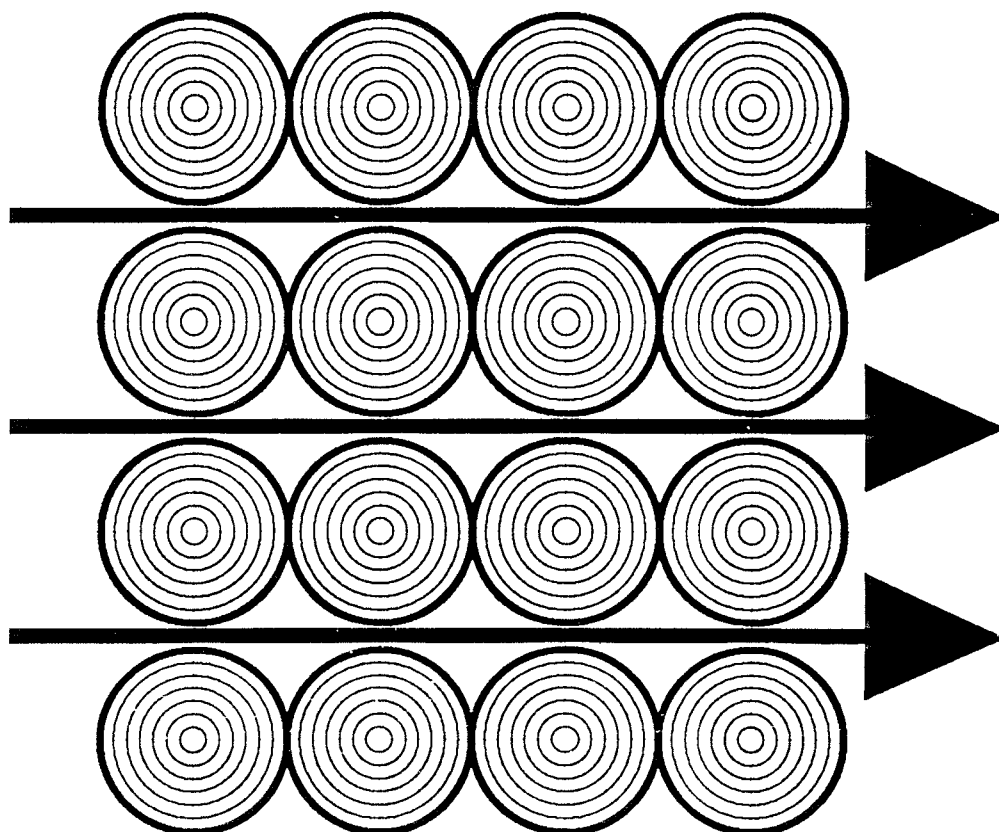


Norsk Treteknisk Institutt Svenska Träskyddsinstitutet

# Tørking av stolper

Resultater fra litteraturstudier, forsøk og økonomiske kalkyler vedrørende kunstig tørking av stolper

Marie-Louise Edlund og Sverre Tronstad





## Forord

Denne undersøkelsen er gjennomført med økonomisk støtte fra Nordisk Industrifond, fra 5 norske impregneringsverk (ImpregNor A/S (avd. Ilseng og Lundamo), Norske Skogindustrier A/S-Hen Tre, Norsk Impregneringskompani A/S og Solør Impregnering A/S ), samt bistand fra svensk industri gjennom Svenska Träskyddsinstitutet.

Norsk Treteknisk Institutt og Svenska Träskyddsinstitutet vil takke for denne støtte, med en spesiell takk til Nordisk Industrifond som har bevilget 300.000 NOK til gjennomføring av prosjektet.

Til industrien vil vi rette en spesiell takk til ImpregNor A/S ved Kolbjörn Hellum, Norge og AB Påras, ved Ove Sjölin, Finland som har lånt ut tørkeanlegg samt bidratt med stolper og arbeidskraft.

Vi vil også rette en takk til Per Selås og Per Jørgensen fra Norsk Treteknisk Institutt som begge har vært til stor hjelp ved gjennomføringen av prosjektet.

Til slutt vil vi takke Hans Lundström, Sveriges Lantbruksuniversitet som har bidratt med verdifulle synspunkter på arbeidet og utformingen av deler av rapporten.

Ansvarlig for gjennomføring av prosjektet har vært Marie Louise Edlund, Svenska Träskyddsinstitutet og Sverre Tronstad, Norsk Treteknisk Institutt med sistnevnte som prosjektleder.

Oslo/Stockholm, april 1993

**Norsk Treteknisk Institutt**

**Svenska Träskyddsinstitutet**

## Sammanfattning

I Norge och Sverige tryckimpregneras årligen 70-90 000 m<sup>3</sup> ledningsstolpar. Därtill kommer ca 45 000 m<sup>3</sup> stängselstolpar, stolpar till vägräcken etc.

För att få en fullgod impregnering måste virket torka ned till en fuktkvot på ca 25% innan det impregneras. Torkningen utförs så så gott som uteslutande utomhus och tar ca ett år. Denna långa torktid medför stora kostnader och dessutom risk för att virket angrips av vedförstörande svampar.

Genom litteraturstudier, egna försök och ekonomiska kalkyler har förutsättningarna för att utföra accelererad torkning av stolpvirke, utan försämrad impregnerbarhet och med minskad risk för biologiska angrepp, utretts.

Undersökningarna har omfattat torkning i luft vid 80°C, 130°C och 150°C, torkning i överhettad ånga under vakuum samt torkning i rökgas.

Resultaten av litteraturgenomgången och de genomförda undersökningarna visar att det är fullt möjligt att på kort tid genomföra accelererad torkning av stolpar från rått tillstånd till ca 25% fuktkvot med olika metoder och med bibehållen impregnerbarhet. Vid 80°C är torktiden 125-150 timmar, i överhettad ånga under vakuum ca 80 timmar och vid 150°C endast 7-13 timmar.

Den snabba torkningen medför emellertid en stor fuktkvotsgradient och en relativt stor spridning i slutfuktkvoten. För att säkerställa att fuktkvoten i innersplinten ligger under fibermättnadspunkten bör slutfuktkvoten vid artificiell torkning därför i medeltal ligga på ca 20%.

Sprickbildning vid torkning av stolpvirke är oundviklig. Det torde emellertid vara en fördel med flera små sprickor än få stora bl a ur impregnerbarhetssynvinkel. En hård torkning befrämjar uppkomsten av småsprickor. Impregnerbarheten tycks inte ha påverkats av vilken torkmetod som använts. Impregneringsmissar i de utförda försöken kan främst härledas till fuktfickor i virket.

Från litteraturundersökningarna framgår det att högtemperaturtorkning kan påverka stolparnas styrka. Vid torkning i 100-110°C av främst amerikansk furu har flera författare registrerat en reduktion i brotthållfastheten på 10-15%.

Vid en ekonomisk bedömning av olika torkmetoder för stolpar visar det sig att under vissa givna förutsättningar friluftstorkning är den mest kostsamma torkmetoden, ca 290 kr/m<sup>3</sup>, medan torkning i konventionell tork vid 80°C, rökgasuppvärmd tork vid 120°C och kondensationstork vid 70°C ger 210-230 kr/m<sup>3</sup>. Torkning i överhettad ånga beräknas kosta ca 280 kr/m<sup>3</sup>.

## Summary

In Sweden and Norway 70-90 000 m<sup>3</sup> preservative treated wooden distribution poles are produced every year. In addition about 45 000 m<sup>3</sup> fence posts are produced.

The poles and posts are air-dried to a moisture content of 25% before impregnation. This procedure takes about a year. This is a costly procedure and there is also a risk of biological attack in the wood by blue stain and decay fungi.

The possibilities of kiln-drying the products before impregnation have been studied from the literature and by our own experiments and the economics of different drying procedures have been calculated. The aim was to find an economical drying procedure that has no negative effect on the treatability of the poles.

The investigation has included kiln-drying at 80°C, 130°C and 150°C, drying in superheated steam and in combustion gas.

### Drying at 80°C

840 1,7 metre long poles, diameter 140 mm, of *Pinus sylvestris* were dried in a pilot plant kiln according to two different drying schedules, Figures 3 and 5. The moisture contents in the poles were measured before and after the drying and so were the moisture gradients within the sapwood after drying, see Table 1 and Figures 8 and 9. Drying time was 115 to 145 hours.

The poles were pressure treated with CCA. Penetration (Table 2) and retention were measured and the results were slightly below the demands according to the Nordic Wood Preservation Council.

### Drying at 130°C and 150°C

The test was carried out in a laboratory kiln with two pole sections at a time. The diameter was 140 mm. The sections were end sealed. In the first test, the temperature was 130°C and the wet bulb temperature 70-85°C, and in the second test the temperature was 150°C and the wet bulb temperature 80-85°C.

The results are presented in Table 3 and 4 and the moisture gradients after drying in Figures 11 and 12. Impregnation after drying gave full penetration.

### Drying in superheated steam

Two experiments were carried out. The drying processes are presented in Tables 6 and 7. The size of the poles are shown in Tables 5 and 10, moisture content before and after drying in Tables 11 and 12.

After drying the poles were treated in a process presented in Tables 8 and 9 with a CCA-preservative.

*In the first experiment the penetration was measured on increment cores and in the second experiment by cutting discs from the poles at different distances from the end. The results from the second experiment are presented in Table 13.*

*In some poles the penetration of preservative was not complete in the sapwood. Whether this was due to high moisture content or other reasons has not been possible to decide from these experiments, Figure 30.*

#### *Drying in combustion gas*

*The aim was to evaluate the possibility of using combustion gas as a drying medium.*

*Poles, 150 mm in diameter, were dried in combustion gas at about 150°C during 2,5 to 5 hours. The results are presented in Table 14 and temperature in the poles during the drying procedure in Figures 14-16.*

*After drying the poles were pressure treated with CCA and the results are shown in Table 14.*

#### *Calculation of drying costs for different drying procedures*

*The drying costs for different drying procedures are summarized in Table 16. All artificial drying procedures are cheaper than drying poles in pole yards even if no quality decrease is included. According to this calculus the cheapest way to dry poles is in an oil heated kiln with heat exchanged combustion gases at 120°C. Drying in a conventional kiln heated from a wood waste burner gives almost the same cost level.*

#### *Discussion*

*According to literature studies and our own experiments it is possible to dry poles in different artificial drying procedures without losing treatability of the pole and at lower costs than by artificial drying of poles.*

*Drying at temperatures above 100°C can, according to literature, reduce the bending strength of the poles by 10-15% or more, which must be taken into consideration by dimensioning of poles for structural purposes. Further studies should be carried out to find the effect of kerfing (sawing to the center of the poles) and center boring on the checking, drying rate and the occurrence of internal decay in pressure treated poles.*

## Innholdsfortegnelse

Forord .....	I
Sammanfattning .....	II
Summary .....	III
Innholdsfortegnelse .....	V
1. Innledning .....	1
2. Tidligere undersøkelser .....	1
3. Tørking i luft ved 80°C .....	7
3.1 Formål .....	7
3.2. Forsøksopplegg .....	7
3.3. Resultater .....	8
3.4. Diskusjon .....	16
4. Tørking i luft av 130°C og 150°C .....	16
4.1. Formål .....	16
4.2. Forsøksopplegg .....	17
4.3. Resultater .....	17
4.4. Diskusjon .....	18
5. Torkning av tråstolpar i hetånga .....	20
5.1. Syfte .....	20
5.2. Material och metoder .....	20
5.3. Torkprocess .....	21
5.4. Resultat .....	22
5.5. Diskusjon .....	23
6. Tørking i røkgass .....	31
6.1. Formål .....	31
6.2. Forsøksopplegg .....	31
6.3. Resultater .....	32
6.4. Diskusjon .....	35
7. Samlet vurdering av litteraturstudier og egne tørkeforsøk .....	36
8. Orienterende kalkyler over forskjellige metoder for tørking av stolpevirke .....	39
8.1. Formål .....	39
8.2. Kalkyleforutsetninger .....	40
8.3. Orienterende kalkyler .....	42
9. Konklusjon .....	43
10. Referanser .....	51
Bilag	





## 1. Innledning

I Norge og Sverige blir det hvert år trykkimpregnert 70-90 000 m<sup>3</sup> kraftlednings- og televerkstolper. Som råstoff representerer dette, basert på en gjennomsnittspris på 1000 kr.pr.m<sup>3</sup>, en verdi på 70-90 millioner kr. I tillegg blir det impregnert ca. 45 000 m<sup>3</sup> gjerdestolper og rekkverkstolper etc.

For å få en fullgod impregnering må stolpevirket være tilstrekkelig tørt. I praksis skjer dette idag ved at barkete stolper blir lagret i stabel i friluft. Tørketiden i friluft er i gjennomsnitt ett år, noe som medfører et rentetap på ca 18 millioner kr. pr. år.

I tillegg til rentetapet kommer risikoen for biologiske angrep på stolpene og undersøkelser har bl.a. vist angrep av råtesopper som kan medføre reduksjon av stolpenes styrkeegenskaper. Selv om man ikke har sikre tall for hvilken økonomisk betydning slike skader medfører, utgjør skadene en latent risiko ikke minst for de linjearbeidere som skal klatre i disse stolpene.

En kunstig tørking av stolpene vil kunne gi mindre biologiske skader og langt større mulighet for en styrt levering av stolpene til kjøper over hele året. Dette vil i tillegg kunne gi en jevnere belastning på produksjonsutstyr og bemanning hos produsent.

Målsetting med dette prosjektet er gjennom litteraturstudier, egne forsøk og orienterende økonomiske kalkyler å se på mulighetene for kunstig tørking av stolpevirke, med hovedtyngden på tørking av stolpene før impregnering.

## 2 Tidligere undersøkelser

Det foreligger relativt få undersøkelser som behandler tørking av stolper og de fleste av disse er gjort i sørstatene i USA på forskjellige typer "pines". Man kan imidlertid hente inn en god del opplysninger av interesse for stolpetørking fra undersøkelser som går på tørking av både impregnert og uimpregnert trelast, spesielt når det gjelder tørkemeter, tørketider og styrkeegenskaper, men også når det gjelder fixering, miljø og korrosjonsproblemer ved ettertørking av impregnert virke. Ellers er dog kravene til tørkingen forskjellige først og fremst når det gjelder sprekk. Dette medfører at tørkeskjemaer utviklet for trelast ikke uten videre kan anbefales for stolper.

*Knudson* (1) viser til forsøk utført ved deres bedrift med tørking av stolper med temperaturer over 100°C i en tunnel med langsgående luftsirkulasjon. Hensikten var primært å tørke stolper av "Lodgepole pine" på kort tid (36 timer). Men det var også et formål med valg av tørkemeter å oppnå et sprekkemønster i stolpene som bestod av mange fine overflatesprekker istedet for få store sprekker.

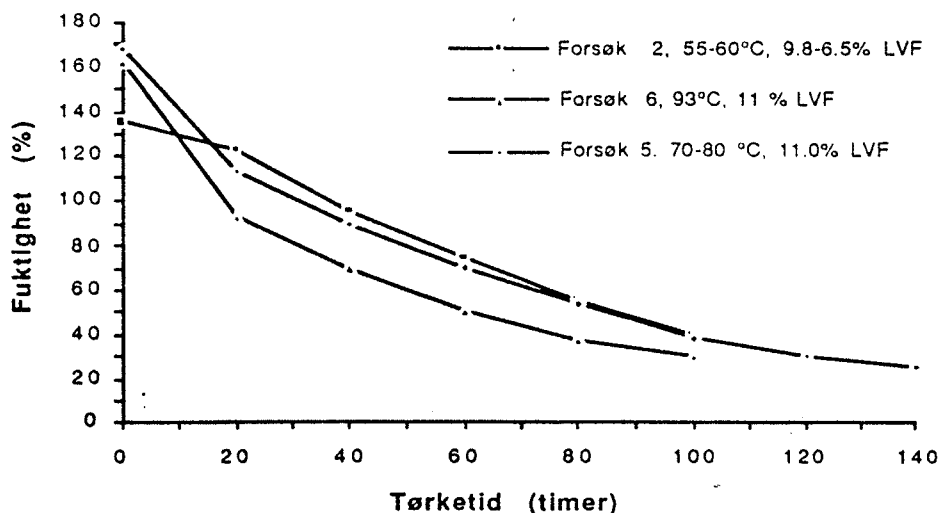
Forsøkene viste at dette fine sprekkemønster ble oppnådd allerede etter 4 timer i tørka. Total tørketid ble 42 timer. Det ble også observert at trevirkets overflate faktisk ble lysere enn for virke som var tørket i friluft, som hadde en tendens til å bli grått. Etterfølgende impregneringsforsøk viste gunstige opptak med 25% fuktighetsinnhold, 30 mm inn fra overflaten.

Kunstig tørking var ellers å foretrekke av flere grunner. Lagret av stolper ble kraftig redusert og bedriften var nå kapabel til å levere ferdig impregnerte stolper på 5 dager "from the woods to the car"! Det var bedre at treet fikk stå et år til på rot enn at det lå et år på tomte og tørket.

Det ble også påpekt at total tid for impregnering, spesielt vinterstid, gikk vesentlig ned ved at stolpene kunne tas varme direkte fra tørka og inn i kjelen. Eventuell styrkereduksjon ble også testet, men det ble ikke funnet noen forskjell mellom friluftstørket og kunstig tørket, bortsett fra en liten reduksjon i slagbruddfasthet.

Det ble ellers hevdet i den etterfølgende diskusjon at det var umulig å unngå sopp-skader ved friluftstørking og at kunstig tørking til under 25% var den mest ideelle metode for å unngå dette. Økonomien ved de to metodene ble det imidlertid ikke tatt standpunkt til.

Huffman (2) kjørte tørkeforsøk på 4,8 m lange stolper av red pine (*Pinus resinosa*) med 16-17 cm midtdiameter. Stolpene som hadde en fuktighet på fra 110 % til 170% ble tørket kunstig til 30-40 % fuktighet ved forskjellig klima og lufthastighet. I Figur 1 er vist noen av resultatene fra tørkeforsøkene.



Figur 1. Registrerte tørketider for stolper av "red pine"/2/

Figure 1. Drying time for pine poles/2/

Forsøkene viste at det går an å tørke middels store furustolper (red pine) fra rått til ca 30% fuktighet på 120 timer ved et skarpt 60°C-klima eller et mildt 80°C-klima og at en økning av temperaturen til over 90°C reduserte tørketiden til 100 timer uten at det gikk utover kvaliteten på stolpene. Stolpene fikk i alle forsøk mange mindre overflatesprekker, noe som ble ansett som gunstig både impregneringsmessig og styrkemessig, istedet for store konsentrerte sprekker. Ellers ble det registrert forbausende god inntrengning av impregneringsvæske (pentaklorfenol) ved ett forsøk

med en midlere fuktighet i yta på hele 40%, mens et annet forsøk med en midlere fuktighet på 31% gav flere "misser", uten at noen forklaring kunne gis.

*Lowery og Rassmussen* (3) kjørte undersøkelser på stolper av Lodgepole pine for å finne effekten av høytemperaturtørking på styrke, tørkeskader og inntrengning av impregneringsvæske.

Forsøkene ble kjørt i en spesialkonstruert 44 m lang tørketunnel som kunne ta 4 stolpelengder. Luften ble blåst på langs av stolpene og ble reversert hver time. Det ble kjørt med 2 temperaturnivåer på innblåsningsluften. Ved høytemperaturtørkingen var inngående lufttemperatur 107°C og utgående ca. 60°C. Ved lavtemperaturtørkingen var temperaturene henholdsvis 75°C og 50°C.

Tørketiden ble 40 timer fra 84% til 36% for høytemperaturtørkingen og 72 timer fra 85% til 32% for lavtemperaturtørkingen. Sprekkene fordelte seg jevnt over hele overflaten og ble målt i gjennomsnitt til 11,6 m pr. m stolpe medregnet både små og store sprekker.

Impregneringsprøver med pentaklorfenol etter tørking viste tilfredsstillende inntrengning av impregneringsvæske både for høy- og lavtemperaturtørkingen.

En test av styrkeegenskaper før tørking, etter tørking og etter impregnering for de to forsøkene viste at tørkingen medførte en reduksjon i styrkeegenskapene med 1/10 for tørking ved 70°C og 1/8 for tørking ved 107°C. Det var liten forskjell i styrkeegenskapene før og etter impregnering av de tørkede stolpene.

*Christensen og Barnacle* (4) beskriver forsøk med tørking av *Pinus Radiata* telefonstolper og gjerdestolper samt retørking av CCA-impregnerte stolper. Alle forsøk er kjørt med tørketemperaturer på mellom 90 og 110°C og med en psykrometerdifferanse på 28-42°C.

Telefonstolpene tørket fra ca. 100% splintfuktighet til 30% på 72 timer uten at tørkeskadene gikk ut over akseptabelt nivå. Etterfølgende impregnering av stolpene med CCA ga tilfredsstillende opptak av væske.

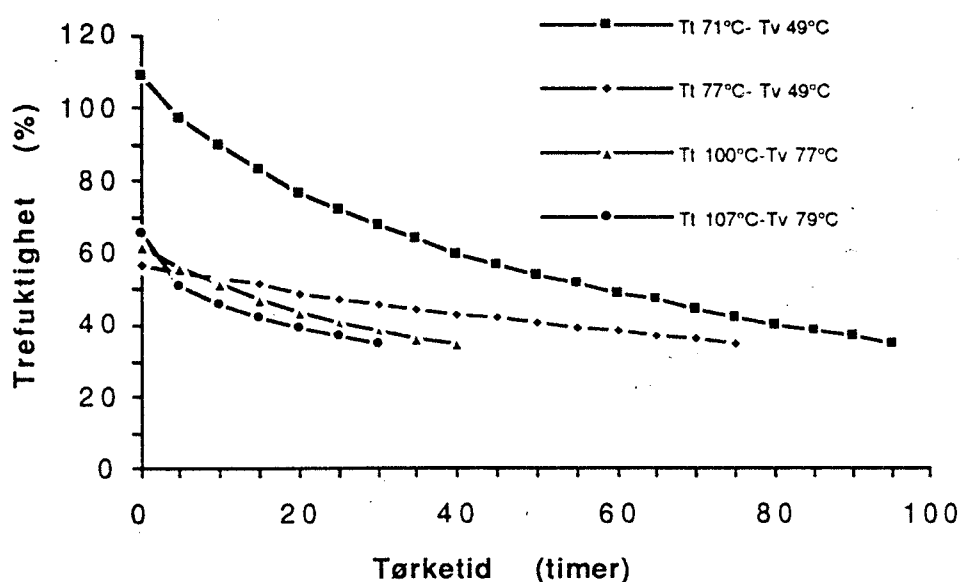
De impregnerte stolpene ble deretter tørket i 96 timer uten at fuktigheten kom under 50% i splintveden. Hovedgrunnen til dette ble påpekt å være et langt høyere fuktighetsinnhold i de impregnerte stolpene enn i de rå uimpregnerte. (Det er idag kjent at impregnert virke i tillegg har en større diffusjonsmotstand enn uimpregnert virke, noe som også kan ha påvirket tørketiden).

Gjerdestolpene som hadde en diameter på 8-13 cm tørket på 36 timer til 20 % fuktighet i strølagt stabel, men bare til 50% i "klosslagt" stabel.

*Thompson og Stevens* (5) påpeker innledningsvis at kunstig tørking av stolper nå har blitt vanlig på det fleste større impregneringsverk i USA (1972) og at enkelte verk i det hele tatt ikke bruker friluftstørking lenger. Fordelene med kunstig tørking ligger i bedre fleksibilitet, langt mindre lager, mindre soppskader, kortere impregneringstid og lavere transportkostnader grunnet lavere fuktighet i stolpene.

Hensikten med forsøkene var å korte ned tørketiden, fra 6-7 dager ved 70-75°C som vanlig ble brukt, ved å øke temperaturen trinnvis helt opp til 107°C, uten at dette i vesentlig grad skulle gå ut over kvaliteten.

Det ble tørket stolper av Loblolly Pine (*Pinus palustris*) og Longleaf pine (*Pinus taeda*) med en diameter mellom 20 og 25 cm. Figur 2 viser resultatene fra noen av tørkeforsøkene.



Figur 2. Tørkekurver for stolper av *Pinus taeda* ved 4 forskjellige klimaer (5)  
 Figure 2. Drying of *Pinus taeda* poles in 4 different climates

En ser at en økning av temperaturen fra 77°C til 107°C reduserte tørketiden til under halvparten ved nedtørking fra ca. 65% til 35%.

Etter tørking ble prøver fra stolpene tørket ved 100°C og 107°C testet på bøyestyrke. Det viste seg at bøyestyrken var redusert med 8% respektiv 14% for de to temperatur-områdene sammenlignet med kontrollprøver (uten at de er nærmere definert). E-modulen ble forbausende nok øket med tilsvarende verdier uten at forfatterne har noen direkte forklaring på hvorfor.

Impregnerbarheten ble testet for de stolper som var tørket ved 70-80°C. Alle testene viste tilfredsstillende inntregning av impregneringsvæske.

Douglas gran (50 x 100 mm) tørket ved 110°C og 70°C ble testet med hensyn til bøyefasthet og langtidsfasthet ved en undersøkelse utført av Gerhards (6). Resultatene viste en reduksjon i statisk bøyefasthet på 12% for det høytemperaturtørkede virket. Ved langtidsbelastning (ca. 90% av midlere bruddstyrke) fikk man også inn effekten av den reduserte statiske bøyefastheten ved en vesentlig redusert tid (1/10) før prøvene gikk til brudd. Ved å gå ned med langtidslasten for det høytemperaturtørkede virket

med 12% tilsvarende reduksjonen i korttidsfasthet fikk man samme langtidsfasthet som det lavtemperaturtørkede virket.

*Segelken* (7) utførte allerede i 1940-årene flere forsøk med kunstig tørking av stolper av Southern pine. Ved en tørketemperatur som steg gradvis fra 60°C til 90°C og en RF som varierte fra 90% til 30% ble det tørket stolper fra 66% til 25% fuktighet på 130 timer. Sprekkene fordelte seg jevnt over hele omkretsen med en bredde fra 2,5 mm til 3,7 mm og en lengde fra 30 til 90 cm.

Ved et senere forsøk ble det tørket med en konstant tørrtemperatur på 110°C og en konstant våttemperatur på 60°C. Stolpene ble da tørket fra 83% til 30% på 100 timer. Det viste seg forøvrig her at stolper som var stablet i kloss tørket like fort som strølagte stolper. Sprekkene var i gjennomsnitt 90 cm lange, 3 mm brede og 4,5 cm dype. Etterfølgende impregnering med kreosot gikk uten problemer.

*Barnes og Winandy* (8) har en kritisk gjennomgang av litteratur om stolpetørking og påpeker bl a at den signifikante reduksjon av styrken ved høytemperaturtørking sannsynligvis kommer av en hydrolyse av de amorfe områder i mikrofibrillene forårsaket av eddiksyre frigjort fra acetylgruppene i treet.

Vdr. forskjellige tørkemetoder vises det til bl.a. til en metode som brukes en god del i USA, nemlig damping av stolpene ved 120-125 °C i 20 timer etterfulgt av vakuum. Dette gir en rask, men bare delvis uttørking av stolpene. Flere tester av trevirke tørket etter denne metoden viser imidlertid en kraftig reduksjon på opptil 35% i bøyestyrke og 16% E-modul.

Boulton-tørking som er en koking av trevirket ved 85-104°C under vakuum i et oljebasert impregneringsmiddel oppviser tørketider på 20-60 timer. En får her sammenlignet med dampbasingsmetoden en mindre reduksjon i bruddstyrken, men endog i området 5-20%.

Det vises også til styrkeprøver tatt av CCA-impregnert trevirke som er tørket etter impregneringen. I tillegg til at impregneringen i seg selv kan medføre redusert bøyestyrke, vil tørking etter impregneringen også kunne påvirke styrken i negativ retning. Det vises til at ved lave opptak av CCA (16 kg/m<sup>3</sup>) og tørketemperaturer under 60°C ble ikke styrken på virket (Southern pine). Ble imidlertid temperaturen øket til vel 80°C ble det observert en reduksjon på 11% i bruddstyrken. Denne effekten var større ved høyere opptak av impregneringsvæske. Ved et opptak av 40 kg/m<sup>3</sup> ble styrkereduksjonen 12% ved 80°C og hele 30% ved 105°C. Dette gir signaler om at man må sette grenser for tørketemperaturen for impregnert virke som er utsatt for større belastninger eller at det blir tatt hensyn til styrkereduksjonene ved dimensjonering. Det blir avslutningsvis advart mot å bruke for høye tørketemperaturer både før og etter impregnering. Før sikrere målinger foreligger antyder forfatterne at tørketemperaturene helst ikke bør overstige 70°C for trelast og stolper som er utsatt for større belastninger.

I andre forsøk viser de samme forfatterne (9) at virke som før impregneringen var tørket med en gradvis stigende temperatur opptil 91°C hadde liten reduksjon i bøyebryddstyrken ved etterfølgende CCA impregnering og tørking opptil 116°C.

Virke som var tørket ved 113°C før impregnering oppviste derimot en markert reduksjon i styrken etter impregnering og etterfølgende tørking både ved 91°C og 116°C. Forfatterne er derfor inne på at virke som er høytemperaturløst før impregnering helst bør tørkes ved max 70°C etter impregnering med CCA for å unngå en ytterligere reduksjon av styrken.

*Diefenbach, Owen* som er direktør for Sunshine pine, Australia hevder å ha store fordeler av kunstig tørking av stolper før impregnering bl a gjennom redusert lager, "just in time" leveranser og ikke minst gjennom 20% redusert forbruk av impregneringsvæske.

Fuktighetsgradienten i stolper av Southern pine tørket ved 118°C i 48 timer ble undersøkt av *Taylor* (10). Stolpene som hadde en startfuktighet fra 59-111% viste etter 48 timers tørking en variasjon i splintfuktigheten 8 cm inn i ytveden på fra 26% til 72% med en middel på 44%. Dette er for høye verdier for en sikker impregnering.

Det ble også observert store variasjoner i fuktigheten over omkretsen i skiver som ble skåret ut av stolpene. I segmenter som ble skåret ut i forskjellige vinkler rundt omkretsen varierte fuktighetsdifferansen mellom høyeste og laveste segment fra 3% til 30%, noe som selvfølgelig kan føre til ujevnt opptak i splintveden selv om middelfuktigheten skulle ligge på et akseptabelt nivå.

Gjennom litteraturstudier og egne erfaringer konkluderer *Taylor* (11) at den dominerende årsaken til tidlige råteskader og for tidlig vrakning av stolper ligger i lagringsskader. For å unngå skader mener *Taylor* at den idelle situasjonen var at stolpevirket ble tørket og impregnert umiddelbart etter avvirkning og at tørking av stolper i friluft burde forbyes. Mere realistisk foreslo han en max lagrings/tørkingstid på bl a furu (*Pinus sylvestris*) på 6 måneder mellom avvirkning og impregnering.

*Taylor* presiserte viktigheten av inspeksjon av stolpene før impregnering med hensyn til lagringsskader da disse ofte blir skjult av impregneringen og er vanskelig å oppdage.

*Dickinson og Murphy* (12) undersøkte fuktighet og soppangrep i stolper tørket i friluft ved ulike tidspunkt i Storbritannia. Både innenlandsk og importert korsikansk furu resp. skandinavisk furu inngikk i forsøket. Fuktigheten etter 6-9 måneders lagring var gjennomgående over 28% og råtesopper kunne registreres på alle stolper. Etter 16-20 måneders tørking hadde fuktigheten sunket under 28%, men fuktighetslommer forekom, noe som kunne tyde på at virket var angrepet av mikroorganismer. Konklusjonen var at den store forekomsten av lagringsskader ved friluftstørking gjør det ønskelig å finne alternative tørkemetoder.

I en svensk undersøkelse (*Lundström et al*) (13) av stolpevirke som var friluftstørket og ferdige for impregnering fant man at fuktigheten i mere enn halvparten av stolpene oversteg 25% og at blåning og begynnende råte forekom i ca. 70% av de uttatte prøver.

*Morrell et al* (14) fant at Douglas gran som var friluftstørket mere enn et år i nordvestre USA med største sannsynlighet var angrepet av en aller annen form av

råtesopper og at frekvensen øket med lagringstiden. For å hindre eller forsinke angrepene ble det anbefalt å overflatebehandle stolper som tørket mere enn ett år.

*Bystedt og Edlund* (15) mener at ettertørring av impregnert virke er miljømessig å foretrekke da impregneringsmidlet da er fiksert når virket forlater bedriften. Tørkeluftens innhold av kopper, krom og arsen ved kondensasjonstørring av CCA-impregnert virke inneholder langt under hygienisk grenseverdi. pH målt i kondensatet var lavt (3,0) og kopperinnholdet for høyt for kommunalt avløp (kan skylde kopperrør). Utlaking fra nyimpregnert virke satt ut i friluft var høyt. Virket bør helst stå under tak til midlet er fixert.

*Peek et al* (16) viste at hurtigfixering med basning under 30 minutter ved 120°C ikke gav noen vesentlig reduksjon i styrkeegenskapene for hverken furu eller gran. Basningen hadde ikke noen innvirkning fordi bare den ytre sonen av virket ble oppvarmet og det bare til ca. 90°C mens den indre sonen ikke ble påvirket.

*Wood et al* (17) undersøkte basningens innvirkning på CCA-impregnert Southern pine. De rapporterte at ingen signifikant påvirkning på styrkeegenskapene kunne påvises etter 3 timers behandling med 99 graders damp.

### 3. Tørring i luft ved 80°C

#### 3.1 Formål

I dette delprosjektet vil en se på de muligheter som ligger i tørring av rekkverkstolper ved 80°C, som er en høyere temperaturer enn man normalt opererer med i vanlige sagbrukstørker. Dette er regnet som den maksimale temperaturen som i praksis kan oppnås ved bruk av hettvann som varmemedium.

Da det ved stolper er vanskelig å unngå sprekkskader uansett tørkemetode, ønsker man helst å ha sprekken jevnt fordelt som mindre sprekker over hele omkretsen istedet for få store sprekker. Ved valg av tørkeskjema ønsker man derfor å provosere frem et slikt sprekkmønster.

#### 3.2 Forsøksopplegg

Som forsøksmateriale ble det brukt dreide rekkverkstolper av furu med diameter 14 cm og lengde 1,7 m. Til forsøkene gikk det med 840 stolper totalt, fordelt på to tørkeomganger. Stolpene ble levert fra Stolpeterminalen ved Elverum og fraktet til Norges Trelastskole på Lillestrøm umiddelbart etter dreining. Stolpene ble der lagret under presenning i 4 dager før start på første tørkeomgang.

Tørken som forsøkene ble kjørt på er en spesialbygget forsøktørke av fabrikat Svenska Fläkt. Den er beregnet på å ta én trelastpakke på 1,5 x 1,5 x 6 m som tas inn på tralle. Tørken kan kjøres på maksimum 80°C og er utstyrt med moderne programstyring, trinnløs variasjon av lufthastigheten og elektroniske veieceller for måling av hele pakkens vektendring under tørkeprosessen.

Stolpene ble staplet inn på tvers i tørken uten strø. I og med at stolpene var 1,7 m lange ble avstanden til veggene 10 cm mindre enn anbefalt, men skulle ikke påvirke lufthastighetsfordelingen i nevneverdig grad.

I begge forsøkene ble det staplet inn 420 stolper som fylte opp trallen til normal høyde.

Det ble tatt ut 40 prøver fra hver tørkeomgang for bestemmelse av startfuktighet og kjernevedandel.

Det ble ikke registrert sprekke i noen av stolpene ved innstapling, men en god del av stolpene hadde blåningskader.

Før tørkestart ble trykkfallet over stabelbredden registrert ved forskjellige lufthastigheter.

Begge forsøkene ble kjørt med 70°C våttemperatur i starten, men med forskjellig og gradvis økende psykrometerdifferanse slik at en kan karakterisere det ene skjemaet som mildt og det andre som skarpt. Det milde skjemaet startet på 1,4°C i psykrometerdifferanse og endte på 16,4°C med en stigning av tørretemperaturen til 80°C. Det skarpe klimaet startet med 5°C i differanse og endte på 30°C med en tørretemperatur stigende opp til 80°C. De ønskede klimaforløp er basert på innløpsforholdene i virket.

Under hele tørkeforløpet ble klimaet kontinuerlig registrert med de innbygde temperaturfølerne. I tillegg ble det med egen datalogger registrert tørretemperaturer, våttemperatur og overflatetemperatur på forskjellige steder. Stolpenes totalvekt samt energiforbruket ble også kontinuerlig overvåket.

Lufthastigheten gjennom stabelen var konstant 4 m/s.

Etter tørking ble det tatt 40 prøver etter tørke/veiemetoden for bestemmelse av slutfuktighet og fuktighetsgradient.

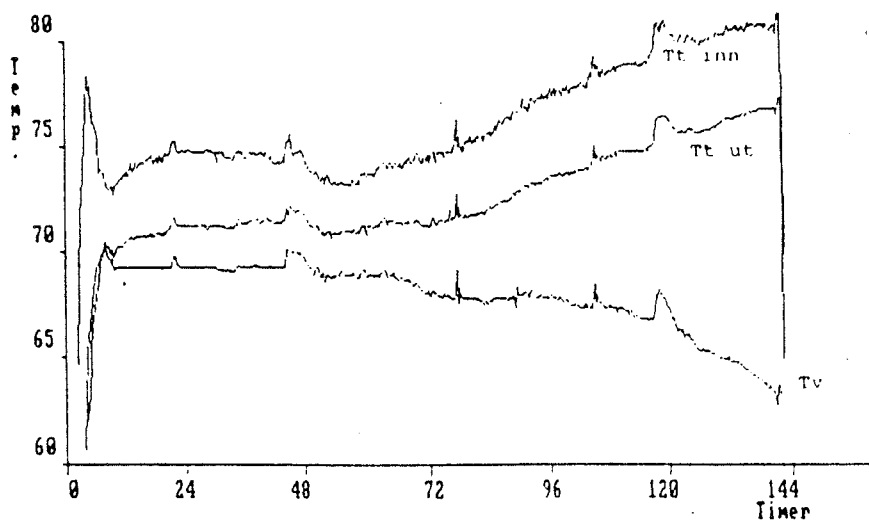
Sprekktyper og sprekkhyppighet ble også nøye registrert etter hver tørking ved måling av sprekkeantall og sprekkbredder i ett tverrsnitt på i alt 95 stolper.

Etter avslutning av tørkeforsøkene ble stolpene fraktet til Hedmark Treimpregnering for impregnering etter fullcellemetoden med CCA-salt. Mellom tørking og impregnering gikk det ca. 3 uker for Forsøk nr 1 og ca. 1,5 uke for Forsøk nr 2. Fra hver tørkeomgang ble det tatt ut 20 boreprøver som ble sendt videre til NTI for analyse.

### 3.3 Resultater

I Figur 3 er vist det klimaet som stolpene ble utsatt for ved Forsøk nr 1 (mild tørking). Dette gav en tørketid på 144 timer.



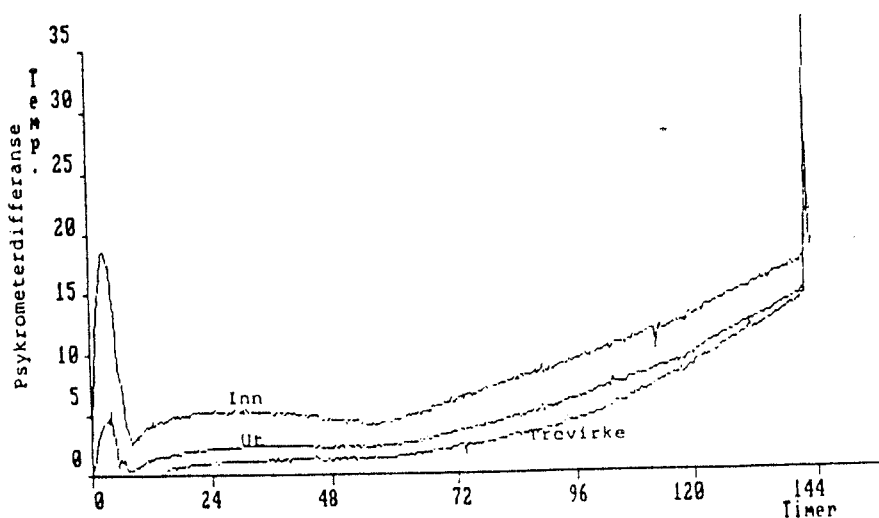


Figur 3. Registrert klima ved Forsøk nr 1 (mildt).  $t_t$  = tørrtemperatur,  $t_v$  = våttemperatur

Figure 3. Experiment 1. Drying climate.  $t_t$  = dry bulb temperature,  $t_v$  = wet bulb temperature

Som en ser er det bra overensstemmelse mellom programmert og oppnådd klima i tørka. En kan også legge merke til at temperaturfallet gjennom lasten er 3,5-4°C i mesteparten av tørketiden selv ved den relativt beskjedne gjennomstrømningslengden for luften på 1,7 m.

I Figur 4 er vist psykrometerdifferansen for inn- og utløpssiden for tørkeluften, samt hvordan temperaturen på stolpenes overflate har utviklet seg (i forhold til våttemperaturen).



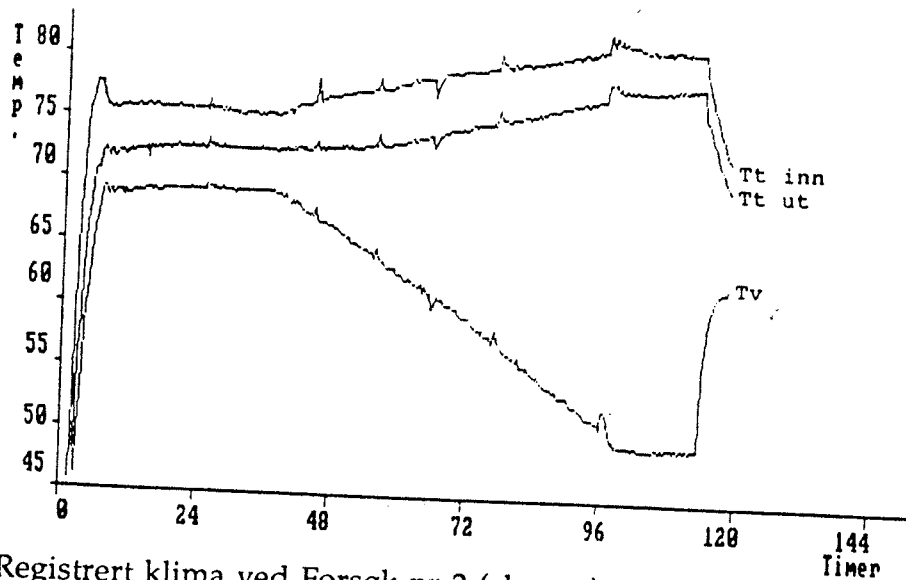
Figur 4. Psykrometerdifferanser for tørkeluft og virkesoverflate ved Forsøk nr 1

Figure 4. Wet bulb depression in the kiln and at the wood surface

En ser at det har vært problemer med å oppnå ønsket psykrometerdifferanse i starten, noe som skyldes for liten basningskapasitet i forhold til oppvarmingshastigheten.

En ser videre at virkestemperaturen i starten følger våttemperaturen, men at den etter ca 14 timer fjerner seg fra våttemperaturen og ganske snart legger seg nær tørretemperaturen på utblåsningssiden.

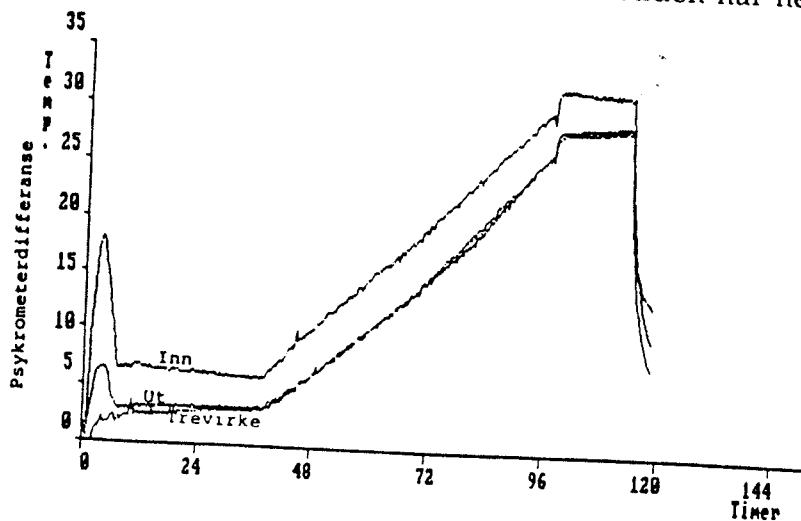
For Forsøk nr 2 (hard tørking) er i Figur 5 og Figur 6 vist de tilsvarende diagram for registrert klima og stolpenes overflatetemperatur.



Figur 5. Registrert klima ved Forsøk nr 2 (skarpt )

Figure 5. Experiment 2. Drying climate.  $t_t$  = dry bulb temperature,  $t_v$  = wet bulb temperature

En ser av Figur 5 at tørkeskjemaet er vesentlig skarpere, med en psykrometerdifferanse på 30°C mot slutten av tørkeprosessen. Tørketiden har her blitt 113 timer.



Figur 6. Psykrometerdifferanser for tørkeluft og virkesoverflate for Forsøk nr 2

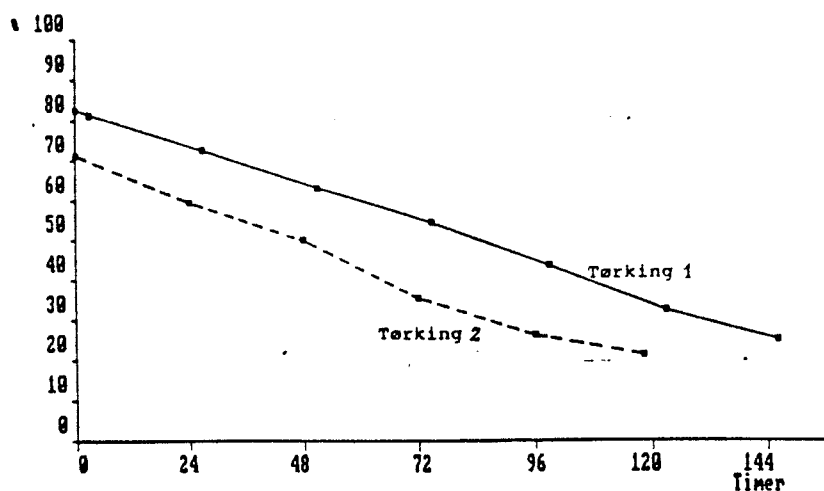
Figure 6. Experiment 2. Wet bulb depression in the kiln and at the wood surface

Av Figur 6 fremgår det at virkestemperaturen meget raskt har nærmet seg tørrtemperaturen, noe som i stor grad skyldes det skarpe klimaet allerede i starten.

Når det gjelder de observerte verdier for fuktighet, sprekk, densitet og kjernevedandel fremgår de av Tabell 1.

Midlere startfuktighet for Forsøk nr 1 var 82,8 % med et standardavvik på 29,3%. Sluttfuktigheten ble i middel 25,3% med et standardavvik på 7,0%. For tørking 2 var de tilsvarende verdier 71,1%/27,8% for startfuktighet og 21,4%/7,1% for sluttfuktighet.

Av Figur 7 fremgår forøvrig hvordan fuktigheten har endret seg over tid for de to tørkeforsøkene.



Figur 7. Fuktighetsutvikling for de 2 tørkeforsøkene

Figure 7. Experiment 1 and 2. Moisture content in the wood during the drying procedure

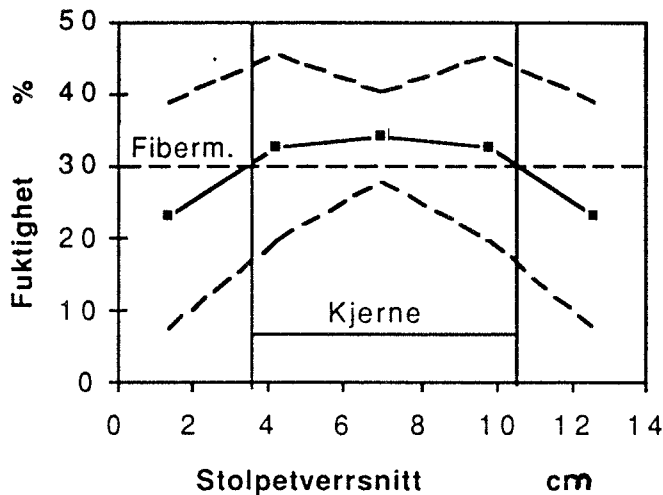
På grunn av en kraftig skjerping av tørkeklimaet i siste halvdel av tørkeprosessen har man klart å holde høy tørkehastighet i hele tørkeperioden for begge tørkeforsøkene. Det fremgår også at tørkehastigheten ved Forsøk nr 2 som ventet er høyest, spesielt omkring fibermetningspunktet.

Fra et impregneringssynspunkt er sluttfuktighet og opptredende fuktighetsgradient av stor betydning. For Forsøk nr 1 ble det skåret ut 10 skiver hvorfra det ble tatt ut 3 prøver fra hver for bestemmelse av gradienten. For Forsøk nr 2 ble det tatt 10 prøver med 4 gradientprøver fra hver.

I Figur 8 fremgår det hvilken midlere fuktighetsgradient som ble registrert rett etter tørkingen for Forsøk nr 1.

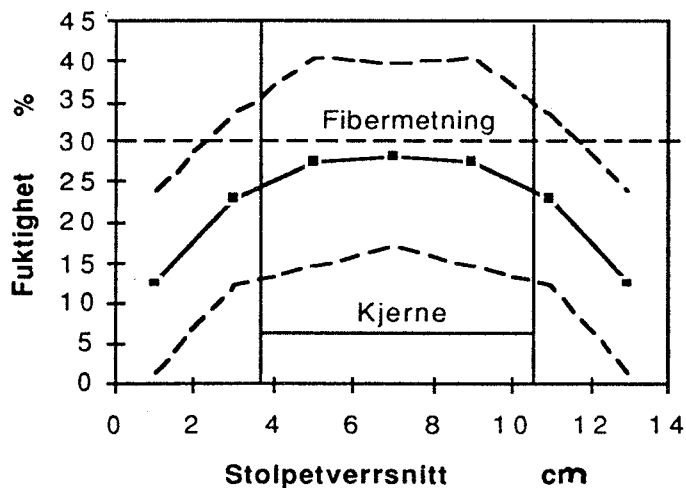
For Forsøk nr 1 fremgår av Figur 8 at midlere fuktighet mot midten av stolpen ligger faretruende høyt sett fra et impregneringssynspunkt. Selv om middelfuktigheten for gradienten bortimot skjærer fibermetningspunktet ved grensen til kjerneveden, må være klar over den store spredningen som opptrer omkring middelveidien. I figuren

er lagt inn 90% konfidensintervall som viser at en stor andel av stolpene har en fuktighet som ligger vesentlig for høyt for en sikker inntregning inn mot kjernen (en enkelt prøve viste så høy fuktighet som 52,4%). Målt middelfuktighet i skiver tatt ut fra de samme stokker viser en verdi på 26,4%, som derfor må anses som for høy middelfuktighet for en sikker impregnering.



Figur 8. Midlere fuktighetsgradient etter tørking med angivelse av 90% konfidensintervall ved Forsøk 1 (mild)

Figure 8. Experiment 1. Moisture gradient in the wood after drying



Figur 9. Midlere fuktighetsgradient etter tørking med angivelse av 90% konfidensintervall ved Forsøk 2 (skarp)

Figure 9. Experiment 2. Moisture gradient in the wood after drying

Fra forsøk nr. 2 se en av Figur 9 at alle middelverdiene for fuktighetsgradientmålningene av de ti skivene ligger under fibermetningspunktet. Men selv her ser en ut fra grensene for 90% konfidensintervall at flere stolper har for høy fuktighet inn mot kjernen, selv om middelfuktigheten ligger på 19,5%. Høyeste enkelprøve viste her en verdi på 46,3% inn mot kjernen.

Tabell 1. Stolpenes start- og slutfuktighet, spredning, kjernevedandel, densitet og sprekkmengde ved tørkning i mildt og skarpt klima ved 80°C

Table 1. Moisture content before and after drying, heart wood content, density and amounts of cracks in the poles after drying at 80°C

	Forsøk 1 Mild Experiment 1	Forsøk 2 Hard Experiment 2
Startfuktighet (%) <i>Initial moisture content, (%)</i>	30,5- 82,8-142,8	29,8-71,1-130,0
Standardavvik (%) <i>Standard deviation, (%)</i>	29,3	27,8
Slutfuktighet (%) <i>Final moisture content, (%)</i>	16,0-25,3-41,8	11,9-21,4-36,0
Standardavvik (%) <i>Standard deviation, (%)</i>	7,0	7,1
Densitet (kg/m <sup>3</sup> rå) <i>Density (kg/m<sup>3</sup>)</i>	417	415
Kjernevedandel (%) <i>Heart wood content, (%)</i>	24	24
Ant sprekk pr. stolpe: <i>Numbers of cracks per pole</i>		
> 5 mm	0,25	0,48
1-5 mm	1,58	2,42
0,1-1 mm	0,94	1,36
Ant endesprekk pr. stolpe (> 0,1 mm) <i>Number of cracks per pole in endwood</i>	2,78	3,97
Andel med mikrosprekk (%): <i>Amount of micro cracks, (%):</i>		
< 5 stk	67	54
5-10 stk	16	28
> 10 stk	17	18

Av Tabell 1 kan en se at stolpene i de to forsøkene var temmelig like når det gjelder densitet og kjernevedandel.

Den relativt høye tørketemperaturen førte til at stolpene ble endel mørkere etter tørkingen, noe som ikke skulle ha noen praktisk betydning. Det ble derimot registrert en god del kvaeflytning som kan ha en viss innflytelse på impregneringsopptaket.

Forsøkene gir ellers klare indikasjoner på at sprekkantallet øker med skarpere klima. Sprekkmengden i de forskjellige sprekklasser ligger således 50-100% høyere for tørking nr 2 som hadde et vesentlig skarpere klima. En del av denne økningen vil nok ha sin forklaring i en lavere sluttluftighet for tørking nr 2. Selv om sprekkantallet var høyere ved det skarpere klimaet kan det ikke sies å ha noen praktisk betydning for bruken av stolpene. Impregneringsmessig vil mange mindre sprekker jevnt fordelt over omkretsen snarere være en fordel.

Antall stokker med forskjellig grad av mikrosprekker (under 0,1 mm i bredde) ble også registrert. Her ser en at de stolpene som var tørket i det skarpeste klimaet hadde flest mikrosprekker.

Tabell 2. Stolpenes fuktighet og opptak av impregneringsvæske etter skarp og mild tørking ved 80°C

Table 2. Moisture content and preservative retention after drying at 80°C

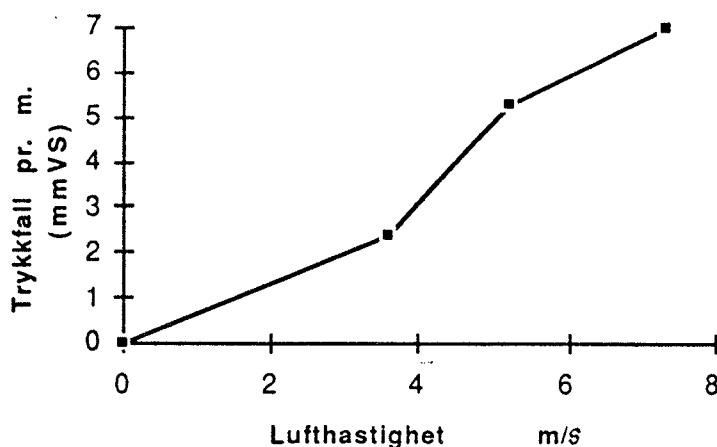
	Forsøk 1 (mildt) <i>Experiment 1</i>	Forsøk 2 (hardt) <i>Experiment 2</i>	
	Opptak (%) <i>Penetration (%)</i>	Fuktighet (%) <i>Moisture content (%)</i>	Opptak (%) <i>Penetration</i>
	100	16,1	100
	100	14,5	100
	100	15,7	60
	72	22,4	100
	100	25,3	40
	74	19,2	100
	68	30,4	100
	100	26,4	100
	81	22,4	100
	57	13,4	40
	100	16,6	93
	90	29,6	68
	100	21,5	100
	100	22,4	100
	100	36,0	100
	100	19,8	100
	100	34,2	93
	100	12,7	100
	80	29,8	100
	100	14,8	100
Middelverdier <i>Average</i>	91,1	22,2	89,8

I Tabell 2 er vist resultatene fra impregneringsanalysene. For Forsøk nr 1 var midlere inntrengning 91,1% som ligger under kravet til NS 3190 (SS 05 61 10) som krever minimum 93%. Dette kan forklares ut fra målingene av fuktighet og fuktighetsgradienter som er referert foran.

For Forsøk nr 2 var midlere opptak av impregneringsvæske i splinten ca. 90% som er litt lavere selv om fuktigheten faktisk var nede på 22%. Opptaket av salt var derimot høyest med  $13,9 \text{ kg/m}^3$  mot  $12,6 \text{ kg/m}^3$  for Forsøk nr 1. Det var 2 prøver av 20 med et opptak på bare 40% og 42% som trakk ned gjennomsnittet. Den ene av disse prøvene hadde en gjennomsnittsfuktighet på 25,3%, som kan gi for høy fuktighet inn mot kjernen og således forklare det lave opptaket. Den andre prøven hadde imidlertid en gjennomsnittsfuktighet på bare 13,4% og skulle således være mer enn tørr nok. Ser en bort fra disse to ekstremverdiene er opptaket i gjennomsnitt 95,3%.

Ved dimensjonering av viftene for tørking av rekkverkstolper er det nyttig å kjenne til trykkfallet gjennom stabelen. I Figur 10 er trykkfallet pr. m gjennomstrømningslengde (på langs av stolpene) angitt som funksjon av lufthastigheten.

Av resultater vil en avslutningsvis nevne at energiforbruket ble registrert til så lave verdier som ca.  $130 \text{ kWh/m}^3$  fordelt på  $15 \text{ kWh/m}^3$  for vifteenergien og  $115 \text{ kWh/m}^3$  for varmeenergien. Selv om en tørket ved høye temperaturer i en tett og godt isolert tørke virker disse verdier usannsynlig lave.



Figur 10. Trykkfall pr. m. som funksjon av lufthastighet ved gjennomblåsning av 15 cm diam. stolper på langs

Figure 10. Pressure gradient versus air velocity in the pole pile

### 3.4 Diskusjon

Avhengig av hvor skarpt man tørker kan man ved 80°C oppnå tørketider mellom 120 og 170 timer ved tørking fra rått til en gjennomsnittsfuktighet på 22-25%. Spredningen i slutfuktigheten er imidlertid stor og ligger for begge forsøkene på ca. 7% uttrykt i standardavvik. Det vil si at 5% av stolpene har en middelfuktighet som ligger over 33-36%. I tillegg har stolpene en fuktighetsgradient som gjør at fuktigheten inn mot kjernen ligger ca. 2% høyere enn middel-fuktigheten. For å sikre seg at 95% av stolpene har en fuktighet på maks. 30% i splintveden nærmest kjerneveden, må stolpene teoretisk tørkes til en middelfuktighet tilsvarende;

$$U_m = 30\% - 1,645 \times S - 2\%$$

hvor 1,645 er normalfordelingsfaktoren for 90% konfidensintervall og S er standard avviket i slutfuktigheten.

Dette tilsvarer en nedtørking til en midlere fuktighet på ca. 20% hvis en forutsetter at standardavviket da er sunket til omkring 4-5%.

Blir det ved kunstig tørking med så skarp klima ikke foretatt noen kondisjonering er det derfor å anbefale at slutfuktigheten i middel bør ligge omkring 20% for å være sikker på at fuktigheten inn mot kjerneveden i det vesentlige skal ligge under fibermetningspunktet.

Når det gjelder sprekkutvikling er det som nevnt registrert ca. 50% mere sprekk, både små og store, på det virke som ble tørket ved det skarpeste klimaet. Den større sprekkmengden er fullt akseptabel og har ikke noen negativ innvirkning på bruksegenskapene (Vedlegg 1, Bilde 2) Når det gjelder impregnerbarhet skulle en tro at en større sprekkmengde, forutsatt noenlunde jevnt fordelt, ville virke gunstig på impregneringsopptaket.

Forsøkene viser at rekkverkstolper med fordel kan tørkes kunstig på 5-6 dager ved 80°C før impregnering. Stor spredning i slutfuktigheten og store fuktighetsgradienter betinger dog at man tørker til en midlere fuktighet ned mot 20% for å få en sikker impregnering.

Forsøkene har gitt nyttige grunnlagsdata for både tekniske og økonomiske beregninger av anlegg for kunstig tørking av stolper.

## 4. Tørking iluft av 130°C og 150°C.

### 4.1 Formål

Formålet med dette forsøket var å danne seg et bilde av hvor kort tid man kan tørke rekkverkstolper av furu med 14-15 cm diameter ved så høye temperaturer som 130°C og 150°C og i hvilken grad den høye temperaturen påvirket impregnerbarheten.



## 4.2 Forsøksopplegg

Forsøkene ble gjort i en laboratorietørke hvor det var plass til bare to stolper. Stolpene ble før forsøkene endeforseglet med flere lag aluminiumsmaling for å hindre for mye endeuttørring. Stolpene ble tørket ved to temperaturer, 130°C med en våttemperatur på 70-85°C og 150°C ved en våttemperatur på 80-85°C. Lufthastighet var på 0,8-1,0 m/s som var det maksimalt oppnåelige. Da man ikke hadde noen vekt som tålte 150°C var det vanskelig å følge fuktighetsutviklingen og en måtte derfor anslå tørketiden til ønsket 20% utfra beregninger.

Etter tørkingen ble middelfuktighet, gradient og kjernevedandel registrert. De stolpene som var tørket ved 150°C ble impregnert med CCA.

## 4.3 Resultater

I Tabell 3 og 4 er resultatene fra de to tørkeforsøkene sammenstilt.

Fra Tabell 3 ser en at en beregnet tørketid på 31 timer til 22% fuktighet ved 130°C i virkeligheten ga en slutfuktighet på 26% og 29%. Dette er for høy fuktighet for en sikker impregnering slik som også fuktighetsgradientene viser i Figur 11.

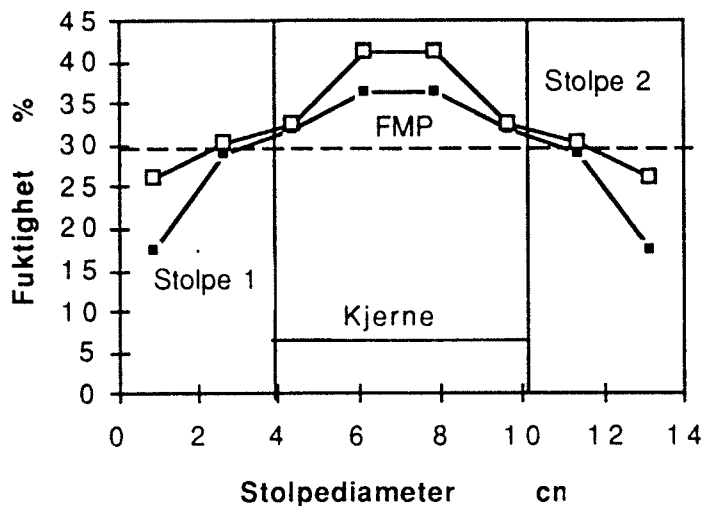
Stolpene bar ellers preg av å være tørket ved høy temperatur med en mørkere overflate og sterkt kvæutflod, som farvebildene i vedlegg 1 (nr 2) viser.

Sprekkmønsteret skilte seg ikke vesentlig fra tørking ved 80°C (skarpt klima) (se Kapittel 3) med ganske mange små sprekker. Etter tørking og fuktighetsutjevning var det tydelig at mange av de mindre sprekke hadde lukket seg.

Tabell 3. Data og resultater fra tørking av stolper ved Forsøk 1 (130°C)

Table 3. Results from drying at 130°C

	Stolpe 1 <i>Pole no. 1</i>	Stolpe 2 <i>Pole no. 2</i>
Startfuktighet (%) <i>Initial moisture content (%)</i>	120	127
Midlere slutfuktighet (%) <i>Final moisture content (%)</i>	26	29
Tørrtemperatur (°C) <i>Dry bulb temperature (°C)</i>	130	130
Våttemperatur (°C) <i>Wet bulb temperature (°C)</i>	70-85	70-85
Kjerneandel (%) <i>Heart wood content</i>	24	28
Tørketid (timer) <i>Drying time (hours)</i>	31	31



Figur 11. Fuktighetsgradienter registrert ved Forsøk 1 (130°C)

Figure 11. Experiment 1. Moisture gradients in the wood after drying

Ved Forsøk 2 som ble utført ved 150°C fikk man etter en tørketid på 18 timer en midlere slutfuktighet på 12% og 15,4 %. Dette er en vesentlig lavere fuktighet enn beregnet.

Av Figur 12 fremgår det at fuktighetsgradientene for de to stolpene er veldig "bratte". Dette medfører at selv ved så lave middelfuktigheter er splintfuktighetene på grensen til kjerneveden helt oppe i 30%, som er det maksimale for en sikker impregnering.

Når det gjelder misfarging ble stolpenes overflate mørkere uten at det skulle ha noen praktisk betydning når en tenker på etterfølgende impregnering.

Fra kvistene rant det imidlertid mye kvaer som gav meget mørke striper som ikke blir borte ved impregnering. Skaver man imidlertid stolpene etter tørking, som er mest vanlig ihvertfall ved telefonstolper, vil disse merkene etter kvaeflyting forsvinne.

Den etterfølgende impregnering med CCA ga 100% inntregning i begge stolper. Den høye temperaturen skulle således ikke ha noen negativ betydning for impregnerbarheten.

#### 4.4 Diskusjon

Selv om disse forsøkene var små i omfang når det gjelder antall stolper kan en trekke ut nyttige erfaringer.

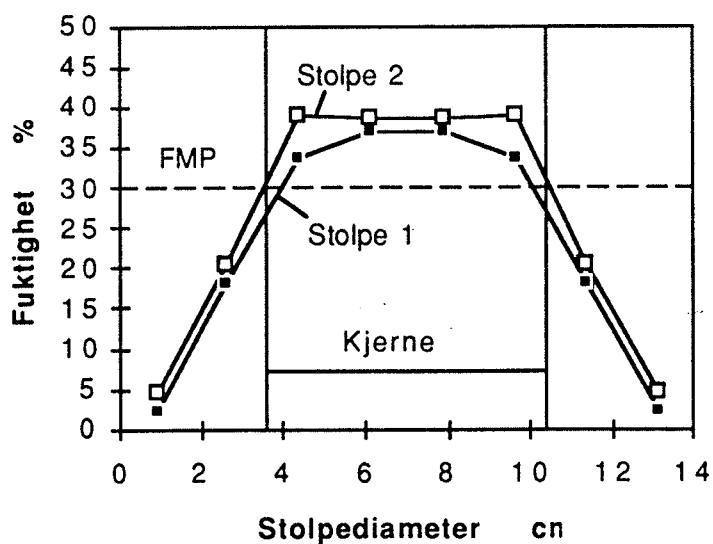
Forsøkene viser at det er mulig å høytemperaturtørke helt ferske stolper med en splintfuktighet på over 120% ned til impregneringstørst på under ett døgn.

Fuktighetsgradienten blir imidlertid meget stor og det kreves at man tørker til en middelfuktighet på mellom 15-20% avhengig av kjernevedandel og spredning i

Tabell 4. Data og resultater fra tørking av stolper ved Forsøk 2 (150°C)

Table 4. Results from drying at 150°C

	Stolpe 1 Pole no. 1	Stolpe 2 Pole no. 2
Startfuktighet (%) <i>Initial moisture content (%)</i>	127	123
Midlere sluttfuktighet (%) <i>Final moisture content (%)</i>	12	15.4
Tørretemperatur (°C) <i>Dry bulb temperature (°C)</i>	150°C	150°C
Våttemperatur (°C) <i>Wet bulb temperature (°C)</i>	80-85	80-85
Kjerneandel (%) <i>Heart wood content (%)</i>	25	20
Tørketid (timer) <i>Drying time (hours)</i>	18	18
Lufthastighet (m/s) <i>Air speed (m/s)</i>	1	1
Opptak av imp.væske (%) <i>Retention (%)</i>	100	100



Figur 12. Fuktighetsgradienter registrert ved Forsøk 2 (150°C)

Figure 12. Experiment 2. Moisture gradients in the wood after drying at 150°C

sluttfuktigheten for å være rimelig sikker på at splintfuktigheten vil ligge under 30% inn mot kjerne.

Misfargingen på overflaten er ikke større enn at den blir overskygget av den etterfølgende impregneringen. Kvaeflytingen er imidlertid markant og kan ha en viss negativ innvirkning for visse bruksområder, men kan være positiv for bruksområder hvor man ønsker liten kvaerenning under bruk. Kvaen som hadde rent ut og ble liggende på overflaten var ikke klebrig.

Sprekkmønstret blir preget av flere små sprekker, som er gunstig styrkemessig og impregneringsmessig.

Temperaturer opp til 150°C synes ikke å ha noen negativ innvirkning på impregnerbarheten.

## 5. Torkning av tråstolpar i hetånga

### 5.1 Syfte

Syftet med undersøkningen er å utreda mulighetene for å tørke rått stolpvirke av furu (*Pinus sylvestris*) i overhettad ånga under vakuum ned til en fuktkvot rundt 25%. Torkningen må ske uten at impregnerbarheten försämras jämfört med impregnerbarheten hos stolpvirke som torkas utomhus i vältor.

### 5.2 Material och metoder

#### 5.2.1 Försök 1

I den första delen av försöket ingick 20 stycken råa 8-meters stolpar av tall av vilka hälften var barkade och hälften barkade och svarvade ca en vecka före torkningen. Dessutom ingick 10 stycken 9-meters stolpar som var barkade och svarvade ca en och en halv månad före torkförsöket. Stolparna hade inga synliga biologiska angrepp. Virket var avverkat under perioden mars-april.

Före torkningen mättes stolparnas rot- och toppdiameter samt splintvedsandelen, se Tabell 5. Fuktkvoten mättes dels med elektrisk fuktkvotsmätare dels enligt torrviktsmetoden genom att borrhärdar togs ut, vägdes, torkades och vägdes igen. Dessutom vägdes stolparna i buntar med fem i varje.

Torkningen utfördes enligt torkprocessen beskriven nedan. Torktider, temperaturer och relativa ångtryck i autoklaven under torkningen framgår av Tabell 6.

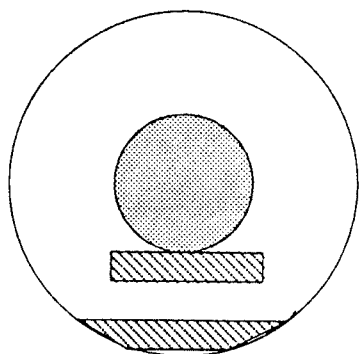
Efter torkningen mättes fuktkvoten med elektrisk fuktkvotsmätare och stolparna vägdes ånyo buntvis med samma stolpar i respektive bunt. De stolpar som bara var barkade före torkningen svarvades när torkprocessen var slutförd.

Hälften av antalet stolpar impregnerades med ett s k CCA-medel innehållande koppar, krom och arsenik fyra dygn efter avslutad torkning enligt en vanlig fullcellsprocess, se Tabell 8, varefter de vägdes buntvis igen och inträngningen av impregneringsmedel undersöktes dels i borrhärdar från varje stolpe, dels i trissor som sågades ut ur två stolpar per grupp minst 700 mm från ändarna. En jämförelse av

inträngningen gjordes mellan stolpar som barkats resp barkats och svarvats före torkningen liksom mellan stolpar som var råa före torkningen resp halvtorra.

### 5.2.2 Försök 2

20 stolpar av tall med en längd mellan 9 och 11 meter och en diameter mitt på stolpen mellan 150 och 230 mm, se Tabell 10, barkades ca en vecka efter fällning i april 1991. Stolpvirket kom från norra Finland. Direkt efter barkningen togs fuktkvotsprover ut ca 700 mm från toppändan på 10 stolpar och 700 mm från rotändan på resterande 10 stolpar. Ca 30 mm breda trissor sågades ut ur stolparna från vilka prover för fuktkvotsbestämning togs ut från den yttre respektive inre delen av splinten enligt Figur 13. Fuktkvoten bestämdes enligt torrviktsmetoden.



Figur 13. Uttag av prover för fuktkvotsbestämning

Figure 13. Sampling for measuring of moisture content

Stolparna torkades därefter under 95 timmar i en hetångeprocess enligt Tabell 7. Direkt efter torkningen togs nya fuktkvotsprover på samma sätt som före torkningen.

Tre dygn efter avslutad torkning impregnerades stolparna enligt en full-cellprocess med ett CCA-medel. Inträngningen av impregneringsmedel undersöktes genom att trissor sågades ut ur stolparna. Inträngningen dokumenterades genom fotografering.

### 5.3 Torkprocess

Torkningen utfördes under vakuum i överhettad ånga.

Torken består av ett välisolerat tryckkärl i vilket de strölagda stolparna förs in på vagnar, luckorna stängs och luften evakueras. Vatten som avgår från virket omvandlas till ånga som cirkuleras genom stolppaketen med hjälp av fläktar som sitter i torkens tak. Under de första timmarna hålls det relativa ångtrycket på 100% och virket värms upp i den heta ångan utan att den egentliga torkningen påbörjas. När virket är varmt regleras ångtrycket ned under 100% och torkningen börjar. Ju lägre ångtrycket är desto fortare går torkningen. Vatten från virket avdunstar, och för att bibehålla ångtrycket under 100% evakueras ångan i samma takt som vatten avdunstar från virket. Ångan förs sedan över till en kondensationstank.

Önskade temperaturer och ångtryck under torkprocessen programmeras in i en dator och processen och fuktkvoten följs under torkningen genom att känselkroppar applicerats i ett antal stolpar.

Torkningen går väsentligt fortare vid torkning enligt denna metod än vid torkning i konventionell vandrings- eller kammartork.

## 5.4 Resultat

### 5.4.1 Försök 1

Fuktkvoten före torkningen mätt med elektrisk fuktkvotsmätare visade på att de råa stolparna skulle ha en genomsnittlig fuktkvot på 60-65% medan fuktkvoten mätt enligt torrviktsmetoden visade på att fuktkvoten var 83%, se Tabell 11.

De halvtorra stolparna hade en fuktkvot på ca 35% såväl enligt mätningar med elektrisk fuktkvotsmätare som enligt torrviktsmetoden.

Medelfuktkvoten efter torkningen mätt med elektrisk fuktkvotsmätare var 28% för de barkade stolparna, 32% för de barkade och svarvade och 16% för de från början halvtorra stolparna.

En grov uppskattning av fuktkvoterna gjord med utgångspunkt från vikterna av de buntvis vägda stolparna före och efter torkning, Tabell 5, ger en fuktkvot mellan 80 och 100% för de råa stolparna och 30 till 35% för de halvtorra.

Hälften av borrhörens visade full inträngning till kärnan av impregneringsmedel medan mindre missar förelåg i de övriga. De bästa resultaten erhöles från de stolpar som barkades före torkningen och svarvades efter. Endast två trissor per grupp stolpar togs ut. Även här kunde man se vissa impregneringsmissar och de stolpar som barkades före och svarvades efter torkningen uppvisade bästa resultaten. Materialet i detta försöksled är dock alltför litet för att dra några säkra slutsatser utan resultatet får ses som tendenser.

Stolpverket hade fått relativt många och djupa sprickor efter torkningen och runt kvistarna förekom kraftig kådflytning.

### 5.4.2 Försök 2

Fuktkvoten före och efter torkningen i hetånga framgår av Tabell 12. Före torkningen låg fuktkvoten i den yttre delen av splinten närmare 150% i toppänden och 115% i rotänden. Den inre delen av splinten höll ca 10% lägre fuktkvot.

Efter torkningen låg fuktkvoten runt 10% i den yttre delen av splinten och runt 20% i den inre delen. Det var således en relativt stor fuktkvotsgradient i splinten, men hela splintveden hade tillräckligt låg fuktkvot för impregnering, dvs under 25%.

Upptagningen av impregneringslösning motsvarade 463 liter/m<sup>3</sup> stolpvirke, vilket motsvarar avsevärt mer än 600 liter/m<sup>3</sup> splintved. Flera tvärsnitt tyder också på att impregneringsmedel trängt in en eller flera cm i kärnveden, se Tabellerna 10 och 13 samt fotobilaga.

## 5.5 Diskussion

Fuktkvoten i försök 1 mättes dels med elektrisk fuktkvotsmätare, dels enligt torrviktsmetoden med olika resultat vid höga fuktkvoter. Elektriska fuktkvotsmätare lämpar sig inte för mätning av fuktkvoter över fibermättnadspunkten (25-30%) utan här ger fuktkvotsmätning enligt torrviktsmetoden säkrare värden även om borrhölor, som här användes, ger väl små virkesvolym. Torkresultaten visar att torkningen går fort. På mindre än 70 timmar har fuktkvoten gått ner från över 80% till ca 30%. För att virket skall erhålla fuktkvoter lämplig för impregnering bör dock torktiden förlängas eller torkprocessen ändras.

De praktiskt taget nyfällda stolparna i Försök 2 med en fuktkvot på över 100% kunde torkas till en fuktkvot under 20% på ca 100 timmar i hetånga. Fuktkvotsgradienten mellan yttre och inre delen av splintveden var dock relativt stor, ca 8 fuktkvotsprocent. Impregneringen utfördes tre respektive fyra dygn efter avslutad torkprocess och alltså när stolparna hade svalnat. Impregneringsresultatet varierade. I ca hälften av antalet stolpar hade impregneringsmedlet trängt in i hela splintveden och i vissa fall långt in i kärnan, i övriga stolpar förekom impregneringsmissar.

I några stolpar erhöles en mycket ojämn inträngning. För att finna kärnvedsgränsen penslades kärnvedsreagens på några av de utsågade trissorna. Härvid framkom ett märkligt mönster där reagentet slog om för kärnved inte bara i kärnan utan även i ett stråk närmast gränsen för impregneringsmedlets inträngning medan det inte blev något färgomslag mellan kärnan och detta stråk, se Figur 30.

Olika teorier har framkommit för att förklara denna ojämna inträngning. En teori har varit att det har förekommit fuktfickor i inre delen av splintveden och att fukten har förhindrat inträngningen av impregneringsmedel. En annan teori som stöds av kärnvedsreagensomslaget har varit att den höga temperaturen i kombination med vakuum har förorsakat en omfördelning av vissa kärnvedsämnena i veden.

Huruvida den ojämna inträngningen av impregneringsmedel är knuten till var i torkcylindern stolpen har legat är inte känt. Det är ju inte omöjligt att stolparna utsätts för olika värme- och ångpåverkan beroende på var den varit placerad under torkprocessen.

Den förkortade torktiden är en stor fördel både för att minska stolplagen och för att förhindra lagringsskador. Det är dock nödvändigt att utreda om det är den höga värmen under torkningen som bidrar till den ojämna inträngningen av impregneringsmedel eller om det är andra faktorer som är orsaken.

Tabell 5. Data över stolparna i Försök 1

Table 5. Information about the poles in the first experiment

Prov nr <i>Pole nr</i>	Diameter (mm) <i>Diameter (mm)</i>		Volym <i>Volume</i>	Andel splintved (%) <i>Sapwood (%)</i>	Vikt/5 stolpar (kg) <i>Weight/5 poles (kg)</i>		
	Rot <i>Butt end</i>	Topp <i>Top end</i>			(dm <sup>3</sup> ) <i>(dm<sup>3</sup>)</i>	Före tork <i>Before drying</i>	Efter tork <i>After drying</i>
R*13	180	134	166	85			
R15	190	144	184	70			
R16	178	140	170	80			
R20	187	154	189	95			
R22	218	154	240	90			
<b>Totalt/Total</b>			<b>949</b>		<b>920</b>	<b>550</b>	
<b>Efter svarvning/After shaving</b>			<b>925</b>			<b>520</b>	<b>940</b>
R12	190	138	176	80			
R14	174	145	168	85			
R18	195	160	213	80			
R19	163	128	136	85			
R21	193	132	177	80			
<b>Totalt/Total</b>			<b>870</b>		<b>820</b>	<b>570</b>	
<b>Efter svarvning/After shaving</b>			<b>801</b>			<b>500</b>	
B*2	174	128	155	90			
B6	174	138	166	85			
B9	182	140	174	90			
B39	170	148	165	90			
B41	172	135	153	80			
<b>Totalt/Total</b>			<b>813</b>		<b>780</b>	<b>520</b>	<b>900</b>
B3	150	122	123	70			
B10	192	138	177	85			
B11	164	120	135	80			
B13	172	130	153	85			
B38	186	137	164	90			
<b>Totalt/Total</b>			<b>752</b>		<b>730</b>	<b>490</b>	
S*1	204	154	243	85			
S2	194	153	227	80			
S3	184	138	194	90			
S4	190	134	197	80			
S6	192	148	211	80			
<b>Totalt/Total</b>			<b>1072</b>		<b>720</b>	<b>600</b>	
S5	200	136	222	80			
S7	202	141	220	80			
S10	190	144	205	70			
S13	205	161	245	70			
S14	208	153	240	75			
<b>Totalt/Total</b>			<b>1132</b>		<b>700</b>	<b>620</b>	<b>1020</b>

\* R = barkade före torkning, svarvade efter torkning

R = debarked before drying, peeled after

B = barkade och svarvade före torkning

R = debarked and peeled before drying

S = barkade och svarvade före torkning

R = debarked and peeled before drying



Tabell 6. Torkprocess för stolparna i Försök 1

Table 6. Drying process; Experiment 1

Process <i>Process</i>	Tid <i>Time</i> (h)	Temp <i>Temperature</i> (°C)	Absolut tryck <i>Pressure</i> (kPa)	Relativt ångtryck <i>Relative vapour pressure</i> (%)
Förvakuum <i>Initial vacuum</i>	1	25	10	99
Uppvärmning <i>Heating</i>	10			99
Torkning <i>Drying</i>	56	80	30	60-65
<b>Total tid</b> <b><i>Total time</i></b>	<b>67</b>			

Tabell 7. Torkprocess för stolparna i Försök 2

Table 7. Drying process; Experiment 2

	Tid <i>Time</i> (h)	Temperatur <i>Temperature</i> (°C)	Relativ luftfuktighet <i>Relative humidity</i> (%)
Förvakuum/ <i>Initial vacuum</i>	1	25	99
Uppvärmning/ <i>Heating</i>	9	60-77	71-94
Torkfas 1/ <i>Drying phase 1</i>	25	80	68
Torkfas 2/ <i>Drying phase 2</i>	40	80-84	68-55
Torkfas 3/ <i>Drying phase 3</i>	8	85-89	55-45
Torkfas 4/ <i>Drying phase 4</i>		10	90 45-41
Konditionering/ <i>Conditioning</i>	2	90	46-53
<b>Total tid/<i>Total time</i></b>	<b>95</b>		

Tabell 8. Impregneringsprocess för stolparna i Försök 1

Table 8. Treating process; Experiment 1

Process <i>Process</i>	Tryck <i>Pressure</i> (kPa)	Tid <i>Time</i> (h)
Förvakuum <i>Initial vacuum</i>	15	1,50
Tryck/ <i>Pressure</i>	1350	3,25
Eftervakuum/ <i>Final vacuum</i>	15	0,75

Tabell 9. Impregneringsprocess för stolparna i Försök 2

Table 9. Treating process; Experiment 2

Process <i>Process</i>	Tryck <i>Pressure</i> (kPa)	Tid <i>Time</i> (h)
Förvakuum <i>Initial vacuum</i>	15	1,75
Tryck <i>Pressure</i>	1300	5,25
Eftervakuum <i>Final vacuum</i>	15	0,75

Tabell 10. Data över stolparna i Försök 2

Table 10. Information about the poles in Experiment 2

Stolpe nr <i>Pole no.</i>	Längd, m <i>Length m</i>	Diameter, mm		Splintvedsdjup, mm		Impregnering inträngning <i>Preservative penetration</i>	
		mitt <i>middle</i>	rot topp <i>butt end top end</i>	rotände <i>butt end</i>	toppände <i>top end</i>		
1	10	210	220	40		hela splinten/ <i>total sap wood</i>	
2	9	190	200	40		hela splinten	
3	9	190	210	50		hela splinten	
4	9	190	220	50		hela splinten	
5	9	210	220	30		<5% missar/ <i>missing</i>	
6	10	230	240	30		hela splinten	
7	11	190	200	30		5-10% missar	
8	10	210	240	60		ojämn intr.	
9	10	210	230	40		5-10% missar	
10	10	210	220	40		hela splinten	
11	8	170			150	50	hela splinten
12	9	150			140	40	ojämn intr.
13	8	190			160	40	hela splinten
14	10	210			170	40	50% missar
15	11	230			190	50	hela splinten
16	10	210			180	20	50% missar
17	11	210			170	30	hela splinten
18	12	210			180	50	hela splinten
19	12	230			190	50	<5% missar/ <i>missing</i>
20	11	230			170	60	

Tabell 11. Försök 1. Fuktkvoten mätt före torkning enligt torrviktsmetoden och med elektrisk fuktkvotsmätare samt fuktkvoten efter torkningen mätt med elektrisk fuktkvotsmätare

Table 11. Experiment 1. Moisture content measured according to different methods

Prov nr Pole no.	Fuktkvot före torkning (%)		Fuktkvot efter torkning (%)
	Torrviktsmetoden Moisture content before drying (%) Dry weight	El-mätare Electric meter	El-mätare Moisture content after drying (%) Electric meter
R*12	98	70	41
R13	100	590	24
R14	73	62	23
R15	?	53	24
R16	69	54	27
R18	72	63	31
R19	75	60	28
R20	78	59	41
R21	60	52	19
R22	129	62	27
Medelvärde Average	84	59	28
B*2	76	59	27
B3	68	60	23
B6	75	47	26
B9	102	82	28
B10	94	72	36
B11	71	70	23
B13	73	72	50
B38	113	60	26
B39	69	61	41
B41	93	65	38
Medelvärde Average	83	65	32
S*1	28	30	17
S2	36	37	20
S3	66	43	15
S4	35	30	13
S5	28	33	13
S6	37	42	17
S7	32	31	15
S10	30	34	17
S13	28	34	17
S14	29	36	17
Medelvärde Average	35	35	16

- \* R = barkade före torkning, svarvade efter torkning  
 R = debarked before drying, peeled after  
 B = barkade och svarvade före torkning  
 R = debarked and peeled before drying  
 S = barkade och svarvade före torkning  
 R = debarked and peeled before drying

Tabell 12. Försök 2. Fuktkvot hos stolpvirke före och efter torkning i hetånga  
 Table 12. Experiment 2. Moisture content in poles before and after drying in superheated steam

Prov nr Pole no.	Fuktkvot före torkning, % Yttersplint    Innersplint Moisture content before drying (%) Outer sapwood    Inner sapwood		Fuktkvot efter torkning, % Yttersplint    Innersplint Moisture content after drying (%) Outer sapwood    Inner sapwood	
	1R <sup>1</sup>	111	121	17
2R	103	105	10	19
3R	124	120	16	28
4R	103	99	11	21
5R	108	100	11	24
6R	115	102	10	15
7R	114	104	10	13
8R	113	100	9	20
9R	119	98	12	21
10R	129	86	8	10
<b>Medelvärde</b> Average	<b>114</b>	<b>104</b>	<b>11</b>	<b>20</b>
11T <sup>2</sup>	149	137	8	11
12T	122	115	11	14
13T	130	122	10	16
14T	178	147	8	10
15T	146	155	11	23
16T	153	134	10	20
17T	132	129	9	12
18T	158	149	9	17
19T	156	91	10	21
20T	141	156	9	22
<b>Medelvärde</b> Average	<b>147</b>	<b>134</b>	<b>10</b>	<b>17</b>

- 1) R= rotände  
 1) R= butt end  
 2) T= toppände  
 2) R= top end

Tabell 13. Splintved och impregneringsdjup i de olika utsågade trissorna från stolparna

Table 13. Amount of sapwood and penetration of preservative in the discs

Prov nr	Splintvedsdjup	Impregneringsdjup	Anmärkning
<i>Pole no.</i>	<i>Sapwood</i>	<i>Penetration</i>	<i>Remarks</i>
	m m	m m	
	m m	m m	
1R A	35	45	imp i kärnan/ <i>penetration into hartwood</i>
1R B	30-40	40-50	imp i kärnan
1R C	30-40	40-50	imp i kärnan
2R A	35-45	50	imp i kärnan
2R B	40	50	imp i kärnan
2R C	35-45	45-55	imp i kärnan
2R D	35-40	45-55	imp i kärnan
3R A	50-60	50-60	full intr i splinten/ <i>Full penetration in sapwood</i>
3R B	40-60	40-60	full intr i splinten
3R C	40	40	full intr i splinten
4R A	40	40	full intr i splinten
4R B	40	40	full intr i splinten
4R C	30-35	30-35	full intr i splinten
5R A	40-50	40-50	full intr i splinten
5R B	40-50		ca 5% missar/ <i>5% missing</i>
5R C	35-45		ca 5% missar
5R D	35-45		ca 5% missar
6R A	30		full intr i splinten?
6R B	30	60	ca 30 mm in i kärnan
6R C	25-40	70-70	ca 30 mm in i kärnan
7R A	25	25	<5% missar
7R B	20-25		ca 10% missar
7R C	20	20	ca 10% missar
8R A	40-70		20-30% missar
8R B	40-60		20-30% missar
8R C	40-55		20-30% missar
8R D	30-40		ca 10% missar
9R A	35-45	35-45	full intr i splinten
9R B	30-40	30-40	ca 5% missar
9R C	20-30	20-30	ca 10% missar
10R A	20-40	20-40	<5% missar
10R B	30-35		<5% missar
10R C	30	30	<5% missar
11T A	40-50	40-50	full intr i splinten
11T B	40-50	45-55	imp i kärnan
11T C	40	40	full intr i splinten

Tabell 13 (forts). Splintved och impregneringsdjup i de olika utsågade trissorna från stolparna

Table 13 (cont'd). Amount of sapwood and penetration of preservative in the discs

Prov nr	Splintvedsdjup	Impregneringsdjup	Anmärkning
<i>Pole no.</i>	<i>Sapwood</i>	<i>Penetration</i>	<i>Remarks</i>
	m m	m m	
	<i>m m</i>	<i>m m</i>	
12T B	40	??	ojämn inträngning
12T C	30-50	30-50	full intr i splinten
13T A	45-55	45-55	full intr i splinten
13T B	40	50	imp i kärnan
13T C	35-45	40-50	imp i kärnan
14T A	40	40	ca 5% missar
14T B	30(?)	20	ca 10% missar
14T C	30?	20	ca 50% missar
15T A	40-60	40-60	full intr i splinten
15T B	50	50	full intr i splinten
15T C	40	40	full intr i splinten
16T A	60	30	ca 20% missar
16T B	50-60	20-25	ca 40% missar
16T C	40-50		ca 50% missar
17T A	?	??	ojämn inträngning
17T B	20(?)	20	full intr i splinten
17T C	25	25	full intr i splinten
18T A	30-50	30-50	full intr i splinten
18T B	40	40	full intr i splinten
18T C	40	40	full intr i splinten
19T A	45-70	45-70	<5% missar
19T B	30(?)	30	<5% missar
19T C	40-45	40-45	full intr i splinten
PB3 A	45	45	full intr i splinten
PB3 B	40	10-20	ca 20% missar
PB3 C	40-50	40-50	full intr i splinten
PB4 A	50	20-50	ca 5% missar
PB4 B	40	ca40	ca 5% missar
PB4 C	40	ca40	ca 10% missar
PS2 A	20-30		<5% missar
PS2 B	25-30	10	ca 10% missar
PS2 C	55	55	ca 5% missar
PS3 A	30-40		ca 5% missar
PS3 B	30	10-40	ca 30% missar

## 6. Tøking i røkgass

### 6.1 Formål

Stolper kan uansett tørkemetode ikke unngå sprekk da den tangensielle krympningen er dobbelt så stor som den radielle. Sprekk er derfor akseptert i stolper og det er sett på som en fordel at disse sprekkene består av flere små enn få store. Tidligere forsøk har vist at en skarp tøking gir flere småsprekker enn en forsiktig tøking og at høy tørketemperatur ikke var noe problem for impregneringen.

På denne bakgrunn er tanken om å utnytte røkgass fra en eller annen forbrenningsprosess til tøking av stolper tatt opp. Ved impregneringsanleggene er det vanligvis et fyringsanlegg som kan være olje eller flisfyrt og hvor røkgass på 150°C og mere går ut skorsteinen.

Formålet med forsøket er å undersøke tørkeforholdene for stolper i slik røkgass og se om tørkeprosessen kan forenes med god impregnering.

### 6.2 Forsøksopplegg

Til å kjøre forsøkene ble det i første omgang vurdert å bygge en mindre forsøkstørke basert på røkgass som tørkemedie. Det viste seg imidlertid at en slik forsøkstørke ville koste uforholdsmessig mye i forhold til forsøksbudsjettet.

En fant etterhvert ut at det var langt enklere og billigere løsning å tørke enkeltstolper direkte i den røkgass som var i skorsteinen på impregneringsverkene. Selv om man da bare fikk resultater fra enkeltstolper ville man allikevel få et relativt brukbart bilde av tørkeforholdene.

Etter å ha vurdert forskjellige impregneringsverk ble det bestemt å kjøre forsøkene på Hedmark Treimpregnering som hadde et flisfyrt varmeanlegg med god tilgjengelighet til skorsteinen.

Til forsøkene ble det benyttet dreide rekkverkstolper av furu (*Pinus sylvestris*) med en diameter på 15 cm.

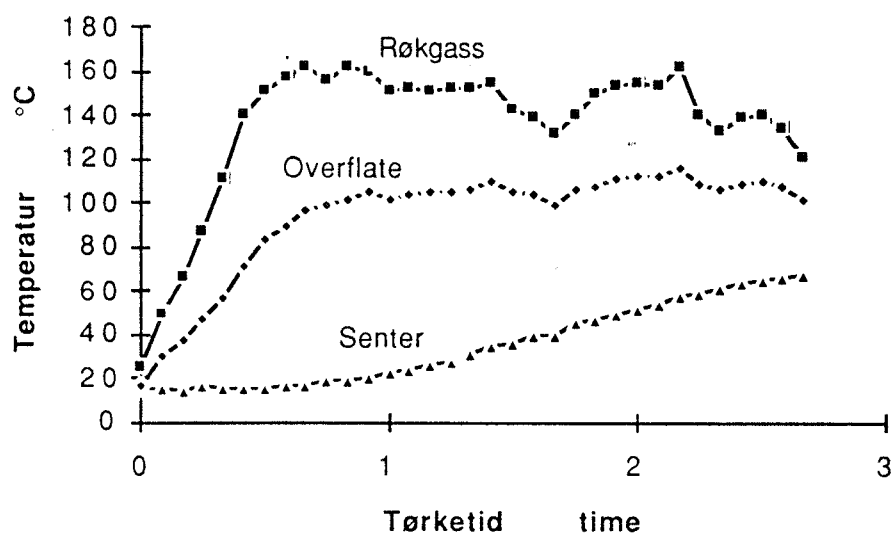
Etter at det var tatt fuktighetsprøver ble stolpene kappet i en lengde på 1,0 m og malt med med aluminiumsmaling i begge ender. I stokkene ble det lagt inn termoelementer rett under overflaten, halveis inn til sentrum og i sentrum samt ett element ca. 5 cm ut fra overflaten for å registrere røkgasstemperaturen (se figur 31 vedlegg 1).

Stolpene ble så hengt opp i skorsteinen i et wiresystem med veicelle for å kontrollere fuktighetsutviklingen.

Etter tøkingen ble det tatt fuktighetsprøver av stolpene hvoretter de relativt omgående ble impregnert med CCA ved bedriften. Etter impregnering ble stolpene analysert ved NTI m.h.t. opptak av impregneringsvæske.

### 6.3 Resultater

Av Figur 14 fremgår det hvilket klima stolpen under Forsøk 1 ble utsatt for samt temperaturutviklingen i stolpen.



Figur 14. Temperaturforløp ved røkgasstørking (Forsøk 1)

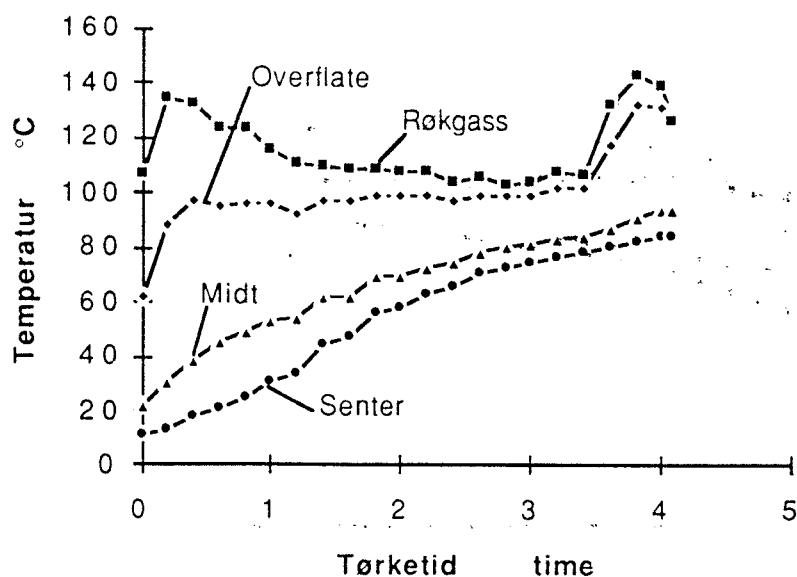
Figure 14. Temperature in the pole during drying in combustion gas (Experiment 1)

Vi ser at røkgasstemperaturen i gjennomsnitt låg på ca. 150°C med topper opp mot 160°C. Grunnen til at det tok 25 min før røkgasstemperaturen ble registrert til 150°C må skyldes at termoelementledningen må ha blitt bøyd slik at loddepunktet har berørt overflaten.

Temperaturen rett under overflaten ser vi har steget til ca. 100°C i løpet av 50 min og har fortsatt med en gradvis stigning mot røkgasstemperaturen. Røkgasstemperaturen har imidlertid som ventet vært ujevn og har også hatt en synkende tendens mot slutten av tørkeperioden. Dette har også avspeilet seg i overflatetemperaturen. Temperaturen i senter av stokken har hatt en jevn stigning i hele tørkeperioden og har selvfølgelig vært mindre påvirket av den varierende røkgasstemperaturen. Ved avsluttet tørking, som forøvrig skjedde for tidlig, var sentertemperaturen 70°C. Ved Forsøk 2 oppnådde man ikke så høy røkgasstemperatur som ved Forsøk 1. Først helt mot slutten av tørkingen fikk man en temperatur over 150°C. Dette fremgår av Figur 15 hvor en også ser hvordan overflatetemperatur, temperatur midt mellom overflate og senter og sentertemperatur har utviklet seg.

En ser også her at overflatetemperaturen i starten har lagt seg på ca 100°C for så gradvis å nærme seg røkgasstemperaturen. Ved avsluttet tørking har temperaturen i senter av stokken kommet opp i 85°C mot 95°C midt mellom senter og overflate.





Figur 15. Temperaturforløp for røkgasstørking (Forsøk 2)

Figure 15. Temperature in the pole during drying in combustion gas (Experiment 2)

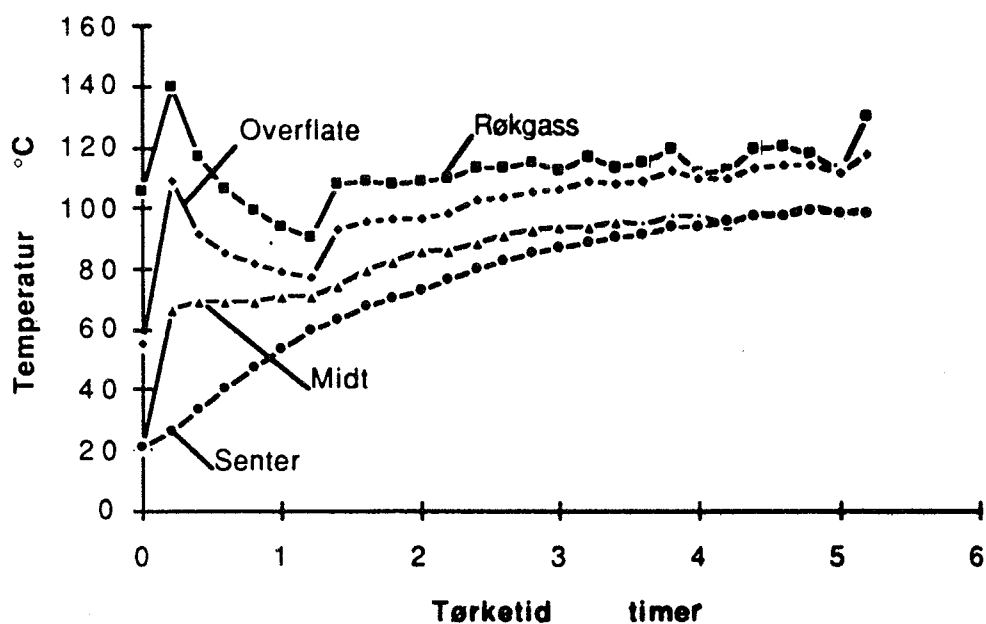
Ved Forsøk 3 hadde man som Figur 16 viser en høy røkgasstemperatur i starten etterfulgt av et kraftig fall, hvorefter temperaturen stabiliserte seg på ca. 120°C. Helt på slutten av tørkeperioden gikk røkgasstemperaturen opp mot 140°C igjen. Disse tre forsøkene viser klart at det er vanskelig forutsi temperaturnivået og dermed tørkeskarpheiten i røkgass fra et flisfyringsanlegg med varierende belastning og varierende fuktighet på brensløt.

Ellers viser forløpene av temperaturene under overflate og videre inn mot sentrum den samme tendens som de to andre forsøkene.

Av Tabell 14 fremkommer resultatene fra tørkeforsøkene samlet.

Ved Forsøk 1 hadde man en startfuktighet på 112,3% ved en kjernevedandel på 63%. Dette gir en teoretisk splintfuktighet på 240% som forutsetter en (usannsynlig) lav densitet på virket. En kunne imidlertid observere en meget høy tørkehastighet, men tørkeforløpet ble avsluttet for tidlig, etter 2,8 timer, med en midlere sluttfuktighet på 38,2%. Dette skyldes delvis at veiecellen ga feilaktige signaler og at antatt densitet ble satt for høyt (430 kg/m<sup>3</sup>).

Den høye sluttfuktigheten gav seg som ventet utslag i dårlig impregneringsopptak med bare 20% inntrengning i yteveden.



Figur 16. Temperaturforløp for røkgasstørking ( Forsøk 3 )

Figure 16. Temperature in the pole during drying in combustion gas (Experiment 3)

Tabell 14. Måleresultater fra røkgasstørking

Table 14. Results from drying in combustion gas

	Forsøk 1 Experiment 1	Forsøk 2 Experiment 2	Forsøk 3 Experiment 3
Startfuktighet (%) Initial moisture content (%)	112,3	48,6	46,5
Splintfuktighet (%) Moisture content in sapwood (%)	240	110	88
Sluttfuktighet (%) Final moisture content (%)	38,2	25,9	25,4
Røkgasstemperatur-midlere (°C) Combustion gas temperature (°C)	146	117	114
Røkgasshastighet (m/s) Gas velocity (m/s)	10	10	10
Tørketid (timer) Drying time (h)	2,8	4	5,1
Kjernevedandel (%) Heartwood (%)	63	82	78
Impregneringsopptak yteved (%) Penetration (%)	20	85	100
Impregneringsopptak (kg/m <sup>3</sup> ) Retention (kg/m <sup>3</sup> )	14,2	14,3	17,8

Ved Forsøk 2 fikk man en sterkt varierende røkgasstemperatur med en midlere temperatur på 117°C. Midlere startfuktighet var lav grunnet høy kjernevedandel. Etter 4 timers tørketid ble det registrert en midlere slutfuktighet på 25,9%. Dette var imidlertid ikke nok for en sikker impregnering, som viste et opptak på 85 % i yteveden. Dette skyldes etter all sannsynlighet en høy fuktighetsgradient med for høy splintfuktighet inn mot kjerneveden.

Ved Forsøk 3 hadde man også en ujevn røkgasstemperatur med enda lavere middeltemperatur (114°C). Tørketiden ble forlenget til litt over 5 timer, som gav en slutfuktighet på 25,4% i middel. Impregneringsopptak var her 100% noe som tyder på at fuktighetsgradienten har vært mindre (litt lavere temperatur, 28% lenger tørketid). Når det gjelder stolpenes utseende etter tørkingen vises til bilag 1 som viser at stolpene var blitt sterkt sotfarvet av røkgassen. En slik misfarving er ikke akseptabel, men kan begrenses ved en bedre regulering av kjelen.

Når det gjelder sprekkdannelsen skilte den seg ikke ut fra de andre tørkeforsøk, bortsett fra Forsøk nr 1 hvor det ikke var sprekk grunnet for høy slutfuktighet.

#### 6.4 Diskusjon

Tørking av rekkverkstolper i røkgass fra vanlige flis/barkforbrenningsanlegg med temperaturer i området 150°C gir tørketider på bare 5-6 timer. Sammenlignet med de forsøk som ble gjort med 150°C i laboratoriet er dette dobbelt så rask tørking. Dette må skyldes at gasshastigheten var 10 m/s ved røgasstørkingen mot bare 1 m/s ved laboratorietørkingen. Ved en eventuell bygging av en røkgasstørke for stolper må en av energihensyn begrense lufthastigheten til 3-4 m/s som vil gi en tørketid på 8-10 timer. Dette er allikevel en usedvanlig kort tørketid.

Impregneringsmessig er det ingen ting som tyder på at den høye temperaturen i seg selv har påvirket impregnerbarheten, men at det også her er splintfuktigheten som har den avgjørende betydning.

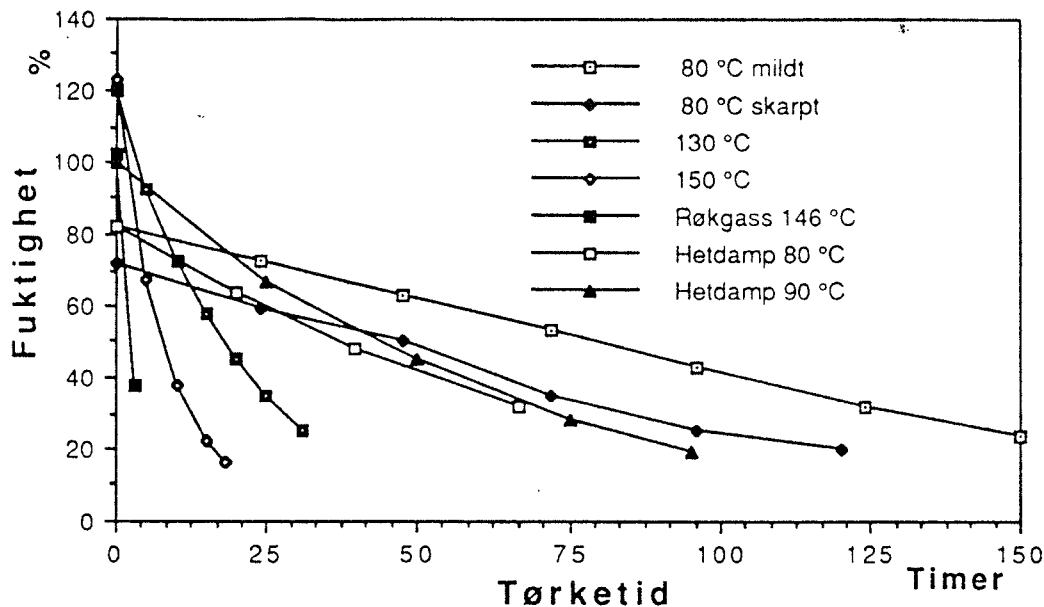
Den høye temperaturen synes heller ikke å ha noen negativ innvirkning på sprekkbildet i stolpene. Som ved de andre tørkingene synes en høyere temperatur eller et skarpere klima generelt å gi flere sprekker fordelt over omkretsen. En yteherding, som skarp tørking medfører, vil også føre til at sprekke vil gå litt sammen etter at fuktigheten er jevnet ut. Dette har selvfølgelig ingen styrkemessig, men en viss visuell betydning.

Tørking i røkgass krever at man har en kontrollert forbrenning enten det er flisfyring eller oljefyring. Den minste soting vil være meget uheldig for stolpene.

Forsøkene har gitt nyttige bakgrunnsdata for en eventuell konstruksjon av stolpetørker basert på røkgass som tørkemedium.

## 7. Samlet vurdering av litteraturstudier og egne tørkeforsøk.

De data som er samlet inn gjennom litteraturundersøkelser og gjennom egne forsøk viser klart at stolper kan tørkes kunstig på tildels meget korte tider ved flere teknikker. I Figur 17 som er en samlet oversikt over resultater fra egne forsøk ser en hvordan tørkehastigheten varierer med tørkeklime og tørkeprinsipp.



Figur 17. Registrerte tørkehastigheter avhengig av tørkeklime og tørkemetode for stolper av 15-16 cm. midlere diameter (stipulerte forløp mellom start-og slutfuktighet for 130°C,150°C og hetdamp)

Figure 17. Moisture content versus drying time for different procedures

Ved tørking i 80°C, som ligger ca. 10-15°C over det som man normalt kan oppnå i vanlige sagbrukstørker, ligger tørketiden mellom 125 og 150 timer avhengig av psykrometer differansen. Hvis man forutsetter at tørketiden er tilnærmet omvendt proporsjonal med tørrtemperaturen, tilsvarer dette en tørketid på ca. 160 timer i en normal sagbrukstørke med en tørketemperatur på 65°C.

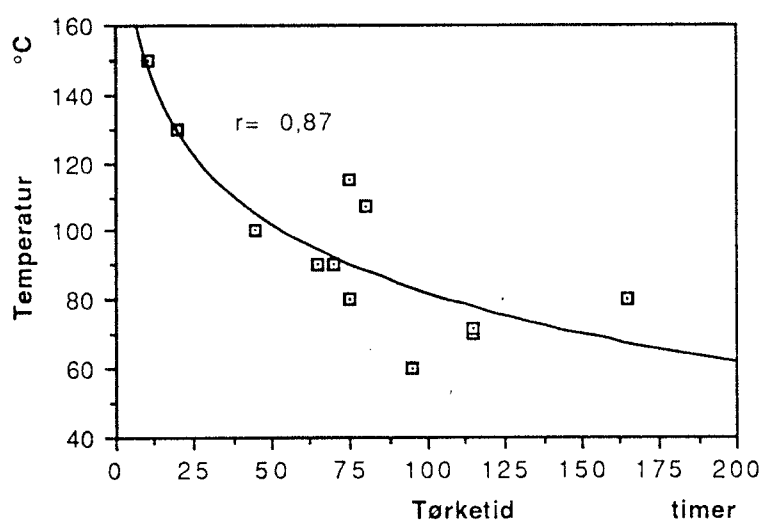
Ved tørking i overhettet damp ved undertrykk har man oppnådd tørketider på ca. 80 timer for nedtørking til 25%. En skal her være oppmerksom på at stolpediametrene i gjennomsnitt var ca. 200 mm ved Forsøk 2 (90°C), mot 140-160 mm ved alle de andre forsøkene. Denne forskjellen i diameter skulle omregnet ( $T_2 = T_1 \times (d_2/d_1)^{1,5}$ ) til 160 mm tilsvare en tørketid for overhettet damp (90°C) på 68 timer istedet for 95 timer ved nedtørking til 20%.

Sammenlignet med en normal sagbrukstørke med temperatur opp til 65°C tørker man altså 1,8-2,3 ganger så fort med overhettet damp. Kan man imidlertid øke temperaturen

til 80°C i en spjeldregulert tørke, som er bortimot det maksimale for hettvannsoppvarming, vil dette forholdet gå ned til ca. 1,4 ifølge de egne tørkeforsøkene.

Går man videre opp i tørketemperatur synker tørketiden som en ser av diagrammet ganske dramatisk helt ned til omkring 5 timer ved 150°C og en gasshastighet på 10 m/s.

Trekker man også inn resultater fra litteraturundersøkelsene og foretar en grov korreksjon av alle forsøk til nedtørking fra 100% til 25%, får man tørketider avhengig av tørketemperatur som vist i Figur 18.



Figur 18. Sammenstilling av tørketemperaturer og tørketider (fra ca. 100% til 25% fuktighet) ved egne (eks. varmdamp) og refererte stolpetørkeforsøk med en logaritmisk kurvetilpasning (diameter fra 15-20 cm)

Figure 18. Drying temperature and drying time according to results from literature and own experiments

En logaritmisk tilpasning gir en liten korrelasjon ( $r = 0.87$ ), men allikevel nyttige holdepunkter ved vurdering av tørkekapasitet avhengig av tørketemperatur for stolper.

Når det gjelder tørkekvaliteten er det det helt andre kriterier man går etter sammenlignet med trelasttørking. Sprekk er ved stolpetørking noe som ikke kan unngås og er derfor akseptert. Det synes imidlertid å være en fordel både impregneringsmessig og estetisk å ha mange små sprekker istedet for få store. Tørkeforsøkene i egen regi og data fra litteraturundersøkelser tyder på at skarp tørking (stor psykrometerdifferanse) gir flere småsprekker enn mild tørking. Fra et sprekkmessig synspunkt er det derfor en fordel å kjøre med et skarpt klima (åpne spjeld) i hele tørkeperioden og man får i tillegg en kort tørketid. Et skarpt klima vil gi kraftig yteherding som faktisk vil være en fordel da det sannsynligvis vil redusere sprekkbredden etter at fuktigheten er utjevnet i stolpene.

Et skarpt klima og/eller høy temperatur utelukker også sopp-skader under tørkeprosessen.

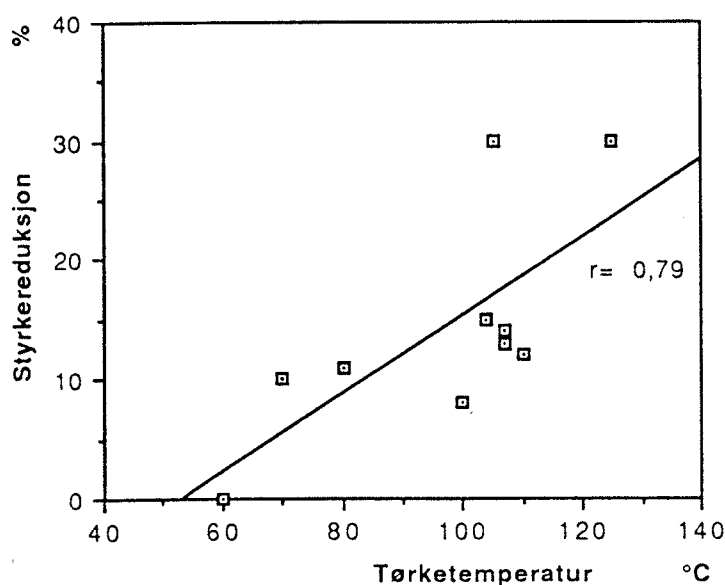
Et skarpt klima gir på den annen side stor spredning i slutfuktigheten og store gradienter som man må ta hensyn til når man velger midlere slutfuktighet. Det er også registrert store variasjoner over omkretsen i samme tversnitt. Det er derfor tidligere antydnet at man må tørke ned til min 20% for å sikre at 95% av splintfuktighetene ligger under fibermetningspunktet.

Med de temperaturer man her opererer med er det ikke til å unngå at det blir mye kvaeflyting. Denne er som de vedlagte farvebilder viser utpreget allerede ved 80°C tørking. Er det av estetiske hensyn ønskelig å unngå kvaeflyt bør en tørke ved lav temperatur (35°C våttemperatur) til 25% før man gradvis øker temperaturen opp til 60-70°C. Så lav temperatur vil imidlertid forlenge tørketiden vesentlig og også medføre fare for muggsoppangrep.

Foretar man skavingen av stolpene etter tørking, som er mest vanlig ved friluftstørking av ledningsstolper vil kvaeflytingen ikke være noe problem.

Ved røkgasstørking skal man være spesielt oppmerksom på faren for soting, som gir et helt uakseptabelt sotlag på stolpene.

Fra litteraturstudiene fremgår det at mange av forfatterne er opptatt av eventuell styrkereduksjon av stolpene ved høytemperaturtørking. I Figur 19 er sammenstilt de måleresultater som fremgår av litteraturen.



Figur 19. Sammenstilling av refererte måleresultater vdr. styrkereduksjon av stolper avhengig av tørketemperatur

Figure 19. Strength loss as a result of drying temperature. Results from literature

Som det fremgår av figuren er det mange forfattere som rapporterer reduksjoner i bøyestyrke på 10-12% ved tørking i området 100-110°C, mens et par forfattere rapporterer omkring 30% reduksjon ved 110 og 125°C. En forsøksvis lineær tilpasning gir en beskjedne korrelasjon på  $r = 0,79$  mellom temperatur og bøyestyrkereduksjon.

Korttidsoppvarming (basning) opptil 3 timer ved 99°C eller 30 min ved 120°C synes imidlertid ikke å ha påvirket styrken.

For ikke ytterligere å redusere styrken anbefaler Barnes et al (8) at man ikke bør ettertørke impregnert virke som er høytemperaturtørket ved høyere temperaturer enn 70°C.

Impregnerbarheten synes ikke å være påvirket av hvilken temperatur stolpene er tørket ved. Impregnerings-"misser" kan først og fremst føres tilbake til for høy fuktighet i splinten ved grensen kjerne/splint. Ved ett forsøk med overhetet damp er det imidlertid tvil om årsaken til noen impregnerings-"misser", hvorvidt dette skyldes for høy fuktighet, høy temperatur i kombinasjon med vacuum eller andre årsaker.

Flere forfattere påpeker fordeler ved kunstig tørking av stolper sammenlignet med friluftstørking gjennom bedre fleksibilitet, langt mindre lager, mindre soppskader, kortere tørketid og lavere transportkostnader. En forfatter (produsent) mener også at han sparer 20% i impregneringsvæske gjennom bedre kontroll med fuktigheten.

Man har imidlertid ikke funnet noen økonomisk sammenligning mellom friluftstørking og kunstig tørking av stolper.

## 8. Orienterende kalkyler over forskjellige metoder for tørking av stolpevirke

### 8.1 Formål

Egne forsøk og data fra litteraturen viser at kunstig tørking av stolper med hell kan gjennomføres ved flere forskjellige tørkemetoder og ved temperaturer helt opp til 150°C. En kan derved komme ned i tørketider helt ned på 10 timer fra rått til impregneringstørt. Dette står i skarp kontrast til de tørketider på 1-2 år som friluftstørking ofte medfører.

Korte tørketider gjennom kunstig tørking er isolert sett ikke av interesse hvis det ikke samtidig gir en økonomisk gevinst for impregneringsverket.

Da det ikke foreligger noen kalkyler omkring økonomien ved kunstig tørking av stolpevirke sammenlignet med friluftstørking, er det nedenfor forsøkt å foreta en orienterende kalkyle av de totale tørkekostnadene ved 4 forskjellige tørkemetoder. Kalkylene er basert delvis på innhentede kostnadsoverslag fra leverandører, delvis på egne kostnadsanslag og må derfor vurderes som orienterende. Kalkyleforutsetningene er så langt som mulig spesifisert, så det skulle være mulig for hver enkelt selv å foreta korreksjoner.

De fire tørkemetodene er:

- \* Friluftstørking
- \* Konvensjonell tørking ved 80°C
- \* Oljefyrt røkgassoppvarmet tørking
- \* Kondensasjonstørking
- \* Tørking i overhetet damp ved undertrykk

## 8.2 Kalkyleforutsetninger

Ved kalkylene er det forutsatt et saltimpregneringsverk med en kapasitet tilsvarende 10 000 m<sup>3</sup> stolper pr. år fordelt på 70% ledningsstolper med en gjennomsnittslengde på 10 m, varierende fra 7 til 20 m og 30% rekkverkstolper med 15 cm diameter og 2 m lengde.

Alle stolpene skal tørkes fra rått (middelfuktighet 80-100%) til 20% middelfuktighet. Videre er det forutsatt at 50% tørkes etter impregnering til 25% fuktighet. Med 1,5 tørkeomganger tilsvarer det et tørkebehov på 15 000 m<sup>3</sup> pr. år.

I Figur 20 er skissert en tenkt layout for et 10 000 m<sup>3</sup> kalkyleverk hvor det fremgår hvordan layout og arealdisponering kan bli både for kunstig tørking og friluftstørking. Det er forutsatt at anlegget er plassert i et område med lave tomte- og opparbeidingskostnader.

Det er satt av så brede kjøregater at stolpene kan transporteres både med hjullaster og/eller lastebil.

Det er videre forutsatt separate barke- og skavestasjoner. I praksis vet man at dette varierer fra verk til verk idet mange har kombinert barking og skaving i samme anlegget. Kunne man gjennomføre en barking og skaving i samme operasjon ville man spare store summer, ikke minst ved kunstig tørking hvor man for det første ville tørke ca 10% mindre volum og for det andre kunne beholde stolpene på de samme vognene gjennom tørking, impregnering og ettertørking event. fiksering.

I Tabell 15 er det laget en oversikt over produksjonsflyt, bemanning, transport og lager for de to alternativene friluftstørking og kunstig tørking. Det er også skilt ut hva som kun vedrører tørkeprosessen.

En er klar over at stolpeprodusenter opplever et et sterkt varierende salg over året med hovedtyngden av salget i vår og sommermånedene. Dette vil vanskeliggjøre en jevn produksjon over året og føre til behov for et større ferdigvarelager ved bedriften enn angitt her. Et større salg på eksport, spesielt høst/vinter og stimulanser til et jevnere innkjøp over året for innenlandske kunder vil kunne avhjelpe dette.

I Figur 21 til 25 er vist størrelse og prinsipiell utforming av de stolpetørkene som er benyttet i kalkylene. Tørkene er beregnet på å kunne ta ledningsstolper fra 20 meter og ned til rekkverkstolper på 1,7 meter. Inn- og utlasting av stolpene skjer ved hjelp av



vogner som i tverrsnitt er tilpasset til også å kunne benyttes i impregneringskjelen (se Figur 21). Det er to traller per tørkekammer.

Nedenfor er nærmere beskrevet de tørkene som er basert på oppvarming av hettvann, varmpumpeanlegg og røkgass ifølge Figurene 21-24. Alle disse tørkene er bygningsmessig like men har forskjellig oppvarming.

Luftsirkulasjonen er på langs av stolpene. En kan trolig stable stolpene uten noen som helst form av strø. Trykkfallet gjennom stablene blir imidlertid stort, ca 40 mm VS ved 3 m/s i lufthastighet, og vil derfor kreve kraftige vifter.

På grunn av den lange gjennomstrømningslengden er det forutsatt at luften reverseres med jevne mellomrom. Stabler man i tillegg stolpene slik at rotender og grøvre diametre kommer mot endene av stabelen vil en ytterligere bidra til en jevnere slutfuktighet.

Innlastningsvolum i hver tørkeenhet er beregnet til ca. 90 m<sup>3</sup>.

På basis av denne tørkekonstruksjon, som her er forutsatt utført i betong, er det vurdert 3 forskjellige oppvarmingsprinsipper og derav følgende tørketemperaturer; (Tørketidene som er brukt ved de forskjellige tørkemethodene er tatt fra egne forsøk og korrigert til en slutfuktighet på 20% ved ekstrapolering av tørkekurvene. Da det her er forutsatt at stolpediametrene i gjennomsnitt (ledningsstolper og gjerde/rekkverkstolper) ligger på ca. 18 cm er tørketidene også korrigert for diameterforskjeller etter formelen  $T_2 = T_1 (d_2/d_1)^{1,4}$ . Det er også innkalkulert 3 timer for inn- og utlasting av stolper.

*Hettvannsoppvarmet tørke* (konvensjonell) er basert på varme (hettvann) fra et biobrenselanlegg på 1,2 MW hvor man benytter egen bark og skaveflis til brensel (Figur 22). Det er forutsatt at egen biobrensel og vifteenergi dekker bare 2/3 av energibehovet og at resten blir dekket med innkjøpt biobrensel. Tørketemperatur er her satt til 80°C og gjennomsnittlig tørketid til 188 timer. Med 300 effektive tørkedøgn gir det en kapasitet på ca 3 445 m<sup>3</sup> pr. kammer som da betinger 45 anlegg for å tørke de ca 15 000 m<sup>3</sup>.

*Varmepumpetørke* (kondensasjonstørke) er basert på elektrisk energi med et så lavt spesifikt energiforbruk som 0,75 kWh/kg avdampet vann inkl. vifteenergien takket være varmpumpeprinsippet (Figur 23). Maksimal oppnåelig tørketemperatur er 70°C og gjennomsnittlig tørketid er satt til ca 213 timer. Dette gir en kapasitet pr. kammer på 3 042 m<sup>3</sup> som da krever 5 kammer for å oppnå ønsket tørkevolum.

*Røkgassoppvarmet tørke* (Figur 24) basert på olje som energikilde kan enten utføres med varmeveksling av røkgassen (90% virkningsgrad) eller ved at røkgassen blåses direkte inn i tørka (100% virkningsgrad). Her er det forutsatt brukt et varmevekselopplegg basert på 3 standardaggregater som hver yter 325 kW. Maks oppnåelig temperatur i disse standardaggregatene er ca. 115-120°C som gir en tørketid på 63 timer. Dette gir en teoretisk kapasitet på 10 285 m<sup>3</sup> pr. kammer som tilsier 1,5 kammer.

I tillegg til disse tørketyperne er nedenfor beskrevet virkemåten til den fjerde tørken som er med i sammenligningen.

*Hetdampoppvarmet tørke* er basert på tørking i overhetet damp under vacuum med en tørketemperatur på 80-90°C (Figur 25). Dampen blir her forutsatt oppvarmet med elektrisitet. Tørkingen foregår i en isolert sylinder som kan settes under vacuum. Varmemediet som er overhetet damp sirkulerer på tvers gjennom stolpene ved en rekke overliggende vifter. Dette forutsetter at det legges strø mellom stolpene noe som krever ekstra arbeid og redusert innlastingsvolum. Med 25 mm strø kan en regne med max. 40 m<sup>3</sup> innlastingsvolum pr. tørkesylinder, hvis en forutsetter samme vognstørrelse som de andre tørkene. Med en effektiv tørketid på 98 timer gir dette en kapasitet pr. sylinder på 2938 m<sup>3</sup> som da betinger 5 tørkesylindre.

Priser på bygninger og utstyr er delvis innhentet fra leverandører og delvis basert på erfaringstall. Kapitalkostnadene er basert på lineær avskrivning etter tider som fremgår av tabellen, samt en midlere kalkylerente på 15%. Kalkylerenten kan svinge mye og har stor betydning for kostnadsnivået generelt og for den innbyrdes forskjellen mellom de 5 tørkemethodene.

Midlere verdi på stolper i lager (barket, skavet, impregnert) er satt til 1 100 kr/m<sup>3</sup>. Prisene på elektrisk energi og fyringsolje (nr 2) varierer mye fra sted til sted og over tid, men er her satt til 0,30 kr pr kWh og 2,83 kr pr. liter respektive.

Trebrenselanlegget i en av kalkylene forutsetter at det kjøpes inn ekstra biobrensel. Prisen på dette (bark) er satt til 150 kr/fm<sup>3</sup>.

I den litteratur som er gjennomgått nevner mange forfattere at stolpene får lagringsskader ved friluftstørking. Dette er også observert ved de impregneringsverk som er besøkt. Hva disse skadene representerer i verdi er det derimot vanskelig å finne noen tall for. I kalkylene er det derfor *antatt* en verdireduksjon på 2%.

Grunnet de store variasjonene i kalkyleforutsetningene må en for hvert enkelt distrikt justere prisene etter de stedegne forhold.

### 8.3 Orienterende kalkyler

I Tabell 16 er det med basis i disse forutsetninger satt opp en orienterende kostnadskalkyle for de 4 metodene for kunstig tørking i sammenligning med friluftstørking.

Som en ser ligger kostnadene for kunstig tørking lavere enn friluftstørking for alle alternativer. Den innbyrdes forskjellen mellom de forskjellige metodene for kunstig tørking er ikke veldig stor. Med de store variasjonene en har i energipriser kan en derfor ikke helt utelukke noen av disse alternativene, selv om kostnadene ved tørking i overhetet damp virker høye.

Tørking i 120°C med direktefyr (varmevekslet) anlegg basert på olje gir med de forutsetninger som er brukt i kalkylen de laveste tørkekostnader med 212 kr pr. m<sup>3</sup>.

Denne metoden kan utvikles videre til å også å omfatte anlegg hvor røkgassen utnyttes direkte i tørka. En vil da sannsynligvis få enda lavere investeringer og 100% utnyttelse av energien. Betydningen av en eventuell styrke-reduksjon av stolpene ved høytemperaturtørking må imidlertid vurderes nærmere før man satser på tørkemetoden.

Skarp tørking i en "konvensjonell tørke" med energi fra et biobrenselanlegg er på samme nivå med 217 kr/m<sup>3</sup>. Kanskje man også kan redusere behovet for innkjøpt energi til biobrenselanlegget ved å tilby forbrenning/destruksjon av kondemnert impregnert virke.

Selv om denne kalkylen er av orienterende art med mange usikkerhetsmomenter er forskjellene i kostnader mellom kunstig tørking og friluftstørking av stolper så markante at de enkelte impregneringsverk for alvor bør vurdere nærmere om kunstig tørking av stolper er et økonomisk interessant alternativ med sine forutsetninger.

Det største problemet for stolpeimpregneringsverkene ved en eventuell overgang til kunstig tørking, vil antagelig være å få et produksjons- og salgsopplegg som muliggjør en jevn belastning av tørkene over året, som har vært en forutsetning i disse kalkyler.

## 9. Konklusjon

De data og erfaringer om kunstig tørking av stolper som er samlet inn gjennom egne forsøk og omfattende litteraturstudier viser at man med hell kan tørke stolper kunstig og det tildels på meget korte tider.

I de egne forsøkene som har omfattet 9 forskjellige forsøksomganger med 4 forskjellige tørkemetoder har man som ytterpunkter oppnådd tørketider fra rå til 25% fuktighet på fra 7 timer ved røkgasstørking ved 150°C til 150 timer ved tørking i 80°C. I litteraturen er det av flere forfattere rapportert tørketider i området 50-80 timer ved temperaturer i området 90-110°C.

Ved alle tørkeforsøkene fikk man rett etter avsluttet tørking en kraftig fuktighetsgradient. Størst gradient fikk man som ventet ved den raskeste tørkingen (150°C) med en forskjell i fuktigheten mellom overflate og kjerne på hele 30%, mens en ved tørking i 80°C fikk ca 14%. Man observerte også som ventet en relativt stor spredning i slutfuktigheten (f.eks.  $s = 7,1\%$ ). For å sikre at fuktigheten i innersplinten i min 95% av stolpene ligger under 30% må en derfor tørke ned til en *midlere* slutfuktighet på maks. 20% hvis man ønsker å impregnere umiddelbart etter tørking.

Uansett tørkemetode ble det sprekker i stolpene. Observasjoner fra egne sammenlignende forsøk med skarpt og mildt klima og fra litteraturen viser at jo skarpere klima jo mere småsprekker. Da sprekker i stolper ikke er til å unngå ansees det som en fordel både utseendemessig og impregneringsmessig at det er mange småsprekker istedet for få store sprekker.

Ved valg av tørkeklima kan en derfor ut fra disse erfaringer anbefale et relativt skarpt klima, som på den ene side synes å gi mere småsprekker og på den annen side vil

bevirke en kraftig ytherding. En ytherding (forstrekning av overflaten) vil bidra både til en reduksjon av overflatesprekkes størrelse og antall, men kan istedet føre til indre sprekk. For stolper vil i tilfelle indre sprekk være å foretrekke både styrkemessig og utseendemessig i forhold til overflatesprekk.

Muligheterna som ligger i margsplitting, senterboring o.l., som også kan bidra til redusert sprekkmengde, bedre impregneringsopptag og kortere tørketid er ikke vurdert i denne rapporten, men burde være et interessant tema for nærmere studier.

Sterk kvaeflyting ble observert ved alle egne tørkeforsøk. Ved tørking i temperaturer mellom 130°C og 150°C ble kvaen meget mørk. Dette er ikke noe problem i og med at de fleste skaver stolpene etter tørking. Hvis man vil skave stolpene ferdig før tørking vil man få disse kvaeflekkene på sluttproduktet, men for det første vil impregneringen dempe kontrastene og for det andre er kvaen spesielt ved de høytemperaturtørkede stolpene ikke klebrig. For kunstig tørking er det ellers fra et økonomisk synspunkt mye å spare hvis man kunne barke og skave stolpene ferdig før tørking og impregnerig.

Tørking i røkgass ved høye temperaturer ga som nevnt meget korte tørketider. Faren ved å bruke røkgass, spesielt fra et biobrenselanlegg ligger i at en feilregulering av kjelen kan gi en kraftig soting av stolpene.

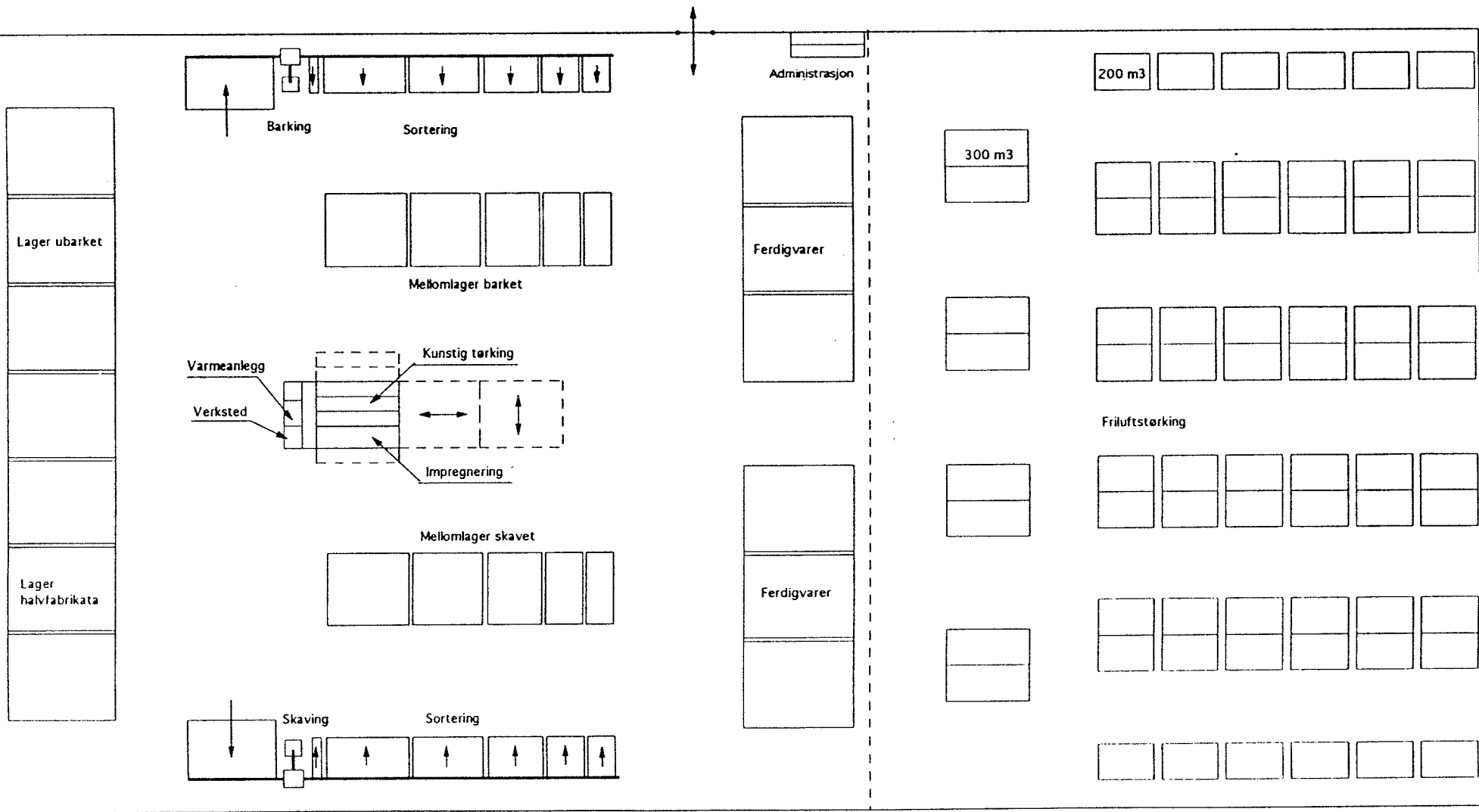
Impregnerbarheten av stolpene syntes ikke å være påvirket av tørketemperaturen. I de tilfeller hvor det var dårlig opptak kunne dette som oftest føres tilbake til for høy fuktighet i innersplinten. Ved tørking i overhettete damp ble det imidlertid på noen stolper registrert impregnerings-"misser" inn mot kjernen selv om fuktigheten skulle være lav nok. En skikkelig forklaring på dette er ikke gitt, men det er antydning at det kan skyldes en omfordeling av kjernevedsemner.

Fra litteraturundersøkelsene går det frem at stolpenes styrke kan reduseres ved tørking i høy temperatur. De fleste målinger er gjort på stolper og trelast av forskjellige amerikanske furutreslag som er tørket ved 100-110°C. Målingene viser en reduksjon i bøyestyrken sammenlignet med lavtemperturtørket virke på 10-15%. Et par forfattere refererer endog reduksjoner i bøyestyrken på over 30% ved tørking i 125°C. På den annen side viste forsøk med virke som var hurtigfiksert i 30 min ved 120°C ingen tegn til styrkereduksjon.

Nærmere undersøkelser av disse forhold for nordisk furu burde gjennomføres før en kan anbefale en høytemperaturtørking av ledningsstolper.

En orienterende økonomisk vurderinger av 4 forskjellige tørkemetoder for stolper i sammenligning med friluftstørking viser med de forutsetninger som er brukt en klar margin til fordel for kunstig tørking. Det skulle derfor være all grunn for impregneringsverkene til å gå videre med egne kalkyler og vurderinger over mulighetene for kunstig tørking av stolpene på basis av egne forutsetninger.

Det er sikkert ikke uten grunn at flere impregneringsverk både i USA og Australia ifølge litteraturen har gått helt over til kunstig tørking av stolpene.



Figur 20. Layout for kalkyleverk  
 Figure 20. Layout for the calculated plant

Tabell 15. Produksjonsflyt og kalkyleunderlag for kalkyleverk

Table 15. Basic production data used in the calculations

Operasjon/Action	Friluftstørking Open air-drying		Kunstig tørking Artificial drying	
	Metode/Method	Innsats	Metode	Innsats
Inntransport av ubarkete stolper(10000m3)/Transport from forest	Lastebil 1)		Lastebil	
Opplegg av mellomlager, ubarkete stolper/Piling unbarked poles	Lastebil		Lastebil	
Mellomlager ubarkete stolper, midl.lager/Stock unbarked poles	Friluft 2)	500 m3	Friluft	500 m3
Transport mellomlager-barking/sortering/Transport stock-barking	Hjullaster 3)	60 m	Hjullaster	60 m
Barking/sortering/Barking sorting		1 pers.		1 pers.
Transp. sortering-friluftstomt/mellomlager/Transport barking-stock	Hjullaster	300 m	Hjullaster	45 m
Mellomlager barkete stolper/Stock				200 m3/år
Transport mellomlager-tørke/Transport stock-drying			Hjullaster	45 m
Strølegging/stabling for tørking/Stickering, piling before drying	Hjullaster/man.	10m/1 pers.	Hjullaster	2 m
Intern transport tørke/Transport to kiln			Traller 4)	
Tørking barkete stolper-midlere lager/Mean stock during drying	Friluft	10.000 m3	Kunstig 5)	60 -300m3
Tørking barkete stolper-bemanning/Kiln operator			Kunstig	1 pers.
Transp tørke-melloml før skaving/Transp. to stock before peeling			Hjullaster	90 m
Transport friluftstomt-skaving/Transport to peeling	Hjullaster	320 m		
Mellomlager før skaving/Stock before peeling				200 m3
Transport mellomlager- skaving/Transport stock-peeling			Hjullaster	45 m
Skaving/Peeling		1 pers.		1 pers.
Trans til mellomlager skavet/Transp to stock before impregnation	Hjullaster	45 m	Hjullaster	45 m
Mellomlagring skavet/Stock		200 m3/år		200m3/år
Transport mellomlager -impregnering/Transport stock-peeling	Hjullaster	45 m		45 m
Stabling for impregnering/Piling for impregnation	Hjullaster		Hjullaster	
Impregnering-midlere lager/Preservative stock		15 m3		15 m3
Impregnering-bemanning/Preservation		1 pers.		1 pers.
Transp. impregnering-ferdiglager(5000m3)/Transp impregnation-stock		75 m		75 m
Transp. impregnering-tørking (5000m3)/Transp impregnation-drying	Hjullaster	225 m	Traller##	10 m
Strølegging /stabling for tørking/Stickering before drying	Hjullaster/man	10m/1 pers.		
Tørking impregnerte stolper-midl.lager/Drying impregnated poles		5000 m3		30-150 m3
Tørking impregnerte stolper-bemanning/Drying impregnated poles				Inkl.
Transport til ferdiglager(kunstig tørket)/Transp to stock			Hjullaster	75 m
Ferdiglager/Stock		1000 m3		1000 m3
Ferdiglager-bemanning/Stock		1 pers.		1 pers.
Uttransport av impregnerte stolper/Transport out from plant	Lastebil		Lastebil	
Gjennomsnittlig stolpelager over året(m3)/Mean stock (m3)		16715		2150-2395
Gjennomsnittlig lager pga. tørking/Mean stock due to drying		15215		690-1140
Midlere intern transportdistanse (mxm3)/Transport within the plant		9.350.000		4.570.000
Antall personer inkl. transp. ex. adm./Workers		8 personer		6 personer
Personer belastet tørking inkl. transp./Workers on drying and transp		4 personer		3 personer

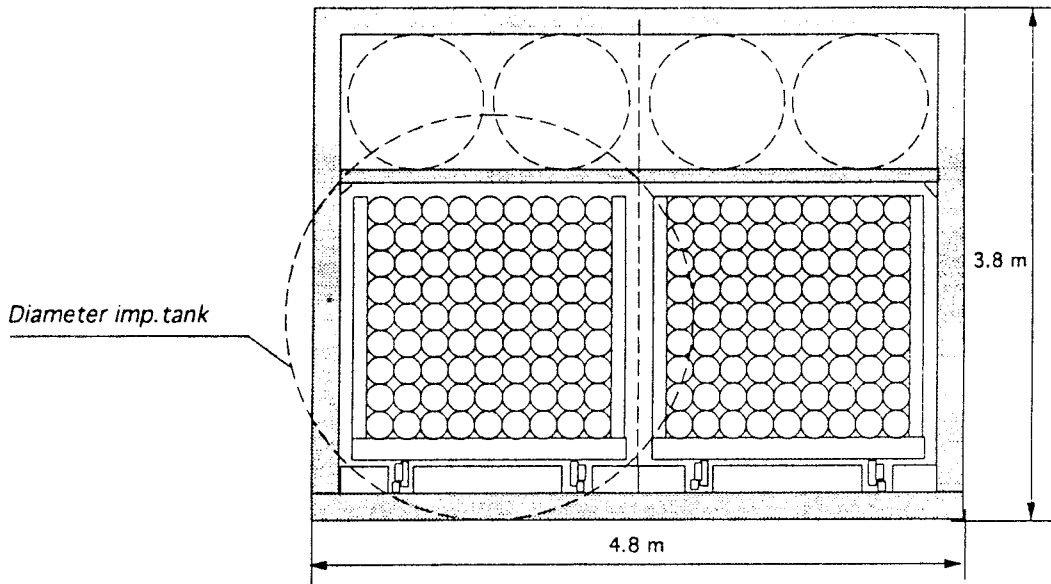
1) Lastebil = lorry

2) Friluft = open air

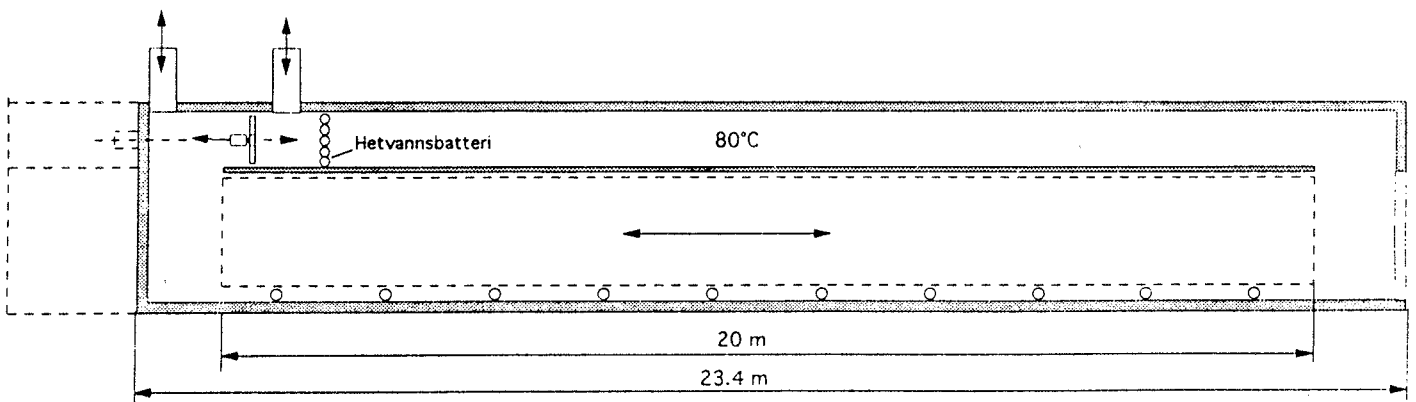
3) Hjullaster = wheel loader

4) Traller = truck

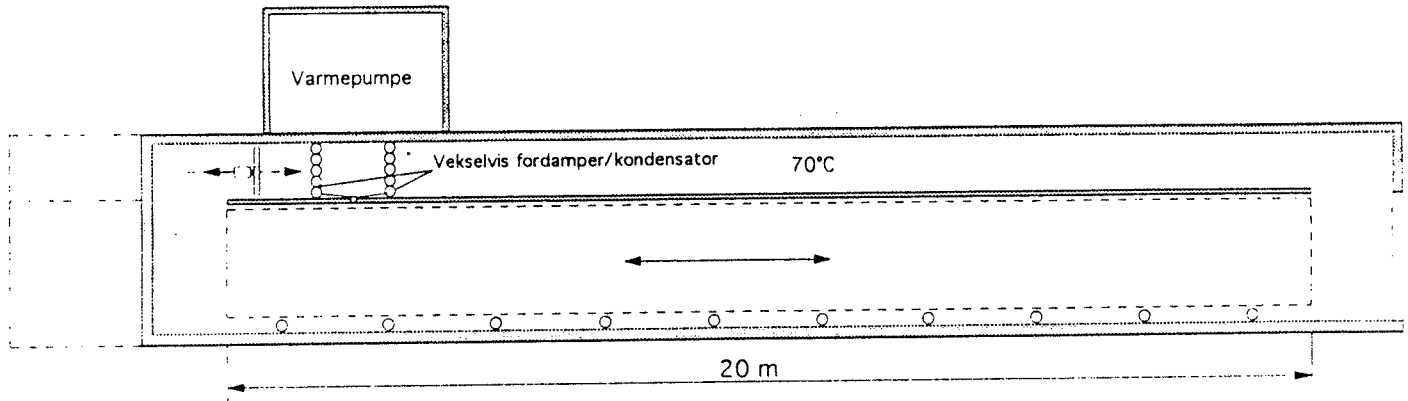
5) Kunstig = artificial



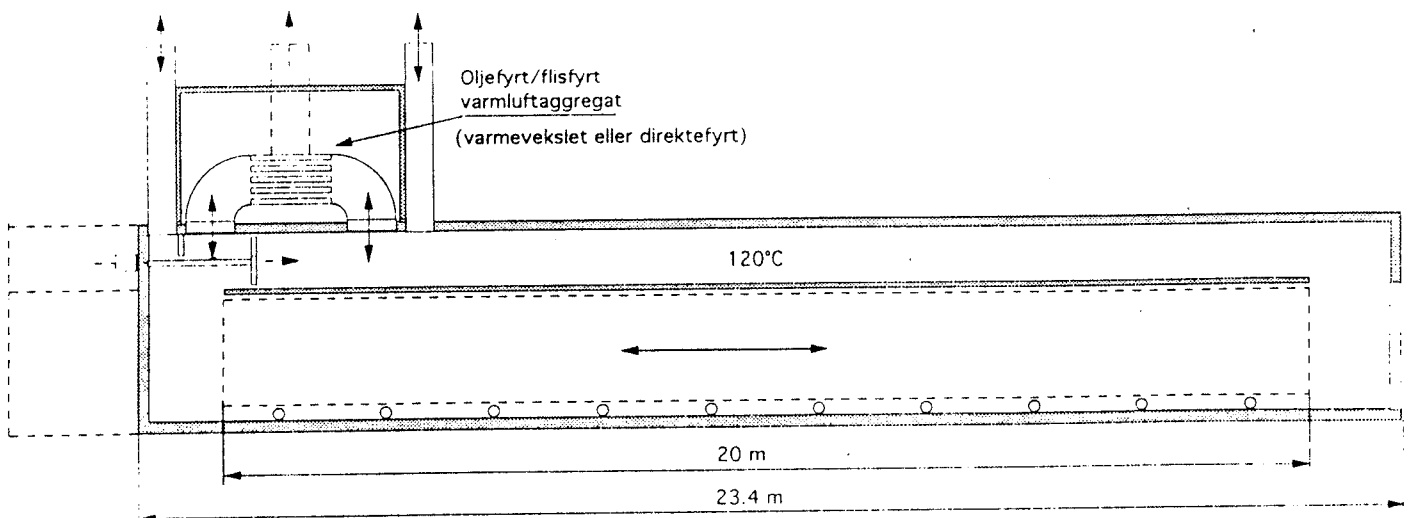
Figur 21. Prinsipiell konstruksjon av stolpetørke  
 Figure 21. Construction of pole kiln



Figur 22. Stolpetørke med hettvannsoppvarming  
 Figure 22. Pole kiln with hot water heating

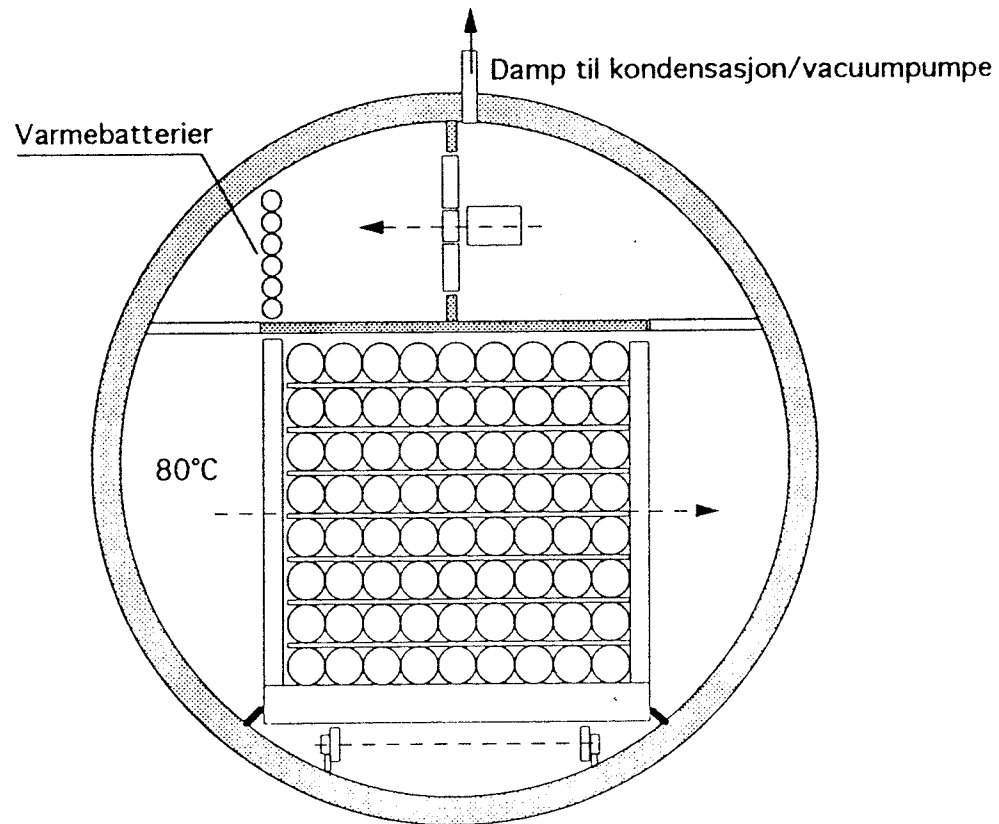


Figur 23. Stolpetørke med varmepumpeaggregat  
 Figure 23. Pole kiln with heat pump



Figur 24. Stolpetørke med varmluftaggregat  
 Figure 24. Direct flue gas heated pole kiln





Figur 25. Stolpetørke basert på overhetet damp i vacuum  
 Figure 25. Pole kiln for superheated steam in vacuum

Tabell 16. Orienterende kostnadskalkyle for 5 forskjellige tørkemetoder (15 000 m3 stolper)

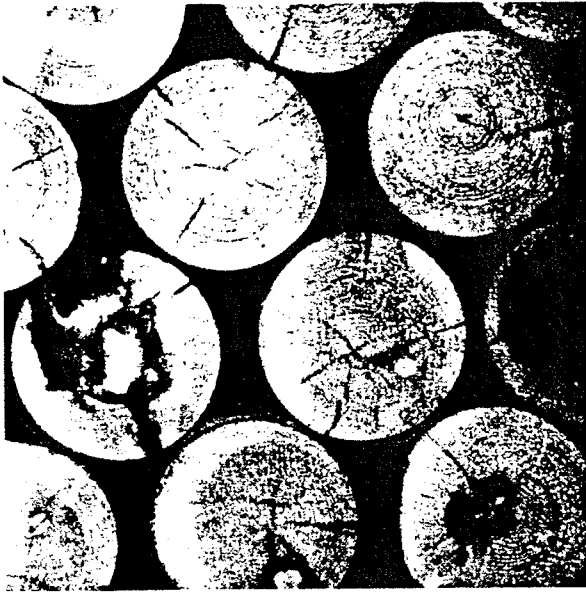
Table 16. Calculated drying costs (15000 m3 poles)

	Friluftstørking Open air drying		Konvensjonell 80°C Kiln drying 80°C		Kondensasjon 70°C Condensation drying		Damp/vacuum 85°C Superheated steam		Røkgass 120°C Combustion gas	
	Forutsetninger Assumption	1 000 kr 1000 NOK	Forutsetninger Assumption	1 000 kr 1000 NOK	Forutsetninger Assumption	1 000 kr 1000 NOK	Forutsetninger Assumption	1 000 kr 1000 NOK	Forutsetninger Assumption	1 000 kr 1000 NOK
<b>Investeringer/Investment:</b>										
Areal for tørking/Area for drying	50 dekar x 2	100	6 dekar x 2	12	6 dekar x 2	12	6 dekar x 2	12	6 dekar x 2	12
Opparbeidelse, tørkeareal/Ground preparation	50 dekar x 5	250	6 dekar x 5	30	6 dekar x 5	30	6 dekar x 5	30	6 dekar x 5	30
Bygn & silo for varmeanlegg/Building for heat prod			60 m2	350		100		150		150
Tekn. utrustn. varmeanlegg/Heat plant			1.2 MW	3000						800
Bygning for tørkeanlegg/Kiln building			4,5 kammer	2380	5 kammer	2660	5 sylindre	450	1,5 kammer	800
Tekn. utrustn. tørkeanlegg/Technical equipment			4,5 kammer	3000	5 kammer	5000	5 sylindre	10000	1,5 kammer	1000
Hjullaster/lastebil/Vehicles	2 stk	2000	1 stk	1000	1 stk	1000	1 stk	1000	1 stk	1000
<b>Total investering (1000 NOK)/Total investment</b>		<b>2350</b>		<b>9772</b>		<b>8802</b>		<b>11642</b>		<b>3592</b>
<b>Årskostnader/Annual costs:</b>										
Renter, investering i tomt/Interest, investment	15%	15	15%	2	15%	2	15%	2	15%	2
Avskr/renter, arealopparbeid	15 år, "	34	15 år, "	4	15 år, "	4	15 år, "	4	15 år, "	4
" ,varmebygning			20 år, "	44	20 år, "	12	15 år, "	21	20 år, "	18
" ,varmeanlegg Depreciation			10 år, "	525					10 år, "	139
" ,tørkebygning interests			20 år, "	297	20 år, "	333	15 år, "	21	15 år, "	22
" ,tørkeanlegg			10 år, "	525	10 år, "	875	10 år, "	1750	10 år, "	175
" ,mob.transp.uts.	7 år, "	434	7 år, "	217	7 år, "	217	7 år, "	217	7 år, "	217
Renter, stolper i arbeid (15%)/Interest, material in prod	15215 m3	2510	1005 m3	165	1050 m3	173	800 m3	132	735 m3	120
Forsikring, stolper i arbeid/Insurance	7pm,16,7 mill.	117	7pm,1 mill	7	7pm,1,2mill.	8	7pm,0,9 mill	6	7pm,0,8mill	6
Drift./vedlikehold, transp.uts.		220		110		110		110		110
Biobrensel (bark,flis+innkjøp)/Bio fuel			1200m3 kjøp	180						
Fyringsolje/Combustible oil									2,83 kr/l	1439
Elektrisk energi (0,30kr/kWh)/Electrical energy			Vifter+tyranl.	312	0,75kWh/l	945	El.varme+vift.	1134	Vifter	252
Vedlikehold,tørke/varmeanl /Maintenance			3% av 8,7 mill	261	3% av 7,8 mill	234	3% av 7,2 mill	217	3%av 2,6 mill	78
Personell,tørke/transport/Workers	4 personer	800	3 personer	600	3 personer	600	3 personer	600	3 personer	600
Tørke/lagringsskader/Pretreatment decay	2%	240		0		0		0		0
<b>Total årskostnad (1000 NOK)/Total annual costs</b>		<b>4370</b>		<b>3249</b>		<b>3513</b>		<b>4214</b>		<b>3182</b>
<b>Kostnad pr. m3 tørket/Drying cost per m3 NOK</b>		<b>291</b>		<b>217</b>		<b>234</b>		<b>281</b>		<b>212</b>

## 10. Referanser

1. Knudson M R (1958): "Kiln and Related Drying", Am Wood Preserv Ass, Proc. 54:72-76.
2. Huffman D R (1974): "Kiln schedule aids preservative impregnation of red pine poles", Canadian Forest Industries, February 1974.
3. Lowery og Rassmussen (1963): "Accelerated Drying of Lodgepole Pine and Larch Poles", Forest Products Journal, Vol 13, 1963.
4. Christensen og Barnacle (1967): " Kiln drying of Pinus Radiata Poles and Posts", Australian Timber Journal, Sept. 1967.
5. Thompson og Stevens (1972): "Kiln-Drying of Southern Pine Poles", Forest Products Journal, Vol 22, No 3, 1972.
6. Gerhards, C C (1988): "Effect of high-temperature drying on bending strength and load duration of Douglas-fir 2 by 4's". Forest Products Journal, April 1988.
7. Segelken, J G (1941): "Kiln drying longleaf southern pine poles", Am Wood Preserv Ass, Proc. 37:135-154.
8. Barnes, H M og Winandy, J E (1986): "Effect of Seasoning and Preservatives on the Properties of Treated Wood", Am Wood Preserv Ass, Proc. 82:95-105.
9. Barnes, H M, Winandy, J E og Mitchell, P H (1990): "Effect of initial and post-treatment drying temperatures on the bending properties of CCA-treated southern pine". J Inst Wood Sci (1990) 11(6).
10. Taylor, F (1991): "Moisture gradients in poles dried at high temperatures", Forest Products Journal, Vol 41, No 5.
11. Taylor, J A (1980): "Pretreatment decay in poles". Am Wood Preserv Ass, Proc. 76:225-245.
12. Dickinson, D J og Murphy, R J (1991): "The cause and control of pre-treatment decay in home grown poles." Record of the 1991 Annual Convention of the British Wood Preserving & Damp-Proofing Association.
13. Lundström, H, Åström, M, Jansson, C, Edlund, M-L (1987): "Förbättra stolpkvaliteten - minska lagringsskadorna!" Svenska Träskyddsinstitutet. Meddelande nr 159.
14. Morrell, J J, Corden, M E, Graham, R D, Kropp, B R, Przybylowicz, P, Smith, S and Sexton, C A (1987): "Basidiomycetes colonization of air-seasoned Douglas fir poles". Am Wood Preserv Ass, Proc. 83:284-294.
15. Bystedt, T, Edlund, M-L (1988), "Eftertorkning av impregnerat virke - inledande studier rörande lämpliga hanteringsrutiner", Svenska Träskyddsinstitutet, Medd nr 160, 1988.

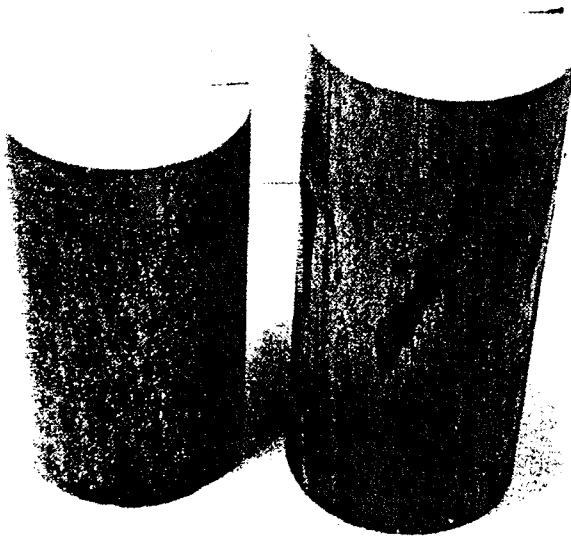
16. Peek, R D, Geick, A, Willeitner, H (1985): "Festigkeitseigenschaften von imprägniertem Kiefern - und Fichtenholz nach Heißdampfbehandlung". Holz als Roh- und Werkstoff 43, 1985.
17. Wood, M W, Kelso, W C Jr, Barnes, H M, Parikh, S (1980) "Effects of the MSU process and high preservative retentions on southern pine treated with CCA-type C." Am Wood Preserv Ass, Proc. 76:22-37.



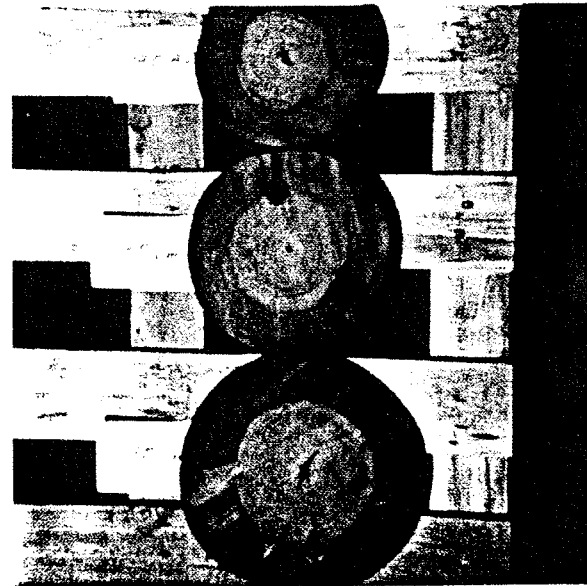
**Figur 26.** Endesprekk i stolper tørket i luft ved 80°C  
*Figure 26. End cracks. Poles dried at 80°C*



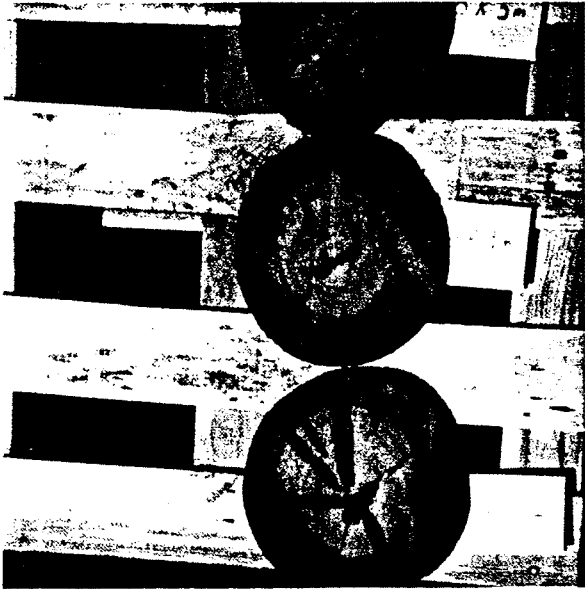
**Figur 27.** Kvaeflyting og overflatesprekk i stolper tørket i luft ved 80°C  
*Figure 27. Bleeding of resin. Poles dried at 80°C*



**Figur 28.** Sprekkbilde, kvaeflyting og fargeendring i stolper tørket ved 150°C  
*Figure 28. Cracks and bleeding of resin. Poles dried at 150°C*



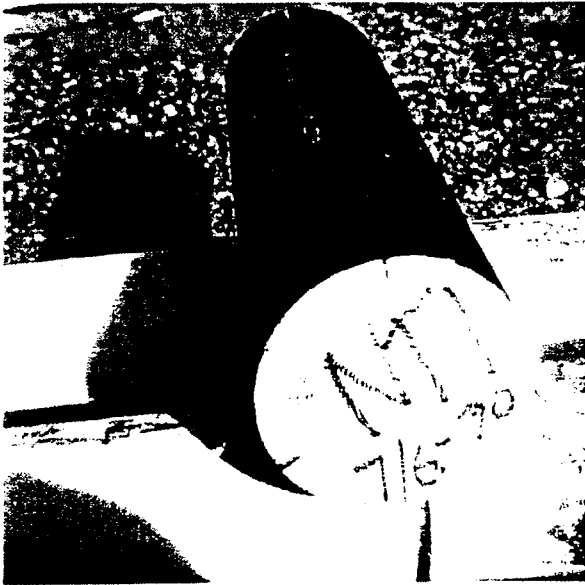
**Figur 29.** Eksempel på fullimpregnering i stolper tørket i overhetet damp  
*Figure 29. Complete penetration of preservative. Poles dried in superheated steam*



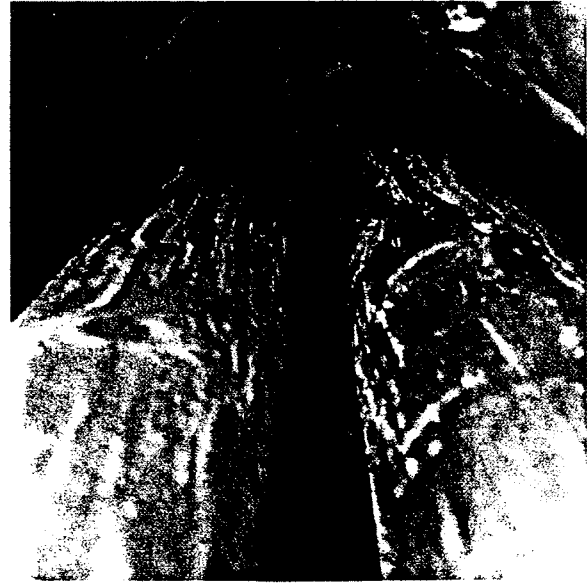
**Figur 30.** Uforklarlige impregnerings"misser"  
ved tørking i overhettet damp  
*Figure 30. Incomplete penetration. Poles dried  
in superheated steam*



**Figur 31.** Stolpe klargjort for temperatur måling  
og veiing ved tørking i røkgass  
*Figure 31. Temperature measuring in poles*



**Figur 32.** Stolpe utsatt for sooting ved røkgass-  
tørking i barkfyringsanlegg  
*Figure 32. Poles dried in combustion gas.  
Sooting caused by insufficient  
combustion*



**Figur 33.** Observerte skader på stolper som  
er tørket i friluft  
*Figure 33. Poles dried in pole yards attacked  
by blue stain and decay*

## Meddelelser fra Norsk Treteknisk Institutt

1. Skurutbyttings variasjon med skurordre, tømmerdimensjon og avsmalning ved en moderne sirkelsag. Gustav G. Klem og Ole Karlsen, 1951.
2. Sammenliknende skurforsøk mellom sirkelsagblad med viggete og stukete tenner. Gustav G. Klem og Ole Karlsen, 1951.
3. En underøkelse av skurnøyaktigheten ved forskjellige sagbrukstyper. Gustav G. Klem og Martin Seem, 1951.
4. Tannvinklenes innvirkning på kraftforbruket ved saging med og mot fibre. Curt Skoglund og Gullik Hvamb, 1953.
5. En transportteknisk undersøkelse på stabeltomtene ved trelastbrukene. Utført ved Produksjonsteknisk Forskningsinstitutt etter oppdrag og i samarbeid med NTI 1954.
6. Fuktighetsopptak i gulvbord under lagring på byggeplassen. Ole Karlsen, 1954.
7. Noen resultater fra undersøkelser over saging med og mot fibre. Torstein Englesson, Gullik Hvamb og Bertil Thunell, 1954.
8. Skurnøyaktigheten ved våre viktigste sagbrukstyper. Gullik Hvamb, 1956.
9. Laminering av trykkimpregnert furu. Magnus M. Selbo og Ole Grønvold, 1956.
10. Fastmasse i stablet, kappet bakhon. Michael Foslie, 1957.
11. Undersøkelser over metoder for tørking av rå sagflis. Per Granlund, 1958.
12. Tørrkløving med koniske sirkelblad. Lester H. Reineke og Gullik Hvamb, 1958.
13. Metode for beregning av pneumatiske tørkeanlegg basert på eksperimentelle undersøkelser med sagflis. Per Granlund, 1959.
14. Brikettering av bark og sagflis. Harald Millstein og Karl Mørkved, 1960.
15. Strength and Stiffness of Glued Laminated Timber Beams. Johannes Moe, 1961.
16. Fingerskjøting av furubord. Eirik Raknes, 1961.
17. A Study of nail-glued timber truss joints. Johannes Moe, 1961.
18. Stability in fire of protected and unprotected glued laminated beams. Katsuyoshi Imaizumi, 1962.
19. The mechanism of failure of wood in bending. Johannes Moe, 1962.
20. Studier over stukete og viggete rammesagblad og skurnøyaktighet. Marijan Breznjak og Gullik Hvamb, 1962.
21. Liming av trykkimpregnert bøk. Eirik Raknes, 1962.
22. Forsøk med trykkimpregnert av skurlast av gran etter en spesiell metode. Per Hanetho, 1962.
23. Studier over skurnøyaktigheten ved båndagskur av frosset og ikke frosset virke. Rolf Birkeland og Gullik Hvamb, 1963.
24. Styrkeegenskapene hos furu (*Pinus sylvestris*) fra Pasvik og fra Østlandet. Michael Foslie, 1963.
25. Strength Properties and Testing Methods of Glued Finger Joints in Structural Timbers. Odd Brynildsen, 1965.
26. Sammenligning av beregningsmetoder for enkle tretakstoler. Odd Brynildsen, 1966.
27. Limte bjelkeagselementer. Odd Brynildsen, 1966.
28. Varigheten av granvirke behandlet med forskjellige konserveringsmiddel og under anvendelse av forskjellige konserveringsmetoder. Gustav S. Klem, 1966.
29. Slagbruddfasthet og kløvfasthet til furuvirke trykkimpregnert med et vannløselig saltkonserveringsmiddel. Gustav S. Klem, 1966.
30. Investigations on sawing accuracy for big bandsaws when sawing frozen and unfrozen logs with different feed speeds and different swage sizes. Rolf Birkeland, 1967.
31. Langtidsbestandighet av lim for bærende trekonstruksjoner. E. Raknes, 1967.
32. Fingerskjøting med resorcinlim ved høy trefuktighet. E. Raknes, 1967.
33. Norsk granvirkes styrkeegenskaper. Del 1. M. Foslie og K. Moen, 1968.
34. Resultatene av målinger av skurnøyaktigheten ved sirkelsagbruk og båndagsbruk. Rolf Birkeland, 1968.
35. Lagringsskader på ubarket skurtømmer og effekten av sprøyting med insekt- og soppdrepende midler. Gunnar Wilhelmsen og Michael Foslie, 1968.
36. Fingerskjøting av konstruksjonsvirke med høy trefuktighet. Eirik Raknes, 1969.
37. Frittstående takstoler. O. Brynildsen og R. Schjødt, 1969.
38. Skur med stukete tenner på sirkelsagblad med høy matning pr. tann. M. Breznjak og K. Moen, 1969.
39. Betydningen av sterk tilvekstøkning hos vanlig furu for trevirkets tørkeskader, bøyefasthet og skjærfasthet. Gustav S. Klem, 1970.
40. On the vibration of the circular saw blade under sawing conditions. M. Breznjak og K. Moen, 1970.
41. Fingerskjøting av "lufttørr" trelast ved hjelp av høyfrekvensoppvarming. Eirik Raknes og Martin Seem, 1971.
42. Norsk granvirkes styrkeegenskaper. Del 3. Styrkeegenskaper for små, feilfrie prøver. M. Foslie, 1971.
43. NTI's trebjelkefasit. Massive trebjelkers og tresøylers bæreevne, 1971.
44. Langtidsbestandighet av lim for bærende trekonstruksjoner. E. Raknes, 1972.
45. Norsk granvirkes styrkeegenskaper. Del 2: Bøyestyrkens sammenheng med enkelte sorteringskriterier. M. Foslie og K. Moen, 1972.
46. On the lateral movement of the bandsaw blade under various sawing conditions. Part I, II, III og IV. M. Breznjak and K. Moen, 1972.
47. Korrosjon på metaller i kontakt med trykkimpregnert trevirke. E. Ormstad, 1973.
48. Theory and experimental on the optimal operation of circular saws. C.D. Mote, jr. and S. Holøyen, 1973.
49. The temperature distribution in circular saws during cutting. C.D. Mote, jr. and S. Holøyen, 1973.
50. Saltakstoler. Asbjørn Aass og Odd Brynildsen, 1974.
51. Egenskaper til trevirke fra gjødslet gran- og furuskog. Gustav S. Klem, 1974.
52. Automatic setting of twin circular saw. M. Breznjak, A. Garnæs, S. Holøyen and B. Lier, 1975.
53. Langtidsbestandighet av lim for bærende trekonstruksjoner. Resultater etter 10 ars eksponering. Eirik Raknes, 1976.
54. Apparat for ikke-ødeleggende prøving av sponplater. K. Mørkved, S. Johannessen og E. Ormstad, 1976.
55. Sagbladstyringer. Sindre Holøyen, 1977.

56. Feedback control of sawblade temperature with induction heating.  
C. D. Mote, jr. and S. Holøyen, 1977.
57. Krokskur. Marjan Breznjak, Magnar Müller, Bjørn Lier og Arne Storm, 1977.
58. Småhusfundamenter av tre. Tore Haavaldsen, 1979.
59. Structural models for trussed rafters. Odd Brynildsen, 1979.
60. Saw stability control by thermal tensioning. S. Holøyen, C. D. Mote, jr. and G. S. Schajer, 1980.
61. Tverravstiving av bjelkelag. Jon Lundesgaard, 1980.
62. Langtidsbestandighet av lim for bærende trekonstruksjoner. Eirik Raknes, 1981.
63. Oppbøying av takstoler. N. Mjøs og O. Ellingsrud, 1982.
64. Temperaturspenninger og sidebøying på elektroniske sirkelsagblad. Sindre Holøyen, 1982.
65. Hydrodynamic sector bearings as circular saw guides.  
C. D. Mote, jr, G. S. Schajer and L. I. Telle, 1982.
66. Målesystem for vurdering av kantingsoperasjoner.  
I. Sandquist, K. O. Sommardahl, L. I. Telle og A. Usenius, 1983.
67. Usymmetriske sirkelsagblad. Del I. S. Holøyen, 1983.
68. Korrosjon på metaller i kontakt med trykkimpregnert virke. Fred G. Evans og Bjørn Nossen, 1984.
69. Gran og sitka innplantet på Vestlandet. Michael Foslie, 1984.
70. Usymmetriske sirkelsagblad. Del II. Sindre Holøyen, 1985.
71. Sawing accuracy at Norwegian bandsaw mills. Nobuaki Hattori, 1985.
72. Konstruksjonsvirke med små tverrsnitt. Kjell H. Solli og Reinhard Lackner, 1986.
73. Langtidsbestandighet av lim for bærende trekonstruksjoner.  
Resultater etter 22 års eksponering. Eirik Raknes, 1987.
74. Gran fra Vestlandet. Styrke og sortering. R. Lackner og M. Foslie, 1988.
75. Lysbeskyttende forbehandling av tre. Eirik Raknes, 1988.
76. Belastningstidens innflytelse på strekkfasthet for konstruksjonsvirke  
i dimensjon 45 x 145 mm. Reinhard Lackner, 1990.
77. The performance of glued laminated beams manufactured from machine stress graded  
Norwegian spruce. Robert H. Falk, Kjell H. Solli and Erik Aasheim, 1992.



## Rapporter

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

## Småskrifter

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

## Utredninger

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

