

Tørkespenninger - kondisjonering **- bakgrunn, forsøk, metoder.**

Saksbehandler: Sjur Fløtaker, Knut Magnar Sandland og Sverre Tronstad
Dato: 1996-12-04
Oppdragsgiver: Teknologiringen Tørkeklubben
Kontaktperson: Disponent Arvid Brekke, Styreformann i Tørkeklubben
Prosjektnummer: 369002

Sammendrag

Rapporten omhandler de grunnleggende forhold omkring spenningsoppbygging og yteherding under tørkefasen, og hvordan man gjennom en avsluttende kraftig økning av relativ fuktighet og til dels temperatur kan fjerne yteherdingen.

En rask og effektiv kondisjonering er avhengig av gode basingsystemer, bedre enn de som er i vanlig bruk i dag. I rapporten er det beskrevet og sammenlignet fire forskjellige systemer for økning av luftens relative fuktighet. Det er spesielt sett på de muligheter for forbedring som ligger i forstøvning av vann gjennom trykkluft eller høyt vanntrykk.

Forsøkene i NTI's laboratorietørke viste at det er mulig å påvirke tiden for spenningsutjevning vesentlig gjennom variasjon av temperatur og ΔLVF (likevektsfuktighet ved kondisjonering minus midlere trefuktighet ved kondisjoneringsstart). På noen stikkprøver i et av forsøkene ble kondisjonerings-effekten redusert betraktelig ved høvling av plankene etter kondisjonering. Dette er tegn som tyder på at kondisjoneringseffekten er konsentrert til de ytterste 2-3 mm.

Ti forsøk kjørt i en industriell tørke med innmontert utstyr for høytrykks vannbasing, viste for det første en betraktelig raskere og mer effektiv oppfukning av tørkelufta enn tradisjonelle anlegg med lavtrykks vannbasing. Forsøkene viste også her en positiv sammenheng mellom ΔLVF og spenningsutjevningen, men viste dessuten klart betydningen av en moderat spredning i slutfuktigheten for å oppnå en effektiv kondisjonering.

En sammenligning mellom 2- og 3-kløyvmetoden for bestemmelse av spenningstilstanden viste relativt liten forskjell, men med størst utslag for 3-kløyvmetoden ved høyere spenninger og omvendt ved lavere (positive) spenninger. Forsøkene gav dessuten interessante data for sammenhengen mellom gradient og spenningstilstand som kan være nyttige for utviklingen av en bedre prosessstyring av kondisjoneringstiden.

Stikkord: Tørkespenninger, kondisjonering
Keywords: Drying stresses, conditioning treatment

Summary

This report deals with the basic principles related to stresses and casehardening during the drying of timber, and how to eliminate the casehardening through a strong increase in the relative humidity and partly in the temperature.

A quick and efficient conditioning treatment depends on effective spraying systems that are better than the ones used today. The report describes and compares four different systems for increasing the relative humidity of the air. The possibilities for improvement through atomizing of water by means of compressed air or high pressure water is especially looked into.

The tests in NTT's lab kiln show that it is possible to influence the time of stress release considerably through variation of temperature and ΔEMC (equilibrium moisture content in the conditioning period minus mean wood moisture content at the start of conditioning). In some sample tests the conditioning effect was considerably reduced when the planks were planed after conditioning. This indicates that the conditioning effect is concentrated in the outer 2-3 mm.

Ten tests were performed in an industrial kiln with high pressure water spraying equipment. These tests showed in the first place a considerably faster and more efficient moisturizing of the drying air than in traditional plants with low pressure spraying systems. The tests also showed a positive connection between ΔEMC and stress release, and showed clearly the importance of moderate spread in the end moisture content in order to obtain an efficient conditioning.

A comparison between slicing test methods for determination of the stress level using 2 or 3 lamellae showed a relatively small difference. The 3-slicing test method showed the largest deflection at higher stresses and vice versa at lower (positive) stresses. The tests indicated interesting connections between gradient and stress level which will be useful in the development of better control systems for the conditioning duration.

Innhold

Sammendrag	3
Summary.....	4
Innhold	5
Forord	6
1. Innledning	7
2. Grunnleggende om yteherding.....	8
2.1 Fuktighetsgradient og spenningsoppbygging.....	8
2.2 Trevirkets plastiske egenskaper.....	10
2.3 Konsekvenser av yteherdingen.....	11
2.4 Spenningsutjevning	11
3. Metoder for oppfukting av tørkeluften (basing)	14
3.1 Generelt	14
3.1.1 Likevektsfuktighet (LVF)	14
3.2 Basemetoder	15
3.2.1 Dampbasingssystemer	16
3.2.2 Vannforstøvningssystemer	16
3.3 Forsøk med høytrykks vanddyser	21
3.3.1 Resultater	22
3.3.2 Diskusjon	24
4. Kondisjoneringsforsøk i laboratorietørke	25
4.1 Materiale og metoder	25
4.2 Resultater.....	27
4.2.1 Spenningsutjevning	27
4.2.2 Fuktighetsopptak	30
4.2.3 Lengder – 10-kløyvlameller.....	32
4.2.4 Sammenligning mellom 2- og 3-kløyvprøver	33
4.2.5 Sammenhengen mellom gap og fuktighetsgradient.....	34
4.2.6 Effekt av høvling	35
4.3 Diskusjon.....	36
5. Kondisjoneringsforsøk i industritørke.....	38
5.1 Beskrivelse av anlegget	38
5.2 Materiale og metoder	39
5.3 Resultater.....	42
5.4 Diskusjon.....	44
6. Diskusjon/konklusjon	45
Litteratur.....	48

Forord

Denne rapporten inngår som et delprosjekt i Tørkeklubben, som er en teknologiring med over 50 bedriftsmedlemmer. Ved utarbeidelsen av rapporten er det derfor lagt vekt på å gjøre den tilgjengelig for alle deltagere i teknologiringen.

Hovedtyngden av arbeidet ble utført i andre halvdel av 1995, og de viktigste resultatene fra undersøkelsen ble umiddelbart presentert for Tørkeklubbens medlemmer ved to møter i desember 1995. Et første utkast til rapport er tidligere sendt til medlemmene.

De praktiske forsøk ble utført i NTI's laboratorietørke og i en industriell tørke ved Bruvoll Sag og Høvleri A/L.

Det må her rettes en spesiell takk til disponent Arvid Brekke og medarbeidere ved Bruvoll Sag og Høvleri som har lagt ned et omfattende arbeid i form av ubetalt industriinnsats i prosjektet.

Forsøkene ved NTI er gjennomført av Sjur H. Fløtaker, Knut Magnar Sandland og Sverre Tronstad, med sistnevnte som prosjektleder.

For Knut Magnar Sandland har arbeidet inngått som en del av hans dr.scient. studium.

Avslutningsvis må det rettes en stor takk til Norges forskningsråds program Norwood, og medlemmene i teknologiringen Tørkeklubben som har gitt finansiell støtte til gjennomføring av prosjektet.

Oslo, desember 1996

Norsk Treteknisk Institutt

1. Innledning

Så godt som alt skurtømmer blir skåret til rektangulære tverrsnittsdimensjoner eller “prismer med rektangulære tverrsnitt”, fordi sluttproduktet også ideelt bør være et prisme med rektangulært eller profilert tverrsnitt.

Problemet er at denne opprinnelige rektangulære prismeformen blir endret først og fremst under tørkeprosessen, grunnet forskjeller i radiell og tangentiell krymping, forskjeller i lengdekrympingen og gjennom yteherding som gir seg utslag ved oppdeling.

Da kravet til retthet på trevirket bare blir større og større i konkurranse med andre materialer, er det meget viktig å studere årsakene til disse uheldige formendringene, og de muligheter som kan finnes for å redusere omfanget.

Tidligere undersøkelser i Tørkeklubben har gjennom omfattende egenanalyser vist at det er behov for å bedre den grunnleggende forståelsen av yteherdingen, og hvordan man skal oppheve den. Det er dessuten store mangler i det prosesstekniske utstyret for å oppnå ønsket kondisjoneringsklima.

For bedre å kunne forstå problemstillingen, forsøksopplegget og resultatene, er det i rapporten innledningsvis gitt en inngående beskrivelse av yteherdingsfenomenet på basis av den kunnskap som er tilgjengelig i dag.

Da de aller fleste bedrifter benytter hettvann for oppvarming av tøkene og ikke har tilgang på damp, er det sett spesielt på nye metoder for vannforstøvning, som kan gi en rask fordampning og oppfuktning av tørkeluften uten bruk av separat dampgenerering.

I forsøkene er det både i NTI's laborietørke og ved forsøk i industritørke ved Bruvoll Sag og Høvleri A/L sett nærmere på yteherdingsfenomenet, hvordan og hvorfor det oppstår under tørkeprosessen, og hvordan man prosessteknisk gjennom forbedrede kondisjoneringsmetoder kan redusere eller eliminere dette problemet.

Parallelt med dette arbeidet, i forbindelse med ny europeisk standard for tørke kvalitet, utarbeides det nye metoder for måling av spenninger. Det er derfor lagt inn en rekke sammenlignende tester av de såkalte 2- og 3-kløyvmetodene.

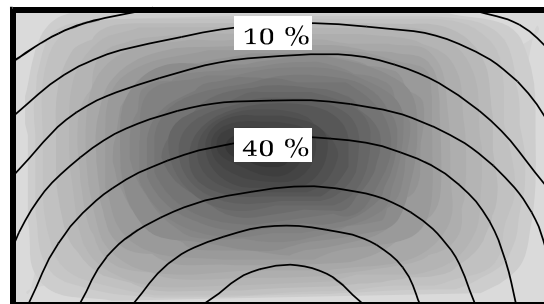
Det er å håpe at denne rapporten vil bidra til en økt forståelse av yteherdingsfenomenet, og hvordan man med forskjellige teknikker kan redusere de negative effekter av fenomenet.

2. Grunnleggende om yteherding

Med begrepet yteherding menes det at trelasten har fått en plastisk forstrekning i det ytre sjiktet under tørkeprosessen. Nedenfor er det gitt en kort beskrivelse som belyser bakgrunnen for yteherdingsfenomenet. Her er det hele tiden snakk om tørking med sirkulerende varmluft.

2.1 Fuktighetsgradient og spenningsoppbygging

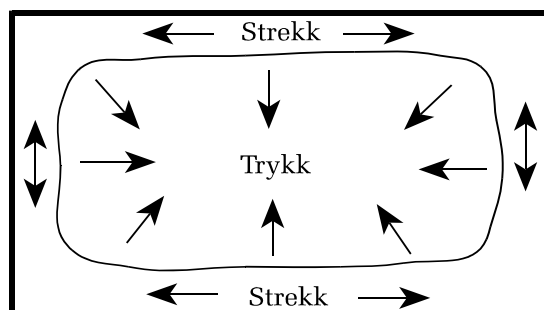
Krympingen i trevirket starter når trefuktigheten kommer under fibermetningspunktet, dvs. når også det bundne vannet i celleveggene begynner å tørke ut. Dette skjer først på trevirkets overflate. Lenger inn i materialet vil fuktigheten fortsatt være over fibermetningspunktet i en periode, noe som gir en fuktighetsgradient i trevirket under tørkeprosessen. Et eksempel på en slik fuktighetsgradient er vist i figur 2.1.



Figur 2.1. Eksempel på fuktighetsgradient i en plank ved tørking med sirkulerende varmluft.

Moisture gradient in a plank drying in circulating hot air.

I denne tilstanden "forsøker" det ytre sjiktet i planken å krympe, men den våte indre delen som ikke har krympet, vil begrense dette. Det vil da oppstå strekkspenninger i det ytre sjiktet og trykkspenninger i de indre delene av planken. Dette er illustrert i figur 2.2.



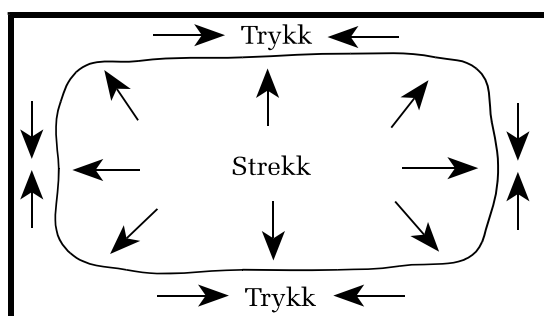
Figur 2.2. Spenninger i plankens tverrsnitt under første fase av tørkeprosessen.

Stresses in the plank's cross section during the initial phase of the drying process.

Dersom trevirket ikke hadde evnen til å tøyse og plastisk deformere seg, ville denne tilstanden ført til sprekkdannelse i trevirkets overflate. Trevirket har imidlertid denne egenskapen, og resultatet er at det ytre sjiktet i trelasten vil krympe mindre enn fuktighetsendringen i sjiktet tilsier.

Overflatene på nyskåret skurlast tørker raskt ned til fibermetningspunktet i klima med et visst tørkepotensial. Spesielt utsatt er kjerneveden, som i mange tilfeller har et fuktighetsinnhold så vidt over fibermetningspunktet. Det vil derfor danne seg strekkspenninger i overflaten der kjerneveden er eksponert nokså umiddelbart etter tørkestart. Strekkspenningene vil utvikle seg senere i yteveden enn i kjerneveden på grunn av at fibermetningspunktet nås senere.

Etter hvert kommer også det indre av materialet under fibermetningspunktet og begynner å krympe. Nå er imidlertid det ytre sjiktet forstreckt, og "for stort" i forhold til det indre av materialet. Dette fører til at spenningsbildet snur seg, slik at overflaten blir utsatt for trykkspenninger og det indre av materialet for strekkspenninger. Dette er illustrert i figur 2.3.



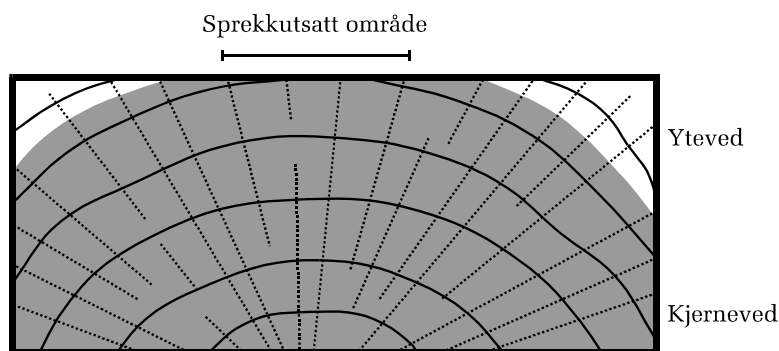
*Figur 2.3. Spenninger i plankens tverrsnitt under siste fase av tørkeprosessen.
Stresses in the plank's cross section during the final phase of the drying process.*

Denne vekslingen, som innebærer at overflaten går over fra strekkspenning til trykkspenning, kalles spenningsomvandlingen. Den inntreffer som regel når trelastens middelfuktighet ligger i området 15-22 %. Dette betyr at i første fase av tørkeprosessen er det fare for ytre sprekk i trelasten. Etter spenningsomvandlingen er det ikke lenger fare for ytre sprekk, men da vil strekkspenningene i det indre av trelasten føre til en risiko for indre sprekk. Slike indre sprekker vil kunne utvikle seg i lang tid etter at tørkeprosessen er avsluttet, fordi strekkspenningene i det indre av materialet øker etter hvert som fuktigheten jevnes ut i trelastens tverrsnitt.

Det er denne tilstanden, det vil si at det ytre sjiktet av trelasten er forstreckt i forhold til kjernen, som går under benevnelsen yteherding.

2.2 Trevirkets plastiske egenskaper

Risikoen for ytre sprekkdannelse er størst på ytesiden av plankene, rett ovenfor margen (figur 2.4). Her er den lokale krympingen maksimal (virkesoverflatens krymping er lik trevirkets tangentielle krymping), samtidig som margstrålene kommer vinkelrett ut på trevirkets overflate. Dette fører til en høy tetthet av margstråler i denne sonen. Margstrålene forsvaker trestrukturen i tangentiell retning. I radiell retning foregår mye av fuktighetstransporten gjennom margstrålene, og dermed tørker trevirket raskere i områder der margstråletettheten er stor. Likeledes er kjerneveden ofte eksponert i overflaten i den sprekkutsatte sonen. Kjerneveden har lavt fuktighetsinnhold, og tørker raskt under fibermetningspunktet. Dette fører til at strekkspenningene i overflaten oppstår kort tid etter tørkestart.



Figur 2.4. Sprekkutsatt område i trelasten under tørkeprosessen.
Area in timber exposed to checking during the drying process.

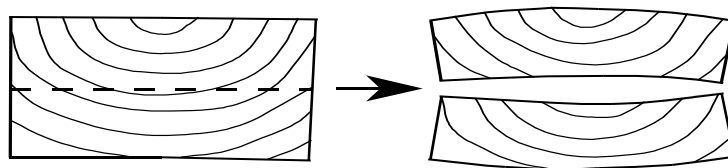
Det ytre sjiktet av trevirket er som tidligere nevnt i stand til å gjennomgå en plastisk forstrekning under første fase av tørkeprosessen, slik at sprekkdannelser helt eller delvis kan unngås. Trevirkets evne til å deformere seg plastisk øker med stigende temperatur og fuktighet. En kombinasjon av høy temperatur og høy trefuktighet gir altså de beste forutsetningene for en plastisk deformasjon.

Morén (1993) har gjort forsøk med å måle deformasjoner og spenninger i tangentiell retning på prøver fra det sprekkutsatte området på trelasten når det har blitt forhindre i å krympe under tørkeprosessen. Dette kan sammenlignes med den tilstanden som opptrer i det sprekkutsatte området i trelasten under første fase av tørkeprosessen. Det ble funnet at av treslagene furu (*Pinus silvéstris*), gran (*Picea sp.*) og bjørk (*Bétula sp.*), var det furu som utviklet de høyeste spenningene og bjørk de laveste. Som forventet ble spenningene høyere ved lavere temperatur. I en del tilfeller oppstod det brudd i prøvene. Sannsynligheten for brudd var størst ved lave temperaturer og høye densiteter. Denne sammenhengen var tydelig for furuprøvene, men mer uklart for granprøvene.

Generelt kan man imidlertid si at risikoen for å få sprekker i trelasten under tørking øker med avtakende temperatur og økende densitet.

2.3 Konsekvenser av yteherdingen

En direkte positiv konsekvens av yteherdingen er at ytre sprekkdannelser i trelasten under første fasen av tørkeprosessen reduseres/hindres. I yteherdet trelast kan det imidlertid være fare for indre sprekkdannelser når fuktighetsgradienten blir jevnet ut i slutten av tørkefasen, og etter tørking på grunn av at det ytre sjiktet av trelasten er for stort i forhold til kjernen. Spenningene i yteherdet trelast fører til uheldige deformasjoner dersom trelasten skal oppdeles og bearbeides videre. Da oppstår situasjonen som er vist i figur 2.5.



*Figur 2.5. Kløyving av yteherdet planke.
Slicing of casehardened plank.*

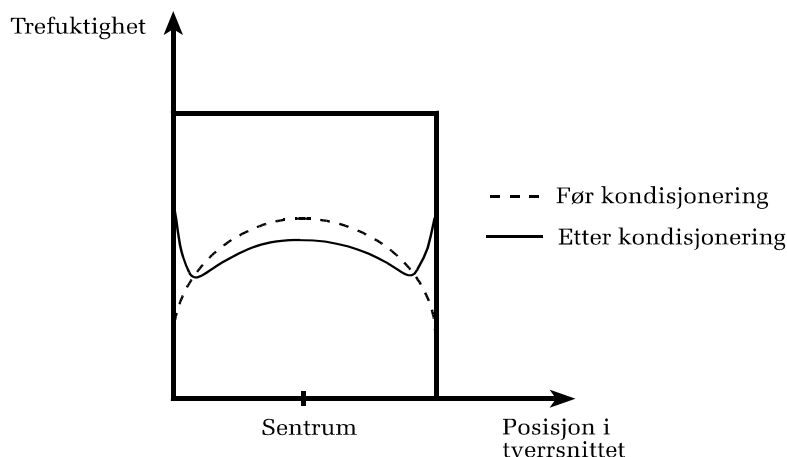
I mange tilfeller er det nødvendig med en spenningsutjevningsprosess, såkalt kondisjoningsfase, for å redusere spenningene i trelasten. Dette er spesielt viktig for trelast som skal oppdeles og bearbeides videre før anvendelse.

2.4 Spenningsutjevning

Spenningsutjevningen i industrielle tørkeanlegg utføres ved at fuktigheten, og eventuelt temperaturen, i luften rundt trelasten økes etter at tørkefasen er avsluttet. Dette fører til at det tas opp fuktighet i det ytre sjiktet, som dermed sveller. Svellingen fører til at det dannes trykkspenninger, og dermed en sammenpressing av vedstrukturen. Etter at trelasten er fuktighetsutjevnet etter tørking, vil derfor yteherdingseffekten være redusert, og i beste fall eliminert.

For trelast som er tørket så langt ned at spenningsomvandlingen har inntruffet, vil trykkspenningene i det ytre sjiktet gi en ekstra effekt når det gjelder sammenpressing av vedstrukturen.

Det sentrale i spenningsutjevningen er fuktighetsopptaket i trevirkets ytre sjikt. Derfor må fuktigheten rundt trelasten heves for å oppnå denne effekten. Dersom temperaturen heves i tillegg, vil spenningsutjevningen gå raskere, både fordi trevirket blir mer plastisk og fordi fuktighetsopptaket i trevirket går raskere. I tillegg bidrar en høy temperatur til en raskere fuktighetsutjevning i midtre deler av tverrsnittet. I figur 2.6 er det gitt et eksempel på fuktighetsfordelingen i trelastens tverrsnitt før og etter kondisjonering.



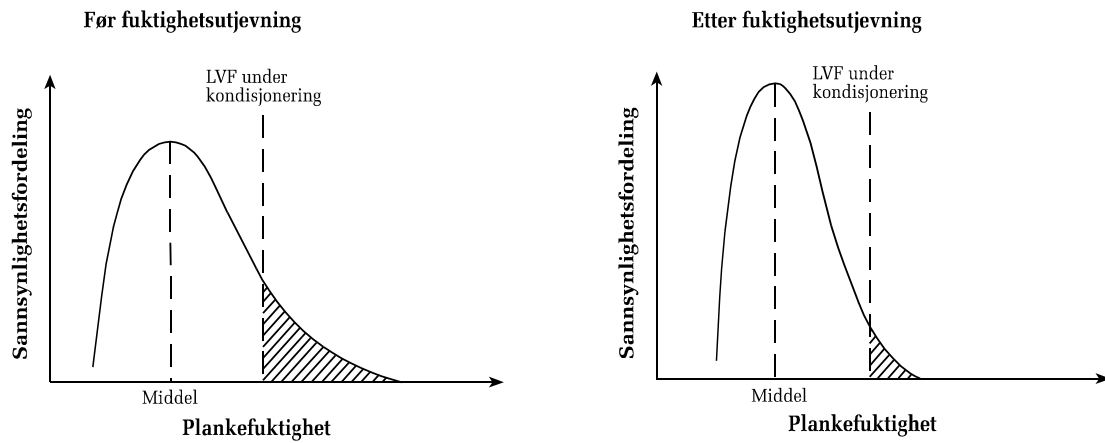
*Figur 2.6. Fuktighetsfordeling i trelastens tverrsnitt før og etter kondisjonering.
Moisture distribution in a cross section of timber before and after conditioning.*

Dersom det er stor spredning i fuktighet mellom plankene i en tørkeomgang, vil effekten av kondisjoneringsfasen variere i stor grad fra planke til planke. De fuktigste plankene vil i mange tilfeller ha trefuktigheter som ligger over den likevektsfuktigheten (LVF) som klimaet innstilles på under kondisjoneringsfasen. Dermed skjer det ikke noe fuktighetsopptak i plankene, men snarere tvert imot en videre uttørking. Dette fører igjen til at spenningsutjevningen uteblir. Til venstre i fig. 2.7 er denne situasjonen vist. Her representerer det skraverte feltet de plankene med høyest fuktighet, og som dermed får mangelfull eller ingen spenningsutjevning under kondisjoneringsfasen. Selv om en plankes gjennomsnittlige fuktighet ligger over LVF under kondisjoneringsfasen, vil en likevel kunne få en viss spenningsutjevning fordi det ytre sjiktet i mange tilfeller har lavere fuktighet enn LVF under kondisjoneringsfasen på grunn av fuktighetsgradienten som er til stede i plankene etter tørkefasen.

Ved å la trelasten gjennomgå en utjevningsperiode i et klima som tilsvarer ønsket slutfuktighet, vil spredningen i fuktighet mellom plankene bli mindre. På denne måten blir det en mindre andel av plankene som har en fuktighet som er høyere enn LVF under kondisjoneringsfasen, noe som går fram av situasjonen til høyre i fig. 2.7. Antall planker som får mangelfull eller ingen spenningsutjevning blir betydelig redusert.

En periode med fuktighetsutjevning vil altså bidra til:

- Reduksjon av fuktighetsspredningen mellom planker
- Reduksjon av fuktighetsgradienten i trelastens tverrsnitt
- Bedre muligheter for å oppnå ønsket slutfuktighet



Figur 2.7. Plankenes fuktighetsfordeling før og etter fuktighetsutjevning. Det skraverte feltet representerer plankene som får mangelfull eller ingen spenningsutjevnerende effekt under kondisjoneringsfasen.

Moisture distribution before and after moisture equalization. The shaded areas represent the planks with insufficient or no stress releasing effect during the conditioning phase.

3. Metoder for oppfukning av tørkeluften (basing)

3.1 Generelt

I forrige kapittel så vi på viktigheten av å tilføre fuktighet til treoverflaten under tørkeforløpets siste del (kondisjoneringsperioden). Oppfukningen skjer ved at vann ledes inn i den sirkulerende tørkeluften og fordampes, eller ved at damp tilsettes direkte i tørkeluften. Hensikten er å heve luftfuktigheten så mye at luften kan avgi vann til trevirket (*likevektsfuktigheten* må være høyere enn trefuktigheten).

Også under oppvarmingsfasen er det behov for tilførsel av fuktighet til luften. I denne perioden er imidlertid ikke hensikten å øke trevirkets vanninnhold, men å hindre uttørking av trevirket før temperaturen har nådd innstilt nivå. Fordi virket i denne perioden er helt rått og inneholder fritt vann i overflatesjiktet, kreves det svært høy luftfuktighet (ideelt sett 100 %) for å hindre uttørking av overflaten. Under oppvarmingen tilstrebes det derfor at luftfuktigheten til enhver tid er så høy at en (liten) andel av luftens vandampinnhold kondenserer på treoverflaten og holder denne våt. Denne kondensasjonen bidrar samtidig til en effektiv oppvarming av trevirket, fordi prosessen frigjør fordampningsvarme.

Tilstrekkelig kapasitet på både vann- og varmetilførsel er avgjørende for at høy nok luftfuktighet skal kunne oppnås og opprettholdes, og for at temperaturen skal kunne økes opp til tørketemperatur. En raskest mulig oppvarming vil være med å gjøre det enklere å holde overflaten fuktig hele tiden. Årsaken til dette er at når oppvarmingen skjer hurtig, vil trevirkets temperatur hele tiden være noe lavere enn lufttemperaturen, og dermed vil vannet lettere kondensere på overflaten.

3.1.1 Likevektsfuktighet (LVF)

Trevirkets likevektsfuktighet (LVF) er et begrep som benyttes mye i forbindelse med tørking, og fortjener derfor en forklaring. Begrepet kan litt forenklet defineres som:

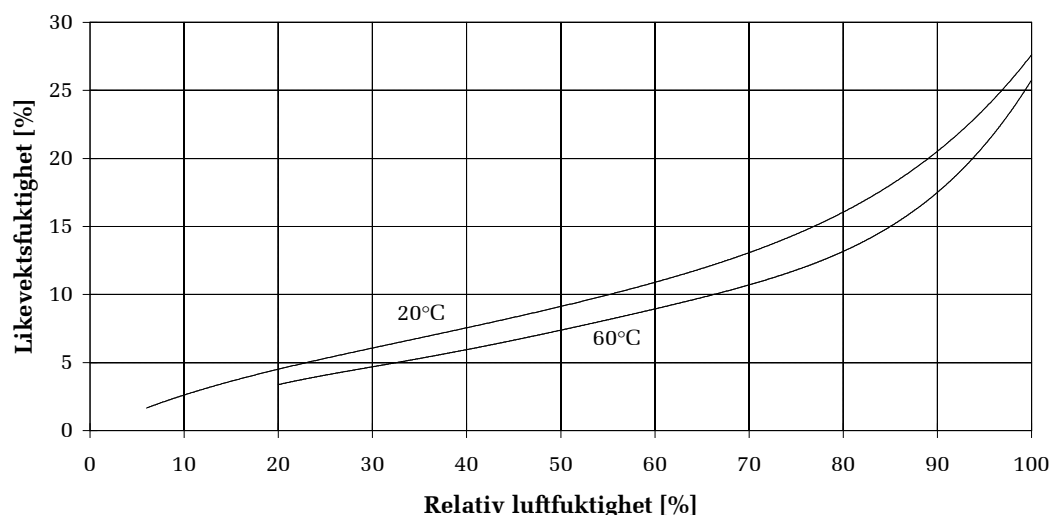
Den fuktigheten trevirket vil innstille seg på ved uendelig lang eksponering for et bestemt klima (kombinasjon av temperatur og luftfuktighet).

Dette vil si at trefuktigheten endrer seg når det omgivende klimaet endrer seg, f.eks med årstidsvariasjoner eller endrede lagringsbetingelser. Ved vanlig brukstemperatur (<25 °C) skjer slike endringer over relativt lang tid, mens økende temperatur gir raskere endringer. Følgene av slike endringer kan observeres f.eks. ved at innvendige paneler og gulv i tre tørker ut og krymper om vinteren når luften er tørr. Denne krympingen ses av og til ved at det oppstår sprekker mellom bordene. Trefuktigheten vil i løpet av et normalår variere med 2-4 % i vanlige beboelsesrom, og dette gir opphav til krymping og svelling i alle trematerialer.

LVF finnes i tabeller og diagrammer som en kombinasjon av tørr- og våttemperatur, eller som en kombinasjon av temperatur og relativ luftfuktighet

som det er vist et eksempel på i fig. 3.1. Kurvene vil se noe forskjellige ut avhengig om de gjelder for oppfukning (adsorpsjon) eller uttørking (desorpsjon). Dette skyldes hystrese-effekter, og blir ikke behandlet her.

I tørkesammenheng gir LVF et bilde på hvor sterk tørkingen til enhver tid er, og den gir en intuitiv forståelse av forholdet mellom tre- og luftfuktighet. Desto større forskjell det er mellom LVF og aktuell trefuktighet i tørkeperioden, desto sterkere er tørkingen. Under kondisjoneringsperioden, hvor LVF skal være høyere enn trefuktigheten, gir forskjellen mellom dem et mål på kondisjoneringseffekten. Desto større forskjell, desto sterkere kondisjonering (og raskere spenningsutjevning). En lavere LVF under kondisjonering enn ønsket sluttluftfuktighet vil gi en videre uttørking, og dermed ikke den ønskede spenningsutjevningseffekten. Spredning i fuktighet mellom enkeltplanker bidrar til at kondisjoneringseffekten varierer mellom de ulike plankene. Dersom gjennomsnittlig trefuktighet ved slutten av tørkeperioden er f. eks. 10 %, med spredning fra 8 % til 14 %, og LVF under kondisjonering stilles inn på 12 %, vil de tørreste bitene kondisjoneres, mens de fuktigste fortsetter nedtørkingen og ikke får noen kondisjonering (spenningsutjevning).



Figur 3.1. Likevektsfuktighet for gran og furu ved omgivelsestemperatur 20 °C og 60 °C (Esping, 1992).

Equilibrium moisture content for spruce and pine at ambient temperature 20 °C and 60 °C.

3.2 Basemetoder

Basingen har som hensikt å heve vanninnholdet i tørkeluften, og dette kan som nevnt innledningsvis gjøres enten ved å tilføre forstøvet vann som fordampes i luftstrømmen eller ved å fordampe vann utenfor tørkekammeret og lede dampen inn i luftstrømmen. Den vanligste metoden her i landet er å benytte forstøvet vann, mens bruk av damp er mer vanlig i blant annet USA og New Zealand.

Hovedforskjellen mellom de to metodene ligger i måten fordampningsvarmen overføres til vannet på. I tørkeanlegg med dampbasing foregår oppvarmingen og fordampningen av basevannet i en dampkjel utenfor selve tørka, og mettet (evt. noe overhettet) damp føres inn i tørka. I anlegg som benytter forstøvet vann foregår derimot varmeoverføringen og fordampningen inne i selve tørkekammeret ved at vanndråpene mottar varme fra tørkeluften og varmebatteriene og dermed fordamper.

3.2.1 Dampbasingsystemer

For dampbasingsanlegg finnes det to ulike løsninger, avhengig av varmfordelingssystemets arbeidsmedium. I hettvannsanlegg kan det enten benyttes røygasskjel i biobrenselanlegget, dersom slikt finnes, eller ekstern dampgenerator fyrt med olje eller elektrisitet. For bedrifter som allerede har biobrenselanlegg, og som ønsker å utnytte biprodukter fra egen produksjon (bark og flis) til varmeproduksjon, vil det være naturlig å undersøke mulighetene for røygasskjel.

Den andre løsningen for dampbasing gjelder for bedrifter som benytter damp som varmebærer i varmfordelingssystemet. Slike anlegg har sirkulerende damp i varmebatteriene, og damp til basingen kan tas ut som en grenstrøm fra varmfordelingssystemet. Ulempen med et slikt opplegg er imidlertid at man stadig taper av varmemedium fra fordelingssystemet som må etterfylles med friskt, oksygenrikt vann. Det høye oksygeninnholdet i vannet vil medføre økt korrosjon i kjel, rør og varmebatterier, og det må tilsettes kjemikalier som forhindrer dette. Generelt vil damp som varmebærer ha en del ulemper i forhold til hettvann.

Fordampningsvarmen som frigjøres ved kondensasjon har svært høy effekt, og avgis over et lite temperaturintervall. Dette kan medføre problemer med å oppnå stabil temperatur i kammeret, og Tronstad (1993) viser at dersom dampen er overhettet kan en ukontrollert temperaturstigning forekomme. Av andre ulemper kan det nevnes at det offentlige stiller krav om døgkontinuerlig tilsyn med anlegg som arbeider over visse trykk- og temperaturnivåer, og dampanlegg for trelasttørker vil omfattes av dette kravet. I tillegg krever slike anlegg generelt et mer omfattende vedlikeholdsprogram fordi de opererer med damp under trykk.

3.2.2 Vannforstøvningsystemer

Forstøvning av vann er den mest utbredte basemetoden, og her i landet er det få eksempler på dampbasesystemer. Dette skyldes at vannforstøvningsystemene er enklere og mer fleksible med hensyn til varmekilde og -medium enn basing med damp. Basesystemer med bruk av forstøvet vann fungerer like godt sammen med både olje-, el.-, og biobrenselanlegg. Vannet forstøves og tilføres luftstrømmen i luftbehandlingsrommet plassert over, eller ved siden av trelasten. I luftbehandlingsrommet er også vifter og varmebatterier plassert, og disse sørger for best mulig blanding av luften og vanndråpene. Når dråpene passerer varmebatteriene, tilføres nødvendig varme til fordampning av vannet. Det er svært viktig at vannet fordamper helt i luftstrømmen før det treffer trelasten. Dette fordi

vann som treffer trelasten i dråpeform vil bidra til å avkjøle trevirket, og til å skape ujevne fuktighetsforhold i kammervolumet, fordi deler av trelasten fuktes ved direkte kontakt med vann, mens resten utsettes for fuktig luft.

Ufordampet vann som treffer trelasten, er det største problemet ved basing med forstøvet vann, og dette forekommer særlig i eldre anlegg som har få og store dyser med dårlig forstøvning. I slike anlegg opplever man også ofte at varmebatteriene er marginalt dimensjonert og ikke klarer å avgi nok energi til å fordampe det tilførte vannet. Dette har ført til at enkelte hevder at basing med damp gir bedre oppvarming og kondisjonering enn basing med forstøvet vann. For riktig dimensjonerte og innstilte anlegg burde det imidlertid ikke være noen forskjell på effekten av basingen, enten denne gjøres med damp eller med forstøvet vann. Dette fordi alt vannet fordampes i luftstrømmen, og trelasten kun møter fuktig luft. Trevirket vil påvirkes på nøyaktig samme måte enten luften er oppfuktet ved hjelp av damp generert utenfor tørka eller ved damp generert fra forstøvet vann inne i tørka. Forskjellen vil eventuelt ligge i at man, ved bruk av overhettet damp, risikerer en ukontrollert temperaturstigning i tørka, og dermed kan oppleve skader i form av misfarging, kvaeutflyting og kvistutslag.

For trelastbransjen i Norge anses det derfor at basing med forstøvet vann kanskje er det mest aktuelle alternativet, både fordi de fleste bedriftene allerede har biobrenselfyrte fyranlegg uten dampproduksjonsenhet, og fordi basing med forstøvet vann kan gi noe bedre reguleringsmessige egenskaper enn basing med damp. Av metoder for forstøvning av vann synes de mest aktuelle å være:

- Lavtrykks vanddyser.
- Vann/trykkluftdyser.
- Høytrykks vanddyser.

Lavtrykks vanddyser

Tradisjonelt har all basing her til lands foregått ved at vann direkte fra fordelingsnettets blir sprøytet inn i tørkekammeret, og dette er fortsatt den vanligste måten å base på. Vannet sprøytes inn i luftbehandlingsrommet hvor sirkulasjonsvifter og varmebatterier er plassert, og hvor lufthastigheten er høyest. Dette skal sørge for best mulig blanding mellom vanndråpene og sirkulasjonsluften, og dermed best mulig varmeoverføring og fordampning. Dysenes kapasitet varierer, men ligger vanligvis i området 15-25 l/h. Antallet varierer med størrelsen på tørkeanlegget, og et vanlig dimensjoneringskriterium har vært 1-1,5 l/h·m³ trelast, som tilsvarer 3-5 dyser for et kammer på 50 m³ trelast.

Dimensjoneringskriteriet har vært at basekapasiteten skal være tilstrekkelig til å holde luftfuktigheten på ca. 90 % under hele oppvarmingsperioden. Fordi treoverflaten i hele denne perioden er mettet med vann, vil trevirket absorbere svært lite vann, og basingen trenger dermed stort sett kun å dekke luftens økte vanninnhold ved det høyere temperaturnivået, og eventuelt tap gjennom lekkasjer. For et kammer med brutto volum på 400 m³ (ca. 50 m³ trelast) tilsvarer dette ca. 35 l vann ved vanlig tørketemperatur når eventuelle lekkasjer holdes utenfor.

Den siste tiden har imidlertid markedets krav til kvalitet på ferdig tørket trelast stadig blitt strengere, og særlig har det blitt fokusert på indre spenninger i virket som skaper deformasjoner ved videre bearbeiding. Dette har ført til økt bevissthet rundt viktigheten og graden av kondisjonering, og medført at man i dag tilstreber høy temperatur og LVF under kondisjoneringen. I tillegg kommer at tiden blir en stadig viktigere faktor ved tørkingen, og at man ønsker å forkorte oppholdstiden i tørkene. For å oppnå dette må ønsket klima opprettes raskest mulig både under tørking, utjevning og kondisjonering.

Beregninger viser at basebehovet er størst kondisjoneringsfasen, og at dysekapasiteten må være minst $6 \text{ l/h}\cdot\text{m}^3$ i denne perioden for å gi tilstrekkelig effekt. Det er da beregnet at trevirket får en netto fuktighetsøkning på 1 % og at ønsket klima opprettes i løpet av en time. For et kammer med kapasitet på 50 m^3 blir dermed dyseantallet minst 15 stk., altså en økning på 3-5 ganger.

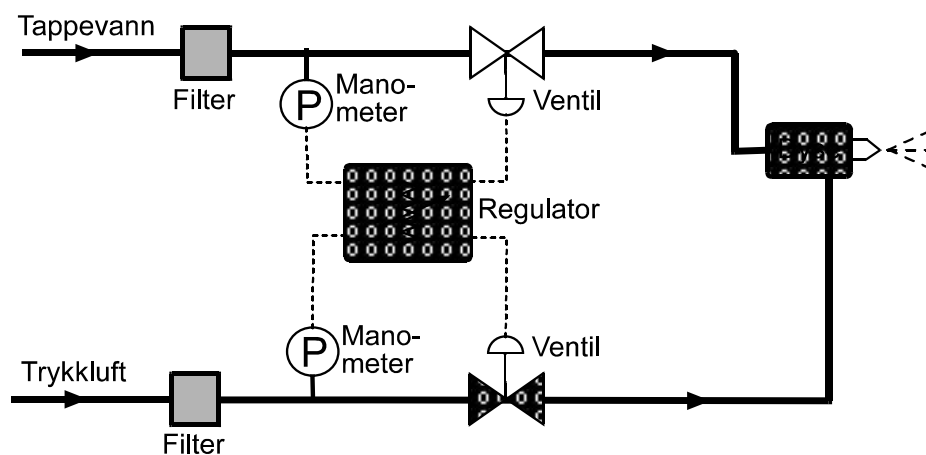
En slik økning av dyseantall og levert vannmengde kan imidlertid medføre problemer, først og fremst med fordampning av alt vannet som føres inn i kammeret. Som nevnt tidligere er det avgjørende for resultatet av både oppvarming og kondisjonering at alt det tilførte vannet fordampes før det treffer trelasten. Dette stiller krav til både forstøvningsgrad i dysene og tilført varmeeffekt i kammeret.

Ved bruk av lavtrykk vann (2-8 bar) oppnås dråpestørrelser ned til $80\text{-}120 \mu\text{m}$. Dråpene, som rives med av luftstrømmen, starter øyeblikkelig å fordampe, og fordampningen foregår mest effektivt rett utenfor dyseåpningen der hastighetsforskjellen mellom luft og vann er størst. Fordampningen fortsetter imidlertid gjennom hele luftbehandlingsrommet, og bør være fullstendig før luftstrømmen bøyes av for å ledes gjennom trelasten. Eventuelle vanndråper som ikke er fordampet, har ellers lett for å bøye av mindre enn luften og dermed avsettes på kammerveggen som vann. Dette er lite ønskelig, både fordi fuktigheten ikke tas opp i luften, og fordi veggen i perioder blir stående konstant våt, med den ekstra belastningen det medfører på tørkebygningen.

For å sikre at vannet fordampes fullstendig i luftstrømmen, er det derfor viktig at varmebatteriene dimensjoneres tilstrekkelig, både med hensyn til effekt og overflate. I tillegg spiller vanndråpenes størrelse en betydelig rolle. Desto mindre dråpestørrelse, desto større eksponert vannoverflate oppnås pr. volumenhet vann. Dette er av stor betydning for basesystemets effektivitet fordi fordampningshastigheten øker eksponensielt med avtakende dråpestørrelse. Problemet som oppstår når dråpestørrelsen reduseres, er imidlertid at dyseåpningen blir mindre, slik at levert vannmengde avtar. Dette gjør at antallet må økes tilsvarende. I tillegg er små dyser mer ømfintlige med hensyn til forurensninger i vannet, og gjengroing av dyser er et vanlig problem, særlig i områder med kalkrikt vann. Dette medfører et økt vedlikeholdsbehov.

Vann/trykkluftdyser

I industrilokaler, lagre og andre oppvarmede/ventilerte rom benyttes det ofte luftbefuktning, og prinsippet for slike anlegg er vanligvis at luft under trykk føres sammen med vannstrømmen gjennom en dyse hvor trykkluffen "knuser" vannstrålen til svært små dråper. Dråpene fordamper i den tørre omgivelsesluften og bidrar til å fukte opp denne. Figur 3.2 viser eksempel på oppsett. Selve blandingen av vann og trykkluft kan også skje på utsiden av dyseåpningen, ved at trykkluffen ledes i en ring inn mot en sentral vannstråle rett utenfor dyseåpningen. Dette systemet er beregnet for mer viskøse væsker enn vann, og gir ikke like fin forstøvning som intern miksing. Ekstern miksing gir imidlertid bedre spredning av sprøytetåken, og det kan være en fordel for å unngå lokal nedkjøling av den omgivende luften. Begge dysetypene kan utstyres med diffusor, som plasseres like foran dyseåpningen. Når vandråpene forlater dysen treffer de diffusoren med stor hastighet og finfordeles ytterligere.



Figur 3.2. Arrangement for basing med vann/trykkluftblanding.
Arrangement for spraying with a mixture of water and compressed air.

Vann/trykkluftdyser er hittil ikke tatt i bruk i trelasttørker, men burde være et utmerket alternativ til vanlige lavtrykks vanddyser. Kapasiteten for slike dyser varierer fra ca. 2 l/h til ca. 600 l/h, med stor variasjon i dråpestørrelsen. Til bruk i trelasttørker vil en kapasitet på 15-20 l/h være aktuell, og det gir en dråpestørrelse i området 5-10 μm . Diameteren på selve dyseåpningen er ikke alene avgjørende for forstøvningsgraden, og slike dyser kan derfor ha relativt stor åpning i forhold til lavtrykks vanddyser. Dette reduserer faren for tilstopping betraktelig. Dysene kan i tillegg leveres med rensenål som mellom hver driftsperiode "stikker opp" åpningen, og dette gjør dem i praksis vedlikeholdsfrie.

Et befuktningsanlegg av denne typen vil kreve en mer komplisert installasjon enn lavtrykks vandbasing. I tillegg til de spesielle dysene, som ligger i en helt annen prisklasse enn vanlige lavtrykksdyser, kreves det tilgang på trykkluft (4-8 bar), enten fra sentralt anlegg eller over egen kompressor. Det kreves også en

regulatorenhet som styrer luft- og vannmengden til dysene. Enheten inneholder nødvendige filtre og ventiler, og kobles direkte til vann og trykkluftaggregat.

Drift- og vedlikeholdsmessig vil vann/trykkluftdyser være tilsvarende eller enklere enn lavtrykks vannbasesystemer. Vedlikeholdet består hovedsakelig i å rense filtre jevnlig, og å kontrollere for tilstoppinger og lekkasjer.

Høytrykks vanddyser

De siste 1-2 årene har det blitt fokusert stadig mer på baseutrustningen og behovet for finforstøvning av vannet. Dette har ført til at flere leverandører i dag kan tilby høytrykks (HT) baseutrustning i sine anlegg, både ved nybygg og ved renovering av eksisterende installasjoner.

Høytrykksbasingen fungerer i prinsipp på samme måte som vanlig lavtrykksbasing, men det innføres en trykkøkingsenhet (pumpe) i kretsen slik at vanntrykket øker til 50-90 bar. Det høye trykket, kombinert med små dyseåpninger, gir god forstøvning av vannet. Dysediameteren blir imidlertid svært liten (<0,3 mm), og dette gjør dysene ømfintlige overfor forurensninger og avkalkninger i vannet.

HT-dysene har en kapasitet i området 8-10 l/h, og dette gjør at dyseantallet må fordobles i forhold til systemene som benytter lavtrykksvann eller vann/luftblanding.

Med standard hulcondyse oppnås det i HT-systemer dråpestørrelser ned til ca. 20 µm, noe mindre med diffusor. Det vil imidlertid være en viss fare for groing på diffusoren ved høyt kalkinnhold i vannet, noe som eventuelt vil avdekkes gjennom praktisk erfaring i de enkelte anlegg. Det knytter seg også en viss usikkerhet til hvorvidt HT-dysene over tid vil forringes på grunn av korrosjon og slitasje, selv om dette hittil ikke har vist seg å være noe problem. Man har imidlertid ikke mer enn 1-2 års erfaring med driften av slike anlegg, og avventer derfor ytterligere resultater før endelige konklusjoner trekkes.

Installasjonsmessig er HT-anlegg mer komplisert enn lavtrykks vannanlegg, i første rekke fordi det kreves en høytrykkpumpe i fordelingskretsen. Pumpens oppgave er å levere tilstrekkelig vannmengde og -trykk til dysene. Det må benyttes korrosjonsbestandige stålrør i alt opplegg etter pumpen (HT-siden), fordi vanlige vannrør i kobber ikke tåler det høye trykket over tid. For å unngå tilstopping av dysene må det også installeres filter i fordelingskretsen, samt utstyr for avkalkning av vannet dersom kalkinnholdet er høyt.

Driften av HT-anlegg krever mer vedlikeholdsressurser enn driften av anlegg med lavtrykksvann eller vann/trykkluftblanding, særlig på grunn av de svært små dysene. Disse må renses ofte for å sikre fullgod forstøvning, og dyseantallet må som nevnt være minst dobbelt så stort som i noen av de to andre systemene.

Fordelen med HT-anlegg er at de gir god forstøvning i forhold til lavtrykks vannbasing, og at de ikke er avhengig av trykkluft til driften. Erfaringen med HT-anlegg ute i industrien viser at man oppnår svært gode resultater når det gjelder oppvarmingstid og -klima og kondisjoneringsklima. Klimaendringene skjer raskt,

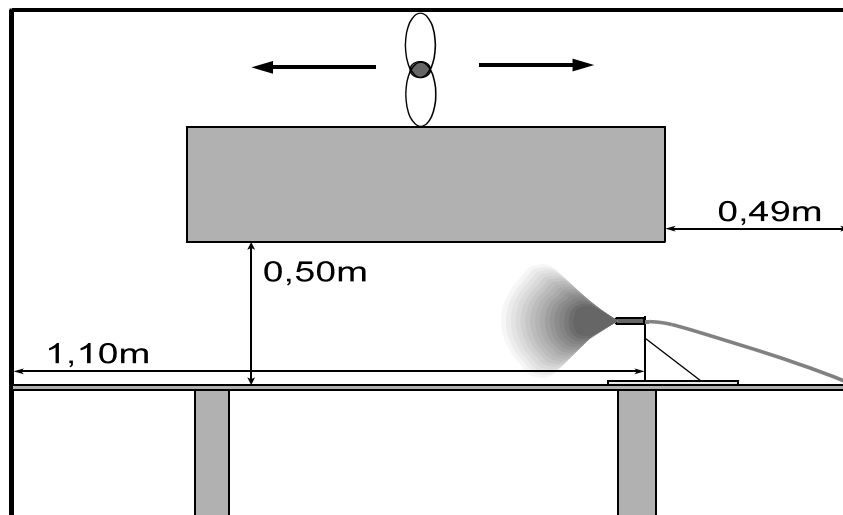
og det er lett å oppnå høye luftfuktigheter. Særlig merkbart blir dette i baseanlegg som ved renovering bygges om fra drift med lavtrykksvann til drift med HT-vann, fordi man da kan sammenligne med tidligere resultater. På grunn av at oppfuktingen av luften skjer så effektivt, viser det seg at oppvarmingstiden mer enn halveres og at kondisjoneringsklima oppnås på ca. $\frac{1}{4}$ av tiden det tok tidligere. I tillegg klarer anleggene å oppnå høyere luftfuktighet i kammeret enn de tidligere installasjonene gjorde. Dette skyldes delvis at HT-basingen gir bedre forstøvning og dermed bedre fordampning av det tilførte vannet, men det skyldes også at den totale basekapasiteten økes ved renoveringen.

For å klarlegge dråpestørrelsens betydning for svevelengden av vannpartiklene før fordampning, ble det høsten '95 kjørt noen innledende forsøk med HT-basing i laboratorietørken ved NTI.

3.3 Forsøk med høytrykks vanddyser

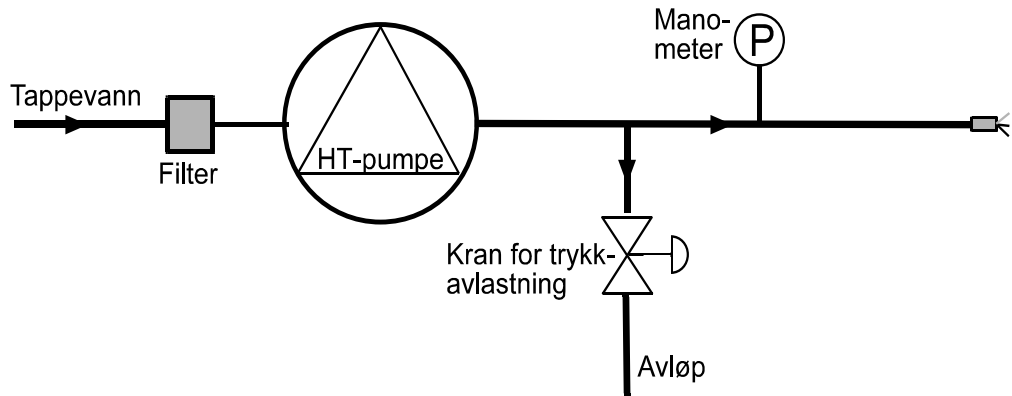
Forsøksopplegget som ble benyttet vises i figur 3.3. Til trykkøkningen ble det benyttet en Kärcher 400 høytrykksspyler. Denne har en levering på 342 l/h og maksimalt trykk på 90 bar. For regulering av trykket ble det benyttet en oppkobling som vist i figur 3.4. Dysen er en standard hulkondyse av type Lechler 212.085, med dyseåpning 0,25 mm.

Under forsøkene ble vifteretningen variert slik at luftstrømmen vekselvis var med- og motstrøms, og det ble også forsøkt med dysen plassert på tvers av luftstrømmen. Trykket ble variert i området 10-95 bar.



Figur 3.3. Arrangementet inne i forsøksstørka på NTI. Kammerdybden er 1,20 m, og strømningsarealet i måleområdet 0,6 m².

Arrangement in the lab kiln at NTI. Chamber depth is 1,20 m, cross sectional air flow in the measuring area 0,6 m².



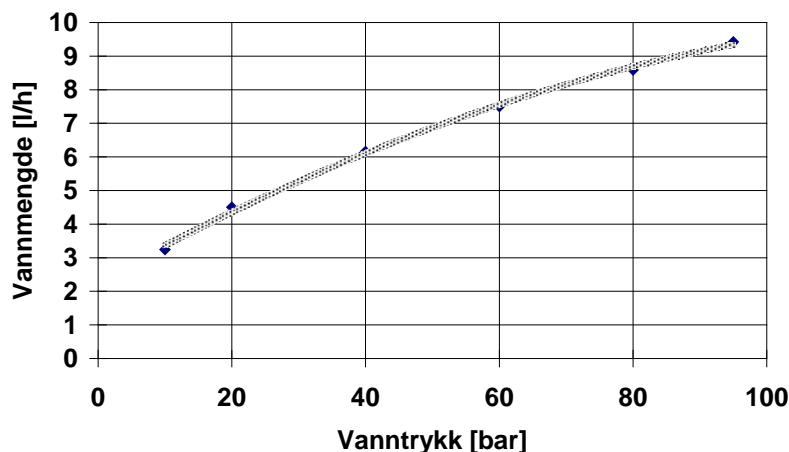
Figur 3.4. Oppkobling av høytrykksanlegg i laboratorietørken ved NTI. Trykkreguleringen skjer ved å variere sidestrømmen som ledes til avløp.
High pressure arrangement in NTI's lab kiln. The pressure control is done by varying the by-pass directed to the drain.

3.3.1 Resultater

Dysens levering som funksjon av trykket

Dysens levering ved ulike trykk ble målt ved at det for hvert trykk ble samlet opp 1 liter vann, og tiden for fylling ble målt. Resultatene vises i figur 3.5.

Som det fremgår av figuren, øker leveringen med økende trykk. En ser imidlertid at raten er avtagende når trykket stiger. Det vil f. eks. si at en trykkøkning på 10 bar fra 15 til 25 bar gir en økning i levering på ca. 1 l/h, mens økning fra 85 til 95 bar kun gir en økning på ca. 0,5 l/h. Dette skyldes at friksjonen i dysen stiger med økende vannhastighet, noe som fører til tapt energi og økt slitasje i pumpen.



Figur 3.5. Levert vannmengde som funksjon av vanntrykket for en standard hulkondyse med dysediameter 0,25 mm (Lechler 212.085).
Delivered water flow as a function of the water pressure in a standard hollow cone nozzle with nozzle diam. 0,25 mm (Lechler 212.085).

Når man vet at dråpestørrelsen går ned ved økende trykk, mens tapene i pumpen samtidig stiger, blir valg av vanntrykk i HT-baseanlegg en optimalisering med hensyn til dråpestørrelser og akseptable tap. I det enkelte anlegg bør derfor trykket reguleres lavest mulig, men likevel så høyt at alt vannet fordampes, også under kondisjoneringen, når temperatur og luftfuktighet i kammeret er på sitt høyeste.

Når det gjelder dyseantallet i et HT-anlegg vil det også være en avveining mellom investerings- og driftsutgifter som avgjør. Mange dyser gir en høyere investering, men reduserer samtidig kostnadene til drift av HT-pumpen, både energi- og slitasjemessig. Færre dyser krever på den annen side mer pumpeenergi, men er billigere i installasjon og vedlikehold. Det viktigste vil imidlertid være å sørge for at leveringen er tilstrekkelig og at dysene gir en god forstøvning.

Svevelengde i tørkeluften

Vannpartiklenes svevelengde i tørkeluften før fordampning ble målt ved at en mattslipt glassplate ble plassert i luftstrømmen. Platen stod i svak vinkel med tørkeluften, slik at forstyrrelsen i luftstrømmen ble minst mulig. Ved å variere avstanden mellom dysen og glassplaten, bestemmes svevelengden som den minste avstanden som ikke fører til væting av glasset. Det mattslipte glasset egner seg godt til formålet fordi fuktige områder trer tydelig frem.

Lufthastigheten under forsøkene ble variert i området 2-4 m/s, og det ble forsøkt både med- og motstrøms dyseretning, samt med dysen på tvers av luftretningen. Temperaturen ble hele tiden holdt på 65 °C, og ved starten av hvert forsøk var våttemperaturen ca. 40 °C.

Med dysen rettet samme vei som luftstrømmen, viste det seg at maksimalavstanden på 110 cm var for liten til at vannet fordampet fullstendig, selv ved oppstart når luftfuktigheten var lavest (ca. 25 %). Vannpartiklene slo øyeblikkelig ned på glassplaten og på veggene i tørka, selv med en vannmengde på 6 l/h (40 bar). Lavere levering ble ikke benyttet fordi det lave trykket ga synlig dårligere forstøvning. Dette gjorde at det ikke lot seg gjøre å måle svevelengder med dysen i medstrøm med luften.

Med dysen i motstrøm var resultatene langt bedre, og svevelengden ble målt til 0,4-0,6 m. Svevelengden holdt seg på dette nivået inntil psykrometerdifferansen var i området 2-3 °C. Etter dette økte svevelengden raskt. Den høye luftfuktigheten gjorde imidlertid at inspeksjonsglasset dugget, og dette, sammen med rask oppfuktning av luften gjorde det vanskelig å bestemme nøyaktig når vanndråpene begynte å dannes på glassplaten. Det er imidlertid åpenbart at motstrøms arrangement gir bedre fordampning og kortere svevelengde enn medstrøms arrangement. Dette skyldes at hastighetsforskjellen mellom luften og vanndråpene blir større, slik at sjiktet med fuktig luft, som ved medstrøms arrangement raskt dannes rundt dråpene, rives opp. Den varme og tørre luften kommer dermed i bedre kontakt med vannoverflaten og forårsaker fordampning. I en viss avstand fra dysene vil luften og vanndråpene ha oppnådd samme hastighet, og da oppstår sjiktet med fuktig luft rundt dråpene og fordampningshastigheten synker betydelig. Dette viser at det er viktig å utnytte effekten av motstrøms arrangement

i basesystemer, særlig i anlegg med liten avstand fra dysene til kammerveggen eller trelasten.

De ble også kjørt forsøk med dysens retning på tvers av luftens strømningsretning. Svevelengden ble da målt til 0,5-0,7 m. Også ved dette forsøket viste det seg at ved en bestemt psykrometerdifferanse økte svevelengden betraktelig.

3.3.2 Diskusjon

Forsøkene med levering fra dysen som funksjon av vanntrykket viser at det i første rekke er to forhold som påvirkes vesentlig ved økende trykk: dråpestørrelsen reduseres og tapene i pumpesystemet øker på grunn av friksjon i rør og dyser. Dette må tas hensyn til ved dimensjonering av HT baseanlegg, og trykket må reguleres til et nivå som gir fullstendig fordampning av vannet før luftstrømmen forlater luftbehandlingsrommet. Antall dyser avpasses etter dette, slik at total levert vannmengde tilfredsstillende kravene til basekapasitet.

På bakgrunn av forsøkene med svevelengder i kondisjoneringsklima for vandrdåper fra HT-basing, kan det konkluderes med at basing med finforstøvet vann gir hurtig fordampning og korte svevelengder. Det viser seg imidlertid at det er svært viktig å oppnå størst mulig hastighetsforskjell mellom vandrdåpene og luftstrømmen, slik at luftstrømmen ved dråpeoverflaten blir turbulent. Den turbulente strømmingen fører til at sjiktet med fuktig luft som vanligvis vil omgi enkeltdråpene rives opp, og vannet eksponeres direkte for den tørre omgivelsesluften. Turbulent strømming oppnås best ved at dysene rettes mot luftstrømmen, men en orientering på tvers av luftstrømmen gir også god blanding av luft og vannpartikler.

4. Kondisjoneringsforsøk i laboratorietørke

I laboratorietørka ved NTI ble det utført seks forsøk i den hensikt å undersøke ulike forhold som har betydning for utførelsen av kondisjoneringsprosessen på trelast i industriell sammenheng.

4.1 Materiale og metoder

Forsøksmaterialet ble hentet ved Løvenskiold-Vækerø AS, Fossum Bruk, og bestod av gran (*Picea abies*) med dimensjonen 50x150 mm. I fire av forsøkene, forsøk 1, 2, 4 og 5, ble forsøksmaterialet tatt ferdig tørket rett ut fra kanaltørken ved bedriften (ikke kondisjonert). Trelasten ble varmet opp igjen ved en likevektsfuktighet (LVF) som omtrent tilsvarte trevirkets middelfuktighet. Deretter ble det etablert et tørkeklima som trelasten ble utsatt for i 1-2 timer. I forsøk 6 ble virket ettertørket i ett døgn i laboratorietørka før kondisjoneringen startet, mens det i forsøk 3 ble tørket fra rå tilstand i laboratorietørka. I tabell 4.1 er det gitt en oversikt over kondisjoneringsforsøkene.

Forsøk nr.	1	2	3	4	5	6
Trefuktighet start [%]	13,8	14,1	8,8	14,2	14,3	10,1
Trefuktighet slutt [%]	14,5	15,2	12,8	15,4	15,5	11,6
Tørr temp. [°C]	70,1	71,8	72,1	70-95	70,8	70,3
Våt temp. [°C]	67,0	69,9	69,9	70-95	68,8	66,1
Likevektsfuktighet (LVF) [%]	15	17	17	22-25	17	13
Δ LVF ¹⁾ [%]	1,2	2,9	8,2	8-10	2,7	2,9
Antall prøveplanker	5	4	4	3	4	4
Basemedium	Damp	Damp	Damp	Damp	Damp	Vann

¹⁾ Δ LVF=LVF-Gjn.sn. trefuktighet start

Tabell 4.1. Oversikt over kondisjoneringsforsøkene.
Outline of the conditioning tests.

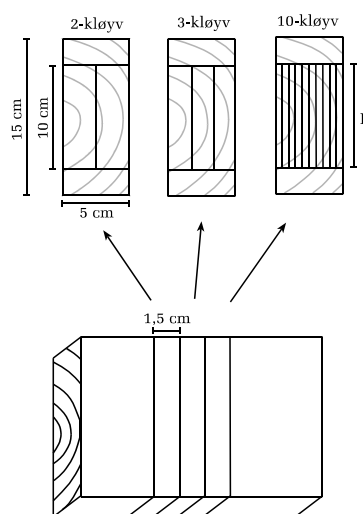
Oppgitte temperaturer er basert på målte verdier i visse intervaller (minst hver halve time) under kondisjoneringsforløpet. I forsøk 1, 2, 3, 5 og 6 ble det holdt et stabilt temperaturnivå under kondisjoneringsfasen, men det forekom visse svingninger rundt gjennomsnittet. I forsøk 4 ble det tilført mettete vanndamp ved 100 °C, samtidig som det ikke forekom ventilering av lufta i tørka. All varmeoverføringen foregår da via vanndampen. Temperaturen fikk lov til å stige opp til 95 °C før forsøket ble avsluttet. Den relative luftfuktigheten var tilnærmet

100 % under denne perioden. I forsøk 1,2,3 og 5 ble det benyttet damp fra ekstern dampkjele til basingen, mens det ble baset med lavtrykksvann i forsøk 6.

Likevektsfuktigheten, LVF, er gitt ut fra gjennomsnittlig psykrometerdifferanse under kondisjoneringsfasen. Det er imidlertid vanskelig å bestemme likevektsfuktigheten helt eksakt, slik at verdiene i tabellen må betraktes som et omtrentlig nivå. Tabellene i Esping (1992), som er basert på Keylwerth-målinger, ligger til grunn for bestemmelse av LVF. Differansen mellom LVF og gjennomsnittlig trefuktighet i starten av kondisjoneringsfasen er oppgitt som ΔLVF . Det forventes at en høy verdi for ΔLVF gir en bedre kondisjonerings effekt enn en lav verdi.

All den tid beregningen av ΔLVF for hvert forsøk er basert på prøveplankenes gjennomsnittlige trefuktighet i starten av kondisjoneringsfasen, vil ΔLVF være høyere for noen planker, og lavere for andre planker, enn det middelverdien i tabell 4.1 viser. Ved å se på fuktighetsinnholdet på enkeltplanker, går det imidlertid fram at samtlige planker i alle forsøk har en positiv ΔLVF . I forsøk 1 finner en imidlertid den laveste verdien for en enkeltplanke med en ΔLVF på 0,5 %.

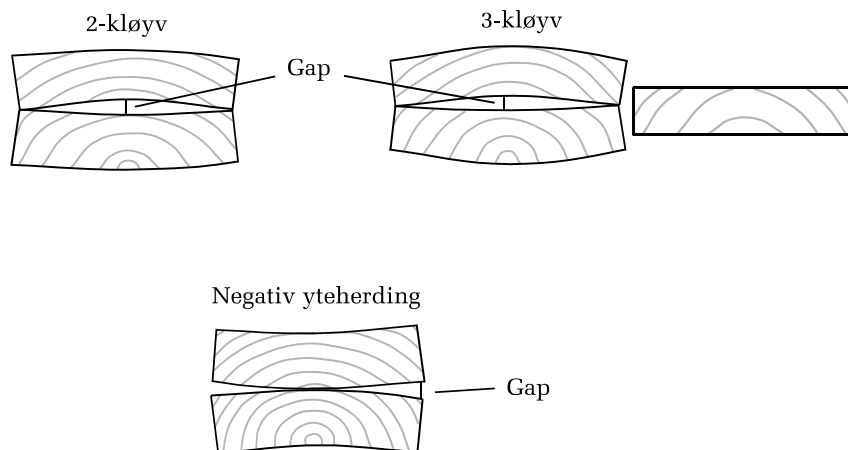
Plankene ble kappet i lengder på 1,2 m og endeforseglet med silikon. 3-5 planker ble valgt ut for prøvetaking i hvert forsøk. Rett før kondisjoneringsstart, under kondisjoneringsperioden og ved kondisjonerings avslutning ble det tatt prøver av disse utvalgte plankene, slik at grad av yteherding, fuktighetsgradient og fuktighetsnivå kunne bestemmes. Dette foregikk ved at det ble kappet en seksjon på ca. 15 cm fra prøveplankene i visse tidsintervaller. Deretter ble prøveplankene for hver gang endeforseglet med silikon og lagt inn igjen i tørkekammeret. Hver avkappet seksjon ble delt opp i tre lameller som ble benyttet til 2-, 3- og 10-kløyvprøver (2-, 3- og 5-kløyvprøver i forsøk 1). Prosedyren for dette er vist i figur 4.1.



Figur 4.1. Prosedyre for uttak av kløyvprøver.
Procedure for selection of slicing test samples.

Alle lamellene ble veid umiddelbart etter oppdeling. Deretter ble de fuktighetsutjevnet i minimum to døgn i et klima som tilsvarer 12 % likevektsfuktighet (relativ luftfuktighet på 65 % og temperatur på 12 °C).

Etter utjevningsperioden ble gapet mellom lamellene, som gir uttrykk for spenningsnivået i trelasten, målt i henhold til figur 4.2. I mangel av standardisert metode, er negativ yteherding definert som figuren viser.



*Figur 4.2. Prinsippskisse for måling av gapet som gir uttrykk for grad av yteherding.
Principle drawing for gap measuring expressing the degree of casehardening.*

I forsøk 4, 5 og 6 ble lengden (avstanden L i figur 4.1.) av hver 10-kløyvlamell målt etter utjevningsperioden.

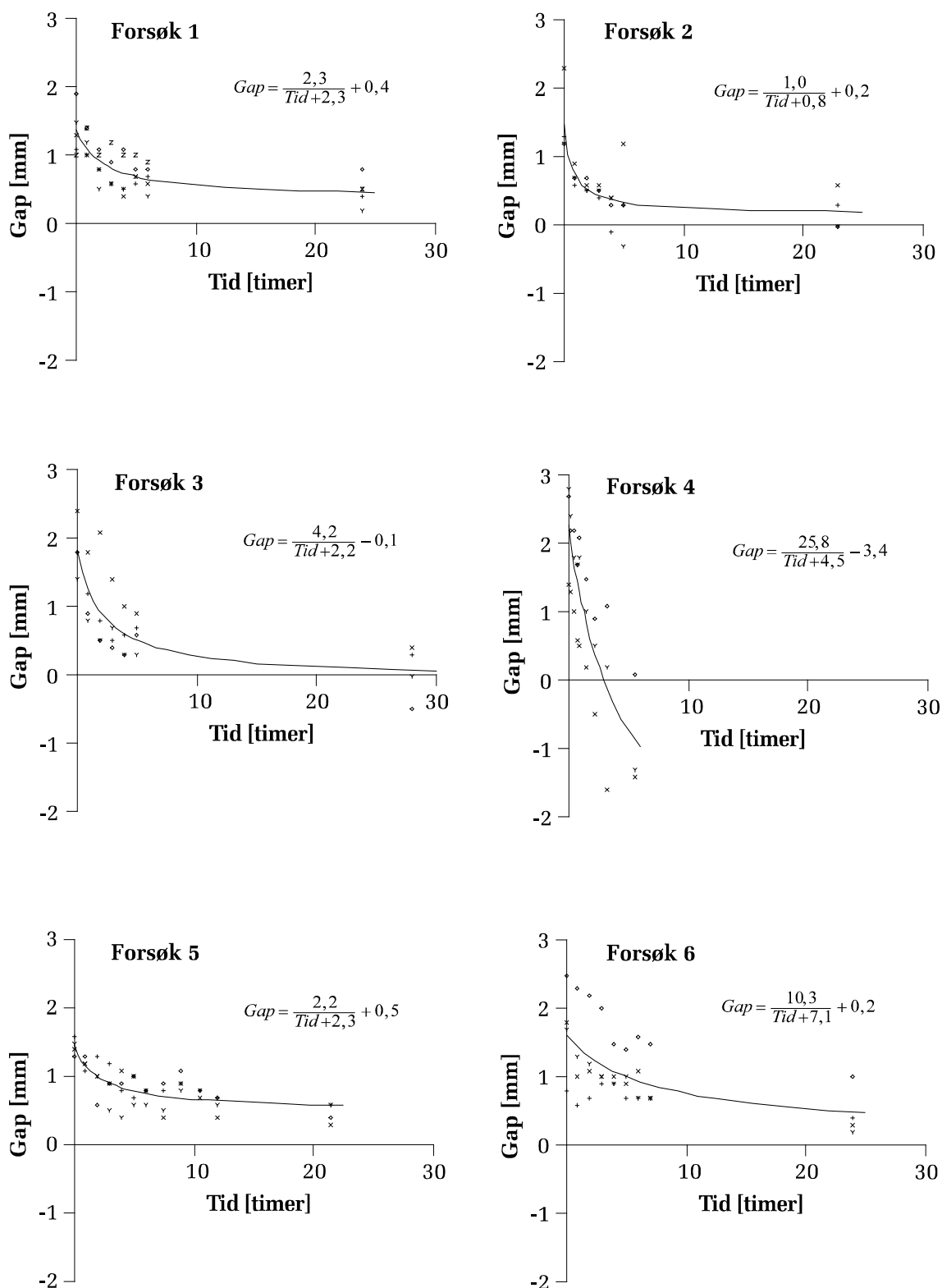
For å kunne beregne fuktighetsinnholdet i prøvene, ble alle lamellene tørket ned til null prosent trefuktighet i tørkeskap ved 103 °C og deretter veid.

10-kløyvlamellene er i det følgende nummerert fra 1 til 10 fra margside til yteside.

4.2 Resultater

4.2.1 Spenningsutjevning

I diagrammene i figur 4.3 er sammenhengene mellom målt gap og tidsforløp framstilt for hvert forsøk.



Figur 4.3. Sammenhengen mellom gap og kondisjoneringstid for hvert forsøk (2-kløyvprøver).

The relation between gap and conditioning time for each test (2-slicing test samples).

I figur 4.3 er det inntegnet en kurve for den oppgitte modellen sammen med enkeltobservasjonene (i hvert forsøk er enkeltobservasjonene inntegnet med forskjellig tegn for hver planke). Kurvene er modellert ut fra sammenhengen:

$$Gap = \frac{a}{Tid + b} + c$$

a, b og c er parametre som er tilpasset hver måleserie. Lineære regresjoner mellom beregnede verdier ut fra modellene og målte verdier, viser verdier for r^2 på henholdsvis 0,60, 0,63, 0,62, 0,68 0,61 og 0,33 for forsøk 1-6.

Av figur 4.3 går det fram at trenden i forsøk 4 skiller seg ut. Her går verdiene for gap raskt mot null etter noen timer, og blir etterhvert negative. Etter 5,7 timer er det bare én av tre enkeltobservasjoner som fremdeles har positiv verdi for gap, og denne verdien ligger nær null. Felles for de fem andre forsøkene er at gjennomsnittlig gap synker raskt i starten, men flater ut når det kommer under 1 mm. Av disse er det bare i forsøk 2 og 3 at det er enkeltobservasjoner med negative verdier for gap. Trenden er imidlertid at kurvene nærmer seg nullpunktet for gap. Dette gjelder spesielt for forsøk 2 og 3.

For hvert forsøk er det beregnet en kondisjoneringseffekt (mm redusert gap pr. time) på følgende måte:

$$Kondisjoneringseffekt = \frac{Gap\ 1 - Gap\ 2}{Tid}$$

For alle forsøkene ble tiden som skal til for å redusere gapet fra 1,4 mm ("Gap 1") til 0,7 mm ("Gap 2") beregnet ut fra formlene i figur 4.3. Dette intervallet er valgt fordi alle kurvene i figur 4.3 gjennomgår disse verdiene. I tabell 4.2 er den beregnede kondisjoneringseffekten for det nevnte intervallet satt opp for hvert forsøk.

Forsøk nr.	1	2	3	4	5	6
Kondisjoneringseffekt [mm/time]	0,13	0,60	0,29	0,76	0,08	0,06

*Tabell 4.2. Kondisjoneringseffekt for de ulike forsøkene.
Conditioning effect for the various tests.*

Av tabellen går det fram at kondisjoneringseffekten er størst for forsøk 4. Forsøk 2 viser en overraskende høy kondisjoneringseffekt på bakgrunn av at ΔLVF i dette forsøket var omtrent den samme som i forsøk 5 og 6, og mye lavere enn i forsøk 3, samtidig som temperaturnivået er tilsvarende det en finner i de andre forsøkene, bortsett fra forsøk 4. Av diagrammet for forsøk 2 i figur 4.3 går det fram at spredningen mellom måleseriene omkring 5 timer er stor, noe som påvirker kurveforløpet og dermed beregnet verdi for kondisjoneringseffekt. Årsakene til denne plutselige økningen i spredningen er usikker, men kan skyldes uheldige prøveuttak (f.eks. ekstraordinær fiberhelling).

Temperatur og ΔLVF står sentralt når variasjoner i kondisjoneringseffekt skal forklares (kondisjoneringseffekten er definert tidligere i kapitlet). Forsøkene som ble gjort i dette prosjektet, er en start på arbeidet med å beskrive hvordan kondisjoneringseffekten påvirkes av disse to faktorene. Temperaturnivået ble imidlertid holdt nokså konstant fra forsøk til forsøk, slik at en ikke har erfaringsmaterieell til å trekke temperaturen inn som en forklarende variabel i en statistisk analyse. Forsøk 4 kan ikke regnes med i denne sammenhengen fordi her varierte temperaturen under forsøkets gang. Derfor står en igjen med ΔLVF som den eneste forklarende variabelen for kondisjoneringseffekten i disse forsøkene. Med utgangspunkt i alle plankene som inngikk i forsøk 1, 2, 3, 5 og 6, er det derfor valgt å beregne en lineær regresjon som viser hvor mye av variasjonen i kondisjoneringseffekt som ΔLVF forklarer. Den lineære regresjonen mellom kondisjoneringseffekt [mm/time] og ΔLVF [%] er vist nedenfor. Her er det de fem første timene av kondisjoneringsprosessen som er lagt til grunn. Det vil si at "Gap 1" tilsvarer gapet før kondisjoneringsperioden startet, mens "Gap 2" tilsvarer gapet etter fem timers kondisjonering. Det er i denne perioden at kondisjoneringseffekten er størst.

$$\text{Kondisjoneringseffekt} = 0,12 + (0,01 \cdot \Delta LVF)$$

$$r^2 = 0,19 \quad \text{Prob} > F = 0,0468$$

Forklaringsgraden er ikke spesielt høy, selv om sammenhengen er signifikant på 5 % nivå. Denne formelen må ikke betraktes som et forsøk på å lage en fullstendig modell som beskriver kondisjoneringseffekten. Den må ses på som en sammenheng som ut fra forsøkene viser hvor stor andel av variasjonen i kondisjoneringseffekt som kan forklares av variasjon i ΔLVF . All den tid forklaringsgraden er lav, er det naturlig i videre forsøk og analyser å trekke inn andre variabler som kan bidra til en bedre forklaring. Her står temperaturen sentralt.

4.2.2 Fuktighetsopptak

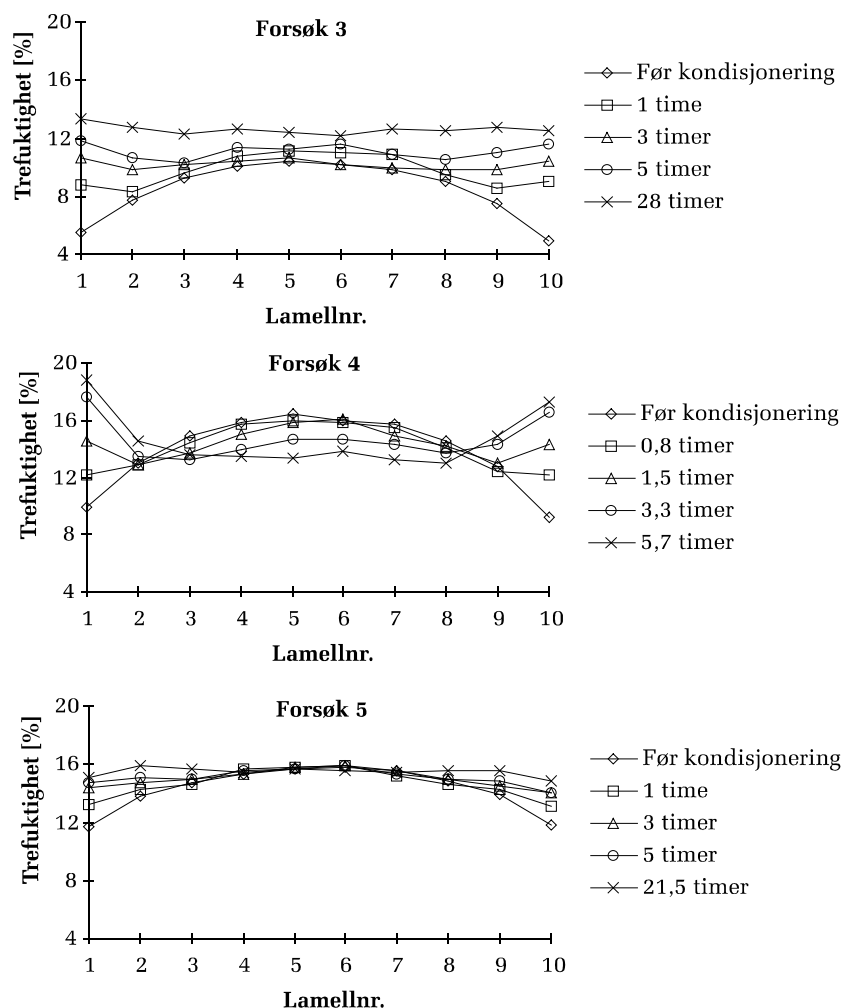
Under kondisjoneringsfasen er det fuktighetsopptaket i det ytre sjiktet av planken som står sentralt. I figur 4.4 er fuktighetsutviklingen i 10-kløyvlamellene framstilt. Det er valgt å skissere opp forløpet for forsøk 3, 4 og 5. I forsøk 1 ble det ikke tatt slike målinger, mens forsøksbetingelsene, og fuktighetsutviklingen, i forsøk 2 og 6 tilsvarte omtrent det som var tilfelle for forsøk 5.

Forsøk 3 og 5 har foregått ved henholdsvis høy og lav ΔLVF ved ca. 70 °C, mens forsøk 4 har foregått ved både høy ΔLVF og stigende temperatur fra 70 °C til 95 °C (tabell 4.1).

I figur 4.4 er det gjennomsnittlige verdier for observasjonene i hvert forsøk som er lagt til grunn. Enkeltobservasjonene vil vise en viss spredning rundt disse gjennomsnittsverdiene.

Fuktighetsopptaket i den ytterste lamellen er absolutt størst pr. tidsenhet i forsøk 4. Likeledes er fuktighetsopptaket større i forsøk 3 enn i forsøk 5.

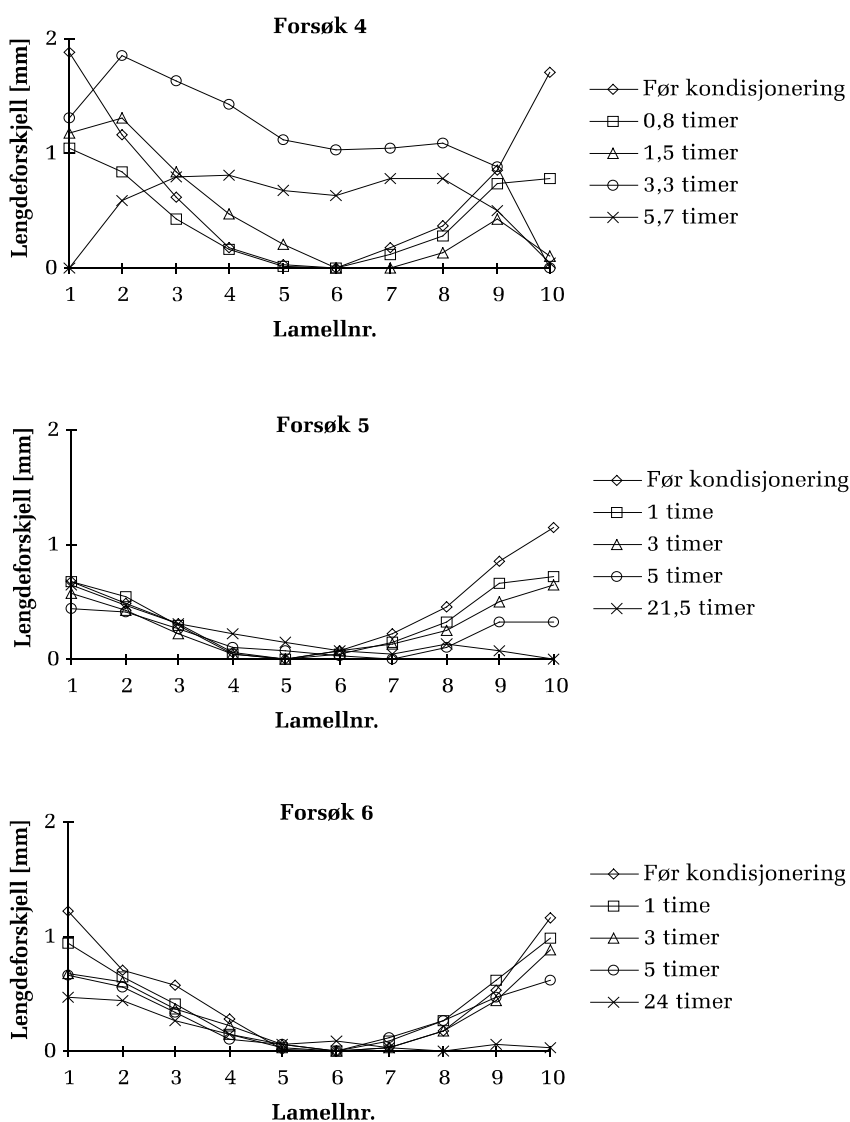
I forsøk 3 har fuktighetsnivået i hele tverrsnittet hevet seg, og gjennomsnittlig trefuktighet har steget med 4,0 % på 28 timer, samtidig som fuktighetsprofilen har blitt nokså flat. Utviklingen i forsøk 4 har vært annerledes. Her har fuktigheten sunket i midten av tverrsnittet mens den har steget mye i den ytterste lamellen på hver side. Gjennomsnittlig trefuktighet har steget med 1,2 %. Fuktighetsprofilen har blitt nokså flat i midten av tverrsnittet, men viser en markant økning ut mot overflatene. At utviklingen av fuktighetsprofilen i midten av tverrsnittet har vært såvidt forskjellig i disse to forsøkene, må nok for en stor del tilskrives lengdevise variasjoner i trefuktighet i plankene. Som tidligere nevnt ble det for hvert måletidspunkt kappet av en bit av prøveplankene, og dermed er utviklingstrendene med hensyn til tid sårbare for lengdevise variasjoner i plankene. I forsøk 5 har fuktigheten i midten holdt seg tilnærmet konstant, mens det ytre sjiktet har tatt opp fuktighet, slik at fuktighetsprofilen etter 21,5 timer er nokså flat. Her har gjennomsnittlig trefuktighet steget med 1,2 %.



*Figur 4.4. Fuktighetsutviklingen i 10-kløyvlamellene under kondisjoneringsprosessen (gjennomsnittlige verdier for hvert forsøk).
Moisture development in the 10-sliced lamellae during the conditioning process (mean values for each test).*

4.2.3 Lengder – 10-kløyvvlameller

Figur 4.5 viser utviklingen i lengdeforskjell mellom 10-kløyvvlamellene under kondisjoneringsprosessen for forsøk 4, 5 og 6. Målingene er basert på gjennomsnittlige verdier for hvert forsøk.



Figur 4.5. Utviklingen i lengdeforskjell mellom 10-kløyvvlamellene (gjennomsnittlige verdier for hvert forsøk, etter fuktighetsutjevning).
The development in length variation between the 10-sliced lamellae (mean values for each test after moisture equalizing).

Før kondisjoneringsfasen starter, er lamellene kortest i midten av tverrsnittet, og blir lenger ut mot margside (lamell nr. 1) og yteside (lamell nr. 10). Dette kjennetegner yteherdet trelast. Etter hvert som kondisjoneringsfasen skrider frem, blir de ytre lamellene presset sammen igjen, og lengdeforskjellen mellom ytre og indre lameller avtar. Målet med kondisjoneringsfasen er at det ytre sjiktet skal presses sammen igjen slik at det passer sammen med det indre av plankene. Ut fra dette vil det beste være at lengdeforskjellen mellom lamellene er minst mulig etter at kondisjoneringsfasen er over.

Utviklingen har vært forskjellig i forsøk 4 i forhold til forsøk 5 og 6. Av figur 4.5 går det fram at i forsøk 4 har de ytterste lamellene blitt presset så mye sammen under kondisjoneringsfasen at de er betydelig kortere enn de indre lamellene etter at de er fuktighetsutjevnet. Dette kjennetegner materiale som er negativt yteherdet. I de to andre forsøkene har det bare foregått en utflating av lengdeforskjellene. En ser også at utviklingen har gått mye raskere i forsøk 4 enn i de to andre forsøkene.

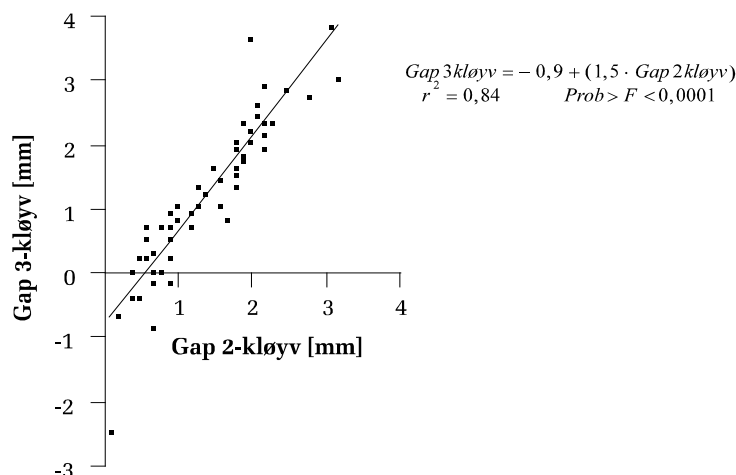
Det skal bemerkes at prøvene ble delt opp i lameller med lengden L i henhold til figur 4.1 mens det fortsatt var fuktighetsgradient i trelasten, jfr. figur 4.4. Lengden på lamellene ble målt etter en periode med fuktighetsutjevning (12 % likevektsfuktighet). Dette betyr at den ovenfor viste lengdeforskjellen ikke bare har sitt opphav i plastiske deformasjoner i trelastens tverrsnitt. I tillegg kommer en eventuell effekt av ulikt krympings- og svellingspotensial i hver lamell. Det er vanskelig å anslå størrelsesordenen på denne effekten. To forhold må legges til grunn. Det ene er årringenes orientering i lamellene. Krympingspotensialet i lamellenes lengderetning øker fra margside til yteside i tverrsnittet. Det andre forholdet er at ved å korte tverrsnittet ned til breddedimensjonen L (jfr. figur 4.1) mens det ennå er en fuktighetsgradient, vil en kunne ta vekk noe mer vedsubstans i områder med høy fuktighet i forhold til i områder med lav fuktighet. Denne effekten behøver ikke være så stor all den tid vedstrukturen i ett område av tverrsnittet vil være delvis låst av trestrukturen omkring.

På tross av at det knytter seg visse usikkerhetsmomenter til disse lengdemålingene, gir de en indikasjon på den plastiske deformasjonen som foregår i trelastens tverrsnitt under kondisjoneringsprosessen.

4.2.4 Sammenligning mellom 2- og 3-kløyvprøver

Ved å trekke ut én tilfeldig observasjon fra hver planke fordelt på ulike faser i kondisjoneringsprosessen, og utføre en lineær regresjon mellom målt gap på 2- og 3-kløyvprøvene, blir sammenhengen som vist i figur 4.6. Her er det også tatt med 30 observasjoner fra prøvetaking ved Bruvoll Sag og Høvleri A/L.

Gap 2-kløyv er lik gap 3-kløyv for en verdi på 1,8 mm. For høyere verdier gir 3-kløyvprøvene et større gap enn 2-kløyvprøvene, mens for lavere positive verdier gir 3-kløyvprøvene et mindre gap enn 2-kløyvprøvene. I en del tilfeller gir 3-kløyvprøvene et betydelig negativt utslag, mens 2-kløyvprøvene fortsatt gir et positivt utslag.

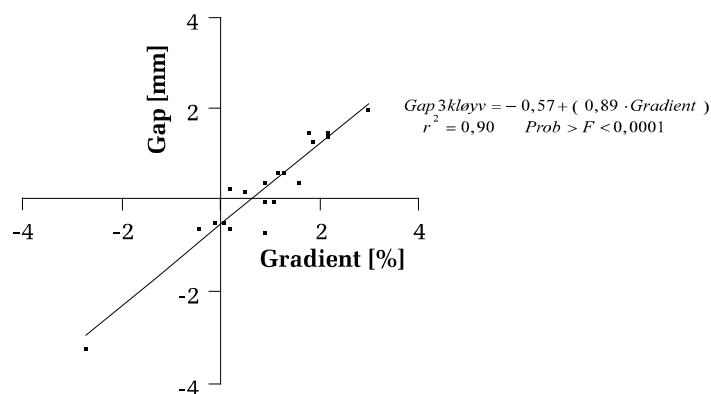


Figur 4.6. Sammenhengen mellom målt gap på 2- og 3-kløyvprøvene, lineær regresjon sammen med enkeltobservasjonene.

The relation between measured gap on 2- and 3-slicing test samples, linear regression together with the individual observations.

4.2.5 Sammenhengen mellom gap og fuktighetsgradient

Sammenhengen mellom gap på 3-kløyvprøvene og fuktighetsgradienten i trelasten under kondisjoneringsprosessen er vist i figur 4.7. Den lineære regresjonen er basert på at det tilfeldig ble trukket ut én observasjon fra hver planke, fordelt på ulike faser i kondisjoneringsprosessen. Fuktighetsgradienten er basert på fuktighetsinnholdet i 3-kløyvlamellene, og er beregnet som fuktigheten i midterste lamell minus den gjennomsnittlige fuktigheten til de to ytre lamellene. Fuktighetsmålingene ble foretatt umiddelbart etter at prøvene var tatt ut fra forsøksstørka, slik at de representerer den fuktigheten som er i trelasten under kondisjoneringsprosessen.



Figur 4.7. Sammenhengen mellom gap på 3-kløyvprøvene og fuktighetsgradient, lineær regresjon sammen med enkeltobservasjonene.

The relation between the gap on the 3-slicing tests and the moisture gradient, linear regression together with the individual observations.

En ser av figuren at sammenhengen mellom fuktighetsgradient og gap på 3-kløyvprøvene beskrives svært godt av en lineær sammenheng.

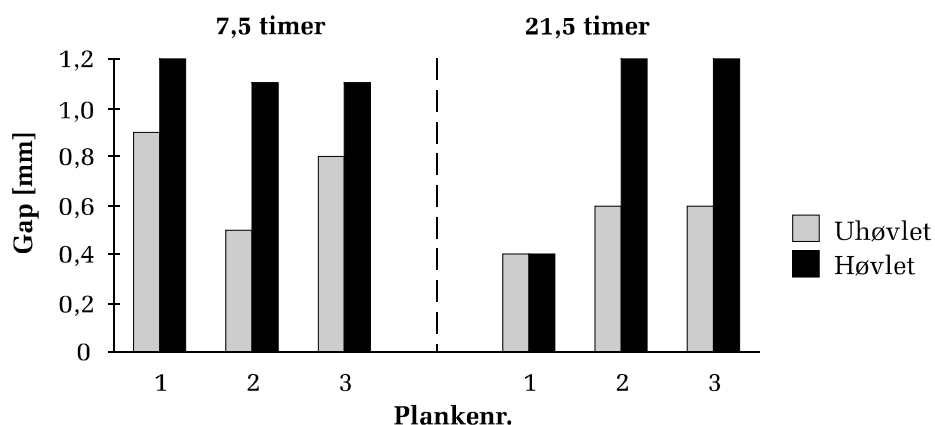
Denne sammenhengen kan utnyttes for videreutvikling av systemer som gjør en i stand til å styre tørkeprosessen til ønsket spenningstilstand, noe som er svært viktig, i og med at det er foreslått tre spenningsklasser i forslag til europeisk standard.

Praktisk kan denne spenningsstyringen skje på to måter, hvorav den første er mest aktuell:

- Kontinuerlig registrering av gradienten ved hjelp av elektrisk motstandsmåling, og derved spenningen, under kondisjoneringsperioden. Tørkingen avsluttes ved en gradient som tilsvarer ønsket spenning.
- Registrering av gradienten og derved spenningen ved endt tørkefase, og deretter innstilling av kondisjoneringstid etter erfaring for å oppnå en ønsket spenningstilstand.

4.2.6 Effekt av høvling

I forsøk 5 ble det målt gap på høvlede og uhøvlede parvise prøver fra tre planker sammenlignet ved to ulike tidspunkter under kondisjoneringsprosessen. Det er 2-kløyvprøvene som ligger til grunn. Høvlingen foregikk rett etter at prøvene var tatt ut fra tørka, altså før utjevningsperioden. Det ble høvlet vekk et ca. 2 mm tykt sjikt på hver side av planken. Resultatene er framstilt i figur 4.8.



Figur 4.8. Sammenligning av målt gap for høvlede og uhøvlede prøver.
Comparison of measured gap for planed and rough samples.

En ser at i fem av seks tilfeller viser de høvlede prøvene større verdier for gap enn de uhøvlede. I det sjette tilfellet er verdien for høvlet og uhøvlet prøve den samme. Ved 7,5 timer er gapet på de uhøvlede prøvene signifikant mindre enn for

de høvlede ($t=4,0$, $\text{Prob}>t=0,0286$, $DF=2$). Forskjellen er ikke signifikant ved 21,5 timer. Disse analysene er imidlertid basert på svært få observasjoner.

4.3 Diskusjon

Ved å studere den tidsmessige utviklingen av målt gap, fuktighetsopptak og 10-kløyvlamellenes lengdevariasjoner, ser en god sammenheng mellom de ulike mekanismene. Fuktighetsopptaket i det ytre sjiktet fører til et svellingstrykk i trestrukturen, som dermed presses sammen. Dette ser en klart ut fra lengdemålingene på 10-kløyvlamellene. At trestrukturen i det ytre sjiktet presses sammen, fører til at gapet på yteherdingsprøvene blir mindre, og i en del tilfeller går over til å bli negativt.

Utviklingen både når det gjelder fuktighetsopptak i de ytterste lamellene og gap har gått raskest i forsøk 4. De andre fem forsøkene viser en mer likeartet utvikling.

Når det gjelder målt gap, som gir et uttrykk for grad av yteherding, går verdiene raskt mot null og oppnår betydelige negative verdier for to av tre planker i forsøk 4. Det er viktig å være klar over at “negativ yteherding” er like uheldig som “positiv yteherding”. Dette betyr at det er svært viktig å kunne styre kondisjoneringsfasen, slik at en oppnår ønsket kondisjonerings effekt. I forsøk 4 er det kritisk med hensyn til å avbryte kondisjoneringsfasen til rett tidspunkt. 1-2 timer for lang kondisjoneringsperiode fører til en betydelig negativ yteherding. I de andre fem forsøkene er det ikke så kritisk med hensyn til faren for å få overkondisjonering og dermed negativ yteherding. Her flater kurvene mer ut for verdier under 1 mm, og nærmer seg etter hvert null.

Kondisjonerings effekten er størst i forsøk 4. Forslaget til ny felleseuropeisk standard for tørkekvalitet (EDG – Assessment of Drying Quality of Timber, Pilot edition, 22.10.1994) sier at i den beste kvalitetsklassen, E (Eksklusiv), må 90 % av observasjonene ha gap mindre enn, eller lik, 1 mm. Her må kravet på 1 mm tolkes som en absoluttverdi, slik at det innebærer verdier i intervallet [-1 mm, 1 mm]. Ved å studere kurvene i fig. 4.3 ser en at tiden som skal til for å komme under 1 mm ikke er så veldig forskjellig i forsøk 4 i forhold til de andre forsøkene.

Målet med kondisjoneringsprosessen er å fjerne de skadelige spenningene som er forårsaket av yteherding effekten. En kløyvetest basert på å dele tverrsnittet i to eller tre lameller, vil gi svar på om trelasten har iboende spenninger som fører til uheldige deformasjoner ved en splitting av planken i henholdsvis to eller tre bord. Sammenligningen mellom gap for 2- og 3-kløyvprøvene ga en sammenheng med høy signifikanssannsynlighet og forklaringsgrad. Dette innebærer at ved å utføre 2-kløyvtesten, kan en med stor sannsynlighet si hvordan resultatet ville ha vært dersom en hadde utført 3-kløyvtesten, og omvendt. All den tid sammenhengen mellom disse to testene er så god, har det liten betydning hvilken som velges for å undersøke spenningsforholdene i trevirket. Det er imidlertid viktig å være klar over at testene gir forskjeller i verdier for målt gap, og at dette må legges til grunn ved tolkningen av resultatene. I forsøkene ble det funnet at gap for 2-kløyvtesten er lik gap for 3-kløyvtesten for en verdi på 1,8 mm. For høyere verdier gir

3-kløyvprøvene et større gap enn 2-kløyvprøvene, mens for lavere positive verdier gir 3-kløyvprøvene et mindre gap enn 2-kløyvprøvene. Forhold som taler til 2-kløyvtestens fordel er at den er enklere i praktisk bruk enn 3-kløyvtesten. På den annen side kan 3-kløyvtesten gi informasjon om fuktighetsgradienten i planken i tillegg til spenningsnivået.

Spørsmålet en må stille, er om en kløyvetest basert på en oppdeling i få, men fast antall lameller uansett trelastprodukt, er en fullgod metode for å fastlegge yteherdingsnivået i trelasten. Det beste hadde vært å hatt en prøvemethode som avdekket spenningsfordelingen gjennom hele tverrsnittet. Dette kan oppnås ved å dele tverrsnittet opp i flere lameller enn to og tre, f.eks i ti lameller. I praktisk bruk betyr dette imidlertid betydelig mer arbeid. Derfor er denne metoden først og fremst aktuell i grundigere analysearbeid der en ønsker å avdekke spenningsfordelingen i hele tverrsnittet. Et annet alternativ er at kløyvetesten ble tilpasset hvert trelastprodukt, slik at det gjennomføres en 2-kløyvtest på trelast som skal splittes i to, en 3-kløyvtest på trelast som skal splittes i tre osv.

På grunn av at en for hvert måletidspunkt må kappe en ny bit av hver prøveplanke, vil de gitte framstillingene av den tidsmessige utviklingen av ulike forhold være beheftet med en viss variasjon, avhengig av variasjoner i trevirkets beskaffenhet i plankenes lengderetning. Dette gjelder generelt for alle analysene.

Det skal også bemerkes at når det i dette kapitlet snakkes om kondisjoneringens avslutning, menes det når kondisjoneringsfasen er ferdig og klimaet i tørka går over i en avkjølingsfase. Det er viktig å kontrollere klimaet også i avkjølingsfasen slik at det f. eks. ikke blir for tørt, og en ny yteherdingsprosess inntreer.

5. Kondisjoneringsforsøk i industritørke

I løpet av sommeren og høsten '95 ble tilsammen 10 tørkeomganger ved Bruvoll Sag og Høvleri A/L på Øyer fulgt opp med hensyn til kvalitet på det ferdig tørkede virket. Hensikten var å kartlegge effekten av basing med høytrykksvann, som ble installert i kammer nummer 4 våren '95.

5.1 Beskrivelse av anlegget

Tørkeanlegget ved Bruvoll Sag A/L ble igangkjørt høsten 1994, etter at en storbrann tidligere på året totalskadet tørkene. Anlegget består av åtte kamre, som samtlige er nybygget fra grunnen. Styresystem og øvrig utrustning er levert av Alfsen og Gunderson AS.

Kamrene er alle av gjennomkjøringstypen, og i ett av dem ble et prototypeanlegg for basing med høytrykksvann installert. Dette består av høytrykkspumpe, filtre og tilsammen 40 dyser, 20 i hver retning. Alle rør og koblinger er utført i korrosjonsbestandige stålrør, og arbeidstrykket for baseanlegget ligger i området 50-70 bar.

De to settene med dyser er plassert på hver sin side av sirkulasjonsviftene, og kun ett sett benyttes av gangen. De dysene som til enhver tid benyttes, er de som ligger lengst vekk fra trelasten, avhengig av blåseretning. Dysene er da rettet med luftstrømmen. Total kapasitet på basingen er ca. fire ganger større enn kapasiteten i hvert av de øvrige kamrene, men i praksis benyttes kun halvparten av kapasiteten, altså det dobbelte av det som benyttes i de øvrige kamrene.

Et eksempel på tørkeskjema fra kammeret med høytrykksbasing er vist i figur 5.1, hvor det også er vist et typisk tørkeskjema fra et anlegg med lavtrykks vannbasing.

(a)

(b)

Figur 5.1 Eksempel på tørkeskjema ved bruk av høytrykks vannbasing (a), og ved bruk av tradisjonell lavtrykks vannbasing (b).

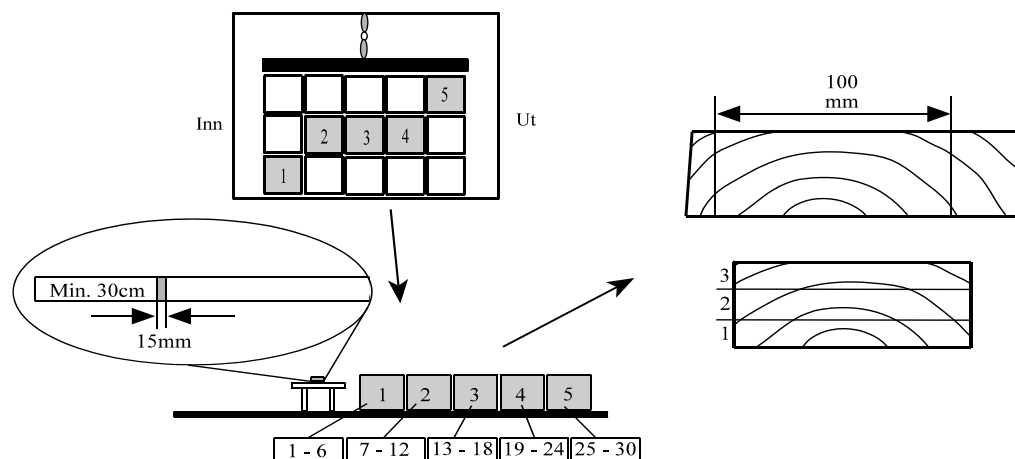
An example of the drying schedule during high pressure spraying (a) and during traditional low pressure spraying (b).

Det er verdt å merke seg at oppvarmingstiden i anlegget med høytrykksbasing er ca. 3 timer, mens den i det andre anlegget er ca. 11 timer. Man ser også av figuren at i det eldre anlegget måtte temperaturhevingen flere ganger bremses for å "hente inn" våttemperaturen. En får dermed ikke full utnyttelse av effekten i varmeanlegget ved oppvarmingen. I anlegget med høytrykksbasing steg derimot temperaturen direkte, uten noen avbrudd for å vente på at våttemperaturen stiger.

Også kondisjoneringsfasen påvirkes positivt av høytrykksbasingen. Som det fremgår av figuren, oppnås et kondisjoneringsklima med psykrometerdifferanse 2,5 °C i løpet av ca. 2 timer når høytrykksbasingen benyttes. I det andre tilfellet oppnås kun en psykrometerdifferanse på ca. 8 °C, og det tar over 4 timer å etablere klimaet. Temperaturnivået i de to eksemplene er omtrent det samme.

5.2 Materiale og metoder

Forsøksmaterialet ble tatt ut av den ordinære produksjonen ved trelastbruket, og det var ansatte ved bedriften som stod for uttak av prøvene. Prøvene ble tatt umiddelbart etter avsluttet avkjøling, og det ble tatt tilsammen 30 prøver fra hver tørkeomgang. Figur 5.2 viser hvordan prøvepakkene fordelte seg i kammeret, og hvordan prøvene ble tatt ut. Fra hver prøvepakke ble det tatt én prøve fra hver av seks tilfeldig valgte planker, dog maksimalt én prøve fra øverste og nederste flo i pakken. Uttaket ble gjort ved at biten det skulle tas prøve av ble skjøvet ca. 0,5 m ut av pakken ved hjelp av en truck, og deretter kappet med motorsag. Selve prøven ble skåret ut ca. 40 cm fra den opprinnelige plankeenden og kløvet i 3 biter (3-kløyv-test). Alle prøvebiter ble veid og påført vekten før de ble sendt til NTI for analyse av tørkekvaliteten.



Figur 5.2. Opplegg for uttak av prøver ved Bruvoll Sag og Høvleri A/L.
Arrangement for selection of samples at Bruvoll Sag og Høvleri A/L

Under alle forsøkene, bortsett fra det første, ble det tørket gran fra rått til skipningstørt (17-18 %). Det første forsøket var en ettertørking av gran fra ca. 20 % til 8 %. Tabell 5.1 viser aktuelle data for de ulike tørkeomgangene.

Prøvene ble behandlet i henhold til forslag til ny felleseuropeisk standard for tørkekvalitet (EDG - Assessment of Drying Quality of Timber, Pilot edition, 22.10.1994). I forslaget anbefales det å benytte 2-kløyvmetoden ved måling av yteherding, men i forsøkene ble 3-kløyvmetoden benyttet. Dette fordi 3-kløyvmetoden gir mer informasjon pr. prøve (yteherding og gradient), uten at arbeidsmengden økes nevneverdig. På bedriften, hvor prøveuttakene skulle gjøres av de ansatte og tilpasses produksjonen forøvrig, var det en forutsetning at prosedyren var enklest mulig. Tidligere (figur 4.6) har vi også vist at forskjellen er liten mellom gapet ved 2-kløyv og 3-kløyv for prøver med liten til middels stor grad av yteherding. I området med gap på 1-3 mm kan det ikke påvises signifikant forskjell (5 %-nivå), og 75 % av vårt prøvemateriale ligger innen dette området.

Forsøk nr.	Dimensjon [mm]	Fuktighet		Kondisjoneringsklima		Δ LVF [%]	Kond. tid [timer]
		Start (antatt) [%]	Slutt (ønsket) [%]	Temp. [°C]	LVF [%]		
1	50x125	20	8	78	16,5	8,3	6
2	63x150	80	17	73	15,8	2,8	8
3	44x175	80	17	71	15,9	1,8	8
4	44x175	80	17	70	15,8	2,8	8
5	50x150	75	18	65,5	18,6	-0,2	8
6	63x175	75	18	71	20,4	3,0	10
7	50x150	75	17	69	20,6	1,6	12
8	38x150	80	17	70	20,4	4,2	9
9	70x150	80	17	69	20,6	2,3	14
10	65x150	80	17	69,5	20,5	0,9	14

*Tabell 5.1. Oversikt over tørkeomgangene med kondisjoneringsforsøk.
Outline of the drying tests with conditioning parameters.*

Temperaturene i tabellen er gjennomsnittet av loggede verdier fra styringsprogrammets utskrift. Innstilt temperatur ble ikke variert under kondisjoneringsperioden, og det største registrerte avvik mellom innstilt og logget verdi var mindre enn 3 °C. Loggingen ble imidlertid foretatt bare én gang pr. time, så det er sannsynlig at avviket i kortere perioder har oversteget denne verdien, uten at dette anses å ha noen vesentlig betydning for kondisjoneringen.

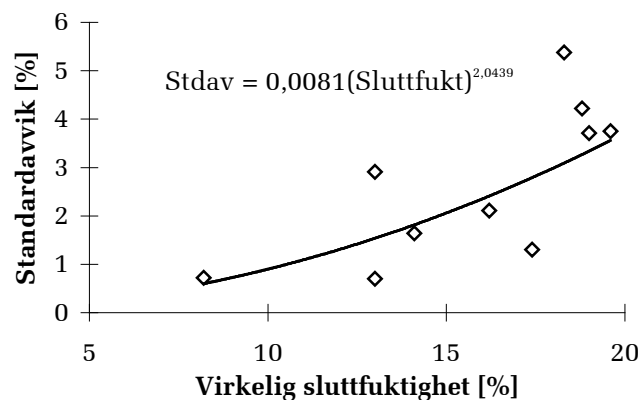
Kondisjoneringsklimaet er også beregnet ut fra middelverdiene for målte tørr- og våttemperaturer i perioden. Selv om temperaturene varierer noe i perioden antas variasjonene i LVF å være små fordi tørr- og våttemperatur svinger i fase. Psykrometerdifferansen varierer dermed lite under kondisjoneringen.

Δ LVF beregnes i dette tilfellet som differansen mellom midlere trefuktighet *etter* kondisjonering og LVF under kondisjoneringen. Dette avviker noe fra den definisjonen som ble lagt til grunn under laboratorieprøvene (kap. 4) hvor Δ LVF ble beregnet som differansen mellom midlere trefuktighet *før* kondisjonering og LVF under kondisjonering. Bakgrunnen for at Δ LVF i fullskalaforsøkene beregnes

på denne måten, er at trefuktigheten før kondisjonering var ukjent, mens den under lab-forsøkene ble målt. Erfaringsmessig vet man imidlertid at midlere trefuktighet under kondisjoneringsperioden stiger med 1-1,5 %, avhengig av LVF og temperaturnivå. Dette gjør at verdiene for Δ LVF som kommer frem i tabellen sannsynligvis ligger 1-1,5 % under den Δ LVF som i virkeligheten ble oppnådd.

Generelt ser man at Δ LVF for fullskalaforsøkene ligger lavere enn for lab-forsøkene. Dette skyldes til en viss grad forskjellen i beregningsmåte, men hovedsakelig at slutfuktigheten under fullskalaforsøkene lå på 17-18 %, slik at potensialet for Δ LVF var begrenset (for gode anlegg oppnås maksimalt LVF \approx 23 %). Unntaket er forsøk nr. 1, hvor slutfuktigheten var 8,2 %, og hvor man oppnådde Δ LVF på 8,3 %.

Det må i denne sammenheng poengteres at tallene som kommer frem i tabellen er gjennomsnittsverdier for alle prøvene, og at enkeltobservasjonene ligger fordelt rundt disse. F.eks. varierer Δ LVF mellom enkeltplanker i ett forsøk (nr. 7) mellom -15 % og 5 %. Variasjonen skyldes at spredningen i fuktighet mellom enkelt-planker er stor, og spredningen stiger med økende fuktighet. Fuktighets-spredningen for fullskalaforsøkene vises i figur 5.3. Den oppgitte regresjonen ($R^2=0,57$, Prob>F=0,02) er basert på resultater fra alle tørke-omgangene, og er kun ment som en indikasjon på hvordan spredningen typisk stiger ved høyere fuktighet.



Figur 5.3. Fuktighetsspredning som funksjon av slutfuktighet for de ti undersøkte tørkeomganger.

Moisture distribution as a function of end moisture content for the 10 drying tests.

5.3 Resultater

Resultatene av de ti tørkeomgangene gjengis i tabell 5.2.

Utviklingen av fuktighet, fuktighetsgradient og spenning under kondisjonering ved konstant temperatur påvirkes i første rekke av tid og ΔLVF . Ved analyse av resultatene er det derfor viktig at både tiden og ΔLVF betraktes, fordi de hver for seg kan gi et feilaktig inntrykk av kondisjoneringseffekten. Dette skyldes hovedsakelig at ved innstilling av kondisjoneringssklima varieres både kondisjoneringstid og ΔLVF for å finne den kombinasjonen som gir spenningsfritt virke på kortest mulig tid. Kondisjoneringseffekten til den enkelte faktor kan derfor være vanskelig å skille ut.

Forsøk nr.	Trefuktighet ved avslutning			Gradient		Yteherding	
	Ønsket [%]	Virkelig [%]	Std.avvik [%]	Virkelig [%]	Std.avvik [%]	Virkelig [mm]	Std.avvik [mm]
1	8	8,2	0,72	0	0,61	-0,36	0,56
2	17	13,0	2,91	3,10	2,77	1,34	0,62
3	17	14,1	1,64	0,57	1,36	0,93	0,47
4	17	13,0	0,70	2,18	0,75	1,4	0,49
5	18	18,8	4,22	3,91	3,64	1,78	0,86
6	18	17,4	1,30	3,74	1,03	1,68	0,74
7	17	19,0	3,71	1,91	2,13	2,00	0,83
8	17	16,2	2,11	2,75	2,44	1,7	1,01
9	17	18,3	5,38	4,20	6,16	1,39	0,69
10	17	19,6	3,75	4,97	3,32	1,99	0,74

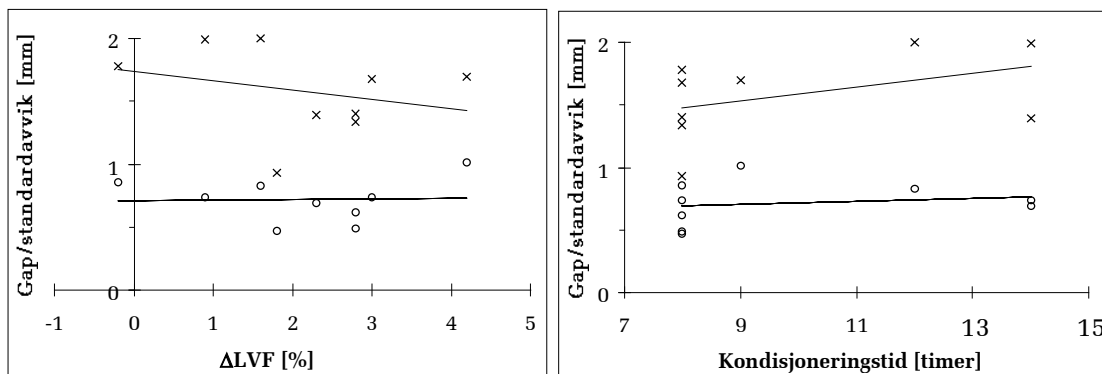
*Tabell 5.2. Resultater fra ti tørkeomganger ved Bruvoll Sag og Høvleri A/L.
Results from 10 drying tests at Bruvoll Sag og Høvleri A/L.*

Figur 5.4 viser nivå og spredning for yteherdingen (gap ved 3-kløyv) for hvert av forsøkene. I figuren betraktes både kondisjoneringstid og ΔLVF . Resultatene fra forsøket med ettertørking fra 20 % til 8 % er utelatt, fordi forutsetningene for dette forsøket er helt forskjellig fra de resterende, og dermed bidrar til å kamuflere eventuelle avlesbare effekter.

Det første bildet i figuren viser at økende ΔLVF under kondisjoneringen reduserer gapet på prøvene. Spredningen for gapet innen hvert forsøk er samtidig uforandret eller svakt økende. Begge resultatene stemmer overens med det som var forventet, men utslagene var mindre enn antatt. Økningen i spredning forventes, fordi kondisjoneringstiden forkortes ved økende ΔLVF .

Det andre bildet i figuren viser at gapet blir større ved økende kondisjoneringstid, og at spredningen innen enkeltforsøkene stiger når kondisjoneringstiden gjøres

lengre. Dette harmonerer dårlig med forventningene og med resultatene fra laboratorieforsøkene.



Figur 5.4. Nivå (kryss og heltrukken linje) og spredning (sirkler og stiplet linje) for yteherding målt ved gapet fra 3-kløyvprøver som funksjon av tiden og ΔLVF for alle forsøk som tørkes fra rått til 17-18 %.

Level (crosses and solid-drawn line) and spread (circles and broken line) for casehardening measured according to the 3-slicing method as a function of ΔEMC and conditioning time for all tests drying from green to 17-18 %.

Årsaken til avvikene fra de forventede kondisjoneringseffekter ligger i måten man styrer kondisjoneringen på. Man har ved økende ΔLVF forventet en raskere spenningsutjevning, og dermed forkortet kondisjoneringstiden. Tiden har imidlertid blitt forkortet mer enn økningen i ΔLVF i virkeligheten skulle tilsi, og dermed blir resultatet dårligere kondisjoneringseffekt og større gap. Ved ideell regulering av kondisjoneringstid og ΔLVF ville begge kurvene i figuren vært horisontale linjer. Det ville vise at endringen i kondisjoneringstid nøyaktig oppveier den samtidige endringen i ΔLVF .

Generelt viser det seg imidlertid at på grunn av den motstridende effekten av ΔLVF og kondisjoneringstid gir gjennomsnittsdataene for hvert forsøk begrenset informasjon. For å påvise de enkelte faktorenes kondisjoneringseffekt benyttes derfor en analyse av enkeltdataene (fra hver prøveplanke) innen hvert forsøk. Tilsammen utgjør dette 302 enkeltobservasjoner fra like mange planker.

Prøver med negativ ΔLVF holdes utenfor ved analysen. Dette fordi slike prøver i virkeligheten ikke utsettes for noe kondisjoningsklima (prøvens reelle middelfuktighet er høyere enn LVF under kondisjoneringen), men i praksis utsettes for videre uttørring også i kondisjoneringsperioden. I dette tilfellet vil det si at antallet aktuelle prøvestykker reduseres fra 302 til 270.

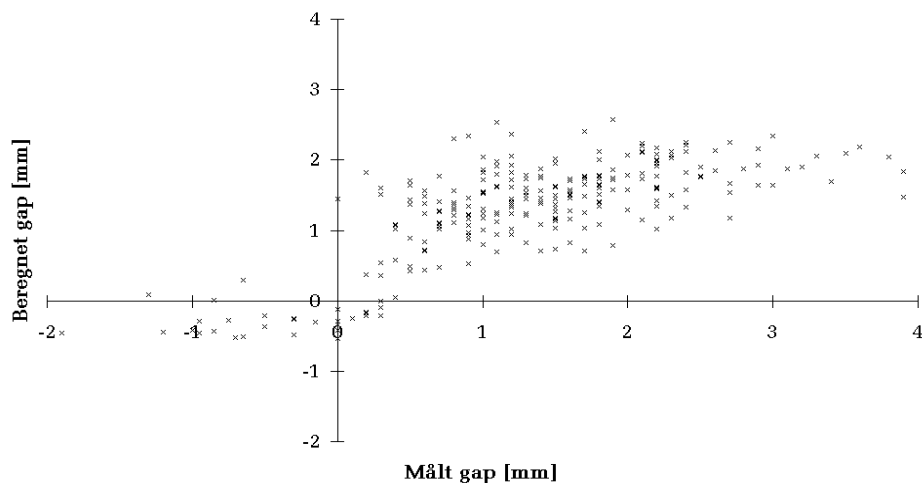
En multippel regresjon for yteherdingen med hensyn til ΔLVF og kondisjoneringstid gir da følgende signifikante sammenheng ($\text{Prob} > F = 0,001$, $r^2 = 0,55$):

$$\text{Gap} = 1,57 - 0,75 \cdot \Delta LVF + 0,076 \cdot \text{Kond.tid}$$

Figur 5.5 viser grafisk hvordan de beregnede verdiene for gapet samsvarer med de målte verdiene.

Regresjonen uttrykker i praksis sammenhengen mellom gapet og de to parametrene kondisjoneringstid og ΔLVF , og kan benyttes til å finne kombinasjoner av disse som gir et ønsket nivå på yteherdingen. F.eks. blir kondisjoneringstiden 10 timer dersom man ønsker å oppnå gap på 1,5 mm med en ΔLVF på 3 %.

Det er imidlertid viktig å være klar over de begrensninger som ligger i modellen. Start- og slutfuktighet og temperaturnivå var tilnærmet de samme under alle, unntatt ett, forsøk. For andre fuktighets- og temperaturnivåer kan derfor ikke modellen uten videre benyttes.



Figur 5.5. Sammenhengen mellom de målte verdiene for yteherding (gap) og verdiene beregnet ved hjelp av regresjonsmodellen.

The relation between the measured values for casehardening (gap), and the values calculated by means of the regression model.

Det er viktig å være klar over at modellen kun har gyldighet for data som ligger i det samme området som grunnlagsdataene er hentet fra. Det vil si ΔLVF i området 0 - 8,3% og kondisjoneringstid på 6 - 14 timer.

5.4 Diskusjon

Fullskalaforsøkene viser at både spredning i slutfuktighet og spenningsutjevning blir dårligere ved tørking til høye enn ved tørking til lave fuktighetsnivåer.

De viser også at det er mulig å finne sammenhenger mellom kondisjoneringstid, ΔLVF og spenningsnivå når andre parametere holdes konstant under kondisjonering.

Det antas også at med et bredere datagrunnlag vil effekten av temperaturnivå og eventuelt startspenninger kunne innarbeides i modellen, slik at den kan benyttes mer generelt enn tilfellet er i dag.

6. Diskusjon/konklusjon

Tidligere undersøkelser fra Tørkeklubbens egenanalyser har vist at det er et behov for en bedre forståelse av spenningsoppbyggingen og den resulterende yteherdingen, og hvordan man kan eliminere denne effekten. Egenanalysene viste også at det var store mangler i baseutrustningene. I tillegg til feil innstilling av kondisjoneringsklimaet, var dette hovedårsaken til at bare ett av ti bruk oppnådde et klima som ga en positiv ΔLVF (likevektsfuktighet ved kondisjonering minus midlere trefuktighet), og derved en tilfredsstillende kondisjonering.

Med stadig strengere krav til spenningsnivået bl.a. gjennom ny europeisk tørkestandard, vil behovet for en rask og økonomisk kondisjoneringsprosess øke. Bruk av damp for rask oppfukning av tørkeluften og oppvarming av trelasten både under oppvarmingsfasen og kondisjoneringsfasen, er en kjent teknikk som er mye benyttet i bl.a. USA og New Zealand, og som i de seneste par årene er videreutviklet i Sverige.

Typisk for Skandinavia er imidlertid at de aller fleste benytter hettvann for oppvarming av tørkene, og derved ikke har damp til disposisjon. Det er derfor i denne rapporten lagt størst vekt på å se på en mer effektiv bruk av vannbasing gjennom bedre forstøvning av vandrdåpene, og derved bruk av bioenergi gjennom varmebatteriene til fordampning av vannet.

Bruk av vann/trykkluftdyser er kjent teknikk, og gir en meget god forstøvning av vannet (5-10 μm), men er allikevel lite benyttet i tørkesammenheng. Metoden burde imidlertid, kanskje med visse modifikasjoner for tørkeanlegg, være et alternativ å se nærmere på.

Høytrykks vanddyser med trykk i området 50-100 bar gir også en meget god forstøvning av vannpartiklene (ca. 20 μm). Registreringer fra tørkeanlegget som ble benyttet under de industrielle forsøkene og som nettopp hadde innmontert høytrykksdyser, viste en klart raskere oppfukning av tørkelufta enn ved det tidligere lavtrykks vannsystemet. Dette ga seg utslag i kortere oppvarmingstid og raskere oppnåelse av ønsket og relativt høyt kondisjoneringsklima.

Oppfukning av tørkelufta ved ekstern produksjon av damp er effektiv og gir mulighet for enda raskere spenningsutjevning ved at temperaturen kan heves til nærmere 100 °C. Ulempen ved et slikt system er imidlertid behovet for en olje- eller elfyrt dampkjele og fare for ukontrollert oppvarming av tørkeluften, og dermed en ukontrollert kondisjoneringsprosess.

Ved kondisjoneringsforsøkene i laboratorietørken ble det valgt å hente inn ukondisjonert trevirke (5 av 6 forsøk) fra en nærliggende kanaltørke. Dette for å kunne gjennomføre flere forsøk innen en kort tidsfrist. En skulle imidlertid ønsket at utgangsspenningen i disse prøvene var jevnere og på et høyere nivå. Forsøkene ga allikevel interessante resultater, og viser at det er mulig å påvirke kondisjoneringstiden vesentlig gjennom variasjon av ΔLVF og kondisjonerings-temperaturen. En økning av ΔLVF og temperatur gir begge en markant reduksjon av kondisjoneringstiden. En temperaturøkning bidrar også til en raskere utjevning av fuktighetsgradienten i sentrum av virket.

I utgangspunktet synes det derfor riktig å kjøre med så høy ΔLVF og temperatur under kondisjoneringsprosessen som mulig uten å skade tørkekonstruksjonen eller trevirket (misfarging, kvaeflyt).

Hvis man vet hvilken spenning trevirket har etter tørkefasens slutt vil man, ut fra bl.a. disse forsøkene, eller ut fra egne oppbygde erfaringer kunne styre kondisjoneringsprosessen med relativt god nøyaktighet til ønsket spenningstilstand.

En direkte fastleggelse av spenningstilstanden i trevirket under tørkeprosessen gjennom uttak av spenningsprøver er imidlertid praktisk umulig. Til hjelp for fastleggelsen av spenningsnivået kan man tenke seg å benytte sammenhengen mellom gradient og spenning. Denne sammenhengen ble her undersøkt og ga en meget god korrelasjon. En gradient på 3 % etter 3-kløyvmetoden gav f.eks. en spenning på ca. 2 mm på 50 mm virke. I praktisk tørking kan man måle denne gradienten ved å benytte fast monterte elektroder for måling av fuktigheten i midten av virkesstykket og i en viss dybde fra overflaten.

Under kondisjoneringsfasen viste forsøkene som forventet at fuktighetsopptaket i det ytterste sjiktet av trelasten gikk raskere og til et høyere nivå jo høyere ΔLVF man benyttet. Spesielt raskt gikk fuktighetsopptaket og derved spenningsutjevningen når man tillot temperaturen å øke inntil 95 °C, men man registrerte også at dette høye opptaket var konsentrert til de ytterste 2-3 mm. Dette førte naturlig til spørsmålet om hvor dypt kondisjoneringseffekten går inn i trevirket. Stikkprøven i forsøk 5 viste at kondisjoneringseffekten i 5 av 6 undersøkte planker ble redusert til dels betraktelig ved å høvle bort 2 mm på begge sider. Dette indikerer at kondisjoneringseffekten ligger i det aller ytterste sjiktet, og en kan mistenke at denne effekten ville være enda mer markant ved forsøk 3 og 4 hvor man hadde en vesentlig høyere ΔLVF og derved raskere og høyere fuktighetsopptak i overflatesjiktet. Dette forholdet skulle tilsi at man burde se nærmere på muligheten for å benytte en viss grad av "overkondisjonerings" av planken for å oppnå rett virke etter at planken er kløyvd til bord og høvlet. Dette forutsetter imidlertid at bordene blir presset rette under høvlingen.

For å sikre entydige vurderinger av spenningstilstanden og et kvantitativt mål for deformasjonen etter oppdeling av trelasten, er det i forslag til europeisk standard utarbeidet av EDG (European Drying Group) foreslått å erstatte den tradisjonelle gaffelprøven med en såkalt kløyvetestmetode. Sammenlignende tester mellom 2- og 3 kløyvetestene (kløyving i 2 eller 3 lameller) viste relativt liten forskjell, men 3-kløyvetesten ga et større utslag (gap) enn 2-kløyvetesten ved høyere spenninger,

mens det var omvendt ved lavere (positive) spenninger. Disse testene, som begge er praktisk gjennomførbare, gir et tilfredsstillende mål for de deformasjoner en kan forvente i sluttproduktet ved oppdeling. Ønsker man imidlertid en mer detaljert analyse av spenningstilstanden i hele tverrsnittet, bør en dele opp tverrsnittet i flere lameller, f.eks. 10 stk.

Selv om man i de senere årene har kommet en god del lenger i den grunnleggende forståelsen av yteherdingen, som er forårsaket av trevirkets flyting (plastisk forstrekning) p.g.a. krympespenninger, er det ennå behov for å gå videre med arbeidet på dette området, spesielt når det gjelder den fiberstrukturelle forståelsen av flytingen og flytingens temperaturavhengighet for forskjellige treslag. Dette er viktig fordi man også kan utnytte fenomenet at trevirket "flyter" i positiv retning, både til reduksjon av sprekke og andre deformasjoner forårsaket av trevirkets anisotrope krymping. Når det gjelder utnyttelsen av flytingen for reduksjon av sprekke, er det viktig ikke bare å kjenne til flytingens temperaturavhengighet, men også hvordan temperaturen påvirker bruddspenningen for forskjellige treslag.

Litteratur

- Esping, B. 1992. Trätorkning 1a, grunder i torkning. Träteknik. Stockholm, Sverige.
- Morén, T. 1993. Creep, Deformation and Moisture Redistribution During Air Convective Wood Drying and Conditioning. Doctoral Thesis 1993:116D. Department of Wood Technology, Skellefteå Campus, Luleå University of Technology, Sweden.
- Tronstad, S. 1993. Tørking – trekvalitet. Resultater fra 4 tørkeforsøk. Rapport 17. Norsk Treteknisk Institutt, Oslo.
- EDG-Recommendation on Assessment of Drying Quality of Timber - pilot edition, 1994.