

SPIKERLIMTE TREKONSTRUKSJONER

Av Hans Granum

OSLO 1954

Særtrykk av Teknisk Ukeblad, 1954, nr. 33.

Spikerlimte trekonstruksjoner

Sivilingeniør Hans Granum, M. N. I. F.

Norges byggforskningsinstitutt

DK 624.011.1

Denne artikkelen er en kort beretning fra et forskningsarbeide forfatteren har utført i U.S.A. under et studieopphold siste vinter, ved Small Homes Council, University of Illinois. Forskningsoppgaven ble utført i intimt samarbeide med Purdue University. Mesteparten av de refererte forsøk er således gjort i Wood Research Laboratory, Forestry Dept., Purdue University (Lafayette, Indiana) i samarbeid med professor B. M. Radcliffe og graduate assistent Ed. King. En mer utførlig beretning på engelsk vil bli trykt i U.S.A. [1]¹ og [2].

Forfatteren ønsker å takke Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Forskningsråd og U.S. Educational Foundation in Norway, som gjennom stipendier har gjort studieoppholdet mulig, og likeså Norges byggforskningsinstitutt, som har innvilget ett års permisjon med full lønn.

Innledning.

I titelen er brukt et nytt ord «spiker-liming», som er laget for å betegne liming av trekonstruksjoner, hvor det ikke brukes andre midler en spikring for å bringe limflatene i kontakt og gi press i herdetiden.

Ordet er nytt, men spikerliming er i og for seg ikke ny. Det kan nevnes en lang rekke eksempler på heldig anvendelse av metoden, f. eks. den type av monteringsferdige limte og spikrede vegg-elementer, som ble utviklet av U.S. Forest Products Laboratory i 30-årene, og som siden er brukt i et stort antall hus i U.S.A. og andre steder. HB-bjelkene er også et eksempel på en kombinasjon av lim og spikring, men flenslamellene i HB-bjelkene er limt sammen under press før de spikres til steget, så konstruksjonene er bare i en viss forstand spikerlimte.

Det finnes dessuten en rekke mer spredte eksempler på vellykket bruk av spikerliming (og «bolte-liming»), og det foreligger også en del rapporter om forsøk med slike konstruksjoner [3], [4], [5].

Men den vanlige, aksepterte teknikk ved liming, som anbefales i alle lærebøker i faget og som stort sett følges i flertallet av anvendelsene, er at limingen må skje under press på 5 til 20 kg/cm², avhengig av limsort osv. Dette kan bare skje ved hjelp av presser og tvinger og stor utrustning i

spesielle lokaler. Trekonstruksjoner limt på byggeplassen (eventuelt i en arbeidsbrakke på eller nær byggeplassen) har praktisk talt ikke vært forsøkt. Liming utenom spesialutstyrte verksteder har vært betraktet som en hasardiøs affære, og en har heller ingen spesifikasjoner for slikt arbeid.

Den undersøkelse som skal refereres her, tok vesentlig sikte på å finne hvor vidt spikerliming representerer en enkel og sikker metode til sammenføyning av vanlige takkonstruksjoner for hus, og å bestemme de faktorer som influerer styrken og varigheten av slike sammenføyninger.

Det er i de senere årene utviklet en mengde nye limsorter, spesielt kunstharpikslim. Mange av disse nye limsorter har glimrende egenskaper, f. eks. i retning av å være vannfaste, slik at enkelte endog kan motstå koking i vann for lang tid, uten å miste sin styrke. De fleste sorter kunstharpikslim krever imidlertid ganske høy temperatur for herding, og i det hele en meget omhyggelig utførelse for å gi sikre resultater. For de forsøk vi gjorde ble derfor valgt kasein-lim (type Casco, Grade A), fordi slikt lim:

1. Vil herdne og danne sterke forbindelser innen et meget vidt temperaturområde, helt ned til frysepunktet.
2. Det er enkelt å oppbevare, håndtere, blande og stryke på veden.
3. Det er temmelig motstandsdyktig mot fuktighet, selv om det naturligvis ikke kan konkurrere med de beste kunstharpikslim.
4. Det er billig og lett å skaffe over alt.

På grunn av disse fordeler er også kasein-lim fortsatt det viktigste lim for konstruktive formål.

Laboratorieforsøk med små prøvestykker — grunnforsøk.

Ved vanlige undersøkelser av lim brukes ganske små prøvestykker, med en limflate på bare noen få cm². Ved prøvning av spikerlimte forbindelser ville så små prøvestykker gi et feilaktig bilde av forholdene i praksis. Den aller minste dimensjon vi fant det forsvarlig å gå til, var 8" lange limflater på minst 4" nominell bredde. En prøveform som er vanlig brukt ved undersøkelse av tømmerforbindere og spiker, og som også har vært

¹ Tallene i [] refererer til litteraturfortegnelsen i slutten av artikkelen.

674.028.9
7 G
1.4

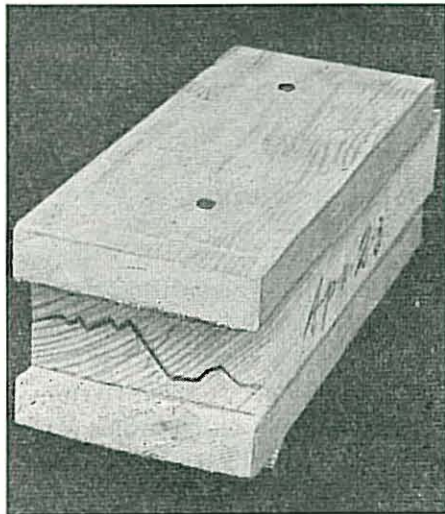


Fig. 1. Typisk bruddbilde for et limt prøvestykke hvor trykkfastheten av materialet i sidestykkene er overskredet, og hvor midtstykket er sprukket, uten at skjærfastheten i limflatene er overskredet. Denne type prøvestykker er derfor uhensiktsmessig.

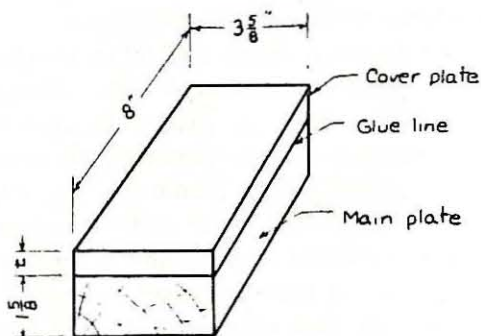


Fig. 2. Prøvestykker for undersøkelse av skjærfastheten i spikerlimte forbindelser.

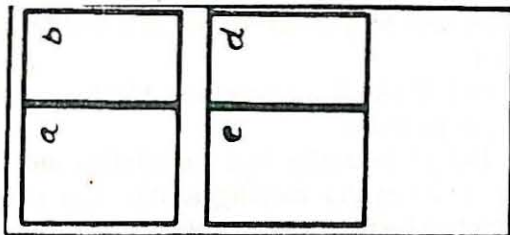


Fig. 3. Monster for oppskjæring av prøvestykkene i mindre skjærprøvestykker.

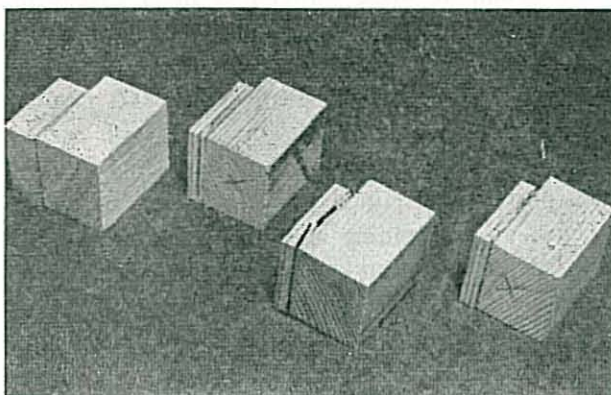


Fig. 4. Skjærprøvestykker fotografert etter prøvningen (bruddet vises tydelig).

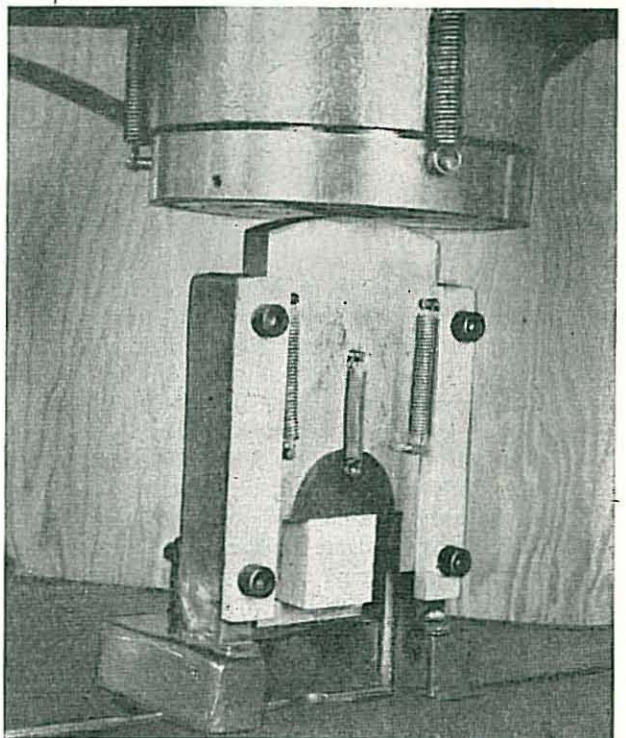


Fig. 5. Prøvning i standard skjærprøveapparat satt inn i prøvemaskinen.

brukt ved limforbindelser, er vist på fig. 1. Ved limforbindelser viser det seg at skjærfastheten blir så stor at lenge før et skjærkraftbrudd oppstår, vil trykkfastheten av trevirket enten i midtstykket eller i sidestykkene bli overskredet, eller midtstykket vil sprekke p. g. a. strekk-kræfter. Fig. 1 viser begge deler. Skulle denne form for prøvestykker brukes, måtte derfor lengden av limflatene innskrenkes så meget at prøven ikke lenger ville gi noe brukbart bilde av spikringens effekt.

Vi besluttet oss derfor til å lage prøvestykker som vist på fig. 2, og etter at herdetiden var over, skjære opp disse som vist på fig. 3 og 4, for prøvning i et standard skjærprøveapparat, se fig. 5. Fire skjærkraftprøver ble skåret fra hvert prøvestykke, for å gi et godt gjennomsnitt, og gi et bilde av variasjonen i skjærstyrke innen limflaten. Følgende materialkombinasjoner ble prøvd:

1. 1" × 4" (nominell) høvlet tre spikerlimt til 2" × 4" høvlet tre.
2. 1" × 4" klyvsagskåret tre spikerlimt til 2" × 4" klyvsagskåret tre (kløvet i tørr tilstand).
3. 3/8" pusset kryssfinér (sanded plywood) på 2" × 4" høvlet tre.
4. 3/8" upusset kryssfinér (plyscord) på 2" × 4" høvlet tre.
5. 3/8" upusset kryssfinér (plyscord) på 2" × 4" klyvsagskåret tre.
6. 1/4" hard trefiberplate på 2" × 4" høvlet tre (prøvd på en noe forskjellig måte).

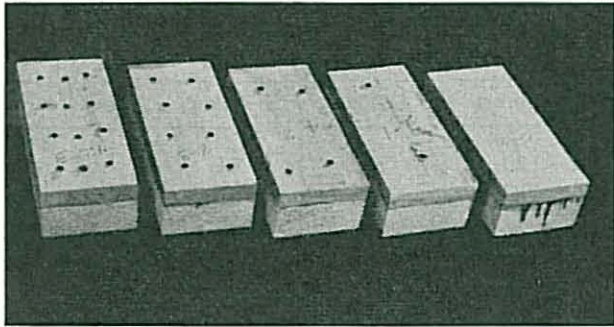


Fig. 6. En serie på 5 prøver, med 4 forskjellige spikerbilder og en kontrollprøve limt under press.

Trelasten som ble brukt ved forsøkene var Douglas Fir, uten kvister eller andre materialfeil, og var meget omhyggelig utvalgt på basis av jevn romvekt ($\gamma_{\text{torr}} = 0,43-0,50$) og skjærfasthet ($\tau_{12\%} = 1000-1400$ p.s.i.). Kryssfinéren var Douglas Fir sanded plywood (3 ply) og plyscord (unsanded) av vanlig handelskvalitet. Trefiberplatene var tempered Masonite. Alle materialer ble før og under forsøkene oppbevart i et klimarom innstilt slik at det ga trevirket et fuktighetsinnhold på 12 % ved likevekt.

Av materialer fra samme bord, resp. samme plate av kryssfinér eller fiberplate, ble det fremstilt serier på 5 prøver, som illustrert på fig. 6.

Det ble brukt fire forskjellige spikerbilder, og en kontrollprøve, som fikk herdne i en limpresse utstyrt med kompressometer (se fig. 7) under det trykk som vanligvis anbefales for kasein-liming, ca 10 kg/cm^2 . For å unngå tilfeldigheter, og få en viss oversikt over variasjonen i styrke, ble det alltid fremstilt minst tre parallelle serier av prøvestykker for hver materialkombinasjon.

Det ble antatt at selve arbeidsutførelsen ved spikringen ville ha innflytelse på styrken. For å redusere denne variasjonskilde, ble derfor alle spiker presset inn med et hammerlignende verktøy i en prøvemaskin. En prøveserie, hvor spikringen dels var utført på denne måten, og dels med van-

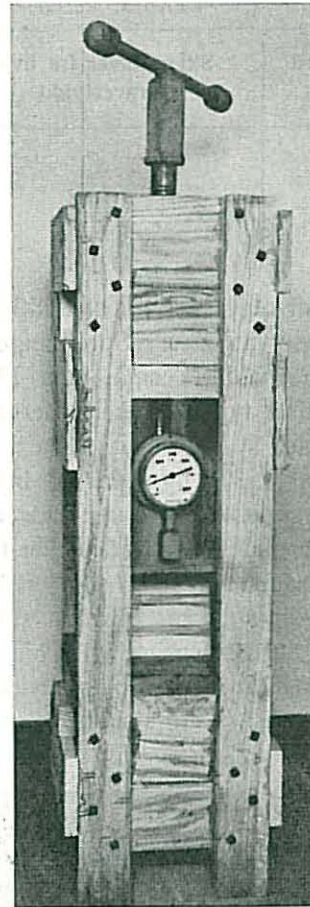


Fig. 7. Limpresse med kompressometer.

lig hammer, av tre forskjellige personer med meget forskjellig øvelse i spikring, viste imidlertid ingen avgjørende forskjell i fasthetsverdier.

Herdetiden for prøvestykkene var en uke, og temperaturen i klimarommet var 75°F ($= 24^\circ \text{C}$). Prøvemaskinen ble kjørt med en konstant hastighet av $0,015 \text{ inch/min.}$ ($= \text{ca } 0,4 \text{ mm/min.}$), til brudd, og skjærfastheten ble beregnet ved å dividere bruddlasten med limflatens areal. De viktigste resultater er, i sterkt sammentrengt form, gjengitt i tabell 1.

Tabell 1: Midlere skjærfasthet for prøvestykker herdnet under et press av 10 kg/cm^2 og under fire forskjellige spikermonstre¹

Serie nr.	Materialkombinasjon	Midlere skjærfasthet kg/cm^2				
		Presset	2-spiker	4-spiker	8-spiker	12-spiker
1	1" × 4" på 2" × 4" høvlet	65	64	70	62	65
2	1" × 4" på 2" × 4" skåret	73	58	73	74	81
3	3/8" kryssfiner (pusse) på 2" × 4" høvlet	34	34	37	41	36
	parallell ²					
5	3/8" kryssfiner (ru) på 2" × 4" h, parallell ²	59	34	54	59	52
	3/8" kryssfiner (ru) på 2" × 4" h, perpendikulær ²					
6	3/8" kryssfiner (ru) på 2" × 4" skåret, parallell ²	25	22	25	27	39
		54	54	57	55	55

¹ For nr 1 og 2 er brukt 8d (penny) common nails (lengde = $2\frac{1}{2}$ " (63 mm) og diam. = $0,131$ " (3,3 mm)). For nr 3-6 er brukt 4d common nails ($l = 1\frac{1}{2}$ " (38 mm) og $d = 0,094$ (2,4 mm)).

² Betyr at fibrene i ytre lag av kryssfinéren var parallell resp. perpendikulær på fibrene i det massive trestykket.

Tabell 2: Variasjon i observert skjærfasthet innen en del av en serie.

Serie nr.	Bord nr.	Skjærprøver fra hvert prøvestykke	Observert skjærfasthet kg/cm ²				
			Presset	2-spiker	4-spiker	8-spiker	12-spiker
1	3	a	68	60	64	74	63
		b	58	33	62	57	59
		c	71	77	75	75	66
		d	69	72	73	68	67

Hver tallverdi representerer et middeltall av 12 individuelle observasjoner. Spredningen av tallverdiene var forholdsvis små, som illustrert av tabell 2, som viser typiske enkeltobservasjoner for en del av en serie.

For seriene nr 1, 3, 5 og 6 var det ingen tydelig tendens. For serie 2 og 4 var tallverdiene noe lave for 2-spikerbildet, men ved 4 eller flere spiker ble oppnådd samme fasthet som ved kontrollprøvene. Spredningen var over alt større for 2-spikerbildet en for de øvrige. Det ble også iaktatt under fremstillingen av prøvestykkene, at to spiker ikke syntes å være tilstrekkelig til å sikre god kontakt.

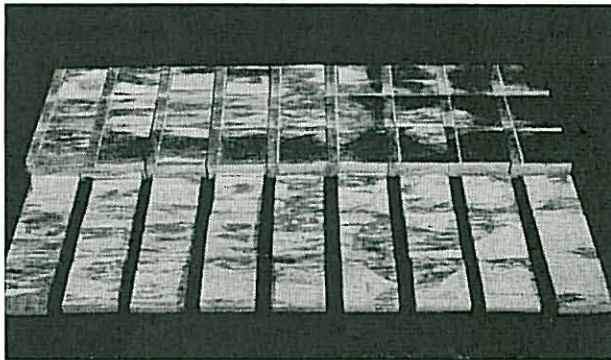


Fig. 8. Stor limflate (8" x 32") spikret med altfor få spiker. Prøven er skåret opp i 36 små prøvestykker for å bestemme skjærfastheten. Legg merke til områdene med god limforbindelse (brudd i trefibre) under spikrene.

For å illustrere tydeligere resultatet av utilstrekkelig spikring, er tatt med fig. 8 fra en annen prøveserie. Denne prøve var laget av et langt og bredt bord, hvor finéren var spikret på med ekstra stor spikeravstand. Etter prøvningen er de enkelte bitene lagt sammen igjen i det opprinnelige mønster. Vi ser at limet har bundet bare i flekker under spikrene.

På grunnlag av de foregående forsøk ble trukket den konklusjon at et spikerbilde tilsvarende b (4 spiker i prøven) kunne anbefales. Denne konklusjon ble stadfestet ved utførelse og prøvning av hele konstruksjoner i full målestokk.

Forsøk for å belyse effektivitet og varighet.

Det neste spørsmål var: Hvilke forholdsregler må tas for å sikre at det alltid oppnås den styrke som fremgår av foregående forsøk? For å belyse

spørsmålet ble det utført en lang rekke forsøk, både av orienterende art og i form av store serier, som delvis ikke var avsluttet da denne artikkelen ble skrevet (mai 1954).

En av disse forsøksrekker gikk ut på å undersøke herdetiden og styrken ved forskjellige temperaturer og fuktighetsforhold. På grunnlag av dette og forskjellige andre forsøk, ble det fastslått innen hvilket tidsrom etter limingen en kan tillate forstyrrelser i limfugen (uvøren håndtering).

En annen serie gikk ut på å undersøke temperaturens innflytelse på skjærfastheten. Prøvestykkene fikk herde ute i vinterværet med kontrollprøver i klimarommet. Et visst antall av prøvene ble tatt inn etter halv tid, og fikk fortsette herdingen i klimarommet. Forsøk av denne art ble drevet 1½ måned med temperaturer varierende ned til $\div 12^{\circ}\text{C}$. Det ble også gjort forsøk med å legge konstruksjonselementer ute i regnvær, med kontrollprøver i klimarommet. Før prøvningen ble de skåret opp i standard skjærprøver av samme type som vist på fig. 4. Det ble også gjort adskillige observasjoner over virkningen av vindskjeve materialer og av konkav eller konveks overflate på de stykker som limes sammen.

Plassen tillater ikke å gjengi i detalj resultatene fra alle disse forsøk, men da ga tilsammen et overbevisende bilde av at spikerlimte forbindelser, riktig utført, gir meget pålitelige og sterke forbindelser. I slutten av artikkelen vil det bli pekt på de reservasjoner og de forholdsregler som må tas for å sikre gode resultater.

Knuteplater og stegplater av kryssfinér og harde trefiberplater.

Ved praktiske anvendelser av spikerliming vil kryssfinér og harde fiberplater kunne brukes i stor utstrekning som knuteplater og stegplater. Vi fant det derfor nødvendig, ved siden av å studere eksisterende spesifikasjoner for beregning og bruk av kryssfinérplater, å supplere forsøkene for å klarlegge virkningen og oppførselen av slike plater, dels i aktuelle konstruksjoner og dels i mindre prøvestykker.

Den første del av disse forsøkene ble utført med prøvestykker som vist på fig. 9. Det ble i alt frem-

Tabell 3: Resultater fra prøvning av kryssfinerplater og harde fiberplater spikerlimt på 2" materiale.

Beskrivelse av forsøk	Observerte bruddverdier kg/cm ²			
	Middel verdi	Største verdi	Minste verdi	Standardavvikelse kg/cm ²
1/2" dobbelte kryssfinerplater. Ytre fibre i kraftretningen.....	22,5	25,5	15,5	2,70
1/2" dobbelte kryssfinerpl. Ytre fibre tvers på fiberretningen .	21,8	26,0	15,0	3,15
1/4" dobbelte fiberplater. Glatt side limt	27,4	32,0	18,0	3,80
1/4" dobbelte fiberplater. Wiresiden limt	27,0	30,0	21,0	3,30

stilt 80 prøvestykker. Herav var halvparten laget med dobbelte knuteplater, av 1/2" plywood (plyscord), med ytre lag dels parallell og dels perpendikulær på fibrene i den mellomliggende planken. Fiberplatene ble limt dels med «wiresiden» inn og

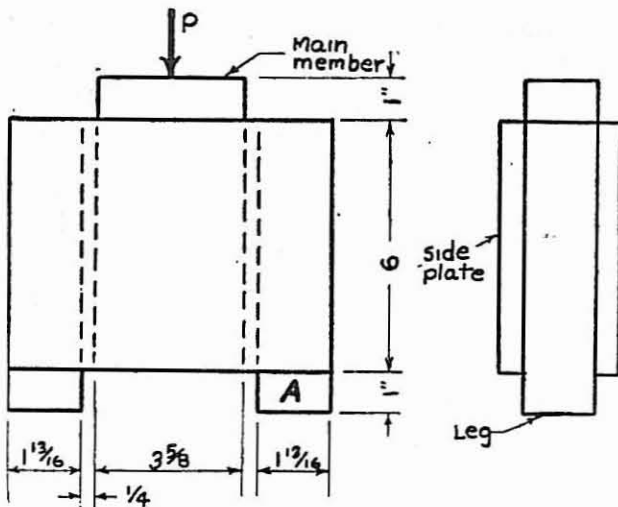


Fig. 9. Prøvestykker brukt for undersøkelse av skjærfastheten i kryssfiner og harde trefiberplater.

dels med den glatte siden inn. Knuteplatene ble limt og spikret med nr 4^d (lengde = 1 1/2", diam. = 0,094") vanlig amerikansk rund trådstift i mønstre som fremgår av figurene. Prøvningen ble utført i en prøvemaskin som ble kjørt med en hastighet av 0,05 inch/min. (= ca 1,25 mm/min.) til brudd. Bruddårsaken ble notert.

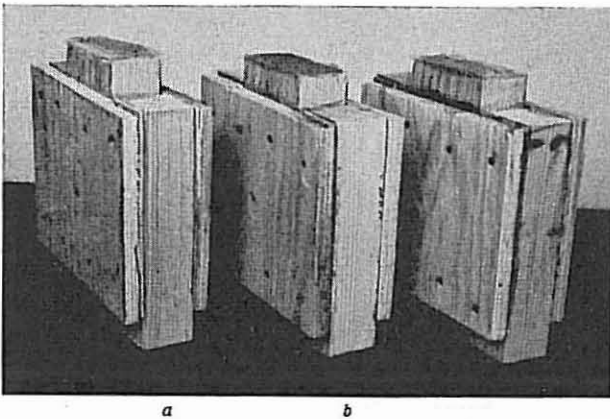


Fig. 10. Typiske bruddbilder for kryssfinerplatene. Prøvestykke a) viser skjærbrudd i finérens plan (rolling shear). Prøvestykke b) viser skjærbrudd loddrett på finérens plan. Prøvestykke c) viser brudd i selve limfugen mellom tre og kryssfiner.

Det viste seg at bruddårsaken i de aller fleste tilfelle var s.k. «rolling shear», dvs. skjærkraftbrudd i kryssfinérens plan i et lag med fiberretning tvers på kraftretningen, se fig. 10 a. I et slikt lag har fibrene tendens til å «rulle» når de blir utsatt for skjærkrefter. I et par tilfelle skjedde bruddet i et plan loddrett på finérens plan, se fig. 10 b. Brudd delvis i limfugen mellom finér og trevirke ble bare observert i et par tilfelle, se fig. 10 c. Det viser seg altså at selve kryssfinéren utgjør den svakeste del av forbindelsen.

Skjærspenningen ble beregnet ved å dividere bruddlasten med det totale areal av limflaten mot sidestykkene (4 ganger arealet A på fig. 9). Resultatene er sammentrengt i tabell 3. I tabellen er gitt middelveier, høyeste og laveste observerte verdi og standardavvikelsen¹ (spredningen) for hver serie à 20 forsøk.

Under forutsetning av at vårt materiale var representativt, gir disse tallverdier et visst grunnlag for beregning av tillatte skjærspenninger i limfugen mellom Douglas Fir plywood (plyscord limt med proteinlim) eller harde fiberplater (tempered Masonite) og massivt tre. Den tillatte spenning avgjøres ikke av selve limfugens styrke, men av «rolling shear» i kryssfinéren, resp. spaltning i fiberplatene. Tillatt spenning i limfugen ble beregnet til:

$$\tau_{// \text{ till}} = (\tau_m - 2S) \cdot 9/16 \cdot 2/3$$

hvor τ_m = observert middelveier
 S = standardavvikelse
 $9/16$ = reduksjonsfaktor for langtidsbelasting
 $2/3$ = „sikkerhetsfaktor“, som bl. a. omfatter usikkerhet i beregningsforutsetninger, i arbeidsutførelse, etc.

De spenninger som ble beregnet på denne måten, og som er referert i siste kapittel av denne artikkelen, er i god overensstemmelse med de tallverdier som er gitt i litteraturen for plywood [6], [7], unntatt når det gjelder sidekanter av kryss-

$$1 \text{ Standardavvikelsen } S = \sqrt{\frac{\sum(X)^2}{N} - \left(\frac{\sum X}{N}\right)^2}$$

hvor X = enkeltobservasjonenes tallverdi,
 N = antall observasjoner.

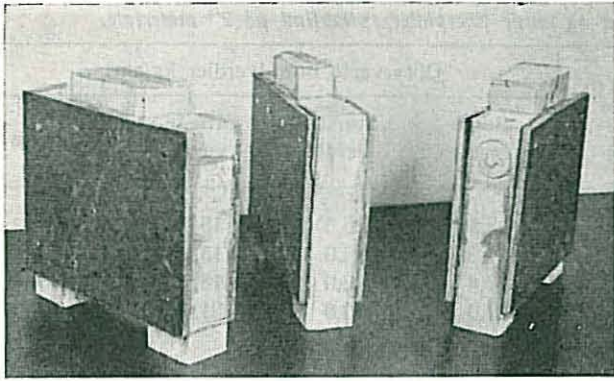


Fig. 11. Typiske bruddbilder for de harde trefiberplatene.

finérplater, hvor de tallverdier som angis f. eks. av Forest Products Laboratory er mer konservative enn de tallverdier vi kom til.

Skjærfastheten for kryssfinér er den samme uansett om fibrene i det ytre lag ligger i eller tvers på kraftretningen. For mellomliggende vinkler er den noe større, men i hvert fall for knuteplater er det mest praktisk å regne med samme tillatte skjærspenning uanset fiberorientering.

Harde trefiberplater (tempered Masonite) viste seg, som det fremgår av tabell 3, å ha større skjærfasthet enn Douglas Fir Plywood. Forsøkene viste ikke noen avgjørende forskjell i styrke ved liming av platens glatte side og ved liming av den ru wiresiden². Det ble heller ikke iaktatt noen forskjell i styrke ved forskjellig kraftretning i forhold til platens lengderetning. Bruddårsaken ved prøvene med harde fiberplater var mer kompleks enn ved kryssfinérplatene. Typiske bruddbilder er vist på fig. 11. Bruddet tydet på at den primære bruddårsaken ofte var overskridelse av strekkfastheten i underkanten av platen. (Prøvestykket var jo egentlig en meget kort og høy bjelke.)

Ved siden av de her refererte forsøk, ble det — både for kryssfinér, og særlig for harde trefiber-

² Ved forsøk andre steder er funnet at den glatte siden gir best resultat.

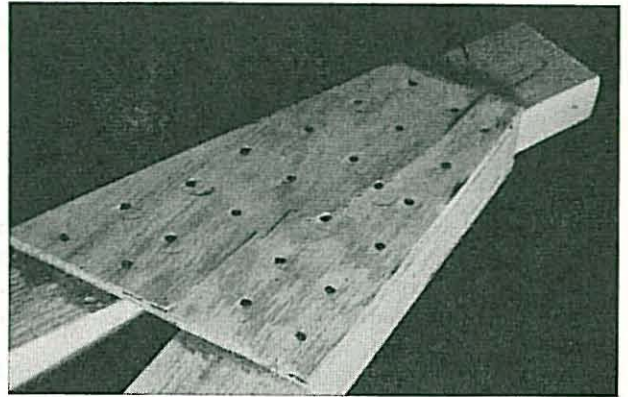


Fig. 13. Knuteplaten fotografert etter at brudd er oppstått, ved overskridelse av kryssfinérens skjærfasthet perpendikulært på overplatens plan.

plater — utført adskillige forsøk for å bestemme skjærfastheten tvers på platens plan. Det er adskillige vanskeligheter ved slike forsøk, og ingen god, standardisert prøvemethode. De tallverdier vi kom til er bygd dels på aksepterte fasthets-

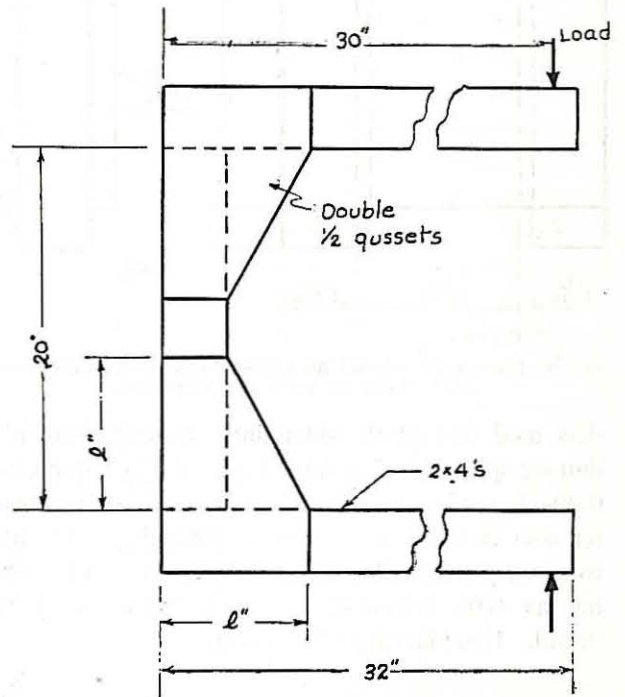


Fig. 14. Prøvestykker for å undersøke kryssfinérplater brukt som stive hjørner.

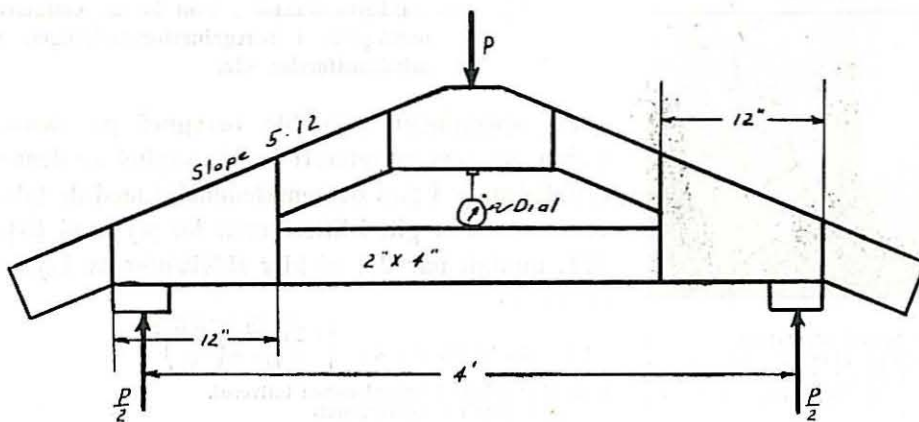


Fig. 12. Triangelformet prøvemodell for undersøkelse av knuteplater.

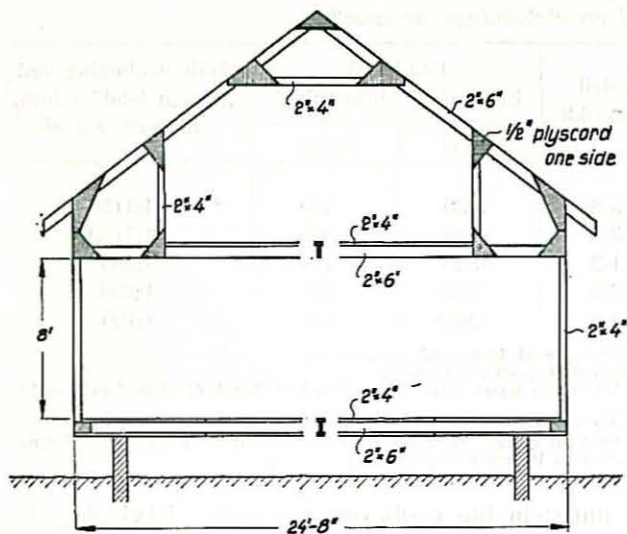


Fig. 15. Mulig rammekonstruksjon for et 1½ etasjes hus. (Ikke nærmere undersøkt.)

verdier for plywood fra litteraturen, se bl. a. [7], [8], og støtter seg dessuten på en lang rekke modellforsøk og forsøk i full målestokk, som vi utførte med forskjellige konstruksjoner. Fig. 12 viser en skisse av en modell som ble bygd for prøvning i en standard prøvemaskin. Fire ensartede modeller ble prøvd, og bruddbildet var det samme for alle fire. Fig. 13 viser typen av det brudd som oppstod. Fig. 19 viser brudd i en annen modell.

I praksis vil skjærspenningen tvers på knuteplatens eller stegplatens plan være den avgjørende for dimensjoneringen i de fleste tilfelle. For konstruktøren er derfor den tillatte spenning i dette plan meget viktig. For å fastlegge de tallverdier som kan anbefales for norske forhold er det nødvendig å gjøre forsøk med våre materialer.

Det ble også utført en del forsøk for å finne effekten av kryssfinérplater brukt som stive hjørner i rammer etc. Fig. 14 viser typen av prøvestykker som ble brukt. Resultatene skal ikke gjengis her, da forsøksmaterialet ikke var stort nok til å gi et beregningsgrunnlag, men forsøkene viste at det i høy grad er mulig å bruke slike spikerlimte knuteplater i stive rammer av moderate dimensjoner, f. eks. i konstruksjoner som antydnet på fig. 15. Ved 2" × 4" eller 2" × 6" staver blir knuteplatene av meget moderate dimensjoner.

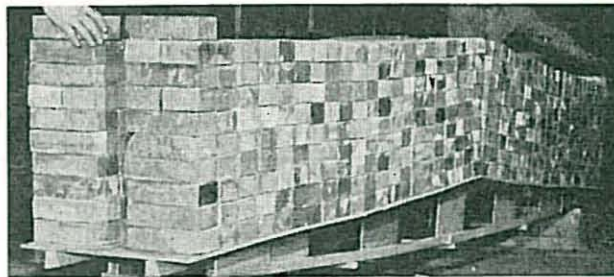


Fig. 16. Provebelastning av modell i målestokk 1 : 2. Bruddet skjedde etter at den tiende rad murstein var lagt på. Takhelling er 1 : 2, og spennvidden er 24' 8" i full målestokk.

Modellforsøk med takkonstruksjoner.

Ved praktiske anvendelser i regulære takkonstruksjoner o. l. for vanlige hus, er konstruksjonenes økonomi en helt avgjørende faktor. Det gjelder derfor å forenkle arbeidet med byggingen av konstruksjonene mest mulig. For eksempel vil en konstruksjon bygd med knuteplater og lasker limt og spikret bare fra en side, bli billigere enn hvis man skulle være nødt til å bruke dobbelte plater over alt. Ved ensidige lasker og knuteplater innføres en viss eksentrisitet i kraftoverføringene, som kan tenkes å nedsette effektiviteten betydelig. For å få en bedre oversikt over disse spørsmål, og studere oppførelsen av aktuelle konstruksjoner, ble det bygd en serie modeller, dels i målestokk 1/2 og dels i målestokk 3/8. I første omgang ble det lagt hovedvekten på å utvikle konstruksjoner for frittstående takkonstruksjoner med liten takhelling. Både av estetiske og andre grunner synes det å være en tendens i U.S.A. til å gå ned med takhellingen for vanlige småhus. Hovedvekten ble derfor lagt på takbærere med helling 1 : 12 og 2 : 12, siden slike konstruksjoner ligger spesielt vel til rette for spikerliming, og samtidig er nesten umulig å konstruere på økonomisk måte med andre forbindelsesmidler.

Fig. 16 til 18 viser fotografier fra en del av modellforsøkene. Modellene ble utført av feilfritt trevirke (Douglas Fir) skåret ut av en og samme planke med kjent styrke og elastisitetsegenskaper. Det ble alltid fremstilt et sett av to identisk like konstruksjoner, som ble opplagret på et underlag av murverk, kryssavstivet i forhold til hverandre, og forsynt med et «tak» av kryssfinér, som det fremgår av fotografiene. Modellene ble deretter belastet med suksessive lag av murstein til brudd inn-

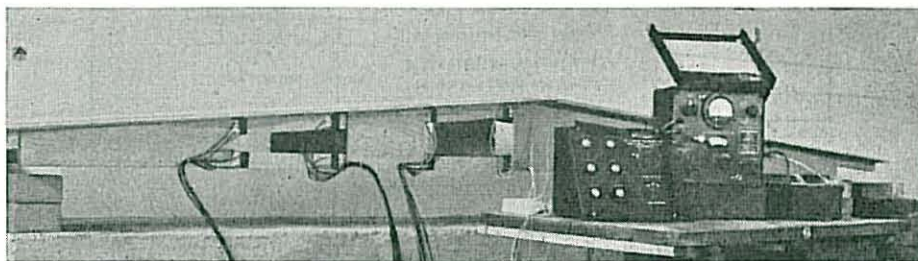


Fig. 17. Modell med påsatte strekkklapper for måling av spenningene i gurtstavene.

Tabell 5: *Prøvebelastning av takkonstruksjoner i full målestokk.*

Takkonstr. nr.	Type	Spennvidde m	Nedbøing ved last = 2 1/2 g beregn.	Deformasjon straks etter avlasting	Bruddlast kg/lm
1	GR-24	7,50	29,5 mm (1:213)	ikke målt	330
2	GR-24	7,50	34 mm	0,8 mm	335
3	GR-24	7,50	39 mm	1,4 mm	300
4	W-3	7,50	29 mm	ikke målt	ikke bestemt
5	W-3 ¹	7,50	19 mm	ikke målt	over 390 ²

¹ utført som W-3, men med dobbelte 3/8" knuteplater

² Denne belastning lå på i 4 døgn, uten å fremkalle brudd.

Istedenfor enkle 1/2" knuteplater.

Ingen nevneverdig blivende deformasjon ble notert.

enn konstruksjoner med metalliske forbindelsesmidler, fordi en helt kan se bort fra svikten i forbindelsesmidlet. Dette er en avgjørende fordel ved frittstående takkonstruksjoner, da en lettere unngår sprekker i himlingen, ukontrollert belastning av innvendige vegger, skap m. v. Et par av modellene ble forsynt med strekkplapper for å måle de aktuelle spenninger og kontrollere beregningsmåten, se fig. 17. Plassen tillater ikke å gå nær-

mere inn på disse målinger og interesserte henvises til publikasjon [2].

4. Forsøk i full målestokk.

På grunnlag av modellforsøkene og beregninger, ble det konstruert en serie standard takbærere for hus tegnet over 2' modul, hvorav noen er vist på fig. 20—22. Et par av disse ble utvalgt for forsøk i full skala. Bare enkelte av forsøkene ble drevet

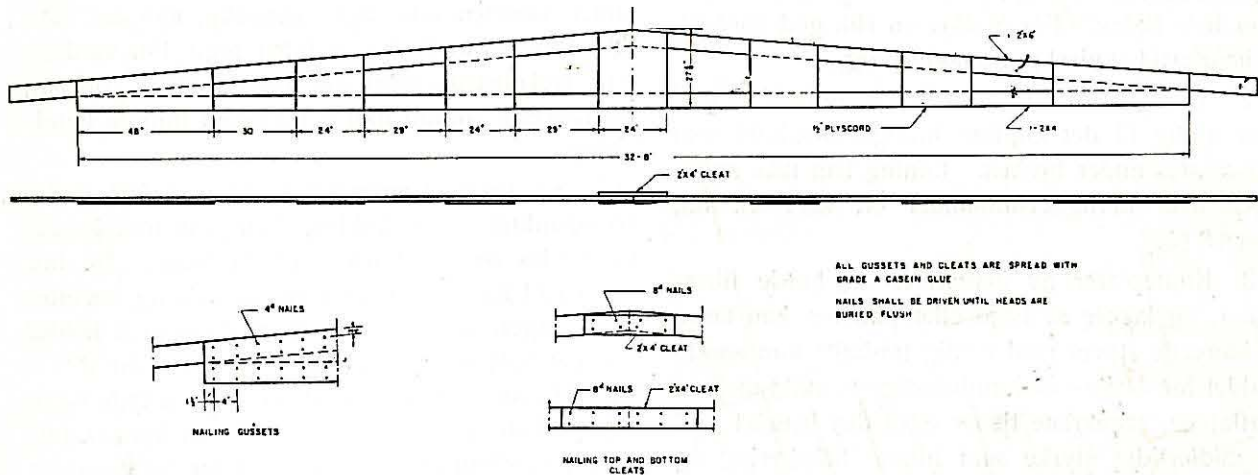


Fig. 21. Takkonstruksjon spennvidde 32' 8" (9,8 m), senteravstand 2', takhelling 1 : 12.

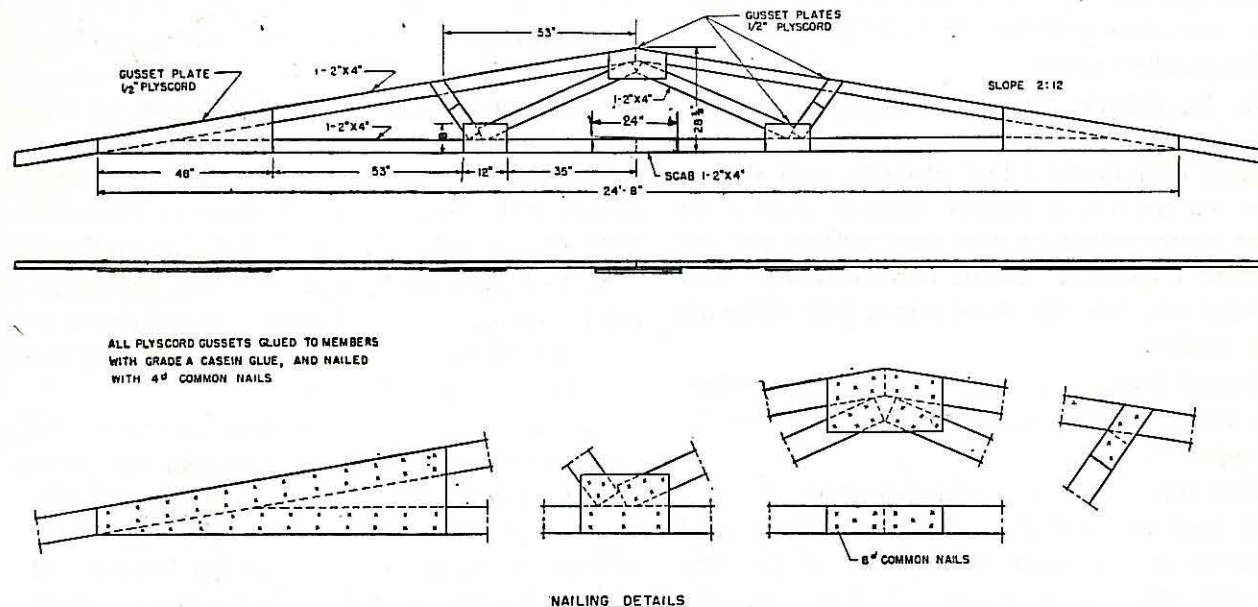


Fig. 22. Takkonstruksjon (W-bærer), spennvidde 24' 8" (7,4 m) c/c 2', takhelling 2 : 12.

til brudd, mens de øvrige ble belastet til ca 2,5 ganger beregningsmessig belastning (= egv. + ca 250 kg/m), og deretter avlastet for å finne eventuell blivende deformasjon. En del av resultatene er gjengitt i tabell 5. Konstruksjonene vil deretter bli undersøkt for en langtidsbelastning over mange måneder, for å studere eventuelle langtidsvirkninger. Disse forsøk pågår i det denne artikkel blir skrevet.

5. Oppsummering av resultater.

På grunnlag av forsøkene ble det trukket følgende konklusjoner, som gjelder for liming med kasein lim og for tresorten Douglas Fir.

1. Spikerlimte trekonstruksjoner kan utføres med fullt betryggende resultat, forutsatt at utførelsen er riktig. Det ble klarlagt at for kaseinlim er et høyt press i herdetiden i og for seg uten betydning for styrken, forutsatt at overflatene på de stykker som limes sammen er rene og i god kontakt over hele flaten. For å sikre en slik god kontakt, er imidlertid et visst press nødvendig.

2. Trevirket bør ha et fuktighetsinnhold så nær som mulig til det midlere fuktighetsinnhold som kan ventes under bruken. Liming kan ikke anbefales hvis fuktighetsinnholdet er, eller vil bli, over 18 %.

3. Knuteplater av kryssfinér og harde fiberplater, og lasker av bord eller planker, kan limes til bærende staver med vanlig trådstift som eneste middel for å sikre den nødvendige kontakt mellom limflatene. Spikrene tjener også den hensikt å gi en midlertidig styrke som tillater håndtering og flytning av konstruksjonene under produksjonen. Spikringen må skje mot et solid underlag, og spikrene må drives godt inn, så hodet på spikrene er helt forsenket i veden.

4. De spikeravstander som anbefales her, gjelder for høvlede eller klyvsagskårne materialer (skåret eller høvlet i tørr tilstand), som ikke er mer enn normalt deformert (koppet, vridd e. l.) etter bearbeidelsen og som ikke varierer mer enn normalt i tykkelse. Gamle bord med mørk eller anløpet overflate, eller bord som er blitt skitne må ikke brukes.

Visuell inspeksjon for god kontakt, og utklemt lim under spikringen, vil vise om god kontakt er oppnådd.

Hvis materialene er sterkt deformerte (konkav eller konveks overflate) eller betydelig ujevne i tykkelse, er det nesten umulig å få en god limkontakt, endog med presser. Ved slikt trevirke kan en ikke vente sikre resultater med spikerliming.

5. Ensidig påstrykning av lim (dvs. påstrykning på bare en av de to flatene som støter sammen i limfugen) ble brukt ved alle forsøkene, og er normalt fullt betryggende. Limet bør påstrykes så jevnt som mulig, slik at 1 kg ferdig utrørt lim, dekker høyst ca 2,5 m². Det lim som ble brukt ved forsøkene var Casco, Grade A. Limet må blandes og behandles etter fabrikantens anvisninger.

Selv om ensidig påstrykning ga gode resultater, vil naturligvis dobbeltsidig påstrykning gi enda større betryggelse, og bør muligens brukes i praksis.

6. Limet bør blandes ikke mer enn 3—4 timer før bruken. Flatene bør legges sammen så snart som praktisk mulig etter påstrykningen av limet, og i hvert fall innen 1/2—1 time etter sammenlegningen. (Maks. tid avhenger av temperaturen og tørrhetsgraden av trevirket.) I dette intervallet vil små innbyrdes forskyvninger av de delene som støter sammen ikke være skadelig, når det bare ikke fører til at limfugen åpner seg. For vanlige, lette trekonstruksjoner gir den anbefalte spikring tilstrekkelig sikring mot dette under normal håndtering.

7. Så lenge temperaturen ikke synker under frysepunktet i herdetiden, kan konstruksjonene håndtedes og monteres etter 24 timer. De bør imidlertid ikke utsettes for full belastning før etter 5—6 dager, særlig ikke hvis temperaturen holder seg lav hele tiden. Liming i frost (under 0 °C) kan ikke anbefales. Forsøkene synes å tyde på at frostperioder i herdetiden ikke vil være katastrofale bare temperaturen går opp igjen før belastningen kommer på, men dette spørsmål er foreløpig ikke tilstrekkelig klarlagt, så forsiktighet må utvises.

Konstruksjonene må beskyttes mot direkte regn under produksjon og herdning. Moderate mengder av regn og væte under monteringen, vil ikke skade konstruksjonene alvorlig, men en bør selv sagt forsøke å få taket på så snart som mulig. (Prøvestykker som lå ute i regnvær ca 14 dager, viste ikke noen betydelig nedsettelse av styrken.)

8. Ved styrkeberegninger sees bort fra spikrenes bæreevne. Eventuell sprekk fra spikringen er ikke så ødeleggende når det brukes lim som ved rene spikrede konstruksjoner.

9. Når limforbindelser mellom kryssfinér eller harde fiberplater og tre, eller mellom trestykker hvis fiberretning ikke er parallell, utsettes for fuktighetsvariasjoner, oppstår store spenninger i og omkring limfugen, som i tidens løp kan føre til ødeleggelse, særlig ved brede trestykker. Selv om limfugen holder, kan ødeleggelse skje i fibre,

særlig i kryssfinér. Slike limforbindelser bør derfor ikke brukes hvis konstruksjonene senere antas å bli regelmessig utsatt for større fuktighetsvariasjoner enn ca $\pm 3\%$. Videre bør bredden og tykkelsen av de trestykker som limes sammen, ikke være for stor. Det er vanskelig å gi noen maksimumsbredde, men inntil videre bør man antagelig være forsiktig med å bruke bredder over 6", og tykkelsen må ikke være over 2". Hvis det gjelder lange lasker etc., bør tykkelsen helst ikke være over 1".

Limte forbindelser bør ikke brukes hvor det er fare for kondensasjon, f. eks. på uventilerte loft over et hus med dårlig fuktighetssperresjikt i loftsbjelkelaget. Slike loft er for øvrig farlige også på andre måter, men kan lett unngås ved riktig konstruksjon.

Konstruksjonsregler.

Knuteplater av kryssfinér opp til $\frac{1}{2}$ " tykkelse, og av harde trefiberplater anbefales foreløpig ved spikerliming bare for staver opp til 6" bredde. De

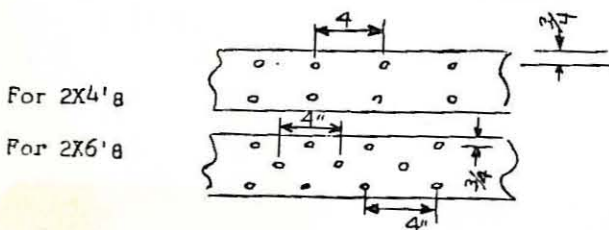


Fig. 23. Anbefalt spikring av knuteplater m. v. ved spikerliming.

bør spikres med trådstift ikke under 20/38, minst så tett som vist på fig. 23.

For lasker av hel ved opp til 1" \times 6" kan brukes samme spikerbilde, men spikerdimensjonen må økes avhengig av tykkelsen. (Se for øvrig NS 446, punkt 6,03.)

Beregningsregler.

Beregningsreglene ble utviklet for Douglas Fir og kan ikke uten videre anvendes på furu og gran, som har noe dårligere fasthetsegenskaper. De tillatte spenninger gjelder for *langtidsbelastning*. For korttidsbelastninger kan gjøres tillegg (se NS 446, pkt. 4,02,2).

A. For kryssfinér knuteplater opp til $\frac{1}{2}$ " tykke (Douglas Fir):

1. Tillatt skjærspenning i limfugen eller i plan parallell med limfugen i kryssfinéren:

$$\tau_{\parallel III} = 90 \text{ psi}^* = 6,3 \text{ kg/cm}^2$$

* psi = lbs/sq. inch.

2. Tillatt skjærspenning i kryssfinéren i plan loddrett på finérens overflate

$$\tau_{\perp III} = 300 \text{ psi} = 21 \text{ kg/cm}^2$$

Disse verdier gjelder uanset fiberretningen i det ytterste lag, og er basert på fiberretning enten parallelt eller perpendikulært på kraftretningen. For mellomliggende vinkler er kryssfinéren sterkere, men i praksis vil det være vanskelig å nyttiggjøre dette for knuteplater. For steg i bjelker kan det derimot nyttiggjøres.

B. Harde fiberplater (Tempered Masonite).

På samme basis som for kryssfinérplater anbefales:

$$\tau_{\parallel III} = 100 \text{ psi} = 7,0 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau_{\perp III} = 240 \text{ psi} = 16,8 \text{ kg/cm}^2$$

Ved harde fiberplater, som ofte vil være nokså tynne, må hensyn tas til knekningsfaren. (Dette gjelder selvsagt også for større kryssfinérplater.) Det ser ut til at strekkfastheten for harde fiberplater er forholdsvis liten, men dette spørsmål trenger nærmere undersøkelse.

C. Lasker av massivt tre, i ren strekk eller trykk.

Større tykkelse enn 1" bør ikke brukes med mindre spesielle forholdsregler er tatt for å sikre at flatene er særlig jevne og glatte. Den tillatte skjærspenning i limfugen kan settes lik tillatt skjærspenning for vedkommende tresort.

Lasker og knuteplater må naturligvis dessuten kontrolleres på vanlig måte for bøyings-, resp. trykk- eller strekkspenninger.

Litteratur.

- [1] B. M. Radcliffe & H. Granum: *Nail Gluing of Wood, Plywood and Hardboard for structural Applications*. Purdue University, Agr. Experiment Station.
- [2] H. Granum & B. M. Radcliffe: *A Low-pitched Roof Truss with Nail-glued Connections*. Purdue University, Agr. Experiment Station.
- [3] C. F. Morrison: *Research on the Structural Use of Glued Laminated Timber*. National Research Council, Div. of Building Research, Ottawa, Canada. Technical Report no. 10, Nov. 1951.
- [4] H. Giese & S. M. Henderson: *Structural Application of Glue in Framing of Farm Building (part I-III)*. Agricultural Engineering, Feb. 1940, Dec. 1945 og Sept. 1950.
- [5] *Glued Timber Trusses in Stress-graded Material for a Hospital Roof*. Wood no. 18, s. 250-252, 1953.
- [6] L. J. Markwardt & A. D. Freas: *Approximative Methods of Calculating the Strength of Plywood*. U.S. Forest Prod. Laboratory, Report no. R 1630.
- [7] *Design of Wood Aircraft Structures*. Munition Board Aircraft Committee. U.S. Dept. of Defence, June 1951.

Summary.

Nail-Glued Timber Constructions.

The article is a report from an investigation carried out during the spring of 1954, by the author in cooperation with professor B. M. Radcliffe at the Wood Research Laboratory, Purdue University,

Indiana, U.S.A. The research work was a combined effort of this laboratory and the Small Homes Council of the University of Illinois, where the author was working as a visiting scholar during the winter of 1953/54.

The purpose of the investigation was to determine the feasibility of gluing structural wood, plywood and hardboard elements together using nails as the only means of providing alignment and pressure during the curing of the glue. Casein glue of a regular type (Grade A) was used for all experiments.

The specimens used for determining the effect of the number of nails, are shown in Fig. 6. Utmost to the right is a control-specimen glued under normal pressure of 100—150 lbs/sq.in in a compressometer. To simulate gusset-plates was used the type of specimen shown in Fig. 9 and Fig. 10. The findings from the first types of tests were carried over to more direct applicable constructions as shown in Fig. 12 and Fig. 13, and further to practical constructions partly in model-scale (Fig. 16—17) and partly in full scale. The design of some of these trusses are shown in Fig. 20,

21 and 22. Gusset-plates nail-glued to one side of the truss only were found adequate.

Some other conclusions were:

1) No externally applied pressure is required for casein glue bonds as long as the surfaces are in good contact over the entire glue area. Pressure, however, is usually required to secure such contact, and may be obtained by nails alone.

2) The minimum nail spacing suggested is shown in Fig. 23, which applies for moderately warped material, planed or sawn (rough). If sawn material is used, the wood should be sawn in dry condition with a regular rip-saw.

3) Suitable thickness of gusset plates are not over $\frac{1}{2}$ " plywood, and splice-plates of solid wood should not be more than 1" thick.

4) Gusset plates of plywood should be controlled in shear as well in the plane of the plies as in a plane perpendicular to the plane of the plies. The recommended stresses are 90 psi and 300 psi respectively. For hard fiberboard (Tempered Masonite) is recommended 100 psi and 250 psi on the same basis.

