

# Limte laminerte trekonstruksjoner og deres anvendelse

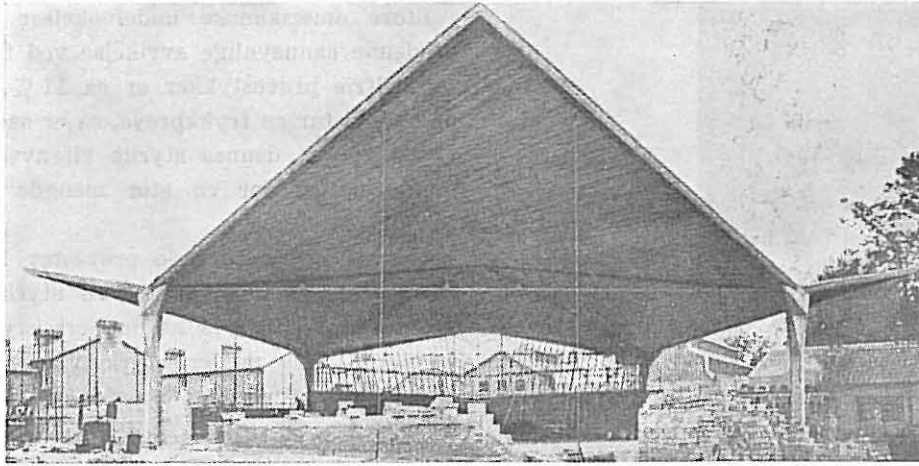
*Av lic. techn. Johannes Moe*  
*Norsk Treteknisk Institutt*

OSLO 1960

---

Særtrykk av BYGG, nr. 1, 1960

Norges byggforskningsinstitutt



# Limte laminerte trekonstruksjoner og deres anvendelse

Av lic. techn. Johannes Moe  
Norsk Treteknisk Institutt<sup>1</sup>

DK 624.011.1

## Innledning

I en laminert trekonstruksjon er ethvert tverrsnitt oppbygget av et antall lameller med tilnærmet parallell fiberretning, og disse er ved hjelp av et sammenføyningsmiddel brakt til fullt statisk samvirke (fig. 1). Sammenføyningsmidlet er som regel lim, men kan også være en kombinasjon av lim og spiker.

Laminerte trekonstruksjoner er ingen nyhet. Allerede i 1901 hadde tyskeren *Hetzner* tatt ut patent på laminering i Sveits. Og åtte år tidligere enn dette var det i Sveits bygget en hall med 40 m spennvidde hvor de bærende konstruksjoner var av laminert tre. En lang rekke laminerte konstruksjoner ble bygget i Sveits disse første årene.

Senere har Sverige og Holland vært foregangsland når det gjelder laminering. I begge disse land har man hatt kontinuerlig produksjon av laminerte trekonstruksjoner i om lag 40 år. I Sverige ble taket over hallen i Stockholm Centralstation bygget i 1925 med spennvidde på 24 m.

For om lag 25 år siden tok man opp produksjon av laminerte trekonstruksjoner i USA. Utviklingen der har vært voldsom de siste årene, og USA er i dag den største produsent i verden av laminerte

trekonstruksjoner. Det sies at forbruket av tre-materialer til laminering går opp i 750 000 std. pr år. Limforbruket er om lag 10 000 tonn pr år.

Tilsvarende utvikling har man også hatt i Canada, hvor 10 store og flere små bedrifter i løpet av ett år, 1957, øket sin produksjon med hele 53 % (se artikkel i BYGG nr 7, 1959).

Også i England er interessen for laminering stor. Man har en rekke større og mindre lamineringsbedrifter, og det drives omfattende forsøksvirksomhet som har brakt bemerkelsesverdige resultater.

Grunnlaget for denne stadig økende interesse for laminerte trekonstruksjoner ligger vel først og fremst i en stigende tillit til de moderne limtyper som fullt ut tilfredsstillende alle de krav man stiller. Limingen er ikke lenger et svakt ledd i konstruksjonen, men tvert imot sterkere enn selve trematerialet.

## Hvorfor laminere trekonstruksjonene

Hvilke fordeler oppnår en så ved å laminere trekonstruksjonene? Rent summarisk kan fordelene sies å være:

1. Øket styrke og stabilitet.
2. Gunstige arkitektoniske effekter.

<sup>1</sup> Foredrag holdt på Norges byggforskningsinstitutt, Blindern, 5. og 6. november 1959.

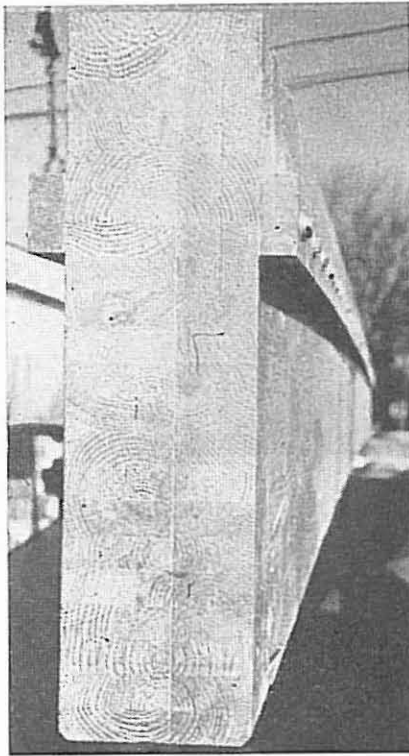


Fig. 1. Endetverrsnitt av laminert bjelke.

Sannsynlig avvikelse

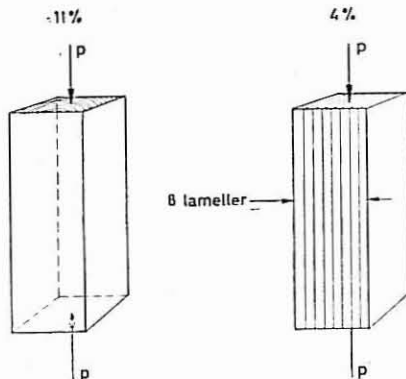


Fig. 2. Spredningen i trykkstyrken av feilfritt virke reduseres ved laminering.

3. Effektiv virkesutnyttelse.
4. Enkel transport og montasje.
5. Økonomi.

I det følgende diskuteres disse fordeler litt nærmere.

#### 1. Styrke og stabilitet

Trevirket er et naturprodukt og har som sådant sterkt varierende teknologiske egenskaper. Selv tilsynelatende feilfrie materialer av ett og samme treslag, viser innbyrdes variasjoner i fasthetsegenskapene. Statistisk kan disse variasjoner karakteriseres ved den såkalte «sannsynlige avvikelse» fra middelstyrken.<sup>1</sup>

Store amerikanske undersøkelser viser f. eks. at denne sannsynlige avvikelse ved trykkprøving av feilfrie prøvestykker er ca 11 %. Dette betyr at hvis vi tar en trykkprøve, så er sannsynligheten størst for at dennes styrke vil avvike 11 % fra middelverdien for en stor mengde prøvestykker (se fig. 2).

Om nå en tilsvarende prøvestav limes opp av eksempelvis 8 lameller, så vil styrken av denne prøvestav bestemmes av midlere styrke av de 8 lameller. Denne midlere styrke vil med størst sannsynlighet avvike bare 4 % ( $11/\sqrt{8}$ ) fra middelverdien for en stor mengde prøvestykker. Spredningen i fasthetsegenskapene hos en laminert konstruksjon er derfor langt mindre enn hos massivt virke, under ellers like betingelser.

Langt mere utpreget vil dette forhold bli når man har kvist og andre «feil» i materialene. Sannsynligheten er ganske liten for at man vil få kvister i alle lameller i ett og samme tverrsnitt av en laminert konstruksjon. Ved produksjonen vil jo også en av de viktigste oppgaver nettopp være å sørge for at slik opphopning av virkesfeil i ett og samme tverrsnitt ikke forekommer. I bøyede konstruksjoner har man dessuten den fordel at de svakeste lameller kan plasseres i indre deler av konstruksjonen hvor påkjenningene alltid vil være små.

Virkningen av virkesfeil i materialene vil derfor være betydelig mindre ved laminerte konstruksjoner enn ved massivt trevirke, og en kan med samme sikkerhetsfaktor regne med betydelig høyere tillatte spenninger ved laminerte konstruksjoner.

Laminerte konstruksjonselementer bygges opp av tynne lameller som på forhånd er tørket til et ganske bestemt fuktighetsinnhold. Man vil derfor unngå de uheldige egespenninger og sprekkdannelser som oppstår når massive bjelker av grove dimensjoner tørker. Svinnsprekker kan være konstruktivt meget skadelige, idet de lett kan forårsake skjærkraftbrudd. Mens man ved grove bjelke-dimensjoner av massivt tre på grunn av dårlig uttorkning ofte må regne med de reduserte tillatte spenninger som vår beregningsstandard foreskriver for vått virke, kan tillatte spenninger for tørt virke alltid anvendes for laminerte bjelker til innendørs bruk.

Nedbøyningene av trekonstruksjoner byr ofte på store problemer for konstruktøren. Ved laminerte konstruksjoner kan man meget lett redusere skadelige eller skjemmende nedbøyninger ved å produ-

<sup>1</sup> 50 % av alle prøvestykker vil ved normal fordeling avvike fra middelverdien med en verdi som er mindre enn den sannsynlige avvikelse. Et annet spredningsmål er standard avvikelse (engelsk, standard deviation). Oppgitt i prosent av midteltallet kalles den tilsvarende verdi relativ spredning (engelsk, coefficient of variation) som er 1.48 ganger den sannsynlige avvikelse.

sere bjelker med en viss overhøyde. Vanligvis gis bjelkene en så stor overhøyde at den under belastning av egenvekten pluss antatt rolig virkende nyttelaster blir tilnærmet rett.

Grove trekonstruksjoner blir i dag ansett for å ha ganske gunstige branntekniske egenskaper. Synspunktene har her forandret seg en god del i de senere år. Man taler ikke nå lenger så mye om «brennbare» i motsetning til «ikke brennbare» materialer (fig. 3). Ved historiens største sivile brann, i Livonia i 1953, ble en fabrikkbygning med 140 000 m<sup>2</sup> gulvflate, tilhørende General Motors, totalskadet. Det var en bygning som var klassifisert som ikke brennbar, med ikke brennbart maskineri, ikke brennbare råmaterialer, og ikke brennbare produkter.

I dag foretrekker man å tale om brannstabilitet, dvs. materialets evne til å tåle en brann uten å miste sin bæreevne. Her viser det seg at grove trekonstruksjoner oppfører seg meget pent.

Når treet brenner, forkulles de ytre lag, og det dannes på overflaten et isolerende skikt av trekull som forhindrer videre forplantning av brannen innover i konstruksjonen. I fig. 4 er vist en bjelke som har vært utsatt for standard brannforsøk i en time. Det opprinnelige tverrsnitt, som er vist med prikket linje, var 22 × 70 cm.

I en foreløpig omtale [1] av noen finske forsøk hevdes det at limte, laminerte konstruksjoner er gunstigere i brannteknisk henseende enn massive eller spikrede konstruksjoner med samme dimensjoner. Forkullingsdypet i laminerte bjelker av furu oppgis å være bare ca 18 mm etter 30 min., og ca 35 mm etter 60 min. Disse tall stemmer godt med amerikanske og tyske forsøksresultater [2, 3].

De branntekniske egenskaper kan ytterligere forbedres ved impregnering eller overflatebehandling [2].

I USA har man delvis tatt konsekvensen av disse nyere oppdagelser. I de siste par årene har man i en rekke stater redusert brannassuranspremiene med 35–60 % for spesielle grupper av trekonstruksjoner [4]. Cook County Fire Rating Bureau, som er en offentlig institusjon som foretar den branntekniske klassifikasjon av bygninger i Chicago og omegn, er kommet opp i den paradoksale situasjon at de fra i vår av, under bestemte betingelser, klassifiserer trekonstruksjoner hvis minste dimensjon er minst lik 4" som ikke brennbare, dvs. på like linje med stål. Dette er altså et skritt på veien til full anerkjennelse av treets gunstige brannstabilitet. I USA venter man at de laminerte konstruksjoner skal vinne stadig større utbredelse i skoler og liknende bygninger etter de siste revisjoner av brannklassifikasjonene.

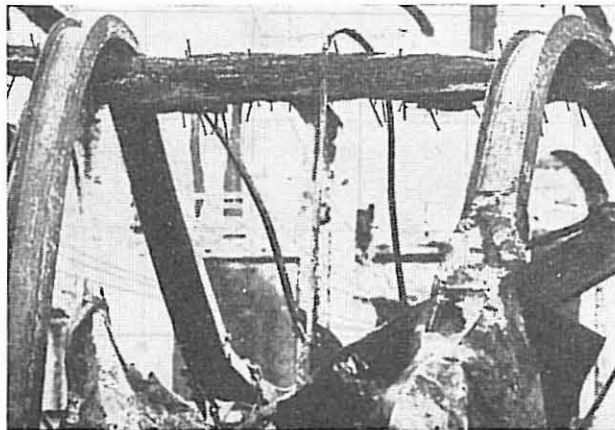


Fig. 3. Nyere brannforsøk viser at limte bjelker er enda bedre enn de her viste spikrede laminerte bjelker.

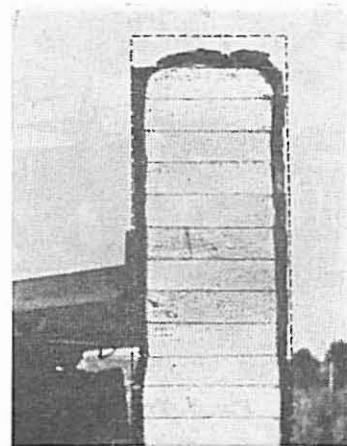


Fig. 4. Laminert bjelke etter 1 times standard brannforsøk.

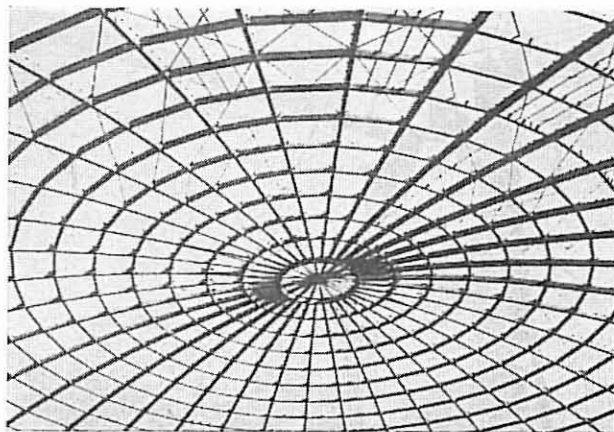


Fig. 5. Laminerte buer og åser anvendt i en kuppel som dekker over et område med 92 m diameter.

## 2. Arkitektoniske synspunkter

Tre har en romvekt som bare er 20 % av betongens, og tåler samtidig tillatte spenninger som er høyere enn for betong av de vanligvis benyttede kvaliteter. Det er derfor innlysende at man konstruerer meget slanke og elegante trekonstruksjoner (fig. 5). Ved laminering kan disse konstruk-

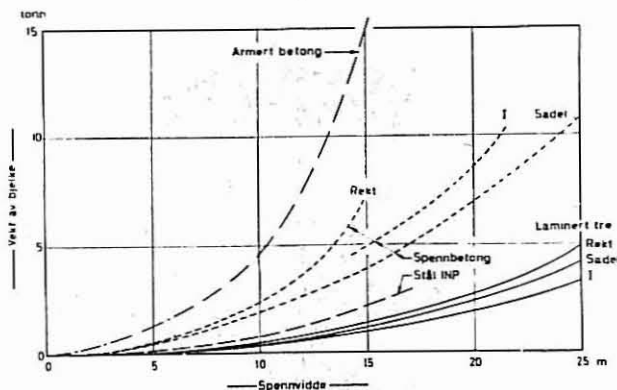


Fig. 6. Vekter av forskjellige takbjelker.  
(Antatt  $p = 1.0$  t/m.)



Fig. 7. Transport av laminerte bjelker.

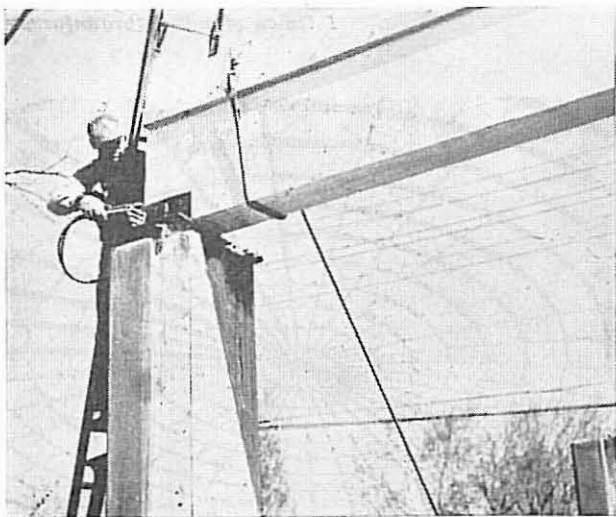


Fig. 8. Laminert bjelke settes på plass på toppen av en betongsøyle.

sjoner også med letthet gis den form man måtte ønske.

Laminerte trekonstruksjoner uten dekkende overflatebehandling har et meget tiltalende utseende. Treets overflate er livfull og dekorativ. Laminerte trekonstruksjoner er derfor vel egnet til bruk i småhus like så vel som i større bygninger, og må

være et takknemlig materiale å arbeide med for arkitektene.

Laminerte trekonstruksjoner vil, som tidligere nevnt, vanligvis ikke sprekke nevneverdig, men beholde det tiltalende utseende så lenge de ytre påvirkninger er moderate. Hvis man derimot er ufornuftig nok til å montere varmeapparater kloss inn til de bærende rammekonstruksjoner i en hall, kan det nok tenkes at varmen forårsaker så hard uttorking at konstruksjonene sprekker opp.

### 3. Virkesutnyttelse

Over alt i den siviliserte verden er det i dag langt vanskeligere å skaffe grove, massive trebjelker enn det var før, og prisen på slike bjelker er relativt høy. Ved laminering kan man bygge opp de største bjelker av smått virke. Korte bordbiter skjøtes til store lengder og bygges opp til svære bjelker. Trevirke av relativt lav kvalitet kan plaseres i bjelkens indre hvor spenningene er lave. Det er klart at denne meget effektive utnyttelse av trevirke, som kan hende ellers ville være av relativt lav verdi, bidrar til å øke konkurransevnen for laminerte trekonstruksjoner.

### 4. Transport og montasje

Laminerte trekonstruksjoner har meget liten vekt sammenliknet med tilsvarende konstruksjoner av stål og betong. En sammenlikning mellom vektene av forskjellige bjelketyper med varierende spennvidde er vist i fig. 6. Alle bjelker er dimensjonert for egenvektsbelastning pluss en nyttelast på 1.0 t/m, og vekten av bjelkene er vist som funksjon av spennvidden. Diagrammet viser med all tydelighet at de laminerte trekonstruksjonene er lette, hvilket betyr relativt lave transport- og monteringsutgifter.

Under transporten bør konstruksjonene beskyttes godt mot sol og regn. I USA benytter man vannavvisende papir av forskjellige typer (fig. 7). Hvis konstruksjonen skal være synlig i en bygning hvor det stilles krav til utseendet, bør alle kanter beskyttes godt under transporten. Spesiellagde sko bør benyttes under oppheisningen av konstruksjonen, slik at eventuelle stropper ikke beskadiger kantene.

Befestigelse av laminerte trekonstruksjoner til understøttelsene kan i de fleste tilfelle gjøres meget enkelt (fig. 8). Befestigelse av tak og vegger til de bærende konstruksjonene er jo også meget lett, idet man i stor utstrekning fester ved spikring. Montasjetiden kan derfor ved skikkelig planlegging reduseres til et minimum.

## 5. Økonomi

Det er ingen enkel sak å si noe på det nåværende tidspunkt om de laminerte konstruksjoners økonomiske konkurransevne her hjemme. I USA regner man at materialene koster 60—70 % av totalprisen, mens lamineringsutgiftene utgjør 30—40 % [5]. Det er mulig at disse tall også er noenlunde riktig for norske forhold. Man skulle i alle fall tro at det vil være mulig å bringe lamineringsutgiftene ned på dette nivå når produksjonsapparatene er fullt utbygget, arbeidslønnene er som kjent rimeligere her i landet enn i USA. Det angis videre at laminerte trekonstruksjoner gjerne viser seg å bli ca 10 % rimeligere enn stål.

Hollandske og belgiske lamineringsbedrifter regner med å være konkurransedyktige overfor stål og betong for bjelker med spennvidder over 10—12 m. Spennbetong sies å være en hardere konkurrent. For store spennvidder (30—50 m) blir det oppgitt at laminerte trekonstruksjoner koster bare halvparten av konstruksjoner i armert betong [6].

Et hollandsk firma oppga i 1956 at det kunne levere rammekonstruksjoner transportert fråm til byggeplassen for om lag 850 kr/m<sup>3</sup>. I denne pris var inkludert en forholdsvis kostbar overflatebehandling og impregnering. Prisen var i dette tilfelle altså ca 2,25 × materialkostnad.

### Anvendelse

Laminerte konstruksjoner er, naturlig nok, spesielt mye anvendt i forbindelse med store haller, kirker, auditorier, gymnastikksaler og andre sportsanlegg, store shopping-centra og lignende. I slike bygg benyttes gjerne rammekonstruksjoner som er meget enkle å framstille i laminert tre.

I USA regner man i dag med at hele 80 % av alle nye kirker blir bygget av laminerte trekonstruksjoner (fig. 9).

Ved verdensutstillingen i Bryssel, sommeren 1958, så man en lang rekke bygninger i laminert tre, blant annet den norske paviljongen som hadde rette bjelker med 26 m spennvidde.

Laminerte bjelke- og rammesystemer blir i USA benyttet en god del i forbindelse med skolebygg, og har delvis også vært benyttet i boligbygging. Det kan vel godt tenkes at et bæresystem av laminerte bjelker og massive eller laminerte søyler kan komme til utbredt anvendelse i boligbygging. Et slikt bæresystem kombinert med ikke bærende monteringsferdige veggelementer kan tenkes å by på økonomiske så vel som tekniske fordeler. Fig. 10 viser laminerte bjelker i et norsk boligbygg.

Laminerte bukonstruksjoner har vist seg særlig vel egnet til landbruksbygninger. I USA seriefram-



Fig. 9. Laminerte rammekonstruksjoner i amerikansk kirke.

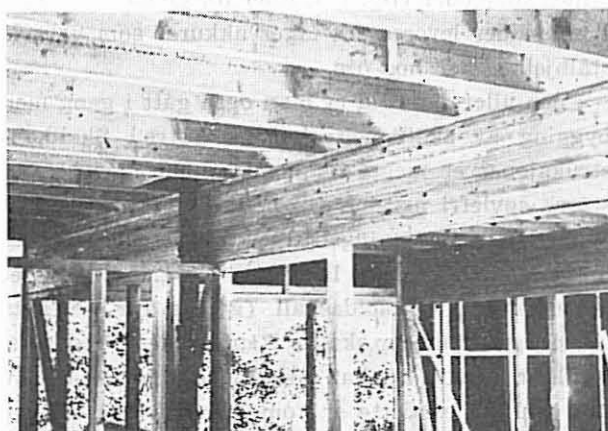


Fig. 10. Laminerte bjelker i norsk boligbygg.

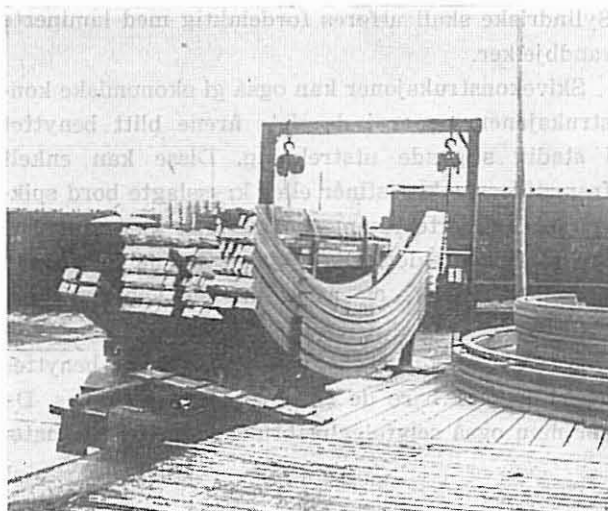


Fig. 11. Serieproduserte buer til landbruksbygninger.

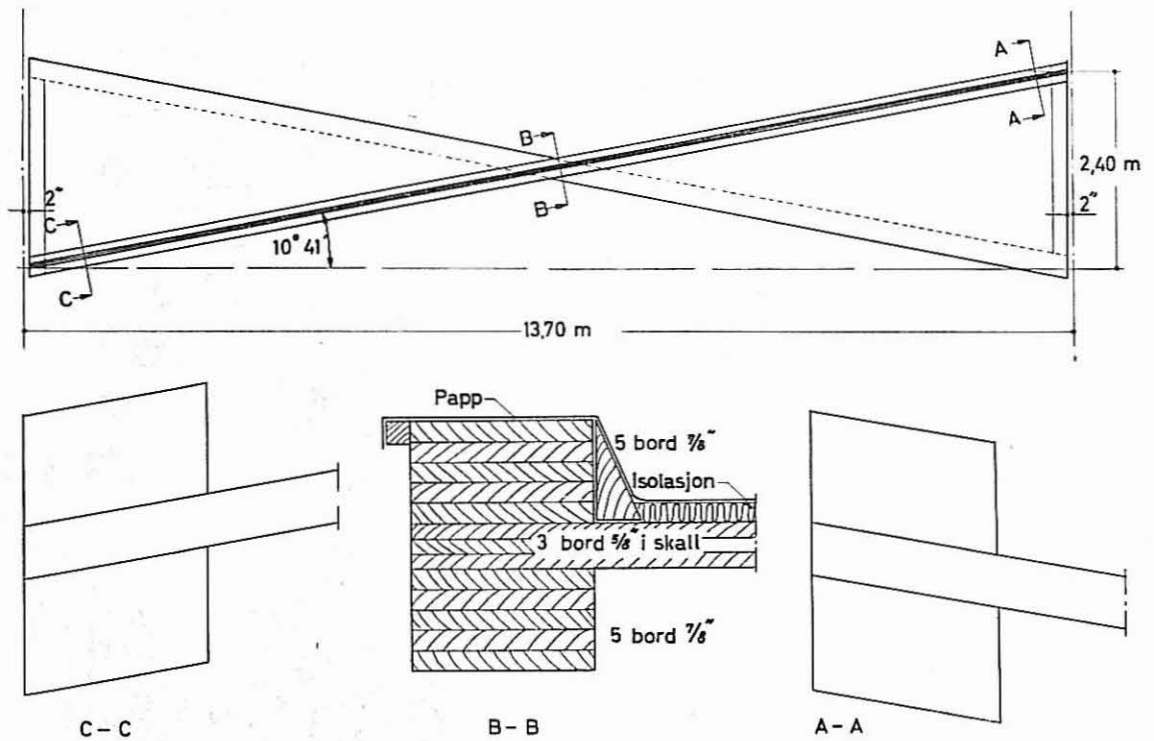


Fig. 12. Hyperbolsk paraboloideskall av tre.<sup>1</sup>

stilles slike buer (fig. 11). Buer for de mest kurante spennvidder leveres fra lager akkurat som valsede stålbjelker her hos oss.

I den aller siste tid er man også gått i gang med bygging av skallkonstruksjoner i tre.<sup>1</sup> Skallkonstruksjoner er meget økonomiske når man ønsker større søylefri arealer. Skallene må vanligvis forsynes med avstivningsbjelker langs kantene, og disse utføres enklest laminert. I fig. 12 vises et hyperbolsk paraboloideskall (gjerne for korthets skyld også kalt h.p.skall). Randbjelkene ved slike skall er vridd. De kan selvfølgelig høvles til av helt virke, men dette er komplisert. Langt enklere framstilles bjelkene ved laminering, hvorved vridningen foretas idet lamineringstrykket påføres. Sylindriske skall utføres fordelaktig med laminerte randbjelker.

Skivekonstruksjoner kan også gi økonomiske konstruksjoner, og er i de siste årene blitt benyttet i stadig stigende utstrekning. Disse kan enkelt framstilles av kryssfinér eller krysslågte bord spikret på laminerte rammer. Hvis man kler rammene inn på begge sider, kan varmeisolasjon legges inn i mellomrommet, og man har en ypperlig konstruksjon.

Laminerte konstruksjoner kan også benyttes utendørs, når bare de riktige limtyper brukes. Da bør man også selvfølgelig bruke impregnerte mate-

rialer. I USA har man bygget en rekke bruer for jernbaner og veier i laminert tre.

Spesielt synes forholdene å ligge vel tilrette for bruk av laminert tre til de mange gangbruer man må regne med å bygge over våre veier og gater i de nærmeste år framover.

Til slutt kan nevnes at laminerte buer i en årrekke har vært anvendt i båtbyggingsindustrien, f. eks. til spant i minesveipere.

#### Dimensjonering

Dimensjoneringen byr på få alvorlige problemer ut over det man er fortrolig med fra andre konstruksjonsmaterialer. Som innledningsvis nevnt, regnes alle lameller i tverrsnittet å virke sammen i et massivt tverrsnitt.

Regler for dimensjoneringen er gitt i Norsk Standard 446 som er basert på rettlinjet spenningsfordeling over bøyede tverrsnitt og tillatte spenninger. De tillatte spenninger kan som påvist foran settes høyere for laminerte konstruksjoner enn for massivt tre. NS 446 gir tillegg på mellom 20 og 40 %.

Ved framstilling av krumme konstruksjonselementer påføres lamellene ekstra spenninger, som det må tas hensyn til. De tillatte spenninger skal for alle tverrsnitt på det krumme parti multipliseres med en reduksjonsfaktor som i NS 446 er satt lik

$$1,0 - 2000 \left( \frac{t}{R} \right)^2$$

hvor  $t$  er lamelltykkelsen og  $R$  er krumningsradien.

<sup>1</sup> Det henvises til artikkel av dr. techn. R. Schjodt i BYGG nr 6, 1959.

Man bør også være oppmerksom på de radiale spenninger som oppstår når et krumt konstruksjonselement påkjennes på bøyning. Et bøyingsmoment som forsøker å rette ut buen, slik som vist i fig. 13, forårsaker radiale strekkspenninger. Da treets strekkstyrke på tvers av fiberretningen er lav, kan disse spenninger bli kritiske.

Stabilitet og deformasjoner er de mest kritiske dimensjoneringsfaktorer for laminerte trekonstruksjoner. For laminerte trekonstruksjoner er forholdet mellom elastisitetsmodul og tillatte spenninger ca 750. For betong er det tilsvarende forhold 3000. Ved full utnyttelse av de tillatte spenninger får vi altså med tre langt slankere konstruksjoner enn med betong, men på samme tid større nedbøyninger og lavere stabilitet.

Nedbøyningene kan, som tidligere nevnt, delvis begrenses ved å bygge inn overhøyde i konstruksjonene. Dette bør alltid gjøres ved rette bjelker med større spennvidder, som ellers vil få skjemmende nedbøyninger på midten allerede under egenvektsbelastninger.

Ved bukonstruksjoner bør knekksikkerheten alltid undersøkes, og dette er ikke alltid like enkelt. NS 446 foreskriver for rette trykkledd en knekksikkerhet på 3,0.

Bjelkers sidestabilitet bør også vies nødvendig oppmerksomhet. Bjelker med rektangulært tverrsnitt som er fastholdt sideveis i overkant, bør eksempelvis ikke ha et høyde/bredde-forhold større enn 5.

I følge NS 446 må man regne med samme elastisitetsmodul for laminert som for massivt tre. Det er imidlertid rimelig å anta at laminerte bjelker i virkeligheten har høyere elastisitetsmodul enn massivt tre, og undersøkelser vil i den nærmeste framtid bli satt i gang på dette felt av Norsk Treteknisk Institutt i samarbeid med Norges byggforskningsinstitutt.

### Detaljer

Man bør ikke konstruere rammehjørner med altfor liten krumningsradius. Vanligvis må forholdet mellom krumningsradius og lamelltykkelse ikke være mindre enn 150 (i spesielle tilfelle 100) (fig. 13). Riktignok kan minste krumningsradius delvis justeres etter ønske ved valg av lamelltykkelsen, men det vil være innlysende at meget tynne lameller vil fordyre konstruksjonen.

Det er også meget viktig å vie problemer i forbindelse med mulige vannansamlinger all mulig oppmerksomhet. Her må man da ta hensyn til at konstruksjonen kan bli stående utildekket under nedbør i byggetiden.

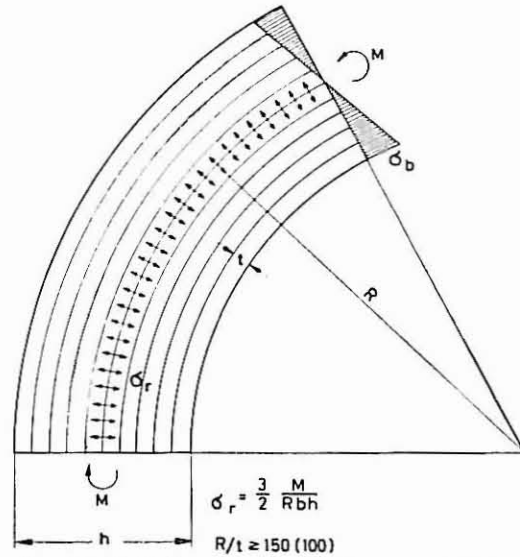


Fig. 13. Radiale spenninger i krumme bjelker.

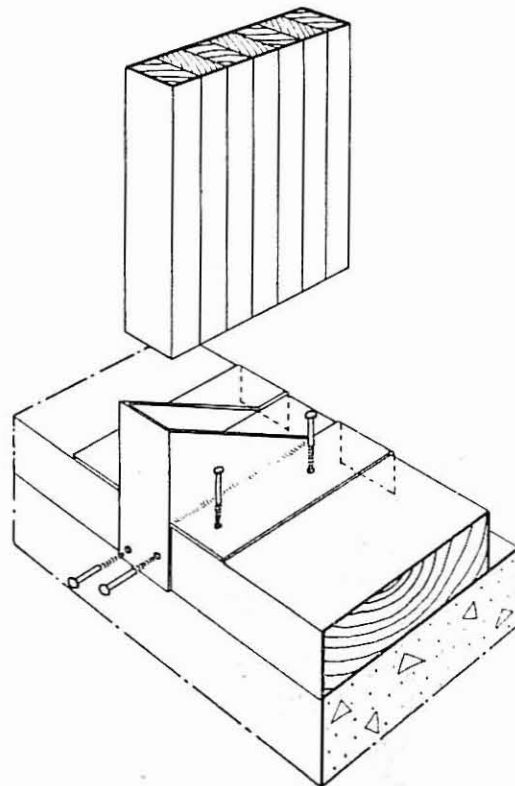


Fig. 14. Fotpunkt for lette rammer.

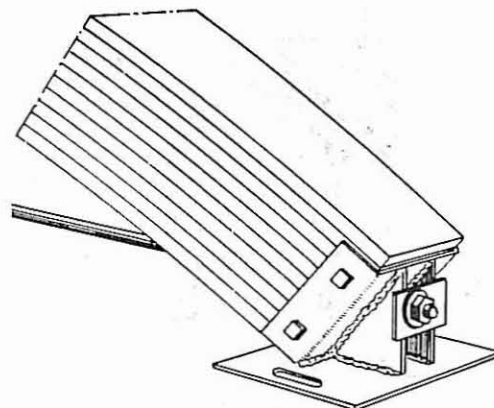


Fig. 15. Fotpunkt for bue med strekkbånd.



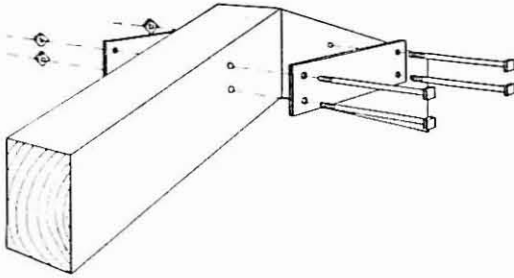


Fig. 16. Toppunkt i treleddramme.

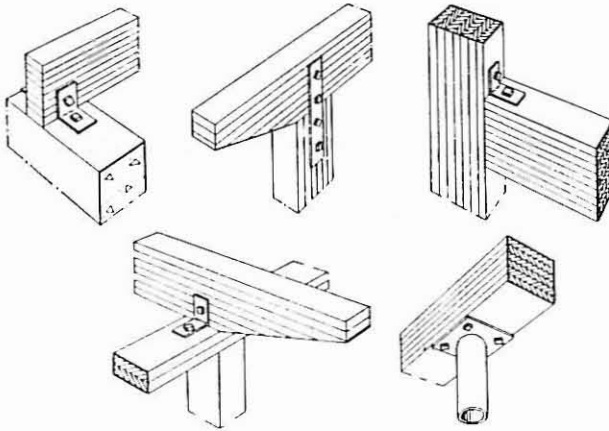


Fig. 17. Eksempler på befestigelse av bjelker til understøttelse.

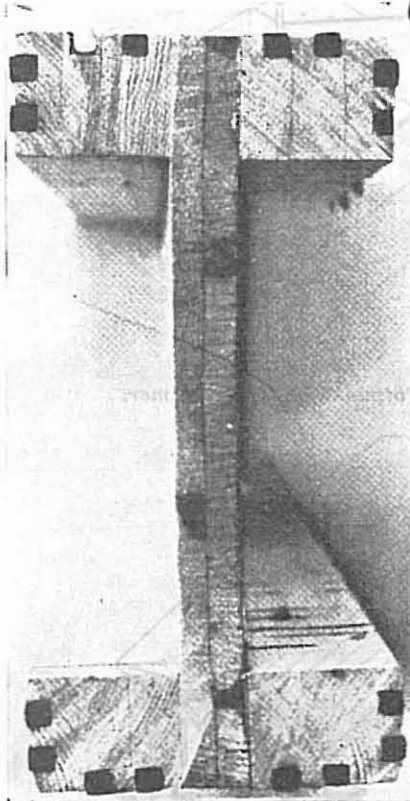


Fig. 18. Tverrsnitt av en armert trebjelke.

Befestigelser av laminerte trekonstruksjoner skjer ofte enklest ved hjelp av stålbeslag. I fig. 14 er vist et beslag man benytter en god del i USA, ved foten av låvebuer med spennvidde opptil ca 15 m.

Ved større buekonstruksjoner blir selvfølgelig disse detaljer en del mere kompliserte (fig. 15).

Toppleddet i treleddrammer kan for mindre spennvidder utføres som vist i fig. 16. Ofte vil man dog foretrekke å legge inn en eikekloss som da overfører skjærkrefter i leddet og dessuten gir bedre rotasjon. Vanligvis vil man da ha bare en bolt i hver rammedel.

Fig. 17 viser en rekke eksempler på mulige befestigelsesdetaljer mellom bjelker og søyler.

Hovedhensikten med å vise disse eksempler er bare å påpeke hvor enkelt det hele er. Man kan skru og spikre alt det man ønsker. Montasjen går hurtig og greit.

#### Avslutning

Formålet med denne artikkel har vært å gi et lite innblikk i de rike muligheter laminert tre har som konstruksjonsmateriale i moderne bygninger.

Mange års forskning på en rekke forskjellige områder ligger bak disse konstruksjoner — en forskning som stadig søker nye veier. Fig. 18 viser en armert trekonstruksjon. Slike konstruksjoner er foreløpig på forsøksstadiet, selv om et par småbuer også har vært oppført i armert tre [7]. Det er innlysende at problemene i forbindelse med armering av tre er mange, men fordelene er også innlysende, så det er gode grunner for å undersøke mulighetene.

Man er også begynt å tale om forspenning av laminerte trebjelker. Her er mulighetene trolig enda større, og kan hende også vanskelighetene mindre vesentlige.

At tre som konstruksjonsmateriale er inne i en renessanse, synes hevet over en hver tvil.

#### Litteratur:

- [1] Anon. *De brannhemmende egenskaper i trekonstruksjoner og brannsikring*. Trevarer, Vol. 5, Nr 9, 1959, s. 20, 2 s.
- [2] Dorn, Hans: *Brandverhalten des Holzes mit und ohne Feuerschutz*. Holz-Zentralblatt, Vol. 85, Nr 123, 1959, s. 1641, 2 s.
- [3] *Wood Handbook Agriculture Handbook No 72*. US Government Printing Office, Washington D.C. 1955, s. 339.
- [4] Anon. *Fire Insurance Rates on Wood Lowered*. Southern Lumberman, Vol. 199, Nr 2481, 1959, s. 21.
- [5] Eby, R. E.: *In Laminating — the Surface Hasn't Been Scratched*. Wood & Wood Products, March 1959, pp. 42—43.
- [6] Levin, E.: *A Review of the Laminated Timber Industry in Western Europe*. Timber Development Association, Nov. 1956, 17 s.
- [7] Hjalmar Granholm: *Armerat trä*. Chalmers Tekniska Högskolas Handlingar, Nr 154, Gumperts Förlag, Göteborg, 1954, 96 s.

