



Det här verket har digitaliserats vid Göteborgs universitetsbibliotek och är fritt att använda. Alla tryckta texter är OCR-tolkade till maskinläsbar text. Det betyder att du kan söka och kopiera texten från dokumentet. Vissa äldre dokument med dåligt tryck kan vara svåra att OCR-tolka korrekt vilket medför att den OCR-tolkade texten kan innehålla fel och därför bör man visuellt jämföra med verkets bilder för att avgöra vad som är riktigt.

This work has been digitized at Gothenburg University Library and is free to use. All printed texts have been OCR-processed and converted to machine readable text. This means that you can search and copy text from the document. Some early printed books are hard to OCR-process correctly and the text may contain errors, so one should always visually compare it with the images to determine what is correct.



Rapport

R 60:1973

**Träförband med spik-
plåtar. En undersökning
av spikgruppers förskjut-
ning och vridning**

Bengt Norén

 **Byggforskningen**



Träförband med spikplåtar

En undersökning av spikgruppers förskjutning och vridning

Bengt Norén

I föreliggande rapport redovisas ett projekt som mera generellt inriktats på att bestämma sammanhållna spikgruppers bärförmåga med användning av neutrala spikplåtar (referensplåtar), vilket kan ligga till grund för en bedömning av kommersiella spikplåtars bärförmåga i olika träförband samt för möjligheterna att utveckla effektivare spikplåtar.

Undersökningen klarlägger de faktorer som bestämmer spikgruppernas förmåga att överföra krafter från plåt till trä, dvs generella förutsättningar för spikplåtens förankringshållfasthet och förskjutning i förhållande till virket. De erhållna resultaten bör kunna användas som grund för en bedömning av kommersiella plåtars förankringssäkerhet utan att man för den skull behöver prova varje plåttyp.

Målsättning

Övergången från traditionella spikförband i träkonstruktioner till förband med spikplåtar (spikgruppsplåtar) har medfört delvis nya frågeställningar med avseende på förbandens hållfasthet, eftergivlighet och utförande.

Avsaknaden av särskilda anvisningar för dimensionering av spikplåtsförband ledde till att Nordiska kommittén för byggbestämmelser (NKB) 1969 utgav preliminära riktlinjer för hållfasthetsberäkning och provning av spikplåtar.

I detta läge startades vid Svenska Träforsningsinstitutet dels det ovan nämnda projektet dels en undersökning av längdskarvar och fackverksförband utförda med spikplåtar av ett vanligt förekommande fabrikat samt en utveckling och typprovning av takstolar hopfogade med spikplåtsförband. Det senare projektet har resulterat i två rapporter från Byggeforskningen (Gunnar Edlund, 1971, 1973) samt ett typgodkännande av Statens Planverk (1971).

Den föreliggande undersökningen begränsades till "ren förankringshållfasthet". Detta innebär, dels att fogytan förlades så långt från virkeskanterna att de randvillkor som dessa medför inte fick inflytande på resultaten, dels att plåtarna (om spikplåten definieras som en plåt med utstickande spikar) var så tjocka att töjningen i plåten inte kunde påverka spikgruppens förankring. Avståndet från spikplåtarna till virkets kantsidor och ändar samt plåthållfastheten sätter nämligen i många förband gränser

för möjligheten att utnyttja förankringshållfastheten (se Edlund, 1973).

Avsikten var också att kontrollera effekt av vridande moment på såväl eftergivlighet som hållfasthet. Som särskilt viktig bedömdes frågan om förbandens eftergivlighet och möjligheten att uttrycka denna med en enkel funktion eller eventuellt en konstant.

Metod

Provkropparna bestod av ett mellanstycke av trä (furu eller gran) och två sidstycken av tjock plåt, således av tvåskäriga och symmetriska förband. De tjocka plåtarna var försedda med hål för spikar i ett mönster som fullt utnyttjat gav spikgruppen en av plåtarnas orientering oberoende bärförmåga. Genom att använda delar av mönstret kunde spikgruppens format, storlek och anisotropi varieras. Spiklängd och spikdiameter varierades. Däremot provades inom undersökningens ram endast spikar med cirkulärt tvärsnitt. Plåtarna belastades på sådant sätt att kraften överfördes till virket uteslutande av tvärkrafter på spikarna, vanligen representerade av en ekvivalent skjuvpåkänning i fogen (spikgruppsytan). Vridande moment erhöles med ett enkelt länksystem och kombination av kraft och moment helt enkelt genom att kraften anbringades excentriskt till spikgruppernas centrum.

Särskild uppmärksamhet har ägnats förskjutningar (plåtarnas translation och rotation relativt träet) upp till ca 1/3 av brottlasten med hänsyn till beräkning av deformationer av brukslast (tillåten last). I undersökningen har ca 500 förband provats.

Resultat. Hållfasthet

Som brottgränstillstånd kan i praktiken användas 2 mm förskjutning mellan plåt och trä. Motsvarande kraft R , ligger 10 à 20 % under den formella brottlasten R_b (den största kraft varmed förbandet kan belastas utan att förskjutningshastigheten överstiger värdet 1 mm per min).

Spikgruppens brottlast erhålls som summan av de enskilda spikarnas brottlast upp till ett gränsvärde för spiktätheten n/A (n st spikar på fogytan A). Andra diskuterade mått på spiktätheten är nd/A och andelen spiktvärsnitt (F) i fogytan, F/A . För spikar med diameter 5 mm antyder resultaten att gränsvärdet ligger vid 0,003 spikar per mm^2 .

Byggeforskningen

Sammanfattningar

R60:1973

Nyckelord:

träförband, spikplåtar, förankringshållfasthet

Denna rapport hänför sig till anslag C445 från Statens råd för byggnadsforskning till Svenska träforskningsinstitutet, Stockholm.

I byggeforskningens rapportserie har tidigare två rapporter om spikplåtar som träförbindare publicerats (R40:1971, R52:1973, författare Gunnar Edlund).

Edlund, G. 1971. *Längdskarvning av träbalkar med spikplåtsförband. En ny metod för dimensionering av spikplåtsförband använda för längdskarvning av virke.* (Statens institut för byggnadsforskning) Stockholm. Rapport R40:1971. 228 s., ill. 28 kr.

Edlund, G. 1973. *Spikplåtar som förbindare i träfackverk* (Statens institut för byggnadsforskning) Stockholm. Rapport R52:1973. 326 s., ill. 42 kr.

Rapporterna utmynnar i dimensioneringsregler för längdskarvning av trä, utförande av knutpunkter och hela takstolar i trä med spikplåtar som förbindare samt ger regler för placeringen av spikplåtarna.

Beräkningsmetoderna vid längdskarvning av träförband med spikplåtar har typgodkänts av Statens Planverk, typgodkännande T 1623/71, och beskrivs i sammandrag i Byggeforskningens informationsblad B16:1971, 15 s., 5 kr.

UDK 694.2:674.028.5

SfB (29)

ISBN 91-540-2109-1

Sammanfattning av:

Norén, B. 1973. *Träförband med spikplåtar. En undersökning av spikgruppers förskjutning och vridning.* (Statens institut för byggnadsforskning) Stockholm. Rapport R60:1973, 76 s., ill. 18 kr.

Rapporten är skriven på svenska med svensk och engelsk sammanfattning.

Distribution:

Svensk Byggtjänst
Box 1403, 111 84 Stockholm
Telefon 08-24 28 60

Grupp: konstruktion

Gränsvärdet är diameterberoende (vilket också gäller det gränsvärde för spikthätheten över vilket spikarnas bärförmåga ej ökar). En jämförelse med spikthätheten vid vanliga spikförband visar att spikplåtarna är överlägsna då tillgänglig fogyta är begränsad och provningsresultaten antyder teoretiska möjligheter att öka spikplåtarnas bärförmåga ytterligare något.

Som framgår av Svensk Byggnorm 67 får vinkeln mellan kraftriktning och fiberriktning betydelse för bultars bärförmåga om diametern är större än 6 mm. Vid $d \geq 25$ mm räknas bärförmåga tvärs fibrerna till hälften av bärförmågan längs fibrerna. I spikförband räknar man inte med ett vinkelinflytande trots att spikdiametern kan gå upp till 8 mm. Inkonsekvensen är skenbar och acceptabel med hänvisning till att minsta tillåtna spikavstånd relativt diametern är större än minsta tillåtna bultavstånd. Vinkelinflytandets samtidiga beroende av spikdiameter och spikthäthet är tydlig i resultaten av spikplåtsprovningarna. Inget vinkelinflytande på brottestaten framkom i förband med spikar $d = 2,5$ mm. Vid förband med spikar $d = 5$ mm i plåtarna uppträder ett sådant vinkelinflytande vid spikthätheten $n/A = 0,0031$, men inte vid den närmast lägre provade spikthätheten 0,0019.

Ehuru resultaten ifråga om inverkan på brottestaten av vinkeln mellan kraftriktning och fiberriktning kvalitativt stämmer väl med resultat från provning av kommersiella plåtar, stämmer inte det gränsvärde för spikthätheten vid vilket vinkelinflytandet blir påtagligt. Enligt resultaten från provningen av "referensplåtarna" borde gränsen F/A inte vara lägre än $0,002 \pi d^2/4 = 0,04$. Plåtar typ Hydro-Nail E, Gang-Nail m fl med $F/A \approx 0,03$ borde följaktligen teoretiskt sett inte ha vinkelberoende tillåtna laster. I typgodkännande för plåtar reduceras tillåten påkänning med 40 å 60 % vid belastning vinkelrätt mot fibrerna i enlighet med resultat av utförd typprovning. Orsaken är delvis beroende av plåtarnas anisotropi eftersom reduktionen också skall täcka fallet att de platta spikarna står med kanten mot kraftriktningen. En viktig orsak är emellertid att förbanden för typprovning av bärförmågan i vinkel mot fibrerna inte ger en ren förankringshållfasthet. Virkesbredden och avståndet från plåtarna till virkesändarna är inte tillräckliga för att ge ett resultat som inte är på-

verkat av dessa randvillkor, vilket också framgår av att virket spricker. Innan man lärt sig beräkna de ofta dimensionerande påkänningarna i virket utanför plåtarna (företrädesvis dragning tvärs fibrerna och skjivning), kan dock det för typprovning föreskrivna förbandet anses berättigat.

Vid vridning (rotation av referensplåtarna) blev vridande momentets brottvärde minst 50 % större än vad en beräkning med kraftfördelning enligt elasticitetsteorin ger och 20 % större än vad plasticitetsteorin ger. Kombination av translation och rotation gav liknande resultat och resultaten kan — tämligen approximativt — sammanfattas i en förenkling av de för kommersiella plåtar tills vidare antagna uttrycken (NKB, 1970)

$$\tau_{\alpha} \leq (1 - 0,08d \cdot \sin \alpha) \cdot \tau_0$$

$$2 \leq d \leq 5 \text{ mm}$$

$$\tau_{\alpha} + \tau_M \leq 1,5\tau_0$$

där τ_{α} är förankringspåkänning (skjuvpåkänning) och $\tau_0 = \tau_{\alpha=0}$ tillåtet värde i fiberriktningen och där skjuvpåkänningen av vridning (τ_M) förutsättes beräknad enligt elasticitetsteorin.

Uttrycken ger en viss, av provningsresultaten ej säkerställd inverkan, av vinkeln mellan kraft och fiber även för spikar med liten diameter.

Förskjutning

Förskjutningarna och deras beroende av olika faktorer, bl a spikthäthet, har med använd mätmetod kunnat studeras ingående. I flertalet fall kan lastförskjutningskurvans första del betraktas som linjär. Upp till 0,2 mm förskjutning mellan spikplåt och trä är det sålunda i det närmaste likgiltigt om förbandets styvhet anges med lutningen av en till kurvan anpassad linje eller lutningen av sekanten från origo. Kvoten förskjutningspåkänning/förskjutning har i analogi med skjuvmodul = skjuvpåkänning/skjuvning benämnts förskjutningsmodul (k). Benämningen användes här även då påkänning = kraft per ytenhet utbytes mot kraft per spik. Förskjutningsmodulen visade sig vara proportionell mot spikthätheten åtminstone upp till den största provade spikthätheten. Ett medelvärde kunde därför anges: $k_{spik} = 460d$ N/mm (d i mm). Vinkeln mellan kraftriktning och fiberriktning kunde påvisas få betydelse vid en spikthäthet $n/A \geq 0,003$. För 30 %-fraktilen föreslås uttrycket (gällande per ytenhet spikplåt)

$$k = k_{spik}(n/A) = 400d(n/A) \cdot (1 - 0,08d \cdot \sin \alpha)$$

Förhållandet mellan detta k (N/mm³) och skjuvhållfastheten τ_{α} (N/mm²) är approximativt 1,6 (mm⁻¹). För vanliga spikförband är motsvarande förhållande ca 0,5 (vid diameter 5 mm), dvs den relativa styvheten hos spikplåtsförband är stor. Detta beror till stor del på att det är fråga om förband mellan stål och trä — spiken rör sig endast på den ena sidan av fogen.

Vridstyvheten i fogen definieras som $M/\theta = k_M I_p$, där M är vridande moment, θ rotationen, I_p fogytans (spikgruppens polära tröghetsmoment) och k_M en förskjutningsmodul. Resultaten kan sammanfattas så att ovan återgivna uttryck på k med $\alpha = 0$ kan användas för beräkning av k_M . Då såväl förskjutningskraft som vridande moment angriper förbandet kommer man däremot i regel till för höga värden på translation och rotation, om man tillämpar superpositionsprincipen utgående från detta värde på såväl k som k_M .

Vid beskrivning av större förskjutningar har ett relativt kraftmätt använts, nämligen kvoten mellan den aktuella kraften och den kraft som ger 2 mm förskjutning mellan spikplåt och trä. Härigenom blir förskjutningar i förband av olika styrka (spikplåtsstorlek) och i olika typer av mekaniska förband jämförbara. Resultaten av provningarna har inte givit några säkra utslag för de olika variablernas inflytande på relativkurvans form.

Slutsats

Den viktigaste delen av undersökningens mål är uppnådd: en uppsättning provningsdata för referensplåtar har bestämts med vilka resultat av mer begränsade och typinriktade provningar av spikplåtar kan jämföras. Därutöver kan resultaten tillämpas mera direkt för spikförband mellan stålplåt och trä, t ex vid vindförankring av takstolar med bandstål eller vid förband i limträkonstruktioner (glue-lam rivets).

I målsättningen för undersökningen ingick också att prova olika mönster av spikplacering, företrädesvis med spikar av rektangulärt tvärsnitt. Detta är inte utfört. Den använda tekniken lämpar sig dock väl för sådana undersökningar som ett medel att utveckla effektiva spikplåtar.

Jointing of timber using nail plates

A study of the displacement and rotation of nail groups

Bengt Norén

This report describes a project which had the object of determining the load-bearing capacity of coherent nail groups in general terms by the use of specially designed nail plates (reference plates), in order that this may be used as the basis in assessing the loadbearing capacity of commercial nail plates in different timber connections, and also in developing more effective nail plates.

The investigation elucidates the factors which determine the capacity of nail groups to transmit loads from the plate to the timber, i.e. the general conditions which govern the anchorage strength and displacement of the nail plate in relation to the timber. It should also be possible for the results obtained to be used as the basis in assessing the anchorage strength of commercial plates, without each type of plate having to be tested separately.

Object

Some new problems have arisen regarding the strength, yielding and construction of connections as a result of the change in timber construction from traditional nailed connections to connections using nail plates (nail group plates).

In the absence of special recommendations for the design of nail plate connections, the Nordic Building Regulations Committee (NKB) published preliminary guide lines in 1969 for the design and testing of nail plates.

It was at this stage that the Swedish Forest Products Research Laboratory commenced the above project and also an investigation of longitudinal splices and connections in trusses using nail plates of a usual make, and also development and prototype testing of roof trusses jointed with nail plate connectors. The latter project resulted in two reports from the National Swedish Institute for Building Research (Gunnar Edlund, 1971, 1973) and a prototype approval granted by the National Swedish Board of Urban Planning (1971).

The present investigation was confined to "pure anchorage strength". This implies that the joint surface was located so far from the edges of the timber that the boundary conditions caused by these had no effect on the results, and that the plates (if the nail plate is defined as a plate with projecting nails) were so thick that the strain in the plates could not exert an influence on the anchorage of the nail group. The distance to be provided between the nail plates and the edges and ends of the timber, and also the strength of the plate, prevent full utilisation of the anchorage strength in

many connections (see Edlund, 1973).

It was also the intention to check the effect of a torque on yield and strength. Yielding of the connection and the derivation of an expression for this in the form of a simple function or possibly a constant were considered particularly important.

Method

The test pieces consisted of a piece of timber (pine or spruce) between two side pieces of thick plate. The connections were thus symmetrical and in double shear. The thick plates were provided with holes for the nails in a pattern which, when fully utilised, gave the nail group a loadbearing capacity independent of the orientation of the plates. By making use of parts of the pattern, the shape, size and anisotropy of the nail group could be varied. The nail length and nail diameter were varied, but within the scope of this investigation only nails of circular cross section were tested. The plates were loaded in such a way that the force was transmitted to the timber purely by shear forces acting on the nails, usually represented by an equivalent shear stress in the joint (nail group area). A torque was provided by means of a simple linkage system, and a combination of force and moment simply by applying the force eccentrically in relation to the centre of the nail group.

Special attention was paid to displacements (the slip and rotational slip of the plates relative to the timber) up to approx. 1/3 of the ultimate load, in view of calculations of the deformations due to working load (permitted load). About 500 connections were tested in this investigation.

Results. Strength

A displacement of 2 mm between plate and timber can be used in practice as a measure of the ultimate limit state. The corresponding load R_2 is about 10–20 % less than the formal ultimate load R_B (the highest load which can be applied to the connection without the rate of displacement exceeding 1 mm per minute).

The ultimate load of the nail group is taken to be the sum of the ultimate loads of the individual nails up to the limiting value n/A of the nail density (n nails over the joint area A). Other measures of the nail density which have been discussed are nd/A and the proportion of nail cross section (F) in the joint area, F/A . For nails of 5 mm diameter, the results indicate that the limit is 0.003 nails per mm^2 . The limit depends on the diameter (and this also applies to the lim-

National Swedish Building Research Summaries

R60:1973

Key words:

timber joints, nail plates, anchorage strength

Report R60:1973 refers to Grant C 445 from the Swedish Council for Building Research to the Swedish Forest Products Research Laboratory, Stockholm.

Two reports on nail plates as connectors in timber joints have already been published in the National Swedish Building Research report series (R40:1971 and R52:1973, both by Gunnar Edlund).

Edlund, G. 1971. *Längdskärning av träbalkar med spikplåtsförband. En ny metod för dimensionering av spikplåtsförband använda för längdskärning av virke.* Longitudinal jointing of timber joists using nail plate connectors. A new method for dimensioning of nail plate joints for longitudinal timber connections. (Statens institut för byggnadsforskning) Stockholm. Report R40:1971. 228 p., ill. 28 Sw. Kr.

Edlund, G. 1973. *Spikplåtar som förbindare i träfackverk.* Nail plates as connectors in timber trusses. (Statens institut för byggnadsforskning) Stockholm. Report R52:1973. 326 p., ill. 42 Sw. Kr.

These reports wind up by giving design rules for longitudinal jointing of timber, the construction of intersections and complete timber roof trusses with nail plates as connectors and also specify the positions of the nail plates.

The methods of calculations in the case of longitudinal jointing of timber with nail plates have been given general approval by the National Swedish Board of Urban Planning, Certificate T 1632/71, and are briefly described in Bulletin B16:1971 by the National Swedish Institute for Building Research.

UDC 694.2:674.028.5
SfB (29)
ISBN 91-540-2109-1

Summary of:

Norén, B. 1973. *Träförband med spikplåtar. En undersökning av spikgruppers förskjutning och vridning.* Jointing of timber using nail plates. A study of the displacement and rotation of nail groups. (Statens institut för byggnadsforskning) Stockholm. Report R60:1973, 76 p., ill. 18 Sw. Kr.

The report is in Swedish with Swedish and English summaries.

Distribution:

Svensk Byggtjänst
Box 1403, S-111 84 Stockholm
Sweden

iting nail density above which the load-bearing capacity of the nails no longer increases). A comparison with nail densities in ordinary nailed connections shows that nail plates are better when the available joint area is limited, and the test results indicate that there is a theoretical possibility of the loadbearing capacity of the nail plates being further increased by a limited amount.

It is stated in the Swedish Building Code, SBN 67, that the angle between the direction of the force and the fibre direction becomes significant with regard to the loadbearing capacity of bolts when the diameter exceeds 6 mm. When $d \geq 25$ mm, the loadbearing capacity across the fibres is taken to be one half of that along the fibres. The effect of the angle is not considered in conjunction with nailed connections, in spite of the fact that the nail diameter may be as much as 8 mm. The inconsistency is apparent and acceptable in view of the fact that the least permissible distance between the nails, relative to the diameter, is larger than the least permissible bolt spacing. The simultaneous dependence of the angle effect on the nail diameter and nail density is evident from the results of the nail plate tests. There was no angle effect on the ultimate load in connectors with nails of $d = 2.5$ mm. In connectors with nails of $d = 5$ mm such angle effect appears at a nail density $n/A = 0.0031$, but not at the next lower nail density of 0.0019.

Although the results are in good qualitative agreement with those of tests on commercial plates as regards the effect on the ultimate load of the angle between direction of force and fibre direction, the limiting nail density at which the angle effect becomes evident is not the same. According to the results of tests on "reference plates", this limit (F/A) should not be lower than $0.002 \cdot \tau \cdot d^2/4 = 0.04$. Theoretically speaking, therefore, plates of the type Hydro-Nail E, Gang-Nail etc which have a $F/A \approx 0.03$ should not have angle dependent permissible loads. In the prototype approval for plates, the permissible stress is, on the basis of the results of the prototype test, reduced by 40–60 % when the load is applied perpendicular to the fibres.

The reason is partly the anisotropy of the plates, since this reduction is also intended to cover the case when the fast nails are edge-on to the direction of force. An important reason is however that connectors used for prototype testing of the loadbearing capacity at an angle to the fibres do not give a pure anchorage strength. The width of the timber and the distance between the plates and the ends of

the timber are insufficient for results which are unaffected by these boundary conditions, which is also evident from the fact that the timber splits. However, until we have learnt to calculate the stresses in the timber outside the plates (preferably tension across the fibres and shear), which are often the design stresses, the connection prescribed by the prototype test may be considered warranted.

During rotation (of the reference plates) the ultimate value of the torque was at least 50 % greater than indicated by distribution of forces according to the elastic theory, and 20 % greater than given by the plastic theory. Combination of slip and rotational slip gave similar results. These can be summarised – fairly approximately – by simplification of the expression at present adopted for commercial plates (NKB, 1970)

$$\tau_n \leq (1 - 0.08d \cdot \sin \alpha) \cdot \tau_o$$

$$2 \leq d \leq 5 \text{ mm}$$

$$\tau_n + \tau_M \leq 1.5 \tau_o$$

where τ_n is the anchorage stress (shear stress) and $\tau_o = \tau_{n,0}$ the permissible value in the fibre direction, the shear stress due to rotation (τ_M) being assumed to have been calculated by the elastic theory. The expressions allow for a certain effect, not established by the test results, due to the angle between the force and the fibres, even for nails of small diameter.

Displacement

It has been possible to study in detail the displacements and their dependence on different factors such as nail density, by means of the measuring method employed. In most cases the first part of the load-displacements curve can be regarded linear. Up to a displacement of 0.2 mm between the nail plate and timber it is thus practically immaterial whether the stiffness of the connection is given in terms of the slope of a line fitted to the curve or the slope of the secant from the origin. As an analogy to the shear modulus = shear stress/shear strain, the ratio displacement stress/displacement has been termed displacement modulus (k). This designation is also used when the quantity stress = force per unit area is replaced by force per nail. The displacement modulus was found to be proportional to the nail density, at least up to the largest nail density tested. A mean value, $k_{nail} = 460d$ N/mm (d in mm) could therefore be given. The angle between the direction of force and the fibre direction could be shown to have an effect on the value of the displacement modulus

when the nail density $n/A \geq 0.003$. The following expression is proposed for the 30 % fractile (per unit area of nail plate)

$$k = k_{nail} \cdot n/A = 400d \cdot (n/A) \cdot (1 - 0.08d \cdot \sin \alpha)$$

The ratio of this k (N/mm^3) to the shear strength τ_n (N/mm^2) is approximately 1.6 (mm^{-1}). Since for usual nailed connections the corresponding ratio is c. 0.5 (for a diameter of 5 mm), the relative stiffness of nail plate connections is high. This is due in large measure to the fact that in this case the connection is between steel and timber – the nails move only on one side of the joint.

Torsional stiffness in the joint is defined as $M/\theta = k_M I_p$, where M is the torque, θ the rotation, I_p the polar moment of inertia of the joint surface (nail group) and k_M a displacement modulus. The results can be summarised by stating that the above expression for k with $\alpha = 0$ can be used for calculation of k_M . If, however, the connection is subjected to both displacement force and a torque, the values of slip and rotational slip calculated by superimposing values of k and k_M obtained from the above expressions will generally be too high.

In describing larger displacements, a relative measure of the force, the ratio of the actual force to the force causing a displacement of 2 mm between nail plate and timber, has been employed. In this way displacements in connections of different strengths (nail plate sizes) and in different types of mechanical connection are made comparable. The results of the tests do not permit any safe conclusions concerning the influence of the different variables on the shape of the relative curve.

Conclusions

The most important objective of the investigation has been accomplished, that of determining a set of test data for reference plates for comparison with the results of more limited tests on specific types of nail plate. In addition, the results can be applied in a more direct manner to nailed connections between steel plates and timber, e.g. in providing wind anchorage for roof trusses with strip steel or in connections in glued-laminated structures.

The object of the investigation also comprised testing of different patterns of nail placing, preferably with nails of rectangular cross section. This has not been done. The technique employed is however well suited for such investigations as a means of developing effective nail plates.

Rapport R60:1973

TRÄFÖRBAND MED SPIKPLÅTAR. EN UNDERSÖKNING
AV SPIKGRUPPERS FÖRSKJUTNING OCH VRIDNING

JOINTING OF TIMBER USING NAIL PLATES. A STUDY
OF THE DISPLACEMENT AND ROTATION OF NAIL GROUPS

av Bengt Norén

Denna rapport avser anslag C 445 från Statens råd för byggnads-
forskning till Svenska Träforskningsinstitutet, Stockholm

Statens institut för byggnadsforskning, Stockholm
ISBN 91-540-2190-1

I N N E H Å L L

FÖRORD	4
BETECKNINGAR	5
SYMBOLS	7
1. FÖRUTSÄTTNING	9
1.1 Avsikt med undersökningen	9
1.2 Material	10
1.2.1 Virke	10
1.2.2 Spikplåtar	13
1.3 Omfattning	16
1.4 Belastning	16
1.5 Mätning av förskjutningen	16
1.6 Analys av resultaten	19
1.7 Förskjutningsmoduler för spikgrupper och spikplåtar	21
1.7.1 Allmänt	21
1.7.2 Förskjutning av kraft genom fogytans tyngdpunkt (TP)	22
1.7.3 Vridning	23
1.7.4 Betydelse av koefficienten C_1	25
2. KRAFT I FIBERRIKTNINGEN	27
2.1 Brottlast	27
2.2 Densitetens inverkan	30
2.3 Förskjutningsmodul	35
2.4 Förskjutningskurva	38
3. KRAFT I VINKEL MOT FIBERRIKTNINGEN	47
3.1 Brottlast	47
3.2 Förskjutningsmodul	52
4. VRIDNING	53
4.1 Brottlast	53
4.2 Förskjutningsmodul	54
4.3 Förskjutningskurva	61
5. KOMBINATION AV KRAFT I FIBERRIKTNINGEN OCH VRIDANDE MOMENT	63
5.1 Brottlast	63
5.2 Förskjutningsmodul	67
5.3 Förskjutningskurva	70
REFERENSER	72
CAPTIONS	73

FÖRORD

Spikplåtar började i Sverige användas för träförbindning i större utsträckning i mitten av 60-talet. Deras verkningssätt och bärformåga kunde uppskattas hjälpligt på för spikförband kända grunder. Mycket snart uppstod emellertid behov av mera precisa metoder att bedöma olika spikplåtar på marknaden, bl a inför nordiska typgodkännanden. Användningen av spikplåtar förde också med sig särskilda problem för förbandens dimensionering och utformning. Slutligen förde serietillverkningen med sig krav på ökade kunskaper om förskjutningar i förbanden för noggrannare statistiska beräkningar. Dessa krav fick respons genom riktlinjer från Nordiska kommittén för byggbestämmelser (NKB) och typprovningar vid bland annat Svenska Träforskningsinstitutet (STFI). För att stärka grunderna, särskilt med avseende på förskjutningar i spikplåtsförband och utformning av fackverksknutpunkter och för att skapa enkla men sanningsnära dimensioneringsmetoder har undersökningar på bredare bas utförts i de nordiska länderna och främst i Norge och Sverige.

STFI undersökningar redovisas väsentligen i tre rapporter: en om längdskarvning av träbalkar med spikplåtsförband, Byggeforskningen R40:1971 (Gunnar Edlund), en om spikplåtsförband i fackverk, Byggeforskningen R52:1973 (Gunnar Edlund) och denna rapport som förelåg i manuskript 1972.

Undersökningen är av mera grundläggande natur än de övriga och skiljer sig från dessa bland annat genom att specialgjorda, ej kommersiella spikplåtar använts i provade förband.

Närmast ansvarig för laboratoriearbetet och sammanställningen av resultaten har varit Björn Esping, assisterad av Sulev Nurmiste och Boris Hájek (som till stor del utfört de tidskrävande provningarna). Författaren är tacksam för den omsorg och det intresse som dessa och andra medarbetare lagt ned i undersökningen. Undersökningen har till väsentlig del bekostats genom anslag från Statens råd för byggnadsforskning.

Stockholm i november 1973

Bengt Norén

BETECKNINGAR

Geometriska

r	radie (mm)
(r även densitet)	
r_{\max}	cirkulära spikplåtars (teoretiska) radie (mm)
D	cirkulära spikplåtars diameter (mm)
A	plåtarea, spikgruppsarea (mm ²)
F	summa tvärsnittsarea av spikar i grupp (mm ²)
a	spikavstånd (spikdelning) (mm)
(a och b har även använts som beteckning för rektangulära spikgruppers yttermått och för konstanter)	
d	spikdiameter (mm)
l	spiklängd (förankringslängd) (mm)
e	excentricitet (avstånd från kraft till tyngdpunkt) (mm)
I	tröghetsmoment (spikens tvärsnitt) (mm ⁴)
I_p	polärt tröghetsmoment (spikplåt) (mm ⁴)
I'	generaliserat polärt tröghetsmoment. Se ekv. (9) (mm ⁴)
I_r	polärt tröghetsmoment (spikgrupp). Se TAB 4.2.1. (mm ⁴)

Krafter och moment

P	total last på förbandet (N)
$R = P/2$	förskjutningskraft per plåt (N)
$R_1 R_2 R_B$	Se "Index"
$P = R/n$	kraft per spik (N)
Q	dito teoretisk (N)
M	moment (vridande per plåt) (N mm)

Påkänningar

τ	skjuvpåkänning i fogen (N/mm ²)
$\tau_R = R/A$	kraft per enhet fogarearea (N/mm ²)
$\tau_\alpha = \tau_R$	
$\tau_o = \tau_\alpha = o$	
$\tau_M = Mr/I_p$	vridpåkänning (N/mm ²)

Förskjutningar

y	förskjutning (mellan spikplåt och trävirke) (mm)
y_r	förskjutning i periferi (mm)
θ	vridningsvinkel
e, f	förskjutningsvärden (0,2 resp 2 mm)

Deformationsmoduler

E	elasticitetsmodul (N/mm^2)
K	intryckningskoefficient (bäddmodul) (N/mm^2)
K/d	bäddmodul (N/mm^3)

Förskjutningsmoduler

$k_f (=R/y)$	translationsmodul för fogen (N/mm)
$k = k_f/A$	translationsmodul för ytenhet av fogen (N/mm^3)
$k_{\text{spik}} = k_f/n$	translationsmodul för enstaka spik (N/mm)
$k_M = \tau_M/y_r$	rotationsmodul (N/mm^3)

Övriga beteckningar

r_{ou}	densitet (volym vid fuktkvot u , vikt vid fuktkvot $u=0$) (kg/m^3)
n	antal spikar per plåt (st)

Index

Index 0,2, 1 och 2 anger last (kraft, moment) som ger 0,2, 1 resp 2 mm förskjutning. Index (0,2) anger att förskjutningen 0,2 mm räknats proportionellt mot lasten (förskjutningskurvan ersatt med en rät linje).

Index 0,2 till förskjutningsmodul anger sekantmodul till förskjutningskurvan från origo till 0,2 mm förskjutning.

Index B anger brottlast = största kraft varmed förbandet kunnat belastas utan att förskjutningshastigheten överskred värdet 1 mm/min.

SYMBOLS

Geometrical

- r radius (mm)
(also density)
- r_{max} (theoretical) radius of circular nail plates (mm)
- D diameter of circular nail plates (mm)
- A plate area, nail group area (mm^2)
- F total cross sectional area of nails in a group (mm^2)
- a distance between nails (nail spacing) (mm)
(a and b have also been used to denote the external dimensions of rectangular nail groups and as constants)
- d nail diameter (mm)
- l length of nail (anchorage length) (mm)
- e eccentricity (distance between force and centroid) (mm)
- I second moment of area (nail cross section) (mm^4)
- I_p polar moment of inertia (nail plate) (mm^4)
- I' generalised polar moment of inertia. See equation (9) (mm^4)
- I_r polar moment of inertia (nail group). See TAB. 4.2.1 (mm^4)

Forces and moments

- P total load on connection (N)
- $R = P/2$ displacement force per plate (N)
- $R_1 R_2 R_B$ see index
- $P = R/n$ force per nail (N)
- Q theoretical force per nail (N)
- M torque (per plate) (N mm)

Stresses

- τ shear stress in the joint (N/mm^2)
- $\tau_R = R/A$ force per unit joint area (N/mm^2)
- $\tau_\alpha = \tau_R$
- $\tau_o = \tau_{\alpha=0}$
- $\tau_M = Mr/I_p$ torsional stress (N/mm^2)

Displacements

y	displacement (between nail plate and timber) (mm)
y_r	displacement along the periphery (mm)
θ	angle of rotation
e, f	values of displacement (0.2 and 2 mm)

Deformation moduli

E	modulus of elasticity (N/mm^2)
K	displacement coefficient (displacement modulus) (N/mm^2)
K/d	displacement modulus (N/mm^3)

Displacement moduli (Slip moduli)

$k_f (=R/y)$	slip modulus for the joint (N/mm)
$k = k_f/A$	slip modulus for unit joint area (N/mm^3)
$k_{nail} = k_f/n$	slip modulus for individual nail (N/mm)
$k_M = \tau_M/y_r$	rotational slip modulus (N/mm^3)

Other symbols

r_{ou}	density (volume at moisture ratio of u , weight at moisture ratio $u=0$) (kg/m^3)
n	number of nails per plate
u	moisture ratio (kg/kg)

Index

The indexes 0,2, 1 and 2 indicate the load (force, torque) which causes a displacement of 0.2, 1 and 2 mm respectively. The index (0,2) indicates that the displacement of 0.2 mm has been taken to be proportional to the load (the displacement curve has been replaced by a straight line).

The index 0,2 to the displacement modulus indicates that this is the secant to the displacement curve from the origin to a displacement of 0.2 mm.

The index B indicates ultimate load = the largest force which could be applied to the connection without the rate of displacement exceeding 1 mm/min).

1 FÖRUTSÄTTNING

1.1 Avsikt med undersökningen

Spikplåtar har blivit ett viktigt träförbindningsmedel för fackverk, särskilt takstolar för bostadshus. De utvecklades ganska tidigt från tandbrickor men fick, bortsett från användning till formbrädluckor på 50-talet, sitt genombrott på 60-talet. De är skarvstycken och knutplattor av plåt med fastsittande spikar (tänder). Spikarna pekar som regel endast åt ett håll och plåtarna används endast för att binda ihop enkla, i liv liggande stänger. Spikplattor med spikar åt båda håll för överlappsfogar (trä mot trä) finns dock och i princip kunde spikplåtar med dubbelsidigt utvikta spikar användas även som knutplattor i lamellfackverk, där virkesdelarna inte går om lott.

Spikplåtsförbandens bärande funktion delas lämpligen med avseende på

- 1) Plåtens förankring i (vidhäftning till) träverket
- 2) Plåtens egen hållfasthet
- 3) Träverkets hållfasthet

Dessa tre delar kan hållas väl isär. Förbanden dimensioneras i princip av endera tillåten påkänning i fogen (förankringspåkänning, skjuvpåkänning), tillåten påkänning i plåten (drag- och skjuvpåkänning) och tillåten träpåkänning (företrädesvis dragpåkänning vinkelrätt mot fibrerna och skjuvpåkänning längs fibrerna). Visserligen är träverkets tryckhållfasthet under spikarna eller eventuellt skjuvhållfasthet mellan spikarna som regel avgörande för förankringshållfastheten. Dimensioneringen av förbandet med avseende på träverkets hållfasthet enligt ovanstående syftar emellertid på de fall att virket spricker innan vare sig förankringshållfastheten eller plåthållfastheten helt utnyttjats. Svårigheten härvidlag är att beräkna påkänningarna i virkesdelarna intill förbindningarna och man har hittills nöjt sig med att föreskriva minimivärden på virkestjocklekar och avstånd från plåtar till virkeskanter och för övrigt också med att överdimensionera plåtarna för att armera träet mot sprickbildning.

Med den i denna rapport beskrivna undersökningen har avsikten endast varit att studera förankringsdata, alltså den första av de nämnda spikplåtsfunktionerna. Avsikten har primärt varit att ta fram en uppsättning referensdata som är neutral i förhållande till på marknaden förekommande och nytillkommande spikplåtstyper. Provade referensplåtar skulle i första hand medge variation av spikdiameter, spiklängder, spiktäthet och spikmönster. Förbanden skulle utformas så att verklig förankringshållfasthet och förskjutning kunde bestämmas vid olika vinklar mellan kraftriktning och fiberriktning. Vidare skulle belastning av vridande moment ingå. Härmed skulle preliminära uttryck för dimensionering av fogytor vid kombinationer av förskjutningskraft och moment kontrolleras och inverkan av vridning på förskjutningar (förskjutningsmoduler) studeras.

Avsikten med undersökningen har sekundärt varit att finna gränser för förankringshållfastheten i trä av för svenskt konstruktionsvirke normal densitet för att därmed ge ett av underlagen för en eventuell utveckling av nya spikplåtar. I övrigt räknade man med att resultaten kunde bli användbara vid bedömning av andra typer av förekommande spikförband mellan stål och trä. Särskilt i samband med monterings skarvar (t ex i limträkonstruktioner - glue-lam rivets) och förankringar.

1.2 Material

1.2.1 Virke

Virket till undersökningen var furu (*Pinus silvestris*) och gran (*Picea abies*). Det härrörde från olika delar av Sverige. Virkets densitet framgår av FIG 1.2.1 och 1.2.2. Sambandet mellan densitet och tryckhållfasthet hos virket i fiberriktningen bestämdes genom att 100 st prismor provades. Dessa prismor uttogs så att olika densiteter blev ungefär jämnt fördelade. Resultaten framgår av FIG 1.2.3. Värdena är för jämförelse med tidigare resultat omräknade till att gälla vid fuktkvot $u = 0,12$. Alla provkroppar hade efter hyvling dimensionerna 475 (längd) x 230 (bredd) x 45 (tjocklek).

Bredden 230 mm erhöles efter att två 50 mm breda kantstycken

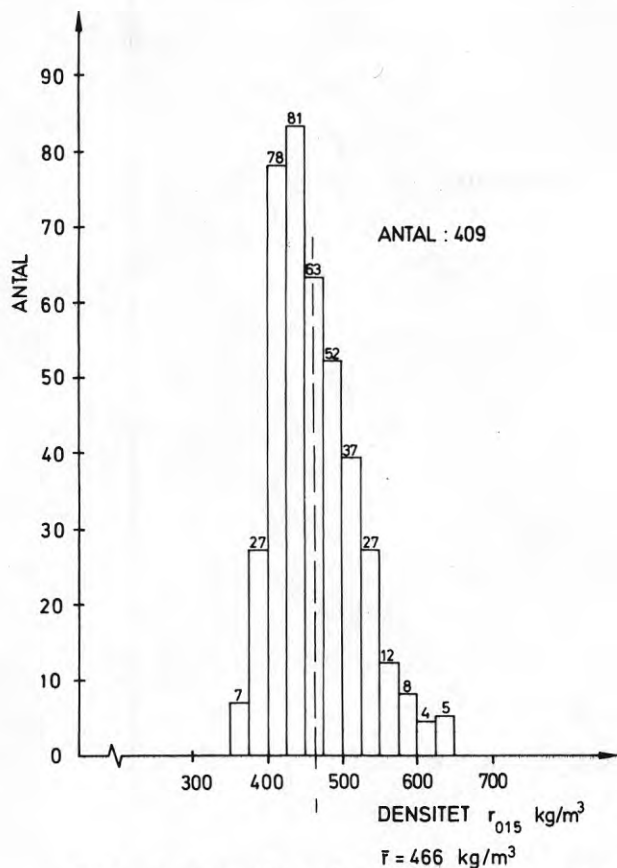


FIG. 1.2.1 Densitet av virke, använt till provningen: furu

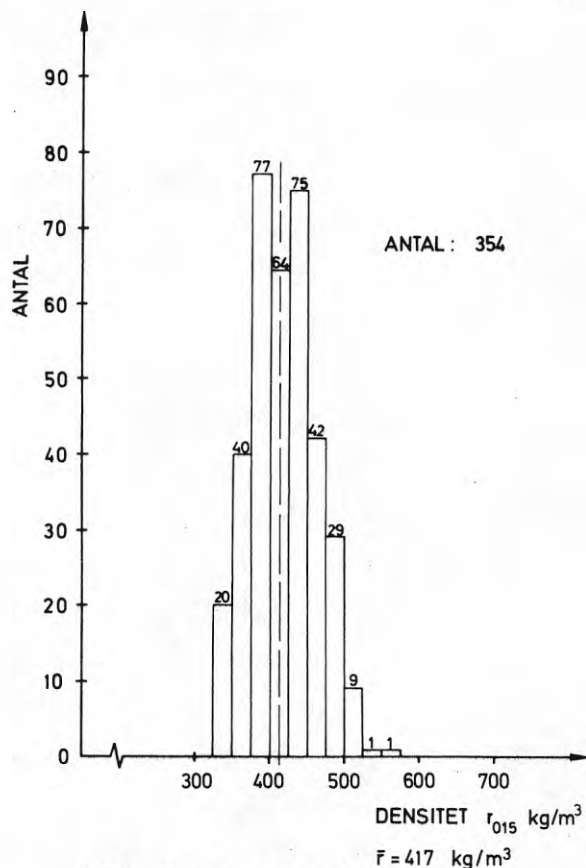


FIG. 1.2.2 Densitet av virke till provningen: gran

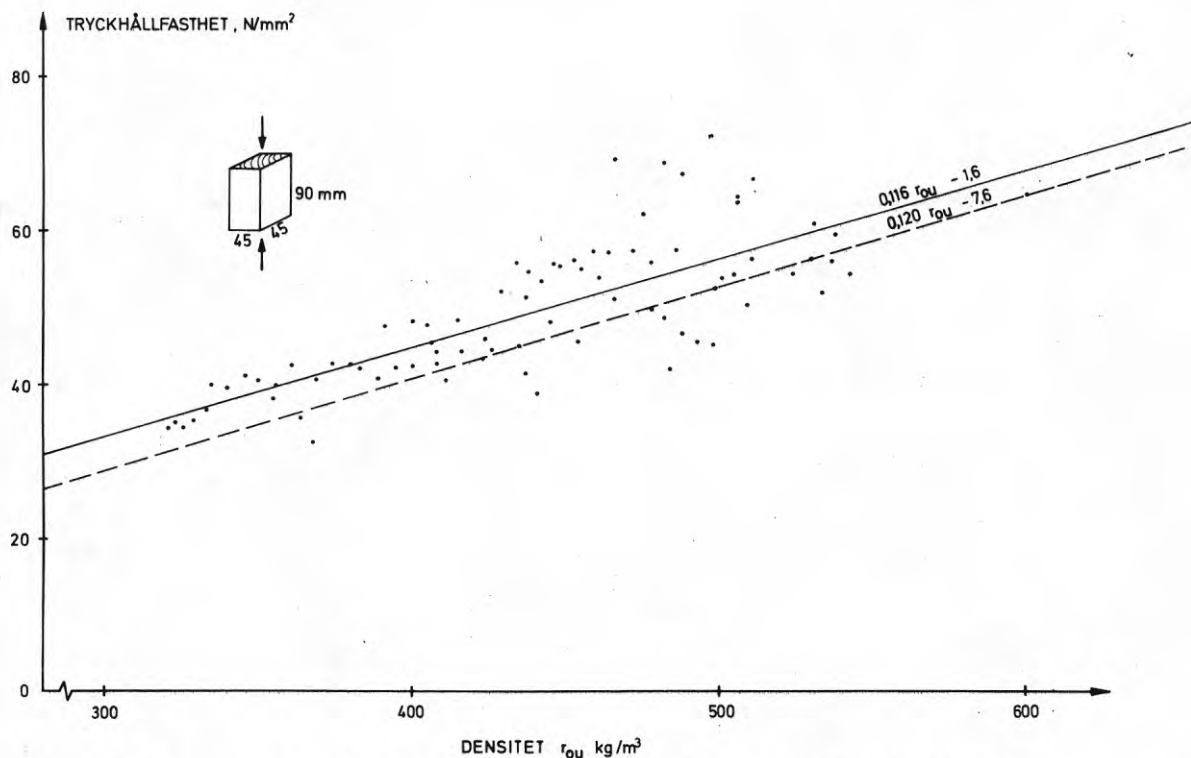


FIG. 1.2.3 Samband mellan densitet och tryckhållfasthet i fiberriktningen hos använt virke. Furu och gran sammantagna. Hållfastheten omräknad till att gälla fuktkvot 0,12. Streckad kurva från tidigare undersökningar (Norén, 1968).

limmats till ett 130 mm brett mittstycke. (De centriskt placerade spikplåtarna kom uteslutande att sitta i mittstycket.)

Histogrammen, FIG 1.2.1 och 1.2.2, är uppritade efter vägning av ett större material än som sedan användes i undersökningen. Material till provkroppar fördelades till grupper om sex förband, tre av gran och tre av furu, så att alla grupper fick samma medelhållfasthet (densitet) och så långt möjligt samma hållfasthetsfördelning inom gruppen. Varje grupp delades i en undergrupp av "lätt" virke och en av "tungt" virke med medeldensitet som beräknades ge tryckhållfastheten 40 respektive 50 N/mm². Den lätta undergruppen innehöll två förband av gran och ett av furu och den tunga ett av gran och två av furu. Avsikten med att systematisera uttagningen av virket var naturligtvis att åstadkomma ett stort antal grupper av virke med samma egenskaper. Virket var centrumutbyte, följaktligen kommer spikarna i en spikplåt, intryckt från märgsidan, att ligga någorlunda tangentiellt till årsringarna och i motsatt sida mera radiellt. Resultaten representerar därför någorlunda väl ett medelvärde för radiellt och tangentiellt intryckta spikar. Till urvalet av provkropparna hörde att gallra bort virke där märgen var förskjuten åt endera kantsidan.

TABELL 1.2.1 Data för provade spikgrupper

Spikplåt nr	Antal spikar n	Area cm ²	Diameter (Kantlängd) cm	Spikdelning a, cm	Spiktäthet Antal spik/cm ²
<u>Cirkulära plåtar</u>					
I	7	100	11,28	4,06	0,07
II	19	100	11,28	2,47	0,19
III	31	100	11,28	1,93	0,31
IV	55	100	11,28	1,45	0,55
V	7	36,9	6,86	2,47	0,19
VI	19	34,6	6,64	1,45	0,55
<u>Rektangulära plåtar</u>					
IVa	37	67,3	10,73/6,27	1,45	0,55
IVb	23	41,8	11,12/3,76	1,45	0,55

1.2.2 Spikplåtar

Kommersiella spikplåtar består som regel av plåtar med spikar, utstansade och utvikta åt ena sidan. I detta fall utgjordes spikplåtarna av två komponenter, dels tjocka plåtar med hål borrade för spikarna, dels spikar slagna genom hålen in i virket. Idén med undersökningen var att undersöka förankringshållfastheten, alltså trähållfastheten under olika tätt sittande spikar. Vidare önskade man renodla fallet att spikarna är böjningsstyvt infästade i plåtarna. I kommersiella plåtar föreligger i princip sådan inspanning, men inte reellt, eftersom själva plåten bucklas.

Plåtarnas verkliga yttermått var i samtliga fall 120 mm. Det intressanta för provningen är emellertid det teoretiska yttermättet för spikgruppen i de olika fallen. FIG 1.2.4 visar de sex olika använda cirkulära spikplåtarna, betecknade I-VI. Spikgruppsperiferin är intecknad med en punktstreckad cirkel. Vid plåtar I till IV har denna en diameter 564 mm (stora plåtar) och vid plåtarna V, VI diametern 343 respektive 332 mm (små plåtar). Spikarna bildar ett mönster av liksidiga trianglar (sidlängd a). Varje spik förfogar över en yta lika med romben av två sådana trianglar. Rombens yta är $a^2\sqrt{3}/2$. Spikmönstret bildar koncentriska, liksidiga sexhörningar. Med växande antal (i) sådana polygoner kommer spikplåten att innehålla.

$$\sum_{i=0}^m (1 + 6i) \text{ st spikar, varvid}$$

i betecknar antal spikpolygoner utanför mittspiken.

Inom cirklar, som har centrum i mittspiken och som kan läggas såväl mellan som - om $i \geq 2$ - inom spikpolygonerna får man med växande radie spikantalet $n = 1, 7, 13, 19, 31, 37, 55$ osv. Av dessa möjligheter ingår antalen 7, 19, 31 och 55 i provningsprogrammet. Spikgruppens area är i plåtar I till IV 100 cm^2 . Med ovan angivna spikantal får man en spiktäthet från $0,07/\text{cm}^2$ (I) till $0,55/\text{cm}^2$ (IV). Avsikten med plåtarna V och VI var att undersöka plåtareans inverkan genom att minska den till en tredjedel i förhållande till övriga. Spikdelningen enligt plåtarna II och

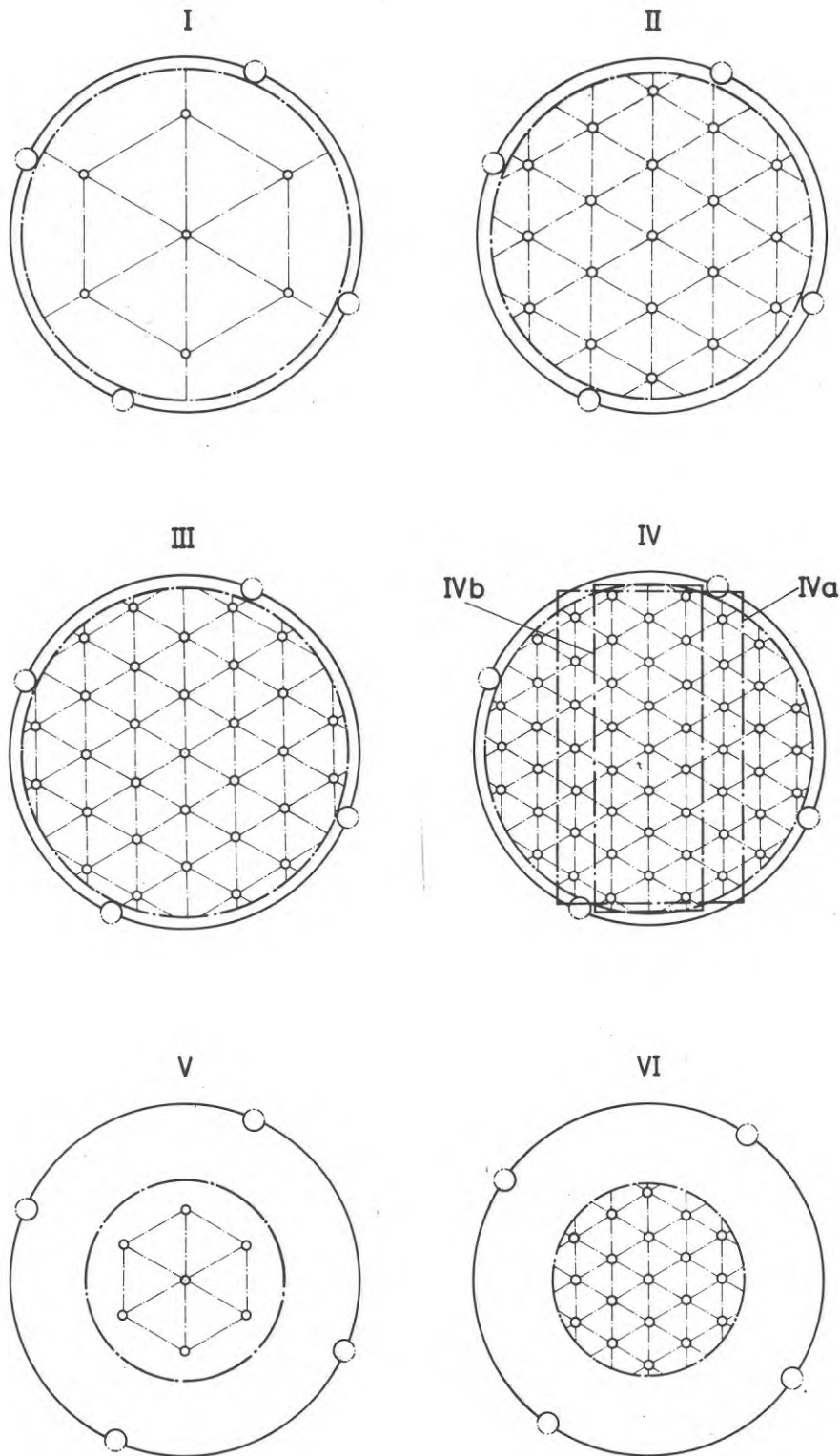
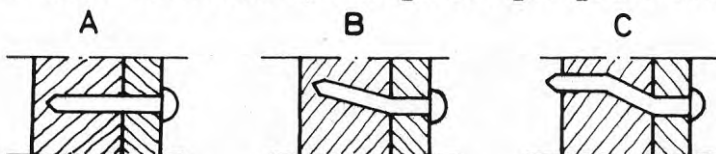


FIG. 1.2.4 Storlek och mönster hos använda spikplåtar. Den yttre punktstreckade cirkeln (rektangeln) anger fogytans teoretiska storlek. Mått se TAB. 1.2.1.

IV valdes, vilket gav en area något över $100/3 \text{ cm}^2$. Försöken omfattade spikar med två diametrar, 5 och 2,5 mm, och två längder, 13 och 22 mm. Val av diametrar och spiklängder bestämdes av önskemålet att de tre möjliga fallen av spikens böjning före brott skulle vara representerade.

TAB 1.2.2 visar de spiklängder med 5 respektive 2,5 mm diameter som ger gränsfall mellan de tre böjningsfallen (A,B,C) vid tryckhållfastheten 45 och 35 N/mm^2 .

TABELL 1.2.2 Beräknad spiklängd som ger gränsfall av böjning



Tryckhållfasthet, N/mm^2	55		50		45	
Deformationstyp	A/B	B/C	A/B	B/C	A/B	B/C
Spikdiameter, mm 2,5	6,0	17,0	6,2	17,9	6,7	18,8
5,0	13,7	38,8	14,2	40,3	15,0	42,5

TABELL 1.2.2 Forts.

	40		35		30		Använda spiklängder l_{eff}^1
	A/B	B/C	A/B	B/C	A/B	B/C	
Spikdiam, mm 2,5	7,0	19,9	7,6	21,4	8,1	23,0	10,9 19,9
5,0	15,8	45,2	17,2	48,4	18,4	52,8	8,2 17,2

¹⁾ Effektiv förankringslängd l_{eff} har räknats $l_{\text{eff}} = l - 2/3 \times \text{spetslängden} \approx l - d$ där l = total förankringslängd (13 och 22 mm) och d = spikdiameter.

I undersökningen ingick också förband med spikplåtar av rektangulär form. Spikplåtarna valdes med största kantlängd, a , ungefär lika med diametern på de större, cirkulära plåtarna. Kantlängdförhållandena $a/b = 2$ och $= 3$ eftersträvades. På grund av den låsta mönstringen (lika med den i de cirkulära plåtarna nr IV) blev förhållandet 1,7 (plåtar IVa) respektive 2,96 (plåtar IVb). Data för de rektangulära plåtarna framgår för övrigt av TAB 1.2.1. Kanterna är uträknade så att totala antalet spikar dividerat med spikgruppsarean ger samma spiktäthet som direkt framkommer av spikdelningen.

1.3 Omfattning

Provningens omfattning framgår av TAB 1.3.1.

1.4 Belastning

Alla provningarna är utförda i en 20 tons hydraulisk maskin. I samtliga fall har mittstycket av trä fixerats i provningsmaskinens fasta ram. Spikplåtarna med spikar, en plåt på vardera sidan om mittstycket, har varit fästade vid maskinens rörliga del. Spikplåtarna har varit infästade i större plåtar som påverkas av krafterna genom länkar. Härigenom har själva spikplåtarna lätt kunnat bytas ut. Principen är visad i FIG 1.4.1. Spikarna slogs genom plåtarna in i träet sedan virke och plåtar riggats upp i provningsmaskinen. Spikarna var runda, släta och av normal kvalitet (draghållfasthet ca 650 N/mm^2). Kraften påfördes så att hastigheten av spikplåtarnas förskjutning blev konstant 1 mm/min. Vid vridning gäller detta förskjutningen i spikgruppens periferi.

1.5 Mätning av förskjutningen

För mätning av förskjutningarna används differentialtransformatorer (DT). Vid belastning i fiberriktningen mättes förskjutningen med två differentialtransformatorer, en för vardera plåten. Förskjutningar i vinkel mot fiberriktningen mättes med en DT. Vid vridning och vridning plus förskjutning användes två DT. Såväl förskjutningar som belastningen registrerades kontinuerligt på en XY-skrivare. Då två DT användes för förskjutningsmätningen, registrerades kanalerna växelvis med korta tidsintervall, varför intermittenta kurvor erhöles.

TABELL 1.3.1 Provnings omfattning

A. Cirkulära plåtar

Belastning	Förskjutning		Vridning	Förskjutning+ vridning	Undersökta kombinationer av spiklängd, spikdiameter och densitet								
	I,II,III,IV,(V), (VI)	I,II, IV,(V)			I,IV	1 mm	d mm	5	2,5	"Lätt"	"Tungt"		
Spikplåt nr:	0°	30°	60°	90°				22	13	5	2,5	"Lätt"	"Tungt"
Vinkel					0°	90°							
kraft/fibrer													
Antal förband	18	18	18	12				x	x	x	x	x	x
	18	18	18	12				x	x	x	x	x	x
	18	18	18	12	12	3(IV)		x	x	x	x	x	x
	18	18	18	12	12	3(IV)		x	x	x	x	x	x
	18	18	18	12	6	6		x	x	x	x	x	x
	18	18	18	12	12	6		x	x	x	x	x	x
Summa	144	72	72	72	78	36	6					480	

B. Rektangulära plåtar (h·b) Belastning:Vridning

Nr	Spikplåtar	Orientering	Antal	Undersökta kombinationer									
				1 mm	d mm	5	2,5	"Lätt"	"Tungt"				
IVa:1	h i fiberrikt		4	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
IVa:2	b "		3	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
IVb:1	h "		3	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
IVb:2	b "		3	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

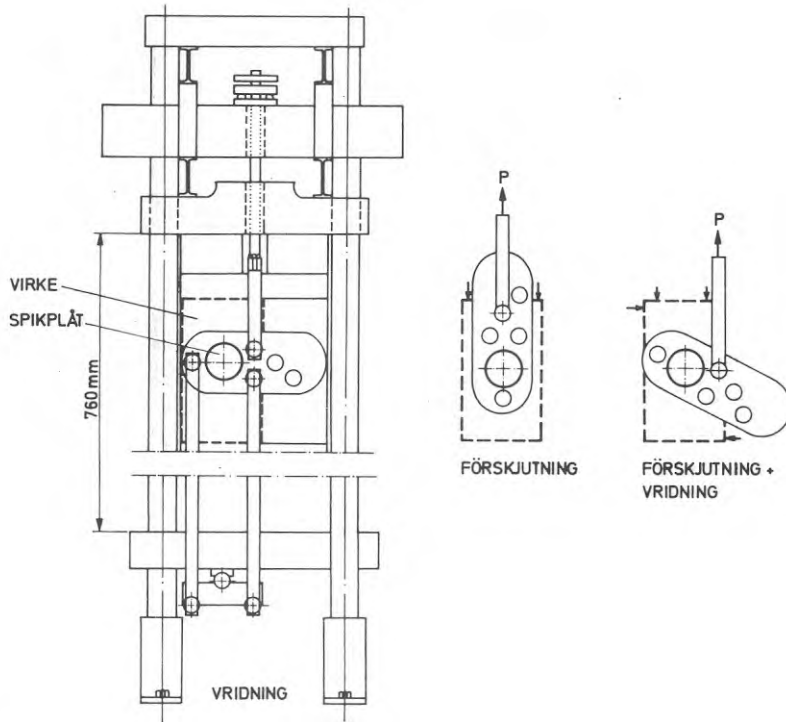


FIG. 1.4.1 Belastningsprincip

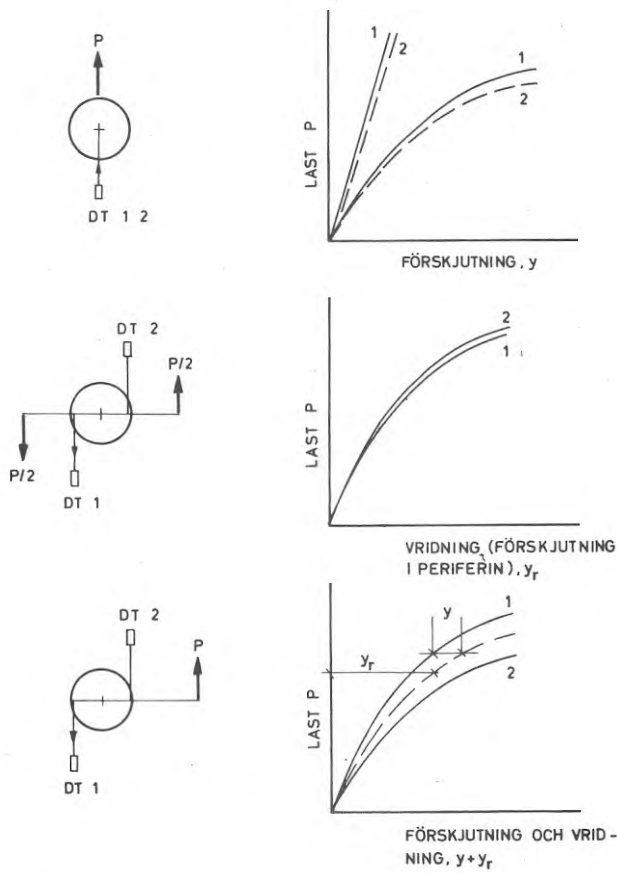


FIG. 1.5.1 Princip för mätning av förskjutning och vridning med differentialtransformatorer (DT). Pil vid DT anger positiv abskissa i förskjutningsdiagrammen.

FIG 1.5.1 visar principen för mätningen med en respektive två DT (märkta 1 och 2). FIG 1.5.2 visar kurvor registrerade på XY-skrivaren. Skillnaden i förskjutning för plåtarna på båda sidor om mittstycket är representativ för materialet i stort. Såväl större som mindre skillnader förekommer. Förskjutnings-skillnaden uppstår i början av belastningen och håller sig i det närmaste konstant då lasten ökas. I exemplet FIG 1.5.2 är skillnaden 0,05 mm. Att undgå skillnader av denna storleksordning skulle kräva omfattande och precisa anordningar för styrning av plåtarnas rörelse.

Kurvorna har tre delar (I,II,III).

Skalorna för såväl last som deformation är minskade vid övergång från del I till del II. Origo för del II motsvarar belastning och förskjutning vid slutpunkten för den I, Del III är en direkt fortsättning på del II, men förskjuten efter abskissa-axeln.

Kurvans initialsving motsvarar en förskjutning av samma storleksordning som skillnaden mellan kurvornas abskissor. Den är svår att undvika, trots god passning mellan spikar och plåtar. En del av fenomenet kan sammanhånga med transformatorernas infästning. Detta har kunnat konstateras genom samtidig mätning med indikatorlockor. Vid angivelse av lastvärdena vid 0,2 och 2 mm förskjutning är initialrörelsen subtraherad.

1.6 Analys av resultaten

Primärmaterialet består av förskjutningskurvor för förbanden enligt FIG 1.5.2. Från dessa kurvor har valts en serie lastvärden som förenklat beskriver kurvan. Lastvärdena är försedda med index som anger den förskjutning i mm som lasten orsakar. Första åtgärd vid behandling av kurvorna har varit en origoförflyttning som eliminerat den positiva eller negativa initialdeformation som ansetts kunna härledas till ofullkomlig passning mellan spikar och plåtar och i övrigt till ofullkomlighet i mätanordningen. Det nya origo har erhållits som skärningspunkten mellan tangenten i kurvans första raka del och abskissa-axeln, dvs såsom schematiskt visats i FIG 1.6.1 för fyra typer av kurvor. Det svåraste fallet vid bedömning av de minsta förskjutningarna har

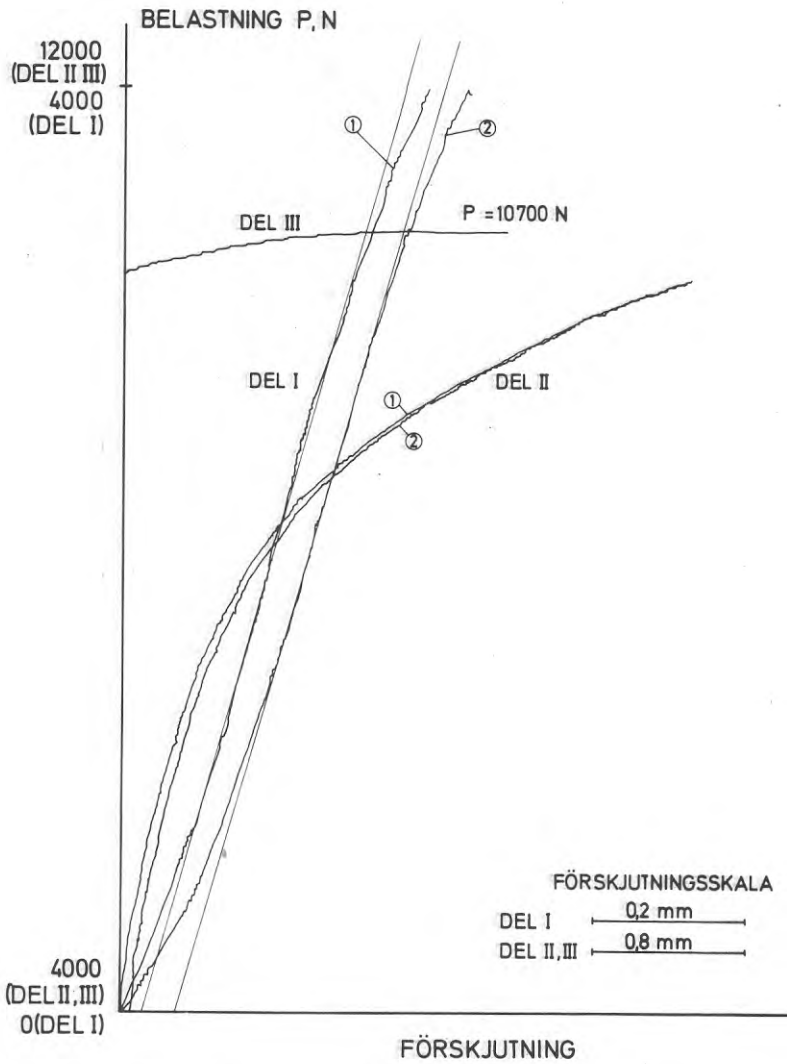


FIG. 1.5.2 Exempel på förskjutningsdiagram (V/22/2,5/6⁰). Mätning med två DT.

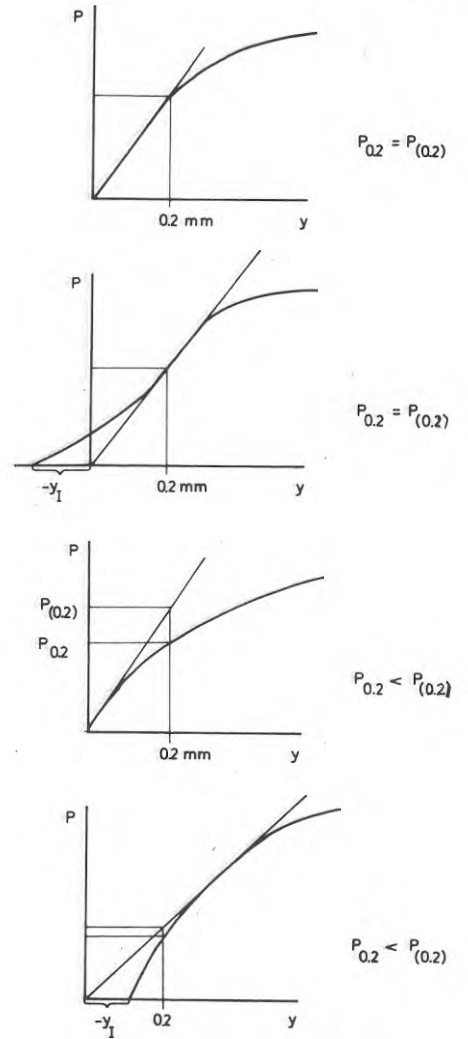


FIG. 1.6.1 Fyra typfall av förskjutningskurvor med lasterna $P_{0,2}$ och $P_{(0,2)}$ inlagda.

varit då kurvan inte uppvisat någon rak del. I detta fall har tangentpunkten bestämts med ledning av andra kurvor i samma serie.

De lägsta angivna lasterna på kurvan är $P_{0,2}$ och $P_{(0,2)}$. Den förstnämnda motsvarar en punkt på kurvan, den andra är en punkt på tangenten till kurvans raka del. I båda fallen avser de laster vid 0,2 mm förskjutning, räknat från tagentens skärningspunkt med abskissa-axeln. $P_{0,2}$ (sekantmodulen) kan vara lika med eller mindre än $P_{(0,2)}$ (tangentmodulen). Utöver ovannämnda lastvärden har lasterna vid 1 och 2 mm förskjutning (P_1 och P_2) använts för att ange kurvformen. Slutligen har en last P_B angivits. Detta är ingen egentlig brottlast, men en maximilast vid konstant deformationshastighet.

Vid jämförelse av olika variablers inflytande på förskjutningens storlek och hållfasthet har i regel använts medelvärden för grupperna om sex förband. I vissa fall har resultaten dock slagits isär i två värden, ett för "lätt" och ett för "tungt" virke.

1.7 Förskjutningsmoduler för spikgrupper och spikplåtar

1.7.1 Allmänt

I analogi med beteckningarna "elasticitetsmodul" och "skjuvmodul" har beteckningen "förskjutningsmodul" här använts för förhållandet påkänning till förskjutning. Följaktligen ger en ökad förskjutningsmodul minskad förskjutning. Denna typ av moduler eller elasticitetskoefficienter definierades ursprungligen för fallet att proportionalitet råder mellan påkänning och deformation. En tillämpning över materialets eller förbandets verkliga proportionalitetsgräns kan dock innebära en berättigad approximation.

Olika sätt att definiera förskjutningsmoduler för spikförband har tidigare behandlats (Norén, 1968). Om inte särskilt anges, avses i det följande med förskjutningsmodulen förhållandet mellan förskjutningskraft per ytenhet fogyta (skjuvspänning) och förskjutning. Vid vridning hänförs sig förskjutningsmodulen till den fiktiva skjuvpåkänning som framkommer ur elasticitetsteorin.

Beteckningar som inte framgår av texten återfinns i den inledande förteckningen.

1.7.2 Förskjutning av kraft genom fogytans tyngdpunkt (TP)

Om förskjutningskraften går genom tyngdpunkten av fogytan (A), förskjuts virkesdelarna utan att vridas i förhållande till varandra. I den följande teoretiska behandlingen utgår vi från att förskjutningskraften är proportionell mot en dignitet (b) av förskjutningen

$$\tau = R/A = \text{konst} \cdot y^b = C_1 y^b \quad \text{N/mm}^2 \quad (1)$$

En möjlighet att approximera kraft/förskjutningskurvan är att förutsätta proportionalitet, dvs $b=1$, upp till en viss fiktiv proportionalitetsgräns.

Förskjutningsmodulen (sekantmodulen) är

$$k = \frac{\tau}{y} = \frac{R}{Ay} \quad \text{N/mm}^2 \quad (2)$$

dvs med R/A uttryckt enligt (1)

$$k = C_1 y^{b-1} \quad (3)$$

Förskjutningsmodulen kan lätt transformeras till att gälla en enskild spik. Om antalet spikar på fogytan (A) är (n), erhålles

$$k_{\text{spik}} = (A/n)k \quad \text{N/mm} \quad (4)$$

och kraft per spik är analogt med (1)

$$p = k_{\text{spik}} y = (A/n)C_1 \cdot y^b = \frac{R}{n} \quad \text{N} \quad (5)$$

I referensplåtarnas mönster ligger spikarna i hörnen av en romb bestående av två liksidiga trianglar med sidan a. De cirkulära plåtarnas yta är $A = \pi D^2/4 = n\sqrt{3} (a^2/2)$ och således modulen $k_{\text{spik}} = k\sqrt{3} (a^2/2)$.

1.7.3 Vridning

Då ett vridande moment (M) överföres i fogen, erhålles en vridning (θ) mellan de fogade delarna. För detta fall definieras här en vridningsmodul^x

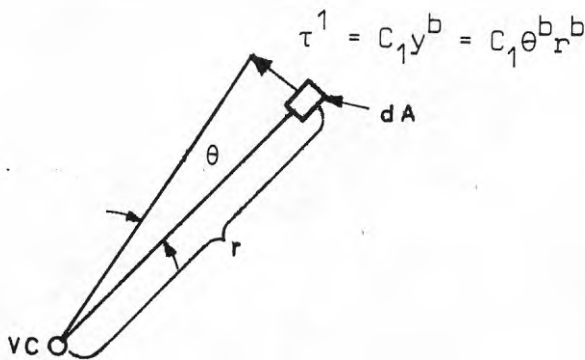
$$k_M = \frac{M}{\theta I_p} \quad \text{N/mm}^3 \quad (6)$$

Häri betecknar (I_p) det polära tröghetsmomentet för hela fogytan. Endast om förskjutningen är proportionell mot förskjutningsspänningen är denna modul analog med modulen enligt (2), dvs ett förhållande mellan en spänning och en förskjutning i en fixerad punkt

$$k_M = (\tau/y)_{b=1} = \frac{Mr}{I_p} / y = \frac{M}{\theta I_p} \quad (7)$$

Analogt med förskjutningsmodulen enligt (3) kan vridningsmodulen uttryckas i den i (1) introducerade konstanten C_1

$$k_M = (I'_p/I_p) C_1 \theta^{b-1} = (I'_p/I_p) C_1 (y/r)^{b-1} \quad (8)$$



^xMed avseende på plåtens (spikgruppens) rörelser i förhållande till virket har i redogörelsen ordet "förskjutning" företrädesvis använts för translation. Författaren har också valt att behålla den vanliga benämningen "förskjutningsmodul" i stället för att introducera en benämning som "translationsmodul". Ordet vridning har använts som synonymt med rotation. Vridningsmodulen anknyter närmast till förskjutning=vridning (vridningsvinkel θ i sista ledet av ekv (7)). Benämningen "förskjutningsmodul vid vridning" har dock också använts, vilket kan motiveras när man ser till de verksamma elementen=spikarna vilka förskjutning konstituerar spikgruppens vridning.

Ekvation (8) är härledd enligt följande:

Ytenhetens förflyttning vid vridning vinkeln θ är $y=\theta r$, där r betecknar avståndet från vridningscentrum (VC). Enligt (1) är den verkliga kraften på ytenheten

$$\tau = C_1 y^b = C_1 \theta^b r^b$$

som ger delmomentet $dM = C_1 \theta^b r^{b+1}$. Härav det totala momentet

$$M = \int^A dM = C_1 \theta^b \int^A r^{b+1} dA = C_1 \theta^b I'_p \quad (9)$$

$I'_p = \int^A r^{b+1} dA$ kan betraktas som ett generaliserat polärt tröghetsmoment som övergår i det vanliga polära momentet I_p då $b=1$. Värdet på M enligt (9) insatt i (6) ger ekvation (8).

Tröghetsmomentet I'_p är relativt lätt att bestämma för dubbelsymmetriska fogtytor, varvid ytenheten tecknas $dA = r dr d\theta$. Vid osymmetriska fogtytor blir en exakt beräkning mera besvärlig eftersom läget av vridningscentrum ändras med vridningen, dvs r blir beroende av θ .

För de cirkulära referensplåtarna med spikarna jämnt fördelade över ytan $A = \pi(D/2)^2$ erhålles

$$I'_p = \frac{2\pi}{b+3} (d/2)^{b+3} \quad (10)$$

$$\text{För } b = 1 \quad I'_p = I_p = \frac{\pi D^4}{32}$$

Räknas per spik erhålles i analogi med (8) och (6) förskjutningsmodulen

$$(k_M)_{\text{spik}} = \frac{M}{\theta \Sigma r^2} = (\Sigma r^{b+1} / \Sigma r^2) (A/n) C_1 \theta^{b-1} \quad (11)$$

$$\text{För } b = 1 \text{ är } C_1 = k_M \approx (n/A) (k_M)_{\text{spik}}$$

Kraft per spik erhålles ur (5)

$$p = (A/n) C_1 y^b = (A/n) C_1 \theta^b r^b \quad (12)$$

Vid osymmetrisk spikgruppering beräknas summan $\Sigma r_{(VC)}^{b+1}$ iterativt med utgång från att vridningscentrum (VC) och tyngdpunkt (TP) sammanfaller, något som i verkligheten är fallet endast för $b=1$.

1.7.4 Betydelse av koefficienten C_1

Den i uttrycken för förskjutningsmodulen införda koefficienten C_1 är framförallt av intresse om man kan anta att den har samma värde oavsett förskjutningskraftens riktning och samma värde vid förskjutning som vid vridning.

Det är likafullt av betydelse om man kan finna enkla approximationer för C_1 -värdets riktningsberoende som medger att man ur fallen ren förskjutningskraft och rent moment med tillräcklig noggrannhet kan beräkna förskjutning och vridning vid ett godtyckligt förhållande mellan förskjutningskraftens och momentets storlek, med andra ord vid olika excentricitet hos förskjutningskraften.

2 KRAFT I FIBERRIKTNINGEN

2.1 Brottlast

Brottlasten - egentligen en flytlast - redovisas som funktion av spiktätheten i FIG 2.1.1 och 2.1.2 i den första figuren som brottlast per spik, i den andra som brottlast per enhet spik-plåtsarea. Resultaten anger med ett par undantag konstant brottlast (R_B) per spik, motsvarande direkt proportionalitet mellan brottlast per ytenhet och spiktäthet. Tidigare undersökningar visar tendensen att hållkanthållfastheten under klenare spikar är större än under grövre spikar (Norén 1968). Nu visar förbanden en hållfasthet som stiger mer än proportionellt mot spikdiametern. Det bör emellertid observeras att brottlasten hos spikplåtarna teoretiskt är proportionell mot hållkanthållfastheten endast för spikar 13/5. Dessa spikar tillhör böjningsfall A, se TAB 1.2.2. Spikar 22/5 tillhör fall B. De klenare spikarna (2,5) tillhör fall B och fall C.

Träets tryckhållfasthet (σ) har räknats vara 44 N/mm^2 , vilket enligt FIG 1.2.3 svarar mot medeldensiteten 440 kg/m^3 i förbandsgrupperna. Hållkanthållfastheten (q) beräknas ur

$$q = 0,6(1,4-d)\sigma \cdot d \quad (13)$$

som ger värdena $q = 76$ och $q = 120 \text{ N/mm}$ för spikar $d = 2,5$ resp 5 mm . Dessa stämmer väl med medelvärdena 80 resp 125 N/mm som kan utläsas ur tidigare intryckningsförsök vid motsvarande trähållfasthet (Norén 1968).

Förväntade brottlaster (Q_A, Q_B, Q_C), om hållkanthållfastheten antas variera med diametern enligt (13), är angivna för de tre böjningsfallen A, B, C i FIG 2.1.1. Överensstämmelsen mellan beräknade och erhållna brottvärden för spikplåtarnas förankring är som synes god, utom för spikplåtarna med grova, korta spikar, motsvarande böjningsfall A. Orsaken till diskrepansen är, åtminstone delvis, att söka i spetseffekten, dvs metoden att räkna effektiv längd (TAB 1.2.2), som underskattar spetsbidraget för detta fall.

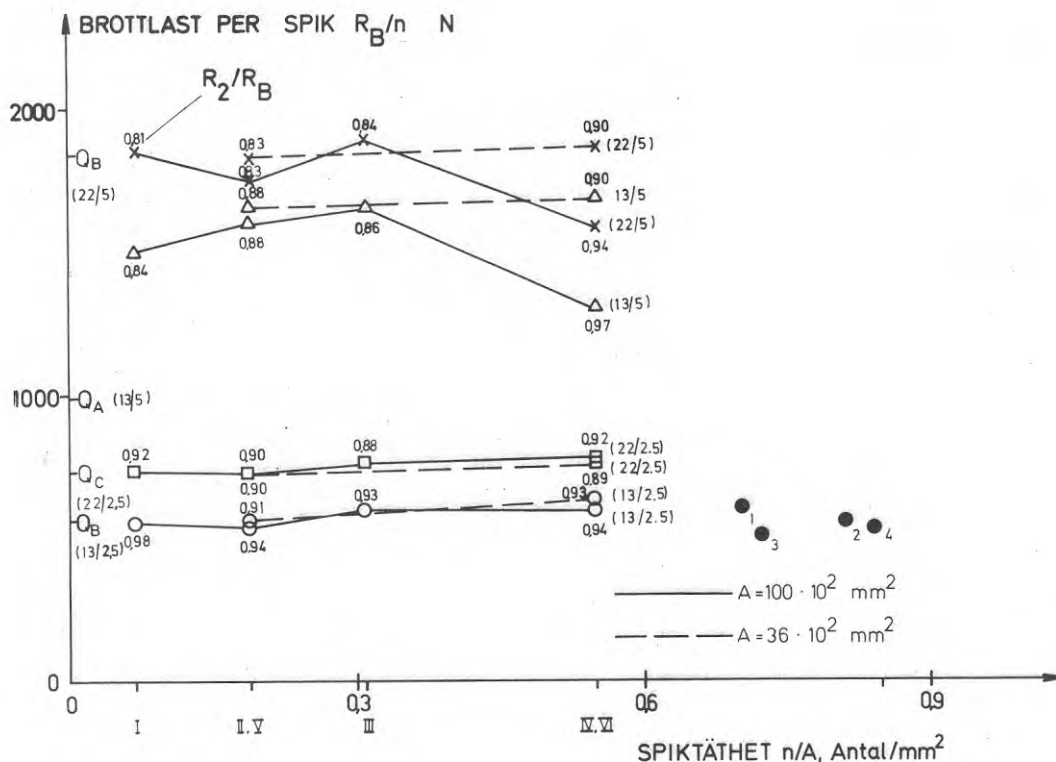


FIG. 2.1.1 Spikplåtarnas brottlast i N/spik som funktion av spiktätheten. Q -värdena efter ordinataxeln anger beräknade värden. Inlagda fyllda cirklar representerar resultat vid provning av vanliga kommersiella spikplåtar (Hydro-Nail, Gang-Nail). Last som ger 2 mm förskjutning (R_2) är minst 80% av brottlasten, se angivna fraktionstal.

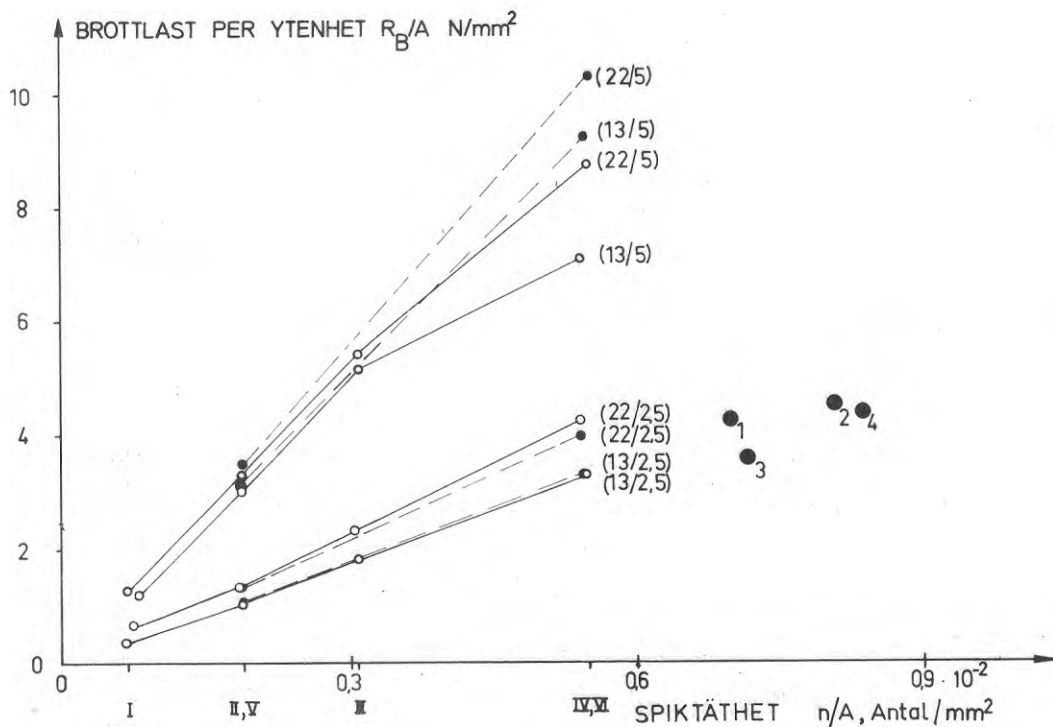


FIG. 2.1.2 Konstant brottlast per spik (FIG. 2.1.1) motsvarar ett skjuvpåkänningens brottvärde som är proportionellt mot spiktätheten.

I undantagsfall har den specifika hållfastheten (brottlast per spik eller ytenhet) sjunkit vid spiktäthet över 0,003 spikar/mm² genom att spikarna kommit så nära varandra att de inte arbetar oberoende av varandra. Denna effekt har inte kunnat påvisas i de mindre plåtarna, vilket möjligen kan förklaras av att hälften av spikarna ligger i periferin och följaktligen är mera ostörda än övriga spikar. I de större plåtarna ligger ca en tredjedel av spikarna i periferin. Inte heller i spikplåtar med de klena spikarna (2,5) är denna effekt märkbar vid provade spiktätheter. Detta sammanhänger säkert med att spiktätheten relativt spikdiametern i detta fall är större. Om det relativa spikavståndet i fiberriktningen (a/d) antas avgörande och spikavståndet är detsamma längs och tvärs fibrerna, kan ett generaliserat gränsvärde $nd/A = 0,005$ (st/mm) användas. Spiktätheten vid den andra undersökta spikdiametern, 2,5 mm, har dock legat under gränsen, varför diameterberoendet inte kunnat verifieras.

Om istället kraften per spik, antagen till $P_{\text{spik}} = \text{konst } d^2$, är avgörande för spikavståndet, blir en relativ spiktäthet lika med andelen spiktvärsnitt i fogytan primärt intressant, t ex för runda spikar $F/A = n \cdot 0,25 \pi d^2/A$. F betecknar summa tvärsnittsarea för spikar på fogytan A . Gränsvärdet $n/A = 0,003$ spikar per mm² för $d = 5$ mm motsvarar $F/A = 0,06$ och den största provade spiktätheten $n/A = 0,0055$ motsvarar $F/A = 0,11$. Dessa värden skall jämföras med största tillåten spiktäthet vid vanliga spikförband, dimensionerad med hänsyn till risken att spräcka virket, $F/A = d^2/(5d \cdot 10d) = 0,02$ och med vanlig spiktäthet vid kommersiella plåtar, 0,03 (Hydro-Nail E, Structo-Nail). Jämförelsen säger oss att spikplåtar är effektivare än vanliga spikförband på fogytor av begränsad storlek. Den säger oss även att det finns teoretisk möjlighet att öka förankringshållfastheten hos kommersiella plåtar. Samtidigt med ökad spiktäthet måste man dock räkna med att behöva öka plåttjockleken. De utvikta spikarna lämnar nämligen hål i plåten som redan vid spiktätheten $F/A = 0,03$ reducerar plåttvärsnittet till 0,5 och 0,25 av bruttotvärsnittet i plåtens resp kantriktningar. Ökad plåttjocklek kan i sin tur medföra problem vid stansningen och även då plåtarna skall tryckas in i virket.

Fyllda cirkelar i FIG 2.1.1 anger brotthållfastheten hos förband med kommersiella spikplåtar. Spikarna har i dessa nära rektangulärt tvärsnitt med mått 1,3 x 2,7 till 1,5 x 4,3 mm. Spikplåts-areorna motsvarar närmast de i huvudprovningen använda större spikplåtarna (A ca 10^{-2} m²). I figuren är också inskrivet kvoten R_2/R_B , där R_2 anger kraften vid 2 mm förskjutning mellan plåt och trä och R_B är lasten vid "brott". För spikplåtarna med klenare spikar är kvoten nära konstant 0,9. Det innebär att kurvorna för R_2 skulle se likadana ut som för R_B . För spikplåtarna med grövre spikar ökar värdet vid den högsta spiktätheten. Det innebär att effekten med avtagande bärförmåga per spik vid hög spiktäthet inte framkommer om bärförmågan definieras som lasten vid 2 mm rörelse. Man har här att göra med två motverkande fenomen, dels ökande friktion på grund av normalkraften mot spikarnas mantelyta vid tät spikning, dels den negativa effekten av att samma fibrer får belastning från flera spikar då spiktätheten blir stor.

2.2 Densitetens inverkan

Inom varje grupp av provade förband varierar densiteten systematiskt mellan 300 och 600 kg/m³. (Enligt programmet är virket uttaget så att varje grupps medeldensitet skall vara lika.) För att kunna redovisa densitetens inverkan samtidigt för plåtar med olika styrka har som beroende variabel använts kvoten mellan förbandets styrka (R) och medelstyrkan av förbanden i grupper om sex förband inom vilka endast densiteten varierar (\bar{R}).

Om sambandet mellan kraften R och densiteten r antages rätlinjigt enligt

$$R = ar + b \quad (14)$$

blir motsvarande linje för relativlasten

$$R/\bar{R} = Ar + B \quad (15)$$

$$\text{där } A = \frac{a}{a\bar{r}+b} \quad \text{och} \quad B = \frac{b}{a\bar{r}+b}$$

Alternativt hade man kunnat ställa relativlasten mot den relativa densiteten

$$R/\bar{R} = \alpha r/\bar{r} + \beta, \text{ där } \alpha = \bar{r}A \text{ och } \beta = \bar{r}B \quad (16)$$

Eftersom \bar{r} är lika för alla grupper, har emellertid (15) lika väl kunnat användas.

FIG 2.2.1 och 2.2.2 visar resultaten för spikar med 2,5 mm diameter. FIG 2.2.3 och 2.2.4 för spikar med 5 mm diameter. Någon signifikant skillnad i densitetens inflytande har inte kunnat påvisas mellan de olika typerna av förband (gran, furu, plåtar med olika spiktäthet och storlek), varför gemensamma regressionslinjer dragits. Sammanlagt för de fyra spiktyperna (144 förband) ligger 29 granförband (ofyllda tecken) över och 43 under regressionslinjerna och av furuförbanden (fyllda tecken) 43 över och 30 under. De olika symbolerna i kurvorna anger spikplåtstyp.

I FIG 2.2.5 är regressionslinjerna för de fyra spiktyperna sammanställda. Man kunde vänta sig att de styva spikarna, spikar 13/5, skulle visa det största densitetsberoendet och de slanka spikarna, spikar 22/2,5, det minsta. Detta stämmer inte med resultaten. En test av signifikansen av skillnaden mellan största och minsta regression i figuren visar dock 99,9 % signifikans. Även lutningskillnaden mellan andra linjer är i några fall signifikant till ca 90 %. Genomgående är densitetens inverkan mindre än svarande mot proportionalitet mellan densitet och träets tryckhållfasthet. För plåtarna med slanka spikar (böjningsfall C) kunde man vänta sig en hållfasthet som var proportionell mot roten ur densiteten (r), dvs en funktion av typen

$$R_B/\bar{R}_B = A(r/\bar{r})^{0,5} \quad (17)$$

Av resultaten FIG 2.2.6 framgår att skillnaden mellan de så erhållna kurvorna och de räta linjerna är obetydlig i det observerade densitetsintervallet. Ekvationerna för kurvorna är sammanställda i TAB 2.2.1. Hållfastheten vinkelrätt mot fibrerna är nära proportionell mot densiteten. En undersökning av kvoterna

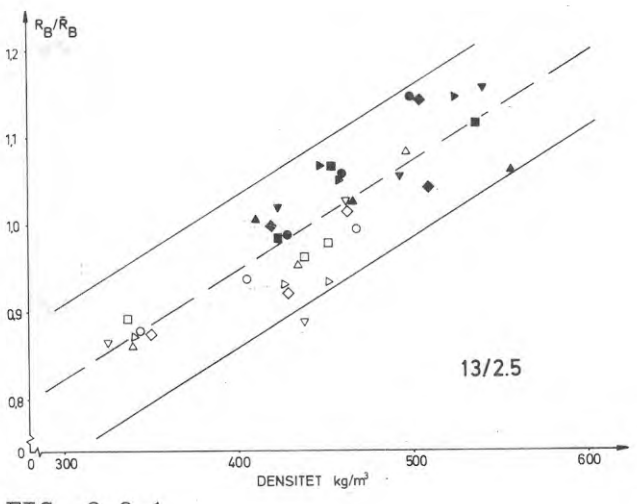


FIG. 2.2.1

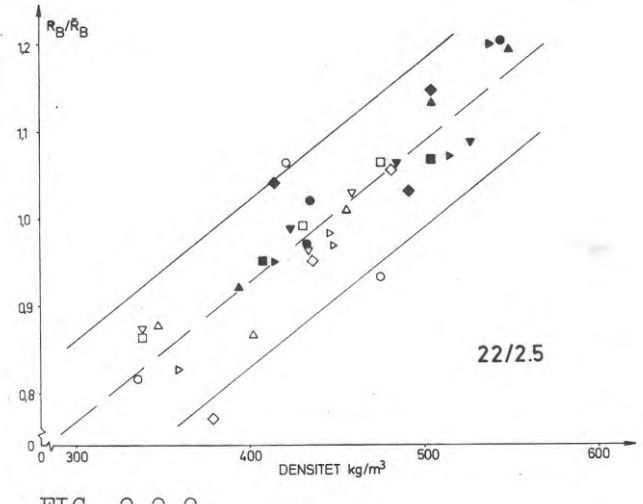


FIG. 2.2.2

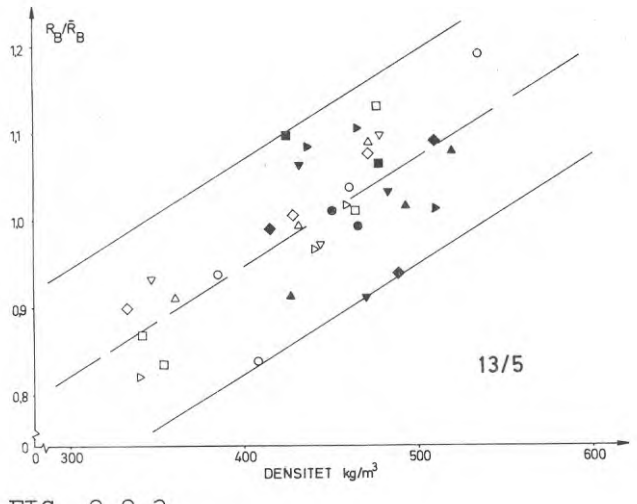


FIG. 2.2.3

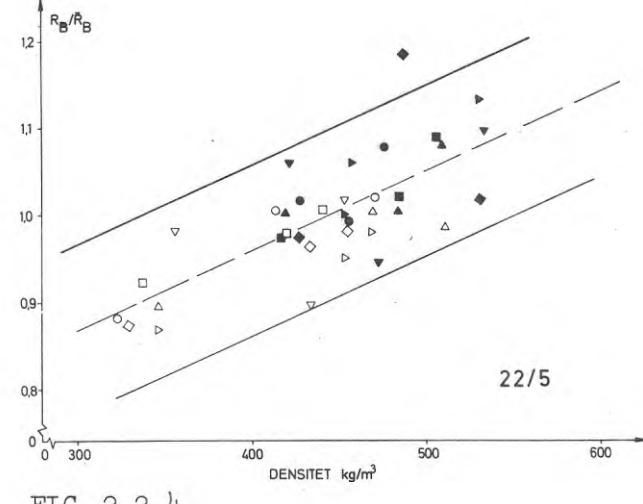


FIG. 2.2.4

FIG. 2.2.1-4 Virkesdensitetens inflytande på brottlasten. Ofyllda tecken anger granvirke, fyllda tecken furuvirke. Regressions- och konfidenslinjer för 95% sannolikhet är inritade av en HP9100A.

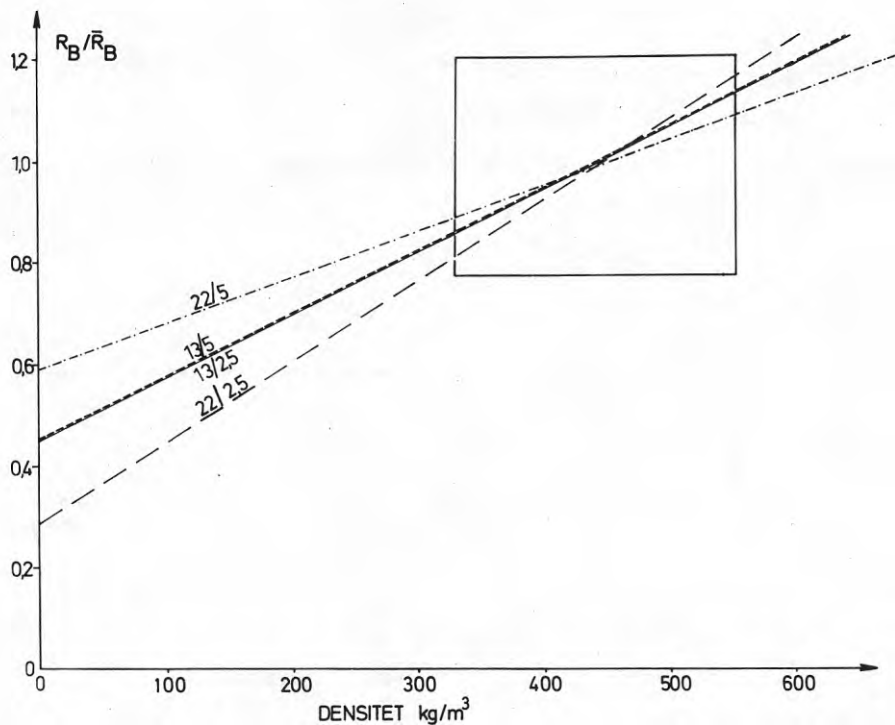


FIG. 2.2.5 Regressionslinjer för densitetens inverkan på hållfastheten vid olika spikstorlek. Rutan anger undersökt område. Linjerna för 13 mm långa spikar, som samtidigt representerar regressionen för alla undersökta plåtar (spikstorlekar) vid belastning i fiberriktningen, är överförda till FIG. 2.2.6 (II).

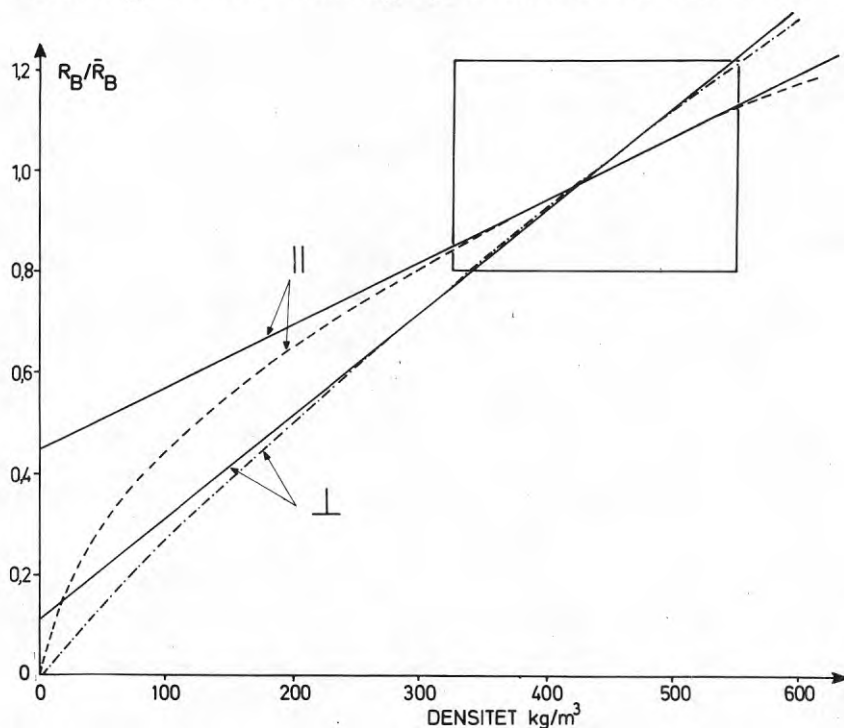


FIG. 2.2.6 Medeltal av samband mellan densitet och brottlast. Kraftriktning parallellt med resp. vinkelrätt mot fiberriktningen. De streckade regressionskurvorna motsvarar proportionalitet mellan hållfastheten och kvadratroten ur densiteten, såsom kan förväntas vid böjningsfall C (TAB. 1.2.2). Inom experimentets ram (inritad) är det likgiltigt om man utgår från detta antagande eller från linjäritet i sambandet.

R_1/\bar{R}_1 och R_2/\bar{R}_2 , där index anger mot kraften svarande förskjutning i mm, visar mycket nära samma densitetsinflytande som för brottlasten. Även ekvationer för densitetsinflytande på R_1 och $R_{(0,2)}$ är medtagna i TAB 2.2.1

TABELL 2.2.1 Lastvärdenas densitetsberoende, jfr FIG 2.2.1-6

	Spikdimen- sion	Vinkel kraft/fiber	Ekvation $Y = R/\bar{R}$ $X = r_{ou}$	Korrela- tionsko- efficient
R_B	22/5 13/5 22/2,5 13/2,5 Medelkurva	0°	$Y = 0,92X + 0,59$	0,74
			$Y = 1,24X + 0,45$	0,74
			$Y = 1,62X + 0,28$	0,90
			$Y = 1,25X + 0,45$	0,87
			$Y = 1,55X^{0,54}$	0,88
	22/5 13/5 22/2,5 13/2,5 Medelkurva	90°	$Y = 1,46X + 0,37$	0,70
			-	-
			-	-
			$Y = 2,04X + 0,11$	0,82
			$Y = 2,06X^{0,87}$	0,82
R_1	22/5 13/5 22/2,5 13/2,5	0°	$Y = 0,77X + 0,66$	0,40
			$Y = 1,12X + 0,51$	0,68
			$Y = 1,62X + 0,28$	0,89
			$Y = 1,26X + 0,44$	0,83
$R_{(0,2)}$	22/2,5 13/2,5	0°	$Y = 2,27X + 0,01$	0,69
			$Y = 1,76X + 0,22$	0,63

Förskjutningsmodulen, se 2.3 nedan, för spikplåtar med 2,5 mm spikar är nära proportionell mot densiteten, men korrelationskoefficienten är låg på grund av spridning. På grund av stor spridning har ett eventuellt densitetsberoende inte kunnat påvisas vid spikplåtar med 5 mm spikar (korrelationskoefficient ca 0,1).

Med ledning av ovan anförda resultat kan konkluderas:

Vid extrapolation av hållfasthets- och styvhetsvärden från värden mätta vid viss densitet mot lägre densitetsvärden kan räknas med direkt proportionalitet mot densiteten. Metoden ger dock hållfasthetsvärden på säkra sidan vid belastning i fiberriktningen

2.3 Förskjutningsmodul

Generellt gäller att förskjutningskurvorna kröker vid ökande belastning. För deformationsberäkningar kan man dock med god noggrannhet räkna kurvans första del som rak. Proportionalitetsgränsen kan därvid anses ligga ungefär vid 0,2 mm förskjutning mellan plåt och trä. I 75 % av materialet ligger kraften som ger 0,2 mm förskjutning mindre än 10 % under den kraft $R_{(0,2)}$ som ger 0,2 mm rörelse räknat efter en till kurvans första del anpassad rät linje. De i fortsättningen utan index angivna förskjutningsmodulerna är beräknade efter kurvans raka del, i princip en tangentmodul i origo. Förskjutningsmodulen är därmed definierad av

$$k = \frac{R}{yA} = \frac{R_{(0,2)}}{0,2A} \quad \text{N/mm}^3 \quad (18)$$

där y betecknar förskjutningen. Modulen är återgiven som funktion av spiktätheten i FIG 2.3.1, där inlagda värden är medelvärden för respektive grupper om sex förband. Detta gäller dock ej plåtar II och V, där varje värde härrör från ett förband med densitet lika med övriga grupperas medeldensitet. (Andra resultat finns från kompletta grupper om sex förband av typerna II och V. Plåtarna i dessa förband hade dock något för stora hål för spikarna, vilket medförde en förstoring av initialförskjutningen och därmed för låga förskjutningsmoduler.)

Förskjutningsmodulen hos förbanden med 5 mm spikar visar god proportionalitet mot spiktätheten. Förbanden med 2,5 mm spikar avviker däremot från proportionalitet då spiktätheten ökas. Tendensen är dock ganska svag jämfört med de enskilda värdenas spridning. Den är dessutom svår att förklara, eftersom spiktätheten relativt spikdiametern är större i spikplåtarna med 5 mm spikar, varför man snarare hade väntat en krökning av k -linjen

för dessa förband. Skillnaden mellan k-värdena för stora plåtar (heldragna kurvor) och små plåtar (streckade kurvor) är inte signifikant.

FIG 2.3.2 visar motsvarande kurvor för sekantmodulen vid 0,2 mm förskjutning, dvs

$$k_{0,2} = \frac{R_{0,2}}{0,2A} \quad \text{N/mm}^3 \quad (19)$$

Här framstår förskjutningsmodulen i båda spikstorlekarna som nära proportionell mot spiktätheten. Värdena k och $k_{0,2}$ är av samma storleksordning. Detta framgår av regressionslinjerna enligt följande:

Spikdiameter 5 mm: Tangentmodul $k = 23,2 \text{ n/A}$ ($c=0,995$)
 Sekantmodul $k_{0,2} = 22,8 \text{ n/A}$ ($c=0,996$)

Spikdiameter 2,5 mm: $k = 12,8 \text{ n/A}$ ($c=0,985$)
 $k_{0,2} = 11,2 \text{ n/A}$ ($c=0,996$)

Förskjutningsmodulen k , räknad per ytenhet av spikplåten, redovisad i FIG 2.3.1 och 2.3.2, är lika stor för de provade små och stora spikplåtarna (36 resp 100 cm² yta). Vinkelkoefficienten för linjerna i figuren är förskjutningsmodulen, räknad per spik. Linjerna motsvarar ett värde ungefär lika med $460d \text{ N/mm}$ ($460d$ för 2,5 mm och $470d$ för 5 mm spikar), där d är spikdiametern i mm. Förskjutningsmodulen k_{spik} beror på bäddmodulen (intryckningskoefficienten) K , spikens längd ℓ , böjstyvhet EI och inspänning i plåten. Vid fullständig inspänning av spikarna i plåten är den enligt elasticitetsteorin

$$k_{\text{spik}} = \frac{1}{nu} \cdot \frac{\sin u\ell \cos u\ell + \sinh u\ell \cosh u\ell}{\cos^2 u\ell + \cosh^2 u\ell} \quad (20)$$

där u är en hjälpfaktor: $1/u = \sqrt[4]{4EI/K}$ mm

n är antal spikar

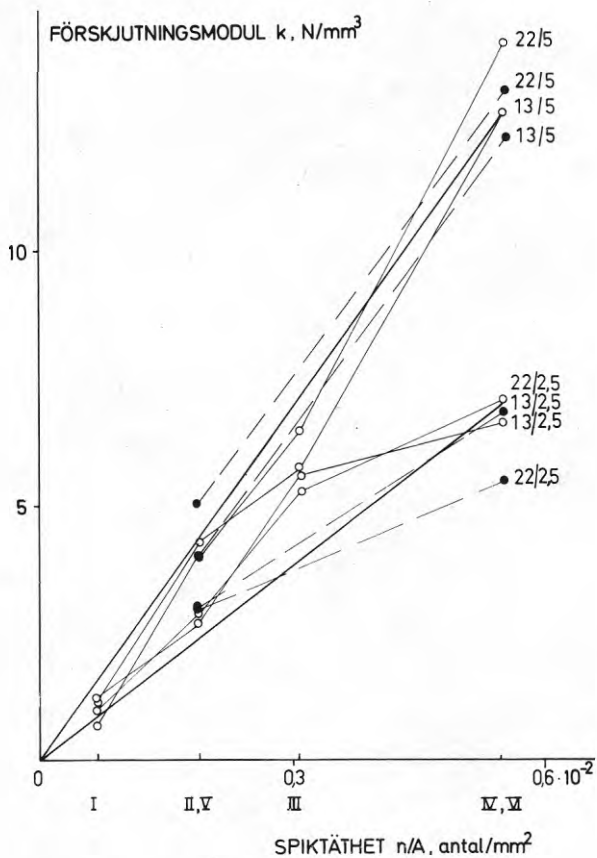


FIG. 2.3.1 Samband mellan förskjutningsmodul och spiktäthet.

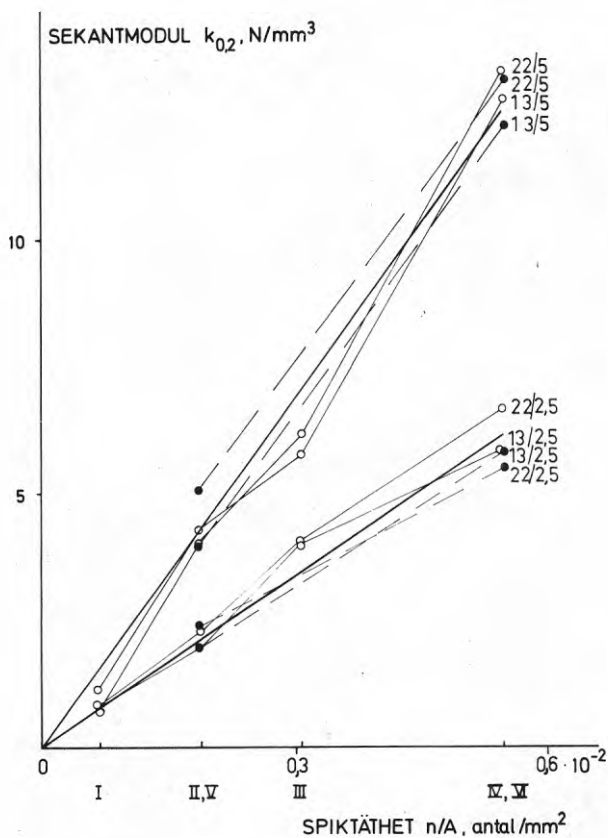


FIG. 2.3.2 Samband mellan förskjutningsmodul (sekantmodul från 0 - 0,2 mm förskjutning) och spiktäthet.

Anm Ekv (20) härledes enligt följande:

Differentialekvationen för nedböjning av en balk på elastiskt underlag tillämpas för spikens intryckning i hålkanten (y), orsakad av tvärkraften i fogen (P_{spik})

$$y^{IV} + 4u^4 y = 0$$

Integrationskonstanterna löses ur villkoren vid fogen ($x=0$), dvs $y'_0 = 0$, att avskärningskraften i fogen är P_{spik} , dvs $y''_0 = -P_{\text{spik}}/(EI)$, och att $k_{\text{spik}} = P_{\text{spik}}/y_0$, och ur villkoren vid spikspetsen ($x=1$) att moment och avskärningskraft är noll, dvs $y''_1 = y'''_1 = 0$.

FIG 2.3.3 och 2.3.4 visar grafiskt detta samband mellan k -spik och K för de olika spikarna. För värdet på spiklängden har använts l_{netto} , som är spikens förankringslängd minskad med 2/3 av spetslängden, se TAB 1.2.2. Streckade kurvor anger sambandet om spikens böjning försummas, dvs då k_{spik} är proportionell mot K . Som framgår av figuren är de korta 5 mm spikarna mycket nära böjstyva.

Ovannämnda förskjutningsmoduler ger värden på K i intervallet 150 till 200 N/mm². Detta är låga värden jämfört med dem som erhållits direkt vid "intryckningsprovning" av runda spikar, nämligen 200 à 350 N/mm² (Norén 1968). En orsak kan vara att in-spänningen av spikarna i plåten inte varit fullständig.

Densitetens inflytande på förskjutningsmodulen framgår av ekvation för kvoten $P_{(0,2)}/\bar{P}_{(0,2)}$ enligt TAB 2.2.1. Enligt detta är förskjutningsmodulen nära proportionell mot densiteten, men korrelationskoefficienten är låg. Intryckningsmodulen K är teoretiskt mera direkt beroende av densiteten än spikens förskjutningsmodul k_{spik} . Spridningen av förskjutningsmodulerna är dock så stor att man inte kan konstatera någon skillnad.

2.4 Förskjutningskurva

Förbandens kraft/förskjutningskurvor har registrerats kontinuerligt ända till maximilasten. I FIG 2.4.1 - 2.4.4 visas medel-

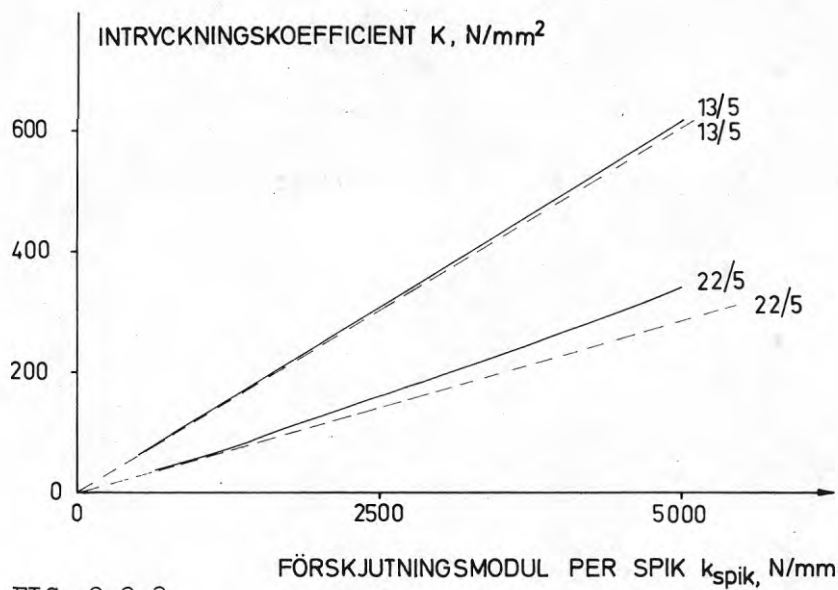


FIG. 2.3.3

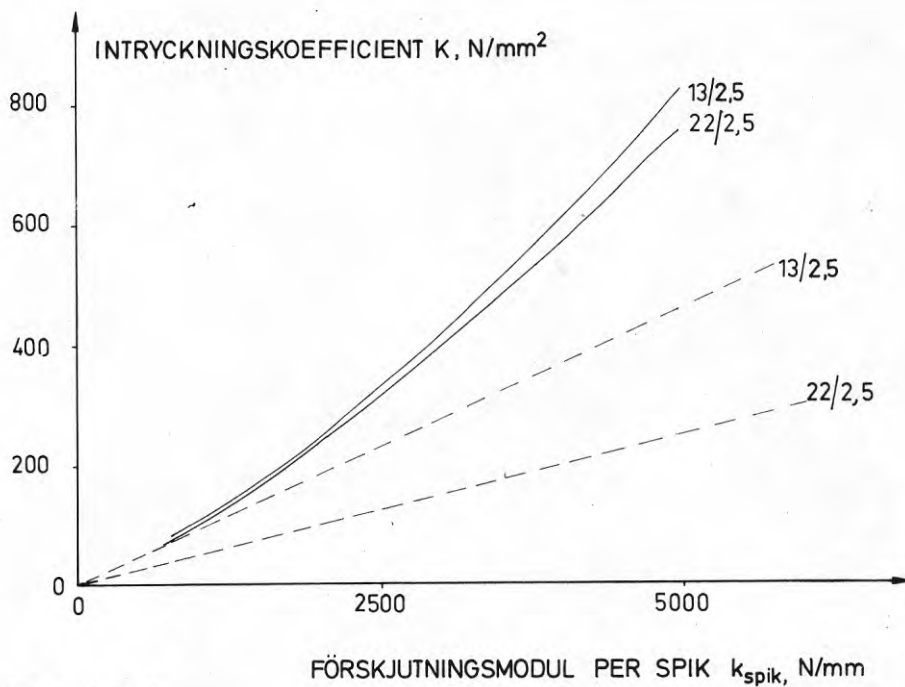


FIG. 2.3.4

FIG. 2.3.3-4 Samband enligt elasticitetsteorin mellan intryckningskoefficienten (bäddmodulen) K och spikplåtarnas förskjutningsmodul räknat per spik då K är en konstant. Streckade linjer erhålles om effekten av spikarnas böjning negligeras.

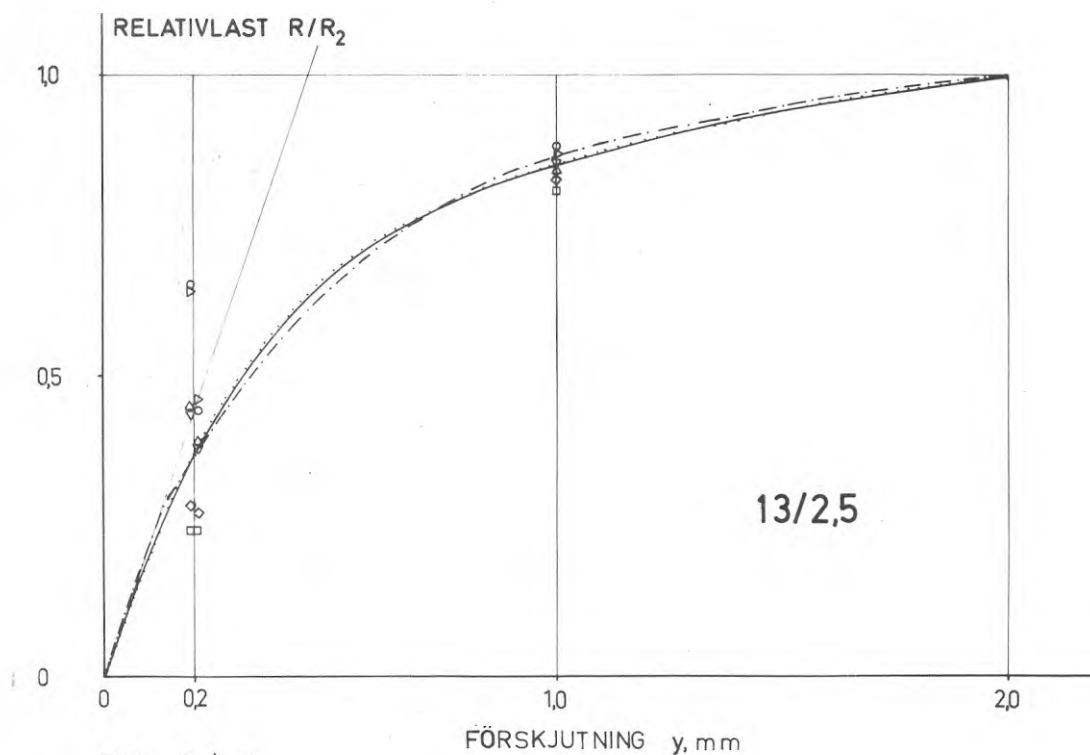


FIG. 2.4.1

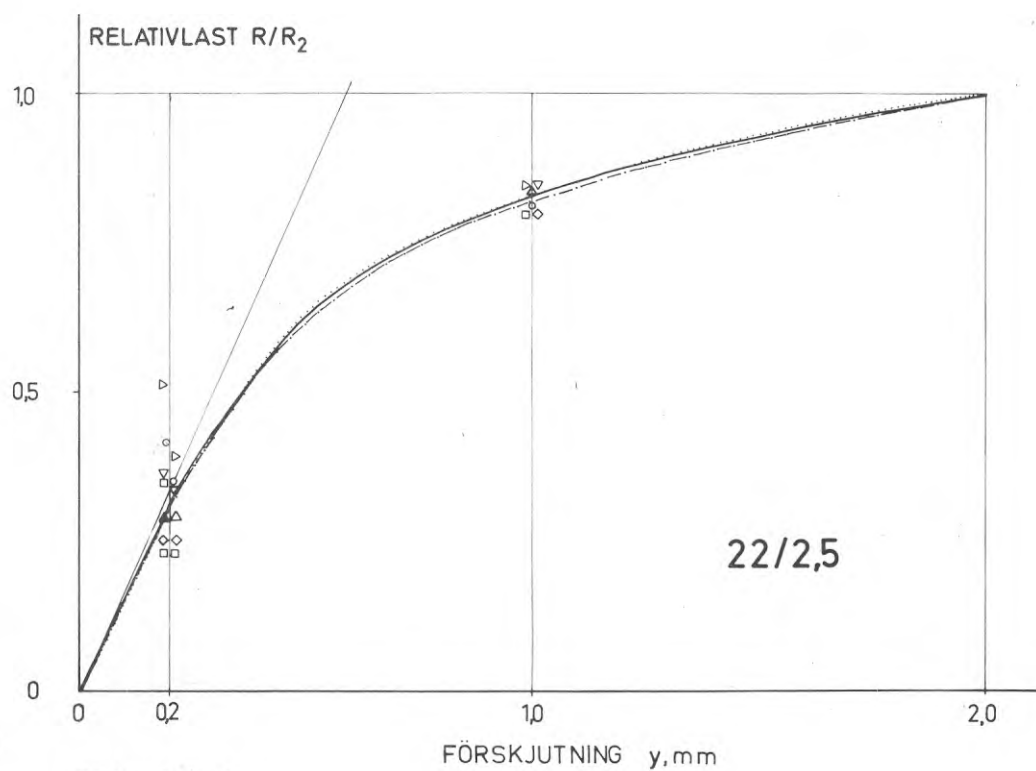


FIG. 2.4.2

FIG. 2.4.1-2 Last/förskjutningskurvor vid belastning i fiberriktningen och olika spikstorlekar. Heldragna kurvor är medelkurvor, övriga kurvor är exempel på kontinuerligt registrerade förskjutningskurvor. Inlagda värden är gruppmedelvärden för 6 förband. Spikdiameter 2,5 mm.

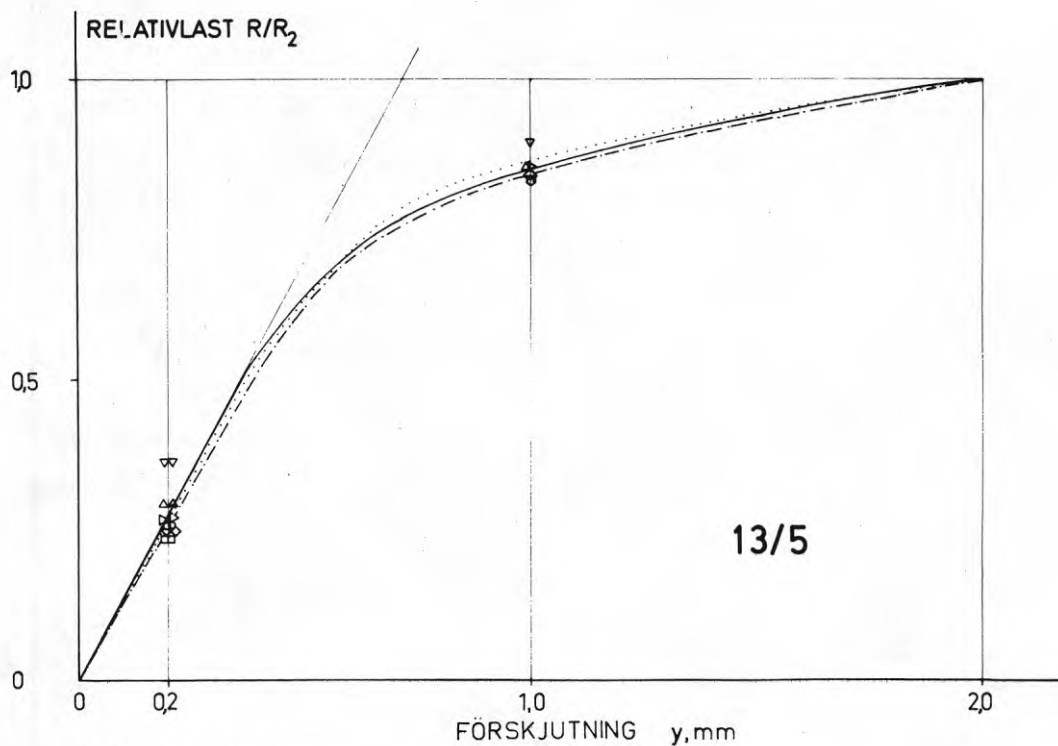


FIG. 2.4.3

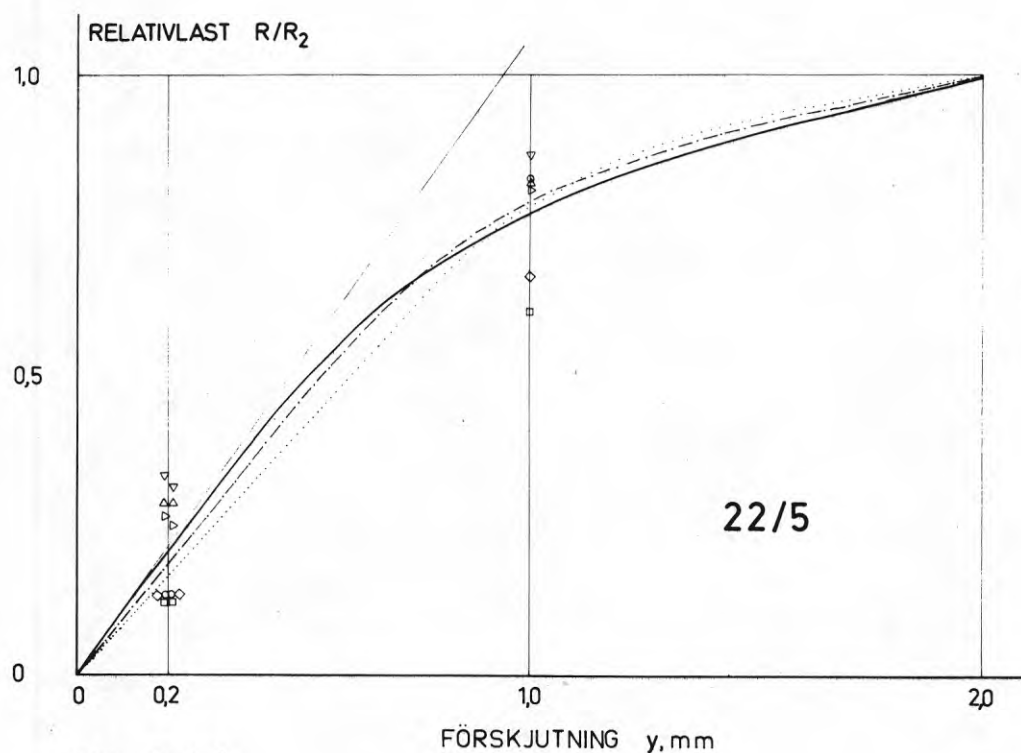


FIG. 2.4.4

FIG. 2.4.3-4 Last/förskjutningskurvor vid belastning i fiberriktningen och olika spikstorlekar. Heldragna kurvor är medelkurvor. Övriga kurvor är exempel på kontinuerligt registrerade förskjutningskurvor. Inlagda värden är gruppmedelvärden för 6 förband. Spikdiameter 5 mm.

kurvor för de fyra spiktyperna. Kraften är redovisad relativt den kraft som ger 2 mm förskjutning. I diagrammen är inlagda dels en medelkurva, dels gruppmedelvärden vid 0,2 och 1 mm förskjutning. Kurvorna är inlagda genom medelvärdena för spiktypen ifråga och i övrigt till formen anpassade efter den registrerade kurvformen för enskilda förband. Två enskilda sådana förbandskurvor är inlagda för jämförelse. Vid 0,2 mm rörelse är utom de direkt uppmätta lasterna de lastvärden inlagda som svarar mot den till kurvornas första del lagda tangenten, med andra ord de lastvärden ur vilka förskjutningsmodulerna k och k_{spik} uträknats. Genom origo- och medelvärdet av dessa lastvärden är en rät linje dragen. Avvikelsen mellan den räta linjen och medelkurvan är ett mått på approximationen i att använda en konstant förskjutningsmodul för förskjutningen.

För plåtarna med 2,5 mm spikar blir avvikelsen pga kurvans krökning ganska stor då förskjutningen kommer över 0,2 mm. Lasten är då ca en tredjedel av lasten vid 2 mm förskjutningen, vilket är i storleksordningen av tillåten belastning. För plåtar med de grövre spikarna kan man med samma approximation räkna förskjutningsmodulen konstant upp till omkring halva den last som ger 2 mm förskjutning. Detta betyder att man upp till en tillåten belastning, ca en tredjedel av brottlasten, utan stora fel kan räkna med en konstant förskjutningsmodul. Som framgår av de inlagda gruppmedelvärdena är skillnaden mellan belastningen $R_{(0,2)}$ och $R_{0,2}$ i regel liten, jämfört med spridningen mellan gruppmedelvärdena. Det bör observeras att vid konstruktion av medelkurvorna inräknats även förband med spikplåtar II och V med något för stort glapp i spikinfästningarna. Detta förklarar de lägst liggande värdenas avvikelse. De stora spikplåtarna med 2,5 mm spikar visar å andra sidan ett förhållandevis stort värde på kvoten $R_{(0,2)}/R_{0,2}$, något som delvis beror på en förhållandevis hög förskjutningsmodul, se FIG 2.3.1, dels på en förhållandevis låg last R_2 .

I FIG 2.4.5 är kurvorna för de fyra olika spiktyperna sammanställda och medelkurvan för alla 144 förbanden dragna i fiberriktningen är angiven. Värdet R_2 som grund för förskjutnings-

kurvans form är vald enligt en tidigare begränsning av hålkant-hållfastheten till påkänningen vid 2 mm intryckning (Norén 1968). Kurvornas spridning påverkas givetvis av spridningen av R_2 . Som angivits i FIG 2.1.1 varierar gruppmedelvärdena av R_2 från 0,81 till 0,97 av R_B .

För beräkning av träkonstruktioner med beaktande av förskjutningarna i förbanden fordras vanligen sambandet kraft/förskjutning i matematisk form, ju enklare desto bättre. Ett använt samband är

$$R = Ay^c \quad (21)$$

eller relativt koordinaten $y = f$, $R = R_f$

$$R/R_f = (y/f)^c \quad (22)$$

Värdet $c = 1$ betyder givetvis proportionalitet inom det betraktade området 0/0 till R_f/f och ett litet c -värde att R snabbt når ett flytvärde (R_f). Värdet c beror på hur stor del av den totala förskjutningskurvan (från $R = 0$ till $R = R_{\text{brott}}$ eller R_{max}) som representeras av (22), med andra ord det valda värdet på f .

I övrigt är värdet på c beroende av spikarnas slankhetstal så att förband med slanka spikar som böjer sig kraftigt under belastningen, ger lägre c -värde än styva spikar (jfr Aune, 1966). Enligt (21 och 22) är förbandet oeftergivligt (dR/dy oändligt stort) för $y = 0$ då $0 < c < 1$. Detta strider mot kurvornas utseende enligt FIG 2.4.5. Även bortsett härifrån är det svårt att passa funktionen (22) till kurvan med den enda parametern c . Som exempel ger ett villkor att funktionen skall stämma vid $y = 0,2$ mm ett för lågt värde på den last som ger 1 mm förskjutning, nämligen $R_1/R_2 = 0,68$ mot verkligt värde 0,82. Ett möjligt sätt att få tillfredsställande passning är att ersätta kurvan till en viss förskjutning (e) med en rät linje

$$R/R_f = \text{konst} (y/f) \quad (23)$$

och därefter med en funktion av typen

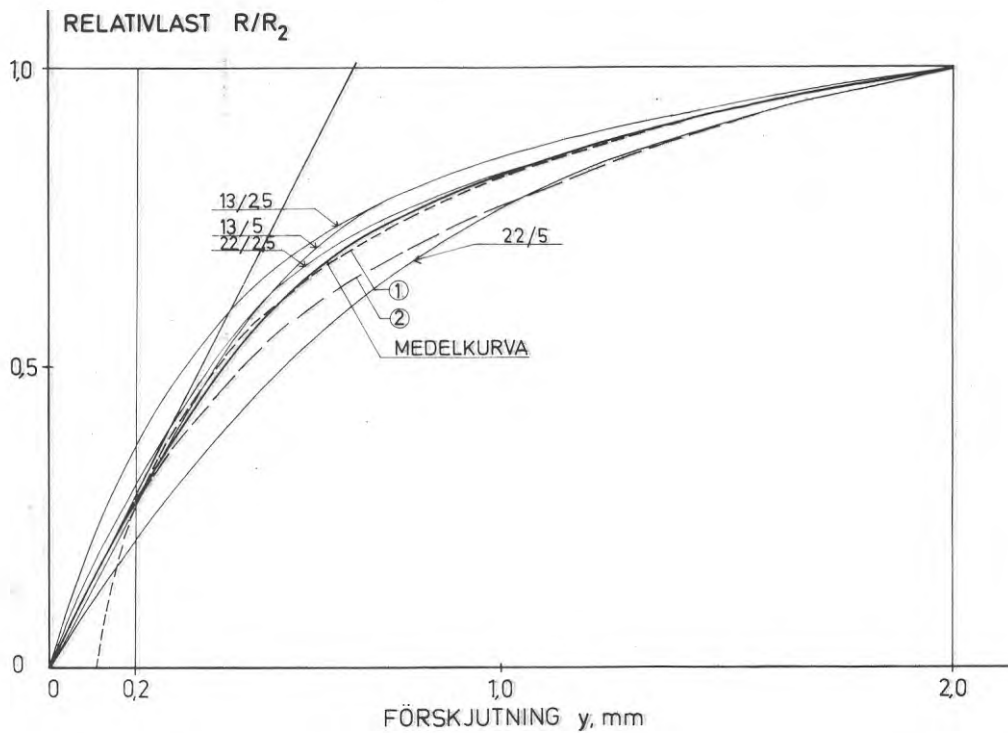


FIG. 2.4.5 Sammanställning av last/förskjutningskurvor vid olika spikstorlek samt medelkurva och medellinje för bestämning av förskjutningsmodul. Streckade kurvor (1 och 2) är tillpassade med hjälp av ekv. (24).

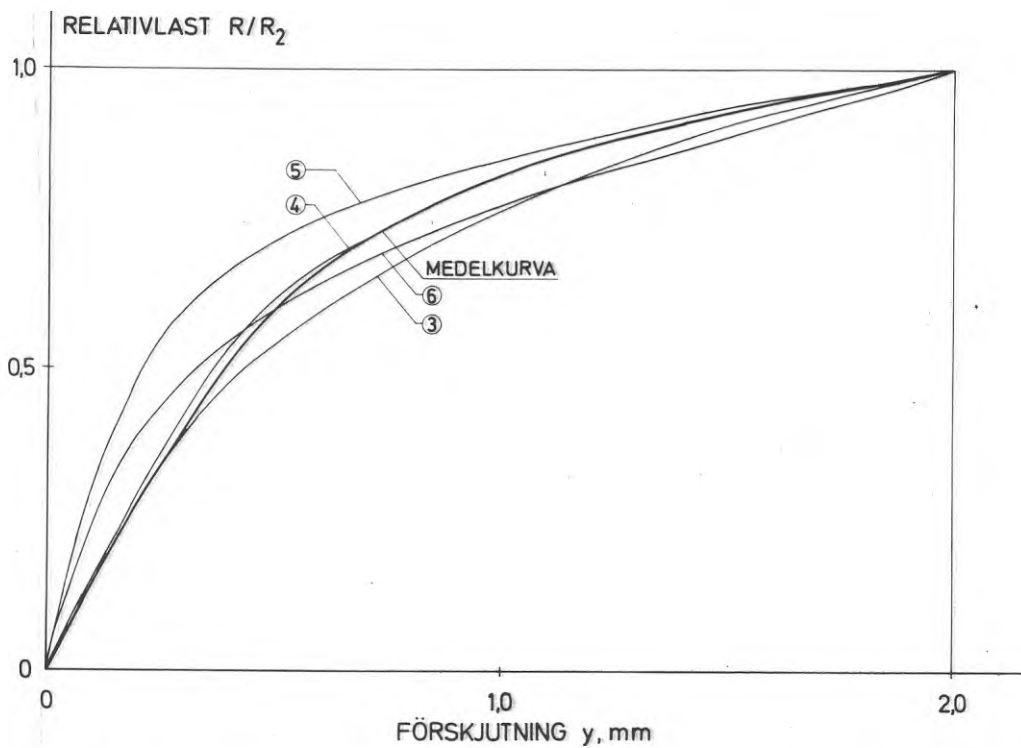


FIG. 2.4.6 Olika funktioner för beskrivning av spikplåtsförbandens last/deformationskurva. Se text.

$$R/R_f = A(y/f)^C + B \quad (24)$$

$$(y \geq e)$$

Om man i konstanterna

$$A = \frac{1-R_e/R_f}{1-(e/f)^C} \quad \text{och} \quad B = \frac{R_e/R_f - (e/f)^C}{1-(e/f)^C}$$

sätter in den experimentella kurvans värden R_e och R_f , kommer en kurva enligt (24) att skära den experimentella för $y = e$ och $y = f$.

Värdet på c kan bestämmas antingen med ytterligare en skärningspunkt eller med villkoret att lutningen skall motsvara (23) vid $y = e$. Dessa alternativ med $e = 0,2$ mm och $f = 2$ mm är inlagda i FIG 2.4.5 (kurva 1 resp kurva 2).

Ett alternativ till (24) är en av författaren tidigare angiven funktion för korttidsdeformation av spikförband (Norén 1968)

$$y/f = (1-C)R/R_f + C(R/R_f)^{1/c} \quad (25)$$

Derivatn i origo är $1-C$. Denna skall vara approximativt lika med sekantmodulen $(y/f)/(R/R_f)$ i $y = e = 0,2$ och $R = R_e = 0,28 R_f$. Med $f = 2$ erhålles $C \geq 2/3$, som valts för bestämning av $1/c$. Om kurvan tvingas genom medelkurvan vid $y = 0,2$ mm, erhålles $1/c = 3,62$ (kurva 3, FIG 2.4.6). Sätter man i stället villkoret att kurvan sammanfaller med medelkurvan vid $y = 0,5$ mm, erhålles $1/c = 5,44$, som ger mycket god passning till medelkurvan (kurva 4).

Ytterligare ett annat uttryck för kurvformen, se Norén, 1962, kan i relativa koordinater skrivas

$$R/R_f = [a(y/f) + b] [1 - e^{-Cf(y/f)}]^D \quad (26)$$

Mack (1966) har angivit kurvan för spikförband i princip enligt (26) med referens till $f = 2,5$ mm och $a = 0,32$, $b = 0,68$, $c = Cf = 7,5$ och $D = 0,7$. Refereras i stället till $f' = 2$ mm

enligt föregående erhålles $a' = 0,27$ resp $b' = 0,73$. Detta ger kurva 5 i FIG 2.4.6. Den ligger över medelkurvan för spikplåtsförbanden. För jämförelse med förskjutning mellan spikplåtar och trä (y) är det emellertid riktigare att räkna om Mack's koefficienter till $f'' = 4$ mm. Dessa koefficienter avser nämligen förskjutning mellan två virkesdelar, vilket är summan av två nära lika stora rörelser mellan spik och trä. Koefficienterna blir då $a'' = 0,43$ och $b'' = 0,57$ som ger kurva 6. Detta ger något bättre överensstämmelse med spikplåtsförbandens medelkurva, men fortfarande för stor initialstyvhet.

3 KRAFT I VINKEL MOT FIBERRIKTNINGEN

3.1 Brottlast

I FIG 3.1.1 - 3.1.4 återfinns brottlasten per ytenhet som funktion av spiktätheten då vinkeln mellan kraft- och fiberriktning varit 0° , 30° , 60° och 90° . Denna undersökning är utförd med virke av densitet 400 kg/m^3 mot gruppernas normala medeldensitet 440 kg/m^3 . Brottlasten vid 0° ligger följaktligen något lägre än enligt FIG 1.2.2. Kurvorna för spikar med 2,5 mm diameter är i stort sett räta linjer genom origo. Detta betyder att spikavstånden är tillräckliga för att spikarna skall fungera oberoende av varandra. Vid belastning i 60° och 90° vinkel börjar dock kurvorna för spikar 22/2,5 att krökas när spiktätheten ökas över $0,3 \cdot 10^{-2}$ spikar per mm^2 . Generellt gäller för spikar med diameter 2,5 mm att vinkelinverkan är så liten att den inte kan närmare analyseras.

För spikplåtar med spikdiametern 5 mm kommer vinkeleffekten in vid en spiktäthet av 0,2 à $0,3 \cdot 10^{-2}$ (observera att, som tidigare nämnts, spiktätheten 0,003 för 5 mm spik motsvarar ungefär 0,006 för 2,5 mm spik). För de stora plåtarna (10^{-2} m^2) är värdet $0,3 \cdot 10^{-2}$ spikar per mm^2 i själva verket ett gränsvärde för bärformågan vinkelrätt fiberriktningen som praktiskt taget inte ökat då spikantalet (spiktätheten) ökats ytterligare. Proportionalitetsgräns för sambandet brottlast per ytenhet till spiktäthet, dvs gräns där brottlast per spik börjar avta, är för detta fall sannolikt närmare $n/a = 0,2$ än $0,3 \cdot 10^{-2}$ spikar per mm^2 . Enligt resultaten borde vanliga spikplåtars förankringshållfasthet inte påverkas av vinkeln mellan kraft och fiber om den relativa spiktätheten F/A ej överstiger 0,04. Gällande tillåtna laster reduceras dock avsevärt (40-60 %) med ökande vinkel. Orsaken är delvis beroende av plåtarnas anisotropi eftersom reduktionen också skall täcka fallet att de platta spikarna står med kanten mot kraftriktningen. En viktig orsak är emellertid att förbanden för typprovning av bärformågan i vinkel mot fibrerna inte ger en ren förankringshållfasthet. Virkesbredden och avståndet från plåtarna till virksändarna är inte tillräckliga för att ge ett resul-

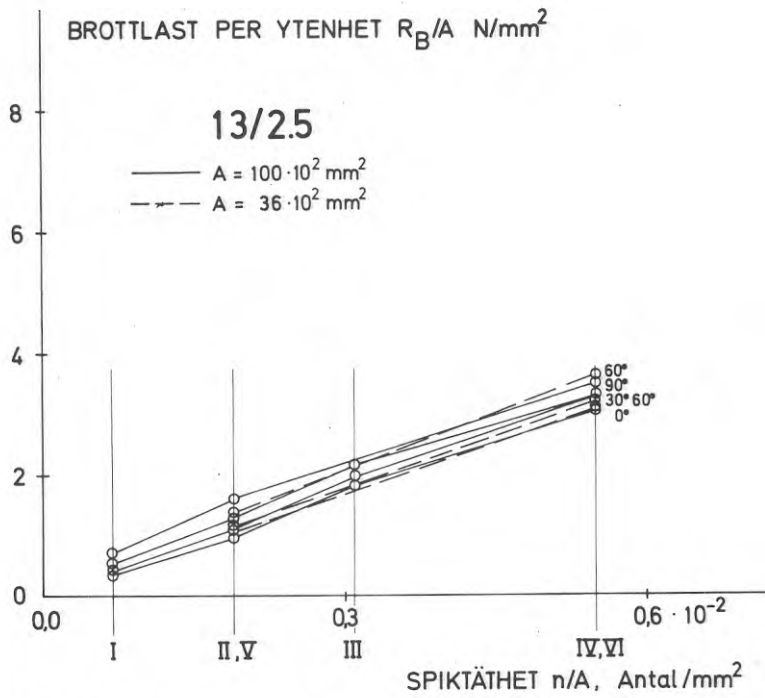


FIG. 3.1.1

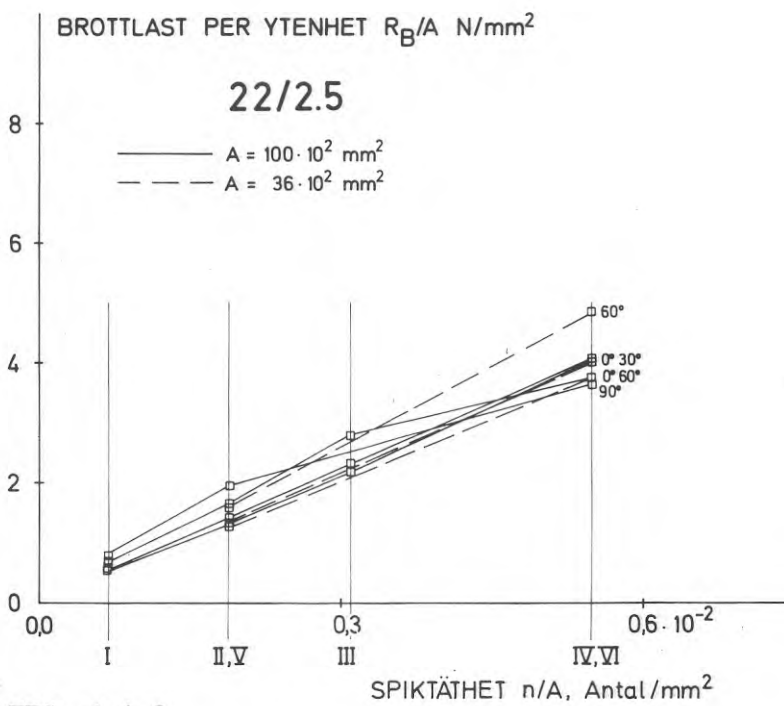


FIG. 3.1.2

FIG. 3.1.1-2 Spikplåtarnas brottlast vid olika vinkel mellan kraftriktning och fiberriktning. Spikdiameter 2,5 mm.

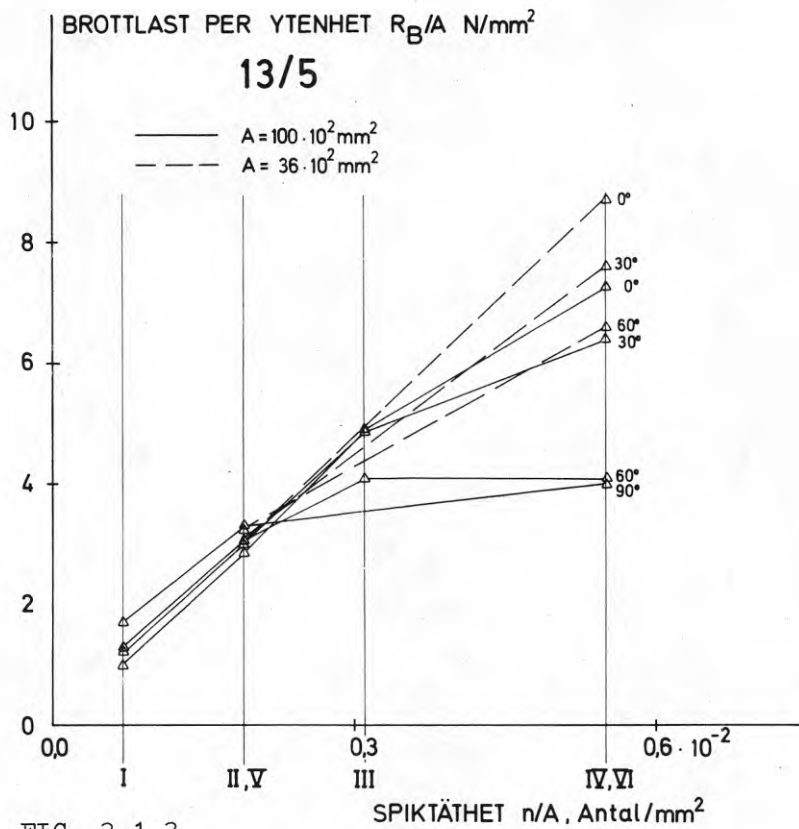


FIG. 3.1.3

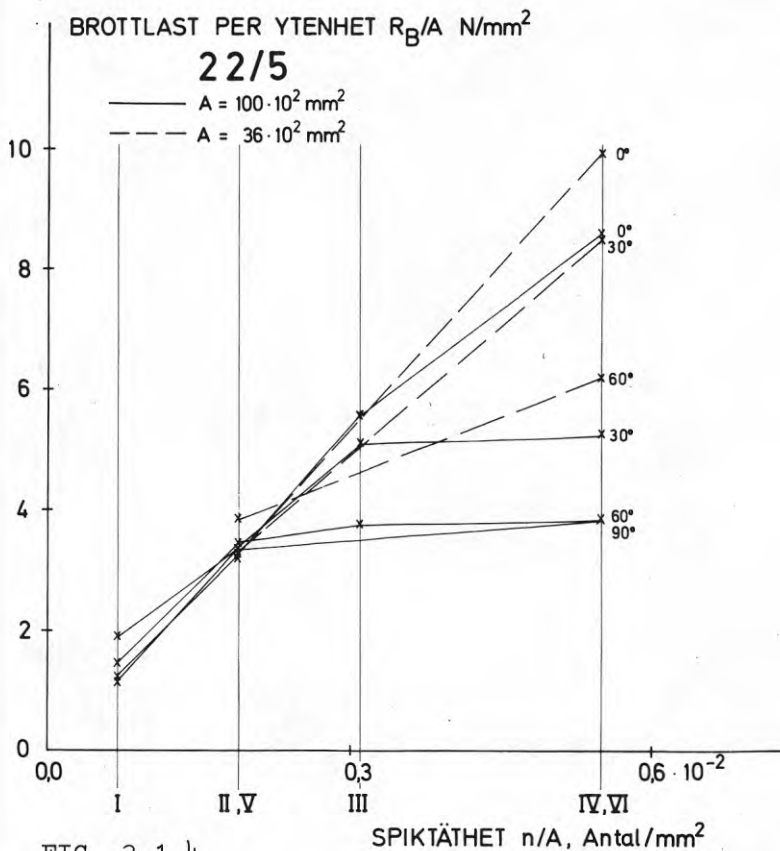


FIG. 3.1.4

FIG. 3.1.3-4 Spikplåtarnas brottlast vid olika vinkel mellan kraftriktning och fiberriktning. Spikdiameter 5 mm. Vid spiktätthet ca 0,3 spikar/cm² (eller större) har hållfastheten signifikant reducerats då kraftriktningen avvikit från fiberriktningen.

tat som inte är påverkat av dessa randvillkor, vilket också framgår av att virket spricker.

I FIG 3.1.5 och 3.1.6 återges även vinkelinflytandet på de värden av kraften R som gav 0,2 och 2 mm förskjutning respektive brott. Resultaten, FIG 3.1.5, avser spikplåt IV (stor spiktäthet) med spikar 13/5 och 22/5. Den heldragna tjocka kurvan återger, med $C = 0,5$, ett beräkningsförslag enligt NKB (1970)

$$R_{\alpha}/R_0 = (1-C \sin\alpha) \quad (27)$$

De längre spikarna (22/5) visar något större, de kortare (13/5) något mindre vinkelinflytande, motsvarande en koefficient 0,45 resp 0,55. Lasten som ger 0,2 mm rörelse visar större reduktion från 0 till 30° vinkel än de högre belastningarna. 0,2-värdena är emellertid utsatta för betydligt större spridning än övriga värden och det är svårt att avgöra om skillnaden är en tillfällighet eller mera signifikant. (Spridningen beror till en del på att proven inte är individuellt matchade, endast uttagna så att varje grupp om 3 prov har samma medeldensitet.) Vinkelinflytandet på lasten som ger 2 mm förskjutning och vinkelinflytandet på brottlasten är mycket lika.

De relativt små plåtarna VI har stor andel periferispikar. Detta har samma gynnsamma effekt på hållfastheten tvärs fibrerna som en minskad spiktäthet. Vinkelinflytandet är också något mindre för såväl plåtar VI som för plåtar III. De sistnämnda är stora men har en spiktäthet av endast ca $0,3 \cdot 10^{-2}$ spikar per mm^2 . NKB-formeln passar för dessa plåtar bättre med reduktionsfaktorn 0,3 i stället för 0,5, se FIG 3.1.6.

En praktisk tillämpning av resultaten försvåras naturligtvis av att vinkelinflytandet på krafterna är beroende av spiktätheten. Resultaten motsäger å andra sidan inte approximationen att vinkelinflytandet antages vara oberoende av kraftens (förskjutningens) storlek. Det innebär att man kan används samma uttryck på vinkelinflytandet för förskjutningsmoduler som för krafterna som ger

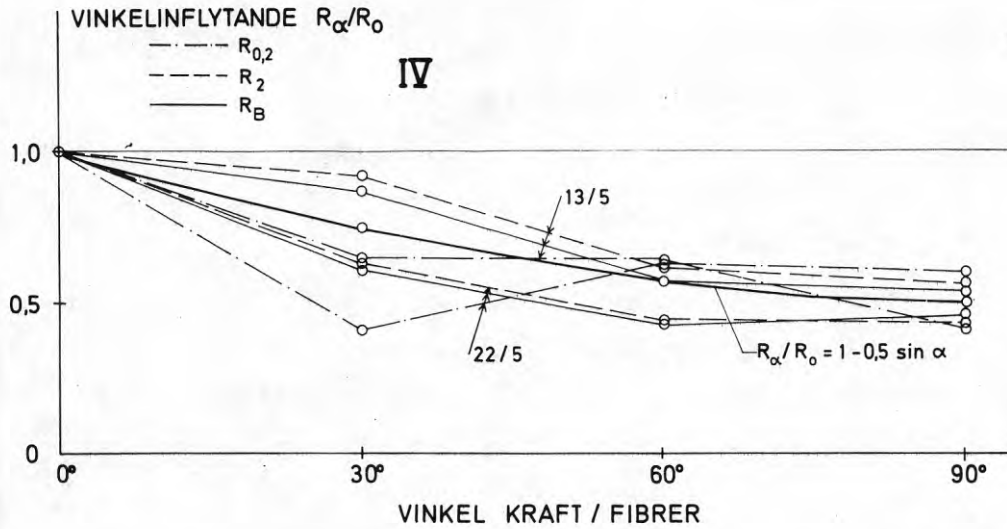


FIG. 3.1.5 Vinkelinflytande på lastvärdena $R_{0,2}$, R_2 och R_B för spikplåtar IV (100 cm^2 , tät spikning).

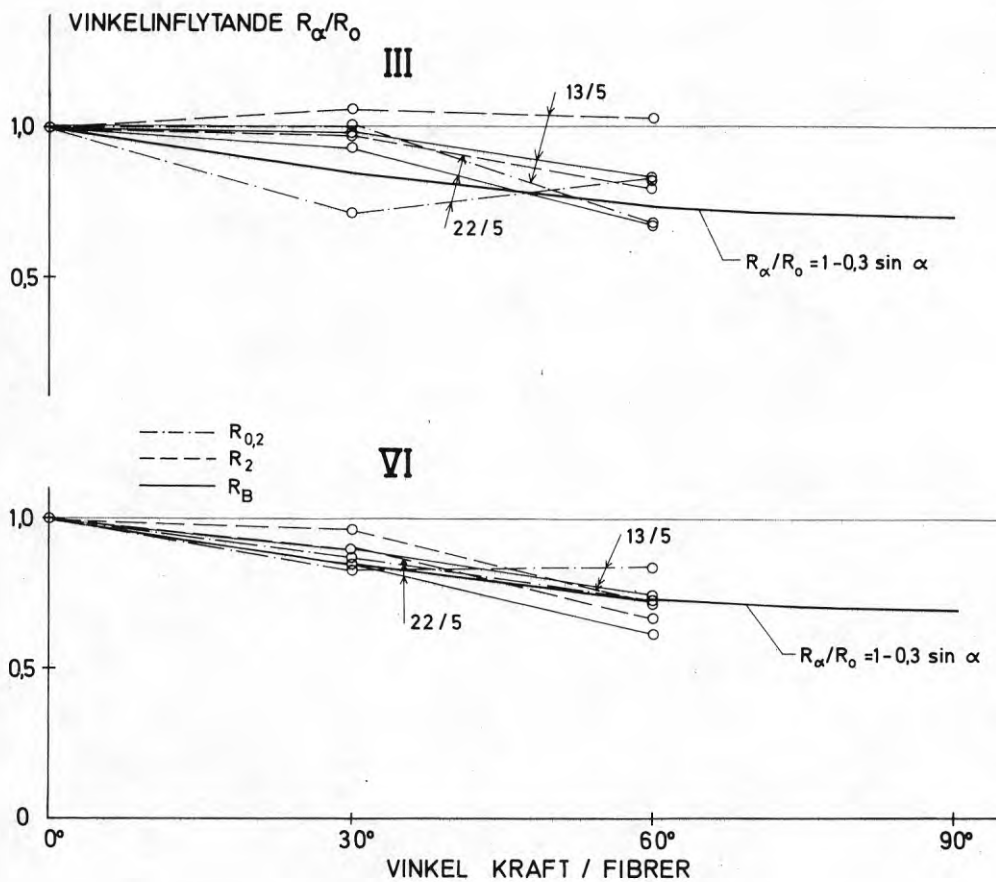


FIG. 3.1.6 Vinkelinflytande på lastvärdena $R_{0,2}$, R_2 och R_B för spikplåtar VI (36 cm^2) och spikplåtar III (100 cm^2).

0,2 och 2 mm deformation och för brottlasten. Härav följer att kurvformen kan antas lika vid olika vinklar mellan kraft och fibrer.

3.2 Förskjutningsmodul

Spridningen i k-värdena är förhållandevis stor, vilket medför att det är svårt att analysera delfaktorernas inverkan. Detta gäller särskilt k-värdena för de klenare spikarna. Man måste dock för båda spikstorlekarna räkna med ett signifikativt vinkelinflytande på förskjutningsmodulen vid en spiktäthet $0,3 \cdot 10^{-2}$ spikar per mm^2 eller större, i huvudsak enligt vad som framgår i FIG 3.1.5 för kraften som ger 0,2 mm förskjutning. För de stora tätspikade brickorna ($A = 10^{-2} \text{ m}^2$, spikar 13/5 och 22/5) är k-värdet vinkelrätt mot fibrerna 0,41 resp 0,62 av k-värdet i fiberriktningen. Motsvarande värden för $R_{(0,2)}$ är 0,41 och 0,60.

4 VRIDNING

4.1 Brottlast

Erhållna brottmedelvärden på skjuvpåkänningen vid vridning är i FIG 4.1.1 redovisade som funktion av spiktätheten. Vridskjuvpåkänningen har räknats enligt elasticitetsteorin med användning av spikplåtens polära tröghetsmoment I_p (jfr 1.7.3)

$$(\tau_M)_B = \frac{M_{r_{\max}}}{I_p} \quad (28)$$

r_{\max} är radien till spikplåtens teoretiska periferi, definierad i 1.2.2. Vridskjuvhållfastheten är högre än skjuvhållfastheten vid förskjutning av kraften R , se FIG 2.1.2. Vridvärdena ligger i genomsnitt 47 % och 70 % högre för plåtar med 5 mm resp 2,5 mm spikar.

Man kan alternativt till (28) räkna på enskilda spikar och följaktligen införa ett polärt tröghetsmoment

$$I_r = (A/n)\sum r_i^2 \quad (29)$$

A är plåtyta (fogyta), A/n är plåtyta per spik (n/A =spiktäthet) och r_i är avståndet från tyngdpunkten till en spik. Vridpåkänningarnas brottvärde blir då något lägre, se streckade kurvor i FIG 4.1.1. Kvarstående differens mellan vridpåkänningar och förskjutningspåkänningar är 38 % resp 53 %. I själva verket kan man vänta sig att vridpåkänningarna beräknade enligt elasticitetsteorin skall bli för stora. Räknar man med fullt utbildad plasticitet vid vridningen, blir vridpåkänningen 25 % lägre än enligt elasticitetsteorin. (Koefficienten 3,82 i BYGG 366:32, tabell:32, är 25 % lägre än koefficienten 5,09 i samma tabell.) Även om de höga formella vridpåkänningarna kan hänföras till en plasticering, så synes förklaringen inte tillräcklig. Vissa spikar förskjuts vid vridningen i vinkel och vinkelrätt mot fiberriktningen, vilket i någon mån borde verka försvagande, jfr FIG 3.1.1 - 3.1.4.

I FIG 4.1.1 är även vridskjuvpåkänningarnas brottvärden för rektangulära spikplåtar inlagda. På samma sätt som redovisas för de cirkulära plåtarna kunde man väntat sig att påkänningarna uträknade med elasticitetsteorin skulle ligga 63 % över brott-påkänningarna av en förskjutningskraft.

För rektangulära spikplåtar med sidförhållandet 2:1 är förhållandet mellan skjuvpåkänningarna vid plasticitetsteori och elasticitetsteori $1.34/0,82 = 1,63$ (jfr BYGG 366:22 tabell:32).

Resultaten (spikdiamter 2,5) visar en formell vridpåkänning enligt elasticitetsteorin 2,45 ggr förväntad brottpåkänning enligt förskjutningsprovningarna. Vid sidoförhållandet 3:1 erhöles ytterligare något högre från formell vridpåkänning av elasticitetsteorin.

Resultatet kan sålunda sammanfattas: Om man vill utgå från skjuv-brottpåkänningar enligt förskjutningsförsök för beräkning av vridmomentets brottvärde, så kan man antaga fullständig plasticering. Brottmomenten vid provade storlekar och format kommer ändå att ligga något på säkra sidan.

4.2 Förskjutningsmodul

Förskjutningsmodulen vid moment (vridningsmodul, rotationsmodul, jfr fotnot till 1.7.3) är definierad med ekv (7) och (8). Vid proportionalitet mellan spänning och deformation kan förskjutningsmodulen jämföras med proportionalitetskoefficienten för sambandet mellan skjuvspänning och förskjutning

$$k_M = (1/I_p)(M/\theta) = C_1 = \tau/y \quad \text{N/mm}^3 \quad (30)$$

Om man med en "spikgruppsberäkning" vill ta hänsyn till att spikarna inte är jämnt fördelade över fogytan, kan man i stället använda

$$k_M^r = (n/A)(k_M)_{\text{spik}} = (1/I_r)(M/\theta) = \frac{M/\theta}{(A/n)\Sigma r^2} \quad \text{N/mm}^3 \quad (31)$$

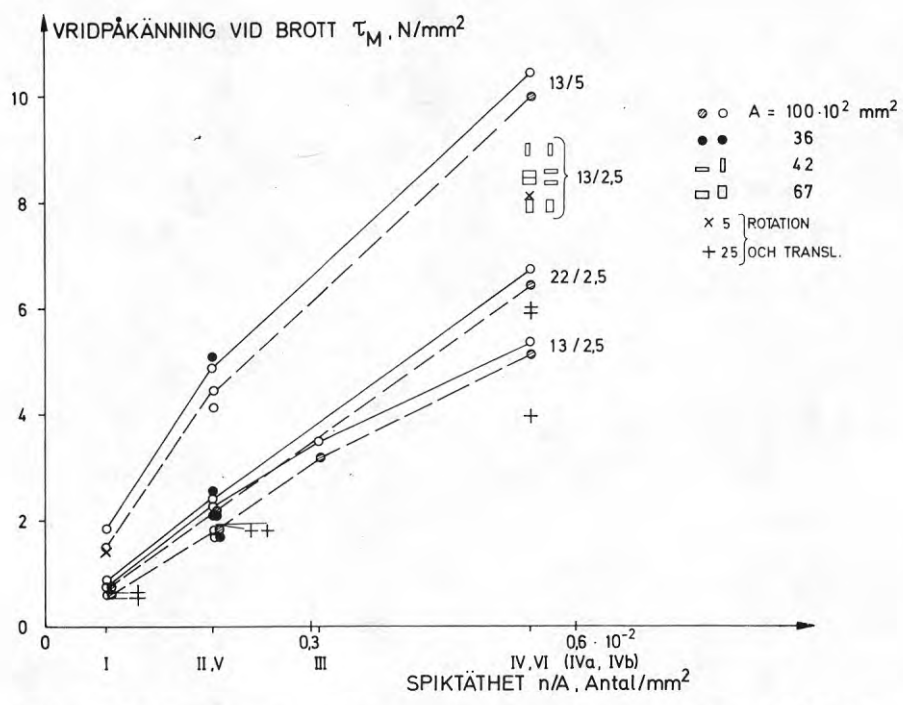


FIG. 4.1.1 Brottvärden av skjuvpåkänning vid vridning. Jämför FIG. 2.1.2. Heldragna sammanbindningslinjer (och markeringar) avser värden beräknade enligt (28), streckade avser värden beräknade enligt (29). Stående rektanglar markerar värden för plåtar med långsidan i fiberriktningen, liggande rektanglar för kortsidan i fiberriktningen. Kryss anger vridpåkänningens brottvärde i förband belastade med vridande moment (M) och förskjutningskraft (R) samtidigt (se 5.1).

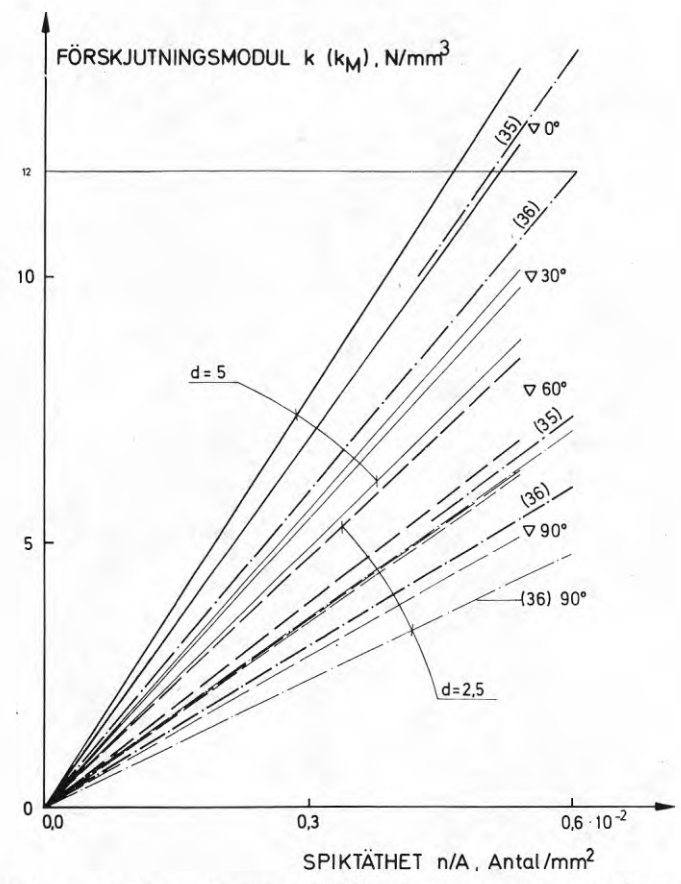


FIG. 4.2.1 Sammanställning av regressionslinjer för sambandet mellan förskjutningsmodul (sekantmodul till 0,2 mm) och spiktätthet. Streckade linjer avser vridningsmodul (k_M). Punktstreckade linjer representerar ekv. (32) och (33). Ingående plåtar, se TAB. 1.3.1.

Vid tät och jämn spikning övergår vridningströghetsmomentet I_r till det polära tröghetsmomentet I_p , varvid $k_M^r \approx k_M$. I TAB 4.2.1 är tvärsnittsdata med betydelse för vridmotståndet angivna för de olika provade spikplåtarna. Det är endast i spikplåtar I och V som det framträder någon väsentlig skillnad mellan storleken av I_p och I_r , beroende på att dessa spikplåtar endast innehåller 7 spikar, varav 6 i periferin.

Modulerna k_M och k_M^r , beräknade ur plåtarnas vridning till och med en periferiförskjutning av 0,2 mm, är redovisade med gruppmedelvärden i TAB 4.2.2. För jämförelse anges i tabellen även modulerna från provningarna med förskjutning utan vridning (2.3). Alla tre modulerna är baserade på en ytenhet av spikplåtens verk samma yta. Ändå kan man inte begära att vridnings- och translationsmodulerna skall ha helt överensstämmande värden. För det första visar somliga last-förskjutningskurvor initialstörningar och andra har relativt låg proportionalitetsgräns. Förutom att det försvårar inläggningen av de modulbestämmande proportionalitetslinjerna, kan en reell olinjäritet påverka resultatet olika vid olika typer av plåtar. Överensstämmelsen är trots allt relativt god. Vid flertalet fall av avvikelser är vridningsmodulen lägre än förskjutningsmodulen vid translation. Resultatet är sannolikt en följd av vinkelinverkan vid vridningen. Flertalet spikar belastar träet snett mot fiberriktningen, vilket ökar eftergivligheten.

I FIG 4.2.1 är regressionslinjer sammanställda för sambandet mellan förskjutningsmoduler och spiktäthet. Modulerna är sekantmoduler från 0 till 0,2 mm rörelse. Modulerna för translation (0^0) kan mycket väl användas för beräkning av rotationen i förbandet då det utsättes för moment (M). Man kan utgå från att det gäller oavsett spiklängd (ehuru spiklängden 22 mm inte provats vid $d = 5$ mm). Ett medelvärde av modulen är ungefär, se figuren

$$k = k_M = 470d(n/A) \quad (32)$$

$$N/mm^3 = N/mm^2 \cdot mm \cdot mm^{-2}$$

För k (ej för k_M) tillkommer en faktor för vinkelinflytandet.

TABELL 4.2.1 Spikplåtarnas polära tröghetsmoment. Observera multiplikatorn.

Spikplåt	Cirkulära spikplåtar					Rektangulära spikplåtar		Multiplikatorn
	I	II	III	IV	V	IVa	IVb	
Spikantal	7	19	31	55	7	37	23	
Format diameter resp bas x höjd, mm	112,8	112,8	112,8	112,8	68,6	62,7x101,3	37,6x111,2	1
Spiktäthet Antal spik/mm ²	0,07	0,19	0,31	0,55	0,19	0,55	0,55	10 ⁻²
Spikplåtsarea mm ²	100	100	100	100	36,9	67,3	41,8	10 ²
$I_p = I_x + I_y$ mm ⁴	1580	1580	1580	1580	217	866	480	10 ⁴
$I_r = \frac{A}{n} \sum r^2$ mm ⁴	1410	1540	1590	1540	193	849	474	10 ⁴
$\frac{I_p}{r_{\max}^3}$ mm ³	280	280	280	280	63	139	82	10 ³
$\frac{I_r}{r_{\max}^3}$ mm ³	347	312	311	294	78	162	91	10 ³
$\frac{I_p}{r_{\max}^3} / \frac{I_r}{r_{\max}^3}$	0,81	0,89	0,90	0,95	0,81	0,86	0,90	

TABELL 4.2.2 Jämförelse av förskjutningsmodul (tangentmodul) vid dragning (k) och vridning (k_M och k_M^R)

Plåtstorlek	Belastningsmodul		Spikdimension (l/d)			
			13/2,5	13/5	22/2,5	22/5
<u>Cirkulära plåtar</u>						
I	Dragning	k	125	113	98	70
	Vridning	k_M	98	181	95	
		k_M^R	79	146	76	
II	Dragning	k	275 ^x	433 ^x	292 ^x	405 ^x
	Vridning	k_M	175	318	191	
		k_M^R	157	285	171	
III	Dragning	k	565	579	537	651
	Vridning	k_M	443			
		k_M^R	399			
IV	Dragning	k	670	1283	715	1415
	Vridning	k_M	939	1409	805	
		k_M^R	893	1341	767	
V	Dragning	k	304 ^x	407 ^x	296 ^x	511 ^x
	Vridning	k_M	198	313	179	
		k_M^R	160	253	144	
<u>Rektangulära plåtar</u>						
Vinkel spikplåtens längdriktning till fiberriktningen					<u>0°</u>	<u>90°</u>
IVa (Bred)	Vridning	k_M		860	1459	
		k_M^R		738	1251	
IVb (smal)		k_M		808	1762	
		k_M^R		728	1588	

^x Från kompletterande provning av nya plåtar med förbättrad spikinfästning

Det har tidigare (3.2) visats att vinkelinverkan på förskjutningsmodulen beror av spikdiameter och också av spiktäthet och plåtstorlek. Om man förenklar sambandet och summerar resultaten över spikdiametern och dessutom antar proportionalitet mellan förskjutningsmodul och spiktäthet, erhålls ett resultat enligt kurvorna i FIG 4.2.1 och 4.2.2. Där framgår att vinkelinverkan är liten för 2,5 mm spikar, relativt liten också för spikplåtarna med 5 mm spikar ($C = 0,3$ i NKB-formeln). Relativt stort var dock vinkelinflytandet på förband med stora plåtar (IV) med tätt satta 5 mm spikar ($C \approx 0,5$). En enkel åtgärd är att införa ett diameterberoende C-värde i NKB-formeln. I (33) har dessutom faktorn 470 avrundats nedåt till 400, vilket vid en variationskoefficient 0,3 och normalfördelning ger 30 %-fraktilen av k

$$(k_{\alpha})_{0,3} = 400d(n/A)(1-0,08d \sin\alpha) \quad (33)$$

(d i mm som i (32))

Vid beräkning av vridningsmodulen k_M sättes $\alpha = 0$. Det kan vara lämpligt att begränsa giltigheten av (32) och (33) vid en spiktäthet ungefär motsvarande den största använda i provningarna: $n/A \leq 0,03/d$ med $d \geq 2$ mm. Enligt detta skulle största spiktäthet vara $n/A = 0,03/2 = 0,015$ spikar per mm^2 vid $d = 2$ mm och $n/A = 0,03/5 = 0,006$ spikar per mm^2 för $d = 5$ mm. I båda fallen blir $k = 12 \text{ N/mm}^3$.

Sammanfattningen av resultatet enligt (33) är exemplifierat i FIG 4.2.1 med (punktstreckade) linjer för $\alpha = 0^\circ$ och 90° .

Även värdena på förskjutningsmodulen vid vridning av rektangulära brickor är inlagda i FIG 4.3.2. I detta fall är medelvärdena bildade av endast 3 st prov av en plåt- och spiktyp (IV, 22/2,5). Då plåtarna varit ställda med största längden i fiberriktningen, har resultaten blivit desamma som vid cirkulära plåtar. Då tvärställda plåtar vridits, har modulen blivit avsevärt större. Orsaken är förmodligen att flertalet spikar vid de små rörelserna det här är fråga om rör sig i fiberriktningen. För att i praktiken kunna utnyttja denna högre styvhet och vridning av tvärställda, rektangulära plåtar bör man dock bygga under med flera

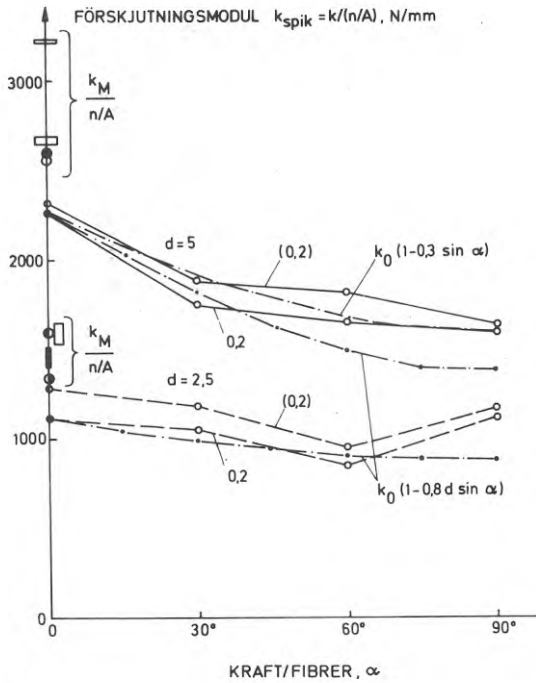


FIG. 4.2.2 Vinkelinflytande på förskjutningsmodulen. Modulen är i detta fall angiven "per spik", dels som tangentmodul (övre kurva), dels som sekantmodul till 0,2 mm förskjutning (nedre kurva). För jämförelse är erhållna vridningsmoduler för cirkulära och rektangulära plåtar angivna efter ordinataxeln. Punktstreckade kurvor anger vinkelinflytande enligt NKB med $C=0,3$ resp. $C=0,08d$ om d i mm.

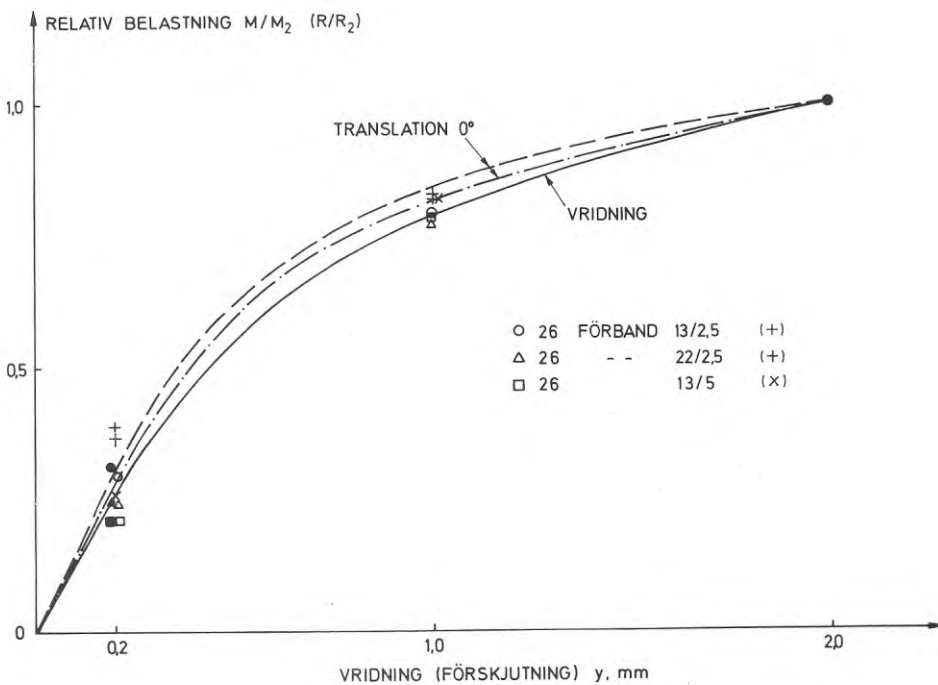


FIG. 4.3.1 Förskjutningskurvans form vid vridning (heldragen) och translation (streckad, jfr FIG. 2.4.5). Inlagda kryss anger vridning i förband belastade med moment (M) och förskjutningskraft (R) samtidigt (se 5.3).

prov. I många fall är det dessutom för enkelhets skull lämpligt att räkna med en enda förskjutningsmodul, oavsett plåtform.

4.3 Förskjutningskurva

Förskjutningskurvans form vid ren vridning framgår av FIG 4.3.1 (heldragen kurva). Som jämförelse har lagts in förskjutningskurvan för förband utsatta för dragning i fiberriktningen, men i övrigt av samma virkeskvalitet och med samma plåtar. Någon inverkan av plåtstorleken på kurvformen har inte kunnat påvisas. Resultaten har därför summerats så att inritade värden för vridning representerar 78 st provade förband, varvid vid redovisningen endast olika spiktyper åtskilts. Rörelsen (y) är som tidigare räknad efter plåtarnas (teoretiska) periferi.

Den streckade jämförelsekurvan representerar förskjutningen (plåtarnas translation) i förband av samma typ som de momentbelastade, men belastade i fiberriktningen. Den avviker obetydligt från den punktstreckade kurvan (från FIG 2.4.5) som representerar alla förband skjuvade i fiberriktningen. Vridningskurvan ligger något under translationskurvorna, men även denna skillnad är liten i förhållande till spridningen. Slutsatsen är därför att man kan använda samma relativa förskjutningskurva vid vridning som för grundfallet av förskjutning i fiberriktningen. Plåtformens inverkan på vridstyvheten framgår av TAB 4.3.1. Styvheten hos rektangulära plåtar, ställda med långsidan tvärs fiberriktningen, var större än styvheten när långsidan ställts i fiberriktningen.

TABELL 4.3.1 Vridstyvheten i förband med plåtar av olika form. Spikar 22/2,5, spiktäthet IV.

Plåtform	$M_{(0,2)}/M_2$	$M_{0,2}/M_2$	M_1/M_2
○ IV	0,29	0,29	0,79
▮ IVb	0,24	0,23	0,77
▬ IVb	0,51	0,35	0,81
▣ IVa	0,27	0,26	0,79
▭ IVa	0,42	0,35	0,81

Som redan framhållits, måste man vara försiktig med att direkt bedöma förbandens styvhet med hjälp av relativkurvorna för förskjutningen. Förskjutningsmodulen, antingen det gäller en sekantmodul för större förskjutning eller en tangentmodul för måttlig belastning beror också på storleken av den kraft (det moment) som ger 2 mm förskjutning.

5 KOMBINATION AV KRAFT I FIBERRIKTNINGEN OCH VRIDANDE MOMENT

5.1 Brottlast

NKB:s Riktlinjer för träkonstruktioner (NKB,1970) anger följande uttryck för tillåten påkänning mellan spikplåtar och trä vid förskjutning, vridning och kombinerad förskjutning och vridning

$$\tau_{\alpha} \leq (1-C_1 \sin \alpha) \tau_0 \quad (38)$$

$$\tau_M \leq K_1 (1-C_1) \tau_0 \quad (39)$$

$$\tau_{\alpha} + \tau_M \leq K_2 \tau_0 \quad (40)$$

I (38) betecknar $1-C_1$ förhållandet mellan tillåtna påkänningar vid $\alpha = 90^\circ$ och $\alpha = 0^\circ$. Vanligt värde för kommersiella plåtar är $C_1 = 0,5$ och det framgick av det föregående (3.1) att samma värde passar resultaten av provningarna av de speciella spikplåtar som här använts. Det har också av det närmast föregående (4.1) framgått att brottvärdet av τ_M kan räknas ca 50 % högre än τ_{α} för $\alpha = 0$, dvs τ_0 . Med $C_1 = 0,5$ erhålles alltså $K_1 = 3$ i (38). För de vanligaste kommersiella plåtarna har man satt $K_2 = 1,5$.

I våra undersökningar av samtidig inverkan av förskjutningskraft och moment har momentet dominerat. Värdet av K_2 kan då bestämmas med hänsyn till den effekt som förskjutningsspänningen τ_{α} (i redogörelsen i övrigt betecknad τ_R) har på brottvärdet av $\tau_{\alpha} + \tau_M$. Om värdet på τ_{α} har ett inflytande som kan negligeras, kan man i (40) sätta $K_2 = K_1(1-C_1) = 3 \cdot 0,5 = 1,5$. Man kan alternativt tänka sig fallet att summan av påkänningarna τ_{α} och τ_M behandlas efter grundformeln (38). I vårt fall är $\alpha = 0$, varvid $K_2 = 1$. Med den provningsteknik som använts får man ett bestämt förhållande mellan skjuvpåkänningarna av förskjutning och av moment $(\tau_R/\tau_M) = (r_{\max}/2e)$.

Häri betecknar r spikplåtens teoretiska radie och e avståndet från kraften till plåtens centrum. För de större plåtarna (I,II, III,IV) är detta förhållande ungefär 0,251 För de mindre plåtar-

na (V,VI) är förhållandet ca 0,15. Med dessa värden kan man skriva ett samband mellan τ_M och τ_0

$$\tau_\alpha + \tau_M = K_2 \tau_0 \quad (41)$$

Värdena på τ_0 (brottnivå) enligt FIG 2.1.1 och värden på τ_M enligt FIG 4.1.1 har använts för att bestämma K_2 . Resultatet återges i TAB 5.1.1. För förbanden med de större plåtarna kommer man till ett värde nära $K_2 = 1,5$, således det som antagits av NKB. För de små plåtarna där skjuvpåkänningarna av moment dominerat ännu mer än i de större plåtarna, kunde man väntat sig ett K_2 -värde mellan 1,5 och $K_1(1-C_1) = 1,5$, alltså samma värde. I verkligheten har värdet blivit mindre (1,25).

TABELL 5.1.1. Ur provningsresultaten beräknat värde på koefficienten K_2 i NKB-uttrycken för skjuvpåkänningar mellan τ^2 plåtar och trä (NKB,1970).

		K_2	$K_2/1,15$	$K_2/1,25$
<u>Stora plåtar</u>				
22/2,5	(I)	1,46	1,27	1,17
"	(II)	1,48	1,29	1,18
"	(IV)	1,68	1,46	1,34
13/2,5	(I)	1,38	1,20	1,10
"	(IV)	1,38	1,20	1,10
13/5	(I)	1,42	1,23	1,14
"	(IV)	1,46	1,27	1,17
Medelvärde		1,47	1,28	1,18
<u>Små plåtar</u>				
22/2,5	(V)	1,25	1,09	-

Man kan alltså för de undersökta förbanden förenkla NKB-uttrycken för tillåtna påkänningar betydligt, nämligen (med införda koefficienter):

$$\begin{cases} \tau_{\alpha} \leq (1-0,5 \sin\alpha)\tau_0 \\ \tau_{\alpha} + \tau_M \leq 1,5\tau_0 \end{cases} \quad (42)$$

Tillåten totalpåkänning då förskjutningskraften (R) ligger i fiberriktningen framgår av FIG 5.1.1. En undersökning av förband med ett större förhållande τ_R/τ_M fordras i första hand om man önskar öka området för kurvans giltighet.

Det bör observeras att såväl NKB-uttrycken för dimensionering av kontaktytor mellan plåt och trä som behandlingen i detta och föregående avsnitt (4) endast avser moment som överförs från plåt till träet genom spikarna. Det totala på förbandet verkande momentet överförs ofta till endast en mindre del genom dessa moment som är en reaktion till plåtens vridning (rotation) i förhållande till träet. En stor del överförs då som ett kraftpar där dragkraften är en "translationskraft" på en spikplåt och där tryckkraften är en kraft som överföres direkt mellan virkesdelarna i förbandet (mellan kantsidor eller ändytor). I konstruktioner med spikplåtar av kommersiell typ där förbanden är utsatta för böjande moment, är ofta anläggning mellan virkesdelarna i infästningar och skarvar en förutsättning för att konstruktionen skall vara funktionsduglig. Ett några mm stort spel kan dock vanligen tillåtas i det obelastade förbandet, givetvis förutsatt att den därigenom ökade eftergivligheten kan accepteras. Den initialvridning av plåtarna man får av ett sådant spel påverkar inte förbandens hållfasthet i nämnvärd grad.

I själva verket är träfackverkens stänger vanligen så böjstyva att ändarnas vinkeländring under belastningen blir ganska liten även om de betraktas som ledat infästade. Rotation av plåtarna uppstår då i anslutning till förskjutning ("i fogen") mellan stängerna, varför rotationens storlek sammanhänger med spelet mellan virkesdelarna. Om spelet är måttligt blir rotationen så liten att inte infästningen försvagas i den primära funktionen att överföra stångkraften. Ofta kan dessutom vridstyvheten försummas i fogarna mellan plåt och trä. Man kommer därför in på en mera generell tillämpning av den förenkling beträffande spikplåtarnas verkningsätt som författaren tidigare föreslagit för W-takstolens förband vid takfoten (Norén, 1967):

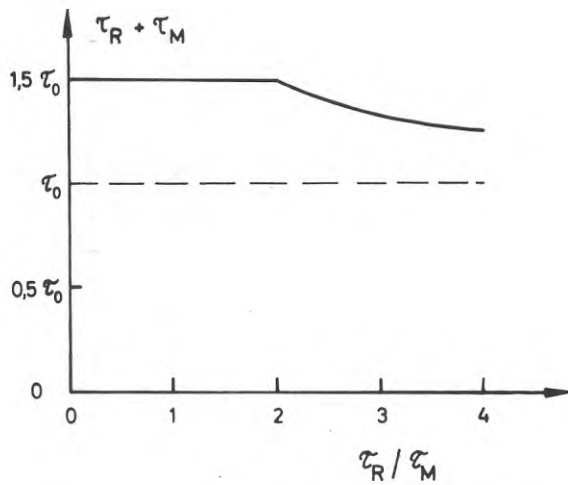


FIG. 5.1.1 Tillåten skjuvpåkänning enligt (42) vid $\alpha = 0$.

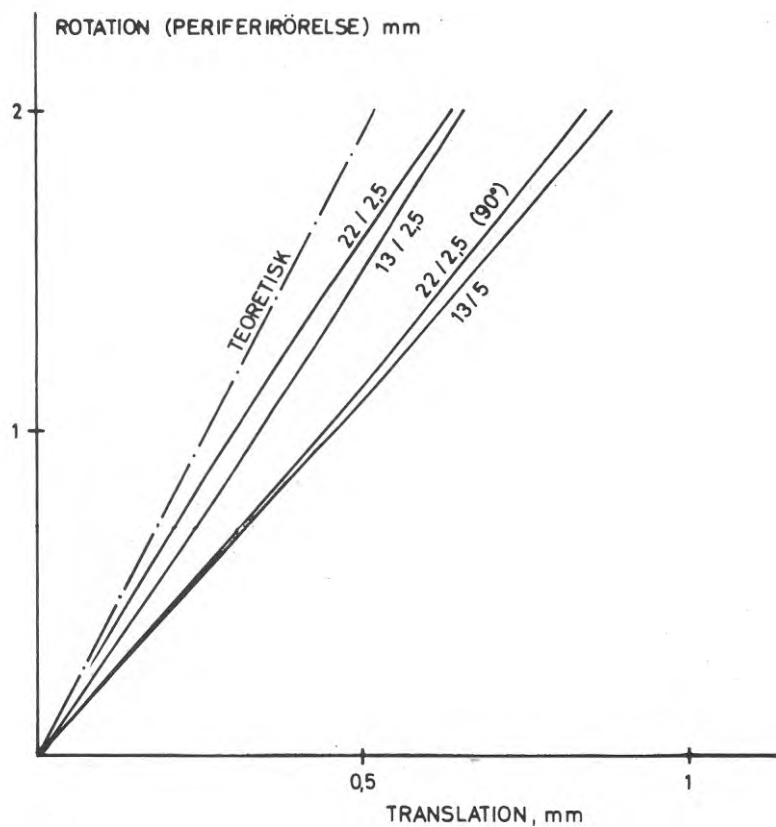


FIG. 5.2.1 Teoretiskt och uppmätt samband mellan translation och rotation i förband utsatta för kombinerad påkänning av vridande moment och förskjutningskraft. Linjerna är dragna genom medelvärden för 1 och 2 mm förskjutning.

"This led the author to the modified assumption that the moments in the heel joints should be neglected. Thus, the results of the shear forces in the contact area between the plate and the timber (= the result of the nail forces) are assumed always to lie on the line that connects the centroids of the contact areas".

.....

"The assumption that the rotational moment in the contact areas of heel joints can be neglected is based on the condition that the torsional stresses reach a flow value already at a relatively low load on the truss. This seems to be the case for several designs".

Anliggning mellan virkesdelarna i förband (infästningar) måste då tas i anspråk utom i det fall att den infästa stången primärt är påkänd av axiell dragkraft.

5.2 Förskjutningsmodul

Om superpositionsprincipen skulle gälla för rörelserna av det kombinerade belastningsfallet av förskjutningskraft och moment, blir förhållandet mellan periferirörelsen (vridningsrörelsen) y_M och förskjutningen y_R

$$y_M/y_R = (2e/r_{\max})(k_R/k_M) \quad (43)$$

vari k_R enligt (2) och k_M enligt (6). Provningarna är utförda med dominerande moment ($M=R \cdot e$). För de stora plåtarna blir vid $k_R = k_M$ periferirörelsen omkring 4 ggr förskjutningen. Räknar man med en vridningsmodul som är 20 % lägre än förskjutningsmodulen, jfr TAB 4.2.2, så blir vridningsrörelsen ungefär 5 ggr så stor som förskjutningen. Detta illustreras av den teoretiska linjen i FIG 5.2.1. I denna figur är också inlagda de uppmätta förhållandena mellan vridningsrörelse och förskjutning. Det är tydligt att vridningsrörelsen i verkligheten inte är lika dominerande som den teoretiska.

Man kan uttrycka resultatet enligt ovan genom att säga att de olika förskjutningarna påverkar varandra, dvs de kan inte enkelt adderas. Om man uttrycker styvheten med förskjutningsmodulen kan man i kombinationsfallet arbeta med kraft- och rörelsekomponenter i fiberriktningen och vinkelrätt mot fiberriktningen och ett

vridande moment med tillhörande periferirörelse. Vid provningen har förskjutningskraften legat i endera av huvudriktningarna och förskjutningen vinkelrätt mot kraftriktningen kan negligeras vid sidan om förskjutningen i kraftriktningen. Man kan sålunda ange styvheten med två förskjutningsmoduler k_R , avseende förskjutningen i kraftriktningen, och vridningsmodulen k_M . Dessa förskjutningsmoduler kan jämföras med förskjutningsmodulen för förbanden som varit utsatta för endast förskjutningskraft respektive endast moment. Resultatet enligt Fig 5.2.1 tyder på att vid samverkan av förskjutning och moment antingen förskjutningsmodulen minskar på grund av momentet eller att momentmodulen ökar på grund av förskjutningen. TAB 5.2.1 och TAB 5.2.2 visar att i flertalet fall har båda modulerna ändrats enligt detta.

Förhållandet att förskjutningarna inte kan överlagras i fall av kombinerade påkänningar gör, tillsammans med anisotropin, att en formellt korrekt behandling av förskjutningar i spikplåtsförband är mycket komplicerad. I många fall torde man få nöja sig med att anta förskjutningsmoduler för de tre huvudtyperna av förskjutningar med värden som är så anpassade att de approximativt gäller i de påkänningskombinationer som kan förekomma utan att varieras med påkänningsproportionerna. I många fall kommer man dessutom att tvingas förenkla beräkningarna ytterligare genom val av samma värde på förskjutningsmodulen för alla tre påkänningstyperna. Resultaten av provningarna med kombinerad påkänning visar att det är möjligt att finna sådana approximativa värden på förskjutningsmodulerna utan att felen blir otillåtet stora.

TAB 5.2.1 innehåller modulen för förskjutningen i förbanden, belastade med förskjutningskraft (R) och vridmoment (M), relativt förskjutningsmodulen för förband provade utan moment. Såväl tangentmodulen, inlagd efter förskjutningskurvans första del, som sekantmodulen från origo till förskjutningen 0,2 mm är redovisade. Relativvärdena för tangentmodulen är huvudsakligen större än 1. Detta innebär att momentet inte minskat förbandets styvhet mot initialförskjutning. Sekantmodulen är dock ett relativvärde under 1 i flertalet fall. Momentet har sålunda gjort förbanden något mera eftergivliga mot förskjutning i området fram till 0,2 mm.

Detta skall ses mot bakgrunden av att momentet är relativt stort, dvs vridningsrörelsen (periferirörelsen) är betydligt större än 0,2 mm. Vridningsrörelsen är ca 0,5 mm då förskjutningen är 0,2 mm.

TABELL 5.2.1 Förhållande mellan förskjutningsmoduler med och utan moment.
(Varje värde representerar 6+6 förband)

	13/5	22/5	22/2,5	13/2,5
<u>Tangentmodul</u>				
I	0,94		1,35	0,69
II			2,34	
III			1,37 ^x	
IV	0,84		1,28(0,94)	1,01
V			1,94	
VI			1,02 ^x	
<u>Sekantmodul</u>				
I	0,85		0,65	0,53
II			0,68 ^x	
III				
IV	0,57		0,65(0,95)	0,59
V			0,74	
VI			0,47 ^x	
			Medelvärde	0,71
				0,60 ^x

^xglappfri plåt (1 prov)

TAB 5.2.2 visar på motsvarande sätt vridningsmodulen för förband med samtidig förskjutningskraft i relation till modulen vid ren vridning. Här ligger samtliga värden i närheten av eller över 1. Man kan således, åtminstone vid måttliga förskjutningskrafter, använda samma modul för vridningen som uppmätts i förbanden när förskjutningskraften varit 0. Kvantitativt stämmer resultaten i TAB 5.2.1 och 5.2.2 med diagrammet i FIG 5.2.1. Det i TAB 5.2.1 inskrivna medelvärdet 0,71 motsvarar nära den skillnad som förefinns i FIG 5.2.1 mellan den teoretiska och de uppmätta linjerna för sambandet mellan translation och rotation. Även förband med

moment och samtidig förskjutning vinkelrätt mot fibrerna har undersökts (med spikplåtar IV). Modulerna för rörelsekomponenterna ligger nära de värden som erhållits vid försöken med translation resp rotation. Relativtalen enligt TAB 5.2.1 och 5.2.2 ligger alltså nära 1 (värden inom parentes).

TABELL 5.2.2 Förhållande mellan vridmodul med och vridmodul utan förskjutningskraft.
(Varje värde representerar 6+6 förband).

	13/5	22/5	22/2,5	13/2,5
<u>Tangentmodul</u>				
I	0,84		1,00	0,98
II			1,83	
III				
IV	1,80		1,19(1,01)	0,89
V			1,38	
VI				
<u>Sekantmodul</u>				
I	0,84		0,97	0,99
II			1,66	
III				
IV	1,42		1,13(1,01)	0,95
V				
VI				
			Medelvärde	1,18

5.3 Förskjutningskurva

I FIG 4.3.1 inlagda kryss anges vridningen i förbanden med kombinerad vridning och förskjutning (heldragen kurva). Jämförelsen med kurvan för ren vridning visar att den tillkommande förskjutningskraften inte nämnvärt ändrat kurvan. Som tidigare framhållits, kan kurvorna bara jämföras med avseende på formen. För att få en jämförelse mellan förskjutningarnas storlek måste man känna skillnaden i M_2 , dvs momentet som ger 2 mm periferirörelse (resp 2 mm förskjutning för R). I själva verket är M_2 i fallet med sammansatt påkänning i medeltal 18 % mindre än M_2 i fallet ren vridning, TAB 5.3.1.

TABELL 5.3.1 Förhållandet R_2/R_B och M_2/M_B

	13/2,5		22/2,5		13/5		22/5	
	Dragning R_2/R_B	Vridning M_2/M_B	Dragning R_2/R_B	Vridning M_2/M_B	Dragning R_2/R_B	Vridning M_2/M_B	Dragning R_2/R_B	Vridning M_2/M_B
I	0,98	0,73	0,92	0,75	0,84	0,78	0,81	-
II	0,94	0,72	0,90	0,73	0,88	0,77	0,88	-
III	0,93	0,77	0,88	-	0,86	-	0,84	-
IV	0,94	0,86	0,92	0,82 ^X	0,97	0,99	0,94	(Brott)
V	0,91	0,72	0,90	0,67	0,88	0,79	0,83	-
VI	0,93	-	0,89	-	0,90	-	0,90	-

^XMotsvarande värde för rektangulära plåtar: ○ 0,76
 □ 0,81
 □ 0,82
 □ 0,81

^{XX}Motsvarande värde för dragning tvärs
 fibrenna och vridning □ 0,87.

LITTERATUR

- /1/ Aune, P., 1966 Trådstiftforbindelsers bæreevne (Load-carrying capacity of nailed joints). Div. of Steel structures. The Techn, Univ. of Norway, Trondheim.
- /2/ Edlund, G., 1971 Längdskarvning av träbalkar med spik-plåtsförband. Byggforskningen, Stockholm, Rapport R40:1971.
- /3/ (Johansen, M., 1965) Regler for træforbindelser. Aktuellt 1965 del 2 från Byggnadsstyrelsen. KBS publikationer 1965:2, Stockholm
- /4/ Mack, J., 1966 The strenght and stiffness of nailed joints under short-duration loading. CSIRO, Div. of For. Prod. Technol. Paper No. 40, Melbourne.
- /5/ NKB, 1970 Nordiska riktlinjer för träkonstruktioner 2. NKB-skrift nr 13, November 1970.
- /6/ Norén, B., 1962 Nailed joints. Svenska Träforskningsinst. Meddelande 123 B, Stockholm
- /7/ Norén, B., 1967 On the design of the W-truss. Svenska Träforskningsinst. Meddelande 153 B, Stockholm.
- /8/ Norén B., 1968 Nailed joints - their strength and rigidity under short-term and long-term loading. Byggforskningen, Stockholm, Rapport 22/68.
- /9/ Norén, B., 1969 Träförband. Kap. 366, Bygg (huvuddel 3), Stockholm.

CAPTIONS

FIG. 1.2.1 Density of timber used in testing. Pine.

FIG. 1.2.2 Density of timber used in testing. Spruce.

FIG. 1.2.3 Relation between density and compressive strength in the direction of the fibres in the timber used. Pine and spruce plotted together. The strengths have been converted to apply at a moisture ratio of 0.12. The discontinuous line refers to previous investigations (Norén, 1968).

FIG. 1.2.4 Sizes and patterns of the nail plates employed. The outer chain line circle (rectangle) indicates the theoretical size of the joint area. For dimensions see TAB 1.2.1.

FIG. 1.4.1 Principle of loading.

FIG. 1.5.1 Principle of measuring displacement and rotation with differential transformers (DT). The arrow by the DT shows the positive abscissa in the displacement diagram.

FIG. 1.5.2 Example of displacement diagram (V/22/2.5/0⁰). Measurement using two DT (differential transformers).

FIG. 1.6.2 Four typical displacement curves with the loads $P_{0.2}$ and $P_{(0.2)}$ plotted on.

FIG. 2.1.1 Ultimate load of nail plates in N per nail as a function of the nail density. The Q values along the y axis are calculated values. The full circles represent the results of tests on ordinary commercial nail plates (Hydro-Nail, Gang-Nail). A load which gives rise to a displacement of 2 mm (R_2) is at least 80 % of the ultimate load, see the fractions shown.

FIG. 2.1.2 Constant ultimate load per nail (FIG. 2.1.1) is equivalent to an ultimate shear stress which is proportional to the nail density.

FIG. 2.2.1-4 Influence of timber density on ultimate load. Empty circles refer to spruce, full circles to pine. The regression and confidence lines for 95 % probability have been plotted by an HP9100A.

FIG. 2.2.5 Regression lines for the effect of density on strength at different nail sizes. The grid indicates the region investigated. The lines for nails of 13 mm length, which at the same time represent the regression for all the investigated plates (nail sizes) when load was applied in the direction of the fibres, have been transferred to FIG. 2.2.6 ().

FIG. 2.2.6 Mean of relationships between density and ultimate load. Direction of force parallel or perpendicular to the fibre direction. The discontinuous regression curves are equivalent to proportionality between the strength and the square root of

the density, as may be expected in bending case C (TAB 1.2.2). Within the scope of the experiment (shown), it is immaterial whether calculations are based on this assumption or a linear relationship.

FIG. 2.3.1 Relation between displacement modulus and nail density.

FIG. 2.3.2 Relation between displacement modulus (secant modulus from a displacement of 0-0.2 mm) and nail density.

FIG. 2.3.3-4 Relation according to the elastic theory between the displacement coefficient (displacement modulus) K and the slip modulus for the nail plates, calculated per nail, where K is a constant. The dashed lines are obtained if the effect of the deflection of the nails is ignored.

FIG. 2.4.1-2 Load-displacement curves when load is applied in the direction of the fibres, for different nail sizes. The full lines are mean curves while the other curves are examples of continuously recorded displacement curves. The values shown are mean group values for 6 connections. Nail diameter=2.5 mm.

FIG. 2.4.3-4 Load-displacement curves when the load is applied in the direction of the fibres, for different nail sizes. The full lines are mean curves while the other curves are examples of continuously recorded displacement curves. The values shown are mean group values for 6 connections. Nail diameter 5 mm.

FIG. 2.4.5 Summary of load-displacement curves for different nail sizes, and mean curve and mean line for determination of the displacement modulus. Dashed curves (1 and 2) have been fitted with the aid of equation (24).

FIG. 2.4.6 Different functions for description of the load-displacement curve of a nail plate connection. See the report.

FIG. 3.1.1-2 Ultimate load of nail plates for different angles between the direction of force and the fibre direction. Nail diameter 2.5 mm.

FIG. 3.3.1-4 Ultimate load of nail plates for different angles between the direction of force and the fibre direction. Nail diameter 5 mm. At nail densities of approx. 0.3 nails/cm² (or higher), the strength was significantly reduced when the direction of force was different from the fibre direction.

FIG. 3.1.5 Effect of angle on load values $R_{0,2}$, R_2 and R_B for nail plates IV (100 cm², dense nail pattern).

FIG. 3.1.6 Effect of angle on load values $R_{0,2}$, R_2 and R_B for nail plates VI (36 cm²) and nail plates III (100 cm²).

FIG. 4.1.1 Ultimate values of shear stress in torsion. See also FIG. 2.1.2. Full connecting lines (and marks) refer to values calculated according to (28) while dashed lines refer to values calculated according to (29). Upright rectangles mark the values

for plates with their long sides in the fibre direction and horizontal ones for plates with their short sides in the fibre direction. A cross indicates the ultimate value of shear stress in connections acted upon simultaneously by a torque (M) and a displacement force (R) (see 5.1).

FIG. 4.2.1 Summary of regression lines for the relation between the displacement modulus (secant modulus to 0.2 mm) and the nail density. Dashed lines refer to the rotational slip modulus (k_M). Chain lines represent equations (32) and (33). For plates used see TAB.1.3.1.

FIG. 4.2.2 Effect of angle on the displacement modulus. The modulus in this case is given per nail, both as a tangent modulus (upper curve) and a secant modulus to a displacement of 0.2 mm (lower curve). For purposes of comparison, the rotational slip moduli obtained for circular and rectangular plates are shown along the y axis. Chain lines indicate the effect of angle according to the Nordic Building Regulations Committee, with $C=0.3$ and $C=0.08d$ if d is in mm.

FIG. 4.3.1 Shape of the displacement curve in torsion (full line) and in linear displacement (dashed line, see FIG. 2.4.5). A cross indicates torsion in connections acted upon simultaneously by a torque (M) and a displacement force (R) (see 5.3).

FIG. 5.1.1 Permissible shear stress according to (42) for $\alpha=0$.

FIG. 5.2.1 Theoretical and measured relationship between slip and rotational slip in connections subjected to a combined stress due to a torque and a displacement force. The lines have been drawn through the mean values for 1 mm and 2 mm displacement.

TAB. 1.2.1 Data relating to the tested nail groups.

TAB. 1.2.2 Calculated nail length which gives rise to limiting case in bending.

TAB. 1.3.1 The scope of the test series.

TAB. 2.2.1 Dependence of load on density. See also FIGs. 2.2.1-6

TAB. 4.2.1 Polar moment of inertia of nail plates. Note the multiplier.

TAB. 4.2.2 Comparison of the modulus of displacement (tangent modulus) in tension (k) with that in torsion (k_M and k_M^F).

TAB. 4.3.1 Torsional stiffnesses of joints comprising plates of different shapes. Nails 22/2.5, nail density IV.

TAB. 5.1.1 Value of the coefficient K_2 in the NKB expression for shear stress between plate and timber (NKB, 1970) as calculated from test results.

TAB. 5.2.1 The relationship between moduli of displacement with and without applied torsion. Each value represents 6+6 connections.

TAB. 5.2.2 Relationship between rotational slip modulus in combined rotation and translation and rotational slip modulus in rotation only. Each value represents 6+6 connections.

TAB. 5.3.1 Values of the ratios R_2/R_B and M_2/M_B .

R60:1973

Denna rapport avser anslag C 445 från Statens råd för byggnadsforskning till Svenska träforskningsinstitutet, Stockholm.

Försäljningsintäkterna tillfaller fonden för byggnadsforskning.

Distribution: Svensk Byggtjänst, Box 1403, 111 84 Stockholm

Grupp: konstruktion

Pris: 18 kronor