie prøver av hver av de to prøvepakkene ca. 0,5 m fra enden for kontroll av startfuktighet. Middelfuktighet og standardavvik ble beregnet. I tillegg ble hver planke registrert med kode: u=ingen marg, i="nær" marg og m=synlig marg.

5.3.4 Prøveuttak etter tørking

Det ble tatt prøver mht. slutfuktighet (8 fra hver prøvepakke), fuktighetsgradient (8 fra hver prøvepakke) og yteherding (totalt 7-12 prøver) etter tørking. Middelfuktighet og standardavvik ble beregnet.

Yteherding ble registrert etter EDG-norm etter klimatisering ved 20 °C/65 % RF i 24 timer.

For samtlige planker ble total sprekklengde på ytesiden i cm registrert. 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 gjort, på de to midterste trelastpakkene.

5.3.6 Tørkeskjema

Kondensasjonstørker har en temperaturbegrensning på 65-70 °C. Alle forsøkene ble kjørt med våttemperatur mellom 50 og 60 °C, og med varierende tørkeskarphet.

Felles parametere for alle 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 og Haugestad Sagbruk

Tørkeforsøkene er utført av KanEnergi AS og er nummerert fra 9 til 14. For hvert forsøk angis forsøksbetingelser, dvs. klima i form av tørretemperatur og psykrometerdifferanse avhengig av tørketiden.

Resultatene for trefuktighet, fuktighetsgradient og yteherding er middelverdier basert på prøveuttaket. Sprekk og mugg er gitt som summen av alle prøveplankene i de to prøvepakkene.

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

6.1.1 Forsøksbetingelser

Forsøk nr. 9 ble gjennomført i perioden 25.03.97 til 04.04.97. Det ble kjørt med et relativt "normalt" tørkeskjema :

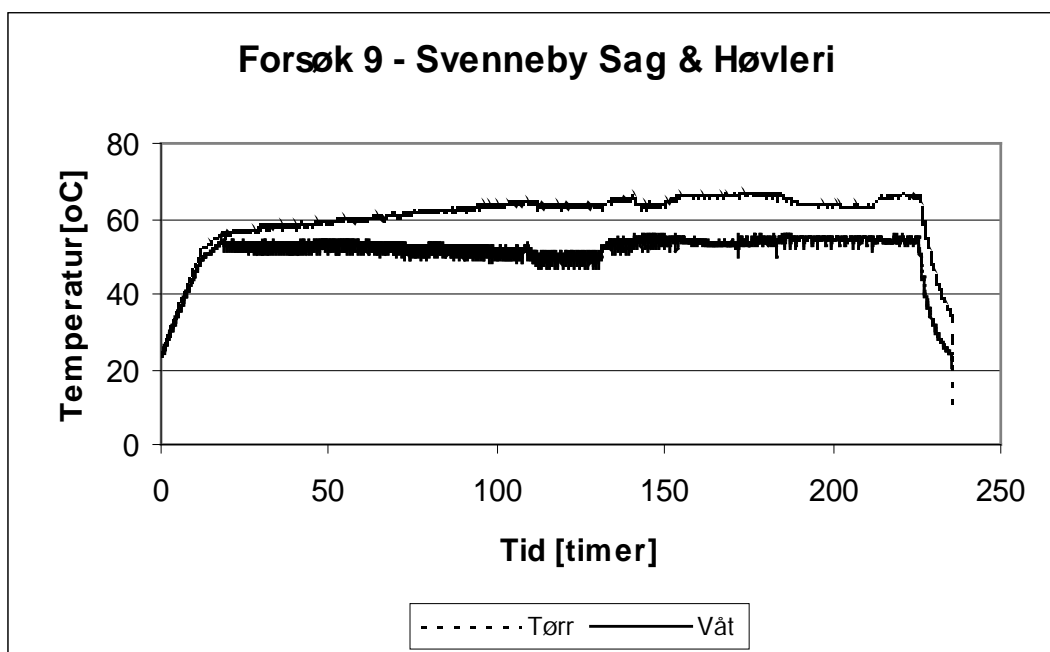
Tabell 6.1.1: Tørkeskjema for forsøk 9.

Fase		Skjema
Oppvarming	$t_{\text{våt}}$ [$^\circ\text{C}$]	50
	Psykro [$^\circ\text{C}$]	2
Tørkefase 1	$t_{\text{våt}}$ [$^\circ\text{C}$]	50
	Psykro [$^\circ\text{C}$]	5
	Tid [h]	60
Tørkefase 2	$t_{\text{våt}}$ [$^\circ\text{C}$]	Hoppet over denne fase
	Psykro [$^\circ\text{C}$]	
	Tid [h]	
Tørkefase 3	$t_{\text{våt}}$ [$^\circ\text{C}$]	50
	Psykro [$^\circ\text{C}$]	16
	Tid [h]	---
Kondisjonering	$t_{\text{våt}}$ [$^\circ\text{C}$]	ingen
	Psykro [$^\circ\text{C}$]	
	Tid [h]	
Avkjøling	Psykro [$^\circ\text{C}$]	2
	Tid [h]	11

6.1.2 Resultater

Tabell 6.1.2 Resultater fra forsøk 9.

Parameter	Verdi	Standardavvik
Startfuktighet (%)	89,3	26,4
Slutfuktighet (%)	13,3	5,4
Slutfuktighet (%) uten to prøver med ekstremverdier	11,6	2,8
Fuktighetsgradient (%)	5,6	4,2
Yteherding (mm)	3,7	1,4
Sprekk totalt (cm)	40	
Sprekk prosent (%)	Neglisjerbar	
Muggvekst	Ingen	
Tørketid m/oppvarming (t)	225	
Utjevning (t)	0	
Kondisjonering (t)	0	
Avkjøling (t)	10	



Figur 6.1. Klimautvikling i forsøk 9.

Detaljerte resultater er gitt i vedlegg 5.

6.1.3 Kommentarer

Slutfuktigheten er 13,3 % med en spredning på 5,4 %. Tørketiden er noe for kort, men i hovedsak skyldes den høye slutfuktigheten enkelte ekstremverdier for fuktighet og spredning. Dersom de to tørkeprøvene med de høyeste verdiene tas ut av beregningene, blir slutfuktighet og spredning hhv. 11,6 % og 2,8 %. Med en utjevningfase ville både slutfuktighet og spredning ha kunnet oppnå meget gode verdier.

Tørketiden inkludert oppvarming, men uten kondisjonering og avkjøling, er ca. 225 timer eller 9,4 døgn. Oppvarming og tørkefase 1 går som planlagt både mht. tid og temperaturer. Våttemperaturen ble høyere enn programmert i tørkefase 3, noe som ga mindre psykrometerdifferanse enn planlagt.

Mangel på kondisjonering gir store fuktighetsgradienter og stor yteherding. Registrerte tørkesprekker er ubetydelige. Det er heller ikke registrert deformasjoner eller muggdannelse.

6.2 Forsøk nr. 10, $t_v = 55 \text{ }^\circ\text{C}$, $t_{\text{max}} = 65 \text{ }^\circ\text{C}$

6.2.1 Forsøksbetingelser

Forsøk nr. 10 ble gjennomført i perioden 12.06.97 til 23.06.97. Våttemperaturen ble øket til $55 \text{ }^\circ\text{C}$, og det ble benyttet følgende tørkeskjema:

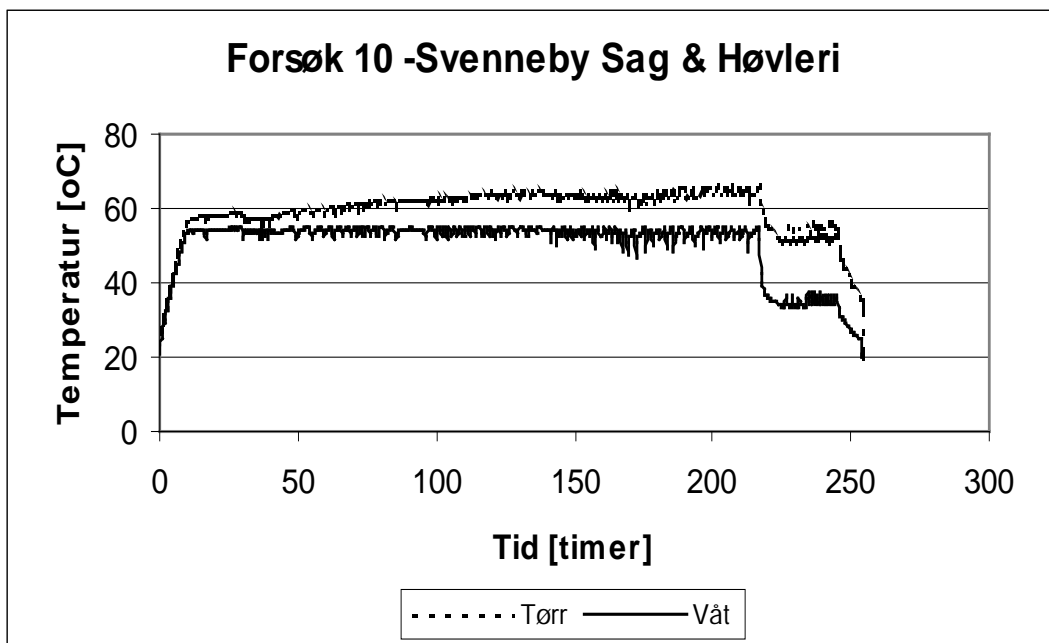
Tabell 6.2.1 Tørkeskjema for forsøk 10.

Fase		Skjema
Oppvarming	$t_{\text{våt}}$ [$^\circ\text{C}$]	55
	Psykro [$^\circ\text{C}$]	2
Tørkefase 1	$t_{\text{våt}}$ [$^\circ\text{C}$]	55
	Psykro [$^\circ\text{C}$]	8
	Tid [h]	30
Tørkefase 2	$t_{\text{våt}}$ [$^\circ\text{C}$]	Hoppet over denne fase
	Psykro [$^\circ\text{C}$]	
	Tid [h]	
Tørkefase 3	$t_{\text{våt}}$ [$^\circ\text{C}$]	55
	Psykro [$^\circ\text{C}$]	10
	Tid [h]	---
Kondisjonering	$t_{\text{våt}}$ [$^\circ\text{C}$]	ingen
	Psykro [$^\circ\text{C}$]	
	Tid [h]	
Avkjøling	Psykro [$^\circ\text{C}$]	2
	Tid [h]	11

6.2.2 Resultater

Tabell 6.2.2 Resultater fra forsøk 10.

Parameter	Verdi	Standardavvik
Startfuktighet (%)	65,9	10,8
Slutfuktighet (%)	16,7	4,9
Slutfuktighet (%) uten to prøver med ekstremverdier	15,7	4,3
Fuktighetsgradient (%)	12,1	5,6
Yteherding (mm)	2,3	0,5
Sprekk totalt (cm)	444	
Sprekk prosent (%)	1,1	
Muggvekst	Ingen	
Tørketid m/oppvarming (t)	220	
Utjevning (t)	0	
Kondisjonering (t)	15	
Avkjøling (t)	10	



Figur 6.2: Klimaforløp forsøk 10.

Detaljerte resultater er gjengitt i vedlegg 6.

6.3 Kommentarer

Tørkeforløpet fulgte skjemaet i oppvarming og i tørkefase 1 og 3. I kondisjoneringsfasen har ikke regulering av våttemperaturen (basing, spjeld, varmpumpe) fungert korrekt, slik at psykrometer-differansen ikke blir som programmert. Tørketiden inkludert oppvarming, men uten kondisjonering og avkjøling, er ca. 220 timer eller 9,2 døgn.

Tørkingen ble avsluttet for tidlig. Det er vanskelig å beregne tidspunktet for å stoppe tørkeprosessen på grunnlag av manuelle målinger med elektrisk fuktighetsmåler når spredningen er stor. Dette krever mange prøver og korrekt prøvetaking.

Det ble registrert ubetydelige deformasjoner, ingen muggdannelser, men sprekkdannelser på 1,1 % av total lengden.

6.3 Forsøk nr. 11, $t_v = 60 \text{ }^\circ\text{C}$, $t_{\text{max}} = 65 \text{ }^\circ\text{C}$

6.3.1 Forsøksbetingelser

Forsøk nr. 11 ble gjennomført i perioden 07.10.97 til 20.10.97. Våttemperaturen ble hevet ytterligere til $60 \text{ }^\circ\text{C}$, og på bakgrunn av erfaringer fra forsøk nr. 10 ble tørketiden forlenget. Det ble benyttet følgende tørkeskjema:

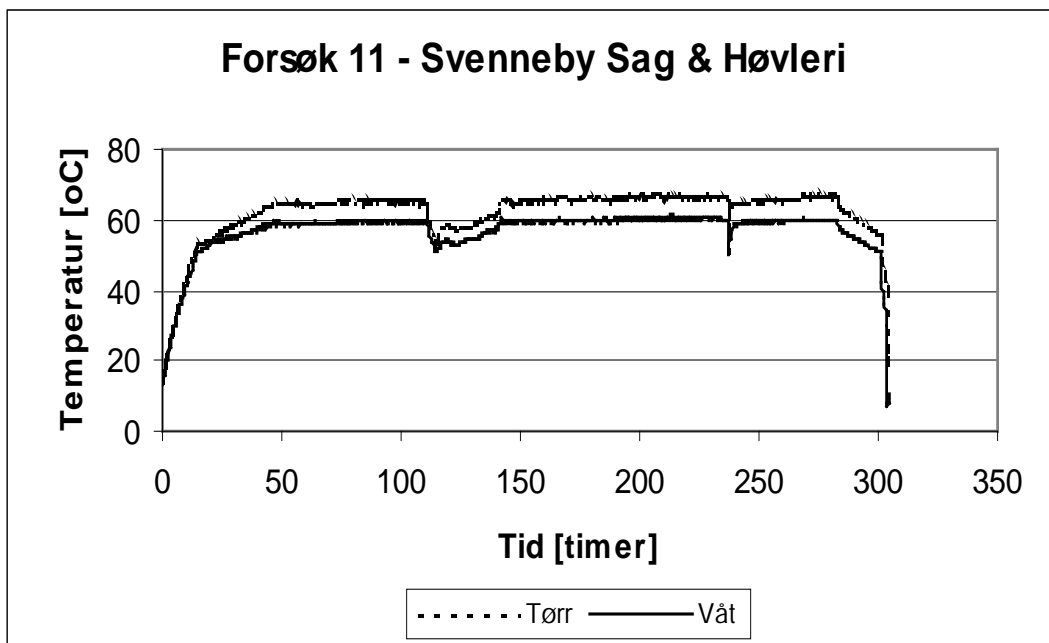
Tabell 6.3.1: Tørkeskjema forsøk 11.

Fase		Skjema
Oppvarming	$t_{\text{våt}}$ [$^\circ\text{C}$]	60
	Psykro [$^\circ\text{C}$]	2
Tørkefase 1	$t_{\text{våt}}$ [$^\circ\text{C}$]	60
	Psykro [$^\circ\text{C}$]	5
	Tid [h]	30
Tørkefase 2	$t_{\text{våt}}$ [$^\circ\text{C}$]	Hoppet over denne fase
	Psykro [$^\circ\text{C}$]	
	Tid [h]	
Tørkefase 3	$t_{\text{våt}}$ [$^\circ\text{C}$]	50
	Psykro [$^\circ\text{C}$]	5
	Tid [h]	---
Kondisjonering	$t_{\text{våt}}$ [$^\circ\text{C}$]	ingen
	Psykro [$^\circ\text{C}$]	
	Tid [h]	
Avkjøling	Psykro [$^\circ\text{C}$]	2
	Tid [h]	11

6.3.2 Resultater

Tabell 6.3.2: Resultater forsøk 11.

Parameter	Verdi	Standardavvik
Startfuktighet (%)	79,6	13,4
Slutfuktighet (%)	10,3	3,8
Slutfuktighet (%) uten to prøver med ekstremverdier	9,0	1,6
Fuktighetsgradient (%)	4,2	3,8
Yteherding (mm)	3,9	2,0
Sprekk totalt (cm)	17	
Sprekkprosent (%)	Neglisjerbar	
Muggvekst	Ingen	
Tørketid m/oppvarming (t)	280	
Utjevning (t)	0	
Kondisjonering (t)	0	
Avkjøling (t)	20	



Figur 6.3: Klimaforløp forsøk 11.

Detaljerte resultater er gjengitt i vedlegg 7.

6.3.3 Kommentarer

Slutfuktigheten ble som planlagt, men spredningen er noe høy. Igjen er det ekstremverdiene som er avgjørende. Uten to prøver på drøyt 19 %, synker slutfuktigheten til 9,0 % og spredningen til 1,6 %. Dette forsøket fremstår således som det mest vellykkede av forsøkene i fullskala.

Styringen fulgte oppsatt skjema, og tørketiden var 280 timer (11,7 døgn). Etter drøyt 100 timer var det strømbrudd som gav et lavere temperaturnivå og psykrometerdifferanse i 30-40 timer.

Det ble registrert ubetydelige sprekkdannelser, og ingen muggvekst ble registrert i forsøk 11. Snittlengden var 3,0 meter. Dette ansees som årsaken til at ca. 5 % av plankene hadde flatbøy.

6.4 Forsøk nr. 12, $t_v = 50 \text{ }^\circ\text{C}$, $t_{tmax} = 65 \text{ }^\circ\text{C}$

6.4.1 Forsøksbetingelser

Forsøk nr. 12 ble gjennomført i perioden 28.10.97 til 10.11.97. Som siste forsøk ved Svenneby Sag & Høvleri, var det ønskelig å benytte et relativt skarpt tørkeforløp:

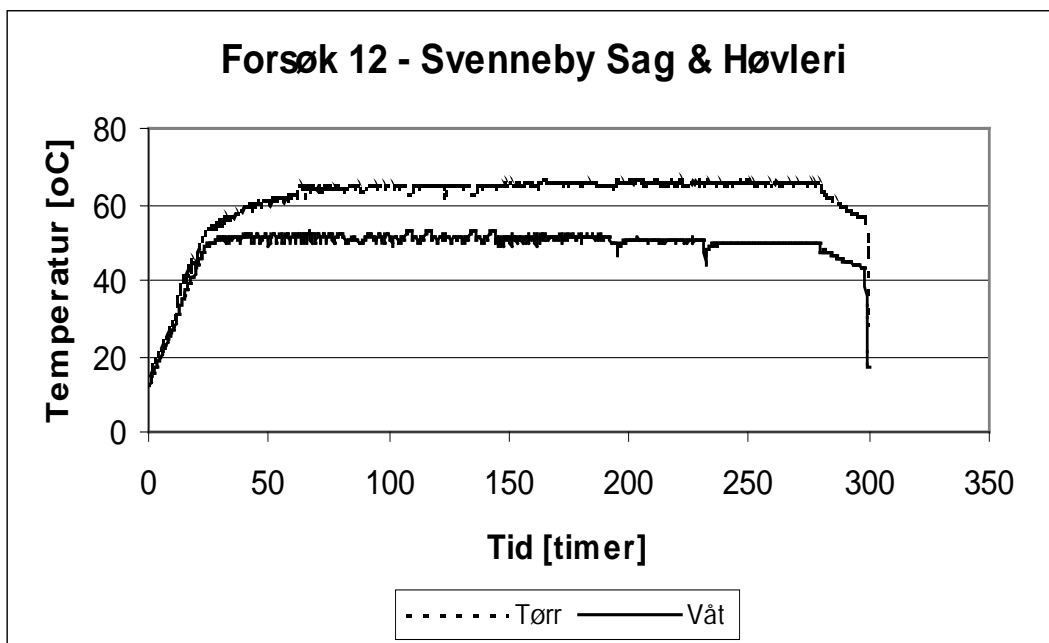
Tabell 6.4.1: Tørkeskjema forsøk 12.

Fase		Skjema
Oppvarming	$t_{v\grave{a}t}$ [$^\circ\text{C}$]	50
	Psykro [$^\circ\text{C}$]	2
Tørkefase 1	$t_{v\grave{a}t}$ [$^\circ\text{C}$]	50
	Psykro [$^\circ\text{C}$]	14
	Tid [h]	30
Tørkefase 2	$t_{v\grave{a}t}$ [$^\circ\text{C}$]	50
	Psykro [$^\circ\text{C}$]	14
	Tid [h]	240
Tørkefase 3	$t_{v\grave{a}t}$ [$^\circ\text{C}$]	50
	Psykro [$^\circ\text{C}$]	14
	Tid [h]	---
Kondisjonering	$t_{v\grave{a}t}$ [$^\circ\text{C}$]	50
	Psykro [$^\circ\text{C}$]	2
	Tid [h]	24
Avkjøling	Psykro [$^\circ\text{C}$]	3
	Tid [h]	12

6.4.2 Resultater

Tabell 6.4.2: Resultater forsøk 12.

Parameter	Verdi	Standardavvik
Startfuktighet (%)	58,2	13,8
Slutfuktighet (%)	16,8	6,1
Slutfuktighet (%) uten to prøver med ekstremverdier	15,2	4,6
Fuktighetsgradient (%)	8,2	6,1
Yteherding (mm)	4,5	1,9
Sprekk totalt (cm)	70	
Sprekkprosent (%)	Neglisjerbar	
Muggvekst	Ingen	
Tørketid m/oppvarming (t)	285	
Utjevning (t)	0	
Kondisjonering (t)	0	
Avkjøling (t)	15	



Figur 6.4: Klimaforløp forsøk 12.

Detaljerte resultater er gjengitt i vedlegg 8.

6.4.3 Kommentarer

Slutfuktigheten ble langt høyere enn planlagt, med tilhørende høy spredning. I dette forsøket er ikke ekstremverdiene avgjørende for resultatet – det er tørketiden som er for kort. Dette er forsøket hos Svenneby med skarpest klima og med laveste startfuktighet. Riktignok er våttemperaturen 50 °C. Allikevel er behovet for lang tørketid og det dårlige tørkeresultatet mht. slutfuktighet noe overraskende.

Styringen fulgte stort sett oppsatt skjema.

Det ble registrert ubetydelige sprekkdannelser og ingen muggvekst i forsøk 12.

6.5 Forsøk nr. 13, $t_v = 50\text{ °C}$, $t_{tmax} = 62\text{ °C}$

6.5.1 Forsøksbetingelser

Forsøk nr. 13 ble gjennomført i perioden 18.09.97 til 06.10.97 på Haugestad Sagbruk. Det ble tørket ukantet 50 mm plank med følgende tørkeskjema:

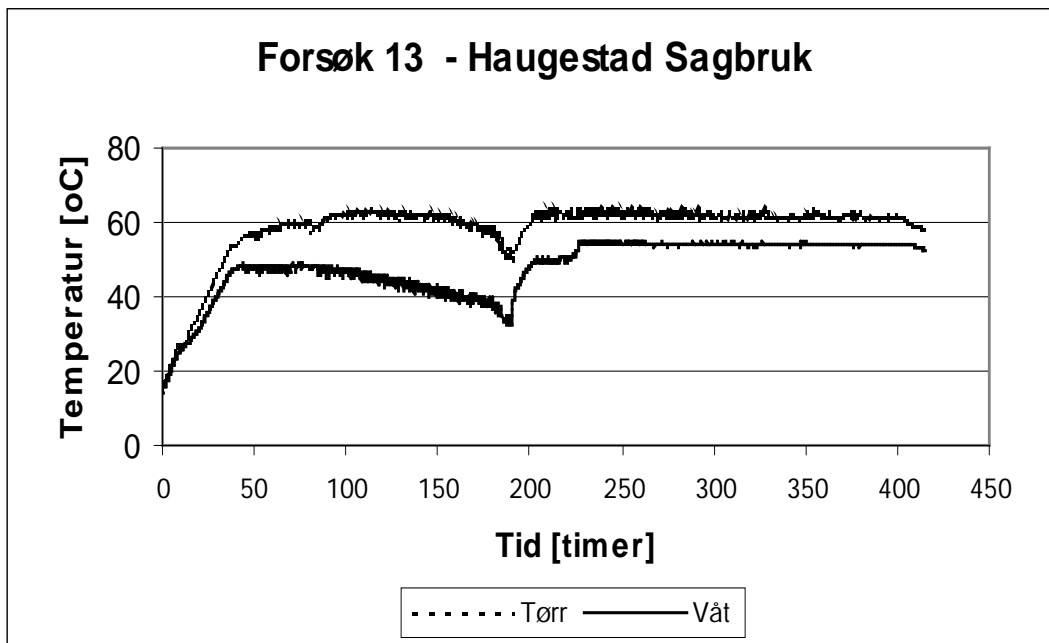
Tabell 6.5.1: Tørkeskjema forsøk 13.

Fase		Skjema
Oppvarming	$t_{v\hat{a}t}$ [°C]	48
	Psykro [°C]	3
Tørkefase 1	$t_{v\hat{a}t}$ [°C]	48
	Psykro [°C]	14
	Tid [h]	30
Tørkefase 2	$t_{v\hat{a}t}$ [°C]	--
	Psykro [°C]	14
	Tid [h]	--
Tørkefase 3	$t_{v\hat{a}t}$ [°C]	55
	Psykro [°C]	7
	Tid [h]	---
Kondisjonering	$t_{v\hat{a}t}$ [°C]	ingen
	Psykro [°C]	
	Tid [h]	
Avkjøling	Psykro [°C]	2
	Tid [h]	11

6.5.2 Resultater

Tabell 6.5.2: Resultater forsøk 13.

Parameter	Verdi	Standardavvik
Startfuktighet (%)	81,3	14,2
Slutfuktighet (%)	13,3	7,5
Slutfuktighet (%) uten to prøver med ekstremverdier	11,0	3,8
Fuktighetsgradient (%)	6,1	6,4
Yteherding (mm)	2,0	0,9
Sprekk totalt (cm)	129	
Sprekkprosent (%)	Neglisjerbar	
Muggvekst	Ingen	
Tørketid m/oppvarming (t)	400	
Utjevning (t)	0	
Kondisjonering (t)	0	
Avkjøling (t)	10	



Figur 6.5: Klimaforløp forsøk 13.

Detaljerte resultater er gjengitt i vedlegg 9.

6.5.3 Kommentarer

Slutfuktigheten er noe høyere enn planlagt, og spredningen er for høy. Igjen er det ekstremverdiene som er avgjørende. Uten to ekstremprøver på mellom 20-30 %, synker slutfuktigheten til 11,0 % og spredningen til 3,8 %. Med utjevning og kondisjonering ville det ha vært mulig å oppnå gode verdier.

Etter ca. 180-200 timer faller våt-temperaturen under 40 °C og drar med seg tørretemperaturen for å opprettholde psykrometerdifferansen. Feil med spjeld kan være årsaken. Tørka hos Haugestad har noe mindre avfuktingskapasitet enn tørka hos Svenneby. Dette, sammen med temperaturnivå og liten psykrometerdifferanse mot slutten av tørkeforløpet, forklarer at tørketiden ble lang: ca. 400 timer, eller 16,7 døgn.

Det ble registrert ubetydelige sprekkdannelser og ingen muggvekst.

7 Sammenstilling av forsøksresultatene

7.1 Sammenstilling av forsøksresultatene - NTI

Tabell 7.1: Sammenstilling av forsøksresultater NTI.

Forsøk nr.	1	2	3	4	5	6	7	8
Våttemperatur	50 °C	50 °C	50 °C	60 °C	60 °C	50 °C	60 °C	50 °C
Tørkeskjema								
LVF * ₁	12,6/3,8	10/2,8	12,6/3,8	12,6/3,8	10/2,8	21/5,0	7,5/1,9	7,5/1,9
Tørkekraft * ₂	2,3/3,3	3,0/4,5	2,3/3,3	2,3/3,3	3,0/4,5	1,4/2,0	4,0/6,5	4,0/6,5
Tørketid *₃	333	369	333	246	309	743	264	263
Utjevning	0	0	138	0	0	0	48	48
Kondisjonering	18	18	10	18	18	18	0	0
Avkjøling	6	12	8	50	5	66	5	5
Tid til 17 % * ₄	240	303	252	198	235	656	169	148
Startfuktighet	54,3	51,7	86,6	86,6	90,3	82,5	73,1	73,1
Standard avvik	10,2	11,0	11,4	11,4	12,1	22,8	11,9	11,9
Slutfuktighet	10,7	8,8	8,9	10,4	9,3	10,6	7,5/6,1	13,7/8,3
Standard avvik	2,7	2,0	1,3	2,4	2,4	2,4	3,8/1,3	7,8/3,3
Fuktgradient	2,1	1,0	0,7	2,4	1,6	1,9	-	-
Standard avvik	1,8	1,9	1,2	3,5	3,1	1,6	-	-
Yteherding	1,2	0,7	0,6	0,6	0,6	0,8	-	-
Standard avvik	0,7	1,0	0,8	0,6	1,2	0,6	-	-
Sprekk [cm]	0	15	75	0	45	104	82	60
Sprekk [%]	0	0,2	1	0	0,6	1,4	1,1	0,8
Mugg	ingen	noe	ingen	noe	ingen	ingen	ingen	ingen
Farge *₅	A	A/B	A	B	A/B	B	C	B
Kvalitetsklasse *₆								
Fuktighet	-	S	S	S	S	S	-	-
Gradient	S	S	Q	-	S	Q	-	-
Yteherding	S	Q	Q	Q	S	Q	-	-

*₁ LVF- likevektsfuktighet ved start og slutt.

*₂ Tørkekraft ved start og slutt.

*₃ Tørketid inklusiv oppvarming, uten utjevning, kondisjonering og avkjøling.

*₄ Tørketid til 17 % inkl. oppvarming målt med elektroder i lasten.

*₅ A – tilnærmet uforandret B – noe mørknet C – klart mørknet.

*₆ Kvalitetsklasse ihht. EDG Standard (European Drying Group). Se nærmere forklaring i vedlegg 11. S-standard, Q-kvalitetstørket, E-eksklusiv.

7.2 Sammenstilling av forsøksresultatene – fullskala hos Svenneby Sag & Høvleri og Haugestad Sagbruk.

Tabell 7.2: Sammenstilling av forsøksresultater fullskala.

Forsøk nr.	9	10	11	12	13
Våttemp.	50 °C	55 °C	60 °C	50 °C	48 °C
Tørkeskjema					
LVF* ¹	12/7	12,5/6,5	12,5/10,5	8/6	6,5/10,8
Tørkekraft* ²	2,5/1,7	2,4/2,5	2,4/1,0	3,8/2,7	4,6/1,2
Tørketid * ³	225	220	280	285	400
Utjevning	0	0	0	0	0
Kondisjonering * ⁴	0	15	0	0	0
Avkjøling * ⁵	10	10	20	15	10
Tid til 17 % * ⁶	200	200	180	220	300
Startfuktighet (%)	89,3	65,9	79,6	58,2	81,3
Standard avvik (%)	26,4	10,8	13,4	13,8	14,2
Slutfuktighet (%)	13,3	16,7	10,3	16,8	13,3
Standard avvik (%)	5,4	4,9	3,8	6,1	7,5
Slutfuktighet (%) uten to ekstremverdier	11,6	15,7	9,0	15,2	11,0
Standard avvik (%) uten to ekstremverdier	2,8	4,3	1,6	4,6	3,8
Fuktgradient (%)	5,6	12,1	4,2	8,2	6,1
Standard avvik (%)	4,2	5,6	3,8	6,1	6,4
Yteherding (mm)	3,7	2,3	3,9	4,5	2,0
Standard avvik (mm)	1,4	0,5	2,0	1,9	0,9
Sprekk (cm)	40	444	17	70	129
Sprekk (%)	~0	1,1	~0	~0	~0
Mugg	Ingen	Ingen	Ingen	Ingen	Ingen
Farge * ⁷	A	A/B	B	C	---
Kvalitetsklasse					
Fuktighet * ⁸	---	---	---	---	---
Gradient * ⁸	---	---	---	---	---
Yteherding * ⁸	---	S	---	---	S

*¹ LVF- likevektsfuktighet ved start og slutt.

*² Tørkekraft ved start og slutt.

*³ Tørketid med oppvarming uten kondisjonering og avkjøling.

*⁴ Kondisjoneringstid.

*⁵ Avkjølingstid.

*⁶ Anslått tørketid til 17% inkl oppvarming.

*⁷ A - tilnærmet uforandret B - noe mørknet C - klart mørknet.

*⁸ S-standard, Q-kvalitetstørket, E-eksklusiv, "---" dårligere enn laveste kvalitetsklasse. Kvalitetsklasser ihht. EDG Standard (European Drying Group). Se nærmere forklaring vedlegg 11.

8 Diskusjon

I forsøktørka ved NTI blir trefuktigheten registrert av elektroder innslått i materialene, og tørkeprosessen avbrytes automatisk når ønsket trefuktighet er oppnådd. Hos Svenneby Sag & Høvleri og hos Haugestad Sagbruk må trefuktigheten sjekkes manuelt med elektrisk fuktighetsmåler når tørkeprosessen nærmer seg slutten. Ved stor spredning i slutfuktighet kreves mange målinger for å få et godt estimat for gjennomsnittlig fuktighet. At slutfuktigheten ble for høy i de fleste fullskala forsøkene, skyldes at det ble tatt for få stikkprøvekontroller av fuktigheten.

Ut fra forsøkene i laboratorietørken ved NTI og i fullskala på Svenneby Sag & Høvleri og på Haugestad Sagbruk, har vi høstet følgende erfaringer:

Osp viser liten tendens til å sprekke i det temperaturområdet hvor forsøkene er gjort. De få og korte sprekke som oppstår, går til marg.

Det ble ved NTI kondisjonert med en likevektsfuktighet 4 % over ønsket slutfuktighet i 18 timer for å redusere yteherdingen. Dette ga for de fleste forsøkene kvalitetsklasse Q ihht. EDG-standard. For fullskala forsøk 9-13 er mangelen på kondisjonering tydelig. Yteherdingen er her 2 til 4 ganger større enn i laboratorietørkingene.

Mht. spredning i slutfuktighet og fuktighetsgradient, ble resultatet dårligere. Av tabellene 7.1 og 7.2 ser vi at forsøkene i laboratorietørken som best oppnådde klasse S for fuktigheten, noe bedre for fuktighetsgradienten. Med fullskala tørking ble ikke kvalitetsklasse ihht. EDG oppnådd for noen forsøk, verken mht. fuktighet eller fuktighetsgradient. De dårlige resultatene skyldes i hovedsak enkeltplanker med særdeles høy kjernefuktighet, som spesielt opptrer ved hurtig tørking, og som er et kjent fenomen ved tørking av osp.

Dersom vi for illustrasjonens skyld utelater de to mest ekstreme verdiene før kontroll mot EDG-kriteriene, endrer derfor bildet seg dramatisk. For laboratorietørkingen vil i dette tilfellet alle forsøk oppnå kvalitetsklasse Q eller E mht. fuktighetsgradient og yteherding. Spredningen i slutfuktighet vil også bedres noe. Effekten blir ikke den samme for fullskalaforsøkene, dog oppnås kvalitetsklasse S for fuktighet og yteherding i 2 av forsøkene. Grunnen til at effekten ikke blir større, er i hovedsak at riktig slutfuktighet på langt nær ble oppnådd. Klasse S betinger for fuktighet at 90 % av målingene skal ligge innenfor $U_{bør} \pm 0,3xU_{bør}$, altså mellom 7 og 13 % med ønsket slutfuktighet 10 %. I 4 av 5 forsøk ligger middelveiden utenfor dette intervallet, noe som gjør det umulig å oppnå noen av kvalitetsklassene, selv om liten spredning skulle være oppnådd.

For trelastbruk med automatisk sortering kan man tenke seg å sortere ut plank med høy fuktighet etter tørking. Dette kan gjøres for eksempel ved bruk av online kapasitive målere. Imidlertid er trelastbrukene som har spesialisert seg på lauvtre,

mindre bedrifter som idag ikke har denne type utstyr. I disse tilfellene må en eventuell utsortering basere seg på bruk av håndmålere.

Både våttemperaturen og psykrometerdifferansen påvirker tørketiden. Jo høyere verdier, dess kortere tørketider. En økning i våttemperaturen fra 50 til 60 °C ga en reduksjon i tørketid på 26 % mellom forsøkene 1 og 4, og på 16 % mellom forsøkene 2 og 5. Høy våttemperatur og korte tørketider gir en energieffektiv tørking som en positiv sideeffekt.

I labtørka hos NTI var tendensen til deformasjoner større enn hos Svenneby Sag & Høvleri. Dette kan forklares med at prøvepakkene i fullskala hadde en trelastpakke som belastning på toppen.

Noe uventet finnes ingen sammenheng mellom fargeforandring og våttemperatur. Det er meget vanskelig å skille forsøkene fra hverandre ved å se på fargen til høvlet overflate eller tverrsnittsprøver. Ett unntak er forsøk 7 som har fått karakteristikken "klart mørknet". Til dette er å bemerke at overflaten var mørk allerede før tørking.

9 Konklusjon

Problemer med tørking av osp er i første rekke knyttet til enkeltplanker som oppviser særdeles høy kjernefuktighet, selv etter lang tids tørking. Disse plankene fører til stor spredning i fuktighet, noe som gjør det vanskelig for tørkeoperatøren å bestemme rett tidspunkt for å avbryte tørkeprosessen. Uten et stort antall stikkprøver (typisk > 20), blir resultatet lett at man ikke treffer ønsket slutfuktighet med god nok presisjon.

Tørketeknisk kan problemet reduseres ved å gjennomføre en utjevning av lasten før kondisjonering og avkjøling. Forsøk i laboratorietørken med nedtørking til 10 % viste at utjevning med likevektsfuktighet 1 % under ønsket slutfuktighet i 48 timer reduserte standardavviket for enkeltplankenes slutfuktighet med 50-70 %. Utjevningen vil i tillegg gjøre det lettere å oppnå ønsket midlere slutfuktighet, ved at for tørre planker oppfuktes, samtidig som fuktige plank gjennomgår ytterligere nedtørking i denne fasen. Kondisjonering ble gjennomført med en likevektsfuktighet 4 % over ønsket slutfuktighet i 18 timer. Dette resulterte i lite yteherding.

Ved de aktuelle temperaturnivåer og tørkeskarpheter ble det ikke registrert problemer mht. sprekk, misfarging eller soppdannelse.

Tørketiden er avhengig av temperaturnivå og tørkekraft. Eksempelvis ble tørketiden reduseres med ca. 20 % ved å heve våttemperaturen fra 50 °C til 60 °C med bibehold av tørkekraft.

Ved kunstig tørking av osp kan man med fordel benytte høy temperatur (våttemperatur 50-60 °C) og relativt stor tørkekraft (psykrometerdifferanse) hvis man ønsker en rask og energieffektiv tørking. For å oppnå kvalitetsklasse Q/E ihht. EDG mht. fuktighet, fuktighetsgradient og yteherding, er det helt nødvendig å gjennomføre utjevning og kondisjonering av lasten.

Blindern, 1998-01-27

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.
- /9/ Egenskaper hos de viktigste norske lauvtrær, 1996, Bohumil Kucera (NISK) og Håkon Helgerud Myhra (NTI).

Plank nr.	Forsøk nr. 1					Forsøk nr. 2					
	Før tørking	Etter tørking		Sprekk cm	Gradient %	Yteherding EDG-mm	Før tørking	Etter tørking		Grad %	Yteherding EDG-mm
	U rå %	U tørr %	U rå %				U tørr %				
1											
2	53,4					67,6	8,2				
3		16,9									
4	67,4	11,8				64,7	13,8				
5		10,8									
6	52,9	9,5				50,5	7,7				
7		12,7					7,9			-0,1	0,2
8	36,7	7,9				61,4	11,0				
9		9,4					12,0	10		4,8	2,2
10	64,6					55,6	7,6				
11		8,6									
12	51,1	9,8				58,8	11,1			2,8	0,9
13		8,3									
14	38,3	8,2				39,1	7,2			-0,2	0,0
15		11,7									
16	66,2	12,2				52,0	13,4				
17		10,6		1,8	1,8						
18	47,8	9,3				42,0	9,6				
19		14,0		5,7	2,4						
20	60,1	10,9				37,6	8,2				
21		12,2									
22	56,7					59,0	12,9			4,1	2,9
23		17,7									
24	67,0	15,9				61,8	7,5			0,0	0,3
25		7,5									
26	52,3	7,8				38,6	6,9				
27		11,7		2,2	0,7		6,9			-1,2	0,0
28	59,0	16,5				41,7	7,0				
29		9,0		0,9	1,1		9,8	5		1,7	1,3
30	71,0	9,4				46,5	7,1				
31		8,9									
32	52,7					55,1	7,8				
33		9,1									
34	53,3	10,7				46,2	9,9				
35		8,7									
36	47,5	9,0				43,9	8,9				
37		8,7					7,1			-0,2	0,0
38	41,4					31,6	7,8				
39		8,8					6,6			-0,5	-0,2
40	50,7	8,2				54,1					
41		9,6		1,3	0,7						
42	46,0	12,0		3,4	2,1	48,6	9,3			0,2	0,5
43		10,2									
44	51,1	8,9		0,8	0,7	55,5	7,5			0,1	0,4
45		10,3		2,1	0,7						
46	62,8	11,8				48,1					
47		10,0									
48	65,1					83,1	9,2				
49		8,1									
50	40,1	8,6				40,8	7,8				
51		13,6		5,3	2,2						
52	39,3	8,1		0,6	0,5	41,6	7,5				
53		9,7									
54	38,9	8,5		0,8	0,5	64,9					
55		8,3		0,4	0,7						
56	65,7	12,2				46,4					
57		18,2									
58	63,6	12,7				59,1	8,0				
59		11,4									
60	65,3					55,6	7,1				
middel	54,3	10,7		2,1	1,2	51,7	8,8			1,0	0,7
stdav	10,2	2,7		1,8	0,7	11,0	2,0			1,9	1,0

Fellesdata		Forsøk nr. 3					Forsøk nr. 4				
Plank nr.	Før tørking	Etter tørking					Etter tørking				
	U rå %	U tørr %	Sprekk cm	Sopp cm ²	Gradient %	Yteherding EDG-mm	U tørr %	Sprekk cm	Sopp cm ²	Gradient %	Yteherding EDG-mm
1											
2	91,9	9,4			0,3	0,6	8,7			0,5	0,2
3											
4	97,5	8,6					9,0				
5											
6	85,2	8,7					13,0				
7											
8	108,6	8,8									
9											
10	96,4	8,3	60 m				13,4				
11											
12	87,8	8,0			0,1	1,1	8,8			0,9	0,0
13											
14	86,4	8,5					10,1				
15											
16	89,5	8,0					8,1				
17		7,9			0,1	0,7	7,7			0,2	-0,2
18	68,6	8,4					10,0				
19		8,7			-0,2	-0,6	9,6			1,0	0,4
20	97,4	7,8					11,3				
21											
22	80,2	7,9			0,0	0,3	8,3			1,4	0,6
23											
24	87,4	8,6			-0,5	-1,4	10,3			0,9	0,3
25											
26	92,3	7,7					7,8				
27											
28	61,6	8,3			0,1	0,0	9,3			1,4	0,4
29											
30	71,1	8,2					7,8				
31											
32	88,3	9,4			1,0	0,6	9,9			1,6	0,7
33											
34	88,1	11,1	15 m		1,5	0,7	16,2			13,6	1,9
35											
36	89,3	8,5					16,3				
37		8,2			0,4	0,5	8,8			0,7	0,4
38	115,8	7,8					9,4				
39		8,5			0,7	1,0	10,0			1,6	0,9
40	79,2	8,5					9,0				
41											
42	78,8	8,6					9,0				
43											
44	93,6	9,6					15,0				
45											
46	70,8	8,5					9,5				
47		13,5			4,2	2,6	12,1			4,8	brudd
48	86,1	8,4					9,8				
49		8,8			0,4	0,7	9,1			0,7	0,4
50	87,8	8,8					13,2				
51											
52	77,4	10,2			1,2	1,0	10,7			2,1	0,2
53											
54	93,3	8,4			0,2	0,5	9,2			0,6	0,5
55											
56	83,0	9,0					9,0				
57											
58	73,1	9,5			0,3	0,4	9,7			0,6	0,4
59											
60	91,8	12,9			2,6	1,0	15,1			8,0	2,2
middel	86,6	8,9			0,7	0,6	10,4			2,4	0,6
stdav	11,4	1,3			1,2	0,8	2,4			3,5	0,6

Plank nr.	Forsøk nr. 5					Forsøk nr. 6				
	Før tørking	Etter tørking				Før tørking	Etter tørking			
	U rå %	U tørr %	Sprekk cm	Gradient %	Yteherding EDG-mm	U rå %	U tørr %	Sprekk cm	Grad %	Yteherding EDG-mm
1										
2	87,6	11,5		3,9	2,2	75,2	16,0			
3										
4	90,8	8,0				96,9				
5										
6	98,8	8,2		0,1	0,0	127,5	9,9			
7										
8	106,5	7,1				72,1				
9										
10	82,1	8,7				93,0	11,8			
11										
12	79,4	9,0		0,4	0,0	69,8				
13										
14	92,9	12,7	20 m			87,0	15,9			
15										
16	79,9	9,1				82,9		18 m		
17		11,7		2,4	2,0	51,9	14,1	5 m	6,0	1,8
18	86,0	7,3				88,2				
19		8,0		-0,4	-0,2	88,1	10,9		3,0	2,1
20	83,5	13,0				68,4		20 m		
21										
22	124,8	7,3		-0,8	-0,1	52,7	10,6		1,8	0,9
23										
24	72,3	11,2	10 m	2,3	0,2	125,2	7,8		0,7	0,0
25										
26	87,1	11,3				96,8				
27										
28	76,1	9,6		1,1	0,2	87,1	11,9	28 m		
29										
30	102,3	7,1				80,7				
31										
32	84,9	15,5		9,9	2,6	114,3	7,6		0,3	0,2
33										
34	86,7	7,3		-0,6	-0,1	63,0	11,1		2,6	0,5
35										
36	86,5	7,5				97,5				
37		7,6		-0,7	-0,6	65,2	8,7		0,8	0,5
38	101,8	7,1				71,6				
39		8,5		-1,0	-0,6	34,6	10,3		2,1	0,5
40	103,6	8,5				122,8				
41			5 m							
42	86,0	14,2				108,9	8,6			
43										
44	84,2	14,1		7,6	2,1	57,1				
45								13 m		
46	100,5	10,0				69,9				
47		11,1		2,1	1,2	95,4	8,8		1,1	0,7
48	108,1	7,7				55,7		10 m		
49		11,5	10 m	3,7	2,6	63,6	11,1		2,4	1,1
50	86,3	7,5				98,6				
51										
52	76,1	7,0		-0,7	-0,6	81,0	8,9			
53										
54	107,2	7,1		-0,7	-0,5	108,1	9,4		1,0	0,7
55										
56	89,2	8,0				44,0	9,2	20 m	0,8	0,2
57										
58	84,3	8,0		-0,4	-0,5	79,3	9,2			
59										
60	74,0	7,8				96,2				
middel	90,3	9,3		1,6	0,6	82,5	10,6		1,9	0,8
stdav	12,1	2,4		3,1	1,2	22,8	2,4		1,6	0,6

Fellesdata		Forsøk nr. 7				Forsøk nr. 8		
Plank nr.		Før tørking	Etter tørking			Etter tørking		
		U rå %	U tørr %	Sprekk cm	Sopp cm ²	U tørr %	Sprekk cm	Sopp cm ²
1								
2		61,9	4,7			7,7		
3								
4		88,6	14,5			23,5	12	
5								
6		103,0	9,6			13,6		
7						25,8		
8		73,2	8,8			18,5		
9								
10		86,8	12,7			25,7		
11								
12		61,7	4,2			4,9		
13								
14		62,6	3,3			5,5	11 m	
15						25,8		
16		66,8	6,4			16,7		
17			3,7	16 m			13 m	
18		60,3	6,5			6,1		
19			15,1				16 m	
20		76,6	7,3			8,5		
21								
22		74,8	9,3			12,7		
23								
24		74,3	8,2			16,0	14 m	
25								
26		69,0	3,5			6,8		
27								
28		51,5	4,1			6,2		
29								
30		66,3	5,9			8,8		
31						5,5		
32		61,4	6,1			7,6	16	
33								
34		88,0	9,8			12,8		
35								
36		64,5	5,0			6,9		
37			5,4					
38		76,5	5,6	25 m		7,8		
39			4,9					
40		73,8	5,4			5,7		
41								
42		82,7	5,7			5,4		
43								
44		86,3	5,5			9,4		
45				9 m				
46		83,2	5,0			5,7		
47			5,5					
48		79,6	8,7			16,8		
49								
50		80,9	6,9			5,8		
51				10				
52		54,4	5,5			6,7		
53								
54		74,6	6,3			11,0		
55								
56		86,5	5,7			12,5		
57						5,1		
58		65,1	7,0			9,1		
59								
60		59,4	6,4			7,2		
Før utjevning	middel	73,1	7,5			13,7		
(plank 1 - 30)	stdav	11,9	3,8			7,8		
Etter utjevning	middel		6,1			8,3		
(plank 31 - 60)	stdav		1,3			3,3		

Osp - Svenneby 9						Tvåt=50 oC					Snittlengde: 4,2 m	
Før tørking						Etter tørking						
Nr	Gu g	Go g	U rå %	uttak, pk1 u,i,m	uttak, pk2 u,i,m	Gu g	Go g	U tørr %	Grad %	Ytherd. EDG-mm	Sprekk, pk1 [cm]	Sprekk, pk2 [cm]
1				u	i							
2	108,47	62,1	74,67	m	u	76,21	68,79	10,8	8,8	6,0		
3				m	m							10,0
4	124,04	62,38	98,8	u	m							
5				u	i						15,0	
6				i	u	71,12	65,83	8,0	1,3	4,0		
7				i	i						15,0	
8				m	m							
9				u	i							
10				m	i	50,85	46,41	9,6	1,9	2,0		
11				i	m							
12	121,28	78,70	54,1	m	m							
13				m	m							
14	130,46	62,51	108,7	i	m	65,95	55,68	18,4	10,5	3,0		
15				m	i							
16				i	u							
17				m	m	68,41	63,2	8,2				
18				m	i							
19				i	u	71,71	64,67	10,9				
20	136,93	88,59	54,6	i	m							
21				i	i							
22	145,62	70,23	107,3	m	i							
23				i	i							
24				u	m							
25				i	u							
26	103,32	64,20	60,9	i	m							
27				i	i							
28				m	m						10,0	
29				i	u							
30	110,82	61,45	80,34	i	u							
31				i	m							
32				i	i	66,13	60,21	9,8	10,5	5,0		
33				m	m							
34				m	i	68,45	61,62	11,1	3,0	3,0		
35				i	m							
36				i	u							
37				i	i	76,55	68,68	11,5	2,9	3,0		
38	132,91	78,78	68,7	i	m							
39				m	m	79,75	62,02	28,6				
40				m	m							
41				i	i							
42	136,85	60,10	127,7	u	m	57,29	50,43	13,6				
43				i	i							
44				i	i							
45				u	i							
46	127,67	66,43	92,2	m	m							
47				i	u	60,38	53,86	12,1				
48	123,03	67,64	81,9	m	m							
49				u	u	53,52	48,13	11,2				
50	97,77	54,35	79,9	i	i							
51				i	u							
52	130,93	64,63	102,6	u	u	71,68	63,97	12,1				
53				u	m							
54	142,04	56,51	151,4	u	i	76,53	62,96	21,6				
55				m	m							
56	116,64	63,20	84,6	m	i	74,32	64,37	15,5				
niddel			89,3					13,3	5,6	3,7	13,3	10,0
stdav			26,4					5,4	4,2	1,4		

