

SVENSKA TRÄSKYDDSinSTITUTET

SWEDISH WOOD PRESERVATION INSTITUTE

Meddelanden

Reports

Nr 123

1976

Tryckimpregnering i samband med
fingerskarvning av virke

Pressure impregnation of timber in conjunction
with finger jointing

Bert-Ola Ivansson

STOCKHOLM 1976

INNEHÅLL

| | Sid |
|---|-----|
| FÖRORD | 1 |
| SAMMANFATTNING | 2 |
| SUMMARY | 4 |
| 1 ALLMÄNT OM FINGERSKARVNING OCH IMPREGNERING | 8 |
| 2 TRYCKIMPREGNERINGSMETODER | 11 |
| 2.1 Allmänt | 11 |
| 2.2 Fullcellmetoden | 11 |
| 2.3 OPM-metoden | 11 |
| 2.4 Lowry-metoden | 12 |
| 2.5 Rüpings-metoden | 12 |
| 3 AVSIKTER MED IMPREGNERING | 13 |
| 3.1 Röttskydd | 13 |
| 3.2 Infärgning | 14 |
| 3.3 Dimensionsstabilisering | 16 |
| 3.4 Brandskydd | 17 |
| 4 LIMBARHET FÖR OLIKA BEHANDLAT TRÄ | 19 |
| 4.1 Allmänt | 19 |
| 4.2 Limning av på olika sätt impregnerat virke | 19 |
| 5 HÖGFREKVENSVÄRMNING (HF-VÄRMNING) | 21 |
| 5.1 Allmänt | 21 |
| 5.2 HF-värmning i samband med skarvning | 23 |
| 6 TÄNKBARA EFFEKTER VID FINGERSKARVNING/ TRYCKIMPREGNERING | 25 |

| | Sid | |
|-------|---|----|
| 7 | FÖRSÖK | 26 |
| 7.1 | Impregnering av skarvat virke | 26 |
| 7.2 | Skarvning av impregnerat virke | 28 |
| 7.3 | Högfrekvensvärmning av virke | 30 |
| 8 | RESULTAT | 32 |
| 8.1 | Impregnering av skarvat virke | 32 |
| 8.1.1 | Inverkan på limfogar | 32 |
| 8.1.2 | Inverkan på hållfasthet | 33 |
| 8.2 | Skarvning av impregnerat virke | 34 |
| 8.3 | HF-värmning | 35 |
| 8.3.1 | Temperaturutveckling vid olika typer av impregnering | 35 |
| 8.3.2 | Överslagsrisk | 36 |
| 8.3.3 | Förlustfaktor | 36 |
| 9 | SLUTSATSER | 39 |
| | FIGURER | 43 |

FÖRORD

Föreliggande rapport avser en undersökning som gjorts vid institutionen för byggnadsteknik, KTH. Arbetet har finansierats genom anslag från Statens råd för byggnadsforskning ^{x)}.

För undersökningarna har erfordrats en hel del provningsmaterial som virke och lim samt utrustning för impregnering och HF-värmning.

Nedanstående företag och institutioner har gratis ställt såväl material som utrustning till förfogande.

AB Casco

Igelstaverken, Tunabergs Trä AB

AB Statens Skogsindustrier, Laxå sågverk

Svenska Träforskningsinstitutet, avd Träteknik.

Provningar och utvärdering av provningsresultat har förtjänstfullt utförts av ingenjör Rolf Reuterwall.

Till alla som bidragit till arbetets genomförande vill jag framföra ett varmt tack.

Stockholm i mars 1975

Bert-Ola Ivansson

x) Forskningsanslag 730064-1

SAMMANFATTNING

Fingerskarvning av virke är numera en väl etablerad teknik. Från att ha varit en teknik som använts i liten skala inom vissa förädlingsindustrier framförallt limträindustrin, börjar man nu använda fingerskarvningstekniken i stor skala direkt i anslutning till virkesproduktionen vilket medger anpassning av det producerade virket till slutanvändarens behov.

I och med att priset på trävirke och arbetskraft stiger ökar incitamentet starkt att på olika sätt skyddsbehandla trä och därigenom öka träets beständighet och värde.

Avsikten med detta arbete har varit att undersöka i vad mån fingerskarvning i samband med olika former av tryckimpregnering av virke kräver speciella åtgärder eller hänsynstaganden.

De gjorda undersökningarna har begränsats till rötskyddsimpregnering med Bolidensalt K33, dimensionsstabilisering enligt Modologmetoden samt rötskyddsimpregnering och infärgning enligt Royalmetoden.

I undersökningen har studerats hur skarvhållfastheten påverkas av de olika formerna av impregnering dels när skarvning görs före impregnering och dels när impregneringen sker före skarvning. Genom delamineringsprov enligt ASTM D 1101-59 har även inverkan av olika temperatur vid skarvlimningen studerats.

I samband med industriell fingerskarvning är det ofta nödvändigt att höja temperaturen i de virkesdelar som berörs av skarven för att limuthärdningen skall kunna ske tillfredsställande. Härvid används huvudsakligen dielektrisk högfrekvensvärme (HF). I ett stort antal försök har studerats hur olika impregneringsbehandlingar inverkar vid HF-värmning av såväl fruset som ofruset virke.

Vid de utförda delamineringsproven har inte kunnat konstateras, att någon av de undersökta impregneringstyperna inverkar menligt på limfogarna. Någon menlig inverkan av att limningen skett vid så pass låg temperatur som 10 °C har inte heller kunnat påvisas, när limningen gjorts med Cascosinol 1761 plus härdare 2611.

Limningsresultatet har heller inte påverkats av att limning skett upp till 14 dagar efter bearbetning med mellanliggande lagring i rumsklimat.

Den enda kombination av behandlingar som gett signifikant sämre hållfasthet har varit skarvning av virke som tryckinfärgats efter fräsning av fingerprofilerna. Detta gällde resorcinlim, Casco industrilim 1822, ett polyuretanlim, gav under samma betingelser fullgod hållfasthet.

Vid impregnering med kreosotolja bör man helt undvika att skarva efter impregnering.

Försöken med HF-värmning av på olika sätt behandlat virke har visat att temperaturutvecklingen är ganska lika för samtliga typer inom det fuktkvotsintervall som är aktuellt, 10 - 25 %. Modologimpregnerat virke intar en viss särställning så tillvida att det inte tycks tåla snabb värmning över 100 °C utan att allvarligt skadas.

Sammanfattningsvis kan sägas, att det med angivna undantag inte synes föreligga några krav på speciella åtgärder vid fingerskarvning i kombination med tryckimpregnering.

Förfarande kan väljas i det närmaste helt fritt, skarvning före impregnering eller tvärtom.

SUMMARY

Finger jointing of timber is now a well established technique. Having begun as a technique applied on a small scale in certain processing industries, primarily the gluelam industry, the finger jointing method is now employed on a large scale as an integral part of timber production, which permits adaptation of the timber produced to the requirements of the final consumer.

Owing to the rise in the price of timber and wages, there is far more incentive to apply various forms of preservative treatment to timber and thus enhance its durability and value.

The report to which this summary refers describes an investigation to find the extent to which finger jointing of timber in conjunction with different forms of pressure impregnation requires special measures or considerations.

In the cases investigated, finger jointing was performed according to the guidelines issued by the Nordic Committee on Building Regulations (NKB) and adhesives approved by the NKB were used.

The preservative treatment studied was confined to rot resistance impregnation with Boliden salt K33, dimensional stabilisation according to the Modolog method, as well as treatment according to the Royal method.

Studies were made in the course of the investigation of the way in which joint strength is affected by the different forms of impregnation, both when jointing is carried out prior to impregnation and when impregnation is carried out prior to jointing.

It does not appear that pressure impregnation after finger jointing has any effect on the strength of the joint.

Nor does jointing of timber which has first been treated according to one of the above methods appear to present any special problems. When moulding was carried out immediately prior to gluing, the results of gluing were perfectly satisfactory in all cases. Not even in the case of tests in

gluing salt impregnated or Modolog impregnated timber 14 days after moulding was there any deterioration in gluing results compared with the case when gluing was carried out immediately after moulding. It should be noted, however, that if a long period elapses between moulding and gluing, and the moisture ratio of the timber is not the equilibrium moisture ratio appropriate to the storage climate, there is a great risk that the finger profiles will deform so much that fitting together of the joint will be difficult. However, if this complication is disregarded, then the time that elapses between moulding and gluing does not appear to be critical for any of the impregnation alternatives tested.

Generally speaking, there is no need to carry out moulding prior to pressure impregnation. In the manufacture of certain composite structures such as windows, however, it is desirable to perform all mechanical processes prior to impregnation and for example staining in order that all surfaces should become impregnated and stained. In such a case, gluing of the corner joints must be performed between impregnated and stained surfaces. In such tests made on finger joints, the results were worse when resorcinol glue had been used in these conditions. However, when a polyurethane adhesive was used (Casco Industrial Adhesive 1822), the results were perfectly satisfactory.

No reduction in strength was observed, irrespective of the pressure impregnation method employed, in gluing surfaces which had been moulded after pressure impregnation.

In conjunction with industrial finger jointing it is often necessary to raise the temperature in those parts of the timber which are affected by the jointing process, in order to ensure that the adhesive sets properly. Dielectric high frequency heating (HF) is mainly used for this purpose. In a large number of tests, studies were also made of the effect of different gluing temperatures by performing delamination tests according to ASTM D 1101-59. In HF heating timber which had been pressure impregnated, there were no surprising results. When timber is heated in a HF-field, it behaves very much the same whether or not it has been impregnated. It was, however, somewhat surprising that salt-treated timber was not found to absorb HF energy more efficiently than untreated timber.

On the other hand, timber impregnated with Modolog proved more receptive to HF energy than untreated and salt-treated timber. It was, however, found that very violent reactions occur when Modolog impregnated timber is heated rapidly to above 100 °C. The timber is subjected to very large internal stresses and can in many cases rupture and be completely destroyed. This must be borne in mind when timber previously impregnated with Modolog is preheated and jointed. It is advisable to carry out impregnation with Modolog after jointing.

It was found in heating frozen timber by means of HF energy that, in the beginning, the inside of the timber always heats up more slowly than the surface. However, once the whole cross section has thawed out, the inner parts of the section rapidly catch up and, if the heating period is sufficient, always attain a temperature higher than that of the surface layers which are constantly cooled by the ambient air.

There was no evidence in these tests that there was any difference regarding the risk of arcing for different timber treatments. It would appear that the risk is due more to the expulsion of water vapour and consequent conduction in the air gap between the electrode and the piece of timber than to the properties of the timber itself.

As regards the loss factor, it was found that this is affected only to a very small extent whether or not the timber is impregnated. On the other hand, it varies greatly with the moisture ratio of the timber, there being an increase when the moisture ratio rises. However, the heat capacity also increases in about the same proportion when the moisture ratio rises and there is therefore very little effect on the temperature.

There are indications that the heat capacity increases more rapidly than the loss factor when the moisture ratio is very high, with the result that the temperature is lower. When the moisture ratio is very low, it seems that the loss factor decreases more rapidly than the specific heat and this also results in the temperature being lower.

In the range of moisture ratios found in practice in conjunction with finger jointing, 10-25 %, it would appear that the loss factor and the specific heat are well balanced and the final timber temperature is therefore fairly independent of the moisture ratio. On the other hand,

the HF energy absorbed and consequently the heat content of the timber increase quite considerably as the moisture ratio rises.

To sum up, it can be said that, subject to the exceptions given, there appears to be no need to specify any special measures in conjunction with finger jointing in combination with pressure impregnation.

There is practically no limitation as regards the choice of procedure, i.e. impregnation prior to jointing or vice versa.

1. ALLMÄNT OM TRYCKIMPREGNERING OCH FINGERSKARVNING

I dagens läge gäller det inom de flesta områden att söka utnyttja råvarorna bättre än hittills. Ökad produktionsvolym måste i många fall på grund av råvarubrist åstadkommas genom ökat råvaruutbyte. Detta gäller i särskilt hög grad för träindustrin, då råvarutillgången i princip är begränsad till den årliga återväxten som endast kan påverkas på lång sikt.

Bland många åtgärder för att nå detta resultat märks fingerskarvning av virke. Genom fingerskarvningstekniken har det öppnats en möjlighet att i princip undvika kappspill. Tekniken har även gett möjligheter att producera virke som är längre än praktiskt förekommande timmerlängder.

Trä har svagheten att det under vissa betingelser beträffande fukt och temperatur angrips och bryts ned av olika rötsvampar, vilkas sporer förekommer praktiskt taget överallt. Av våra två barrträslag, gran och furu är granvirket och furusplinten känsliga för sådana angrepp. Furu-kärnveden däremot innehåller vissa substanser som har toxisk verkan på rötsvampar varför den har relativt god motståndskraft mot röta.

Förr när det fanns god tillgång till mycket gammal skog kunde kärnved väljas ut till sådana ändamål där motståndskraft mot röta var värdefull. Vi finner därför många gamla träkonstruktioner, som väl motstått tidens tand.

Allt eftersom virkesdimensionerna minskat har splintvedandelen ökat med mindre rötbeständighet som följd. Samtidigt har arbetskostnaderna ökat, vilket medfört att underhåll av träkonstruktioner i utsatta lägen kan bli mycket dyrbart. Detta har gjort att det blivit mer och mer motiverat att rötskyddsbehandla virket före inbyggnad. Effektivast sker denna behandling som en tryckimpregnering med ett ämne, som skall förhindra svamptillväxt.

Det finns många olika recept på sådana impregneringslösningar. Man kan dock grovt indela impregneringsmedlen i sådana som består av vattenlösliga salter av främst koppar, krom och arsenik och sådana som är lösliga i organiska oljor.

Det har sedan lång tid tillbaka förekommit att trä har behandlats för att motstå biologiska angrepp av olika slag. De första industriella behandlingarna med detta syfte gjordes på järnvägsslipers och ledningsstolpar.

Här har nämnts endast impregnering av virke mot röta. Det förekommer emellertid även tryckimpregnering av trä med andra syften såsom dimensionsstabilisering, infärgning och brandskydd.

I fig 1 visas den volymmässiga utvecklingen av tryckimpregnering sedan 1940.

Fingerskarvning förekom knappast för 10 år sedan. I dag fingerskarvas uppskattningsvis omkring 200 000 m³/år. Uppskattningen är dock mycket grov då tillförlitlig statistik saknas. Den volymmässiga tillväxten för fingerskarvat virke torde dock i Sverige i dag vara mycket snabbare än tidigare, då fingerskarvningstekniken nu börjar bli intressant i sågverksskala.

Det ekonomiska värdet av impregnering och fingerskarvning är svårt att noggrannare uppskatta. Den inses dock lätt att om virkets livslängd i vissa miljöer mångdubblas, - slipers, ledningsstolpar, stängsel, båtbyggor, lekanläggningar och andra utomhus oskyddade träkonstruktioner - är kostnaden för tryckimpregnering, ca 20 % av virkeskostnaden, en mycket lönsam investering.

Fingerskarvningens värde kan variera mycket beroende på applikationen. Vid speciell skarvning där avsikten är att åstadkomma längder utöver de naturligt tillgängliga kan värdet av skarvning i det enskilda fallet vara mycket stort. Totalt betyder dock denna form inte så mycket.

Det är först då skarvning sker i stor skala som den blir av verklig ekonomisk betydelse. Som indikation kan nämnas att en övergång från kapning i 3M-moduler till konsekvent skarvning och kapning i önskad längd skulle öka virkesutbytet med ca 2.5 %, vilket räknat på Sveriges årsproduktion motsvarar ett värde av storleksordningen 175 Mkr.

Det förhållandet att tryckimpregnering och fingerskarvning av virke blivit allt vanligare har gjort det motiverat att undersöka vissa förhållanden när dessa båda metoder används i kombination.

2. TRYCKIMPREGNERINGSMETODER

2.1 Allmänt

Tryckimpregnering kan utföras enligt flera olika förfaranden. Gemensamt för alla dessa är att impregnering utförs i tryckkärl i form av en stål-cylinder med öppningsbar gavel. I impregneringscylindern pressas trä-skyddsmedlet, rent eller i lösning, in i virket med hjälp av övertryck.

Om man önskar maximal upptagning av impregneringsvätska i virket används fullimpregneringsmetoder.

2.2 Fullcellmetoden

Virket utsätts först för en vakuumbehandling för att avlägsna luften ur cellhåligheterna. Därefter fylls impregneringscylindern under bibehållet vakuum med vätskan, vilken sedan pressas in i virket. Trycket bibehålls under en tid, som kan variera mellan 15 min och några timmar. Efter tryckperioden tömmer man ut vätskan ur cylindern. Virket är nu impregnerat, men man avslutar vanligen med kort vakuumbehandling för att virket skall vara torrt på ytan när det tas ur cylindern.

2.3 OPM-metoden (Oscillating Pressure Method)

Metoden är främst avsedd för svårimpregnerat rått virke. Här används omväxlande vakuum- och tryckperioder med vätskefylld cylinder. Periodernas längd är någon eller några minuter och processen fortgår under åtskilliga timmar. Så småningom utbyts då en del av växtsaften mot impregneringsvätska.

Om man vill begränsa upptagningen och samtidigt uppnå en god fördelning av impregneringsvätska i virket används sparimpregneringsmetoder. En begränsad upptagning kan vara önskvärd antingen för att få en snabbare torkning av virket eller för att spara på dyrbara impregneringsmedel.

2.4 Lowry-metoden

Vid användning av denna metod fylls impregneringscylindern med vätska, som sedan trycks in i virket. Därvid pressas luften i vedcellerna ihop, så att upptagningen av impregneringsvätska begränsas till ungefär hälften av den upptagning som erhålls med fullimpregnering. En del av vätskan pressas ut ur virket av den i cellerna sammanpressade luften, när det yttre vätsketrycket upphör. För att erhålla ett yttorr virke är det nödvändigt med en avslutande vakuumbehandling.

2.5 Rüping-metoden

Med denna metod begränsas upptagningen till omkring $1/3$ jämfört med fullimpregnering. Arbetsgången är i princip som vid föregående metod, med den skillnaden att luften komprimeras i vedcellerna före vätskefyllning av cylindern.

3. AVSIKTER MED TRYCKIMPREGNERING

3.1 Rötskydd

Vid tryckimpregnering används som regel kreosotolja, oljebaserade medel eller saltlösningar.

Man har nu mer än 100 års erfarenhet av kreosotimpregnering, och det har visat sig, att kreosotoljan ger ett utomordentligt gott skydd åt virket mot alla slags skadeorganismer. Oljan har ej heller någon korroderande inverkan på virket eller metaller, och någon minskning av virkets elektriska ledningsmotstånd uppstår ej (mycket viktigt för järnvägsslipers).

Kreosotimpregnerat virke har dock en viss benägenhet att "svettas" och blir då smetigt av utträngande olja. Detta gör att kreosotoljan ej alltid är lämplig som impregneringsmedel för t ex telefonstolpar i vilka linjepersonalen ofta måste klättra. Även vid åtskilliga andra träkonstruktioner, såväl utom- som inomhus, kan smetigheten vara en nackdel. Inomhus kan även lukten vara besvärande. Kreosotimpregnering är ej heller lämplig, om man senare avser att måla virket. I sådana fall är impregnering med salt att föredra.

Vid tryckimpregnering med salt används i Sverige så gott som uteslutande furu. I mindre kvantiteter impregneras även bok och björk, medan gran på grund av speciell cellstruktur svårligen låter sig tryckimpregneras. Sedan impregneringen avslutats, staplas virket på impregneringsplatsen för torkning. Det inpressade vattnet avdunstar, varvid det kvarvarande saltet reagerar kemiskt med beståndsdelar i veden, omvandlas och fixeras till svårösliga föreningar.

Ett stort antal salter, varmed virke kan impregneras enligt nämnda metoder har utexperimenterats och inom olika länder nått varierande spridning. Här nämns de salter, som används eller i större omfattning har använts i Sverige.

1. Bolidensalt. Det första Bolidensaltet, BIS-saltet, kom i marknaden i slutet av 1930-talet. I slutet av 1940-talet utexperimenterades Bolidensaltet K33, som innehåller arsenikpentoxid, kromoxid, kopparoxid och vatten.

I K33-saltet ingår de verksamma beståndsdelarna som oxider och vid fixeringen bildas mycket svårlösliga föreningar av enbart koppar- och kromarsenat.

Ett salt med liknande egenskaper som K33 är saltet S25 som skiljer sig från K33 genom att en del av kopparen är ersatt med zink.

2. KP-Cuprinol kom i marknaden omkring år 1955. En bruksfärdig lösning av KP-salt innehåller koppar och klorfenolater i en vattenlösning av ammoniak och kolsyra.

3. BP-Hylosan är ett oljemedel där den fungicida komponenten utgörs av pentaklorfenol. Som regel används sparimpregnering med 5-procentig lösning.

4. Celcure. Sedan mer än 30 år har Celcure använts som träimpregneringsmedel, särskilt i de anglosaxiska länderna. Den verksamma beståndsdel i detta salt är koppar.

5. Wolmansalt. (Wolmanit CB m fl) Under detta namn försäljs salter, som utexperimenterats i Tyskland. Olika typer finns avsedda för olika impregneringsändamål. Ett salt är baserat på arsenik, fluor och krom, i vilket fluoren delvis utgörs av bifluorider (sura fluorsalter). Ett nyare innehåller koppar, krom och bor.

6. Tanalithsalterna. Salttyper som sedan lång tid används i de anglosaxiska länderna. Tanalith CCA är baserat på koppar, krom och arsenik.

3.2 Infärgning

Synligt trä i byggnader måste ytbehandlas på ett eller annat sätt för att det skall motstå påverkan i olika avseenden. Detta gäller särskilt trä som exponeras i väder och vind t ex utvändiga beklädnadspanel, fönster och dörrar.

Den vanligast förekommande behandlingen har länge varit täckmålning med linolje- eller alkydfärger. Sådan behandling har nackdelen att den kräver periodiskt återkommande underhåll. Ytorna måste skrapas och målas om efter ett antal år. Tidsintervallet mellan ommålningar varierar beroende på hur utsatt läget är men 5 - 10 års intervall, ibland betydligt kortare, är normala.

Förutom att ommålningen i sig är kostsam innebär behandlingsmetoden även tekniska nackdelar. Genom täckmålning av i övrigt obehandlat trä får man ett tämligen gott skydd mot biologiska angrepp så länge som färgskiktet är intakt. Detta förhållande råder dock inte länge. Färgskiktet kommer tämligen snabbt att få skador främst genom träets fuktrörelser och klimatisk påverkan på själva färgskiktet, men även genom direkt mekanisk påverkan. Genom dessa skador kan vatten tränga in, och därigenom försämras färgskiktets vidhäftning till träet omkring skadan, ytterligare fukt kan tränga in, träets fuktkvot stiger lokalt varigenom goda betingelser för rötsvamp tillväxt uppstår, skadan förstoras och förstörelsen fortskrider allt snabbare.

På sådana detaljer som t ex fönstersnickerier finns stor risk för att vatten kan komma att sugas upp särskilt mycket i vissa delar, här är karmunderstyckena särskilt utsatta, varigenom dessa delar kommer att få en fuktkvot som befördrar tillväxt av nedbrytande mikroorganismer. Detta förhindras i mycket liten utsträckning av täckande färgskikt.

På grund av de nämnda olägenheterna har det blivit önskvärt att röttskyddsimpregnera trävirke, som på sin plats i byggnadskonstruktionen löper risk att rötskadas. Detta har som i inledningen nämnts kommit att ske i allt större utsträckning.

Samtidigt har täckmålning av utomhusexponerade träytor i stor utsträckning kommit att ersättas av laserande behandling, dvs en behandling som inte döljer träets struktur och är enkel och billig att applicera. Lasyrbehandlat trä är inte underhållsfritt men underhållet blir enkelt och billigt genom att ytan bara behöver strykas på nytt utan skrapning och borstning.

För utomhusexponerat trä skulle det vara av stort värde om rötskyddet och infärgningen kunde kombineras och infärgningen då helst göras mer kulörbeständig än den hittills brukliga. Ytterligare ett starkt önskemål vore att kulören kunde väljas mera fritt.

Efter omfattande utvecklingsarbete av civilingenjör B Häger finns nu en sådan metod kommersiellt tillgänglig i Sverige. Metoden har övertagits av AB Statens Skogsindustrier och benämns "Royal-processen". Metoden används i industriell skala för att tryckimpregnera och -infärğa utvändigt beklädnadspanel samt fönstersnickerier. Beklädnadspanelen fingerskarvas och längdkapas före behandlingen.

Infärgningen går enligt Royalprocessen i grova drag till så att virket först tryckimpregneras med KP-salt enligt Lowry-metoden. Impregneringscylindern fylls därefter med varm pigmenterad olja (80 - 90 °C) som värmer upp virket. Under hela tiden hålls ett lämpligt vakuum så att det vatten som finns kvar efter KP-impregneringen kokar vid ca 60 °C. Den vattenånga som avgår kondenseras och mäts upp. Genom att man vet hur mycket vatten som tillförts vid KP-impregneringen blir det därigenom möjligt att mycket noga reglera vilken slut-fuktkvot virket skall ha.

Oljan tränger in och infärgar ett par mm tjockt skikt från ytan räknat. När förutbestämd vattenmängd kokats ur virket pumpas oljan under vakuum ur cylindern och virket kan tas ut. Under ett par dagars lufttorkning fixeras pigmenten före leverans. Enligt uppgift är torkningen genom lågtemperaturkokning i olja mycket skonsam mot virket. Inga torkskador har rapporterats. Vid infärgning av fönster görs t ex infärgningen på bearbetade fönsterdelar, som efter infärgningen monteras ihop. Att detta är möjligt tyder på att deformationerna vid torkningen är mycket små.

3.3 Dimensionsstabilisering

Trä är hygroskopiskt och antar en fuktkvot som vid jämvikt bestäms av omgivningens relativa fuktighet och temperatur.

Om omgivningsklimatet förändras kommer alltså även fuktkvoten att ändras. Denna fuktkvotsförändring sker under samtidig dimensionsförändring. Träet sväller eller krymper beroende på om fuktkvoten ökar eller minskar. Detta förhållande är till stor nackdel i många fall.

De flesta har egna erfarenheter av sådana effekter. Gamla möbler faller isär när de tas in i året-runtuppvärmda bostäder, fönster och dörrar kan bli svåra att öppna vid fuktig väderlek, träbåtar blir otäta när de ligger upplagda etc.

Man har på många sätt sökt förhindra att träets fuktkvot följer omgivningens klimat. Genom ytbehandling med täckskikt av olika slag kan man i någon mån förhindra snabba fuktkvotssvängningar. Praktiskt taget oberoende av ytbehandling nås emellertid jämviktsfuktkvot om bara tillräcklig tid får förflyta.

Man har därför sökt substanser som skulle kunna ersätta vatten i vedens cellväggar men som inte skulle avgå därifrån på samma sätt som vatten. Ett sådant ämne är polyetylenglykol.

I Sverige har vid Mo och Domsjö AB utvecklats en dimensionsstabiliseringsmetod som bygger på tryckimpregnering med polyetylenglykol. Metoden är känd under namnet Modolog-metoden.

Metoden går i stort ut på att polyetylenglykol trycks in i veden och binds i cellväggarna som därvid sväller som av vatten. Impregneringen görs så att svällningen blir maximal, dvs ytterligare tillförsel av vatten ökar inte svällningen.

Eftersom polyetylenglykol har mycket lågt ångtryck torkar det inte bort utan förblir bundet i cellväggarna och uppehåller därigenom svällningen vid maximalvärde. På så sätt erhålls ett dimensionsstabilt material som kan vara intressant i många sammanhang.

3.4 Brandskydd

En av träets svagheter i byggsammanhang är att det är brännbart. Detta diskvalificerar trä i vissa användningar där brandskyddsbestämmelserna föreskriver obrännbart material eller material som förhindrar flamspridning.

Det torde vara helt fåfängt att försöka behandla trä så att det kan klassas som obrännbart. Att behandla trä så att det blir svårantändligt och självslocknande är däremot möjligt. Det finns dock ett ganska begränsat urval av kemikalier som av praktiska och ekonomiska skäl är tänkbara för brandskyddsimpregnering av trä. Vanligen används ammoniumfosfat och borater.

Brandskyddsimpregnering har emellertid inte blivit särskilt vanlig och har ingen större ekonomisk betydelse. Det har visat sig mer lönsamt att utnyttja grova träkonstruktioners goda brandstabilitet (spec limträ) och överlåta applikationer med höga krav på brandskydd till andra naturligt mer lämpliga material.

I våra undersökningar har därför inte provats någon form av brandskyddsimpregnering.

4. LIMBARHET FÖR OLIKA BEHANDLAT TRÄ

4.1 Allmänt

Vid limning i allmänhet gäller självklart att det använda limmet som sådant måste uppfylla de krav som ställs för den aktuella limnings-situationen. Det är emellertid även av största betydelse att de materialtyper som skall limmas mot varandra har behandlats så att deras egenskaper är lämpliga för limning.

De krafter som verkar i ett limförband är framför allt adhesion mellan lim och fogtytor. För att adhesion skall kunna uppstå måste limsubstansen komma i mycket intim kontakt med fogytan. Detta kan ske om fogytan är ren och om limsubstansen är flytande så att den kan väta fogytan.

Om fogytan är förorenad av något främmande ämne t ex fett eller damm kommer limmet att adhaera till föroreningen i stället för det avsedda materialet. Om då adhesionen mellan föroreningen och grundmaterialet är mindre än mellan lim och grundmaterialet kommer limningsresultatet givetvis att påverkas negativt.

En nybearbetad yta innehåller många fria bindningar som kan samverka med limsubstansen. Om en sådan yta exponeras fritt, kommer dessa fria bindningar så småningom att tas i anspråk av diverse föroreningar med minskad vätningsbenägenhet som följd. Det är därför alltid eftersträ-vansvärt att göra mekanisk bearbetning så kort tid som möjligt före limning. Denna bearbetning bör dessutom ske med skarpa verktyg så att materialets struktur nära ytan störs så litet som möjligt så att lim-bindningen kan ske mot ett i grundmaterialet fast förankrat ytskikt.

4.2 Limning av på olika sätt impregnerat virke

Allmänt kan sägas att impregneringsmedel baserade på vattenlösliga salter ej har visat sig innebära några större problem vid limning. Detta har bl a visats av Raknes vid Norsk Treteknisk Institutt (NTI).

Åldringseffekten på bearbetade träytor anses allmänt vara ganska svag. Det har dock framförts åsikter att impregnerat virke skulle vara mer känsligt från limningssynpunkt än oimpregnerat för lagring mellan bearbetning och limning. Så föreskrives t ex i Nordisk limtränämnds tillverkningsregler en maximal lagringstid mellan bearbetning och limning om 6 timmar för impregnerat virke mot maximalt 24 timmar för oimpregnerat.

Många anser dock att skillnaden mellan impregnerat och oimpregnerat virke i detta avseende är utan praktisk betydelse. Det kan emellertid bero på vilket lim som används. Urealim anses av limtillverkare vara känsligare än resorcinlim i detta avseende.

I motsats till de vattenlösliga saltimpregneringsmedlen gör de oljebaserade medlen trä mycket svårlimmat. Limningsresultatet blir mycket varierande och osäkert. Limfabrikanterna rekommenderar att man inte skall räkna med att limma oljeimpregnerat virke. Kreosotimpregnerat trä betraktas som helt olimbart.

Vid limning av trä som behandlats enligt den tidigare beskrivna Royalprocessen uppnås regelmässigt lägre hållfasthet än vid limning av obehandlat trä. Det kan dock nämnas att provlimningar med visst polyuretanlim givit hållfasthetsvärden full jämförbara med dem som erhålls vid limning av obehandlat trä.

5. HÖGFREKVENSVÄRMNING

5.1 Allmänt

Högfrekvens är en beteckning som givits åt ett visst frekvensområde i elektronmagnetiska spektrum. För industriell högfrekvens (HF)-värmning väljs frekvenser i området 1 - 100 MHz (MHz = miljoner svängningar per sekund). Som jämförelse kan nämnas att i det europeiska elkraftnätet är frekvensen 50 Hz, dvs två elektroder som ansluts till ett vanligt vägguttag kommer att växla polaritet 50 gånger per sekund.

Två elektroder som ansluts till en HF-generator kommer också att växla polaritet, skillnaderna är att polariteten ändras oftare, kanske 13,5 eller 27 miljoner gånger per sekund för att ta två vanliga värden.

Enligt fysikens lagar attraherar olika laddningar varandra, medan lika laddningar repellerar varandra. Många ämnen innehåller så kallade polära molekyler med negativa och positiva poler. Andra ämnen kan vara mer eller mindre dissocierade i negativa och positiva joner. Båda sakerna gäller för vatten som i form av fukt alltid finns mer eller mindre i trä.

Om ett ämne innehållande joner och/eller polära molekyler förs in i ett elektriskt växelfält kommer de polära molekylerna att rotera och jonerna att vibrera fram och tillbaka i takt med fältets frekvens. Ämnet beter sig härvid analogt med ett elastiskt material, som utsätts för mekanisk vibration.

Den inre friktionen i materialet dämpar dessa svängningsrörelser varvid rörelseenergin omvandlas till värme. Det är denna friktionsvärme som utnyttjas vid dielektrisk värmning.

Det arbetsstycke som skall värmas placeras mellan två elektroder till vilka en högfrekvent växelspanning ansluts. De två elektroderna och mellanliggande arbetsstycke utgör i princip en kondensator i vilken arbetsstycket är dielektrikum.

Energiförlusterna i detta dielektrikum dvs uppvärmningen är direkt proportionella mot fältets frekvens och proportionella mot kvadraten på fältstyrkan, dvs kvoten mellan spänningsfallet över elektroderna och elektrodavståndet. Vidare inverkar naturligtvis arbetsstyckets materialegenskaper i hög grad. Som tidigare nämnts används vid HF-applikationer frekvenser mellan 1 och 100 MHz. Höjs spänningen mellan elektroderna över en viss gräns, kommer fältstyrkan att överskrida luftens elektriska hållfasthet och man får överslag, dvs en ljusbåge bildas mellan elektrod och arbetsstycke varvid detta i allmänhet skadas. Denna kritiska gräns varierar starkt med arbetsstyckets dielektriska egenskaper, varvid fukthalten spelar stor roll. Är överslagsrisken stor är det alltså inte möjligt att öka värmeeffekten genom att höja spänningen, utan man får i stället öka frekvensen. I praktiken är dock frekvensen genom konventioner fastlagd i den använda utrustningen. Värmeeffekten per volymsenhet arbetsstycke är därför i regel given. Uppvärmningen får i stället därför regleras med uppehållstiden i fältet.

De dielektriska förlusternas variation med materialegenskaperna har betydelsefulla konsekvenser. Som nämnts blir de dielektriska förlusterna större om materialet innehåller polära molekyler eller fria joner. Då vatten i materialet medför bådadera blir alltså energiabsorptionen större i fuktigt trä än i torrt. Samtidigt stiger emellertid träets specifika värme med ökande fukttinnehåll varför mer värme kan magasineras vid samma eller lägre temperatur än vad som är möjligt för torrare material. T ex går det åt ca 17 % mer energi för en viss temperaturhöjning av trä med 25 % fuktkvot än för trä med 15 % fuktkvot.

Kommer man över fibermättnadspunkten stiger värmekapaciteten snabbt så att energiåtgången blir mycket stor för en viss temperaturhöjning. Så t ex är energiåtgången ca 67 % större vid 63 % fuktkvot än vid 25 % fuktkvot.

Så höga fuktkvoter som 60 - 70 % kan kanske verka främmande i finger-skarvningssammanhang. Exemplet visar dock att man vid ojämn fuktkvotsfördelning även får ojämn temperaturfördelning. Erfarenhetsmässigt inträffar detta ofta vid värmning av impregnerat och lufttorkat virke.

Vid fruset virke med hög fuktkvot är risken ännu större att temperaturutvecklingen blir ojämn sett över tvärsnittet. I frusen kristallinfas har nämligen vatten mycket mindre dielektrisk förlust än i vätskefas. Följden blir att när fruset virke tas in i uppvärmd lokal kommer upp-
tining genom värmeövergång från luften till virkesytan att ske relativt snabbt på och i närheten av denna. Det bildas ett "hölje" av fuktigt ofruset trä runt virkesbitens frusna kärna. Detta hölje suger upp större delen av tillgänglig HF-energi och kärnan förblir till en början i det närmaste ouppvärmad. Vid de gjorda försöken har detta ofta inträffat.

5.2 HF-värmning i samband med skarvning

Vid industriell användning av fingerskarvningsteknik är det i allmänhet av stort intresse att limningstiden kan fås så kort som möjligt. Då det för konstruktionslimningar i allmänhet krävs lim av hårdplast-typ blir det limmets härdningstid som blir bestämmande för denna limningstid.

Härdningstiden är starkt beroende av limtemperaturen. Som allmän tumregel kan sägas att härdningstiden halveras för varje 10-tal °C temperaturstegring.

Som exempel kan tas ett i samband med fingerskarvning vanligt förekommande resorcinlim. Detta lim härdar på ungefär 1 min vid 100 °C men behöver 4 - 5 timmar för att härda vid rumstemperatur.

Det är alltså möjligt att korta av härdningstiden högst väsentligt om temperaturen kan höjas.

Idealet skulle vara någon metod som möjliggjorde snabb värmning av enbart själva limfogen. I princip har man en sådan metod i HF-tekniken. Om nämligen limmet har större dielektriska förluster än omgivande material, dvs i detta fall trä, kommer det att "suga åt sig" större delen av energin i HF-fältet och därigenom bli mer uppvärmt än omgivningen. Man skulle då kunna få en önskad temperaturstegring i limmet med mycket lokal uppvärmning och därmed även liten energiåtgång.

I praktiken har det visat sig att de lim som är aktuella i samband med fingerskarvning inte har så utpräglad mycket större dielektriska förluster än det vanligen använda virket. För att höja temperaturen på limmet måste man därför genomvärma hela virkesbiten omkring skarven. Detta kan göras antingen efter det att skarvändarna pressats samman med lim emellan eller genom att värma skarvändarna före belimning och sammanpressning. Det finns utrustningar för båda metoderna på den svenska marknaden, men metoden att förvärma virkesändarna har etablerat sig bäst.

Vid förvärmning av virkesändarna så att minst ca 70 °C temperatur erhålls i den sammanpressade skarven erhålls efter ca 10 minuters lagring en i det närmaste fullt uthärdad skarv.

Tryckimpregneringens eventuella påverkan på HF-värmningen skulle kunna bestå i att träets dielektriska förluster påverkas av impregneringsmedlet.

Det har även i olika sammanhang framförts att risken för överslag skulle öka genom att impregneringssalterna fälls ut på träytorna och bildar elektriskt ledande stråk som kan initiera elektriska överslag.

Om man betraktar de dielektriska förlusterna är det troligt att en förändring beroende av impregneringsmedlet skulle ske så att förlustfaktorn blir större. Antalet fria joner i arbetsstycket bör öka genom salttillförseln. Detta skulle vid förvärmningsmetoden snarast vara en fördel då en så snabb och effektiv genomvärmning som möjligt av hela virkestvärsnittet eftersträvas. Vid direktvärmning av limfogarna i sammanpressad skarv skulle denna förändring vara till nackdel. I en sådan applikation vill man ju helst bara få värmeutveckling i själva limmet.

Under 7.3 redovisas resultaten av ett antal försök som gjorts för att belysa ovan nämnda förhållanden.

6. TÄNKBARA EFFEKTER VID FINGERSKARVNING/ TRYCKIMPREGNERING

Vid fingerskarvning är det av mycket stor vikt att limningen kan göras så att högsta möjliga limfogshållfasthet uppnås. De krafter som skarven skall uppta måste upptas som skjuvspänningar i limfogarna mellan fingerprofilernas lutande flanker.

Erfarenhetsmässigt erhålls den bästa limfogen om limningen sker kort tid efter den skärande bearbetningen och om bearbetningen gjorts med vassa verktyg.

Tryckimpregnering i kombination med fingerskarvning kan ske enligt två alternativ: dels kan skarvat virke tryckimpregneras och dels kan tryckimpregnerat virke skarvas. I det senare fallet kan man även tänka sig att man får olika effekter beroende på om fingerfräsningen görs före eller efter impregneringen.

Eftersom uppvärmning av virket med HF-energi i samband med skarvningen är mycket allmänt förekommande kan man även i samband med detta tänka sig att tryckimpregnering kan skapa vissa speciella problem. Dessa har berörts i 5.2.

Tryckimpregnering av skarvat virke innebär egentligen att man utsätter skarven för en cykel i ett delamineringstest. En bra limfog med ett högvärdigt lim skall väl stå emot en sådan påfrestning med det är ändå tänkbart, att det uppstår en signifikant sänkning av hållfastheten hos en fullskalig skarv efter en sådan cykel.

7. FÖRSÖK

7.1 Impregnering av skarvat virke

Vid tryckimpregnering utsätts virket, speciellt vid impregnering med vattenlösningar, för stora mekaniska påkänningar i samband med inträngning och utdrivning av vattnet. För att undersöka om dessa påkänningar kan skada limfogarna i en fingerskarv gjordes vissa försök.

Försöken kan indelas i två typer.

- 1 Delamineringsprov på träbitar som innehåller en fingerskarv.
- 2 Industriell tryckimpregnering av skarvat virke.

Vid försök som gjorts har fingerskarvarna limmats med resorcinlim, Cascosinol 1761 + Härdare 2611. Vid delamineringsförsöken har såväl korta (7,5 mm) som långa (35 mm) skarvar provats. Limningen har gjorts dels vid +10 °C och virkesfuktkvoten ~20 % och dels vid rumstemperatur och fuktkvot ~15 %. Avsikten var att studera om limfogarnas beständighet bestämd genom delamineringsförsök påverkas av de olika limningsbetingelserna.

Den genomförda provningen under 1 ovan omfattade tre typer av behandlingar.

- 1 Skarven kapades mitt av och utsattes därefter för delamineringsstest.
- 2 Hela skarvade provkroppar utsattes för lika behandling som de kapade skarvarna.
- 3 Hela skarvade provkroppar utsattes i vatten för motsvarande tryck/vakuumbehandling som vid tryckimpregnering (fullimpregnering).

Under 1 bestämdes delamineringsandelen genom okulär besiktning.

Under 2 jämfördes hållfastheten efter behandling med hållfastheten hos obehandlade kontrollprover.

Under 3 gjordes samma utvärdering som under 2.

Omfattningen av de olika försöken framgår nedan.

Limningstemp 10 °C, virkesfuktkvot ~ 20 %

| | | | | | Antal prov |
|------|-------|-------|------------------------------|-------------------------------|---------------|
| Lång | skarv | kapad | delamineringstest | okulär besiktn | 25 |
| Kort | " | " | " | "- | 25 |
| Lång | " | hel | " | Jfr hållf provn ¹⁾ | 20 |
| Kort | " | " | " | "- | 20 |
| Lång | " | " | lika beh som tryckimpregn | "- | |
| Lång | " | kapad | "- | okulär besiktn | 15 |
| Lång | " | hel | ingen beh | jfr hållf provn ¹⁾ | 20 |
| Kort | " | " | " | "- | 20 |

Limningstemp 20 - 25 °C, virkesfuktkvot ~ 15 %

| | | | | | |
|------|-------|-------|-------------------|-------------------------------|----|
| Lång | skarv | hel | ingen behandling | jfr hållf provn ¹⁾ | 25 |
| " | " | kapad | delamineringstest | okulär besiktn | 20 |
| " | " | hel | " | jfr hållf provn ¹⁾ | 20 |
| " | " | " | tryckimpregn | "- | 25 |
| Kort | " | " | " | "- | 25 |
| " | " | " | ingen behandling | "- | 25 |

Provkroppar i dimension 50 x 100 mm för jämförande hållfasthetsprovning skarvades och behandlades till angivet antal. Före själva hållfasthetsprovningen delades varje provkropp genom klyvsågning upp i ca 12 st mindre provstavar med sektionmått $\sim 6 \times 40$ mm vilka hållfasthetsprovades genom dragning i en universalprovningssmaskin. För att undvika brott vid infästningslinjerna utformades provningssmaskinens dragbackar enligt figur 2.

Uttagning av dessa dragprovkroppar ur de ursprungliga gjordes enligt figur 3.

1) dragprovning

Före skarvning lagrades virket i $+10^{\circ}\text{C}$, 90 % r f. Profilfräsning skedde i rumstemperatur. Virket till de skarvar som skulle limmas vid $+10^{\circ}\text{C}$ lades efter fräsningen åter tillbaka i $+10^{\circ}\text{C}$ klimatet. Limningen skedde efter några timmar i förvaringsutrymmet sedan virket med säkerhet återtagit temperaturen $+10^{\circ}\text{C}$. Även limmet hade förvarats vid denna temperatur. Skarvarna förvarades i samma klimat som under limningen under 9 dygn varefter de sågades upp till dragprovstavar enligt figur 3. Efter denna uppsågning lagrades provkropparna 2 - 3 veckor i $+20^{\circ}\text{C}$, 65 % r f före dragprovning.

Dragprovning gjordes på varannan uttagen strimla. De erhållna hållfasthetsvärdena kom på detta sätt att utgöra medeltalet av ett stort antal dragprover. Metoden som är mycket materialbesparande har tidigare visat sig vara användbar vid jämförande provningar. Korrelationen mellan på detta sätt erhållna resultat och hållfasthetsvärden erhållna vid böjning av fullskaligt virke är emellertid ej fastställd.

Delamineringstesten utfördes på samma sätt och i samma apparatur som vid Svensk Limträkontrollns provning av limträ. Metoden överensstämmer i huvudsak med ASTM D 1101-59.

Vid tillverkning av provkropparna iaktogs de regler beträffande virkesfel, fuktkvot och övrigt som anges i NKB-skrift nr 13.

Densiteten på det virke som har använts vid provningarna har med små variationer legat kring 470 kg/m^3 räknat vid fuktkvoten 0 %. Fuktkvoten har i de fall annat ej anges varit jämviktsfuktkvoter vid 20° , 60 r f, dvs ca 12 %.

7.2 Skarvning av impregnerat virke

För att undersöka om det blir någon signifikant hållfasthetsskillnad mellan skarvar gjorda på impregnerat virke och skarvar i virke som impregnerats efter skarvning gjordes ett antal jämförande försök enligt nedan.

Hållfasthetsprovningen har i samtliga fall skett som böjprovning med linjelaster i 1/3-delspunkterna. Spännvidden har varit 15 x tvärsnittshöjden. Fig 4.

| <u>Typ</u> | <u>Behandling</u> | <u>Lim</u> | <u>Antal</u> |
|----------------------------|---|--------------------------|------------------|
| Saltimpregn Boliden K33 | Skarvade direkt efter profilfräsning | Resorcin ¹⁾ | 26 |
| "- | Skarvade 14 dagar efter " profilfräsning | " | 26 |
| "- | Skarvade före impreg- nering | " | 25 |
| Modolog- impregn | Skarvade direkt efter profilfräsning | " | 25 |
| "- | Skarvade 14 dagar efter " profilfräsning | " | 26 |
| "- | Skarvade före impreg- nering | " | 24 |
| Royalme- toden | Skarvade före in- färgning | " | 58 |
| "- | Skarvade direkt efter profilfräsning | " | 20 |
| "- | Profilfrästa in- färgade och därefter limmade | " | 10 ³⁾ |
| "- | "- | Polyuretan ²⁾ | 10 ³⁾ |
| "- | Oskarvade | | 20 |
| Oimpregn | Skarvade | | 46 |

1) Cascosinol 1761 + Härdare 2611

2) Casco Industrilim 1822

3) Dessa provkroppar hade dimensionen 38 x 38 mm och hade före limningen klyvits fram ur 10 st bitar med dimensionen 38 x 100 mm som gällt för övriga provkroppar som provats i samband med Royalmetoden. Även 20 st av de oimpregnerade skarvade hade denna dimension. Samtliga övriga hade dimensionen 50 x 100 mm.

7.3 Högfrequensvärmning av virke

Som tidigare nämnts är HF-värmning i samband med fingerskarvning mycket vanlig.

Det är därför av praktiskt intresse att klarlägga om olika sorters tryckimpregneringsbehandlingar påverkar uppvärmningsegenskaperna så att det kan vara motiverat med t ex olika uppehållstider i använda HF-ugnar beroende på hur virket är behandlat.

Vintertid tas virke ofta direkt från kallager in till skarvning. Det är därför motiverat att undersöka såväl fruset som ofruset virke. (HF-värmning av fruset oimpregnerat virke har tidigare undersökts i ett examensarbete vid institutionen för byggnadsteknik, KTH, av dåvarande teknologerna Arne Forsell och Kåre Nordlander. Resultaten är redovisade i Svenska Träforskningsinstitutets meddelandeserie B 142). Värmningen har gjorts med hjälp av en 12 kW HF-generator av Philips fabrikat som ställts till förfogande av AB Casco, Nacka. Elektrodarrangemang och dimensioner framgår av figur 5.

HF-generatorns effektinställning har hållits konstant under samtliga försök medan uppvärmningstiden varierats.

Försöken har gjorts enligt nedanstående schema.

| Uppvärm- ningstid s | Typ | Oimpr | | Saltimpr | | Modologimpr | | |
|------------------------|-----|-----------------|-----------------|----------|----|-------------|----|-----|
| | | F ¹⁾ | O ²⁾ | F | O | F | O | |
| 10 | | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | |
| 20 | | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | |
| 40 | | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | |
| 80 | | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | |
| 120 | | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | |
| | | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 150 |

1) F = frusna

2) O = ofrusna

Tyvärr är det mycket svårt att direkt registrera temperaturutvecklingen i en virkesbit som värms i ett HF-fält.

Det går t ex ej att ha termoelement monterade under uppvärmningen. Temperaturregistreringarna har därför fått göras genom mätning omedelbart före och efter uppvärmning.

Temperaturen har registrerats i två punkter på varje provkropp, dels i provkroppens centrum och dels mitt på provkroppens ena flätsida.

Temperaturen i centrum mättes via ett smalt borrhål, \emptyset 3 mm, från ytan in till centrum. Fig 6.

Själva mätningen gjordes med hjälp av en termistor placerad i spetsen på ett smalt rör, \emptyset 2 mm och tillhörande visarinstrument (typ Temper, Internome AB). Vid mätning av centrumtemperaturen fördes rörspetsen ned till borrhålets botten varefter registrering gjordes. Vid mätning av yttemperaturen pressades rörspetsen mot provkroppens yta med hjälp av en kork.

Rörets och termistorns värmekapacitet är så liten att dess inverkan i sammanhanget kan försummas.

Av provningsförfarandet följer att varje markerad punkt på temperaturutvecklingskurvorna i diagrammen representerar medelvärdet av mätningar på olika provkroppar. Fem olika mätningar har gjorts för varje punkt. För var och en av de fem olika uppvärmningstiderna har en ny grupp om fem provkroppar uttagits. Detta är en nackdel då kurvorna i viss mån kommer att avspegla inte bara temperaturen som funktion av uppvärmningstiden utan även olikheter i materialegenskaper mellan de olika provkroppsgupper som bildar underlag för kurvorna.

8 RESULTAT

8.1 Impregnering av skarvat virke

8.1.1 Inverkan på limfogar

Försöksuppläggningsfrågan framgår av 7.1. Vid de delamineringsprov som gjordes erhöles resultat enligt fig 7. Av resultatet framgår, att det blir en mycket obetydlig andel av limfoglängden som spricker. Vid prov av limträ sätts gränsen för godkänt vid 5 % av foglängden. Denna gräns klarades med mycket god marginal av 83 utav 85 provade provkroppar.

Det har av produktionstekniska skäl ofta varit ett starkt önskemål att kunna limma vid låg temperatur. Det har allmänt konstaterats, att man med vissa typer av resorcinlim kan få hög brotthållfasthet på limfogar limmade vid temperaturer omkring 10 °C. Man har emellertid inte velat godkänna limmen för konstruktionslimning vid så låg temperatur med motivering att sådana limfogars åldringsbeständighet kan tänkas vara sämre. Staplarna 1, 2 och 3 i fig 7 representerar långa respektive korta fingerskarvar, som limmats vid +10 °C och som haft en fuktkvot om ~20 %. Stapeln 4 däremot representerar skarvar som limmats vid +20 - 25 °C.

I fig 7 är det närmast stapel 1 och 4 som bör jämföras. De representerar identiska skarvar och efterbehandlingar men olika limningsbetingelser. Skillnaden kan förefalla vara påtaglig. Det bör emellertid beaktas att absolutvärdena är mycket små. Man kan trots detta inte helt frigöra sig från tanken att limning vid låg temperatur kan ge mindre beständiga fogar. Stapel 2 och 3 uppvisar praktiskt taget samma låga värden som nr 4 varför frågan om lågtemperaturlimningens inverkan på fogkvaliteten fortfarande är öppen.

8.1.2 Inverkan på hållfastheten

Försöksuppläggning, se fig 7.1.

I fig 8 visas resultaten av jämförande hållfasthetsprovning utförd som dragprovning enligt 7.1. Staplarnas topp anger hållfasthetsmedelvärdet, den streckade markeringen längre ner på stapeln anger standardavvikelsen nedåt från medelvärdet för enskilt mätvärde. På varje stapel anges hur många dragprover som ligger till grund för angivna hållfasthetsvärden samt även vilken typ av skarv som varit aktuell. Av varje typ tillverkades ursprungligen 25 st provkroppar med tvärsnittsdimension 50 x 100 mm. Ur dessa utsågades enligt fig 3 300 st strimlor varav varannan eller 150 st uttogs för dragprovning. Vid beräkning av de hållfasthetsmedelvärden som anges av staplarna i fig 8 uteslöts alla prov som brustit helt utanför skarven. Därav det varierande antalet prov som anges på respektive stapel.

De provningsresultat som representeras av fig 8 ger ingen entydig anvisning om hur olika limningstemperaturer och olika behandlingar av en limmad skarv påverkar hållfastheten.

I många fall blir de små skillnader som kan noteras paradoxala. Om man först betraktar samtliga provkroppar som limmats i 10 °C respektive 20 - 25 °C i grupp finner man att det vägda hållfasthetsmedelvärdet blir något högre (62,7 MPa) för 10 °C-gruppen än för 20 - 25 °C-gruppen (55,9 MPa). Att så i verkligheten skulle vara fallet verkar inte troligt.

Jämför man sedan inom huvudgrupperna värdena för skarvar som varit obehandlade med skarvar som utsatts för delamineringstest så finner man ej heller där något stöd för att delamineringstestet skulle sänka skarvhållfastheten.

Detsamma gäller för tryckimpregnering med vatten. Delamineringstestet är ju i princip samma påverkan fast i betydligt högre grad. De gjorda försöken ger inte belägg för påståendet att limfogar limmade vid +10 °C skulle ha sämre beständighet än sådana som limmats i rumstemperatur. Inte heller har försöken givit anledning att tro att tryckimpregnering av fingerskarvat virke skulle nedsätta skarvhållfastheten.

8.2 Skarvning av impregnerat virke

Vid jämförelse av hållfastheten på skarvar som på olika sätt kombinerats med tryckinfärgning enligt Royalmetoden har resultat enligt fig 9 erhållits.

Heldragen stapel markerar hållfasthetsmedelvärden erhållna vid böjning enligt fig 4. Streckad stapel anger standardavvikelsen i enskilt mätvärde.

Man finner mycket små skillnader mellan olika behandlingar.

Staplarna 3 och 4 bör emellertid särskilt uppmärksammas. Provkropparna till dessa två grupper är direkt jämförbara, de har parvis genom klyvning uttagits ur 10 st bitar med sektionen 38 x 100 mm. Av resultaten att döma förefaller det mindre lämpligt att göra profilfräsningen före tryckinfärgningen om skarvarna därefter skall limmas med ett resorcinlim. Polyuretanlimmet däremot har vid sådant förfarande gett hållfasthet fullt jämförbar med den bästa som kan förväntas.

Detta resultat överensstämmer mycket väl med andra undersökningar (Österberg 1972).

I fig 10 visas hållfastheten hos Modologimpregnerat virke i 3 olika fall.

Resultatet tyder på att det inte spelar någon roll om impregneringen görs före eller efter skarvningen eller om limningen sker direkt eller ett par veckor efter profilfräsningen.

Motsvarande försök har gjorts med saltimpregnering. Resultaten visas i fig 11. I fig 12 har resultaten av samtliga böjprovingar på virke uttaget ur samma parti sammanställts.

Av dessa resultat kan man dra slutsatsen att resorcinlimmade finger-skarvars hållfasthet inte påverkas av salt- eller Modologimpregnering, vare sig impregneringen sker före eller efter skarvningen. Inte heller förefaller tiden mellan profilfräsning och limning att vara kritisk.

8.3 HF-värmning

8.3.1 Temperaturutveckling vid olika typer av impregnering

I fig 13 - 17 visas yt- och centrumtemperaturen som funktion av uppvärmningstiden för saltimpregnerat, modologimpregnerat och oimpregnerat virke såväl fruset som ofruset. Man ser direkt att temperaturförloppen i princip är lika i alla tre typerna av virke.

Man kan speciellt betrakta centrumtemperaturerna för det frusna virket och jämföra med resonemanget under 5.1.

För de frusna provkropparna stiger yttemperaturen till en början betydligt snabbare än centrumtemperaturen. Denna kommer emellertid snart ifatt och blir slutligen i samtliga fall högre än yttemperaturen.

En praktiskt betydelsefull skillnad mellan de olika typerna kan dock konstateras. Modologimpregnerat virke förefaller inte tåla snabb uppvärmning över 100 °C. Över denna temperatur uppstår våldsamma inre spänningar och i många fall sprängning av virket. Vid värmning av ofrusna Modologimpregnerade provkroppar sprängdes provkropparna vid uppvärmningstider längre än ca 90 s. Temperaturen har vid denna tid just passerat 100 °C.

Det är svårt att reproducera försöksbetingelserna om man ej har identiskt lika utrustningar. Detta gäller i särskilt hög grad vid HF-tillämpningar. Man finner vid jämförelse av de här erhållna resultaten och de resultat som redovisas i det examensarbete som tidigare nämnts, att skillnaden i tid för att uppnå en viss temperatur är mycket stor. Jfr fig 18.

Vid examensarbetet användes en identisk HF-generator som vid denna undersökning men elektrodarrangemanget var annorlunda. Man använde en ugn av den typ som Sv Elphiac levererar för förvärmning av virkesändar i fingerskarvningsanläggningar. Vid våra försök användes ett mindre specialiserat elektrodsystem, enligt fig 5. Tidsangivelserna i fig 18 stämmer väl med förhållandena i praktiken.

Vid våra försök har emellertid huvudsyftet varit att jämföra olika behandlingar på trä i HF-värmningshänseende och inte att fastställa absoluta erforderliga uppvärmningstider. Vi har därför av praktiska skäl accepterat det använda elektrodsystemet.

8.3.2 Överslagsrisk

Som tidigare nämnts skulle man kunna befara att risken för elektriska överslag skulle vara större vid saltimpregnerat virke än för annat. Man kunde därvid även tänka sig att risken skulle vara större vid värmning av ohyvlat virke än vid värmning av hyvlat då det på den sågade sträva ytan lättare skulle bli en anrikning av salt. Vid de gjorda provningarna som omfattat värmning av ca 150 ohyvlade provkroppar har överslag bara inträffat ett par gånger. Vi ansåg det därför inte meningsfullt att göra jämförande prov med hyvlat virke.

Överslagsrisken förefaller inte öka märkbart vid värmning av saltimpregnerat virke jämfört med oimpregnerat sådant.

Vid tidigare försök med HF-värmning har vi däremot konstaterat vad som är allmänt känt och beaktat, nämligen att vattenångan, som stiger upp från virket vid uppvärmningen, ofta initierar överslag. De ugnar som används för förvärmning av virke i samband med industriell fingerskarvning är därför oftast försedda med en fläktanordning som skall hålla luftgapet mellan arbetsstycke och elektrod fritt från vattenånga. Sådan fläktanordning saknades på den här använda apparaten.

8.3.3 Förlustfaktor

Den dielektriska förlustfaktorn varierar som nämnts starkt med vatteninnehållet i träet och om vattnet är fruset eller ej. De praktiska konsekvenserna av detta är att absorptionen av HF-energi kan bli ganska ojämn. Allra ojämnast blir den i det fall då virket som skall värmas är fruset. Detta förhållande framträder i fig 14 - 16, i vilka man kan se att uppvärmningen till en början blir mycket ojämn om virket är fruset.

För uthärdning av limmet är det främst hög temperatur som eftersträvas även om värmeinnehållet inte är helt ointressant. Hög värmekapacitet medför att avsvälningen sker långsammare. Då emellertid härdningstiden halveras för ungefär varje 10 °C temperaturhöjning är det temperaturen som är primärt intressant.

Den HF-effekt som omsätts i värme i ett dielektrikum, kan enligt Kollman tecknas

$$p = 0,555 \cdot \epsilon \cdot E^2 \cdot f \cdot \operatorname{tg}\delta \cdot 10^{-12} \text{ W/cm}^3$$

Om fältstyrkan E, och frekvensen f är givna kan man skriva

$$p = K \cdot \epsilon \cdot \operatorname{tg}\delta \text{ W/cm}^3$$

Värmeabsorptionen är alltså proportionell mot produkten av ϵ och $\operatorname{tg}\delta$ (ϵ = dielektricitetskonstant, δ = förlustvinkel).

Värmekapaciteten hos virket är direkt proportionell mot densiteten γ och specifika värmets c .

Som tidigare berörts har vatten mycket stora dielektriska förluster, vilket innebär att fuktigt trä absorberar mer HF-energi än torrt sådant. Förutsättningen för att en höjning av träets fuktkvot skall ge högre temperatur vid i övrigt oförändrade förutsättningar beträffande HF-generator och elektrodarrangemang är emellertid att produkten $\epsilon \cdot \operatorname{tg}\delta$ ökar snabbare än $\gamma \cdot c$.

Man kan, fortfarande enligt Kollman, göra följande jämförelse.

| Träfuktkvot | 10 % | 20 % | Ökning % |
|--|---------------------|-------------------|----------|
| ϵ | 3 | 4,7 | |
| $\operatorname{tg}\delta$ | $7,5 \cdot 10^{-2}$ | $6 \cdot 10^{-2}$ | |
| $\epsilon \cdot \operatorname{tg}\delta$ | 0,23 | 0,28 | ~ 25 |
| γ | 500 | 545 | |
| c | 0,39 | 0,43 | |
| $\gamma \cdot c$ | 195 | 234,5 | ~ 20 |

Av jämförelsen följer att den absorberade HF-energin ökar något snabbare än värmekapaciteten vid fuktkvotsökning i intervallet 10 - 20 % fuktkvot.

Värden på ϵ och $tg\delta$ för fuktkvoter högre än 20 % har inte påträffats i litteraturen, men allt tyder på att även i intervallet 20 - 30 % ökar energiabsorptionen mer än värmekapaciteten, vilket innebär att en ökning av fuktkvoten ger högre temperatur. Optimal fuktkvot i detta avseende torde ligga vid 20 - 25 %. Vid mycket höga fuktkvoter, 50 - 60 % blir inte temperaturstegringen snabbare men väl värmeinnehållet större.

Det kan invändas att fuktkvoter över 25 - 30 % inte är aktuella i fingerskarvningssammanhang. I vissa fall kan man emellertid ha en medelfuktkvot som ligger inom tillåtna gränser trots att fuktkvotsfördelningen såväl i tvärsnittet som längs virkesstycket är mycket ojämn. Detta gäller speciellt impregnerat, lufttorkat virke. Detta kan då även medföra ganska ojämnt fördelad temperatur vid HF-värmning.

9. SLUTSATSER

Målsättningen med arbetet har varit att undersöka om det finns anledning att kräva speciella regler för förfarande och användning om virkesfingerskarvning kombineras med tryckimpregnering av olika slag.

Slutsatsen blir att så inte är fallet.

Inverkan av tryckimpregneringsbehandling på fingerskarvar som framställt enligt de riktlinjer som anges av NKB och limmats med av NKB auktoriserat lim tycks inte vara hållfasthetsnedsättande. Vid försöken har provats saltimpregnering (K33), Modologimpregnering och impregnering enligt Royalmetoden. Dessa behandlingar synes kunna göras utan inskränkningar på resorcinlimmat fingerskarvat virke.

Skarvning av virke som tidigare behandlats enligt någon av de nämnda metoderna förefaller inte heller bjuda några speciella problem. Vid profilfräsning omedelbart före limning har limningsresultatet i samtliga fall blivit fullgott. Inte ens vid de prov som gjorts med limning av saltimpregnerat respektive Modologimpregnerat virke 14 dagar efter profilfräsning har limningsresultatet blivit sämre än vid limning direkt efter fräsningen. Det bör emellertid härvid noteras att det om lång tid förflyter mellan fräsning och limning och virkesfuktkvoten inte överensstämmer med jämviktsfuktkvoten i lagringsklimatet är stor risk för att fingerprofilerna deformeras så mycket att det blir svårt med skarvpassningen. Om man emellertid bortser från denna komplikation förefaller inte tiden mellan fräsning och limning att vara kritisk för något av de provade impregneringsalternativen.

Det finns i allmänhet inget behov av att göra profilfräsningen före tryckimpregneringen. Vid tillverkning av vissa sammansatta konstruktioner t ex fönster är det emellertid önskvärt att göra all mekanisk bearbetning före infärgning för att få alla ytor färgade. Limning av hörnförbanden måste då ske mellan infärgade ytor. Vid de motsvarande försök som gjorts med fingerskarvar har limningsresultatet med resorcinlim under sådana betingelser blivit

sämre. Vid motsvarande limning med ett polyuretanlim (Casco Industri-
lim 1822) har resultatet emellertid blivit fullgott.

Vid limning av ytor som bearbetats efter tryckimpregnering har
ingen hållfasthetsnedsättning konstaterats oavsett tryckimpregne-
ringsmetod.

Vid HF-värmning av virke som tryckimpregnerats har knappast några
överraskande resultat erhållits. Vid uppvärmning i ett HF-fält
beter sig virke tämligen likartat oavsett om det är impregnerat
eller ej. Något förvånande har det kanske varit att saltimpregnerat
virke inte visat sig absorbera HF-energi effektivare än oimpregnerat.
Modologimpregnerat virke har däremot visat sig något mer mottagligt
för HF-energi än obehandlat eller saltimpregnerat. Det har emellertid
visat sig att man vid snabb värmning av Modologimpregnerat trä upp
över 100 °C får mycket våldsamma reaktioner. Virket utsätts för
mycket stora inre spänningar och kan i många fall sprängas och helt
förstöras. Detta måste beaktas vid eventuell förvärmning och skarv-
ning av virke som tidigare Modologimpregnerats. Lämpligen bör Modolo-
gimpregnering göras efter skarvning.

Vid HF-värmning av fruset virke har konstaterats att virkets inre
till en början alltid värms långsammare än ytskikten. Sedan hela
virkestvärsnittet tinats upp kommer dock tvärsnittets inre delar
snabbt efter och får vid tillräcklig uppvärmningstid alltid högre
temperatur än ytskikten som ju hela tiden kyls av den omgivande
luften.

Överslagsrisken har vid de genomförda provningarna inte kunnat
visas vara olika för olika behandlat virke. Risken synes vara mer
förbunden med utdrivning av vattenånga och därav följande över-
ledning i luftgapet mellan elektrod och virkestycke än med virkes-
styckets egna egenskaper.

Beträffande förlustfaktorn har kunnat konstateras att denna endast i mycket begränsad utsträckning påverkas av om virket är impregnerat eller ej. Däremot varierar den kraftigt med virkets fuktkvot så att den blir större vid ökande fuktkvot. Å andra sidan ökar också specifika värmets med ökande fuktkvot i ungefär samma grad varför temperaturen påverkas mycket litet.

Man kan möjligen konstatera att vid mycket höga fuktkvoter ökar specifika värmets snabbare än förlustfaktorn med lägre temperatur som resultat. Vid mycket låga fuktkvoter synes förlustfaktorn minska snabbare än specifika värmets, vilket även detta medför lägre temperatur.

Inom det fuktkvotsintervall som är praktiskt aktuellt vid finger skarvning 10 - 25 % synes förlustfaktor och specifikt värme väl balansera varandra varför den slutliga virkestemperaturen är tämligen oberoende av fuktkvoten. Den absorberade HF-energin och därmed virkets värmeinnehåll ökar däremot ganska kraftigt med fuktkvoten.

LITTERATUR

Morén, R, 1970. Dimensionsstabilisering av furu. Svensk Snickeritidskrift/Träförädlingen nr 5, 1970.

Morén, R, 1971. Dimensionsstabiliserat trä och dess ytbehandling. Svensk Snickeritidskrift/Träförädlingen nr 1, 1971.

Bengtsson, H, et al, 1964. Träimpregnering. Svenska Riksbyggen, Stockholm, handlingar nr 8.

Henningsson, B, 1972. Uppgifter över impregnerade kvantiteter virke år 1971. Svenska Träskyddskommittén, meddelande nr 105.

Svenska Träskyddskommittén, 1962. Tryckimpregnering av virke, meddelande nr 23.

Pound, J. Radio Frequency Heating in the Timber Industry. Cambridge 1973.

Tekno's Träindustrins Handbok. Stockholm 1965.

Kollmann, F. Holz als Roh- und Werkstoff. Springer-Verlag, Berlin 1951.

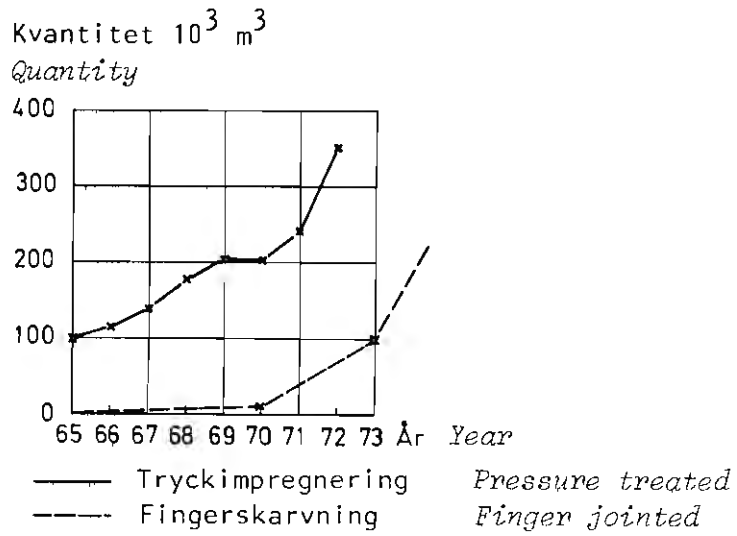


Fig. 1. Volymmässig utveckling av tryckimpregnering och fingerskarvning av virke 1965-1973.

Quantities of pressure treated and finger jointed timber in Sweden 1965-1973.

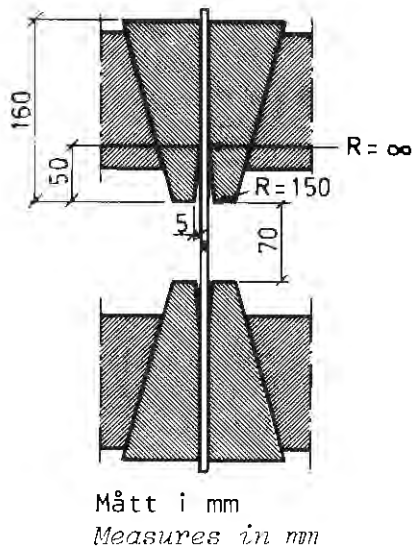


Fig. 2. Dragbackar som använts vid provdragningarna.

Device used for tensile tests.

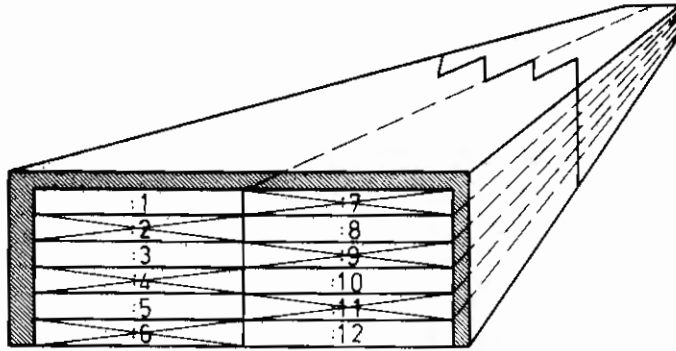


Fig. 3. Uttagnings- och provningschema för dragprovstavar.
Sampling and testing scheme for tensile test pieces.

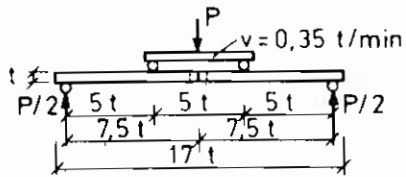


Fig. 4. Belastningsförutsättningar vid böjprovningarna.
Load distribution during the bending tests.

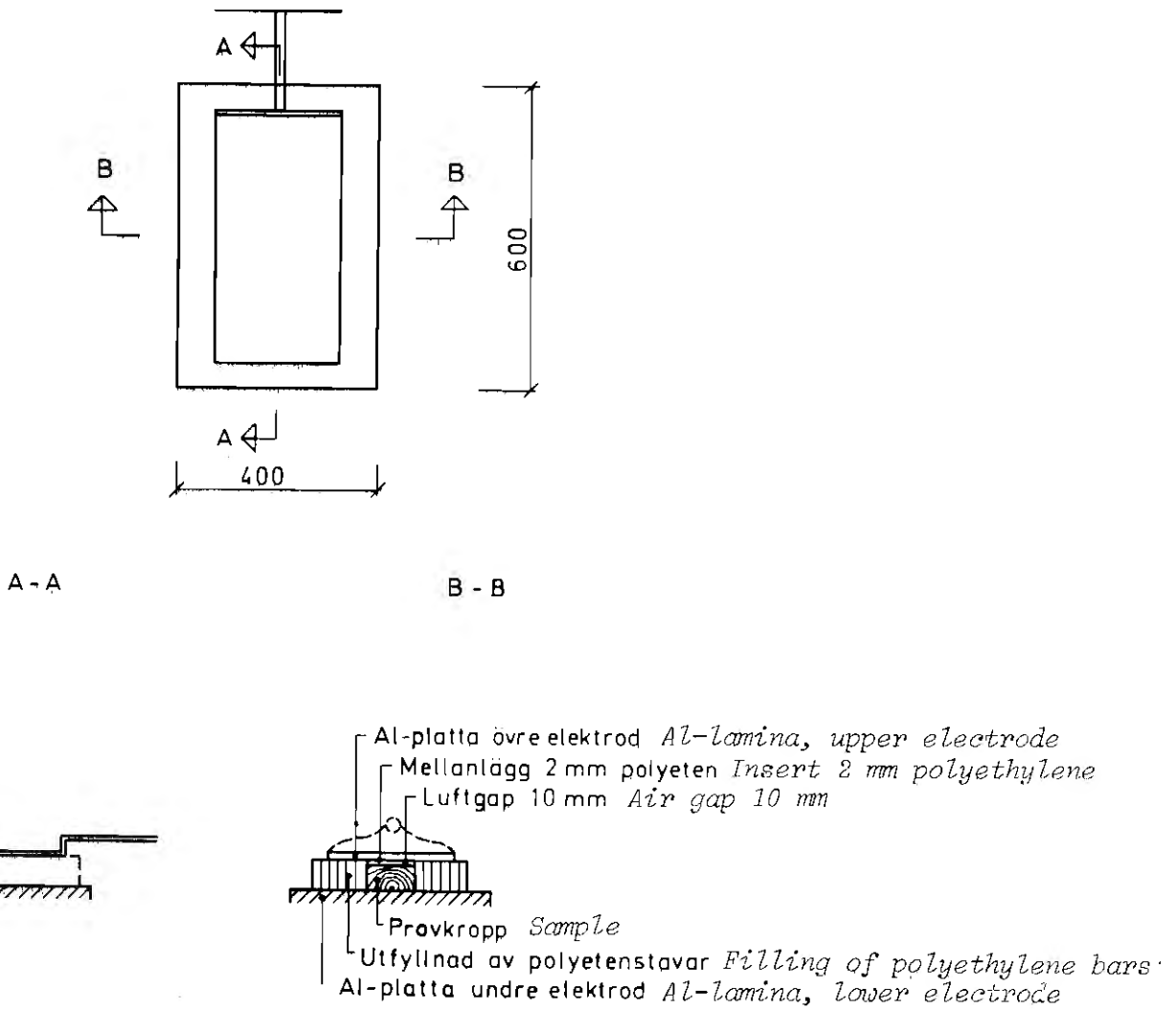


Fig. 5. Det vid uppvärmningsförsöken använda elektrodsystemet.
Electrode system used for the heating experiments.

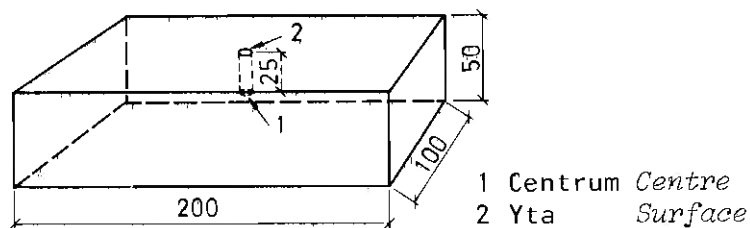
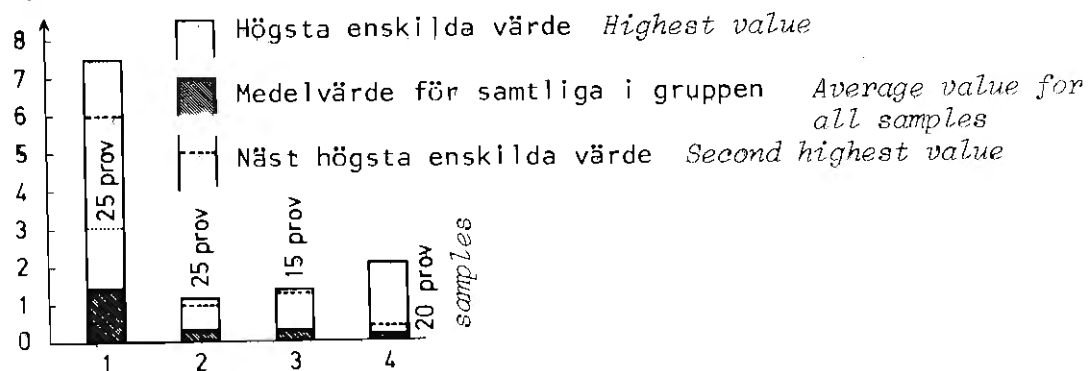


Fig. 6. Placering av mätpunkter vid HF-värningsförsöken.

Position of measurement points for the heating experiments.

Uppsprucken andel av foglängden, %

Split fraction of joint, %



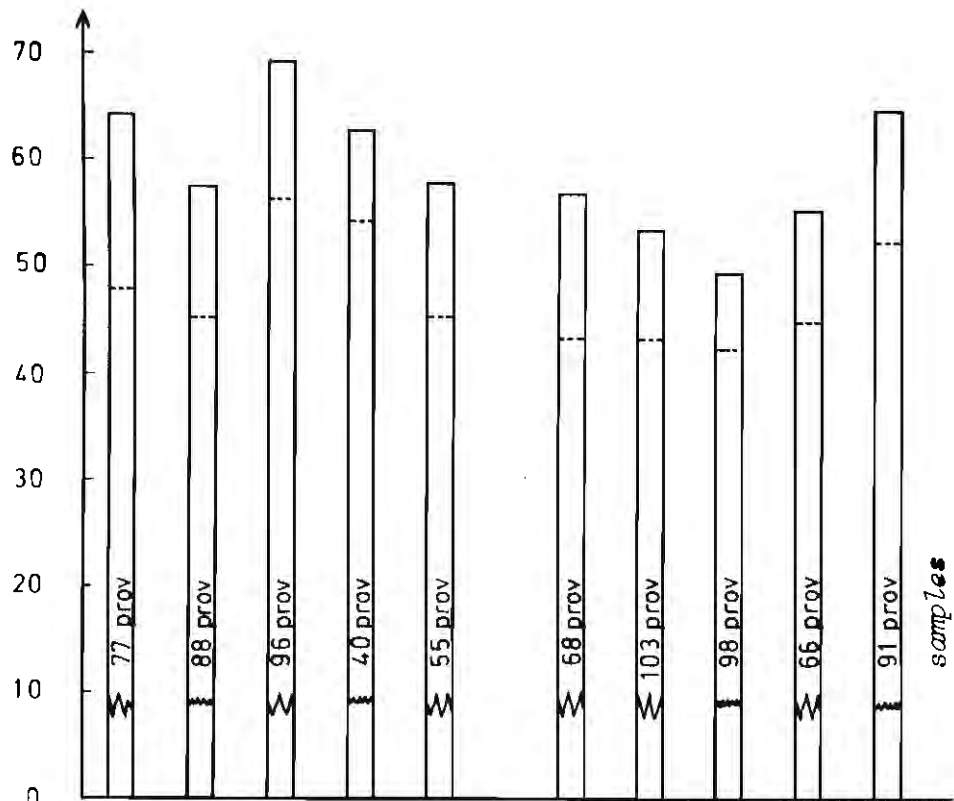
- | | |
|--|--|
| 1. Limn temp 10 °C. Lång skarv. del test enl ASTM 1101-59. | <i>Lam. temp. 10 °C. Long joint. Delam. test according to ASTM 1101-59.</i> |
| 2. Limn temp 10 °C. Kort skarv. del test enl ASTM 1101-59. | <i>Lam. temp. 10 °C. Short joint. Delam. test according to ASTM 1101-59.</i> |
| 3. Limn temp 10 °C. Lång skarv. tryckimpr. med vatten. | <i>Lam. temp. 10 °C. Long joint. Pressure treated with water.</i> |
| 4. Limn temp 10 °C. Lång skarv. del test enl ASTM 1101-59 | <i>Lam. temp. 10 °C. Long joint. Delam. test according to ASTM 1101-59.</i> |

Fig. 7. Okulär besiktning av limfogar efter delamineringstest.

Visual inspection of glue joints after delaminating test.

Brottvärde
Ultimate strength

MPa



Limn. temp 10 °C, f.k. 20 % | Limn temp 20-25 °C, f.k. 15 %

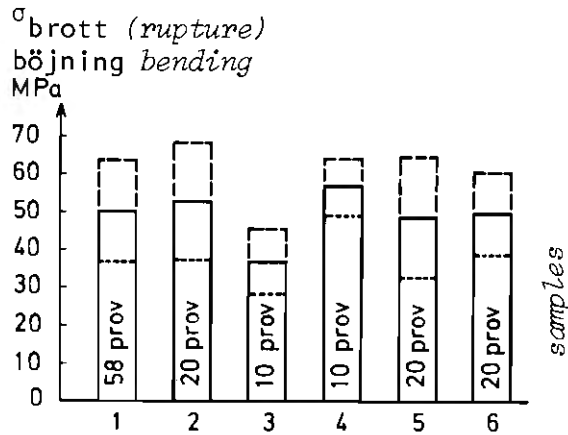
Lam. temp. 10 °C,
Moisture content 20 %

Lam. temp. 20-25 °C
Moisture content 15 %

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

1. Utsatt för delamineringstest enligt ASTM 1101-59
Delaminated according to ASTM 1101-59
2. " " " "
3. Obehandlad
Untreated
4. " " " "
5. Tryckimpregnering med vatten (fullimpregnering)
Pressure treated with water (full-cell)
6. Utsatt för delamineringstest enligt ASTM 1101-59
Delaminated according to ASTM 1101-59
7. " " " "
8. Tryckimpregnering med vatten (fullimpregnering)
Pressure treated with water (full-cell)
9. " " " "
10. Resultat av dragprovning av på olika sätt behandlade stavar
Results from tensile tests on differently treated joints

Fig. 8. Resultat av dragprovning och på olika sätt behandlade skarv r.
Results from tensile tests on differently treated joints.



1. Skarvade och därefter Royalimpregnerade. Resorcinlim Cascosinol 1761 + H 2611.

Jointed and subsequently treated by the Royal process. Resorcinol glue.

2. Royalimpregnerade, profilfrästa och därefter limmade 1761 + 2611.

Treated by the Royal process, moulded and subsequently laminated.

3. Profilfrästa, Royalimpregnerade och därefter limmade 1761 + 2611.

Moulded, treated by the Royal process and subsequently laminated.

4. Profilfrästa, Royalimpregnerade och därefter limmade. Casco Industri-
lim 1822 (polyuretan).

*Moulded, treated by the Royal process and subsequently laminated.
Polyurethane glue.*

5. Oimpregnerade, skarvade.

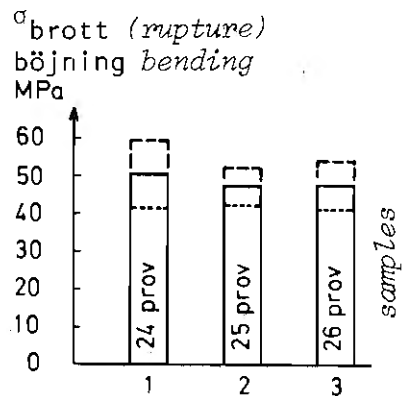
Untreated, jointed.

6. Impregnerade, oskarvade

Preservative treated, not jointed.

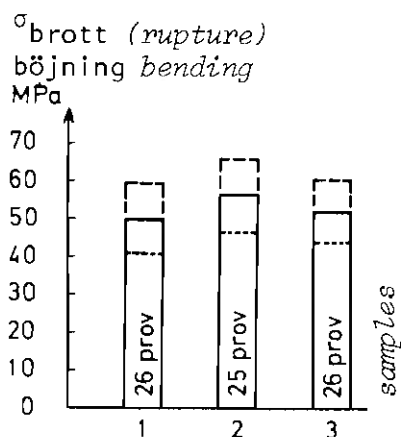
Fig. 9. Skarvhållfasthet vid olika kombinationer av skarvning och behandling enligt Royalmetoden.

Joint strength for different combinations of jointing and treatment by the Royal process.



1. Skarvade före impregnering.
Jointed before impregnation.
2. Skarvade efter impregnering.
Jointed after impregnation.
3. Impregnerade, profilfrästa och
efter 14 dagar limmade.
*Impregnated, moulded and laminated
after 14 days.*

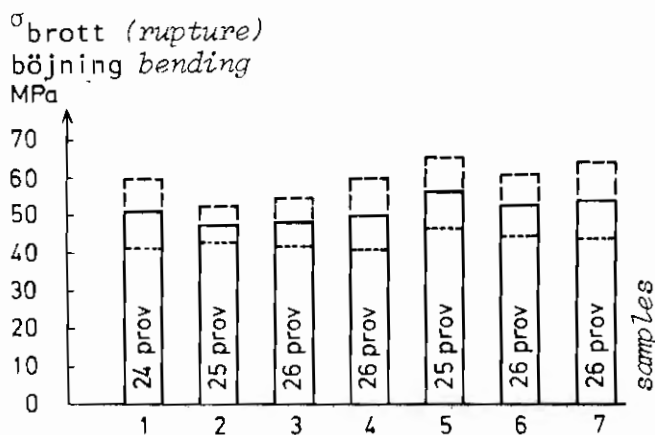
Fig. 10. Skarvhållfasthet vid olika kombinationer av skarvning och Modologimpregnering.
Joint strength for different combinations of jointing and Modolog treatment.



1. Saltimpregnerad, profilfräst och därefter direkt limmat.
Salt-treated, moulded and subsequently laminated directly.
2. Skarvad och därefter saltimpregnerad.
Jointed and subsequently salt-treated.
3. Saltimpregnerad, profilfräst och efter 14 dagar limmat.
Salt-treated, moulded and laminated after 14 days.

Fig. 11. Skarvhållfasthet vid olika kombinationer av skarvning och saltimpregnering.

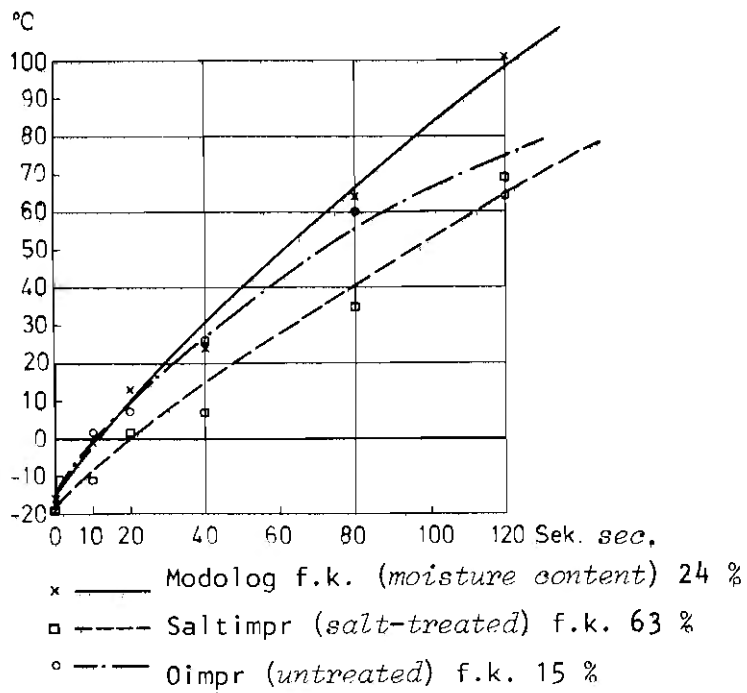
Joint strength for different combinations of jointing and treatment with salt preservatives.



1. Skarvat och därefter Modologimpregnerat.
Jointed and subsequently Modolog-treated.
2. Modologimpregnerat, profilfräst och därefter direkt limmat.
Modolog-treated, moulded and subsequently laminated directly.
3. Modologimpregnerat, profilfräst och efter 14 dagar limmat.
Modolog-treated, moulded and laminated after 14 days.
4. Saltimpregnerat, profilfräst och därefter direkt limmat.
Salt-treated, moulded and laminated directly.
5. Skarvat och därefter saltimpregnerat.
Jointed and subsequently salt-treated.
6. Saltimpregnerat, profilfräst och efter 14 dagar limmat.
Salt-treated, moulded and laminated after 14 days.
7. Kontrollprover, skarvade och oimpregnerade.
Controls, jointed and untreated.

Fig. 12. Jämförelse mellan samtliga böjprov på virke uttaget ur samma parti.

Comparison between all bending tests on timber sampled from the same part.



Varje markering utgör medelvärde av fem försök.

Each marking represents an average of five experiments.

Fig. 13. Temperaturutveckling i centrum av frusna provkroppar som funktion av uppehållstid i HF-fältet.

Variation of temperature in the centre of frozen samples as a function of the time in the HF-field.

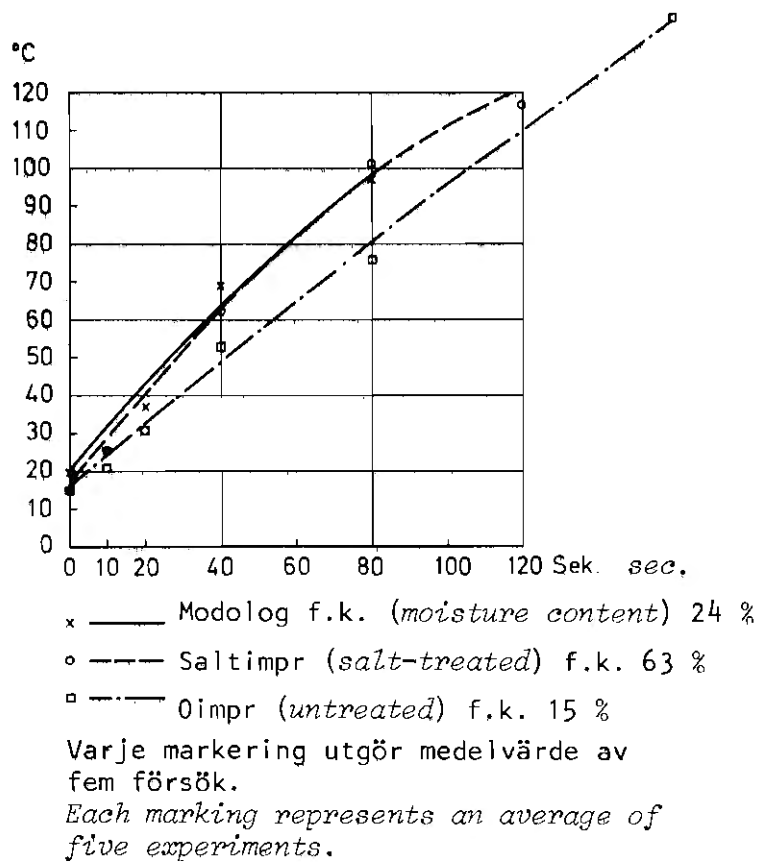


Fig. 14. Temperaturutveckling i centrum av ofrusna provkroppar som funktion av uppehållstid i HF-fältet.

Variation of temperature in the centre of unfrozen samples as a function of the time in the HF-field.

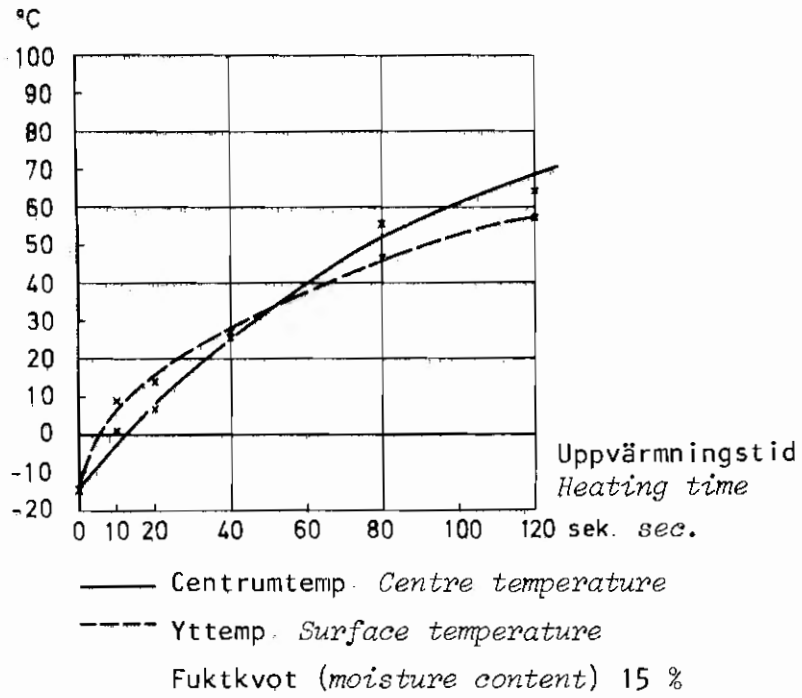


Fig. 15. Fruset, oimpregnerat virke. Temperaturutveckling vid HF-värmning.

Frozen untreated timber. Variation of temperature during HF-heating.

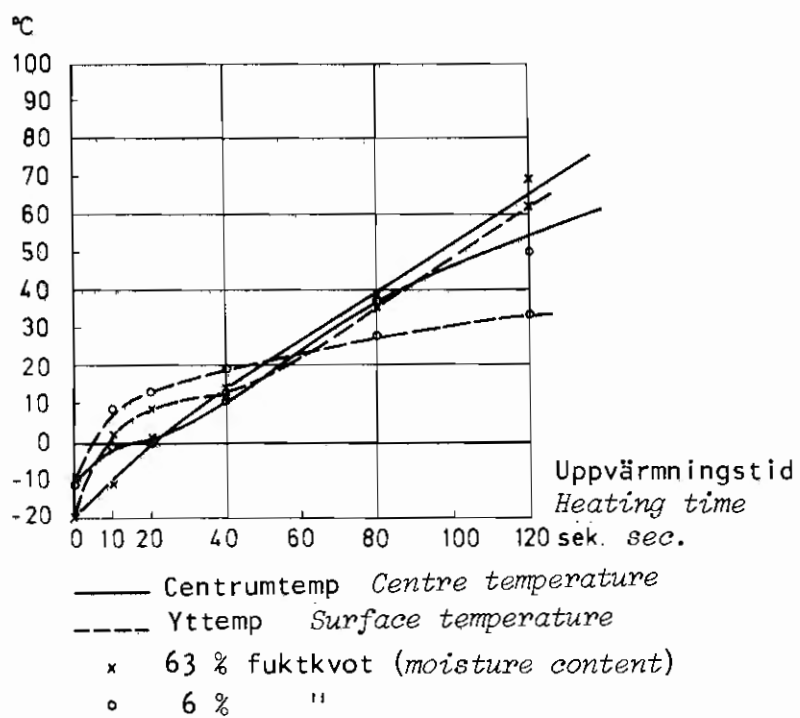


Fig. 16. Fruset saltimpregnerat virke. Temperaturutveckling vid HF-värmning.

Frozen salt-treated timber. Variation of temperature during HF-heating.

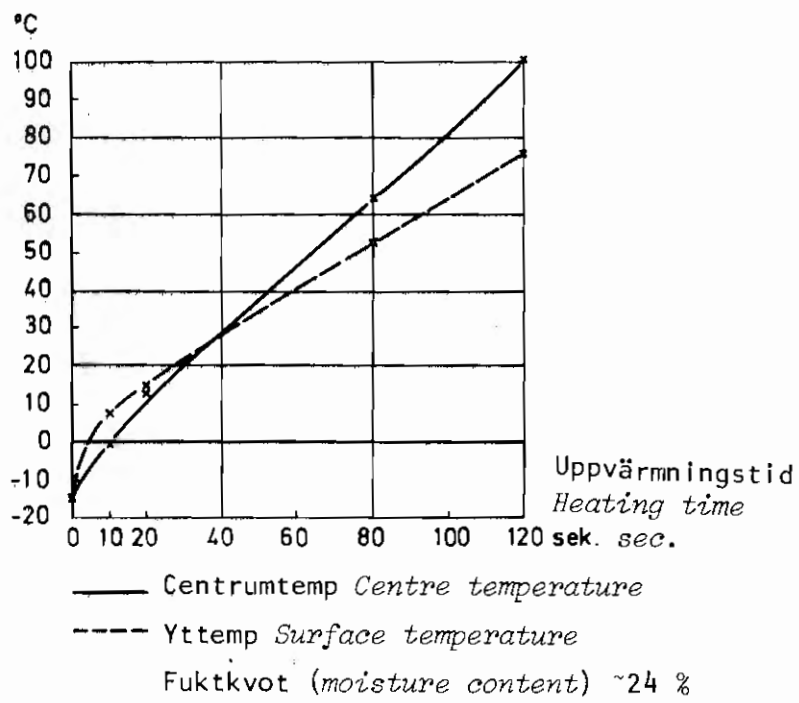
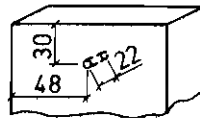


Fig. 17. Fruset Modologimpregnerat virke. Temperaturutveckling vid HF-uppvärmning.

Frozen Modolog-treated timber. Variation of temperature during HF-heating.



Mätpunktens läge

Position of the measurement point

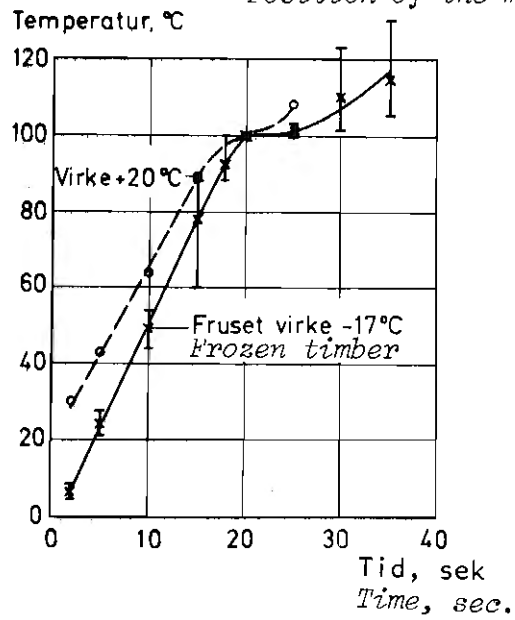


Fig. 18. Medeluppvärmning inne i oimpregnerat virke som funktion av uppehållstid i HF-fält (enl. Forsell & Nordlander)

Average heating in untreated timber as a function of time in the HF-field.