

**Rapport**

**R30:1971**

TEKNISKA HOGSKOLAN I LUND  
SEKTIONEN FOR VAG- OCH VATTEN  
BIBLIOTEKET

**Hopfogning av  
tunnväggiga stål- och  
aluminium-  
konstruktioner 2**

**Rolf Baehre**

**Lennart Berggren**

**Byggforskningen**

# Hopfogning av tunnväggiga stål- och aluminiumkonstruktioner 2

Rolf Baehre & Lennart Berggren

Den starkt expansiva utvecklingen på tunnplåtsområdet har gjort det nödvändigt att finna metoder och regler för fogning av tunnväggiga konstruktioner av kraftupptagande funktion.

En inventering av förekommande fogningssätt, tidigare redovisad i en rapport från Byggforskningen (Hopfogning av tunnväggiga stålkonstruktioner, R4:1969), visade att befintligt material rörande förbindningarnas lastupptagande förmåga var tämligen heterogent och inte tillräckligt systematiserat för att ligga till grund för dimensioneringsregler. Inventeringen resulterade i ett program för fortsatta studier av några olika förbindningsmetoder, i avsikt att bearbeta och komplettera materialet.

I den första delen av föreliggande rapport redovisas litteraturstudier och praktiska provningar av förbandstyperna: skruvförband med och utan kontrollerad mutteråtdragning, nitförband, skruvförband med gängformande och självborrande skruvar, motstånds- och MIG-punktsvetsning, limförband, skjutspikförband och bultsvetsning. Vid provningarna har förbandsparametrarna valts så att man erhållit enhetliga bedömningsgrunder för olika förbandstypers lastupptagande förmåga.

Den andra delen av rapporten har utformats som förslag till rekommendationer för dimensionering, utförande, kontroll och provning av tunnplåtsförband. I fråga om tillåten belastning anknyter förslaget till gällande bestämmelser för tunnplåtskonstruktioner. Med hänsyn till att säkerhetskraven för tunnplåtskonstruktioner ännu inte definitivt fastställts har en "öppen" lastfaktor  $s_g$  redovisats, som är anpassad till internationell praxis. Förslaget har för husbyggnadsändamål typgodkänts av Statens planverk och kan betraktas som försöksnorm.

## A. Friktionsförband

Bland konventionella skruvförband (kapitel A) tilldrar sig friktionsförband med kontrollerad mutteråtdragning intresse vid högt ställda krav på koncentrerad kraftöverföring och förbandsstyvhet. Nackdelarna med förbandstypen är i huvudsak att initialdeformationer på grund av klämkraften accentueras med avtagande godstjocklek samt att utnyttjandegraden i viss utsträckning nedsätts genom sättningar i förbandet i kombination med korta klämlängder.

Undersökningarna avsåg att utvärdera förbandets verkningsätt och funktionsstabilitet beroende av bl.a. materialkvalité, ytbehandling, åtdragningsmoment och godstjocklek. Utförda brottförsök med varierande förbandsparameter omfattar 104 provenheter. Huvudvikten har lagts på bestämning av glidlasten för olika ytbehandlingar, i syfte att bestämma praktiskt tillämpbara friktionskoefficienter. Undersökningmaterialet presenteras i tabellform samt i form av typiska last-förskjutningskurvor, åtföljda av en diskussion rörande förbandsparametrars inflytande på den lastupptagande förmågan. Bestämning av friktionskoefficienter sker med utgångspunkt från i försök observerad glidlast eller en förskjutning av förbandsdelarna om maximalt 0,20 mm.

Tillämpbara friktionskoefficienter har med hänsyn därtill samt med beaktande av ytskiktens möjliga kvalitetsförsämring i praktisk tillämpning bestämts till

$\mu=0,18$  för obehandlad valsblank plåt

$\mu=0,35$  för sandblästrad plåt

$\mu=0,13$  för varmförzinkad plåt med skiktjocklek  $\leq 40 \mu\text{m}$ .

$\mu=0,25$  för varmförzinkad plåt med sandblästring samt vid målningsbehandling med lufttorkande zinkfärg.

Tillåten tvärlast hos friktionsförband refereras till glidlasten samt binds till kravet att förbandets beteende i drift vid s-faldig brukslast i huvudsak skall vara linjärt elastiskt. Med utgångspunkt från provningsresultaten bestäms tillåten tvärlast ur sambandet

$$F_{t111} = \frac{1}{s_g} k \cdot \mu \cdot P_{f\text{nom}}$$

# Byggeforskningen Sammanfattningar

R30:1971

Nyckelord:

tunnplåt (stål, aluminium), bärande konstruktion, förband, dimensionering, utförande

förband, skruvförband, nitförband, svetsförband, limförband, försöksnorm, dimensionering, utförande, kontroll, provning

Rapport R30:1971 avser anslag C 423 från Statens råd för byggnadsforskning till Arne Johnson Ingenjörbyrå.

UDK 693.8:389.6

624.078

621.79

SfB M

N

Xt6

Yt3

Sammanfattning av:

Baehre, R & Berggren, L, 1971, *Hopfogning av tunnväggiga stål- och aluminiumkonstruktioner 2*. (Statens institut för byggnadsforskning) Stockholm. Rapport R30:1971, ca 540 s., ill. 67 kr.

Rapporten är skriven på svenska med svensk och engelsk sammanfattning. En del av rapporten utges separat som Byggeforskningens informationsblad B14:1971, Tunnplåtsförband.

Distribution:

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

$P_{fnom}$  är den nominella förspänningskraften,  $s_g$  lastfaktorn och  $k$  en koefficient som med hänsyn till förspänningskraftens spridning, förbandets sättning samt kravet på linjärt elastiska formändringar bestämts till ca 0,6.

Kapitel A innehåller även en diskussion av lastupptagningsförmågan vid förband utan kontrollerad mutteråtdragning. Härvid ansluter sig bedömningen av tillåtet hållkantryck i huvudsak till vad som anges i AISI-normen. Vid aktuell skruvdiameter begränsas förbandets bärförmåga som regel genom hållkantflytning. Undersökningarna rörande skruvförband har begränsats till grundmaterial av stålplåt.

## B. Nitförband

Kapitel B avser nitförband, där nit-huvudet utbildas och nitskaftet deformerar i kallt tillstånd. Här framlagda synpunkter gäller för solida nitar samt rör- och hålnitar, medan experimentella undersökningar begränsas till blindnitar i form av hålnitar. Syftet med undersökningarna har varit att kvalitativt och kvantitativt kartlägga blindnitförbandets beteende i bruks- och brottlaststadiet samt utarbeta distinkta dimensioneringsregler. Redovisningen omfattar egna provningar inom tjockleksområdet 0,7–2 mm med förband av jämntjocka plåtar och tjocklekskombinationer, samt variationer i fråga om antal nitar, nitdiameter och hållfasthetsegenskaper hos grundmaterialet. Parallellt undersöks förband av stål- och aluminiumplåt. Försöksresultaten kompletteras med i litteraturen angivna provningsresultat.

Förbandets verknings sätt karakteriseras under pålastningen av tre olika skeden, varvid ett närapå linjärt elastiskt formändringsskede åtföljs av en elastoplastisk formändring, som indikerar det framtida brottbeteendet. Brottstadiet uppnås antingen genom skjubbrott i niten, hållkantflytning eller snedställning av niten åtföljd av urdragning. Brottfenomen är i huvudsak kopplade till tjockleken hos förbandsdelarna. Redovisningen av provningsresultaten från 86 prov med stålplåt och 57 prov med aluminiumplåt sker i tabellform samt i form av representativa last-formändringskurvor.

Tillåten tvärlast för nitförband refereras till en flytlast  $F_g$ , så bestämd att den kvarstående formändringen i förbandet under s-faldig brukslast begränsas till 0,15 mm. Som en approximation på säkra sidan kan med utgångspunkt från provningsresultaten vid hållkantflytning och snedställningsbrott antas att denna flytlast svarar mot ca 68 % av brottlasten vid stål-

plåt och ca 59 % vid aluminiumplåt. Härvid inkluderas effekten av krypning vid varaktigt höga påkänningar samt spridningen av provningsmässigt erhållna brottlastmedelvärden. Med beaktande av den för tunnplåtskonstruktioner aktuella lastfaktorn  $s_g = 1,65$  erhålls därmed en säkerhetsfaktor mot försöksmässigt erhållna brottlastmedelvärden om ca 2,4–2,8.

Vid belastningar vinkelrätt mot plåtplanet kan beroende på förbandskarakteristiken olika brottfenomen få aktualitet. Rapporten behandlar brott genom plåtvikning, utdragning av nit, överdragsbrott, skaftbrott, stansbrott samt brott genom att fästelementets huvud deformerar eller dras av. Behandlingen av nitförband, liksom övriga icke-konventionella förbandstyper, innefattar ett avsnitt rörande den konstruktiva utformningen, val av förbandselement samt frågor rörande provning och kontroll. Dessa avsnitt bildar underlag för kravspecifikationer i del II av rapporten.

## C. Skruvförband med gängformande och självborrande skruvar

Kapitel C avser skruvförband med gängformande och självborrande skruvar, dvs. förbindningsmetoden där skruven under anbringandet plastiskt formar en invändig gänga genom att skruvgångorna tränger undan godset i hållkanten av ett förborrat hål. Alternativt kan gängformningen ske genom gängskärning. Jämsides med blindnitförbandet är skruvförbandet det viktigaste vid fogning av tunnväggiga konstruktioner på arbetsplatsen. Av väsentlig betydelse för förbandets funktionsstabilitet är att förbandskarakteristika såsom materialhållfasthet, godstjocklekar, skruvdiameter och håldiameter är väl avstämda i relation till varandra.

Redovisningen innefattar teoretiska och experimentella undersökningar samt literaturstudier. Undersökningarna omfattar förband sammansatta av tunna jämntjocka plåtar samt plåtar med varierande tjocklekar, varvid provkroppstyperna motsvarar de vid nitförband använda. För att kunna bedöma förbandsparametrars inverkan på förbandets beteende i brukslast- och brottstadiet varierar hållfasthetsegenskaper, skruvdiameter samt antalet skruvar i förbandet. Undersökningarna avser förband med stål- och aluminiumplåt.

Avsnittet inleds med en översiktlig presentation av aktuella fästelement och metoder för applicering. Förbandets verknings sätt karakteriseras grovt av fyra olika formändringsskeden som vid måttliga påkänningar är beroende av lastöverföringen från plåten till den gängade skruvstammen. Under ett inledande belastningsskede sker

lastöverföringen dels genom gängdelar som utbildats under indragningen av skruven samt – i mindre utsträckning – genom friktion, orsakad av genom skruvåtdragning aktiverad klämkraft. Lastöverföringsytan ökar därefter successivt under inträngning av skruvgångorna i godset tills full anläggning av skruvkärnan mot plåten erhålls. I detta stadium minskar deformations-tillväxten. Det tredje skedet kännetecknas av en markant ökning av formändringarna till följd av antingen hållkantflytning eller snedställning av skruven. Därpå följer vid tunna plåtar en konsolidering beroende på att dragkrafter aktiveras i skruven till följd av snedställning. Brott inträffar antingen med begränsad brottdeformation genom skjubbrott i skruvskaftet eller med relativt stora formändringar genom hållkantflytning eller snedställning.

Provningarna omfattar i en första huvudgrupp en bestämning av nödvändigt och acceptabelt vridmoment för att fullgod anläggning av förbandsdelarna skall erhållas utan att därvid skruv eller plåtgångor skadas. Med utgångspunkt från resultat av 117 åtdragningsförsök erhålls distinkta regler för val av skruvtyp vid aktuella förbandskarakteristika.

Den andra huvudgruppen av provningar utgörs av tvärlastprov med ca 110 provningsenheter av stålplåt och ca 55 enheter av aluminiumplåt, varvid resultaten redovisas i tabellform samt i form av representativa lastförskjutningskurvor. Dessutom testades ett stort antal i litteraturen redovisade brottresultat mot erhållna försöksvärden.

Som en lämplig utgångspunkt för bedömning av tillåten tvärlast valdes en sådan deformationsbegränsning, att förbandet vid s-faldig brukslast får tillräcklig funktionsstabilitet samt att krypdeformationer i huvudsak elimineras. Bestämningen är en fiktiv brottlast med hänsyn därtill baseras på en förskjutningsmodul motsvarande en lutning av last-formändringskurvan om ca 150 kp/mm. Approximativt gäller därvid att den fiktiva brottlasten uppgår till ca 72 % av uppmätt medelbrottlast vid stålplåt samt ca 63 % vid aluminiumplåt. För undvikande av kvarstående formändringar erfordras en korrektion av sålunda bestämd brottlast, vilket för brukslast med innehållande av en lastfaktor om  $s_g = 1,65$  ger säkerhetsfaktorer mot uppmätt medelbrottlast om 2,9 för stålplåt och 3,3 för aluminiumplåt. Den gentemot nitförbandet något ökade säkerhetsfaktorn hänför sig i huvudsak till skruvförbandets ogynnsammare formändringsbeteende.

För belastningar vinkelräta mot plåt-ytan gäller i princip samma brottfenomen som nämndes i samband med

nittförband. Utdrags- och överdragsbrott har ägnats ett speciellt studium, baserat på utförda utdragsprov med varierande hålldiameter.

Skruvavsnittet kompletteras med anvisningar för val av skruvtyp samt håltagning, hålldiameter och åtdragningsmoment.

#### D. Motståndspunktsvetsning

*Kapitel D* avser motståndspunktsvetsning, som bland motståndsvetsningsmetoderna förtjänar speciell uppmärksamhet vid här aktuellt tillämpningsområde. Punktsvetsförband, utfört med tryckstyrd svetsmaskin och rätt avvägda svetsdata, kännetecknas av jämn kvalitet och liten spridning av hållfasthetsvärdena. Avsaknaden av tillsatsmaterial samt hög tillverkningshastighet medför en relativt låg kostnad per enhet lastupptagande förmåga. Här refererade experimentella undersökningar omfattar stålplåt med varierande hållfasthetsegenskaper med valsblank yta eller i sendzimirförzinkat utförande. För stål med låg kolhalt samt aluminium är erforderliga svetsdata och resulterande hållfasthetsegenskaper väl dokumenterade i litteraturen. Här återgivna regler för dimensionering, utförande och kontroll är tillämpliga även för dessa material.

Olika svetsvariabler har relativt betydande inverkan på förbandets hållfasthetskaraktäristika. Inledningsvis behandlas därför översiktligt aktuella svetsmetoder samt olika svetsvariablers inbördes beroende, åtföljt av rekommendationer för val av svetsdata.

Punktsvetsförbandets beteende under pålastningen karakteriseras grovt av tre deformationsskeden. Vid låga påkänningar råder ett nästan linjärt samband mellan tvärlast och deformation. Med ökande påkänningar erhålls en successivt ökande plastisk deformation.

Det tredje skedet karakteriserar brottstadiet, varvid brottorsaken är beroende av förbandsparametrar såsom plåttjocklek, materialhållfasthet, svetspunktdiameter och förbandets geometri. Härvid kan skillas mellan *skjuvbrott* i svetsen, som kännetecknas av små formändringar, *hålkantflytning* vid kombination av tunna och grövre plåtar och *snedställningsbrott*, som accentueras vid tunna plåtar. De senare brottfenomenen åtföljs av ökade formändringar. Experimentella undersökningar, avseende en bestämning av skäligen säkerhetsnivå vid överlappsförband med tvärlast, redovisas för 112 provkroppar av valsblankt och 70 av varmförzinkat material i tabellform samt i form av representativa last-formändringskurvor. Härvid varierades såväl förbandspara-

metrar som svetsparametrar inom ramen för praktiskt tillämpliga storheter. Försöksresultaten tyder på att skjuvbrotthållfastheten för punktsvetsförband av valsblankt material med ren yta dels kan refereras till ett fåtal svetsvariabler samt dels uppvisar relativt begränsad spridning. För varmförzinkat material erhålls däremot inget entydigt samband mellan svetsparametrar och skjuvbrotthållfastheten och till följd därav en betydande variation av hållfasthetsvärden vid relativt små ändringar av svetsparametrar. Detta innebär att säkerhets- eller kontrollkravet bör skärpas vid varmförzinkat material, jämfört med valsblankt.

Tillåten tvärlast per svetspunkt är beroende av svetslinsdiametern  $d_s$ , som å andra sidan bestäms av med hänsyn till svetsmaskinens kapacitet aktuella svetsparametrar. Sålunda erhålls teoretisk tvärlast för en svetspunkt korrigeras med hänsyn till antalet svetspunkter i rad samt med avseende på tillverkningskontrollens art och omfattning. Kontrollåtgärderna ges speciellt utrymme inom detta kapitel.

Ett omfattande underlag för val av svetsparametrar samt regler för utformning av punktsvetsförband kompletterar den teoretiska och experimentella behandlingen.

#### E. MIG-punktsvetsning

*Kapitel E* behandlar en speciell gasmetallbågs svetsmetod inom samma tillämpningsområde som motståndspunktsvetsning, dvs. MIG-punktsvetsning. Jämfört med ovan behandlad metod har MIG-punktsvetsningen fördelen att åtkomlighet hos arbetsstycket endast erfordras från förbandets ena sida. Dessutom är kravet på ytenhet normalt lägre än vid motståndsvetsning. Vid varmförzinkat material och zinksiktigtjocklek om ca 30  $\mu\text{m}$  begränsas användningen av MIG-punktsvetsning till plåttjocklekar  $\geq 1,3$  mm. Avsnittet inleds med en behandling av svetsmetodens specifika egenskaper samt svetsresultatets beroende av svetsparametrar såsom strömstyrkan, bågspänningen, elektrod diametern och matningshastigheten, svetstiden, kontaktavståndet och skyddsgasen.

Förbandets last-formändringsbeteendet uppvisar i stort samma karaktäristika som vid motståndspunktsvetsning. I syfte att kartlägga förbandets beteende i bruks- och brottlaststadiet samt att bestämma skäligen säkerhetsnivå utfördes tvärlastprov med totalt 61 provenheter av valsblank resp. varmförzinkad stålplåt, varvid förbands- och svetsparameter varierades. Resultaten redovisas i samma form

som vid tidigare behandlade förbandstyper.

Tillåten tvärlast per svetspunkt begränsas vid relativt stor förbandsstyvhet av svetspunktens skjuvbrottlast och i annat fall av snedställningsbrott. För det senare brottalternativet ges i rapporten dimensioneringsdiagram för valsblankt och varmförzinkat material med svetspunktdiametern och minsta plåttjockleken som ingångsvärden.

#### F. Limförband

*Kapitel F* innehåller en översiktlig behandling av limförband innefattande material till förband, funktions sätt, förbandsutformning och dimensionering samt provning och kontroll.

Limförbandets fördelar är — jämfört med andra förbindningsmetoder — den ytmässiga kraftöverföringen med undvikande av spänningskoncentrationer och därav resulterande gynnsamma hållfasthetskaraktäristika, undvikande av försvagningar i förbandsområdet samt möjligheter att utföra trycktäta förband. Nackdelarna ligger i huvudsak inom tillverknings tekniskt område samt limmaterialets krypbenägenhet och temperaturkänslighet.

Limförbandets funktions sätt, hållfasthetsegenskaper och brottbeteende är väl dokumenterade inom litteraturen. Av den anledningen har experimentella undersökningar inte utförts utan arbetet med denna förbandstyp har begränsats till att samla och återge erfarenhetsresultat samt att ge regler för dimensionering, utförande och kontroll av limförband. Mångfalden av limmaterial samt det faktum att limmaterialets skjuvhållfasthet inte direkt kan bilda underlag för dimensionering av förband medför att dimensioneringen i varje särskilt fall måste baseras på resultat av brottförsök med aktuella förbandsparametrar.

Avsnittet inleds med en diskussion av olika limtyper och härdprocesser, åtföljt av anvisningar för förbehandling av anläggningsytor, limningens utförande, efterbehandling och utförandekontroll. Därefter behandlas förbandsparametrars inverkan på limförbandets lastupptagande förmåga och hållfasthetsegenskaper samt förbandsutformning och dimensionering. Ett omfattande avsnitt rörande provning av limförband samt val och beredning av provkroppar avslutar detta kapitel.

#### G. Skjutspikförband

*Kapitel G* avser skjutspikförband. Förbandstypen har aktualitet vid fogning av en tunn (0–3 mm) plåt med en något tjockare (4–8 mm) och främst vid montage på arbetsplats. Vid monteringen pressas den så kalla-

de spiken genom förbandsdelarna. Erforderlig energi utvecklas av en mindre sprängsats och överförs till spiken via en rörlig kolv.

Spikmaterialets höga brottgränsspänning samt de montagemässiga krav som ställs på förbandsdelarnas tjocklek medför att endast brott genom hållkantflytning och snedställning är aktuella.

De utförda försöken omfattar endast en mindre serie om tio provkroppar. Last-förskjutningskurvor studeras och lämplig säkerhetsnivå föreslås. Angivna rekommendationer grundas till största delen på från tillverkare av skjutspikverktyg tillhandahållet underlag.

## H. Bultsvetsning

*Kapitel H* behandlar kondensatorbultsvetsning. Metoden innebär att ett fästdon av något slag svetsas fast på ytan av en tunn plåt (0,5–3,0 mm). Fästdonets utformning beror på vilka funktionella krav som ställs. Kondensatorbultsvetsning är ingen fogningsmetod för tunnplåt i egentlig mening utan har större byggnadsteknisk tillämpning vid exempelvis samverkan-konstruktioner eller vid infästning av isolerande material till en tunnplåtkonstruktion.

Endast en mindre provserie om sammanlagt 27 försök genomfördes varvid grundmaterialet var valsblank eller varmförzinkad stålplåt alternativt aluminiumplåt. Angivna rekommendationer grundas i huvudsak på från tillverkare av kondensatorbultsvetsutrustningar tillhandahållet underlag.

Med utgångspunkt från och på basis av refererade resultat ges i *del II* av rapporten ett förslag till dimensionering, utförande, kontroll och provning av förbindning i tunnplåtkonstruktioner för ovan angivna förbindningsmetoder.

Förslaget är avsett att ge konstruktören en mera kvalificerad bedömningsgrund för dimensionering av tunnplåtkonstruktioner än det sparsamma underlag som för närvarande är tillgängligt för konstruktionsele-

ment inom tjockleksområdet 0,5–4 mm. Området täcks inte av stålbyggnadsnormerna, vilket innebär att dimensioneringsförfaranden saknar formellt stöd. I avvaktan på planerade normer för dimensionering av tunnplåtkonstruktioner bör föreliggande förslag med här rekommenderade — konservativa — säkerhetskrav kunna utnyttjas som försöksnorm. Statens planverk har för detta ändamål typgodkänt materialet.

Anvisningsdelen innehåller för varje ovan nämnd förbandstyp en beskrivning av giltighetsområdet och i förbandet ingående element, dimensioneringsföreskrifter med förslag till säkerhetsfaktorer, rekommendationer för den konstruktiva utformningen samt föreskrifter om provning och kontroll.

Det framstår som angeläget, att erfarenheter från anvisningarnas tillämpning tillvaratas inför den normmässiga behandlingen. Stålbyggnadsinstitutet har förklarat sig berett att samla erfarenhetsunderlaget och medverka till dess spridning.

# Jointing of thin-walled steel and aluminium structures 2

Rolf Baehre & Lennart Berggren

## National Swedish Building Research Summaries

R30:1971

The rapid expansion in the use of sheet metal panels has made it necessary to find methods and rules for the jointing of thin-walled structures which have a load-bearing function.

A survey of jointing methods, described in a report published by the National Swedish Institute for Building Research (Jointing of thin-walled steel structures 1, No R4:1969), showed that the material available concerning the load-bearing capacity of the joints is of a fairly heterogeneous nature and is not sufficiently systematic to serve as the basis of the design regulations to be drawn up. The survey resulted in a development programme, comprising different jointing methods, with the aim of revising and augmenting the available material.

The first part of this report comprises a study of relevant literature and also practical tests on the following types of joint, bolted joints both with and without control of the torque used to tighten up the nut, riveted joints, screwed joints using thread-forming and self-drilling screws, resistance spot welding and spot welding with a shielded arc (MIG), bonded joints, joints using nails applied by a firing tool, and finally stud welding.

In the tests the joint parameters were chosen in such a way that a uniform basis has been obtained for assessments of the load-bearing capacities of different types of joints.

The second part of the report contains proposals for design, construction, control and testing of joints in thin-walled structures. As regards permissible load on the joints the treatment conforms closely with the current regulations applicable to thin-walled structures. In view of the fact that safety requirements for thin-walled structures have not yet been drawn up in their final form, an "open" load-factor  $s_g$  has been used, which is adapted to international usage.

For the purpose of house construction the proposal has the type approval of the National Swedish Board of Urban Planning and can be regarded as a preliminary standard.

### A. Friction grip bolted joints

Among conventional bolted joints (Chapter A), high-strength friction grip bolted joints, in which the torque used to tighten the nuts is controlled, are of interest in cases where there are stringent demands as regards concentrated load transfer and joint stiffness. The main drawbacks of this type of joint are that the initial deformations owing to the clamping force are accentuated as the material thickness diminishes, and also that the degree of utilization is reduced to some extent owing to movements in the joint which occur in combination with short clamping lengths.

The investigations were intended to establish the method of working and functional stability of the joint as functions of e.g. the quality of the material, surface treatment, tightening torque and thickness of the material. The ultimate load tests which were carried out with variable joint parameters comprise 104 samples. The main emphasis was laid on determination of the slip load for different surface finishes in order to establish coefficients of friction which could be applied in practice. The results of the investigation are presented in the form of tables and typical load-displacement curves, accompanied by a discussion concerning the influence of the joint parameters on the load-bearing capacity. The coefficients of friction have been determined on the basis of the observed slip load or a displacement of the parts connected together by a maximum of 0.20 mm. In view of this and with regard to possible deterioration in quality of the surface layer in practical use, the coefficients of friction have been determined as

$\mu=0.18$  for untreated as-rolled metal sheet

$\mu=0.35$  for sand blasted sheet

$\mu=0.13$  for hot-dip galvanized sheet with a zinc layer  $\leq 40 \mu\text{m}$

$\mu=0.25$  for hot-dip galvanized sheet in combination with sand blasting and painting with an air-drying zinc paint.

The permissible transverse load in a friction grip bolted joint is related to the slip load and conforms to the requirement that the behaviour of the joint whilst in use at  $s$  times the working

Key words:

sheet metal (steel aluminium), load-bearing structure, joint, dimensioning, construction

joints, bolted joints, riveted joints, welded joints, bonded joints, preliminary standard, design, construction, control, testing

Report R30:1971 was supported by Grant C 423 from the Swedish Council for Building Research to professor Arne Johnson Consulting Engineers.

UDC 693.8:389.6  
624.078  
621.79  
SfB M  
N  
Xt6  
Yt3

Summary of:

Baehre, R & Berggren, L, 1971, *Hopfogning av tunnväggiga stål- och aluminiumkonstruktioner*. Jointing of thin-walled steel and aluminium structures 2. (Statens institut för byggnadsforskning) Stockholm. Report R30:1971, ca 540 p., ill: 67 Sw. Kr.

The report is in Swedish with Swedish and English summaries.

Distribution:

Svensk Byggtjänst  
Box 1403, S-111 84 Stockholm  
Sweden

load, must be largely linearly elastic. On the basis of the test results, the permissible transverse load is determined from the expression

$$F_{till} = \frac{1}{s_g} \cdot k \cdot \mu \cdot P_{f_{nom}}$$

where  $P_{f_{nom}}$  is the nominal preloading force,  $s_g$  the load factor and  $k$  a coefficient which, with regard to the scatter in the values of the preloading force, the movements of the joint and the requirement as to linearly elastic deformations, has been put at approximately 0.6.

Chapter A also contains a discussion of the load-bearing capacity in joints *without* control of the nut tightening torque. In regard to these, the assessment of the permissible bearing value is mainly based on specifications in the AISI standards. For bolt diameters which are of interest in the present context, the load-bearing capacity of the joint is usually limited by yield in bearing.

## B. Riveted joints

*Chapter B* refers to riveted connections in which the head of the rivet is formed and the shank of the rivet deformed in the cold. The views presented here apply to solid rivets and also tubular and hollow rivets, while the experimental investigations have been confined to blind rivets in the form of hollow rivets. The aim of the investigations has been to examine, both qualitatively and quantitatively, the behaviour of blind riveted joints within the working range and at ultimate load and to draw up clear design rules. The results comprise our own tests in the thickness range 0.7–2 mm in joints between sheets of the same thickness and also in thickness combinations, and also variations as regards the number of rivets, rivet diameter and the strength of the parent material. Sheets of both aluminium and steel were tested at the same time. The test results are supplemented by results quoted in the literature.

The behaviour of the joint is characterised during application of the load by three distinct stages, an almost linear elastic strain region being followed by elastoplastic strain which gives an indication of the behaviour to be expected at ultimate load. The ultimate stage is reached by shear failure in the rivet, yield in bearing or inclination of the rivet followed by its being pulled out. The mode of failure is mainly a function of the thickness of the parts connected together. The results of the tests, comprising 86 specimens of steel sheet and 57 of aluminium sheet, are shown in the form of tables and representative load-deformation curves.

The permissible transverse load for a riveted connection is related to a yield load  $F_s$  determined in such a way that

the residual strain in the joint when it has been subjected to  $s$  times the working load, is limited to 0.15 mm. It may be assumed, as an approximation on the safe side on the basis of test results on yield in bearing and failure due to rivet inclination, that this yield load is approximately 68 % of the ultimate load in steel sheet and approx. 59 % of that in aluminium sheet. This includes the effect of creep owing to high stresses of long duration and the scatter in the mean values of the ultimate load obtained from the tests. In view of the load factor  $s_g=1.65$  applicable to thin panel structures, this produces a factor of safety against the mean value of the ultimate load obtained experimentally of about 2.4–2.8.

When load is applied at right angles to the plane of the sheet, the modes of failure may vary depending on the nature of the joint. The report deals with failure owing to folding of the sheet, pulling-out of the rivet, pull-through failure, shank failure, punching failure and also failure as a result of deformation or snapping-off of the rivet head. The treatment of riveted joints, in the same way as that of other, non-conventional types of joints, contains a section dealing with design, choice of rivet and matters connected with testing and control. These sections form the basis of requirement specifications in part II of the report.

## C. Screwed joints using thread-forming and self-drilling screws

*Chapter C* relates to screwed joints using thread-forming or self-drilling screws, i.e. the method of jointing in which the screw, while being driven, forms plastically an internal thread owing to displacement of the material in a pre-drilled hole by the threads of the screw. The thread may also be formed by thread cutting. Besides blind riveting, screwed joints constitute the most important method of in situ jointing for sheet metal structures. It is of great importance for the functional stability of the joint that joint characteristics such as material strength, material thicknesses, screw diameter and hole diameter should be properly suited one another.

The report includes theoretical and experimental investigations and also studies of literature. The investigations comprise joints composed of thin sheets of equal thickness and sheets of varying thickness, the types of specimen being the same as those used in riveted connections. In order that the influence of the joint parameters on the behaviour of the joint in the working range and at ultimate load may be assessed, the strength properties, screw diameters and the number of screws in the joint have been varied. The investigations relate to joints in steel and aluminium sheets.

The section opens with a brief descrip-

tion of the types of screw in question and the methods of application. The way in which the joint works is roughly characterised by four different stages of strain which, at moderate stresses, depend on the transfer of load from the sheet to the threaded screw shank. During an initial loading stage, load is transferred through portions of the thread formed during driving and also — to a lesser extent — through friction due to the compressive forces brought into action by tightening of the screw. Load transfer then gradually increases while the threads penetrate into the parent material, until the core of the screw is fully in contact with the sheet. At this stage, rate of growth of strain decreases. The third stage is characterised by a marked increase in strain, as a result either of yield in bearing or tearing of the parent material. After this, in thin sheets, there is consolidation as a result of the fact that tensile forces are brought into action in the screw owing to its inclination. Failure occurs either with limited ultimate strain as a result of shear failure in the shank of the screw or with relatively large strains as a result of yield in bearing or tearing of the material of the sheet.

The tests comprise in the first main group a determination of the required and acceptable torque in order that complete contact between the parts being joined together should be achieved without either the screw or the thread in the sheet being damaged as a result. On the basis of results from 117 tightening-up tests, clear rules are obtained as regards the choice of screw type in relation to the joint characteristics in question.

The second main group of tests consists of transverse load tests on about 110 test specimens of steel sheet and about 55 specimens of aluminium sheet, the results being shown in the form of tables and also representative load-displacement curves. In addition, a large number of failures described in the literature were tested against the experimental values obtained.

A strain limit such that the joint attains sufficient functional stability and creep strains are largely eliminated when the joint is subjected to  $s$  times the working load, was selected as a suitable basis for the assessment of the permissible transverse load. The determination of a fictitious ultimate load in relation to this was based on a shear modulus corresponding to a slope of the load-deformation curve of about 150 kgf/mm. The fictitious ultimate load is then approximately 72 % of the measured mean ultimate load in steel sheet and approx. 63 % in aluminium sheet. In order to prevent permanent strains, it is necessary that a correction should be applied to the ultimate load determined in this way, which at working loads, with the inclu-

sion of a load factor of  $s_g=1.65$ , gives a factor of safety against the measured mean ultimate load of 2.9 for steel sheet and 3.3 for aluminium sheet. The reason why the safety factor is somewhat higher than in the case of riveted joints is that the strain behaviour of the screwed connection is less favourable.

For loads at right angles to the surface of the sheet, the failure modes are generally the same as those described in connection with riveted joints. Failure due to pull-out and pull-through have been studied specially on the basis of pull-out tests performed with variable hole diameters.

The section on screwed connections is supplemented by instructions regarding the choice of the type of screw, drilling of the holes, hole diameter, and the tightening torque.

#### D. Resistance spot welding

Chapter D refers to resistance spot welding, which method, among the various resistance welding techniques, deserves special attention in connection with the field of application dealt with in this report. A spot welded joint, applied by a welding machine with pressure regulation and with the welding data selected correctly, is characterised by uniform quality and small scatter in strength values. Due to the absence of filler metal or flux and the high welding speed, the cost per unit of load bearing capacity is relatively low. The experimental investigations described here comprise steel sheet of variable strength properties and with as-rolled or Sendzimir-galvanized surface. For steel with a low carbon content and also aluminium, the necessary weld data and the resultant strength properties are well documented in the literature. The following rules for design, construction and control are also applicable to these materials.

The different weld variables have a comparatively significant influence on the strength characteristics of the joint. For this reason, the section is introduced by an outline treatment of the appropriate welding methods and the interrelationship of the different weld variables, followed by recommendations regarding the choice of weld data.

The behaviour of a spot welded joint during application of load is roughly characterised by three stages of strain. At low stresses there is an almost linear relationship between transverse load and deformation. As stresses increase, there is a gradually increasing plastic deformation. The third stage is a characteristic of the ultimate stage, the cause of failure being a function of joint parameters such as sheet thickness, material strength, weld nugget diameter and the geometry of the joint. A distinction may be made in this context between *shear failure* in

the weld which is characterised by small strains, *yield in bearing* in combinations of thin and thick sheets, and *failure due to tearing of the parent material* which is accentuated in thin sheets. The latter mode of failure is accompanied by increased strains. Experimental investigations relating to determination of a reasonable safety level in overlap joints subjected to transverse load are described for 112 test specimens of as-rolled and 70 specimens of hot-dip galvanized material in the form of tables and also representative load-deformation curves. Both the joint parameters and the weld parameters were varied during the tests within the limits applicable in practice for the quantities concerned. The test results indicate that the ultimate shear strength of in situ welded joints in as-rolled materials with a clean surface can be related to a few weld variables, and also that it has a relatively limited range of scatter. For hot-dip galvanized materials, however, no clear relationship has been found between the weld parameters and the ultimate shear strength, and in consequence there is considerable variation in strength for relatively small changes in the weld parameters. This implies that safety or control specifications should be more stringent for hot-dip galvanized materials than for as-rolled materials.

The permissible transverse load per weld is a function of the weld nugget diameter  $d_s$  which is on the other hand determined by the weld parameters which are appropriate in view of the capacity of the welding machine. The theoretical transverse load for a weld, obtained in this way, must be corrected in view of the number of welds in a row and with regard to the nature and extent of manufacturing control. Control measures receive special treatment in this chapter.

Information regarding the choice of weld parameters and rules for the design of in situ welded joints supplements the theoretical and experimental treatment.

#### E. MIG spot welding

Chapter E deals with a special gas shielded arc welding method in the same field of application as resistance spot welding, i.e. MIG spot welding. Compared with the method dealt with above, MIG spot welding has the advantage that the workpiece need only be accessible from one side of the joint. In addition, the requirement as to surface cleanliness is usually lower than in the case of resistance welding. For hot-dip galvanized material and a zinc layer thickness of about 30  $\mu\text{m}$ , the use of MIG spot welding is limited to sheet thickness  $\geq 1.3$  mm. The section is introduced with a discussion of the specific characteristics of the welding method and the dependence of the welding re-

sults on weld parameters such as the magnitude of the welding current, the arc voltage, electrode diameter and feed speed, welding time, the gap and the shielding gas.

The load-strain behaviour of the joint exhibits very much the same characteristics as in the case of resistance spot welding. In order to ascertain the behaviour of the joint at working loads and at the ultimate stage and to determine a reasonable safety level, transverse load tests were carried out on a total of 61 specimens of as-rolled and hot-dip galvanized steel sheet, the joint and weld parameters being varied. The results are presented in the same form as for the types of joints dealt with before.

The permissible transverse load per weld is limited, in the case of relatively large joint stiffness, by the ultimate shear strength of the welds, and in other cases by failure due to tearing of the parent material. For this latter mode of failure, the report presents design diagrams for as-rolled and hot-dip galvanized material, based on the weld diameter and the least sheet thickness.

#### F. Bonded joints

Chapter F includes an outline treatment of bonded joints, ranging over the materials for joints, the methods of operation, construction and design of the joints and also testing and control.

The advantages of a bonded joint — in comparison with other types of joint — are that force is transmitted along the surface and concentrations of stress are avoided, the consequent favourable strength characteristics, the avoidance of areas of weakness in the joint area, and the fact that it is possible to make airtight joints. The disadvantages are to be found mainly in the field of manufacturing techniques, and are also due to the tendency to creep and the temperature susceptibility of the adhesive.

The method of operation, strength properties and behaviour at failure of bonded joints are well documented in the literature. For this reason, no experimental investigations have been carried out, but the work on this type of joint has been confined to the collection and reproduction of the results of experience with such joints and the formulation of rules for design, construction and control of bonded joints. Owing to the fact that there is a multitude of adhesives and that the shear strength of the adhesive cannot be taken directly as the basis for the design of the joint, the design in each individual case must be based on the results of tests to failure with the joint parameters in question.

The section is introduced by a discussion of various types of adhesive and curing processes, followed by instructions for the pretreatment of the areas in con-



tact, application of the adhesive, subsequent treatment and control of the workmanship. There is then a discussion of the influence of the joint parameters on the load-bearing capacity and strength properties, as well as the design and sizing, of the bonded joint. The chapter concludes with a comprehensive section concerning the testing of bonded joints and the choice and preparation of test specimens.

### G. Nailed joints

*Chapter G* deals with nailed joints, the nails being applied by a nailing tool. This type of joint is of interest in joining a thin (0–3 mm) sheet to one that is a little thicker (4–8 mm), primarily for in situ jointings. During assembly the nail is forced through the parts being connected. The necessary energy is developed by a small explosive charge and is transmitted to the nail by a movable piston.

Owing to the high ultimate stress of the nail material and the practical requirements as to the thickness of the parts joined together, failure only occurs through yield in bearing or tearing of the sheet material.

The tests carried out comprise only a small series of 10 specimens. The load-displacement curves are studied and a

suitable safety level is proposed. The recommendations given are mostly based on material provided by the manufacturers of nailing tools.

### H. Stud welding

*Chapter H* deals with capacity discharge stud welding. The method involves the welding of a means of attachment of some kind to the face of a thin (0.5–3.0 mm) sheet. The shape of the means of attachment is governed by the operational requirements it has to satisfy. Capacity discharge stud welding is not, in fact, a jointing method applicable to sheet metal but has greater application in the construction industry in e.g. composite structures or in connection with the attachment of insulating material to a sheet metal structure.

Only a small test series totalling 27 tests was carried out, the parent material being sheet steel in the as-rolled or hot-dip galvanized condition, or aluminium sheet. The recommendations given are mainly based on material provided by the manufacturers of capacity discharge stud welding equipment.

*Part II* of the report contains proposals for the design, construction, control and testing of joints in sheet metal structures, of the types discussed in part I.

The aim of the proposals is to give the designer of sheet metal structures design information which is of a more advanced nature than the scanty material which is at present available for structural elements in the thickness range 0.5–4 mm. The range is not covered by standard specifications for steel structures which means that the design procedures have no formal support. Pending the publication of planned standards for the design of sheet metal structures, these proposals with the recommended — conservative — safety requirements can be used as preliminary standards. The National Swedish Board of Urban Planning has for this purpose authorized this material.

The instruction part contains, for each type of joint dealt with in part I, a description of the sphere of application of the joint and of the components of the joint, design specifications with proposed safety factors, recommendations as to design and specifications for testing and control.

It is obviously important that the experiences gained in the course of application of the instructions should be made use of when the final standards are drawn up. The Swedish Institute of Steel Construction has declared that it is prepared to collect details of such experiences and to assist in the dissemination of these.

R30 :1971

HOPFOGNING AV TUNNVÄGGIGA STÅL- OCH  
ALUMINIUMKONSTRUKTIONER 2

JOINTING OF THIN-WALLED STEEL AND  
ALUMINIUM STRUCTURES 2

av Rolf Bæhre & Lennart Berggren

Denna rapport avser anslag C 423 från Statens råd för byggnadsforskning till Arne Johnson Ingenjörbyrå. Författare är professor Rolf Bæhre och civ.ing. Lennart Berggren. Försäljningsintäkterna tillfaller fonden för byggnadsforskning.

Statens institut för byggnadsforskning, Stockholm

Rotbeckman AB, Stockholm 1971 10 9030 1

## FÖRORD

Den starkt expansiva utvecklingen på tunnplåtsområdet aktualiserar nödvändigheten av att finna metoder och regler för fogning av tunnväggiga konstruktioner med kraftupptagande funktion.

Vid en inventering av förekommande fogningssätt framkom det att underlaget för en bedömning av förbindningarnas lastupptagande förmåga var tämligen heterogent och inte tillräckligt systematiserat för att kunna bilda underlag för blivande dimensioneringsregler. (Hopfogning av tunnväggiga stålkonstruktioner 1, rapport 4:1969 från Byggforskningen.)

Nämnda inventering resulterade i ett förslag till utvecklingsprogram omfattande sju olika förbindningsmetoder med målsättningen att bearbeta och komplettera befintligt underlag för att kunna ge distinkta regler för dimensionering, utförande och kontroll av förbindningarna. Vidare fordras med tanke på det snabbt ökande utbudet av nya fästdonstyper regler för utformning av provkroppar samt föreskrifter om erforderlig provningsomfattning som underlag för en jämförande bedömning av förbandens lastupptagande förmåga.

Föreliggande rapport omfattar en behandling av förbandstyperna: friktionsförband, skjuvförband, skruvförband med gängformande och självborrande skruvar, blindnitförband, punktsvetsförband (motståndspunktsvetsning och MIG-punktsvetsning), limförband, skjutspikförband samt bultsvetsning. Utom vid skjuvförband och limförband kompletteras de teoretiska undersökningar av experimentella undersökningar i syfte att verifiera redovisat dimensioneringsunderlag.

Rapporten består av två huvuddelar:

I. En redovisning av teoretiska och experimentella undersökningar jämte jämförelser med i litteraturen redovisade undersökningsresultat.

II. Ett förslag till dimensionering, utförande, kontroll och provning av förbindningar.

Den andra delen behandlar ovan nämnda förbandstyper med undantag för skjutspikförband och bultsvetsning. Beträffande dessa förbandstyper redovisas undersökningsresultat jämte rekommendationer för dimensionering enbart i del I på grund av att provningsunderlaget bedöms vara otillräckligt för en generell tillämpning av dessa förbandstyper.

Ifråga om säkerhetskravet är i del II redovisade dimensioneringsgrunder nära knuten till gällande provisoriska bestämmelser för tunnplåtkonstruktioner. Med hänsyn till att säkerhetskraven inte är definitivt fastställda har en "öppen" lastfaktor  $s_g$  redovisats för sådana belastningsstorheter eller påkänningar, som refereras till förbandets lastupptagande förmåga. Rekommenderade värden på lastfaktorer grundar sig därvid på provningsresultat ifråga om förbandens funktionsstabilitet under brukslast samt dess brottlast och motsvarar i huvudsak de i internationell praxis tillämpade säkerhetskrav.

Del II har av praktiska skäl utformats såsom byggforskningens informationsblad B14:1971, som dels häftats in i denna rapport, dels kan tillhandahållas separat. Innehållet i informationsbladet har typgodkänts av Statens planverk.

Redovisade undersökningar har med ekonomiskt bidrag av Statens råd för byggnadsforskning utförts vid Tekn.dr Arne Johnson Ingenjörbyrå och baserats på ett omfattande erfarenhetsunderlag inom företaget.

Plåtmaterial har ställts till förfogande av Domnarvets Jernverk och bearbetats av Record AB, mekaniska verkstad. Förbandsmaterial har tillhandahållits av Bultfabriks AB, United Shoe Machinery, Nordisk Trading AB, KSM Stud Welding och GKN Nordiska Försäljnings AB. Nordisk Trading AB och KMS Stud Welding monterade dessutom förbanden med skjutspik respektive svetsad bult.

För utförande av MIG- och motståndssvetsade förband svarade ESAB.

Experimentella undersökningar har i huvudsak utförts vid Institutionen för Brobyggnad och Stålbyggnad vid KTH under överinseende av forskningsingenjören Bertil Karlström. Provingarna rörande friktionsförband ingår i ett examensarbete vid Institutionen för Stål- och Träbyggnad vid CTH, som utfördes av dåvarande teknologerna Lennart Berggren och Björn Eliasson med universitetslektor Bo Edlund som handledare.

Med hänsyn till det inom ramen för Stålbyggnadsinstitutets pågående arbetet med tunnplåtkonstruktioner, som även omfattar sådana av aluminiumlegeringar, framstår som angeläget att förbindningarnas lastupptagande förmåga även kartläggs för detta material. Med materiellt och ekonomiskt stöd av AB Svenska Metallverken har därför en provning av aktuella förbindningar parallellt utförts vid Institutionen för Brobyggnad och Stålbyggnad. Vidare har genom vänligt bemötande av AB Svenska Metallverken ett tidigare opublicerat undersökningsmaterial rörande icke-konventionella skruv- och nitförband ställts till förfogande, som inarbetats i föreliggande undersökningar.

Författarna önskar framföra ett varmt tack till alla som bidragit till att skapa grunderna för en seriös behandling av tunnplåtkonstruktioners lastupptagande förmåga.

## INNEHÅLL

## Kapitelrubriker

Del I. Teoretiska och experimentella undersökningar av förbindningarnas lastupptagande förmåga.

- A. Skruvförband med kontrollerad mutteråtdragning (friktionsförband)
- B. Nitförband
- C. Skruvförband med gängformande och självborrande skruvar
- D. Motståndssvetsning
- E. MIG-punktsvetsning
- F. Limförband
- G. Bultsvetsning
- H. Skjutspikförband

Del II. Rekommendationer för dimensionering, utförande, kontroll och provning av förbindningar i tunnplåtskonstruktioner. (Informationsbladet Tunnplåtsförband, B14:1971. Bilaga.)

- 1. Skruvförband (skjuvförband)
- 2. Friktionsförband
- 3. Nitförband
- 4. Skruvförband
- 5. Punktsvetsförband (motståndssvetsning)
- 6. Punktsvetsförband (MIG-punktsvetsning)
- 7. Limförband

## Del I. Innehåll

## CAPTIONS

A.	SKRUVFÖRBAND MED KONTROLLERAD MUTTERÅTDRAGNING (FRIKTIONSFÖRBAND) . . . . .	A1 - A64
A1.	INLEDNING . . . . .	A1
A2.	TIDIGARE UTFÖRDA UNDERSÖKNINGAR MED ANKNYTNING TILL TUNNVÄGGIGA KONSTRUKTIONER ELLER OLIKA YTBESKAFFENHET HOS INGÅENDE FÖRBANDSDELAR . .	7
	2.1 Ytbeskaffenhet . . . . .	7
	2.2 Godstjocklek hos förbandsdelarna . . .	10
	2.3 Klämlängd . . . . .	13
	2.4 Förspänningskraft och åtdragningsmoment	14
A3.	EXPERIMENTELLA UNDERSÖKNINGAR . . . . .	16
	3.1 Material, förbandstyper och mätutrustning	16
	3.2 Förförsök . . . . .	21
	3.21 Åtdragningsprov . . . . .	21
	3.22 Töjningsmätningar . . . . .	24
	3.23 Försök med ocentrerade hålskanter . . .	26
	3.3 Huvudförsök . . . . .	31
A4.	KOMMENTARER OCH SLUTSATSER . . . . .	46
	4.1 Åtdragningsmoment, förspänningskraft, glidlast och brottlast . . . . .	46
	4.2 Förbandets formstabilitet . . . . .	48
	4.3 Dimensionerande friktionskoefficienter	52
	4.31 Obehandlad plåt . . . . .	52
	4.32 Sandblästrad plåt . . . . .	53
	4.33 Förzinkad yta med zinktjocklek 20 µm .	53
	4.34 Förzinkad plåt efter sandblästring . .	54
	4.35 Förzinkad yta med beläggning av plastisol (200 µm) . . . . .	54
	4.36 Ytbehandling med lufttorkande zinkfärg	54
	4.37 Plåt med målningsbehandling av luft- eller ugnstorkande lackfärger . . . . .	55
	4.4 Synpunkter på bestämning av tillåten last	55
	4.5 Allmänna kommentarer till användning av friktionsförband i tunnväggiga konstruk- tioner . . . . .	60
A5.	LITTERATUR . . . . .	63
A6.	BETECKNINGAR . . . . .	64

B.	NITFÖRBAND	B1 - B74
B1.	INLEDNING . . . . .	B1
B2.	AKTUELLA NITTYPER OCH NITMATERIAL . . . . .	2
B3.	FÖRBADETS VERKNINGSSÄTT OCH BROTTBETEENDE . . . . .	11
B4.	EXPERIMENTELLA UNDERSÖKNINGAR . . . . .	18
	4.1 Provningsutrustning och provkroppsutformning . . . . .	18
	4.2 Material till förband . . . . .	22
	4.3 Provningsomfattning och försöksresultat . . . . .	23
	4.4 Diskussion av provningsresultaten . . . . .	38
B5.	NITFÖRBADETS LASTUPPTAGANDE FÖRMÅGA: DIMENSIONERINGSUNDERLAG . . . . .	43
	5.1 Nitbrott . . . . .	45
	5.2 Snedställningsbrott . . . . .	46
	5.3 Hålkantflytning . . . . .	50
	5.4 Kantbrott . . . . .	54
	5.5 Sektionsbrott . . . . .	54
	5.6 Säkerhet mot uppnående av brottlast vid tvärlast . . . . .	56
	5.7 Brott orsakade av belastningar vinkelrätt mot plåtplanet . . . . .	57
	5.8 Säkerhet mot uppnående av brottlast vid belastning vinkelrätt mot plåtplanet . . . . .	63
B6.	TILLVERKNING OCH UTFORMNING AV NITFÖRBAND . . . . .	67
	6.1 Val av nitmaterial . . . . .	67
	6.2 Nitens skaftlängd . . . . .	67
	6.3 Håltagning och nitning . . . . .	67
	6.4 Kontroll av nitförband . . . . .	68
	6.5 Förbandsutformning . . . . .	68
B7.	LITTERATUR . . . . .	72
B8.	BETECKNINGAR . . . . .	74
C.	SKRUVFÖRBAND MED GÄNGFORMANDE OCH SJÄLVBORRANDE SKRUVAR . . . . .	C1 - C108
C1.	INLEDNING . . . . .	C1
C2.	AKTUELLA SKRUVTYPER OCH SKRUVMATERIAL . . . . .	3



C3.	FÖRBANDETS VERKNINGSSÄTT OCH BROTTBETEENDE . . .	11
C4.	EXPERIMENTELLA UNDERSÖKNINGAR . . . . .	17
	4.1 Applicering och åtdragning av skruvar . . .	17
	4.11 Provningsutrustning och provkroppsut- formning . . . . .	19
	4.12 Bestämning av skruvars vridhållfasthet . . .	22
	4.13 Bestämning av lämpliga kombinationer av- seende håldiameter och åtdragningsmoment . . .	24
	4.2 Överlappsförband under inverkan av tvär- last . . . . .	32
	4.21 Provningsutrustning och provkroppsut- formning . . . . .	32
	4.22 Material till förband . . . . .	32
	4.23 Provningsomfattning och försöksresultat . . .	32
	4.3 Diskussion av provningsresultat . . . . .	41
	4.31 Åtdragningsmoment och håldiameter . . . . .	41
	4.32 Överlappsförband under inverkan av tvär- last . . . . .	46
C5.	SKRUVFÖRBANDETS LASTUPPTAGANDE FÖRMÅGA: DIMEN- SIONERINGSUNDERLAG . . . . .	59
	5.1 Skruvbrott . . . . .	60
	5.2 Snedställningsbrott . . . . .	62
	5.3 Hålkantflytning . . . . .	67
	5.4 Kantbrott . . . . .	72
	5.5 Sektionsbrott . . . . .	72
	5.6 Säkerhet mot uppnående av brottlast (tvärlast) . . . . .	74
	5.7 Brott orsakade av belastningar vinkel- rätt mot plåtplanet . . . . .	79
	5.8 Säkerhet mot uppnående av brottlast vid belastning vinkelrätt mot plåtplanet . . . . .	87
C6.	TILLVERKNING OCH UTFORMNING AV SKRUVFÖRBAND . . .	90
	6.1 Val av skruvmaterial . . . . .	90
	6.2 Val av skruvtyp . . . . .	91
	6.3 Håltagning, håldiameter och åtdragnings- moment . . . . .	93
	6.4 Applicering av skruvar . . . . .	100
	6.5 Kontroll av skruvförband . . . . .	100
	6.6 Förbandsutformning . . . . .	101
C7.	LITTERATUR . . . . .	104
C8.	BETECKNINGAR . . . . .	107

D.	MOTSTÅNDSSVETSNING . . . . .	D1 - D128
D1.	INLEDNING . . . . .	D1
D2.	METODBESKRIVNING . . . . .	3
D3.	HUR OLIKA SVETS Variabler PÅVERKA SVETS FÖRLOPPET, SVETSPUNKTENS UTSEENDE OCH HÅLLFASTHETSEGENSKAPER	5
	3.1 Svetsenergibegreppet . . . . .	5
	3.2 Svetsmotstånd . . . . .	9
	3.3 Strömstyrka . . . . .	10
	3.4 Svetstiden . . . . .	14
	3.5 Elektrodotryck . . . . .	17
	3.6 Elektroddiameter . . . . .	21
	3.7 Elektrodotformning och material . . . . .	24
D4.	TILLÄMPNINGSSOMRÅDEN . . . . .	26
D5.	FÖR BANDETS VERKNINGSSÄTT OCH BROTTSBETEENDE .	28
D6.	EXPERIMENTELLA UNDERSÖKNINGAR . . . . .	35
	6.1 Provningsresultat och provkroppsutformning	44
	6.2 Material till förband . . . . .	48
	6.3 Provningsomfattning och försöksresultat	48
	6.4 Svetsresultatets beroende av svetspara- metervälet . . . . .	64
D7.	MOTSTÅNDSPUNKTSVETS FÖR BANDETS LASTUPPTAGANDE FÖRMÅGA: DIMENSIONERING SUNDERLAG . . . . .	79
	7.1 Skjuvbrott . . . . .	79
	7.2 Snedställningsbrott . . . . .	79
	7.3 Hålkantflytning . . . . .	80
	7.4 Sektionsbrott . . . . .	80
	7.5 Kantbrott . . . . .	81
	7.6 Säkerhet mot uppnående av brottlaster vid tvärlast . . . . .	94
	7.7 Belastningar vinkelrätt mot plåtplanet .	98
D8.	TILLVERKNING OCH UTFORMNING AV MOTSTÅNDSPUNKT- SVETSAD FÖR BAND . . . . .	99
	8.1 Val av svetsutrustning . . . . .	99
	8.2 Val av svetsparametrar . . . . .	100
	8.3 Kontroll av motståndspunktsvetsade för- band . . . . .	108

8.31	Kontroll av grundmaterial . . . . .	108
8.32	Kontroll av svetsutrustning . . . . .	108
8.33	Kontroll av svetsparametrar . . . . .	109
8.34	Kontroll av slutprodukt . . . . .	110
8.341	Förstörande provning . . . . .	111
8.342	Icke förstörande provning . . . . .	117
8.4	Förbandsutformning . . . . .	118
8.5	Förberedande åtgärder vid förorenad eller ytbelagd plåt . . . . .	122
D9.	LITTERATUR . . . . .	124
D10.	BETECKNINGAR . . . . .	127
E	MIG-PUNKTSVETSNING . . . . .	E1 - E31
E1.	INLEDNING . . . . .	E1
E2.	METODBESKRIVNING . . . . .	3
E3.	HUR OLIKA SVETSvariationer påverkar svetsför- loppet. SVETSPUNKTENS UTSEENDE OCH HÅLLFAST- HETSEGENSKAPER . . . . .	6
E4.	TILLÄMPNINGSSOMRÅDEN . . . . .	9
E5.	FÖRBANDETS VERKNINGSSÄTT OCH BROTTBETEENDE (se avsnitt D5) . . . . .	
E6.	EXPERIMENTELLA UNDERSÖKNINGAR . . . . .	11
6.1	Provningsutrustning och provkroppsutform- ning . . . . .	11
6.2	Material till förband . . . . .	12
6.3	Provningsomfattning och försöksresultat .	13
6.4	Svetsresultatets beroende av svetspara- metervälet . . . . .	17
E7.	MIG-PUNKTSVETSFÖRBANDETS LASTUPPTAGANDE FÖRMÅGA. DIMENSIONERINGSUNDERLAG . . . . .	19
7.1	Skjuvbrott . . . . .	19
7.2	Snedställningsbrott . . . . .	20
7.3	Sektionsbrott . . . . .	23
7.4	Säkerhet mot uppnående av brottlast vid tvärlast . . . . .	23
7.5	Belastningar vinkelrätt mot plåtplanet .	23
E8.	TILLVERKNING OCH UTFORMNING AV MIG-PUNKTSVETS- FÖRBAND . . . . .	24
8.1	Val av utrustning . . . . .	24

8.2	Val av gas, tillsatsmaterial och svets- data . . . . .	24
8.3	Kontroll av Mig-punktsvetsförband . . .	24
8.4	Förbandsutformning . . . . .	26
8.5	Förberedande åtgärder vid plåt belagd med färg, rost, olja eller fett . . . .	29
E9.	LITTERATUR . . . . .	30
E10.	BETECKNINGAR . . . . .	31
F.	LIMFÖRBAND . . . . .	F1 - F38
F1.	INLEDNING . . . . .	F1
F2.	MATERIAL TILL LIMFÖRBAND . . . . .	4
	2.1 Limmets beståndsdelar . . . . .	4
	2.2 Limtyper . . . . .	5
F3.	UTFÖRANDE AV LIMFÖRBAND . . . . .	7
	3.1 Förbehandling . . . . .	7
	3.2 Limningsprocessen . . . . .	8
	3.3 Efterbehandling . . . . .	9
	3.4 Utförandekontroll . . . . .	9
F4.	FUNKTIONSSÄTT OCH FÖRBANDSPARAMETRAR . . . . .	12
	4.1 Förbandsteori och spänningsanalys . . .	12
	4.2 Förbandets hållfasthetsegenskaper . . .	19
	4.3 Förbandsutformning och dimensionering .	22
F5.	PROVNING AV LIMFÖRBAND . . . . .	26
	5.1 Allmänt . . . . .	26
	5.2 Fläkhållfasthetsprov (DIN 53282) . . . .	26
	5.3 Enkelt överloppsprov (DIN 53283) . . . .	28
	5.4 Överloppsprov som dimensioneringsunderlag	30
	5.5 Utförande och utvärdering av långtidsprov	31
F6.	LITTERATUR . . . . .	34
F7.	BETECKNINGAR . . . . .	38
G.	BULTSVETSNING . . . . .	G1 - G22
G1	INLEDNING . . . . .	G1
G2.	METODBESKRIVNING . . . . .	2

G3.	TILLÄMPNINGSSOMRÅDEN . . . . .	4
G4.	VERKNINGSSÄTT OCH BROTTBETEENDE . . . . .	5
G5.	EXPERIMENTELLA UNDERSÖKNINGAR . . . . .	9
	5.1 Provkroppsutformning . . . . .	9
	5.2 Material till förband . . . . .	11
	5.3 Provningsomfattning och försöksresultat . . . . .	11
	5.4 Diskussion av provningsresultat . . . . .	17
G6.	DIMENSIONERING AV BULTSVETSFÖRBAND . . . . .	18
G7.	PROVNING . . . . .	20
G8.	LITTERATUR . . . . .	21
G9.	BETECKNINGAR . . . . .	22
H.	SKJUTSPIKFÖRBAND . . . . . H1 - H19	
H1.	INLEDNING . . . . .	H1
H2.	METODBESKRIVNING . . . . .	2
H3.	TILLÄMPNINGSSOMRÅDEN . . . . .	3
H4.	VERKNINGSSÄTT OCH BROTTBETEENDE . . . . .	4
H5.	EXPERIMENTELLA UNDERSÖKNINGAR . . . . .	8
	5.1 Provkroppsutformning . . . . .	8
	5.2 Material till förband . . . . .	9
	5.3 Provningsomfattning och försöksresultat . . . . .	9
	5.4 Diskussion av provningsresultat . . . . .	12
H6.	DIMENSIONERING AV SKJUTSPIKFÖRBAND . . . . .	14
H7.	LITTERATUR . . . . .	18
H8.	BETECKNINGAR . . . . .	19

## CAPTIONS

- Fig. A1. General load-displacement diagram for high strength friction bolted joints in conventional steel construction.
- Fig. A2. Characteristic load-displacement curves for joints with imperfections.  
 Curve 1 refers to local plastic flow in the contact surfaces  
 Curve 2 refers to temporary surface failure in the contact surfaces  
 Curve 3 refers to loss of preloading force owing to movement.
- Fig. A3. Characteristic load-displacement curves for high strength friction bolted joints in thin-walled structural components.  
 Curve 1 refers to reduced load addition due to bearing stress  
 Curve 2 refers to reduced load-bearing capacity to subsequent to slip  
 Curve 3 refers to the influence of a deformed bearing  
 Curve 4 refers to yield in the joint.
- Fig. A4. Bearing surfaces after testing.
- Fig. A5. Deformation of the panel after high load.
- Fig. A6. Types of failure in conventional bolted joints.  
 Type I = edge failure  
 Type II = yield in bearing  
 Type III = failure of the section  
 Type IV = shear failure in the shank of the bolt.
- Fig. A7. Symbols.
- Fig. A8. Relationship between preloading force  $P_f$  and tightening torque  $M_v$  (according to /A11/).
- Fig. A9. Sheet to be tested, with painted surface.
- Fig. A10. Sheets for other tests.
- Fig. A11 and A12. Measuring equipment.
- Fig. A13. Placing of dial gauges along painted surfaces (dials graduated in thousandths of mm).
- Fig. A14. Placing of dial gauges for other tests (dials graduated in thousandths of mm).
- Fig. A15. Placing of dial gauges in hundredths of mm for measurement of deformations over the joint.
- Fig. A16. The design of the bolt and placing of the strain gauges.

- Fig. A17. Relationship between  $P_f$  and  $M_V$  during two tests on 5/8" bolts (Bolts I and II) and comparison with the values indicated by Bultfabriks AB.
- Fig. A18. Relationship between tightening torque  $M_V$  and the strain in the barrel of the bolt  $\epsilon$  (0.1 %).
- Fig. A19. Placing of strain gauges.
- Fig. A20. Recorded strains over the section for material thicknesses of 2 mm and 3 mm. (Means of strains at the front and back respectively.)
- Fig. A21. Typical load-displacement curve when the bearing has been deformed and there is dowel action. Test No. 25.
- Fig. A22. Failure of the section.
- Fig. A23. Yield of bearing surface.
- Fig. A24. Major yield of bearing surface and followed by edge failure.
- Fig. A25. Principles for assessment of the slip load.
- Fig. A26. Clear slip failure with distinct slip marks in the material.
- Fig. A27. Clear slip failure without distinct abrasion of the surface.
- Fig. A28. Failure of bearing surfaces due to yield in shear.
- Fig. A29. Failure of surface layer.
- Fig. A30. Load-displacement curves for untreated sheet with and without a surface layer of rust.
- Fig. A31. Load-displacement curves for sand blasted sheet.
- Fig. A32. Load-displacement curves for hot-dip galvanized sheet.
- Fig. A33. Load-displacement curves for painted sheet. Air-drying paint.
- Fig. A34. Load-displacement curve for painted sheet. (Stoving enamel.)
- Fig. A35. Representative load-displacement curves for different surface treatments.
- Fig. A36. Representative load-displacement curves for different paint treatments.
- Fig. A37. Forces acting on high strength friction bolted joint in single shear.
- Fig. A38. Deformation of bolt shank on eccentric application of force.

- Fig. A39. Relationship between  $F/F_g$  ( $\delta = 0.2$ ) and the displacement  $\delta$  according to Fig. A35.
- Fig. A40. Relationship between degree of utilization of high strength friction bolted joint and sheet thickness and bolt diameter in overlap joints in single shear.
- Fig. B1. Different forms of non-clinched rivet and closing heads for solid rivets.
- Fig. B2. Different forms of non-clinched rivet and closing heads for tubular rivets.
- Fig. B3. Some special rivets.
- Fig. B4. Chobert rivet.
- Fig. B5. Pop rivet.
- Fig. B6. Avex rivet.
- Fig. B7. Airtight pop rivet.
- Fig. B8. Imex rivet.
- Fig. B9. Huck "Daisy" rivet.
- Fig. B10. Avdel rivet.
- Fig. B11. Cherrylock rivet.
- Fig. B12. Cherrylock rivet with movable ring.
- Fig. B13. Huck rivet.
- Fig. B14. Jo-bolt.
- Fig. B15. Drive-Pin-rivet.
- Fig. B16. Explosive rivet.
- Fig. B17. General relationship between transverse load and displacement in blind riveted joints.
- Fig. B18. Example of failure by yield of bearing surface.
- Fig. B19. Example of failure due to tearing of the parent material.
- Fig. B20. Shear failure of rivet shank.
- Fig. B21. Crushing of rivet shank.
- Fig. B22. Joint between thin and thick sheet ( $t_1 = 5.0$  mm;  $t_2 = 1.0$  mm).
- Fig. B23. Joint between thin sheets ( $t_2 = 0.8$  mm;  $t_1 = 1.5$  mm) with single rivets.



- Fig. B24. Single overlap joint. Symbols.
- Fig. B25. Stress configuration in joints between sheets of different thicknesses.
- Fig. B26. Stress configuration in connections between sheets of equal thickness.
- Fig. B27. Placing of dial gauge for joints with 1-2 rivets.
- Fig. B28. Placing of dial gauge for joints with 5-8 rivets.
- Fig. B29. Test specimen type I.
- Fig. B30. Test specimen type II.
- Fig. B31. Test specimen type III.
- Fig. B32. Test specimen type IV.
- Fig. B33. Load-deformation curves for test specimen type II at constant rivet diameter (steel).
- Fig. B34. Load-deformation curves for test specimen type II at constant sheet thickness (steel).
- Fig. B35. Load-deformation curves for test specimen type II at variable sheet thicknesses and rivet diameters (steel).
- Fig. B36. Load-deformation curves for test specimen type II and constant material thicknesses (aluminium).
- Fig. B37. Load-deformation curves for test specimen type I at varying sheet thickness and rivet diameters (steel).
- Fig. B38. Load-deformation curves for test specimen type I at varying sheet thickness and rivet diameters (aluminium).
- Fig. B39. Illustration of failure type frequencies for different sheet thicknesses and rivet diameters.
- Fig. B40. Relationship between strains  $\delta$  and the ratio between transverse load and the appropriate load at failure for different types of failure (representative relationship for steel sheet).
- Fig. B41. General relationship between the load-bearing capacity of the joint and material thickness at constant rivet diameter.
- Fig. B42. Mean load at failure per rivet in relation to the ultimate load in shear of a single rivet in joints with a number of rivets.
- Fig. B43. Load at failure as a function of sheet thickness; rivet diameters of 2.8 mm and 3.2 mm. Failure due to tearing of parent material.

- Fig. B44. Load at failure as a function of sheet thickness; rivet diameter of 4.0 mm. Failure due to tearing of parent material.
- Fig. B45. Load at failure as a function of sheet thickness; rivet diameter of 4.8 mm. Failure due to tearing of parent material.
- Fig. B46. Load at failure as a function of sheet thickness; rivet diameter of 6.4 mm. Failure due to tearing of parent material.
- Fig. B47. Load at failure as a function of the lesser sheet thickness; rivet diameters of 3.2 and 4.0 mm.
- Fig. B48. Load at failure as a function of the least material thickness; rivet diameter 4.8 mm. Yield in bearing.
- Fig. B49. Load at failure as a function of the least material thickness; rivet diameter 6.4 mm. Yield in bearing.
- Fig. B50. Load at failure as a function of the ratio  $e/d$  for varying rivet diameters and material thicknesses. Edge failure or yield in bearing.
- Fig. B51. Failure due to folding of the sheet.
- Fig. B52. Pull-out failure.
- Fig. B53. Pull-through failure.
- Fig. B54. Failure of shank.
- Fig. B55. Punching failure.
- Fig. B56. Riveting clamp.
- Fig. B57. Double overlap connection.
- Fig. B58. Single overlap connection.
- Fig. B59. Connection subjected to tensile stresses in the direction of the rivet shanks.
- Fig. B60. Alteration of the flow of force by modification of the placing of the rivets.
- Fig. B61. Alteration of the flow of force by modification of the structural component.
- Fig. B62. Typical example of an overlap joint.
- Fig. C1. Standardized thread-forming screw threads.
- Fig. C2. Some drilling point designs.
- Fig. C3. Different screw head designs.
- Fig. C4. Some washer types.
- Fig. C5. Example of Sems.

- Fig. C6. Requirements on ultimate torque according to US. standard and consequential tolerated torque.
- Fig. C7. The straining sequence of a screwed connection.
- Fig. C8. The different stages of loading.
- Fig. C9. Stage III. Yield in bearing resp. failure due to tearing of parent material.
- Fig. C10. Stage IV. Yield in bearing resp. failure due to tearing of parent material.
- Fig. C11. Absorption of torque by contact between screw and the thread in the sheet.
- Fig. C12. Torque recorded by a strain gauge during formation of the thread and subsequent tightening to failure  
Failure of threads in panel resp. shank failure.
- Fig. C13. Equipment for recording the torque.
- Fig. C14. Calibration of torque spanner.
- Fig. C15. Distribution of torque along the spanner during tightening of the screw.
- Fig. C16. Specimen for determination of the ultimate torque.
- Fig. C17. Specimen for threading test according to C4.12-13.
- Fig. C18. Ultimate torque for case-hardened screw type RXS Pozidriv as a function of the nominal diameter.
- Fig. C19. Schematic relationship between torque and hole diameter and force phenomena during tightening.
- Fig. C20. Typical load-deformation curves for test specimen type II (steel). Thread-forming screw type RXS Pozidriv.
- Fig. C21. Some typical load-deformation curves for single overlap joints (aluminium).
- Fig. C22. Load-deformation curves for test specimen type II (steel). Thread-forming screw type RXS Pozidriv.
- Fig. C23. Typical load-deformation curves for test specimen type I (steel). Thread-forming screw type RXS Pozidriv.
- Fig. C24. Some typical load-deformation curves for test specimen type I (steel). Thread-forming screw type RXS Pozidriv.
- Fig. C25. Some typical load-deformation curves for test specimen type I (aluminium). Thread-forming screw type RXS Pozidriv.

- Fig. C26. Typical load-deformation curves for test specimen type II (steel). Self-drilling screw type Teks RXB.
- Fig. C27. Some typical load-deformation curves for test specimen type I (steel). Self-drilling screw type Teks RXB.
- Fig. C28. Some typical deformation curves for test specimen type II (steel). Thread-forming screw type Sela-stitcher (AB10).
- Fig. C29. Some typical deformation curves for test specimen type I (steel). Thread-forming screw type Selascrew (B 1/4).
- Fig. C30. General relationship between ultimate load  $F_B$  and least sheet thickness in single overlap joint.
- Fig. C31. Mean ultimate load per screw in relation to the ultimate load of a single screw in joints with several screws.
- Fig. C32. Ultimate load as a function of the sheet thickness  $t$  in joints between sheets of equal thickness. Failure due to tearing of the parent material. (B8 screw).
- Fig. C33. Ultimate load as a function of the sheet thickness  $t$  in joints between sheets of equal thickness. Failure due to tearing of the parent material. (B10 screw).
- Fig. C34. Ultimate load as a function of the sheet thickness  $t$  in joints between sheets of equal thickness. Failure due to tearing of the parent material. (B12 screw).
- Fig. C35. Ultimate load as a function of the sheet thickness  $t$  in joints between sheets of equal thickness. Failure due to tearing of the parent material. (B 1/4 screw).
- Fig. C36. Ultimate load as a function of the sheet thickness  $t$  in joints between sheets of different thicknesses. Yield in bearing. (B8 screw).
- Fig. C37. Ultimate load as a function of the sheet thickness  $t$  in joints between sheets of different thicknesses. Yield in bearing. (B10 screw).
- Fig. C38. Ultimate load as a function of the sheet thickness  $t$  in joints between sheets of different thicknesses. Yield in bearing. (B12 screw).
- Fig. C39. Ultimate load as a function of the sheet thickness  $t$  in joints between sheets of different thicknesses. Yield in bearing. (B 1/4 screw).
- Fig. C40. Ultimate load as a function of the ratio  $e/d$  for varying screw diameters and material thicknesses. Edge failure or yield in bearing.

Fig. C41. Comparison between transverse load at failure and transverse load at a tangential slope of 150 kgf/mm in the load-deformation diagram for steel sheet.

$F_B$  verkl. = measured ultimate load

$F_B$  korr. = fictitious ultimate load (tangential slope of 150 kgf/mm)

$F_B$  nom. = calculated ultimate load =  $k_1(d+10)$   
 $(\frac{t^2}{2} + 0.22) \sigma_B$ .

Fig. C42. Comparison between the transverse load at failure and the transverse load at a tangential slope of 150 kgf/mm in the load-deformation diagram for aluminium sheet.

$F_B$  verkl. = measured ultimate load

$F_B$  korr. = fictitious ultimate load (tangential slope of 150 kgf/mm)

$F_B$  nom. = calculated ultimate load =  $k_1(d+10)$   
 $(\frac{t^2}{2} + 0.22) \sigma_B$ .

Fig. C43. Load at pull-out failure for screws B10 and AB10 as a function of the sheet thickness. All the values plotted are the means of three tests.

Fig. C44. Load at pull-out failure for Teks B 1/4, Selascrew B 1/4, Staps 300B(B 1/4) and Tuff-Tite AB14 as a function of the sheet thickness. All the values plotted are the means of three tests.

Fig. C45. Pull-through failure.

Fig. C46. Load at pull-through failure as a function of the sheet thickness.

Fig. C47. Test equipment for tests on Staps.

Fig. C48. Test equipment for tests on Teks and Tuff-Tite.

Fig. C49. Test equipment for tests on Selascrew (B 1/4).

Fig. C50. Typical deformation curve for pull-through test with test specimen according to Fig. C48.

Fig. C51. Typical deformation curve for pull-through test with test specimen according to Fig. C49.

Fig. C52. Choice of material with regard to corrosion attack.

Fig. C53. Nomogram for determination of hole diameter and tightening torque.

Fig. C54. Different stages in driving screws in cases where the parts to be jointed are not held together satisfactorily.

- Fig. C55. The variation of some torque quantities with the hole diameter.
- Fig. C56. Typical example of an overlap joint.
- Fig. D1. General design of a spot welding machine.
- Fig. D2. Different stages during a working cycle.
- Fig. D3. Heat flow from a spot weld.
- Fig. D4. Temperature curve for a cross section of the workpiece at the end of the welding process.
- Fig. D5. Spot welding symbols.
- Fig. D6. Recommended values of  $I^2S$  as a function of the single sheet thickness  $t$  /6/.
- Fig. D7. The general variation of the resistance during the welding process.
- Fig. D8. General variation in the ultimate shear strength of spot welds as a function of the welding time for some values of current.
- Fig. D9. Recommended currents  $I$  as a function of the single sheet thickness  $t$ .
- Fig. D10. Recommended current intensity  $I/A_E$  as a function of the single sheet thickness  $t$  /6/.
- Fig. D11. Ultimate shear strength as a function of the welding time.
- Fig. D12. Recommended welding times  $S$  as a function of the single sheet thickness  $t$ .
- Fig. D13. The range for the choice of welding current and welding time for a specified strength, for two different electrode pressures.  
 $t = 1.5$ ,  $d_E = 7.5$  mm /4/.
- Fig. D14. The extent of the range for the choice of welding current and welding time as a function of the electrode pressure for some specified values of the least ultimate shear strength.
- Fig. D15. Recommended electrode forces  $E_T$  as a function of the single sheet thickness  $t$ .
- Fig. D16. Electrode force intensities as a function of the single sheet thickness  $t$ .
- Fig. D17. Recommended electrode diameter as a function of the single sheet thickness  $t$ .
- Fig. D18. Weld nugget diameter in the plane of shear as a function of the electrode tip diameter.

- Fig. D19. Cooling equipment.
- Fig. D20. Different designs of the electrode tip.
- Fig. D21. General relationship between transverse load and deformation in spot welded joints.
- Fig. D22. Shear failure.
- Fig. D23. Shear failure.
- Fig. D24. Failure due to tearing of the parent material.
- Fig. D25. Failure due to tearing of the parent material.
- Fig. D26. Yield in bearing.
- Fig. D27. Yield in bearing.
- Fig. D28. Essential stresses in a single overlap joint.
- Fig. D29. The dependence of the ultimate load on sheet thickness and weld nugget diameter. (Normal welding data).
- Fig. D30. Bending deformation in a single overlap joint.
- Fig. D31. The dependence of the ultimate load on the weld nugget diameter (large diameter intervals) at constant sheet thickness.
- Fig. D32. Relationship between welding current and material thickness for material in the as-rolled condition.
- Fig. D33. Relationship between welding time and material thickness for material in the as-rolled condition.
- Fig. D34. Relationship between electrode pressure and welding current for material in the as-rolled condition.
- Fig. D35. Relationship between welding current and material thickness for hot-dip galvanized material.
- Fig. D36. Relationship between welding time and material thickness for hot-dip galvanized material.
- Fig. D37. Relationship between electrode pressure and welding current for hot-dip galvanized material.
- Fig. D38. Relationship between electrode tip diameter and material thickness for hot-dip galvanized material.
- Fig. D39. Test specimen type I.
- Fig. D40. Test specimen type II.
- Fig. D41. Test specimen type III.
- Fig. D42. Test specimen type IV.
- Fig. D43. Test specimen type V.

Fig. D44. Some typical load-deformation curves for single overlap joints in hot-dip galvanized material.

Fig. D45. Some typical load-deformation curves for single overlap joints in material in the as-rolled condition.

Fig. D46. Some typical load-deformation curves for single overlap joints, material in the as-rolled and hot-dip galvanized conditions.

Fig. D47. Some typical load-deformation curves for single overlap joints in material in the as-rolled condition.

Fig. D48. Some typical load-deformation curves for single overlap joints in hot-dip galvanized material.

Fig. D49. The ultimate shear strength  $F_B$  as a function of the electrode diameter  $d_E$  at constant

$$\frac{4I^2S}{\pi d_E^2} = 0.46(\text{kA})^2 \text{ sec/mm}^2$$

Fig. D50. The ultimate shear strength  $F_B$  as a function of the electrode diameter  $d_E$  at constant

$$\frac{4I^2S}{\pi d_E^2} = 1.33(\text{kA})^2 \text{ sec/mm}^2$$

Fig. D51. The ultimate shear strength  $F_B$  as a function of the electrode diameter  $d_E$  at constant

$$\frac{4I^2S}{\pi d_E^2} = 0.54(\text{kA})^2 \text{ sec/mm}^2$$

Fig. D52. The ultimate shear strength  $F_B$  as a function of

$$\frac{4I^2S}{\pi d_E^2} \text{ at constant electrode diameter.}$$

Fig. D53. The ultimate shear strength  $F_B$  as a function of

$$\frac{4I^2S}{\pi d_E^2} \text{ at constant electrode diameter.}$$

Fig. D54. The ultimate shear strength  $F_B$  as a function of

$$\frac{4I^2S}{\pi d_E^2} \text{ at constant electrode diameter } d_E \text{ (hot-dip galvanized material).}$$

Fig. D55. The ultimate shear strength  $F_B$  as a function of

$$\frac{4I^2S}{\pi d_E^2} \text{ at constant electrode diameter } d_E.$$



Fig. D56. The ultimate shear strength  $F_B$  as a function of

$$\frac{4I^2S}{\pi d_E^2}$$

at constant electrode diameter  $d_E$  (hot-dip galvanized material).

Fig. D57. The ultimate shear strength  $F_B$  as a function of

$$\frac{4I^2S}{\pi d_E^2}$$

at constant electrode diameter  $d_E$  (hot-dip galvanized material).

Fig. D58. The ultimate shear strength as a function of the edge distance  $e$ .

Fig. D59. Ultimate shear loads for single overlap joints with sheet thicknesses  $t = 0.5 \text{ mm} - 1.1 \text{ mm}$ . Width of test specimen  $\sim 6d_s$ . Material in the as-rolled and hot-dip galvanized conditions.

Fig. D60. Ultimate shear loads for single overlap joints with sheet thickness  $t = 0.8 \text{ mm}$ . Width of test specimen  $\sim 6d_s$ . Material in the as-rolled and hot-dip galvanized conditions.

Fig. D61. Ultimate shear loads for single overlap joints with sheet thickness  $t = 1.3 \text{ mm}$ . Width of test specimen  $\sim 6d_s$ . Material in the as-rolled and hot-dip galvanized conditions.

Fig. D62. Ultimate shear loads for single overlap joints with sheet thickness  $t = 1.5 \text{ mm}$ . Width of test specimen  $\sim 6d_s$ . Material in the as-rolled and hot-dip galvanized conditions.

Fig. D63. Ultimate shear loads for single overlap joints with sheet thickness  $t = 1.9 \text{ mm}$ . Width of test specimen  $\sim 6d_s$ . Material in the as-rolled and hot-dip galvanized conditions.

Fig. D64. Ultimate shear loads for single overlap joints with sheet thickness  $t = 1.7 \text{ mm}$ . Width of test specimen  $\sim 6d_s$ . Material in the as-rolled and hot-dip galvanized conditions.

Fig. D65. Ultimate shear loads for single overlap joints with sheet thickness  $t = 2.0 \text{ mm}$ . Width of test specimen  $\sim 6d_s$ . Material in the as-rolled and hot-dip galvanized conditions.

Fig. D66. Ultimate shear loads for single overlap joints with sheet thickness  $t = 2.3 \text{ mm}$ . Width of test specimen  $\sim 6d_s$ . Material in the as-rolled and hot-dip galvanized conditions.

- Fig. D67. Ultimate shear loads for single overlap joints with sheet thickness  $t = 2.3$  mm. Width of test specimen  $\sim 6d_s$ . Material in the as-rolled and hot-dip galvanized conditions.
- Fig. D68. Ultimate shear loads for single overlap joints with sheet thickness  $t = 2.5$  mm. Width of test specimen  $\sim 6d_s$ . Material in the as-rolled and hot-dip galvanized conditions.
- Fig. D69. Ultimate shear loads for single overlap joints with sheet thickness  $t = 2.7$  mm. Width of test specimen  $\sim 6d_s$ . Material in the as-rolled and hot-dip galvanized conditions.
- Fig. D70. Ultimate shear loads for single overlap joints with sheet thickness  $t = 2.9$  mm. Width of test specimen  $\sim 6d_s$ . Material in the as-rolled and hot-dip galvanized conditions.
- Fig. D71. Ultimate shear loads for single overlap joints with sheet thickness  $t = 3.1$  mm. Width of test specimen  $\sim 6d_s$ . Material in the as-rolled and hot-dip galvanized conditions.
- Fig. D72. Diagram for determination of type of failure in single overlap joints between sheets of equal thickness.
- Fig. D73. Diagram for determination of permissible load for single overlap joints with steel sheet in the as-rolled or hot-dip galvanized condition.  $t = 0.5 - 1.7$  mm.
- Fig. D74. Diagram for determination of permissible load for single overlap joints with steel sheet in the as-rolled or hot-dip galvanized condition.  $t = 1.7$  mm - 3.1 mm.
- Fig. D75. Diagram for determination of equivalent sheet thickness  $t_{ekv}$ . /8/.
- Fig. D76. The magnitude of shunt current expressed as a percentage of the ratio of two welds to the welding current, as a function of the weld spacing. /6/.
- Fig. D77. Symbols and minimum requirements for the quantities to be taken into account during control. /7/.
- Fig. D78. Causes of weld defects. /9/.
- Fig. D79. Test specimen for test in single shear.
- Fig. D80. Test specimen for test in axial tension.
- Fig. D81. Alternative design of test specimen for test in axial tension.
- Fig. D82. Principle of loading in torque test to failure.
- Fig. D83. Panels for determination of the influence of shunting currents on welding performance.

- Fig. D84. Typical example of overlap joint.
- Fig. D85. Joint symbols.
- Fig. D86. Rules for the design of adjacent structural components.  
/8/.
- Fig. E1. Working principles for shielded arc welding.
- Fig. E2. Equipment for MIG spot welding.
- Fig. E3. Variation of current and arc voltage during the welding process.
- Fig. E4. Welding nomenclature.
- Fig. E5. Design of test specimen.
- Fig. E6. Some typical load-deformation curves for MIG spot welded joints.
- Fig. E7. Weld porosity.
- Fig. E8. Results of welding tests on 0.7 mm sheet with 40  $\mu\text{m}$  zinc layer.
- Fig. E9. Ultimate load for single overlap joint with a sheet thickness  $t = 0.8$  mm. Material in the as-rolled condition.
- Fig. E10. Ultimate load for single overlap joint with a sheet thickness  $t = 2.0$  mm. Material in the as-rolled condition.
- Fig. E11. Ultimate load for single overlap joint with a sheet thickness  $t = 1.5$  mm. Material in the hot-dip galvanized condition.
- Fig. E12. Ultimate load for single overlap joint with a sheet thickness  $t = 1.0$  mm. Hot-dip galvanized material.
- Fig. E13. Recommended values of welding parameters for the ESAB equipment A10-275.
- Fig. E14. Joint symbols.
- Fig. F1. Mean shear strength as a function of the joint factor.
- Fig. F2. Single overlap joint.
- Fig. F3. Calculation model.
- Fig. F4. Distribution of shear stress in a single overlap joint.
- Fig. F5. Design diagram for distribution of shear stress in an overlap joint.
- Fig. F6. Calculation model for stress analysis.

- Fig. F7. Diagram for calculation of the bending moment on a bonded joint.
- Fig. F8-9. Design diagram for shear and tensile stresses in the adhesive layer.
- Fig. F10. Stress distribution in a cross section.
- Fig. F11. Mean shear strength as a function of the joint factor for some different types of joints.
- Fig. F12. Bonded-on stiffening plate at a single overlap joint.
- Fig. F13. The dependence of creep strains on load intensity and duration.
- Fig. F14. Fatigue curves for an unjointed test piece and for riveted and bonded joints.
- Fig. F15. Some modes of loading.
- Fig. F16. Types of joints for purposes of calculation.
- Fig. F17. Mean shear strength as a function of the overlap length. Example.
- Fig. F18. Ultimate load as a function of the overlap length.
- Fig. F19. Test specimen for peel strength test.
- Fig. F20. Panels for peel strength tests.
- Fig. F21. Load-deformation curve for peel strength test.
- Fig. F22. Test specimen for test on single overlap joint.
- Fig. F23. Panels for test of single overlap joint.
- Fig. F24. General appearance of a joint factor curve.
- Fig. F25. Probability of failure as a function of time for some load intensities.
- Fig. F26. Load intensity as a function of time for some values of failure probability.
- Fig. G1. Portable welding equipment (welding gun and source of current).
- Fig. G2. Different stages (A-D) in the course of CD-stud welding.
- Fig. G3. Different attachments.
- Fig. G4. Symbols.
- Fig. G5. Different types of failure.

- Fig. G6. Some practical applications and expected deformation at the ultimate stage.
- Fig. G7. Test specimen type I.
- Fig. G8. Test specimen type II.
- Fig. G9. Test equipment for tensile test on stud material.
- Fig. G10. Shear failure of barrel.
- Fig. G11. Failure due to tearing of the parent material.
- Fig. G12. Some typical load-displacement curves for test specimen type I.
- Fig. G13. Load-displacement diagram for tensile test on stud material.
- Fig. G14. Testing method and different types of failure.
- Fig. H1. Some types of nail.
- Fig. H2. Stresses in the sheet material after application of the nail.
- Fig. H3. Frictional forces on application of pull-out force and pull-out force combined with a torque.
- Fig. H4. Pull-out force  $P_{II}$  as a function of the sheet thickness  $t_1$ .
- Fig. H5. Torque at failure  $M_V^B$  as a function of the sheet thickness  $t_1$ .
- Fig. H6. Different types of failure due to transverse load.
- Fig. H7. Characteristic load-displacement sequence for failure due to yield in bearing.
- Fig. H8. Test specimen.
- Fig. H9. Failure due to yield in bearing.
- Fig. H10. Characteristic  $F$ - $\delta$  relationship for single overlap joint.
- Fig. H11. Ultimate load  $F_H$  as a function of the sheet thickness  $t$ .
- Fig. H12. Permissible transverse load with regard to bending and shear failure in the nail as a function of the load distance  $a$ .
- Fig. H13. Permissible axial load on nail with regard to pulling-out of the nail.

Additional captions in appendix

- Fig. 1a. Symbols for bolted joints.
- Fig. 2a. Ultimate bearing stress depending on the strength of the basic material.
- Fig. 2b. Appearance of test specimen for determination of the friction coefficient.
- Fig. 2c. Definition of the loads  $F_g$  and  $F_{0.2}$ .
- Fig. 3a. Denomination of joints.
- Fig. 3b. The relationship between the thickness of the sheets  $t_1/t_2$  and the coefficient  $k_1$ .
- Fig. 3c. Design of test specimen.
- Fig. 4a. Denomination of joints.
- Fig. 4b. The relationship between the thickness of the sheets  $t_1/t_2$  and the coefficient  $k_1$ .
- Fig. 4c. Design of test specimen for shear failure.
- Fig. 4d. Determination of the ultimate torque for a screw according to the torque hole method.
- Fig. 5a. Diagram for determination of the ultimate load for a single overlap joint with as-rolled or hot-dip galvanized steel sheet.
- Fig. 5b. Diagram for determination of the ultimate load for a single overlap joint with as-rolled or hot-dip galvanized steel sheet.
- Fig. 5c. Spot welding types I-IV.
- Fig. 5d. Design of specimen for ultimate shear test  $3.5d_s < e < 5.0d_s$  ;  $b \sim 6d_s$  ;  $l = 250$  mm.
- Fig. 6a. Diagram for determination of ultimate load for a single overlap joint with as-rolled or hot-dip galvanized steel sheet.
- Fig. 6b. Types I-IV of the MIG spot welded joints.
- Fig. 7a. Ratable types of joints.



## A. SKRUVFÖRBAND MED KONTROLLERAD MUTTERÅTDRAGNING (FRIKTIONSFÖRBAND)

### A1. INLEDNING

Friktionsförbandets verkningssätt karakteriseras av en kraftöverföring mellan olika förbandsdelar genom en av förspänningskraften  $P_f$  framkallad hoppresning och därav aktiverat friktionsmotstånd som är avgörande för den dimensionerande glidlasten  $F_g$ . Sambandet mellan  $P_f$  och  $F_g$  är beroende av friktionsmotståndet  $\mu$  mellan anliggningsytorna. Mot uppnående av glidlasten  $F_g = \mu_G \cdot P_f$  skall vid tillämpning av denna förbandstyp en säkerhet innehållas som motsvarar en normmässigt fastställd lastfaktor  $s_g$ . För ett förband med  $n$  skruvar och  $m$

skär erhålls den tillåtna belastningen till  $P_{till} = \frac{n \cdot m \cdot \mu_G \cdot P_f}{s_g}$ , innebärande en addition av glidlasterna för aktuellt antal skruv och skär.

Efter inträffad glidning erhålls en förskjutning av förbandsdelarna gentemot varandra som åtföljs av ett nytt jämviktssamband, för vilket den totala lastupptagningsförmågan bestäms av dels en lastandel motsvarande glidlasten för friktionskoefficienten  $\mu_G$  och dels en lastandel motsvarande det aktiverade hålkanttrycket ( $\sigma_H$ ) d v s  $\Sigma P = P_f \cdot \mu_G + \sigma_H \cdot d \cdot t$ . Härvid förutsätts att skruvmaterialet är av sådan kvalite att skjuvbrott på skruvstammen ej inträffar. Det principiella last-förskjutningsförloppet för ett konventionellt friktionsförband med normala godstjocklekar hos förbandsdelarna framgår av fig. A1 (kurva 1). Brottstadiet karakteriseras av att antingen ansträngningen i förbandsdelarna ger upphov till flytning, eller hålkanten flyter respektive under inverkan av spänningskombinationer kilformigt spricker.

Inom glidområdet enligt fig. A1 kan vissa avvikelser från det ideella beteendet enligt kurva 1 bli aktuella, beroende på framförallt ytbeskaffenheten av anliggningsytorna, presstrycket och ytplanheten. Därtill kan läggas i kurva 2 redovisat idealiserat fall, där glidlasten svarar mot friktionsmotståndet för vilofriktionen varefter glidningsprocessen kan upprätthållas av en last  $F_g^* < F_g$  under förutsättning att koefficienten  $\mu_R$  för rörelsefriktionen är mindre än  $\mu_g$ .



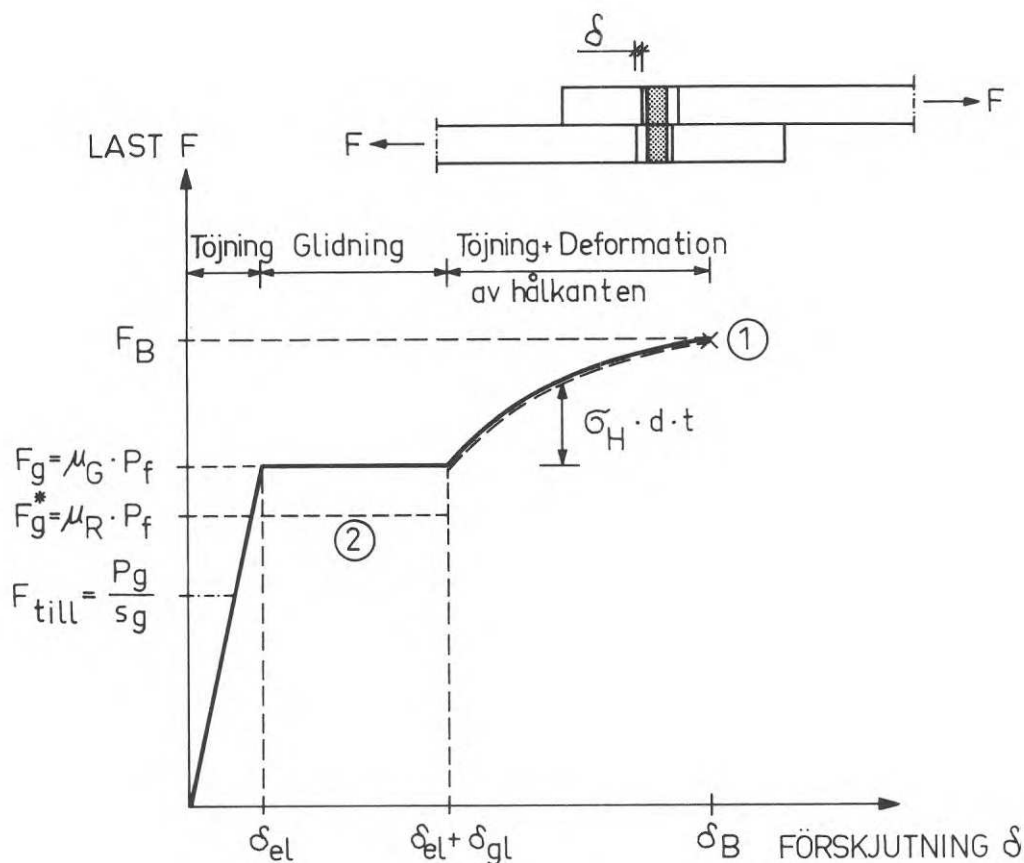


Fig. A1. Principiellt last-förskjutningsdiagram för friktionsförband inom konventionell stålbyggnadsteknik.

I figur A2 återges några karakteristiska last-förskjutningsförlopp beroende av ovan nämnda förbandsimperfektioner. Härvid representerar kurva 1 förband, där elastoplastiskt beteende för  $F < F_g$  uppträder på grund av lokal plasticering i anliggningsytorna, åtföljd av en stabilisering som medför att den nominella glid- och brottlasten kan uppnås. Fenomenet är aktuellt vid överdoserad sandblästring och kontaktyornas därav resulterande profildjup.

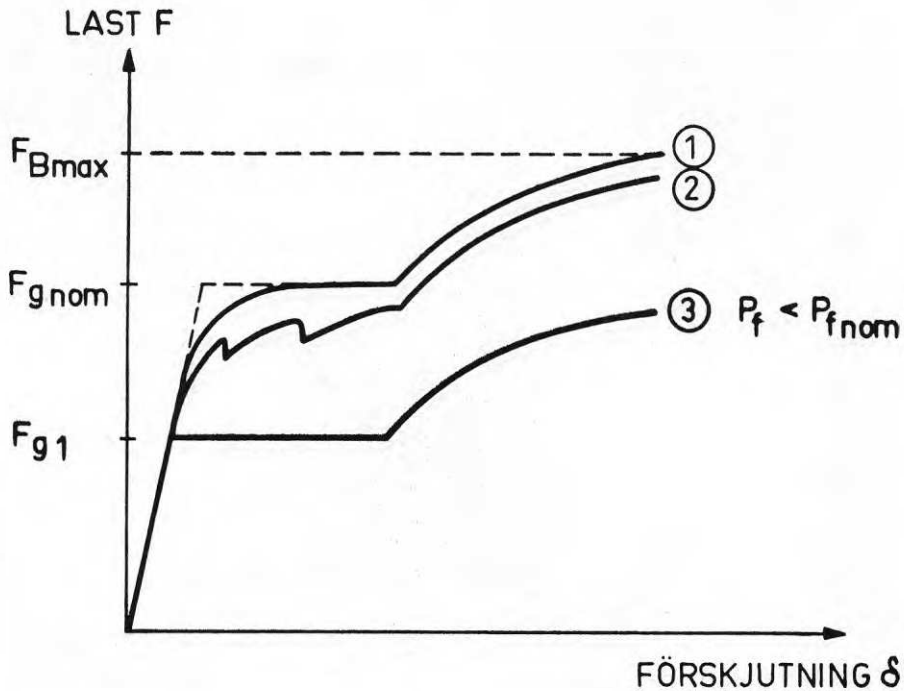


Fig. A2. Karakteristiska last-förskjutningskurvor vid förband med imperfektioner.

Kurva 1 avser lokal plasticering i anliggningsytorna  
 Kurva 2 avser temporära ytbrott i anliggningsytorna  
 Kurva 3 avser förspänningsförlust genom sättning

Kurva 2 karakteriserar lokala ytbrott inom anliggningsområdet med temporär stabilisering. Vid denna imperfektionstyp kan normalt varken den nominella glidlasten  $F_{g\text{nom}}$  eller den maximala brottlasten  $F_{B\text{max}}$  uppnås. Detta fenomen har aktualitet vid ytbehandlingar som kan glida på stålytorna.

Kurva 3 illustrerar inverkan av relaxation i skruven och sättningar i förbandet innebärande att den nominella förspänningskraften  $P_{f\text{nom}}$  inte eller endast temporärt uppnås ( $P_f < P_{f\text{nom}}$ ) med åtföljande sänkning av glidlasten som följd ( $F_{g1} < F_g$ ).

Här redovisade fenomen ha aktualitet vid såväl konventionella friktionsförband som vid friktionsförband med tunnplåtkomponenter. I det senare fallet accentueras effekten av nämnda imperfektioner.

Vid friktionsförband i tunnväggiga konstruktioner med godstjocklek  $\approx 3$  mm, uppträder ytterligare fenomen som kan påverka förbandets beteende under pålastningens tidiga skeden och dess funktionsstabilitet.

Vid tunna plåtar och ordinära skruvdiametrar ( $d \gtrsim 16$  mm) svarar i vissa fall glidlasten mot hålkantens lastupptagande förmåga vid anliggning av skruvskaftet mot plåten, innebärande att ovan nämnd lastandel ( $\sigma_H \cdot d \cdot t$ ) endast obetydligt påverkar brottlasten. Förhållandet illustreras i figur A3 (kurva 1) för det fall, då lokal plasticering i anliggningsytorna föregår uppnåendet av glidlasten. Om glidlasten är större än vad som motsvarar hålkantens lastupptagande förmåga, kan det bli aktuellt att glidningen ej upphör vid anliggning mellan skruvskaft och hålkanten. I dessa fall begränsas efter inträffad glidning belastbarheten till hålkantens lastupptagande förmåga (kurva 2).

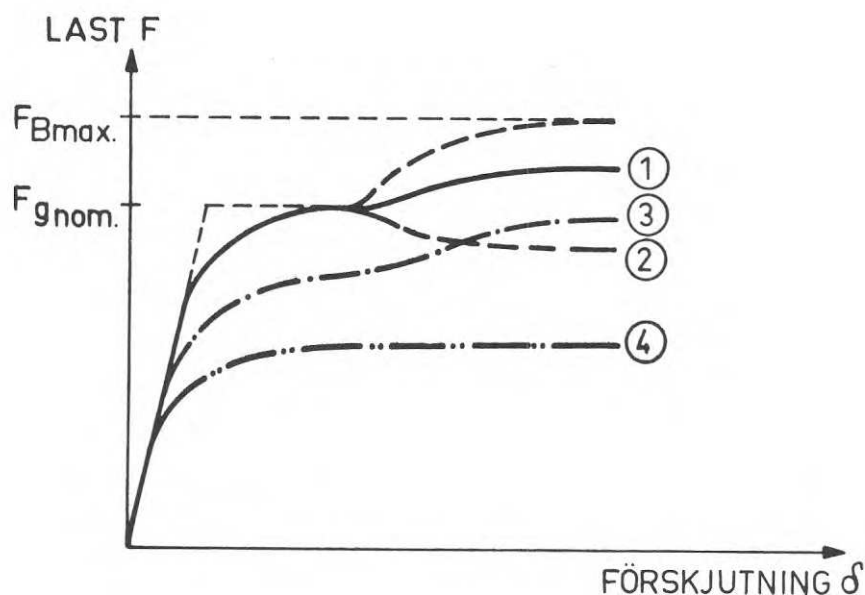


Fig. A3. Karakteristiska last-förskjutningskurvor vid friktionsförband i tunnväggiga konstruktionsdelar.

- Kurva 1 avser reducerat lasttillskott av hålkantryck
- Kurva 2 avser reducerad lastupptagning efter glidning
- Kurva 3 avser inverkan av deformerad hålkant
- Kurva 4 avser flytning i förbandet

En tredje problemställning som är specifik för tunnväggiga förbandsdelar illustreras av kurva 3, där vid inbördes förskjutning av hålkanterna dessa under inverkan av presstrycket deformeras. Den deformerade hålkanten fungerar värvid som lastupptagande och ett utpräglat glidområde saknas. (jfr. fig. A4).

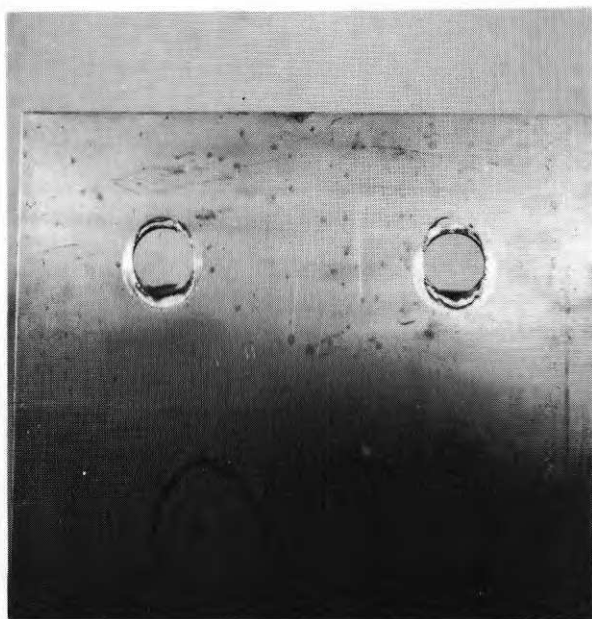


Fig. A4. Hålkant efter provning.

Kurva 4 slutligen illustrerar fallet, då flytningen i plåttvårsnittet bestämmer den lastupptagande förmågan av förbandet. I detta fall, som aktualiseras vid överstarkt förband eller spänningskoncentrationer kring brickan, uppnås ej den nominella glidlasten  $F_{\epsilon_{nom}}$ .

Medan vid friktionsförband med inom stålbyggnadstekniken konventionella godstjocklekar ( $\geq 4$  mm) förbandsgeometrin inte nämnvärt påverkas under pålastningsprocessen erhålls vid tunnväggiga konstruktionsdelar formändringar i förbandsplanet, i synnerhet vid excentrisk lastöverföring. Förhållandena illustreras i figur A5 för ett enskärigt förband.

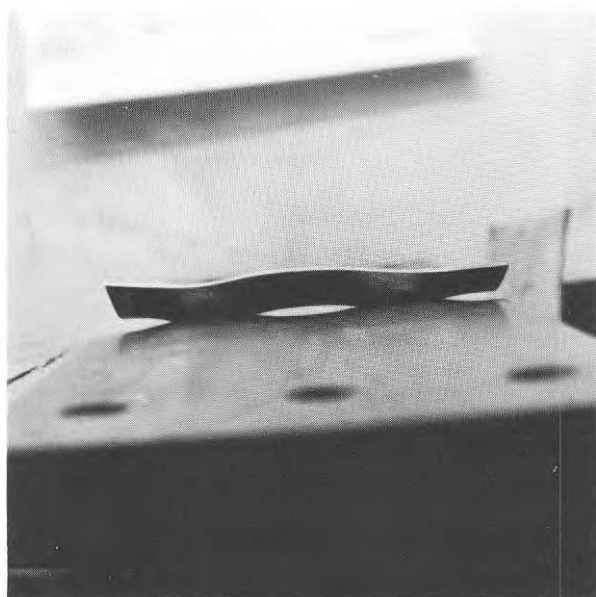


Fig. A5. Plåtdeformation vid hög belastning.

Av ovanstående framgår att för friktionsförband med tjockväggiga förbandsdelar gällande riktlinjer för dimensionering och utformning inte okritiskt får överföras till tunnväggiga konstruktioner.

Funktionssättet och brottbeteende av förbandet bestäms i hög grad av följande parametrar:

- Ytbeskaffenhet: med hänsyn till formändringsbeteendet för  $F < F_{\epsilon_{nom}}$ .
- Godstjocklek : med avseende på förbandets formstabilitet och den totala lastupptagande förmågan.
- Klämlängd : med hänsyn till förspänningsförluster p.g.a. relaxation och sättningar.
- Förspänningskraft och åtdragningsmoment.

Syftet med nedan redovisade experimentella undersökningar har varit att kartlägga hithörande frågeställningar.

## A2. TIDIGARE UTFÖRDA UNDERSÖKNINGAR MED ANKNYTNING TILL TUNNVÄGGIGA KONSTRUKTIONER ELLER OLIKA YTBEKÄFFENHET HOS INGÅENDE FÖRBANDS- DELAR

Med utgångspunkt från ovan nämnda faktorer av betydelse för friktionsförbandets funktionsstabilitet och brottbeteende granskas i detta avsnitt i litteraturen behandlade frågeställningar. Härvid medtas endast sådana källuppgifter som bedöms vara av värde i jämförande syfte.

### 2.1 Ytbeskaffenhet

I bärverk av tunnplåt ingående konstruktionselement kräver i utomhusmiljö och vid risk för fuktillträde eller aggressiva ämnen ett varaktigt korrosionsskydd. Vid plåttjocklekar upp till maximalt 2,5 mm tillämpas härvid ofta förzinkning i form av varmförzinkning (ca 30  $\mu\text{m}$ ) eller - mindre vanligt - galvanisering (ca 7  $\mu\text{m}$ ). Som kompletterande skyddsåtgärder förekommer målning, ofta med industriellt, påförda plastfärger. Vid grövre plåt tillgripes ofta varmförzinkning, applicerad genom doppning och med mycket varierande zinktjocklekar, eller enbart målning med primer och täckfärg.

Medan vid friktionsförband med grövre plåttjocklek kravet på rengöring och bearbetning av anliggningsytorna framstår som ett villkor för utnyttjande av klämeffekten i kraftupptagande förband är ett sådant krav vid tunnplåtkonstruktioner med industriellt påförd ytbehandling från korrosions- och arbetsteknisk synpunkt ofta diskutabel.

Detta ger anledning att studera glidmotståndets beroende av olika ytbehandlingar.

I litteraturen redovisas olika undersökningar av friktionskoefficienter, främst i samband med grov plåt. I en undersökning av WASARHELYI [A1] redovisas följande friktionskoefficienter  $\mu$ , bestämda vid brottförsök med en- och tvåskäriga förband.

<u>Ytbeskaffenhet</u>	<u><math>\mu</math> medel <math>\approx</math></u>	<u>Antal prov</u>	<u>Ann.</u>
Rostad yta + stålborstning	0,51		
Rostad	0,48		
Sandblästrad	0,47		
Obehandlad	0,30		Standardavv. s = 0,05
Doppförzinkad	0,26		
Lackerad	0,28		
Svart grafitfärg	0,09		
Aluminiumfärg	0,17		
Blymönja	0,065	2	
Flamrensad + stålborstning	0,43	2	
Blymönja + sandblästring	0,42	2	
Blymönja + flamrensad	0,22	2	

Ett visst beroende av  $\mu$ -värdet med anliggningstrycket konstaterades vid spänningar överstigande ca halva sträckgränsspänningen i plåten.

I en uppsats av BROOKHART [A2], 1968, behandlas försök med förzinkade, zinkmålade, metalliserade, rostskyddsmålade och plastade ytor. Zinkskikt tjockleken uppgick till ca 70-80  $\mu\text{m}$ .

Bestämningen av friktionskoefficienten baseras i denna undersökning på en deformationsgräns om 0,25 mm ( $\mu_{0,25}$ ) på grund av att en glidlast motsvarande en spontan glidning inte kunde entydigt definieras (jfr. även nedan redovisade egna försök).

Medelvärden  $\mu_{0,25}$  har erhållits enligt följande:

<u>Ytbeskaffenhet</u>	<u><math>\mu_{0,25}</math></u>	<u>Antal prov</u>	<u>Ann.</u>
Varmförzinkad	0,25	10	
Zinkmålning	0,30	3	
Metallisering	0,48	2	} Ytbehandling efter sandblästring
Vinylfärg	0,28	6	
Rostskyddsmålning	0,60	3	
Obehandlad	0,29	6	

Mycket omfattande försök (474 prov) med friktionsförband av tunna konstruktionsdelar redovisas av WINTER [A3] innefattande ytbehandling i form av målningsbehandling med primer, varmförzinkning och obehandlad yta.

Åtdragningsmomentet var 26,3 kpm för 5/8" skruv ( $\sigma_B = 85 \text{ kp/mm}^2$ ) och undersökningen omfattade en- respektive tvåskäriga förband. Glidlastens storlek var av samma storleksordning för båda förbandstyperna.

Ann.: Detta förhållande beror uppenbarligen på att glidningen i förbandet sker utefter två glidytor, oavsett om förbandet är en- eller tvåskärigt (jfr. diskussion under avsnitt A4), under förutsättning att friktionskoefficienten mellan plåtarna är av samma storleksordning som mellan utsidan av plåten och brickan samt att skruvstammens skjuvdeformation är av försumbar storleksordning.

Friktionskoefficienten anges i publikationen implicit i samband med glidlasten, som experimentellt bestämts till  $P_g = 19600 d_k^2 \text{ [lb]}$  för målad eller obehandlad yta samt  $P_g = 16900 d_k^2 \text{ [lb]}$  för förzinkad yta, varvid  $d_k =$  skaftdiameter [inch]. Med utgångspunkt från sambandet mellan åtdragningsmoment och förspänningskraft, som enligt nedanstående (A2.3) kan uppskattas till  $M_V = k (d + P) \cdot P_f \cdot 10^{-3} \text{ kpm}$ , erhålls approximativt  $P_f \approx 8,6 \text{ Mp}$  vid  $M_V = 26,3 \text{ kpm}$  och därmed enligt  $F_g = 2 \cdot \mu \cdot P_f$  för två skär, följande  $\mu$ -värden:

$$\text{Målad eller obehandlad yta: } F_g \approx 3,5 \text{ Mp; } \mu = \frac{F_g}{2P_f} \approx 0,20$$

$$\text{Förzinkad yta : } F_g \approx 3,0 \text{ Mp; } \mu \approx 0,17$$

Likartade  $\mu$ -värden som här ovan redovisats återfinns i form av försöksresultat i litteraturen. Som ovan antytts och som bekräftas av egna försök är emellertid en enbart den till glidlasten refererade friktionskoefficienten avgörande vid dimensioneringen utan för upprätthållande av förbandets funktionsstabilitet i drift även en till  $\mu$ -värdet knuten maximalt acceptabel inbördes formändring av förbandsdelarna.



## 2.2 Godstjocklek hos förbandsdelarna

Godstjockleken hos förbandsdelarna har enligt avsnitt A1 betydelse för dels förbandets formstabilitet (= planhet hos plåtkanterna) samt dels brottbeteendet.

Som utgångspunkt för bedömningen kan ett konventionellt skruvförband (utan kontrollerad åtdragning) i tunnplåtkonstruktioner betraktas. Medan vid inom stålbyggnadstekniken vanliga skruvförband tjockleken av ingående plåtar är av samma storleksordning som skruvdiametern förekommer vid tunnväggiga konstruktioner relationer ned till 1:20.

Detta förhållande indikerar att brottet inträffar normalt i plåtmaterialiet, medan skjuvpåkänningarna i skruven är relativt små. En inom stålbyggnadstekniken eljest vanlig förbandsoptimering med hänsyn till tillåten skjuvspänning respektive tillåtet hålkantryck är här inte aktuell, om man sätter minigränsen för skruvdiametern till ca 1/2".

Undersökningar av Winter [A4], som omfattar en redogörelse av 574 försök med konventionella skruvförband, indikera fyra olika brottformer som åskådliggörs i fig. A6.

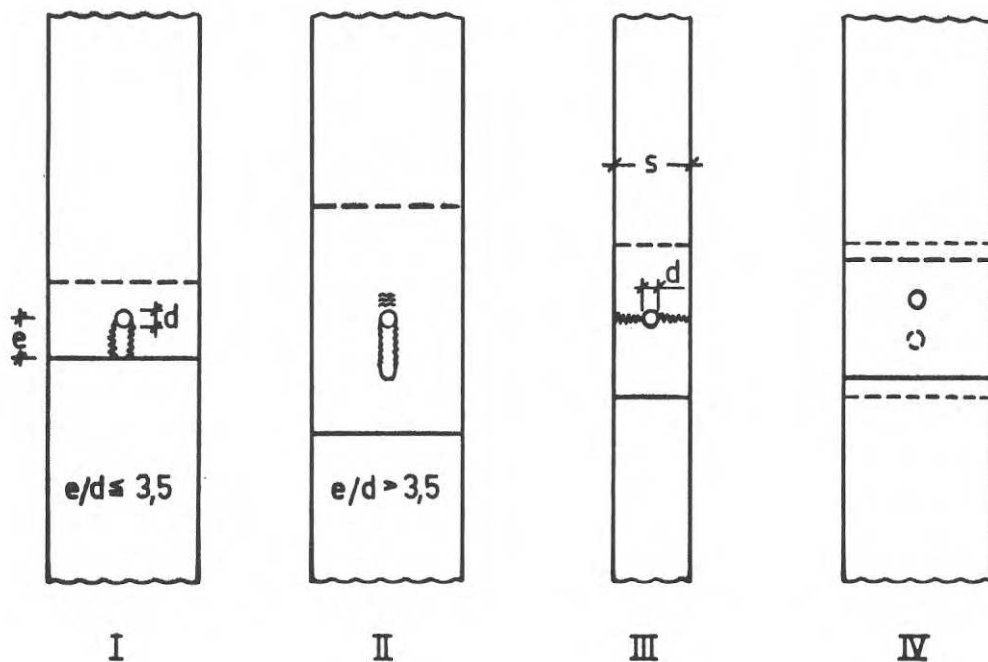


Fig. A6. Brottyper vid konventionellt skruvförband.

- Typ I avser kantbrott
- Typ II avser hålkanflytning
- Typ III avser sektionsbrott
- Typ IV avser skjuvbrott i skruvskaft

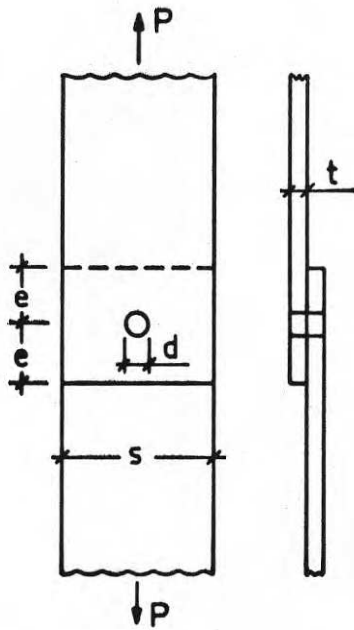


Fig. A7. Beteckningar.

Med beteckningarna enligt fig. A7 har därvid erhållits följande beräkningsgrunder för förbandets lastupptagande förmåga:

Brotttyp I: Avskärning av plåten i två parallella linjer (kantbrott) på avstånd  $d$  vid  $e/d \leq 3,5$

$$\tau_s = \frac{P}{2t \cdot e} \approx 0,7 \sigma_s$$

Brotttyp II: Uppslitsning av plåten framför skruvskaftet (hålkantflytning vid  $e/d > 3,5$

$$\sigma_b = \frac{P}{t \cdot d} \approx 4,9 \sigma_s$$

Brotttyp III: Dragbrott i nettotvärsnittet (sektionsbrott) vid  $d/s \leq 0,3$

$$\sigma_b = \frac{P}{(s - d) t} \leq \sigma_s (0,1 + 3 \cdot d/s)$$

För  $d/s > 0,3$  erhålls en spänningsutjämnning genom plasticering innebärande att därvid

$$\sigma_b = \frac{P}{(s - d) t} \leq \sigma_s$$

Bröttyp IV: Skjuvbrott i skruven:

$$\tau_b = \frac{P}{\frac{d^2 \pi}{4}} \lesssim 0,6 \sigma_{B_s}$$

Vid kontrollräkning av samtliga provkroppar erhöles i medeltal

$$\frac{P_{B_{\min}}}{P_{B_{\text{försök}}}} \leq 0,88 \text{ med standardavvikelsen } s = 0,14.$$

Deformationen i förbanden understeg i 97,6 % av proven värdet 1,6 mm vid beräknad brottl原因, dividerat med en säkerhetsfaktor 2,5.

Vid förband med flera skruvar i rad (i kraftriktningen) insätts i ovanstående formler för e avståndet mellan två skruvar.

Bröttyperna I - III enl. ref. [A3] kan även förväntas uppträda vid friktionsförband, medan bröttyp IV endast är aktuellt vid mycket små diametrar. Angivna ekvationer synes vara tillämpliga även vid friktionsförband. Däremot bör med hänsyn till förhindrad glidning i förbandet i detta fall säkerhetskravet kunna minskas.

På basis av dessa försök har dimensioneringsföreskrifter för konventionella skruvförband vid tunnväggiga konstruktioner formulerats i [A5], varvid den reella säkerhetsfaktorn vid bröttyp II valts till ca 2,3 medan tillåten dragspänning i nettotvärnittet tillordnat säkerhetsfaktorn 1,65 i likhet med säkerhetskravet vid tunnplåtkonstruktioner. Enligt dessa normer får kontrollerad mutteråtdragning vid friktionsförband ej tillgodoräknas vid dimensioneringen. Syftet med nedan redovisade egna försök har varit att kartlägga möjligheten, att dimensioneringsmässigt kunna utnyttja klämeffekten.

I samband med ovan nämnd formstabilitet hos förbandet, som vid tunna förbandsdelar rubbas genom uppvikning av plåtkanterna anges i en undersökning av CULLIMORE [A6] att formändringarna inträffade, när medelspänningen uppgick till ca 92 % av flytspänningen. Uppfläkningen av plåtytorna kan ge upphov till inträngning av föroreningar och vatten i förbandet med korrosionsrisk som följd. För uppnående av bättre formstabilitet rekommenderas styva ~~skruv~~underlägg. I nämnda uppsats återges bl.a. en intressant studie rörande glidmekanismen kring hålkanten och underläggsbrickan. Vidare berörs det intressanta, även vid egna försök observerade fenomenet, att friktionskoefficienten avtar något med ökande anliggningsstryck.

### 2.3 Klämlängd

Efter uppspänning av ett friktionsförband erhålls en reduktion av förspänningskraften som orsakas dels av relaxationen i skruvmaterialet och dels av s.k. sättningar i förbandet. Den senare förspänningsreduktionen är till sin storlek beroende av antalet kontaktytor och deras ytbeskaffenhet (profildjup) samt av klämlängden. Medan vid inom konventionell stålbyggnadsteknik aktuella klämlängder förlusten utgör några procent av den ursprungliga klämkraften, kan den vid tunnplåtförbindningar uppgå till avsevärda belopp.

För att eliminera krypeffekten i anliggningsytorna föreskrivs användning av härdade underläggsbrickor under skruvskallen respektive muttern. Hålplantrycket under brickan är vid en förspänningskraft motsvarande sträckgränsspänningen för 5/8" skruv enbart några kp/mm<sup>2</sup> och ger inte upphov till plastiska (tidsberoende) deformationer. [A7]

Däremot får sättningsfenomenet med avseende på ytojämnheten av förbandets kontaktytor betydelse. Baserat på undersökningar av JUNKER [A8] anger BULTEN [A9] som riktvärde för sättningen  $\Delta = 2 \mu\text{m}$  per skarv vid en ytråhet  $< 16 \mu\text{m}$  och  $\Delta = 4 \mu\text{m}$  per skarv med ytråhet  $> 16 \mu\text{m}$ . Det senare fallet antas vara aktuellt vid exv. blästrade eller kallvalsade ytor, det förra vid skruvskalle, mutter eller bricka. Därtill kommer en gängsättning om ca  $5 \mu\text{m}$ .

Detta innebär exv. vid ett enskärigt överlappsförband att den totala sättningen är av storleksordningen

$$\begin{aligned} \Sigma \Delta &= 4 \cdot 2 \mu\text{m} \text{ (för skarvar mutter/bricka och bricka/plåt)} \\ &+ 4 \mu\text{m} \text{ (för kontaktplanet till förbandsdelarna)} \\ &+ 5 \mu\text{m} \text{ (för gängsättning)} \end{aligned}$$

$$\underline{\Sigma \Delta = 17 \mu\text{m}}$$

Den resulterande förspänningsförlusten skulle därvid för 10 mm klämlängd uppgå till ca 60 % av den ursprungliga förspänningskraften. Dessa sättningar kommer emellertid i huvudsak att inträffa i samband med monteringen och därmed ej nämvärt påverka förbandets lastupptagande förmåga. Det förefaller emellertid rimligt att antaga en minskning av klämkraften med 10 % inom aktuellt klämlängdsintervall och normala klämkrafter.

## 2.4 Förspänningskraft och åtdragningsmoment

Enligt gällande bestämmelser skall förspänningskraften i friktionsförband appliceras med hjälp av momentnyckel eller genom uppnående av en bestämd vridningsvinkel [A 10]. Sambandet mellan åtdragningsmoment och förspänningskraften anges till

$M_a = k \cdot d \cdot P_f$ , där  $k$  är en koefficient, som är beroende av gängstigningen, friktionen mellan skruvens och mutterns gängor samt friktionen mellan mutterplan och underlägg. Vid UNC-gängade skruvar är  $k \approx 0,2$ . I en undersökning av KÜBLER [A 11] påvisas, att sambandet mellan  $M_v$  och  $P_f$  lämpligen ges formen  $M_v = k (d + P) \cdot P_f \cdot 10^{-3}$  kpm, där  $k = 1,078 \mu_{\text{tot}} + 0,0168$ , varvid  $\mu_{\text{tot}}$  är den vid moment-kraft-utbytet verksamma friktionskoefficienten. Storheten  $d$  motsvarar skruvgängans ytterdiameter och storheten  $P$  i ansatsen för  $M_v$  betecknar gängstigningen i mm.

För anoljade skruvar gäller  $k = 0,168$ . Spridningsmättet för förspänningskraften anges i detta fall till  $\mathcal{J} = \pm 16 \%$ , innebärande att  $P_f = \frac{M_v \cdot 10^3}{0,168 (d + P)} (1 \pm \mathcal{J}) \leq \frac{\sigma_s \cdot A_s}{\mathcal{K}}$ . Härvid är  $A_s$  = spänningsarean och  $\mathcal{K}$  en storhet som beskriver sambandet med jämförelse- och dragspänning i skruven ( $\mathcal{K} = \frac{\sigma_{\text{jfr}}}{\sigma_d} = 1,34$ ). För exempelvis en 5/8" bult (D 80) är åtdragningsmomentet  $M_v = 19,9$  kpm, vilket med  $d + P = 18,18$  ger

$$\begin{array}{l} P_{f_{\text{max}}} = 1,16 \cdot 6,5 = 7,55 \text{ Mp} \\ P_{f_{\text{min}}} = 0,84 \cdot 6,5 = 5,46 \text{ Mp} \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} P_{f_{\text{max}}} \\ P_{f_{\text{min}}} \end{array}} \right\} P_{f_{\text{medel}}} = 6,5 \text{ Mp}$$

Maximal förspänningskraft svarar därvid mot skruvens sträcklast. Sambandet mellan  $M_v$  och  $P_f$  återges för 5/8" skruv i fig. A8.

## FÖRSPÄNNINGSKRAFT

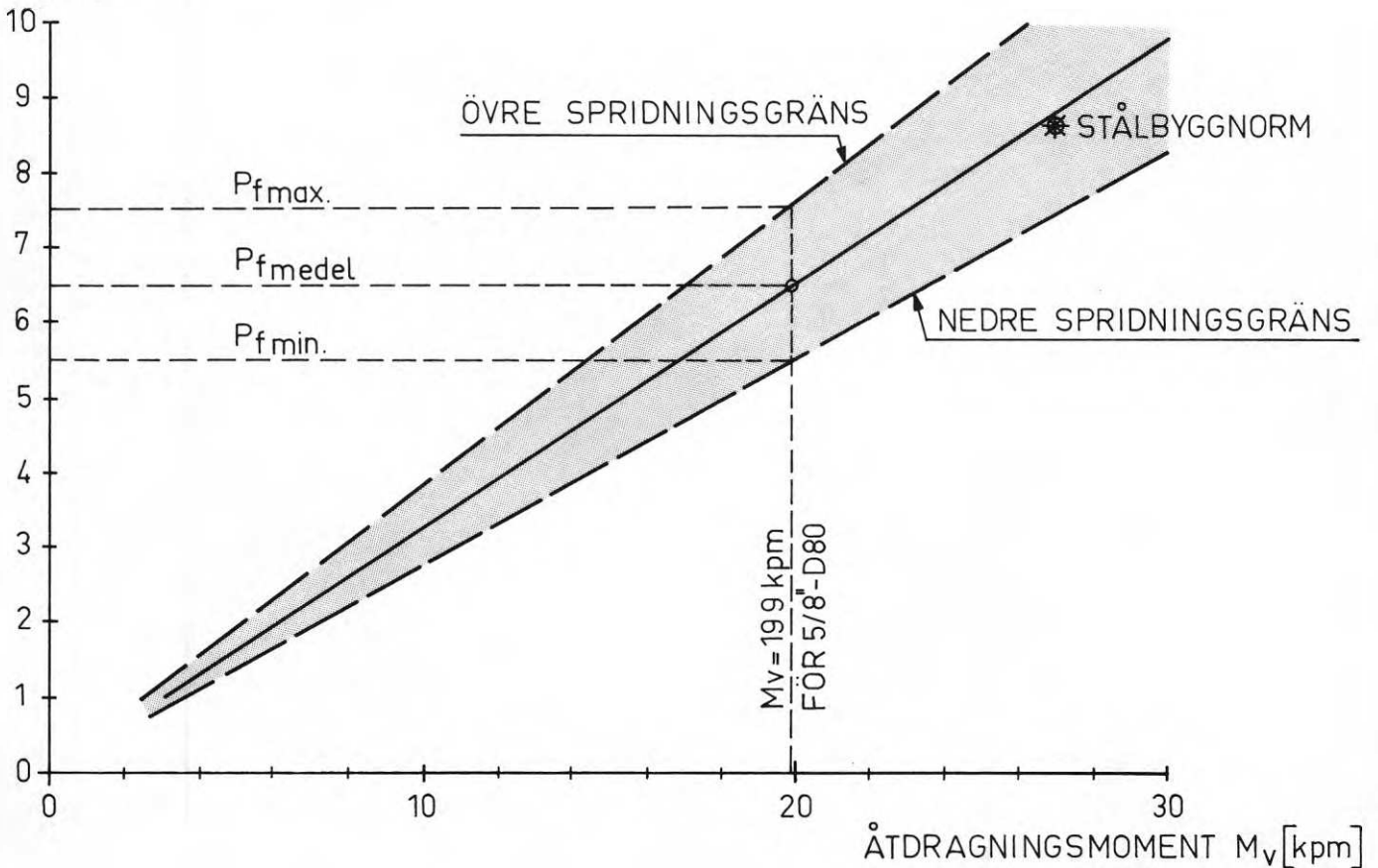
 $P_f$  [Mp]

Fig. A8. Samband mellan förspänningskraft  $P_f$  och åtdragningsmoment  $M_v$ . (Enligt [A 11]).

Anm.: Här redovisat samband mellan  $M_v$  och  $F_g$  används vid tolkningen av undersökningsresultaten. Glidlasten  $F_g$  (= last, vid vilken en påvisbar rörelse mellan friktionsytorna utan nämnvärd lastökning i förbandet erhålles) svarar mot den med friktionskoefficienten  $\mu$  multiplicerade förspänningskraften ( $\mu = \frac{F_g}{P_f}$ ). Vid bestämning av  $\mu$ -värdet används av BULTEN rekommenderat medelvärde  $P_{f\text{ medel}}$ .

### A3. EXPERIMENTELLA UNDERSÖKNINGAR

Avsikten med här redovisade försök har varit att belysa friktionsförbandets funktion vid tunnplåtkonstruktioner med beaktande av följande parametrar:

Godstjocklekvariationer:	$1 \leq t \leq 4$ mm
Variation av skruvantal:	1, 2, 3 st
Variation av åtdragningsmoment:	$M_v = 10, 20, 27$ kpm
Variation av ytbehandling:	Obehandlad Rost (styrd korrosionsprocess). Sandblästring Varmförzinkning (20 $\mu$ m) Varmförzinkning (40 $\mu$ m + sandblästring) Varmförzinkning + plastisol (200 $\mu$ m) Lufttorkande zinkfärg (40-80 $\mu$ m) Lufttorkande lackfärg (8-15 $\mu$ m) Ugnslack (10-30 $\mu$ m) Ugnslack med Carborundum (40-70 $\mu$ m)

Huvudvikten har lagts på bestämning av glidlasten för olika ytbehandlingar i syfte att bestämma friktionskoefficienter samt på förbandens deformationsbeteende under pålastningsprocessen.

I ett antal förförsök har vissa specifika egenskaper av friktionsförband med tunna konstruktionsdelar såsom deformationer inom skruvområdet; spänningsfördelning över tvärsnittet och fläkeffekter varit föremål för närmare studium.

Det totala antalet brottförsök innefattar 104 provkroppar, varav 77 enheter tillhör huvudförsöken.

#### 3.1 Material, förbandstyper och mätutrustning

Materialet till provkropparna representerade - med hänsyn till varierande ytbehandlingar - olika hållfasthetsklasser, varvid enligt verksattest från leverantören i tabell A1 angivna hållfasthetsdata innehållits i enlighet med tillämpliga materialnormer.

Tabell A1: Hållfasthetsdata för grundmaterial

Plåttjocklek	Ytbehandling	$\sigma_{su}$ [kp/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_B$ [kp/mm <sup>2</sup> ]	Anm.
1	Obehandlad (kallv.)	32	45	(SU 320)
2	- " -	28	37	(SU 260)
3	Obehandlad (varmv.)	28	37	(SU 260)
2	Varmförzinkad (kallv.) (även med färgbel.)	28	37	(SU 260)
4	Målning (varmv.alsad)	28	44	SIS 1411

Eftersom noggrannare hållfasthetsdata vid aktuell förbandstyp ej erfordras ha ytterligare provning begränsats till stickprov, som verifierade att angivna data med god marginal innehållits.

Följande ytbehandlingar ha varit aktuella:

- a) Varmförzinkning med skiktjocklekar om 20  $\mu\text{m}$  resp. 40  $\mu\text{m}$ , applicerade genom bandförzinkning enligt Sendzimirförfarandet.
- b) Plastisolbeläggning med ca 200  $\mu\text{m}$ , pålagd i industriell arbetsprocess (Domnarfvets Jernverk) på varmförzinkat material.
- c) Rostbeläggning i accelererad process med hjälp av saltlösning under tre veckor i fuktmättad luft. Före provningen förvarades provkropparna en vecka i rumsatmosfär. Rostgraden framgår av fig. A9.
- d) Sandblästring på kontaktytorna motsvarande grad Sa 3.
- e) Lackfärger av 2-komponent täcklack på polyuretanbasis i varianterna "lufttorkande" och "ugnstorkande". Handelsbeteckning "Dynalon". I vissa fall inblandning av Carborundum för ökning av ytråheten.

Skruvmaterial: Höghållfasta skruvar 5/8" - D80 med  
UNC-gänga.  
 $\sigma_B = 80 \text{ kp/mm}^2$ ;  $\sigma_S = 70 \text{ kp/mm}^2$  (BULTEN)



Underläggsbrickor: Härdade brickor med stor diameter  
typ HRSB 17,5 x 45.

Åtdragning av förband vid fixerad skruvskalle med momentnyckel  
BRITTOOL EVT 1700 för  $M_v \leq 15$  kpm och  
BRITTOOL HVT 5000 RR för  $M_v > 15$  kpm.

Provkroppsutformningen framgår av fig. A9 för försök med målnings-  
behandlade plåtar och fig. A 10 för övriga försök.

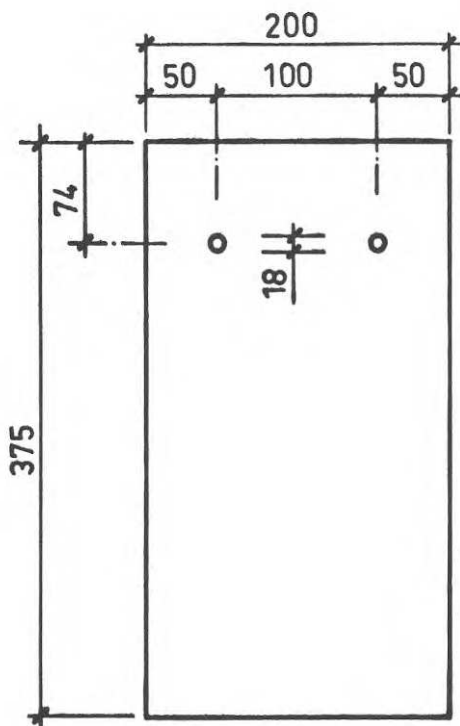


Fig. A9. Plåt för försök  
med målad yta.

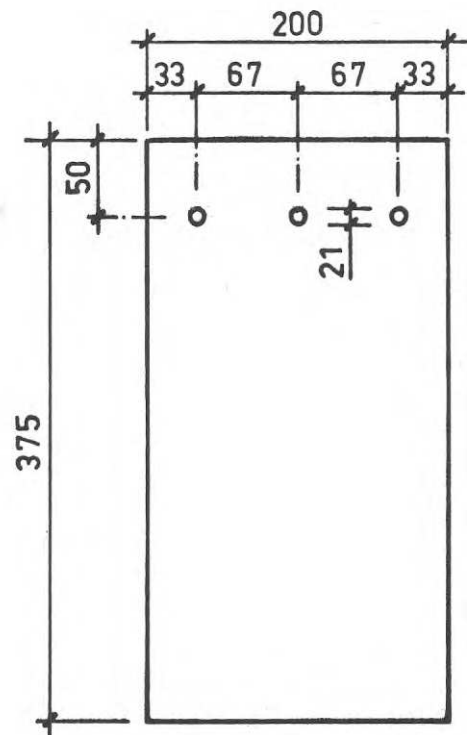


Fig.A10. Plåt för övriga  
försök.

Brottförsöken utfördes med hjälp av dragprovningssmaskin av märket  
ALPHA, varvid provkropparna fixerades i specialgjorda, ledade käftar.  
Provningens utseende framgår av fig. A 11 och A 12.

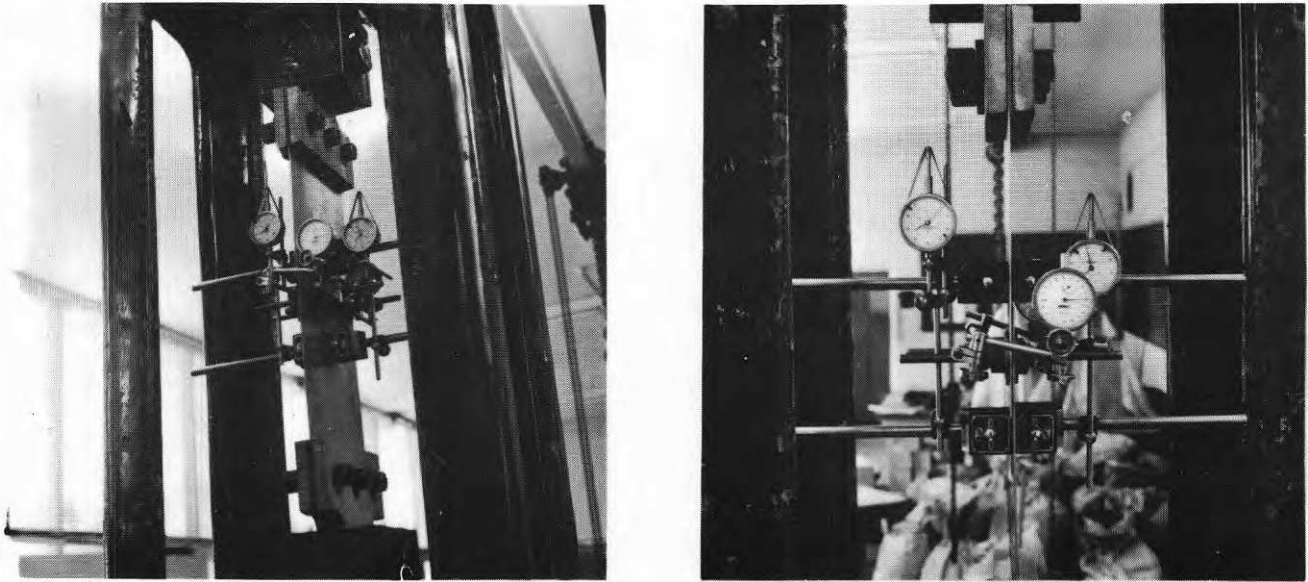


Fig. A11 och A12. Mätutrustning.

Mätning av förskjutningar i förbanden utfördes dels med mätklockor ( $1/1000$  mm) placerade i linje med skruvarna, där inbördesförskjutningen av plåtarna direkt registrerades (fig. A 13, 14), samt dels med mätklockor ( $1/100$  mm), där förskjutningar över förbandet registrerades (fig. A 15).

Mätlängden har härvid varit 190 mm för målade ytor och 140 mm för övriga förband. Genom att använda medelvärden av två mätvärden, ett från var provkroppssida, kunde inverkan av böjnings- och vridningsdeformationer på mätresultaten till följd av excentriciteter elimineras.

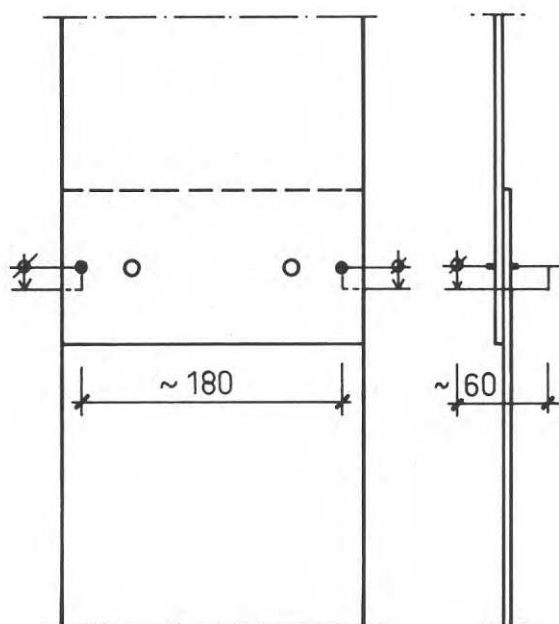


Fig.A13. Mätklockors placering vid målade ytor.  
(1/1000-dels klockor)

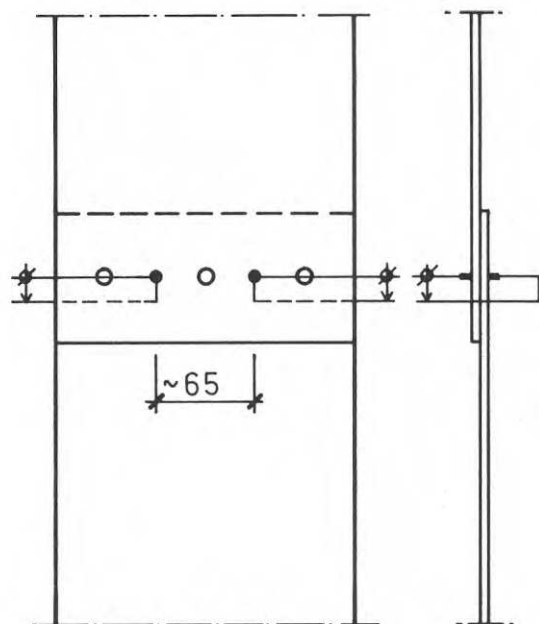


Fig.A14. Mätklockors placering för övriga försök.  
(1/1000-dels klockor)

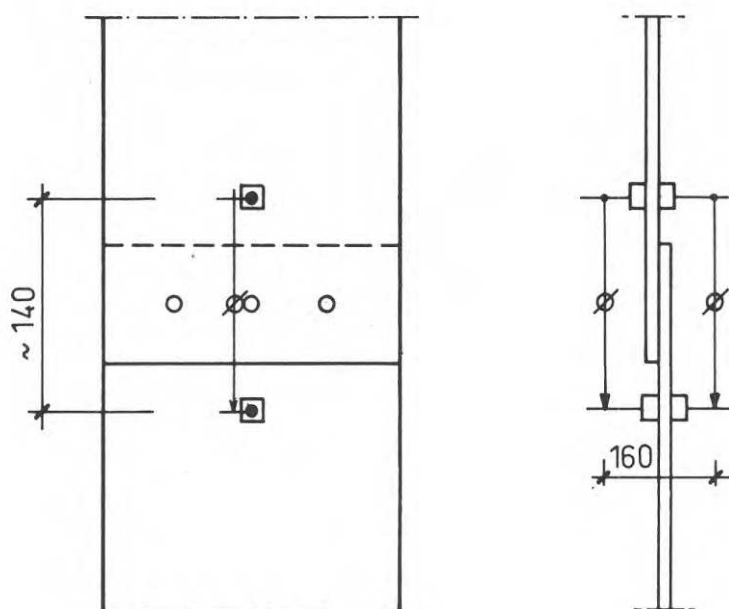


Fig.A15. 1/100-dels klockors placering för mätning av deformationer över förbandet.

### 3.2 Förförsök

För att bestämma lämplig mätmetodik samt belysa speciella frågeställningar i anslutning till förbandsgeometrin utfördes ett antal förförsök som nedan översiktligt behandlas.

#### 3.21 Åtdragningsprov

På två bultar utfördes försök att bestämma sambandet mellan applicerat åtdragningsmoment och resulterande förspänningskraft, varvid längstöjningar i skruvskaftet bestämdes med hjälp av trådtöjningsgivare. För att kunna erhålla lämplig givarplacering nedslipades ett antal gängvarv (jfr. fig. A 16).

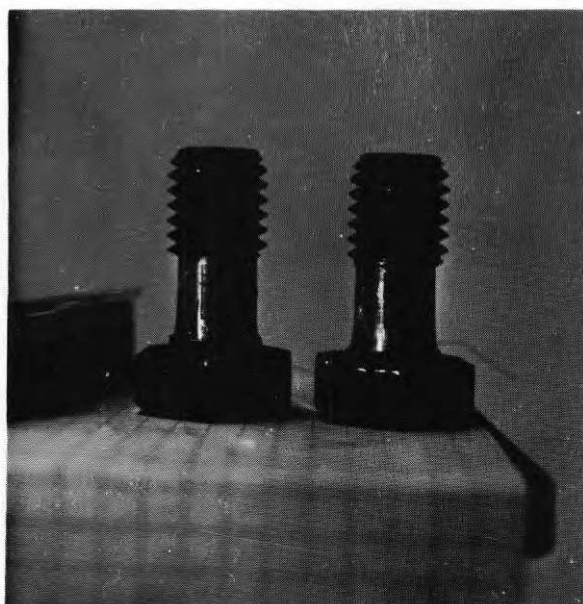


Fig.A16. Utformning av skruv samt placering av trådtöjningsgivare.

Skruvarna hade efter nedslipningen en medelarea om  $125 \text{ mm}^2$ , jämfört med spännarean om  $146 \text{ mm}^2$ . Sambandet mellan förspänningskraft  $P_f$  och åtdragningsmoment  $M_v$ , korrigerat med hänsyn till den provningstekniskt erforderliga areaminskningen, återges i fig. A 17.

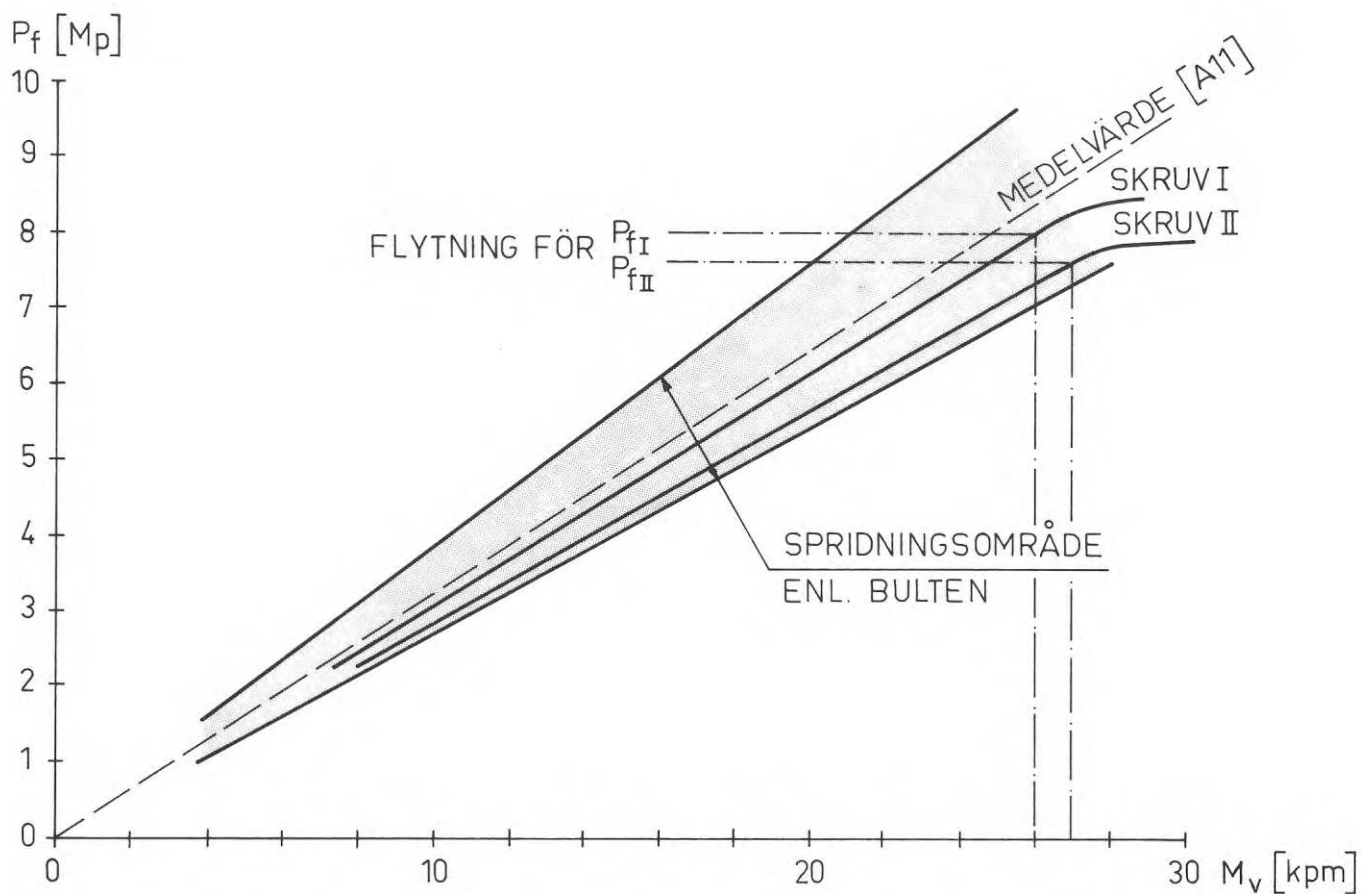


Fig. A17. Samband mellan  $P_f$  och  $M_v$  vid två försök med 5/8" skruvar (bult I och II) samt jämförelse med av bulten angivna värden.

I försöket har med god approximation ett linjärt samband mellan  $P_f$  och  $M_v$  erhållits upp till ett åtdragningsmoment om 27 kpm, där flytning i skruvstammen inträffar. Värdena på förspänningskraften ligger, jämförda med i ref. [A 11] angivna medelvärden ca 12-14 % lägre än dessa men väl inom där angivet spridningsområde. Orsaken till detta är sannolikt att gängorna var väl avfettade, för att möjliggöra limning av trådtöjningsgivarna, och att den efterföljande avfettningen blev sparsam, vilket medförde att friktionen i gängorna blev relativt stor.

Sambandet mellan åtdragningsmoment  $M_v$  och töjningen i skruvstammen återges i fig. A 18.

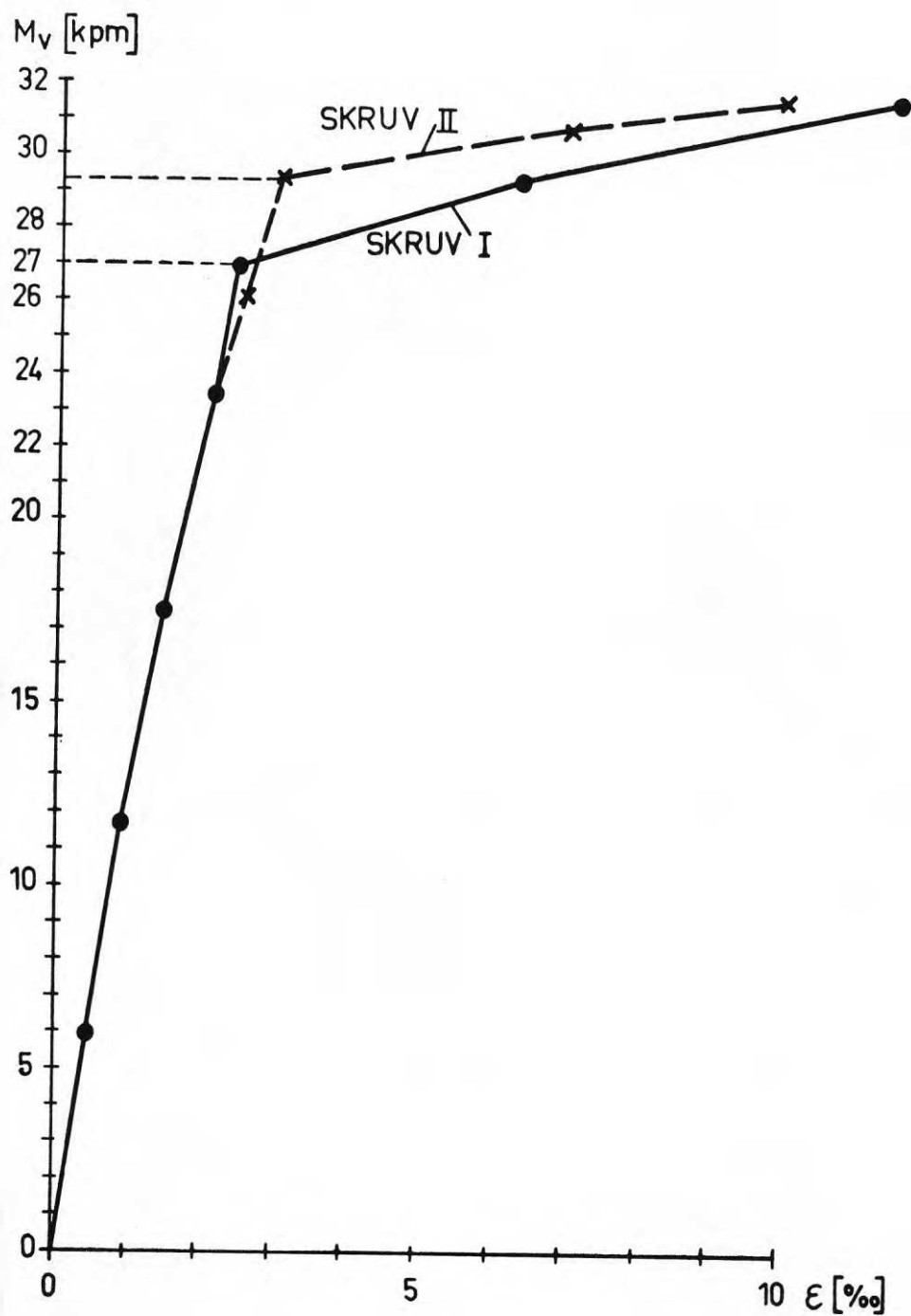


Fig.A18. Samband mellan åtdragningsmoment  $M_v$  och töjning i skruvskaft  $\epsilon$  (‰).

### 3.22 Töjningsmätningar

I syfte att erhålla en kvalitativ uppfattning rörande töjningsförhållandena utfördes 2 försök med 2 resp. 3 mm plåttjocklek och 3 skruvar i förbandet. Trådtöjningsgivare placerades i enlighet med fig. A 19 på fram- och baksidan av den ena plåten.

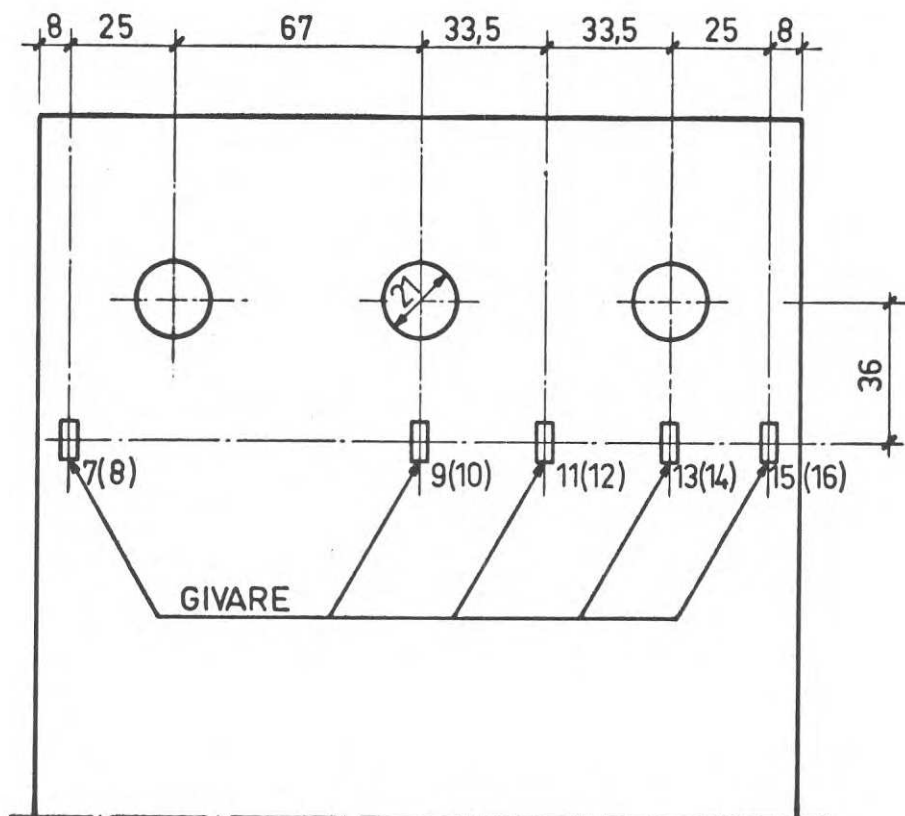


Fig.A19. Placering av trådtöjningsgivare.

Resultatet av töjningsmätningarna återges för pålastningsskedet i fig. A 20 för 2 resp. 3 mm godstjocklek. Registreringarna från rosettgivarna mellan skruvhålen har ej varit tillförlitliga och redovisas ej.

SKRUVPLACERING

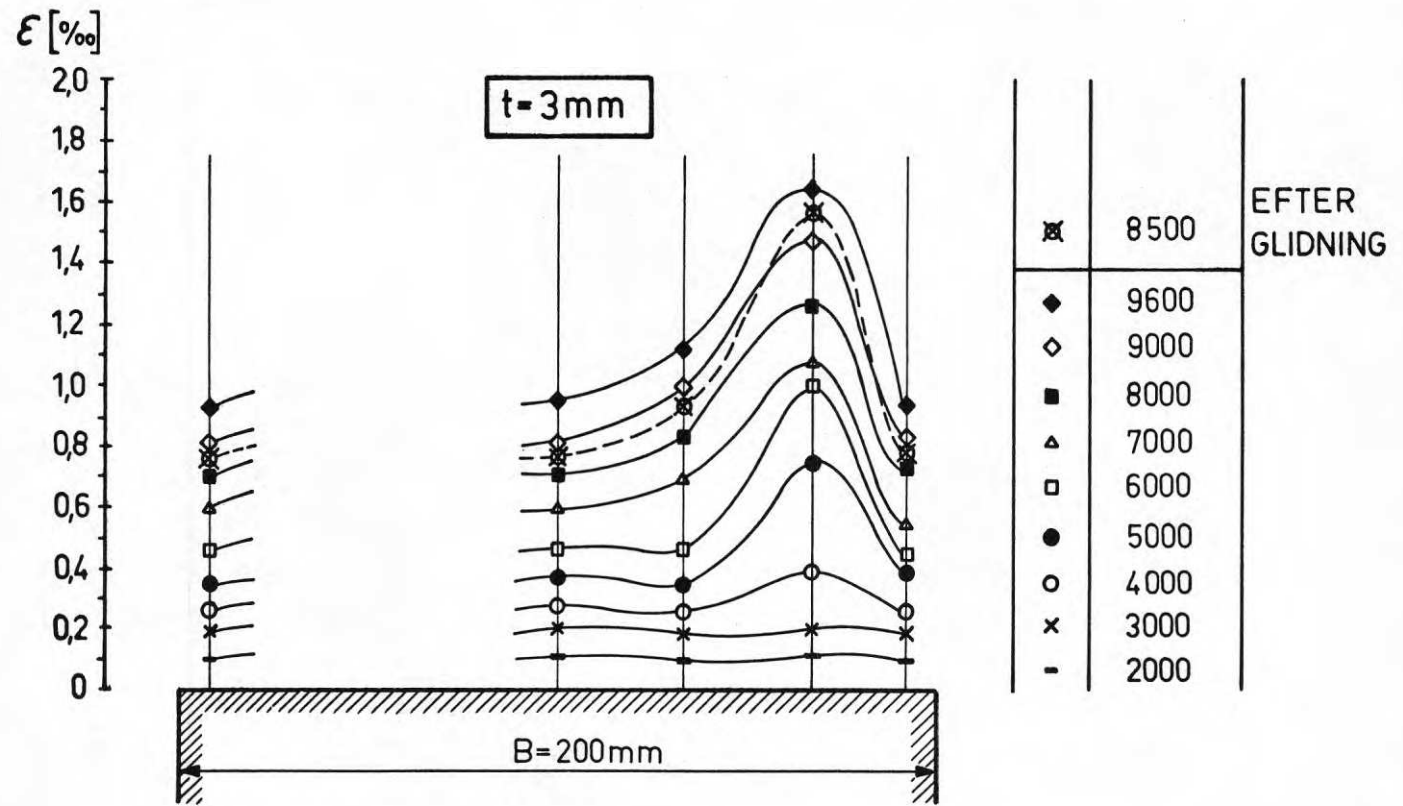
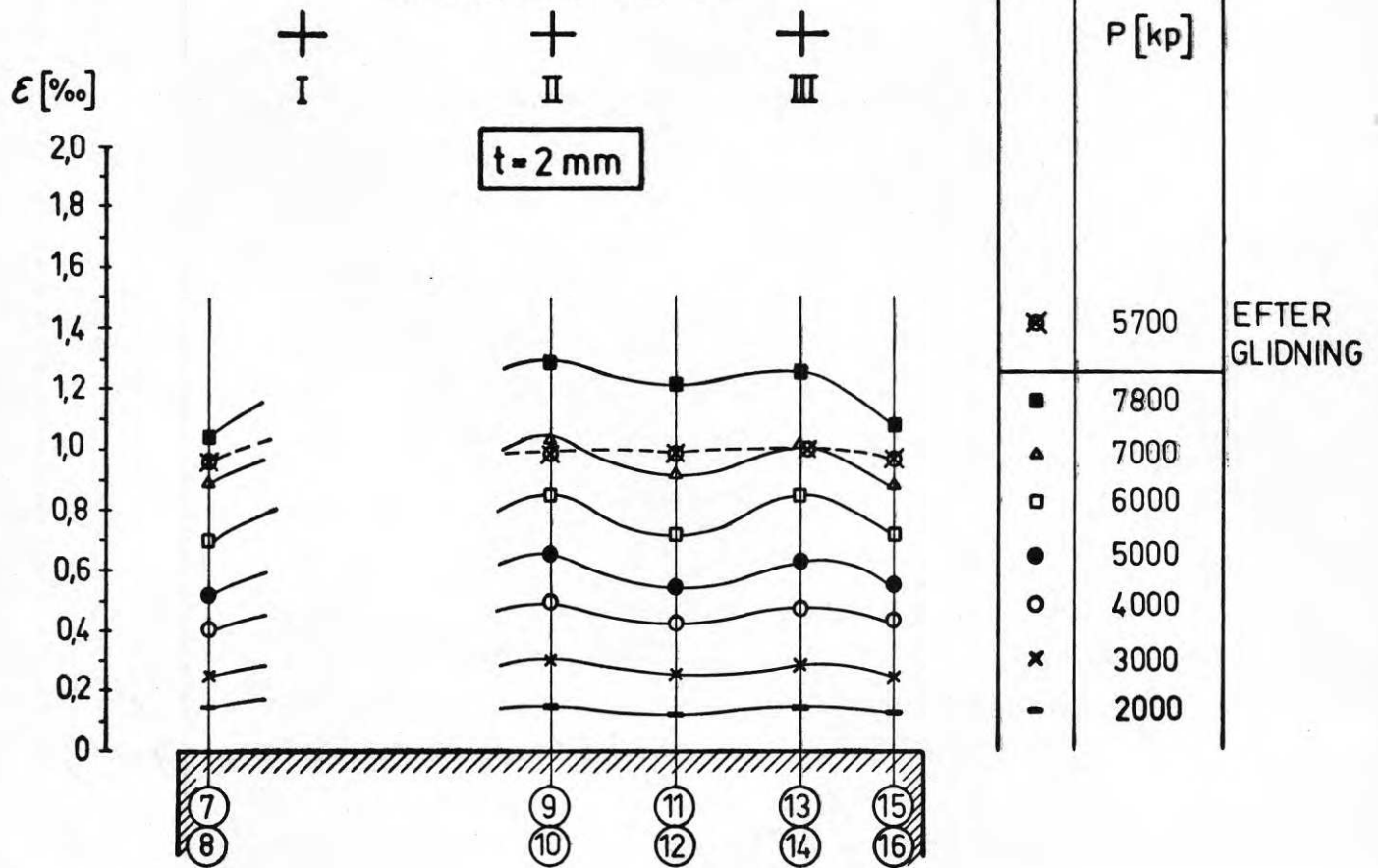


Fig.A20. Registrerade töjningsvärden över tvärsnittet vid 2 mm och 3 mm godstjocklek. (Medelvärden av töjningar på fram-och baksidan.)



Vid försök med 2 mm godstjocklek visar sig en klar tendens till spänningskoncentrationer i plåtmaterialet framför **skruvarna**. Lastnivån  $P = 7800$  kp svarar mot glidlasten för förbandet. Återgivna mätvärden utgör medelvärden av korresponderande trådtöjningsgivare på förbandets ut- och insida. Vid lasten  $P = 4000 - 5000$  kp är lasten ej längre proportionell mot medeltöjningen beroende på att plåtmaterialets sträckgräns lokalt har överskridits. Av samma orsak är medeltöjningarna vid lika last större efter glidning än före.

Vid försök med  $t = 3$  mm observerades en kraftig spänningskoncentration i plåtmaterialet vid **skruv III**. Denna härrör sannolikt från en i förhållande till de övriga **skruvarna** kraftigt förhöjd klämkraft i kombination med ett dåligt glidmotstånd. Efter inträffad glidning i förbandet vid laststeg  $P = 9600$  kp registrerades vid en lastminskning till  $P = 8500$  kp en kraftigt markerad kvarstående töjning vid **skruv III**.

### 3.23 Försök med ocentrerade hålskanter

För utförande av friktionsförband med konventionell godstjocklek hos förbandsdelarna anges i bestämmelser en tillåten håldiameter som är större än vid skjuvförband. Hålskantförskjutningen kan därvid uppgå till ca 2 mm. Med hänsyn till plåttjockleken påverkas inte förbandets beteende vid glidning eller dess lastupptagande förmåga.

Vid tunnplåtkonstruktioner kan förmodas att sådan förskjutning av hålskanterna vid hög klämkraft kan medföra lokala deformationer av hålskanten som kan påverka förbandets funktionssätt. I en serie om 28 förförsök undersöktes därför förbandets lastupptagande förmåga vid maximalt möjliga förskjutningar av hålskanterna. Ingående parametrar har varit åtdragningsmomentet  $M_v$ , skruvantalet och ytbehandlingen. I tre av försöken utfördes provningen tre veckor efter skruvarnas åtdragning. Tabell A2 visar en sammanställning av aktuella data.

Tabell A2: Sammanställning av data till förförsök med ocentrerade hålskanter.

Nr	t	M <sub>v</sub>	Antal skruvar	Last vid 0,2 mm:s deformation	Slutlig brottorsak	Max.last	Anmärkning
	[mm]	[kpm]					
1	2	20	3	-	Sektionsbrott	10800	Obehandlad plåt
2	2	20	3	-	- " -	12400	- " -
3	2	20	3	-	- " -	>12000	- " -
4	2	20	3	-	- " -	>11400	- " -
5	2	20	3	-	- " -	11800	- " -
6	2	20	2	-	Hålskantflytning	8300	- " - (∅ 18)
7	2	20	2	-	- " -	8300	- " - (∅ 18)
8	2	20	2	-	- " -	> 8400	- " - (∅ 18)
9	2	20	2	-	- " -	> 8000	- " -
10	2	20	2	-	- " -	> 8200	- " -
11	2	20	2	-	- " -	8500	- " -
12	2	27	3	-	Sektionsbrott	14000	- " -
13	2	27	3	-	Hålskantflytning	>12400	- " -
14	2	27	3	-	- " -	13600	- " -
15	2	20	3	-	Sektionsbrott	14000	Sandblästring
16	2	20	3	-	Hålskantflytning	13700	- " -
17	2	20	3	-	- " -	13500	- " -
18	2	20	3	-	- " -	11000	Zink 20 μ
19	2	20	3	3900	- " -	10800	Zink 20 μ
20	2	20	3	4500	- " -	9700	Zink 20 μ
21	2	20	3	7900	- " -	13200	Obehandlad
22	2	20	3	4300	- " -	9800	Zink 40 μ
23	2	20	3	3800	- " -	10800	Zink 40 μ
24	2	20	2	5200	- " -	> 6200	20 μ zink + sandbl.
25	2	15	1	1700	- " -	> 2900	Obehandlad (lätt anoljade gängor)
69	2	20	1	-	Proven har av-	> 4100	
70	2	27	1	-	brutits innan an-	3900	
71	2	27	1	-	liggning skruv-	4300	
					stam-hålskant		
					skett		

Såvida ej annat anges i tabellen har gängorna molykotebehandlats och skruvhålens diameter varit 21 mm.

Försöken visar att det vid ocentrisk montering av hålen ej existerar något utpräglat glidområde utan endast ett område där lasten upptas av en kombination av glidmotstånd och hålskanternas dymlingsverkan. Av fig. A 21 framgår ett typiskt last-förskjutningssamband för prov med ocentrerade hål.

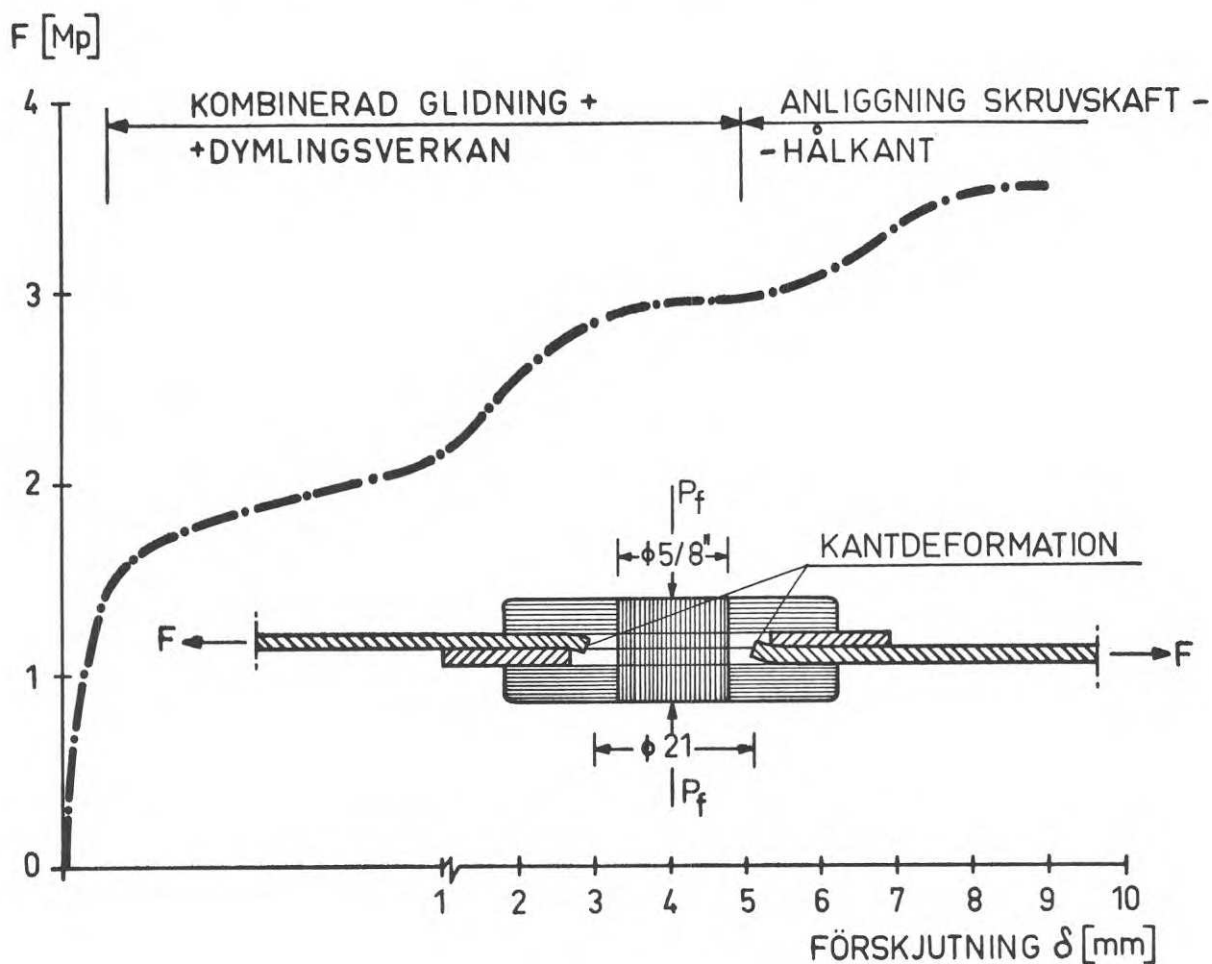


Fig.A21. Typiskt last-förskjutningssamband vid deformerad hålkant och dymlingsverkan. (Försök 25.)

Det har av försöken klart framgått att den maximala lasten vid ocentriska hål först uppnås vid deformationer som är mångdubbelt de som erhålles vid förband med renodlad glidning. Med den ökade deformationen har emellertid också kunnat konstateras en ökad maximal last. De stora deformationsskillnaderna utesluter emellertid en direkt jämförelse av maximala laster. Mera meningsfullt är en jämförelse intill deformationen 0,20 mm som emellertid endast kunnat genomföras vid ett fåtal prov. Det har vid dessa

jämförelser inte kunnat konstateras några väsentliga skillnader i förbandens lastupptagande förmåga.

De flesta förbanden belastades till slutligt brott som beroende på skruvantal skedde genom plåtens uppsprickning i höjd med skruvhålen (sektionsbrott), eller kraftig deformation av hålskanter (hålskantflytning). Deformationerna i brottstadiet samt brottens utseende illustreras av fig. A 22 - 24.



Fig.A22. Sektionsbrott.



Fig.A23. Hålkantflytning.

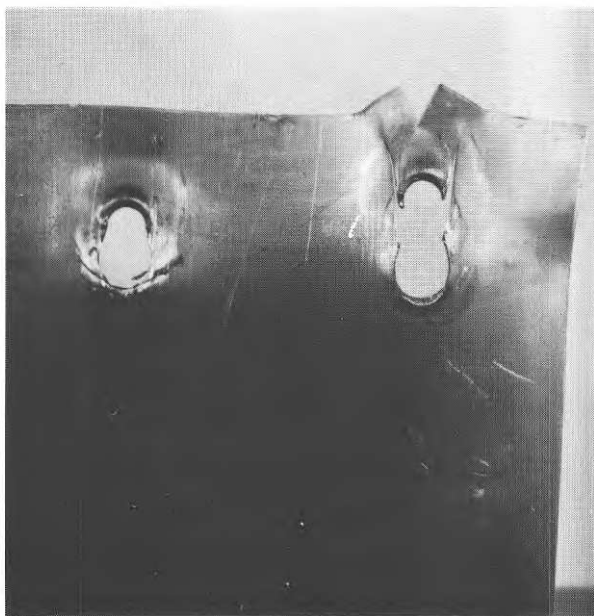


Fig.A24. Kraftig hålkantflytning och efterföljande kantbrott.

### 3.3 Huvudförsök

Vid huvudförsöken, omfattande 74 provkroppar, registrerades förbandens deformationsbeteende med utgångspunkt från mätvärdena av plåtarnas inbördes förskjutning i höjd med en linje genom skruvarnas centrum.

Som "glidlast" definieras den lasten som antingen ger en spontan förskjutning mellan plåtarna eller som motsvarar ett förskjutningsvärde om 0,20 mm. Det senare förskjutningsvärdet antas motsvara en i praktiken acceptabel rörelse i förbandet, som med tillämpning av ordinära säkerhetsfaktorer garanterar ett elastiskt formändringsbeteende under brukslast. Bedömningsprinciperna illustreras i figur A 25.

För bestämning av  $\mu$ -värden ( $\mu$  vid spontan glidning,  $\mu_{0,20}$  vid elastoplastiskt deformationsbeteende) används förspänningskraften  $P_f$  som svarar mot sambandet mellan åtdragningsmoment  $M_v$  och förspänningskraften enligt av BULTEN rekommenderade medelvärden (jfr. fig. A 8).

Vid aktuella  $M_v$ -värden erhålls därmed

$$\begin{array}{l}
 M_v = 10 \text{ kpm}; \quad P_f \approx 3,2 \text{ Mp} \\
 \quad 15 \text{ kpm}; \quad \approx 4,8 \text{ Mp} \\
 \quad 20 \text{ kpm}; \quad \approx 6,5 \text{ Mp} \\
 \quad 27 \text{ kpm}; \quad \approx 8,9 \text{ Mp}
 \end{array}
 \quad \mu = \frac{F_{g1}}{P_f}; \quad \mu_{0,20} = \frac{F_{g2}}{P_f}$$

Det primära intresset koncentreras till  $\mu$ -värdets beroende av ytbehandlingen. I det följande redovisas därför provningsprogrammet jämte enligt ovanstående beräknade  $\mu$ -värden med utgångspunkt från aktuella ytbehandlingstyper. I tabellerna A3 - A15 avser  $t$  = plåttjocklek [mm],  $n$  = antal skruvar,  $M_v$  = åtdragningsmoment [kpm].

Uppgifterna om brottypen avser:

- I: Utpräglat glidbrott med tydliga slipspår i godset (fig. A 26)
- II: Utpräglat glidbrott utan tydlig ytnötning (fig. A 27)
- III: Skjuvflytbrott i hålkanter (fig. A 28)
- IV: Ytskiktsbrott (fig. A 29)

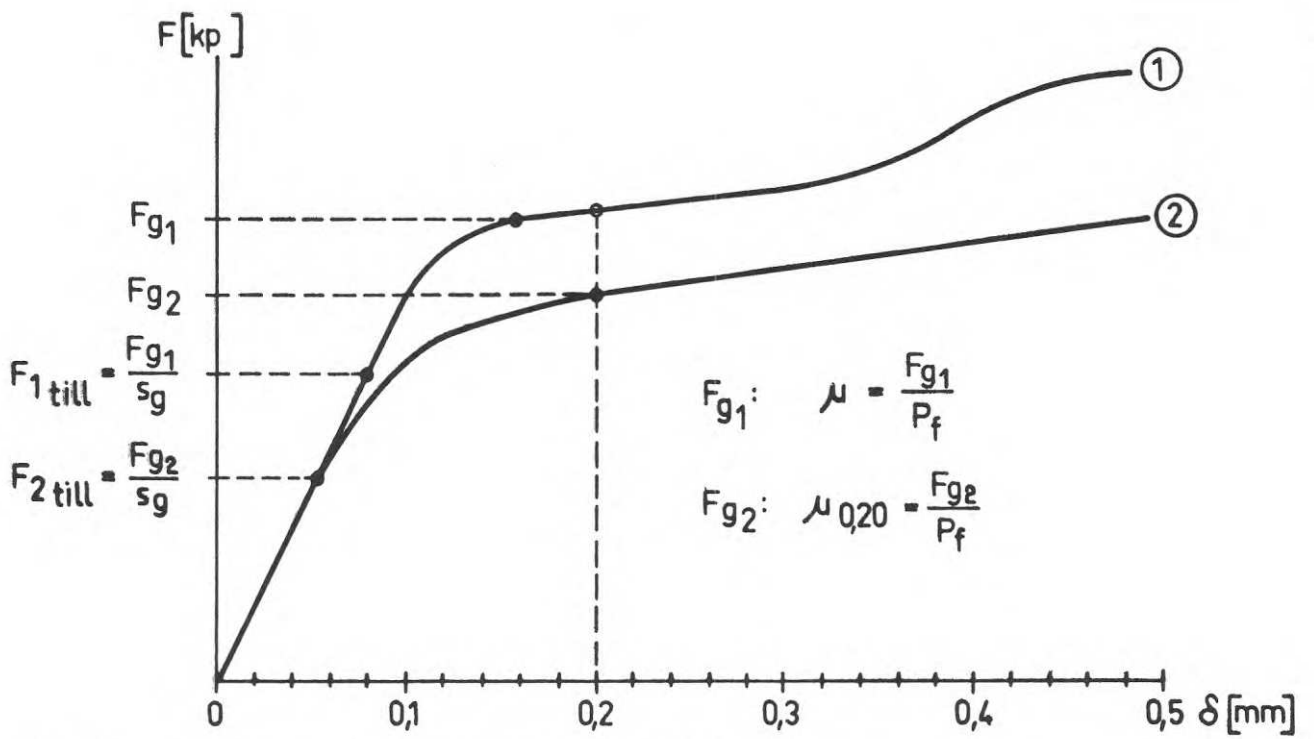


Fig.A25. Principer för bedömning av glidlast.

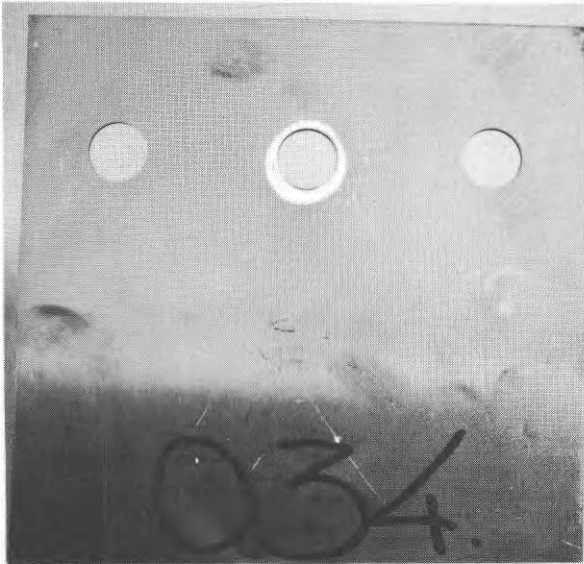


Fig.A26. Utpräglat glidbrott med tydliga slipsår i godset.

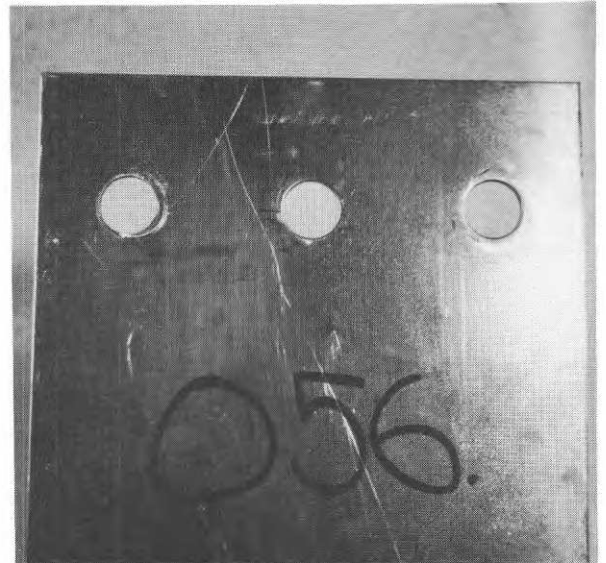


Fig.A27. Utpräglat glidbrott utan tydlig ytnötning.



Fig.A28. Skjuvflytbrott i hålkant.



Fig.A29. Ytskiktsbrott.

Tabell A 3: Obehandlad plåt.

Prov nr	t [mm]	n	$M_v$ [kpm]	$\mu$	$\mu_{0,20}$	Brotttyp	Anm.
26	2	1	20	0,32	0,30	II	
27	2	1	20	0,28	0,26	II + III	
28	2	1	20	0,38	0,37	I	Molykotesmörjning av skruvgångor
55	3	2	20	0,38	0,38	I	
56	3	2	20	0,28	0,28	II	
57	3	2	20	0,29	0,29	II	
103	1	1	20	0,32	0,28	II	
101	1	1	10	0,36	0,35	II	
102	1	1	10	0,38	0,38	II	

Tabell A 4: Plåt med fastsittande rostskikt.

Prov nr	t [mm]	n	$M_v$ [kpm]	$\mu$	$\mu_{0,20}$	Brotttyp	Anm.
113	2	1	20	0,61	0,36	I	Slagartat brott; knall
114	2	1	20	0,61	0,35	I	
115	2	1	27	0,35	0,35	I	



Tabell A5: Sandblästrad yta

Prov nr	t [mm]	n	$M_v$ [kpm]	$\mu$	$\mu_{0,20}$	Brotttyp	Anmärkning
32	2	1	20	0,51	0,51	I	
33	2	1	20	0,46	0,45	I	
34	2	1	20	0,54	0,54	I	
48	2	2	10	0,58	0,58	I	
49	2	1	27	0,49	0,41	II	
50	2	1	27	0,51	0,48	I	
51	2	1	27	0,49	0,48	II	
52	1	1	10	0,55	0,48	II	Efter glidning och avlastning vid förnyad pålastning $\mu_{red} \approx 0,8 \mu_0$
53	1	1	10	0,50	0,50	II	
54	1	1	10	0,56	0,42	II	
58	1	1	10	0,46	0,46	II	
59	3	2	20	0,50	0,50	I	
60	3	2	20	0,53	0,53	II	
61	3	2	20	0,51	0,51	II	
72	2	1	20	0,45	0,44	II	Provning 3 veckor efter åtdragning
73	2	1	20	0,47	0,47	II	
74	2	1	20	0,51	0,50	II	

Tabell A 6: Förzinkad yta med skiktthjocklek 20  $\mu\text{m}$ .

Prov nr	t [mm]	n	$M_v$ [kpm]	$\mu$	$\mu_{0,20}$	Brottyp	Anm.
29	2	1	27	0,24	0,23	I	Sprött zinkskikt
30	2	1	20	0,19	0,18	I	
31	2	1	20	0,23	0,22	I	
45	2	1	20	0,22	0,22	I	
46	2	1	10	0,27	0,27	II	
47	2	2	10	0,24	0,24	II	

Tabell A 7: Förzinkad yta (40  $\mu\text{m}$ ) med sandblästring.

Prov nr	t [mm]	n	$M_v$ [kpm]	$\mu$	$\mu_{0,20}$	Brottyp	Anm.
35	2	3	20	0,32	0,32	II	
36	2	3	20	0,37	0,36	II	
37	2	3	20	0,35	0,35	II + III	
68	2	1	20	0,37	0,37	II	

Tabell A 8: Förzinkad plåt (20  $\mu\text{m}$ ) med plastisolbeläggning (200  $\mu\text{m}$ )

Prov nr	t [mm]	n	$M_v$ [kpm]	$\mu$	$\mu_{0,20}$	Brottyp	Anm.
38	2	2	20	0,17	0,17	IV	Plastisol- skiktet avskjuvat
39	2	2	20	0,26	0,26	IV	
44	2	2	20	0,18	0,16	IV	
62	2	2	20	0,19	0,19	IV	
63	2	1	27	0,15	0,11	IV	

Tabell A 9: Lufttorkande zinkfärg (40 - 80  $\mu\text{m}$ ) på obehandlad plåt.

Prov nr	t [mm]	n	$\bar{M}_v$ [kpm]	$\mu$	$\mu_{0,20}$	Brotttyp	Anm.
75	4	2	27	0,39	0,35	V	
76	4	2	27	0,43	0,39	IV	
77	4	2	27	0,42	0,40	V	
95	4	2	27	0,43	0,38	IV	
108	4	2	27	0,35	0,35	V	

Tabell A 10 - A 15: Målad yta (DYNALON Täcklack)

	Prov nr	t [mm]	n	M <sub>v</sub> [kpm]	μ	μ <sub>0,20</sub>	Brottyp	Anm.
A10	90	4	2	20	0,37	0,26	IV	Lufttorkande
	91	4	2	27	0,30	0,28	IV	"BLÅ"
	92	4	2	27	0,32	0,29	IV	8 - 15 μm
A11	78	4	2	27	0,22	0,22	IV	Lufttorkande
	79	4	2	27	0,25	0,20	IV	"GRÅ"
	80	4	2	27	0,24	0,21	IV	11 - 15 μm
A12	64	4	2	27	0,14	0,14	IV	Ugnslack
	65	4	2	27	0,12	0,12	IV	"GRÅ"
	66	4	2	27	0,15	0,14	IV	23 - 30 μm
A13	81	4	2	15	0,25	0,24	II	Ugnslack
	82	4	2	20	0,20	0,20	II	"GRÅ"
	83	4	2	27	0,18	0,18	IV	med Carborundum 50 - 65 μm
A14	87	4	2	20	0,32	0,31	IV	Ugnslack "BLÅ" 10 - 15 μm
	88	4	2	27	0,27	0,22	IV	
	89	4	2	27	0,20	0,18	IV	
	104	4	2	27	0,34	0,27	IV	
	106	4	2	27	0,26	0,19	IV	
	107	4	2	27	0,30	0,25	V	
A15	84	4	2	20	0,34	0,32	IV	Ugnslack "BLÅ" med Carborundum 40 - 70 μm
	85	4	2	20	0,36	0,34	IV	
	86	4	2	27	0,33	0,33	IV	
	96	4	2	27	0,35	0,31	IV	
	97	4	2	27	0,34	0,28	IV	
	98	4	2	27	0,38	0,33	IV	
	99	4	2	27	0,37	0,25	IV	

En illustration av representativa last-förskjutningskurvor ges i figurerna A 30 - A 34 med avseende på ytbehandlingen, varvid avser fig. A 30: obehandlad plåt

A 31: sandblästrad plåt

A 32: förzinkad plåt

A 33: målningsbehandling med lufttorkande färg

A 34: målningsbehandling med ugnslack

Vidare ges en sammanställning av representativa last-förskjutningssamband för förband med varierande ytbehandling och i övrigt jämförbara parameter ( $t$ ,  $M_v$  och antal skruvar) i fig. A 35 och A 36.

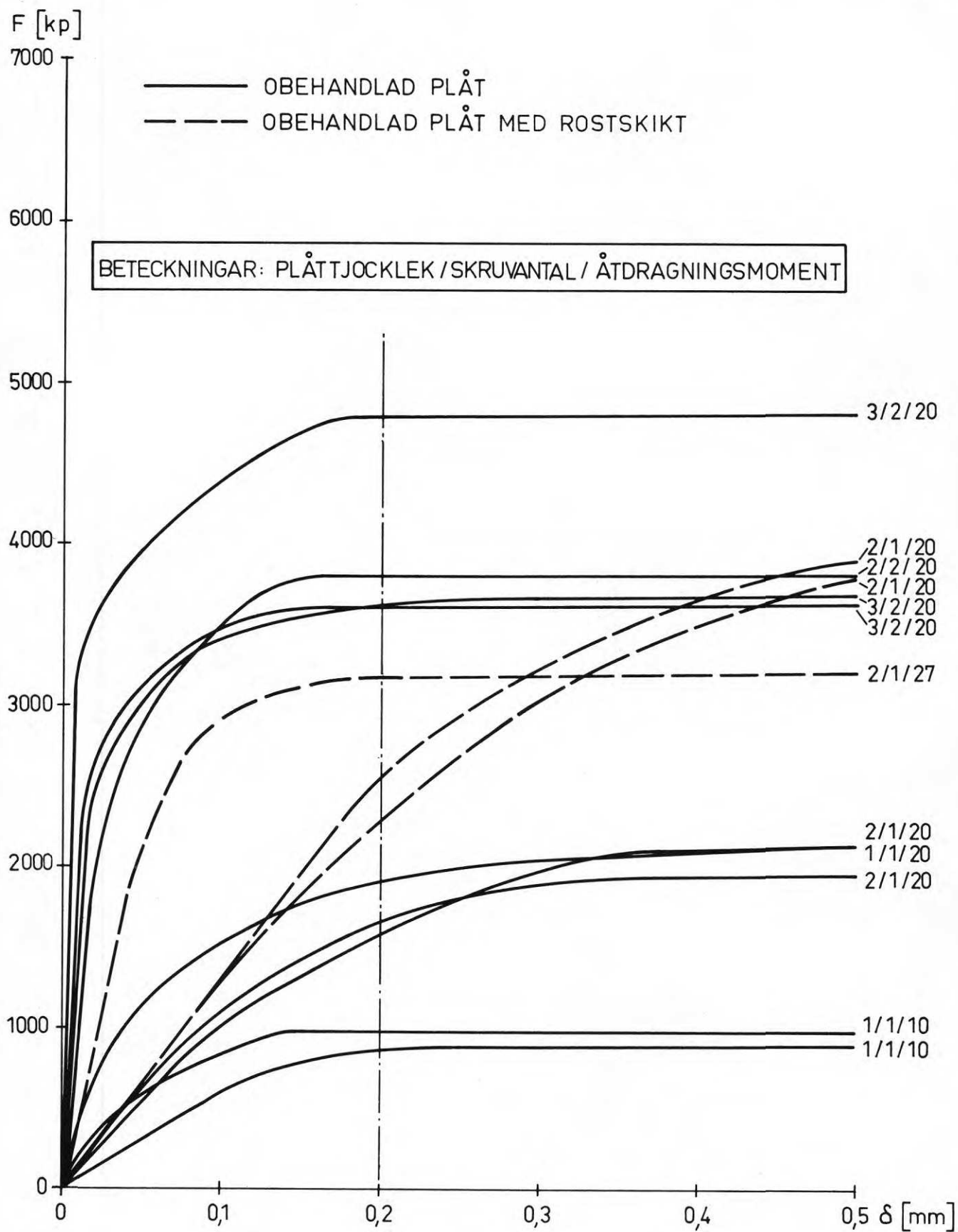


Fig.A30. Last-förskjutningskurvor för obehandlad plåt med och utan rostigt ytskikt.

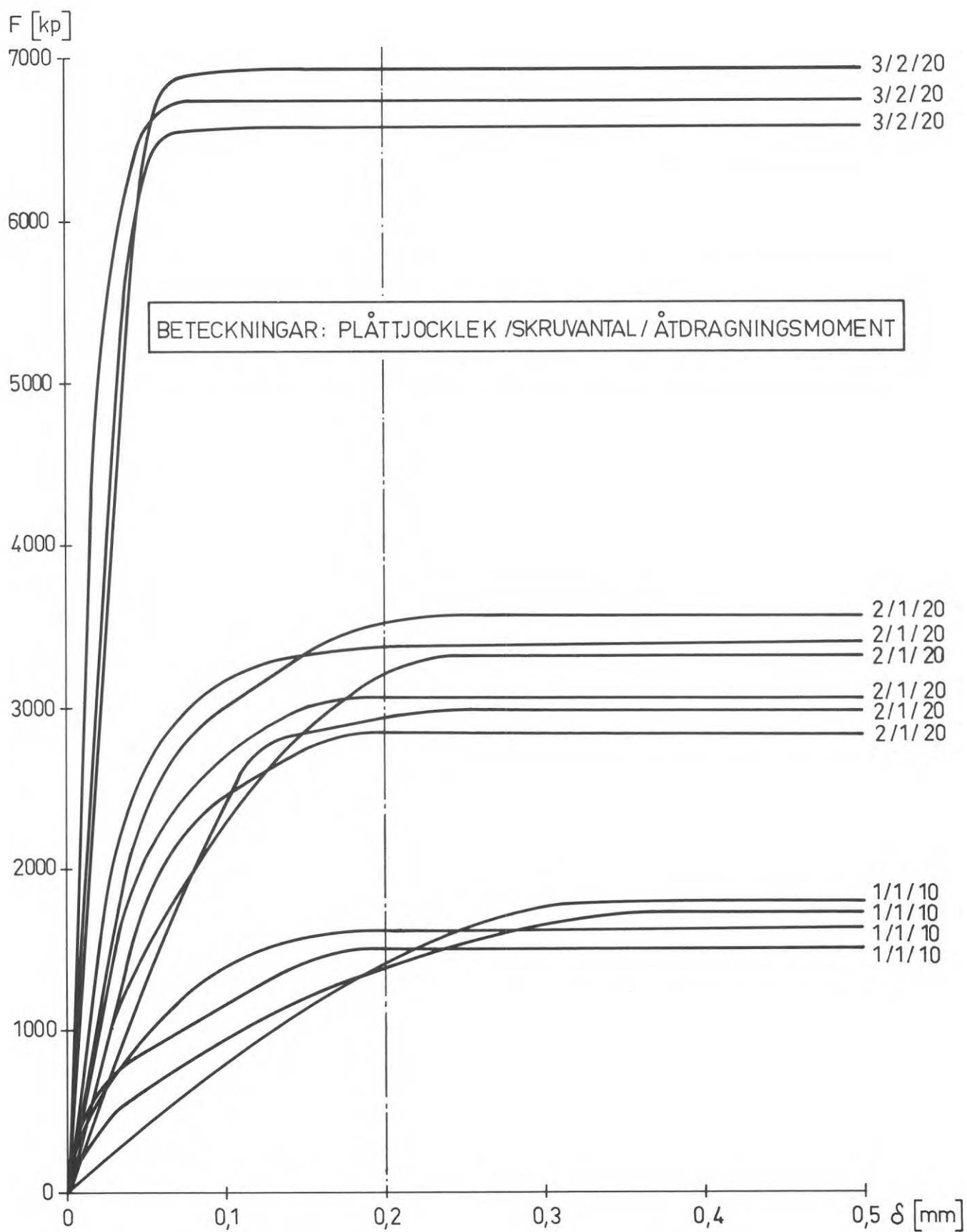


Fig.A31. Last-förskjutningskurvor för sandblästrad plåt.

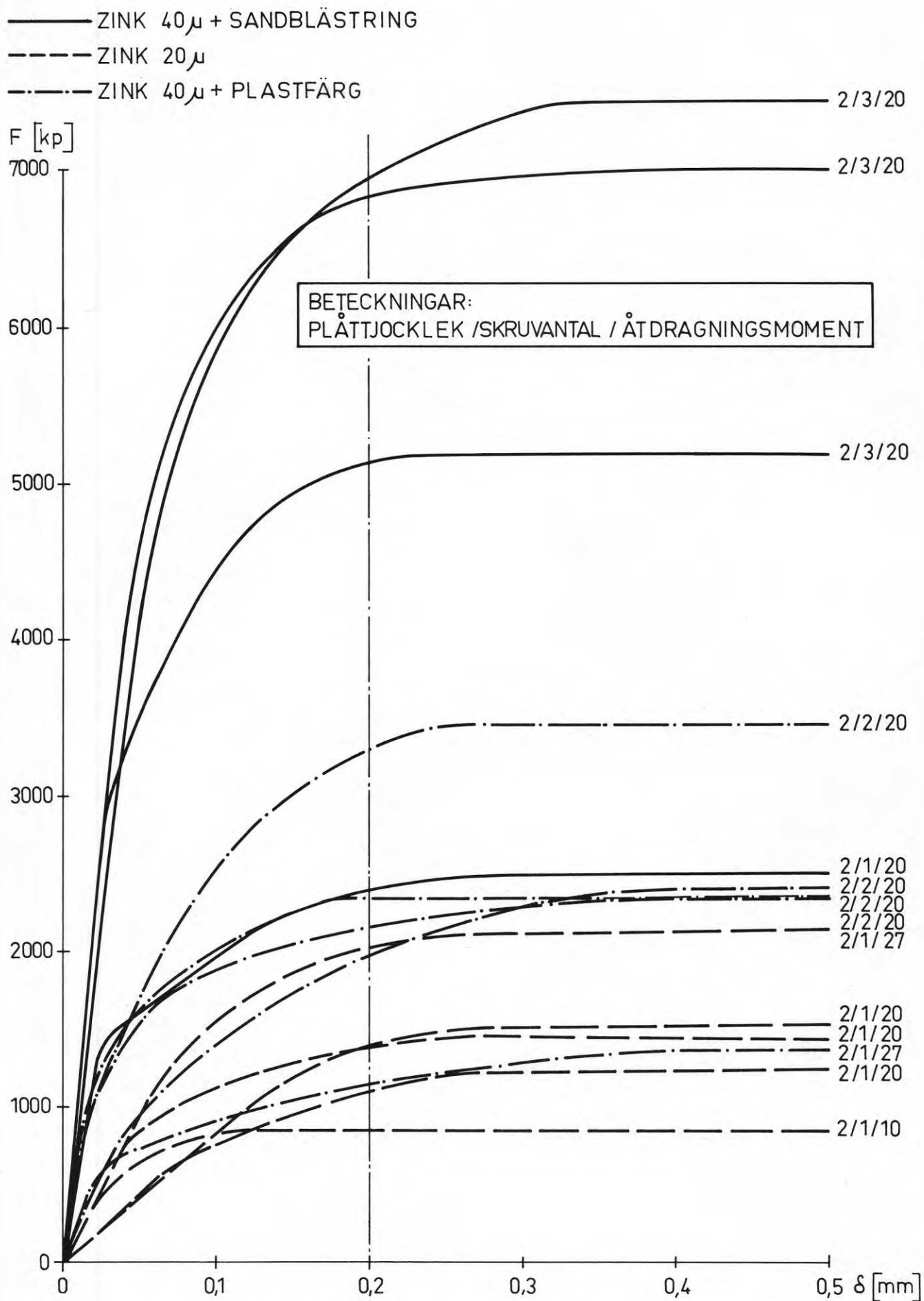


Fig.A32. Last-förskjutningskurvor för förzinkad tunnplåt.



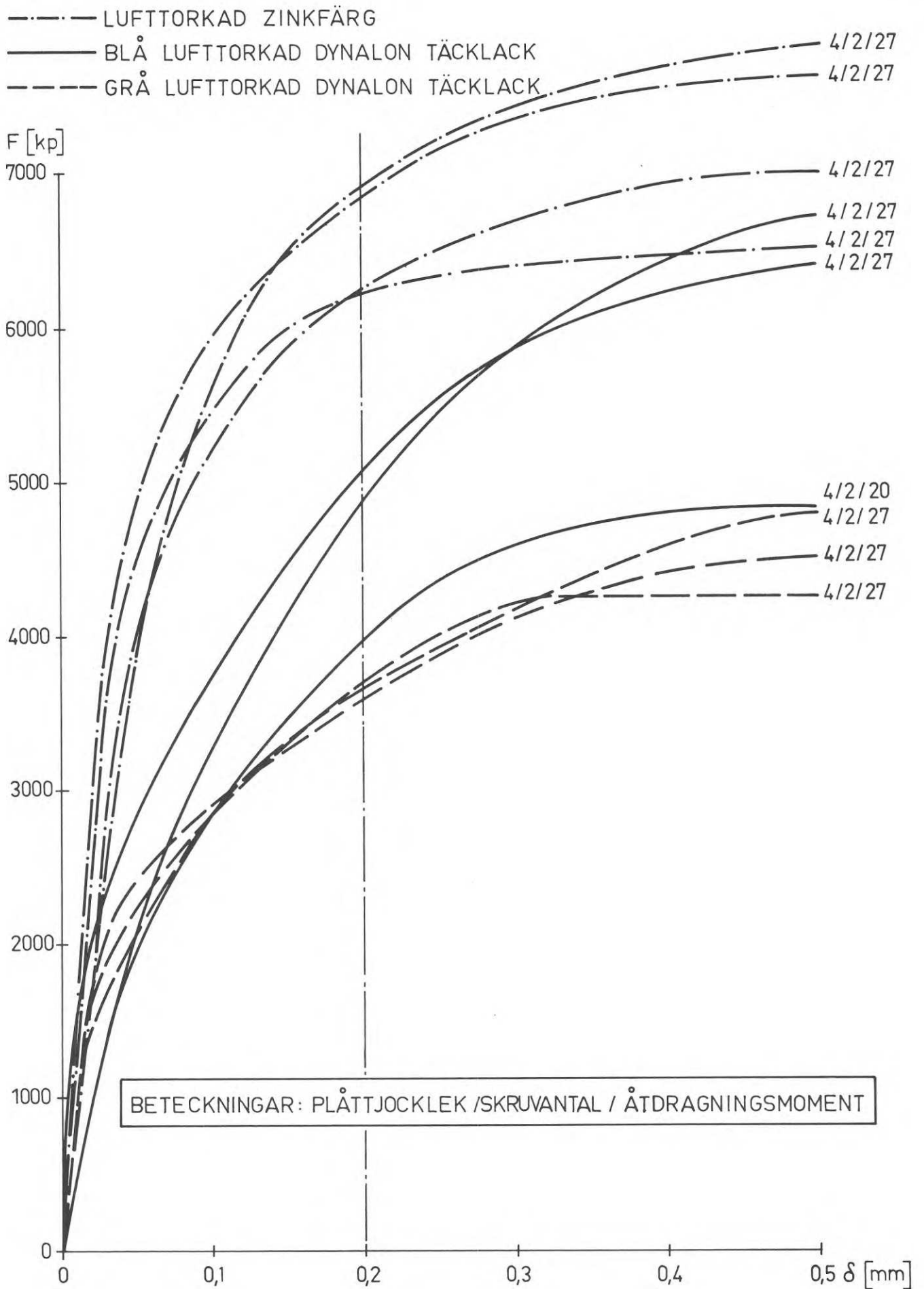


Fig.A33. Last-förskjutningskurvor för målningsbehandlad plåt. Lufttorkad färg.

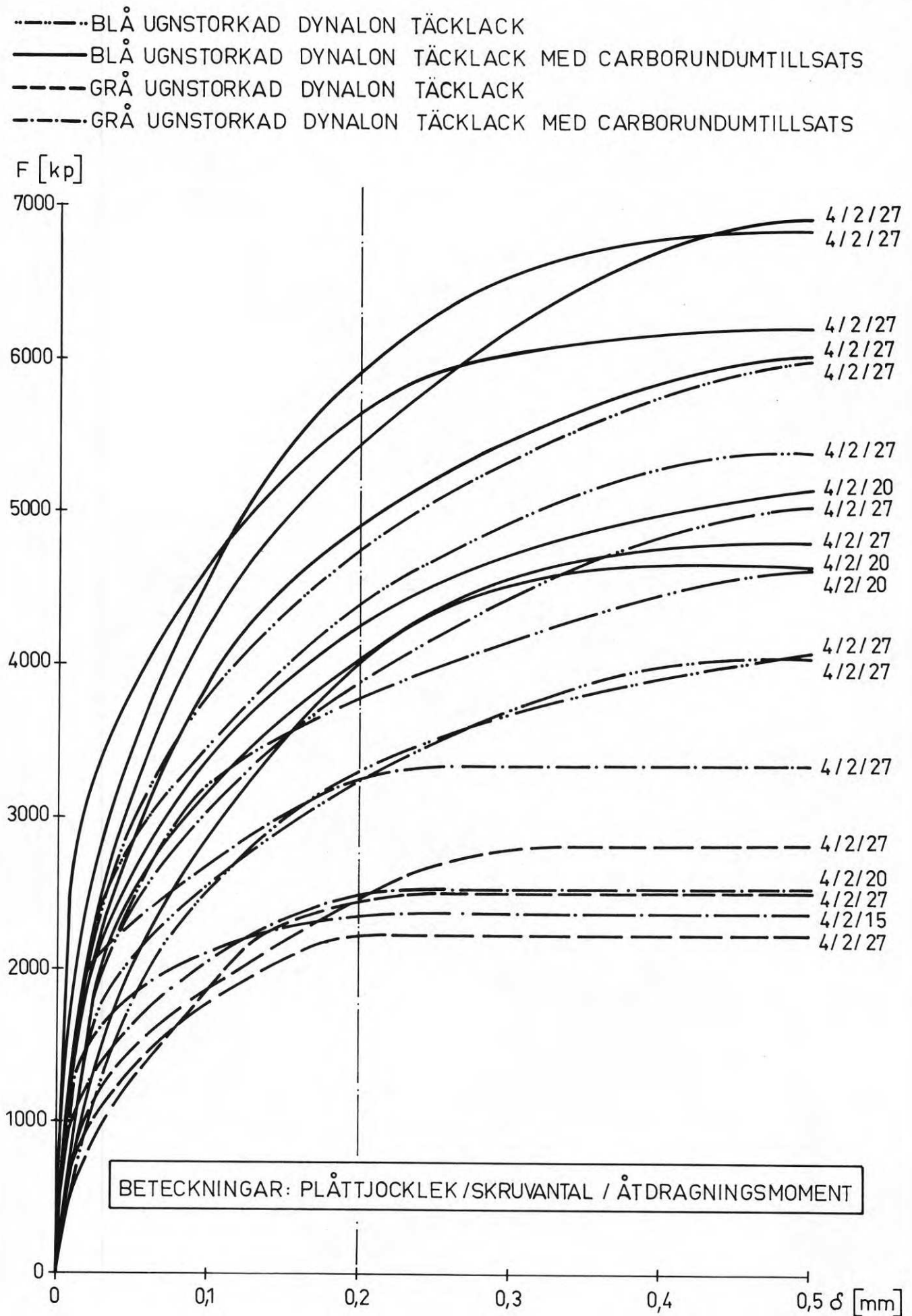


Fig.A34. Last-förskjutningskurvor för målningsbehandlad plåt.  
Ugnstorkad färg.

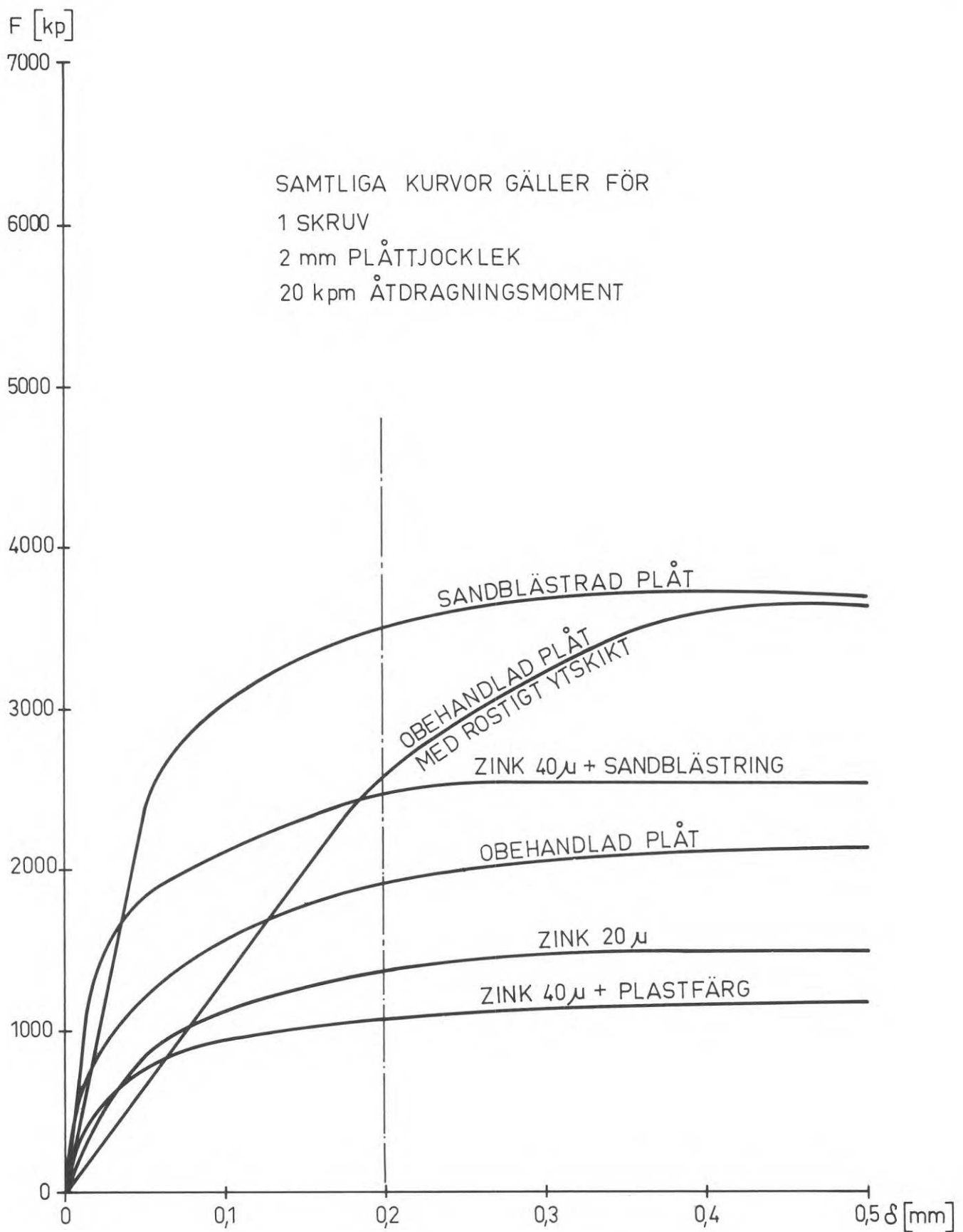


Fig.A35. Representativa last-förskjutningskurvor för olika ytbehandlingar.

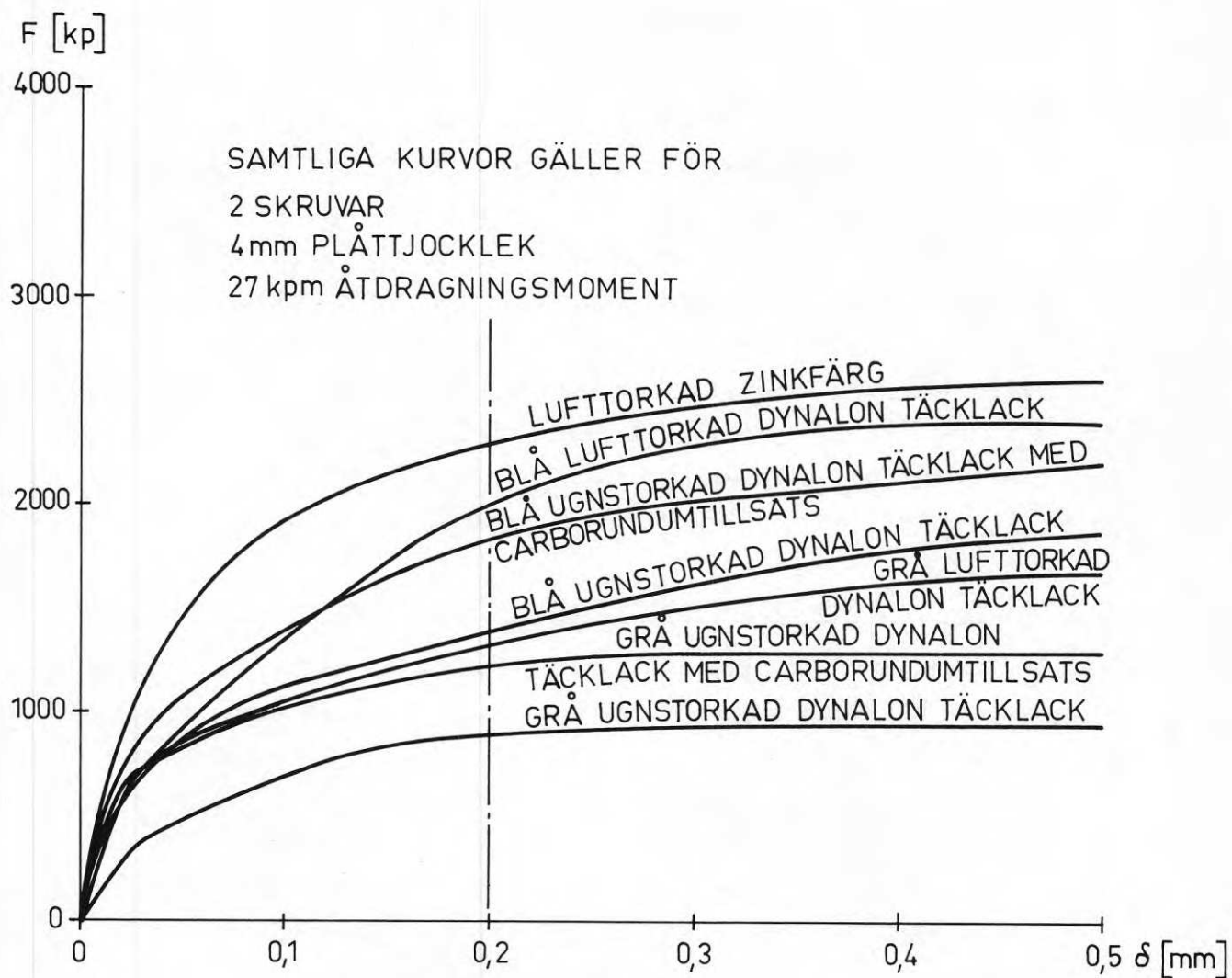


Fig.A36. Representativa last-förskjutningskurvor för olika målningsbehandlings.

#### A4. KOMMENTARER OCH SLUTSATSER

Ovan beskrivna undersökningar rörande friktionsförband aktualiserar några frågeställningar som accentueras med avtagande godstjocklek hos ingående förbandsdelar samt vid små klämlängder. De väsentliga avvikelserna från konventionellt friktionsförband och deras inverkan på förbandets lastupptagande förmåga och beteende i drift belysas här nedan. Det följande avsnittet utgör underlag för i kapitel II A återgivna "Rekommendationer för beräkning, dimensionering, utförande och kontroll av friktionsförband vid tunnväggiga konstruktioner".

##### 4.1 Åtdragningsmoment, förspänningskraft, glidlast och brottlast

Som framgår av ovanstående undersökningar (avsnitt 2.4) bestäms sambandet mellan åtdragningsmoment  $M_v$  och resulterande förspänningskraft  $P_f$  av ansatsen  $M_v = k (d + P) P_f \cdot 10^{-3}$  kpm, där  $k$  är en koefficient som varierar med friktionsmotstånd som under uppspänningen aktiveras i förbandsdelarna. Värdet på  $k$  kan enligt referens [A 11] variera från  $\approx 0,168$  vid anoljade gängor till  $\approx 0,085$  vid vaxade skruvar. Vidare är spridningsmättet på erhållen förspänningskraft ca  $\pm 16$  % vid användning av momentnyckel och ca 23 % vid användning av stående mutterdragare [A 11]. Detta innebär att kraftutbytet  $P_f$  från applicerat åtdragningsmoment kan variera inom relativt vida gränser. Vid punktförsök enligt 3.21 har vid anoljade skruvar (jfr. fig. A 17) erhållit ett samband  $M_v - P_f$  som ligger något under det av BULTEN angivna medelvärdet, innebärande att kraftutbytet  $P_f$  har blivit lägre än väntat. En del av avvikelsen kan bero på att en noggrann avfettning av skruvstammen företogs innan givarna limmades och att den efterföljande anoljningen av gängorna blivit sparsam. Eftersom  $\mu$ -värden bestämts ur sambandet  $\mu = F_g/P_f$  och antaget  $P_f$ -värde motsvarar medelvärdet enligt fig. A 17 kan emellertid antas att beräknade  $\mu$ -värden är mindre och högst lika med verkliga värden. Detta bekräftas exv. av prov 28 (Tabell A3), där skruvgängorna försetts med smörjning av  $\text{MoS}_2$  och där glidlasten vid samma åtdragningsmoment väsentligt kunnat höjas jämfört med anoljade skruvar

För att i praktiken uppnå erforderlig förspänningskraft  $P_f$  fordras att skruvmaterialet är fritt från föroreningar och väl anoljat. Under förutsättning att åtdragningsmomentet väljs så att med hänsyn till aktuellt spridningsmått  $\mathcal{S}$  (jfr. [A 11]) jämförelse-spänningen i skruvmaterialet ( $\sigma_{jfr}$ ) inte överstiger dess sträckgräns, erhålls en av tillämpad åtdragningsmetod beroende lägsta förspänningskraften  $P_{f_{min}} = (1 - \mathcal{S}) \cdot P_{f_{nom}}$ . Den nominella glidlasten  $F_g$  bör därvid refereras till den minsta förspänningskraften  $d v s F_{g_{nom}} = \mu \cdot (1 - \mathcal{S}) \cdot P_{f_{nom}}$ . Mot uppnående av glidlasten stipuleras en säkerhet i form av en lastfaktor, så vald, att deformationer i bruksstadiet är av elastisk karaktär  $d v s$

$$F_{g_{till}} = \frac{1}{s_g} \cdot F_{g_{nom}} \text{ per skruv och skär.}$$

Alternativt och för kontrolländamål kan en bestämning av åtdragningsmomentet  $M_v$  och den resulterande förspänningskraften  $P_f$  ske med utgångspunkt från skruvmaterialets flytstadium. Vid åtdragning över skruvmaterialets sträckgräns deformerar gängorna innebärande att ändrat stigningsmått och en därav följande ökning av skjuvspänningar i förhållande till längsspänningar. Det största Uppnåbara plasticeringsmoment  $M_v^P$  svarar mot uppnående av spänningen  $\sigma_s$  i skruvskaftet. Beteckningar  $M_v^B$  åtdragningsmomentet som medför brott, så gäller att  $M_v^P/M_v^B > \sigma_s/\sigma_B$ . För skruvmaterial D 80 (8.8) är  $\sigma_s \approx 0,8 \sigma_B$ . Åtdragning till  $0,8 M_v^B$  bör således inte medföra genomplasticering av skruvstammen. Skillnaden i åtdragningsmoment mellan begynnande plasticering och fullbordad genomplasticering är ca 3 kpm.

Med utgångspunkt från detta samband innebär en maximering av åtdragningsmomentet till  $M_v = 0,8 M_v^B - 3$  [kpm] att skruvmaterialet inte i någon del uppnått sträckgränsen.

Ett utnyttjande av det beskrivna förfarandet förutsätter att värdet på  $M_v^B$  utgör det för det aktuella skruvpartiet lägsta vridbrottmomentet.

På grund av att  $M_v^B$  kan bestämmas på arbetsplatsen och med beaktande av aktuella förbandsparametrar utgör brottförsöket en rimlig utgångspunkt för bestämning av lämpligt åtdragningsmoment, varpå  $P_f$  kan bestämmas på samma sätt som ovan.

Av intresse är också att jämföra förbandens lastupptagande förmåga i glidbrottstadiet med motsvarande hållkantryckspänningar. Vid förzinkad och plastisolbelagd yta svarar hållkantryckspänningen vid glidbrott mot ca 90 % av materialets dragbrotthållfasthet. Denna spänning svarar exv. vid 2 mm plåttjocklek mot ca 1300 kp per 5/8" skruv. Jämförelse med aktuella glidlastvärden vid exv. sandblästrad yta som är av storleksordning 3200 per skruv ger ett jämförelsevärde  $\sigma_H \approx 100 \text{ kp/mm}^2 \approx 2,8 \sigma_B$ . Det vid konventionellt friktionsförband aktuella kravet, att förbandet skall kontrollberäknas för hållkantryck med innehållande av maximala spänningar om ca 1,25-faldig brotthållfasthet, ger vid tunnplåtkonstruktioner en relativ kraftig begränsning av förbandets lastupptagande förmåga vid ytbehandling av typen sandblästring, medan vid ytbehandlingar med lägre friktionskoefficient begränsningen är mindre påtaglig.

#### 4.2 Förbandets formstabilitet

Vid försökens genomförande observerades olika typer av forminstabilitet som i vissa fall försvårade en tolkning av mätvärdena. Till grund för bedömningen av deformationsbeteendet ligger i huvudsak mätresultaten från mätklockorna i bultlinjen, där forminstabiliteten ha varit minst besvärande.

Tre problemställningar är direkt hänförliga till förbandsdelarnas ringa styvhet och accentueras också med avtagande godstjocklek.

Under inverkan av förspänningskraften råder höga tryckspänningar i begränsade delar av kontaktplanet, vilket kan medföra

- en deformation av hållkanterna vid ocentrerade hål (jfr. 3.23)
- en lokal och eventuellt tidsberoende plasticering i friktionsplanet
- en kastning av förbandsdelarna mellan bultarna och i plåtkanten.

Medan den först nämnda effekt inte medför någon nedsättning av förbandets lastupptagande förmåga kan den lokala plasticeringen medföra en negativ effekt. Detta framgår exv. av figur A 31 vid jämförelse mellan glidlasterna för åtdragningsmoment om  $M_V = 10 \text{ kpm}$

resp. 20 kpm. Medelvärden för friktionskoefficienterna för resp. åtdragningsmoment har bestämts till  $\mu_{(10)} \approx 0,53$  och  $\mu_{(20)} \approx 0,49$  (jfr. tabell A5). Försökens ringa omfattning medger inte en närmare analys, men fenomenet bör observeras vid användning av skruvar med högre hållfasthet. Även tidsberoendet av sättningar och den därav resulterande minskning av förspänningskraften är f n inte åtkomligt för en analys. Försök med tre provkroppar, där belastningen påfördes tre veckor efter uppspänningen, tyder på en nedsättning av glidlasten. Provningsresultaten återges i tabell A5, varvid  $M_v = 20$  kpm och  $\mu_{\text{medel}} \approx 0,47$ , vilket bör jämföras med medelvärden för motsvarande åtdragningsmoment  $\mu_{\text{medel}} \approx 0,51$ . Skillnaden motsvarar en sänkning av glidlasten med ca 8 %, jämfört med resultat av provning direkt efter uppspänning. Det förefaller skäligt att i avvaktan på systematiska studier av sättningsproblemet beakta effekten av tidsberoende sättningar vid bestämning av tillåten belastning.

Det tredje fenomenet (kastningar) orsakas av dels de koncentrerade tvärspänningarna av förspänningen, dels spänningskoncentrationen till friktionsytorna vid längsbelastning samt dels - vid enskärigt förband - av den excentriska kraftöverföringen. Sist nämnda fenomenet är kvantitativt avgörande.

Kraftspelet i ett enkelt överlappsförband med belastning  $F$  enligt fig. A 37 karakteriseras av ett kraftflöde  $F_1 = \mu \cdot P_f$  från plåt till plåt och  $F_2$  från plåtens utsida via brickor och skruvstam till den andra plåtens utsida. Av fig. A 38 framgår skruvens deformation.



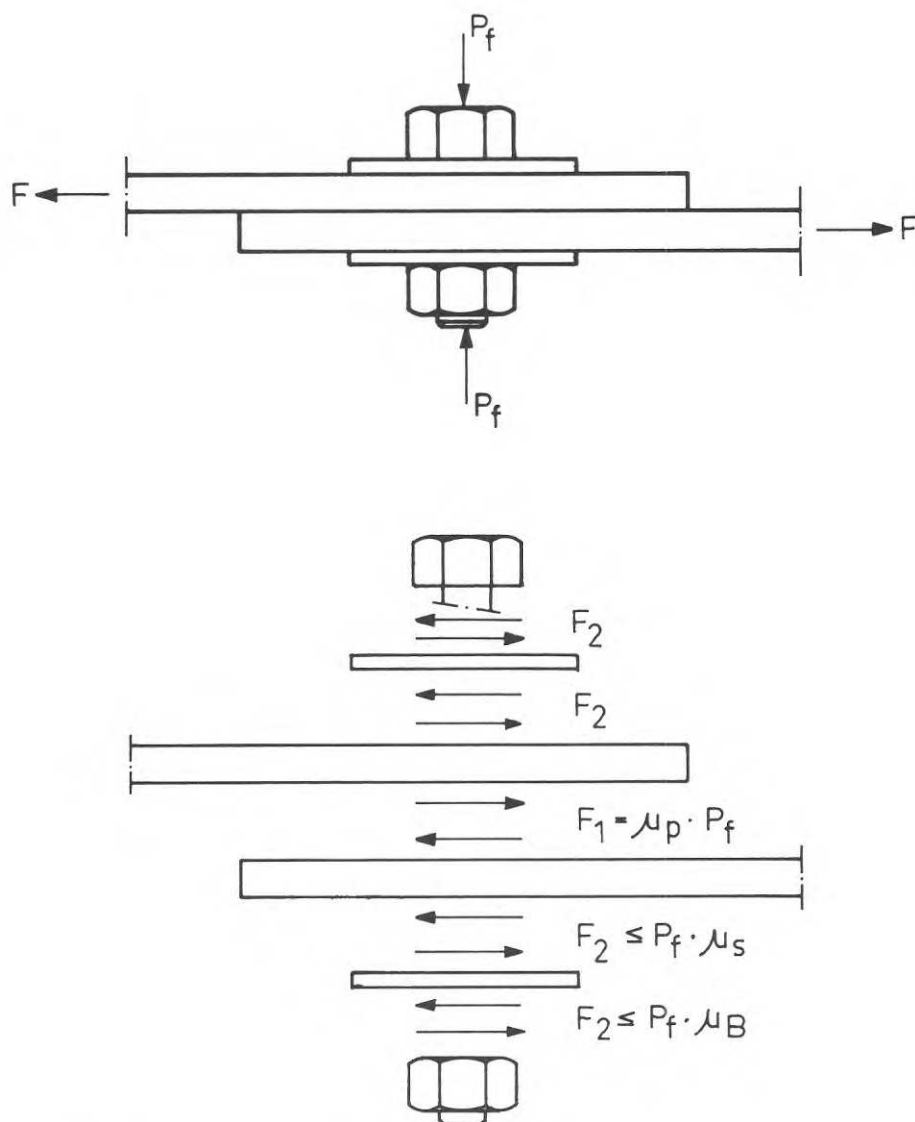


Fig.A37. Kraftspel vid enskärigt friktionsförband.

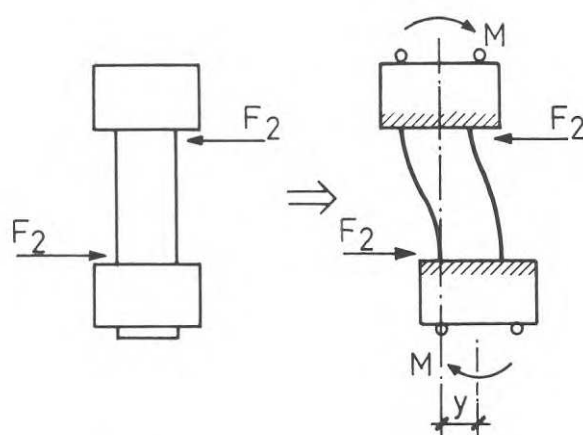


Fig.A38. Deformation av skruvskaft vid excentriskt kraftangrepp.

Den senare kraftandelen ( $F_2$ ) bestäms av friktionskoefficienterna  $\mu_s$  mellan plåt och bricka,  $\mu_B$  mellan bricka och skruvskalle resp. mutter samt skruvstammens styvhet mot translation. Skruvstammens styvhet är härvid beroende av spänningstillståndet på grund av applicerat åtdragningsmoment. Vid kort klämlängd och uppspanning till värden  $\sigma_{jfr} < \sigma_s$  i skruvstammen bestäms kraftandelen  $F_2$  i huvudsak av friktionskoefficienterna  $\mu_s$  och  $\mu_B$ . Dessa är av storleksordningen  $\approx 0,1 - 0,3$ , beroende på ytskikt och smörjning. Med utgångspunkt från  $\mu_s = \mu_B \approx 0,2$  och  $M_v = 20$  kpm erhålls vid aktuella förbandskaraktäristika och sandblästrad yta approximativt  $F_1 \approx 2F_2$  med en övre gräns  $F_{2(max)} \approx 1200$  kp, vilket ger en glidlast  $F_g = F_1 + F_2 \approx 3600$  kp. Friktionskoefficienten blir därvid  $\mu = F_g/P_f = 3600/6400 \approx 0,56$ , vilket ger hyfsad överensstämmelse med försöksresultatet.

Härav följer att lastöverföringen vid enkelt överlappsförband sker via två skär, varvid kraftöverföringen via bricka och skruvstam blir beroende av korresponderande friktionsmotstånd samt skruvstammens styvhet i uppspant och böjmomentpåverkat stadium. Vid försök med enkelt överlappsförband erhållna  $\mu$ -värden bör generellt vara mindre eller högst lika med  $\mu$ -värden, erhållna vid försök med "tvåskärigt" förband eftersom friktionsmotstånden  $\mu_s$  och  $\mu_B$  är lägre än eller högst av samma storleksordning som aktuella ytskiktens  $\mu$ -värden. För att ej begränsa försöksresultatens användning till "enskariga" förband har samtliga friktionskoefficienter som anges som tillämpbara reducerats med 25 %.

De i fig. A 37 angivna krafterna  $F_1$  och  $F_2$  ( $F_1 > F_2$ ) orsakar ett moment som böjer plåten ur dess belastningsplan. Momentet kan även orsaka att glidlasten nedsättes genom lokal flytning av plåten i kontaktytan. Plåtens utböjning kan i vissa fall förstärkas med en slutlig trattbildning enligt fig. A5 som följd. Vid förband, där stabiliteten skall garanteras och där risk för inträngning av vatten eller föroreningar i förbandet måste befaras, bör ansträngningen i förbandet begränsas till belastningsnivån, som i försöken återspeglas av ett linjärt samband mellan last och deformation  $d$  v s val av tillåten belastning bör ske med hänsyn till formstabiliteten.

### 4.3 Dimensionerande friktionskoefficienter

Av skäl som tidigare anfördes (jfr. 4.1) bestämdes  $\mu$ -värden som förhållandet mellan i försök uppmätt glidlast  $F_g$  och medelvärden av förspänningskraften  $P_f$ . Vid bedömning av acceptabla (normerande)  $\mu$ -värden tas hänsyn till förbandens beteende,  $\mu$ -värdens spridning och en deformationsbegränsning  $\delta = 0,2$  mm. Vidare jämförs föreslagna  $\mu$ -värden med motsvarande i litteraturen angivna värden.

#### 4.31 Obehandlad plåt (jfr. tabell A3 och A4)

Försöken omfattade 12 prov med plåttjocklekar 1, 2 och 3 mm, varav 9 prov var valsblanka och 3 utsatta för en accelererad rostning.

Genomgående ligger  $\mu_{0,20}$ -värden som begränsar deformationen till  $\delta = 0,20$  mm lägre än maximalvärden  $\mu$  som karakteriserar glidprocessen. Medelvärden för obehandlad plåt har erhållits till  $\mu^* \approx 0,33$  och  $\mu_{0,20}^* = 0,32$  med ett toleransområde  $0,28 \leq \mu_{0,20} \leq 0,38$ . Standardavvikelsen är  $s \approx 0,05$ . Medtages endast  $\mu$ -värden svarande mot  $M_v = 20$  kpm som dimensionerande åtdragningsmoment och begränsas urvalet till anoljade skruvar är  $\mu_{0,20}^* = 0,28$  med  $\mu_{0,20} = 0,26$  som lägsta värde. I litteraturen angivna värden (jfr. 2.1) är 0,30 och 0,29. Med hänsyn tagen till i praktiken ofrånkomliga föroreningar vid valsblank yta, som även vid föreskriven avfettning måste påräknas, föreslås här en tillämpbar friktionskoefficient om  $\mu = 0,18$ . Detta värde motsvarar en glidlast, som med 10 % understiger den av WINTER [A3] angivna för obehandlat material.

Vid prov med rostigt material har något högre friktionskoefficienter  $\mu_{0,20}$  erhållits (tabell A4). Med hänsyn till att friktionsmotståndet i hög grad är beroende av rostskiktets beskaffenhet, är det tveksamt om den friktionshöjande effekten av rostskiktet får tillgodoräknas. Om inte annat påvisas bör därför  $\mu$ -värdet för valsblankt material tillämpas.

#### 4.32 Sandblästrad plåt (jfr. tabell A5)

Försöken omfattar 17 prov med plåttjocklekar 1, 2 och 3 mm. Blästringsgraden motsvarade Sa 3. Utesluts proven med åtdragningsmoment  $M_v < 20$  kpm samt långtidsproven erhålls som medelvärden och toleransområden

$$\mu^* \approx 0,51 \quad 0,45 \leq \mu \leq 0,57$$

$$\mu_{0,20}^* \approx 0,50 \quad 0,41 \leq \mu_{0,20} \leq 0,59$$

Motsvarande värden anges i litteraturen [A1 ( $\mu = 0,49$ )] och vid konventionella friktionsförband tillämpas inom här aktuell hållfasthetsklass  $\mu = 0,50$ . Med hänsyn tagen till ovan behandlade speciella problem vad gäller formstabiliteten föreslås här att ett värde lägre än den undre toleransgränsen för  $\mu_{0,20}$  utgör en dimensioneringsgrund d v s  $\mu \approx 0,35$ .

#### 4.33 Förzinkad yta med zinktjocklek 20 $\mu\text{m}$ (tabell A6)

Medelvärden av friktionskoefficienten har vid 4 prov med  $M_v \geq 20$  kpm erhållits till

$$\mu^* = 0,22 \quad \text{med} \quad 0,19 \leq \mu \leq 0,24$$

$$\mu_{0,20}^* = 0,21 \quad \text{med} \quad 0,18 \leq \mu_{0,20} \leq 0,23$$

Enligt ref. [A2] har för varmförzinkat material som medelvärde av 10 försök erhållits  $\mu_{0,25} = 0,23$  och i ref. [A3] angiven glidlast svarar mot  $\mu \approx 0,17$ .

Med beaktande av toleransområdet föreslås här  $\mu = 0,13$ .

Eftersom  $\mu$ -värdet vid bandförzinkat material inte påtagligt är beroende av zinktjockleken kan rekommenderat värde anses vara tillämpligt även vid zinkbeläggning upp till 40  $\mu\text{m}$ .

#### 4.34 Förzinkad plåt efter sandblästring (tabell A7)

Sandblästring av plåt med förzinkad yta medför ökad friktionskoefficient. Ökningen av  $\mu$ -värdet gentemot förzinkad yta motsvarar dock normalt inte  $\mu$ -värden vid sandblästrad, obehandlad plåt. Medelvärden av 4 prov har bestämts till

$$\mu^* = 0,35 \quad 0,32 \leq \mu \leq 0,37$$

$$\mu_{0,20}^* = 0,35 \quad 0,32 \leq \mu_{0,20} \leq 0,37$$

Som dimensioneringsgrundande friktionskoefficient föreslås  $\mu = 0,25$ .

#### 4.35 Förzinkad yta med beläggning av plastisol (200 $\mu\text{m}$ ) (tabell A8)

Brottförsöken tyder på att glidningen inleds genom att det relativt tjocka färgskiktet lossnar från zinkskiktet. Erhållna  $\mu$ -värden variera inom relativt vida gränser ( $0,11 \leq \mu_{0,20} \leq 0,27$ ). Ett utnyttjande av klämeffekten vid bedömning av bärförmågan bör inte tillåtas.

#### 4.36 Ytbehandling med lufttorkande zinkfärg (tabell A9)

Här aktuell behandlingstyp tilldrar sig speciellt intresse vid plåttjocklekar, där bandförzinkning av tekniska skäl inte kan utföras. Ytbehandlingens goda friktionsegenskaper styrks av uppgifter i litteraturen (t.ex. [A2]).

Vid i tabell A9 återgivna 5 försöksresultat har följande medelvärden och toleransområden erhållits:

$$\mu^* \approx 0,40 \quad \text{med} \quad 0,35 \leq \mu \leq 0,43$$

$$\mu_{0,20}^* \approx 0,37 \quad \text{med} \quad 0,35 \leq \mu_{0,20} \leq 0,40$$

Friktionskoefficienten föreslås motsvara den vid förzinkning med efterföljande sandblästring valda d v s  $\mu = 0,25$ .

#### 4.37 Plåt med målningsbehandling av luft- eller ugnstorkande lackfärger (tabell A 10 - A 15)

Redovisade undersökningsresultat indikerar att friktionskoefficienten kraftigt varierar med färgtypen och torkningsförfarandet, samt att genom speciella tillsatsmaterial (exv. Carborundum) i vissa fall relativt höga friktionskoefficienter kan erhållas.

Utnyttjandet av klämeffekten för att öka förbandets styvhet kan vara berättigat, men generella regler för dimensionering av friktionsförband kan inte stipuleras med utgångspunkt från här redovisade resultat. Utnyttjandet av klämeffekten med avseende på bärförmågan bör grundas på provningar med aktuell och specificerad färgtyp samt aktuell skiktjocklek.

#### 4.4 Synpunkter på bestämning av tillåten last

Vid friktionsförband med inom konventionell stålbyggnad aktuell godstjocklek begränsas den tillåtna tvärlasten per skär till  $F_{\text{till}} = \frac{1}{s_g} F_g$ , varvid lastfaktorn - beroende av konstruktionsklass och belastningsfall för statisk belastning varierar mellan 1,5 och 1,3. Dessutom fordras en spänningskontroll med avseende på aktuellt hållkantryck, varvid påvisas att  $\sigma_H \leq 1,25 \sigma_B$  för plåtmaterial.

För friktionsförband av tunnplåt bör av praktiska skäl gälla liknande dimensioneringsregler.

Enligt ovanstående bör vid bestämning av glidlasten tas hänsyn till spridningen av förspänningskraften, varvid

$$P_{f_{\text{min}}} = (1 - \delta) P_{f_{\text{nom}}}$$

med  $P_{f_{\text{nom}}}$  bestämd ur sambandet  $P_{f_{\text{nom}}} = \frac{M_v}{k(d + P)} \cdot 10^3$  [kp].

Enligt ref. [A 11] är spridningsmättet  $\delta = 16\%$  för anoljade skruvar och korrektionsfaktorn  $k = 0,168$ . Med hänsyn till innehållande av jämförelsespänningen i skruvstammen  $\sigma_{jfr} \leq \sigma_s$  anges maximala åtdragningsmoment för skruvar i hållfasthetsklass 8.8 (D80) med UNC-gänga i ref. [A 11].

Därvid gäller i tabell A 16 återgivna samband.

Skruvdiam.	$M_v$ [kpm]	$P_{f_{nom}}$ [kp]	$P_{f_{min}}$ [kp]
1/2"	10,1	4.100	3.350
5/8"	19,9	6.550	5.500
3/4"	35,0	9.650	8.100
7/8"	51,3	12.000	10.100

Tabell A 16: Data för skruvar med UNC-gänga i hållfasthetsklass 8.8

Med hänsyn till kravet att förbandets beteende i drift vid  $s_g$ -faldig brukslast i huvudsak skall vara elastiskt, bör en korrektion av glidlasten, beräknad med utgångspunkt från

$$F_g = \mu \cdot P_{f_{min}} = \mu \cdot (1 - \mathcal{S}) P_{f_{nom}} \text{ utföras, så att}$$

$$F_{till} = \frac{1}{s_g} \cdot \Psi \cdot \gamma \cdot \mu \cdot P_{f_{min}} = \frac{1}{s_g} \cdot \Psi \cdot \gamma \cdot \mu \cdot \frac{1}{1 - \mathcal{S}} \cdot P_{f_{nom}}$$

Korrektionsfaktorn avser sättningar som sker efter förbandets montering. Sättningsproblemet diskuteras i kap. 2.3.

En uppfattning om erforderligt värde på korrektionsfaktorn  $\Psi$  ges figur A 39, som visar sambandet mellan försöksvärdena  $F/F_g$  och formändringen  $\mathcal{S}$ . (jfr. fig. A 35). Med utgångspunkt från detta föreslås korrektionsfaktorn  $\Psi = 0,8$ . Det bör påpekas att denna korrektion inte betingas av säkerhetsskäl utan i syfte att garantera elastiskt formändringsbeteende.

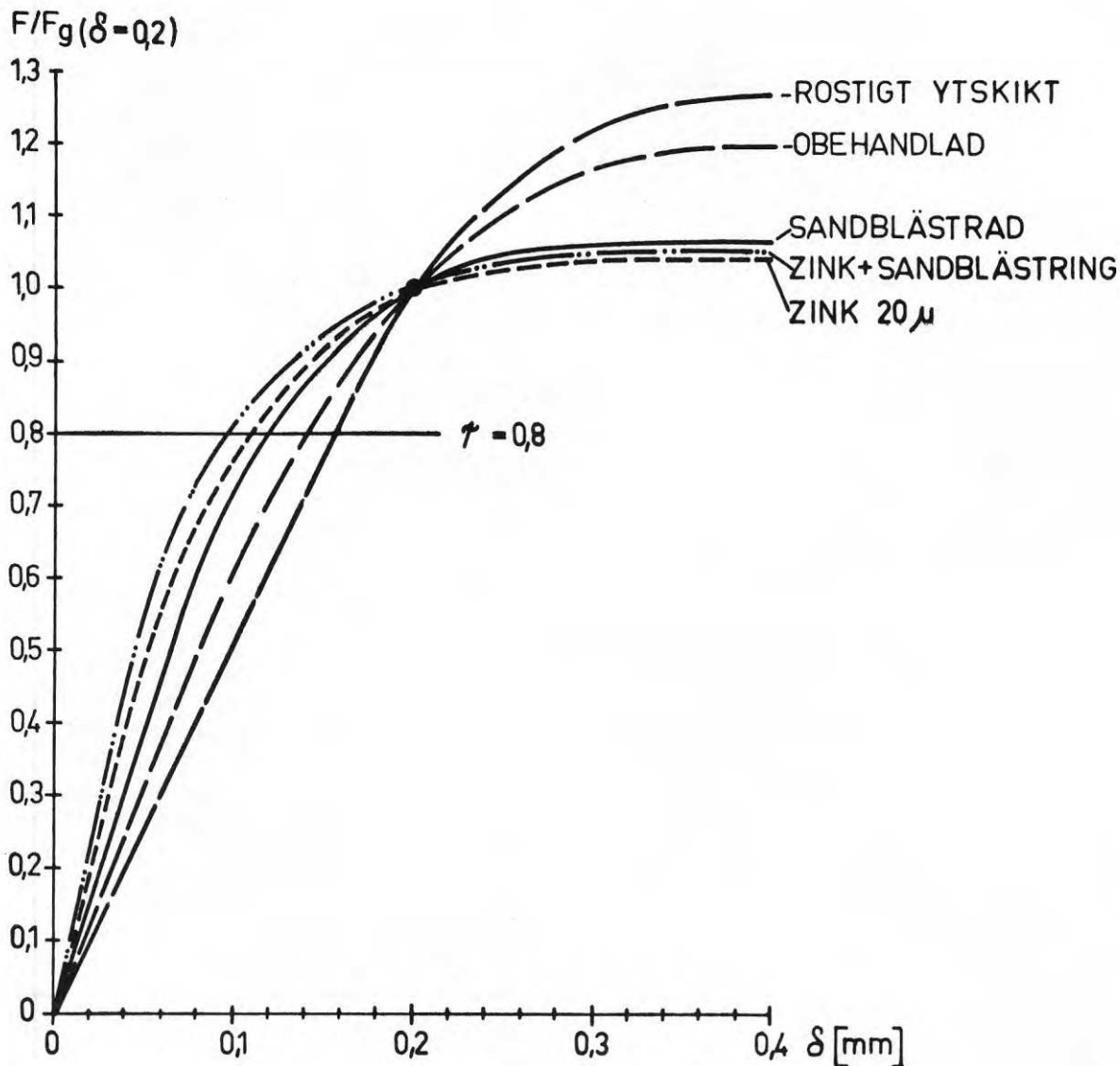


Fig.A39. Samband mellan  $F/F_g(\delta = 0,2)$  och förskjutningen  $\delta$  enligt Fig. A35.

Införes sedan en ordinarie lastfaktor  $s_g$  i enlighet med anvisningarna för konventionella friktionsförband, erhålls för vanligt belastningsfall med  $s_g = 1,5$  en säkerhet mot glidning i förbandet som med avseende på nominella glidlastens medelvärde blir

$$s_g^* = s_g \cdot \frac{1}{\psi} \cdot \frac{1}{\gamma} \cdot \frac{1}{1 - \delta} = 1,5 \cdot \frac{1}{0,8} \cdot \frac{1}{0,9} \cdot \frac{1}{0,84} \approx \\ \approx 1,5 \cdot 1,65 = 2,5$$

Säkerhetsfaktorn inkluderar således en glidlastfaktor  $s_g$ , en korrektionsfaktor  $\psi$  m.h.t. förbandets beteende i drift, en sättningsfaktor  $\gamma$ , samt en korrektionsfaktor  $(1 - \delta)$  som beaktar spridningen i förspänningskraften till följd av åtdragningsförfarandet och friktion i gängorna.



Aktuellt värde  $s_g$  svarar mot säkerhetskravet för förbindningar i tunnväggiga konstruktioner enligt AISI-normen [A5].

Utgångspunkt för dimensioneringen är därmed  $M_v$  och  $P_{f_{nom}}$  samt glidlasten  $F_g = 0,8 \cdot 0,9 \cdot \mu \cdot (1 - \mathcal{J}) P_{f_{nom}}$  och lastfaktorn  $s_g$ , varmed den praktiska tillämpningen ansluter till dimensioneringen av konventionellt friktionsförband.

Dimensionering med hänsyn till hållkantryck med gränsvärden om

$$\sigma_H \approx 1,25 \sigma_B \text{ blir aktuell om}$$

$$F_{till} > 1,25 \cdot \sigma_B \cdot d \cdot t$$

$$d \text{ v s om plåttjockleken } t < \mu \cdot \frac{0,9 \cdot 0,8 P_{f_{min}}}{s_g \cdot 1,25 \cdot \sigma_B \cdot d}.$$

Ungefärliga gränsvärden för  $t$  anges i tabell A 17 ( $s_g = 1,5$ ).

Skruvdiam.	$P_{f_{min}}$ [kp]	$t_{min}$ [mm]							
		$\sigma_B = 37 \text{ kp/mm}^2$				$\sigma_B = 50 \text{ kp/mm}^2$			
		$\mu=0,15$	0,20	0,30	0,40	$\mu=0,15$	0,20	0,30	0,40
1/2"	3.450	0,5	0,5	0,8	1,1	0,4	0,5	0,6	0,8
5/8"	5.500	0,5	0,7	1,1	1,4	0,5	0,5	0,8	1,1
3/4"	8.100	0,6	0,9	1,4	1,8	0,5	0,6	1,0	1,4
7/8"	10.100	0,7	1,0	1,4	1,9	0,5	0,7	1,1	1,4

Tabell A 17: Gränsvärden  $t_{min}$  vid dimensionering mot glidning.

Eftersom tjockleksområdet varierar mellan 0,5 och 4 mm d v s ett område som inte täcks av gällande stålbyggnadsnormer är ovan angiven - alternativa - dimensioneringsgrund av speciellt intresse vid tunnplåtförband.

Förutom här behandlade anvisningar måste även övriga brottfenomen beaktas. Enligt avsnitt 2.2 förekommer vid tunnväggiga konstruktioner i huvudsak fyra brottyper (jfr. fig. A6).

Brottyp I enligt fig. A6 har aktualitet vid små randavstånd. Sättes en undre gräns för avståndet mellan skruvhåls centrum och plåtkanten till  $2,5 d$ , är brottlasten för avskärning av plåten i 2 parallella linjer approximativt

$$P_{\text{brott}} \approx 0,7 \sigma_s \cdot (2te) = 3,5 \sigma_s \cdot td$$

Nämnda förhållande gäller vid icke- förspända skruvar. Vid friktionsförband kan emellertid brottet ej ske utmed två parallella linjer på avståndet  $d$  förrän glidning inträffar. Antas en brottlinje med ogynnsammast tänkbara läge, vilket svarar mot en cirkel längs den bakre hålkanten, erhålls en approximativ ökning av brottlasten med

$$\Delta P \approx 1,6 \sigma_s \cdot d \cdot t$$

$$d \text{ v s } \Sigma P_{\text{brott}} \approx (3,5 + 1,6) \sigma_s \cdot t \cdot d = 5,1 \sigma_s \cdot t \cdot d \text{ [kp]}$$

$$t, d \text{ i [mm]; } \sigma_s \text{ [kp/mm}^2\text{]}$$

Beroende av skruvdiametern  $d$  erhålls därmed i den lägsta hållfasthetsklassen ( $\sigma_s = 22 \text{ kp/mm}^2$ ) i tabell A 18 angivna gränsvärden för brottlast resp. tillåten last ( $P_{\text{brott}}/2,2$ ).

Skruvdiam.	$d$ [mm]	$P_{\text{brott}}$ [kp]	$P_{\text{till}}$ [kp]	$F_{\text{till}}$ [kp]	* 1 $P_{\text{till}}$ $s = 2,5d$ [kp]	* 2 $P_{\text{till}}$ $s = 3,5d$ [kp]
1/2"	12,6	1410t	640t	580	420t	590t
5/8"	15,9	1780t	810t	920	530t	740t
3/4"	19,0	2130t	970t	1360	630t	890t
7/8"	22,2	2490t	1130t	1700	740t	1040t

**Tabell A 18:** Samband mellan tillåtna belastningar m.h.t. brotttyp I ( $P_{\text{till}}$ ), glidning ( $F_{\text{till}}$ ) och brotttyp III ( $P_{\text{till}}^*$ ).

En jämförelse mellan tillåten tvärlast, baserad på glidning i förbandet ( $\mu = 0,35$ ), med tillåten last enligt brotttyp I visar att inom området  $t \approx 0,9 - 1,5$  här behandlad brotttyp blir dimensionerande.

Problemet bör dock ses i kombination med brotttyp III enligt avsnitt A 2.2, där tillåten spänning i plättvärsnittet begränsar utnyttjandegraden. Vid friktionsförband gäller härvid plåtytan utan hålavdrag.

Antas i enlighet med AISI-normen att tillåten spänning i grundmaterial begränsas till  $\sigma = \sigma_s/1,65$  gäller vid sträckgränsvärdet  $\sigma_s = 22 \text{ kp/mm}^2$  och under förutsättning att inbördesavståndet ( $s$ ) mellan två skruvar är 2,5 - 3,5 ggr skruvdiametern, följande samband för maximal tvärlast.

$$P_{\text{till}}^* \leq \frac{\sigma_s}{1,65} \cdot t \cdot s = \begin{cases} \frac{\sigma_s}{1,65} \cdot t \cdot 2,5d & (s = 2,5d) \\ \frac{\sigma_s}{1,65} \cdot t \cdot 3,5d & (s = 3,5d) \end{cases}$$

$$\leq F_{\text{till}} \text{ m.h.t. glidning}$$

Motsvarande värden  $P_{\text{till}}^*$  är införda i tabell A 18.

Jämförelser mellan brottkriterier visar att

- innehållandet av tillåten spänning  $\sigma_s/1,65$  i plättvärsnittet utesluter kravet på en redovisning av säkerhet mot brotttyp I
- friktionsförbandets lastupptagande förmåga begränsas av tillåten last med avseende på glidning, hållkantryck eller materialets hållfasthet ( $\sigma_s$ ).

Brottyp II enligt avsnitt 2.2 täcks av ovanstående behandling av hållkantrycket, brotttyp IV (skjuvbrott i skruvstammen är inte aktuell vid här behandlade skruvmaterial och diameter.

#### 4.5 Allmänna kommentarer till användning av friktionsförband i tunnväggiga konstruktioner

Av ovanstående undersökningar framgår att den tillåtna belastningen vid friktionsförband med tunnplåt inom tjockleksområdet  $0,5 \leq t < 4 \text{ mm}$  bestäms av sambanden

$$F_{till} = \begin{cases} \frac{1}{s_g} \cdot \frac{\mu \cdot P_{f_{nom}}}{1,65} & (A) \\ 1,25 \cdot \sigma_B \cdot t \cdot d & (B) \\ \frac{\sigma_s}{1,65} \cdot s \cdot t & (C) \end{cases} \quad (s = \text{skruvavstånd} = 2,5d - 3,5d)$$

varvid det lägsta värdet  $F_{till}$  är dimensionerande.

En utvärdering av sambanden visar att utnyttjandegraden av förbandets lastupptagande förmåga med avseende på friktionsmotståndet avtar med minskande plåttjocklek och vid konstant plåttjocklek med ökande skruvdiameter. Förhållandet belyses i fig. A 40.

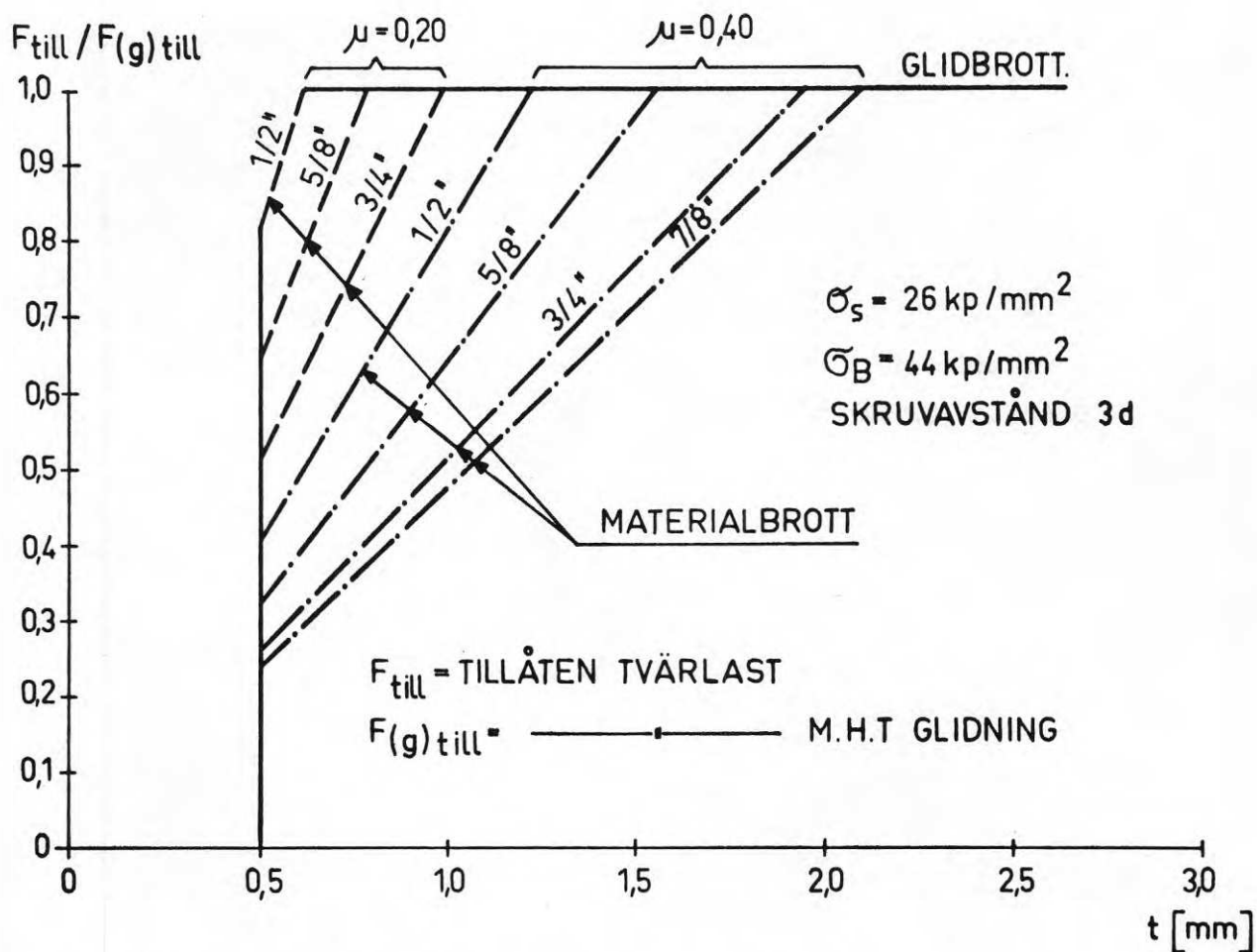


Fig.A40. Samband mellan utnyttjandegrad av friktionsförband och plåttjocklek resp. skruvdiameter vid enskärigt överlappsförband.

Beträffande dimensioneringskraven B och C enligt ovanstående kan nämnas att vid  $s = 3d$  materialhållfastheten enligt villkor C blir dimensionerande om  $\sigma_s/\sigma_B \leq 0,7$ . I annat fall blir hålkanttrycket avgörande.

Det i fig. A 40 redovisade sambandet indikerar, att utnyttjandegraden för friktionsmotståndet är starkt beroende av plåttjocklek, skruvdiameter och friktionsmotståndet.

Fördelen med friktionsförband vid tunnplåtkonstruktioner torde framförallt ligga i att förbandets styvhet kan ökas i jämförelse med konventionellt skruvförband, eftersom ett innehållande av passningskravet motsvarande skruvclass S 2 ofta är omöjligt av praktiska skäl. Det bör dock beaktas att vissa deformationer i förbandsområdet kan uppträda redan vid åtdragning av skruvarna. Detta fenomen accentueras med avtagande godstjocklek. Sådana initialdeformationer kan elimineras genom användning av styva täckplåtar. Användningen av friktionsförband torde i huvudsak vara aktuellt om relativt stora krafter skall upptas inom ett begränsat område. I andra fall torde användningen av icke - konventionella skruv-, nit- eller svetsförband enligt nedanstående vara att föredra.

## A5. LITTERATUR

- 1 Vaserhelyi, D. "Bolted Joints", Proc. ASCE, ST3, March, 1959.  
Vasishth, U.C - Lu, Z.A. - Vaserhelyi, D. Eight Progress Report  
"A Study of the Nominal Coefficient of Friction in Structural  
Steel Joints Fastened by High Tensile Bolts", University of  
Washington, June 1957.
- 2 Brookhart, G. m.fl. "Surface Treatment of High-Strength Bolted  
Joints", Proc. ASCE, ST3, March 1968.
- 3 Winter, G. "Light Gage Steel Connections with High-Strength,  
High Torgued Bolts", IVBH. Publ. Int Assoc. Bridge and Struct.  
Vol 16, 1956.
- 4 Winter, G. "Tests on Bolted Connections in Light Gage Steel",  
Proc. ASCE, ST2, March 1956.
- 5 Light Gage Cold Formed Steel Design Manual, AISI, 1962.
- 6 Cullimore, M.S.G. "The Strength of Friction-grip Bolted Joints  
in Thin Sheet Material". Thin Walled Steel Structures,  
Crisby Lockwood and Son, 1969.
- 7 Junker, G. "Flächenpressung unter Schraubenköpfen", Der  
Maschinenmarkt nr. 38, 1961.
- 8 Junger, G. "Sicherung von Schraubenverbindungen durch Erhaltung  
der Vorspannung", Draht-Welt, Düsseldorf, nr 10, 1961.
- 9 Bultens Handbok BH 67, Sandströms Tryckeri, 1967.
- 10 Specialhäfte H 11 till Stålbyggnadsnormer, Arbetshandling 1969.
- 11 Kübler, H. "Åtdragningsmomentets beräkning", SKRUV 2, 1967.
- 12 Steinhardt, O. u. Möhler, K.: Versuche zur Anwendung vorgespannter  
Schrauben im Stahlbau, I. Teil. Berichte des Deutschen Ausschusses  
für Stahlbau, H. 18, Köln 1954.
- 13 Steinhardt, O. u. Möhler, K.: Versuche zur Anwendung vorgespannter  
Schrauben im Stahlbau, II. Teil. Berichte des Deutschen Ausschusses  
für Stahlbau, H. 22, Köln 1959.
- 14 Steinhardt, O. u. Möhler, K.: Versuche zur Anwendung vorgespannter  
Schrauben im Stahlbau. III. Teil. Berichte des Deutschen Ausschusses  
für Stahlbau, H. 24, Köln 1962.
- 15 Steinhardt, O. - Möhler, K. u. Valtinat, G.: Versuche zur Anwendung  
vorgespannter Schrauben im Stahlbau, IV. Teil. Berichte des Deutschen  
Ausschusses für Stahlbau, H. 18, Köln 1969.

A6. BETECKNINGAR

$F$	= tvärlast (= last som överföres i friktionsplanet)	[kp]
$F_g$	= glidlast	[kp]
$F_{till}$	= med hänsyn till friktionsmotstånd tillåten tvärlast	[kp]
$P$	= annan tvärlast än den som överföres via friktion	[kp]
$P_{till}$	= med beaktande av säkerhetsfaktor tillåten tvärlast $P$	[kp]
$P_f$	= förspänningskraft	[kp]
$M_v$	= åtdragningsmoment	[kpm]
$L_k$	= klämlängd	[mm]
$d$	= skruvdiameter	[mm]
$e$	= randavstånd	[mm]
$s$	= plåtbredd per skruv	[mm]
$k$	= korrektionsfaktor för beräkning av $M_v$	[-]
$m$	= antal skär i förbandet	
$n$	= antal skruvar i förbandet	
$s_g$	= lastfaktor	
$t$	= plåttjocklek	[mm]
$S$	= förlängning	[mm]
$\sigma_s$	= sträckgränsspänning	[kp/mm <sup>2</sup> ]
$\sigma_B$	= dragbrottsspänning	"
$\sigma_H$	= hålskanttrycksspänning	"
$\sigma_{HB}$	= hålskanttrycksspänning vid brott	"
$\tau_s$	= skjuvhållfasthet	"
$\mu$	= friktionskoefficient	
$\mu_{0,20}$	= friktionskoefficient svarande mot en förskjutning $S = 0,2$ mm	
$\mu^*(\mu_{0,20}^*)$	= medelvärde av $\mu$ ( $\mu_{0,20}$ )	

Anm.: I ansatsen för  $M_v$  förekommer uttrycket  $(d + P)$  enligt ref. [A 11]. I detta fall betecknar  $P$  gängstigningen i mm.

## B. NITFÖRBAND

### B1. INLEDNING

Med nitning avses här förbindningsmetoder, där nithuvudet utbildas och nitskaftet deformeras i kallt tillstånd. Under förutsättning att det stukade nitskaftet väl fyller nithålet sker kraftöverföringen mellan förbandselementen via hållkantryck och skjuvspänningar i nitskaftet.

Konventionell kallnitning av solida nitar, rör- och hålnitar utföres vanligen med pneumatisk, elektrisk eller hydraulisk nitpress. Denna teknik är tillämplig om arbetsstycket är åtkomligt från två sidor och används huvudsakligen vid verkstadsmässig serietillverkning.

Vid fogning på arbetsplatsen tillämpas i huvudsak blindnitförbanden som karakteriseras av att nitarna kan anbringas av endast en person och att frånsidan inte behöver vara åtkomlig. Blindnitförbandet används därför i stor utsträckning till hopfogning av ytbärverk såsom tak och väggar av profilerad plåt eller plåtkassetter. Blindnitning utföres i allmänhet med hand-, tryckluft- eller hydrauldrivna specialverktyg, varvid stukhuvudet utbildas genom ett deformationsdorn som är bundet till verktyget eller niten.

Syftet med nedan refererade undersökningar har varit att kvalitativt och kvantitativt kartlägga blindnitförbandets beteende i bruks- och brottlaststadiet samt utarbeta distinkta dimensioneringsregler.

Undersökningarna omfattar förband sammansatta av tunna jämntjocka plåtar med godstjocklekar mellan 0,7 och 2,0 mm samt sådana med en kombination av tunna och grövre förbandsdelar. Vidare varieras hållfasthetsegenskaper, nitdiameter och antalet nitar i förbandet. Parallellt undersökes förband av stål- och aluminiumplåt.

Undersökningarna utmynnar i beräkningsföreskrifter avseende förbandets lastupptagande förmåga samt i ett förslag till skälig säkerhetsnivå som garanterar förbandets funktionsstabilitet i drift.



## B2. AKTUELLA NITTYPER OCH NITMATERIAL

Den följande presentationen av olika nittyper och nitmaterial är av översiktlig karaktär och behandlar till sin största del blindnitar. Följande uppdelning har gjorts;

1. Konventionella nittyper.
2. Icke- konventionella nittyper.

Till den första gruppen hör främst nitar som kräver åtkomlighet från förbandets båda sidor och som för stukningen erfordrar relativt stora presskrafter.

Till den andra gruppen hör olika typer av blindnitar. Typerna skiljer sig främst från varandra i fråga om principen för själva stukningen.

Utöver redovisade nittyper finns ett antal marknadsförda varianter som i princip bör kunna inordnas i denna översikt.

1. Konventionella nittyper.
  - Grupp A. Solida nitar
  - Grupp B. Hålnitar
  - Grupp C. Några speciella nittyper.

### Kortfattad beskrivning av nittyperna

- a) Nitar enligt Grupp A finns som svensk standard i ett flertal olika utföranden. Skillnaderna dem emellan är att hänföra till formen på sätt- och sluthuvud. Några olika utformningar på sätt- och sluthuvud som medger utnyttjande av de dimensioneringsregler som anges i kap. 5 framgår av fig. B1.

Nitarna fordrar för stukningen avsevärda presskrafter. En 6 mm:s stål nit fordrar för stukning till platt huvud en presskraft på  $\sim 4,7$  Mp och till kullrigt huvud  $\sim 9,4$  Mp.

Stukningen utförs med tryckklufthammare, pressar eller nittänger.

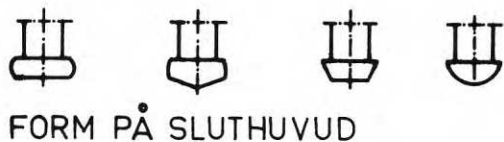


Fig.B1. Olika former på ostukad nit och sluthuvud för solid nit.

- b) Nitar enligt Grupp B skiljer sig från föregående grupp, om niten betraktas i ostukat tillstånd, främst genom att skaftet försetts med ett borrarat hål. Hålet gör att avsevärt lägre presskrafter erfordras för stukningen. Några olika utföranden framgår av fig. B2.

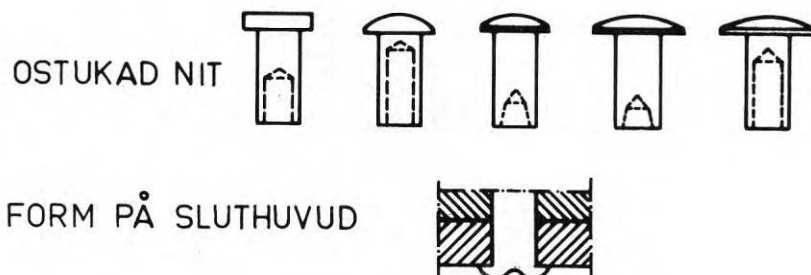


Fig.B2. Olika former på ostukad nit och sluthuvud för hålnit.

En 6 mm:s nit i stål fordrar vid stukningen en presskraft om  $\sim 2,5$  Mp. Den jämfört med solid nit låga erforderliga presskraften gör att lättare och snabbare verktyg än för Grupp A kan användas vid stukningen.

- c) Nitar inom Grupp C har vuxit fram ur de traditionella typerna i Grupp A - B genom strävan att kraftigt sänka den erforderliga stukkraften med bibehållen skjuvhållfasthet. Resultatet har blivit ganska dyra nitar men med kravet på enkel montering tillgodosett. Några olika typer framgår av fig. B3.

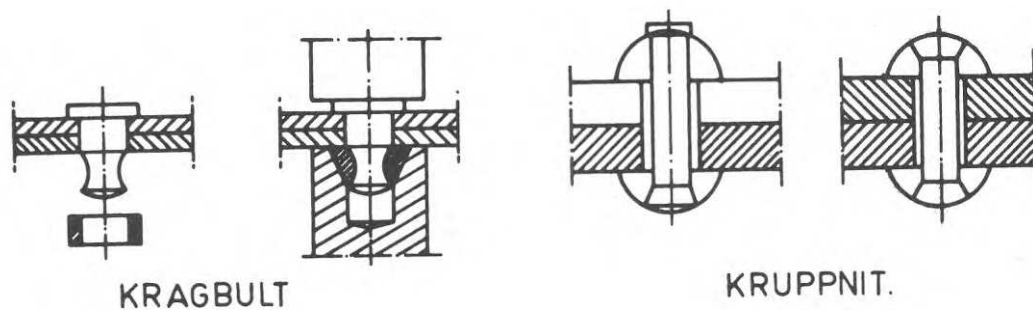


Fig.B3. Några speciella nitar.

"Kragniten" tillverkas av stål med  $\tau_B \approx 55 \text{ kp/mm}^2$ . Nithålen måste, genom att skaftet inte expanderar vid stukningen, borras och brotschas till avsedd diameter.

Stukningen utföres med nitpress eller tryckluftthammare.

"Lockbolt" tillverkas av härdat stål eller höghållfast aluminiumlegering. Stukningen sker med ett tryckluftdrivet specialverktyg.

## 2. Icke- konventionella nittyper.

Grupp A: Stukhuvudet bildas genom att ett dorn eller en splint drages genom det rörformade skaftet.

1. Stukning med genomdragsdorn
2. Stukning med brottanvisad splint (kort splintrest)
3. Stukning med brottanvisad splint (lång splintrest)
4. Stukning med brottanvisad splint och låsring
5. Stukning med gängad splint och ett från det rörformade skaftet frigjort stukhuvud.

Grupp B: Stukhuvudet bildas genom att ett dorn eller ett stift trycks genom det rörformade skaftet.

Grupp C: Stukhuvudet bildas genom att en i den rörformade delen innesluten sprängladdning detonerar.

Kortfattad beskrivning av nittyperna

- a) Nitar enligt Grupp A1 sitter på ett dorn när de placeras i det borrhålet. Det rörformade skaftet har liten innerdiameter och dornet är försett med ett huvud. Stukhuvudet bildas när dornet drages genom skaftet. Principen framgår av fig. B4. För att öka skjuvhållfastheten och göra niten tät placeras ett stift efter stukningen inuti skaftet.

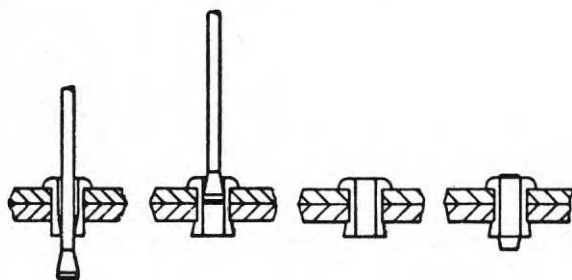


Fig. B4. Chobert nit.

En mycket god utfyllnad av nithålet uppnås vid dessa nitar, medan fogdelarnas sammanpressning är mindre god. Nitarna förekommer i aluminium och stukas med manuella eller tryckluftsdrivna verktyg som även kan ha automatisk frammatning.

- b) Nitar enligt Grupp A2 stukas med en splint, som i stukningens sista skede drages av. Splintresten kan efter stukningen falla bort eller utgöra en del av stukhuvudet. Fig. B5 - B7 visar några olika typer. Materialet i nitskaftet i fig. B5 deformeras under stukningen betydligt mindre än i nitarna i fig. B6 - B7. Det är för sådana nitar möjligt att använda material med hög hållfasthet vilket medför en god skjuvhållfasthet. Hållfasthetsökningen sker emellertid ofta på bekostnad av materialets duktilitet med risk för dålig utfyllnad av nithålet som följd.

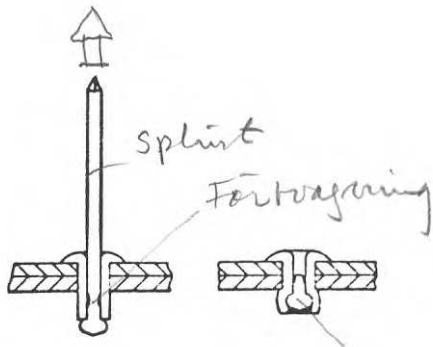


Fig.B5. Pop-nit.

FIG D5.3.1-1

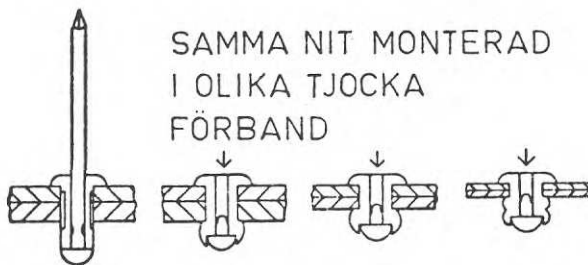


Fig.B6. Avex-nit.

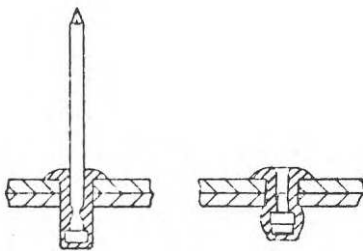


Fig.B7. Trycktät pop-nit.

Avex-niten finns i aluminium medan den trycktäta POP-niten finns i aluminium, koppar, monelmetall och stål (även rostfritt).

Nitar av material med hög duktilitet kan i de fall stukhuvudet är slutet (jfr. fig. B7) användas till trycktäta förband upp till tryck på 3,5 atö. Nitskaftet är av aluminium, koppar eller stål.

För samtliga nittyper sker stukningen med manuella, tryckluft-drivna eller elektriska verktyg.

- c) Nitar enligt Grupp A3 stukas med en splint, som i stukningens sista skede drages av. Splintresten sitter kvar och utgör en del av stukhuvudet, samtidigt som den fyller hela det rörformade skaftet. Denna ökning av nitskaftets tvärsnittsytta jämfört med nitar med kort splintrest innebär starkt ökad skjuvhållfasthet. Två olika typer framgår av fig. B8 - B 10.

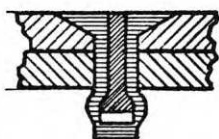


Fig.B8. Imex-nit.

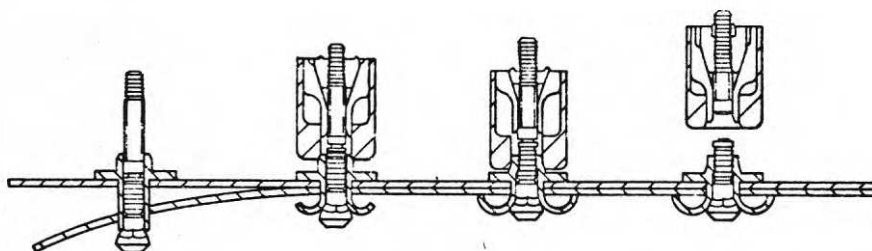


Fig.B9. Huck "Daisy"-nit.

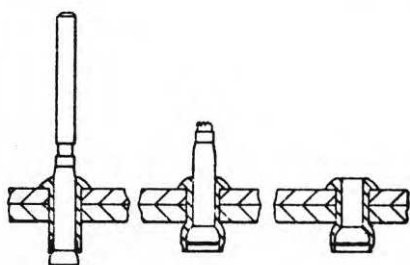


Fig.B10. Avdel-nit.

Samtliga typer finns i aluminium. Dessutom finns niten enligt fig. B8 i koppar, niten enligt fig. B9 i stål samt niten enligt fig. B 10 i korrosionsbeständigt stål.

- d) Nitar enligt Grupp A4 består av tre delar: det rörformade skaftet, splintresterna och en låsring. Denna låsring pressas under stukningens slutskede ned i härför utformade spår i skaft och splint. Härigenom erhålls en mekanisk låsning av splinten.

Dessa nitar fordrar ingen efterputsning. Anledningen är att splinten alltid bryts i höjd med sätthuvudet oavsett förbandets tjocklek. I fig. B 11 - B 13 visas tre olika metoder att kontrollera splintbrottets läge.

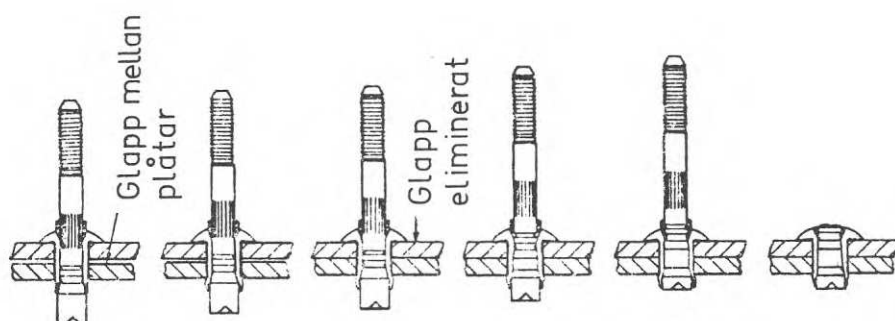


Fig.B11. Cherrylock-nit.

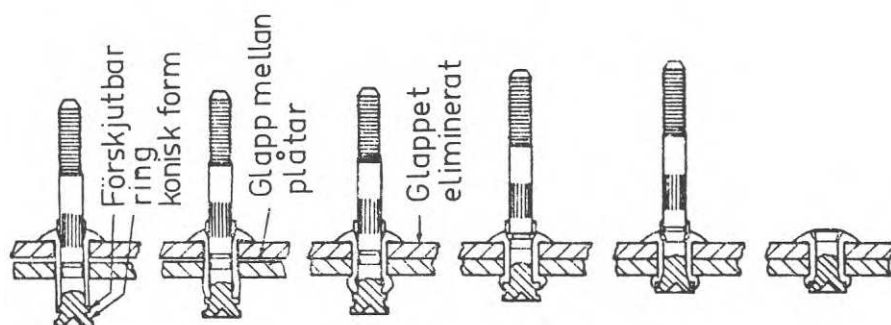


Fig.B12. Cherrylock-nit med förskjutbar ring.

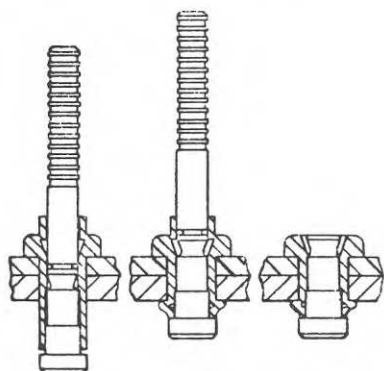


Fig.B13. "Huck"-nit.

För nit i fig. B 11 kompenseras ökande förbandstjocklek genom splintrestens förlängning. För nit i fig. B 12 sker en motsvarande kompensation med hjälp av en förskjutbar ring. För niten i fig. B 13 är stukningen så styrd att stukhuvudet alltid bildas i direkt kontakt med förbandets baksida oavsett förbandets tjocklek. Samtliga typer finns i aluminium och monelmetall. Dessutom finns niten i fig. B 11 i härdat stål och niten i fig. B 13 i rostfritt stål.

- e) Monteringen av nitar i Grupp A5 sker genom att ett från skaftet frigjort huvud stukas. Metoden medför att material med hög hållfasthet kan användas i både splint och skaft. Skaft och splint har gängor, varför fästelementet inte kan betraktas som en renodlad blindnit. Monteringen sker med roterande verktyg. Ingen radiell expansion av nitskaftet sker under stukningen, varför håltoleranserna måste hållas snäva.

Åtdragningsprincipen illustreras i fig. B 14.

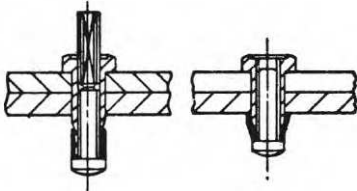


Fig.B14. Jo-bolt.

För dessa nitar är det viktigare än för de flesta andra blindnityper att rekommenderad grepplängd innehålls. Nithuvudet är alltid av rostfritt stål, medan splinten är av stål och skaftet av stål eller aluminium.

- f) Nitar enligt Grupp B är inte vanliga inom tunnplåtsområdet, beroende på bland annat att en belastning av fogdelarna vinkelrätt mot deras utsträckning är oundviklig i stukningsskedet. En annan orsak är att dornet under stukningen rör sig i riktning från förbandets framsida till dess baksida, vilket medför att sammanhållningen mellan förbandsdelarna blir svårkontrollerad. Ett exempel på en sådan nit ges i fig. B 15.



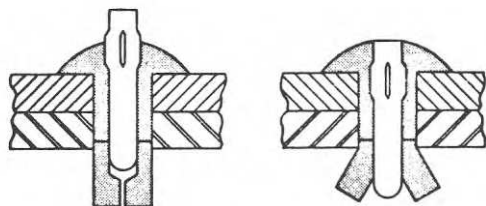


Fig.B15. Drivstift-nit.

- g) Vid nitar enligt Grupp C bringas den i skaftet inneslutna sprängladdningen att detonera genom elektrisk uppvärmning. Stukningsprocessen har mycket låga krav på åtkomlighet. Fogdelarnas sammanhållning är emellertid svår att kontrollera. Två olika typer framgår av fig. B 16.

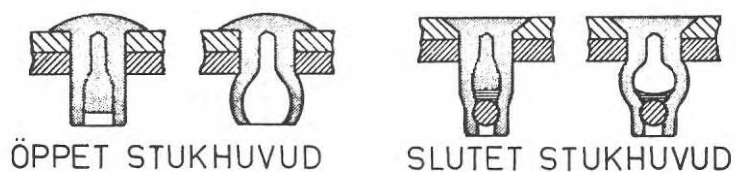


Fig.B16. Sprängnit.

### B3. FÖRBANDETS VERKNINGSSÄTT OCH BROTTBETEENDE

Blindnitförbandets beteende under pålastningen utgörs av tre olika skeden, varvid enligt fig. B 17

skede I karakteriseras av ett nästan linjärt samband mellan tvärlasten  $F$  och förbandsdelarnas inbördes förskjutning  $\delta$  till följd av deformationer vid hålkanten och i nitskaftet

skede II indikerar förbandets framtida brottbeteende

skede III karakteriserar brottstadiet.

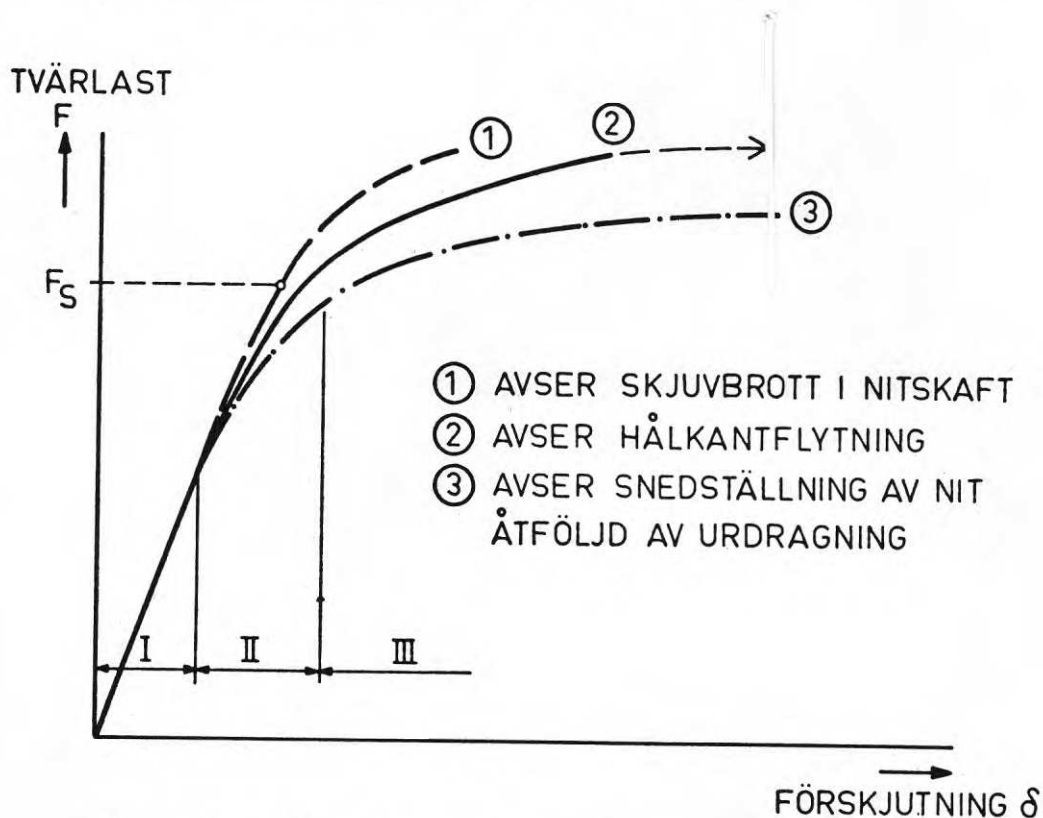


Fig. B17. Principiellt samband mellan tvärlast och förskjutning vid blindnitförband.

Kurva 1 enligt fig. B 17 avser ett nitförband där deformationerna i skede II i huvudsak är elastiska vid en belastning som är lägre än den kritiska tvärlasten  $F_s$ , vid vilken skjuvdeformationerna i rörskafvet blir starkt progressiva (skede III). Deformationsmöjligheterna är begränsade och förbandet går till brott på grund av nitbrott.

Kurva 2 karakteriserar ett förband där i skede II en hålkantflytning gör sig gällande och medför relativt stora förskjutningar i brottstadiet. Den lastupptagande förmågan begränsas av plåtmateriallets brotthållfasthet eller av ett överskridande av acceptabla formändringar med hänsyn till funktionsstabiliteten. Detta brottbeteende är aktuellt vid kombination av tunn och grövre plåt i ett förband (jfr. fig. B 18).



Fig.B18. Exempel på brott genom hålkantflytning.

Kurva 3 beskriver ett vanligt funktionssätt vid hopfogning av två tunna plåtar. Det elastiska skedet (I) begränsas här av en successiv formändring på grund av nitarnas snedställning i kombination med en hålkantflytning (skede II), som senare medför ett brott i form av en urdragning av niten eller en fläkning av plåten över nithuvudet. (jfr. fig. B 19). I praktiken begränsas den lastupptagande förmågan genom ett överskridande av acceptabla deformationer.

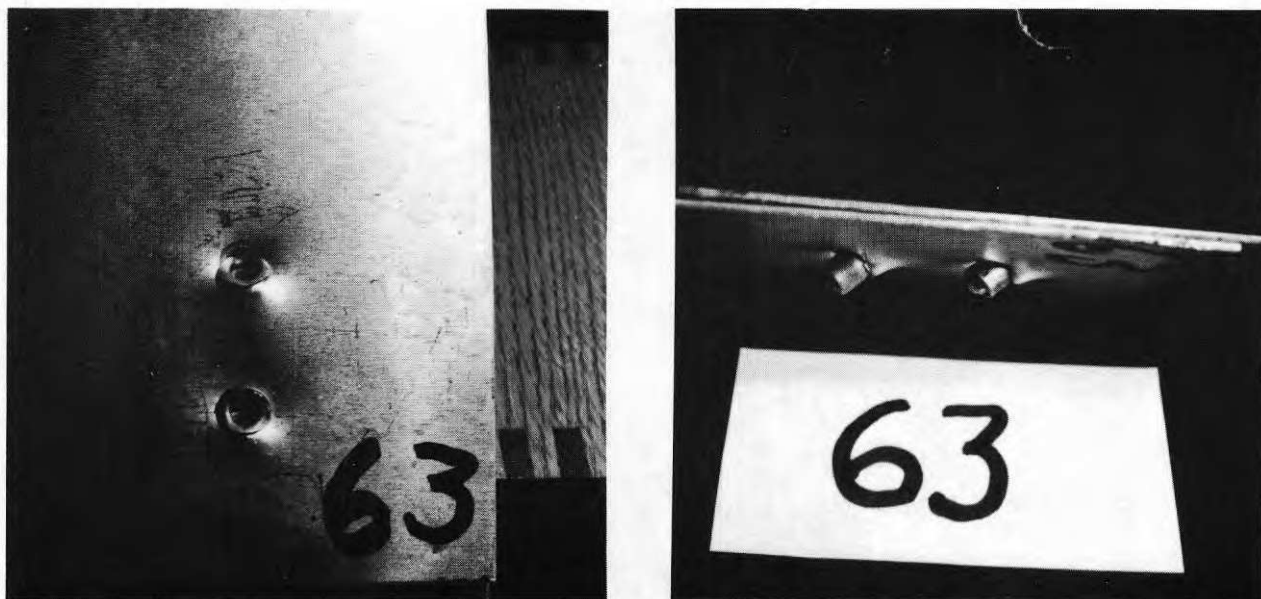


Fig.B19. Exempel på brott genom snedställning av nitar.

Utöver dessa brottyper kan även nämnas kantbrott, som inträffar vid små avstånd mellan nit och plåtkant, samt sektionsbrott vid i förhållande till plåtarean överstarka nitar.

Ifråga om förband vars lastupptagningsförmåga begränsas genom nitbrott bör påpekas att niten antingen skjuvas av med bibehållen formbeständighet hos rörskaftet (jfr. fig. B 20) eller primärt nitskaftet deformeras och därefter skärs av (jfr. fig. B 21). Brott beteendet är beroende av rörskaftets diameter och godstjocklek.



Fig.B20. Skjuvbrott på nitskaft.



Fig.B21. Krossning av nitskaft.

Vid kombination av tunna och grövre förbandsdelar medför den grövre plåtens förhållandevis höga böjstyvhet att böjdeformationerna blir små vilket innebär att även enstaka nitar kan användas utan att besvärande fläkdeformationer uppträder (jfr. fig. B 22).

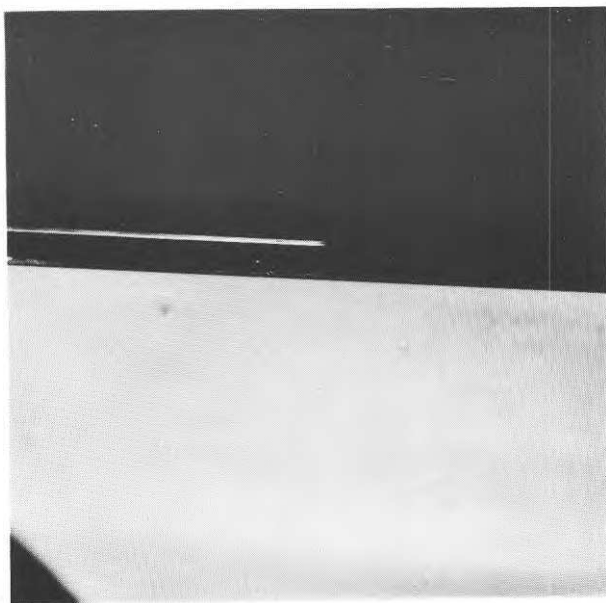


Fig.B22. Förband med kombination av tunn och grövre plåt.

( $t_1 = 5,0 \text{ mm}$ ;  $t_2 = 1,0 \text{ mm}$ )

Annorlunda är förhållandet vid fogning av tunna plåtar i ett enkelt överlappsförband, där vid användning av endast en nitrad vinkelrät mot kraftriktningen relativt kraftiga deformationer uppträder vid låga belastningar (jfr. fig. B 23).

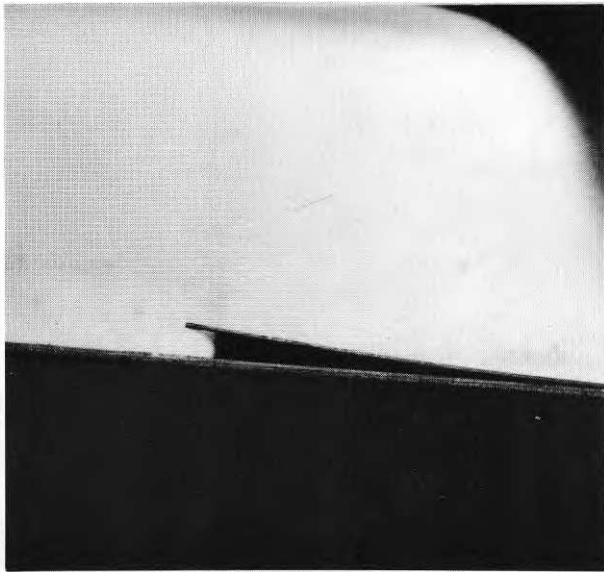


Fig.B23. Förband med tunna plåtar ( $t_2 = 0,8 \text{ mm}$ )( $t_1 = 1,5 \text{ mm}$ ) och enstaka nit.

#### Kraftspelet i enkelt överlappsförband

Analysen av kraftspelet indelas i två delar varav den första behandlar ett förband med en tunn och en tjockare plåt och den andra ett förband med lika tunna plåtar. Plåtarna förutsätts vara oändligt böjstyva, vilket är ett grovt antagande om ett brottstadium skulle analyseras. Avsikten med denna analys är emellertid endast att belysa de egenskaper hos nit och plåt som är väsentliga ur hållfasthetssynpunkt.

Utgångspunkten för denna undersökning är ett enkelt överlappsförband enligt fig. B 24.

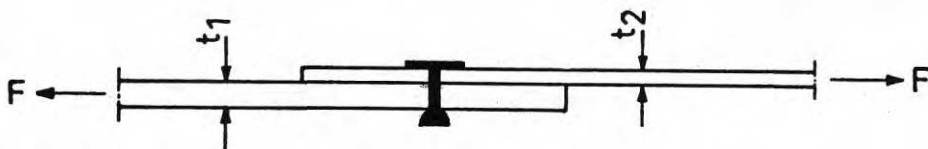


Fig.B24. Enkelt överlappsförband. Beteckningar.

a) Förband med olika plåttjocklekar ( $t_1 \gtrsim 2,5 t_2$ )

Ett enkelt överlappsförband medför en oundviklig excentricitet mellan fogdelarnas lastresultanter. Förhållandet innebär att ett moment  $M = F \cdot e$  enligt fig. B 25 påverkar förbandet.

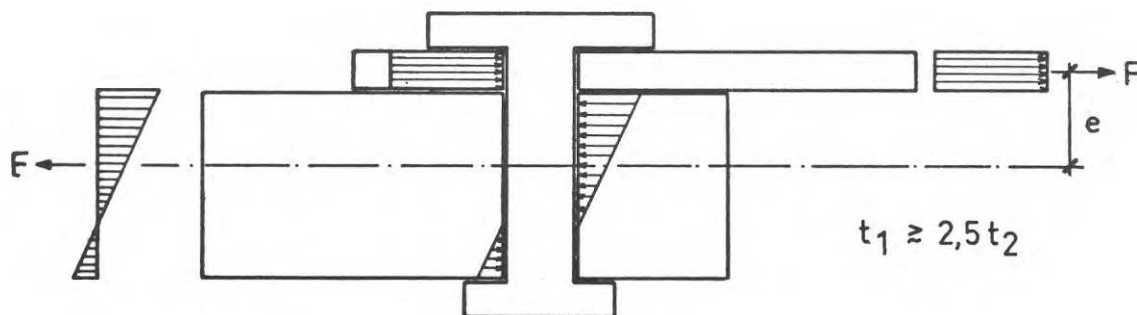


Fig.B25. Spänningsbild för förband med olika plåttjocklekar.

Som framgår av figuren upptas momentet genom tryck mot kanterna i den tjockare plåtens hål. Detta spänningstillstånd överlagras av den under stukningsprocessen aktiverade radialspeänningen som det stukade skaftet utövar på hålskanterna.

Följande slutsatser kan dras:

- 1° är den tjockare plåtens böjmotstånd av sådan storlek att flytspänningen ej uppnås blir förbandets deformationer små
- 2° troliga brottyper är krossning av nitskaft i höjd med den tunna plåten, skjuvbrott i nit eller för högt hålskantryck för den tunna plåten.

b) Förband med approximativt jämntjocka plåtar ( $t_1 \approx t_2$ )

Skillnaden gentemot det förra förbandet är principen för upptagningen av det genom kraftexcentriciteten orsakade momentet. En av plåttjockleken beroende andel av momentet påverkar förbandet med krafterna  $D$ . Som framgår av fig. B 26 har dessa krafter en för tunn plåt ogynnsam riktning.

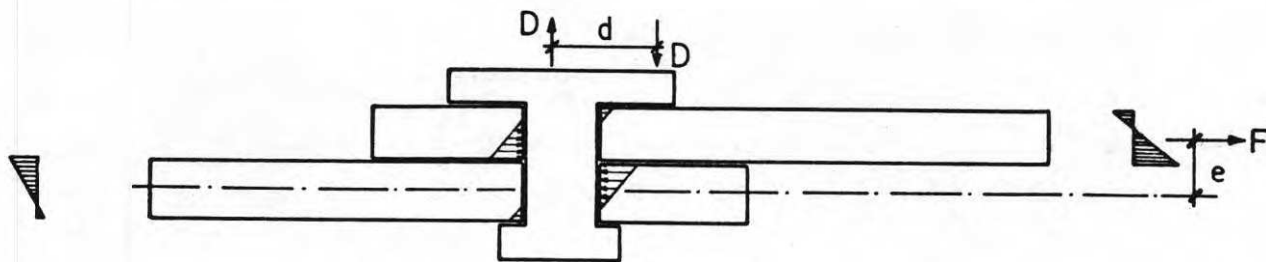


Fig.B26. Spänningsbild för förband med lika tjocka plåtar.

Ju tunnare plåten är desto större andel av momentet kommer redan vid för förbandet liten last att upptas av kraftparet. Vid last som innebär att flytspänningen uppnåtts i plåten kommer andelen ytterligare att ökas.

Följande slutsatser kan härav dras:

- 1° nitens båda huvuden bör vara styva och speciellt vid mycket tunn plåt ha stor diameter.
- 2° trolig brottorsak är att niten drages ur den ena plåten efter att först ha roterat (kantrat) och lokalt deformerat plåten.

Som framgår av ovanstående är nitförbandets verkningsätt och brottbeteende i hög grad beroende av plåtarnas tjocklek, inbördes tjockleksförhållanden och hållfasthet samt nitmateriallets skjuvhållfasthet och nithuvudets styvhet. Dessa förhållanden återspeglas i nedan redovisade försöksresultat och beaktas vid bedömning av tillåten belastning respektive förbandets funktionsstabilitet vid lastpåverkan under drift.



#### B4. EXPERIMENTELLA UNDERSÖKNINGAR

Den följande redogörelsen beskriver experimentella undersökningar med enskäriga överlappsförband, avsedda att ge underlag för en kvalitativ bedömning av förbandens funktionsstabilitet samt för en kvantitativ bestämning av från säkerhetssynpunkt acceptabel belastningsnivå.

Provningarna omfattar totalt 86 provkroppar av stålplåt och 57 provkroppar av aluminiumplåt, varvid följande fyra förbandsparametrar har varierats:

- . Grundmateriallets hållfasthet
- . Plåttjocklek
- . Nitdiameter
- . Antal nitar i förbandet

#### 4.1 Provningstrustning och provkroppsutformning

Vid försök med en och två fästelement har i samtliga fall en 5Mp-s Amsler universalprovningssmaskin med mekanisk kraftalstring använts. Deformationsmätningar har utförts dels med maskinens automatiska skrivare och dels med en Amsler mätlocka med avläsningsnoggrannhet på 1/100 mm. Mätlockans placering och provkropparnas infästning framgår av fig. B 27.

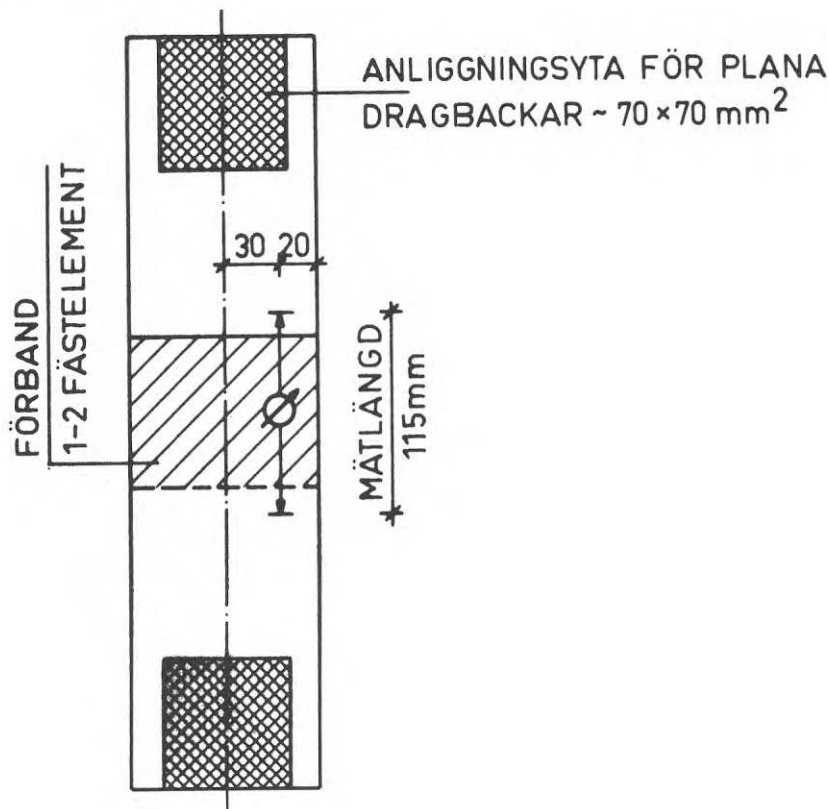


Fig.B27. Mätlockas placering vid förband med 1-2 fästelement.

Mätklockan var av sådan konstruktion att den ej påverkades av plåtarnas böjning. Plåtarnas vridning kom till följd av mätklockans excentriska placering i viss utsträckning att påverka de på mätklockan registrerade deformationerna. Denna påverkan begränsade sig emellertid till för utvärderingen ointressant lastområde. Lasten påfördes i steg om 10 - 80 kp beroende på förbandets hållfasthet. Efter varje lastökning hölls lasten konstant under någon sekund för deformationsavläsning. Belastningsprocessen är jämförbar med en kontinuerlig deformation på 0,1 - 1,5 mm/min.

Under försök med fler än två fästelement användes en 10 Mp-s Mohr-Federhaff universalprovningssmaskin med hydraulisk kraftalstring. Deformationerna registrerades dels med maskinens automatiska skrivare och dels med en Amsler mätklocka med avläsningsnoggrannhet på 1/100 mm. Mätklockans placering samt provkropparnas infästning framgår av fig. B 28.

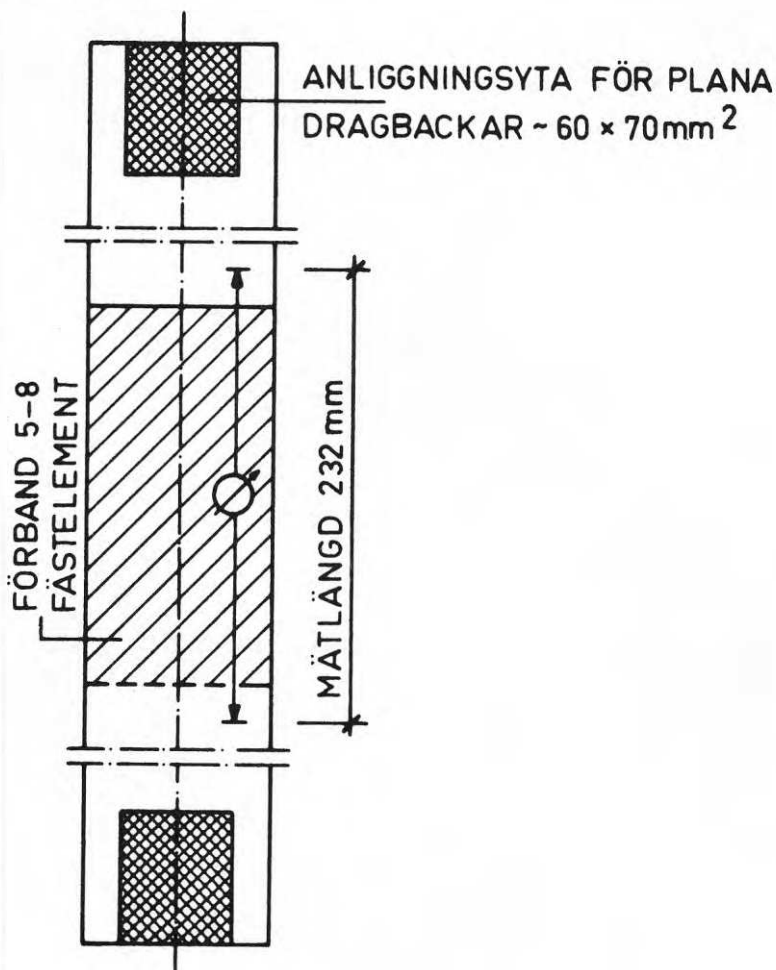


Fig. B28. Mätklockas placering vid förband med 5-8 fästelement.

I några enstaka fall har provkropparnas max. laster registrerats i en 100 Mp-s Losenhausen universalprovningssmaskin med hydraulisk kraftalstring. I dessa fall har inte några deformationsmätningar utförts.

Vid provningen användes 4 olika provkroppstyper med i fig. B 29-B 32 återgivna karakteristika.

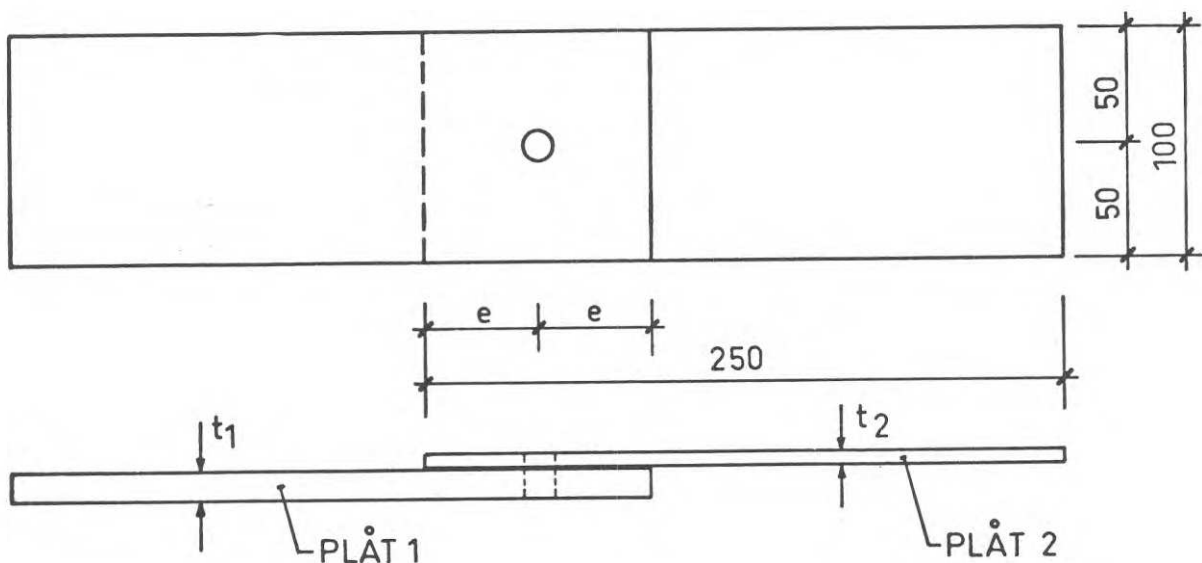


Fig.B29. Provkroppstyp I.

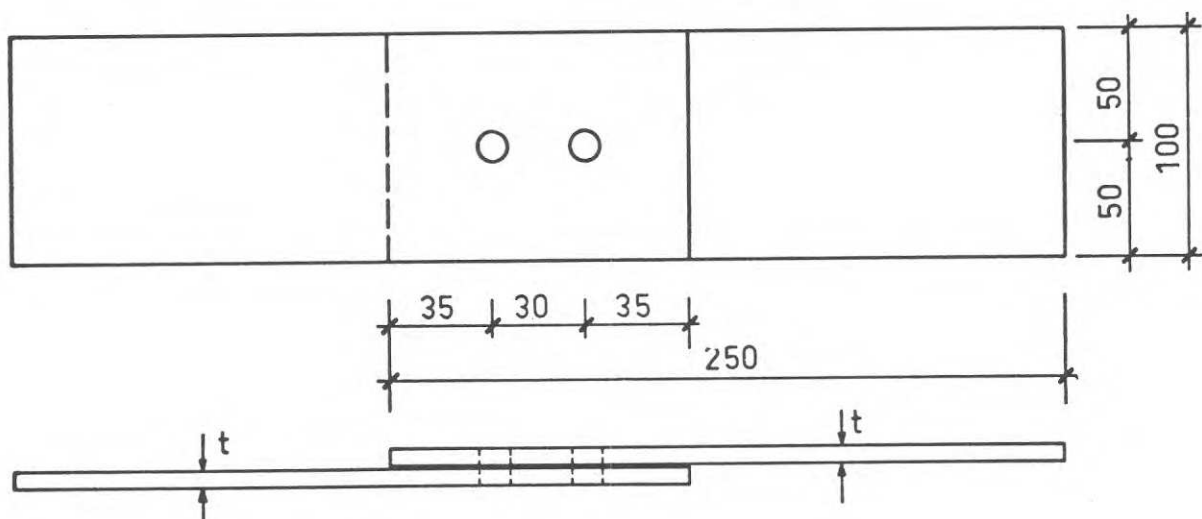


Fig.B30. Provkroppstyp II.

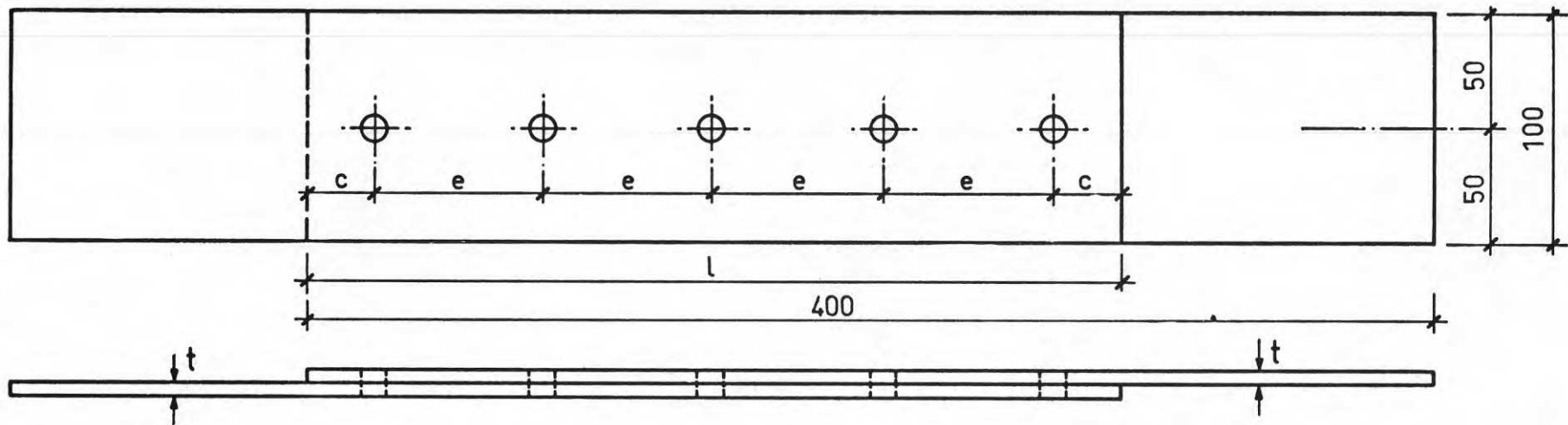


Fig.B31. Provkroppstyp III.

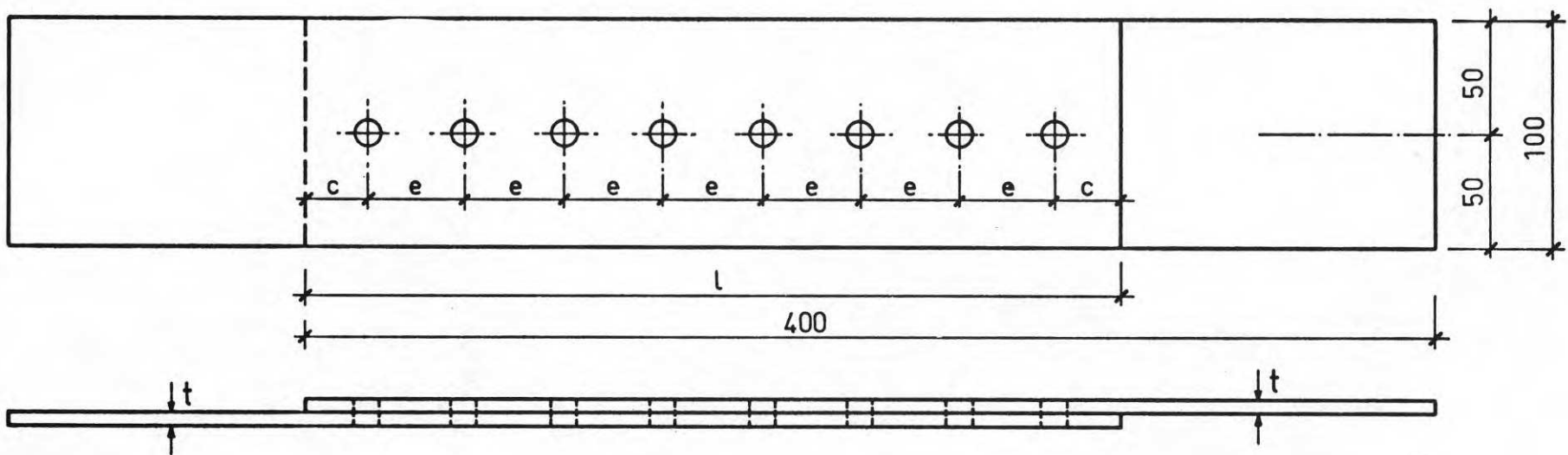


Fig.B32. Provkroppstyp IV.

Provkroppstyp I (fig. B 29) avser hopfogning av plåtar med olika godstjocklekar varvid förhållandet  $t_2/t_1$  varieras inom gränser som framgår av nedan redovisade sammanställning av provningsresultat.

Provkroppstyp II (fig. B 30) avser hopfogning av jämntjocka plåtar inom tjockleksområdet 0,7 - 2,0 mm.

Provkroppstyp III (fig. B 31) och IV (fig. B 32) är avsedda för stickprov med flera nitar i rad, varvid nitarnas inbördesavstånd varierar enligt följande:

<u>Provkroppstyp III</u> (5 nitar)				<u>Provkroppstyp IV</u> (8 nitar)			
Prov nr	c [mm]	e [mm]	l [mm]	Prov nr	c [mm]	e [mm]	l [mm]
201	15	20	110	205	15	20	170
202	15	20	110	206	15	20	170
203	20	25	140	207	20	25	215
204	20	25	140	208	20	25	215

Medan provkroppstyperna I och II tillämpas vid såväl stål som aluminium, begränsades provningen av typerna III och IV till stålplåt. Samtliga förband är samborrade.

#### 4.2 Material till förband

Vid samtliga provkroppar användes USM-s POPNIT av monelmetall [LD/BS] med stålplint (kort splintrest) och kullrigt huvud och varierande nitdiameter 2,8 - 3,2 - 4,0 - 4,8 - 6,4 mm.

Som grundmaterial till förband användes plåt av följande kvalitet:

<u>Stålplåt</u>	t = 0,7 mm	DOGAL SU 320	210 g zink per m <sup>2</sup>	enkelsida
	t = 1,0 mm	- " -	- " -	-
	t = 1,5 mm	DOGAL FA	150 g zink per m <sup>2</sup>	enkelsida
	t = 2,5 mm	- " -	210 g " " "	"
	t = 0,8 mm	SIS 1140-32	valsblankt	
	t = 2,0 mm	- " -	valsblankt	
	t = 5,0 mm	SIS 1311		

#### Aluminiumplåt

t = 0,5 mm	}	SIS 4054-18	(SM 5578 - 18)
t = 0,7 mm			
t = 0,9 mm			
t = 0,7 mm		SIS 4054-12	(SM 5578 - 12)
t = 1,5 mm		SIS 4007-14	(SM 5050 - 14)
t = 1,5 mm		SIS 4120-14	(SM 6526 - 14)
t = 5,0 mm		SIS 4120-14	(SM 6526 - 14)

Hållfasthetsdata för ovan angivna material framgår av tabell 1, varvid medelvärden på  $\sigma_s$  ( $\sigma_{0,2}$ ) och  $\sigma_B$  bestämts genom dragprovning av för stål sex och för aluminium tre slumpvis utvalda provkroppar.

#### 4.3 Provningsomfattning och försöksresultat

Provningarna omfattar en registrering av sambandet mellan tvärlasten F och korresponderande förskjutningar  $\delta$ , uppmätta över förbandet med 115 mm mätlängd.

En sammanställning av maximal erhållen tvärlast  $F_B$  med avseende på provkroppstyp, grundmaterial, godstjocklek och nitdimension ges i tabellerna 2 - 7.

Härvid avser

tabell 2:	provkroppstyp I	(stålplåt);	jfr. fig. B 29
tabell 3:	provkroppstyp II	(stålplåt);	jfr. fig. B 30
tabell 4:	provkroppstyp I	(aluminiumplåt);	jfr. fig. B 29
tabell 5:	provkroppstyp II	(aluminiumplåt);	jfr. fig. B 30
tabell 6:	provkroppstyp III	(stålplåt);	jfr. fig. B 31
tabell 7:	provkroppstyp IV	(stålplåt);	jfr. fig. B 32

Under rubriken "brottyp" införda beteckningar avser

S	= skjувbrott i nitskaft;	SN	= snedställningsbrott
H	= hålkantflytning;	K	= kantbrott
H/K	= kombination av H och K;	S/SN	= kombination av S och SN
H/SN	= kombination av H och SN;		

I anslutning till brottlastredovisningen illustreras förbandens deformationsbeteende i form av F -  $\delta$  - kurvor (fig. B\_33-38) varvid provningsresultaten för lika provkroppar sammanslagits. Detta innebär att last-förskjutningskurvorna representerar medelvärden av tre registreringar vid varje provat belastningssteg.

Redovisade samband utgör exempel på representiva förändringskurvor, så valda att olika parameters inverkan på förbandets beteende kan illustreras. En diskussion av resultaten återges under avsnitt 4.4.

Allmänt gäller för redovisade F -  $\delta$  - samband att endast laststeg medtagits som ger förskjutningar mindre än 1,5 mm. Kurvavslutningen ger således inte uttryck för förbandens lastupptagande förmåga eller brottdeformationen. Den i försök maximalt erhållna lasten framgår av tabellerna 2 - 7; den vid maximallast uppmätta förskjutningen uppgår som regel till 2-8 mm. Redovisat förskjutningsområde åtföljs av ett område, där små lasttillskott ger stor deformationstillväxt.

Redovisade last-förskjutningskurvor inkludera inte effekten av en primärförskjutning som orsakas av dels en initiell sättning av förbandet till följd av en ofullständig hålutfyllning och dels en initiell vridning av fogdelarna som på grund av mätklockornas placering indikera en deformation av förbandet. Primärförskjutningen har vid provningarna varierat mellan 0 och ca 0,15 mm, beroende på passningen mellan nitskaft och hålet samt graden av initiell osymmetrisk lastinföring.

Tabell 1: Hållfasthetsvärden för material till provkroppar

(Anm.: För aluminium ersätts  $\sigma_s$  med  $\sigma_{0,2}$ ).

MATERIAL	$\sigma_s/\sigma_B$	$\sigma_s/\sigma_B$	$\sigma_s/\sigma_B$	$\sigma_s/\sigma_B$	$\sigma_s/\sigma_B$	$\sigma_s/\sigma_B$	$\sigma_s/\sigma_B$	
	1	2	3	4	5	6	MEDEL	
DOGAL SU 320 t = 0,7	$\frac{40,7}{50,5}$	$\frac{38,6}{47,6}$	$\frac{38,7}{47,8}$	$\frac{41,1}{50,7}$	$\frac{41,6}{51,5}$	$\frac{40,7}{50,1}$	$\frac{40,2}{49,7}$	= 0,81
1140 - 32 t = 0,8	$\frac{32,4}{41,0}$	$\frac{32,1}{40,7}$	$\frac{32,6}{41,0}$	$\frac{32,0}{40,7}$	$\frac{32,0}{40,4}$	$\frac{32,6}{41,1}$	$\frac{32,3}{40,8}$	= 0,79
DOGAL SU 320 t = 1,0	$\frac{39,2}{48,7}$	$\frac{38,9}{48,3}$	$\frac{39,6}{48,7}$	$\frac{39,8}{49,2}$	$\frac{39,3}{48,7}$	$\frac{39,3}{48,7}$	$\frac{39,4}{48,7}$	= 0,81
DOGAL FA t = 1,5	$\frac{29,9}{39,6}$	$\frac{30,0}{39,7}$	$\frac{30,2}{39,9}$	$\frac{30,2}{40,1}$	$\frac{30,2}{40,4}$	$\frac{30,6}{40,6}$	$\frac{30,2}{40,1}$	= 0,75
1140 - 32 t = 2,0	$\frac{23,8}{33,3}$	$\frac{24,0}{33,1}$	$\frac{23,8}{33,9}$	$\frac{24,0}{33,8}$	$\frac{23,3}{33,6}$	$\frac{23,0}{33,6}$	$\frac{23,7}{33,6}$	= 0,70
DOGAL FA t = 2,5	$\frac{27,1}{37,0}$	$\frac{26,5}{36,7}$	$\frac{26,7}{37,1}$	$\frac{27,1}{37,0}$	$\frac{26,9}{36,9}$	$\frac{26,9}{36,9}$	$\frac{26,9}{36,9}$	= 0,73
SM 5578 - 18 t = 0,5	$\frac{21,8}{24,0}$	$\frac{21,8}{23,8}$	$\frac{21,7}{23,7}$				$\frac{21,8}{23,8}$	= 0,91
5578 - 18 t = 0,7	$\frac{21,9}{22,8}$	$\frac{22,0}{23,0}$	$\frac{21,9}{22,8}$				$\frac{21,9}{22,9}$	= 0,96
5578 - 18 t = 0,9	$\frac{20,3}{22,0}$	$\frac{20,1}{22,0}$	$\frac{20,2}{22,0}$				$\frac{20,1}{22,0}$	= 0,91
5578 - 12 t = 0,7	$\frac{13,3}{13,8}$	$\frac{13,1}{13,8}$	$\frac{13,2}{13,9}$				$\frac{13,2}{13,8}$	= 0,96
6526 - 14 t = 1,5	$\frac{19,5}{24,7}$	$\frac{19,4}{24,6}$	$\frac{19,7}{24,6}$				$\frac{19,5}{24,6}$	= 0,79
6526 - 14 t = 5,0	$\frac{21,4}{25,0}$	$\frac{21,6}{24,7}$	$\frac{21,8}{24,8}$				$\frac{21,6}{24,8}$	= 0,87
5050 - 14 t = 1,5	$\frac{9,2}{10,2}$	$\frac{9,0}{10,2}$	$\frac{8,7}{9,8}$				$\frac{9,0}{10,1}$	= 0,89



Tabell 2: Brottlast  $F_B$  vid provkroppstyp I (stålplåt)

Provkr. nr	$t_2/t_1$ [mm]	Mat.kval. plåt 2/ /mat.kval. plåt 1	Kantav- stånd e [mm]	Nitdia- meter [mm]	Max. last [kp]	Brott- typ
1	0,7/5,0	DOGAL SU 320/1311	35,0	4,8	320	H
2	0,7/5,0	DOGAL SU 320/1311	35,0	4,8	319	H
3	0,7/5,0	DOGAL SU 320/1311	35,0	4,8	320	H
4	0,8/5,0	1140 - 32/1311	35,0	4,8	373	H
5	0,8/5,0	1140 - 32/1311	35,0	4,8	395	H
6	0,8/5,0	1140 - 32/1311	35,0	4,8	367	H
7	0,7/5,0	DOGAL SU 320/1311	35,0	6,4	359	H
8	0,7/5,0	DOGAL SU 320/1311	35,0	6,4	374	H
9	0,7/5,0	DOGAL SU 320/1311	35,0	6,4	360	H
10	0,8/5,0	1140 - 32/1311	35,0	6,4	397	H
11	0,8/5,0	1140 - 32/1311	35,0	6,4	439	H
12	0,8/5,0	1140 - 32/1311	35,0	6,4	388	H
13	0,7/5,0	DOGAL SU 320/1311	8,0	4,0	276	K
14	0,7/5,0	DOGAL SU 320/1311	8,0	4,0	262	H/K
15	0,7/5,0	DOGAL SU 320/1311	8,0	4,0	268	H/K
16	0,7/5,0	DOGAL SU 320/1311	12,0	4,0	259	S
17	0,7/5,0	DOGAL SU 320/1311	12,0	4,0	263	S
18	0,7/5,0	DOGAL SU 320/1311	12,0	4,0	266	S
19	0,7/5,0	DOGAL SU 320/1311	16,0	4,0	264	S
20	0,7/5,0	DOGAL SU 320/1311	16,0	4,0	252	S
21	0,7/5,0	DOGAL SU 320/1311	16,0	4,0	246	S
22	0,7/5,0	DOGAL SU 320/1311	20,0	4,0	256	S
23	0,7/5,0	DOGAL SU 320/1311	20,0	4,0	273	S
24	0,7/5,0	DOGAL SU 320/1311	20,0	4,0	255	S
25	1,0/5,0	DOGAL SU 320/1311	12,8	6,4	547	H/K
26	1,0/5,0	DOGAL SU 320/1311	12,8	6,4	670	H
27	1,0/5,0	DOGAL SU 320/1311	12,8	6,4	676	H
28	1,0/5,0	DOGAL SU 320/1311	19,2	6,4	634	H
29	1,0/5,0	DOGAL SU 320/1311	19,2	6,4	642	H
30	1,0/5,0	DOGAL SU 320/1311	19,2	6,4	651	H
31	1,0/5,0	DOGAL SU 320/1311	25,6	6,4	620	H
32	1,0/5,0	DOGAL SU 320/1311	25,6	6,4	630	H
33	1,0/5,0	DOGAL SU 320/1311	25,6	6,4	657	H
34	1,0/5,0	DOGAL SU 320/1311	32,0	6,4	642	H
35	1,0/5,0	DOGAL SU 320/1311	32,0	6,4	618	H
36	1,0/5,0	DOGAL SU 320/1311	32,0	6,4	619	H

Forts., Tabell 2: Brottlast  $F_B$  vid provkroppstyp I (stålplåt)  
(1 nit)

Provkr. nr	$t_2/t_1$ [mm]	Mat.kval. plåt 2/ /mat.kval. plåt 1	Kantav- stånd e [mm]	Nitdia- meter [mm]	Max. last [kp]	Brott- typ
101	1,5/5,0	DOGAL FA/1311	35,0	6,4	770	S
102	1,5/5,0	DOGAL FA/1311	35,0	6,4	765	S
103	1,5/5,0	DOGAL FA/1311	35,0	6,4	800	S
104	0,7/0,7	DOGAL SU 320/ /DOGAL SU 320	35,0	4,8	225	SN
105	0,7/0,7	- " -	35,0	4,8	227	SN
106	0,7/0,7	- " -	35,0	4,8	227	SN
107	0,7/1,5	DOGAL SU 320/ /DOGAL FA	35,0	4,8	387	H/SN
108	0,7/1,5	- " -	35,0	4,8	378	H/SN
109	0,7/1,5	- " -	35,0	4,8	365	H/SN
110	0,7/2,0	DOGAL SU 320/1140-32	35,0	4,8	347	H
111	0,7/2,0	DOGAL SU 320/1140-32	35,0	4,8	337	H
112	0,7/2,0	DOGAL SU 320/1140-32	35,0	4,8	340	H

Tabell 3: Brottlast  $F_B$  vid provkroppstyp II (Stålplåt)  
(2 nitar)

Provkr. nr	t [mm]	Materialkvalité	Nittdiameter [mm]	Max. last [kp]	Brott- typ
37	0,7	DOGAL SU 320	2,8	262	S
38	0,7	DOGAL SU 320	2,8	318	S
39	0,7	DOGAL SU 320	2,8	293	S
40	0,7	DOGAL SU 320	4,0	371	SN
41	0,7	DOGAL SU 320	4,0	426	SN
42	0,7	DOGAL SU 320	4,0	423	SN
43	1,0	DOGAL SU 320	4,0	458	S
44	1,0	DOGAL SU 320	4,0	490	S
45	1,0	DOGAL SU 320	4,0	475	S
46	0,7	DOGAL SU 320	4,8	475	SN
47	0,7	DOGAL SU 320	4,8	540	SN
48	0,7	DOGAL SU 320	4,8	537	SN
49	1,0	DOGAL SU 320	4,8	765	SN
50	1,0	DOGAL SU 320	4,8	758	SN
51	1,0	DOGAL SU 320	4,8	773	SN
52	1,5	DOGAL FA	4,8	903	S
53	1,5	DOGAL FA	4,8	1045	S
54	1,5	DOGAL FA	4,8	1055	S
55	0,7	DOGAL SU 320	6,4	520	SN
56	0,7	DOGAL SU 320	6,4	603	SN
57	0,7	DOGAL SU 320	6,4	570	SN
58	1,0	DOGAL SU 320	6,4	925	SN
59	1,0	DOGAL SU 320	6,4	885	SN
60	1,0	DOGAL SU 320	6,4	941	SN
61	1,5	DOGAL FA	6,4	1318	SN
62	1,5	DOGAL FA	6,4	1362	SN
63	1,5	DOGAL FA	6,4	1341	SN
64	2,0	1140 - 32	6,4	1545	S
65	2,0	1140 - 32	6,4	1495	S
66	2,0	1140 - 32	6,4	1485	S

Tabell 4: Brottlast  $F_B$  vid provkroppstyp I (Aluminiumplåt)  
(2 nitar)

Provkr. nr	$t_2/t_1$ [mm]	Mat.kval. plåt 2/ /mat.kval. plåt 1	Kantav- stånd e [mm]	Nitdia- meter [mm]	Max. last [kp]	Brott- typ
1	0,5/5,0	5578 - 18/6526 - 14	35,0	3,2	90	H
2	0,5/5,0	5578 - 18/6526 - 14	35,0	3,2	92	H
3	0,5/5,0	5578 - 18/6526 - 14	35,0	3,2	90	H
4	0,9/5,0	5578 - 18/6526 - 14	35,0	4,8	239	H
5	0,9/5,0	5578 - 18/6526 - 14	35,0	4,8	282	H
6	0,9/5,0	5578 - 18/6526 - 14	35,0	4,8	263	H
7	1,5/5,0	6526 - 14/6526 - 14	35,0	6,4	765	H
8	1,5/5,0	6526 - 14/6526 - 14	35,0	6,4	744	H
9	1,5/5,0	6526 - 14/6526 - 14	35,0	6,4	766	H
10	0,9/5,0	5578 - 18/6526 - 14	35,0	6,4	294	H
11	0,9/5,0	5578 - 18/6526 - 14	35,0	6,4	280	H
12	0,9/5,0	5578 - 18/6526 - 14	35,0	6,5	289	H
13	0,7/5,0	5578 - 12/6526 - 14	35,0	3,2	98	H
14	0,7/5,0	5578 - 12/6526 - 14	35,0	3,2	98	H
15	0,7/5,0	5578 - 12/6526 - 14	35,0	3,2	95	H
16	1,5/5,0	5050 - 14/6526 - 14	35,0	3,2	200	H/S
17	1,5/5,0	5050 - 14/6526 - 14	35,0	3,2	216	H
18	1,5/5,0	5050 - 14/6526 - 14	35,0	3,2	190	H
19	0,7/5,0	5578 - 12/6526 - 14	35,0	4,8	134	H
20	0,7/5,0	5578 - 12/6526 - 14	35,0	4,8	122	H
21	0,7/5,0	5578 - 12/6526 - 14	35,0	4,8	137	H
22	0,9/5,0	5578 - 18/6526 - 14	10,0	4,0	175	K
23	0,9/5,0	5578 - 18/6526 - 14	10,0	4,0	172	K
24	0,9/5,0	5578 - 18/6526 - 14	10,0	4,0	166	K
25	0,9/5,0	5578 - 18/6526 - 14	16,0	4,0	261	K/H
26	0,9/5,0	5578 - 18/6526 - 14	16,0	4,0	252	K/H
27	0,9/5,0	5578 - 18/6526 - 14	16,0	4,0	251	K/H
28	1,5/5,0	5050 - 14/6526 - 14	16,0	4,0	261	K/H
29	1,5/5,0	5050 - 14/6526 - 14	16,0	4,0	260	K/H
30	1,5/5,0	5050 - 14/6526 - 14	16,0	4,0	266	K/H
101	0,5/0,5	5578 - 18/5578 - 18	35,0	4,0	62	SN
102	0,5/0,5	5578 - 18/5578 - 18	35,0	4,0	70	SN
103	0,5/0,5	5578 - 18/5578 - 18	35,0	4,0	63	SN
104	0,9/0,9	5578 - 18/5578 - 18	35,0	4,8	178	SN
105	0,9/0,9	5578 - 18/5578 - 18	35,0	4,8	161	SN

Forts., Tabell 4: Brottlast  $F_B$  vid provkroppstyp I (Aluminiumplåt)  
(2 nitar)

Provr. nr	$t_2/t_1$ [mm]	Mat.kval. plåt 2/ /mat.kval. plåt 1	Kantav- stånd e [mm]	Nitdia- meter [mm]	Max. last [kp]	Brott- typ
106	0,9/0,9	5578 - 18/5578 - 18	35,0	4,8	166	SN
107	1,5/1,5	6526 - 14/6526 - 14	35,0	6,4	414	SN
108	1,5/1,5	6526 - 14/6526 - 14	35,0	6,4	421	SN
109	1,5/1,5	6526 - 14/6526 - 14	35,0	6,4	433	SN
110	0,5/0,5	5578 - 18/5578 - 18	35,0	6,4	68	SN/H
111	0,5/0,5	5578 - 18/5578 - 18	35,0	6,4	66	SN/H
112	0,5/0,5	5578 - 18/5578 - 18	35,0	6,4	80	SN/H
113	0,5/5,0	5578 - 18/6526 - 14	35,0	6,4	133	H
114	0,5/5,0	5578 - 18/6526 - 14	35,0	6,4	137	H
115	0,5/5,0	5578 - 18/6526 - 14	35,0	6,4	141	H

Tabell 5: Brottlast  $F_B$  vid provkroppstyp II (Aluminiumplåt)  
(1 nit)

Provr. nr	t [mm]	Materialkvalité	Nitdiameter [mm]	Max. last [kp]	Brott- typ
31	0,9	5578 - 18	3,2	263	SN
32	0,9	5578 - 18	3,2	255	SN
33	0,9	5578 - 18	3,2	261	SN
34	1,5	6526 - 14	4,0	420	S
35	1,5	6526 - 14	4,0	394	S/SN
36	1,5	6526 - 14	4,0	411	S
37	0,9	5578 - 18	6,4	389	H/SN
38	0,9	5578 - 18	6,4	397	H/SN
39	0,9	5578 - 18	6,4	382	H/SN
40	1,5	5050 - 14	4,0	292	SN
41	1,5	5050 - 14	4,0	300	SN
42	1,5	5050 - 14	4,0	302	SN

Tabell 6: Brottlast  $F_B$  vid provkroppstyp III (Stålplåt)  
(4 nitar)

Provr. nr	t [mm]	Materialkvalité	Nitdiameter [mm]	Max. last [kp]	Brott- typ
201	0,7	DOGAL SU 320	4,8	1250	SN
202	0,7	DOGAL SU 320	4,8	1310	SN
203	2,0	1140 - 32	6,4	3530	S
204	2,0	1140 - 32	6,4	3680	S

Tabell 7: Brottlast  $F_B$  vid provkroppstyp IV (Stålplåt)  
(8 nitar)

Provr. nr	t [mm]	Materialkvalité	Nitdiameter [mm]	Max. last [kp]	Brott- typ
205	0,7	DOGAL SU 320	4,8	1940	SN
206	0,7	DOGAL SU 320	4,8	2020	SN
207	2,0	1140 - 32	6,4	5760	S
208	2,0	1140 - 32	6,4	5480	S/SN

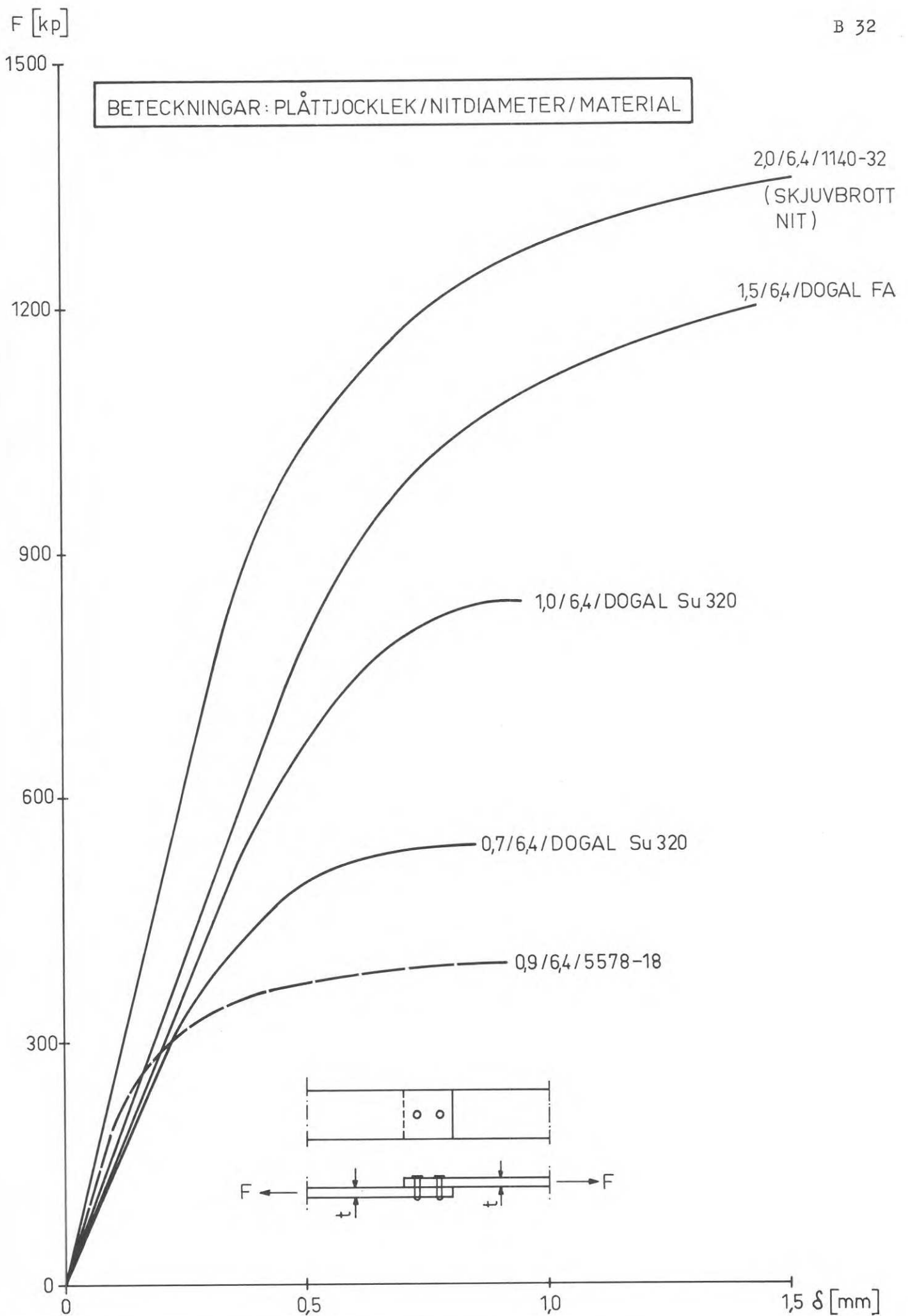


Fig.B33. Last-deformationskurvor för provkroppstyp II vid konstant nitdiameter (stål).

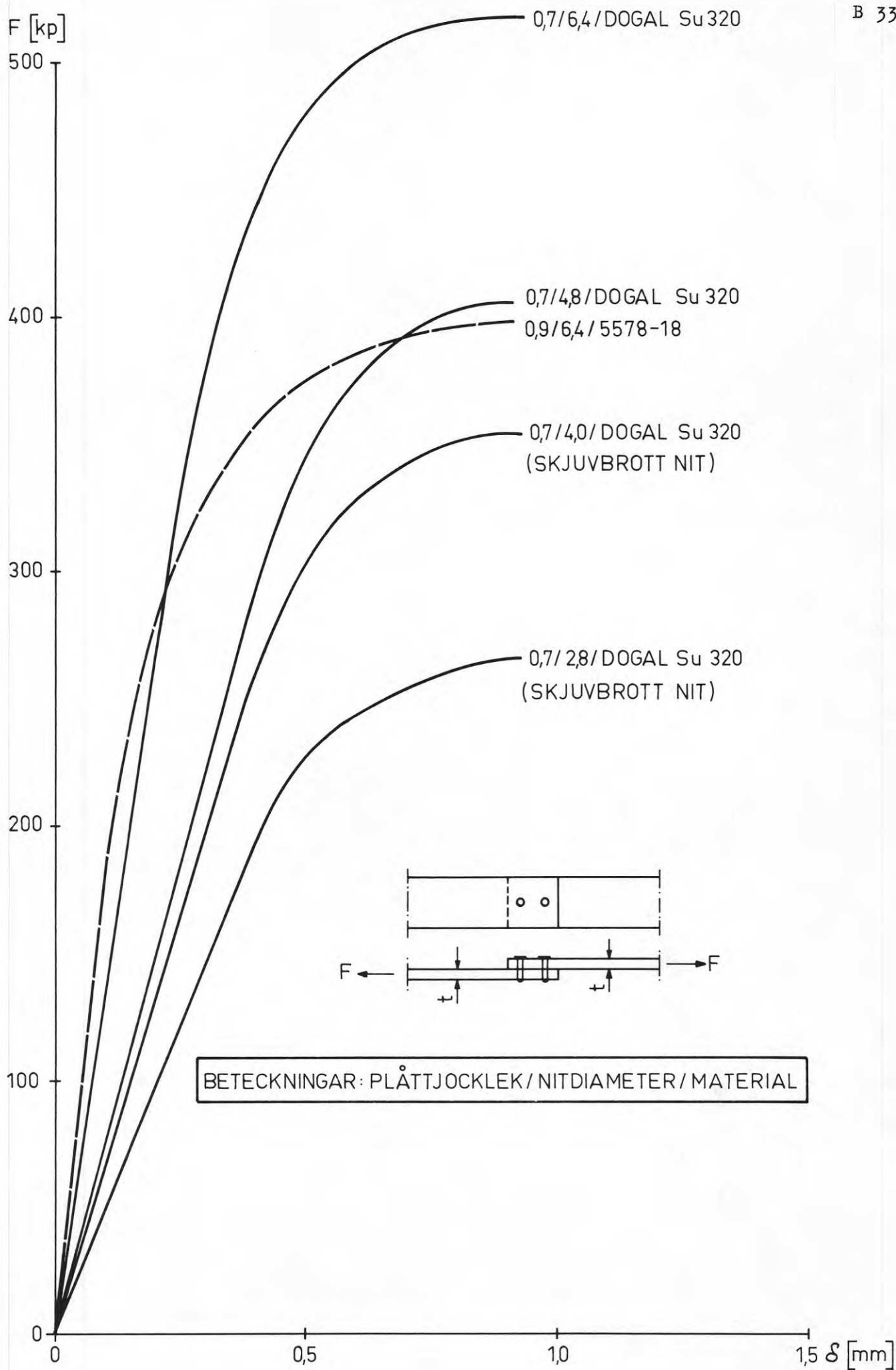


Fig.B34. Last-deformationskurvor för provkroppstyp II vid konstant plättjocklek (stål).



BETECKNINGAR: PLÅTTJOCKLEK /  
NITDIAMETER / MATERIAL

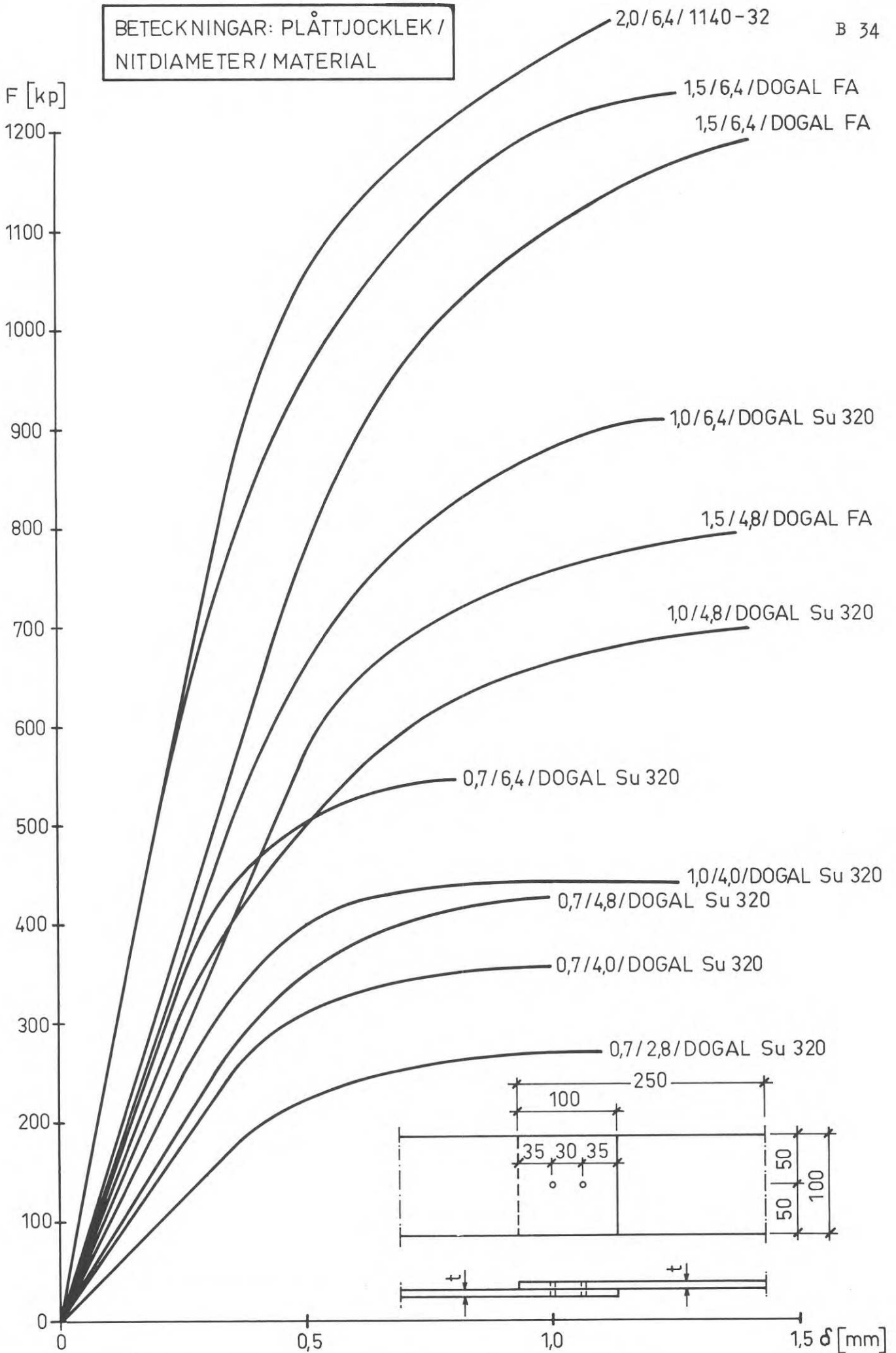


Fig.B35. Last-deformationskurvor för provkroppstyp II vid varierande plåttjocklek resp. nitdiameter (stål).

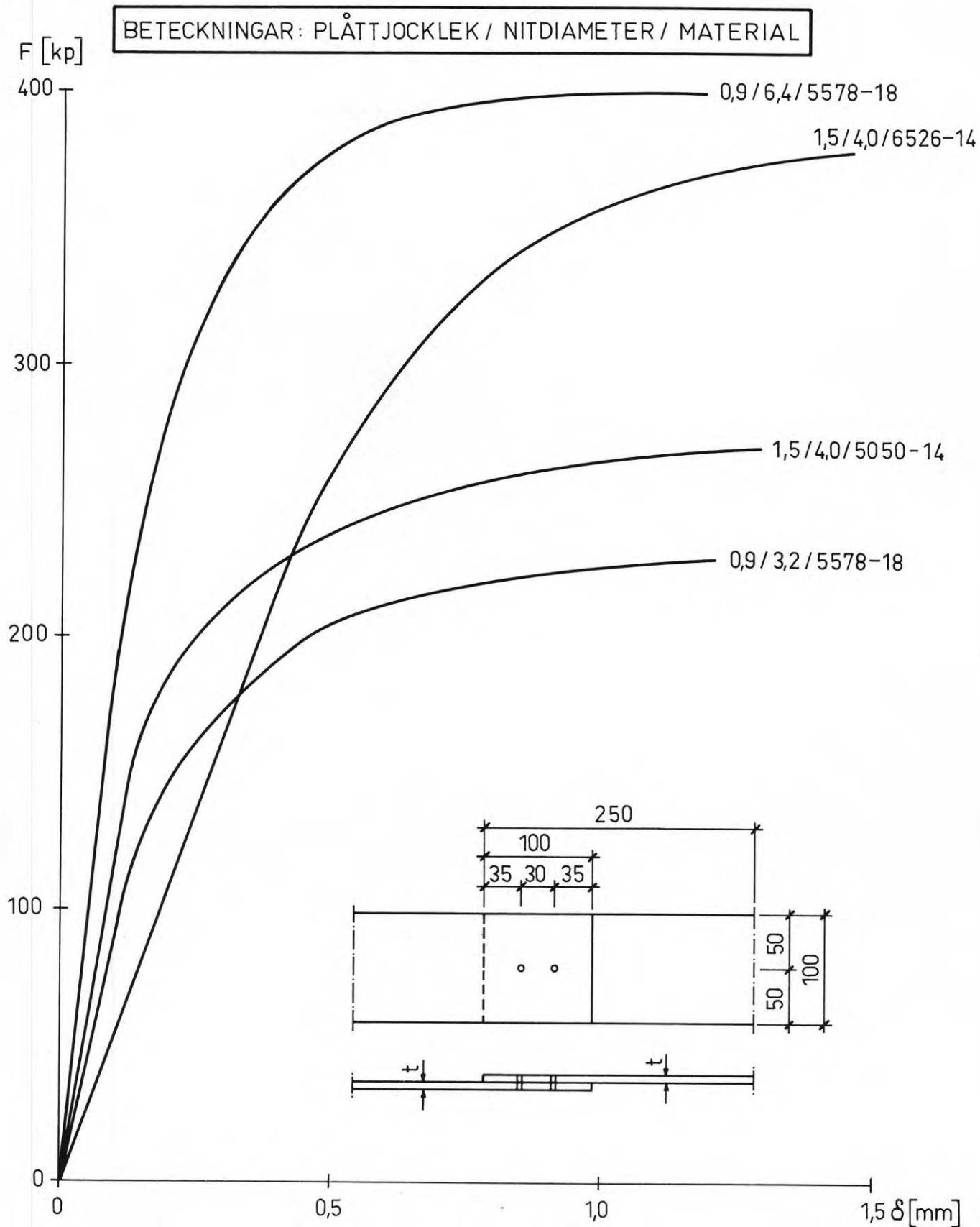


Fig.B36. Last-deformationskurvor för provkroppstyp II och konstant godstjocklek (aluminium).

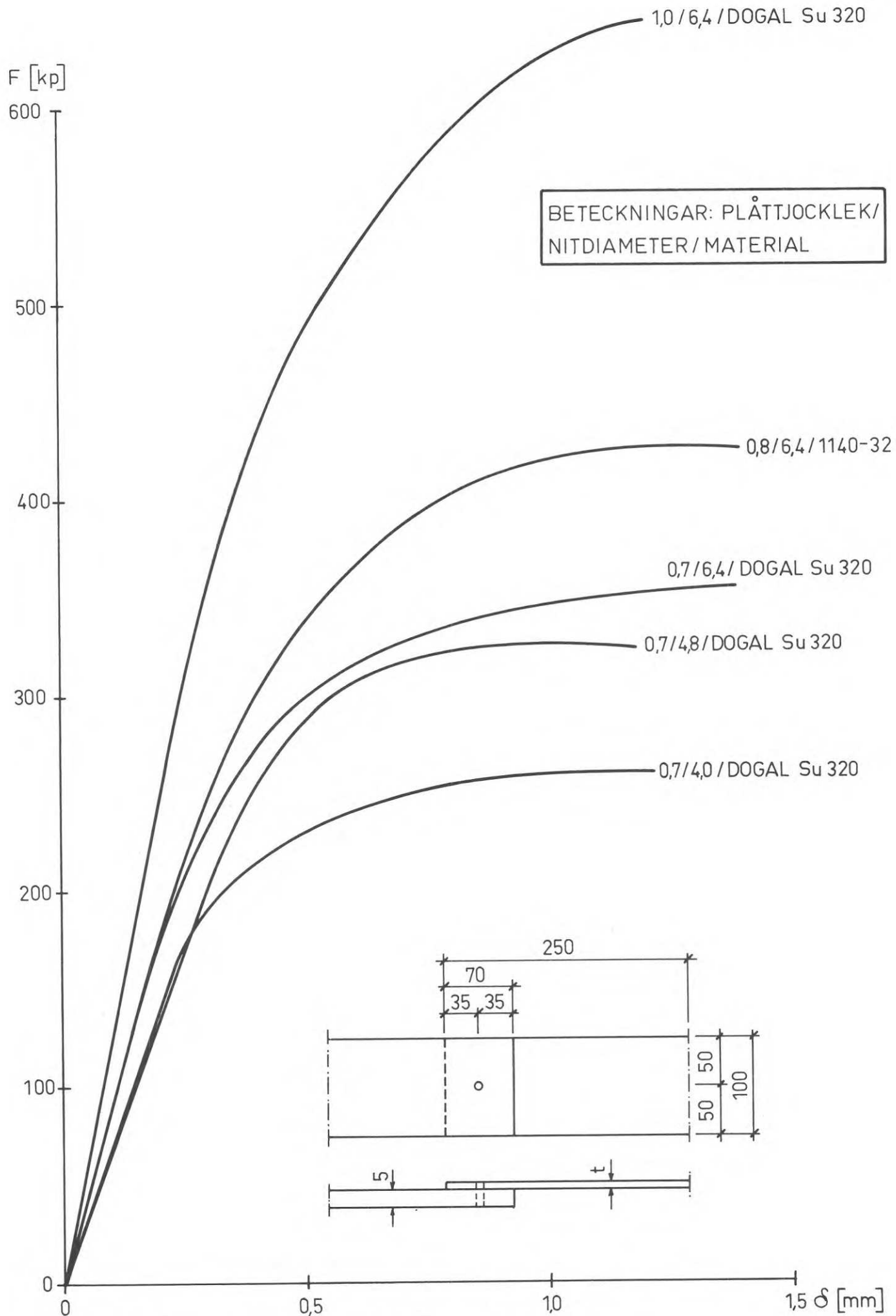


Fig.B37. Last-deformationskurvor för provkroppstyp I vid varierande plåttjocklek och nitdiameter (stål).

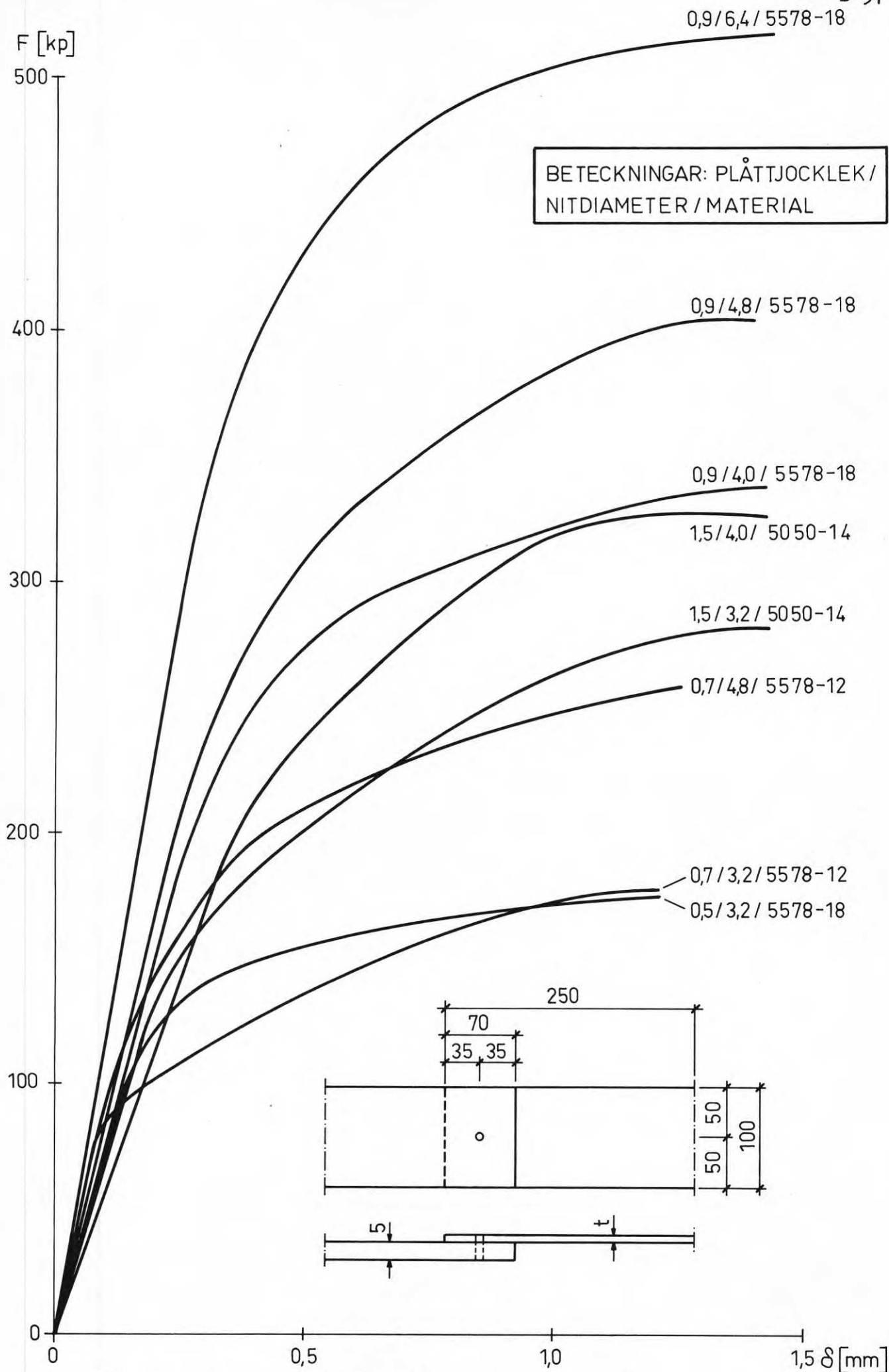


Fig.B38. Last-deformationskurvor för provkroppstyp I vid varierande plåttjocklek och nitdiameter (aluminium).

#### 4.4 Diskussion av provningsresultaten

##### a) Brottlast och brotttyp

En kvalitativ bedömning av brottstadiet visar, som framgår av tabellerna 2 - 7, att

nitbrott accentueras vid förband med hållfasthetsmässigt högvärdigt material, avtagande nitdiameter och god styrning av nitarna i godset.

hålkantflytningen primärt initieras vid lägre materialhållfasthet av grundmaterialet, ökande nitdiameter och god inspänning av niten i den grövre plåten av ett kombinerat förband

snedställningsbrottet är aktuellt vid tunna plåtar.

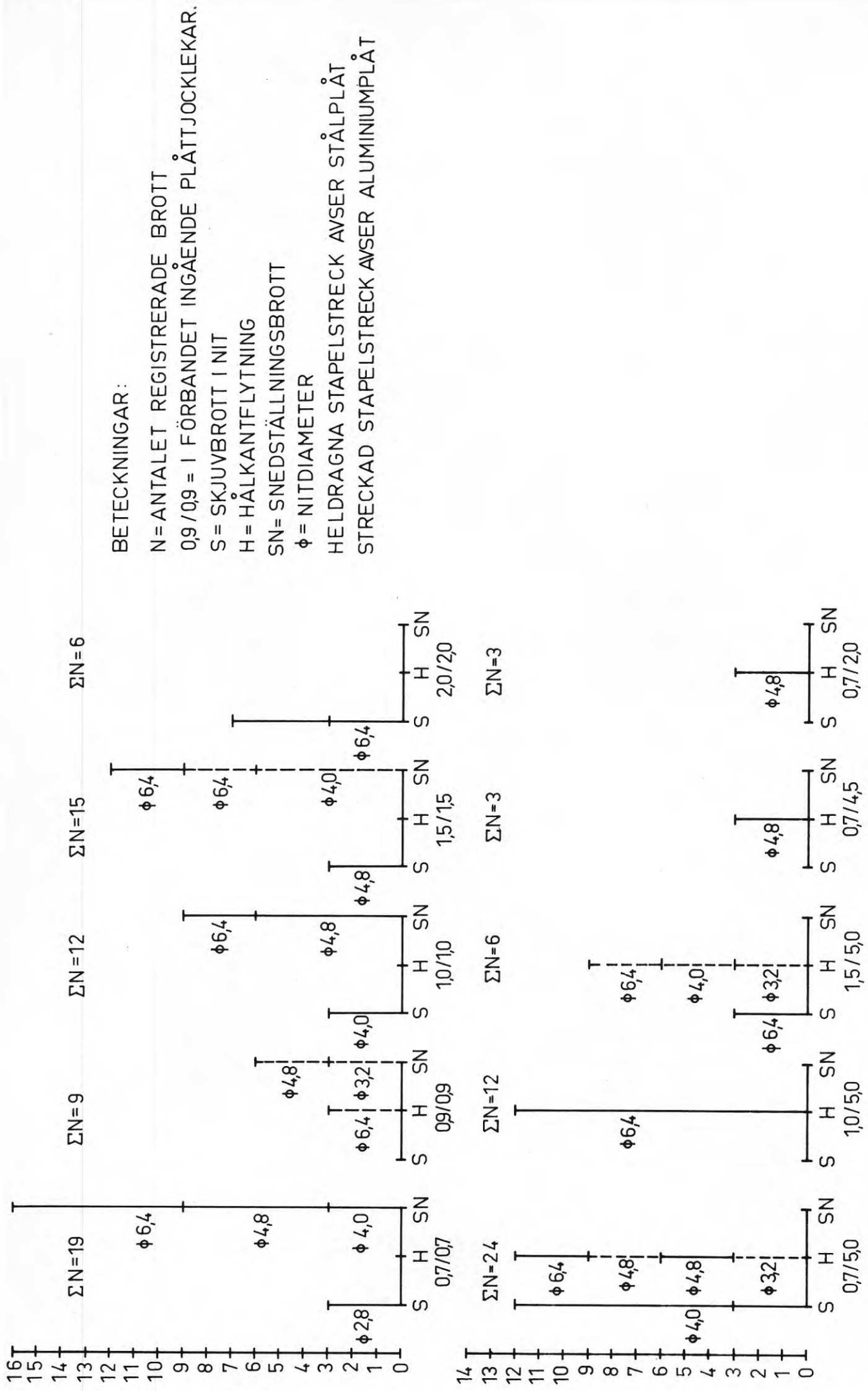
kantbrott uppträder vid otillräckligt avstånd i kraftriktningen mellan nit och plåtkant.

Den experimentellt erhållna tvärlasten per nit vid registrerat nitbrott svarar väl mot skjuvbrottlasten som anges av tillverkaren. Detta framgår av nedanstående jämförelse (tabell 8). Avvikelserna kan förklaras genom att experimentellt erhållna skjuvbrottlaster i vissa fall inte återspeglar ett renodlat skjuvbrott. Återgivna experimentella värden utgör medelvärden, beräknade utan hänsyn till provkroppsutformning.

Tabell 8: Jämförelse mellan nominella ( $F_{s1}$ ) och experimentellt erhållna skjuvbrottlaster ( $F_{s2}$ ) för POP-nit LD/BS.

	Nitdiameter				
	2,8	3,2	4,0	4,8	6,4
$F_{s1}$ (kp)	135	190	250	425	725
$F_{s2}$ (kp)	145	-	254	487	764

En illustration av brotttypfrekvensen vid försöken beroende av plåttjocklek, nitdiameter och grundmaterial ges i figur B 39.



BETECKNINGAR:  
 N= ANTALET REGISTRERADE BROTT  
 09/09 = I FÖRBADET INGÅENDE PLÅTTJOCKLEKAR.  
 S= SKJUVBROTT I NIT  
 H= HÅLKANTFLYTNING  
 SN= SNEDSTÄLLNINGSBROTT  
 φ= NITDIAMETER  
 HELDRAGNA STAPELSTRECK AVSER STÅLPLÅT  
 STRECKAD STAPELSTRECK AVSER ALUMINIUMPLÅT

Fig. B39. Illustration av brottyppfrekvenser vid olika plåttjocklekar och nitdiameter.

Av ovanstående framgår, att brottyperna nitbrott, hålkantflytning och snedställningsbrott måste bli föremål för diskussion vid bestämning av säkerhetsnivån. Dessutom måste risken för kant- och sektionsbrott beaktas.

Vid bestämning av säkerhetsnivån bör beaktas att uppnåendet av brottlasten är kopplat till relativt stora formändringar i förbandet d v s att kravet på bibehållen funktionsstabilitet av förbandet normalt inte medger ett utnyttjande av dess lastupptagande förmåga.

b) Förbandets formändringsbeteende

Formändringsbeteendet hos förband med hålnitar framgår av fig. B 33 - B 38. Till redovisade samband mellan tvärlast och förskjutning kan ges följande kommentarer:

Fig. B 33 avser provkroppstyp II med konstant nitdiameter (6,4 mm) och varierande plåttjocklekar med därtill knutna hållfasthetsvärden. Kurvorna uppvisar ett approximativt linjärt samband mellan tvärlast och formändring upp till ca 70 - 80 % av brottlasten. Endast vid relativt grov plåt har nitbrott erhållits, medan vid mindre godstjocklekar snedställningsbrottet är aktuellt. Den streckade kurvan avser förband med aluminiumplåtar. Skillnaden i materialhållfasthet mellan aluminium ( $\sigma_s/\sigma_B \approx 20/22$ ) och stålplåt ( $\sigma_s/\sigma_B \approx 39/49$ ) gör sig gällande i form av en tidigt uppträdande hålkantflytning.

Fig. B 34 visar F -  $\delta$  - kurvor för konstant plåttjocklek i provkroppstyp II och varierande nitdiameter. Som jämförelsekurva har inlagts i diagrammet en F -  $\delta$  - kurva för 0,9 mm aluminiumplåt och d = 6,4 mm nitdiameter. Nitbrott har endast erhållits vid små nitdiameter ( $d \leq 4,0$  mm). Elastiskt deformationsbeteende har erhållits upp till ca 60 - 70 % av brottlasten.

Fig. B 35 innehåller såväl variationer av godstjockleken vid provkroppstyp II som variationer av nitdiameterarna  $4 \leq d$  [mm]  $\leq 6,4$  mm. Vid snedställningsbrott och tunna plåtar ( $t = 0,7$  mm) erhöles åter en tidigt begynnande plastisk deformation och en nedsatt lastupptagningsförmåga, jämfört med motsvarande plåttjocklek vid provkroppstyp I. Formändringskurvorna motsvarar i övrigt ovan diskuterade samband.

Fig. B 36 återger last-deformationskurvor för provkroppstyp II i aluminium vid godstjocklekar om 0,9 resp. 1,5 mm samt varierande nitdiameter. En jämförelse mellan kurvorna för  $t = 1,5$  mm och  $d = 4,0$  mm visar betydelsen av materialhållfastheten, som i det ena fallet motsvarar  $\sigma_s/\sigma_B \approx 19,5/24,6$  och i det andra fallet  $\sigma_s/\sigma_B = 9,0/10,1$ . I det första fallet begränsades förbandets bärformåga genom nitbrott, i det andra fallet genom snedställning.

Fig. B 37 avser provkroppstyp I med variationer av plåttjocklekar och nitdiametrar. I samtliga redovisade fall har den primära brottorsaken varit hålkantflytning. Medan vid ökande godstjocklek deformationsbeteendet är elastoplastiskt erhålls med avtagande plåttjocklek och nitdiameter en mera utpräglad tidig glidning i förbandet, beroende på den ökande plasticeringen av hålkanten.

Fig. B 38 visar  $F - S$  - kurvornas variationer för provkroppstyp I av aluminium vid varierande plåttjocklekar och nitdiameter. I samtliga redovisade fall har brottorsaken varit hålkantflytning. I motsats till förbandet med stålplåt saknas här inom redovisat deformationsområde den utpräglade glidprocessen vid ökande hålkanttryck.

Sammanfattningsvis kan sägas att samtliga förbandstyper uppvisar ett approximativt elastiskt formändringsbeteende upp till belastningar om ca 60 - 70 % av brottlasten. Med hänsyn till funktionsstabiliteten bör en säkerhet mot denna belastningsgräns innehållas för undvikande av permanenta formändringar vid exv. tillfällig överbelastning av förbandet. I fig. B 40 redovisas representativa samband mellan tvärlast och formändringar vid olika brottyper.



NITBROTT  
(PROVKROPPSTYP II)

HÅLKANTFLYTNING  
(PROVKROPPSTYP I)

SNEDSTÄLLNINGSBROTT  
(PROVKROPPSTYP II)

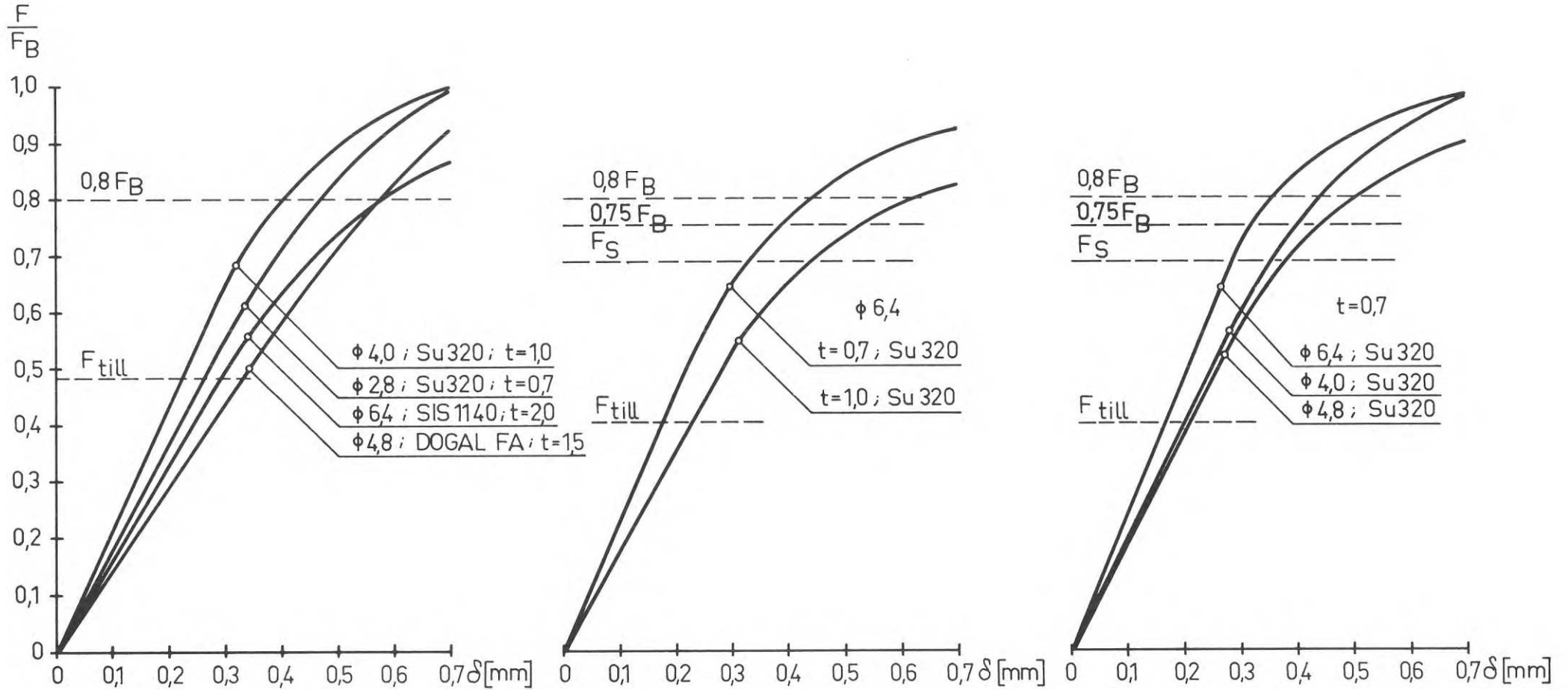


Fig.B40. Samband mellan formändringar  $\delta$  och förhållandet mellan tvärlast och respektive brottlast vid olika brottyper (representativa samband för stålplåt).

### B5. NITFÖRBANDETS LASTUPPTAGANDE FÖRMÅGA. DIMENSIONERINGSUNDERLAG

På grundval av ovan refererade försöksresultat samt ett studium av övrigt tillgängligt undersökningsmaterial [ 1 ] - [ 5 ] ges nedan rekommendationer för beräkning av nitförband samt för bestämning av skälig säkerhetsnivå. Uppställda regler gäller för såväl solid-nit som ihålig nit under förutsättning att följande krav uppfylls:

1. Sätthuvuds diameter skall ej understiga  $1,65d$  och ha så stor styvhet att det ej deformeras under skjuvbelastning till brott.
2. Stuk- (slut-)- huvuds diameter bör i stukat tillstånd ej understiga  $1,30d$ .
3. Brott utbildas enligt de beskrivna typerna och ej genom krossning eller annan ej definierad brotttyp.
4. Nitarnas montering får ej medföra att plåttvärnsnittet försvagas.

Med avseende på i kap. 4.4 redovisade brottyper erhålls följande dimensioneringsunderlag:

Tecknas brottlasten av nitförbandet vid konstant nitdiameter som funktion av godstjockleken gäller i fig. B 41 redovisat principiella samband, under förutsättning att kant- och sektionsbrott utesluts. Den horisontella kurvdelen beskriver därvid en övre gräns av den lastupptagande förmågan, bestämd av att nitbrott inträffar. Denna brotttyp är aktuell vid en av nitdiametern samt av grund- och nitmaterialets hållfasthetsvärden beroende minsta plåttjocklek. Vid mindre plåttjocklekar uppnås brottstadiet genom hålkantflytning eller snedställning av nitarna (parabolisk kurvgrän).

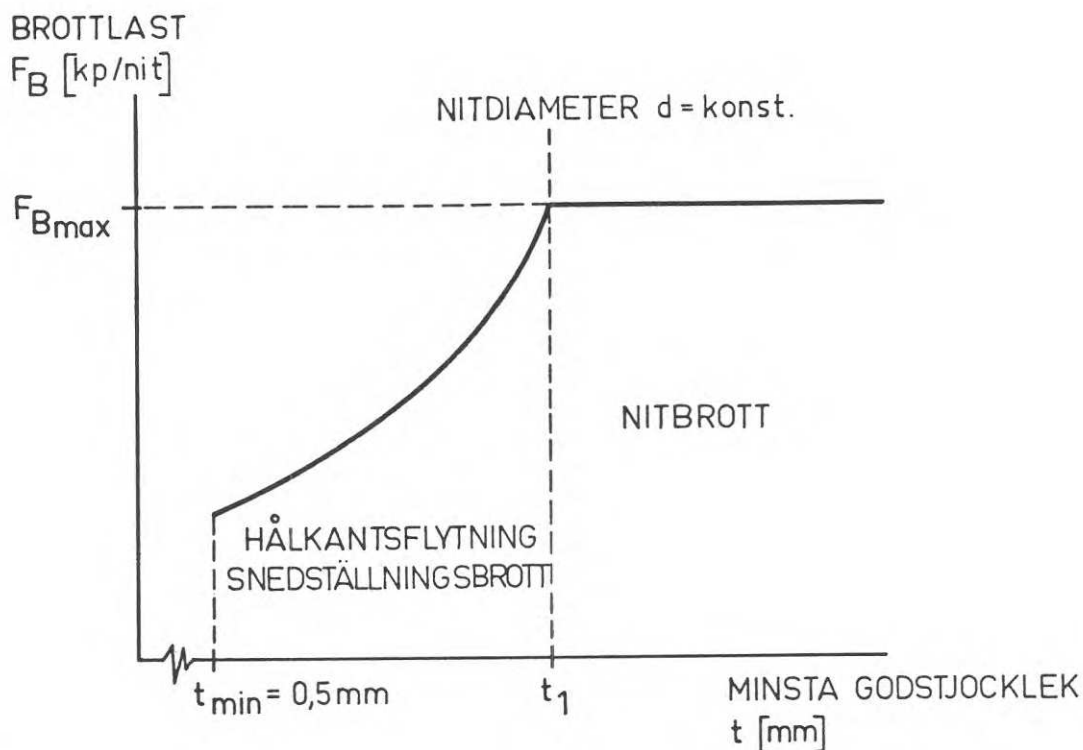


Fig. B41. Principiellt samband mellan förbandets lastupptagande förmåga och godstjocklek vid konstant nitdiameter.

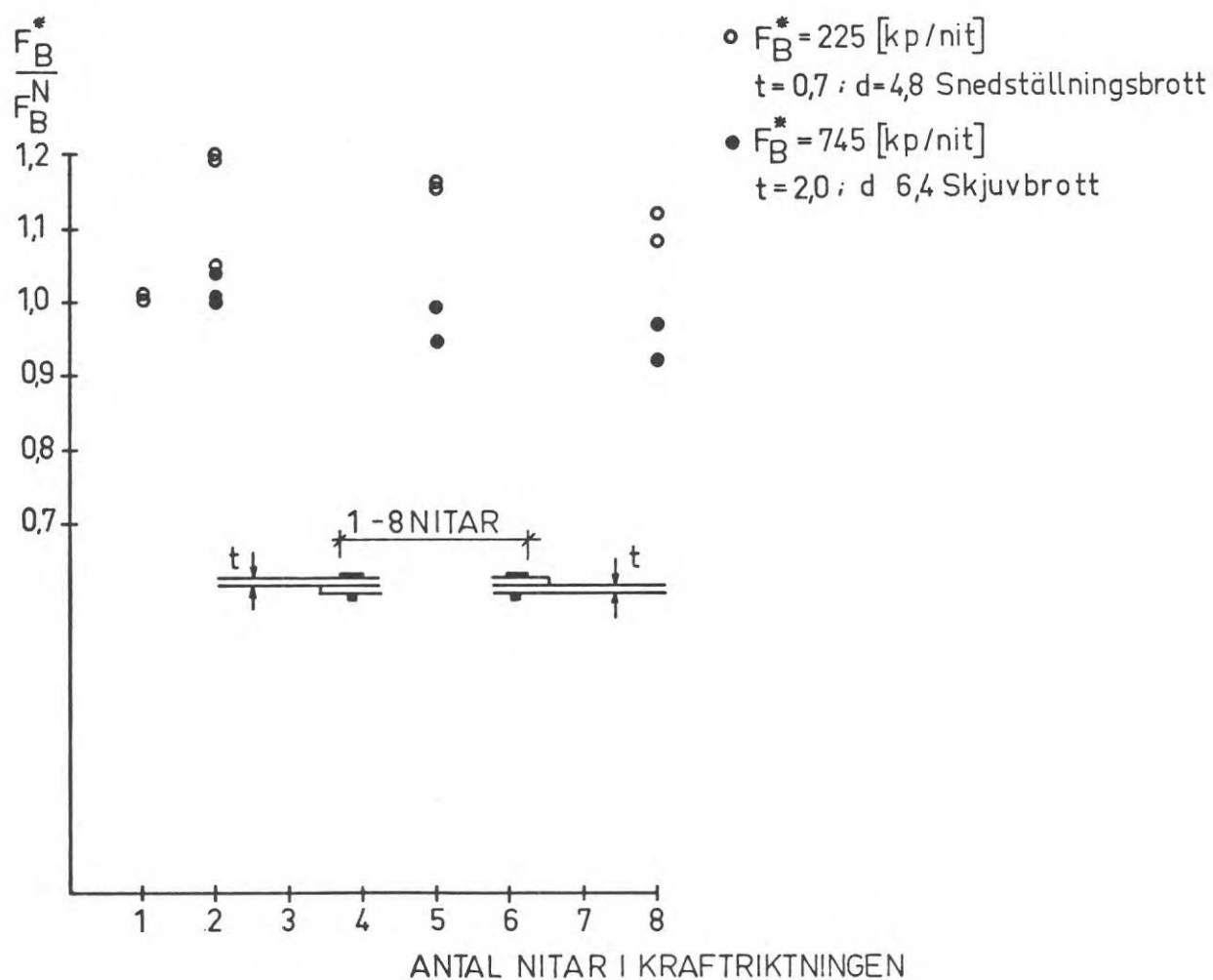


Fig. B42. Medelbrottlast per nit i förhållande till den enskilda nitens skjuvbrottlast vid förband med flera nitar.

## 5.1 Nitbrott

Denna brottypp uppträder i form av avskjuvning eller hoptryckning av nitskäftet. Undersökningarna med hålnitar visade, att av tillverkaren uppgiven skjuvbrottlast väl motsvarade experimentellt erhållna värden. Vid solid-nit kan skjuvbrottlasten beräknas med utgångspunkt från sambandet  $F_{BN} = \tau_B \cdot \frac{d^2 \pi}{4}$ , varvid  $\tau_B$  motsvarar den med hänsyn till kallstukningen aktuella skjuvbrotthållfastheten.

Vid nitförband med flera nitar i kraftriktning kan en spänningskoncentration vid de yttre nitarna förväntas uppkomma. Lastupptagningen av förbandet är, om brottet inleds genom nitbrott i den högst påkända niten, lägre än vad som motsvarar den nominella lastupptagningsförmågan ( $= n \cdot P_B$ ). Av fig. B 42 framgår hur medelbrottlasten per nit  $F_B^*$  varierar med antalet nitar i förbandet. Denna brottypp bör vid tunnväggiga förband undvikas med tanke på att brott av enskild nit kan utlösa ett momentont totalbrott. Bidragande orsaker till denna brottform i förband med flera nitar i kraftriktning är dels förbandets elastiska egenskaper samt dels imperfektioner i form av dålig hålutfyllning. Genom att använda i förhållande till plåten överstarka nitar, kan risken för nitbrott elimineras. Vid förband med två eller flera nitar i rad - parallella med kraftriktningen - bör normalt plåttjockleken så väljas att brottet hänföres till hålkantflytning eller snedställning.

Enligt nedan angivet empiriskt samband för den paraboliska kurvdelen i fig. B 41 undviks nitbrott, om den minsta plåttjockleken är

$$t_2 \lesssim \sqrt{\frac{F_{BN}}{k_1 (d + 5) \sigma_B}} - k_2 \quad [\text{mm}]$$

Härvid är

$F_{BN}$  = nitens nominella skjuvbrottlast

$d$  = nitdiameter [mm]

$\sigma_B$  = den tunnare plåtens ( $t_2$ ) brotthållfasthet [kp/mm<sup>2</sup>]

$k_1$  = 0,65 vid lika tjocka plåtar  
= 0,90 vid  $t_1 \geq 2,5 t_2$

$k_2$  = dimensionsbunden konstant = 0,22 [mm<sup>2</sup>]

Ekvationen har testats med avseende på 68 försök där nitbrott erhållits. I samtliga fall har  $t_2$  därvid varit större än angivet värde. Från andra undersökningar har 74 skjuvbrott studerats och inget motsägande resultat erhållits.

## 5.2 Snedställningsbrott

Brottfenomenet har enligt ovanstående i huvudsak aktualitet, om nitarna inte kan stabiliseras av det tunna godset. En utvärdering av försöksresultaten har för förband med lika tjocka plåtar inom tjockleksområdet  $0,5 \leq t \leq 2,0$  mm lett fram till ett empiriskt samband mellan förbandets brottlast  $F_B$  och godstjockleken  $t$  av formen

$$F_{BS} = 0,65 (d + 5) (t^2 + 0,22) \sigma_B \quad [\text{kp}]$$

som visar en god anpassning till försöksvärdena.

I denna ansats betecknar

$d$  = nitdiameter [mm]

$\sigma_B$  = plåtens brotthållfasthet [kp/mm<sup>2</sup>]

I ekvationen ingående siffervärden är dimensionsbundna.

I figur B 43 - B 46 återges en sammanställning av i försök erhållna brottlastvärden som funktion av godstjockleken och med nitdiametern resp. antalet nitar som parameter. Ovan angiven empiriska ansats redovisas i figurerna som heldragna kurvor. Redovisat försöksresultat avser förband av såväl stålplåt som aluminiumplåt, varvid som referensvärde en materialhållfasthet om  $\sigma_B = 37 \text{ kp/mm}^2$  har valts.

Vid förband med aluminiumplåt har delvis registrerats något lägre  $F_B$ -värden än motsvarande värden enligt ovanstående ansats. Dessa brottlaster avser prov där krypning har ägt rum under belastningen, genom att lasten påförts i steg med upp till 30 min mellanrum. Jämförande försök med aluminium där krypningen är mest markant visar, att densamma medför en reduktion av brottlasten till ca 80 - 90 % av i korttidsförsök erhållna brottlastvärden. Till krypningens inverkan på brottlasten tas hänsyn vid säkerhetsbedömningen.

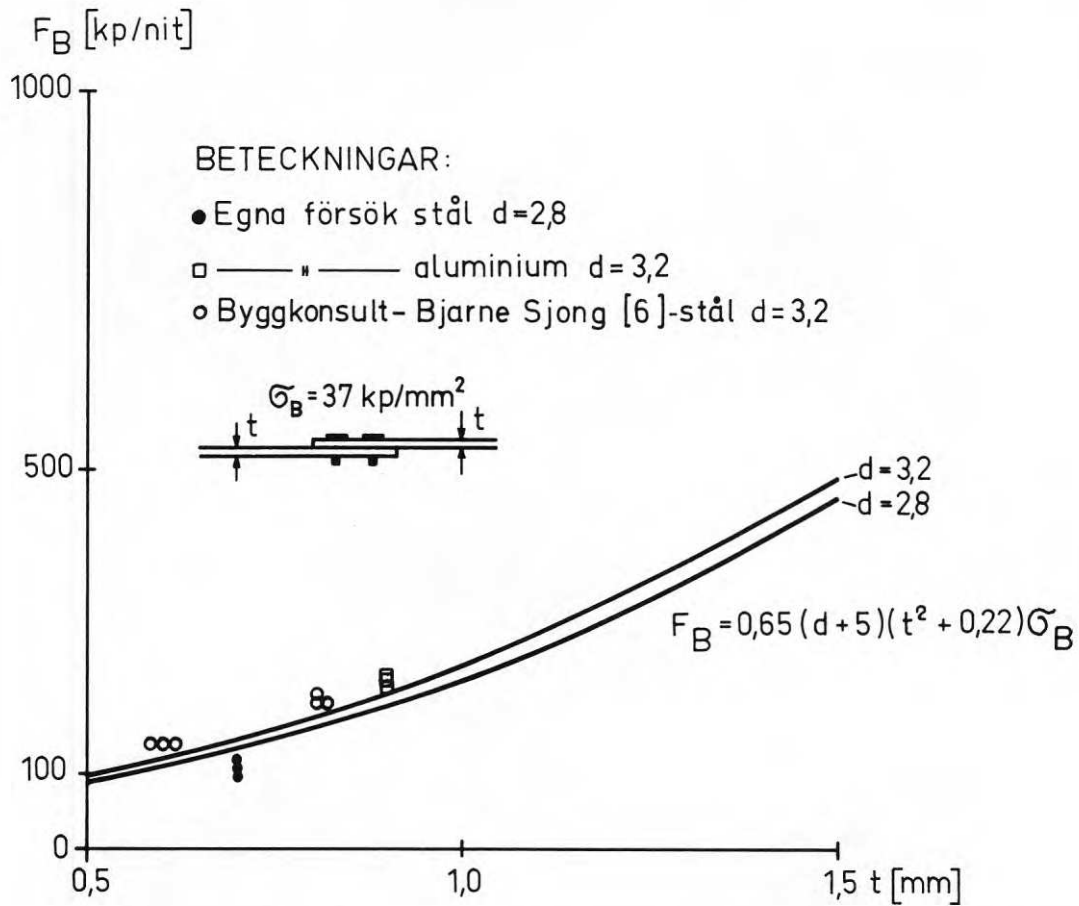


Fig.B43. Brottlast som funktion av plåttjocklek; nitdiameter 2,8 mm resp. 3,2 mm. Snedställningsbrott.

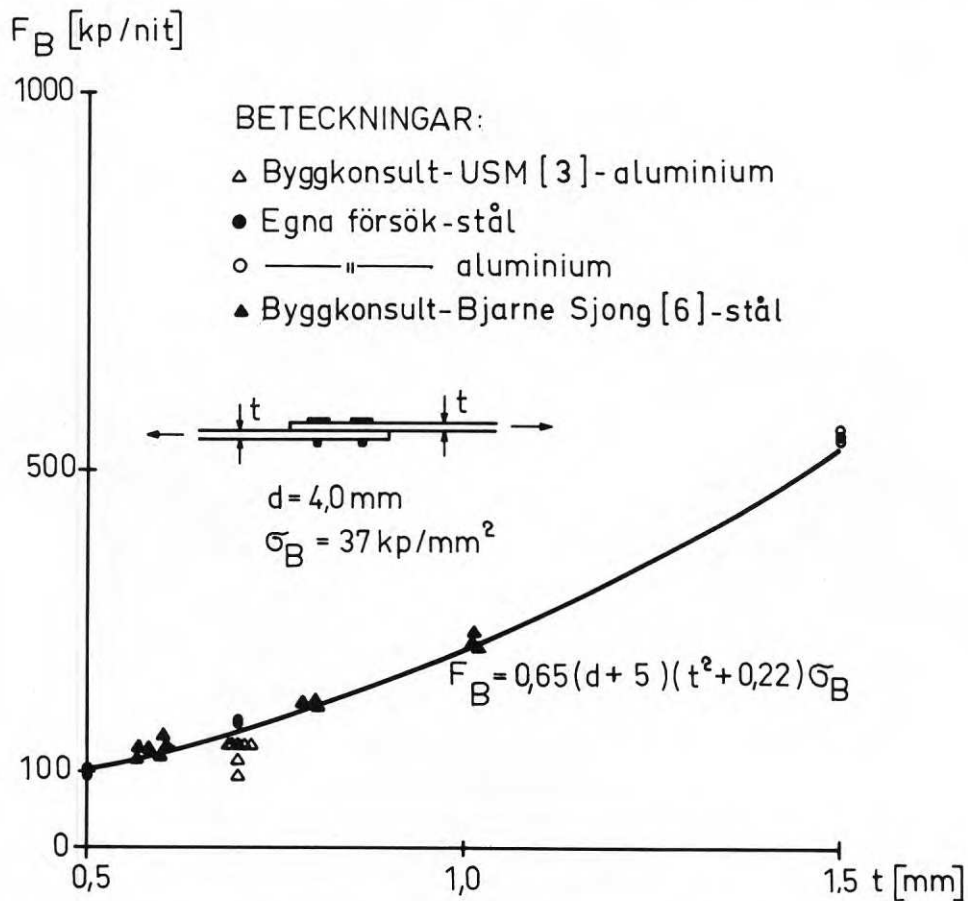


Fig.B44. Brottlast som funktion av plåttjocklek; nitdiameter 4,0 mm. Snedställningsbrott.

## BETECKNINGAR:

- Egna försök-stål
- △ Byggkonsult-USM [2] aluminium
- Byggkonsult-USM [4] stål
- ▲ Tekn. dr A. Johnson ing. byrå -  
- Domnarvets Jernverk [1] stål
- Egna försök-aluminium
- × Byggkonsult-Bjarne Sjong [6]-stål

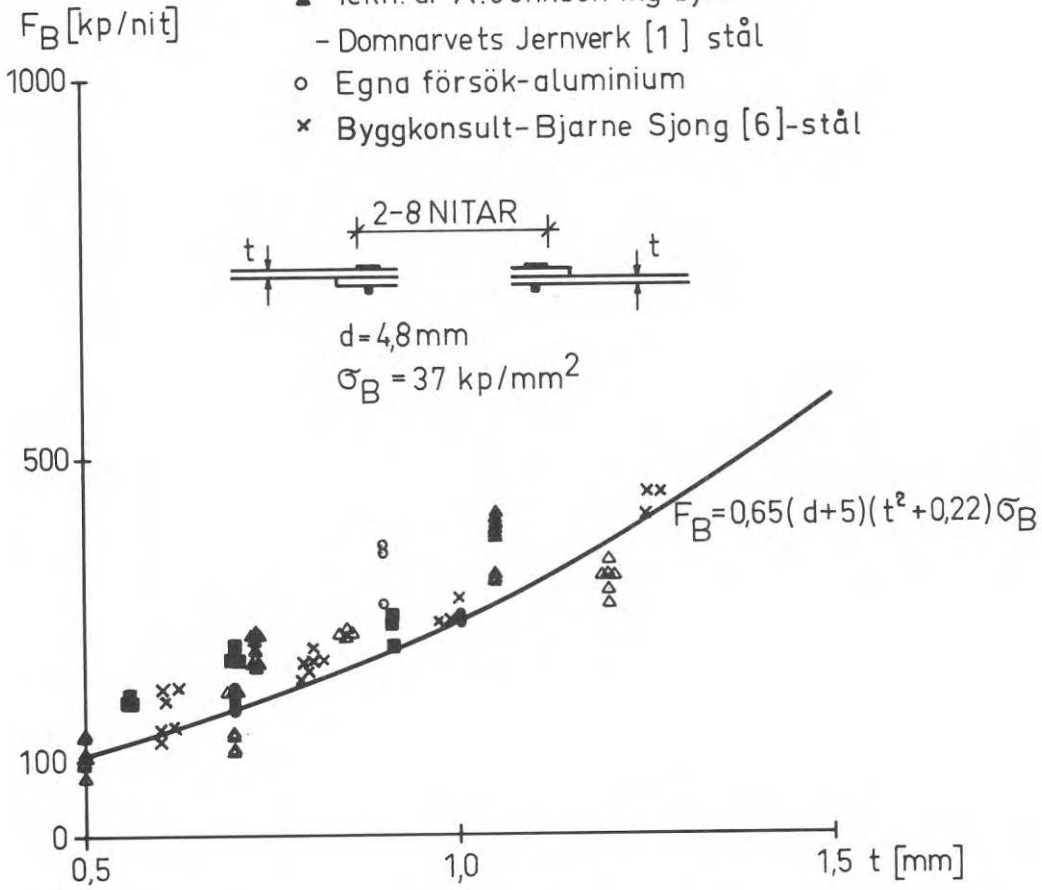


Fig. B45. Brottlast som funktion av plåttjocklek; nitdiameter 4,8 mm. Snedställningsbrott.

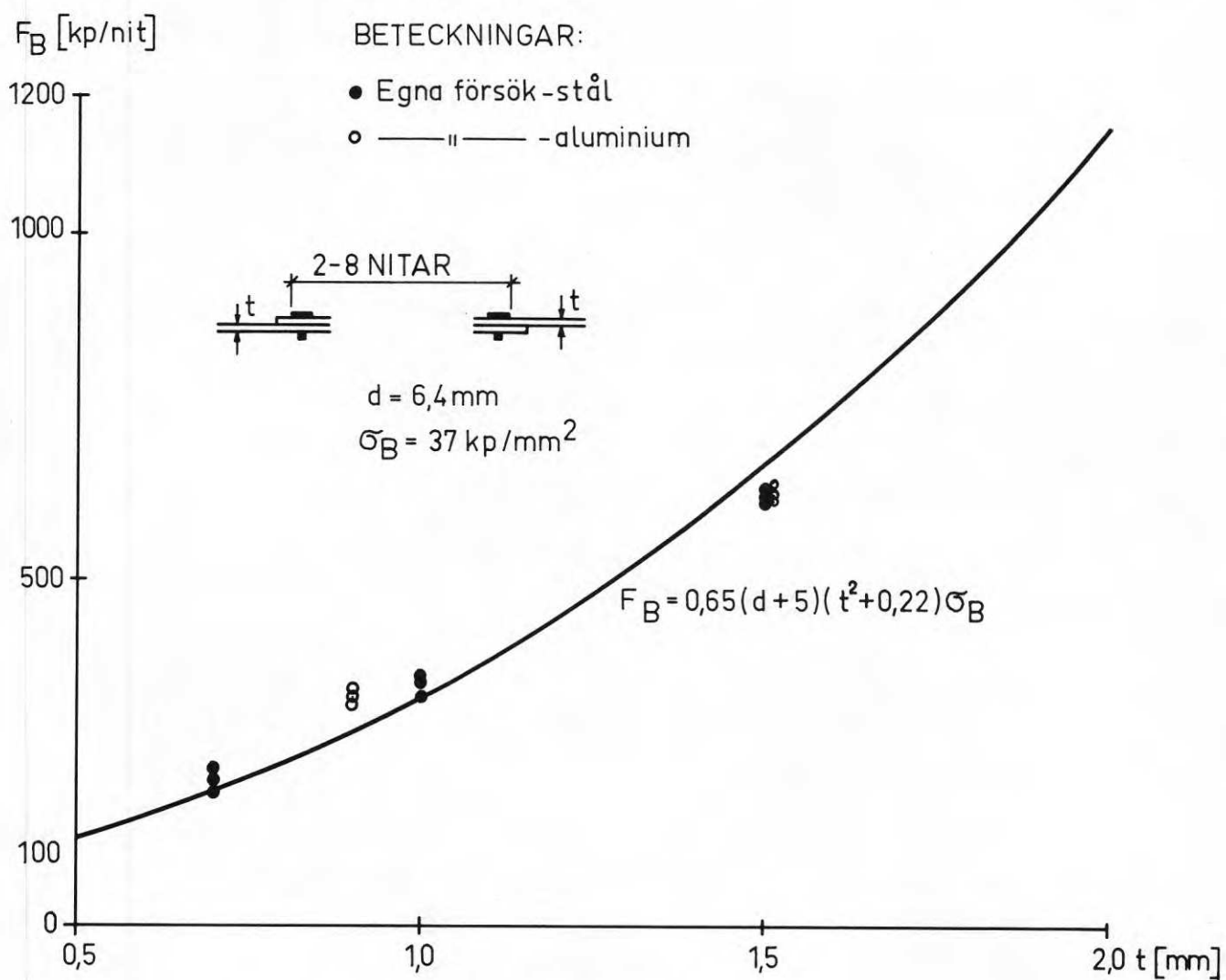


Fig.B46. Brottlast som funktion av plåttjocklek; nitdiameter 6,4 mm, Snedställningsbrott.



### 5.3 Hålkantflytning

Denna brottypp har i huvudsak aktualitet vid förband där snedställningen av nitarna förhindras genom inspänning av nitskäftet i grövre gods.

En utvärdering av försöksresultaten med avseende på denna brottypp har lett till ett empiriskt samband av liknande typ som vid snedställningsbrott. Under förutsättning, att den grövre plåtens tjocklek  $t_1$  är minst 2,5 ggr den mindre plåtens tjocklek ( $t_1 \geq 2,5 t_2$ ) gäller för bestämning av förbandets brottlast  $F_B$  approximativt

$$F_{BH} \approx 0,9 (d + 5) (t_2^2 + 0,22) \cdot \sigma_B \quad [\text{kp}]$$

Uttrycket är, bortsett från att faktorn 0,65 ändrats till 0,9 identiskt med uttrycket för beräkning av snedställningsbrottlasten. Med  $t_2$  avses den minsta plåttjockleken i förbandet. I övrigt sammanfaller även beteckningar.

Förhållandena belysas i fig. B 47 med brottlasten  $F_B$  som funktion av den minsta godstjockleken i förband av provkroppstyp I och för nitdiametrar om 2,3 och 4,0 mm. I fig. B 48 och B 49 redovisas motsvarande samband för nitdiametrar 4,8 mm och 6,4 mm.

Som framgår av figurerna anpassas den empiriska ansatsen väl till försöksresultaten.

Vid förband med olika plåttjocklekar och  $t_2 < t_1 < 2,5 t_2$  gäller med god approximation sambandet

$$F_{BH} \approx F_{BS} \approx k_1 (d + 5) (t^2 + 0,22) \sigma_B$$

$$\text{varvid} \quad k_1 = 0,111 (t_1/t_2 - 1)^2 + 0,65$$

Detta samband satisfieras nöjaktigt av provningsresultat för förband med godstjocklekar inom angivet tjockleksområde. Brottypen kan karaktäriseras som ett övergångstillstånd mellan hålkantflytning och snedställningsbrott.

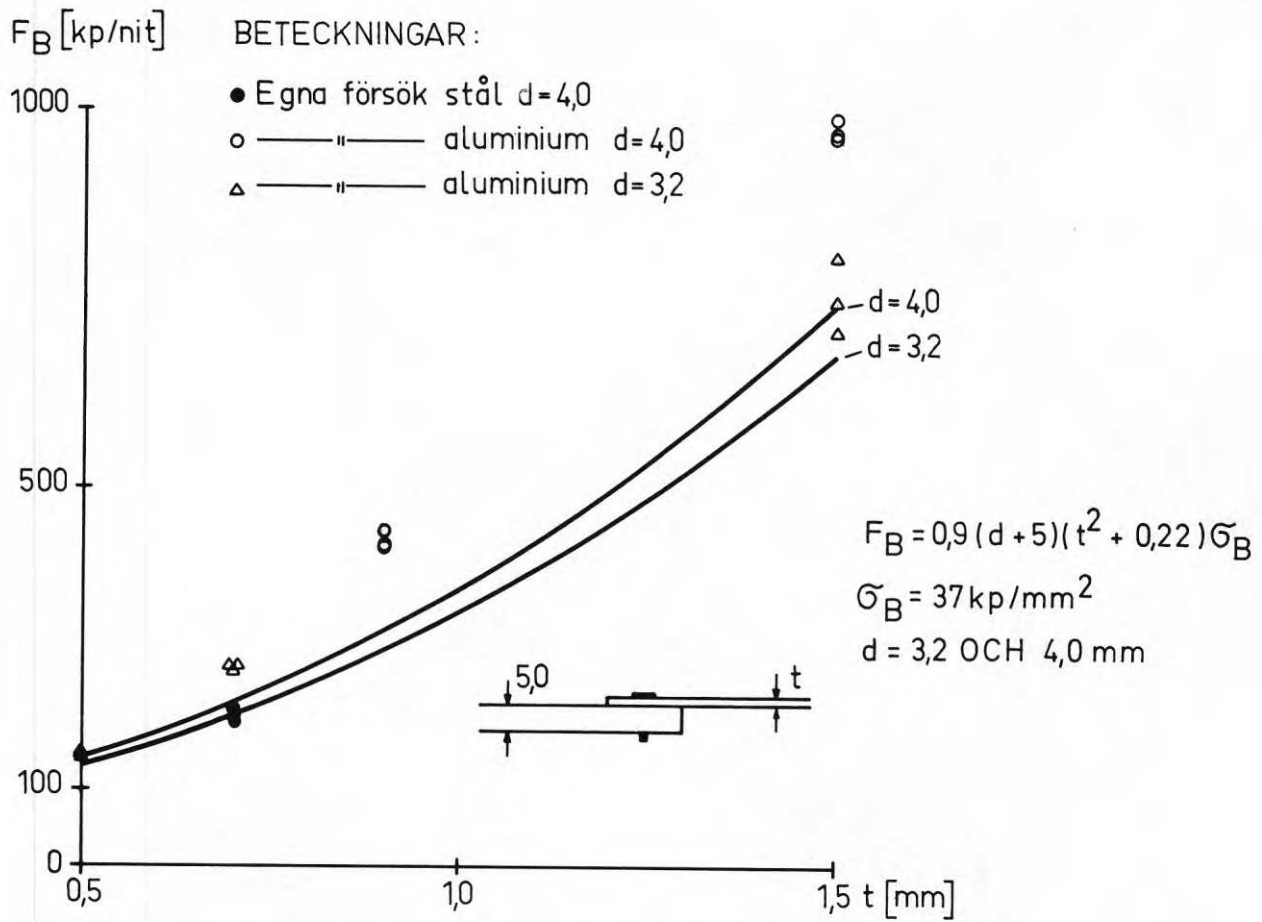


Fig. B47. Brottlast som funktion av den minsta plåt-tjockleken; nitdiametrar 3,2 och 4,0 mm.

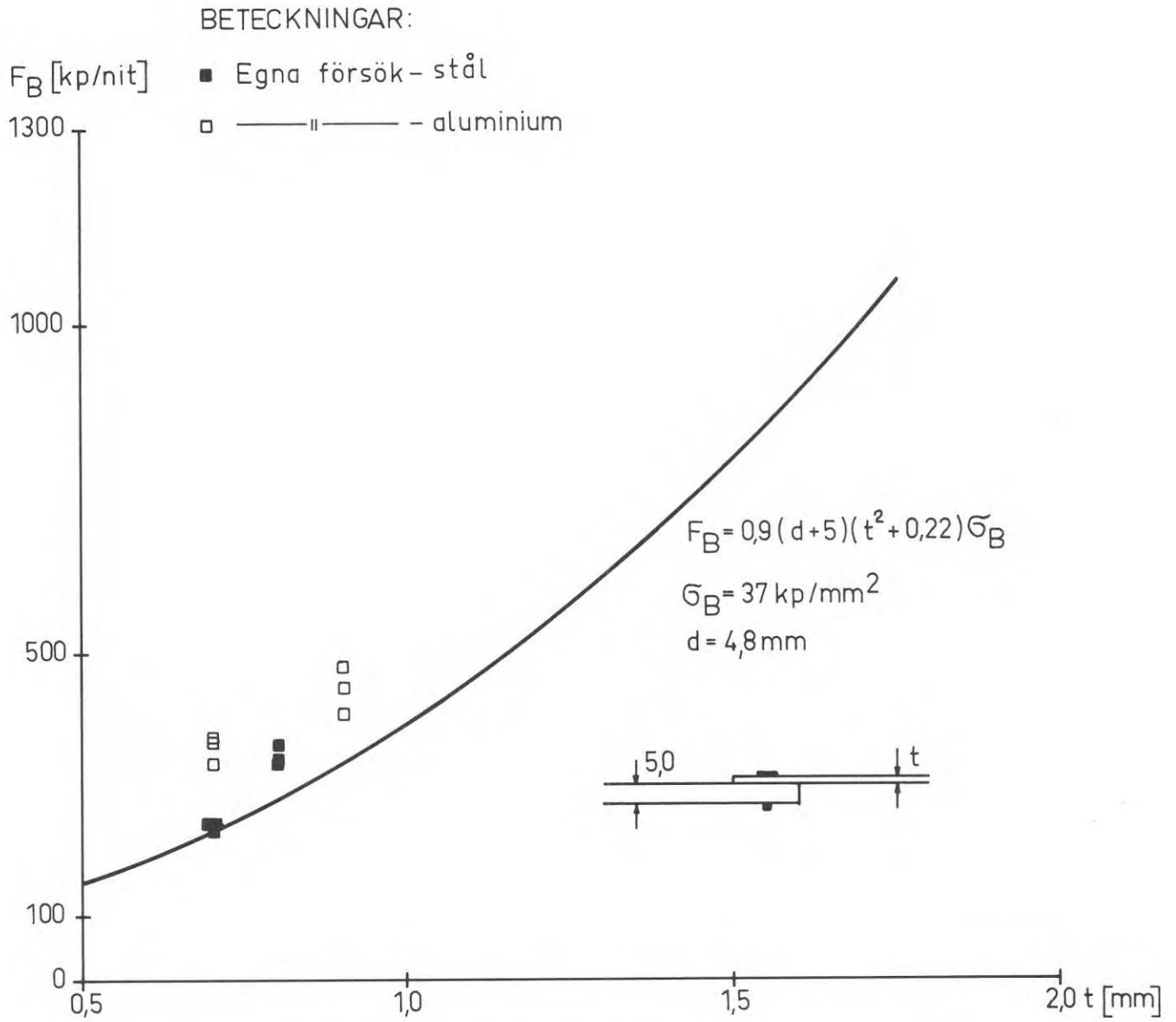


Fig.B48. Brottlast som funktion av den minsta godstjockleken; nitdiameter 4,8 mm. Hålkantflytning.

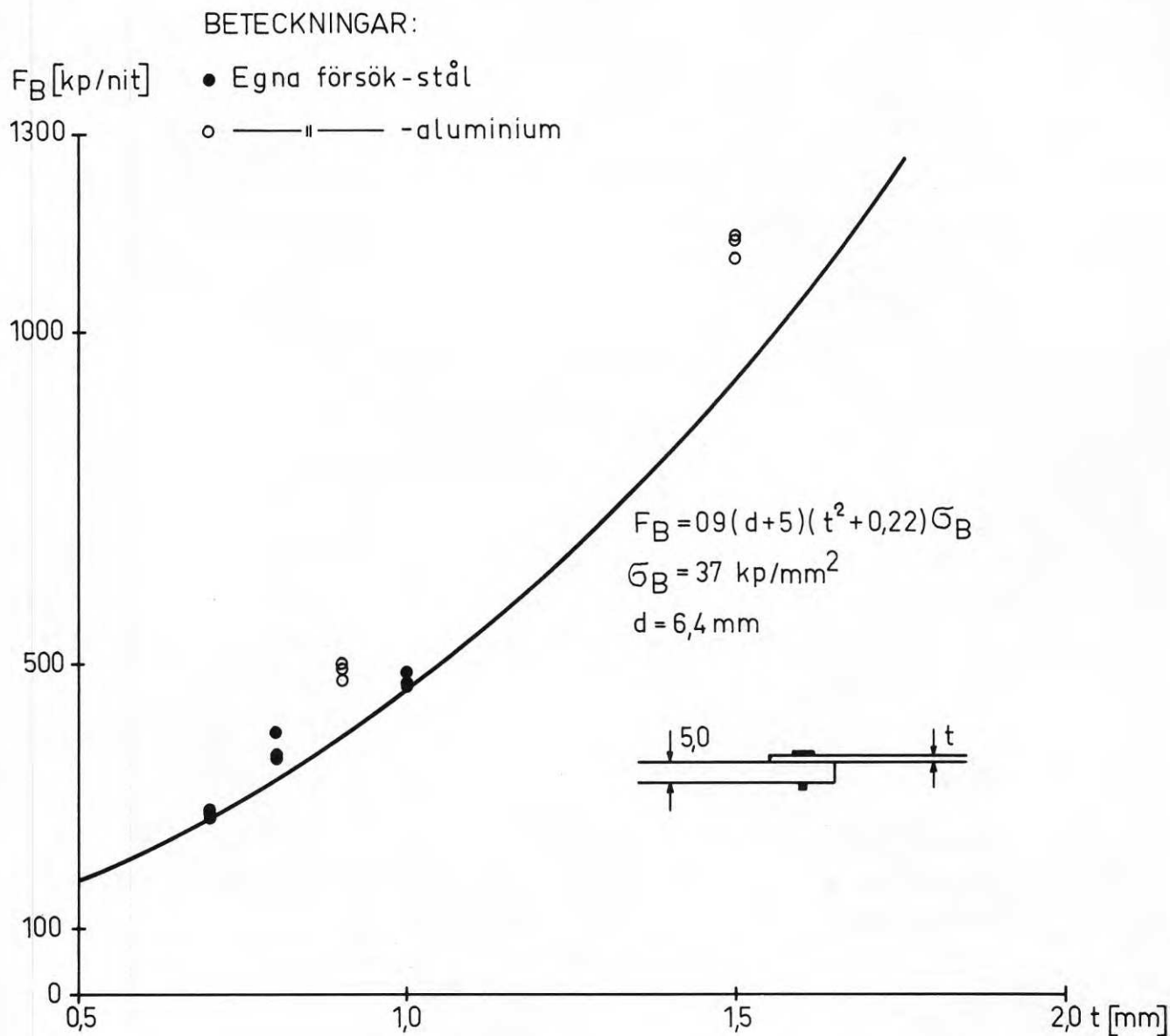


Fig.B49. Brottlast som funktion av den minsta godstjockleken; nitdiameter 6,4 mm. Hålkantflytning.

#### 5.4 Kantbrott

Denna brotttyp är aktuell vid otillräckligt avstånd mellan första nitraden och plåtkanten och karakteriseras av sambandet

$$F_{BK} = 0,9 \cdot \sigma_B \cdot t_2 \cdot e,$$

varvid  $e$  = kantavståndet [mm]

$t_2$  = minsta plåttjockleken [mm]

$\sigma_B$  = minsta plåtens brotthållfasthet [kp/mm<sup>2</sup>]

I figur B 50 återges en sammanställning av brottlaster  $F_B$  som funktion av förhållandet  $e/d$ , varvid  $d$  är aktuell nitdiameter. Av figuren framgår denna brotttyp generellt eliminerad, om förhållandet  $e/d$  väljs större än 3,5.

#### 5.5 Sektionsbrott

Denna brotttyp har inte haft aktualitet vid provningarna, men bör, liksom vid konventionella skruv- och nitförband, vara karakteriserad av sambandet

$$F_B = A_n \cdot \sigma_B$$

varvid  $A_n$  = är tvärsnittsarean med avdrag för nithålen (nettotvärsnitt)

## BETECKNINGAR:

- ▲ Egna försök - stål  $t=0,7$ ;  $d=4,0$
- ——— stål  $t=1,0$ ;  $d=6,4$
- ——— aluminium  $t=0,9$ ;  $d=4,0$
- ▽ ——— aluminium  $t=1,5$ ;  $d=4,0$

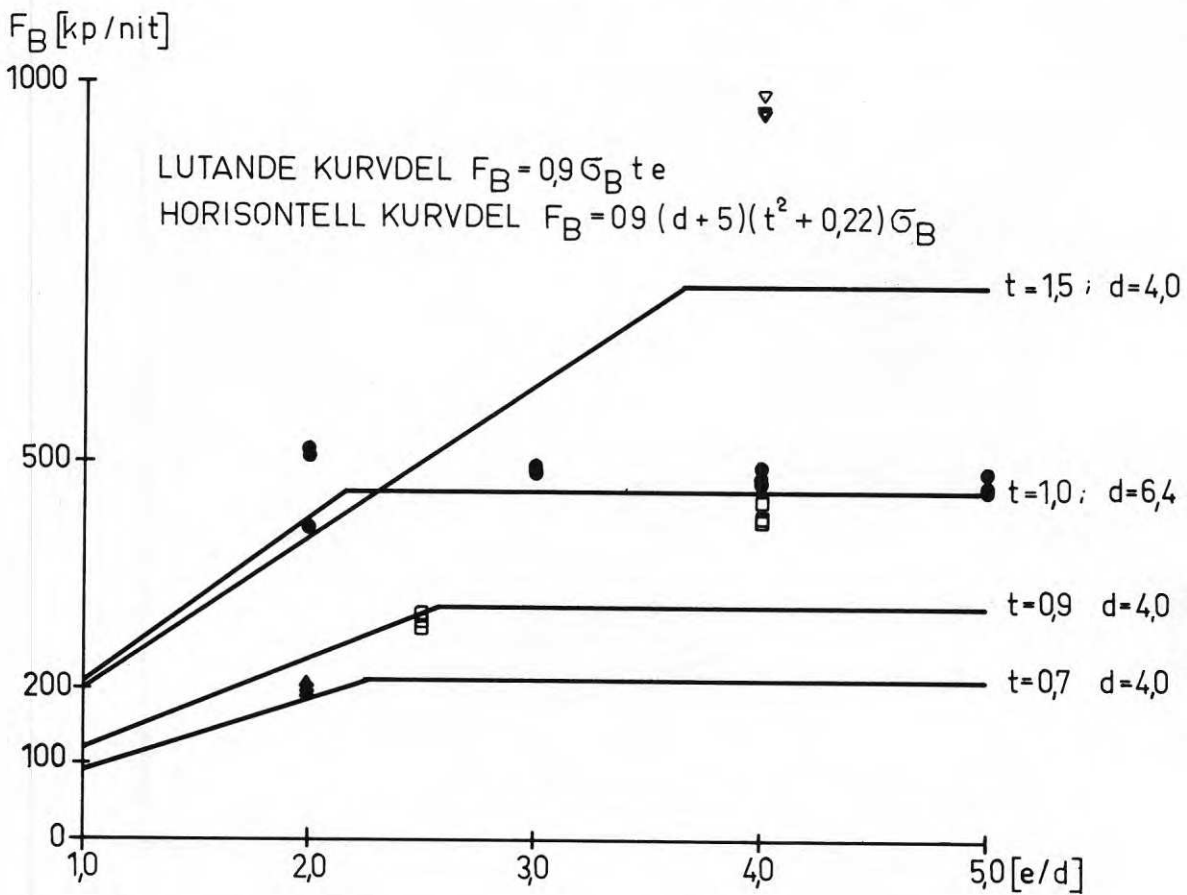
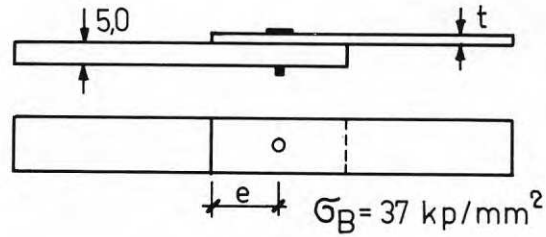


Fig.B50. Brottlåst som funktion av förhållandet  $e/d$  vid varierande nitdiameter och godstjocklek. Kantbrott eller hålkantflytning.

### 5.6 Säkerhet mot uppnående av brottlast vid tvärlast

Av figur B 39 framgår att det linjära sambandet mellan tvärlasten  $F$  och förskjutningen  $\delta$  upphör vid  $F \gtrsim (0,6 - 0,8) \cdot F_B$ , innebärande att den egentliga "glidlasten" som regel först uppnås vid relativt stora deformationer. För att eliminera kvarstående formändringar under brukslast införs begreppet "flytlast"  $F_s$  som karakteriseras av att den kvarstående formändringen inte får överskrida  $\delta^* = 0,15$  mm. Som en approximation på säkra sidan förutsätts här att den mot  $\delta^*$  svarande flytlasten är

$$F_s \approx 0,75 F_B^* \text{ för stålplåt samt}$$

$$F_s \approx 0,65 F_B^* \text{ för aluminiumplåt}$$

Flyt-brottlastförhållanden inkluderar effekten av krypning på förbandets lastupptagningsförmåga.

I sambandet för flytlasten ingående brottlastvärden  $F_B^*$  antas vidare svara mot ca 90 % av försöksmedelvärden, med beaktande av en ordinär spridning ifråga om materialhållfasthet och försöksresultat.

Därmed blir den fiktiva flytlasten

$$F_s = 0,68 F_B \text{ för stålplåt och}$$

$$F_s = 0,59 F_B \text{ för aluminiumplåt.}$$

Mot uppnående av  $F_s$ - värden stipuleras en lastfaktor  $s_g = 1,65$  som ansluter till ordinära säkerhetskrav i enlighet med gällande bestämmelser för tunnplåtkonstruktioner. Detta innebär att säkerheten mot uppnående av försöksmässigt erhållna brottlastmedelvärden svarar mot

$$s_g^* \approx 2,4 \text{ vid stålplåt och}$$

$$s_g^* \approx 2,8 \text{ vid aluminiumplåt.}$$

Som framgår av fig. B 39 innehålls med tillämpning av denna säkerhetsfaktor förbandets elastiska beteende under brukslast.

$$F_{\text{till}} = \frac{1}{s_g} \cdot F_s = \frac{1}{s_g} \cdot (0,9 \cdot 0,75) \cdot F_B \text{ för stålplåt}$$

$$F_{\text{till}} = \frac{1}{s_g} \cdot F_s = \frac{1}{s_g} \cdot (0,9 \cdot 0,65) \cdot F_B \text{ för aluminiumplåt}$$

Säkerheten mot uppnående av nitbrott bör kunna anpassas till ordinära säkerhetskrav för tunnplåtkonstruktioner dvs  $s_g = 1,65$ , varmed

$$F_{N_{\text{till}}} = \frac{F_s}{1,65} = \frac{0,8 F_{BN}}{1,65} . \text{ Härvid motsvarar } F_s \text{ ovan definierad}$$

flytlast, för vilken den kvarstående formändringen understiger 0,15 mm.

Om enligt ovanstående vid förband med flera nitar i kraftriktning detta brottfenomen skall uteslutas, bör följande villkor innehållas

$$F_{BN} \geq 1,4 \cdot k_1 (d + 5) (t_2^2 + 0,22) \sigma_B$$

varvid en 1,4-faldig säkerhet mot nitbrott förutsatts.

Detta samband utgör en anvisning för bestämning av lämplig nitdiameter med avseende på i förbandet ingående plåttjocklekar och grundmaterialets hållfasthet. Högsta tillåtna plåttjocklek erhålls då med till

$$t_2 \leq \sqrt{\frac{F_{BN}}{1,4 k_1 (d + 5) \sigma_B} - 0,22}$$

Säkerheten mot uppnående av sektionbrott anpassas till gällande bestämmelser för tunnplåtkonstruktioner dvs

$$\sigma_{\text{till}} = \frac{\sigma_s}{1,65} .$$

### 5.7 Brott orsakade av belastningar vinkelrät mot plåtplanet

Som tidigare nämnts bör belastningar vinkelrät mot plåtplanet undvikas. Några förslag till alternativa utformningar anges under avsnitt 6.5. I många fall är det emellertid inte möjligt att göra en ändring varvid svårigheten att bestämma tillåtna laster uppstår. Den följande behandlingen gäller inte endast nitförband utan har generell betydelse för förband i tunna plåtmaterial med härtill anpassade fästelement. Beroende på fästelementets verkningsätt kommer de olika delproblemen enligt nedan att fordra en mer eller mindre ingående behandling.



- Delproblem I: Plåtens vikning kring fästelementet (plåtvikningsbrott).
- Delproblem II: Fästelementets utdragning ur den bakre plåten (utdragsbrott).
- Delproblem III: Den främre plåtens dragning över fästelementet (överdragsbrott).
- Delproblem IV: Dragbrott på fästelementets skaft (skaftbrott).
- Delproblem V: Fästelementet genomstansar plåten (stansbrott).
- Delproblem VI: Fästelementets huvud deformeras eller drages av (deformations- eller avdragsbrott på huvud).

I det följande redovisas nämnda problemställningar i detalj, varvid i möjlig mån även anges tillämpliga dimensioneringsregler:

#### Delproblem I

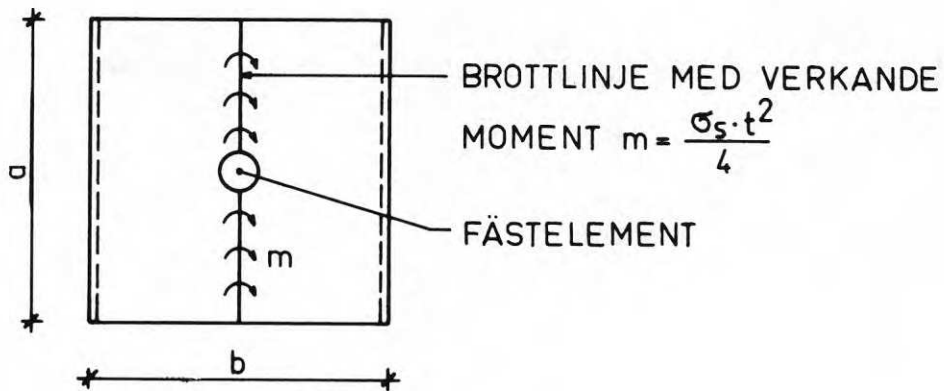
Laster vinkelrät en tunn plåts plan är mycket ogynnsamma beroende på plåtens låga böjmotstånd. Tillverkare av fästelement tvingas ofta att utföra fullskaleförsök för att få en uppfattning om hur brottet utbildas och vilka laster som kan tillåtas. Med brottlinjeteori kan en viss uppskattning ske av den belastning på fästelementet vid vilken plåten viker sig. Uppskattningen sker utgående från antagen brottfigur med hjälp av jämviktsekvationer. Metoden ger vid de flesta tunnplåtstillämpningar starkt konservativa brottlaster. Anledningen är att redan vid små deformationer uppstyvande membrankrafter är verksamma. En förutsättning för att membraneffekten skall aktiveras är emellertid att plåtens rörelse i det egna planet är förhindrad. I annat fall har brottlinjemetoden relativt god precision. Problemet behandlas likartat för samtliga fästelement med punktformig kraftöverföring. Ett typiskt plåtvikningsbrott framgår av fig. B 51.



Fig.B51. Plåtvikningsbrott.

Nedan ges två beräkningsexempel.

Exempel 1:



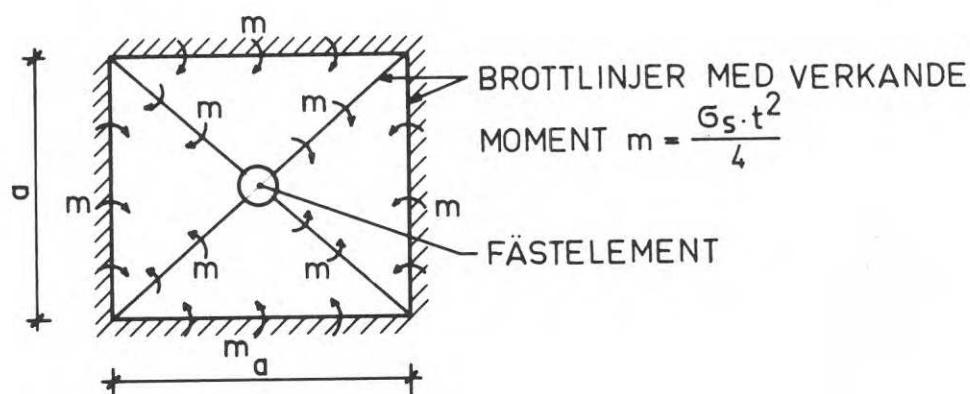
AB  $P_I/2 \cdot b/2 = a \cdot \frac{\sigma_s \cdot t^2}{4}$

$$P_I = \frac{a \sigma_s t^2}{b}$$

för  $a = b$

$$P_I = \sigma_s t^2$$

Exempel 2:



$$\overset{\curvearrowright}{AB} \quad P_I/4 \cdot a/2 = 2m \cdot a = \frac{2 \sigma_s \cdot t^2 \cdot a}{4}$$

$$P_I = 4 \sigma_s t^2$$

### Delproblem II

Brottets utseende framgår av fig. B 52

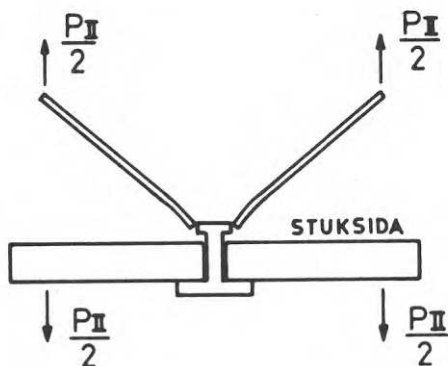


Fig.B52. Utdragsbrott.

Speciell behandling fordras i sådana fall, då utdragsmotståndet är lågt. Så är fallet vid exempelvis gängformande och självborrande skruv och de flesta nittyper.

Försök med POP-nit i diametrar  $\geq 4,0$  mm som redovisas i referenserna [2], [3], [4], [5] och [6] stöder en beräkning av brottlast per nit enligt sambandet

$$P_{II_{till}} = 4,5 \sigma_B \cdot t$$

Brottlaster för andra typer av fästelement kommer med avseende på utdragsbrott att behandlas under respektive kapitel.

### Delproblem III

Brotttypen är normalt endast aktuell vid plåttjocklekar  $< 1,5$  mm. Brottets utseende framgår av fig. B 53. Brottet föregås vanligen av en uppsprickning av hålkanten.

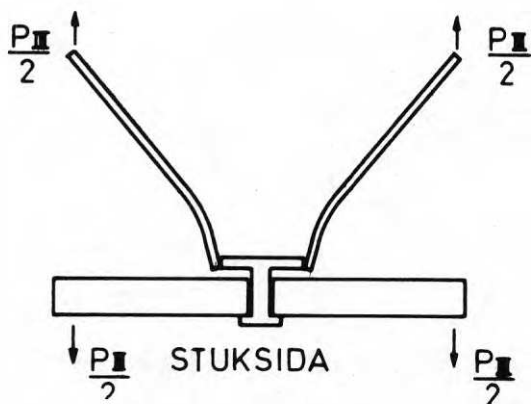


Fig.B53. Överdragsbrott.

Brottlasten kan under förutsättning att nedanstående krav uppfylls beräknas enligt kap. C5.7.

1. Sätthuvudets diameter  $> 10,0$  mm
2. Sätthuvudet har sådan styvhet att det förblir odeformerat tills överdragsbrottlasten uppnåtts inom aktuellt plåttjockleksområde.

Delproblem IV

Problemet fordrar uppmärksamhet när fästelementets skaft har liten tvärsnittsarea, materialet låg brotthållfasthet eller de fogade delarna hög styvhet.

Brottypen framgår av fig. B 54.

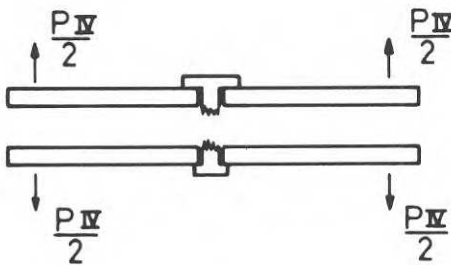


Fig.B54. Skaftbrott.

$P_{IV}$  bestäms genom att fästelementet belastas axiellt. Är fästelementets skjuvhållfasthet  $F_B$  känd kan draghållfastheten tecknas

$$P_{IV} = \frac{F_B}{K}$$

Faktorn  $K$  beror på materialkvaliteten i fästelementets skaft och varierar mellan 0,6 - 1,0.

Delproblem V

Problemet har aktualitet i sådana fall när last införs mycket nära fästelementet varigenom dragspänningarna i plåtmaterialets hålkant ej blir av sådan storlek att uppsprickning av densamma sker. Brottypen framgår av fig. B 55

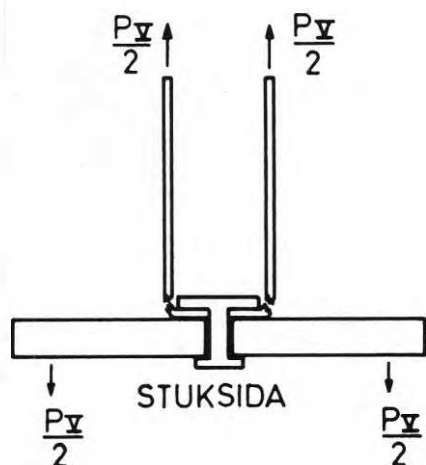


Fig.B55. Stansbrott.

Om ej annat påvisas vara motiverat bör brottlasten bedömas med utgångspunkt från delproblem III och där angiven tillåten last  $P_{III}$  tillämpas vid dimensioneringen.

#### Delproblem VI

Problemet aktualiseras i de fall huvud och skaft består av olika material eller huvudets höjd är liten. Dylåka fästelement bör utformas så att belastningen införs direkt i skaftet utan att passera huvudet. I sådana fall där en vickning enligt delproblem I kan ske, bör genom provning verifieras en tillfredsställande säkerhet mot huvudets deformation eller avdragnin.

### 5.8 Säkerhet mot uppnående av brottlast vid belastning vinkelrät mot plåtplanet

Nedan sker först en genomgång av de olika delproblemen varvid lämpliga säkerhetsfaktorer anges för beräkning av tillåtna laster. Därefter sker en genomgång av ett typfall för att exemplifiera beräkningsgången. Slutligen beräknas med det angivna beräkningsförfarandet erforderliga antalet fästelement för en vindbelastad trapetsprofilerad plåt.

Delproblem I

Vid behandling av problemet i kapitel 5.7 beräknades brottlasten  $P_{III}$  för två extremfall. Det kommer an på konstruktören att bestämma brottfigur samt uppskatta en säkerhetsfaktor som dock bör ligga i området  $s = 1,1 - 1,65$ . Låg säkerhetsfaktor kan användas när en viss deformation kan tillåtas samtidigt som membranspänningar förutsätts bli aktiverade.

Delproblem II

Tillåten last per nit med skaftdiameter 4,0 - 6,4 mm uttrycks genom sambandet

$$P_{II_{till}} = \frac{4,5}{s} \cdot t \cdot \sigma_B$$

med säkerhetsfaktorn  $s = 3,0$  blir

$$P_{II_{till}} = 1,5 \cdot t \cdot \sigma_B$$

En höjning med 20 % accepteras vid exceptionellt belastningsfall.

Delproblem III

Tillåten last per fästelement uttrycks genom sambandet

$$P_{III_{till}} = \frac{14}{s} \cdot t^2 \cdot \sigma_B$$

med säkerhetsfaktorn  $s = 3,0$  blir

$$P_{III_{till}} = 4,7 t^2 \sigma_B$$

En höjning med 20 % accepteras vid exceptionellt belastningsfall.

Beräkningen förutsätter att nitarna uppfyller de krav som preciseras i kap. B5.7 (Delproblem III).

Delproblem IV

Tillåten last per fästelement anges till

$$P_{IV_{till}} = \frac{P_{IV}}{s}$$

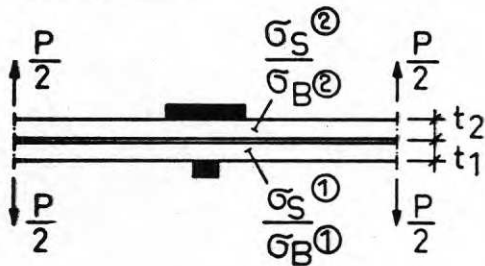
där i överensstämmelse med säkerhet mot skjuvbrott föreslås att  $s = 2,0$ .

Delproblem V

Behandlas likartat delproblem III.

Delproblem VI

Som garanti för förbandets driftsäkerhet föreslås att provning verifierar ett odeformerat tillstånd vid lasten  $2 \times P_{till}^{min}$ .

TYPFALL

Den minsta av de nedan angivna lasterna  $P_{I_{till}}$  -  $P_{IV_{till}}$  är bestämmande.

$$P_{I_{till}} \begin{cases} \frac{K_2}{s} \cdot \sigma_s^{(2)} \cdot t_2^2 \\ \frac{K_1}{s} \cdot \sigma_s^{(1)} \cdot t_1^2 \end{cases}$$

(varav det minsta av de två värdena väljs. Värde på  $K_1$  och  $K_2$  bero på plåtarnas utformning (se kap. 5.7)).

$$P_{II_{till}} = 1,5 \cdot t_1 \cdot \sigma_B^{(1)}$$

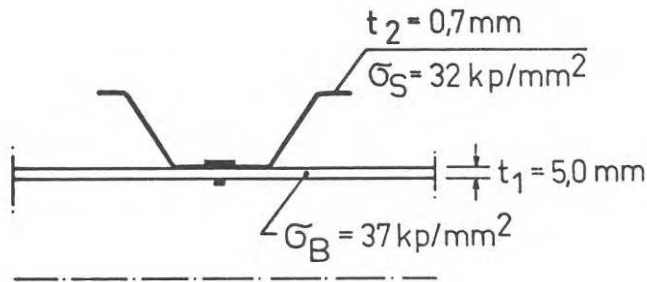
$$P_{III_{till}} = 4,7 \cdot t_2^2 \cdot \sigma_B^{(2)}$$

$$P_{IV_{till}} = \frac{P_{IV}}{2}$$



Exempel

Beräkning av antal fästelement för infästning av profilerad plåt till åsar med centrumavstånd = 3,0 m. Vindlasten förutsätts vara  $100 \text{ kp/m}^2$ .



$$P_{I_{\text{till}}} = \frac{4,0}{1,1} \cdot 32 \cdot 0,7^2 = 57 \text{ kp}$$

$$P_{II_{\text{till}}} = 1,5 \cdot 5,0 \cdot 37 \cdot 1,2 = 334 \text{ kp}$$

$$P_{III_{\text{till}}} = 4,7 \cdot 0,7^2 \cdot \frac{32}{0,8} \cdot 1,2 = 110 \text{ kp}$$

$$P_{IV_{\text{till}}} = \frac{800}{2} = 400 \text{ kp} \quad \left( \frac{1}{4}''\text{-gångformande skruv i ythärdat kolstål} \right)$$

Antages att plåtvikning ej får inträffa blir antalet fästelement ( $n$ )

$$\text{per meter ås} \quad n = \frac{3 \cdot 100}{57} = 5,25 \implies c/c \approx 200 \text{ mm.}$$

Antages att plåtvikning får ske blir motsvarande antal

$$n = \frac{3 \cdot 100}{110} = 2,73 \implies c/c \approx 370 \text{ mm.}$$

## B6. TILLVERKNING OCH UTFORMNING AV NITFÖRBAND

### 6.1 Val av nitmaterial

Val av nitmaterial hänger intimt ihop med dels kravet på förbandets lastupptagande förmåga samt dels grundmateriallets beskaffenhet. Lastupptagningsförmågan bestäms genom ovan behandlade dimensioneringskriterier. Med grundmateriallets beskaffenhet avses här dess kemiska sammansättning. Av korrosionstekniska skäl måste nit- och grundmaterial kombineras på lämpligt sätt. Principiellt bör beaktas att nitmaterial är lika ädelt eller ädlare än grundmaterial, så att eventuellt korrosionsangrepp hänvisas till grundmaterial. Normalt bör potentialdifferensen mellan båda material vara så liten som möjligt. Vid extraordinaära klimatiska eller kemiska angrepp kan isolering mellan nit- och grundmaterial vara erforderligt. Kemiskt neutral målningsbehandling kan tillämpas liksom isolering med tätningspasta.

### 6.2 Nitens skaftlängd

Val av rätt skaftlängd är av väsentlig betydelse för förbandets verkningssätt.

En för kort nit medför en otillräcklig utfyllnad av nithålet samt ett för litet stukhuvud. En för lång nit kan medföra att plåtarnas sammanpressning blir dålig genom att niten fjädrar tillbaka eller att nitmaterial pressas ut mellan plåtarna. Ett mellanrum mellan förbandsdelar innebär vid skjuvbelastning en starkt nedsatt lastupptagande förmåga.

Lämplig nitlängd är bl.a. beroende av nitmaterial och stukningsprocessen och bör därför anges av nitleverantören. Vid förbandstjocklekar som medger tillämpning av två nitlängdsalternativ bör företrädesvis den längre niten väljas.

### 6.3 Håltagning och nitning

Nit skall monteras enligt nittillverkarens anvisningar. Speciellt gäller detta borrhålsdiameter som i hög grad bestämmer nitförbandets deformations- och hållfasthetsegenskaper. Lika viktigt som valet av borrhålsdiameter är att borrhningen utförs med korrekt borr, att borrverktyget hålls i rät vinkel med plåten och att de olika förbandsdelarna är väl sammanpressade under borrhningen. Vid förband med nitar som ger dålig sammanpressning av fogdelarna bör nitningsklämmor enligt fig. B 56 användas.

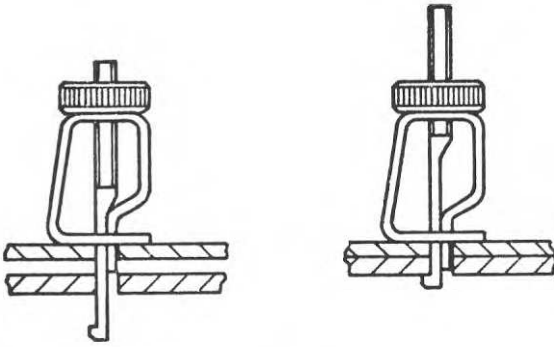


Fig.B56. Nitningsklämman.

#### 6.4 Kontroll av nitförband

I allmänhet är en monterad nit en bra nit eftersom själva monteringsmomentet i sig själv är en viss kontroll på att de olika förbandsdelarna är anpassade till varandra. Kontrollen kan i enlighet härmed inskränka sig till att man med en mejsel el. dylikt känner om niten är lätt skjutbar i sidled. I de fall stukhuvudet är synligt bör även kontrolleras att det har rätt form och storlek. Lös nit eller nit med felaktig storlek på stukhuvudet skall borraras ur och ersättas.

I de fall förbandet är inspekterbart från sidan kontrolleras att fogdelarna ligger väl an mot varandra.

#### 6.5 Förbandsutformning

Nitförband bör så utformas att fläkningspåkänningar med därav resulterande kraftangrepp i skaftriktningen undviks. Detta krav uppfylls bäst vid användning av dubbelt överlappsförband (fig. B 57) och nöjaktigt vid enkelt överlappsförband (fig. B 58).

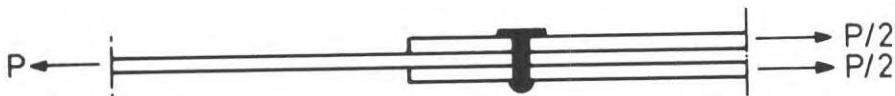


Fig.B57. Dubbelt överlappsförband.



Fig.B58. Enkelt överlappsförband.

Förband med dragning i nitens längdriktning enligt fig. B 59 bör om möjligt undvikas, speciellt vid tunna plåtar.

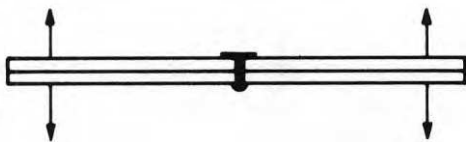


Fig.B59. Förband med dragpåkänningar i nitens skaftriktning.

Fig. B 60 och B 61 illustrerar hur sådant förband kan ändras med ett gynnsammare kraftflöde som följd.

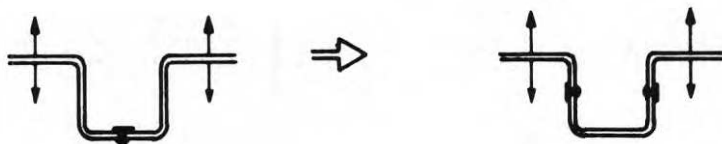


Fig.B60. Ändring av kraftflödet genom modifiering av nitplaceringen

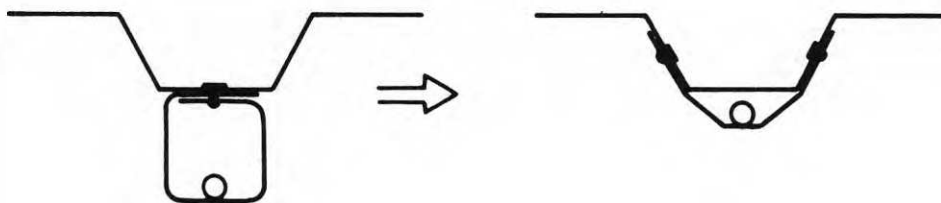


Fig.B61. Ändring av kraftflödet genom modifiering av konstruktionselementet.

De främsta anledningarna till att den nämnda påkänningsformen bör undvikas är stukhuvudets ringa motstånd mot genomdragning samt svårigheten att uppskatta den last vid vilken plåten deformerar (veckbildning). Om den i fig. B 59 redovisade belastningstypen inte kan undvikas, bör beaktas att

- stukhuvudet utbildas mot förbandets grövsta plåt
- lasten förs in så nära niten som möjligt
- nitspelet blir så litet som möjligt
- bricka eller förstärkningsskena placeras under stukhuvudet vid tunn underplåt och åtkomlig frånsida.

Vid förband som i huvudsak utnyttjas som skjuvförband väljs normalt utförandetyper enligt fig. B 62.

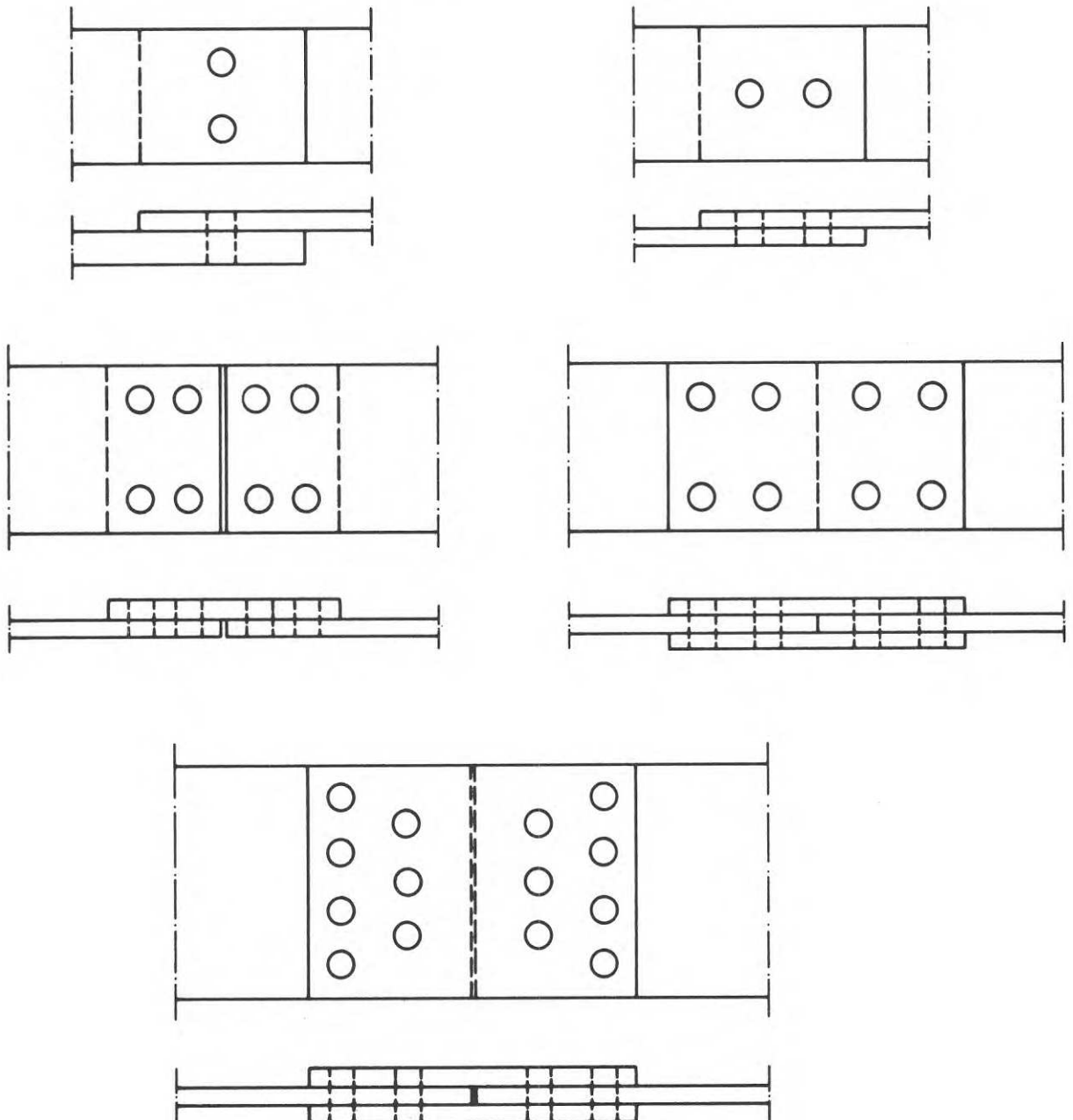


Fig.B62. Typexempel för överlappsförband.

Härvid beaktas att:

- nittyp och nitdiameter väljs med hänsyn till aktuell plåt-  
tjocklek och belastning
- kant- och radavstånd väljs till 3 - 6 gånger nitdiametern
- vid flera nitrader för undvikande av överlagrade spännings-  
koncentrationer om möjligt "förskjuten" nitbild tillämpas
- antalet nitar i rad parallellt med kraftriktningen begränsas  
till sex
- i möjlig mån utformas symmetriska förband
- stukhuvudet bildas mot förbandets grövsta plåt
- erforderligt utrymme för nitningsverktyget och stuknings-  
processen står till förfogande.

B7. LITTERATUR

- 1 Undersökning av skärhållfastheten hos blindnitade förband i stålplåt. Opublicerad försöksrapport. Undersökningen utförd på uppdrag av Domnarfvets Jernverk vid Tekn. dr Arne Johnson Ingenjörbyrå, 1967.
- 2 Undersökning av skärhållfastheten hos aluminiumförband med Imexnit. Opublicerad försöksrapport. Undersökningen utförd på uppdrag av United shoe machinery company AB vid Byggkonsult Västerås AB, 1968.
- 3 Undersökning av skär- och utdragshållfastheten hos nitade aluminiumförband. Opublicerad försöksrapport. Undersökningen utförd på uppdrag av United shoe machinery company AB vid Byggkonsult Västerås AB, 1968.
- 4 Rapport från undersökning av skär- och utdragshållfastheten för förband i stålplåt med Imexnit. Opublicerad försöksrapport. Undersökningen utförd på uppdrag av United shoe machinery company AB vid Byggkonsult Västerås AB, 1968.
- 5 Rapport från undersökning av skär- och utdragshållfasthet vid infästning av Tp-plåt till lättprofil med Pop-nit AD 84. Opublicerad försöksrapport. Undersökningen utförd på uppdrag av United shoe machinery company AB vid Byggkonsult Västerås AB, 1970.
- 6 Rapport från undersökning av skär- och utdragshållfasthet hos stål-förband av varmförzinkad stålplåt från Robertson nordisk A/S, Oslo med POP-nit av aluminium och monel. Opublicerad försöksrapport. Undersökningen utförd på uppdrag av Bjarne Sjong o Co A/S, OSLO vid Byggkonsult Västerås AB 1970.
- 7 Assembly, directory and handbook 1966.  
Hitchcock publication.
- 8 Machine design. Fastening and joining reference issue.  
Volume 39 (14) 1967.
- 9 Fasteners handbook. Design engineering series.  
Morgan-Granpian (Publishers) Ltd, 1969.
- 10 Cullimore, M.S.G. Thin walled steel structures,  
Crosby, Lockwood and son, 1969.

- 11 Military standard MS 33522.
- 12 Military standard MS 33557.
- 13 Military standard MS 20600.
- 14 Military specification MIL - R - 8814 (ASG).
- 15 Military specification MIL - R - 7885 B.
- 16 Military handbook. Metallic materials and elements for aerospace vehicle structures. Nov. 1967.
- 17 SMS 1440
- 18 SMS 1651
- 19 SMS 1659
- 20 SMS 1661
- 21 SMS 1674



B8. BETECKNINGAR

$F$	= tvärlast	[kp]
$F_S$	= flytlast	[kp]
$F_B$	= brottlast	[kp]
$F_{BN}$	= brottlast m.a.p. skjuvbrott	[kp]
$F_{BS}$	= - " - " snedställningsbrott	[kp]
$F_{BH}$	= - " - " hålkantflytning	[kp]
$F_{BK}$	= - " - " kantbrott	[kp]
$s$	= lastfaktor	
$F_{till}^g$	= tillåten tvärlast	[kp]
$P$	= last vinkelrät mot plåtplanet	[kp]
$P_I$	= brottlast m.a.p. plåtvikningsbrott	[kp]
$P_{II}$	= - " - " utdragsbrott	[kp]
$P_{III}$	= - " - " överdragsbrott	[kp]
$P_{IV}$	= - " - " skaftbrott	[kp]
$P_V$	= - " - " stansbrott	[kp]
$P_{VI}$	= - " - " deformations- eller avdragsbrott	[kp]
$s$	= lastfaktor	
$P_{till}$	= tillåten last vinkelrät mot plåtplanet	[kp]
$K$	= förhållande mellan nits skjuv- och skaftbrottlast	
$\mathcal{D}$	= förskjutning mellan förbandsdelar	[mm]
$t$	= plåttjocklek	[mm]
$t_1$	= i förband ingående tjockare plåt	[mm]
$t_2$	= i förband ingående tunnaste plåt	[mm]
$d$	= skaftdiameter	[mm]
$D$	= sätthuvuds diameter	[mm]
$A_n$	= plåts tvärsnittsyta	[mm <sup>2</sup> ]
$n$	= antal nitar i rad	
$e$	= kantavstånd	[mm]
$\sigma_s$	= sträckgränsspänning	[kp/mm <sup>2</sup> ]
$\sigma_B$	= brottgränsspänning	[kp/mm <sup>2</sup> ]
$\tau_B$	= skjuvbrotts <span>­</span> spänning	[kp/mm <sup>2</sup> ]
$\sigma_{till}$	= tillåten plåt <span>­</span> spänning	[kp/mm <sup>2</sup> ]

## C. SKRUVFÖRBAND MED GÄNGFORMANDE OCH SJÄLVBORRANDE SKRUVAR

### C1. INLEDNING

Med skruvförband avses i första hand förbindningsmetoden, där skruven under anbringandet plastiskt formar en invändig gänga genom att skruvgångorna tränger undan godset i hålkanten av ett förborrat hål med till skruvdiametern avpassad håldiameter. Alternativt kan gängformningen ske genom gängskärning, varvid en eller flera skarpa kanter under spånbildning skär en gänga. Till här behandlade skruvförband hör också förbindningsmetoden, där skruven med hjälp av egen borrar borrar sitt hål och därefter formar gängan. Medan vid de två först nämnda skruvtyperna en håltagning genom samborring erfordras utgår detta arbetsmoment vid självborrande skruvar.

En variant till ovan nämnda typer är den s.k. drivskruven, som till full anliggning indrivs i godset med hammarslag.

Jämsides med blindnitförfaranden utgör skruvförband med gängformande och självborrande skruvar det viktigaste förbindningssättet vid fogning av tunnväggiga konstruktioner på arbetsplatsen. Skruvars applicering och åtdragning sker normalt med hjälp av tryckluft- eller eldrivna monteringsverktyg med momenturkopplare.

Valet av skruvtyp är i viss utsträckning beroende av i förbandet ingående plåtdimensioner samt plåtarnas inbördes tjockleksförhållanden. Av väsentlig betydelse för förbandets funktionsstabilitet och lastupptagande förmåga är att nedan angivna samband mellan materialhållfasthet, godstjocklekar, skruvdiameter och håldiameter innehålls, samt att arbetsutförandet sker med beaktande av nedan stipulerade krav.

Den följande redovisningen avser huvudsakligen förband med gängpressande skruvar men har i tillämpliga delar giltighet även för övriga nämnda skruvtyper. Medan vid tillämpning av denna förbandstyp i andra än här avsedda användningsområden ofta den ena plåten i förbandet förses med hål som medger frigång av skruven förutsätts här att vid kraftupptagande förband håltagning även kan ske i form av samborring.

Syftet med nedan refererade undersökningar har varit att kvalitativt och kvantitativt kartlägga skruvförbandets beteende i bruks- och brottlaststadiet samt utarbeta distinkta dimensioneringsregler.

Undersökningarna omfattar förband sammansatta av tunna jämntjocka plåtar med godstjocklekar mellan 0,7 och 2,0 mm samt sådana med en kombination av tunna och grövre förbandsdelar. Vidare varieras hållfasthetsegenskaper, skruvdiameter och antalet skruvar i förbandet. Parallellt undersökes förband av stål- och aluminiumplåt.

Undersökningarna utmynnar i beräkningsföreskrifter avseende förbandets lastupptagande förmåga samt i ett förslag till skälig säkerhetsnivå, som garanterar förbandets funktionsstabilitet i drift.

## C2. AKTUELLA SKRUVTYPER OCH SKRUVMATERIAL

Följande avsnitt behandlar skruvtyper och monteringsverktyg som har eller kan tänkas få tillämpning inom tunnplåtområdet. Skiljaktigheter mellan förekommande skruvtyper är för det mesta att hänföra till utformningen av gänga eller skruvhuvud. Vanligen förekommer varje skruvtyp i ett flertal olika material och för vissa material dessutom med olika ytbehandling.

För översikten har följande indelning valts.

1. Gängor
2. Skruvhuvuden och brickor
3. Monteringsverktyg
4. Material och ytbehandlingar

Under rubriken gängor behandlas utformningen av gängan hos gängpressande, gängskärande och självborrande skruvar:

Gängpressande skruvar (a - e) formar invändigt en gänga genom att plåtmaterialet undanpressas.

Gängskärande skruvar (f - g) skär under spånbildning en gänga i plåtmaterialet. Både gängpressande och gängskärande skruvar fordrar ett förborrat hål.

Självborrande skruvar fordrar ingen förborring genom att skruven försetts med borrarpet och därigenom utför borrarningen själv i montagetets första skede. Efter borrarningen formar skruven sedan i likhet med ovan nämnda typer invändigt en gänga. Självborrande skruvar förekommer ännu ej standardiserade.

## 1. Gångor

I figur C1 anges ett antal olika gångor som finns standardiserade i något av de länder som anges i figuren. I Sverige är endast B-gången (i utförande K och S) standardiserad. Utnyttjande av andra gängtyper än denna kan därför medföra anskaffningssvårigheter. Nedan följer en kort redogörelse för de olika gångornas användningsområden.

- a) B-gänga i utförande S är en mycket vanlig gängform när två tunna plåtar inom tjockleksområdet 0,5 - 1,3 mm skall fogas. Spetsen medger en något förenklad montering jämfört med motsvarande gänga i utförande K.
- b) A-gängan har en något större stigning än B-gängan. Användningsområdet för A-gångor överlappas av B-gångor i utförande S och bör enligt amerikansk standard i förekommande fall ersättas av densamma.
- c) B-gänga i utförande K används ofta för fogning av tunn plåt i tjockleksområdet 0,5 - 2,0 mm. Mer lämpad är emellertid gängan för fogning av en tunn med en betydligt tjockare plåt. Den senare tjocklekens övre gräns är 5 - 15 mm beroende på skruvmaterialet.
- d) BP-gängan skiljer sig från B-gängan endast i fråga om utformningen av spetsen. BP-gängan har en helt ogängad spets för att underlätta ingängningen i den bakre plåten. Användningsområdet sammanfaller med B-gängans i utförande S.
- e) C-gängan har jämfört med gångorna AB, A, B och BP en betydligt mindre stigning. Med anledning härav kräver C-gängan för gängformningen ett större moment. För att underlätta ingängningen sker en successiv tvärsnittsökning till full diameter under de 2 - 6 första gångorna från spetsen räknat. Gängan är användbar för fogning av plåt i tjocklekar 0,9 - 3,5 mm.
- f) Gångorna D, F, G och T är bortsett från någon form av skärande kant identiska med C-gängan. Jämfört med pressande gångor krävs ett lägre moment för formningen av gängan i de delar som skall fogas. Vid fogning av lika tjocka plåtar är lämplig plåttjocklek 1,3 - 2,5 mm. Vid fogning av en tunn och en tjock plåt kan den senares tjocklek vara 5 - 15 mm beroende på skruvmaterialet.

		TYP	USA STANDARD (ASA)	ENGELSK STANDARD (BS)	TYSK STANDARD (DIN)	SVENSK STANDARD (SMS)
GÄNGPRESSANDE			AB	AB	B MED SPETS	B UTFÖR. S
			A	A	A	—
			B	B	B MED KONA	B UTFÖR. K
			BP	—	—	—
			C	—	—	—
GÄNGFÖRMANDE			D	D	—	—
			F	—	—	—
			G	—	—	—
			T	T	—	—
			BF	—	—	—
			—	Y	—	—
			BT	BT	—	—
			U	U	—	BETECKN. SAKNAS.
			U	U	—	BETECKN. SAKNAS.

Fig.C1. Standardiserade gängformande skruvgängor.

- g) Gångorna BF, Y och BT är B-gångor som försetts med skärande kanter, samt en successiv tvärsnittsökning till full diameter under de 2 - 4 första gångorna från spetsen räknat. Gångorna bör ej användas för förband i stålplåt men är användbara för fogning av aluminiumplåt.
- h) U-gången är genom sin stora stigning ej att betrakta som en vanlig skruvgänga. Antal gängingångar är 6 - 9 beroende på skaftets diameter. Skruven pressas eller hamras in i ett förborrat hål och är ej demonterbar. Montage kan ske i plåt inom tjockleksområdet 1,3 - 12,0 mm. Med beteckningen Drivskruv med kullrigt huvud typ KDS är skruven upptagen i svensk standard SMS 1549 där också lämpliga håldiametrar anges.
- i) Det finns ett mycket stort antal specialskruvar vars gängor ej direkt kan hänföras till någon av de typer som anges i fig. C1. För närmare studium av dessa skruvar rekommenderas referenserna [12] - [18].
- j) Själyborrande skruvar skiljer sig vanligen från gängformande skruvar endast vad gäller utformningen av spetsen. Själva gången kan oftast hänföras till någon av typerna A, B eller C. Av fig. C2 framgår några olika utformningar av den borrhande spetsen.

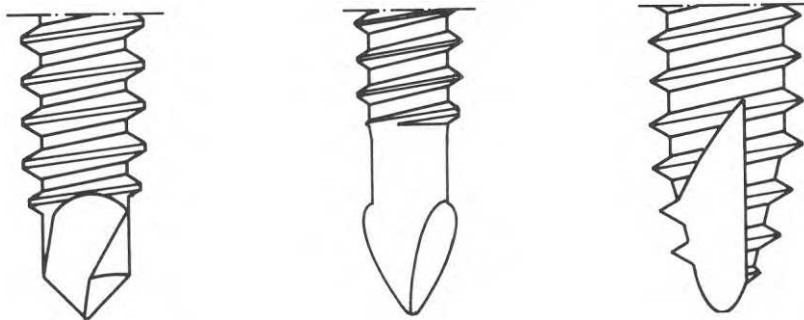


Fig.C2. Några olika utformningar på borrhande spets.

## 2. Skruvhuvuden och brickor

Av fig. C3 framgår de vanligaste utformningarna av skruvhuvuden. Vilket huvud som väljs är i hög grad beroende på åtdragningsmoment, material i huvud och med vilken verktygstyp skruven skall monteras.

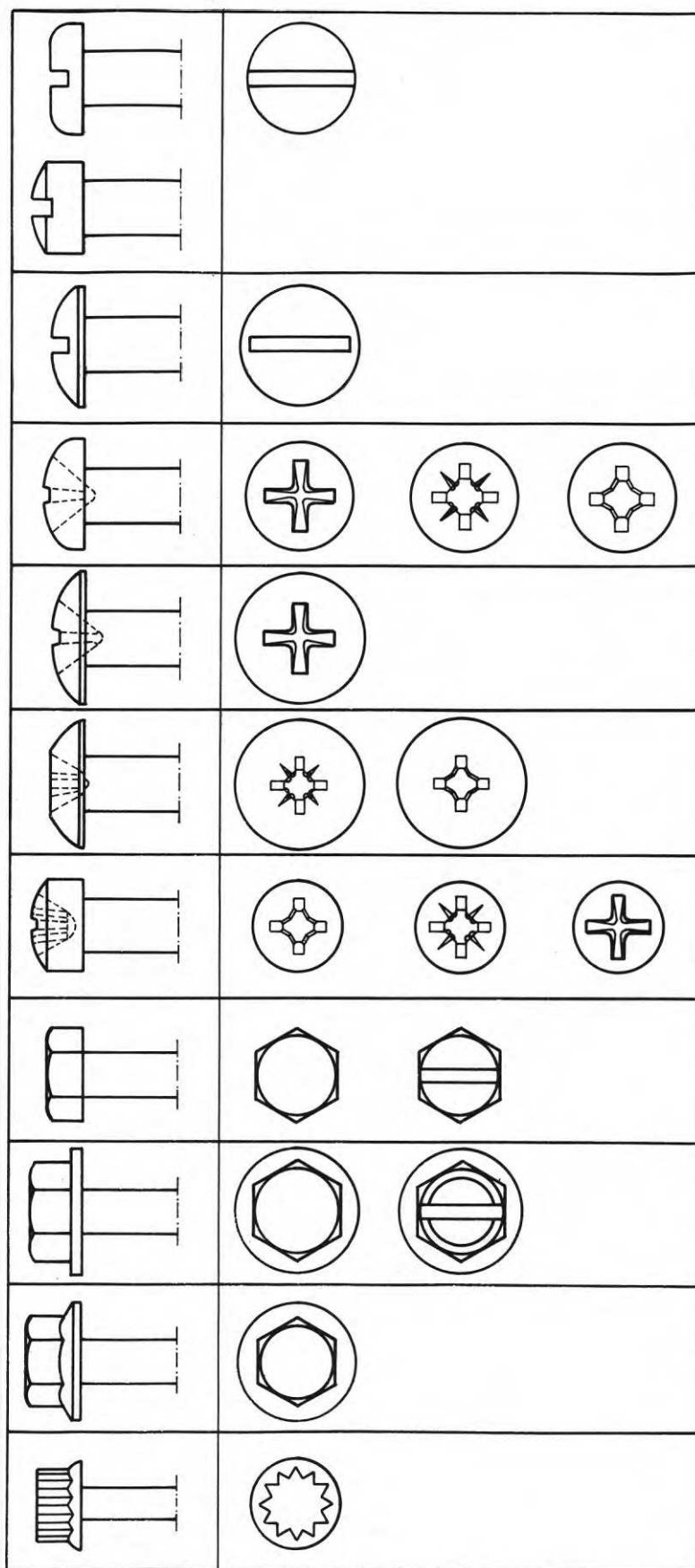


Fig.C3. Olika utföranden på skruvhuvuden.



Skrubar förses ofta med brickor för att komplettera egenskaperna hos det monterade förbandet i något avseende. De vanligaste orsakerna är; krav på tätning, kraftfördelning eller ökning av vibrationsmotstånd. Av fig. C4 framgår några vanliga bricktyper.

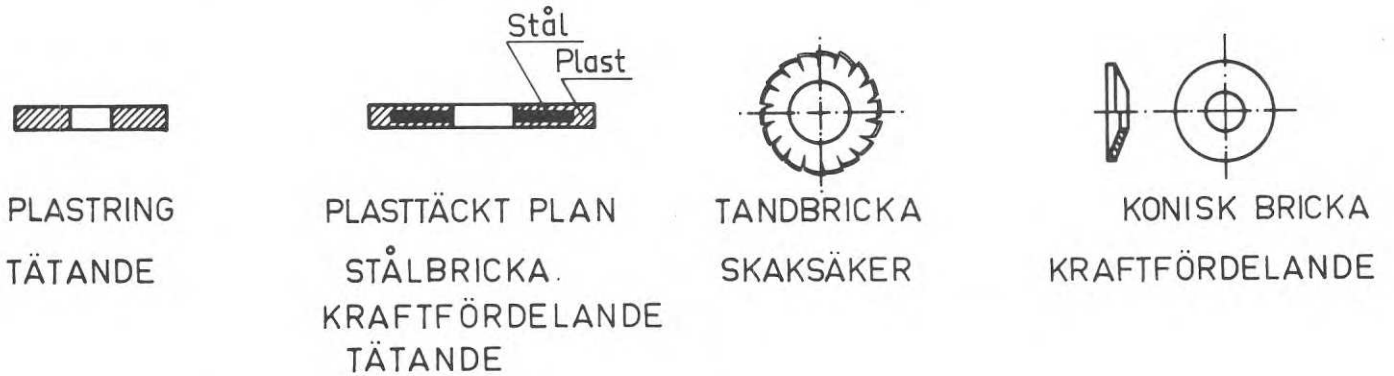


Fig.C4. Några olika bricktyper.

Ett flertal skruvtyper tillverkas även med oförlorbar bricka och kallas därvid Sems (screw and washer assemblies). Brickan placeras vid skruvtillverkningen på skaftet innan skruvgången formas.

I fig. C5 visas två Sems-skrubar med B-gångor och koniska brickor.

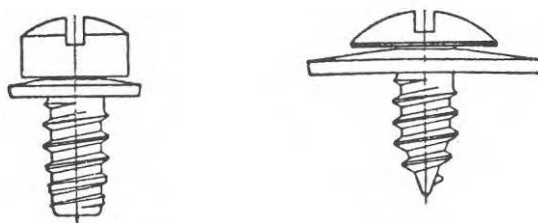


Fig.C5. Exempel på Sems.

För närmare studium av skruvhuvuden och brickor hänvisas till referenserna [12] - [14].

### 3. Montageverktyg

Vid montering av skruvförband uträttas arbete dels under håltagningskedet och dels under ingängningen och den efterföljande åtdragningen av skruven. Som kraftkälla används vanligen muskelkraft, elektricitet eller tryckluft.

Tryckluft förekommer inte lika allmänt som elektricitet, varför dessa verktygs användning gärna begränsas till större arbetsplatser.

Manuell montering har numera mycket liten tillämpning.

Åtdragningsverktygen är ofta vanliga handbormaskiner som förses med en urkopplingsmekanism, med vilken det är möjligt att begränsa det på skruven verkande momentet. Sällan är mekanismen försedd med skala för direkt inställning av urkopplingsmomentet. En sådan skala kan ej heller anses vara motiverad med tanke på att slitage snart medför felaktigheter. Inställning bör ske med hjälp av ett kalibreringsverktyg.

För närmare studium av olika monterings- och kalibreringsverktyg rekommenderas referenserna [13] och [18] eller någon större tillverkares sortimentkatalog.

### 4. Material och ytbehandlingar

Självgängande såväl som självborrande skruv framställs vanligen av högkvalitativa kolstål. För att gängan skall få tillräcklig hårdhet sker ofta en sätthårdning till ett djup av 0,1 - 0,2 mm. För självgängande skruv med AB, B, BF, BP eller BT-gänga anges i amerikansk standard (ASA) ett lägsta värde på vridbrottmomentet enligt fig. C6.

Skruv- beteckning	Vridbrott- moment (kpcm)	Tillåtet vridmoment (kpcm)
B 4	15	8
B 6	28	14
B 8	45	23
B 10	65	33
B 12	101	51
B 1/4	164	82

Fig. C6: Krav på vridbrottmoment enligt amerikansk standard samt med hänsyn till kraven lämpligt tillåtet vridmoment

Dessa värden bör ses som nedre gräns på vridhållfastheten även för skruv av rostfria stål, monel och aluminium såvitt skruvarna är avsedda att monteras i stålplåt. Skall monteringen ske i mjukare plåtmaterial kan kraven på vridhållfastheten sänkas.

Ytbehandling av skruv som helhet eller av enbart gängan företas för att tillgodose något av nedanstående krav:

- förbättrat korrosionsmotstånd
- förbättrat utseende
- minskat erforderligt åtdragningsmoment

För stål är beläggning med kadmium eller zink på elektrokemisk väg det klart vanligaste sättet att tillgodose de två översta givna kraven. Skiktjocklekar är vanligen 5 - 40  $\mu\text{m}$ . Eventuellt kompletteras zinkskiktet genom en kromatering som ytterligare förbättrar utseendet samtidigt som risken för initiella angrepp i form av vitrost minskar. Kadmium anses ge ett bättre korrosionsskydd än zink i salt miljö medan omvänt förhållande anses råda för industri-miljö. Vad gäller åtdragning ger kadmiering en sänkning och förzinkning en höjning av friktionsmotståndet i gängan jämfört med obehandlad skruv.

### C3. FÖRBADETS VERKNINGSSÄTT OCH BROTTBETEENDE

Skruvförbandets beteende under pålastningen kan grovt uppdelas i fyra olika skeden, som mer eller mindre utpräglat uppträder vid olika förbandskaraktistika. Dessa skeden illustreras schematiskt i figur C7 och kan karakteriseras som följer:

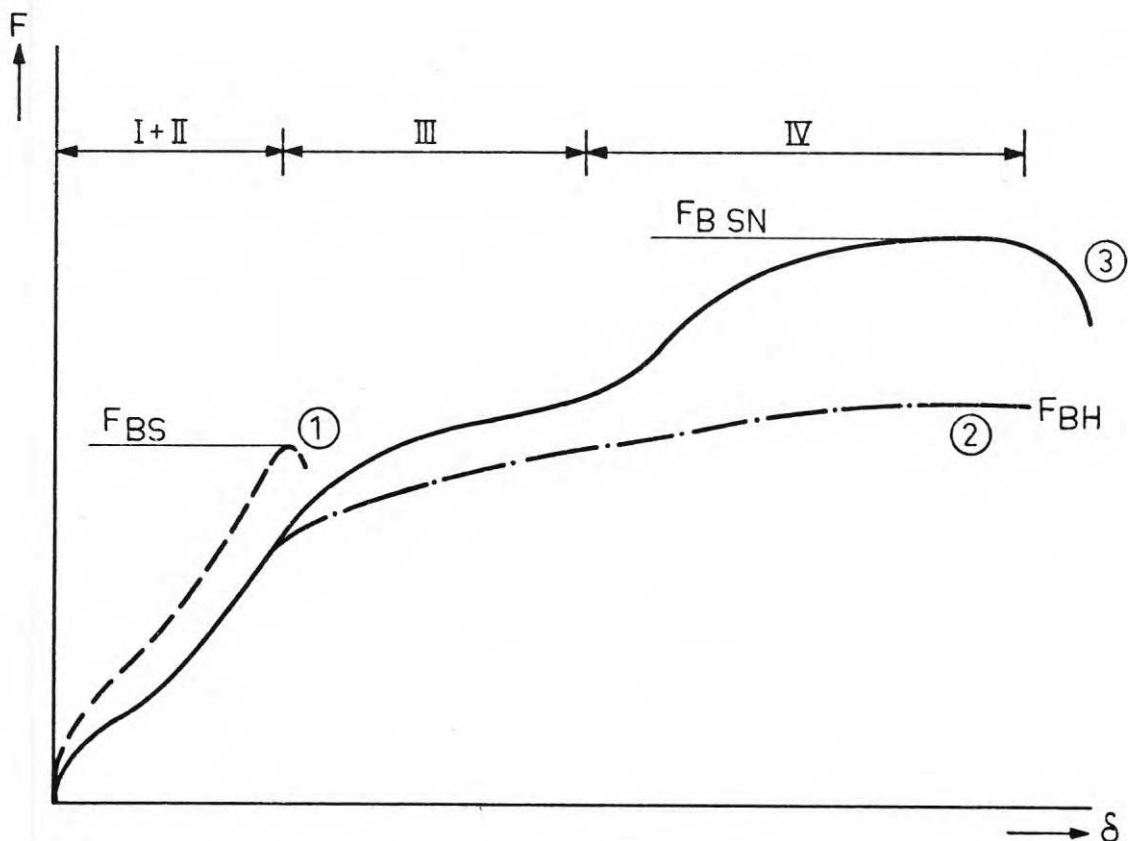
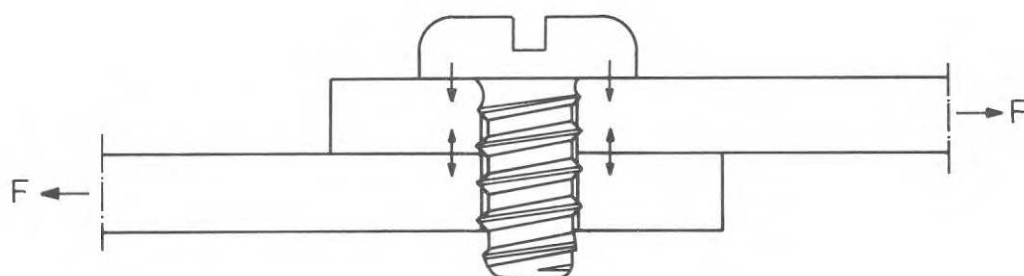


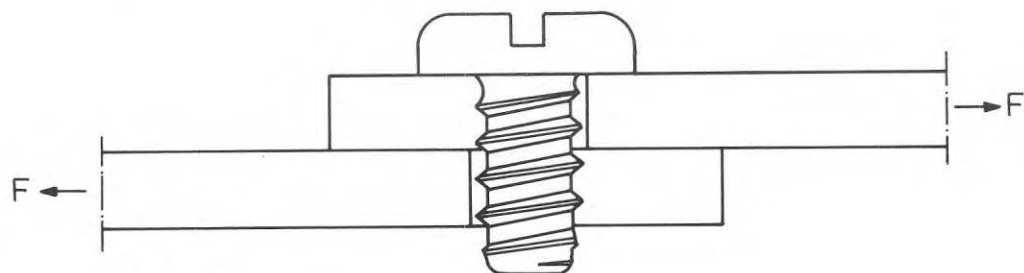
Fig.C7. Skruvförbands deformationsförlopp.

Skede I: Lastöverföringen sker dels genom gängdelar som utbildats under indragningen av skruven samt dels - i mindre utsträckning - genom friktion på grund av den under skruvåtdragning aktiverade klämkraften. Deformationerna är härvid små. (fig. C8).

Skede II: Lastöverföringsytan ökar successivt under inträngning av skruvgängorna i godset till full anliggning av skruvkärnan mot plåten erhålls. På grund därav erhålls en avtagande deformationseffekt. Deformationernas storlek är i detta skede beroende av bl.a. håldiameter, avstånd mellan gängor och gängans läge i förhållande till påkänningsriktningen, plåtkvalitet och -tjocklek samt skruvmaterial och dimension. (fig. C8).



Skede I



Skede II

Fig.C8. Olika belastningsskeden.

En distinkt övergång från skede I till II kan inte fastställas; den här valda uppdelningen har endast fenomenologisk karaktär.

Skede III: kännetecknas av att deformationer kraftigt tilltar i förhållande till lastökningen beroende på antingen hålkantflytning eller snedställning av skruven (fig. C9).



Fig.C9. Skede III.

Hålkantflytning

Snedställning

Skede IV: utgör ett nytt jämviktsläge med en ökad lastupptagning till följd av att dragkrafter i snedställda skruvar aktiveras. Vid hålkantflytning medför den kraftiga materailanhopningen ökad lastupptagningsförmåga. Härvid uppträdande förskjutningar till brott är relativt stora (fig. C 10).

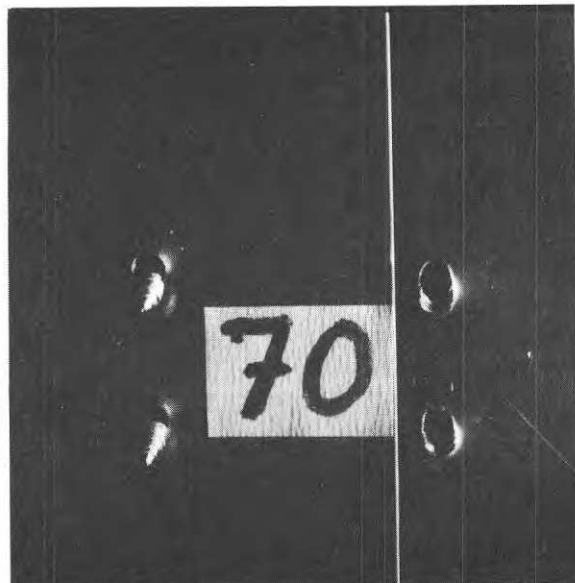
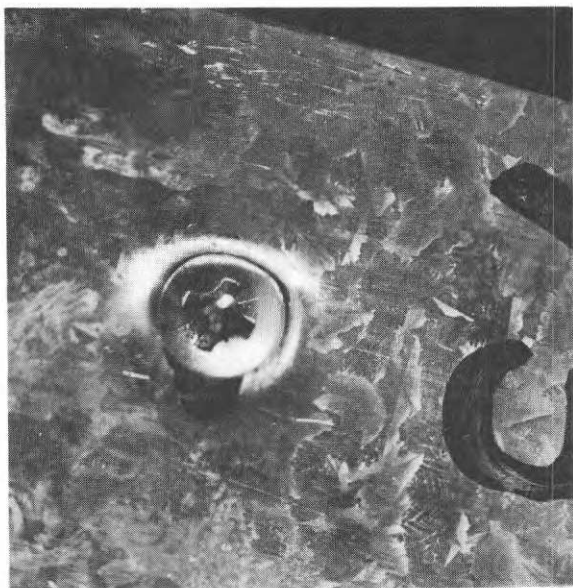


Fig.C10. Skede IV.

Hålkantsflytning

Snedställning

De i figur C6 återgivna kurvorna kan anses vara karakteristiska för olika brottyper.

Kurva 1 enligt denna figur avser ett skruvförband, där skeden I + II begränsas av att skjuvbrott i skruven ( $F_{BS}$ ) inträffar. Deformationerna är härvid relativt begränsade.

Kurva 2 beskriver deformationsbeteendet av ett förband där hålkantflytning ger stora deformationer och slutligen begränsar den lastupptagande förmågan ( $F_{BH}$ ). Detta brottbeteende är i huvudsak aktuellt vid kombination av tunna och grövre plåtar i ett förband.

Kurva 3 beskriver ett vanligt funktionssätt vid hopfogning av två tunna plåtar, där till följd av hålkantflytning i skede III en snedställning av skruvarna inträffar, varefter brottet i form av en urdragning av skruvskaftet ur hålet inträffar i skede IV. Brottypen betecknar "snedställningsbrott" ( $F_{BSN}$ ).

Det bör påpekas att brottlastnivåerna i fig. C6 inte är representativa för respektive brotttyp.

Utöver dessa brottyper skall även nämnas kantbrott, som inträffar vid otillräckligt avstånd mellan skruv och plåtkanten, samt sektionsbrott vid i förhållande till plåtareans brottlast överstarka skruvar.

Vid kombination av tunna och grövre förbandsdelar ger den grövre plåten stadga åt skruven vilket innebär att även enstaka skruvar kan användas utan att besvärande fläkdeformationer uppträder. (jfr. fig. B 22 avsnitt B3).

Vid fogning av tunna plåtar däremot kan vid användning av endast en skruvrad vinkelrät mot kraftriktningen relativt stora fläkdeformationer uppträda vid låga belastningar (jfr. fig. B 19 avsnitt B3).

#### Kraftspelet i enkelt överlappsförband

I kap. B3 behandlas kraftspelet i nitat överlappsförband med dels jämntjocka plåtar och dels olika plåttjocklekar.

Vid användning av skruvar erhålls en något modifierad bild av kraftspelet som beror på följande omständigheter:

- a) För nit och skruv med samma nominella diameter har niten en större yta för upptagning av hålkanttrycket än skruven. Detta innebär att brottypen "hålkantflytning" har större aktualitet vid skruvförband än vid nitförband.
- b) En skruv har genom gängenliggning mellan skruv- och plåtgänga jämfört med niten ytterligare en möjlighet att vid små deformationer uppta del av det moment som påverkar förbandet (jfr. fig. C 11). Detta förhållande medför att vid små belastningar det enkla överlappsförbandet med skruvar i vissa fall uppvisar något mindre fläkbenägenhet än motsvarande nitförband.



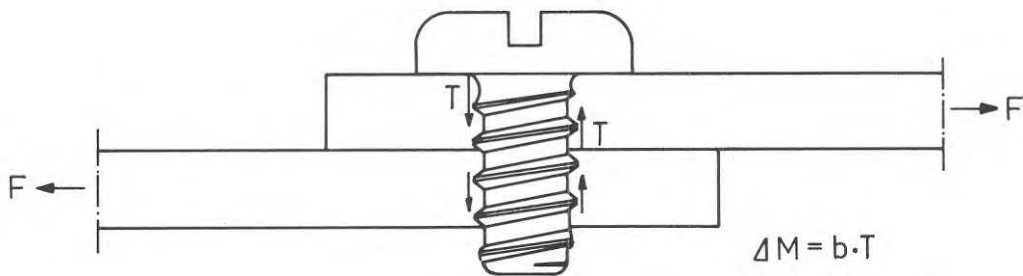


Fig.C11. Momentupptagning genom anliggning mellan skruv och plåtgänga.

- c) Som kraftspelsfiguren i nitdelen visar, påverkas nitskaftet av en dragkraft  $D$  som upptas av stukhuvudet. Vid skruvar upptas motsvarande kraft av gängan. Vanligen har gängorna dock ett lägre utdragningsmotstånd än nitars stukhuvud.

Utdragning av skruv eller nit sker emellertid aldrig enbart till följd av denna kraft utan först när snedställningen medför att en del av kraftöverföringen i förbandet sker via dragspänningar i skruv- eller nitskaftet. Detta belastningsstadium är å andra sidan knuten till förmändringar av sådan storlek, att förbandets funktionsstabilitet äventyras. (skede IV i fig. C6).

Brottypen "snedställningsbrott" uteslutes därför som dimensioneringsgrundande vid behandling av säkerhetsfrågan (se avsnitt 4.4 och 5.2).

I övrigt gäller i stort vad som framhålls ifråga om nitförband dvs:

- Vid förband med olika plåttjocklekar ( $t_1 \gtrsim 2,5t_2$ ) är den tjockare plåtens böjmotstånd av sådan storlek att förbandets deformationer är små och brott inträffar som regel antingen i form av skruvbrott eller som hålkantflytning i den tunna plåten.
- Vid förband med jämntjocka tunna plåtar inträffar brott efter rotation av förbandet och lokal deformation av plåten under skruvhuvudet som regel i form av snedställningsbrott och utdragsning av skruven.

#### C4. EXPERIMENTELLA UNDERSÖKNINGAR

Den följande redogörelsen beskriver egna experimentella undersökningar med enskäriga överlappsförband, avseende att ge underlag för en kvalitativ bedömning av förbandens funktionsstabilitet samt för en kvantitativ bestämning av från säkerhetssynpunkt acceptabel belastningsnivå.

Provningarna omfattar totalt 112 provkroppar av stålplåt och 54 provkroppar av aluminiumplåt, varvid som förbandskaraktäristika varierades grundmaterialets hållfasthet, plåttjocklek, skruvdiametern och antalet skruvar i förbandet.

Jämfört med nitförbandet är valet av håldiameter i relation till skruvtypen av större betydelse, varför speciella in- och åtdragningsförsök utfördes.

Provningarna omfattar lastpåverkan i form av tvärlast och är därvid jämförbara med motsvarande provningar för nitförbandet enligt kapitel B4.

##### 4.1 Applicering och åtdragning av skruvar

En beräkning av skruvförbandet enligt de regler som anges under avsnitt 5 är knuten till förutsättningen att skruvarna blir väl åtdragna till full anliggning av skruvskallen mot plåtytan utan att därvid skruvens gängor, plåtgångor eller skruvskäftet utsätts för otillåtna påkänningar. Dimensionerande storheter för val av korrekt håldiameter och åtdragningsmoment är skruvens diameter och ytbehandling, gängans stigning, skruv- och grundmaterialets hållfasthet, plåtarnas tjocklek och antalet skruv i förbandet.

Är dessa faktorer kända, kan åtdragningsmomentet och håldiametern med god noggrannhet bestämmas på teoretisk väg. (se avsnitt 5.1). För praktisk tillämpning kan viss korrektion av teoretiskt bestämda värden vara erforderlig med hänsyn till exv. borrens slipning, åtdragningsverktygets arbetssätt och avvikande hållfasthetskaraktäristika.

Vid indragning av skruven och åtdragning till brott har vid nedan refererade undersökningar erhållits några karakteristiska samband mellan vridmomentet  $M_v$  och vridningsvinkeln  $\psi$  som återges i fig. C 12.

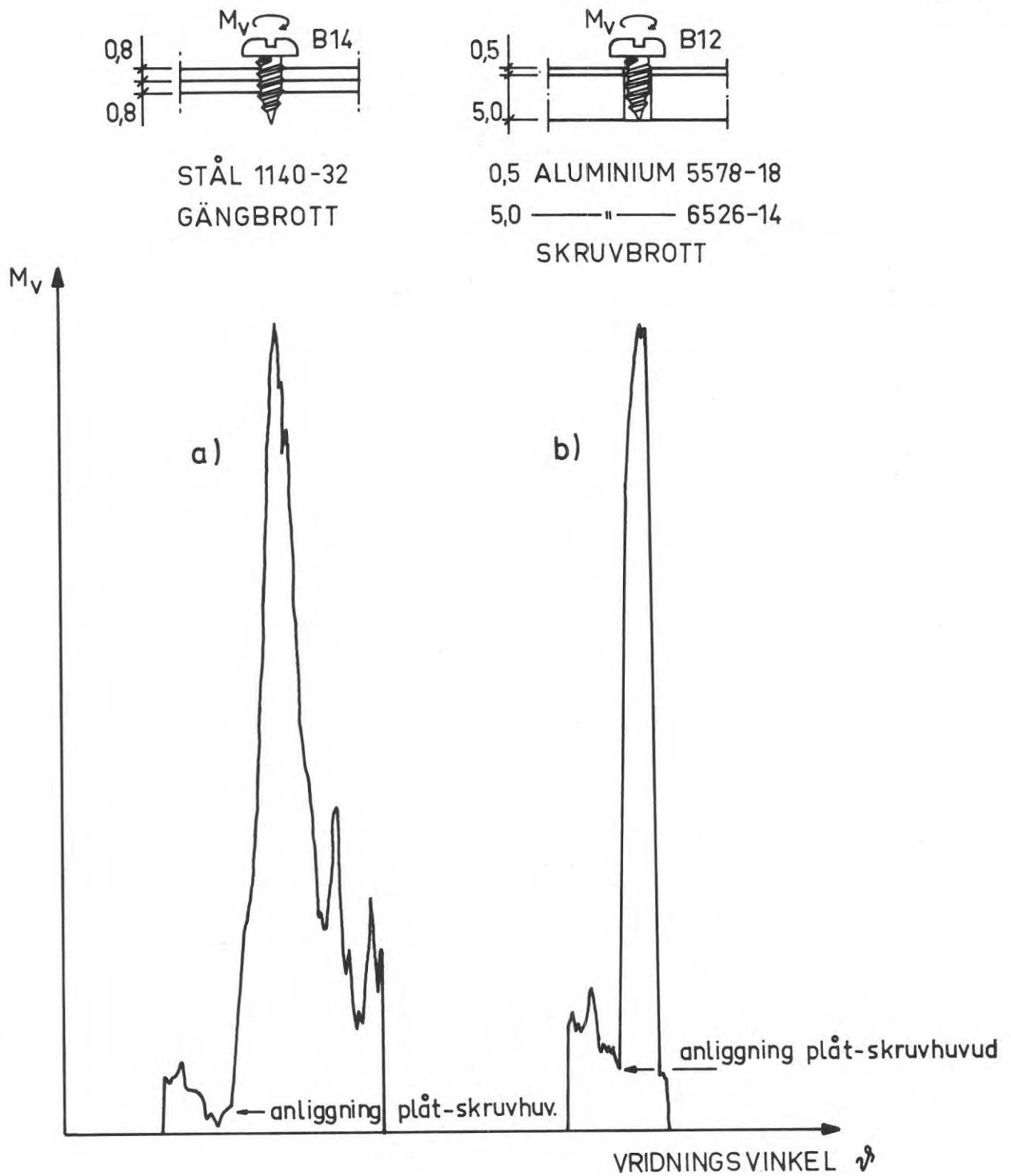


Fig.C12. Med trådtöjningsgivare registrerade moment under skruvars ingängning och därefter åtdragning till brott.

Delfigur a) visar  $M_v - \vartheta$  - sambandet för indragning av skruv B 14 i överlappsförband med 2 ggr. 0,8 mm stålplåt och delfigur b) för indragning av skruv B 12 i förband med 0,5 och 5,0 mm aluminiumplåt. Under gängformningsskedet uppnås ett relativt vridmomentmaximum när den sista gängan i plåtarna formas. Därefter avtar momentet till ett värde som svarar mot friktionsmotståndet mellan skruv- och plåtgängorna. Indragningsskedet begränsas av att skruvhuvudet ligger an mot plåtplanet

Därefter ökar vridmomentet snabbt vid relativt små tillskott i vridvinkeln beroende på att huvudet förhindrar skruvens axiella rörelse samtidigt som friktionsmotståndet ökar i gängorna och under skruvhuvudet. Vid uppnående av ett maximalt vridmoment som till storleken är beroende av plåt- och skruvmaterialets dimensioner och hållfasthet inträffar åtdragningsbrott, antingen i form av gängbrott (delfigur a) eller vridbrott i skruvskftet (delfigur b). I det förra fallet karakteriseras brottskedet av en relativ stor vridningsvinkel, beroende på att gängrester i plåten framkallar ett visst vridmotstånd, i det senare fallet inträffar brottet mera spontant och medför att förbandet faller isär.

#### 4.11\_ Provningsutrustning och provkroppsutformning

För bestämning av sambandet mellan vridmomentet  $M_v$  och vridningsvinkeln  $\varphi$  användes en specialgjord nyckel, försedd med trådtöjningsgivare som anslutits till en automatisk skrivarutrustning. (se fig. C 13).

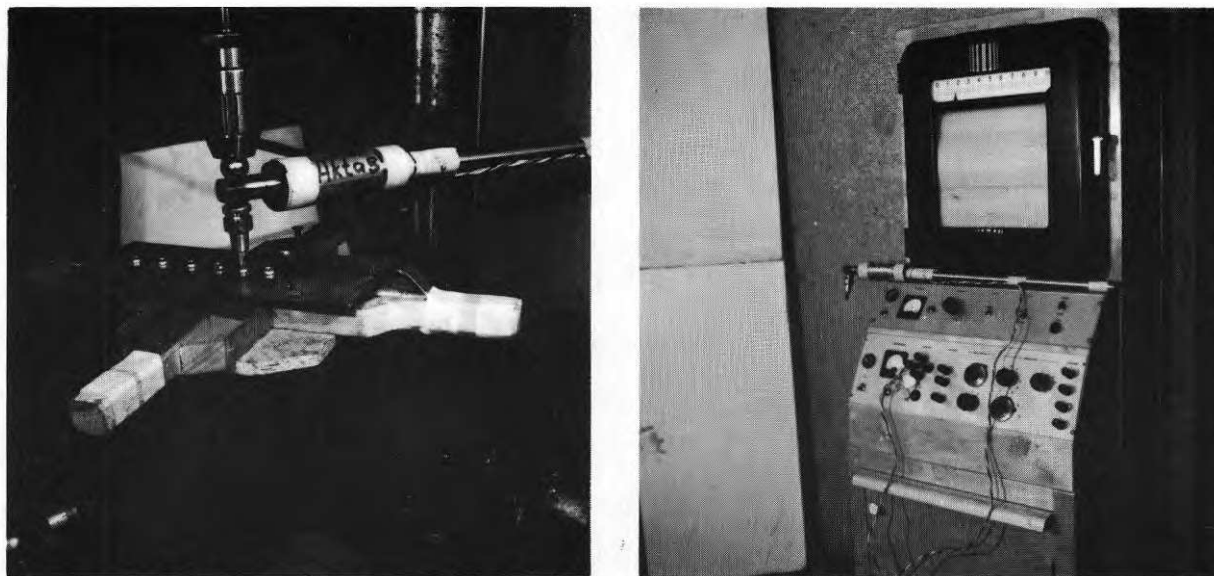


Fig.C13. Utrustning för registrering av vridmoment.

Nyckeln kalibrerades genom att en kraft  $P = 1$  kp anbringades på avståndet 600 mm från skruvindragningshylsan (se fig. C 14), varvid momentet i givarens läge blir  $M_{G_1} = M_{H_1} \cdot \frac{517}{600}$  [kpcm].

$M_G$  = moment vid givaren [kpcm]

$M_H$  = moment vid hylsan [kpcm]

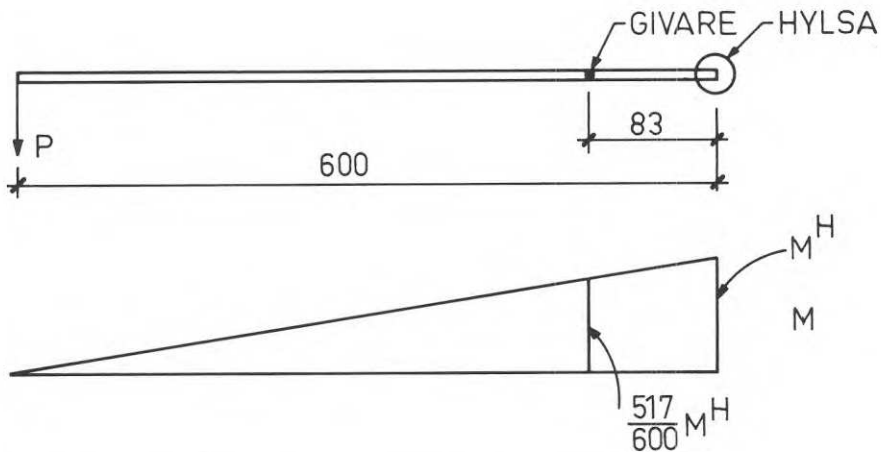


Fig.C14. Kalibrering av vridmomentnyckel.

Om skrivarutslaget är  $s$  [cm] blir skalfaktorn  $n^* = \frac{60}{s}$  [kpcm/cm], varvid värdet på  $n^*$  gäller för momentet vid hylsan  $M_H$ .

Vid skruvåtdragning appliceras vridmomentet vid hylsan, varvid nyckelskaftet fixeras på avståndet 270 mm från hylsan (jfr. fig. C 15).

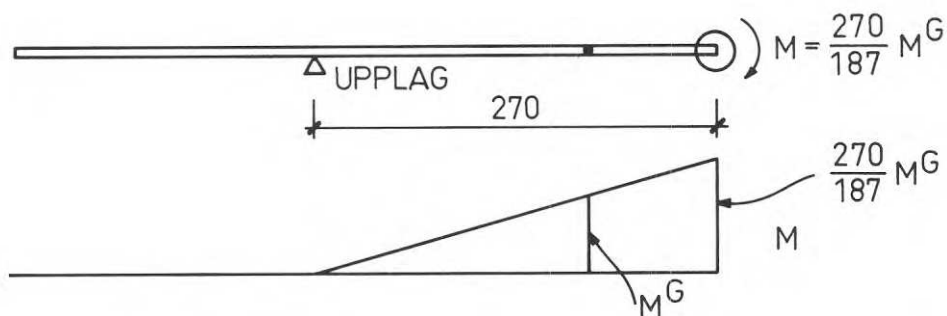


Fig.C15. Vridmomentfördelning längs nyckeln under skruvåtdragning.

Därmed erhålls sambandet mellan momenten vid givaren och hylsan till

$$M_{H_2} = \frac{270}{187} \cdot M_{G_2}$$

Det vridande momentet vid hylsan erhålls således genom korrektion av skalfaktorn  $n^*$  enligt

$$n = n^* \cdot \frac{517}{600} \cdot \frac{270}{187} \quad [\text{kpcm/cm}]$$

Skalfaktorn  $n^*$  har uppmätts till

$$n_1^* = 7,50 \text{ kpcm/cm}$$

$$n_2^* = 17,14 \text{ kpcm/cm}$$

varvid en kontrollvägning visade att värdena var 2 % för stora.

För en direkt beräkning av momentet ur skrivarvärdena gäller sambanden

$$n_1 = n_1^* \cdot \frac{517}{600} \cdot \frac{270}{187} \cdot 0,98 = 1,22 n_1^* = 9,2 \text{ kpcm/cm}$$

$$n_2 = n_2^* \cdot \frac{517}{600} \cdot \frac{270}{187} \cdot 0,98 = 1,22 n_2^* = 20,9 \text{ kpcm/cm}$$

Exempel på skrivardiagram från indragningsförsök återges i fig. C 12.

För bestämning av vridbrottmomentet för skruvar användes som provkropp en tjock stålplåt enligt fig. C 16 med håldiametern svarande mot skruvens kärndiameter  $d_k$ . Registrerat vridbrottmoment  $M_{BV}$  korrigeras i enlighet med ovanstående.

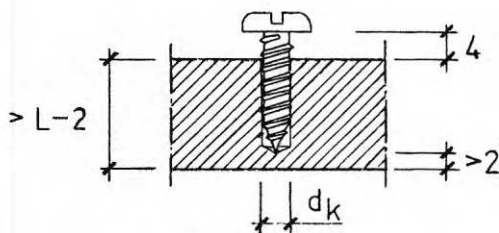


Fig.C16, Provkropp för bestämning av vridbrottmoment.

För bestämning av lämpligt samband mellan håldiameter och åtdragningsmoment användes provkroppar enligt fig. C 17 med varierande plåttjocklekar  $t_1$  och  $t_2$  i enlighet med avsnitt 4.13. Registrerade brottmoment i form av skruvbrott ( $M_{BV}$ ) eller gängbrott ( $M_{BG}$ ) korrigeras i enlighet med ovanstående.

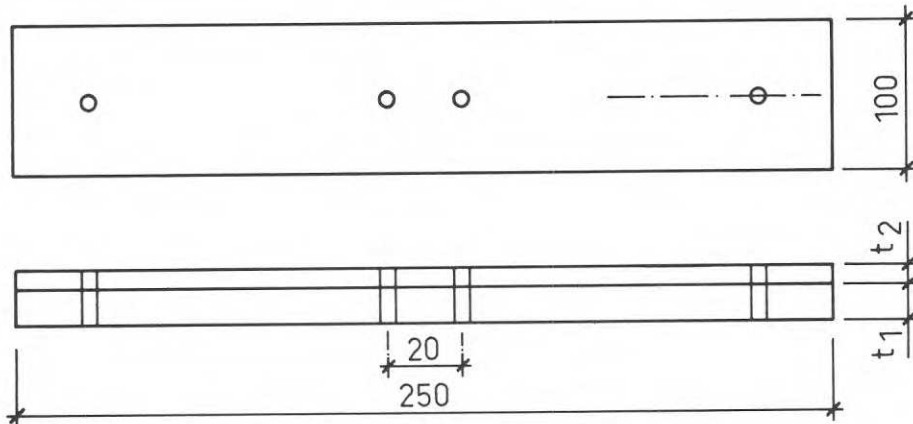


Fig.C17. Provkropp avsedd för indragningsförsök enl. C4.12-4.13.

#### 4.12 Bestämning av skruvars vridhållfasthet

Provningen omfattar 5 x 3 brottförsök med gängpressande härdade stålskruvar av typen RXS Pozidriv i dimensionerna B4, B8, B 10, B 12 och B 14. Skruvlängd  $L = 12$  mm.

Resultatet av brottförsöken återges i tabell 1, varvid de verkliga brottmomenten utgör medelvärden av 3 försök, korrigerade med hänsyn till ovan illustrerade mätmetod. Upplyningsvis kan meddelas att handåtdragning med mejsel svarar mot ett åtdragningsmoment om maximalt 40 kpcm.

I fig. C 18 återges en sammanställning av vridbrottmomenten  $M_{BV}$  som funktion av skruvdiametern. I figuren redovisas också tillåtet vridmoment, baserat på en föreslagen säkerhetsfaktor  $n = \frac{M_{BV}}{M_{V\text{ till }}} = 2,0$ .

Refererad till skruvens kärnarea erhålls en vridbrottspänning

$$\tau_v = 65 - 80 \text{ kp/mm}^2$$

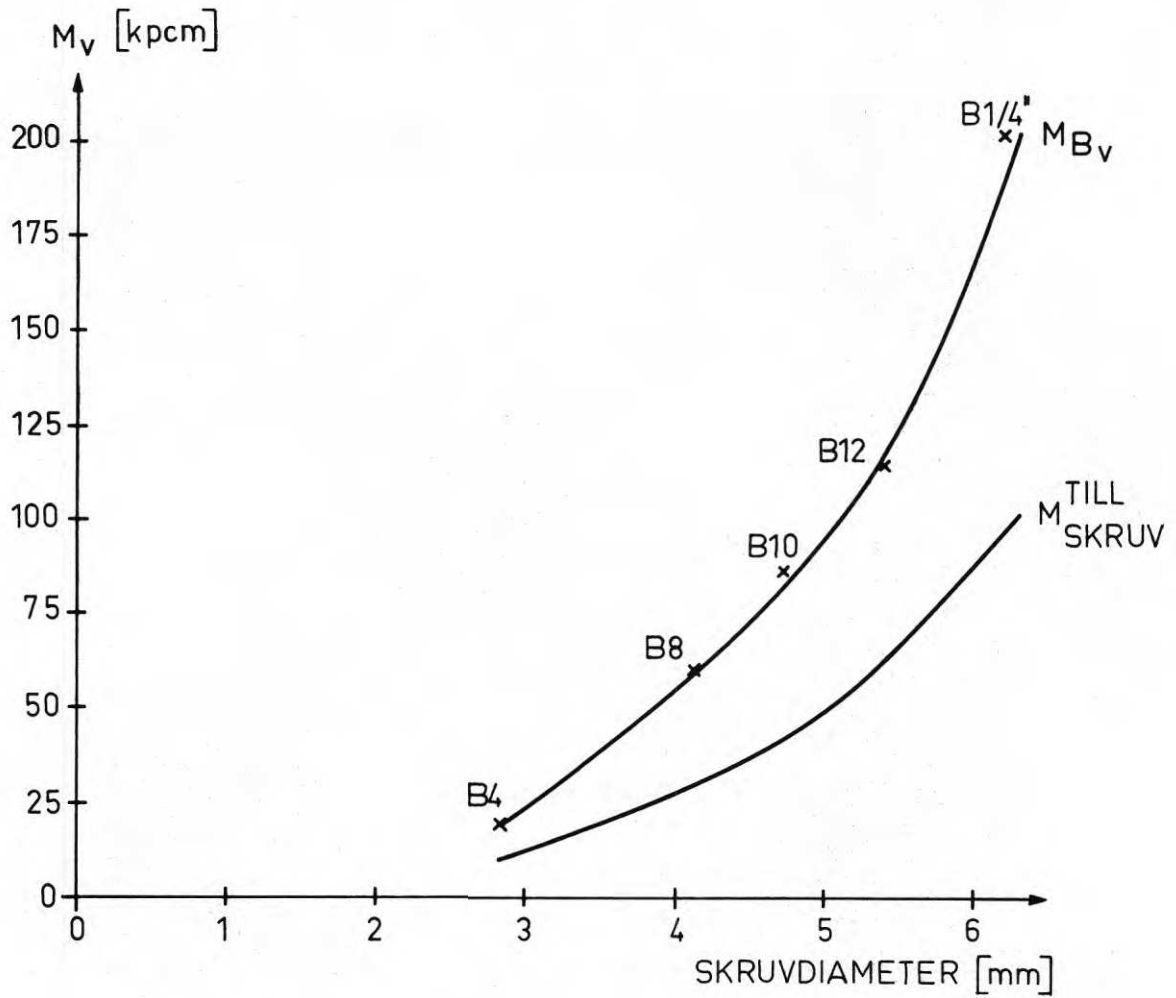


Fig.C18. Vridbrottmoment för ythärdad skruv av typ RXS  
 Pozidriv som funktion av den nominella diametern.



#### 4.13\_ Bestämning av lämpliga kombinationer avseende håldiameter och åtdragningsmoment

##### a) Stålplåt

Indragningsförsök utfördes vid 72 provkroppar med härdade stålskruvar av typen RXS Pozidriv i dimensionerna B4, B8, B 10 och B 14.

Som grundmaterial användes

vid	t = 0,7 mm:	DOGAL SU 320;	varmförzinkat
	t = 0,8 mm:	SIS 1140 - 32;	valsblankt
	t = 2,0 mm:	SIS 1140 - 32;	valsblankt
	t = 1,5 mm:	DOGAL FA	; varmförzinkat

Hållfasthetsdata för grundmaterial framgår av avsnitt B 4.3, tabell 1. (Nitförband).

Resultaten av indragningsförsöken återges i tabell 2 för olika kombinationer av plåttjocklekar med därtill knutna hållfasthetsvärden och skruvdiametrar. Rubriken "Verkl. mom." avser medelvärden av registrerade brottmoment, korrigerade med hänsyn till ovan beskriven mätmetod. Som brottorsak erhöles i huvudsak brott i plåtgångorna. I vissa fall har brottet rubricerats som skruvbrott. Därvid erhållna brottmomentvärden ligger genomgående över motsvarande värden enligt 4.12, vilket beror på friktionsmotstånd mellan skruvhuvudet och plåten till följd av skruvens klämkraft. Som övre gräns för det dimensionerande vridbrottmomentet gäller värdena enligt avsnitt 4.12.

Tabell 1: Resultat av vridbrottförsök med olika skruvdimensioner

Provkropp nr	Skruvdim.	Håldiam. d [mm]	Håldjup H [mm]	Uppmätt moment [kpcm]	Verkligt moment [kpcm]
A 1	B 4	2,2	8,0	17	20
A 2	B 4	2,2	8,0	15	
A 3	B 4	2,2	8,0	17	
B 1	B 8	3,0	8,0	44	62
B 2	B 8	3,0	8,0	54	
B 3	B 8	3,0	8,0	55	
C 1	B 10	3,4	8,0	75	89
C 2	B 10	3,4	8,0	66	
C 3	B 10	3,4	8,0	77	
D 1	B 12	4,0	8,0	100	118
D 2	B 12	4,0	8,0	98	
D 3	B 12	4,0	8,0	94	
E 1	B 14	4,8	8,0	171	211
E 2	B 14	4,8	8,0	182	
E 3	B 14	4,8	8,0	166	

Tabell 2: Resultat av åtdragningsförsök med stålplåt

Provr. nr	Plåtmat.	$t_2 + t_1$	Skruv dim.	Håldiam [mm]	Uppm.mom [kpcm]	Verkl. mom. [kpcm]	Brotttyp Anm.
1.1	DOGAL SU	0,7+ 0,7	B 4	2,2	18	17 21	Gängbrott
1.2	- " -	- " -	"	"	16		- " -
1.3	- " -	- " -	"	"	16		- " -
2.1	1140 - 32	0,8+ 0,8	B 4	2,2	22	20 24	- " -
2.2	- " -	- " -	"	"	18		- " -
2.3	- " -	- " -	"	"	20		- " -
3.1	DOGAL FA	1,5+ 1,5	B 4	2,4	26	25 30	Gängbrott
3.2	- " -	- " -	"	"	26		Skruvbrott
3.3	- " -	- " -	"	"	23		- " -
4.1	DOGAL SU	0,7+ 0,7	B 8	3,1	32	30 37	Gängbrott
4.2	- " -	- " -	"	"	29		- " -
4.3	- " -	- " -	"	"	30		- " -
5.1	1140 - 32	0,8+ 0,8	B 8	3,1	41	39 48	- " -
5.2	- " -	- " -	"	"	36		- " -
5.3	- " -	- " -	"	"	39		Gängbrott
6.1	DOGAL FA	1,5+ 1,5	B 8	3,3	54	56 68	Skruvbrott
6.2	- " -	- " -	"	"	60		- " -
6.3	- " -	- " -	"	"	53		- " -
7.1	DOGAL SU	0,7+ 0,7	B 14	4,9	57	62 75	Gängbrott *
7.2	- " -	- " -	"	"	82		- " -
7.3	- " -	- " -	"	"	48		- " - *
8.1	1140 - 32	0,8+ 0,8	B 14	4,9	100	90 110	- " -
8.2	- " -	- " -	"	"	71		- " -
8.3	- " -	- " -	"	"	100		- " -
9.1	DOGAL FA	1,5+ 1,5	B 14	5,1	127	140 171	- " -
9.2	- " -	- " -	"	"	156		- " -
9.3	- " -	- " -	"	"	137		- " -
10.1	1140 - 32	2,0+ 2,0	B 14	5,3	209	187 228	Skruvbrott
10.2	- " -	- " -	"	"	180		Gängbrott
10.3	- " -	- " -	"	"	171		- " -

\* Glapp inom förbandet.

Tabell 2: Resultat av åtdragningsförsök med stålplåt

Provkr. nr	Plåtmat.	$t_2 + t_1$	Skruv dim	Håldiam [mm]	Uppm.mom [kpcm]	Verkl. mom [kpcm]	Brotttyp Anm.	
11.1	DOGAL FA	1,5+ 5,0	B 14	5,7	185	176	215	Skruvbrott - " - - " -
11.2	- " -	- " -	"	"	168			
11.3	- " -	- " -	"	"	175			
12.1	1140-32	2,0+ 5,0	B 14	5,7	199	193	236	- " - - " - - " -
12.2	- " -	- " -	"	"	185			
12.3	- " -	- " -	"	"	195			
14.1	1140-32	2,0+ 2,0	B 14	5,6	115	116	142	Gängbrott - " - - " -
14.2	- " -	- " -	"	"	109			
14.3	- " -	- " -	"	"	125			
19.1	1140-32	0,8+ 5,0	B 10	4,5	31	43	52	Gängbrott - " - - " -
19.2	- " -	- " -	"	"	50			
19.3	- " -	- " -	"	"	49			
20.1	1140-32	0,8+ 5,0	B 8	3,9	73	68	83	Skruvbrott - " - - " -
20.2	- " -	- " -	"	"	64			
20.3	- " -	- " -	"	"	67			
21.1	DOGAL FA	2,5+ 5,0	B 14	5,9	105	84	102	Gängbrott - " - - " -
21.2	- " -	- " -	"	"	71			
21.3	- " -	- " -	"	"	75			
22.1	1140-32	0,8+ 0,8	B 10	3,9	50	43	52	Gängbrott - " - - " -
22.2	- " -	- " -	"	"	39			
22.3	- " -	- " -	"	"	41			
23.1	DOGAL SU	0,7+ 0,7	B 4	2,6	11	11	13	Gängbrott - " - - " -
23.2	- " -	- " -	"	"	11			
23.3	- " -	- " -	"	"	13			
24.1	DOGAL FA	2,5+ 5,0	B 14	5,8	210	199	236	Skruvbrott Gängbrott Skruvbrott
24.2	- " -	- " -	"	"	193			
24.3	- " -	- " -	"	"	193			
25.1	DOGAL FA	1,5+ 1,5	B 4	2,6	22	23	28	Gängbrott - " - - " -
25.2	- " -	- " -	"	"	23			
25.3	- " -	- " -	"	"	25			

Tabell 2: Resultat av åtdragningsförsök med stålplåt

Provr. nr	Plåtmat.	$t_2 + t_1$	Skruv dim.	Håldiam [mm]	Uppm.mom [kpcm]	Verkl. mom [kpcm]	Brottyp Anm.	
26.1	DOGAL FA	1,5+ 1,5	B 14	5,6	60	54 } 66	Gångbrott	
26.2	- " -	- " -	"	"	44		58 }	- " -
26.3	- " -	- " -	"	"	58			- " -
27.1	DOGAL SU	0,7+ 0,7	B 8	3,3	34	34 } 41		- " -
27.2	- " -	- " -	"	"	31		37 }	- " -
27.3	- " -	- " -	"	"	37			- " -
28.1	DOGAL FA	1,5+ 1,5	B 8	3,5	34	43 } 52		- " -
28.2	- " -	- " -	"	"	48		46 }	- " -
28.3	- " -	- " -	"	"	46			- " -
29.1	1140-32	0,8+ 5,0	B 8	4,1	23	34 } 41		- " -
29.2	- " -	- " -	"	"	43		36 }	- " -
29.3	- " -	- " -	"	"	36			- " -

b) Aluminiumplåt

Indragningsförsök utfördes vid 45 provkroppar med härdade stålskruvar RXS i dimensionerna B8, B12 och B14. Som grundmaterial användes aluminiumplåt

vid	t = 0,5; 0,7; 0,9 mm:	SIS 4054 - 18	(SM 5578)
	t = 1,5; 5,0 mm:	SIS 4120 - 14	(SM 6526)
	t = 1,5 mm:	SIS 4007 - 14	(SM 5050)

Hållfasthetsdata för angivna material framgår av avsnitt B 4.3, tabell 1 (Nitförband).

Resultaten av indragningsförsöken återges i tabell 3 för olika kombinationer av plåttjocklekar med därtill knutna hållfasthetsvärden och skruvdiametrar. Rubriken "Verkl. mom." avser medelvärden av registrerade brottmoment, korrigerade med hänsyn till ovan beskriven mätmetod. I likhet med resultaten för förband med stålplåt erhöles i huvudsak gängbrott i plåtmaterialiet.

Tabell 3: Resultat av åtdragningsförsök med aluminiumplåt

Provr. nr	Plåtmat.	$t_2 + t_1$	Skruv dim	Håldiam [mm]	Uppm.mom [kpcm]	Verkl. mom [kpcm]	Brotttyp Anm.
4.1	5578-18	0,5+ 0,5	B 8	3,0	16	15 18	Gängbrott
4.2	- " -	- " -	"	"	13		- " -
4.3	- " -	- " -	"	"	17		- " -
5.1	5578-18	0,9+ 0,9	B 8	3,2	28	27 33	Gängbrott
5.2	- " -	- " -	"	"	25		- " -
5.3	- " -	- " -	"	"	28		- " -
6.1	6526-14	1,5+ 1,5	B 8	3,2	50	49 60	Skruvbrott
6.2	- " -	- " -	"	"	53		- " -
6.3	- " -	- " -	"	"	44		- " -
7.1	5578-18	0,5+ 0,5	B 12	4,1	20	21 26	Gängbrott
7.2	- " -	- " -	"	"	22		- " -
7.3	- " -	- " -	"	"	21		- " -
8.1	5578-18	0,9+ 0,9	B 12	4,1	43	39 47	Gängbrott
8.2	- " -	- " -	"	"	37		- " -
8.3	- " -	- " -	"	"	36		- " -
9.1	6526-14	1,5+ 1,5	B 12	4,3	79	77 94	Gängbrott
9.2	- " -	- " -	"	"	70		- " -
9.3	- " -	- " -	"	"	82		- " -
12.1	5578-18	0,7+ 0,7	B 8	3,0	18	16 20	Gängbrott
12.2	- " -	- " -	"	"	15		- " -
12.3	- " -	- " -	"	"	16		- " -
14.1	5578-18	0,7+ 0,7	B 12	4,1	22	21 26	Gängbrott
14.2	- " -	- " -	"	"	22		- " -
14.3	- " -	- " -	"	"	20		- " -
18.1	5578-18/ 6526-14	0,5+ 5,0	B 8	3,6	71	69 84	Gängbrott
18.2	- " -	- " -	"	"	70		- " -
18.3	- " -	- " -	"	"	65		- " -
19.1	5578-18/ 6526-14	0,5+ 5,0	B 12	4,7	105	107 130	Skruvbrott
19.2	- " -	- " -	"	"	115		- " -
19.3	- " -	- " -	"	"	100		- " -

Forts. Tabell 3: Resultat av åtdragningsförsök med aluminiumplåt

Provr. nr	Plåtmat.	$t_2 + t_1$	Skruv dim	Håldiam mm	Uppm.mom kpcm	Verkl. mom kpcm	Brottyp Anm.
21.1	5050-14	1,5+ 1,5	B 12	4,3	63	61 74	Gängbrott
21.2	- " -	- " -	"	"	60		- " -
21.3	- " -	- " -	"	"	59		- " -
23.1	6526-14	1,5+ 1,5	B 8	3,4	49	48 58	Gängbrott
23.2	- " -	- " -	"	"	50		- " -
23.3	- " -	- " -	"	"	46		- " -
24.1	5578-18	0,9+ 0,9	B 14	5,0	55	55 67	Gängbrott
24.2	- " -	- " -	"	"	59		- " -
24.3	- " -	- " -	"	"	52		- " -
25.1	6526-14	1,5+ 1,5	B 14	5,4	79	75 91	Gängbrott
25.2	- " -	- " -	"	"	78		- " -
25.3	- " -	- " -	"	"	68		- " -
27.1	6526-14/ 6526-14	1,5+ 5,0	B 14	5,7	94	94 115	Gängbrott
27.2	- " -	- " -	"	"	99		- " -
27.3	- " -	- " -	"	"	90		- " -



## 4.2 Överlappsförband under inverkan av tvärlast

### 4.21 Provningsutrustning och provkroppsutformning

Provningsen av skruvförband utfördes parallellt med motsvarande försök med nitförband, varvid samma provningsutrustning och provkroppstyper användes. Se närmare kapitel B, avsnitt 4.1.

### 4.22 Material till förband

Vid flertalet provkroppar användes gängpressande härdade stålskruvar typ RXS Pozidriv med B-gänga i dimensionerna B4, B8, B10, B12 och B 1/4. Ett mindre antal provkroppar av provkroppstyp II utfördes med självborrande skruvar av typen TEKS med dimensionerna B6, B8, B10 resp. Super-TEKS B10.

Som grundmaterial till förband användes plåt av samma kvaliteter som redovisas under kapitel B, avsnitt 4.2.

### 4.23 Provningsomfattning och försöksresultat

Provningsarna omfattar en registrering av sambandet mellan tvärlasten  $F$  och korresponderande förskjutningar  $\delta$ , uppmätta över förbandet med 115 mm mätlängd.

En sammanställning av maximal erhållen tvärlast  $F_B$  med avseende på provkroppstyp, grundmaterial, godstjocklek och skruvdimension ges i tabellerna 4 - 10.

Här avser

tabell 4:	provkroppstyp I (stålplåt);	jfr. fig. B 24
tabell 5:	provkroppstyp II (stålplåt);	jfr. fig. B 25
tabell 6:	provkroppstyp I (aluminiumplåt);	jfr. fig. B 24
tabell 7:	provkroppstyp II (aluminiumplåt);	jfr. fig. B 25
tabell 8:	provkroppstyp III (stålplåt);	jfr. fig. B 26
tabell 9:	provkroppstyp IV (stålplåt);	jfr. fig. B 27
tabell 10:	provkroppstyp II (stålplåt);	jfr. fig. B 25

Resultaten, återgivna i tabellerna 4 - 9 hänför sig till gängpressande skruvar medan tabell 10 avser självborrande skruvar.

Under rubriken "brottyp" införda beteckningar avser

S = skjuvbrott i nitskaft ; SN = snedställningsbrott  
 H = hålkantflytning ; K = kantbrott  
 H/K = kombination av H och K ; S/SN = kombination av S och SN  
 H/SN = kombination av H och SN; SB = sektionsbrott

I anslutning till brottlastredovisningen illustreras förbandens deformationsbeteende i form av F -  $\delta$  - kurvor (fig. C20 - C29) varvid provningsresultaten för likartade provkroppar sammanslagits. Detta innebär att last-förskjutningskurvorna representerar medelvärden av tre registreringar vid varje provat belastningssteg.

Redovisade samband utgör exempel på representativa formändringskurvor, så valda att olika parameters inverkan på förbandets beteende kan illustreras. En diskussion av resultaten återges under avsnitt 4.4.

Allmänt gäller för redovisade F -  $\delta$  - samband att endast laststeg medtagits som ger förskjutningar mindre än 1,5 mm. Kurvavslutningen ger således inte uttryck för förbandens lastupptagande förmåga eller brottdeformationen. Den i försök maximalt erhållna lasten framgår av tabellerna 3 - 9; den vid maximallast uppmätta förskjutningen uppgår som regel till 6 - 8 mm. Redovisat förskjutningsområde åtföljs av ett område, där små lasttillskott ger stor deformationstillväxt.

Tabell 4: Brottlast  $F_B$  vid provkroppstyp I (stålplåt)

Provkr. nr	$t_2/t_1$ [mm]	Mat.kval.plåt 2/ Mat.kval.plåt 1	Kantav- stånd e [mm]	Skruvdim./ Borrhålsdiam. [mm]/ Åtdrag.mom. [kpcm]	Max.last [kp]	Brottyp
1	0,7/5,0	DOGAL SU 320/1311	35,0	B10/4,4/45	376	H
2	0,7/5,0	DOGAL SU 320/1311	35,0	B10/4,4/45	400	H
3	0,7/5,0	DOGAL SU 320/1311	35,0	B10/4,4/45	360	H
4	0,8/5,0	1140 - 32/1311	35,0	B10/4,4/45	393	H
5	0,8/5,0	1140 - 32/1311	35,0	B10/4,4/45	457	H
6	0,8/5,0	1140 - 32/1311	35,0	B10/4,4/45	456	H
7	0,7/5,0	DOGAL SU 320/1311	35,0	B12/5,1/60	387	H
8	0,7/5,0	DOGAL SU 320/1311	35,0	B12/5,1/60	442	H
9	0,7/5,0	DOGAL SU 320/1311	35,0	B12/5,1/60	404	H
10	0,8/5,0	1140 - 32/1311	35,0	B12/5,1/60	442	H
11	0,8/5,0	1140 - 32/1311	35,0	B12/5,1/60	461	H
12	0,8/5,0	1140 - 32/1311	35,0	B12/5,1/60	467	H
13	0,7/5,0	DOGAL SU 320/1311	35,0	B1/4/5,9/105	426	H
14	0,7/5,0	DOGAL SU 320/1311	35,0	B1/4/5,9/105	447	H
15	0,7/5,0	DOGAL SU 320/1311	35,0	B1/4/5,9/105	460	H
16	0,8/5,0	1140 - 32/1311	35,0	B1/4/5,7/105	514	H
17	0,8/5,0	1140 - 32/1311	35,0	B1/4/5,7/105	544	H
18	0,8/5,0	1140 - 32/1311	35,0	B1/4/5,7/105	587	H
19	0,7/5,0	DOGAL SU 320/1311	8,3	B8/4,0/30	292	K
20	0,7/5,0	DOGAL SU 320/1311	8,3	B8/4,0/30	274	K
21	0,7/5,0	DOGAL SU 320/1311	8,3	B8/4,0/30	293	K
22	0,7/5,0	DOGAL SU 320/1311	12,4	B8/4,0/30	347	H/K
23	0,7/5,0	DOGAL SU 320/1311	12,4	B8/4,0/30	433	H/K
24	0,7/5,0	DOGAL SU 320/1311	12,4	B8/4,0/30	354	H/K
25	0,7/5,0	DOGAL SU 320/1311	16,6	B8/4,0/30	380	H
26	0,7/5,0	DOGAL SU 320/1311	16,6	B8/4,0/30	389	H
27	0,7/5,0	DOGAL SU 320/1311	16,6	B8/4,0/30	435	H
28	0,7/5,0	DOGAL SU 320/1311	20,7	B8/4,0/30	376	H
29	0,7/5,0	DOGAL SU 320/1311	20,7	B8/4,0/30	399	H
30	0,7/5,0	DOGAL SU 320/1311	20,7	B8/4,0/30	448	H
31	1,0/5,0	DOGAL SU 320/1311	12,3	B1/4/5,9/105	680	H/K
32	1,0/5,0	DOGAL SU 320/1311	12,3	B1/4/5,9/105	670	H/K
33	1,0/5,0	DOGAL SU 320/1311	12,3	B1/4/5,9/105	597	H/K

Forts. Tabell 4: Brottlast  $F_B$  vid provkroppstyp I (stålplåt)

Provkr. nr	$t_2/t_1$ [mm]	Mat.kval.plåt 2/ Mat.kval.plåt 1	Kantav- stånd e [mm]	Skruvdim./ Borrhålsdiam. [mm]/ Åtdrag.n.mom. [kpcm]	Max.last [kp]	Brotttyp
34	1,0/5,0	DOGAL SU 320/1311	18,5	B1/4/5,9/105	735	H
35	1,0/5,0	DOGAL SU 320/1311	18,5	B1/4/5,9/105	770	H
36	1,0/5,0	DOGAL SU 320/1311	18,5	B1/4/5,9/105	727	H
37	1,0/5,0	DOGAL SU 320/1311	24,7	B1/4/5,9/105	796	H
38	1,0/5,0	DOGAL SU 320/1311	24,7	B1/4/5,9/105	794	H
39	1,0/5,0	DOGAL SU 320/1311	24,7	B1/4/5,9/105	800	H
40	1,0/5,0	DOGAL SU 320/1311	30,9	B1/4/5,9/105	800	H
41	1,0/5,0	DOGAL SU 320/1311	30,9	B1/4/5,9/105	815	H
42	1,0/5,0	DOGAL SU 320/1311	30,9	B1/4/5,9/105	843	H
73	1,0/1,0	DOGAL SU 320/ DOGAL SU 320	35,0	B1/4/5,2/75	407	SN
74	1,0/1,0	DOGAL SU 320/ DOGAL SU 320	35,0	B1/4/5,2/75	420	SN
75	1,0/1,0	DOGAL SU 320/ DOGAL SU 320	35,0	B1/4/5,2/75	418	SN
76	0,7/0,7	DOGAL SU 320/ DOGAL SU 320	35,0	B1/4/4,9/60	250	SN
77	0,7/0,7	DOGAL SU 320/ DOGAL SU 320	35,0	B1/4/4,9/60	215	SN
78a	0,7/0,7	DOGAL SU 320/ DOGAL SU 320	35,0	B1/4/4,9/60	250	SN
78b	1,0/2,5	DOGAL SU 320/ DOGAL FA	35,0	B1/4/5,5/80	875	H/SN
79	1,0/2,5	DOGAL SU 320/ DOGAL FA	35,0	B1/4/5,5/80	860	H/SN
80	1,0/2,5	DOGAL SU 320/ DOGAL FA	35,0	B1/4/5,5/80	800	H/SN
81	2,0/5,0	1140 - 32/1311	35,0	B1/4/5,9/105	920	S
82	2,0/5,0	1140 - 32/1311	35,0	B1/4/5,9/105	860	S
83	2,0/5,0	1140 - 32/1311	35,0	B1/4/5,9/105	870	S

Tabell 5: Brottlast  $F_B$  vid provkroppstyp II (stålplåt)

Provr. nr	t [mm]	Mat. kval.	Skruvdimension/ Borrhålsdiam. [mm]/ Åtdragn.moment [kpcm]	Max. last [kp]	Brottp
43	0,7	DOGAL SU 320	B4/2,3/10	345	SN
44	0,7	DOGAL SU 320	B4/2,3/10	368	SN
45	0,7	DOGAL SU 320	B4/2,3/10	362	SN
46	0,7	DOGAL SU 320	B8/3,1/45	436	SN
47	0,7	DOGAL SU 320	B8/3,1/45	412	SN
48	0,7	DOGAL SU 320	B8/3,1/45	390	SN
49	1,0	DOGAL SU 320	B8/3,4/45	730	SN
50	1,0	DOGAL SU 320	B8/3,4/45	680	S/SN
51	1,0	DOGAL SU 320	B8/3,4/45	740	SN
52	0,7	DOGAL SU 320	B12/4,3/68	430	SN
53	0,7	DOGAL SU 320	B12/4,3/68	498	SN
54	0,7	DOGAL SU 320	B12/4,3/68	407	SN
55	1,0	DOGAL SU 320	B12/4,5/68	780	SN
56	1,0	DOGAL SU 320	B12/4,5/68	775	SN
57	1,0	DOGAL SU 320	B12/4,5/68	823	SN
58	1,5	DOGAL FA	B12/4,6/75	1090	SN
59	1,5	DOGAL FA	B12/4,6/75	1100	SN
60	1,5	DOGAL FA	B12/4,6/75	1250	SN
61	0,7	DOGAL SU 320	B1/4/4,9/60	427	SN
62	0,7	DOGAL SU 320	B1/4/4,9/60	460	SN
63	0,7	DOGAL SU 320	B1/4/4,9/60	472	SN
64	1,0	DOGAL SU 320	B1/4/5,2/75	760	SN
65	1,0	DOGAL SU 320	B1/4/5,2/75	820	SN
66	1,0	DOGAL SU 320	B1/4/5,2/75	767	SN
67	1,5	DOGAL FA	B1/4/5,4/85	1130	SN
68	1,5	DOGAL FA	B1/4/5,4/85	1170	SN
69	1,5	DOGAL FA	B1/4/5,4/85	1140	SN
70	2,0	1140 - 32	B1/4/5,6/105	1665	SN
71	2,0	1140 - 32	B1/4/5,6/105	1690	SN
72	2,0	1140 - 32	B1/4/5,6/105	1710	SN

Tabell 6: Brottlast  $F_B$  vid provkroppstyp I (aluminiumplåt)

Provkr. nr	$t_2/t_1$ [mm]	Mat.kval.plåt 2/ Mat.kval.plåt 1	Kantav- stånd e [mm]	Skruvdim./ Borrhålsdiam. [mm]/ Åtdragm.mom. [kpcm]	Max.last [kp]	Brottyp
1	0,5/5,0	5578-18/6526-14	35,0	B1/4/5,4/105	139	H
2	0,5/5,0	5578-18/6526-14	35,0	B1/4/5,4/105	168	H
3	0,5/5,0	5578-18/6526-14	35,0	B1/4/5,4/105	208	H
4	0,9/5,0	5578-18/6526-14	35,0	B10/4,3/45	332	H
5	0,9/5,0	5578-18/6526-14	35,0	B10/4,3/45	263	H
6	0,9/5,0	5578-18/6526-14	35,0	B10/4,3/45	316	H
7	1,5/5,0	6526-14/6526-14	35,0	B12/5,0/60	812	H
8	1,5/5,0	6526-14/6526-14	35,0	B12/5,0/60	783	H
9	1,5/5,0	6526-14/6526-14	35,0	B12/5,0/60	530	H
10	0,9/5,0	5578-18/6526-14	35,0	B12/5,0/60	335	H
11	0,9/5,0	5578-18/6526-14	35,0	B12/5,0/60	359	H
12	0,9/5,0	5578-18/6526-14	35,0	B12/5,0/60	360	H
13	0,7/5,0	5578-12/6526-14	35,0	B1/4/5,4/105	159	H
14	0,7/5,0	5578-12/6526-14	35,0	B1/4/5,4/105	168	H
15	0,7/5,0	5578-12/6526-14	35,0	B1/4/5,4/105	168	H
16	1,5/5,0	5050-14/6526-14	35,0	B1/4/5,5/105	483	H
17	1,5/5,0	5050-14/6526-14	35,0	B1/4/5,5/105	562	H
18	1,5/5,0	5050-14/6526-14	35,0	B1/4/5,5/105	525	H
19	0,7/5,0	5578-12/6526-14	35,0	B12/5,0/60	144	H
20	0,7/5,0	5578-12/6526-14	35,0	B12/5,0/60	138	H
21	0,7/5,0	5578-12/6526-14	35,0	B12/5,0/60	134	H
22	0,9/5,0	5578-18/6526-14	10,5	B8/3,8/30	161	K
23	0,9/5,0	5578-18/6526-14	10,5	B8/3,8/30	220	K
24	0,9/5,0	5578-18/6526-14	10,5	B8/3,8/30	188	K
25	0,9/5,0	5578-18/6526-14	16,8	B8/3,8/30	293	H/K
26	0,9/5,0	5578-18/6526-14	16,8	B8/3,8/30	280	H/K
27	0,9/5,0	5578-18/6526-14	16,8	B8/3,8/30	292	H/K
28	1,5/5,0	5050-14/6526-14	16,8	B8/3,9/30	259	H
29	1,5/5,0	5050-14/6526-14	16,8	B8/3,9/30	292	H
30	1,5/5,0	5050 14/6526-14	16,8	B8/3,9/30	300	H

Tabell 7: Brottlast  $F_B$  vid provkroppstyp II (aluminiumplåt)

Provkr. nr	t [mm]	Mat. kval.	Skruvdimension/ Borrhålsdiam. [mm]/ Åtdragn.moment [kpcm]	Max. last [kp]	Brottyp
31	0,9	5578 - 18	B14/4,9/52	374	SN
32	0,9	5578 - 18	B14/4,9/52	345	SN
33	0,9	5578 - 18	B14/4,9/52	363	SN
34	1,5	6526 - 14	B10/4,0/45	687	SN
35	1,5	6526 - 14	B10/4,0/45	718	SN
36	1,5	6526 - 14	B10/4,0/45	720	SN
37	0,9	5578 - 18	B12/4,1/40	331	SN
38	0,9	5578 - 18	B12/4,1/40	363	SN
39	0,9	5578 - 18	B12/4,1/40	343	SN
40	1,5	5050 - 14	B14/4,9/60	415	SN
41	1,5	5050 - 14	B14/4,9/60	438	SN
42	1,5	5050 - 14	B14/4,9/60	421	SN
43	1,5	5050 - 14	B14/5,1/55	413	SN
44	1,5	5050 - 14	B14/5,1/55	382	SN
45	1,5	5050 - 14	B14/5,1/55	393	SN
46	1,5	5050 - 14	B14/5,4/35	418	SN
47	1,5	5050 - 14	B14/5,4/35	398	SN
48	1,5	5050 - 14	B14/5,4/35	390	SN
49	0,9	5578 - 18	B8/3,1/35	280	SN
50	0,9	5578 - 18	B8/3,1/35	271	SN
51	0,9	5578 - 18	B8/3,1/35	282	SN
52	0,9	5578 - 18	B10/3,6/45	312	SN
53	0,9	5578 - 18	B10/3,6/45	294	SN
54	0,9	5578 - 18	B10/3,6/45	296	SN

Tabell 8: Brottlast  $F_B$  vid provkroppstyp III (stålplåt)

Provkr. nr	t [mm]	Mat. kval.	Skruvdimension/ Borrhålsdiam. [mm]/ Åtdragn.moment [kpcm]	c [mm]	e [mm]	l [mm]	Max.last [kp]	Brotttyp
201	0,7	DOGAL SU 320	B8/3,1/45	15	20	110	1140	SN
202	0,7	DOGAL SU 320	B8/3,1/45	15	20	110	1150	SN
203	2,0	1140 - 32	B1/4/5,6/105	20	25	140	4240	SN
204	2,0	1140 - 32	B1/4/5,6/105	20	25	140	4050	SN

Tabell 9: Brottlast  $F_B$  vid provkroppstyp IV (stålplåt)

Provkr. nr	t [mm]	Mat. kval.	Skruvdimension/ Borrhålsdiam. [mm]/ Åtdragn.moment [kpcm]	c [mm]	e [mm]	l [mm]	Max.last [kp]	Brotttyp
205	0,7	DOGAL SU 320	B8/3,1/45	15	20	170	1790	SN
206	0,7	DOGAL SU 320	B8/3,1/45	15	20	170	1830	SN
207	2,0	1140 - 32	B1/4/5,6/105	20	25	215	5360	SN/SB
208	2,0	1140 - 32	B1/4/5,6/105	20	25	215	6250	SN/SB



Tabell 10: Brottlast  $F_B$  vid provkroppstyp II (stålplåt)  
(Obs. självborrande skruvar)

Provkr. nr	t [mm]	Mat. kval.	Skruvdimension/ Borrhålsdiam. [mm]/ Åtdragm.moment [kpcm]	Max. last [kp]	Brottp
1	0,7	DOGAL SU 320	B6/ - /15	368	SN
2	0,7	DOGAL SU 320	B6/ - /15	372	SN
3	0,7	DOGAL SU 320	B6/ - /15	358	SN
4	0,7	DOGAL SU 320	B8/ - /25	382	SN
5	0,7	DOGAL SU 320	B8/ - /25	382	SN
6	0,7	DOGAL SU 320	B8/ - /25	388	SN
7	0,7	DOGAL SU 320	B10/ - /35	387	SN
8	0,7	DOGAL SU 320	B10/ - /35	397	SN
9	0,7	DOGAL SU 320	B10/ - /35	392	SN
10	1,5	DOGAL FA	B10/ - /50	1010	SN
11	1,5	DOGAL FA	B10/ - /50	1015	SN
12	1,5	DOGAL FA	B10/ - /50	875	SN
13	1,0	DOGAL SU 320	SUP. B10/ - /50	758	SN
14	1,0	DOGAL SU 320	SUP. B10/ - /50	750	SN
15	1,0	DOGAL SU 320	SUP. B10/ - /50	741	SN
16	2,5	DOGAL FA	SUP. B10/ - /75	1230	S
17	2,5	DOGAL FA	SUP. B10/ - /75	1330	S
18	2,5	DOGAL FA	SUP. B10/ - /75	1180	S

### 4.3 Diskussion av provningsresultat

#### 4.31 Åtdragningsmoment och håldiameter

Förbandets verkningsätt är i hög grad beroende av tillverkningskarakteristika såsom åtdragningsmoment och håldiameter. Dessa å andra sidan är kopplade till bl.a. skruvens vridhållfasthet och plåtmateriallets tjocklek och brotthållfasthet.

Under förutsättning att dessa parametrar är konstanta samt att med hänsyn till inbördes relationerna ett skruvbrott är möjligt existerar ett samband mellan åtdragningsmoment  $M_V$  och värdet  $\phi - d_k$ , dvs differensen mellan borrhålsdiameter och skruvens kärndiameter. Sambandets principiella utseende framgår av figur C 19.

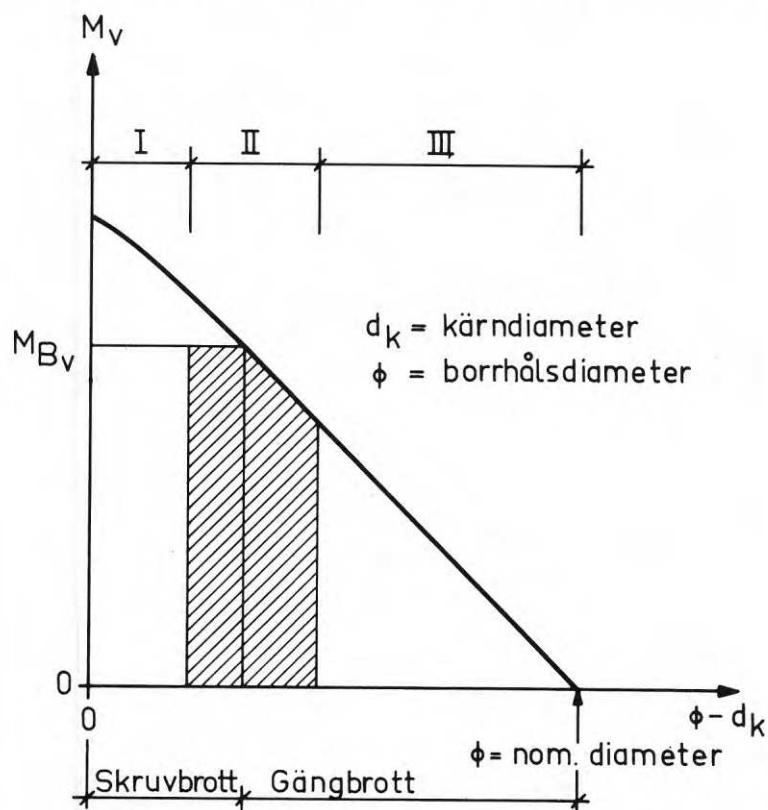


Fig.C19. Schematiskt samband mellan åtdragningsmoment och håldiameter samt kraftfenomen vid åtdragning.

I avsnitt 6.3 preciseras några krav som måste uppfyllas för ett monterat förband, om här framlagda dimensioneringsregler skall tillämpas.

Giltigheten av nämnda samband begränsas av att skruvens vridbrottmoment  $M_{BV}$  uppnås. Inom området I enligt fig. C 19 är det vid små  $(\phi - d_k)$ - värden inte möjligt att erhålla anliggning av skruvhuvudet mot plåten. Vid ökande håldiameter kan fullständig indragning bli möjlig medan under hopdragning av plåtarna i förbandet vridbrott i skruven erhålles. Detta område kan således i praktiken inte utnyttjas.

Inom område III är en fullgod förbandsutformning ej heller möjlig, på grund av att plåtmateriallets gängor förstörs under åtdragningen innan plåtarna trycks samman.

För praktisk tillämpning återstår område II, där i idealfallet det valda sambandet mellan vridmoment och håldiameter ger ett fullt utnyttjande av skruvens vridhållfasthet vid samtidig fullständig hopdragning av förbandselementen.

I praktiken existerar ett område (II), för vilket i avsnitt 6.3 angivna krav är uppfyllda och vars bredd (= variationsmöjligheter för  $\phi - d_k$ ) är beroende av skruvens vridhållfasthet, plåtmateriallets hållfasthet och plåttjockleken. Som brottorsak erhålls antingen skrubrott eller gängbrott.

Val av lämpligt samband mellan åtdragningsmoment och håldiameter baseras i praktisk tillämpning enligt avsnitt 6.3 på fig. C 53. Till grund för diagrammet ligger härvid ett teoretiskt underlag enligt referens [18] samt där angivet principiellt utseende. Avvikande från här behandlad förbandstyp har emellertid där förutsatts att den övre plåten i förbandet förses med ett genomgångshål. För att möjliggöra parameterbestämning för dels samborrade plåtar med lika stora hål samt dels förband med olika plåttjocklekar har diagrammet justerats med hänsyn till aktuella provningsresultat.

Dessa återges i koncentrerad form i tabell 11 och 12 (jfr. avsnitt 4.1) för stål- resp. aluminiumplåt. I tabellerna anges förutom provningsmässigt erhållna brottmoment som jämförelse brottmomenten, bestämda med utgångspunkt från teorin.

Ingångsvärdena har därvid varit plåtmaterialalets hållfasthet och tjocklek, använd borrhålsdiameter samt skruvarnas vridbrottmoment (jfr. tabell 1).

Som framgår av tabellerna är avvikelserna mellan vid vridprovningen erhållna och teoretiskt bestämda brottmoment i vissa fall relativt stora, Orsaken därtill torde i huvudsak vara variationer hos ingående parametrar samt borrens slipning, dess placering i chucken samt borrarverkygets precision.

Dessa imperfektioner gör det nödvändigt att en testning av teoretiskt bestämda värden för borrhålsdiameter utförs genom provborrning och åtdragning under aktuella förhållanden. Ju snävare området II är till sin bredd desto viktigare är det att testet genomförs och en eventuell korrigerings av borrhålsdiametern sker i enlighet med testresultaten.

Under avsnitt 6.3 anges en metod för bestämning av korrekt borrhålsdiameter.

Tabell 11: Jämförelse mellan teori och försök m.a.p. brottmoment och brotttyp. (Stålplåt)

G = gängbrott

S = skruvbrott

G/S = kombination av G och S

Prov nr	Försöksdel			Teoridel		Anm.
	$\phi$ [mm]	Brottmoment [kpcm]	Brottyp	Brottmoment [kpcm]	Brottyp	
1	2,2	21	G	16	G	
2	2,2	24	G	18	G	
3	2,4	30	S/G	20	G	
4	3,1	37	G	48	G	
5	3,1	48	G	46	G	
6	3,3	68	S	60	S	
7	4,9	75	G	124	G	
8	4,9	110	G	120	G	
9	5,1	171	G	210	S	
10	5,3	228	G/S	210	S	
11	5,7	215	S	210	S	
12	5,7	236	S	210	S	
14	5,6	142	G	110	G	
19	4,5	52	G	24	G	
20	3,9	83	S	-	-	Utom giltig- hetsområdet
21	5,9	102	G	60	G	
22	3,9	52	G	38	G	
23	2,6	13	G	4	G	
24	5,8	236	S/G	210	S	
25	2,6	28	G	8	G	
26	5,6	66	G	60	G	
27	3,3	41	G	32	G	
28	3,5	52	G	36	G	
29	4,1	41	G	-	-	Utom giltig- hetsområdet

Tabell 12: Jämförelse mellan teori och försök m.a.p. brottmoment och brotttyp (Aluminiumplåt)

G = gängbrott

S = skruvbrott

S/G = kombination av S och G

Prov nr	Försöksdel			Teoridel		Anm.
	$\phi$ [mm]	Brottmoment [kpcm]	Brottyp	Brottmoment [kpcm]	Brottyp	
4	3,0	18	G	-	-	Utom giltig- hetsområdet
5	3,2	33	G	24	G	
6	3,2	60	S	60	S/G	
7	4,1	26	G	36	G	
8	4,1	47	G	60	G	
9	4,3	94	G	110	G	
12	3,0	20	G	-	-	
14	4,1	26	G	56	G	
18	3,6	84	G	50	G	
19	4,7	130	S	104	S	
21	4,3	74	G	54	G	Utom giltig- hetsområdet
23	3,4	58	C	40	G	
24	5,0	67	G	70	G	
25	5,4	91	G	82	G	
27	5,7	115	G	80	G	

#### 4.32\_ Överlappsförband under inverkan av tvärlast

##### a) Brottlast och brotttyp

En kvalitativ bedömning av brottstadiet med utgångspunkt från tabellerna 4 - 10 visar, att

<u>skruvbrott</u>	accentueras vid förband med hållfasthetsmässigt högvärdigt material, avtagande skruvdiameter och god styrning av skruvarna i godset.
<u>hålkantflytningen</u>	primärt initieras vid lägre materialhållfasthet av grundmaterialet, ökande skruvdiameter och god inspänning av skruven i den grövre plåten av ett kombinerat förband.
<u>snedställningsbrottet</u>	är aktuellt vid tunna plåtar och ökande skruvdiameter. Skillnaden gentemot hålkantflytningen är brist på inspänning i ett grovt material.
<u>kantbrott</u>	uppträder vid otillräckligt avstånd i kraftriktningen mellan skruv och plåtkant. Denna brotttyp kan i vissa fall föregås av hålkantflytning.

Inom undersökt tjockleksområde för grundmaterialet har skruvbrott erhållits endast i ett fåtal fall där relativt grova plåtar ingick i förbandet (prov 16-18 och 81-83). Denna brotttyp har således avsevärt mindre aktualitet vid skruvar än vid hålnitar beroende på att in- och åtdragningen av skruvarna enligt ovanstående bestämmer en till plåttjockleken knuten minsta dimension för undvikande av skruvbrott.

Av ovanstående framgår, att brottypernas hålkantflytning och snedställningsbrott måste bli föremål för diskussion vid bestämning av säkerhetsnivån. Härvid bör dock beaktas att uppnåendet av brottlasten  $F_B$  är kopplat till relativt stora formändringar i förbandet - speciellt vid snedställningsbrott. Kravet på bibehållen funktionsstabilitet under brukslast medger därför normalt inte ett utnyttjande av den lastupptagande förmågan. (se avsnitt C5).

b) Förbandets formändringsbeteende

Formändringsbeteendet hos förband med självgående och självborrande skruvar redovisas i fig. C 20 - C 29. Till redovisade representativa samband ges följande kommentarer:

Fig. C 20 avser provkroppstyp II (stål) med minsta godstjocklek  $t_2$  varierande mellan 0,7 - 1,5 mm och skruvdimensioner B 8 - B 1/4. Vid formändringar om ca 1,2 mm registrerades en övergång från skede (I + II) till ett utpräglat flytområde, där hålkantflytning begränsar den lastupptagande förmågan.

Fig. C 21 återger last-deformationskurvor vid motsvarande förband med aluminiumplåt. Kurvorna uppvisar samma principiella förlopp men skillnader i materialhållfasthet mellan aluminium ( $\sigma_{0,2}/\sigma_B \approx 20/22$ ) och stål ( $\sigma_s/\sigma_B \approx 39/49$ ) medför att hålkantflytningen gör sig gällande vid avsevärt lägre laster.

Fig. C 22 beskriver last-deformationssamband vid provkroppstyp II (jämntjocka plåtar; stål) med konstant skruvdimension (B 1/4) och plåttjocklekar om 0,7; 1,1; 1,5 och 2 mm. Brottet karakteriseras i samtliga fall av snedställning. Av figuren framgår, att övergången från skede II till III med ökande plåttjocklek förskjuts i riktning mot ökad deformation. De totala formändringarna uppgick vid de redovisade proven till ca 5-6 mm innan brott inträffade genom indragning av skruvarna.

Fig. C 23 och C 24 visar typiska last-förskjutningskurvor vid provkroppstyp I (olika tjocka plåtar; stål) med den tunnare plåtens tjocklek 0,7 - 1,0 mm. Jämfört med provkroppstyp II så är deformationerna av liknande storlek. Förhållandet beror på att en ökad håldiameter kompenserar deformationsminskningen orsakad av att i huvudsak endast förbandets tunnare plåt deformeras.

Fig. C 25 visar last-deformationssamband för provkroppstyp I och aluminiumplåt med den tunnare plåten i tjocklek 0,9 och 1,5 mm. En jämförelse mellan fig. C 24 och C 25 visar att kurvförloppen i princip överensstämmer och att i detta fall den för aluminium större plåttjockleken kompenserar lägre värden på sträck- och brottgränsspänning.



Fig. C 26 och C 27 visar typiska last-förskjutningskurvor för förband med självborrande skruvar (typ TEKS) vid provkroppstyp II (stål) med  $t = 0,7; 1,0; 1,5$  och  $2,5$  mm plåttjocklek. En jämförelse med kurvorna enligt fig. C 20 visar att funktionssättet hos denna skruvtyp i stort motsvarar det hos självgående skruvar. Skede I + II kännetecknas emellertid av något mindre deformationer beroende på att skruvarna monteras med mindre håldiametrar.

Fig. C 28 och C 29 utgör komplement till ovan redovisade samband för provkroppstyperna I och II av stålplåt, varvid skruvar med dimension B 10 resp. B 1/4, användes. Redovisade kurvor är hämtade ur en speciell undersökning [11] för skruvar av typ "Selastitcher" resp. "Selascrew". Kurvorna beskriver last-förskjutningssambandet ända upp till  $\delta = 4,0$  mm. Vid plåttjocklek  $t_2 = 2,0$  mm har skjuvbrott i skruven registrerats. Skruvarna har vid försöken varit försedda med tätningsbrickor av neopren.

Sammanfattningsvis kan sägas att - utom i de fall där brottet rubriceras som skruvbrott - brottstadiet karakteriseras av relativt stora formändringar som gör det nödvändigt att finna som dimensioneringsgrund en belastningsgräns, vid vilken permanenta formändringar i förbandet undviks eller begränsas till en acceptabel storlek.

BETECKNINGAR: PLÅTTJOCKLEK / SKRUVBETECKNING / MATERIAL

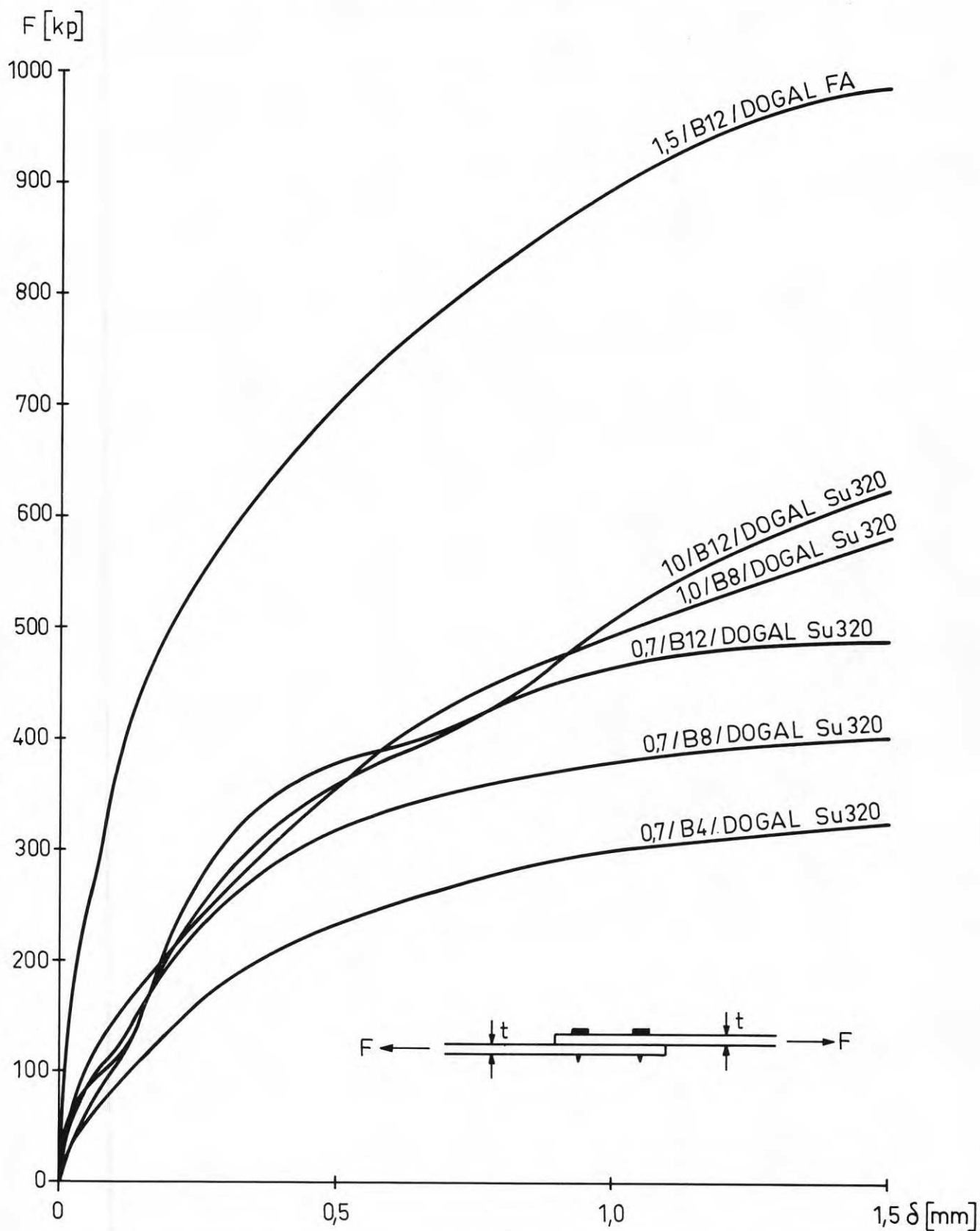


Fig.C20. Typiska last-deformationskurvor för provkroppstyp II (stål). Självgående skruv typ RXS Pozidriv.

BETECKNINGAR: PLÅTTJOCKLEK / SKRUVBETECKNING / MATERIAL.

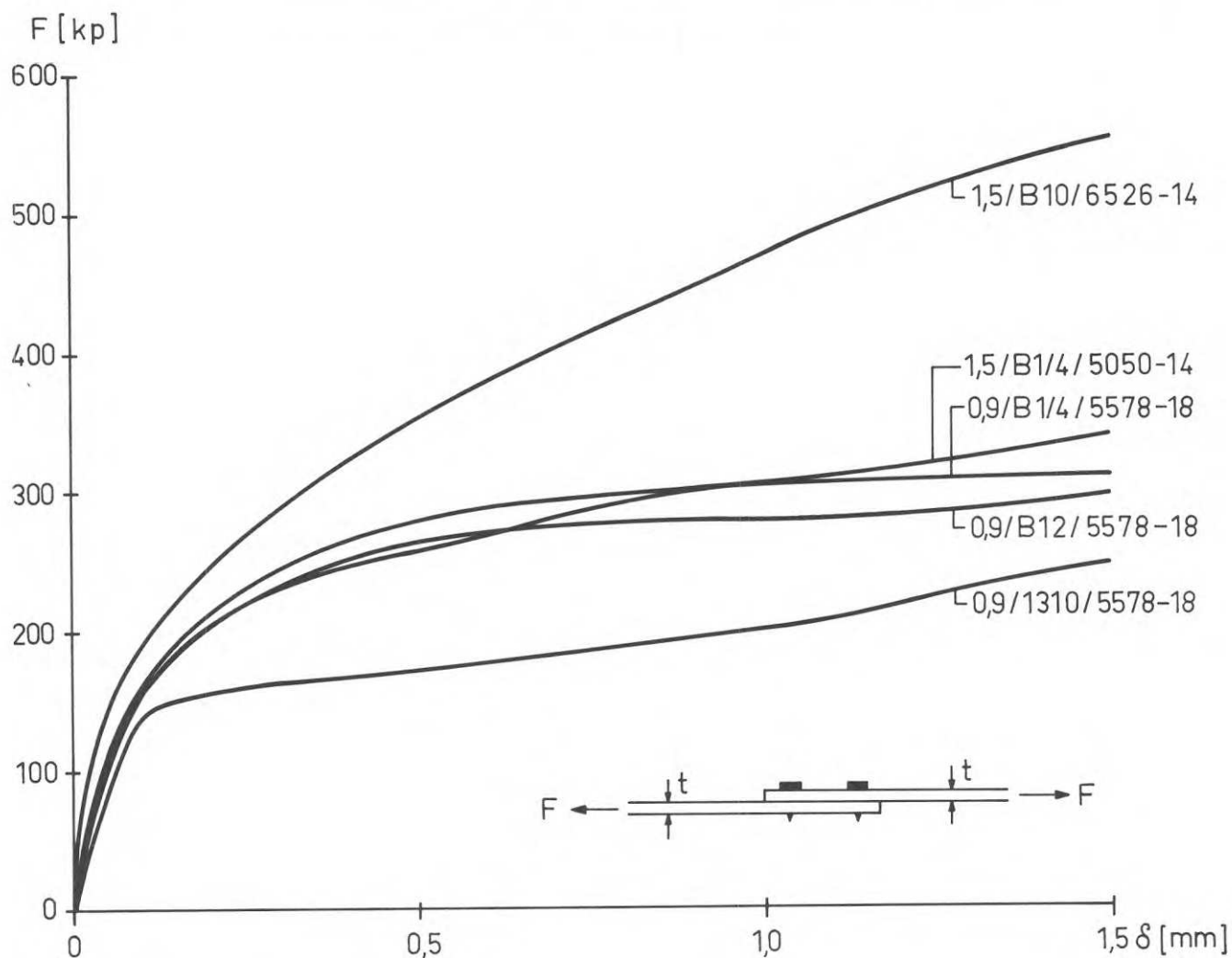


Fig.C21. Några typiska last-deformationskurvor för enkelt överlappsförband (aluminium).

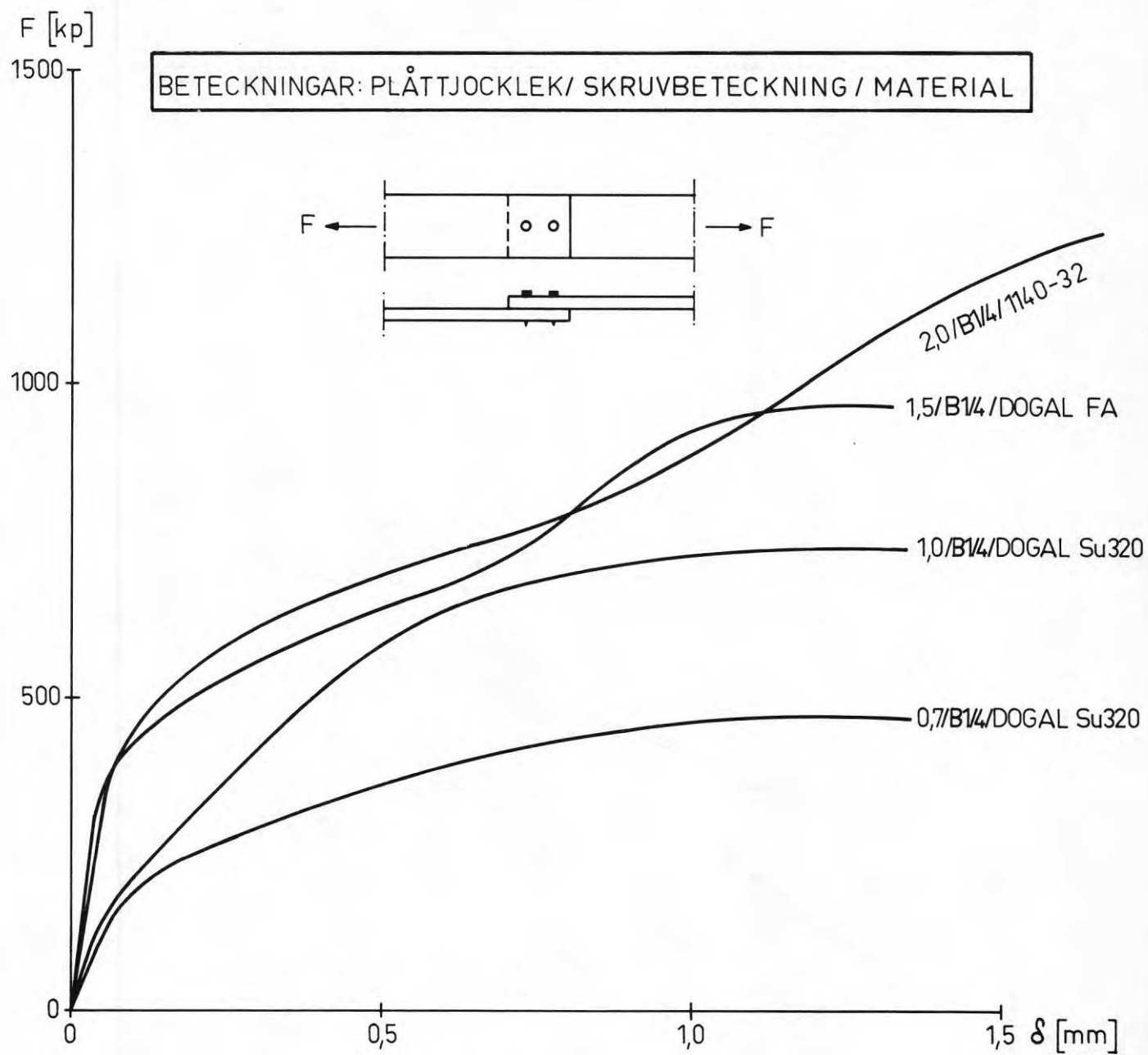


Fig.C22. Last-deformationskurvor för provkroppstyp II (stål).  
Gängformande skruv av typ RXS Pozidriv.

BETECKNINGAR: PLÅTTJOCKLEK / SKRUVBETECKNING / MATERIAL

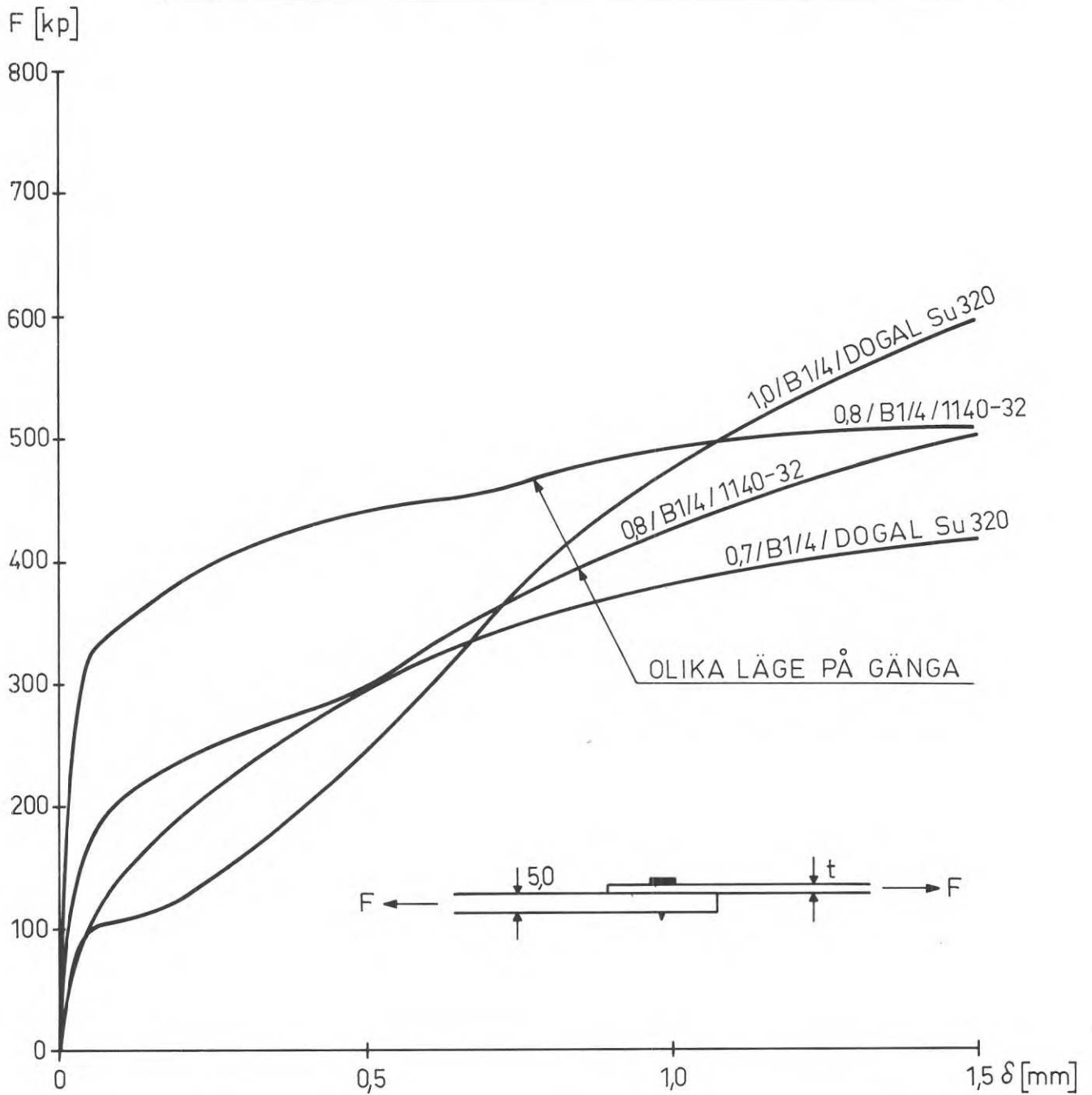


Fig.C23. Typiska last-deformationskurvor för provkroppstyp I (stål). Självgängande skruv typ RXS Pozidriv.

BETECKNINGAR: PLÅTTJOCKLEK / SKRUVBETECKNING / MATERIAL.

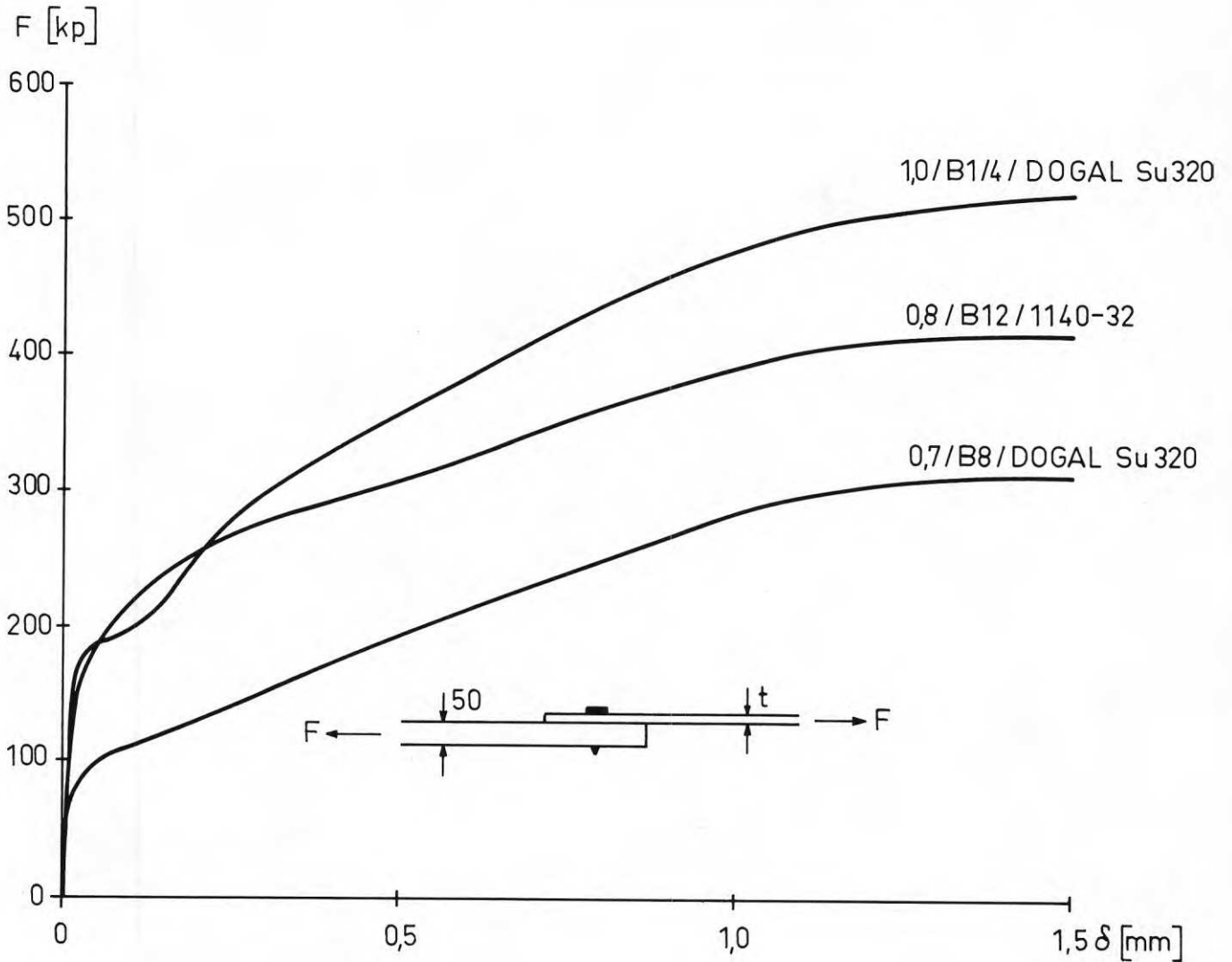


Fig.C24. Några typiska last-deformationskurvor för provkroppstyp I (stål). Självgängande skruv typ RXS Pozidriv.

BETECKNINGAR: PLÅTTJOCKLEK / SKRUVBETECKNING / MATERIAL.

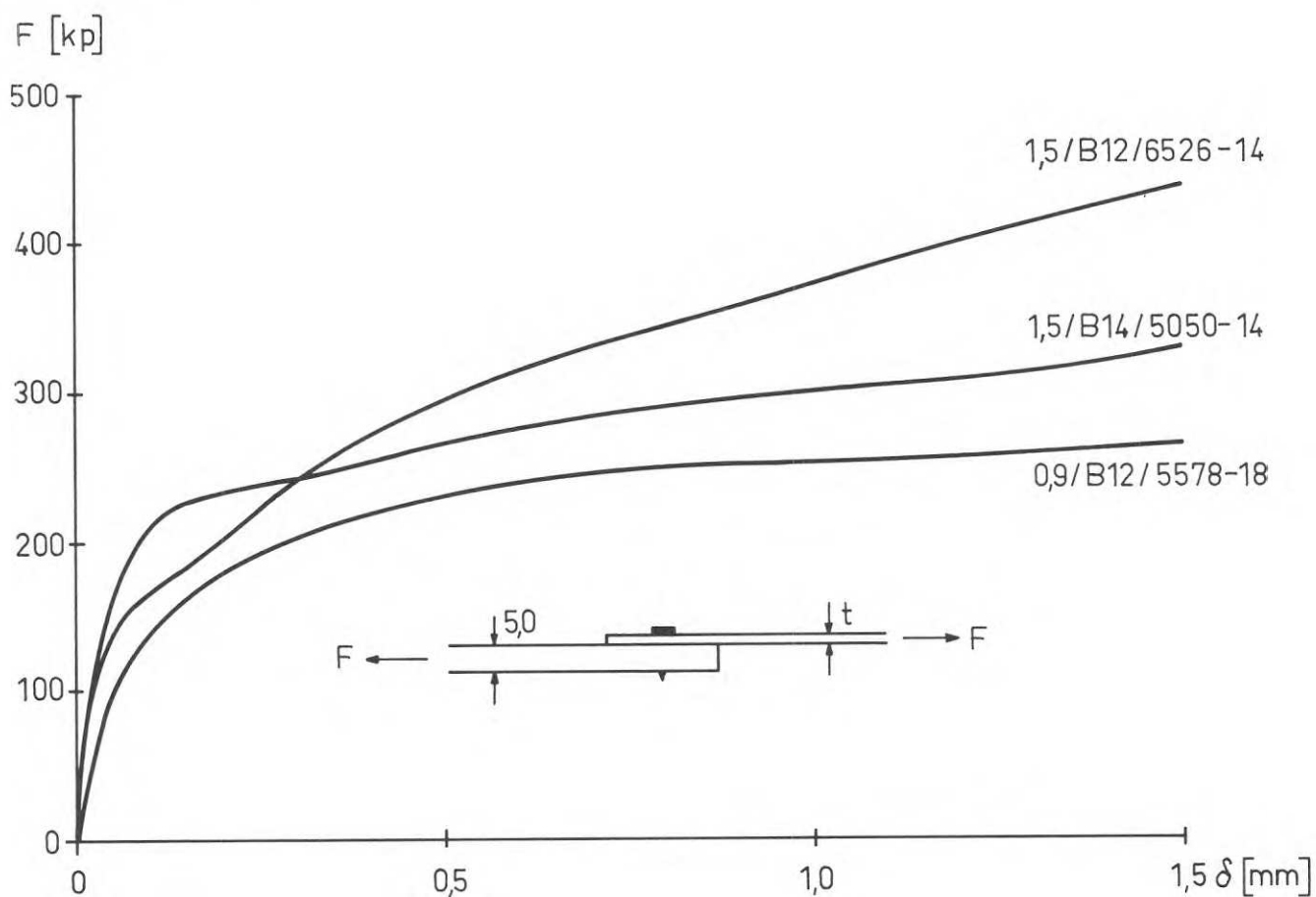


Fig.C25. Några typiska last-deformationskurvor för provkroppstyp I (aluminium). Självgängande skruv av typ RXS Pozidriv.

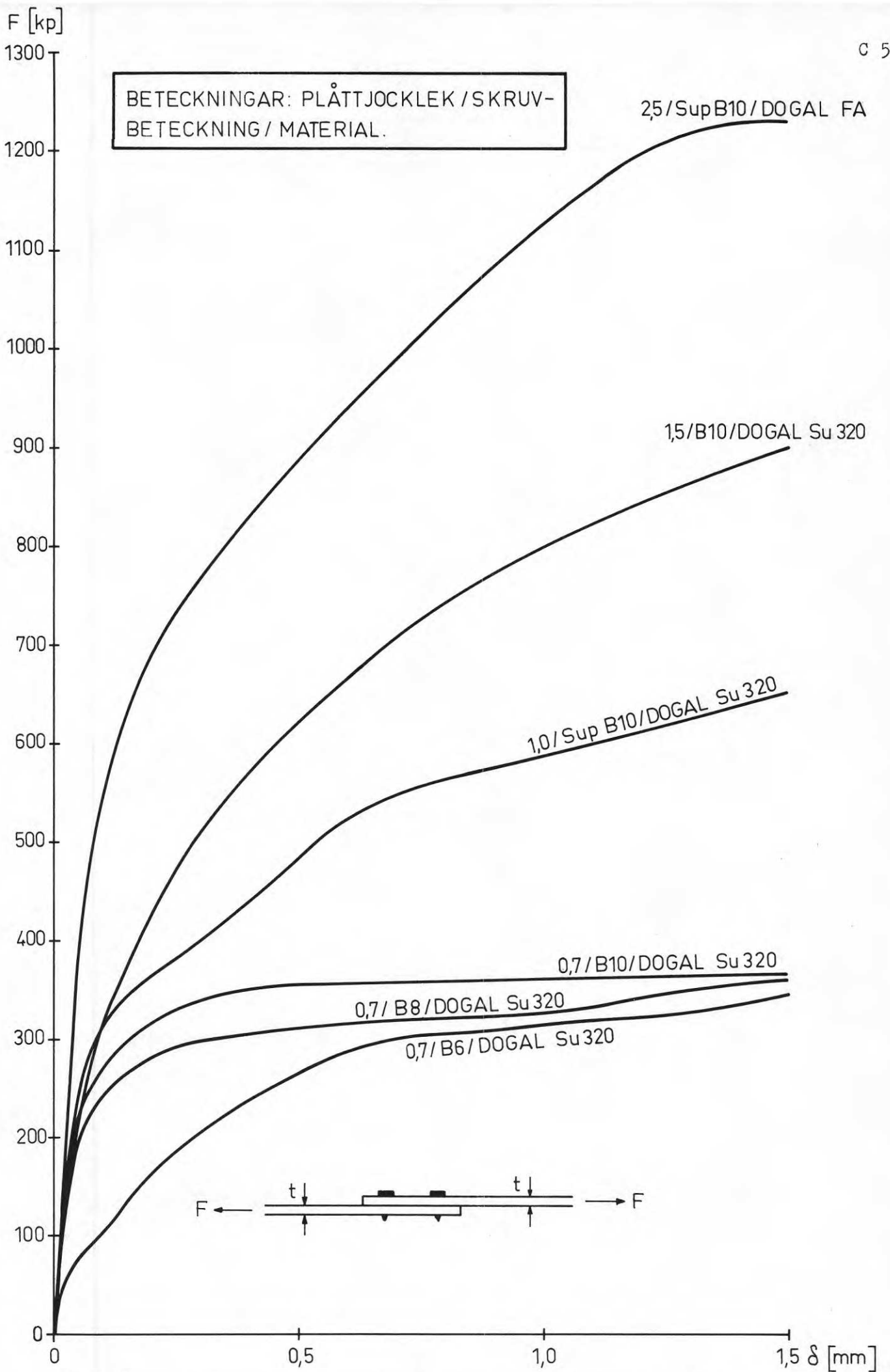


Fig.C26. Typiska last-deformationskurvor för provkroppstyp II (stål). Självborrande skruv typ Teks RXB.



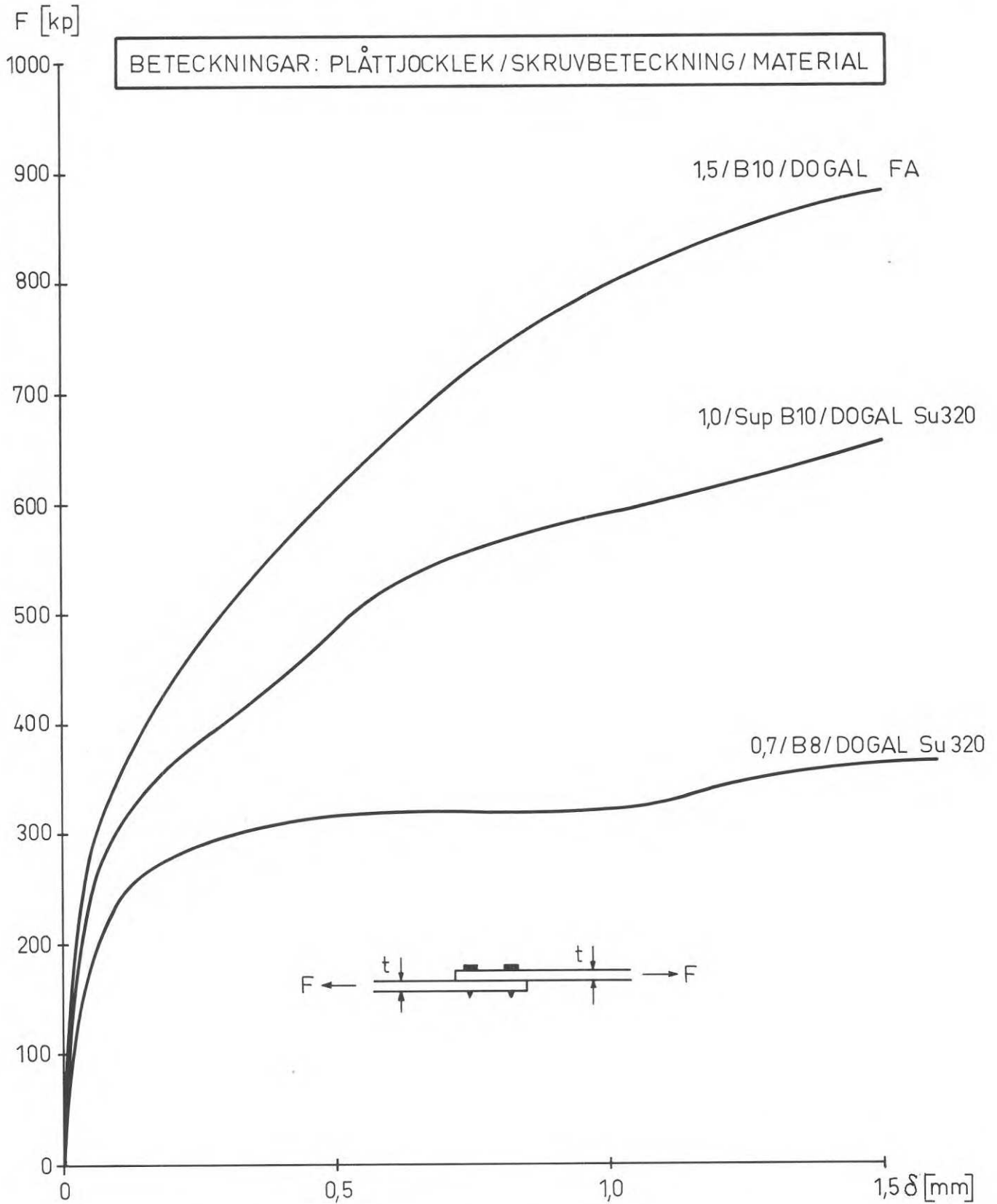


Fig.C27. Några typiska last-deformationskurvor för provkroppstyp I (stål). Självborrande skruv typ Teks RXB.

BETECKNINGAR: PLÅTTJOCKLEK / SKRUVBETECKNING / MATERIAL

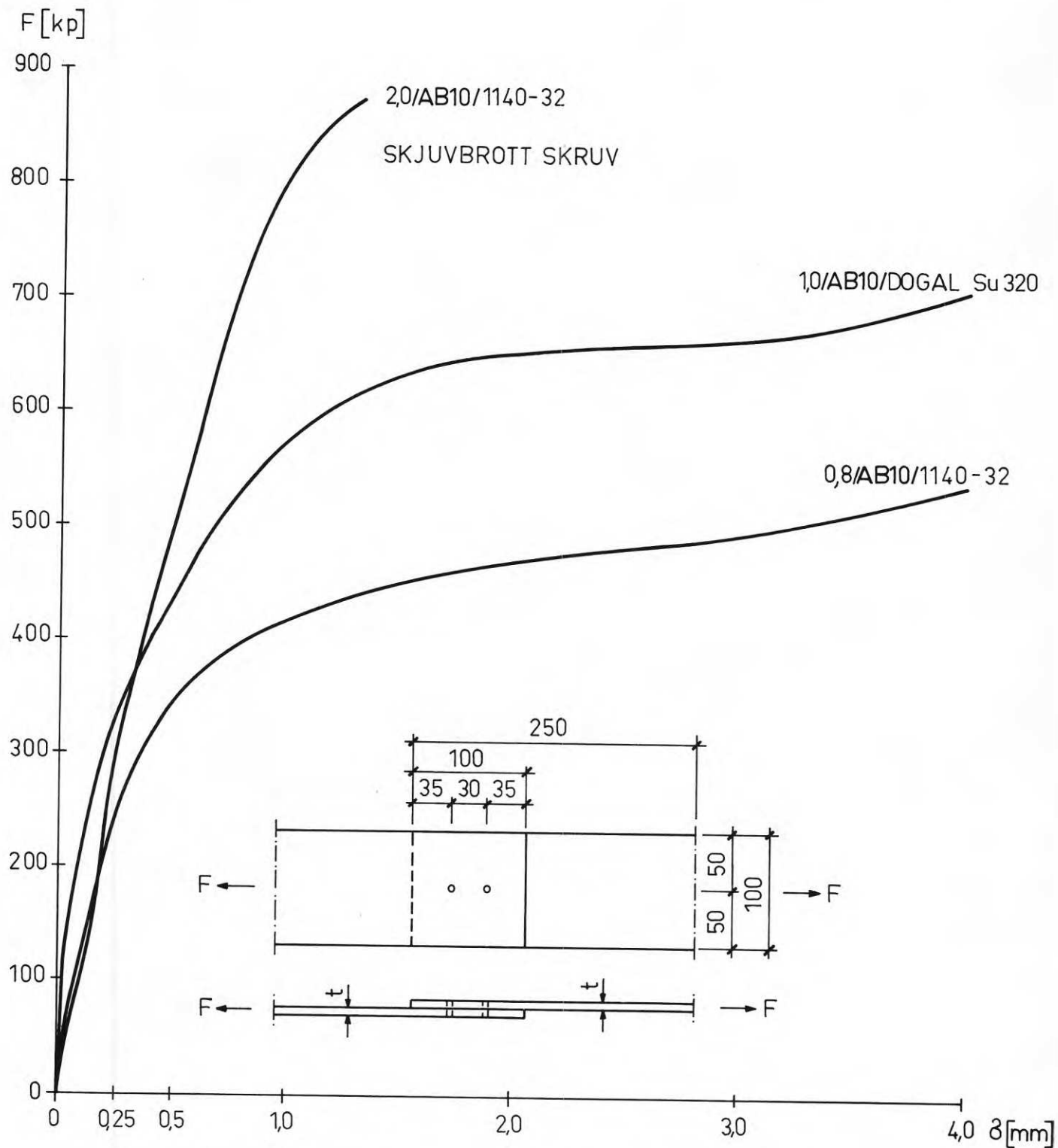


Fig.C28. Några typiska deformationskurvor för provkroppstyp II (stål). Självgående skruv av typ Selastitcher (AB 10).

BETECKNINGAR: PLÅTTJOCKLEK / SKRUVBETECKNING / MATERIAL.

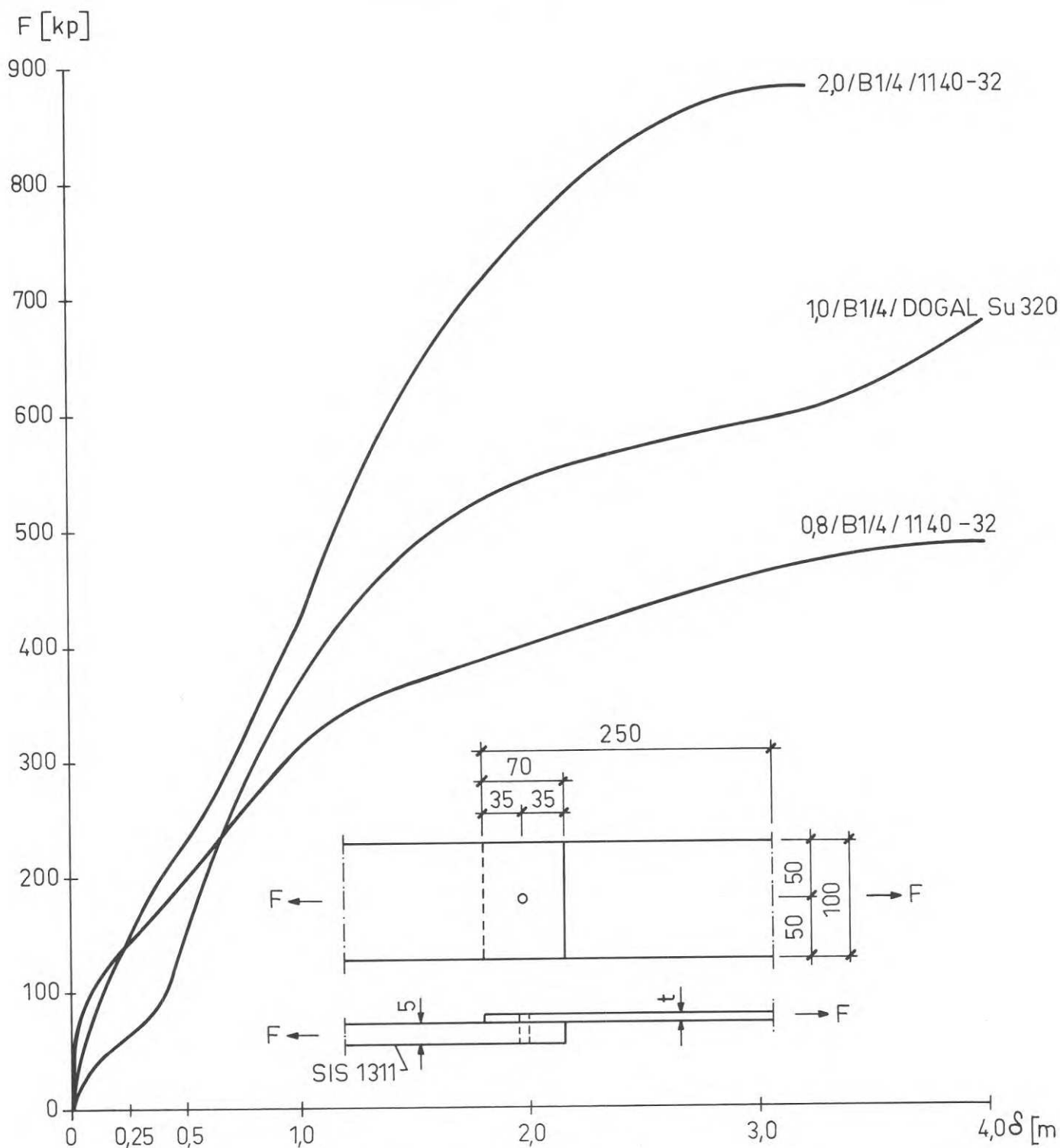


Fig.C29. Några typiska deformationskurvor för provkroppstyp I (stål). Självgående skruv typ Selascrew (B 1/4).

C5. SKRUVFÖRBANDETS LASTUPPTAGANDE FÖRMÅGA; DIMENSIONERINGSUNDERLAG

På grundval av ovan refererade undersökningsresultat samt ett studium av övrigt tillgängligt undersökningsmaterial [1] - [11] och [18] ges nedan rekommendationer för beräkning av skruvförband samt för bestämning av skälig säkerhetsnivå. Uppställda regler gäller för gängformande och självborrande skruvar.

Med avseende på skruvbrott respektive hålkantflytning eller snedställningsbrott erhålls för förband under inverkan av tvärlast i fig. C 30 återgivet principiellt samband mellan maximal tvärlast  $F_B$  vid brott och plåttjocklek  $t_2$ . Diagrammet innehåller två kurvgrenar, varav den paraboliska delen beskriver brottyperna "hålkantflytning" och "snedställning" samt den horisontella delen utgör belastningsgränsen med hänsyn till skruvbrott vid aktuell skruvdimension.

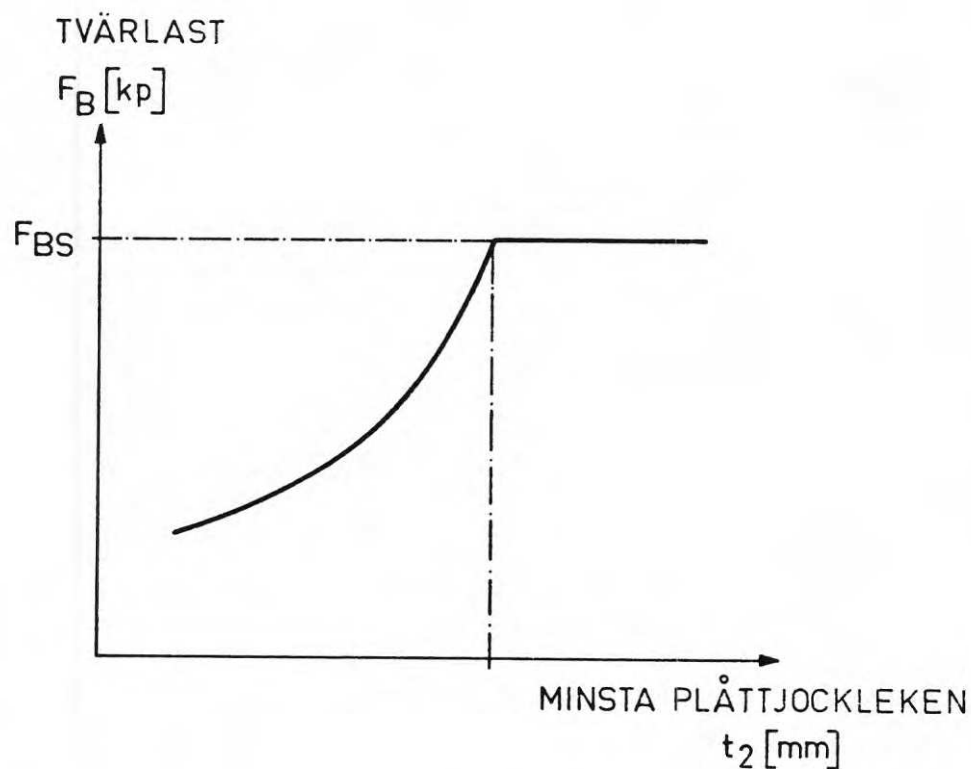


Fig.C30. Principiellt samband mellan brottlast  $F_B$  och minsta plåttjocklek i enkelt överlappsförband.

### 5.1 Skruvbrott

Skruvbrott uppträder i form av skjuvbrott, varvid tvärlasten vid brott kan bestämmas med utgångspunkt från skruvens spänningsarea  $A_s$  eller - som ett värde på säkra sidan - kärnarea  $A_k$  samt materialets skjuvbrotthållfasthet ( $= 0,6 \sigma_s$ ) dvs  $F_{BS} = 0,6 A_s \cdot \sigma_s$  eller  $F_{BS} \approx 0,6 A_k \cdot \sigma_s$ .

Med god approximation kan skjuvbrottlasten beräknas utgående från vridbrottmomentet  $M_{BV}$  [kpcm] enligt  $F_{BS} = \frac{40 M_{BV}}{d}$ , varvid  $d$  = nominell diameter [mm].

Vid skruvförband med flera skruvar i rad uppkommer - i likhet med nitförbandet - spänningskoncentrationer vid de yttre skruvarna, vilket leder till att brottet kan inledas vid en tvärlast som är lägre än den nominella lastupptagningsförmågan ( $= n \cdot F_B$ ). Av figur C 31 framgår hur medelbrottlasten per skruv  $F_B^*$  kan variera med antalet skruvar i förbandet. Brott till följd av kraftkoncentration bör vid tunnväggigt förband undvikas med tanke på att brott av enskild skruv kan utlösa ett momentant totalbrott.

Denna brottrisk kan uteslutas genom att använda i förhållande till plåten överstarka skruvar. Vid förband med två eller flera skruvar i rad - parallella med kraftriktningen - bör normalt plåttjockleken väljas så att brottet hänförs till hålkantflytning eller snedställning.

Enligt nedan angivet empiriskt samband för den paraboliska delen i figur C 30 undviks skruvbrott om den minsta plåttjockleken är

$$t_2 \approx \sqrt{\frac{F_{BS}}{k_1 (d + 10) \sigma_B} - k_2} \quad [\text{mm}]$$

Härvid är  $F_{BS}$  = skruvens nominella skjuvbrottlast

$d$  = nominell skruvdiameter

$\sigma_B$  = den tunnare plåtens ( $t_2$ ) dragbrotthållfasthet [ $\text{kp}/\text{mm}^2$ ]

$k_1$  = 0,35 vid lika tjocka plåtar

=  $0,156 \left[ \frac{t_1}{t_2} - 1 \right]^2 + 0,35$  vid  $t_2 < t_1 \leq 2,5 t_2$

= 0,7 vid  $t > 2,5 t_2$

$k_2$  = dimensionsbunden konstant = 0,22 [ $\text{mm}^2$ ]

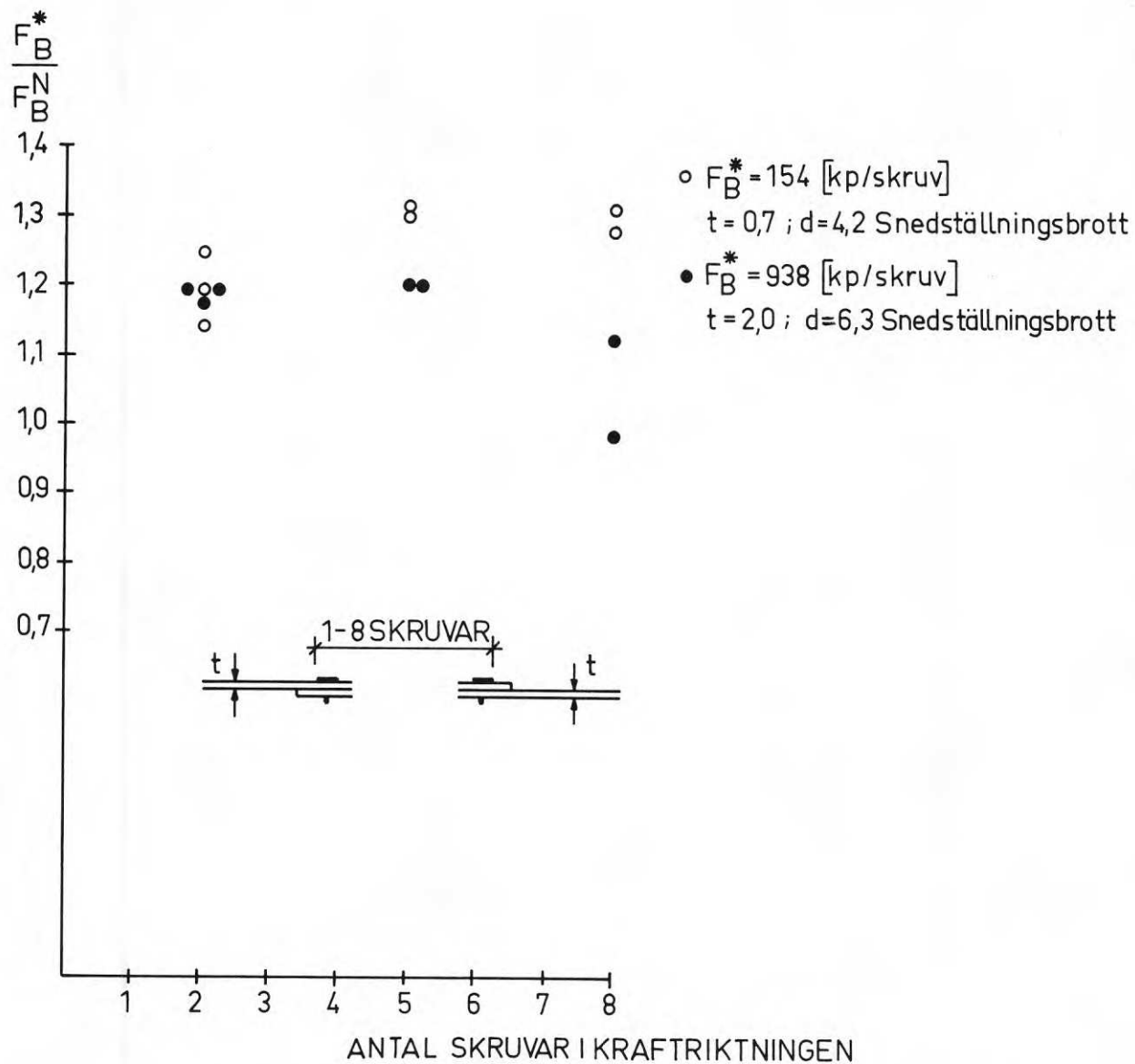


Fig.C31. Medelbrottlast per skruv i förhållande till den enskilda skruvens brottlast vid förband med flera skruvar.

## 5.2 Snedställningsbrott

Brottfenomenet har enligt ovanstående i huvudsak aktualitet om skruvarna inte kan stabiliseras av det tunna godset. En utvärdering av försöksresultaten har för förband med lika tjocka plåtar inom tjockleksområdet  $0,5 \leq t \leq 2,0$  mm lett fram till ett empiriskt samband mellan förbandets brottlast  $F_{BSN}$  och godstjockleken  $t$  av formen

$$F_{BSN} = 0,35 (d + 10) (t^2 + 0,22) \sigma_B \quad [\text{kp}]$$

Denna ansats visar en god anpassning till försöksvärdena.

Härvid betecknar

$$\begin{aligned} d &= \text{nominell skruvdiameter} \quad [\text{mm}] \\ \sigma_B &= \text{plåtens dragbrotthållfasthet} \quad [\text{kp/mm}^2] \end{aligned}$$

I ansatsen ingående siffervärden är dimensionsbundna.

I figur C 32 - C 35 återges en sammanställning av i försök erhållna brottlastvärden som funktion av godstjockleken och med nitdiametern resp. antalet nitar som parameter. Ovan angiven empiriska ansats redovisas i figurerna som heldragna kurvor. Redovisat försöksresultat avser förband av såväl slätplåt som aluminiumplåt, varvid som referensvärde en materialhållfasthet om  $\sigma_B = 37 \text{ kp/mm}^2$  har valts.

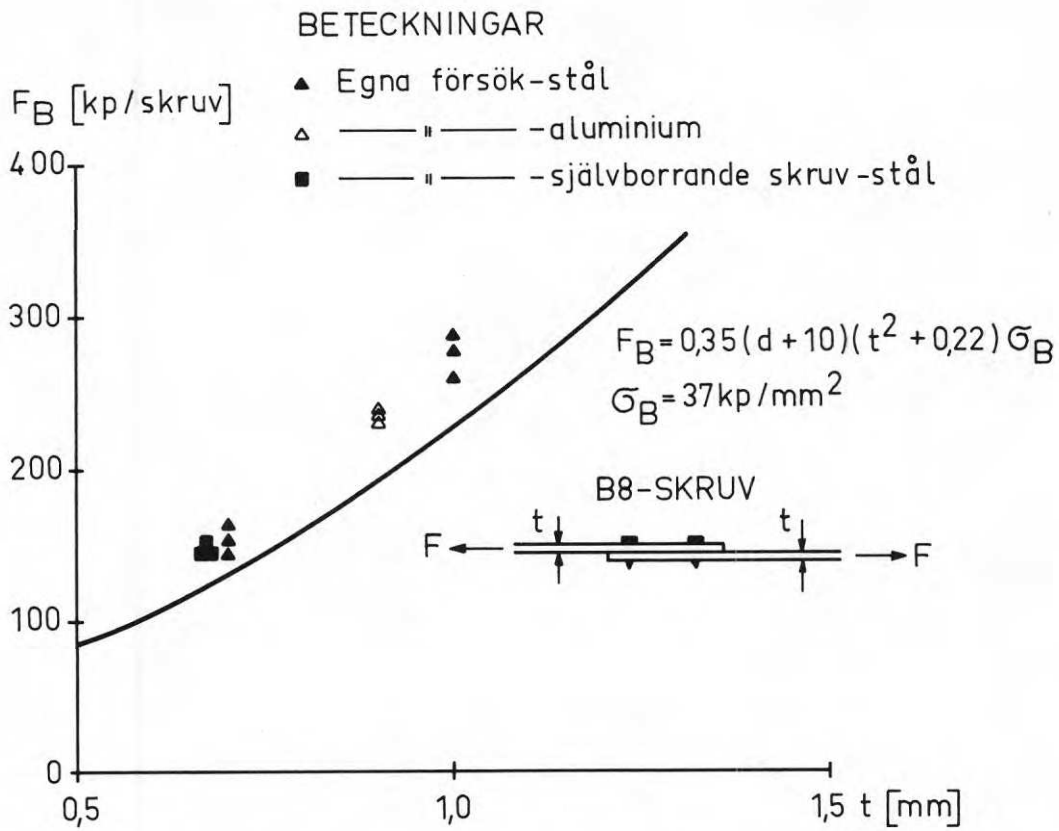


Fig.C32. Brottlasten som funktion av plåttjockleken  $t$  vid förband mellan lika tjocka plåtar. Snedställningsbrott. (B8-skruv.)



## BETECKNINGAR:

- △ Egna försök-aluminium
- — " — självborrande Teks-stål
- Tekn.dr Arne Johnson ing. byrå — British screw-stål [11]
- ▼ Tekn.dr Arne Johnson ing. byrå — Domnarvets Jernverk självborrande Teks-stål [3]

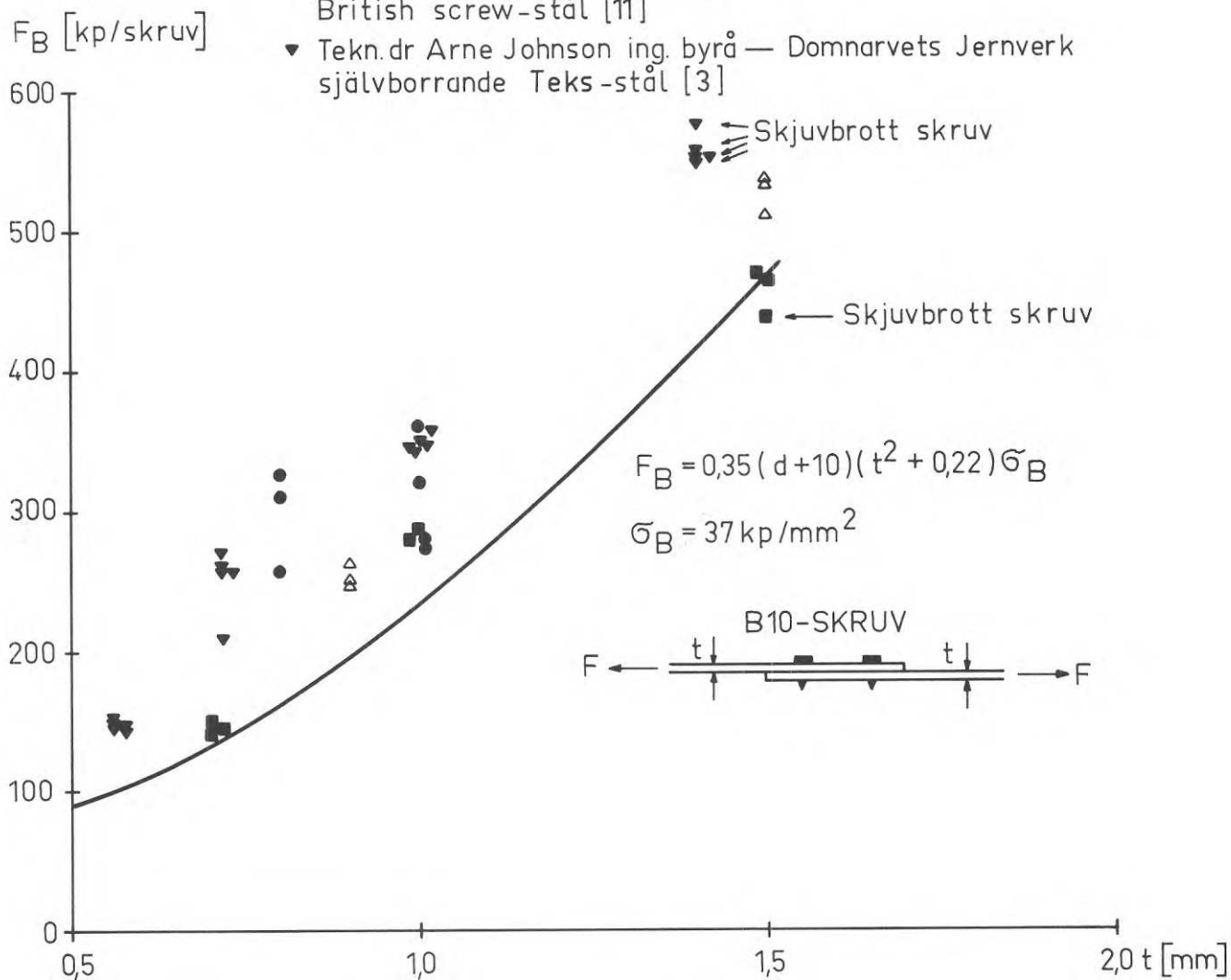


Fig.C33. Brottlasten som funktion av plåttjockleken  $t$  vid förband mellan lika tjocka plåtar. Snedställningsbrott. (B10-skruv.)

## BETECKNINGAR:

▲ Egna försök-stål

△ ——— " ——— - aluminium

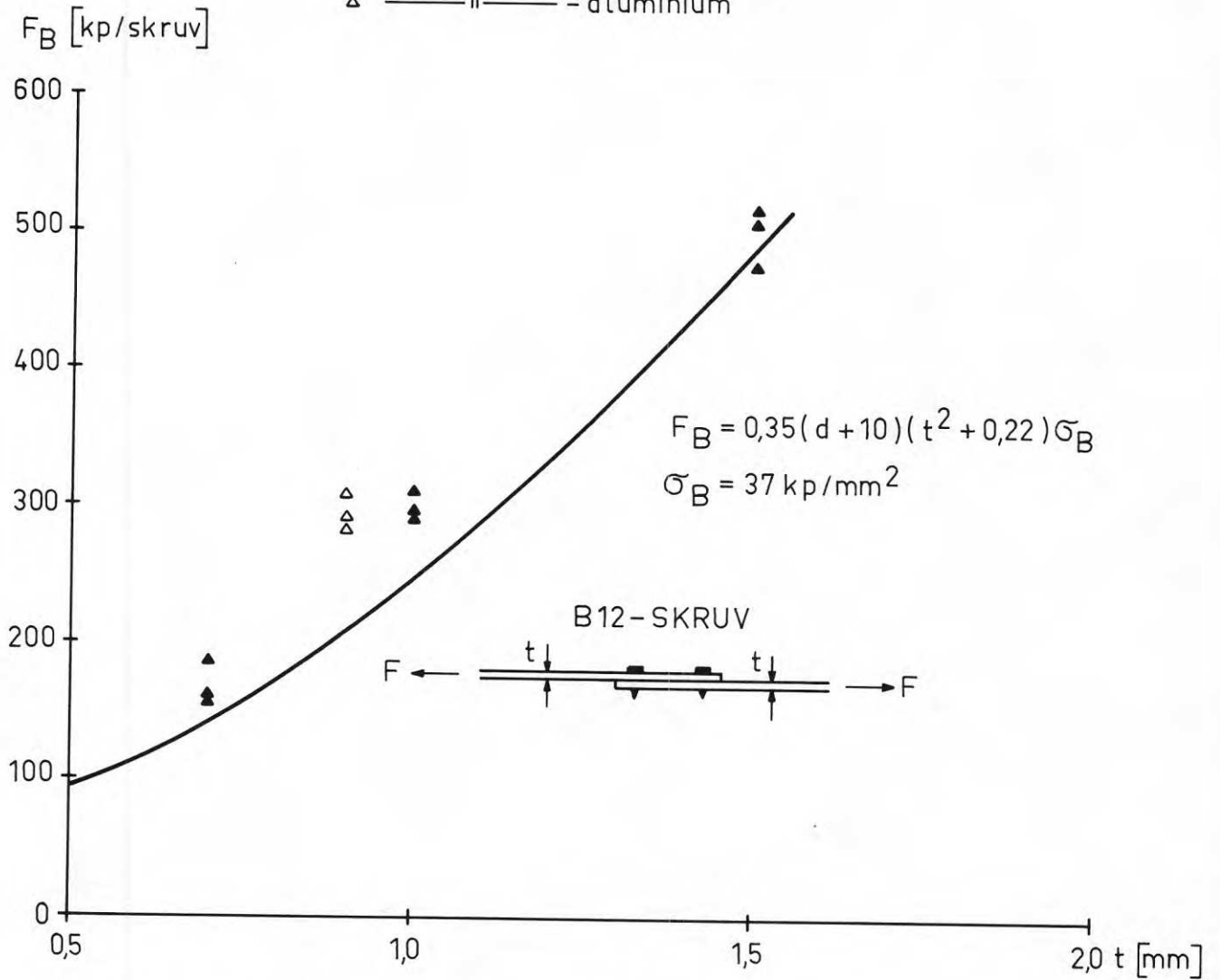


Fig.C34. Brottlasten som funktion av plåttjockleken  $t$  vid förband mellan lika tjocka plåtar. Snedställningsbrott. (B12-skruv.)

## BETECKNINGAR:

- ▲ Egna försök-stål
- △ ——— aluminium
- ▼ Tekn.dr Arne Johnson ing. byrå –  
Domnarvets Jernverk  
självborrande Teks-stål [3]
- Byggkonsult- USM Staps-stål [10]

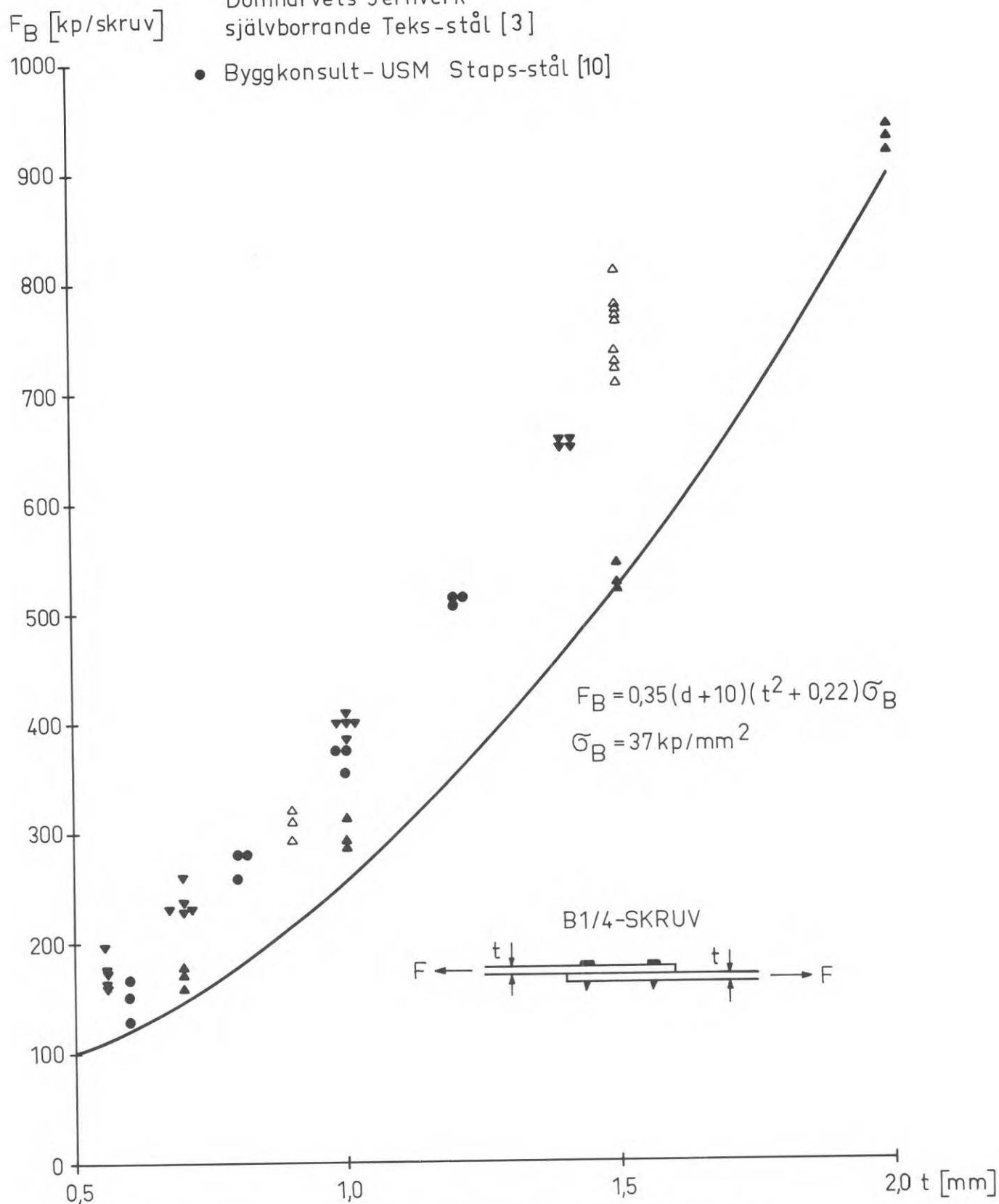


Fig.C35. Brottlasten som funktion av plåttjockleken  $t$  vid förband mellan lika tjocka plåtar. Snedställningsbrott. (B1/4-skruv.)

### 5.3 Hålkantflytning

Denna brotttyp har i huvudsak aktualitet vid förband där snedställningen av skruvarna förhindras genom inspänning av skruvskaftet i grövre gods.

En utvärdering av försöksresultaten med avseende på denna brotttyp har lett till ett empiriskt samband av liknande typ som vid snedställningsbrott. Under förutsättning, att den grövre plåtens tjocklek  $t_1$  är minst 2,5 ggr den mindre plåtens tjocklek ( $t_1 \geq 2,5 t_2$ ) gäller för bestämning av förbandets brottlast  $F_B$  approximativt

$$F_{BH} \approx 0,7 (d + 10) (t_2^2 + 0,22) \cdot \sigma_B \quad [\text{kp}]$$

med samma beteckningar som ovan och faktorn 0,35 utbytt mot 0,7.

Med  $t_2$  avses den minsta plåttjockleken i förbandet.

Ansatsen testas mot försöksresultat, hämtade ur egna provningar och andra undersökningar, i fig. C 36 - C 39 med brottlasten  $F_{BH}$  avsatt över minsta godstjockleken i förbandet.

Som framgår erhålls - utom vid några prov med aluminiumplåtar - (fig. C 39) en god anpassning av den empiriska ansatsen.

Vid förband med aluminiumplåt har delvis registrerats något lägre  $F_B$ - värden än motsvarande värden enligt ovanstående ansats. Dessa brottlaster avser prov där krypning har ägt rum mellan belastningstypen, som påfördes med ca 30 min. mellanrum. Jämförande försök visar, att krypningen medför en reduktion av brottlasten till ca 80 - 90 % av i korttidsförsöken erhållna brottlastvärden. Till krypningens inverkan på brottlasten vid förband med aluminiumplåt tas hänsyn vid säkerhetsbedömningen.

Vid förband med olika plåttjocklekar och  $t_2 < t_1 < 2,5 t_2$  gäller med god approximation sambandet

$$F_{BH} \approx F_{BS} \approx k_1 (d + 10) (t_2^2 + 0,22) \sigma_B$$

$$\text{varvid} \quad k_1 = 0,156 \left[ t_1/t_2 - 1 \right]^2 + 0,35$$

Detta samband satisfieras nöjaktigt av provningsresultat för förband med godstjocklekar inom angivet tjockleksområde. Brotttypen kännetecknas av såväl hålkantflytning som snedställningsbrott.

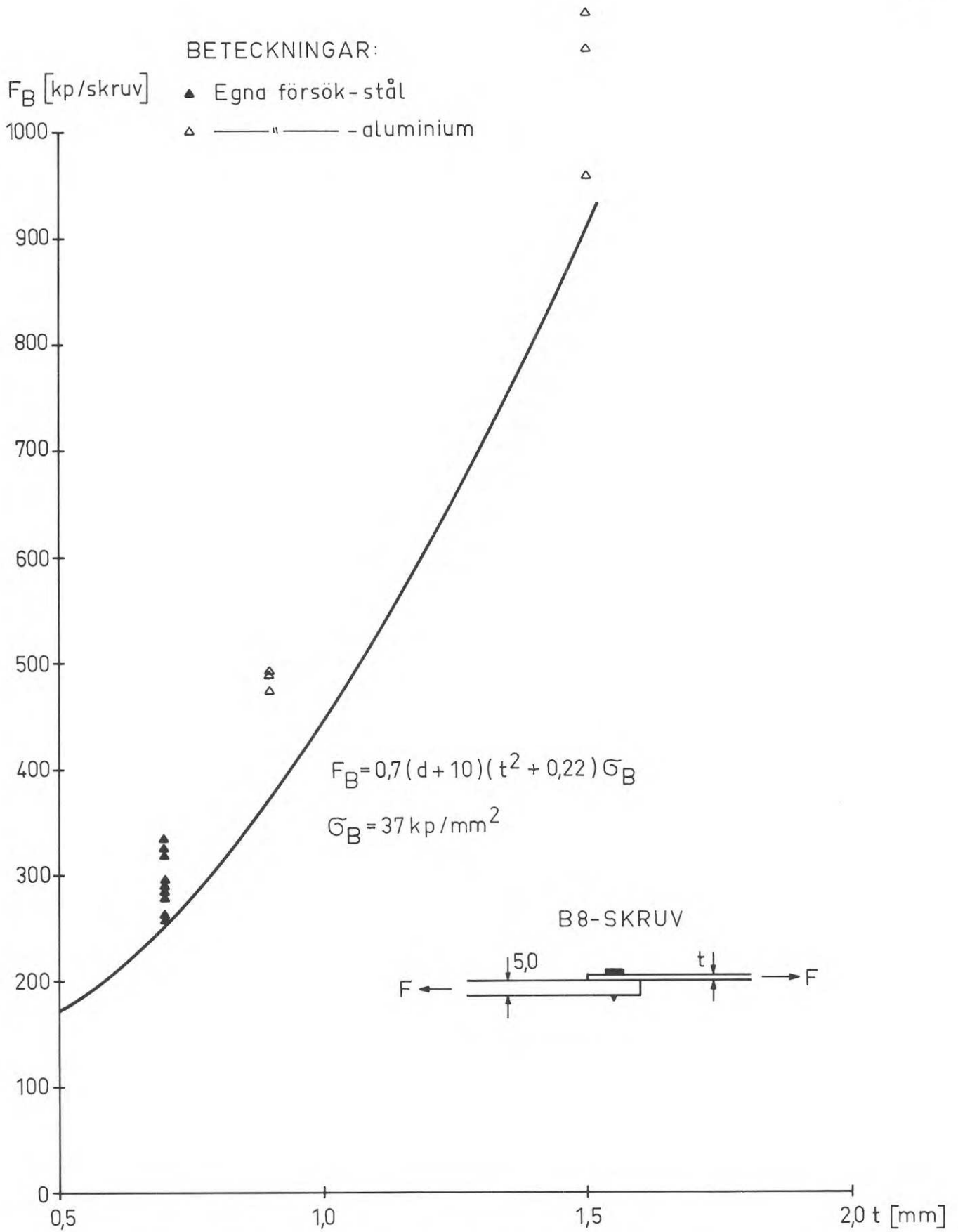


Fig.C36. Brottlasten som funktion av plåttjockleken  $t$  vid förband mellan olika tjocka plåtar. Hålkantflytning. (B8-skruv.)

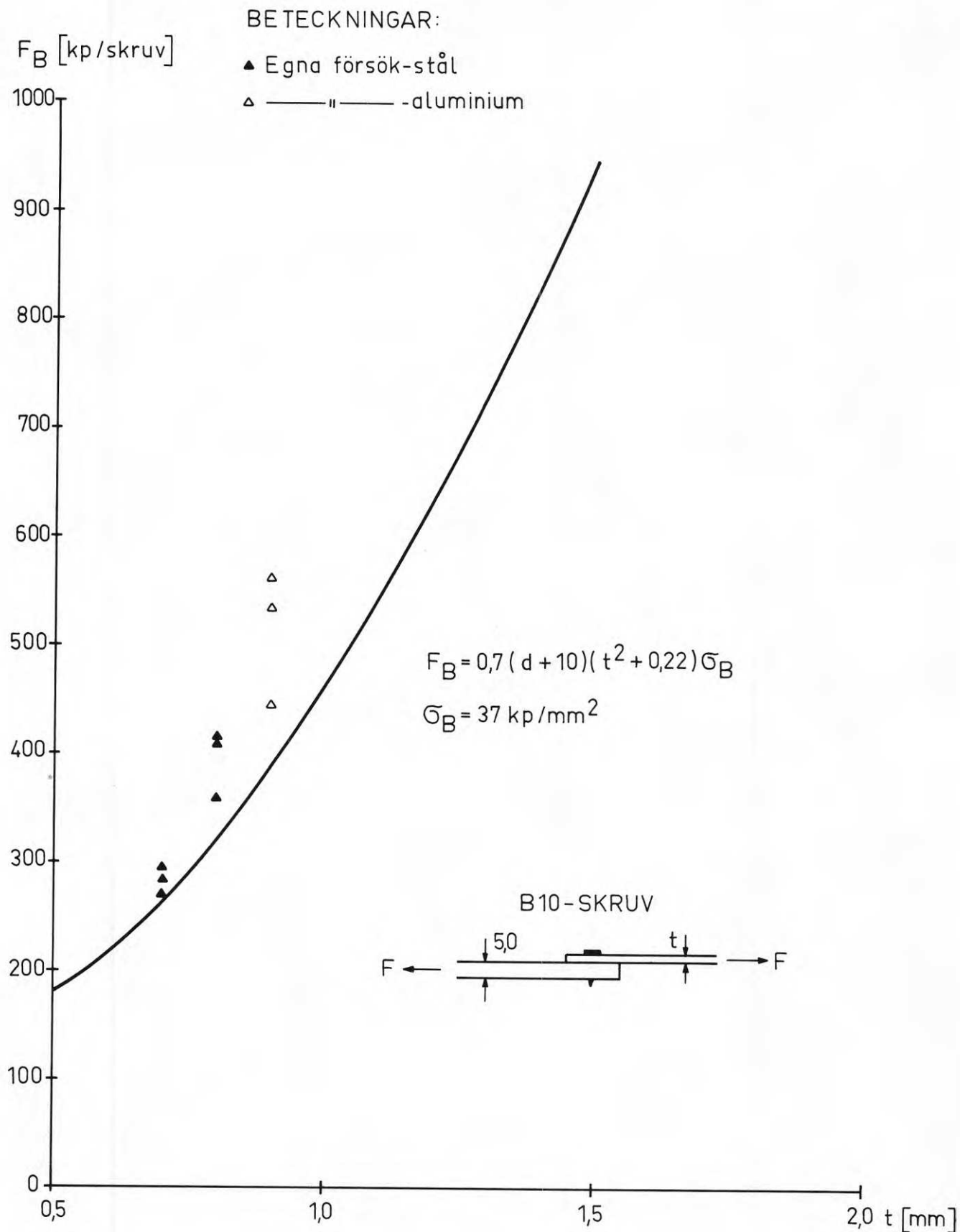


Fig.C37. Brottlasten som funktion av plåttjockleken  $t$  vid förband mellan olika tjocka plåtar. Hålkantflytning. (B10-skruv.)

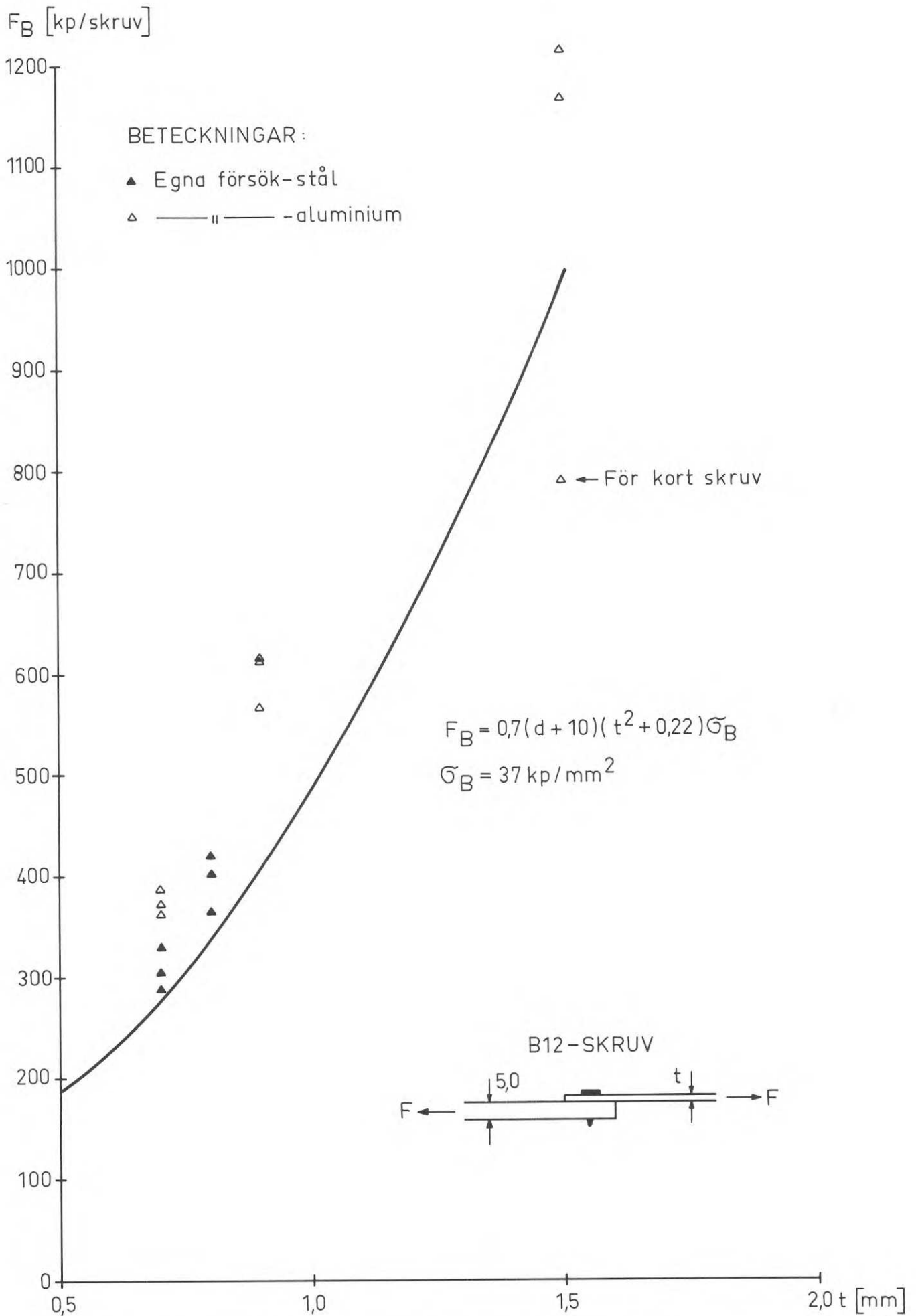


Fig.C38. Brottlasten som funktion av plåttjockleken  $t$  vid förband mellan olika tjocka plåtar. Hålkantflytning. (B12-skruv.)

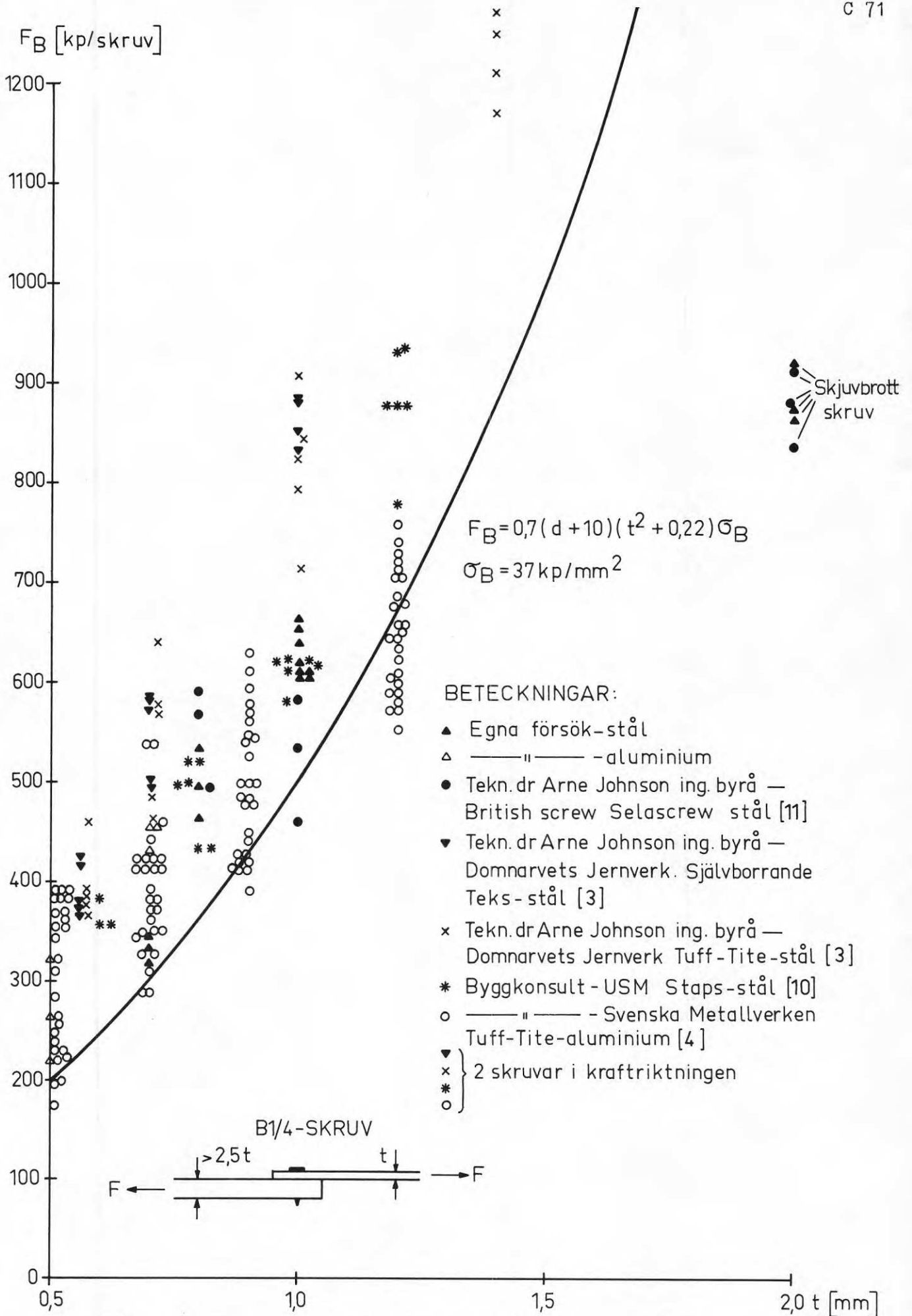


Fig.C39. Brottlasten som funktion av plåttjockleken t vid förband mellan olika tjocka plåtar. Hålkantflytning. (B1/4-skruv.)



#### 5.4 Kantbrott

Denna brotttyp är aktuell vid otillräckligt avstånd mellan första skruvraden och plåtkanten och karakteriseras av sambandet

$$F_{BK} = 0,7 \cdot \sigma_B \cdot t_2 \cdot e,$$

varvid

$e$	= kantavståndet	[mm]
$t_2$	= förbandets tunnaste plåt	[mm]
$\sigma_B$	= den tunnaste plåtens brotthållfasthet	[kp/mm <sup>2</sup> ]

I figur C 40 återges en sammanställning av brottlaster  $F_B$  som funktion av förhållandet  $e/d$ , varvid  $d$  är nominell skruvdiameter. Av figuren framgår att denna brotttyp normalt saknar aktualitet om förhållandet  $e/d$  väljs större än 3. Detta värde införs därför som krav för förbandsutformningen.

#### 5.5 Sektionsbrott

Denna brotttyp har endast undantagsvis haft aktualitet vid provningarna, men bör, liksom vid konventionella skruv- och nitförband, vara karakteriserad av sambandet

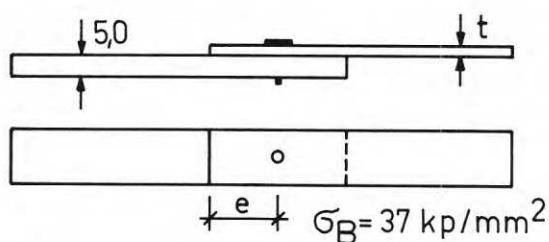
$$F_B = A_n \cdot \sigma_B$$

varvid

$A_n$	= är tvärsnittsarean med avdrag för nithålen (nettotvärsnitt)
-------	--

## BETECKNINGAR:

- ▲ Egna försök - stål  $t=0,7$ ;  $d=4,2$
- ——— " ——— stål  $t=1,0$ ;  $d=6,3$
- △ ——— " ——— aluminium  $t=0,9$ ;  $d=4,2$
- ——— " ——— aluminium  $t=1,5$ ;  $d=4,2$



LUTANDE KURVDEL  $F_B = 0,7 \cdot \sigma_B \cdot t \cdot e$   
 HORIZONTAL KURVDEL  $F_B = 0,7(d+10)(t^2 + 0,22) \sigma_B$

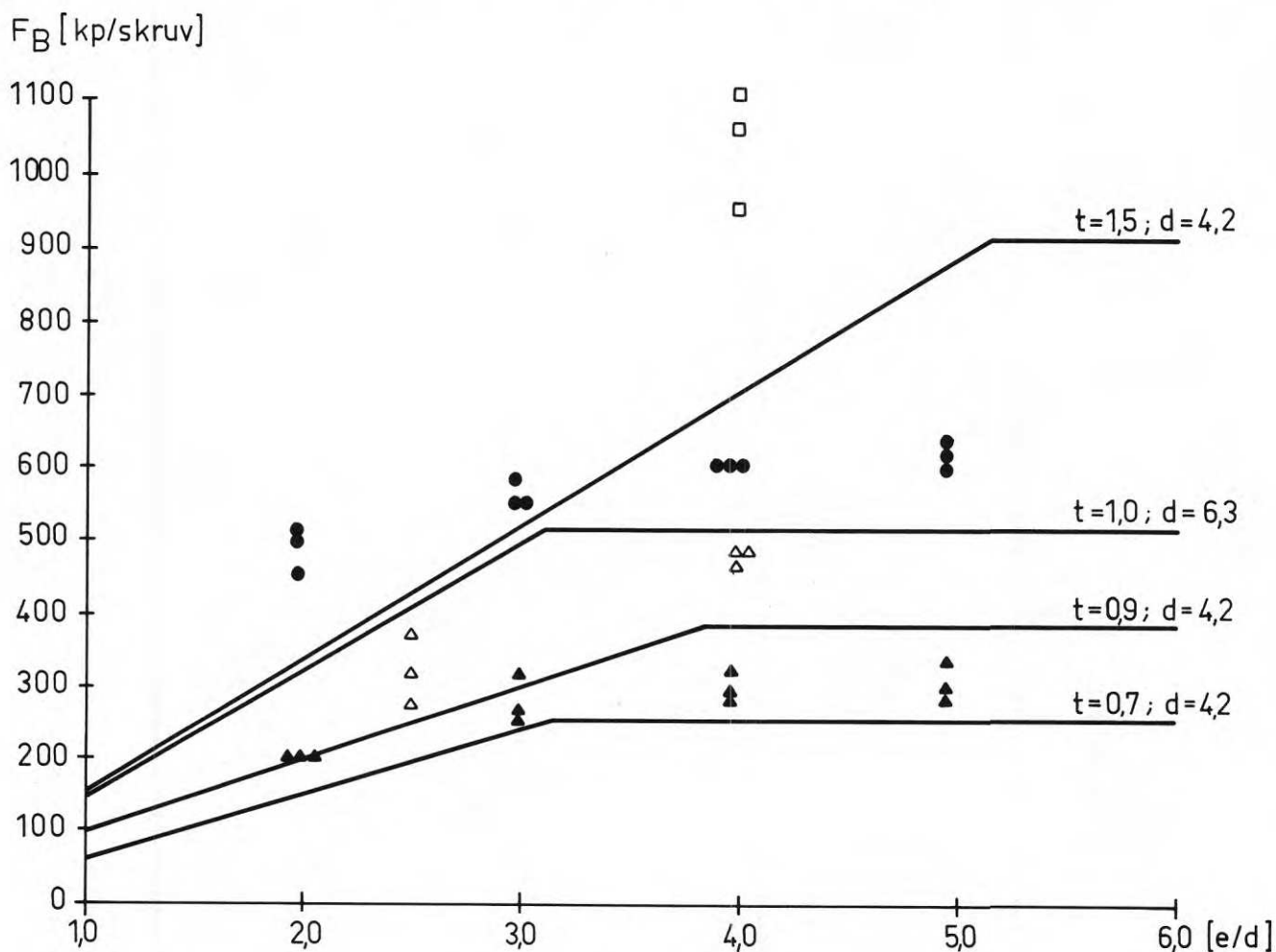


Fig. C40. Brottlasten som funktion av förhållandet  $e/d$  vid varierande skruvdiameter och godstjocklek. Kantbrott eller hålkantflytning.

## 5.6 Säkerhet mot uppnående av brottlast (tvärlast)

Medan vid nitförbandet (jfr. kap. B5.6) i lastförskjutningsdiagrammen ett närapå linjärt samband mellan  $F$  och  $\delta$  upp till  $F \approx (0,6 - 0,8) F_B$  kunde urskiljas, existerar vid skruvförband inget motsvarande samband, beroende av förbandets funktionssätt vid inträngning av skruvgångorna i plåten under skede I + II (se ovan). Detta medför att en "flytlast" motsvarande definitionen hos nitförbandet inte är en adekvat storhet vid skruvförbandet.

Å andra sidan är i försöket erhållen brottlast  $F_B$  vid snedställningsbrott knuten till relativt stora formändringar.

Säkerhetsbedömningen bör därför i första hand baseras på kravet att formändringarna under brukslast och vid tillfällig överlast inte medför att förbandets funktionsstabilitet äventyras. Vidare bör spänningarna begränsas med hänsyn till krypfenomenet.

En utvärdering av last-deformationskurvorna indikerar att vid en kurv lutning motsvarande ca 150 kp/mm dels förskjutningarna tillta successivt samt dels krypfenomenet gör sig gällande.

Den tillhörande tvärlasten ( $F_{B(\text{korr})}$ ) kan betraktas som en korrigerad fiktiv brottlast, för vilken med rimlig approximation gäller sambandet  $F_{B(\text{korr})} = \psi \cdot 0,9 \cdot F_B$ , varvid  $F_B$  betecknar den uppmätta brottlasten och faktorn 0,9 är avsedd att täcka spridningen hos medelvärdet av

$$\text{kvoten} \quad \frac{F_{B(\text{korr})}}{F_B} = \psi.$$

I figur C 41 och C 42 återges en sammanställning av utvärderingen för korresponderande försöksvärden på  $F_B$  och  $F_{B(\text{korr})}$  vid angiven tangentlutning. Figur C 41 avser därvid stålplåt och C 42 aluminiumplåt.

Som lämpliga värden på  $\psi$  har därvid funnits

$$\psi_s = 0,8 \text{ vid stålplåt}$$

$$\psi_a = 0,7 \text{ vid aluminiumplåt}$$

Det lägre värdet för aluminiumplåt motiveras av den ökade krypbenägenheten vid höga påkänningar.

ANTAL PROV

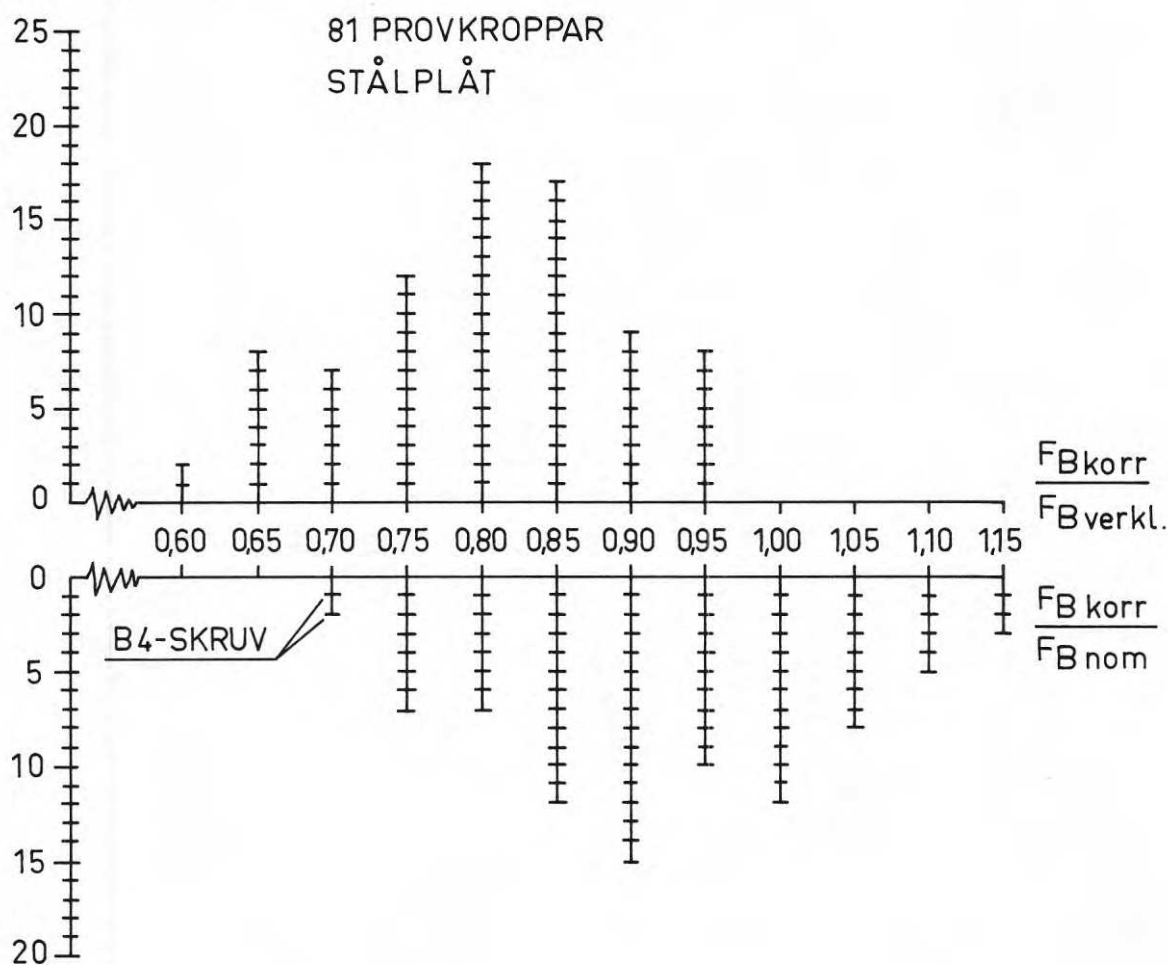


Fig.C41. Jämförelse mellan tvärlast vid brott och tvärlast vid tangentlutning 150 kp/mm i last-deformationsdiagrammet för stålplåt.

$F_{B\text{verkl.}}$  = uppmätt brottlast

$F_{B\text{korr.}}$  = fiktiv brottlast (tangentlutning 150 kp/mm)

$F_{B\text{nom.}}$  = beräkningsmässig brottlast =

$$= k_1(d+10)(t_2^2 + 0,22)\sigma_B$$

ANTAL PROV

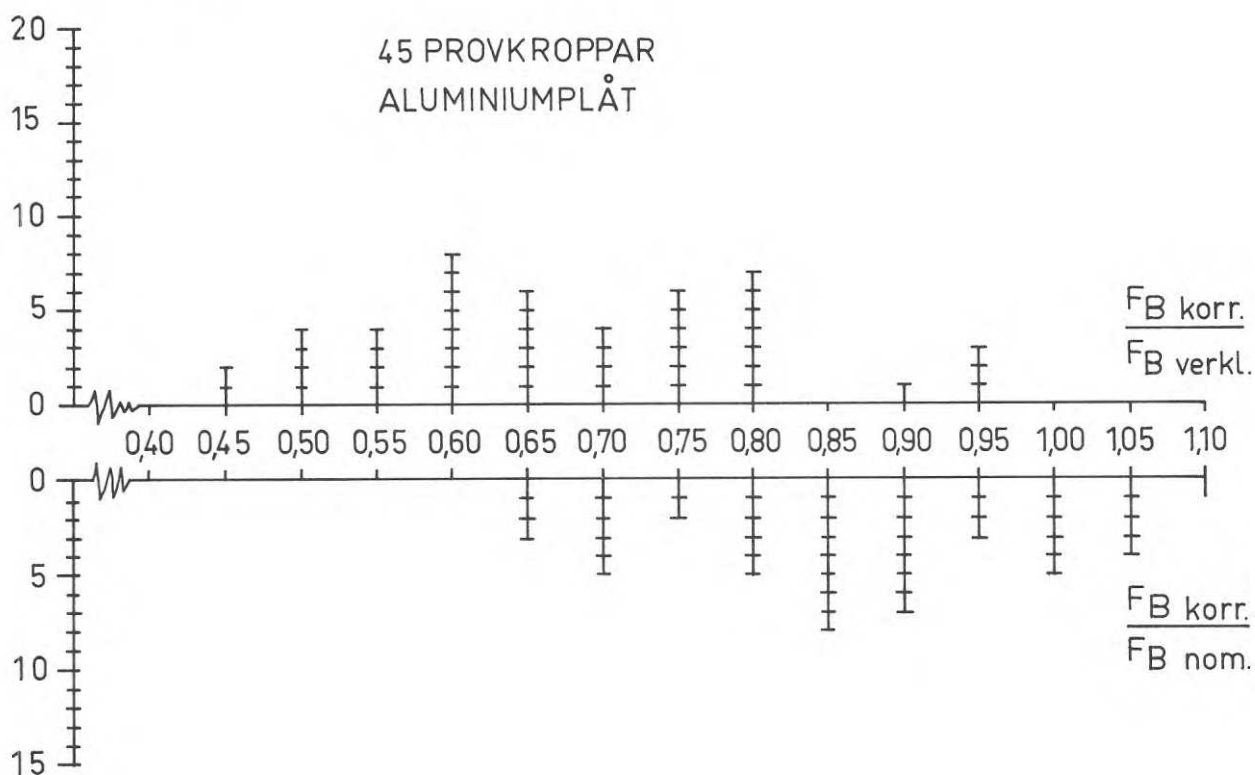


Fig.C42. Jämförelse mellan tvärlast vid brott och tvärlast vid tangentlutning 150 kp/mm i last-formändringsdiagrammet för aluminiumplåt.

$F_B$  verkl. = uppmätt brottlast

$F_B$  korr. = fiktiv brottlast (tangentlutning 150 kp/mm)

$F_B$  nom. = beräkningsmässig brottlast =

$$= k_1(d+10)(t_2^2 + 0,22)\sigma_B$$

I vissa fall är aktuella  $\Psi$ -värden lägre än de stipulerade  $\Psi$ -värden. Utom vid skruvdimension B4 beror den redovisade avvikelserna till värden under  $0,9 \cdot \Psi_s$  resp.  $0,9 \Psi_a$  på att exceptionellt höga brottlastvärden erhållits i försöken. De låga  $\Psi$ -värden ger således inte uttryck för en nedsatt hållfasthet.

Vid skruvar med små diameter däremot (B4-skruvar) beror underskridanden på ett ogynnsamt last-formändringsbeteende. Detta ger anledning till att vid kraftupptagande förband begränsa tillåten skruvdimension nedåt till en skruvdiameter om minst 3,0 mm.

Sålunda bestämda värden  $F_{B(\text{korr})}$  garanterar emellertid inte att kvarstående formändringar utesluts. En begränsning av permanenta formändringar till acceptabla mått erhålls för en tvärlastnivå om ca  $0,8 \cdot F_{B(\text{korr})}$ .

Mot uppnående av denna tvärlast skall sedan införas en lastfaktor  $s_g$  som väljs i enlighet med vad som gäller för tunnplåtkonstruktioner i övrigt.

Med utgångspunkt från detta gäller för skruvförband med  $d \geq 3,0$  mm, att tillåten tvärlast bestäms enligt

$$F_{\text{till}} = \frac{0,8 \cdot 0,9 \cdot \Psi_s \cdot F_B}{s_g} = \frac{F_B}{s_g^*}$$

vilket med  $s_g = 1,65$  ger

$$F_{\text{till}} = \frac{F_B}{2,9} \quad \text{för stålplåt} \quad (s_g^* = 2,9) \quad \text{och}$$

$$F_{\text{till}} = \frac{F_B}{3,3} \quad \text{för aluminiumplåt} \quad (s_g^* = 3,3)$$

varvid  $F_B$  är det lägsta av brottvärdena  $F_{BSN}$  eller  $F_{BH}$  (snedställningsbrott eller hålkantflytning) bestämt enligt ansatsen

$$F_B = k_1 (d + 10) (t_2^2 + 0,22) \sigma_B$$

med  $k_1 = 0,156 \left[ t_1/t_2 - 1 \right]^2 + 0,35$  vid  $t_2 \leq t_1 \leq 2,5 t_2$

$$k_1 = 0,7 \quad \text{vid} \quad t > 2,5 t_2$$

Med avseende för kantbrott gäller samma säkerhetskrav för

$$F_B = F_{BK} = 0,7 \sigma_B t_2 \cdot e \text{ vid stålplåt och}$$

$$F_B = 0,9 F_{BK} = 0,63 \sigma_B \cdot t_2 \cdot e \text{ vid aluminiumplåt.}$$

Det något lägre värdet för aluminiumplåt motiveras av materialets ökade krypbenägenhet.

Säkerheten mot uppnående av skruvbrott bör kunna anpassas till ordinära säkerhetskrav för tunnplåtkonstruktioner dvs  $s_g = 1,65$ , varmed

$$F_{N_{\text{till}}} = \frac{F_s}{s_g} = \frac{0,8 F_{BS}}{1,65} \cdot \text{Härvid motsvarar } F_s \text{ den last}$$

vid vilken starkt ökade deformationer erhålles.

Om enligt ovanstående vid förband med flera skruvar i kraftriktning detta brottdenomen skall uteslutas, bör följande villkor innehållas

$$F_{BS} \gtrsim 1,4 \cdot k_1 (d + 10) (t_2^2 + 0,22) \sigma_B$$

varvid en 1,4-faldig säkerhet mot skruvbrott förutsatts.

Detta samband utgör en anvisning för bestämning av lämplig skruvdiameter med avseende på i förbandet ingående plåttjocklekar och grundmaterialets hållfasthet. Högsta tillåtna plåttjocklek erhålles därmed till

$$t_2 \lesssim \sqrt{\frac{F_{BS}}{1,4 k_1 (d + 10) \sigma_B} - 0,22} \quad (k_1 \text{ enligt ovanstående})$$

Säkerhet mot uppnående av sektionsbrott anpassas till gällande bestämmelser för tunnplåtkonstruktioner dvs

$$\sigma_{\text{till}} = \frac{\sigma_s}{1,65} \cdot$$

## 5.7 Brott orsakade av belastningar vinkelrät mot plåtplanet

För belastningar vinkelrät mot plåtplanet har under kapitel B5.7 angivits olika brottfenomen, varav följande ha aktualitet vid skruvförband:

- I Plåtvikningsbrott
- II Utdragsbrott
- III Överdragsbrott
- IV Skafthbrott
- V Stansbrott

Beträffande delproblem I, IV och V gäller i allt väsentligt slutsatserna avseende nitförband och det hänvisas därför till motsvarande avsnitt under kapitel B5.7. Beträffande skafthbrottlasten kan tilläggas att  $F_B = \frac{4OM_{BV}}{d}$  (d = nominell skruvdiameter) kan antas motsvara skruvarnas skjuvhållfasthet.

Nedan beskrivs endast de för skruv säregna brotten enligt delproblem II - III. Under vissa förutsättningar kan behandlingen av delproblem III tillämpas även för andra typer av fästelement.

### Delproblem II (Utdragsbrott):

Utdragsbrott för skruv sker till följd av att gängan i plåtmaterialet deformeras och i vissa fall skjuvas av. Utdragsmotståndet är i första hand beroende av plåtmaterialets tjocklek och brotthållfasthet men påverkas även i viss mån av hur mycket plåten överlappar skruvens gänga. Det har funnits lämpligt att använda håldiameteren minskad med kärndiameteren som mått på överlappet.

$$\phi - d_k = \delta$$

Storheten  $\delta$  kommer härvid att minska med ökande överlapp. Fig. C 43 - C 44 visar utdragshållfastheten som funktion av plåttjockleken för några olika skruvtyper och varierande  $\delta$ -värden. När  $\delta$  antar värden mellan 0,5 - 1,0 mm sker normalt ingen större variation av utdragshållfastheten. När  $\delta > 1,0$  kan höga utdragshållfastheter uppnås, men en mindre avvikelse i håldiameter kan innebära en kraftig sänkning av brotthållfastheten.



Med stöd av de försöksvärden som inlagts i fig. C 43 - C 44 föreslås för skruvdimensioner B 10 (AB 10) och B 1/4 (A 14) följande samband för brottlastbestämning

$$\begin{aligned} \text{B 10 (AB 10)} \quad \phi - d_k & \leq 0,5 \\ P_{II} & = 4,0 \cdot [t \cdot \sigma_B - 15] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{B 1/4 (A 14)} \quad \phi - d_k & \leq 1,1 \\ P_{II} & = 3,4 \cdot [t \cdot \sigma_B - 10] \end{aligned}$$

- BETECKNINGAR: ▲ Tekn. dr Arne Johnson Ing. byrå—Domnarvets Jernverk [3]  
Självborrande Teks 10  $\phi - d_k = 0$  mm
- Tekn. dr Arne Johnson Ing. byrå—British Screw [11]  
Selastitcher AB 10  $\phi - d_k = 0,1$  mm
- Tekn. dr Arne Johnson Ing. byrå—British Screw [11]  
Selastitcher AB 10  $\phi - d_k = 0,3$  mm
- Tekn. dr Arne Johnson Ing. byrå British Screw [11]  
Selastitcher AB 10  $\phi - d_k = 0,5$  mm

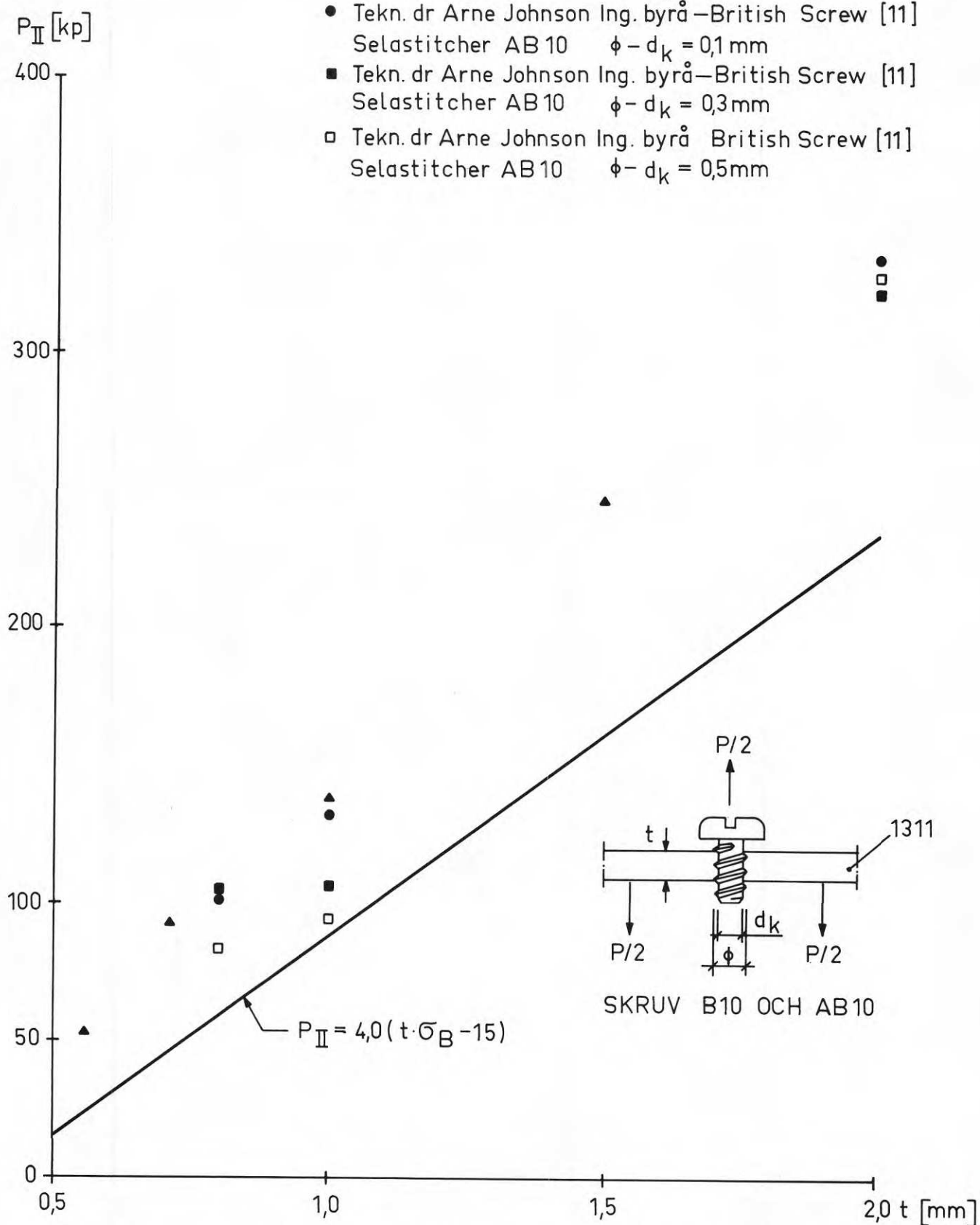


Fig.C43. Utdragsbrottlasten för skruvar B10 och AB10 som funktion av plåttjockleken. Samtliga inprickade värden är medelvärden från tre försök.

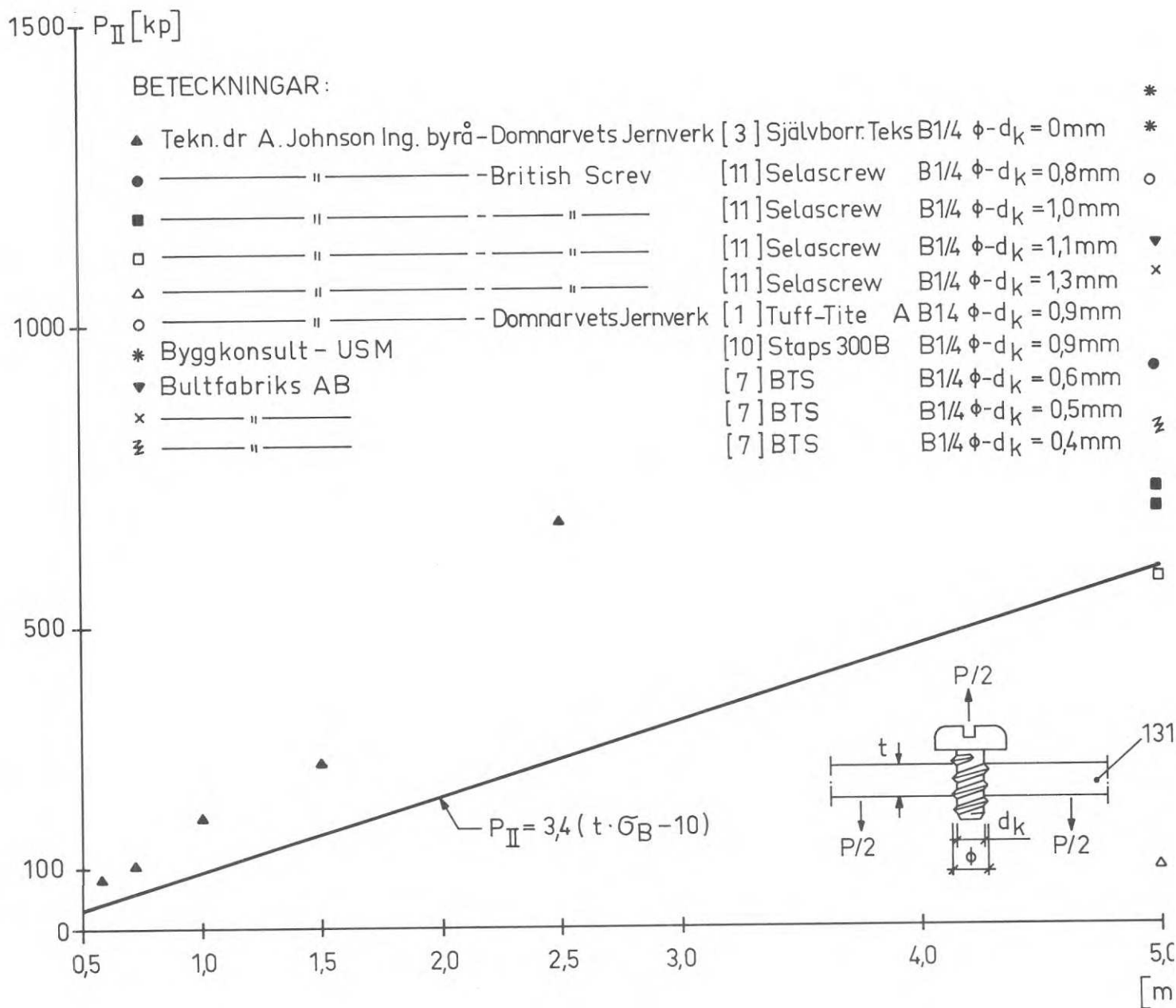


Fig.C44. Utdragsbrottlasten för Teks B1/4, Selascrew B1/4, Staps 300B(B1/4) och Tuff-Tite AB14 som funktion av plåttjockleken. Samtliga inprickade värden är medelvärden från tre försök.

Delproblem III (Överdragsbrott):

Problemet kräver normalt endast uppmärksamhet vid material med  $t < 1,5$  mm samt i de fall när fästelementets huvud är extremt litet. Brottypen framgår av fig. C 45. Överdragningen möjliggörs för det mesta först efter det en uppsprickning av hålkanten skett.

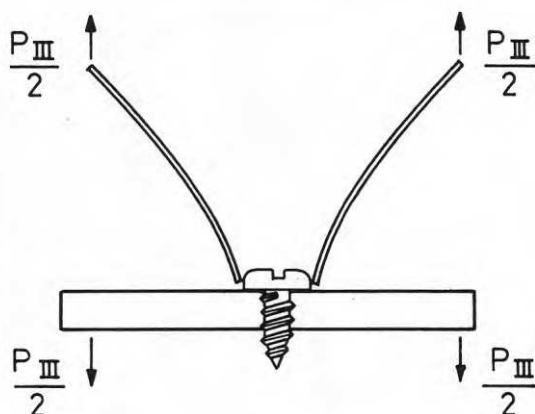


Fig.C45. Överdragsbrott.

Vanligen sker brott enligt delproblem I vid en betydligt lägre last än överdragsbrottlasten. Vid vissa tillämpningar kan emellertid brott enligt delproblem I accepteras och vid andra deformationerna begränsas genom gynnsam inverkan av membranspänningar varvid överdragsbrott kan bli dimensionerande. En bestämning av brottbelastning per skruv, oavsett om plåtvikning enligt delproblem I sker eller ej kan inom intervallet  $t = 0,5 - 1,5$  mm med  $D = 10 - 30$  mm göras enligt;

$$P_{III} = 14 \cdot t^2 \cdot \sigma_B$$

Beräkningen stöder sig på undersökningar i referenserna [2] - [3], [5] och [10].

I fig. C 46 har registrerade brottlastar lagts in som funktion av plåttjockleken.

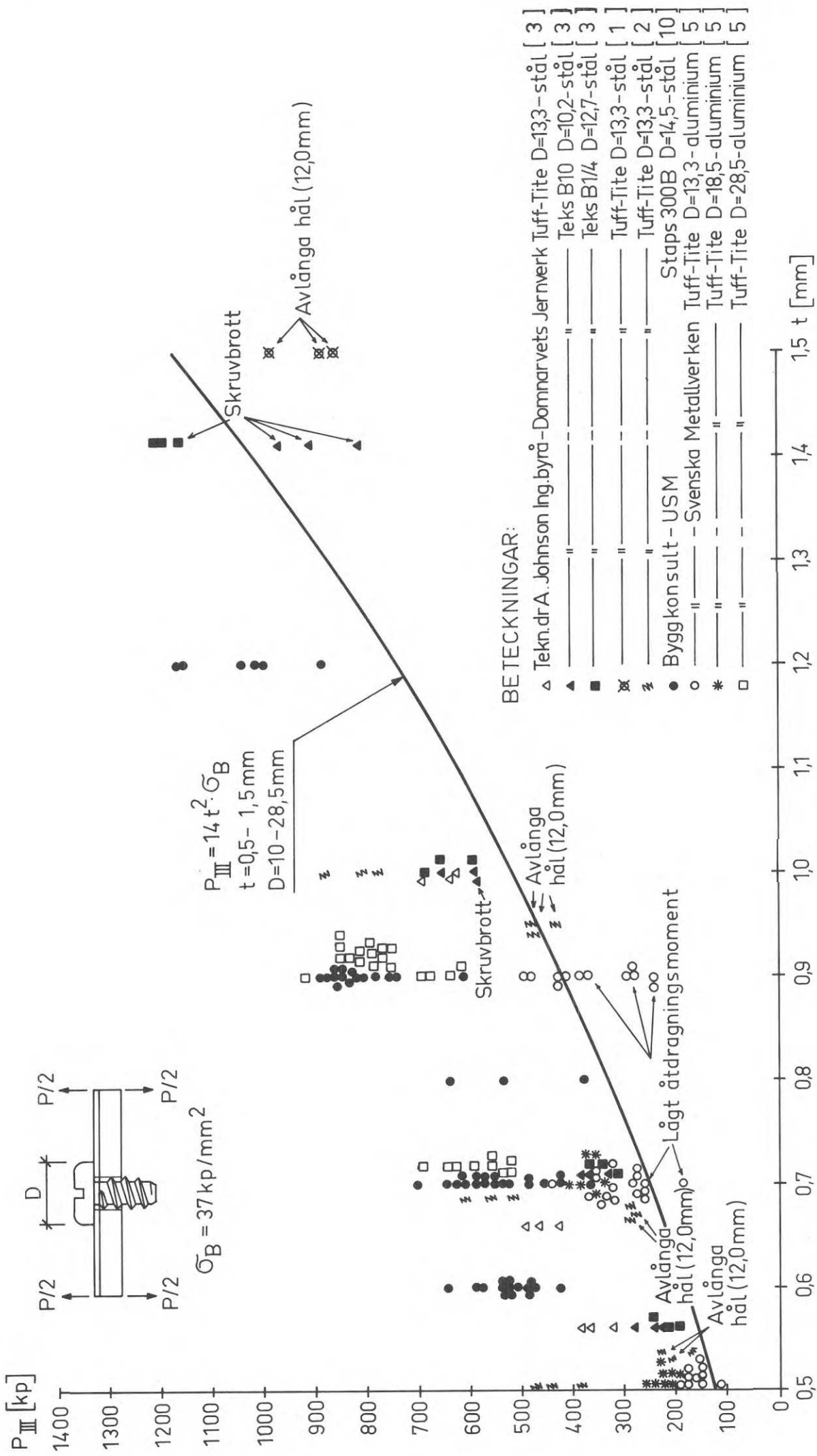


Fig.C46. Överdragsbrottlasten som funktion av plåttjockleken.

Det bör påpekas att försöksresultat med skruvar av typen STAPS ligger genomgående 200 kp högre än den angivna brottlastkurvan. Anledningen är att försöksanordningen vid de försöken endast medgivit vikning av plåten till en viss gräns. De olika försöksanordningarna framgår av fig. C 47 - C 48. En höjning av liknande storlek kan konstateras för Tuff-Tite med 28,5 mm:s bricka.

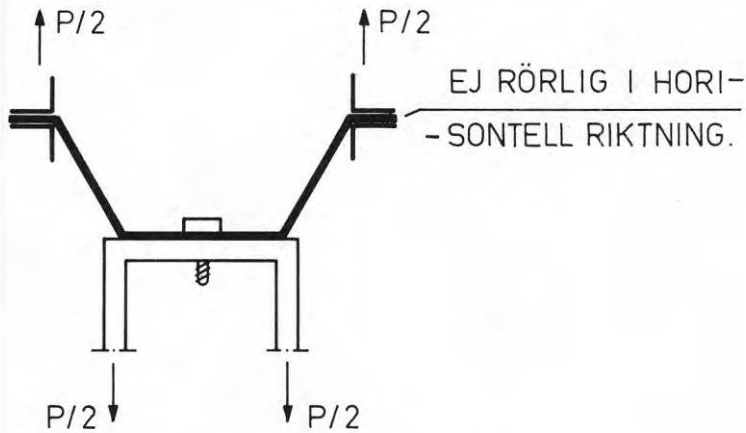


Fig.C47. Försöksanordning för provningar med Staps.

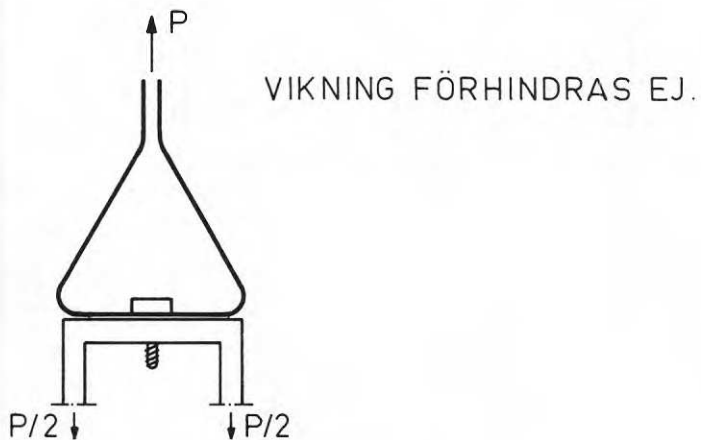


Fig.C48. Försöksanordning för provningar med Teks och Tuff-Tite.

Provning med avlånga hål gav som resultat en ungefärlig halvering av de med runt hål registrerade brottlasterna. Av fig. C 46 framgår också att lågt åtdragningsmoment kan medföra avsevärda sänkningar av brottlasten.

I försök som utförts och närmare beskrivs i referens [11] användes en försöksanordning enligt fig. C 49.

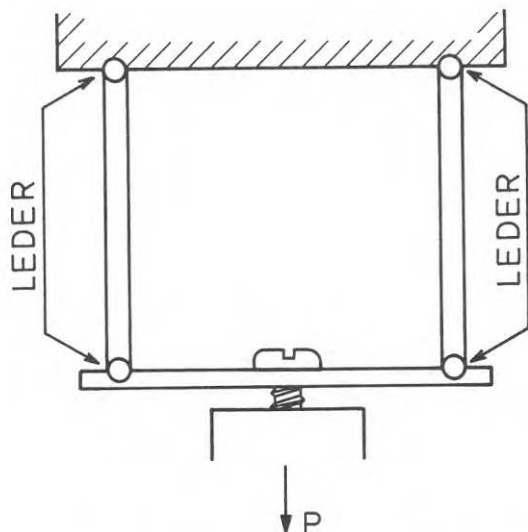


Fig.C49. Försöksanordning för provningar med Selascrew (B1/4).

I fig. C 50 och C 51 visas last-deformationskurvor vid försöksanordning enligt fig. C48 respektive fig. C49.

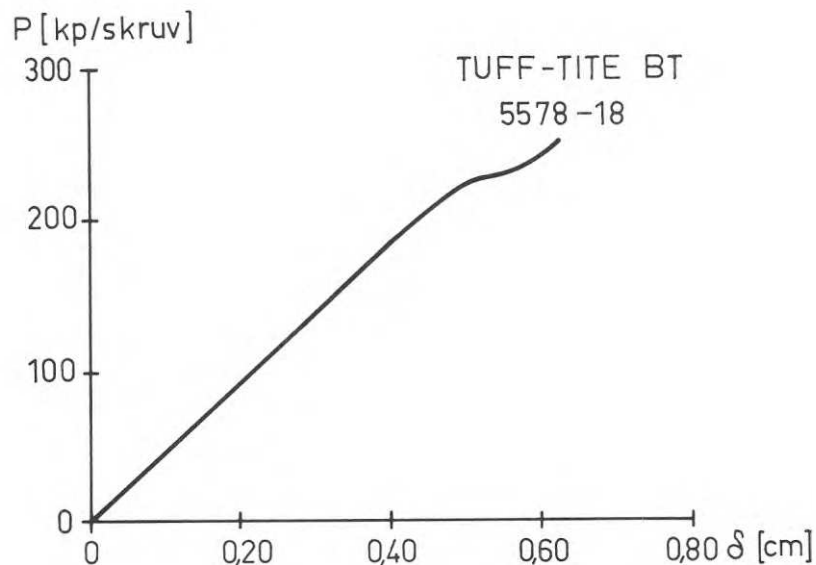


Fig.C50. Typisk deformationskurva för överdragsprov med provkropp enl. Fig.48.

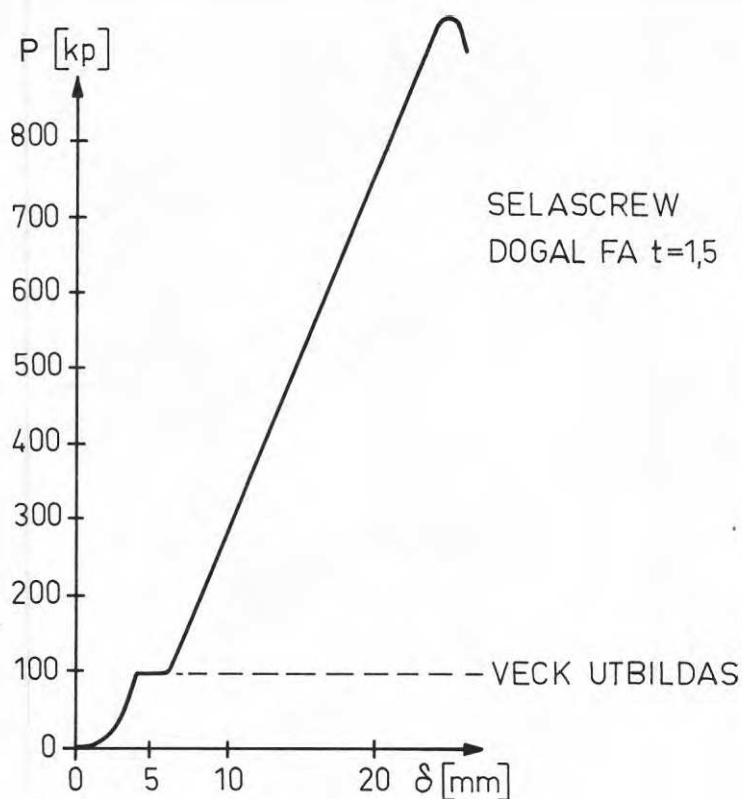


Fig.C51. Typisk deformationskurva för överdragsprov med provkropp enl. Fig.C49.

I fig. C 51 framgår klart när plåtvikningen sker varefter membran- krafter successivt aktiveras. I fig. C 50 däremot finns ingen utpräg- lad övergång utan membrankrafter aktiveras omedelbart vid belastning. Deformationerna blir som också framgår av helt annan storleksordning.

### 5.8 Säkerhet mot uppnående av brottlast vid belastning vinkelrät mot plåtplanet

#### Delproblem II:

Det kan inte anses tillfredsställande att grunda tillåten belastning på brottlasten vid den storleken på det borrarade hålet som anges av skruvtillverkaren. Anledningen är att brottlastförsök vanligen utförs på laboratorium och precisionen vid borrarningen härvid kommer att vara avsevärt bättre än vad som kan uppnås vid den praktiska tillämpningen. I enlighet härmed föreslås att bestämning av utdragshållfasthet genom provning bör utföras med håldiametern

$$\phi^{\text{prov}} = \phi^{\text{rek}} + \eta \text{ (mm)}$$



$\phi^{\text{rek}}$  avser den av tillverkaren rekommenderade håldiametern i det aktuella plåtmaterialiet. Storheten  $\nu$  avser att täcka variationer i håldiameter som uppstår till följd av borrarverktygens arbetssätt.

Vid handborrning bör  $\nu \geq 0,2$  mm. Utgående från de samband som angivits för brottlastbestämning föreslås följande tillåtna laster:

$$B \ 1/4 \ (A \ 14) \quad \phi - d_k \leq 0,9 \quad (\text{mm})$$

$$P_{II_{\text{till}}} = \frac{3,4}{s} [t \cdot \sigma_B - 10] \quad (\text{kp})$$

Med  $s = 3,0$  erhålles:

$$P_{II_{\text{till}}} = 1,1 \cdot [t \cdot \sigma_B - 10] \quad (\text{kp})$$

$$B \ 10 \ (AB \ 10) \quad \phi - d_k \leq 0,3 \quad (\text{mm})$$

$$P_{II_{\text{till}}} = \frac{4,0}{s} [t \cdot \sigma_B - 10] \quad (\text{kp})$$

Med  $s = 3,0$  erhålles:

$$P_{II_{\text{till}}} = 1,3 \cdot [t \cdot \sigma_B - 15] \quad (\text{kp})$$

Storheterna  $t$  och  $\sigma_B$  anges i mm respektive  $\text{kp}/\text{mm}^2$ .

Sker en statistisk utvärdering av försök med minst 8 provkroppar föreslås följande bestämning av tillåten last

$$P_{II_{\text{till}}} = \frac{0,8 \cdot P_{II}}{s} = \frac{0,8 \cdot P_{II}}{1,65} = \frac{P_{II}}{2}$$

$P_{II}$  skall härvid utgöra medelvärdet av registrerade brottlaster minskat med dubbla standardavvikelsen. Diameter på skruvhål skall under provningen väljas som  $\phi^{\text{prov}}$  enligt ovan.

Delproblem III

Tillåten last per fästelement under förutsättning att plåttjockleken  $t = 0,5 - 1,5$  mm och skruvhuvudets diameter  $D = 10 - 30$  mm anges som

$$P_{III_{till}} = \frac{14 t^2}{s} \cdot \sigma_B \quad (\text{kp})$$

med  $s = 3,0$  blir

$$P_{III_{till}} = 4,7 t^2 \sigma_B \quad (\text{kp})$$

Storheterna  $t$  och  $\sigma_B$  anges i mm respektive  $\text{kp}/\text{mm}^2$ .

## C6. TILLVERKNING OCH UTFORMNING AV SKRUVFÖRBAND

### 6.1 Val av skruvmaterial

Val av skruvmaterial hänger intimt ihop med dels kravet på förbandets lastupptagande förmåga samt dels grundmaterialets beskaffenhet. Lastupptagningsförmågan bestäms genom ovan behandlade dimensioneringskriterier. Med grundmaterialets beskaffenhet avses här dess kemiska sammansättning. Av korrosionstekniska skäl måste skruv- och grundmaterial kombineras på lämpligt sätt. Principiellt bör beaktas att skruvmaterialet är lika ädelt eller ädlare än grundmaterialet, så att eventuellt korrosionsangrepp hänvisas till grundmaterialet. Normalt bör potentialdifferensen mellan båda material vara så liten som möjligt.

Vid extraordinära klimatiska eller kemiska angrepp kan isolering mellan skruv- och grundmaterial vara erforderligt. Sådan isolering kan erhållas i form av tätningsbrickor under skruvhuvudet eller genom ytbehandling av skruven såsom kadmiering eller förzinkning.

Alternativt väljs skruvar av rostfritt material.

I fig. C 52 ges en kvalitativ överblick rörande möjliga åtgärder att tillgodose korrosionsskyddstekniska krav. Med isolerbrickor kan korrosionsmotståndet förbättras. I speciella fall bör materialtillverkarens rekommendationer följas.

Aggressivitet	SKRUVATERIAL	
	STÅLPLÅT	ALUMINIUMPLÅT
→	blankt stål	kadmierat stål
→→	kadmierat stål	förzinkat stål
→→→	förzinkat stål	monelmetall
→→→→	monelmetall	aluminium
→→→→→	rostfritt stål	rostfritt stål

Fig.C52. Materialval med hänsyn till korrosionsangrepp.

## 6.2 Val av skruvtyp

Val av skruvtyp är beroende på ett flertal parameter, varvid det kan skiljas mellan "yttre" förutsättningar såsom hållfasthetskrav och krav på korrosionsmotstånd å ena sidan och utförandekrav å andra sidan. Enligt avsnitt C2. skiljs mellan gängpressande, gängskärande och självborrande skruvar med olika typer av skruvhuvud och gänga.

Hållfasthetskrav och krav på korrosionsmotstånd styr valet av skruvmaterialet enligt avsnitt 6.1 med hänsyn till marknadsförda produkter.

Vid fogning av tunnplåt används normalt gängformande eller självborrande skruvar, varvid nedanstående användningsområden är aktuella.

1. Allmänt bör endast B-gänga rekommenderas då det är den enda plåt-skruv-gängan som är standardiserad i Sverige. Gängan kan användas vid fogning antingen av två tunna plåtar eller av en tunn med en betydligt tjockare plåt. Tjockleksintervallet för de tunna plåtarna är 0,5 - 3,0 mm medan den tjockare plåtens maximala tjocklek är beroende av plåtmaterial, skruvmaterial och skruvdiameter, men är vanligen 3 - 15 mm. Skruv med B-gänga i utförande S medför i vissa fall att ingängningen i förbandets bakre plåt underlättas.
2. Vid fogning av plåt inom tjockleksområdet 0,9 - 3,5 mm kan skruvar med C-gänga användas varvid dock ett högre moment för gängnings-skedet erfordras. Skruvar med denna gänga är ej vanliga i Sverige, varför anskaffningssvårigheter kan uppstå.
3. I de fall en tunn plåt skall fogas till en tjock och skruvens vridbrottmoment är otillräckligt för gängformningen kan gängskärande skruv användas varvid för BF, Y och BT-gängor tjockleksområden enligt punkt 1 och för D, F, G och T-gängor tjockleksområden enligt punkt 2 är tillämpliga. Ingen av dessa gängor är vanlig i Sverige, varför anskaffningssvårigheter kan uppstå.
4. Självborrande skruv kan användas för plåttjocklekar som medger att borrhningsskedet avslutas innan gängformningsskedet inleds. Maximal plåttjocklek måste således avgöras från fall till fall och blir beroende av borrhspetsens utformning. Maximalt värde på den sammanlagda plåttjockleken är ~ 6 mm.

Montering av skruv enligt förfarande 3 (beskrivs i avsnitt 6.3) förenklas något om vald skruv har ett kort gängutlopp och en närmast skruvhuvudet ogängad del av samma höjd som tjockleken på den närmast huvudet befintliga plåten.

Skruv med lågt vridbrottmoment monteras enklare om följande krav uppfylls:

Tjockleken hos förbandets bakre plåt är högst 0,6 x skruvens stigning vid montering enligt Förfarande 2 (avsnitt 6.3).  
Förbandets sammanlagda tjocklek är högst 0,8 x skruvens stigning vid montering enligt Förfarande 1 (avsnitt 6.3).

### 6.3 Håltagning, håldiameter och åtdragningsmoment

Förbandets funktionsstabilitet och lastupptagande förmåga är i hög grad beroende av ovan angivna faktorer.

Håltagning kan utföras genom borrhning eller stansning.

Montering av skruv kan utföras på följande tre principiellt skilda sätt:

Förfarande 1: Håltagning sker genom samborrhning av förbandsdelarna. Samtliga gängor förblir intakta efter åtdragning. Förbandsdelarna måste pressas väl samman under skruvars ingångning och åtdragning.

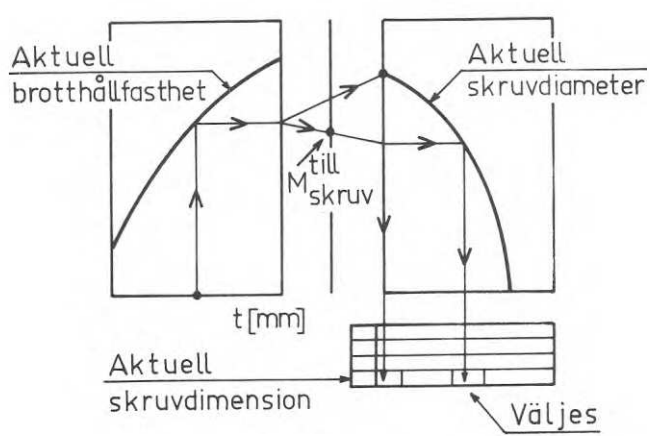
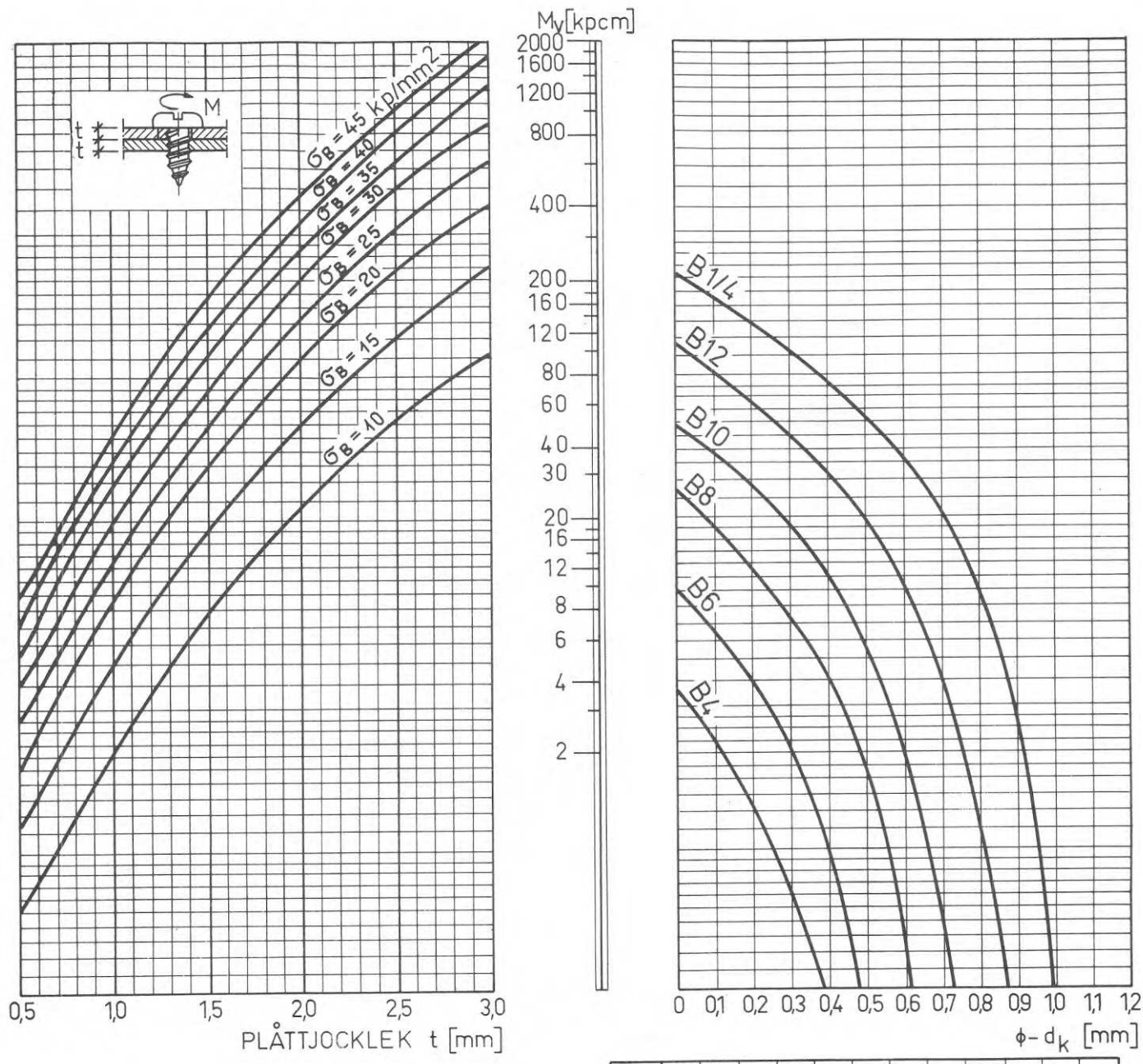
Förfarande 2: Förbandets övre plåt förses med genomgångshål. Samtliga gängor förblir intakta efter åtdragning. Speciell sammanpressning av förbandsdelarna i likhet med Förfarande 1 erfordras ej.

Förfarande 3: Håltagning sker genom samborrhning av förbandsdelarna. Gängan i förbandets övre plåt förstörs vid åtdragning. Speciell sammanpressning av förbandsdelarna i likhet med Förfarande 1 erfordras ej.

För all håltagning gäller att borren skall föras vinkelrät mot plåt-ytan, samt att vid samborrhning delarna hålls väl sammanpressade. Borrhålsdiameter och åtdragningsmoment väljs enligt vad som anges under rubriken Montageparametrar.

Allmänt gäller att teoretiskt bestämd håldiameter skall kontrolleras på arbetsplatsen varvid i samtliga fall följande krav skall vara uppfyllda;

1. Skruvhuvudets undersida skall ha jämn anliggning mot plåtens översida.
2. Plåtarna skall av åtdragningen tryckas samman.
3. Vid skruvar med tättningsbrickor skall denna vara väl sammanpressad efter åtdragningen.



B4	22	23	24	25	26							
B6	26	27	28	29	30	31						
B8	31	32	33	34	35	36	37					
B10	36	37	38	39	40	41	42	43	44			
B12	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	
B1/4	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59
Skruvhålsdiameter [mm]												

Fig.C53. Nomogram för bestämning av håldiameter och åtdragningsmoment.

Vid Förfarande 1 och 2 utförs kontroll av teoretiskt bestämd håldiameter lämpligen genom provborrning med åtföljande åtdragning till brott. Brottet utbildas antingen genom att gängan eller skruvskaftet vrids sönder.

I det fall skruvbrott erhålles och de ovan angivna kraven på skruvens montage ej uppfylls vid nominellt åtdragningsmoment ökas borrdimension i steg om 1/10 mm tills kraven uppfylls.

Sker gängbrott vid ett åtdragningsmoment som understiger det dubbla nominella minskas borrdimension i steg om 1/10 mm tills så ej längre sker.

Sker däremot gängbrott vid ett åtdragningsmoment som överskrider det dubbla nominella erfordras ingen ytterligare provborrning så länge kraven på skruvens montage enligt ovan uppfylls vid det nominella åtdragningsmomentet. I de fall kraven inte uppfylls ökas borrdimensionen i steg om 1/10 mm tills så sker.

Montage utförs härefter med borrdimension bestämd enligt ovan samt nominellt åtdragningsmoment.

#### Montageparametrar:

##### Förfarande 1:

Bestämning av håldiametern och åtdragningsmomentet enligt fig. C 53 sker på följande sätt (jfr. även "tillämpningsnyckel"):

Fall 1: Lika tjocka plåtar i enkelt överlappsförband.

- a) Med plåttjockleken  $t$  som ingångsvärde och för aktuell materialhållfasthet  $\sigma_B$  erhålls ett bestämt värde i vertikalled som avsättes på högra kanten av det vänstra diagrammet.
- b) Från denna punkt dras två linjer: den ena till den aktuella skruvdimensionens maximalvärde i högra diagrammets vänstra kant och den andra genom punkten på vridmomentaxeln ( $M_V$ ) som motsvarar det tillåtna vridmomentet fram till högra diagrammets vänstra kant.

Den linje som på momentaxeln ger lägsta värdet  $M_V$  motsvarar tillåtet åtdragningsmoment.



- c) Om den först nämnda linjen ger dimensionerande åtdragningsmoment avläses håldiametern vid  $(\phi - d_k) = P$  för respektive skruvdimension.

Om den sist nämnda linjen ger dimensionerande åtdragningsmoment dras en horisontell linje från skärningspunkten vid högra diagrammets vänstra kant till kurvan för aktuell skruvdimension. En vertikal linje från denna skärningspunkt ger i tabellen till aktuell skruvdimension hörande skruvhålsdiameter.

Fall 2: Förband med olika plåttjocklekar och materialhållfasthet.

- a) Ett viktat värde på materialhållfasthet beräknas enligt

$$\sigma_B^* = \frac{\sigma_{B1} \cdot t_1 + \sigma_{B2} \cdot t_2}{t_1 + t_2} \quad [\text{kp/mm}^2]$$

- b) Ett medelvärde på plåttjockleken beräknas enligt

$$t^* = \frac{t_1 + t_2}{2} \quad [\text{mm}]$$

- c) Med utgångspunkt från  $t^*$  och  $\sigma_B^*$  bestäms håldiametern  $\phi^*$  på samma sätt som ovan.

- d) Den på detta sätt erhållna håldiametern  $\phi^*$  korrigeras till

$$\phi = \phi^* + 0,03 \cdot \frac{t_1}{t_2}, \text{ varvid } t_1 > t_2.$$

Skulle enligt pkt b) erhållas  $t^* > 3$  mm används som ingångsvärden

$$t^* = 3,0 \text{ mm}$$

och

$$\bar{\sigma}_B^* = \sigma_B^* \left( \frac{0,24 t^{*2} + 0,09}{2,25} \right)$$

Fall 3: Plåttjockleken  $t$  är större än diagrammets användningsområde.

- a) Håldiametern väljs som det största i tabellen angivet värde för aktuell skruvdimension.
- b) Inskruvningsförsök med åtdragningsmoment  $M_V = \frac{M_{BV}}{2}$  utförs varvid monteringsmöjligheten bedöms.

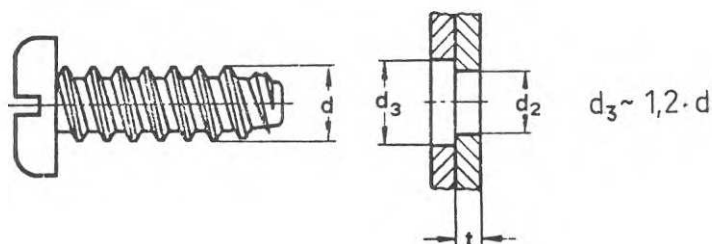
Anm.: Vanligen kan ej skruv med diameter mindre än 1/4" inte monteras tillfredsställande i plåt som faller utanför beräkningsdiagrammet.

Beräkningsdiagrammet är tillämbart för såväl stål- som aluminiumplåt. Provåtdragning på arbetsplatsen med aktuella plåtar och åtdragningsverktyg rekommenderas i varje fall.

#### Förfarande 2:

Riktvärden för storleken på skruvhål anges i svensk standard SMS 1523. Bortsett från några ändringar och tillägg återger tabell 13 denna standard. Värden på åtdragningsmoment har grundats på en minsta vridbrotthållfasthet enligt fig. C6 avsnitt C2. Linjär interpolation med avseende på aktuell materialhållfasthet är tillåten.

Tabell 13: Riktvärden för håldiameter och åtdragningsmoment vid montering enligt Förfarande 2.



Skruvbe- teckning	Plåttjocklek t [mm]	$d_2$ [mm]/ $M_V$ [kpcm]	$d_2$ [mm]/ $M_V$ [kpcm]	$d_2$ [mm]/ $M_V$ [kpcm]
		för $\sigma_B = 20 \text{ kp/mm}^2$	för $\sigma_B = 35 \text{ kp/mm}^2$	för $\sigma_B = 45 \text{ kp/mm}^2$
B 6 (d = 3,6)	0,5	2,6/2	2,6/4	2,6/5
	0,8	2,6/4	2,6/6	2,6/8
	1,0	2,6/5	2,6/9	2,6/12
	1,2	2,6/6	2,6/12	2,6/14
B 8 (d = 4,2)	0,5	3,1/3	3,1/6	3,1/8
	0,8	3,1/6	3,1/10	3,1/13
	1,0	3,1/8	3,1/13	3,1/17
	1,3	3,1/12	3,1/20	3,2/23
	1,5	3,1/15	3,2/23	3,3/23
	2,0	3,1/23	3,4/23	3,5/23
B 10 (d = 4,8)	0,5	3,6/5	3,6/8	3,6/10
	0,8	3,6/8	3,6/14	3,6/17
	1,0	3,6/11	3,6/19	3,6/25
	1,3	3,6/16	3,6/29	3,7/33
	1,5	3,6/21	3,7/33	3,8/33
	2,0	3,6/33	4,0/33	4,1/33
B 12 (d = 5,5)	0,5	4,2/7	4,2/12	4,2/15
	0,8	4,2/12	4,2/21	4,2/25
	1,0	4,2/15	4,2/28	4,2/35
	1,3	4,2/24	4,2/40	4,2/51
	1,5	4,2/30	4,2/51	4,4/51
	2,0	4,2/50	4,5/51	4,7/51
	2,5	4,5/51	4,8/51	4,8/51
B 1/4 (d = 6,3)	0,5	4,9/9	4,9/16	4,9/22
	0,8	4,9/16	4,9/29	4,9/35
	1,0	4,9/23	4,9/39	4,9/48
	1,3	4,9/33	4,9/58	4,9/74
	1,5	4,9/40	4,9/72	5,1/82
	2,0	4,9/70	5,2/82	5,4/82
	2,5	5,2/82	5,5/82	5,6/82
	3,0	5,4/82	5,6/82	5,7/82

Förfarande 3:

Förfarandet har största aktualitet vid självborrande skruv mycket beroende på de relativt höga axialtryck som erfordras under borrhningen. I fig. C 54 visas vad som sker om förbandsdelarna ej nöjaktigt sammanhålls när skruven monteras. I det i figuren visade skedet D förstörs gängan i den övre plåten. Svårigheten ligger i att bestämma det moment vid vilket åtdragningen skall stoppas. För självborrande skruv dessutom att tillse att inte spånbildning förhindrar sammandragningen av plåtarna. Ett för högt moment resulterar i att gängan i den undre plåten förstörs vilket ej tillåts. Av fig. C 55 framgår hur de olika momentstorheterna kan variera med håldiametern. Erforderligt moment är att söka inom det streckade området. För att montaget ej skall bli alltför komplicerat bör val av skruv och utformning av förband ske så att skillnaden  $M_u - M_o$  får godtagbar storlek. Momentet  $M_o$  påverkas förutom av plåttjockleken även av gängutloppets utseende och höjd. Ett till den övre plåten anpassat gängutlopp innebär att kravet på precisionen vid åtdragningen kan sänkas.

Lämpligt åtdragningsmoment är

$$M_v = \frac{M_u + M_o}{2}$$

Skruven måste också uppfylla följande krav vad gäller vridbrottmomentet  $M_{BV}$ .

$$M_{BV} > 2 M_v$$

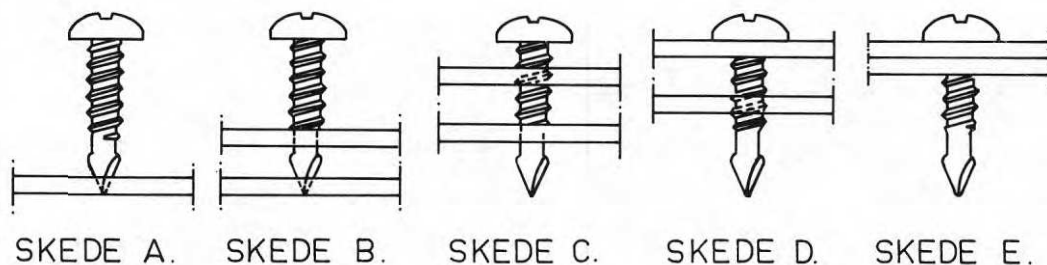


Fig.C54. Olika skeden vid montering av skruv där förbandsdelarna ej nöjaktigt sammanhålls.

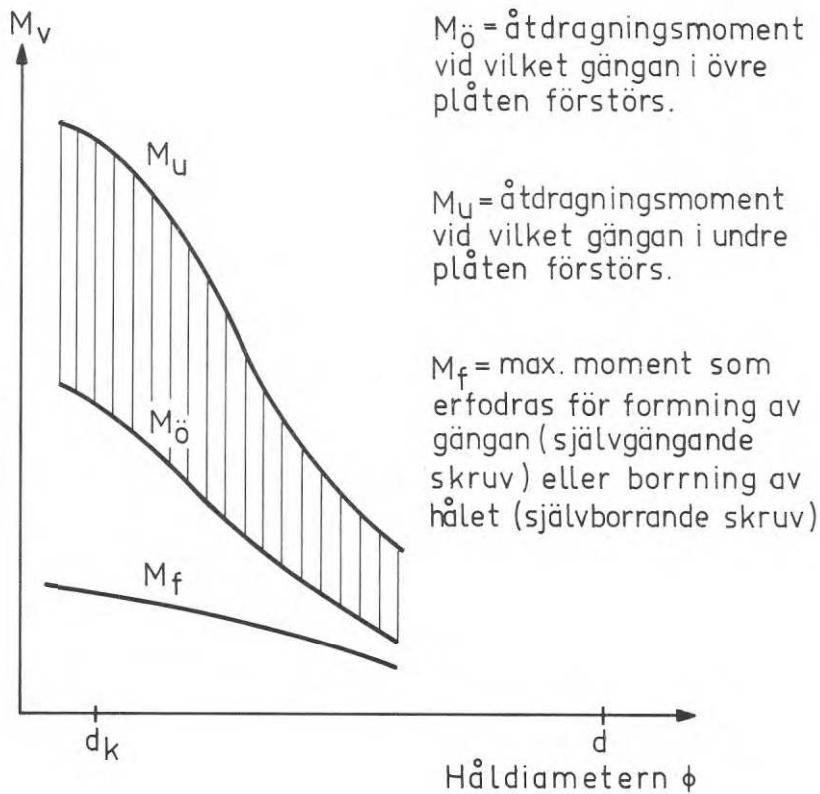


Fig.C55. Några olika momentstorheters variation med håldiametern.

#### 6.4 Applicering av skruvar

Applicering av skruvar sker med tryckluft- eller eldrivet monteringsverktyg (exv. handborrmaskin) med mekanisk momenturkopplare, avsedd att begränsa vridmomentet till ett för aktuell skruvtyp acceptabelt värde. Vridmomentets storlek bestäms enligt något av de förfaranden som anges i avsnitt 6.3.

Monteringsverktyget kalibreras med avseende på momenturkopplingen. Kalibreringen bör upprepas med jämna mellanrum.

#### 6.5 Kontroll av skruvförband

Under avsnitt 6.3 angivna utförandekrav indikera att en okulär kontroll kompletterad med stickprovsvis kontrollåtdragning av monterade skruvar som regel avslöjar utförandefel. Härvid kan skiljas mellan slumpvis förekommande fel på grund av exv. snedställning av monteringsverktyget och systematiska fel på grund av olämplig håldiameter.

I det förra fallet är anläggningen av skruvhuvudet otillfredsställande medan i det senare fallet normalt ett glapp mellan skruvhuvud och övre plåt alternativt plåtarnas gängor förstörts innan det nominella åtdragningsmomentet uppnåtts. Vid kontrollåtdragning av monterade skruvar skall skruven ej röra sig när det nominella åtdragningsmomentet anbringas.

Enstaka fel enligt ovanstående kräver bättring endast om förbandet utgörs av ett fåtal skruvar. Sådan bättring kan ske genom uppborring av skruven och ersättning med sådan av större diameter eller - enklare - genom att förbandet kompletteras.

Föreligger däremot ett systematiskt fel av den senare typen erfordras en komplett ersättning av förbandet. Detta krav indikerar nödvändigheten att noggrant kartlägga rätt borrhålsdiameter i enlighet med anvisningarna under avsnitt 6.3.

## 6.6 Förbandsutformning

För att undvika fläkpåkänningar vid skruvförband gäller i huvudsak vad som anges för nitförband i avsnitt 6.5. De främsta avdelningarna till att nämnda påkänningsform bör undvikas är gängornas ringa motstånd mot genomdragning samt svårigheten att uppskatta den last vid vilken plåten deformerar (veckbildning).

I de fall skruv blir belastad i axiell riktning bör följande beaktas;

- skruvhuvudet ligger an mot förbandets tunnare plåt
- lasten förs in så nära skruven som möjligt
- plåtmutter eller förstärkningsskena placeras på förbandets baksida vid tunn bakre plåt.

Vid förband som i huvudsak utnyttjas som skjuvförband väljs normalt utförandetyper enligt fig. C 56.

- skruvtyp och skruvdiameter väljs med hänsyn till aktuell plåttjocklek och belastning
- vid förband med 3 plåtar borraras lämpligen genomgångshål i mellanplåten medan de övriga två samborras

- kant- och radavstånd väljs till 3 - 6 gånger skruvdiametern
- vid flera skruvrader för undvikande av överlagrade spänningskoncentrationer om möjligt "förskjuten" skruvbild tillämpas
- antalet skruvar i rad parallellt med kraftriktningen begränsas till sex
- i möjlig mån utformas symmetriska förband
- skruvhuvudet förläggs mot förbandets tunnare plåt
- erforderligt utrymme för borring och åtdragningsverktyg står till förfogande.

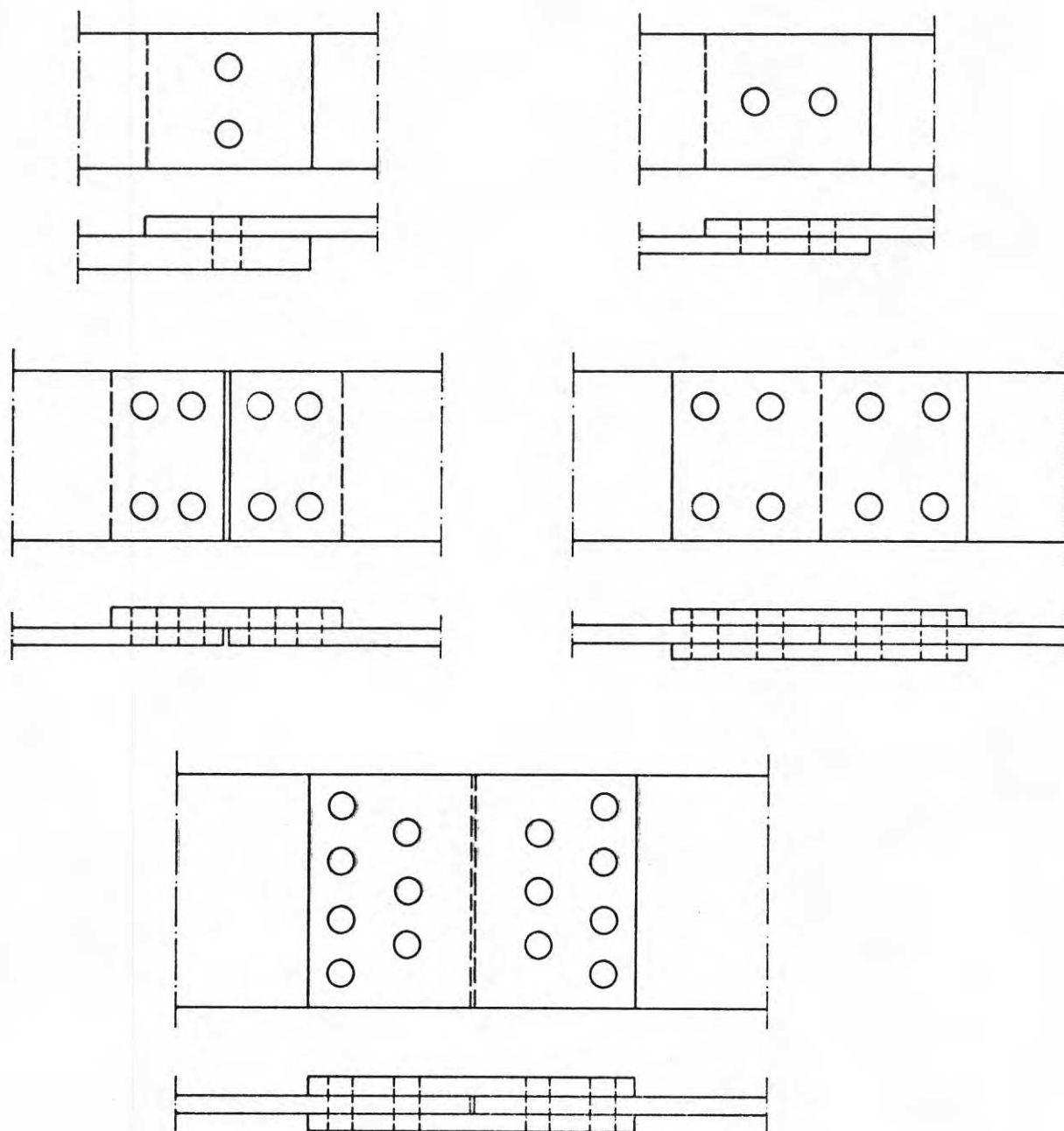


Fig.C56. Typexempel på överlappsförband.



C7. LITTERATUR

- 1 Undersökning av utdragshållfasthet för Tuff-Tite skruv.  
Opublicerad försöksrapport U 73, 1966. Undersökningen utförd vid Domnarfvets Jernverk i samarbete med Tekn. dr Arne Johnson Ingenjörbyrå.
- 2 Undersökning av utdragshållfasthet för Tuff-Tite skruv.  
Opublicerad försöksrapport U 111, 1966. Undersökningen utförd vid Domnarfvets Jernverk i samarbete med Tekn. dr Arne Johnson Ingenjörbyrå.
- 3 Undersökning av utdrags-, fläk- och skjuvhållfasthet för skruvförband i Dogalplåt. Opublicerad försöksrapport U 34, 1967. Undersökningen utförd vid Domnarfvets Jernverk i samarbete med Tekn. dr Arne Johnson Ingenjörbyrå.
- 4 Utredning om fästdon för trp 20, trp 40, trp 65 och trp 100.  
Opublicerad försöksrapport nr 1 1967. Utredningen utförd på uppdrag av AB Svenska Metallverken vid Byggkonsult Västerås AB.
- 5 Utredning om fästdon för trp 20, trp 40, trp 65 och trp 100.  
Opublicerad försöksrapport nr 2 1968. Utredningen utförd på uppdrag av AB Svenska Metallverken vid Byggkonsult Västerås AB.
- 6 Undersökning av utdrags- och tvärkraftshållfasthet för Drivskruv.  
Opublicerad försöksrapport. Undersökningen utförd vid Bultfabriks AB, Hallstahammar, 1968.
- 7 Undersökning av utdrags- och tvärkraftshållfasthet för tätningsskruv BTS-B 1/4. Opublicerad försöksrapport. Undersökningen utförd vid Bultfabriks AB, Hallstahammar, 1968.
- 8 Undersökning av utdrags- och tvärkraftshållfasthet för tätningsskruv Å2 - TS B 1/4. Opublicerad försöksrapport. Undersökningen utförd vid Bultfabriks AB, Hallstahammar, 1968.

- 9 Undersökning av borrhålsdimension och åtdragningsmoment för Staps 300. Opublicerad försöksrapport. Undersökningen utförd på uppdrag av United shoe machinery company AB vid Byggkonsult Västerås AB, 1969.
- 10 Undersökning av skär- och utdragshållfasthet hos förband med Staps 300. Opublicerad försöksrapport. Undersökningen utförd på uppdrag av United shoe machinery company AB vid Byggkonsult Västerås AB, 1969.
- 11 Provning av GKN-SELA fästdon. Opublicerad försöksrapport. Undersökningen utförd på uppdrag av The British screw company ltd vid Tekn. dr Arne Johnson Ingenjörbyrå, 1970.
- 12 Smith R. Mechanical fasteners for sheet metal. Sheet metal industries (41), 1964.
- 13 Assembly, directory and handbook 1966. Hitchcock publication.
- 14 Machine design. Fastening and joining reference issue. Volume 39 (14), 1967.
- 15 Bultens handbok del 1 artiklar. Bultfabriks AB, Hallstahammar, 1967.
- 16 Bultens handbok del 2 gängor. Bultfabriks AB, Hallstahammar, 1967.
- 17 Bultens handbok del 3 produkter. Bultfabriks AB, Hallstahammar, 1967.
- 18 Grossberndt. H., Kayser. H. Blechschaubey handbuch, Essen 1968.
- 19 Provisoriska anvisningar för val av fästdetaljer till profilerad plåt - Plannja Profil. Norrbottens Järnverk AB 1968.

- 20 Military handbook. Metallic materials and elements for aerospace vehicle structures. Dec. 1968.
- 21 Fasteners handbook. Design engineering series. Morgan-Grampian (Publishers) Ltd, 1969.
- 22 Cullimore, M.S.G. Thin walled steel structures, Crosby, Lockwood and son, 1969.
- 23 USA standard B.18.6.3 - 1962
- 24 USA standard B.18.13 - 1965
- 25 USA standard B.18.6.4 - 1966
- 26 British standard BS 4174: 1967
- 27 SMS 1519
- 28 SMS 1523
- 29 SMS 1549
- 30 SMS 1636
- 31 SMS 1638
- 32 SMS 1757
- 33 SMS 1759
- 34 SMS 1927 - 1931

C8. BETECKNINGAR

$F$	= tvärlast	[kp]
$F_S$	= flytlast	[kp]
$F_B$	= brottlast	[kp]
$F_{BS}$	= brottlast m.a.p. skjuvbrott	[kp]
$F_{BSN}$	= - " - " snedställningsbrott	[kp]
$F_{BH}$	= - " - " hålkantflytning	[kp]
$F_{BK}$	= - " - " kantbrott	[kp]
$F_{B(korr)}$	= korrigerad brottlast	[kp]
$s_g$	= lastfaktor	
$\psi$	= korrektionsfaktor	
$F_{till}$	= tillåten tvärlast	[kp]
$P$	= last vinkelrät mot plåtplanet	[kp]
$P_I$	= brottlast m.a.p. plåtvikningsbrott	[kp]
$P_{II}$	= - " - " utdragsbrott	[kp]
$P_{III}$	= - " - " överdragsbrott	[kp]
$P_{IV}$	= - " - " skaftbrott	[kp]
$P_V$	= - " - " stansbrott	[kp]
$P_{VI}$	= - " - " deformations- eller avdragsbrott	[kp]
$s$	= lastfaktor	
$P_{till}$	= tillåten last vinkelrät mot plåtplanet	[kp]
$\delta$	= förskjutning mellan förbandsdelar	[mm]
$t$	= plåttjocklek	[mm]
$t_1$	= i förband ingående tjockare plåt	[mm]
$t_2$	= i förband ingående tunnaste plåt	[mm]
$d$	= skruvs skaftdiameter	[mm]
$d_k$	= skruvs kärndiameter	[mm]
$\emptyset$	= håldiameter	[mm]

$A_n$	= plåts tvärsnittsyta	$[\text{mm}^2]$
$A_s$	= skruvs spänningsarea	$[\text{mm}^2]$
$A_k$	= skruvs kärnarea	$[\text{mm}^2]$
$n$	= antal skruvar i rad	
$e$	= kantavstånd	$[\text{mm}]$
$\sigma_s$	= sträckgränsspänning	$[\text{kp}/\text{mm}^2]$
$\sigma_B$	= brottgränsspänning	$[\text{kp}/\text{mm}^2]$
$\tau_B$	= skjuvbrottspänning	$[\text{kp}/\text{mm}^2]$
$\sigma_{\text{till}}$	= tillåten plåtspänning	$[\text{kp}/\text{mm}^2]$
$M_V$	= vridmoment	$[\text{kpcm}]$
$M_{BV}$	= vridbrottmoment	$[\text{kpcm}]$
$M_{V_{\text{till}}}$	= tillåtet vridmoment	$[\text{kpcm}]$
$\varphi$	= vridningsvinkel	$[\text{grader}]$

## D. MOTSTÅNDSSVETSNING

### D1. INLEDNING

Bland olika svetsförfaranden utgör motståndssvetsning den vid tunnplåtkonstruktioner dominerande fogningsmetoden, speciellt vid serietillverkning av konstruktionsdetaljer. Härvid tilldrar sig punkt- och sömsvetsning det största intresset för plåtpaneler i byggnadsteknisk användning medan press-, stuk- och brännsvetsning kan betraktas som perifera svetsmetoder.

Föreliggande undersökningar avser punktsvetsning vid tunnplåt inom tjockleksområdet 0,5 - 3,0 mm hos enskild förbandsdel.

En modifiering av punktsvetsmetoden i syfte att rationalisera tillverkningen eller öka verkningsgraden leder till speciella metoder som serie-, sömpunkt- och impulspunktsvetsning samt svetsning med energiurladdning. Nedan refererade undersökningar baseras på konventionell svetspunktframställning; vid tillämpning av resultaten i samband med nämnda specialmetoder bör hänsyn tas till metodknutna specifika svetsegenskaper.

Användningen av punktsvetsförband i kraftupptagande konstruktions-element är bunden till förutsättningen att tryckstyrda aggregat med tidkontroll (s k svetsvakt) används. Till förfogande för svetspunktutförandet står dels stationära aggregat med trycksystem av tryckfjäder eller pneumatiska resp. hydrauliska cylindrar samt dels punktsvetstänger av sax-, C- eller pistoltyp varvid presstrycket av tängerna framkallas på pneumatisk eller hydraulisk väg.

Rätt avvägda svetsdata i kombination med rena och jämna förbandsytor ger förband med jämn kvalitet och liten spridning av hållfasthetsvärden. Som fördelar med punktsvetsning skall vidare nämnas att svetsresultat vid innehållande av dessa krav blir praktiskt oberoende av operatörens skicklighet. Avsaknaden av tillsatsmaterial samt hög tillverkningshastighet medför en låg kostnad per enhet lastupptagande föråga.

Medan hållfasthetsegenskaperna hos punktsvetsförband av ren stålplåt med låg kolhalt är relativt väl dokumenterade i litteraturen, har motsvarande underlag för högvärdigt stål respektive varmförzinkat material varit tämligen begränsat. Nedanstående teoretiska och experimentella undersökningar omfattar såväl valsblankt som varmförzinkat material.

För aluminiumplåt är erforderliga svetsdata och resulterande hållfasthetsegenskaper väl dokumenterade. Speciella undersökningar har emellertid ej utförts. Återgivna regler för dimensionering, utförande och kontroll är dock i princip tillämpliga även för punktsvetsförband av aluminiumlegeringar.

## D2. METODBESKRIVNING

Motståndspunktsvetsning innebär att ytmolekylerna i två kroppar punktvis bringas så nära varandra att kraftutbyte dem emellan kan ske. Den nära kontakten försvåras om ytorna beläggs av oxider, gaser eller föroreningar av något slag. I vissa fall fordras för att fullgott svetsresultat skall erhållas en kemisk eller mekanisk rengöring, medan i andra fall den förgasning eller förbränning som sker under svetsförloppet är tillräcklig.

Av fig. D1 framgår en punktsvetsmaskins principiella utformning.

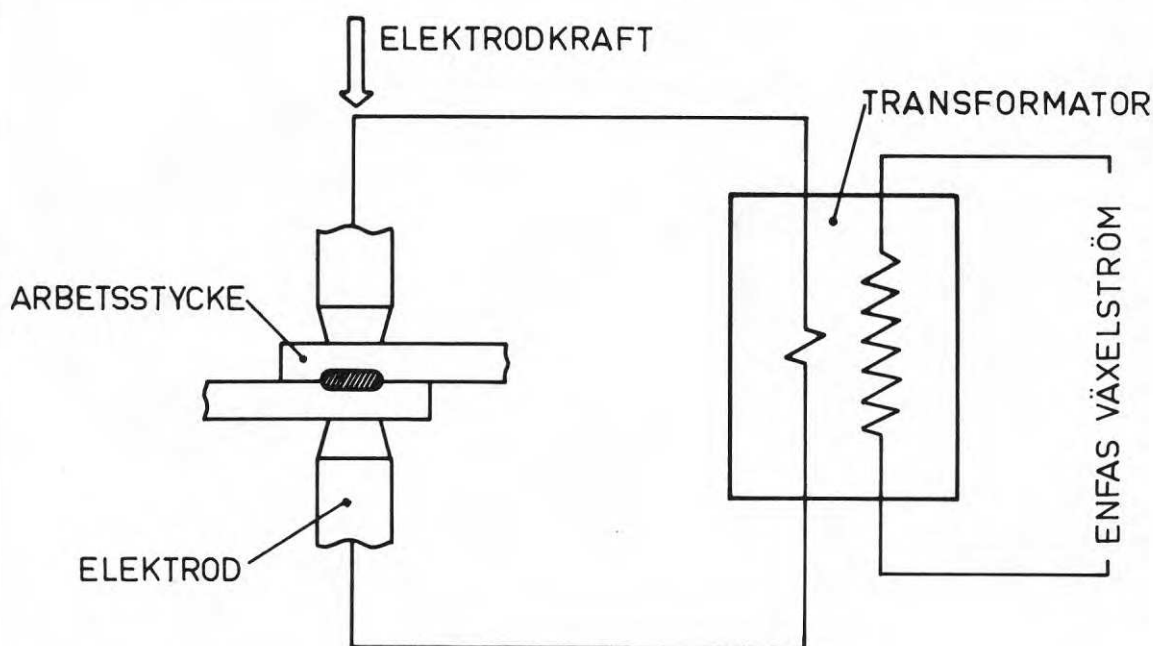


Fig.D1. Punktsvetsmaskins principiella utformning.

Svetsmaskinens uppgift är att leda svetsströmmen till svetsstället samt att anbringa erforderligt tryck. Trycket alstras pneumatiskt, magnetiskt, hydrauliskt eller mekaniskt och överförs till fogdelarna via elektroderna. Transformatorns primärlindning ansluts vanligen till en fas av växelströmsnätet.

Strömstyrkans och elektrodkraftens principiella variation under en arbetscykel framgår av fig. D2.



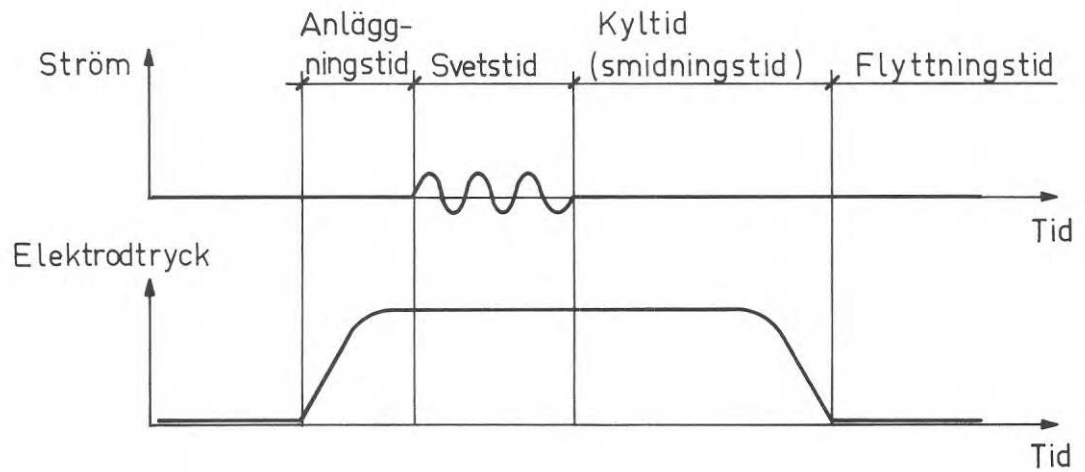


Fig.D2. Olika skeden under en arbetscykel.

De för svetsförloppet, svetspunktens utseende och hållfasthets-egenskaper viktigaste variablerna är: strömstyrka, svetstid, elektrodkraft, elektrodpetsutformning och diameter. Variablerna behandlas närmare i avsnitt D3.

### D3. HUR OLIKA SVETS Variabler PÅVERKAR SVETSFÖRLOPPET, SVETSPUNKTENS UTSEENDE OCH HÅLLFASTHETSEGENSKAPER

Motståndspunktsvetsning kan utföras inom vanligen mycket stora intervall vad gäller valet av svetsvariabler. En förutsättning är emellertid att de olika variablerna står i vissa förhållanden till varandra. Grund för diskussionen om de olika variablernas inverkan utgör i första hand ett antal i litteraturen förekommande rekommendationer samt det nedan redovisade energibegreppet.

#### 3.1 Svetsenergibegreppet

Vid motståndspunktsvetsning kan den inom svetsområdet utvecklade energin  $Q$  uttryckas:

$$Q = I^2RS$$

varvid

$Q$  = energi (ws)

$I$  = effektiv strömstyrka (amp)

$R$  = motstånd (ohm)

$S$  = tid (sek)

Av energin åtgår endast en mindre del till uppvärmning och smältning av metall inom svetsområdet medan en större del går förlorad genom värmeledning till omgivningen. Som framgår av fig. D3 avgår mest värme till elektroderna vilket bero på att de effektivt avkyls med vatten.

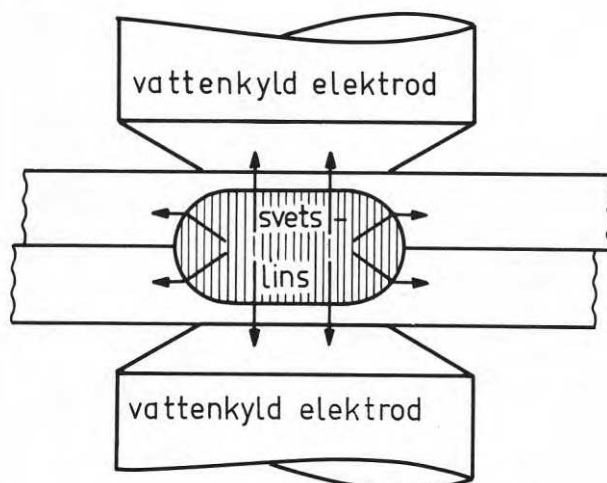


Fig.D3. Värmeflöden från en punktsvets.

Vattenkyllningen medför att plåtarnas ytterytor, som framgår av fig. D4, får en avsevärt lägre temperatur än innerytorna.

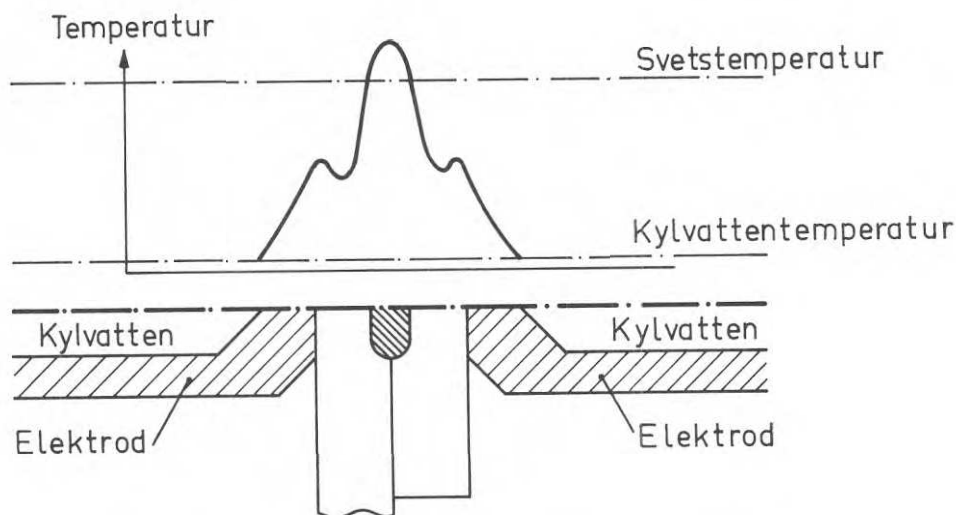


Fig.D4. Temperaturkurva för ett tvärsnitt genom arbetsstycket vid svetsförloppets slut.

Detta förhållande är en förutsättning för att elektroderna inte skall klibba fast i ytterytorna eller deformeras och därmed få kraftigt minskad livslängd.

Den totala utvecklade energin är med vissa förbehåll ett mått på svetslinsens storlek därigenom att så länge stationära värmeströmningsförhållanden ej uppnåtts, svetslinsens storlek ökar med ökad svetsenergi. En ökning av svetslinsens storlek innebär att såväl inträngning som diameter i skjuvplanet ökar.

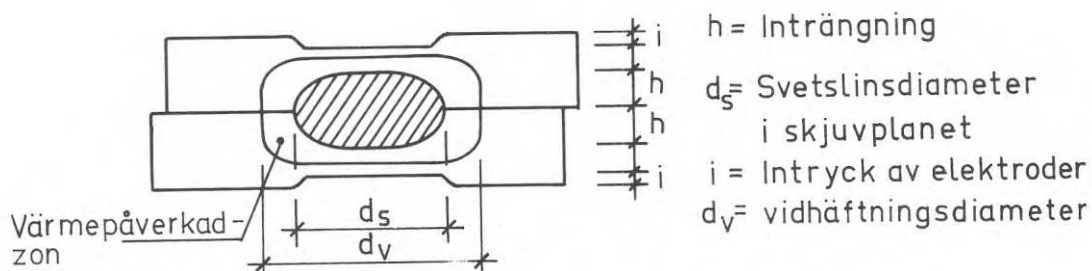


Fig.D5. Punktsvetsbeteckningar.

Ökningen medför normalt att skjuvbrottlasten höjs.

Plåtarnas värmekapacitet bero på dess tjocklek, varför svetsenergin måste ökas med plåttjockleken. I fig. D6 har kvoten

$$\frac{Q}{R} = I^2 \cdot S$$

tecknats som funktion av plåttjockleken. Kurvorna är baserade på i ett antal referenser rekommenderade värden på strömstyrka och tid. Som framgår kan svetsning utföras inom en stor intervall med avseende på svetsenergin under förutsättning att en anpassning av övriga variabler sker.

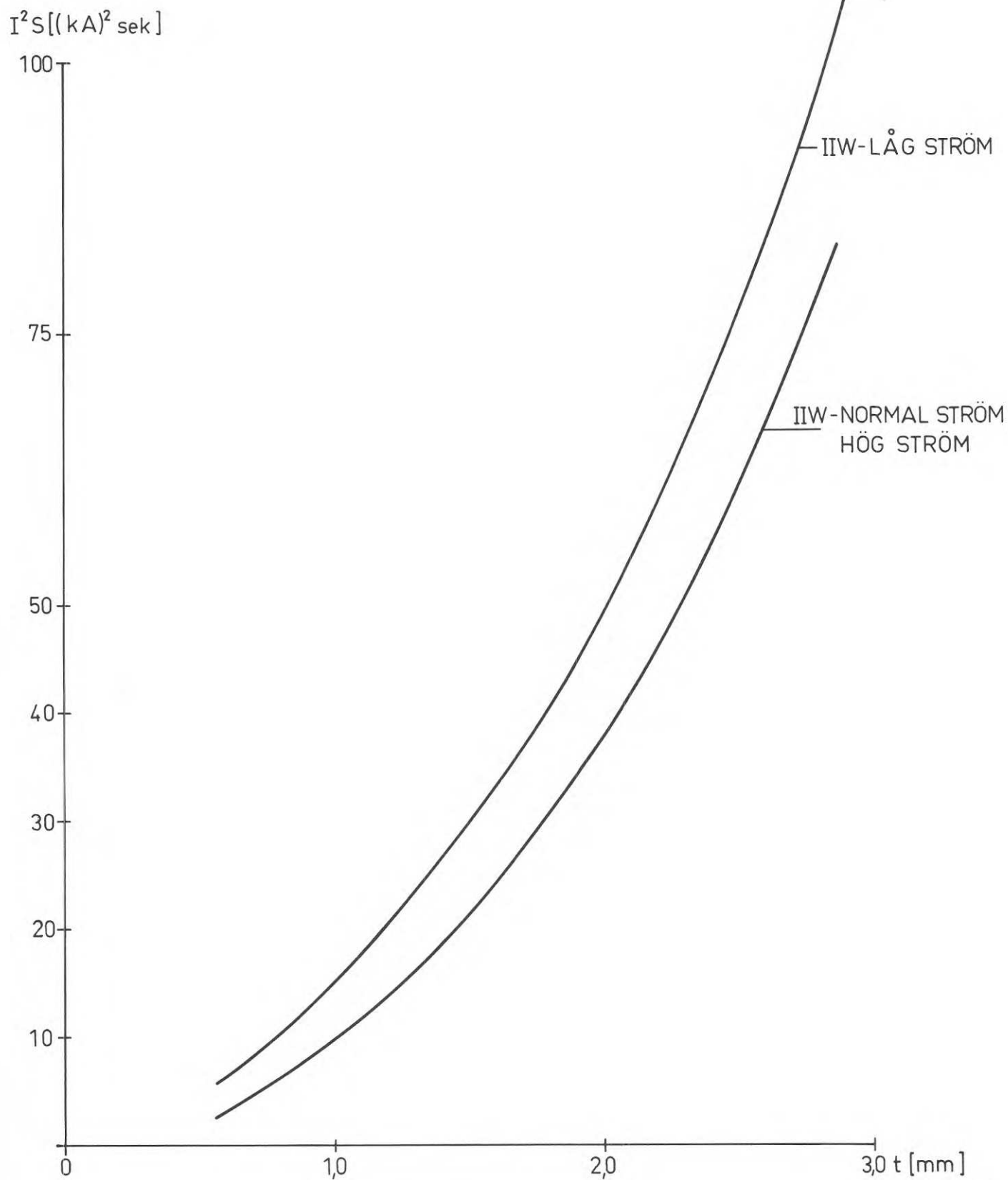


Fig.D6. Rekommenderade värden på  $I^2S$  som funktion av enkla plåttjockleken  $t$ . [6].

### 3.2 Svetsmotstånd

I svetsströmkretsen flyter en ström som är lika stor i varje punkt, varför det utvecklade värmets i punkten blir direkt proportionellt mot det elektriska motstånd i punkten. Följande motstånd är väsentliga för svetsförloppet:

- kontaktmotstånd mellan elektroder och arbetsstycke
- kontaktmotstånd mellan arbetsstyckets delar
- ledningsmotstånd i arbetsstycke

Kontaktmotstånden bestäms av ytskiktets tillstånd med avseende på jämnhet och eventuella beläggningar.

Arbetsstyckets ledningsmotstånd bero av arbetsstyckets tjocklek, samt metallens specifika motstånd.

Samtliga resistanser varierar under svetsförloppet enligt de principkurvor som visas i fig. D7.

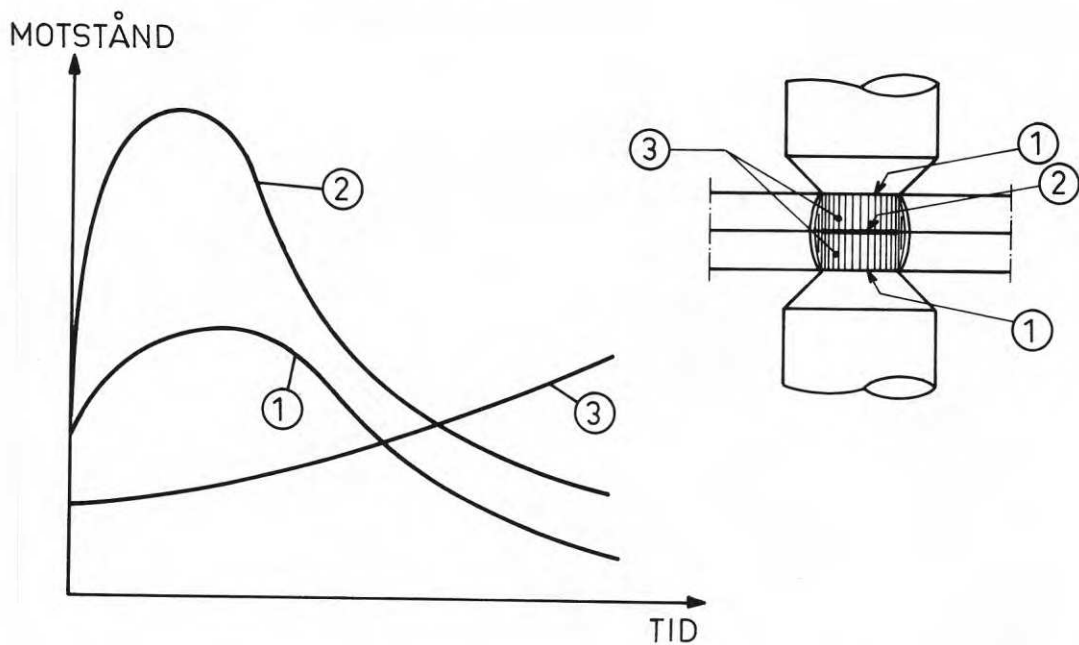


Fig.D7. Motståndens principiella variation under svetsförloppet.

Metallers resistans ökar med temperaturen vilket är anledning till den stigande kurvan för ledningsmotståndet. För kontaktmotstånden är den första branta stigningen att hänföra till temperaturökningen. Kontaktmotståndet har ett maximum alldeles innan kombinationen temperatur och tryck får materialet att flyta. Flytningen innebär att ojämnheter i kontaktytorna utjämnas och den effektiva kontaktytan därmed ökar. Ökningen medför att det elektriska motståndet minskar.

Kurvan påverkas i hög grad av elektrotrycket genom att ökat tryck medför en större effektiv kontaktyta. En höjning av elektrotrycket från ett visst val av svetsvariabler kräver således för att hålla svetsenergin konstant även en höjning av svetsströmmen. I enlighet härmed gäller även att vid minskat tryck en lägre svetsström kan användas.

Beroende på material och ytbeskaffenhet varierar kontaktmotstånden från fall till fall, varför svetsvariabler som rekommenderas endast skall betraktas som riktvärden. Optimala värden måste bestämmas genom provsvetsning med det aktuella materialet.

### 3.3 Strömstyrka

Det utvecklade värmets och därmed svetslinsens storlek är som framgår av avsnitt 3.1 starkt beroende av strömstyrkan. Med i övrigt konstanta variabler bestäms nedre och övre gränsen för strömstyrkan av att antingen ingen svets utbildas eller utstötning av smält material sker.

Under förutsättning att dessa gränser ej under- respektive överskrids medför, som framgår av fig. D8, en ökad svetsström en ökning av skjuvbrotthållfastheten under i övrigt konstanta förhållanden.

Av figuren framgår att för varje svetsström ett övre gränsvärde på skjuvbrotthållfastheten existerar, samt att en ytterligare förlängning av svetstiden över ett visst värde ger litet utbyte i form av ökad skjuvbrotthållfasthet. Figuren visar också att det inom vissa gränser är möjligt att bibehålla en viss skjuvbrotthållfasthet om en minskad strömstyrka kompenseras av en ökad svetstid.

Av fig. D9 framgår inom vilka intervall strömstyrkor vanligen rekommenderas. I fig. D 10 har strömintensiteten beräknats utgående från i referens [6] rekommenderad strömstyrka och elektrodspestdiameter.

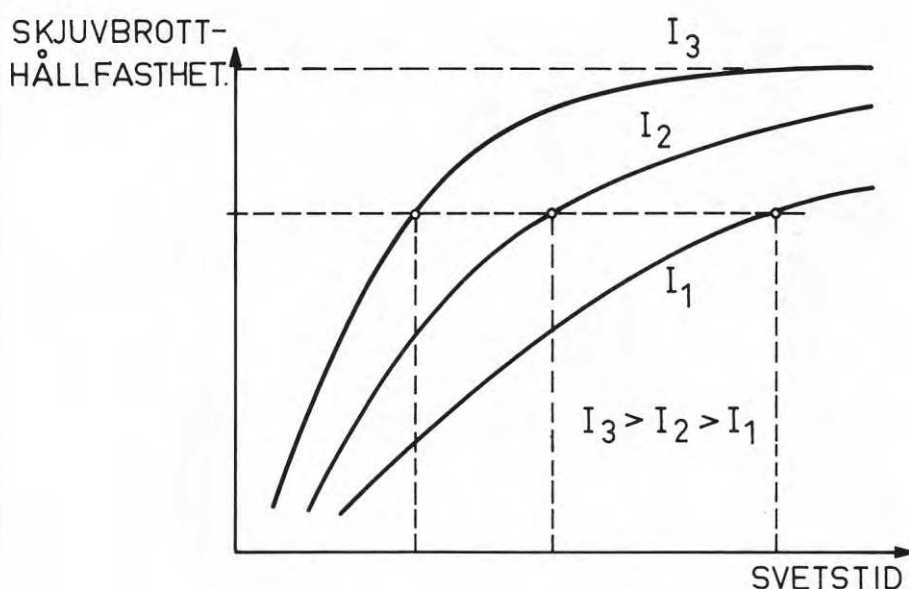


Fig.D8. Punktsvetsars principiella variation i skjuvbrotthållfasthet som funktion av svetstiden för några olika strömstyrkor.



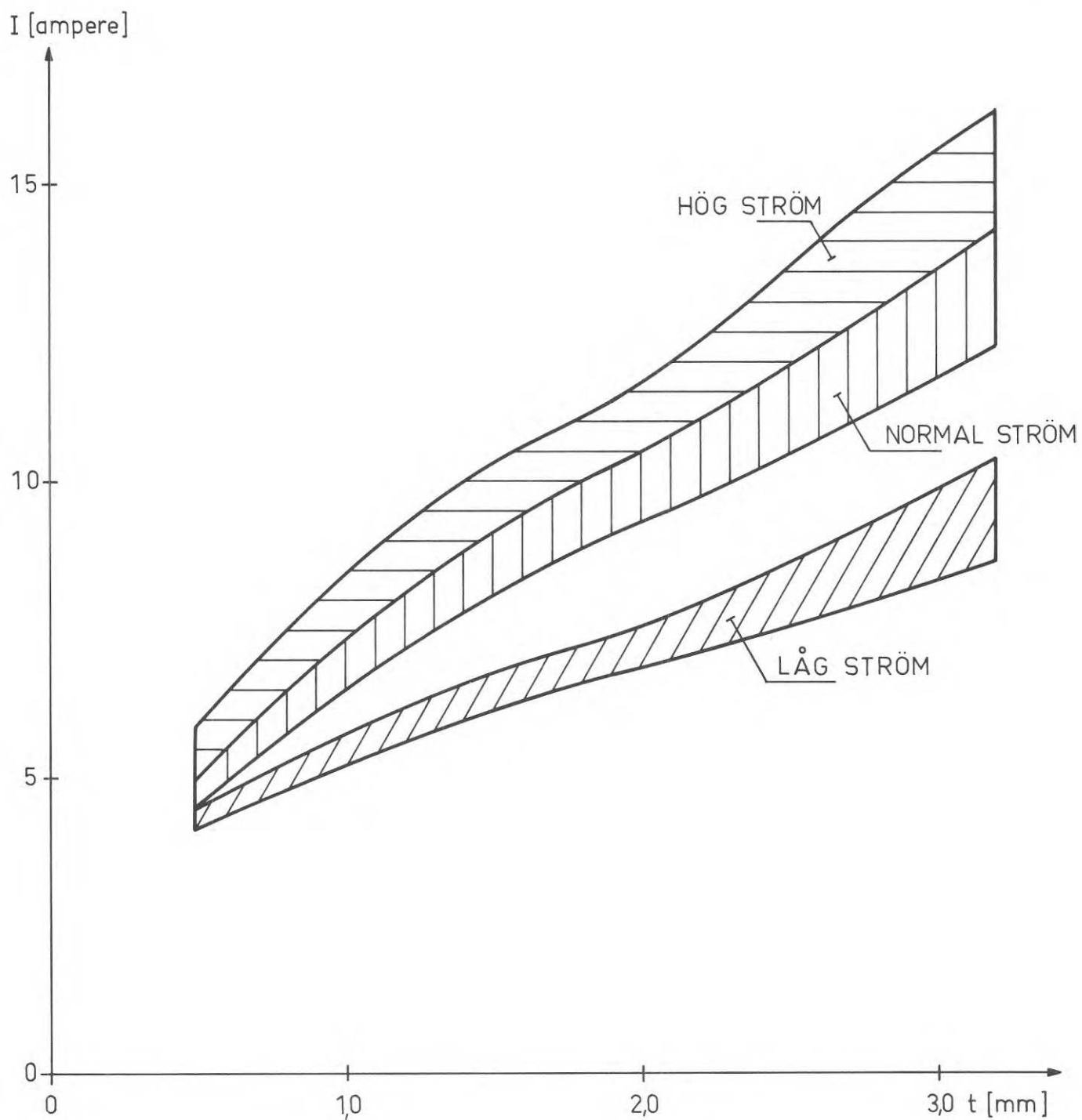


Fig.D9. Rekommenderade strömstyrkor  $I$  som funktion av enkla plåttjockleken  $t$ .

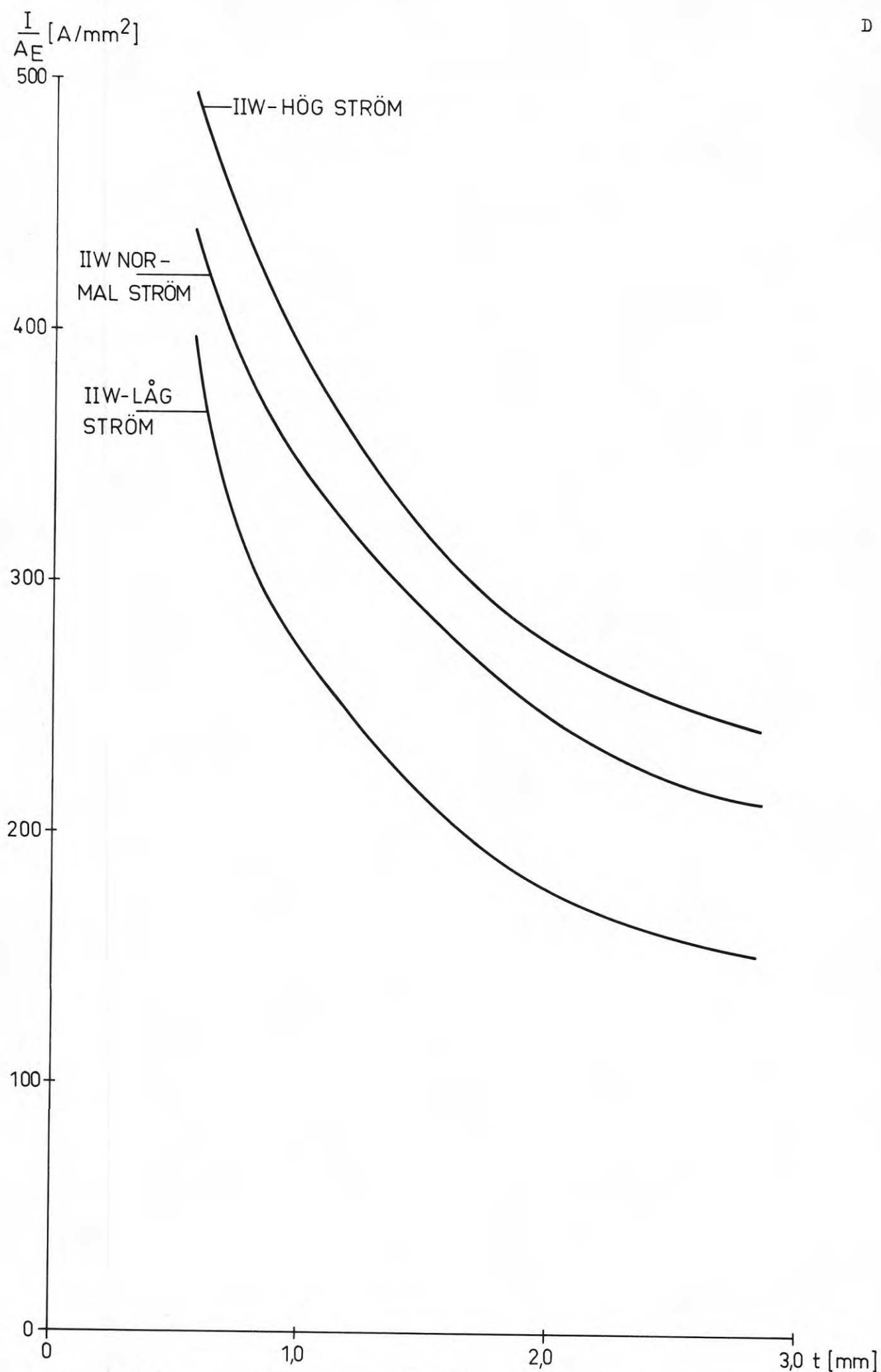


Fig.D10. Rekommenderad strömintensitet  $I/A_E$  som funktion av enkla plåttjockleken  $t$ . [6].

### 3.4 Svetstiden

Med svetstiden avses den tid under vilken ström flyter genom svetskretsen. Tiden inställes på en svetsvakt, som automatiskt kopplar in och ur svetsströmmen.

Av avsnitt 3.1 framgår tidens betydelse för svetsenergin och därmed svetslinsens storlek och skjuvbrotthållfasthet. Av det utvecklade värmets åtgår endast en mindre del för uppsmältning av metall. Den större delen leds bort genom elektroder och arbetsstycke och är att betrakta som värmeförluster. Storleken av dessa varierar med svetstiden på så sätt att en förlängning av densamma innebär ökade värmeförluster.

Skjuvbrotthållfasthetens principiella beroende av svetstiden illustreras i fig. D 11.

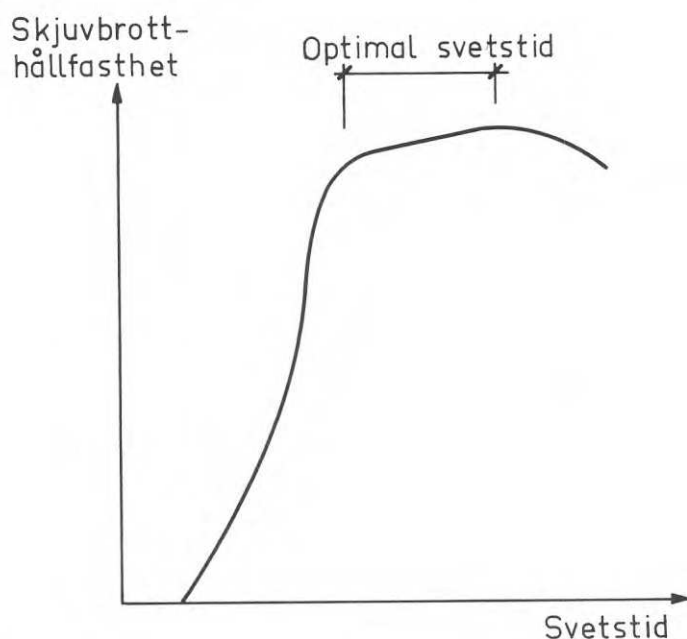


Fig.D11. Skjuvbrotthållfastheten som funktion av svetstiden.

Av figuren framgår att ingen svets utbildas vid mycket kort svetstid, dvs det tillförda värmets förmår inte smälta metallen. Med ökad svetstid sker därefter en snabb ökning i skjuvbrotthållfasthet. Inom detta område bör emellertid inte den valda svetstiden ligga med hänsyn till att små tidvariationer medför stora hållfasthetsvariationer. Vald tid bör istället ligga inom det därpå följande flacka partiet av kurvan som innebär att mindre tidsvariationer endast ger obetydlig ändring av skjuvbrotthållfastheten.

Vid alltför lång svetstid kommer temperaturen att bli så hög att material utstöts från svetsområdet. Dessutom blir den värmepåverkade zonen större. Båda dessa förhållanden ger upphov till minskad skjubrotthållfasthet. Lång svetstid innebär även att permanenta deformationer eller egenspanningar genom värmepåverkan tilltar.

Av avsnitt 3.3 framgår att det är möjligt att inom vissa gränser kompensera ökad eller minskad svetsström genom ändringar i svetstid. Det är emellertid inte möjligt att ge ett allmängiltigt samband för hur sådana ändringar skall utföras. Anledningen är värmeförlusternas variation med bland annat kylningsanordning och plåttjocklek. Av fig. D 12 framgår i ett antal referenser rekommenderade värden på svetstid.

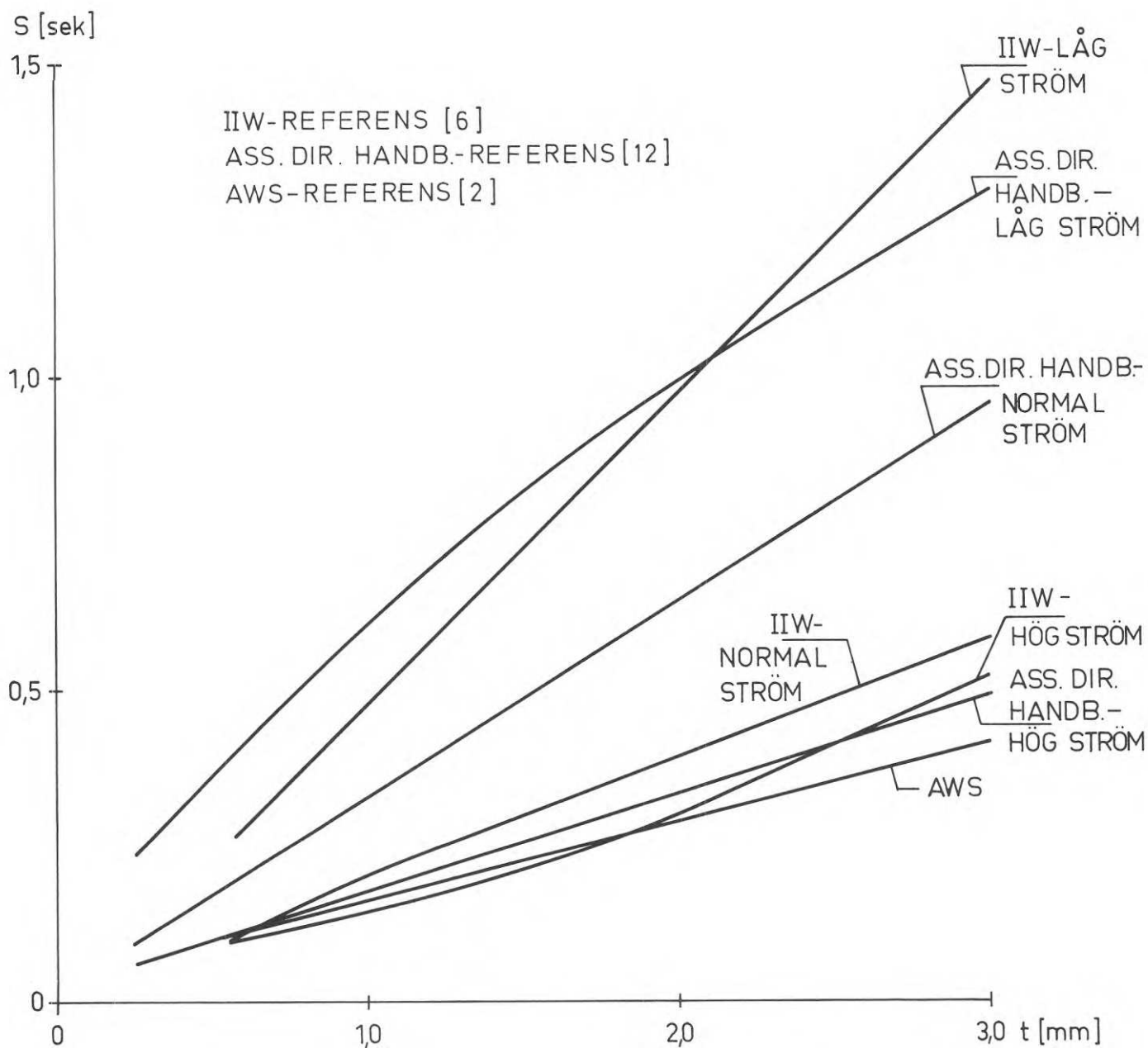


Fig.D12. Rekommenderade svetstider  $S$  som funktion av enkla plåttjockleken  $t$ .

### 3.5 Elektrodotryck

Elektrodotryckets viktigaste uppgift är att välla samman de uppsmälta svetszonerna. Elektrodotrycket bestämmer till viss del emellertid också svetsenergin genom att det påverkar kontaktmotstånden. Lågt elektrodotryck medför höga kontaktmotstånd och därmed hög svetsenergi. Antas grovt att svetsmotståndet är omvänt proportionellt mot elektrodotrycket, måste för att svetsenergin skall förbli oförändrad vid två olika val av variablerna  $I$  och  $E_T$  gälla:

$$\left[ \frac{I \textcircled{1}}{I \textcircled{2}} \right]^2 = \frac{E_T \textcircled{1}}{E_T \textcircled{2}}$$

Hög elektrodotkraft innebär oftast att, med bibehållet krav på skjuvbrotthållfastheten, ett friare val av strömstyrka och svetsstid kan göras. Förhållandet åskådliggörs för två olika elektrodotkrafter i fig. D 13.

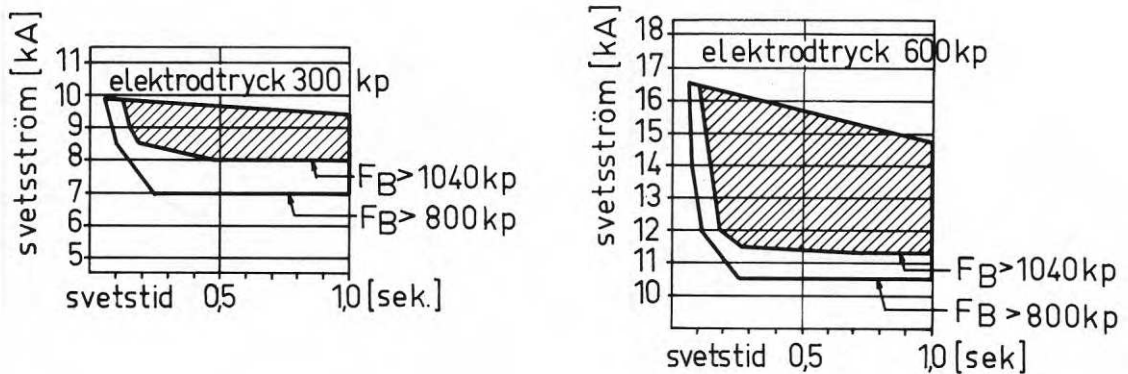


Fig.D13. Område för val av svetsström och svetsstid vid definierade hållfasthetskrav för två olika elektrodotryck.  $t = 1,5$ ;  $d_E = 7,5 \text{ mm}$ . [4].

De i figuren streckade ytorna kan sägas utgöra ett mått på svetsbarheten. Hur storleken på dessa ytor varierar med elektrodotkraften för olika krav på skjuvhållfastheten framgår av fig. D 14.

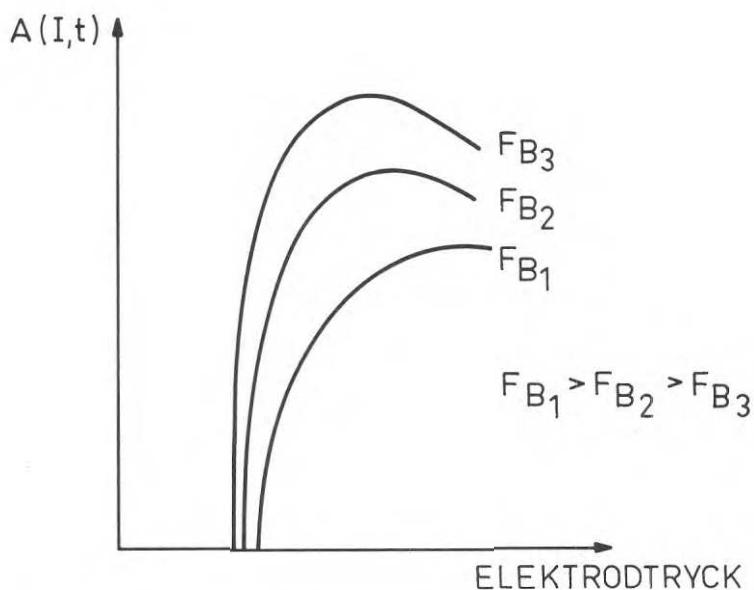


Fig.D14. Storlek på område för val av svetsström och svetstid som funktion av elektrostrycket för några olika krav på minsta skjuvbrotthållfasthet.

Av figuren framgår att längden på den första horisontella delen av en kurva bero på hur högt hållfasthetskravet ställs. Samma krav bestämmer också läget på kurvans högsta punkt. Av figuren framgår att det är viktigt att:

- hållfasthetskravet ej sätts för högt
- elektrostrycket väljs tillräckligt högt

Följs inte dessa regler blir området för val av strömstyrka och svetstid snävt samtidigt som variabelfluktuationer kan resultera i kraftigt försämrat svetsresultat.

Det är viktigt att, som framgår av fig. D2, elektrodkraften tillåts växa till fullt värde innan svetsströmmen kopplas in. Det är också väsentligt att elektrodkraften hålls kvar ett tag efter det strömmen brutits så att svetsen stelnar under tryck.

Av fig. D 15 framgår i ett antal referenser rekommenderade elektrod-krafter och i fig. D 16 motsvarande tryckintensiteter.

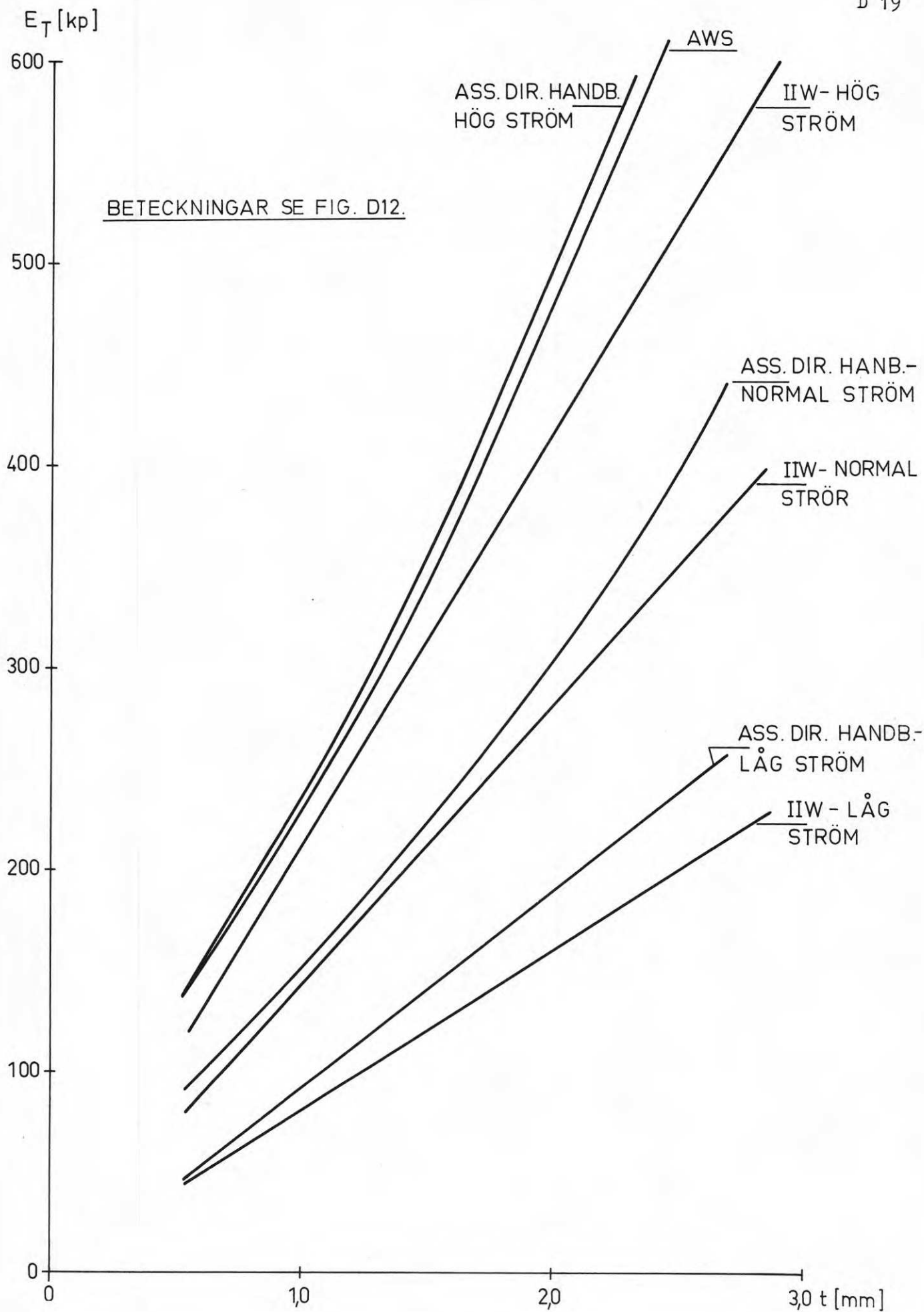


Fig.D15. Rekommenderade elektrodkrafter  $E_T$  som funktion av enkla plåttjockleken  $t$ .



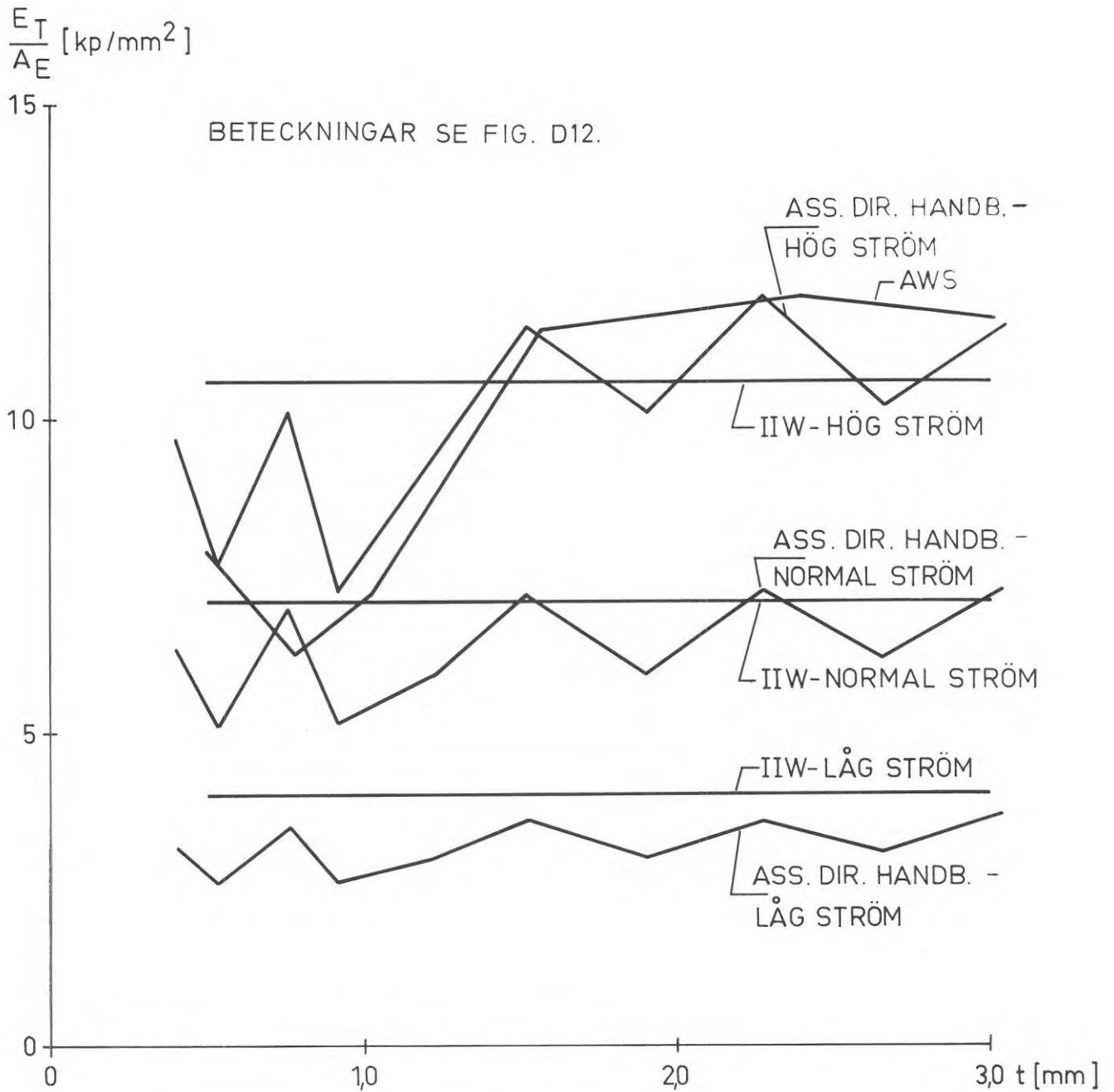


Fig.D16. Elektrodkraftintensiteter som funktion av den enkla plåttjockleken  $t$ .

### 3.6 Elektroddiameter

Elektroddiameteren har en avgörande betydelse för svetslinsens storlek och därmed också för svetsens skjuvbrotthållfasthet. Anledningen är att ökad elektroddiameter ger ökade kontaktytor. Ökade kontaktytor medför att såväl kontaktmotstånd som ledningsmotstånd minskar, samtidigt som den volym som måste smältas ökar. Val av stor elektroddiameter förutsätter att det minskade svetsmotståndet kompenseras och ökade värmebehovet tillgodoses i form av ökad strömstyrka och tid. Genom att de ytor som skall vällas samman blir större krävs också en större elektrodskraft, vilken ytterligare minskar kontaktmotstånden.

Den vanligaste rekommendationen för val av elektroddiameter är ett samband mellan elektroddiameter och godstjocklek enligt:

$$d_E = 5 \sqrt{t}$$

Fullgoda svetsar kan emellertid utföras inom intervallet

$$3 \sqrt{t} < d_E < 10 \sqrt{t}$$

Av fig. D 17 framgår några referensers rekommendationer vad gäller val av elektroddiameter.

Svetslinsens diameter bestäms ej entydigt av elektroddiameteren utan varierar i storlek beroende på den tillförda svetsenergin. Av fig. D 18 framgår i vilken omfattning valet av elektroddiameter påverkar svetslinsdiameteren.

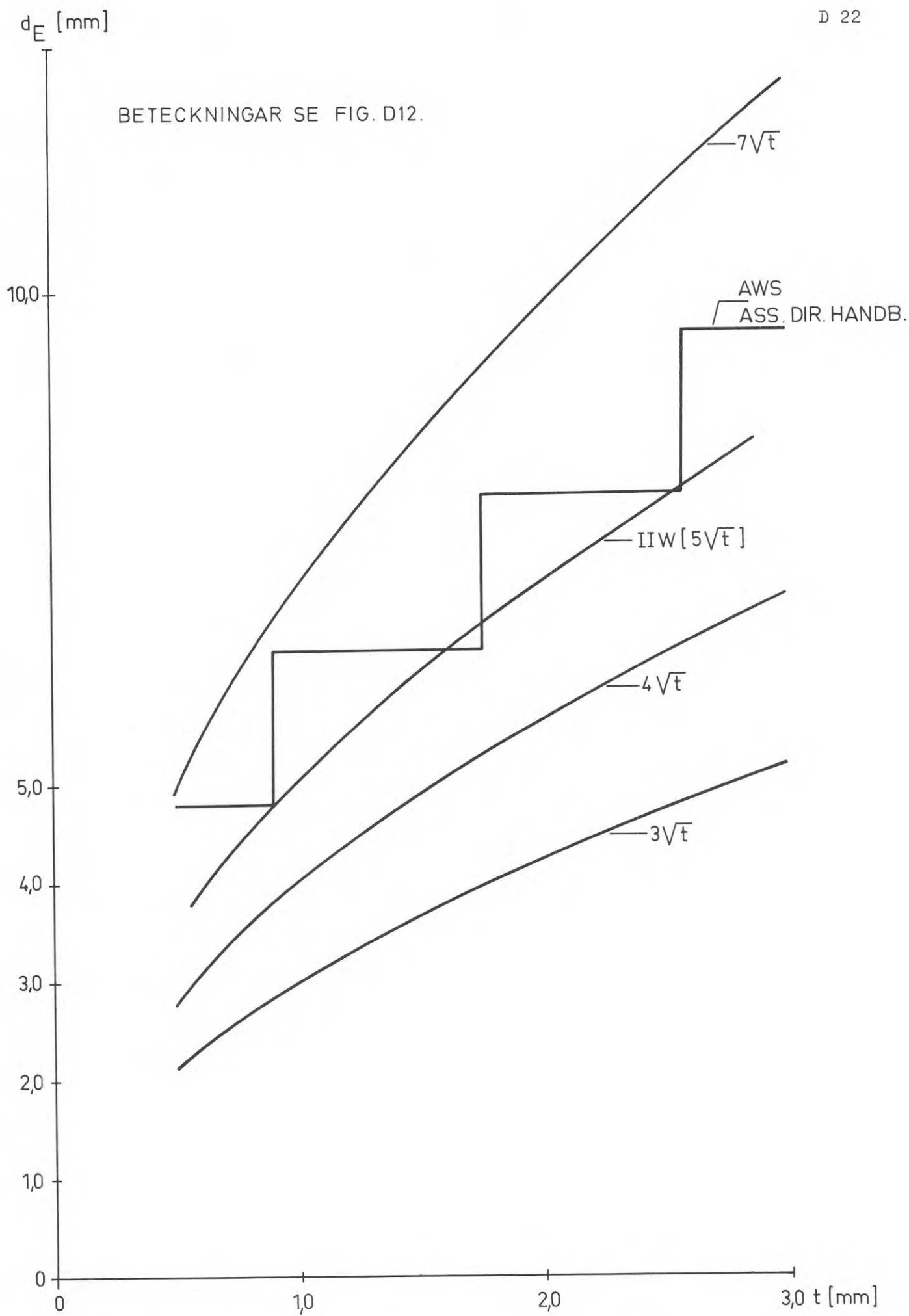


Fig.D17. Rekommenderade elektroddiameter som funktion av enkla plåttjockleken  $t$ .

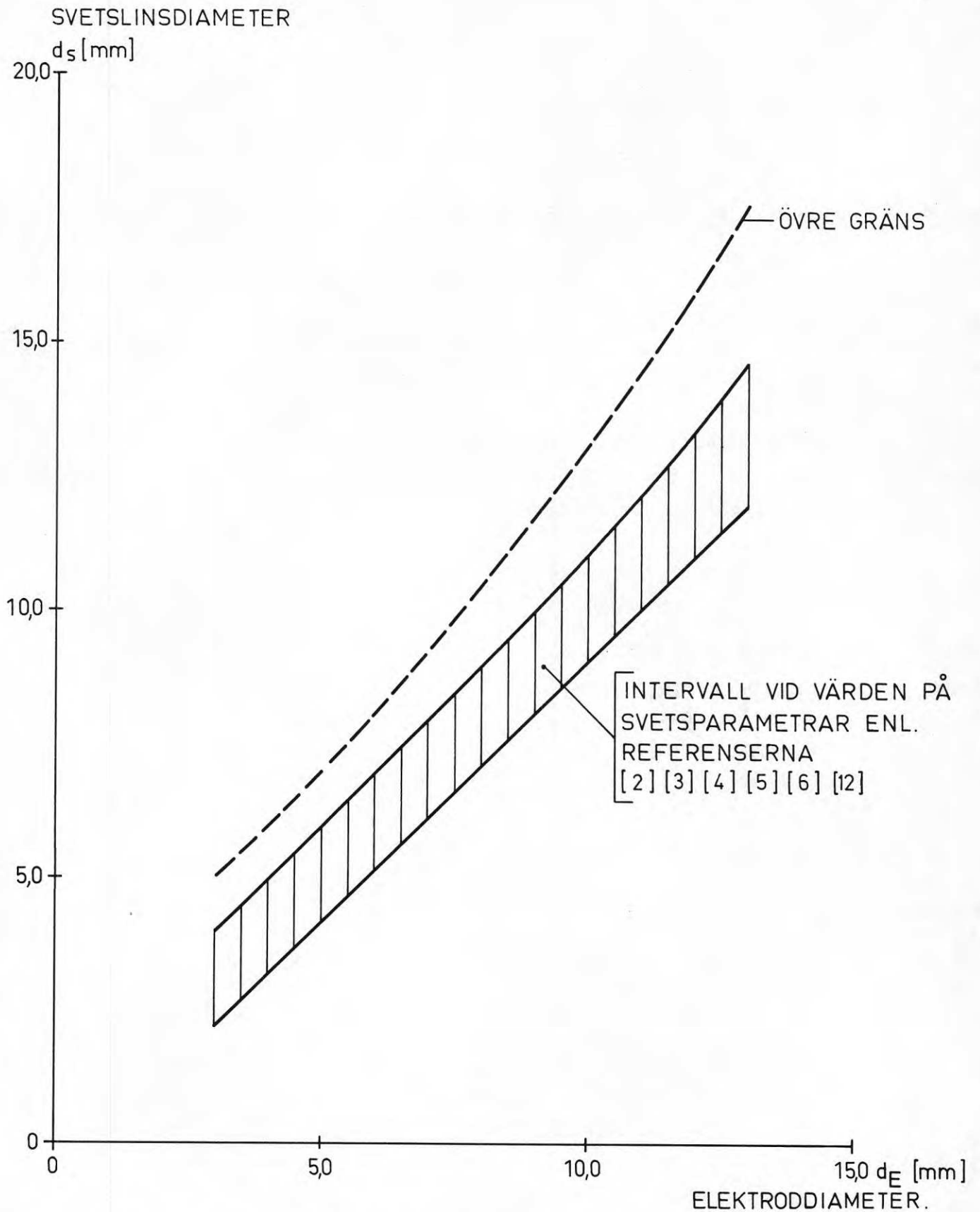


Fig.D18. Svetslinsdiameter i skjuvplanet som funktion av elektrodspetsdiametern.

### 3.7 Elektrodotformning och material

På elektrodmaterialen ställs kraven att de skall ha hög termisk och elektrisk ledningsförmåga samt, för att ej deformeras under svetsförloppet, ha tillräcklig hårdhet vid aktuell temperatur. Val av elektrodmaterial blir emellertid alltid en kompromiss till följd av att ökad hårdhet minskar den elektriska och termiska ledningsförmågan. Det vanligaste elektrodmaterialen är legerad koppar där legeringstillsatsen bestämmer förhållandet mellan hårdhet och ledningsförmåga.

En förutsättning för hög produktivitet och lång elektrodslivslängd, är en effektiv kylning av elektrodspetsen. Av fig. D 19 framgår hur kylningen vanligen ordnas.

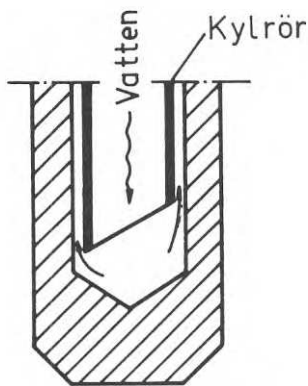


Fig.D19. Kylanordning.

Två principiellt skilda utformningar på elektrodspetsar förekommer varav den ena har plan och den andra kullrig anliggningsyta. För de i fig. D 20 definierade storheterna  $\alpha$  och  $R$  rekommenderas vanligen

$$10^{\circ} < \alpha < 30^{\circ}$$

$$R \approx 76 \text{ mm}$$

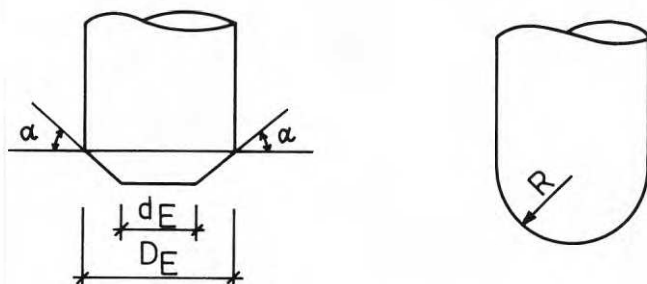


Fig.D20. Olika utformning av elektrodspets.

För diametern  $D_E$  anges vanligen ett minsta och för  $d_E$  ett största värde för ett bestämt val av övriga svetsvariabler.

Plana elektrodspetsar ger ett snyggt och jämnt svetsresultat medan kullriga elektroder kan medföra att, speciellt vid låg elektrodskraft, temperaturen i kontaktytan blir så hög att metallsprut uppstår. Höga temperaturer medför ofta också en förkortad elektrodlevslängd.

D4. TILLÄMPNINGSSOMRÅDEN

Motståndspunktsvetsning är en mycket användbar fogningsmetod för såväl valsblank som varmförzinkad plåt i tjockleksintervallet 0,5 - 3,0 mm. Intervallet avser fogning av lika tjocka plåtar. Vid infästning av en tunn plåt till en tjock föreligger knappast någon begränsning för den senare plåtens tjocklek.

Vid motståndspunktsvetsning sker en mycket snabb avkylning av svetszonen varför vissa krav måste ställas på plåtmaterialens halt av kol, mangan, svavel och fosfor för att härdning eller försprödning i svetsar skall undvikas. Dessa krav innebär emellertid inte att svetsning inte kan utföras med fullgott resultat om halterna överskrids, utan endast att ett speciellt värmebehandlingsförfarande måste byggas in i svetsproceduren. Genom att svetspunktens avsvalning kraftigt påverkas av plåtarnas tjocklek blir de kritiska halterna också beroende därav. Som riktvärden för när härdning eller försprödning kan ske gäller följande halter:

kolhalt	> 0,11 %
manganhalt	> 0,50 %
svavelhalt	> 0,05 %
fosforhalt	> 0,05 %

Ett överskridande behöver emellertid inte betyda att svetsresultatet inte blir bra utan snarare att en undersökning av svetskvalitén är befogad. Exempelvis kan ett bra svetsresultat för 3 mm:s plåt mycket väl uppnås även om kol- och manganhalt uppgår till 0,20 respektive 0,80 %.

Låglegerade stål är svetsbara men bör testas med avseende på sprödhet. I svetsproceduren inbyggd värmebehandling minskar sprödheten.

Varmförzinkad stålplåt med skiktthjocklek upp till 50 µm är svetsbar under förutsättning att svetsdata modifieras jämfört med valsblankt material, så att zinkskikten på plåtarnas innersidor får tillfälle att smälta bort. Materialet bör emellertid vara elförzinkat eller varmförzinkat enligt Sendzmir-förfarandet så att snäva toleranser i skiktthjocklek kan garanteras.

Generellt gäller att ytskikt i form av färg, smuts, olja, fett, rost och valshud försämra svetsbarheten. Försämringen bero oftast på någon eller några av följande anledningar:

- dålig elektrisk kontakt mellan elektrod och arbetsstycke
- ojämn yta och därmed stort kontaktmotstånd - hög värmeutveckling - fula svetsar - rengörningsarbete - kort elektrod-livslängd
- porositeter i svetslinsen.

Färger som har hög halt av zink- eller aluminiumpulver kan svetsas, medan andra färger vanligen kräver att svetsningen sker innan färgen torkat.

Tunna oljeskikt försämrar knappast svetsresultatet, men har förmågan att samla smuts som kan ge beläggningar på elektroderna. Svetsning rekommenderas ej med anoljad plåt.

Fett, rost och smuts måste ovillkorligen avlägsnas före svetsning. Fett och smuts kan avtvättas med lämpligt lösningsmedel. Rost kan avlägsnas mekaniskt genom slipning. Ytan skall efter bearbetningen vara fri från repor och andra ojämnheter.

Utrustningar för motståndssvetsning har avsevärd tyngd och storlek, varför de är mest lämpade för fabriksmässig sammanfogning av byggkomponenter.

Fogning med motståndssvetsning fordrar ofta ett speciellt studium av svetsens åtkomlighet med hänsyn till arbetsstyckets beskaffenhet och svetsmaskinens konstruktion.



D5. FÖRBANDETS VERKNINGSSÄTT OCH BROTTBETEENDE

Punktsvetsförbandets beteende under pålastningen karakteriseras grovt av 3 olika skeden utan att därvid distinkta gränser kan urskiljas. I figur D 21 återgivna kurvförlopp illustrera punktsvetsförbandets last- formändringsrelationer för valsblankt respektive varmförzinkat material.

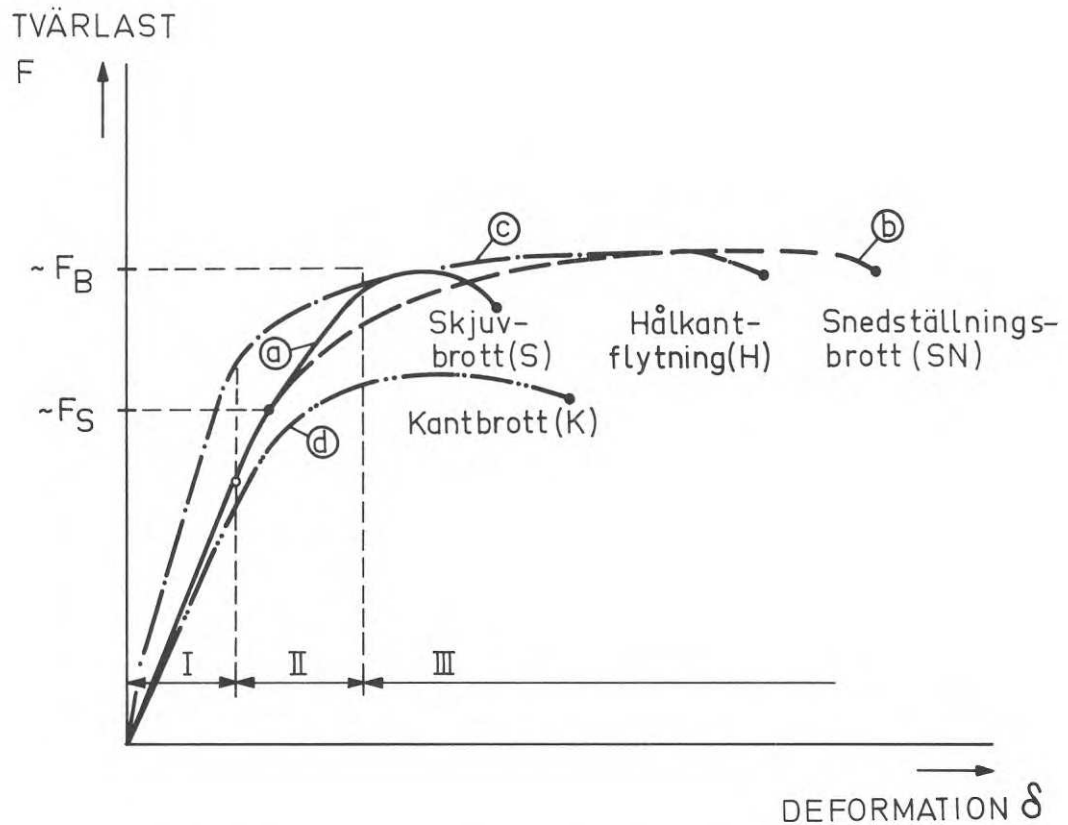


Fig.D21. Principiellt samband mellan tvärlast och deformation vid punktsvetsförband.

Vid låga påkänningar erhålls ett närapå elastiskt samband mellan tvärlast  $F$  och förbandets förlängning (skede I). I motsats till skruv- och nitförbandets beteende är någon sättning av förbandsdelarna inte aktuell.

Skede II beskriver en succesivt ökande plastisk deformation i plåtmaterialet nära svetslinsen. Denna deformation är av samma typ som hålkantflytning vid ovan nämnda förbandstyper och ges därför här nedan samma beteckning.

Skede III karakteriserar brottstadiet. Brottorsaken är härvid beroende av förbandsparameter såsom ingående plåttjocklek, materialhållfasthet, svetslinsens diameter och förbandets geometri. Fyra olika brottstyper kan urskiljas, som framgår av last-deformationskurvorna a-d enligt fig. D 21:

Vid enskärigt förband av relativt tjocka plåtar inträffar brottet ofta vid ett uppnående av svetspunktens lastupptagande förmåga. Skjuvbrottet (kurva a) kännetecknas av relativt små formändringar. Typiska skjuvbrott illustreras i fig. D 22 och D 23.

Med avtagande godstjocklek hos ingående plåtar accentueras snedställningen hos förbandsdelarna, åtföljd av en kraftig spänningskoncentration i svetsperiferin, där genom flytning och sprickbildning brottet initieras. Detta brottfenomen (kurva b), som kännetecknas av relativt stora deformationer före brottet, illustreras i fig. D 24 och D 25.

Brott genom hålkantflytning (kurva c) inleds vid plåtar av olika tjocklek där den ena plåten är så styv att en snedställning förhindras. Härvid inträffar formändringen i huvudsak i den tunnare plåten innebärande att den totala formändringen i förbandets brottstadium blir mindre än vid snedställningsbrott. Brottfenomenet illustreras i fig. D 26 och D 27, där uppsprickningen av plåten i svetsens bakkant till följd av flytningen kan observeras.

Kantbrott enligt kurva d karakteriseras av att vid relativt små kantavstånd en godsförskjutning av den fria kanten kan äga rum. Härvid erhålls dels en något flackare F - S - kurva samt dels en något reducerad brottlaster.



Fig.D22. Skjuvbrott.



Fig.D23. Skjuvbrott.



Fig.D24. Snedställningsbrott.

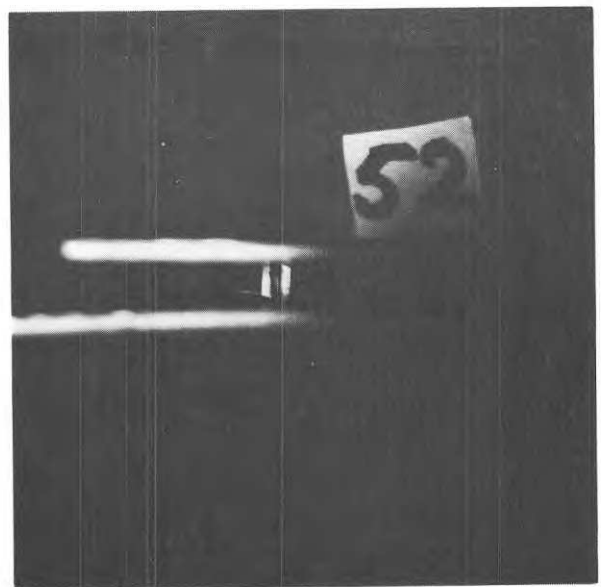


Fig.D25. Snedställningsbrott.



Fig.D26. Hålkantflytning.



Fig.D27. Hålkantflytning.

Last-deformationskurvor vid förband med samma plåttjocklek men varierande elektroddiameter uppvisar små variationer, innebärande att formändringarna i huvudsak är beroende av flytningen i närheten av svetslinsens periferi.

Vid varmförzinkad plåt med godstjocklek  $t \lesssim 1,5$  mm är skjuvbrottdeformationer relativt små, beroende på att vid aktuella - korta - svetstider zinkskiktet ej helt kunnat undanträngas, åtföljd av en försprödning av svetsen med resulterande töjbarhetsbegränsning.

Tillåten last för punktsvetsförband bör så avpassas att vid s-faldig brukslast de plastiska formändringarna är små. Som ett karakteristiskt värde för "flytlasten"  $F_s$  kan gälla sambandet  $F_s \approx 0,7 F_B$ , varvid  $F_B$  betecknar den tvärlast som framkallar brott genom avskjuvning, hålkantflytning eller snedställning. Approximativt gäller därvid att  $F_s$  svarar mot en kvarstående formändring om ca 2 % av svetslinsens diameter.

### Kraftspel i enkelt överlappsförband

Följande diskussion avser endast att översiktligt beskriva det mycket komplicerade spänningstillståndet kring en punktsvets, samt att illustrera för lastupptagningsförmågan betydelsefulla parametrar. Av fig. D 28 framgår förbandets utseende och väsentliga spänningskomponenter.

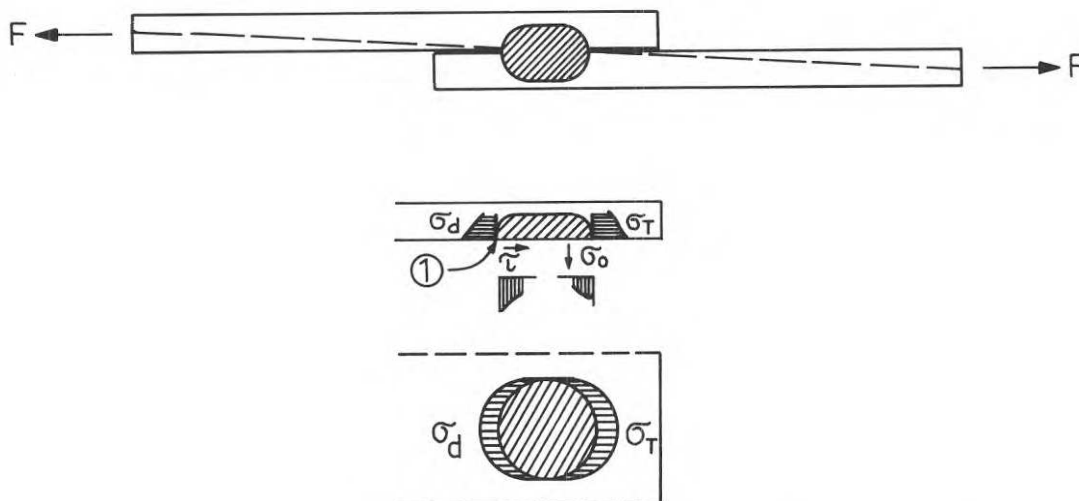


Fig.D28. Väsentliga spänningar i ett enkelt överlappsförband.

De olika spänningarnas storlek och därmed inverkan på brotttyp och brottlast är starkt beroende av plåttjocklek och svetslinsdiameter. Av fig. D 29 framgår hur brottlast och brotttyp principiellt påverkas av dessa storheter.

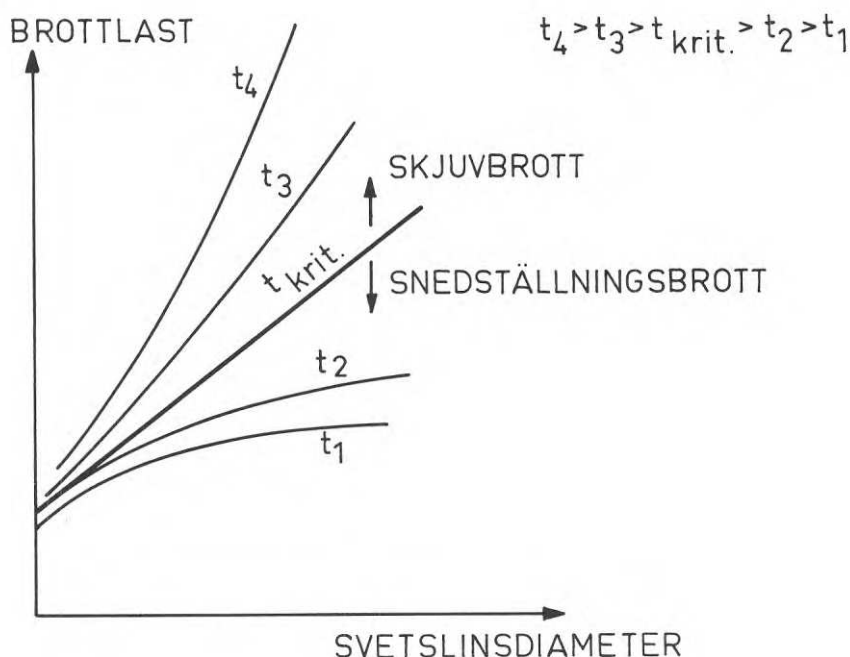


Fig.D29. Brottlastens beroende av plåttjocklek och svetslinsdiameter. (Normala svetsdata).

Betraktas kurvor för plåttjocklekarna  $t_1$  och  $t_2$  framgår att brottlasten med ökad svetslinsdiameter får ett allt mindre tillskott. Anledningen till att ökad svetslinsdiameter inte ger proportionellt ökad brottlast är att med diameterökningen även följer en ökad koncentration av spänningarna  $\sigma_d$  och  $\tau$ . Vid den i fig. D28 markerade punkten (1) ger dessa två spänningar upphov till ett ofördelaktigt spänningstillstånd som leder till det slutliga brottet.

Av fig. D29 framgår även att brottlasten ökar med plåttjockleken. Anledning till detta är den med ökad plåttjocklek minskade spänningen  $\sigma_d$ . Vid viss plåttjocklek  $> t_{krit}$  kommer denna spänning ej att uppnå sådan storlek att snedställningsbrott kan utbildas.

För skjuvbrott kan brottlasten principiellt tecknas:

$$F_S = k \cdot \frac{\pi d_s^2}{4} \cdot \tau_b \quad [d_s = \text{svetslinsdiameter}]$$

I fig. D 29 framgår av brottlastkurvorna för plåttjocklekarna  $t_3$  och  $t_4$  att värdet på konstanten  $k$  är beroende av plåttjockleken. Anledningen är att plåtens tjocklek starkt påverkar den i fig. D 30 visade böj deformationen i plåtarna. Minskad plåttjocklek ger ökade böj deformationer vilket resulterar i en ökning av spänningen  $\sigma_0$  speciellt i svetsens kanter. Spänningarna  $\sigma_0$  och  $\tau$  ger här tillsammans upphov till ett ofördelaktigt spänningstillstånd, som leder till det slutliga brottet.

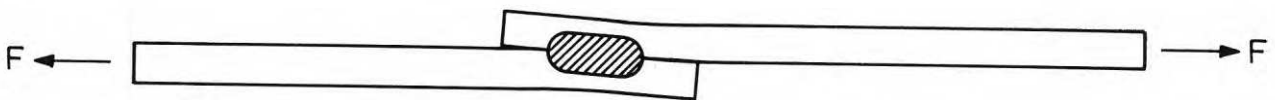


Fig.D30. Böj deformationer i ett enkelt överlappsförband.

Storleken på konstanten  $k$  bero förutom på plåttjockleken även av i vilken omfattning spänningar plastiskt kan utjämnas inom svetszonen. Konstanten  $k$  blir härmed även beroende av svetsens eventuella härdning och försprödning.

För att belysa uppbyggnaden av diagrammet i fig. D 29 visas i fig. D 31 ytterligare en kurva vars utformning speglar det principiella sambandet mellan svetslinsdiameter och brottlast vid konstant plåttjocklek. De olika kurvorna i fig. D 29 utgör endast mindre bitar av nedan visade principkurva. Från vilken del av kurvan de olika kurv-grenarna i fig. D 29 härrör bestäms av respektive plåts tjocklek.

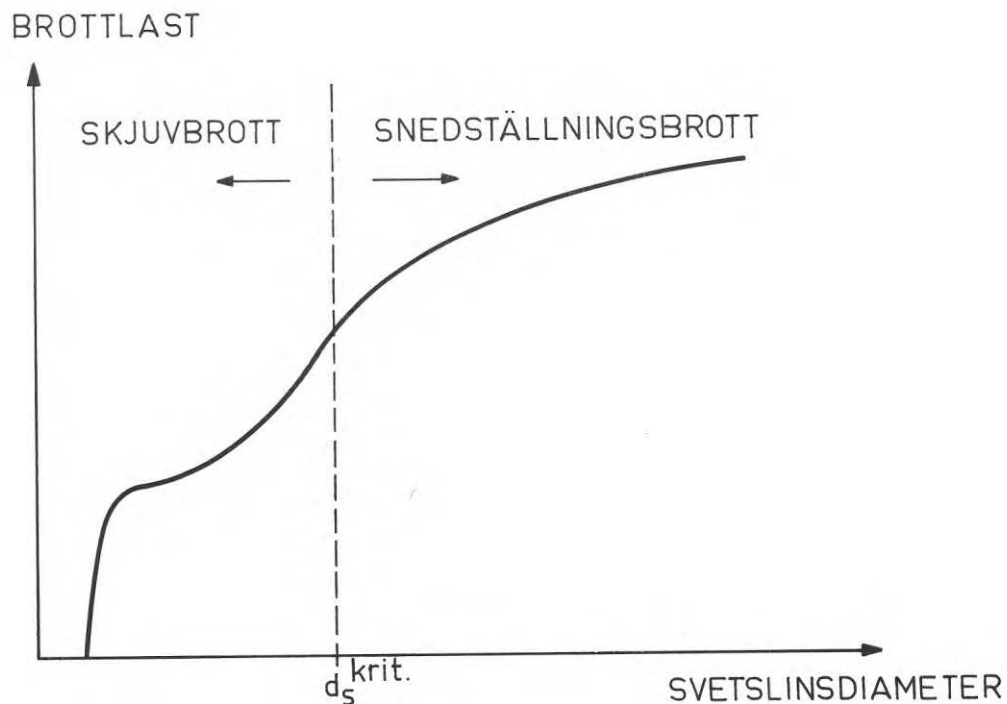


Fig.D31. Brottlastens beroende av svetslinsdiametern (stort diameter-intervall) vid konstant plåttjocklek.

## D6. EXPERIMENTELLA UNDERSÖKNINGAR

Avsnittet beskriver de experimentella undersökningar som utförts i avsikt att få ett underlag för bestämning av från säkerhetssynpunkt acceptabel belastningsnivå.

Provningarna omfattar totalt 182 provkroppar varav 70 med varmförzinkad och 112 med valsblank stålplåt.

Följande förbandsparametrar varierades:

- plåttjocklek
- grundmateriallets hållfasthet
- antal svetsar i kraftriktningen
- kantavstånd
- svetslinsdiameter

Följande svetsparametrar varierades:

- strömstyrka
- svetstid
- elektrodtryck
- elektroddiameter

Nedan redogörs kortfattat för de grundläggande principerna för varieringen av svetsparametrar.

### Blankt material

Kantavståndet varierades genom att förhållandet  $\frac{e}{d_E}$  fick anta följande värden: 1,5, 2,3, 3,0 och 4,0. Vid försöken valdes svetsström, svetstid och elektrodtryck enligt fig. D 22 - D 34. Elektroddiametern  $d_E$  valdes enligt  $d_E = 5 \sqrt{t}$ .

Elektroddiametern varierades genom att värdet på  $k$  i uttrycket  $d_E = k \cdot \sqrt{t}$  fick anta värdena: 4, 5, 6 och 7. För  $d_E = 5 \sqrt{t}$  valdes svetsström, svetstid och elektrodtryck enligt fig. D 32 - 34. För övriga värden på  $d_E$  valdes svetsström och elektrodtryck proportionellt mot  $d_E$  respektive  $(d_E)^2$ .



Svetsströmmen varierades genom procentuella ändringar av grundvärden enligt fig. D 32. Elektrodottrycket ändrades med svetsströmmen enligt fig. D 34. Svetstid valdes enligt fig. D 33 och elektroddiametern  $d_E$  enligt  $d_E = 5\sqrt{t}$ .

Svetstiden varierades genom procentuella ändringar av grundvärden enligt fig. D 33. Svetsström och elektrodottryck valdes enligt fig. D 32 och D 34 samt elektroddiametern  $d_E$  enligt  $d_E = 5\sqrt{t}$ .

#### Varmförzinkat material

Baserat på normalvärden för svetsström, svetsstid, elektrodottryck och elektroddiameter enligt fig. D 35 - 38 gjordes nedanstående variationer.

Svetstiden varierades genom procentuell förändring av de grundvärden som anges i fig. D 36. Svetsström, elektrodottryck och elektroddiameter valdes enligt fig. D 35, D 37 och D 38.

Svetsströmmen varierades genom procentuella ändringar av grundvärden enligt fig. D 35. Svetstid, elektrodottryck och elektroddiameter valdes enligt fig. D 36 - 38.

Vid svetsningen har följande två svetsutrustningar, båda av ESAB:s tillverkning, använts:

SVGP 557 - SNP	45 KVA
SVGP 742	100 KVA

Elektrodmateriel har i samtliga fall varit av typen M 328.

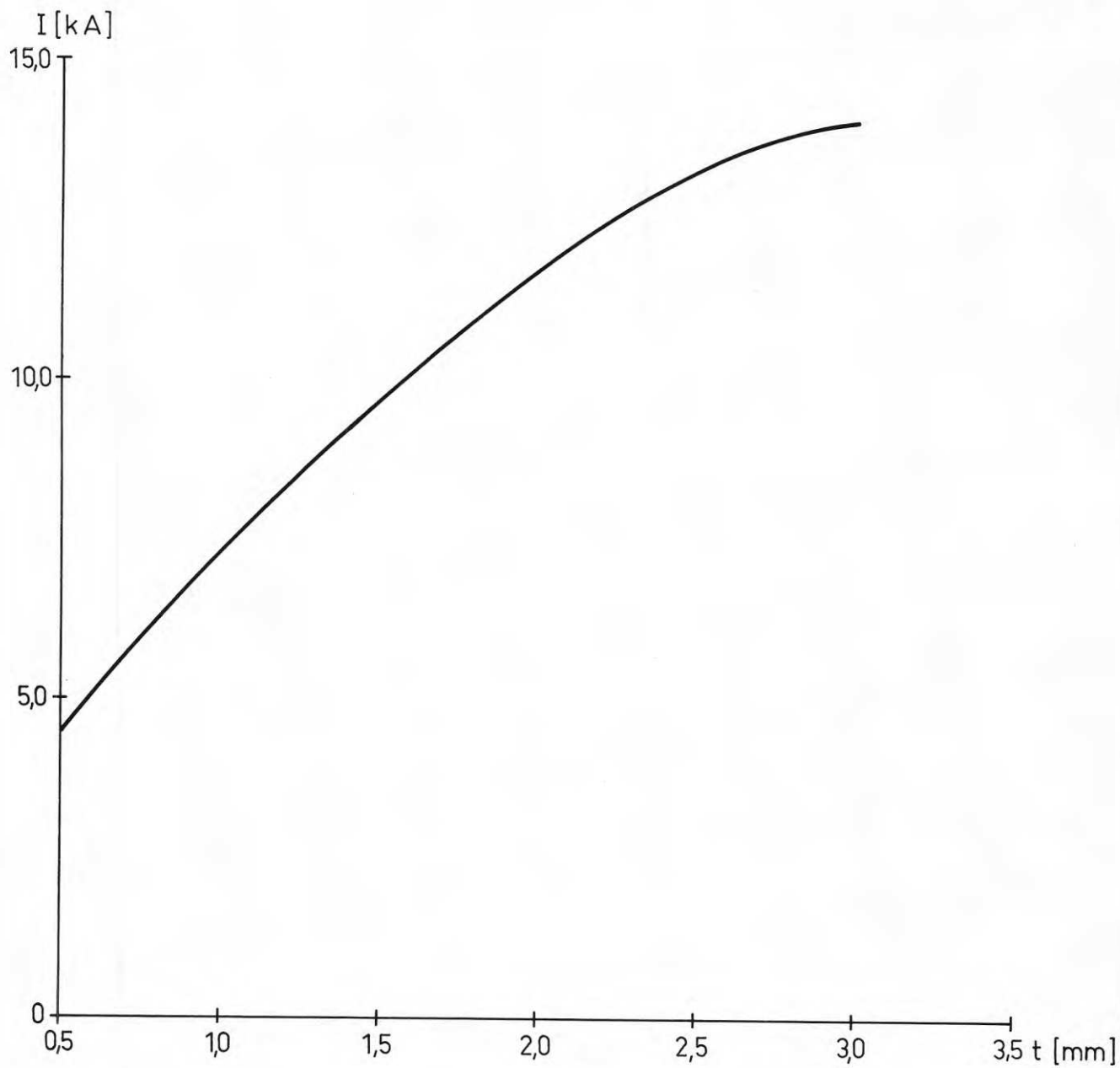


Fig.D32. Samband mellan svetsström och godstjocklek för valsblankt material.

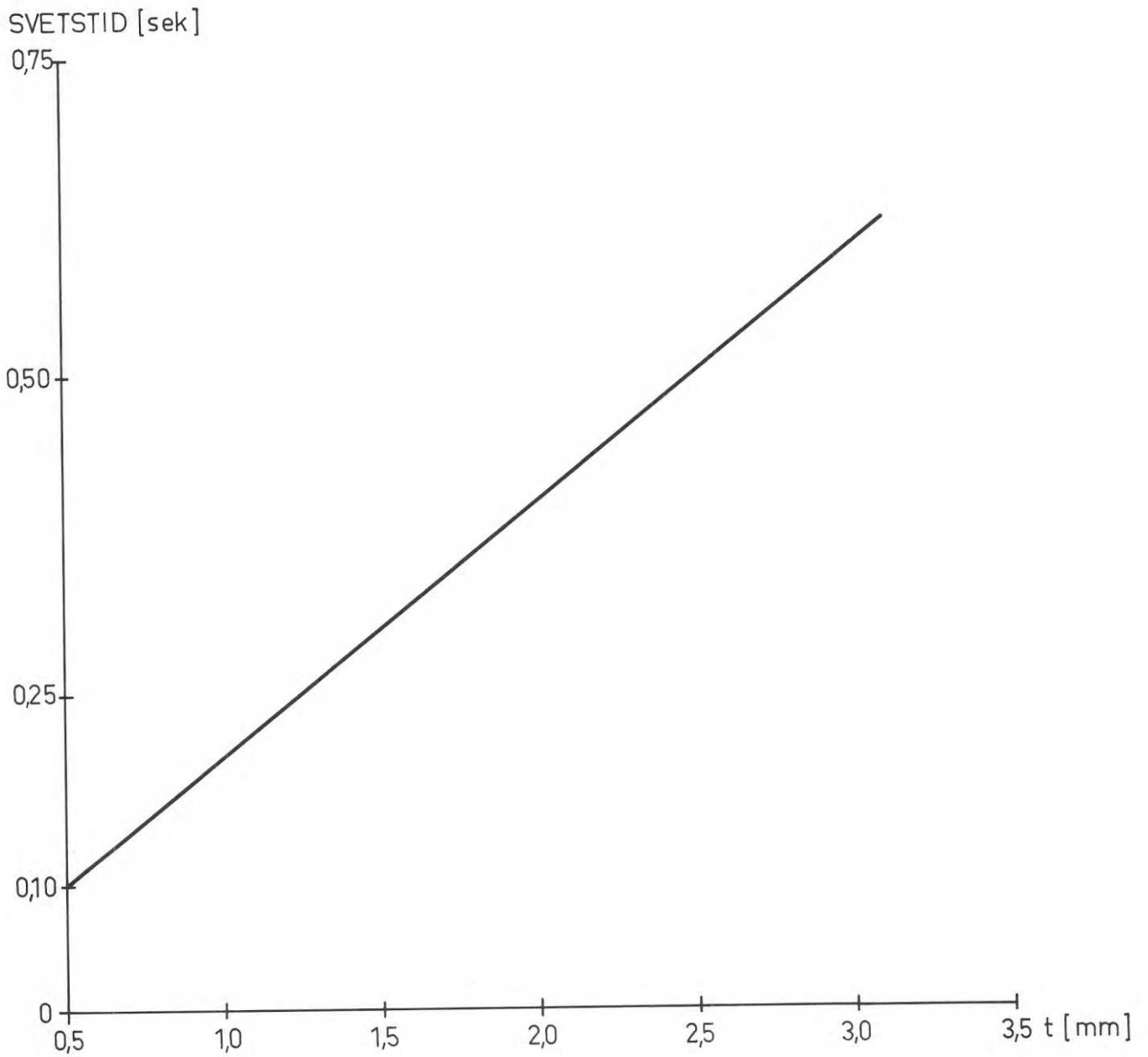


Fig.D33. Samband mellan svetstid och godstjocklek för valsblankt material.

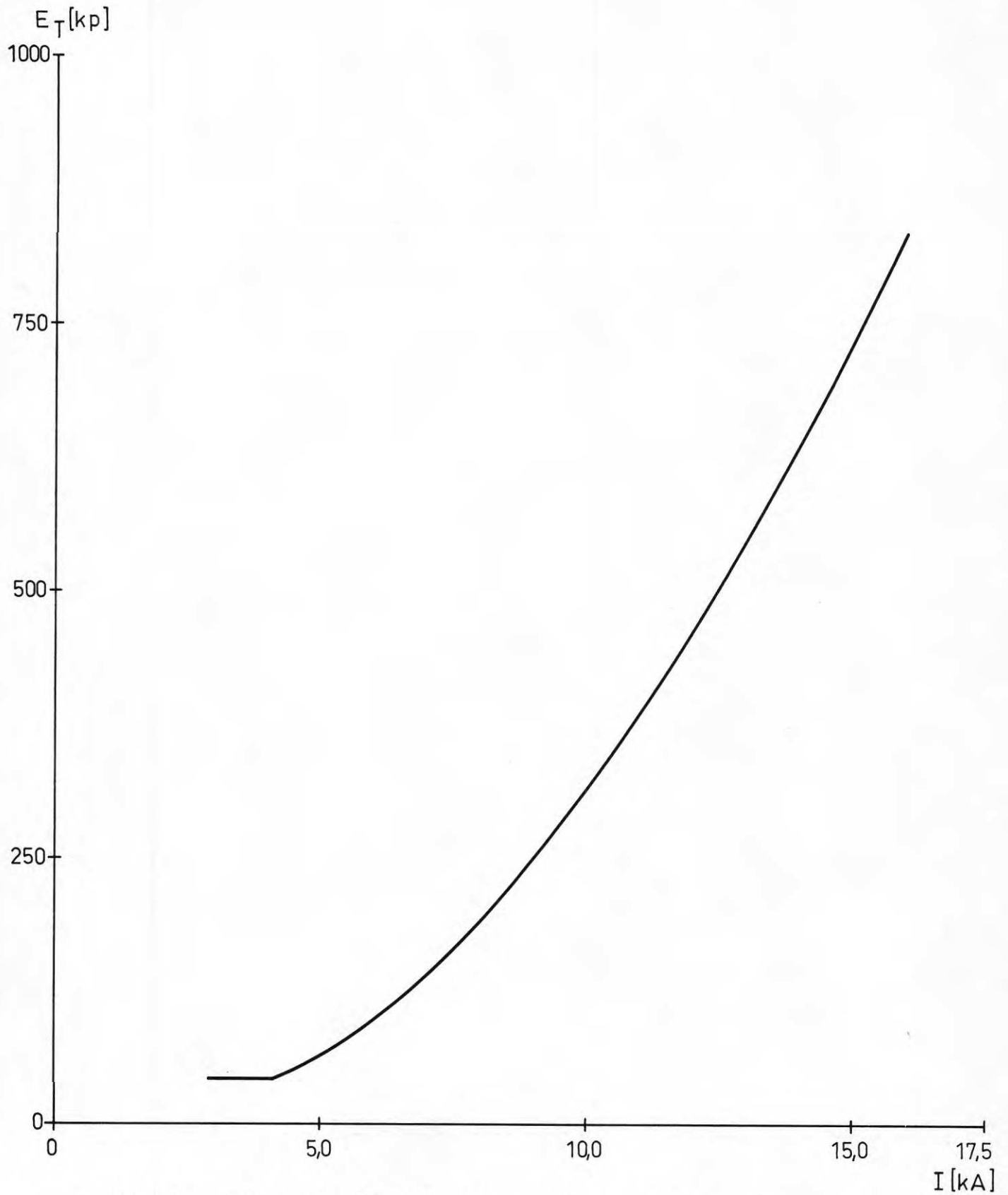


Fig.D34. Samband mellan elektrodtryck och svetsström för valsblankt material.

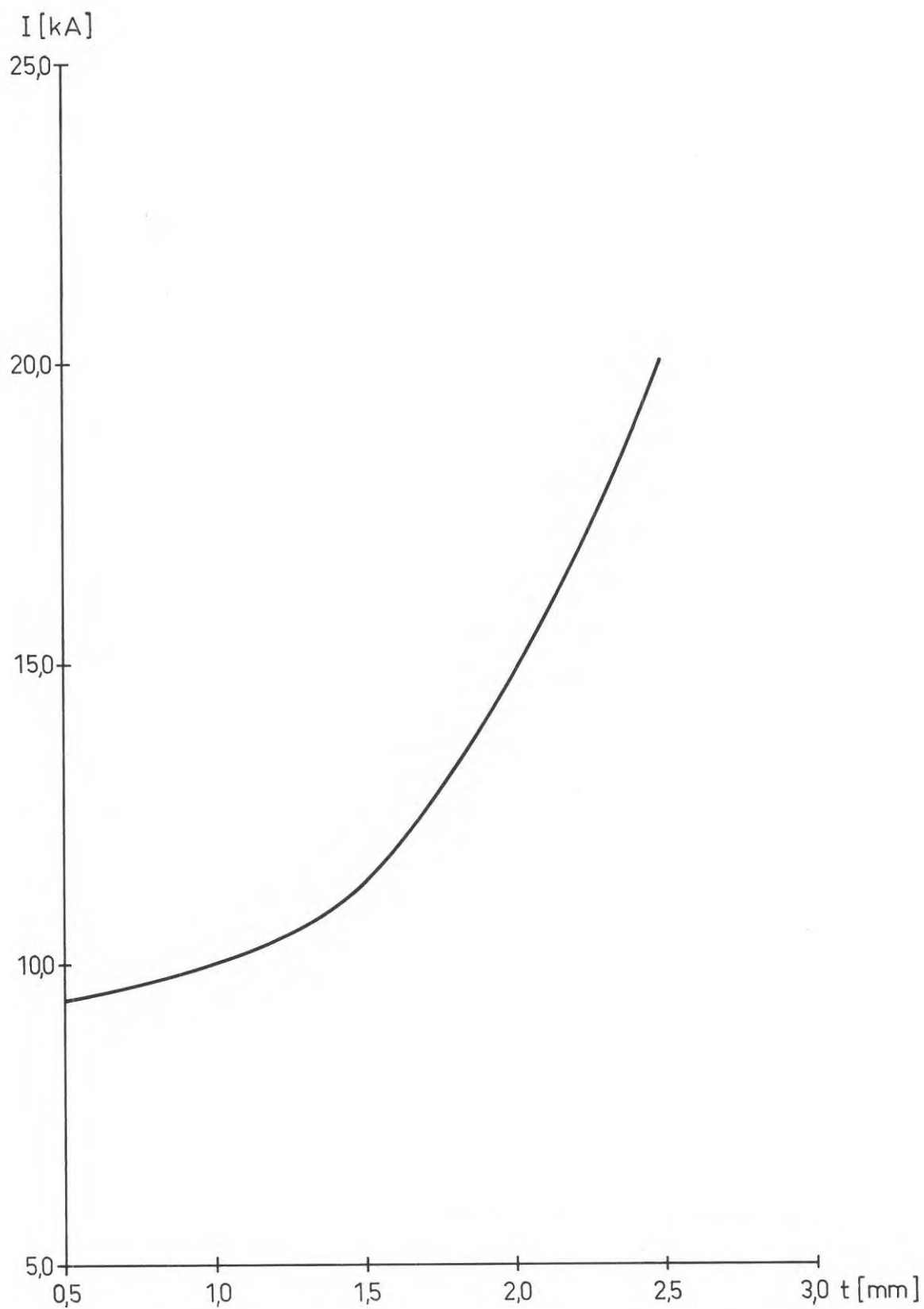


Fig.D35. Samband mellan svetsström och godstjocklek för varmförzinkat material.

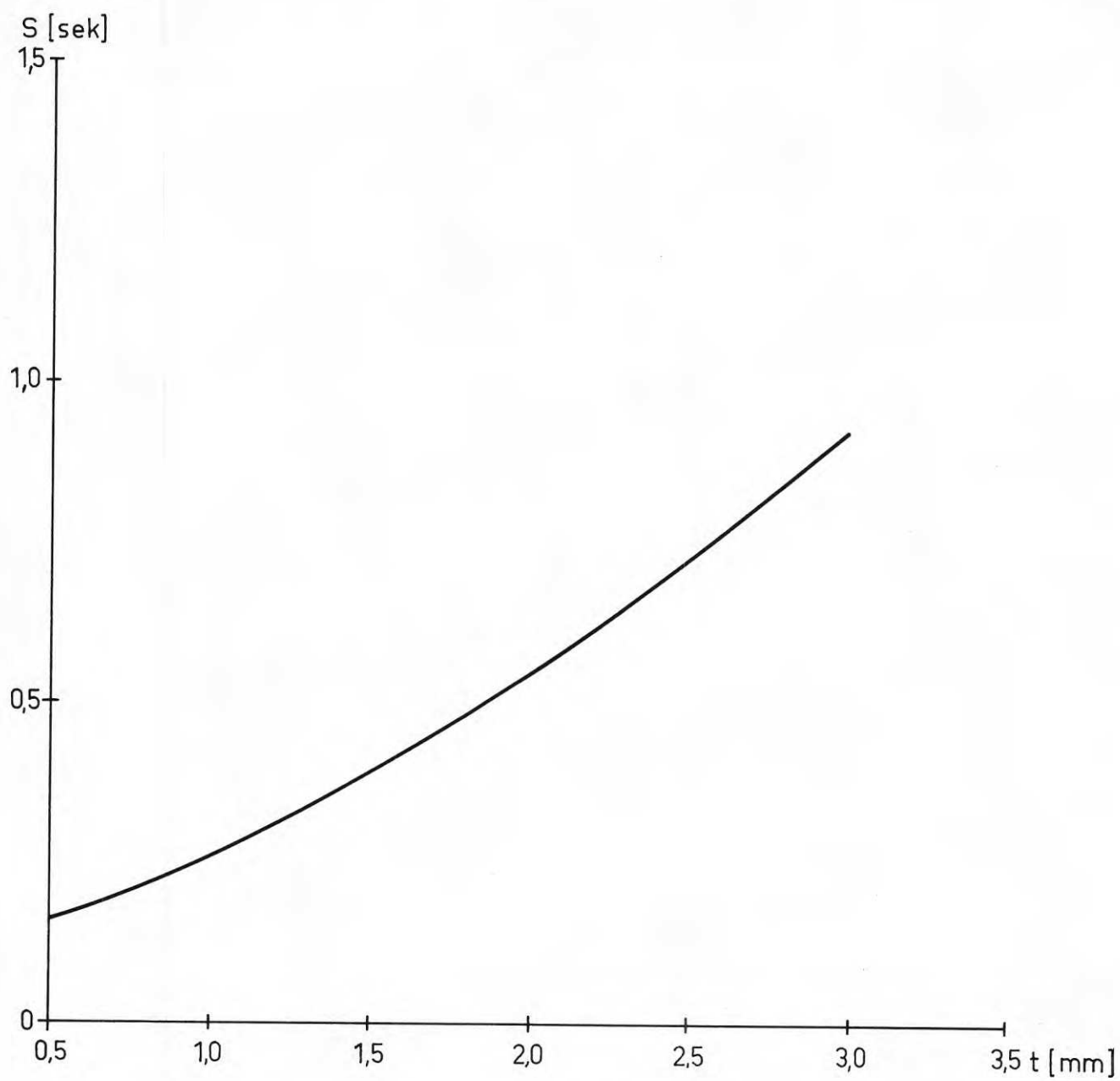


Fig.D36. Samband mellan svetstid och godstjocklek för varmförzinkat material.

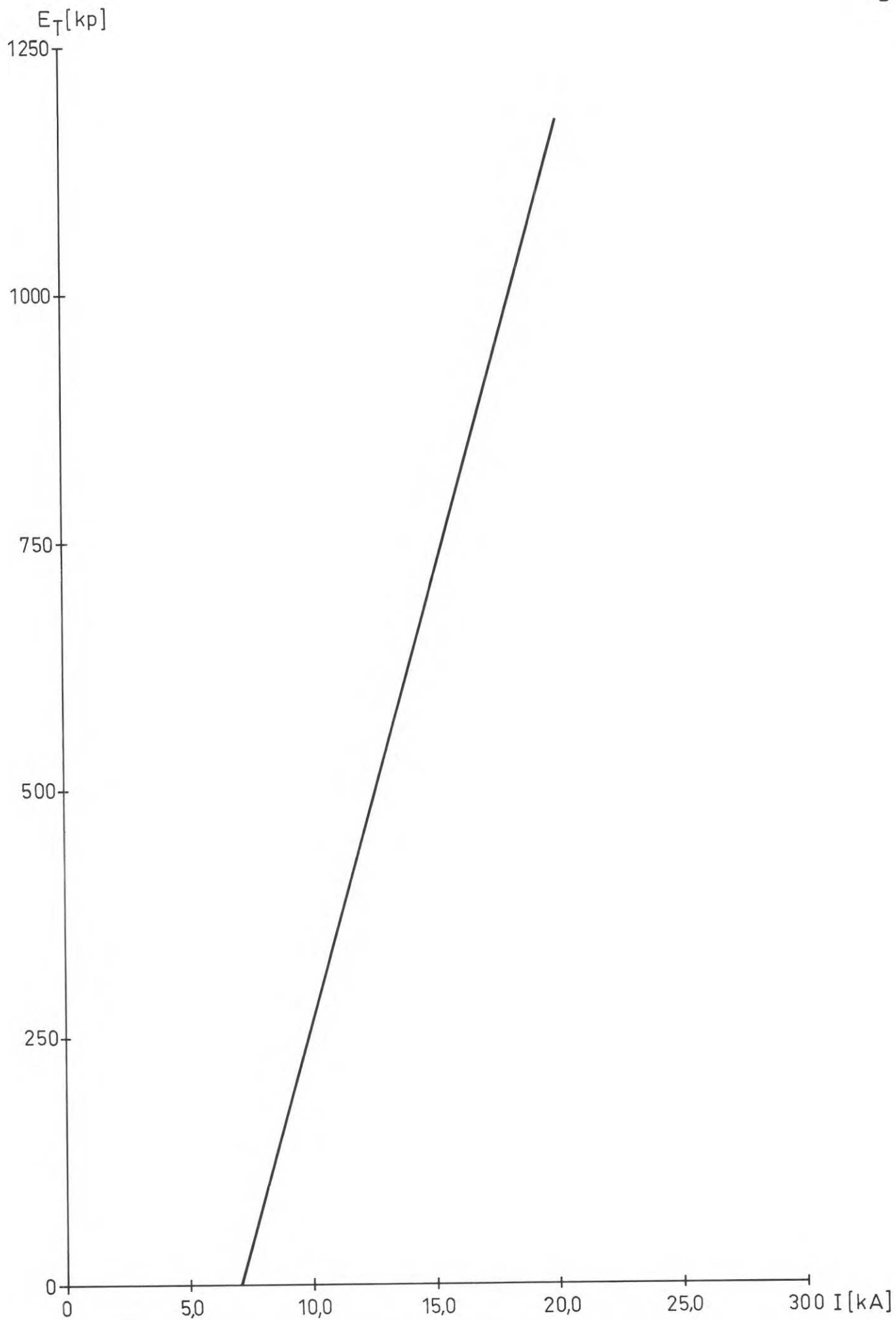


Fig.D37. Samband mellan elektrodtryck och svetsström för varmförzinkat material.

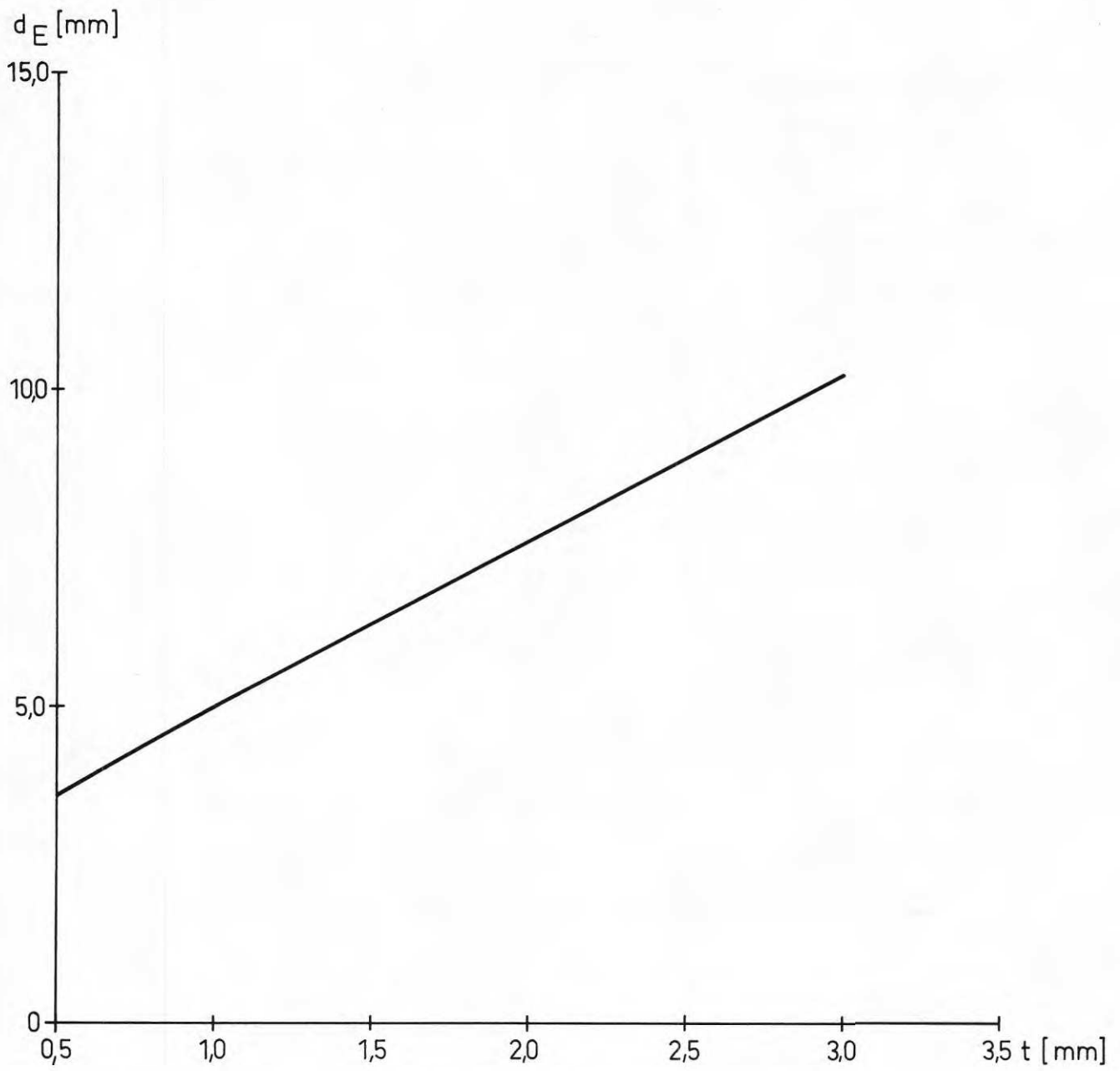


Fig.D38. Samband mellan elektrodpetsdiameter och godstjocklek för varmförzinkat material.



### 6.1 Provningresultat och provkroppsutformning

Beträffande provkropparnas infästning, mätklockans placering och använda dragprovningmaskiner råder fullständig överensstämmelse med vad som sägs i kap. B4 avsnitt 4.1. Belastningen påfördes i steg om 10 - 80 kp beroende på förbandets hållfasthet. Efter varje lastökning hölls lasten konstant under någon sekund för deformationsavläsning. Belastningsprocenten är jämförbar med en kontinuerlig deformation på 0,01 - 0,50 mm/min.

Vid provningen användes 5 olika provkroppstyper med i fig. D 39 - 43 återgivna karakteristika.

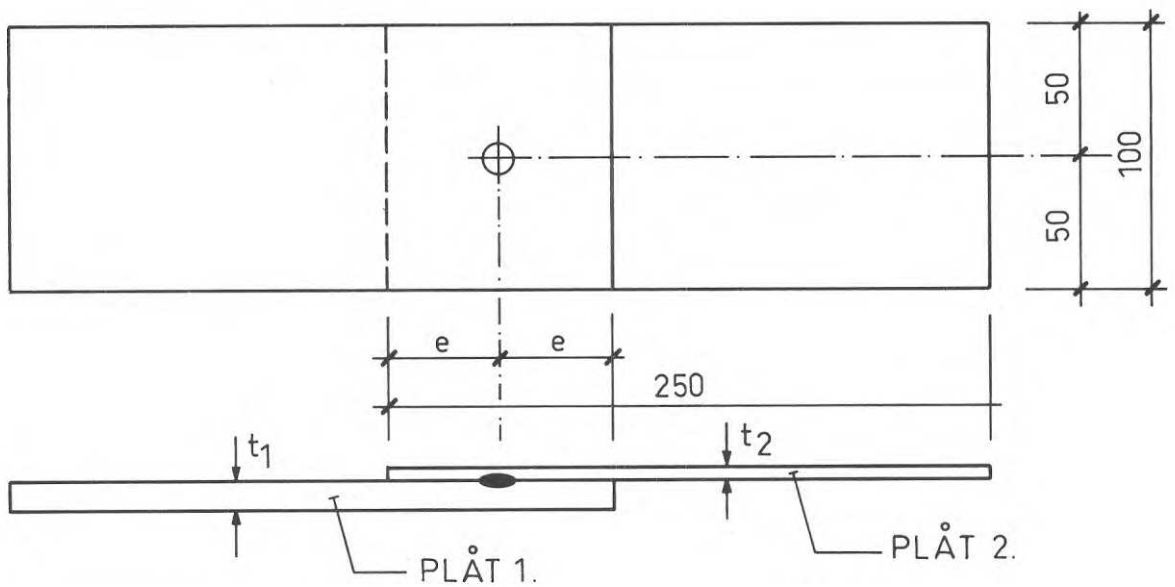


Fig.D39. Provkroppstyp I.

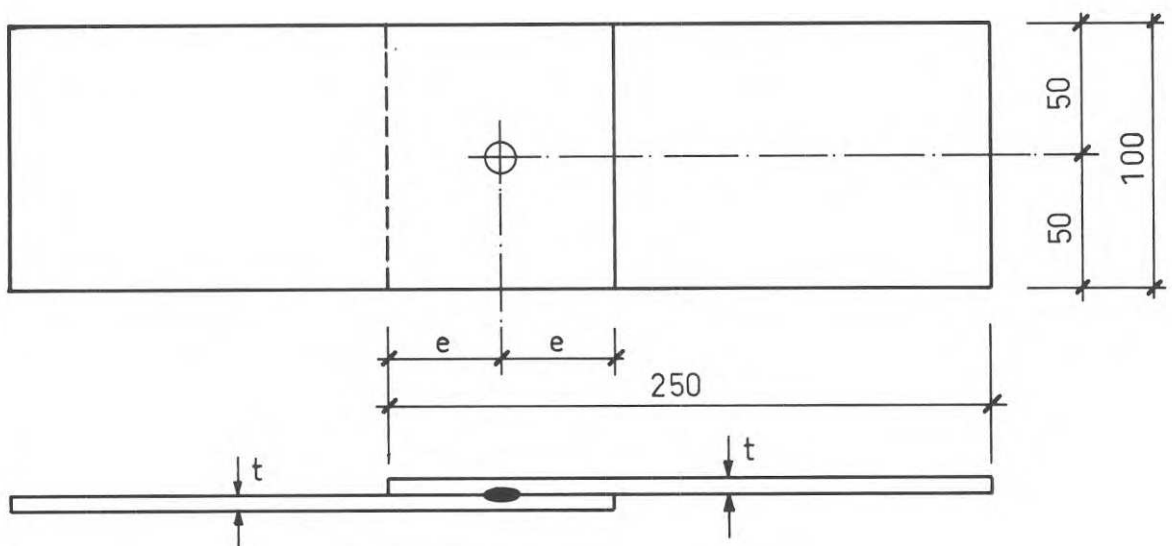


Fig.D40. Provkroppstyp II.

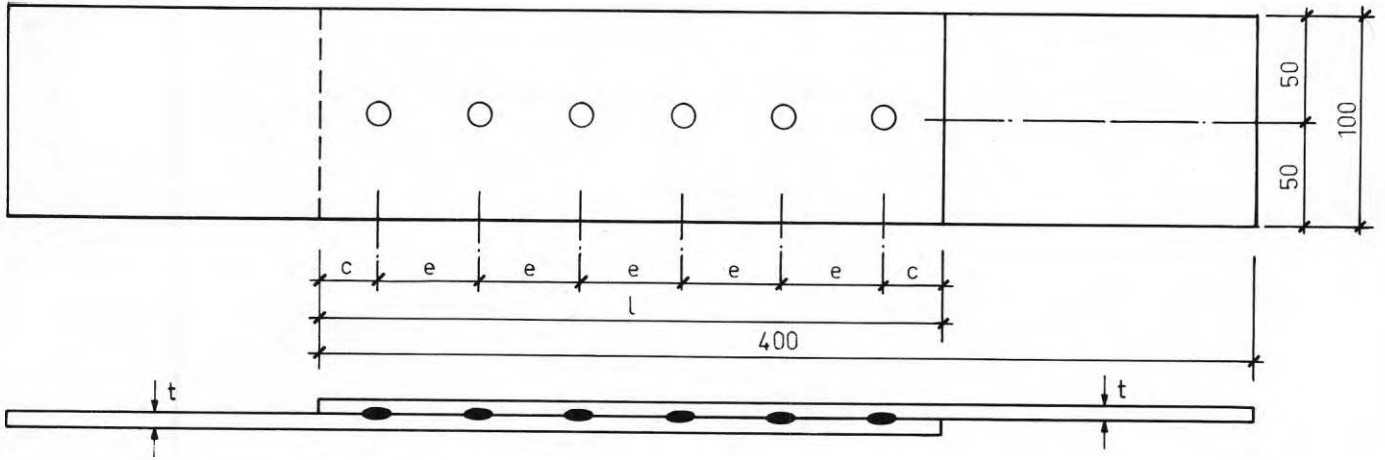


Fig.D41. Provkroppstyp III.

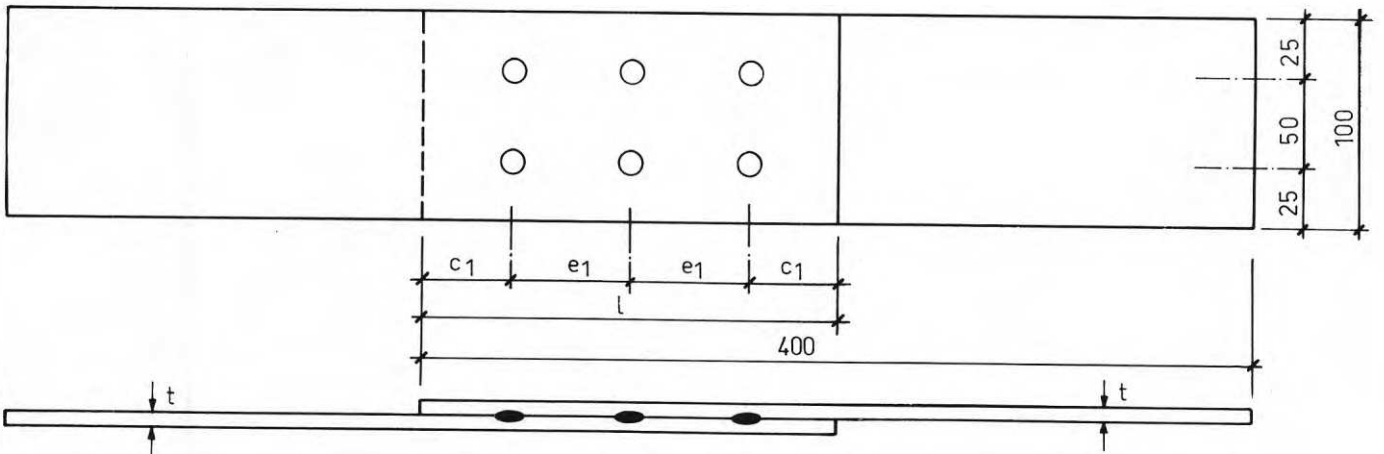


Fig.D42. Provkroppstyp IV.

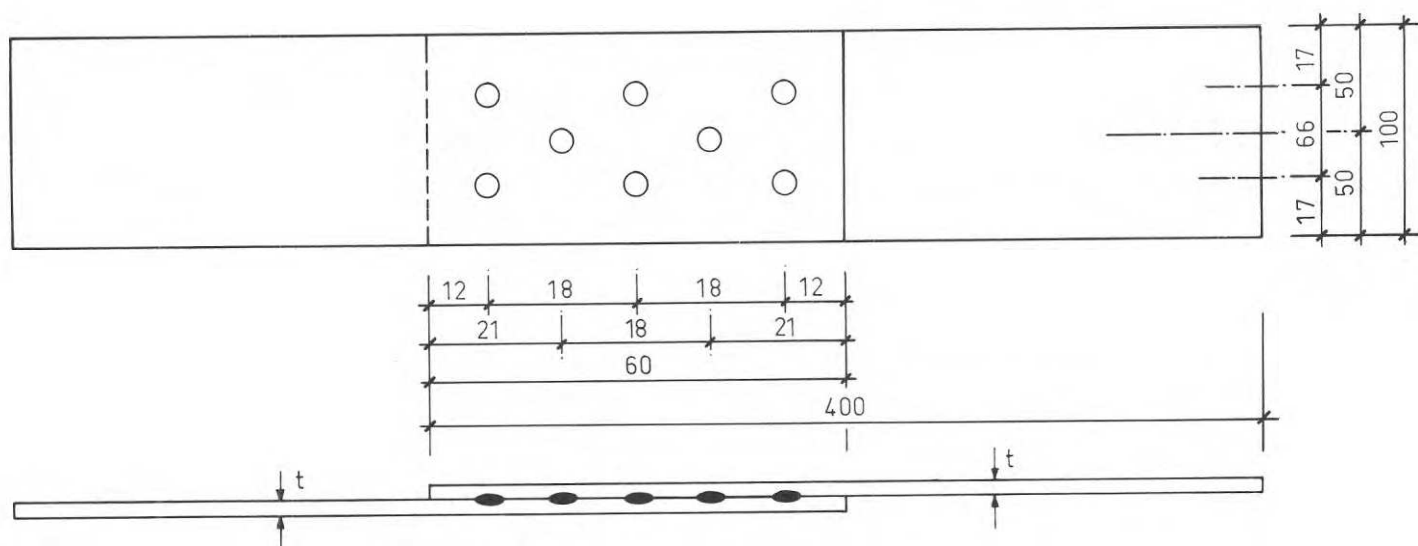


Fig.D43. Provkrøpstype V.

Provkroppstyp I (fig. D 39) avser hopfogning av plåtar med olika godstjocklekar varvid förhållandet  $t_2/t_1$  varierar inom gränser som framgår av nedan redovisade sammanställning av provningsresultat.

Provkroppstyp II (fig. D 40) avser fogning av jämntjocka plåtar inom tjockleksområdet 0,7 - 2,5 mm.

Provkroppstyp III - V (fig. D41-43) utgör stickprov med flera punktsvetsar i rad och i bredd. Svetspunkternas inbördes avstånd varierades enligt följande:

Provkroppstyp III (6 punktsvetsar)

Prov nr	c [mm]	e [mm]	l [mm]
201	22	36	224
202	22	36	224
205	18	28	176
206	18	28	176
209	16	25	157
210	16	25	157

Provkroppstyp IV (6 punktsvetsar)

Prov nr	c [mm]	e [mm]	l [mm]
203	22	36	224
204	22	36	224
207	18	28	92
208	18	28	92
211	16	25	82
212	16	25	82

## 6.2 Material till förband

Följande grundmaterial användes vid försöken:

t = 0,8	SIS 1140-32	valsblankt
t = 2,0	SIS 1140-32	valsblankt
t = 0,7	DOGAL SU 320	210 g zink per m <sup>2</sup> enkelsida
t = 1,0	DOGAL SU 320	210 g zink per m <sup>2</sup> enkelsida
t = 1,5	DOGAL FA	150 g zink per m <sup>2</sup> enkelsida
t = 2,5	DOGAL FA	210 g zink per m <sup>2</sup> enkelsida

Hållfasthetsdata för ovan angivna material framgår av tabell 1 i kap. B4 avsnitt 4.3.

## 6.3 Provningsomfattning och försöksresultat

Provningarna omfattar en registrering av sambandet mellan tvärlasten  $F$  och korresponderande förskjutningar  $\delta$ , uppmätta över förbandet med 115 mm mätlängd.

En sammanställning av maximal tvärlast  $F_B$  med avseende på provkroppstyp, grundmaterial, godstjocklekar och svetsdata ges i tabellerna 1 - 9.

Härvid avser:

tabell 1	provkroppstyp I	valsblankt material
tabell 2	provkroppstyp I	varmförzinkat material
tabell 3	provkroppstyp II	valsblankt material
tabell 4	provkroppstyp II	varmförzinkat material
tabell 5	provkroppstyp III	valsblankt material
tabell 6	provkroppstyp III	varmförzinkat material
tabell 7	provkroppstyp IV	valsblankt material
tabell 8	provkroppstyp IV	varmförzinkat material
tabell 9	provkroppstyp V	varmförzinkat material

Under rubriken brottyp införda beteckningar avser:

S = skjuvbrott svetslins	SN = snedställning av svetslins
H = hålkantflytning	T = sektionsbrott

I anslutning till brottlastredovisningen illustreras förbandens deformationsbeteende i form av  $F - \delta$  - kurvor (fig. D 44 - 48) varvid provningsresultaten för likartade provkroppar sammanslagits. Detta innebär att last-förskjutningskurvorna representerar medelvärden av tre registreringar för varje belastningssteg.

Redovisade samband utgör exempel på representativa förändringskurvor, så valda att olika parametrars inverkan på förbandets beteende kan illustreras. En diskussion av resultaten återges under avsnitt 6.4.

Allmänt gäller för redovisade  $F - \delta$  - samband att endast laststeg medtagits, som ger förskjutningar mindre än 1,5 mm. För en del kurvor kommer därför inte förbandets maximala lastupptagande förmåga och brottdeformation att uttryckas. Den i försök maximalt erhållna lasten framgår av tabellerna 1 - 9; den vid maximallast uppmätta förskjutningen uppgår som regel till 0,3 - 3,0 mm. Redovisat förskjutningsområde åtföljs av ett område där små lasttillskott ger stor deformationstillväxt.

Tabell 1: Brottlast  $F_B$  vid provkroppstyp I (valsblankt material)

Prov nr	$t_2/t_1$ [mm]	kant- avstånd [mm]	elektrod- diameter [mm]	svets- ström [amp]	svets- tid [sek]	elektrod- tryck [kp]	max. last [kp]	brott- typ
73	0,8/2,0	40,0	3,8	5800	0,18	95	567	H
74	0,8/2,0	40,0	3,8	5800	0,18	95	580	H
75	0,8/2,0	40,0	3,8	5800	0,18	95	581	H
76	0,8/2,0	40,0	4,7	7300	0,18	150	622	H
77	0,8/2,0	40,0	4,7	7300	0,18	150	600	H
78	0,8/2,0	40,0	4,7	7300	0,18	150	605	H
79	0,8/2,0	40,0	5,7	8700	0,18	215	633	H
80	0,8/2,0	40,0	5,7	8700	0,18	215	642	H
81	0,8/2,0	40,0	5,7	8700	0,18	215	640	H
82	0,8/2,0	40,0	6,6	10200	0,18	295	672	H
83	0,8/2,0	40,0	6,6	10200	0,18	295	677	H
84	0,8/2,0	40,0	6,6	10200	0,18	295	663	H
85	0,8/2,0	7,1	4,7	7300	0,18	150	563	H
86	0,8/2,0	7,1	4,7	7300	0,18	150	866	H
87	0,8/2,0	7,1	4,7	7300	0,18	150	566	H
88	0,8/2,0	10,9	4,7	7300	0,18	150	659	H
89	0,8/2,0	10,9	4,7	7300	0,18	150	660	H
90	0,8/2,0	10,9	4,7	7300	0,18	150	663	H
91	0,8/2,0	14,2	4,7	7300	0,18	150	624	H
92	0,8/2,0	14,2	4,7	7300	0,18	150	644	H
93	0,8/2,0	14,2	4,7	7300	0,18	150	640	H
94	0,8/2,0	19,0	4,7	7300	0,18	150	628	H
95	0,8/2,0	19,0	4,7	7300	0,18	150	606	H
96	0,8/2,0	19,0	4,7	7300	0,18	150	625	H
119	0,8/2,0	40,0	4,7	8000	0,18	230	634	H
120	0,8/2,0	40,0	4,7	8000	0,18	230	650	H
121	0,8/2,0	40,0	4,7	8000	0,18	230	652	H

Tabell 2: Brottlast  $F_B$  vid provkroppstyp I (varmförzinkat material)

Prov nr	$t_2/t_1$ [mm]	kant- avstånd [mm]	elektrod- diameter [mm]	svets- ström [amp]	svets- tid [sek]	elektrod- tryck [kp]	max. last [kp]	brott- typ
49	1,0/2,5	40,0	5,5	10650	0,32	330	891	S
50	1,0/2,5	40,0	5,5	10650	0,32	330	860	S
51	1,0/2,5	40,0	5,5	10650	0,32	330	795	S
117	0,7/2,5	40,0	4,6	9400	0,24	220	706	H
118	0,7/2,5	40,0	4,6	9400	0,24	220	707	H



Tabell 3. Brottlast  $F_B$  vid provkroppstyp II (valsblankt material).

Prov nr	t [mm]	kant- avstånd [mm]	elektrod- diameter [mm]	svets- ström [amp]	svets- tid [sek]	elektrod- tryck [kp]	max. last [kp]	brott- typ
1	0,8	6,7	4,5	6800	0,16	130	470	SN
2	0,8	6,7	4,5	6800	0,16	130	414	SN
3	0,8	6,7	4,5	6800	0,16	130	413	SN
4	0,8	10,6	4,5	6800	0,16	130	427	SN
5	0,8	10,6	4,5	6800	0,16	130	423	SN
6	0,8	10,6	4,5	6800	0,16	130	459	SN
7	0,8	13,4	4,5	6800	0,16	130	446	SN
8	0,8	13,4	4,5	6800	0,16	130	454	SN
9	0,8	13,4	4,5	6800	0,16	130	475	SN
10	0,8	17,9	4,5	6800	0,16	130	460	SN
11	0,8	17,9	4,5	6800	0,16	130	496	SN
12	0,8	17,9	4,5	6800	0,16	130	528	SN
13	0,8	40,0	3,6	5400	0,16	80	409	SN
14	0,8	40,0	3,6	5400	0,16	80	411	SN
15	0,8	40,0	3,6	5400	0,16	80	480	SN
16	0,8	40,0	4,5	6800	0,16	130	498	SN
17	0,8	40,0	4,5	6800	0,16	130	496	SN
18	0,8	40,0	4,5	6800	0,16	130	530	SN
19	0,8	40,0	5,4	8150	0,16	190	519	SN
20	0,8	40,0	5,4	8150	0,16	190	580	SN
21	0,8	40,0	5,4	8150	0,16	190	594	SN
22	0,8	40,0	6,3	9500	0,16	250	594	SN
23	0,8	40,0	6,3	9500	0,16	250	611	SN
24	0,8	40,0	6,3	9500	0,16	250	614	SN
25	2,0	40,0	5,6	9100	0,40	260	1829	SN
26	2,0	40,0	5,6	9100	0,40	260	1706	S
27	2,0	40,0	5,6	9100	0,40	260	1835	SN
28	2,0	40,0	7,1	11400	0,40	410	1945	S
29	2,0	40,0	7,1	11400	0,40	410	1920	S
30	2,0	40,0	7,1	11400	0,40	410	2095	SN
31	2,0	40,0	8,5	13700	0,40	590	2095	SN
32	2,0	40,0	8,5	13700	0,40	590	2090	SN
33	2,0	40,0	8,5	13700	0,40	590	2115	SN
34	2,0	40,0	9,9	15950	0,40	800	2156	SN
35	2,0	40,0	9,9	15950	0,40	800	2190	SN

Forts. Tabell 3. Brottlast  $F_B$  vid provkroppstyp II (valsblankt material).

Prov nr	t [mm]	kant- avstånd [mm]	elektrod- diameter [mm]	svets- ström [amp]	svets- tid [sek]	elektrod- tryck [kp]	max. last [kp]	brott- typ
36	2,0	40,0	9,9	15950	0,40	800	2190	SN
37	0,8	40,0	4,5	6200	0,16	800	459	SN
38	0,8	40,0	4,5	6200	0,16	800	460	SN
39	0,8	40,0	4,5	6200	0,16	800	299	SN
40	0,8	40,0	4,5	7200	0,16	150	494	SN
41	0,8	40,0	4,5	7200	0,16	150	495	SN
42	0,8	40,0	4,5	7200	0,16	150	501	SN
43	0,8	40,0	4,5	7550	0,16	170	497	SN
44	0,8	40,0	4,5	7550	0,16	170	497	SN
45	0,8	40,0	4,5	7550	0,16	170	546	SN
46	2,0	40,0	7,1	10300	0,40	330	1975	SN
47	2,0	40,0	7,1	10300	0,40	330	1770	S
48	2,0	40,0	7,1	10300	0,40	330	1780	S
49	2,0	40,0	7,1	12300	0,40	485	2100	SN
50	2,0	40,0	7,1	12300	0,40	485	2160	SN
51	2,0	40,0	7,1	12300	0,40	485	2072	SN
52	2,0	40,0	7,1	12650	0,40	515	2065	SN
53	2,0	40,0	7,1	12650	0,40	515	2048	SN
54	2,0	40,0	7,1	12650	0,40	515	2110	SN
55	0,8	40,0	4,5	6800	0,12	130	462	SN
56	0,8	40,0	4,5	6800	0,12	130	456	SN
57	0,8	40,0	4,5	6800	0,12	130	450	SN
58	0,8	40,0	4,5	6800	0,18	130	496	SN
59	0,8	40,0	4,5	6800	0,18	130	497	SN
60	0,8	40,0	4,5	6800	0,18	130	552	SN
61	0,8	40,0	4,5	6800	0,22	130	507	SN
62	0,8	40,0	4,5	6800	0,22	130	526	SN
63	0,8	40,0	4,5	6800	0,22	130	596	SN
64	2,0	40,0	7,1	11400	0,32	410	1940	SN
65	2,0	40,0	7,1	11400	0,32	410	1900	S
66	2,0	40,0	7,1	11400	0,32	410	1925	SN
67	2,0	40,0	7,1	11400	0,52	410	2160	SN
68	2,0	40,0	7,1	11400	0,52	410	2250	S
69	2,0	40,0	7,1	11400	0,52	410	2235	SN

Forts. Tabell 3. Brottlast  $F_B$  vid provkroppstyp II (valsblankt material).

Prov nr	t [mm]	kant- avstånd [mm]	elektrod- diameter [mm]	svets- ström [amp]	svets- tid [sek]	elektrod- tryck [kp]	max. last [kp]	brott- typ
70	2,0	40,0	7,1	11400	0,60	410	2325	SN
71	2,0	40,0	7,1	11400	0,60	410	2335	SN
72	2,0	40,0	7,1	11400	0,60	410	2335	SN
104	0,8	40,0	4,2	5100	0,44	65	638	SN
105	0,8	40,0	4,2	5100	0,44	65	624	SN
106	0,8	40,0	4,2	5100	0,44	65	624	SN
107	2,0	40,0	7,1	7200	1,10	180	1752	S
108	2,0	40,0	7,1	7200	1,10	180	1720	S
109	2,0	40,0	7,1	7200	1,10	180	1720	S
110	2,0	40,0	7,1	7800	1,10	220	2171	SN
111	2,0	40,0	7,1	7800	1,10	220	2135	S
112	2,0	40,0	7,1	7800	1,10	220	2100	S

Tabell 4. Brottlast  $F_B$  vid provkroppstyp II (varmförzinkat material).

Prov nr	t [mm]	kant- avstånd [mm]	elektrod- diameter [mm]	svets- ström [amp]	svets- tid [sek]	elektrod- tryck [kp]	max. last [kp]	brott- typ
1	0,7	40,0	4,2	9800	0,20	250	408	SN
2	0,7	40,0	4,2	9800	0,20	250	405	SN
3	0,7	40,0	4,2	9800	0,20	250	264	SN
4	1,0	40,0	5,0	10100	0,26	280	930	SN
5	1,0	40,0	5,0	10100	0,26	280	933	SN
6	1,0	40,0	5,0	10100	0,26	280	888	SN
7	1,0	40,0	6,3	11220	0,40	380	1205	SN
8	1,5	40,0	6,3	11220	0,40	380	1227	S
9	1,5	40,0	6,3	11220	0,40	380	1340	SN
10	2,5	40,0	8,9	18290	0,92	1020	3520	S
11	2,5	40,0	8,9	18290	0,92	1020	3295	S
12	2,5	40,0	8,9	18290	0,92	1020	3110	S
13	0,7	40,0	4,2	9650	0,24	245	437	SN
14	0,7	40,0	4,2	9650	0,24	245	430	SN
15	0,7	40,0	4,2	9650	0,24	245	460	SN
16	0,7	40,0	4,2	12100	0,16	380	407	SN
17	0,7	40,0	4,2	12100	0,16	380	404	SN
18	0,7	40,0	4,2	12100	0,16	380	421	SN
19	1,5	40,0	6,3	10000	0,48	270	810	S
20	1,5	40,0	6,3	10000	0,48	270	215	S
21	1,5	40,0	6,3	10000	0,48	270	760	S
22	1,5	40,0	6,3	11800	0,32	420	1292	S
23	1,5	40,0	6,3	11800	0,32	420	1156	S
24	1,5	40,0	6,3	11800	0,32	420	1160	S
25	2,5	40,0	8,9	13100	1,00	525	2200	S
26	2,5	40,0	8,9	13100	1,00	525	3215	S
27	2,5	40,0	8,9	13100	1,00	525	2970	S
28	2,5	40,0	8,9	16400	0,76	820	1620	S
29	2,5	40,0	8,9	16400	0,76	820	1700	S
30	2,5	40,0	8,9	16400	0,76	820	1170	S
31	0,7	40,0	4,2	10700	0,24	335	422	SN
32	0,7	40,0	4,2	10700	0,24	335	465	SN
33	0,7	40,0	4,2	10700	0,24	335	430	SN
34	0,7	40,0	4,2	8730	0,20	155	583	SN
35	0,7	40,0	4,2	8730	0,20	155	532	SN

Forts. Tabell 4. Brottlast  $F_B$  vid provkroppstyp II (varmförzinkat material).

Prov nr	t [mm]	kant- avstånd [mm]	elektrod- diameter [mm]	svets- ström [amp]	svets- tid [sek]	elektrod- tryck [kp]	max. last [kp]	brott- typ
36	0,7	40,0	4,2	8730	0,20	155	476	SN
37	1,0	40,0	5,0	11100	0,32	365	920	SN
38	1,0	40,0	5,0	11100	0,32	365	915	SN
39	1,0	40,0	5,0	11100	0,32	365	843	SN
40	1,0	40,0	5,0	9000	0,26	180	884	SN
41	1,0	40,0	5,0	9000	0,26	180	890	SN
42	1,0	40,0	5,0	9000	0,26	180	894	SN
43	1,5	40,0	6,3	12300	0,48	475	1341	SN
44	1,5	40,0	6,3	12300	0,48	475	1381	SN
45	1,5	40,0	6,3	12300	0,48	475	1440	SN
46	1,5	40,0	6,3	10100	0,40	280	1012	S
47	1,5	40,0	6,3	10100	0,40	280	1010	S
48	1,5	40,0	6,3	10100	0,40	280	924	S
101	0,7	40,0	5,5	7750	0,20	210	460	SN
102	0,7	40,0	5,5	7750	0,20	210	508	SN
103	0,7	40,0	5,5	7750	0,20	210	565	SN
113	2,5	40,0	11,3	19650	1,20	950	3650	S
114	2,5	40,0	11,3	19650	1,20	950	3570	S
115	2,5	40,0	11,3	19650	1,20	950	3950	S

Tabell 5: Brottlast  $F_B$  vid provkroppstyp III (valsblankt material)

Prov nr	t [mm]	elektrod- diameter [mm]	svets- ström [amp]	svets- tid [sek]	elektrod- tryck [kp]	max. last [kp]	brott- typ
205	2,0	7,1	13200	0,40	440	5750	T
206	2,0	7,1	13200	0,40	440	5800	T

Tabell 6: Brottlast  $F_B$  vid provkroppstyp III (varmförzinkat material)

Prov nr	t [mm]	elektrod- diameter [mm]	svets- ström [amp]	svets- tid [sek]	elektrod- tryck [kp]	max. last [kp]	brott- typ
201	2,5	8,9	20200	1,0	950	9000	T
202	2,5	8,9	20200	1,0	950	8900	T
209	1,5	6,3	13200	0,44	450	4660	T
210	1,5	6,3	13200	0,44	450	5100	T

Tabell 7: Brottlast  $F_B$  vid provkroppstyp IV (valsblankt material)

Prov nr	t [mm]	elektrod- diameter [mm]	svets- ström [amp]	svets- tid [sek]	elektrod- tryck [kp]	max. last [kp]	brott- typ
207	2,0	7,1	13200	0,40	440	5560	T
208	2,0	7,1	13200	0,40	440	5600	T

Tabell 8: Brottlast  $F_B$  vid provkroppstyp IV (varmförzinkat material)

x) försöket avbrutet p.g.a. brott i infästning

Prov nr	t [mm]	elektrod-diameter [mm]	svets-ström [amp]	svets-tid [sek]	elektrod-tryck [kp]	max. last [kp]	brott-typ
203	2,5	8,9	20200	1,00	950	9200	T
204	2,5	8,9	20200	1,00	950	5000 x)	T
211	1,5	6,3	13200	0,44	450	4300	T
212	1,5	6,3	13200	0,44	450	4950	T

Tabell 9: Brottlast  $F_B$  vid provkroppstyp V (varmförzinkat material)

Prov nr	t [mm]	elektrod-diameter [mm]	svets-ström [amp]	svets-tid [sek]	elektrod-tryck [kp]	max. last [kp]	brott-typ
213	0,7	4,2	9200	0,20	160	3300	T
214	0,7	4,2	9200	0,20	160	3460	T

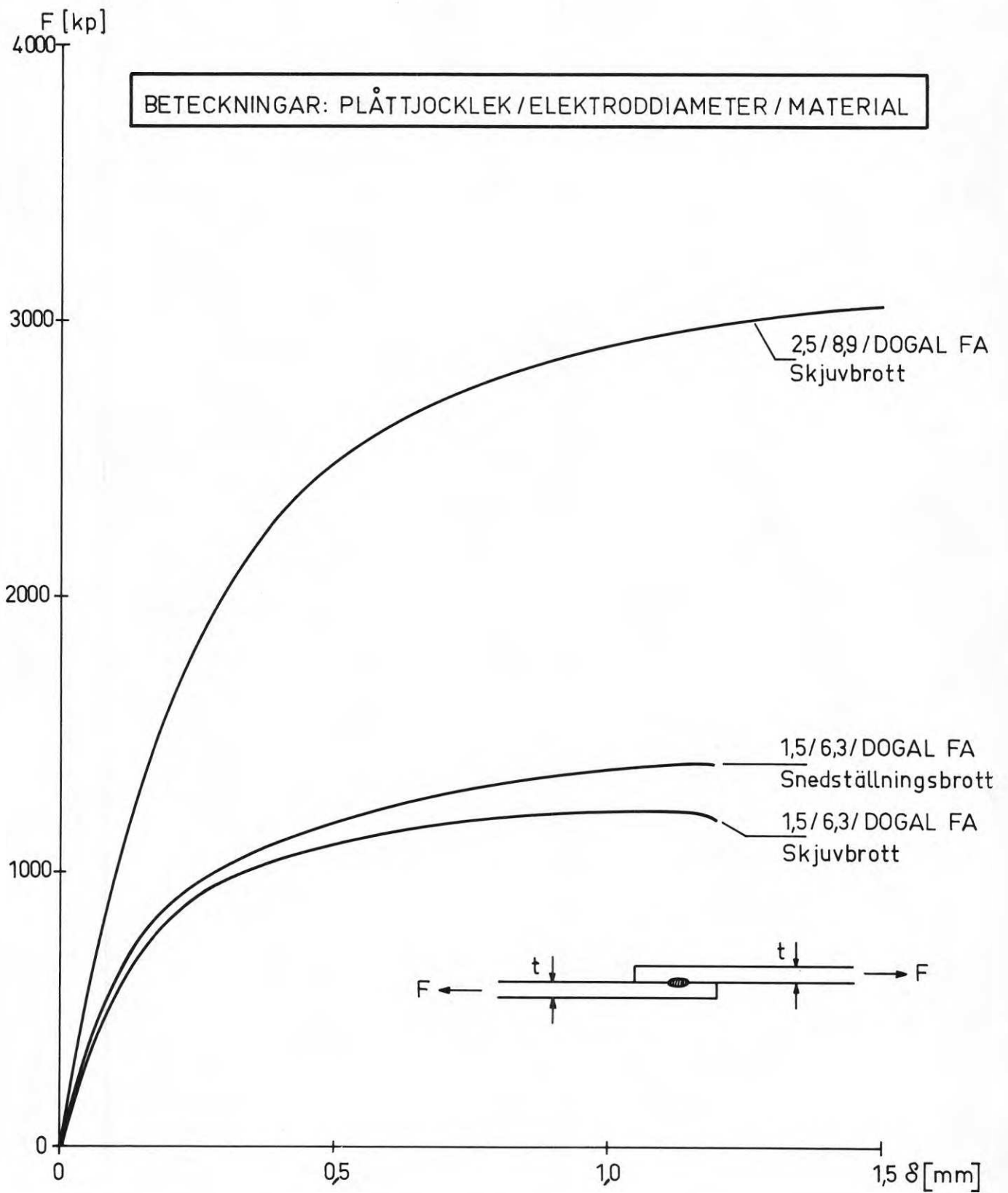


Fig.D44. Några typiska last-deformationskurvor för enkelt överlappsförband i varmförzinkat material.



BETECKNINGAR: PLÅTTJOCKLEK / ELEKTRODIAMETER / MATERIAL

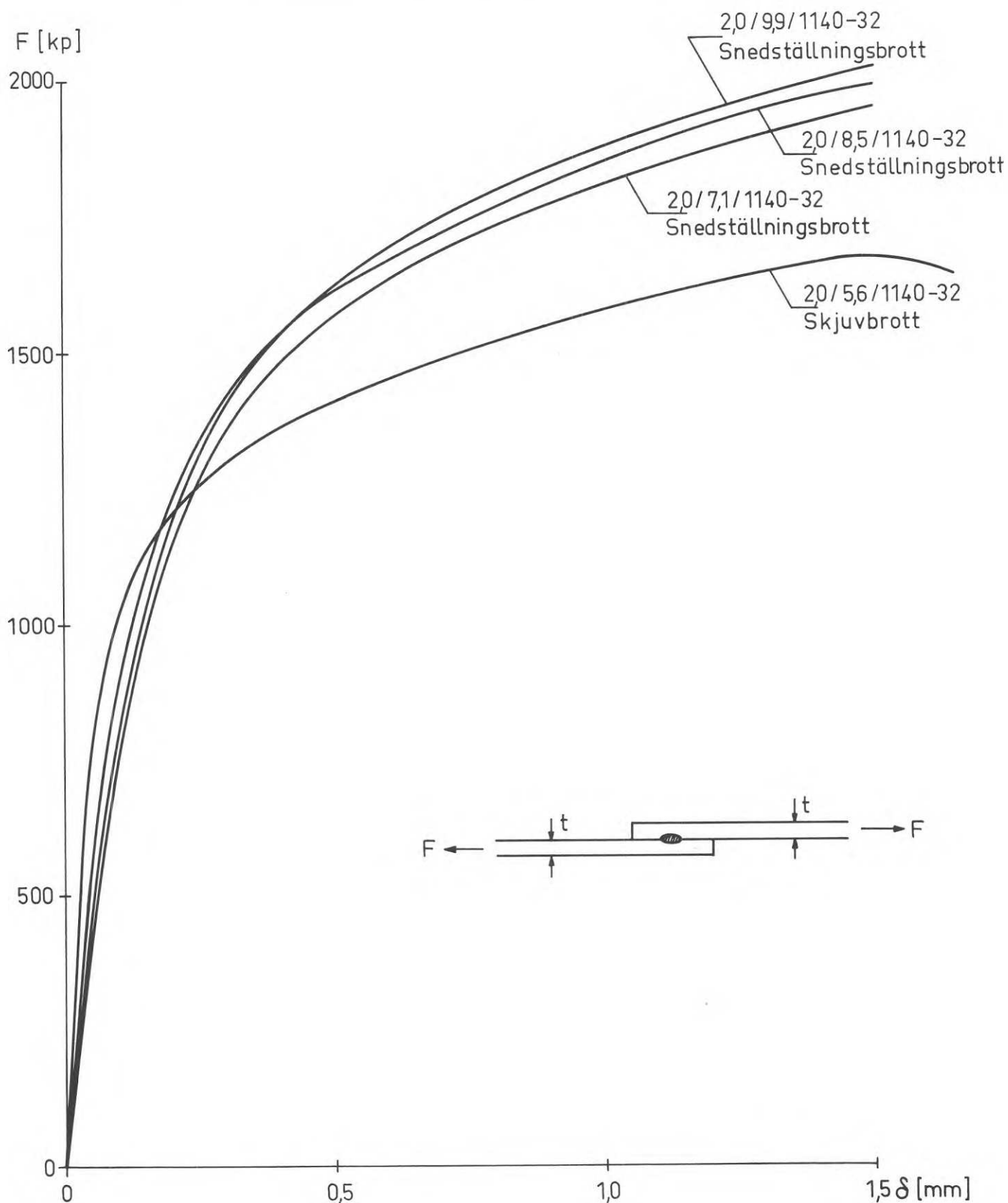


Fig.D45. Några typiska last-deformationskurvor för enkelt överlappsförband i valsblankt material.

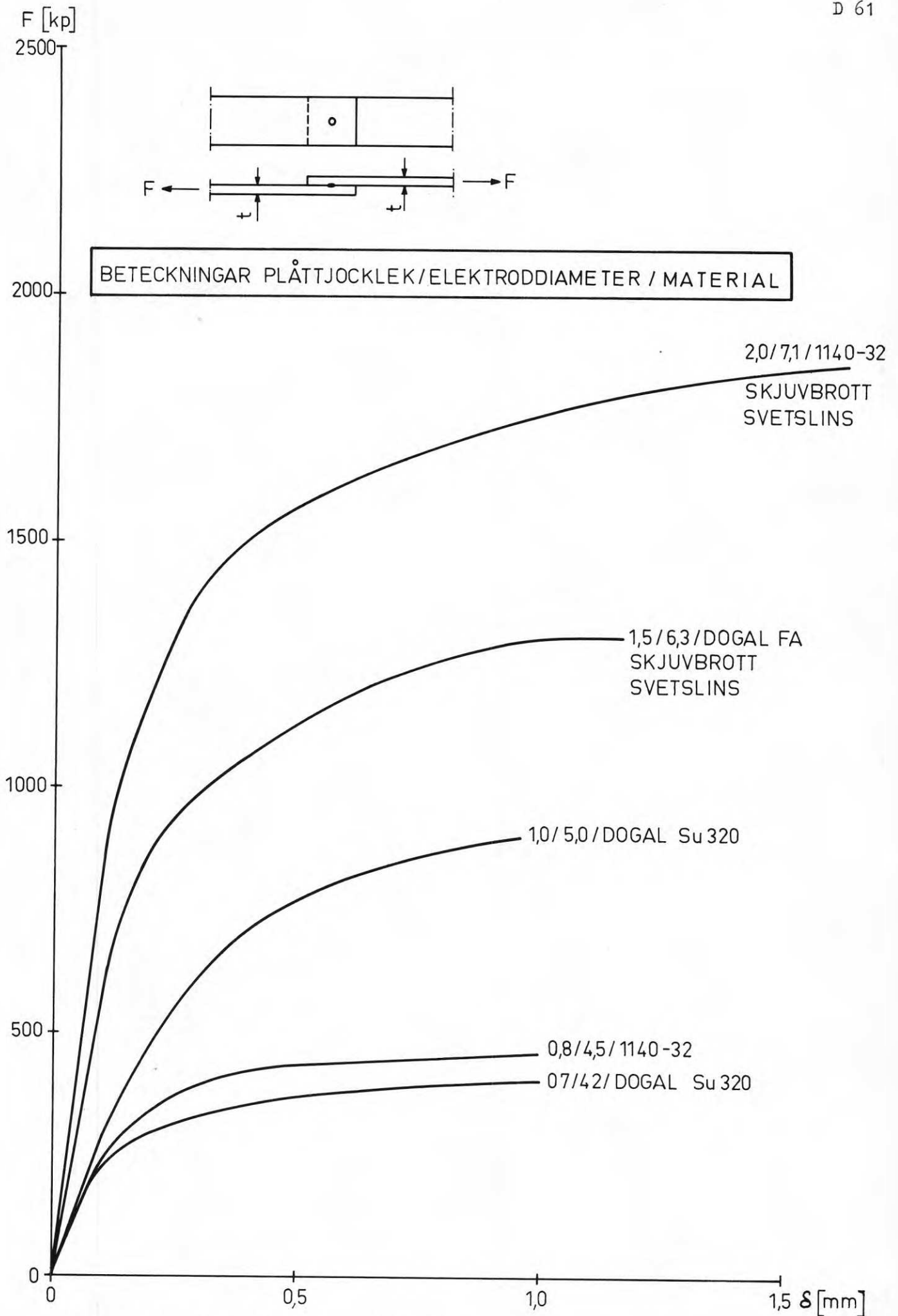


Fig.D46. Några typiska last-deformationskurvor för enkelt överlappsförband, valsblankt och varmförzinkat material.

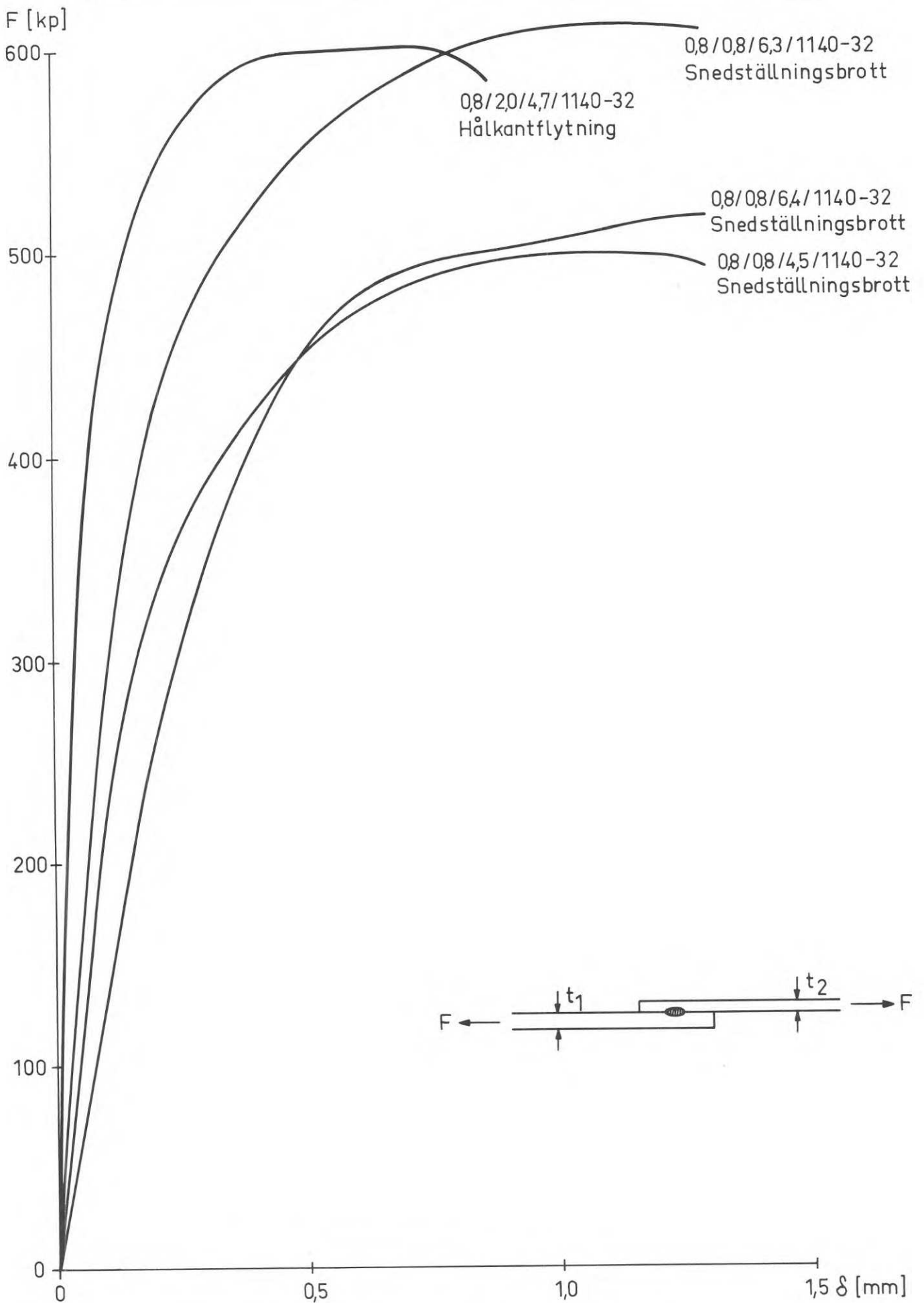


Fig.D47. Några typiska last-deformationskurvor för enkelt överlappsförband i valsblankt material.

BETECKNINGAR: PLÅTTJOCKLEK / ELEKTRODDIAMETER / MATERIAL

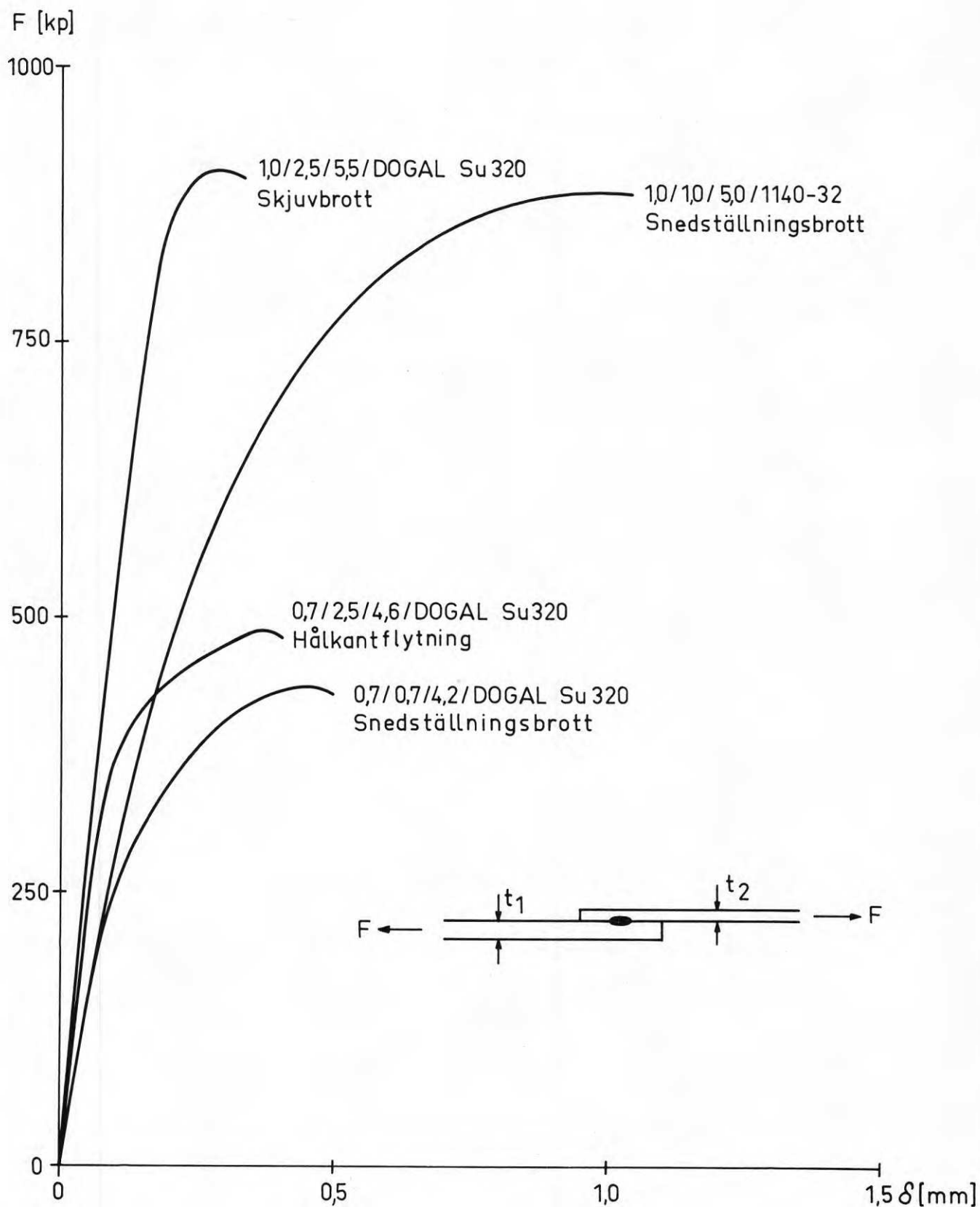


Fig.D48. Några typiska last-deformationskurvor för enkelt överlappsförband i varmförzinkat material.

#### 6.4 Svetsresultatets beroende av svetsparameterintervallet

I avsnitt 3.6 framgår av fig. D 18 hur svetslinsdiametern påverkas av elektrodpetsens diameter. Av figuren framgår även att för samma elektrodpetsdiameter svetslinsens diameter kan variera något beroende på plåttjocklek och val av svetsparametrar. Diagrammet förutsätter att val av elektrodpetsdiameter sker enligt följande:

$$4 \sqrt{t} < d_E < 7 \sqrt{t}$$

Dessutom skall övriga svetsparametrar väljas så att de krav på svetsar som närmare preciseras i avsnitt 8.34 blir uppfyllda.

I avsnitt D 5. fig. D 29 framgår skjuvbrotthållfasthetens principiella beroende av plåttjocklek och svetslinsdiameter.

Vid jämförelser av svetsresultat för olika parameterintervall har i detta avsnitt skjuvbrotthållfastheten använts som mått på svetskvalitén. Jämförelserna är att betrakta som något förenklade genom att vid bedömningen hänsyn ej tagits till förbandens deformationsegenskaper. En sådan bedömning har emellertid ej heller ansetts nödvändig i detta fall då resultaten endast i mindre utsträckning ligger till grund för rekommendationer vad gäller svetsparametrar.

#### Kommentarer för valsblankt material

Redovisning av resultaten sker i diagram i fig. D 49 - 53 varvid två olika storheter använts som oberoende variabler.

I det ena fallet (fig. D49-51) har elektrodpetsdiameteren  $d_E$  varit

oberoende medan storheterna  $\frac{4I_S^2}{\pi d_E^2}$  och  $\frac{4E_T}{\pi d_E^2}$  hållits konstanta för varje plåttjocklek. I det andra fallet (fig. D52-53) har värdet av

uttrycket  $\frac{4I_S^2}{\pi d_E^2}$  använts som oberoende variabel, medan elektrodpets-

diameteren  $d_E$  och värdet på uttrycket  $\frac{4E_T}{\pi d_E^2}$  varit konstant.

Värden på konstanter för de olika plåttjocklekarna framgår av respektive figur.

Vid de försök vars resultat framgår av fig. D 49-51 utfördes svetsningen för varje plåttjocklek med samma svetstid oavsett elektrodspetsdiametern. Av figurerna framgår att det är möjligt att med enkla principer för val av svetsparametrar erhålla en väsentlig ökning av skjuvbrotttlasten.

Av fig. D 52-53 framgår att det för en bestämd elektrodspetsdiameter även är möjligt att höja skjuvbrotttlasten genom att öka värdet på

$$\text{storheten } \frac{4I^2S}{\pi \cdot d_E^2} .$$

De olika figurerna visar också att om för ett normalt val av svetsparametrar en ökning av storheten  $I^2S$  skall företas, bästa utbytet för tunn plåt ( $t = 0,8$  mm) erhålles om diametern i samband därmed ökas, medan för grövre plåt ( $t = 2,0$  mm) en ökning av värdet på  $\frac{4I^2S}{\pi d_E^2}$  tycks vara att föredra.

För samtliga prov om vars resultat inlagts i fig. D 49-53 har avvikelser från basparametrar varit relativt små ( $<40$  %). Svetsning utfördes emellertid även med nära tre gånger så långa svetstider. Jämförelse med de i diagrammen redovisade proven visade att vid  $t = 2,0$  mm en kompensering av de, till följd av den långa svetstiden, ökade värmeförlusterna måste ske med en 5 - 20 % ökning av svetsströmmen, för att samma skjuvbrotthållfasthet skall erhållas.

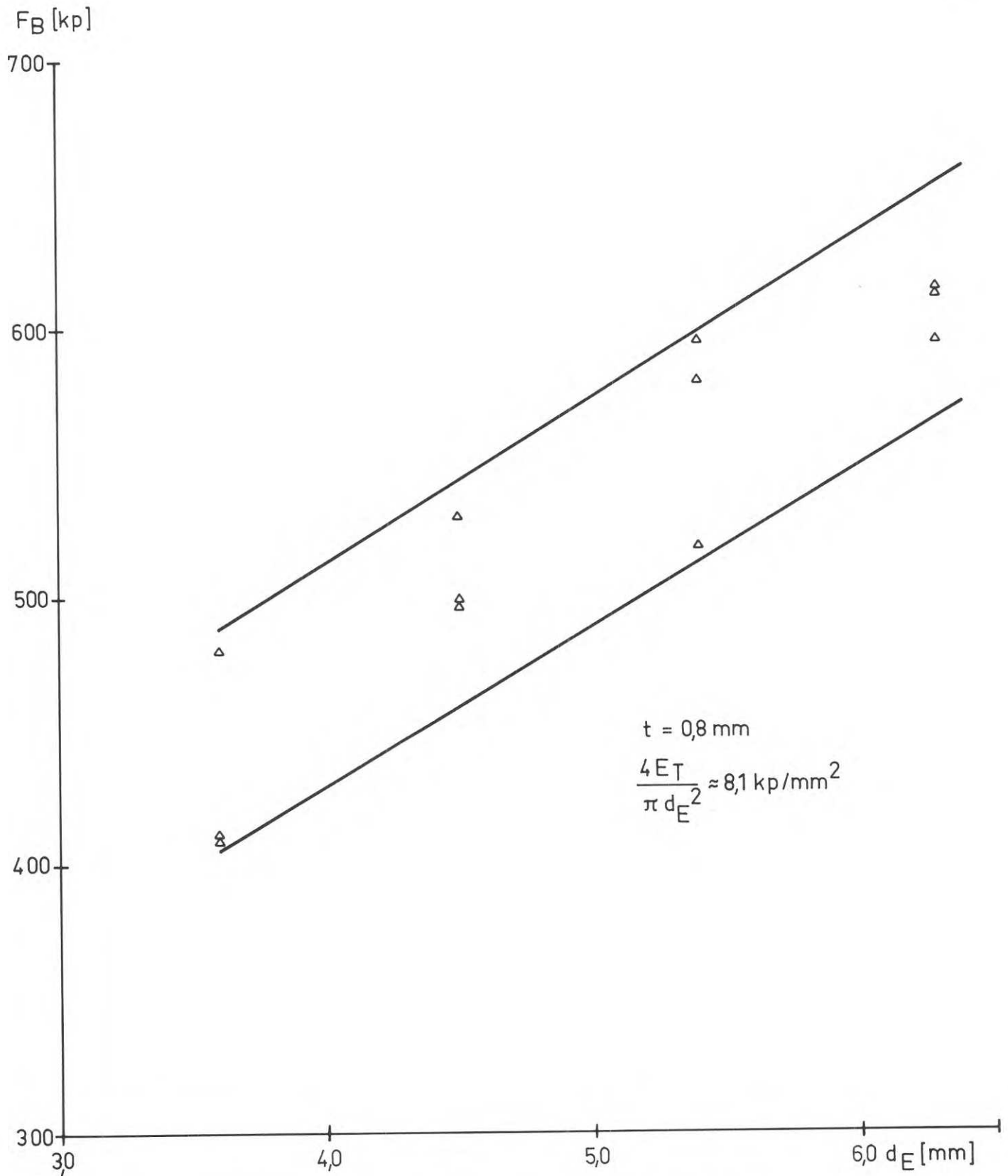


Fig.D49. Skjuvbrotthållfastheten  $F_B$  som funktion av elektrod-diametern  $d_E$  vid konstant förhållande

$$\frac{4 I_S^2}{\pi d_E^2} = 0,46 (\text{kA})^2 \text{ sek/mm}^2$$

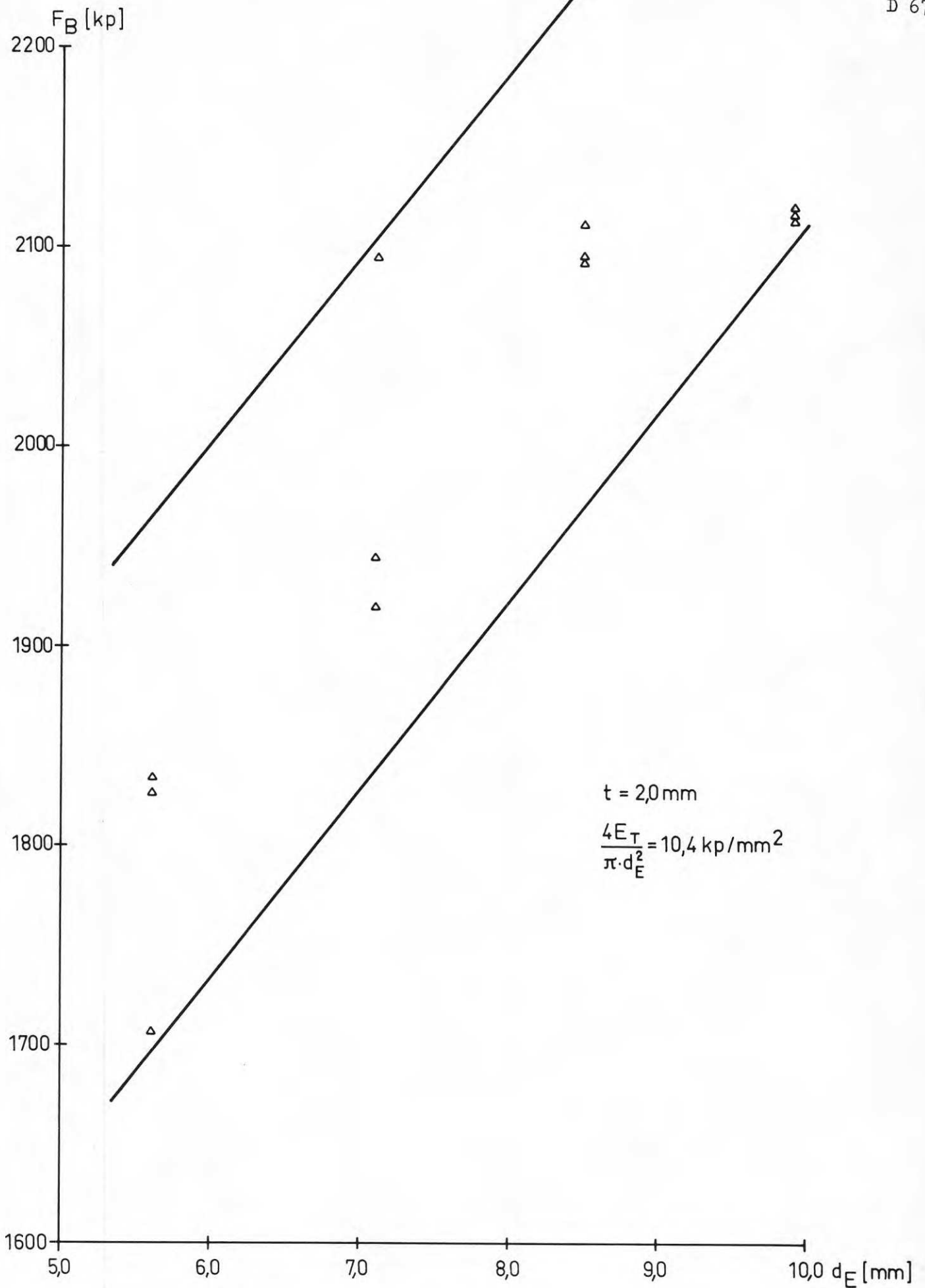


Fig.D50. Skjuvbrothållfastheten  $F_B$  som funktion av elektrod-diametern  $d_E$  vid konstant förhållande

$$\frac{4I^2S}{\pi d_E^2} = 1,33(\text{kA})^2 \text{ sek/mm}^2$$



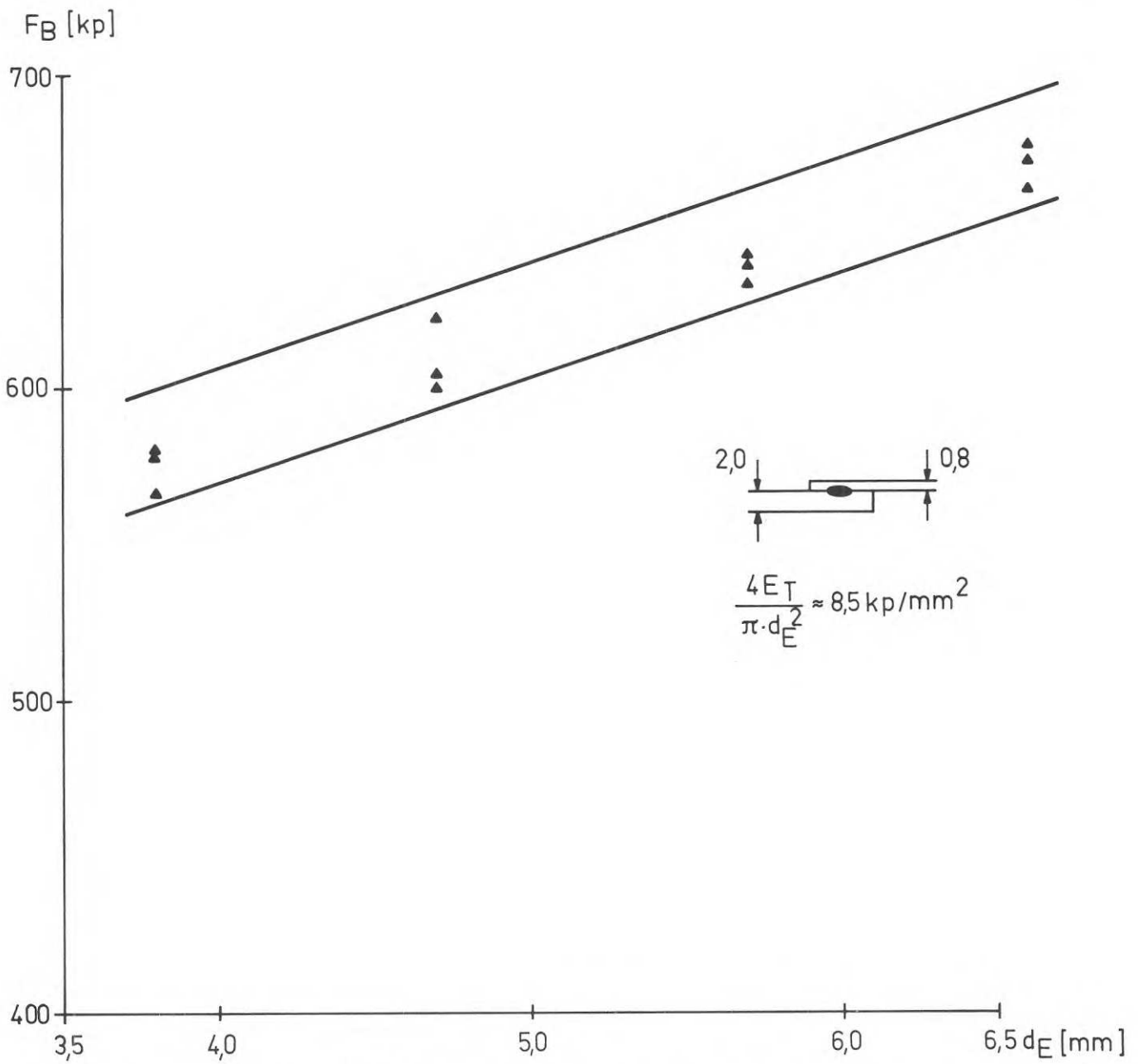


Fig.D51. Skjuvbrotthållfastheten  $F_B$  som funktion av elektrod-diametern  $d_E$  vid konstant förhållande

$$\frac{4I_G^2}{\pi d_E^2} = 0,54 (\text{kA})^2 \cdot \text{sek/mm}^2$$

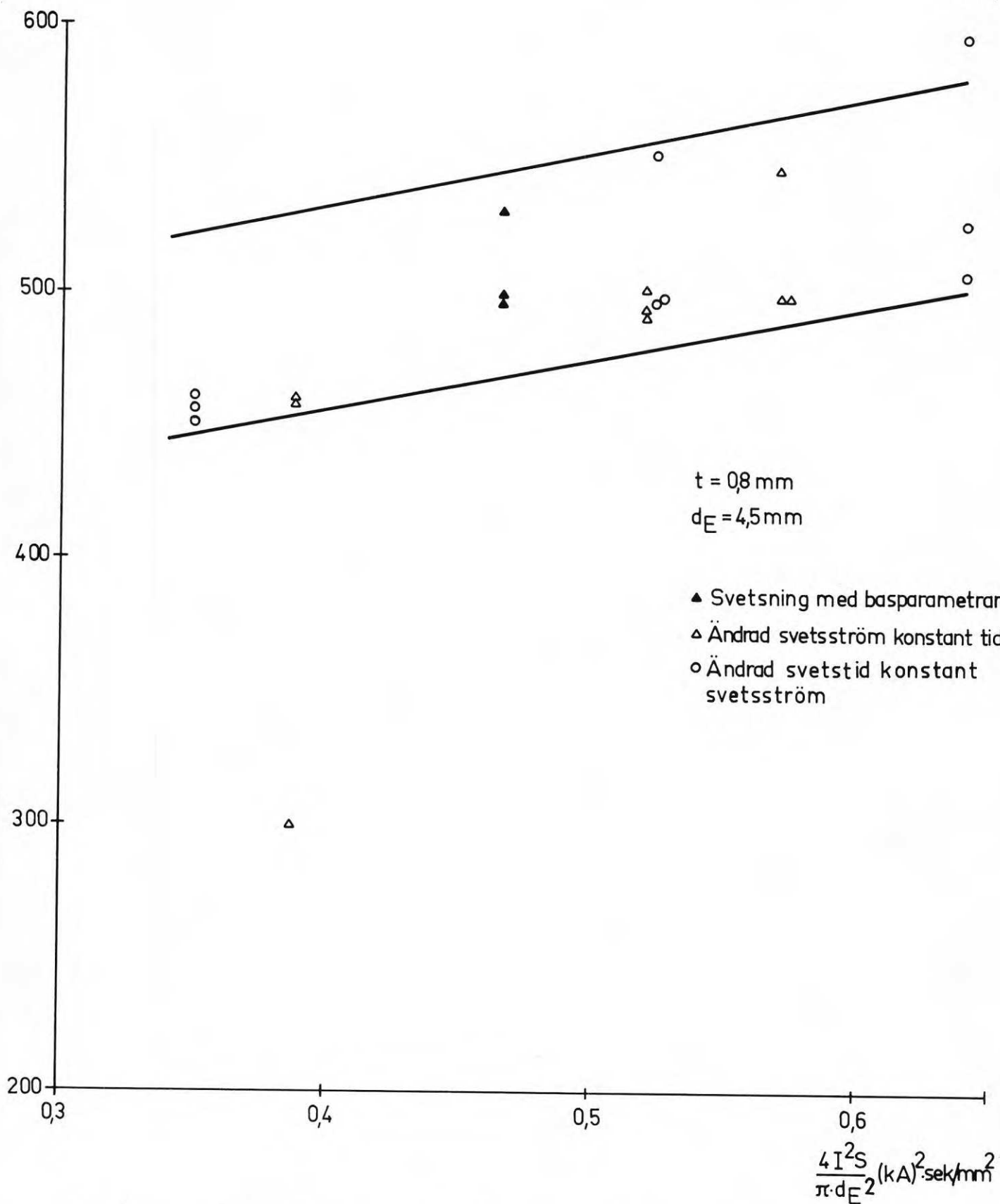


Fig.D52. Skjuvbrotthållfastheten  $F_B$  som funktion av  $\frac{4I^2S}{\pi \cdot d_E^2}$  vid konstant elektroddiameter.

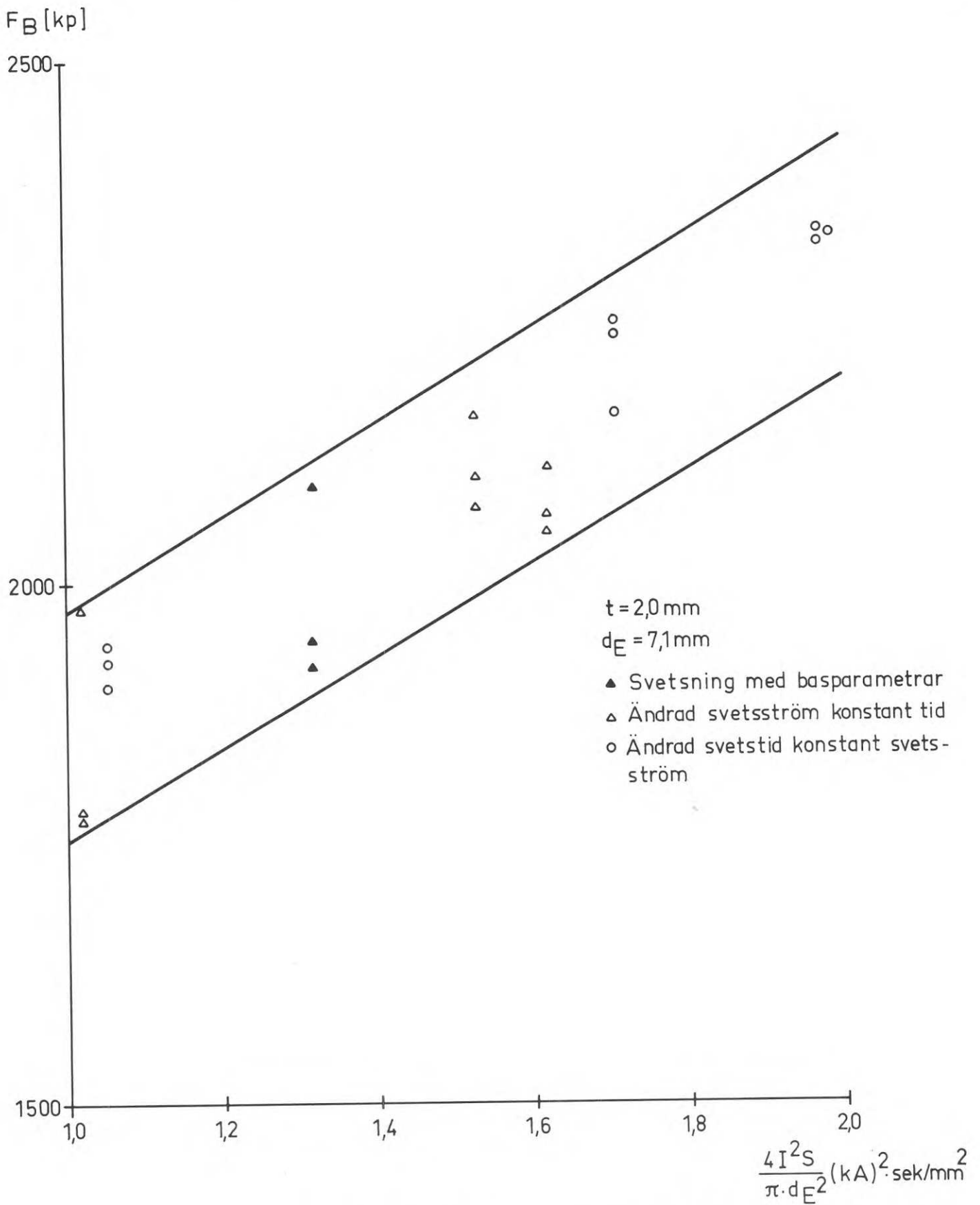


Fig.D53. Skjuvbrotthållfastheten  $F_B$  som funktion av  $\frac{4I^2S}{\pi \cdot d_E^2}$  vid konstant elektroddiameter.

Kommentarer för varmförzinkat material

Redovisning av resultaten sker i diagramform i fig. D 54-57.

Av försöken framgår att spridningar i skjuvbrotthållfasthet är betydligt större för varmförzinkat än för valsblankt material. Dessutom kan relativt små ändringar i svetsparametrar kraftigt sänka skjuvbrotthållfastheten vilket medför att en noggrannare kontroll fordras vid varmförzinkat än valsblankt material.

Försöken visar också att det för varmförzinkad plåt ej existerar några bestämda samband mellan svetsparametrar och skjuvbrotthållfasthet. Svetsresultatet tycks starkt beroende av att vissa bestämda värden på svetstid och svetsström ej underskrids.

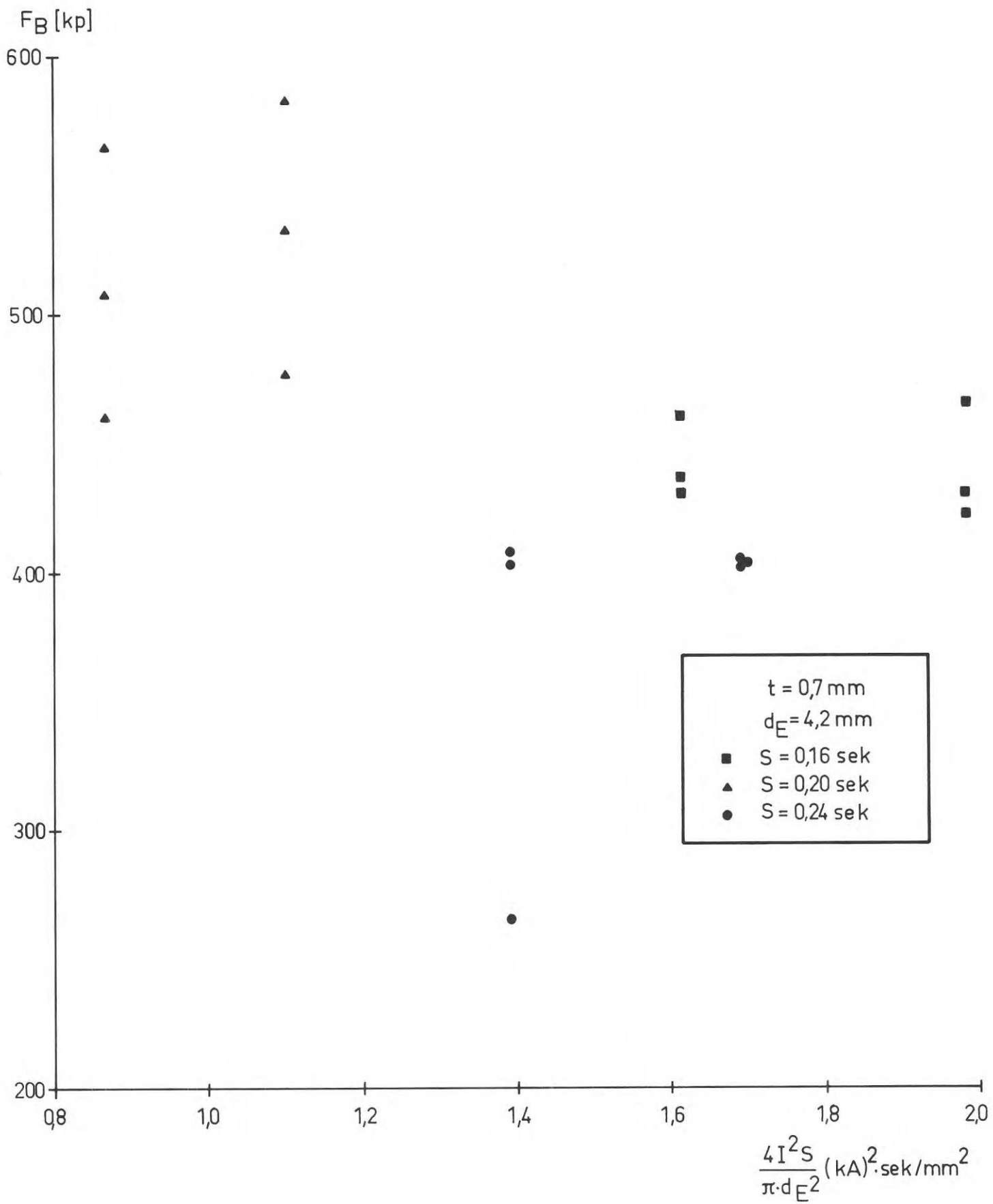


Fig.D54. Skjuvbrotthållfastheten  $F_B$  som funktion av  $\frac{4I^2S}{\pi d_E^2}$  vid konstant elektroddiameter  $d_E$  (varmförzinkat material).

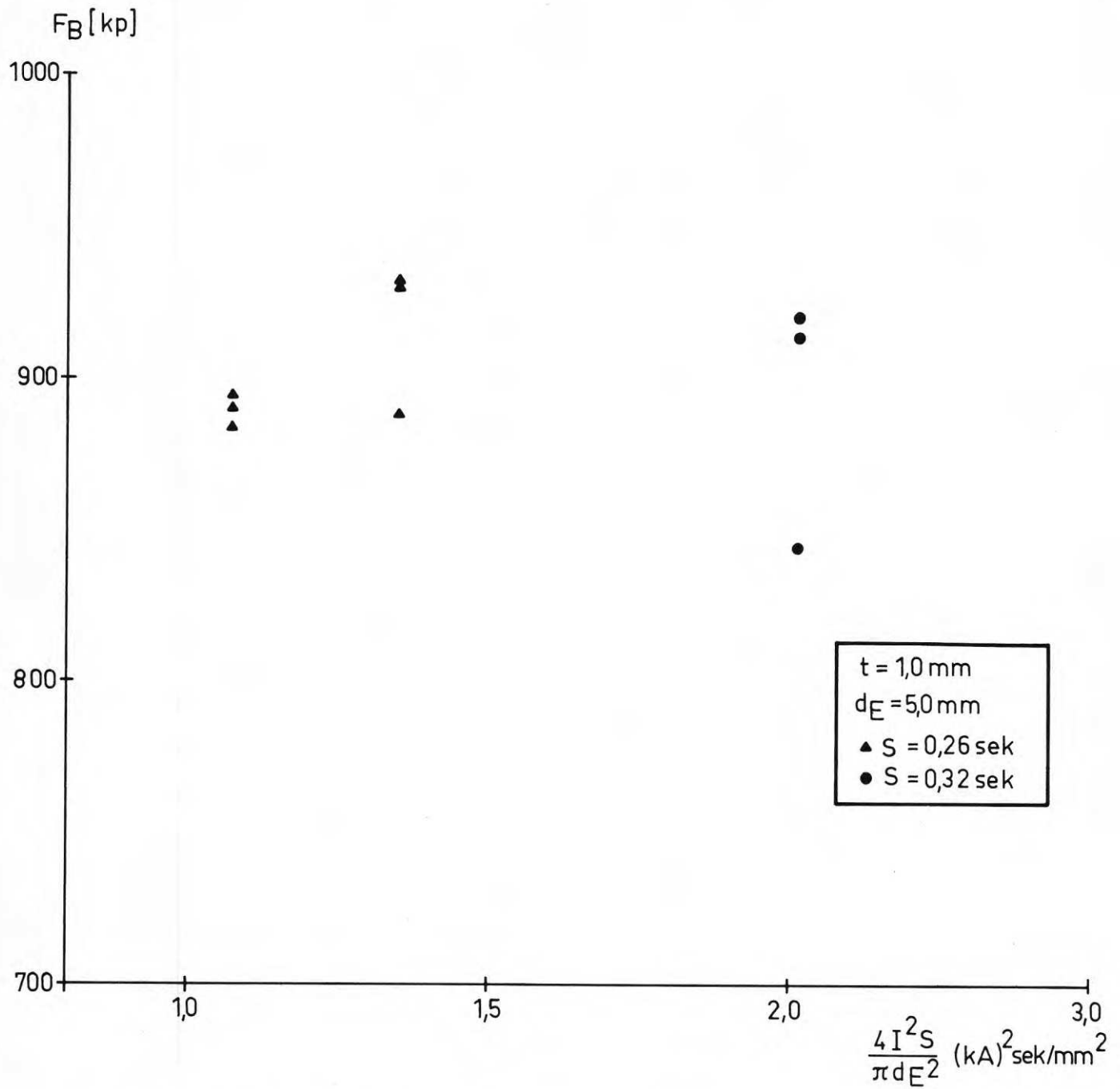


Fig.D55. Skjuvbrotthållfastheten  $F_B$  som funktion av

$$\frac{4I^2S}{\pi d_E^2} \text{ vid konstant elektroddiameter } d_E.$$

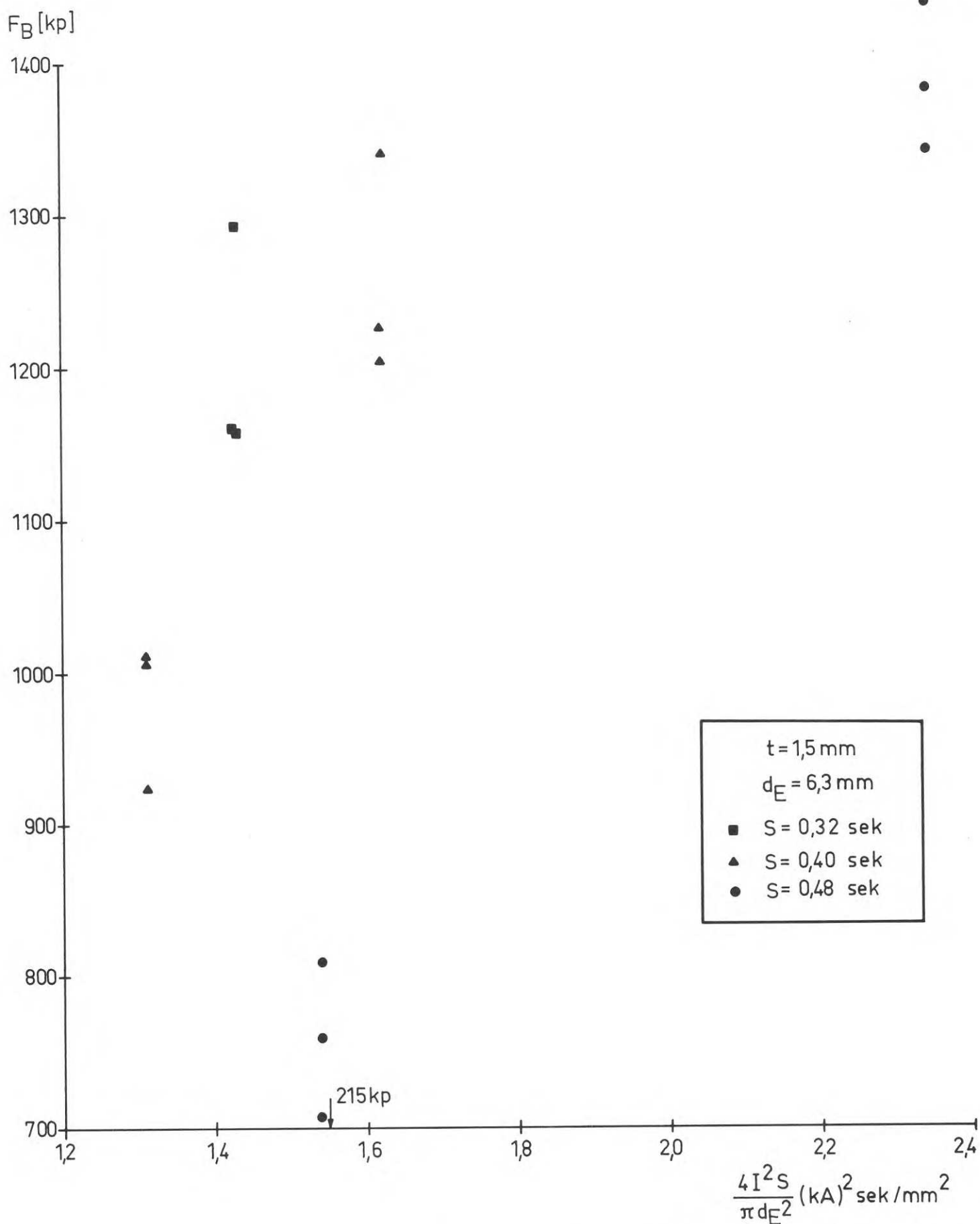


Fig.D56. Skjuvbrotthållfastheten  $F_B$  som funktion av  $\frac{4I^2S}{\pi d_E^2}$  vid konstant elektrodiameter  $d_E$  (varmförzinkat material).

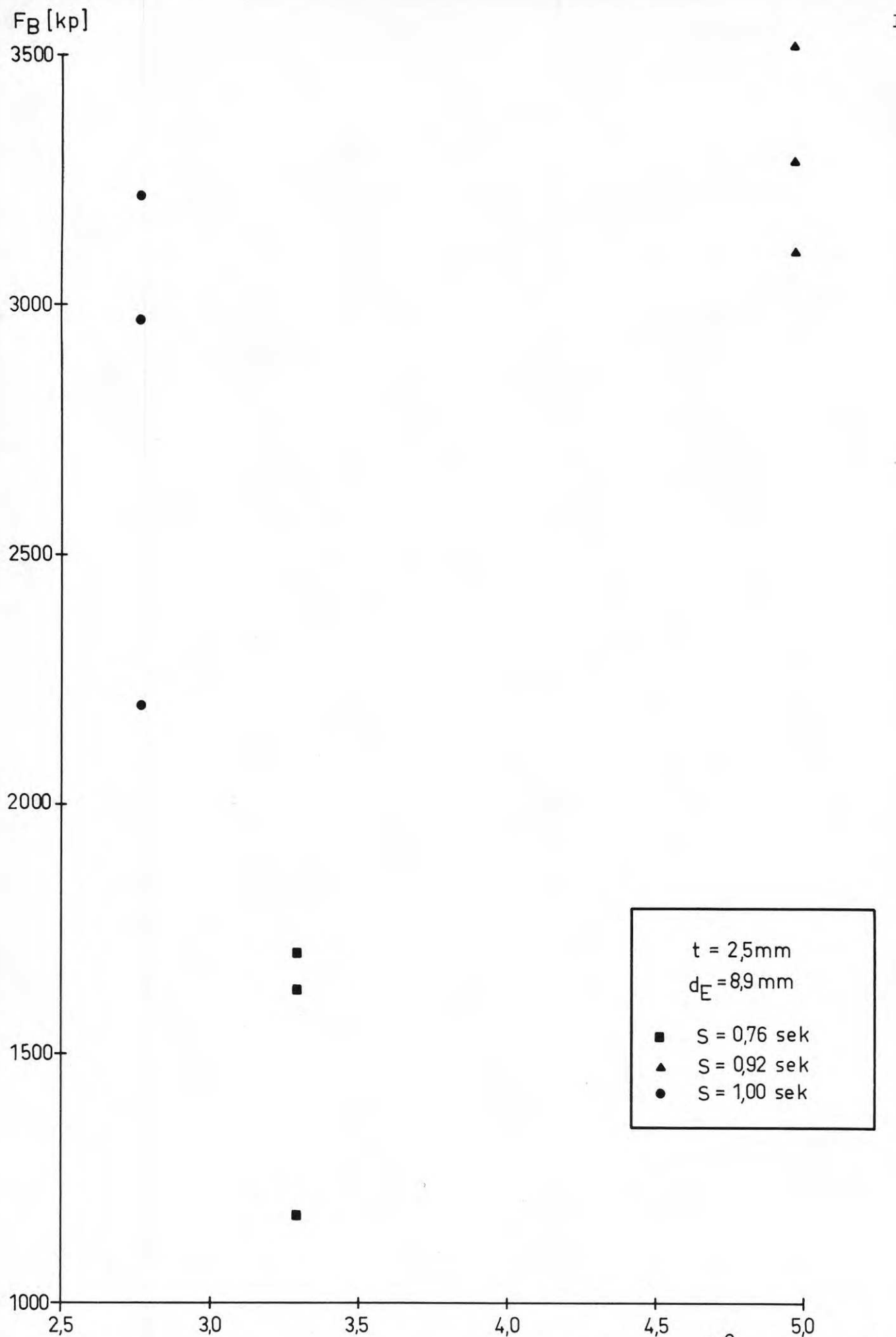


Fig. D57. Skjuvbrotthållfastheten  $F_B$  som funktion av  $\frac{4I^2S}{\pi d_E^2}$  vid  $\frac{4I^2S}{\pi d_E^2}$  (kA)<sup>2</sup>sek/mm<sup>2</sup> vid konstant elektroddiameter  $d_E$  (varmförzinkat material).



Kommentarer för prov med varierande kantavstånd

Två olika tjocklekskombinationer användes vid försöken och i båda fallen kom skjuvbrotthållfastheten att visa ett visst beroende av kantavståndet. Försöken visar att en stabilisering av registrerade brottlastvärden kan förväntas med ökat kantavstånd. Vid försöken understeg avvikelsen från brottlastmedelvärdet vid  $e = 40,0 \text{ mm}$  10 % när  $e \geq 3d_E$ .

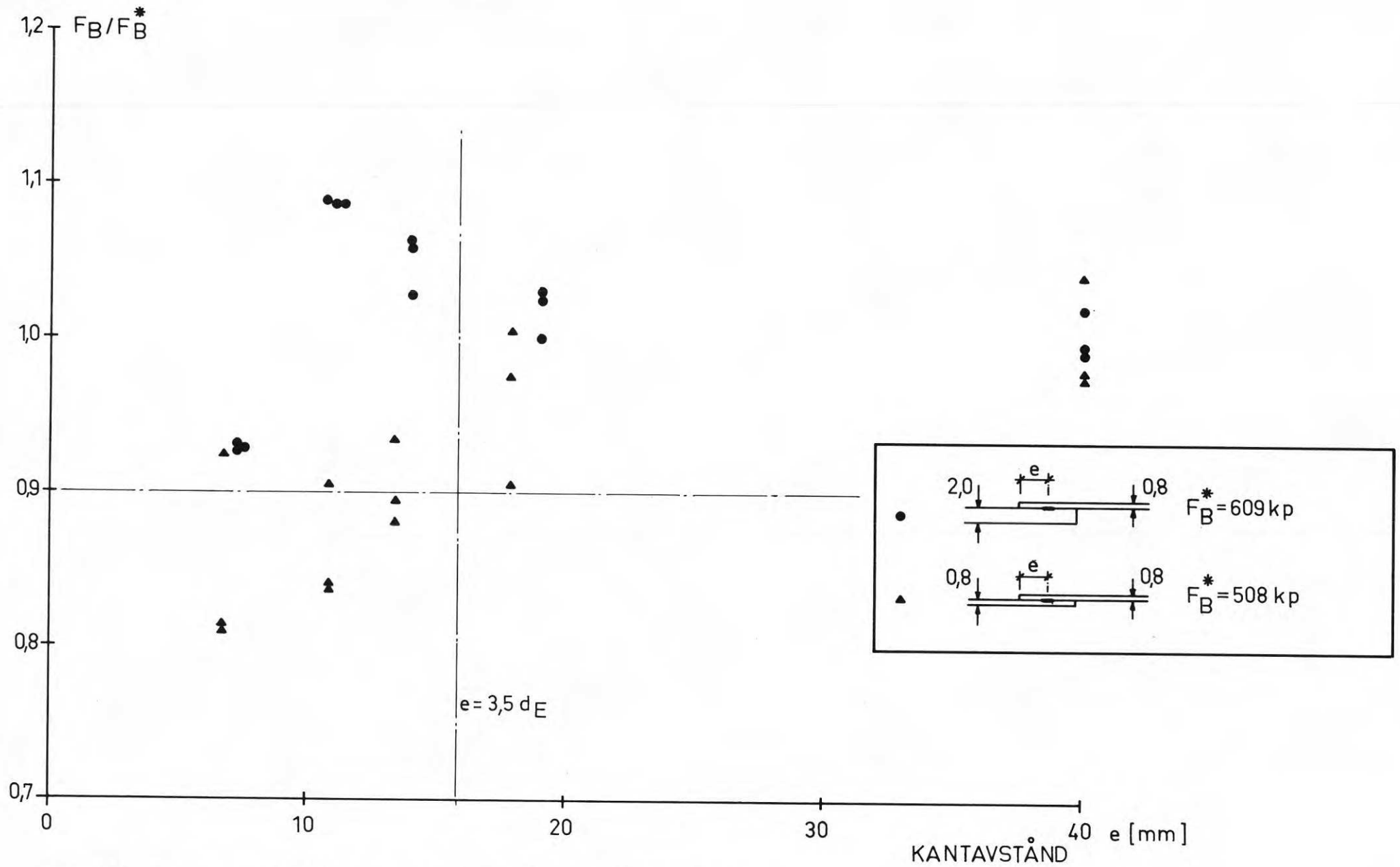


Fig.D58. Skjuvbrotthållfastheten som funktion av kantavståndet  $e$ .

Kommentarer för prov med olika punktsvetsantal i kraftriktningen

För försöksresultaten från dessa provningar hänvisas till tabellerna i avsnitt 6.3. En närmare redovisning i diagramform har med hänsyn till provningsresultaten ej funnits erforderlig.

Vid samtliga försök erhöles sektionsbrott vilket i princip kan sägas innebära att spänningskoncentrationer i ett förbands yttre svetspunkter ej behöver beaktas om normala svetsparametrar väljs och antalet svetspunkter i rad ej överstiger sex.

## D7. MOTSTÅNDSPUNKTSVETSFÖRBANDETS LASTUPPTAGANDE FÖRMÅGA: DIMENSIONERINGSUNDERLAG

Ett punktsvetsförbands förmåga att motstå yttre last är i första hand beroende på svetslinsdiameter och fogdelarnas tjocklekar. Brottyper och brottorsaker har tidigare diskuterats i avsnitten D3, D5 och D6. Med anknytning till dessa avsnitt redovisas nedan hur brottlaster för de olika brottyperna kan bestämmas.

### 7.1 Skjuvbrott

Det har icke funnits någon anledning att vid redovisning av underlag för dimensionering vid lika tjocka plåtar skilja på brott genom avskjuvning eller snedställning av svetslins. Då dessutom gränsen för var den ena brottypen övergår i den andra är diffus har det valts att redovisa hela underlaget i diagramform i avsnitt 7.2.

Vid plåtar med väsentlig skillnad i tjocklek ( $t_1 \geq 2,5 t_2$ ) sker en mer markerad övergång från en brotttyp till en annan. I detta fall är de aktuella brottyperna skjuvbrott och hålkantflytning. För bestämning av brottlaster för båda dessa brottyper hänvisas till avsnitt 7.3.

### 7.2 Snedställningsbrott

I avsnittet redovisas förutom resultat från egna försök även brottlastberäkningsmetoder eller försöksresultat från referenserna [3], [6], [12], [13], [14], [18] och [19].

Värden på brottlasten  $F_B$  ( $F_{BSN}$  eller  $F_{BS}$ ) redovisas i diagramform i fig. 59-71 för plåttjocklekar 0,5 - 3,1 mm och med brottlasten beroende av svetslinsdiametern.

Samtliga prov antas utförda med en provkroppsbredd  $\leq 6d_s$  och provningsresultaten anpassats till ett referensgrundmaterial med brottgränsspänningen  $\sigma_B = 37 \text{ kp/mm}^2$ .

Vid de egna försöken var provkroppsbredden konstant = 100 mm. Med anledning härav har de uppmätta brottlasterna reducerats med 10 % vilket väl synes motsvara den ökning i brottlast som den relativt stora provkroppsbredden orsakat.

Hänsyn har ej tagits till om brottet skett genom avskjuvning eller snedställning av svetslinsen. Utgående från egna försök har diagrammet i fig. D 72 ritats som ungefärligt anger vilken brotttyp som kan förväntas.

### 7.3 Hålkantflytning

Avsnittet behandlar både brotttypen skjuvbrott och hålkantflytning under förutsättning att kravet  $t_1 \geq 2,5 t_2$  är uppfyllt.

Med anledning av egna försök, provningsresultat i [ 3 ] samt jämförelser med bestämmelser i [35] har följande beräkningssamband kunnat uppställas;

$$F_{BS} = \frac{\pi d_s^2}{4} \sigma_B$$

$$F_{BH} = 3,5 \cdot t_2 \cdot d_s \cdot \sigma_B$$

Vad gäller de egna försöken har dessa beräkningssamband funnits väl giltiga under förutsättning att

$$4 \sqrt{t_{ekv}} \leq d_s \leq 7 \sqrt{t_{ekv}}$$

$t_{ekv}$  = Ekvivalent plåttjocklek (beräknas enligt fig. D 74 avsnitt 8.2).

### 7.4 Sektionsbrott

Brottstadiet antas inletta när sektionens medelspanning uppnått grundmaterialets flytgränsspänning. Stadiet karaktäriseras av begynnande plastiska deformationer. Beräkning kan enligt:

$$F_{BS} = t \cdot b \cdot \sigma_s$$

där b betecknar plåtens bredd.

### 7.5 Kantbrott

Vid de egna försöken iaktogs vid kantavstånd  $< 3d_s$  en nedsättning av brottlasten. Av svetstekniska skäl bör kantavståndet ej understiga  $1,5 d_s$ . Inom intervallet

$$1,5d_s < e < 3d_s$$

för kantavståndet  $e$  föreslås att en reducering av brottlasten sker enligt

$$F_{BK} = 0,8 F_B$$

där  $F_B = F_{BH}$  vid  $t_1 \geq 2,5 t_2$

$F_B = F_{BSN}$  vid  $t_1 < 2,5 t_2$

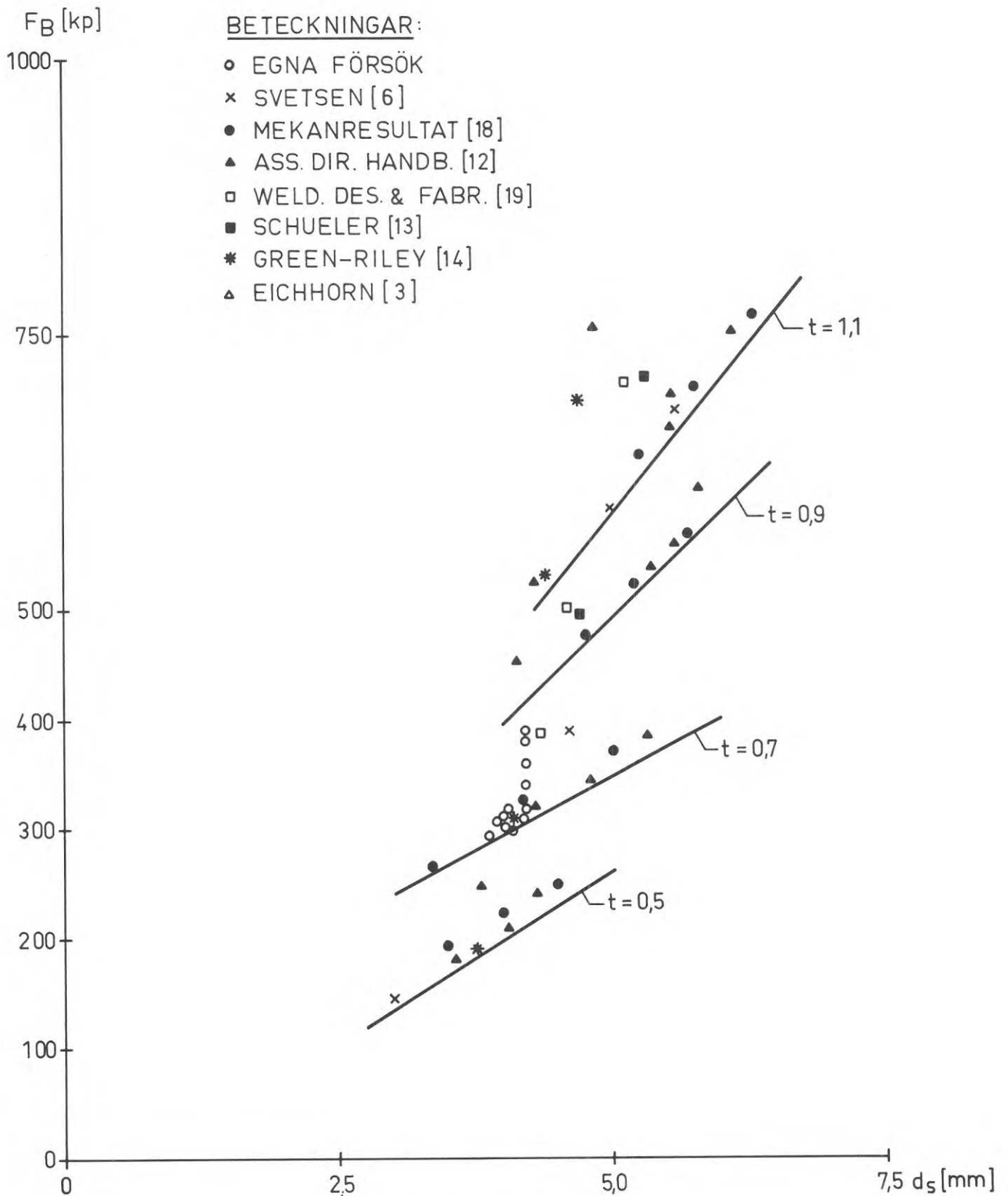


Fig.D59. Skjuvbrottlaster för enkelt överlappsförband med plåttjocklek  $t = 0,5$  mm - 1,1 mm. Provkroppsbredden  $\sim 6 d_S$ . Valsblankt och varmförzinkat material.

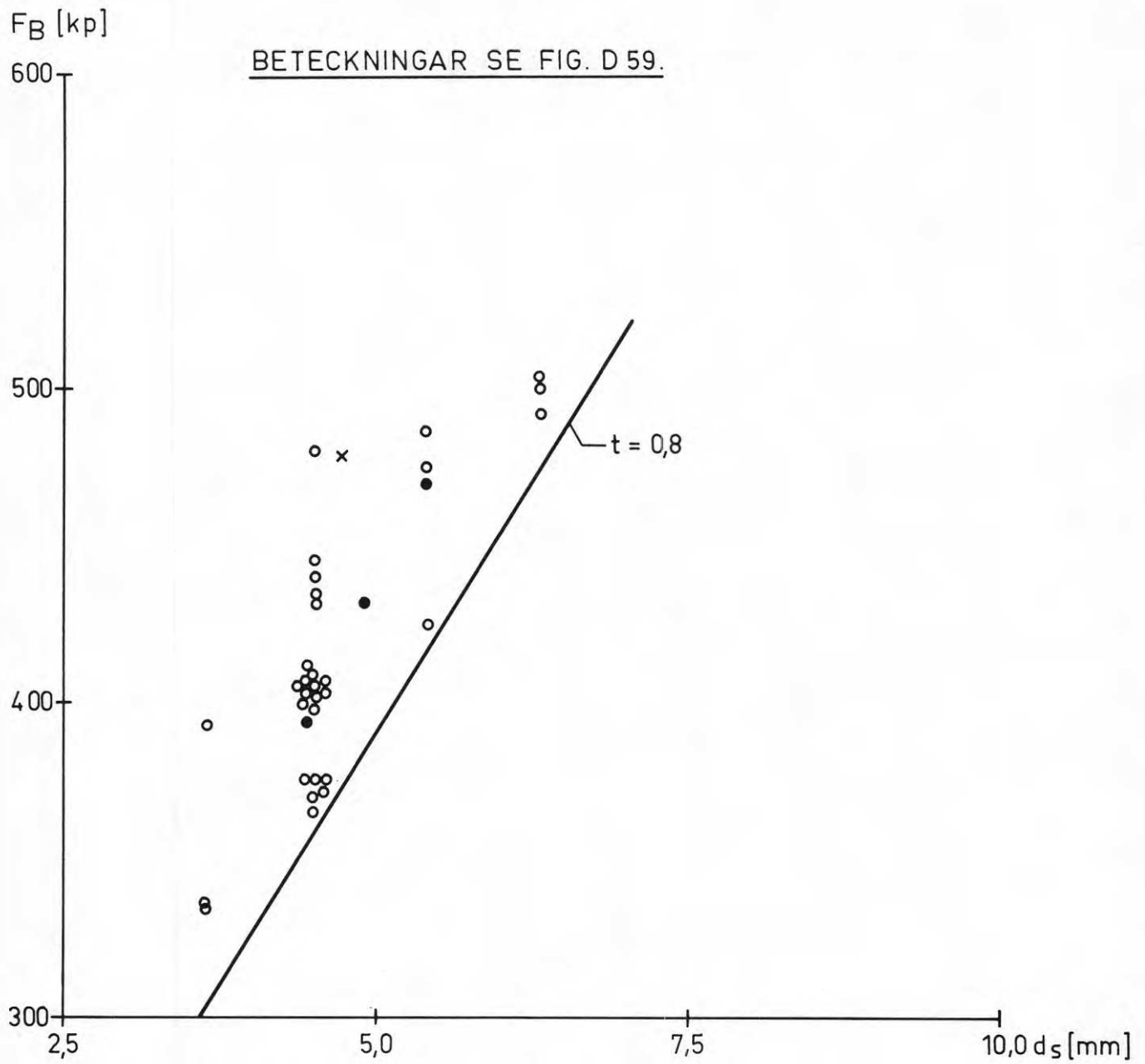


Fig.D60. Skjuvbrottlaster för enkelt överlappsförband med plåttjocklek  $t = 0,8$  mm. Provkroppsbredden  $\sim 6 d_s$ . Valsblankt och varmförzinkat material.



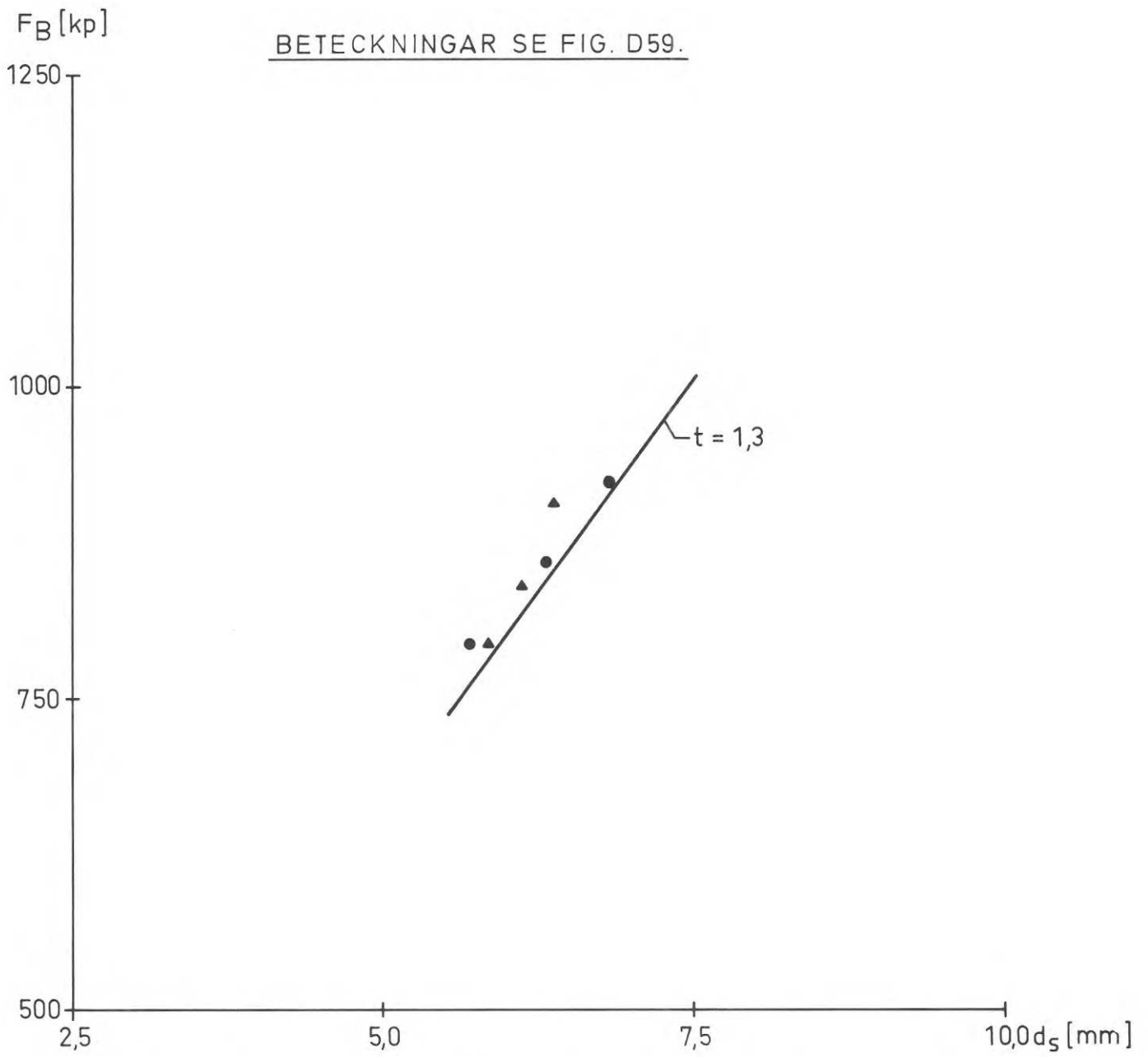


Fig.D61. Skjuvbrottlaster för enkelt överlappsförband med plåttjocklek  $t = 1,3$  mm. Provkroppsbredden  $\sim 6 d_S$ . Valsblankt och varmförzinkat material.

DETECKNINGAR SE FIG. D 59.

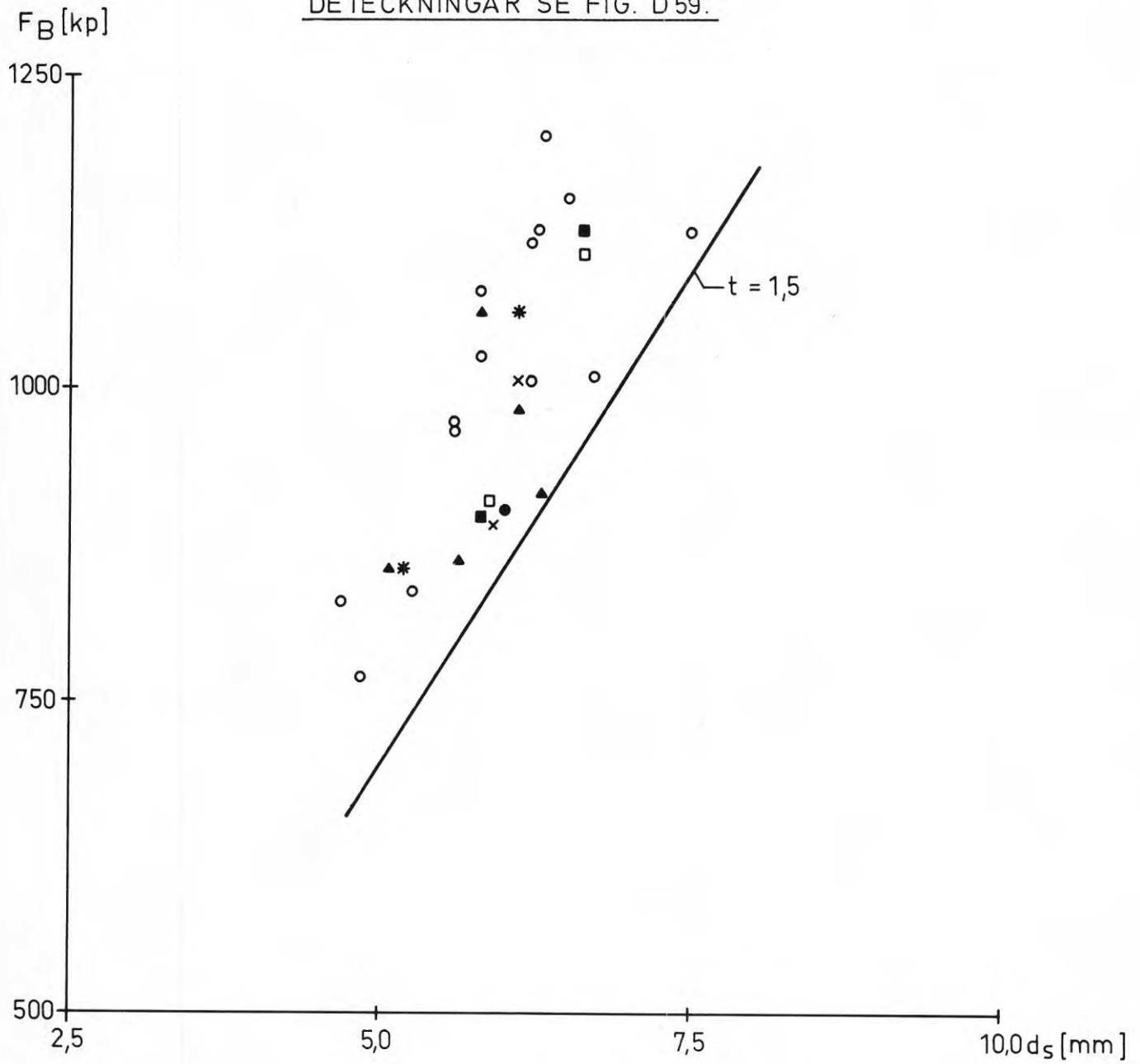


Fig.D62. Skjuvbrottlaster för enkelt överlappsförband med plättjocklek  $t = 1,5$  mm. Provkroppsbredden  $\sim 6 d_s$ . Valsblankt och varmförzinkat material.

BETECKNINGAR SE FIG.D 59.

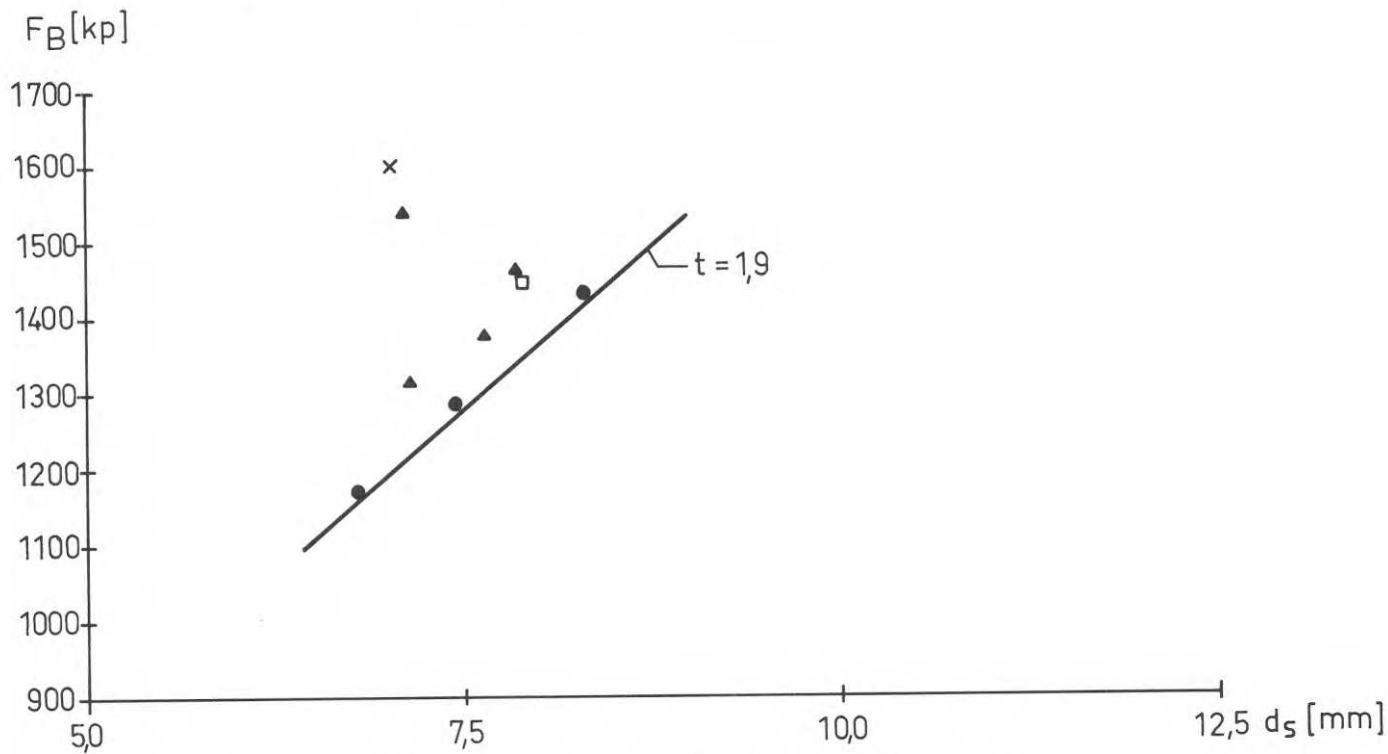


Fig.D63. Skjuvbrottlaster för enkelt överlappsförband med plåttjocklek  $t = 1,9$  mm. Provkroppsbredden  $\sim 6 d_s$ . Valsblankt och varmförzinkat material.

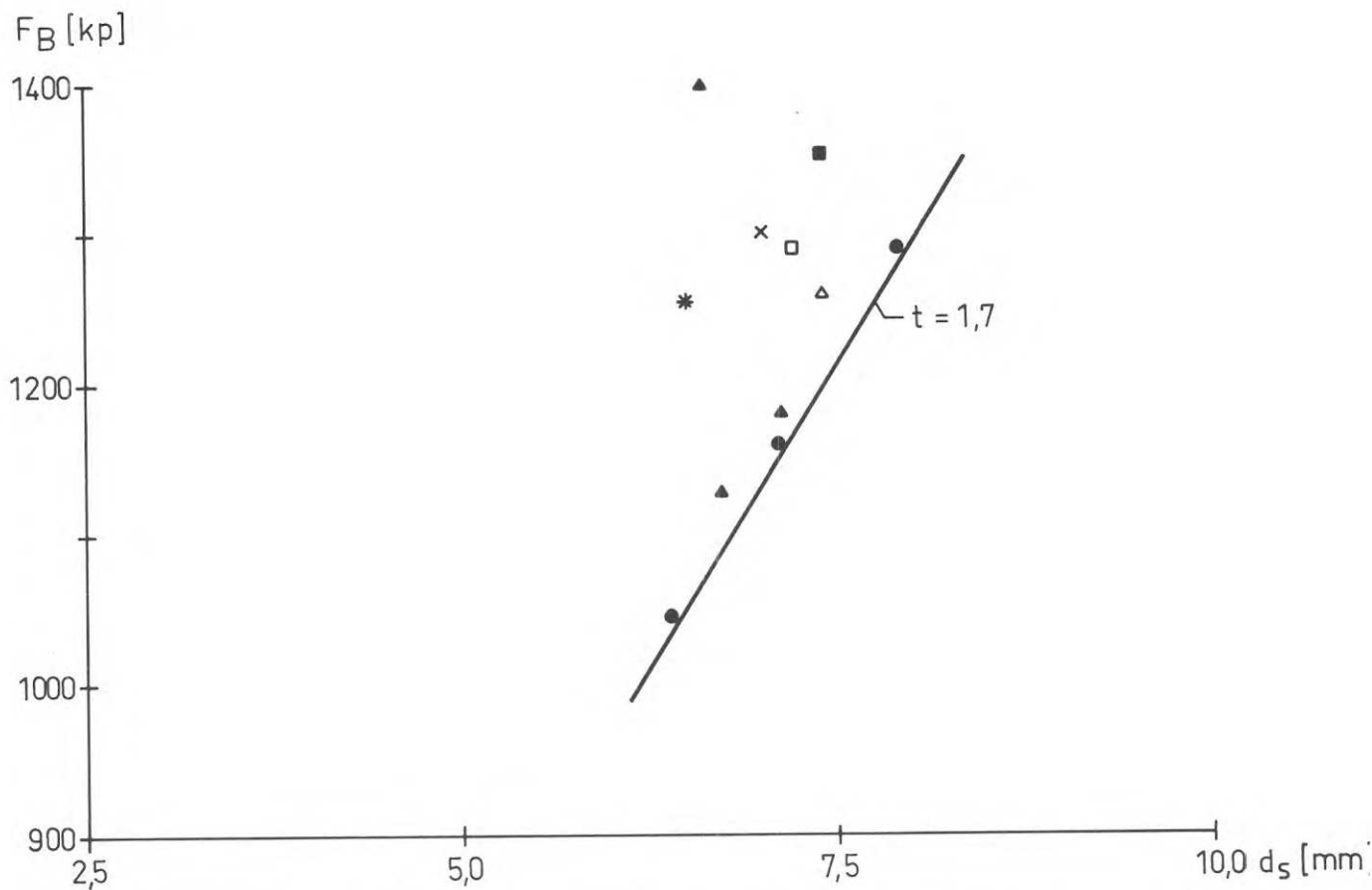


Fig.D64. Skjuvbrottlaster för enkelt överlappsförband med plåttjocklek  $t = 1,7$  mm. Provkroppsbredden  $\sim 6 d_s$ . Valsblankt och varmförzinkat material.

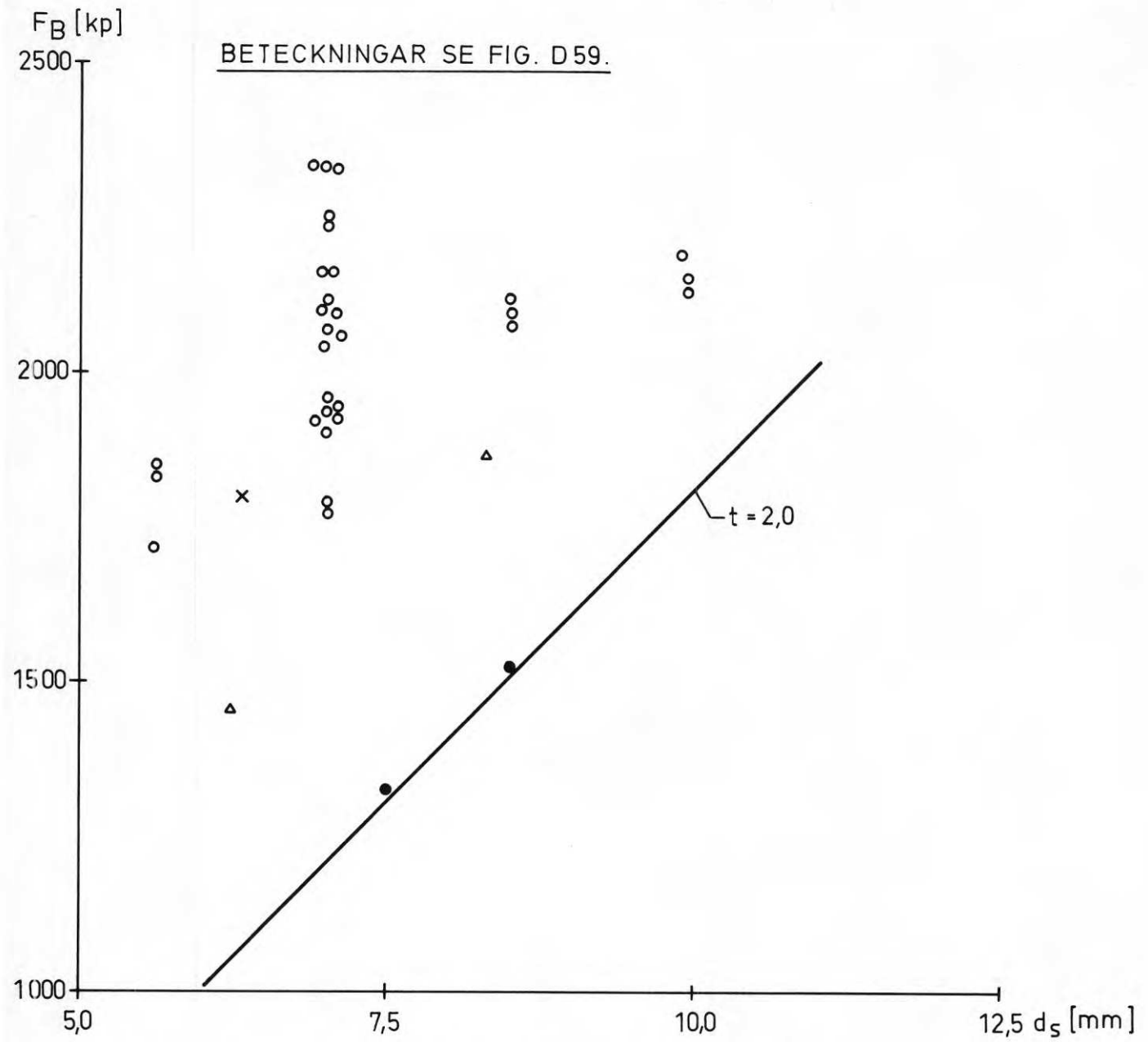


Fig.D65. Skjuvbrottlaster för enkelt överlappsförband med plåttjocklek  $t = 2,0$  mm. Provkroppsbredden  $\sim 6 d_s$ . Valsblankt och varmförzinkat material.

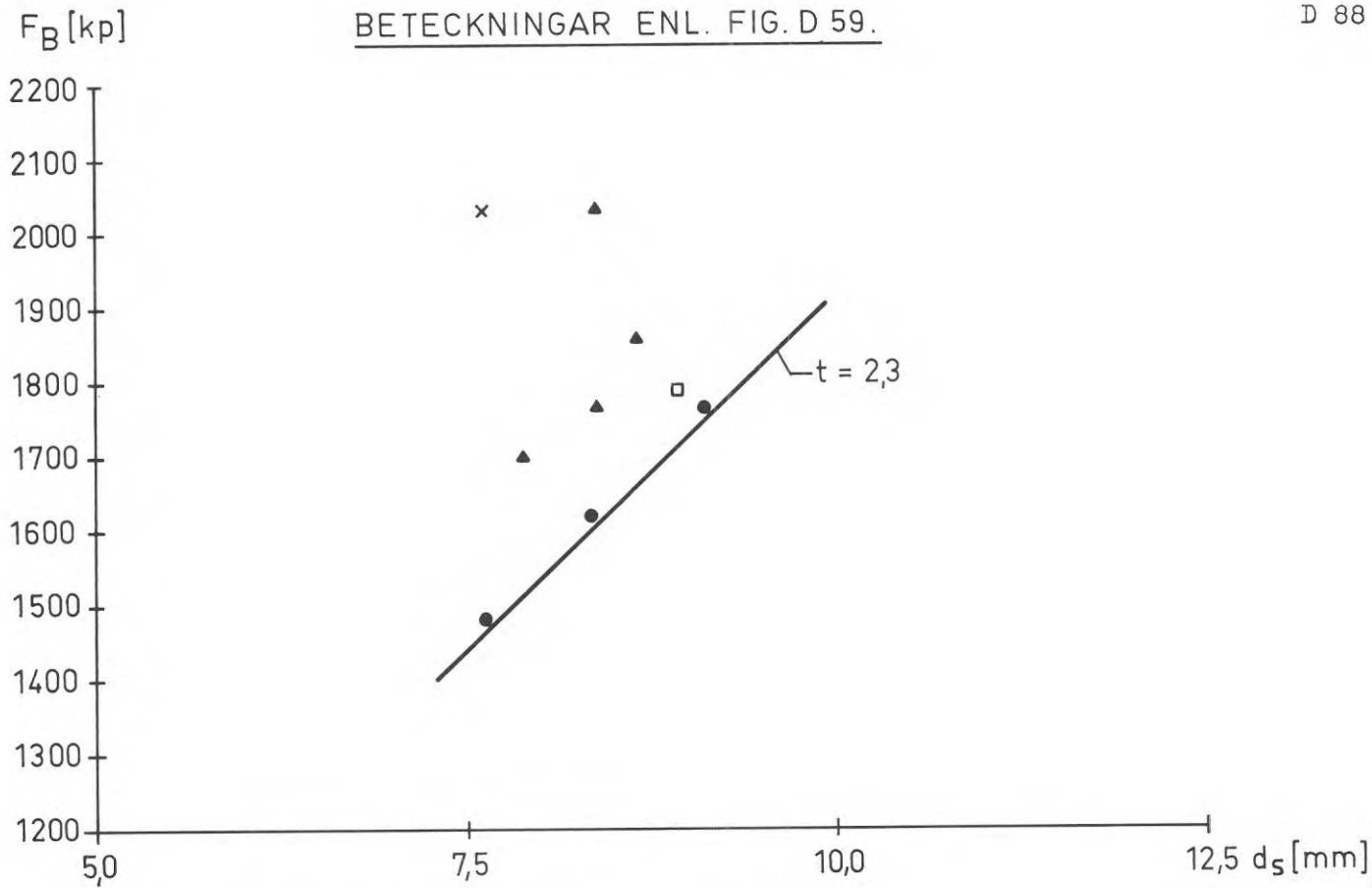


Fig.D66. Skjuvbrottlaster för enkelt överlappsförband med plåttjocklek  $t = 2,3$  mm. Provkroppsbredden  $\sim 6 d_S$ . Valsblankt och varmförzinkat material.

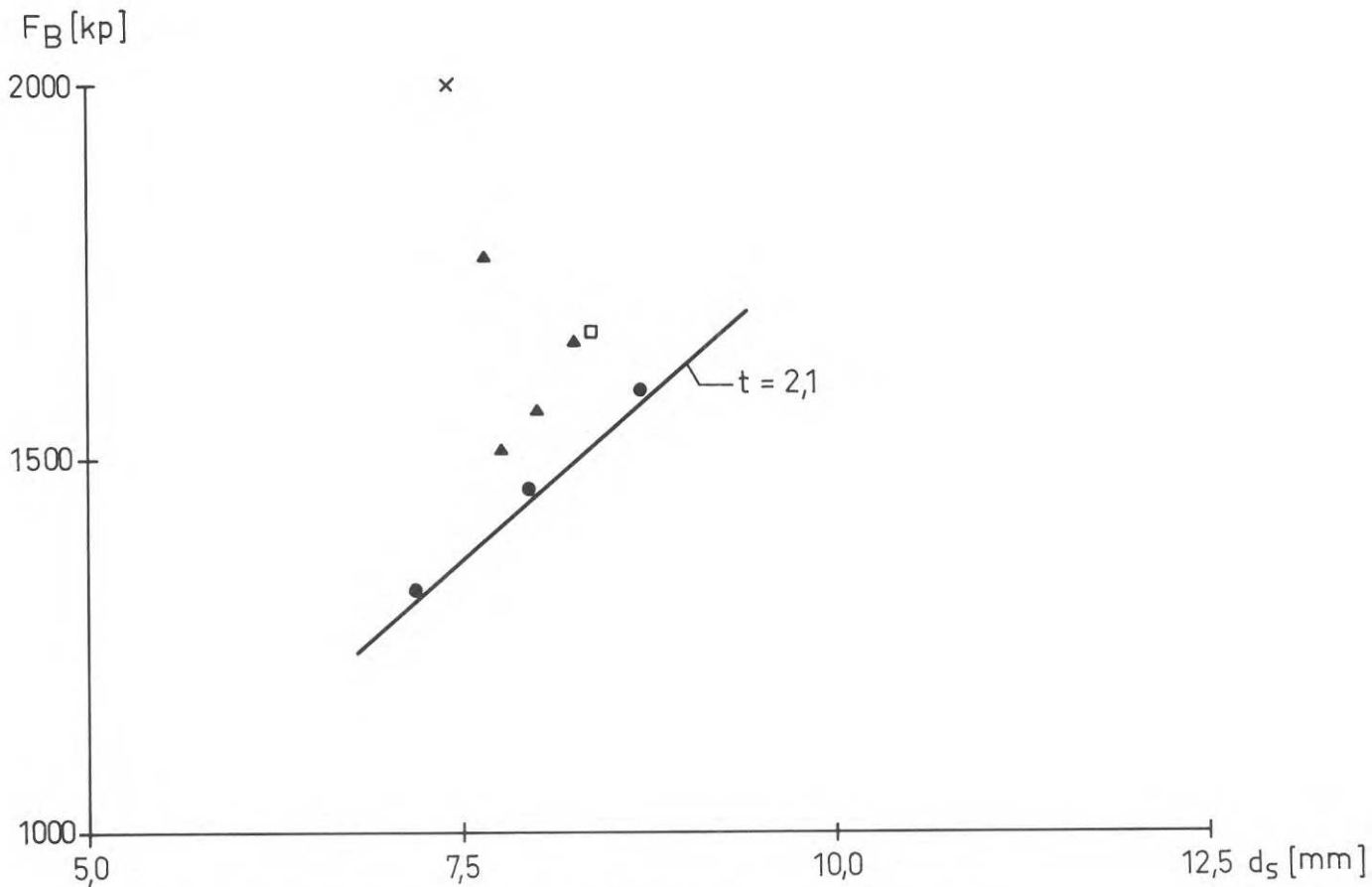


Fig.D67. Skjuvbrottlaster för enkelt överlappsförband med plåttjocklek  $t = 2,1$  mm. Provkroppsbredden  $\sim 6 d_S$ . Valsblankt och varmförzinkat material.

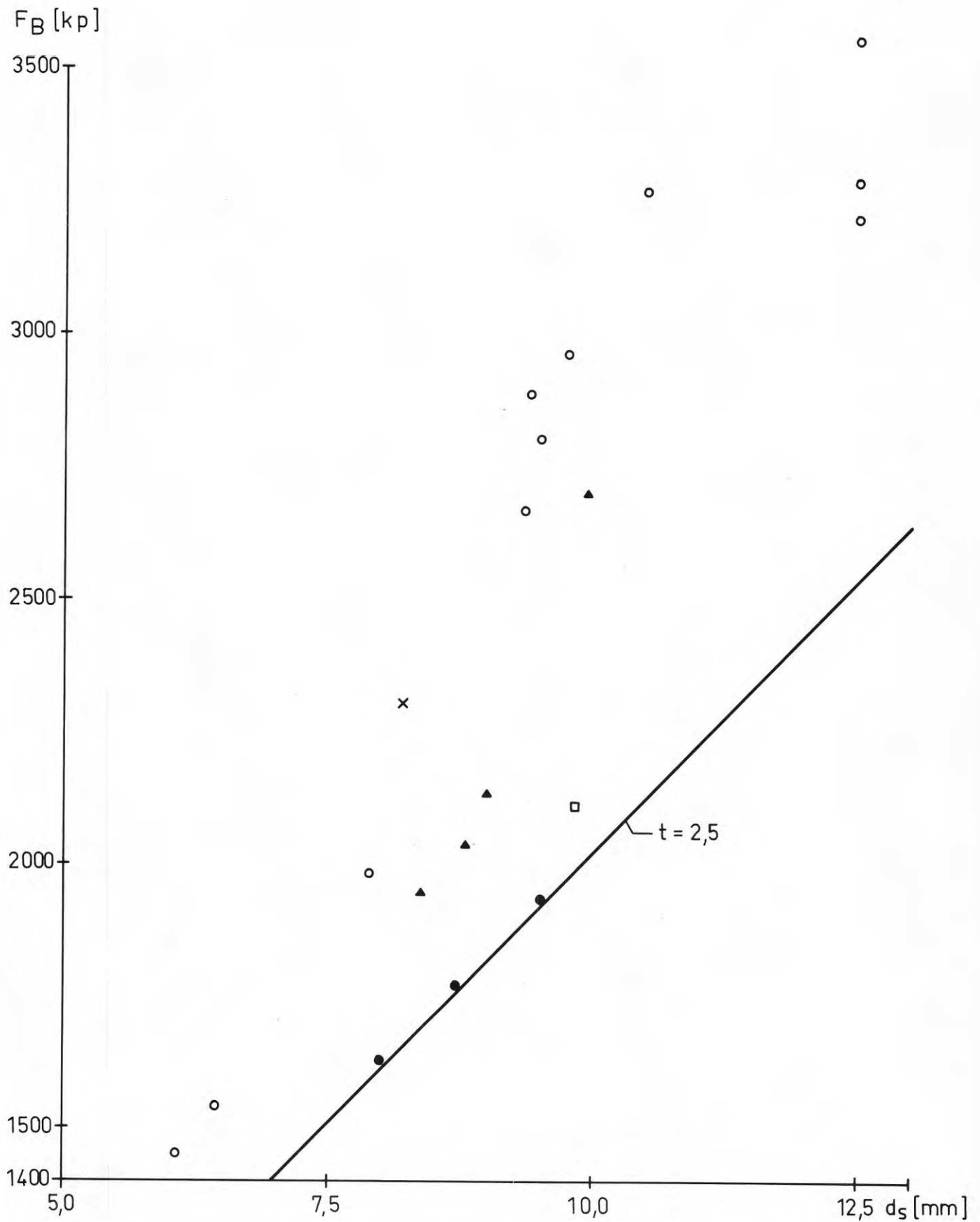


Fig.D68. Skjuvbrottlaster för enkelt överlappsförband med plåttjocklek  $t = 2,5$  mm. Provkroppsbredden  $\sim 6 d_s$ . Valsblankt och varmförzinkat material.

BETECKNINGAR SE FIG. D 59.

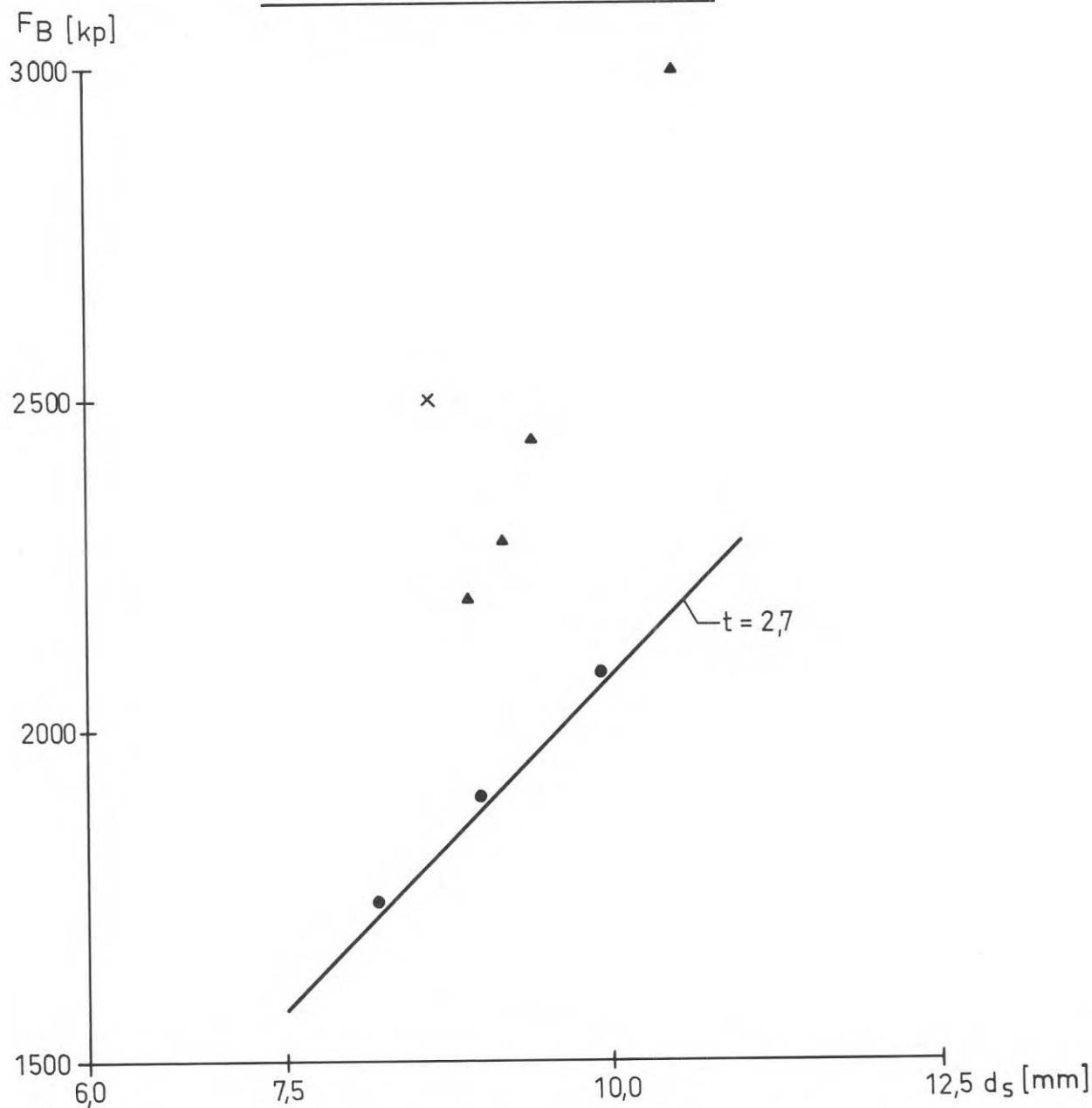
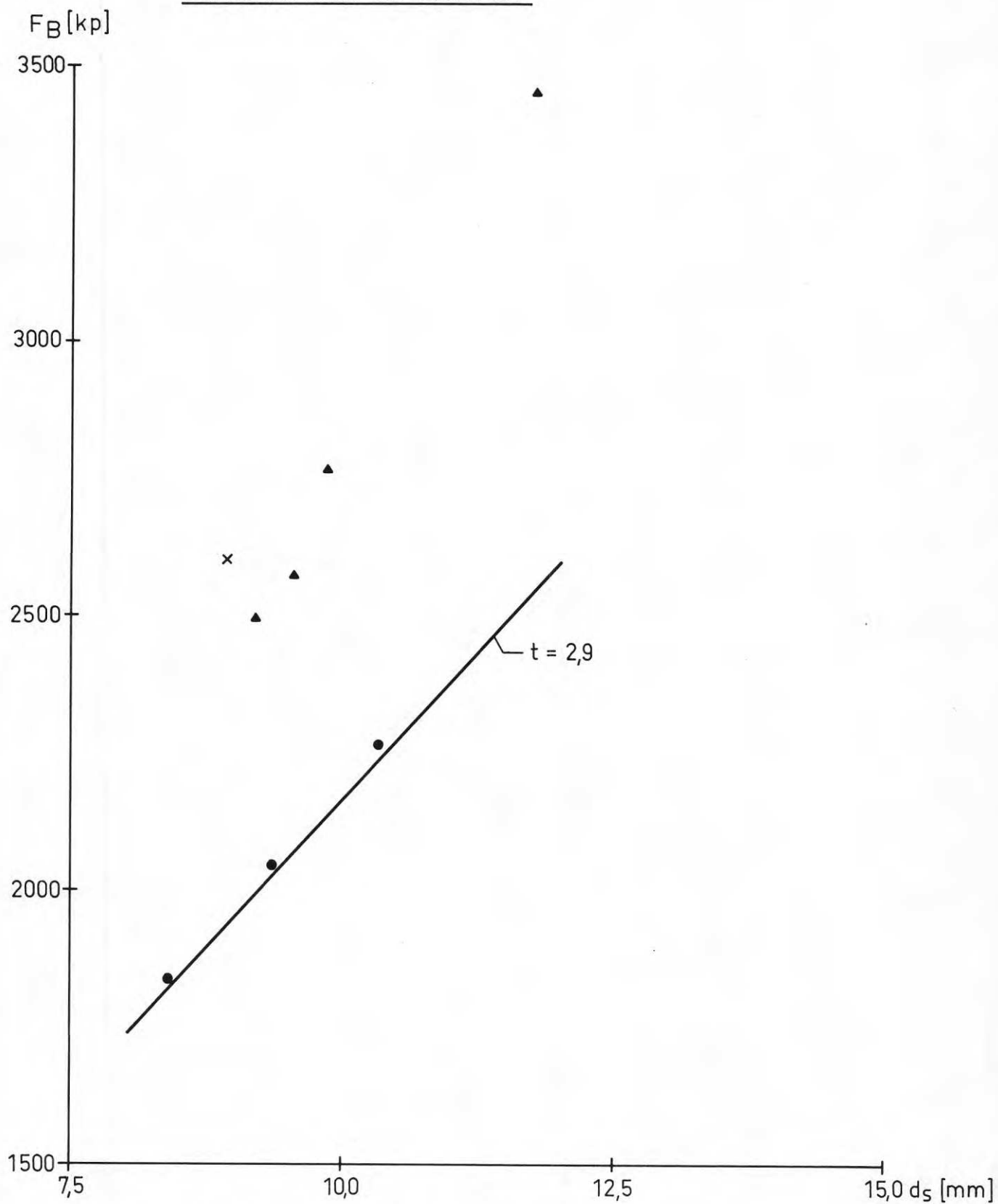


Fig.D69. Skjuvbrottlaster för enkelt överlappsförband med plåttjocklek  $t = 2,7$  mm. Provkroppsbredden  $\sim 6 d_s$ . Valsblankt och varmförzinkat material.

BETECKNINGAR SE FIG.D59.



Fig,D70. Skjuvbrottlaster för enkelt överlappsförband med plåttjocklek  $t = 2,9$  mm. Provkroppsbredden  $\sim 6 d_s$ . Valsblankt och varmförzinkat material.



BETECKNINGAR SE FIG. D 59.

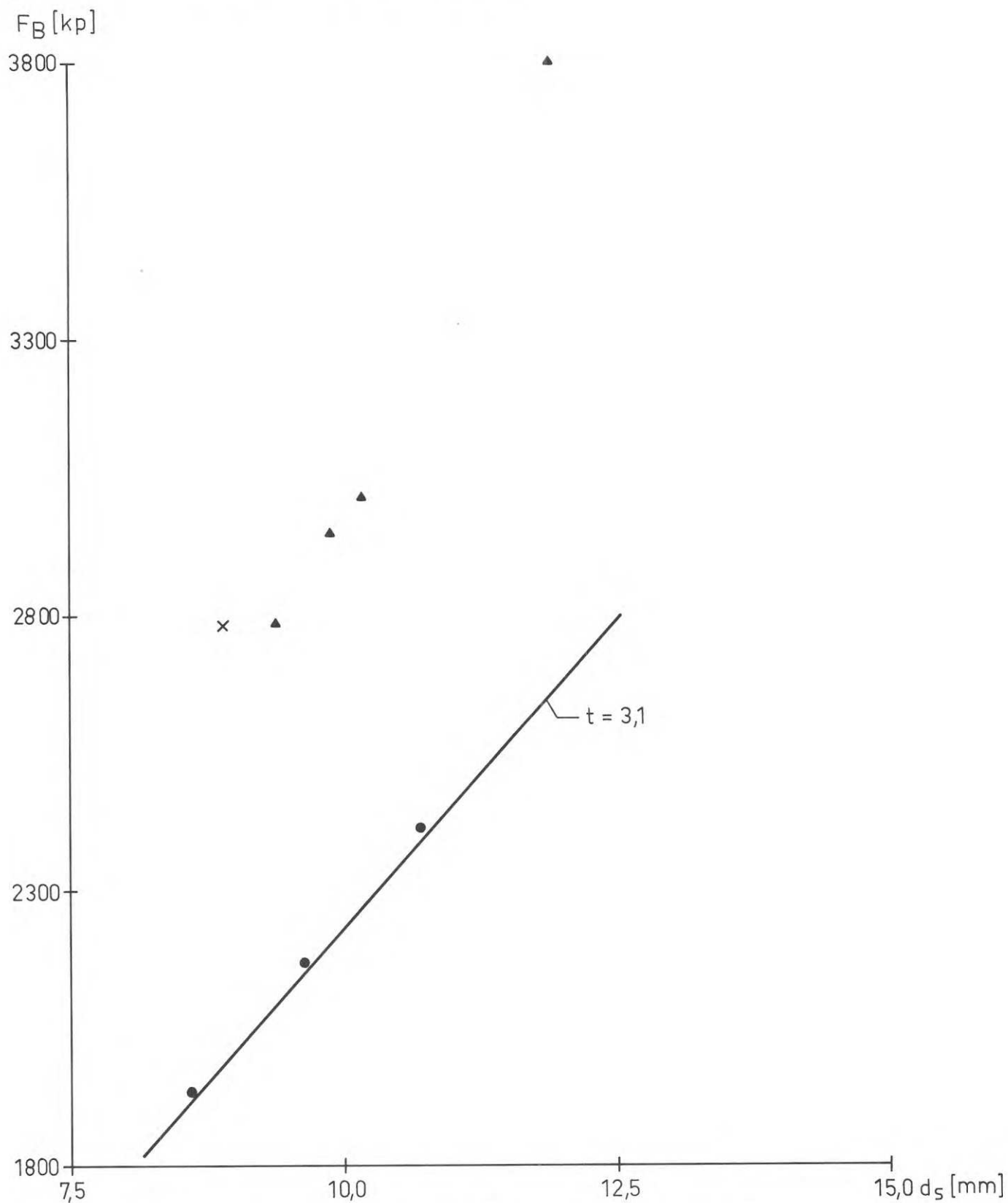


Fig.D71. Skjuvbrottlaster för enkelt överlappsförband med plåttjocklek  $t = 3,1$  mm. Provkroppsbredden  $\sim 6 d_s$ . Valsblankt och varmförzinkat material.

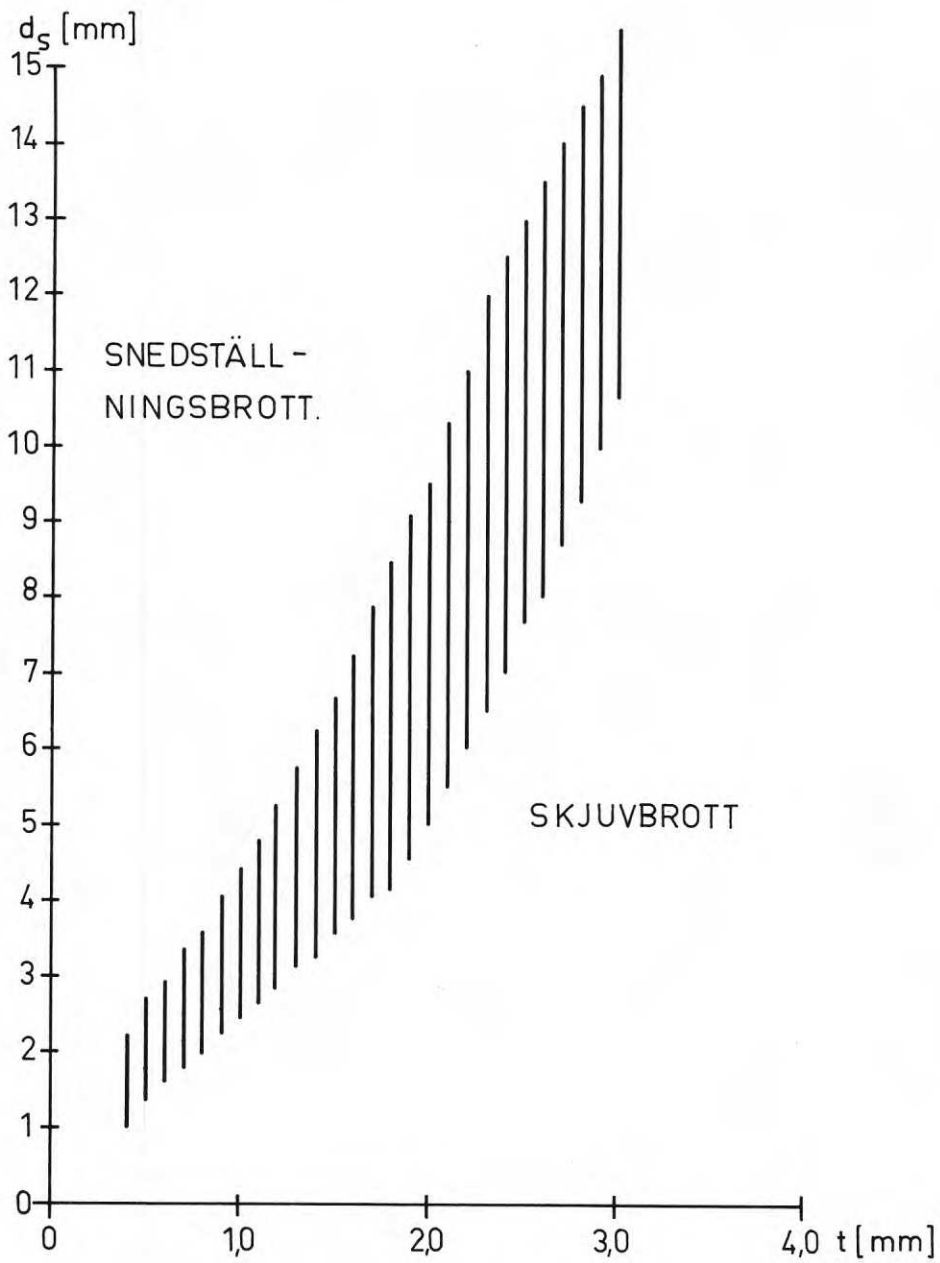


Fig.D72. Diagram för bestämning av brotttyp vid enkelt överlappsförband och lika tjocka plåtar.

## 7.6 Säkerhet mot uppnående av brottlast vid tvärlast

Av fig. D 21 framgår att det linjära sambandet mellan tvärlast  $\bar{F}$  och förskjutning  $\delta$  upphör vid approximativt  $\bar{F} \gtrsim 0,7 F_B$ . Som utgångspunkt för denna bedömning väljs en kvarstående formändring om ca 2 % av svetslinsens diameter och motsvarande belastningsnivå betecknas som "flytlast"  $F_S$ . Brottlasten  $F_B$  kan vid approximativt lika tjocka förbandsdelar refereras till brott genom avskjuvning, hålkantflytning eller snedställning.

Med antagande av en ordinär spridning av försöksresultaten väljs som utgångspunkt för säkerhetsbedömningen en fiktiv flytlast  $F_S$  svarande mot

$$F_S = 0,9 (0,7 F_B)$$

Mot uppnående av denna flytlast stipuleras en lastfaktor  $s_g = 1,65$  som ansluter till ordinära säkerhetskrav i enlighet med gällande bestämmelser för tunnplåtkonstruktioner. Detta innebär att säkerheten mot försöksmässigt erhållna brottlastmedelvärden svarar mot  $s_g^* \approx 2,6$  och att den därpå grundade tillåtna belastningen uppgår till

$$\bar{F}_{\text{till}} = \frac{F_S}{1,65} = \frac{F_B}{s_g^*}$$

För praktisk tillämpning erfordras emellertid en korrektion av  $\bar{F}_{\text{till}}$  med hänsyn till dels noggrannheten vid val av svetsparametrar samt dels i praktiken aktuell förbandsgeometri. Därvid blir

$$F_{\text{till}} = k_1 \cdot k_2 \cdot \bar{F}_{\text{till}}$$

Korrektionsfaktorn  $k_1$  väljs till

$k_1 = 1,0$  vid noggrann kontroll av svetsparameter och hållfasthet i enlighet med avsnitt 8.3

$k_1 = 0,6$  vid val av svetsparameter med utgångspunkt från erfarenhetsvärden. (gäller endast valsblankt material).

Det senare  $k_1$ -värdet har med utgångspunkt från litteraturuppgifter [4 [18]] så valts att det täcker i praktiken förekommande hållfasthetsavvikelser.

Korrektionsfaktorn  $k_2$  är avsedd att anpassa resultat från referensprovet med bredden  $6d_s$  till i praktiken aktuella förhållanden mellan plåtbredd och svetspunktdiameter ( $3d_s \lesssim b \lesssim 6d_s$ ). Inom intervallet erhålles en god approximation med  $k_2 = 0,9$ .

dvs 
$$F_{\text{till}} = k_1 \cdot 0,9 \bar{F}_{\text{till}}.$$

Tillåten tvärlast kan beräknas med utgångspunkt från fig. D 73 för plåttjocklekar  $0,5 \leq t \leq 1,7$  mm och fig. D 74 för  $1,7 < t \leq 3,1$  mm, där  $0,9 \bar{F}_{\text{till}}$  återges som funktion av svetspunktdiametern  $d_s$ . Angivna värden på  $\bar{F}_{\text{till}}$  avser grundmaterial med dragbrotthållfasthet  $\sigma_B = 37 \text{ kp/mm}^2$ . Anpassning till annan hållfasthetsnivå kan ske genom omproportionering enligt

$$F_{\text{till}}^{\sigma_B} = F_{\text{till}}^{(37)} \cdot \frac{\sigma_B}{37} \quad \left[ \sigma_B \text{ i kp/mm}^2 \right]$$

Vid förbandselement med avvikande tjocklekar  $t_1 \geq 2,5 t_2$  kan enligt ovanstående brott inträffa som skjuvbrott eller hålkantflytning. Mot uppnående av respektive minsta brottlast  $F_{BS}$  eller  $F_{BH}$  gäller samma säkerhetskrav som ovan.

Säkerheten mot sektionsbrott anpassas till gällande bestämmelser för tunnplåtkonstruktioner

dvs 
$$\sigma_{\text{till}} = \frac{\sigma_S}{1,65}$$

Säkerhet mot kantbrottlasten  $F_{BK}$  bör motsvara det som gäller hålkantflytning och snedställning.

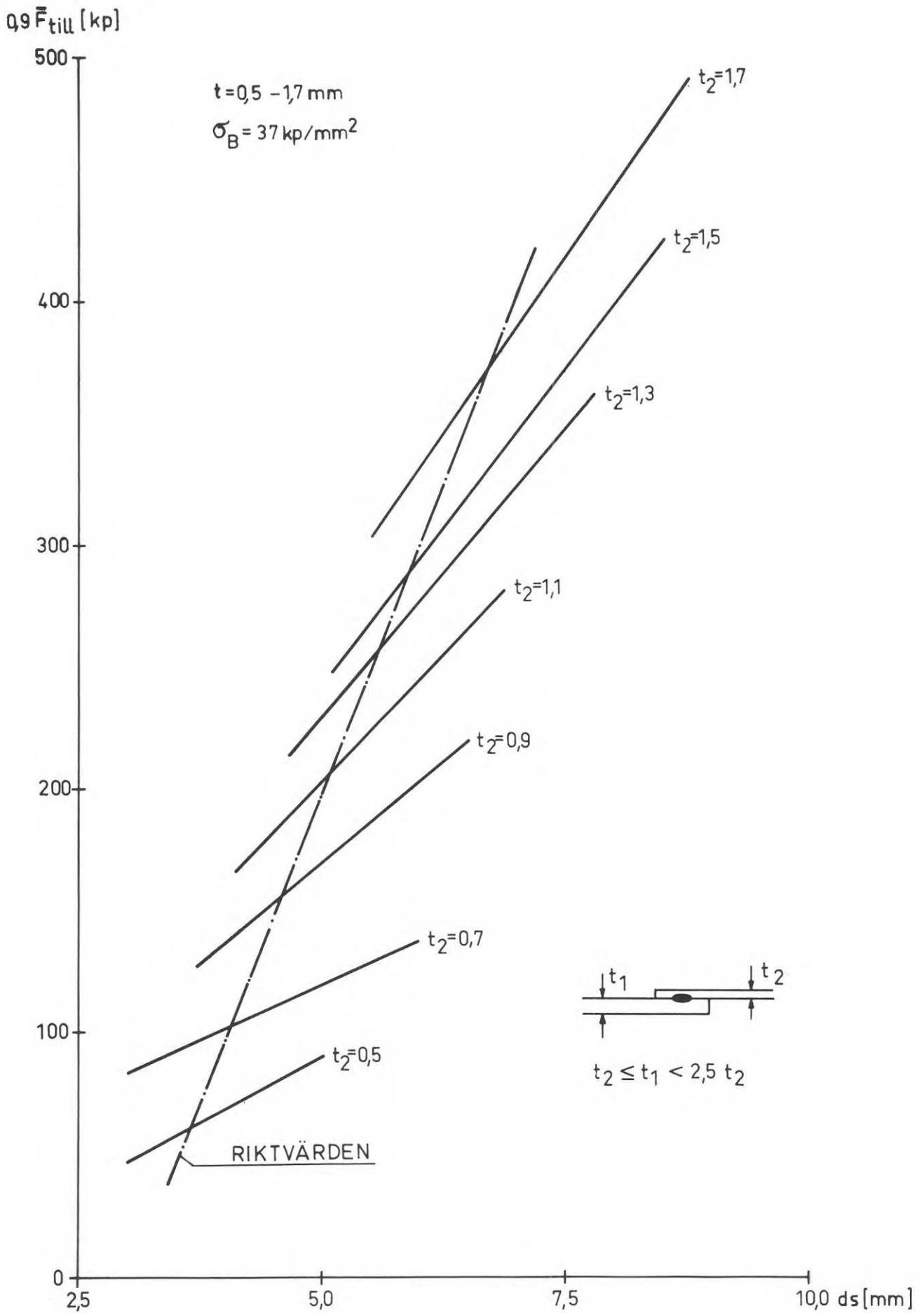


Fig.D73. Diagram för bestämning av tillåten last för enkelt överlappsförband vid valsblank eller varmförzinkad stålplåt.

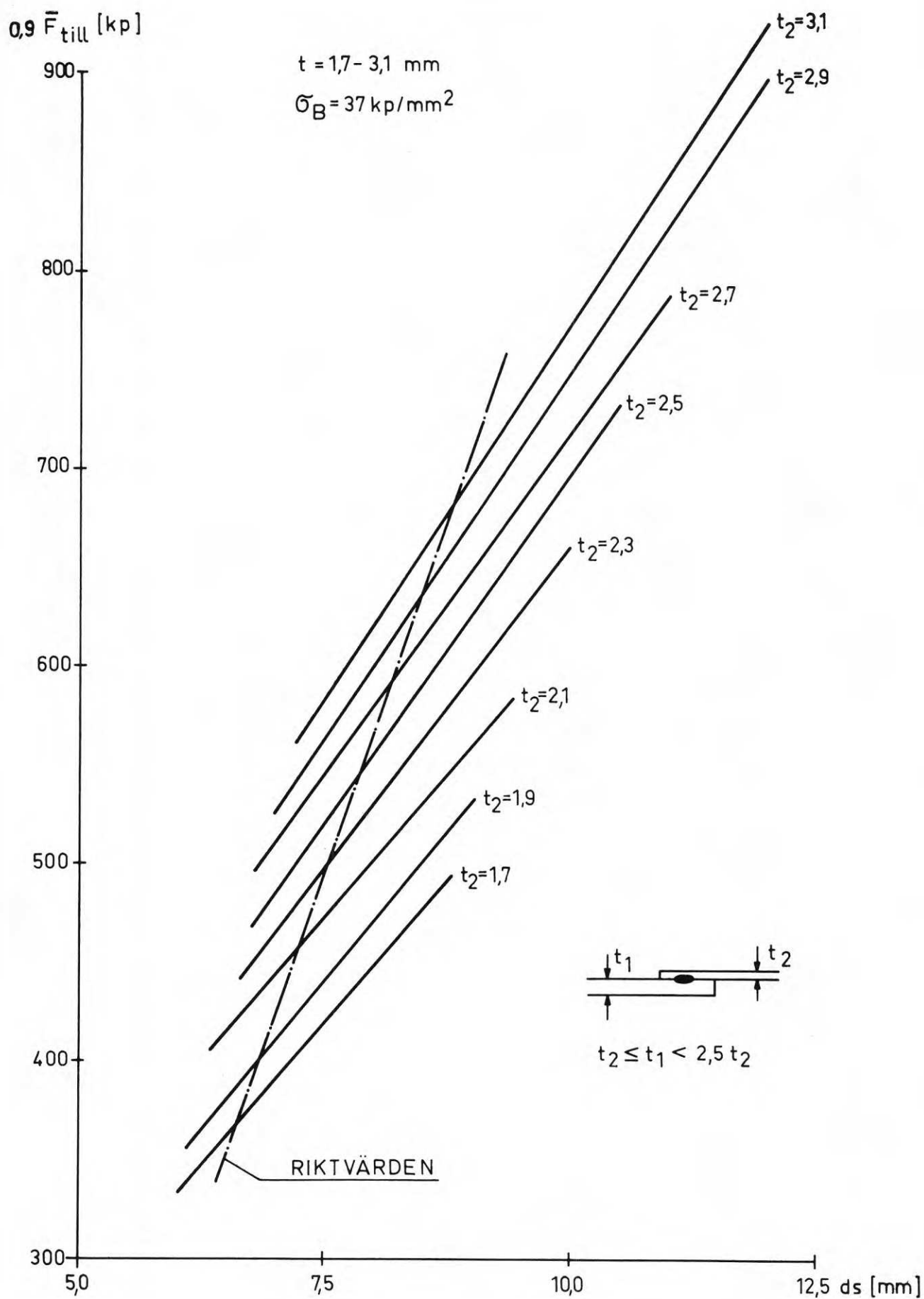


Fig.D74. Diagram för bestämning av tillåten last för enkelt överlappsförband vid valsblank eller varmförzinkad stålplåt.

## 7.7 Belastningar vinkelrät mot plåtplanet

Tunt plåtmaterial är till följd av sin låga böjstyvhet mycket känsligt för belastningar vinkelrät utbredningsplanet. Förband bör med hänsyn till detta förhållande utformas så att belastningstypen undviks. I del B. NITFÖRBAND avsnitt 6.5 ges några exempel på hur en konstruktion kan ändras för att en mer gynnsam belastning skall erhållas.

En viss belastning vinkelrät plåtytan kan alltid utan problem upptas nämligen sådan, som underskrider den i del B. NITFÖRBAND avsnitt 5.7 definierade lasten som orsakar plåtvikningsbrott. Överskrids denna last kommer plåten mer eller mindre att vika sig kring punktsvetsen. Vikningen innebär att plåtmaterialet i den värmepåverkade zonen utsätts för kraftig töjning. Töjningen kan härvid bli så stor att även mycket liten härdning kan medföra att sprickor bildas.

Att tillåta större belastning än den som resulterar i plåtvikningsbrott fordrar en noggrann kontroll så att sprickfrihet med säkerhet kan garanteras. Några olika standardprovkroppar för kontroll framgår av avsnitt 8.3.

Belastningar vinkelrät mot plåtplanet bör ej generellt tillåtas vid punktsvetsförband. Där påkänningstypen undantagsvis är aktuell bör den lastupptagande förmågan verifieras genom försök och tillåten belastning bestämmas i samråd med vederbörande myndighet.

## D8. TILLVERKNING OCH UTFORMNING AV MOTSTÅNDSPUNKTSVETSDE FÖRBAND

Motståndssvetsning kräver, jämfört med andra fogningsmetoder för tunnplåt, vanligen en större arbetsinsats vid utformning av konstruktionselement och val av utrustning. Anledningarna är i första hand följande:

- mycket stort antal förekommande utrustningar med varierande kapacitet och krav på åtkomlighet
- konstruktionselementens utformning bestämmer förutom åtkomligheten även utrustningens svetskapacitet.

### 8.1 Val av svetsutrustning

Val av svetsutrustning bör baseras på en noggrann analys av vilka material och godstjocklekar som kan komma att svetsas. Dessutom måste sådana konstruktionstekniska problem penetreras som är avgörande för utrustningens armlängd och armavstånd.

Det är lämpligt att så snart ovan nämnda krav preciserats ta kontakt med tillverkare för närmare upplysning om lämplig utrustning.

De vanligaste maskintyperna kan indelas i följande grupper:

- A. Bänkpunktsvetsmaskiner
- B. Standardmaskiner
- C. Flyttbara punktsvetstänger
- D. Flerpunktsmaskiner

För närmare upplysning om olika maskiners kapacitet, utförande och arbetssätt hänvisas till referenserna [ 1 ], [ 11 ] och [ 20 ] samt broschyrmaterial från tillverkare.



## 8.2 Val av svetsparametrar

Val av svetsparametrar kan ske enligt någon av nedanstående tabeller. Tabellerna fördelar sig enligt följande för de olika materialen;

valsblank stålplåt	10 - 15
varmförzinkad stålplåt	16 - 18
aluminiumplåt	19

Tabellerna för samma material skiljer sig i fråga om storlek på elektroddiameter, svetsström, svetstid och elektrodryck. Vilken tabell som bör användas är således beroende på utrustningens kapacitet med avseende på dessa parametrar.

Tabell 10: Svetsparametrar för valsblankt material vid relativt hög svetsström och högt elektrodryck,  $d_E \sim 5 \sqrt{t}$ . [6]

plåttjocklek t [mm]	elektrodspets- diameter $d_E$ [mm]	elektrod- tryck $E_T$ [kp]	svetsström I [KA]	svetstid s [sek]	svetslins- diameter $d_s$ [mm]
0,50 - 0,62	3,8	120	5600	0,10	3,8
0,63 - 0,77	4,3	150	6600	0,12	4,6
0,78 - 0,97	4,8	195	7400	0,14	5,0
0,98 - 1,25	5,3	240	8300	0,16	5,6
1,26 - 1,56	6,0	300	9500	0,20	6,1
1,57 - 2,01	6,7	375	10400	0,28	7,0
2,02 - 2,49	7,5	465	11600	0,36	7,6
2,50 - 3,20	8,5	600	13700	0,50	8,9

**Tabell 11:** Svetsparametrar för valsblankt material vid normala värden på svetsström och tid,  $d_E \sim 5 \sqrt{t}$ . [ 6 ]

plåttjocklek t [mm]	elektrodspets- diameter $d_E$ [mm]	elektrod- tryck $E_T$ [kp]	svetsström I [KA]	svetstid s [sek]	svetslins- diameter $d_s$ [mm]
0,50 - 0,62	3,8	80	5000	0,10	3,8
0,63 - 0,77	4,3	100	5800	0,14	4,6
0,78 - 0,97	4,8	130	6500	0,18	5,0
0,98 - 1,25	5,3	160	7400	0,22	5,6
1,26 - 1,56	6,0	200	8400	0,28	6,1
1,57 - 2,01	6,7	250	9300	0,36	7,0
2,02 - 2,49	7,5	310	10300	0,44	7,6
2,50 - 3,20	8,5	400	12100	0,56	8,9

**Tabell 12:** Svetsparametrar för valsblankt material vid relativt låg svetsström och lågt elektrodtryck,  $d_E \sim 5 \sqrt{t}$ . [ 6 ]

plåttjocklek t [mm]	elektrodspets- diameter $d_E$ [mm]	elektrod- tryck $E_T$ [kp]	svetsström I [KA]	svetstid s [sek]	svetslins- diameter $d_s$ [mm]
0,50 - 0,62	3,8	45	4500	0,28	3,5
0,63 - 0,77	4,3	55	4800	0,34	4,3
0,78 - 0,97	4,8	70	5200	0,44	4,7
0,98 - 1,25	5,3	90	5700	0,52	5,3
1,26 - 1,56	6,0	115	6300	0,70	5,7
1,57 - 2,01	6,7	145	6700	0,90	6,6
2,02 - 2,49	7,5	180	7400	1,14	7,2
2,50 - 3,20	8,5	230	8600	1,40	8,5

Tabell 13: Svetsparametrar för valsblankt material vid förhållandevis stor elektrodspetsdiameter. Relativt hög svetsström och högt elektrostryck. [ 12 ]

plåttjocklek t [mm]	elektrods- pets- diameter $d_E$ [mm]	elektrod- tryck $E_T$ [kp]	svetsström I [KA]	svetstid s [sek]	svetslins- diameter $d_s$ [mm]
0,50 - 0,64	4,8	135	6100	0,10	4,3
0,65 - 0,84	4,8	180	8000	0,14	5,3
0,85 - 1,07	6,3	230	9200	0,18	5,8
1,08 - 1,37	6,3	295	10300	0,20	6,3
1,38 - 1,72	6,3	365	11600	0,23	6,8
1,73 - 2,18	7,9	500	13300	0,35	7,9
2,19 - 2,48	7,9	590	14700	0,42	8,6
2,49 - 2,86	9,5	730	16100	0,48	9,4
2,87 - 3,20	9,5	820	17500	0,50	10,1

Tabell 14: Svetsparametrar för valsblankt material vid förhållandevis stor elektrodspetsdiameter. Normala värden på svetsström och elektrostryck. [ 12 ]

plåttjocklek t [mm]	elektrods- pets- diameter $d_E$ [mm]	elektrod- tryck $E_T$ [kp]	svetsström I [KA]	svetstid s [sek]	svetslins- diameter $d_s$ [mm]
0,50 - 0,64	4,8	90	5100	0,17	4,1
0,65 - 0,84	4,8	125	6300	0,25	5,1
0,85 - 1,07	6,3	165	7500	0,35	5,6
1,08 - 1,37	6,3	185	8000	0,40	5,8
1,38 - 1,72	6,3	230	9000	0,48	6,6
1,73 - 2,18	7,9	295	10400	0,60	7,6
2,19 - 2,48	7,9	360	11400	0,73	8,4
2,49 - 2,86	9,5	435	12200	0,83	9,1
2,87 - 3,20	9,5	520	12900	1,00	9,9

Tabell 15: Svetsparametrar för valsblankt material vid förhållandevis stor elektroddiameter. Relativt låg svetsström och lågt elektrodtryck. [12]

plåttjocklek t [mm]	elektrodpets- diameter $d_E$ [mm]	elektrod- tryck $E_T$ [kp]	svetsström I [KA]	svetstid s [sek]	svetslins- diameter $d_s$ [mm]
0,50 - 0,64	4,8	45	3800	0,37	3,5
0,65 - 0,84	4,8	65	4700	0,48	4,6
0,85 - 1,07	6,3	85	5600	0,63	5,3
1,08 - 1,37	6,3	95	6100	0,70	5,6
1,38 - 1,72	6,3	115	6800	0,80	6,3
1,73 - 2,18	7,9	150	7900	0,97	7,1
2,19 - 2,48	7,9	180	8800	1,10	7,8
2,49 - 2,86	9,5	220	9500	1,20	8,9
2,87 - 3,20	9,5	260	10000	1,30	9,4

Tabell 16: Svetsparametrar för varmförzinkat material vid relativt hög svetsström och normal elektrodpetsdiameter. Zinksiktets tjocklek < 72  $\mu\text{m}$ . [19]

plåttjocklek t [mm]	elektrodpets- diameter $d_E$ [mm]	elektrod- tryck $E_T$ [kp]	svetsström I [KA]	svetstid s [sek]	svetslins- diameter $d_s$ [mm]
0,50 - 0,82	4,1	215	10500	0,18	4,3
0,83 - 0,96	4,3	250	11000	0,20	4,5
0,97 - 1,16	4,8	285	12500	0,22	5,0
1,17 - 1,36	5,6	380	14000	0,30	5,8
1,37 - 1,66	6,4	475	15500	0,38	6,6
1,67 - 2,16	7,9	635	19500	0,47	7,8
2,17 - 2,56	9,1	820	24000	0,57	9,1
2,57 - 3,00	10,4	1000	28500	0,65	10,4

Tabell 17: Svetsparametrar för varmförzinkat material vid normal svetsström och elektrodspetsdiameter. Zinkskiktets tjocklek  $<78 \mu\text{m}$ . [ 12 ]

plåttjocklek t [mm]	elektrodspets- diameter $d_E$ [mm]	elektrod- tryck $E_T$ [kp]	svetsström I [KA]	svetstid s [sek]	svetslins- diameter $d_S$ [mm]
0,50 - 0,62	4,7	140	8800	0,14	3,8
0,63 - 0,78	4,7	205	9400	0,20	4,0
0,79 - 1,06	4,7	250	10000	0,24	4,3
1,07 - 1,46	5,5	365	11000	0,32	5,1
1,47 - 1,80	6,3	475	12200	0,39	6,1
1,81 - 2,16	7,9	610	13800	0,54	7,3
2,17 - 2,44	8,7	770	15800	0,69	8,6
2,45 - 2,70	8,7	1000	18000	0,92	9,9
2,71 - 3,2	10,3	1135	20400	1,05	11,1

Tabell 18: Svetsparametrar för varmförzinkat material vid normal svetsström och relativt liten elektrodspetsdiameter. Zinkskiktets tjocklek  $<21 \mu\text{m}$ . [ 14 ]

plåttjocklek t [mm]	elektrodspets- diameter $d_E$ [mm]	elektrod- tryck $E_T$ [kp]	svetsström I [KA]	svetstid s [sek]	svetslins- diameter $d_S$ [mm]
0,50 - 0,65	3,8	140	8800	0,13	3,8
0,66 - 0,85	4,1	205	9400	0,20	4,1
0,86 - 1,10	4,3	250	10000	0,23	4,3
1,11 - 1,45	5,1	360	11000	0,32	5,1
1,46 - 1,80	6,1	480	12200	0,38	6,1
1,81 - 2,20	7,4	610	13800	0,53	7,4
2,21 - 2,60	8,6	770	15800	0,68	8,6
2,61 - 2,95	9,9	1000	18000	0,92	9,9
2,96 - 3,30	11,2	1130	20400	1,05	11,2

Samtliga tabeller för val av svetsparametrar avser två lika tjocka plåtar. Vid olika plåttjocklek kan en ekvivalent plåttjocklek bestämmas med hjälp av diagrammet i fig. D 75. Utgående från den ekvivalenta plåttjockleken bestämmas därefter svetsdata.

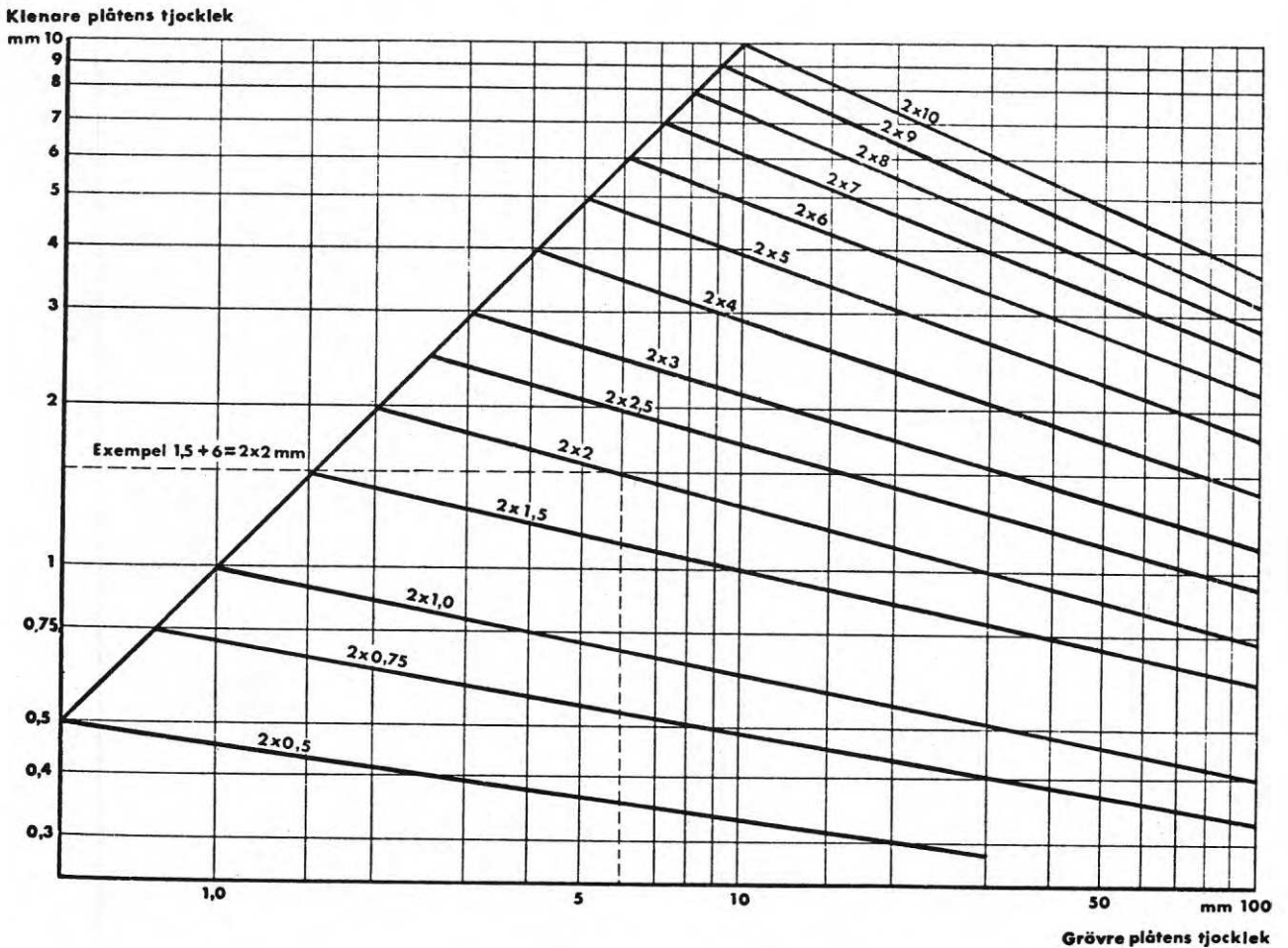


Fig.D75. Diagram för bestämning av ekvivalent plåttjocklek  $t_{\text{ekv}}$ . [8].

Kompensation för läckströmmar kan vid enkla överlappsförband göras med hjälp av diagram i fig. D 76.

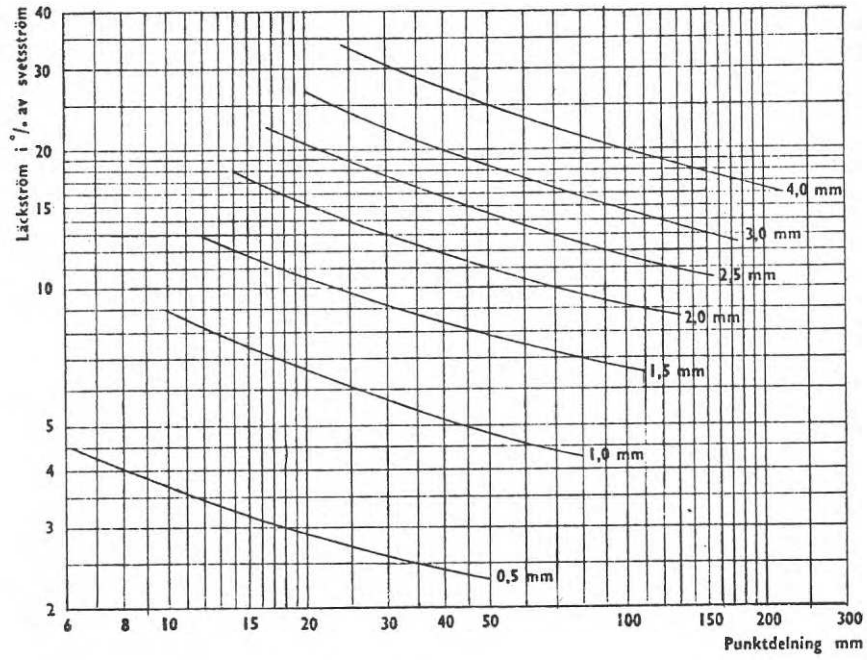


Fig.D76. Läckströmmens procentuella storlek för två svetsars förhållande till svetsströmmen som funktion av punktavståndet. [6].

Tabell 19: Svetsparametrar för aluminium. [1]

plåt- tjocklek t [mm]	elektrod- diameter D <sub>E</sub> [mm]	elektrod- radie R [mm]	elektrod- tryck E <sub>T</sub> [kp]	svets- ström I [amp]	svets- tid s [sek]	minsta kantav- stånd e [mm]	minsta punkt- delning [mm]	svetslins- diameter d <sub>B</sub> [mm]	skjuvbrottlast			
									$\sigma_B \leq 14$ kp/mm <sup>2</sup>	$14 < \sigma_B \leq 20$ kp/mm <sup>2</sup>	$20 < \sigma_B \leq 40$ kp/mm <sup>2</sup>	$\sigma_B > 40$ kp/mm <sup>2</sup>
0,50-0,57	15,9	25,4	155	18000	0,08	9,5	9,5	3,2	46	61	79	86
0,58-0,72	15,9	50,8	175	21800	0,10	11,1	9,5	3,5	66	88	107	114
0,73-0,90	15,9	50,8	225	26000	0,10	12,7	12,7	4,0	95	127	143	159
0,91-1,14	15,9	76,2	170	30700	0,13	14,3	12,7	4,5	136	182	188	209
1,15-1,40	15,9	76,2	300	33000	0,13	15,9	15,9	5,3	187	250	268	290
1,41-1,72	15,9	76,2	340	35900	0,17	19,1	15,9	6,3	257	343	379	418
1,73-1,92	15,9	101,6	365	38000	0,17	20,6	19,1	6,9	298	397	445	513
1,93-2,18	22,2	101,6	390	41800	0,17	22,2	19,1	7,6	352	470	524	636
2,19-2,44	22,2	152,4	430	46000	0,20	23,8	22,2	8,4	400	533	615	772
2,45-3,00	22,2	152,4	475	56000	0,25	25,4	25,4	9,1	432	576	726	931



### 8.3 Kontroll av motståndspunktsvetsade förband

Vid punktsvetsning är det ett mycket stort antal faktorer som kan påverka svetsresultatet. Flera av dessa faktorerers påverkan kan dessutom vara sådan att förbandets funktionsduglighet kraftigt nedsätts. Det är mot den bakgrunden naturligt att olika kontrollåtgärder byggs in i produktionen så att variationer i svetsresultat kan begränsas och därmed säkerhetsfaktorer få en med hänsyn till konkurrenskraften acceptabel storlek.

Kontroll kan utföras med avseende på grundmaterial, svetsutrustning, svetsparametrar och slutprodukt.

#### 8.31 Kontroll av grundmaterial

Kontrollen kan ske genom avsyning så att föroreningar i form av smuts, fett, olja, färg eller oxidskikt uppmärksammas och i tillräcklig omfattning avlägsnas. Dessutom bör mätning ske av grundmaterialets godstjocklek samt eventuell ytbehandlings skiktjocklek i de fall variationer väsentligt påverkar svetsresultatet.

#### 8.32 Kontroll av svetsutrustning

Kontrollen sker genom inkoppling av speciella mätinstrument och avser svetstid, svetsström och elektrodtryck. Intressant i sammanhanget är att bestämma i vilken omfattning dessa storheter under svetsförloppet avviker från inställda värden. Under förutsättning att nedan angivna avvikelser ej överskrids kommer enligt referens [6] avvikelser från medelskjuvbrottlasten ske om högst 10 %.

Maximal tillåten avvikelse i svetsström	= ± 6 %
Maximal tillåten avvikelse i svetstid	= ± 25 %
Maximal tillåten avvikelse i elektrodtryck	= ± 15 %

Till kontroll av svetsutrustning hör även avsyning av elektrodernas anliggningsytor samt uppmätning av elektroddiametrar. Med oförändrade värden på svetsström, svetstid och elektrodtryck kan högst en avvikelse med 20 % från nominell elektrodspetsdiameter tillåtas.

### 8.33 Kontroll av svetsparametrar

Kontrollen avser att se till att valda svetsparametrar ger förväntat resultat. Kontrollen sker lämpligen genom provsvetsning som uppföljs med dragprovning och uppmätning av svetslinsdiameter.

En nödvändig förutsättning för att provsvetsningen skall ge önskad information är att svetsvillkoren vid provsvetsningen överensstämmer med den aktuella tillämpningen. Speciell omtanke kräver godstjocklekar, ytvillkor samt läckströmmar.

För valsblankt material utan ytförorening kan svetsning baseras direkt på erfarenhetsvärden utan föregående provsvetsning, varvid emellertid tillåten last per punkt måste reduceras.

Vid material med någon form av ytskikt där varierande ytförhållanden kan förväntas måste provsvetsningen omfatta dessa.

Olika provningsmetoder redovisas under kontroll av slutprodukt.

### 8.34 Kontroll av slutprodukt

Kontroll av svetsförband kan utföras genom förstörande eller icke förstörande provning. Det skall genast framhållas att någon helt tillfredsställande icke förstörande provningsmetod ännu ej existerar. Anledningen är att de för hållfastheten väsentliga delarna av en motståndspunktsvets ej är direkt åtkomliga för kontroll.

Vanligen används förstörande provning för att kontrollera att vissa hållfastdata och svetslinsdiametrar ej underskrids. Icke förstörande provning däremot kontrollerar förekomst av inre och yttre felaktigheter i form av elektrodintryck, separation mellan plåtar, porositeter och bindfel. Av fig. D 77 framgår ett antal krav som bör uppfyllas för en fullgod punktsvets.

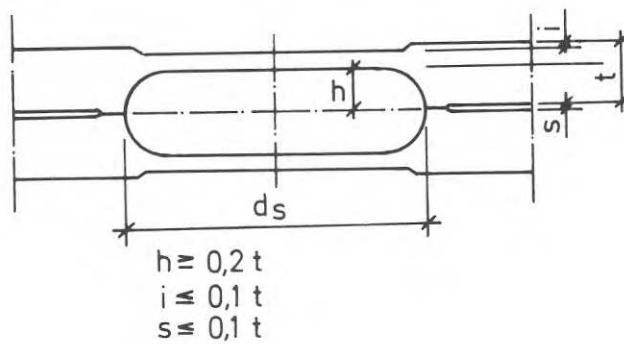


Fig.D77. Beteckningar och minikrav för storheter som skall beaktas vid kontroll. [7] .

Av fig. D 78 framgår ett antal fel och de vanligaste orsakerna till dessa.

Art av fel	Yttre						Inre							
Orsak	Elektrointryck av onormal form	Elektrointryck för djupt	Överhettad kontaktyta	Kletning på arbetsstycket	Sprutning från svets mellan plåtar	För stor spalt mellan plåtar	Dålig hopvällning	För liten svetslinsdiameter	För liten svetslinstjocklek	För stor svetslinstjocklek	Oregelbunden lins	Hålighet	Spricka	För stor hårdhet
Felaktig hantering .....	×		×											
Dålig ytbeskaffenhet på plåt .....			×		×						×	×		
Företnad elektrod .....			×	×							×	×	×	
Dålig kylning av elektrod .....				×								×		
Olämpligt elektrodmaterial .....				×										
Dålig passning .....					×	×								
Felaktig elektrodanläggning .....	×		×									×		
Felaktig elektrodform .....	×	×	×								×			
För liten kontaktyta .....		×												
För lång kyltid .....														×
För kort kyltid .....												×	×	
För kort anläggningstid .....				×	×									
För stor elektrodskraft .....						×	×	×						
För liten elektrodskraft .....		×	×		×					×		×	×	
För lång svetsstid .....		×			×	×				×				
För kort svetsstid .....							×	×	×		×			×
För hög svetsström .....		×	×		×				×			×	×	
För låg svetsström .....							×	×	×					

Fig.D78. Orsaker till svetsfel. [9].

### 8.341 Förstörande provning

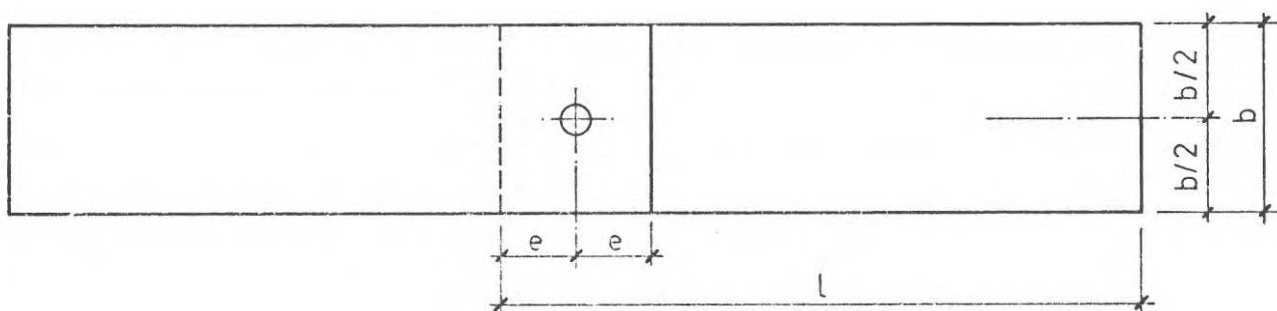
Förstörande provning kan utföras på med svetsobjektet identiska provkroppar (fullskaleförsök) eller referensprovkroppar.

Det är önskvärt att referensprovkroppar får god överensstämmelse med det aktuella svetsobjektet. Speciellt viktig är överensstämmelsen vad gäller godstjocklek, materialkvalite, ytvillkor och läckströmmars storlek.

Provningen avser antingen att för någon belastningstyp bestämma maximal lastupptagningsförmåga eller ge information om svetsars inre delar som vanligen döljs. I det senare fallet söndersågas punktsvetsen varvid sågsnittet läggs vertikalt genom svetspunktens mitt. Härvid kan uppmätning ske av inträngningsdjup, separation mellan plåtar och bredd på den värmepåverkade zonen. Med hjälp av en lupp kan inre fel såsom porositeter och bindfel avslöjas samtidigt som kornstorlekar kan studeras.

Vid belastning till brott skall belastningstypen överensstämma med den för svetsobjektet aktuella oavsett om provning sker som fullskaleförsök eller med referensprover. Vanligen kan belastningstypen återföras till någon av typerna skjuvning eller axiell dragning för vilka nedanstående provmetoder kan nyttjas.

Enkelt skjuvbrottprov utförs på provkroppar enligt fig. D 79.



$$3,5d_s < e < 5d_s$$

$$b \sim 6d_s$$

$$l = 250$$

Fig.D79. Provkropp för enkelt skjuvbrottprov.

Protokoll föres där anteckning sker av svetsdata, av i fig. D 79 angivna mått, skjuvbrottlast samt brotttyp. För bestämning av provkroppsbredd antages ett mått på svetslinsdiametern  $d_s$ . Efter dragprovningen uppmäts den verkliga storleken i två mot varandra vinkelräta riktningar varav den ena skall utgöra svetslinsens minsta diameter.

Vid grövre plåt än 1,5 mm bör mellanlägg av samma tjocklek placeras vid infästning i dragprovningssmaskin.

Vid svetsning av provkroppar bör svetsströmmen ej innehålla den eventuella läckströmskompensation som gjorts för huvudsvetsobjektet.

Prov med axiell dragbelastning kan utföras med provkropp enligt fig. D 80 eller fig. D 81. Vilken provkroppstyp som skall användas bestämmes av det aktuella objektets konstruktiva utformning.

En noggrannare beskrivning med måttangivelser samt infästningars utformning finns i referens [2].

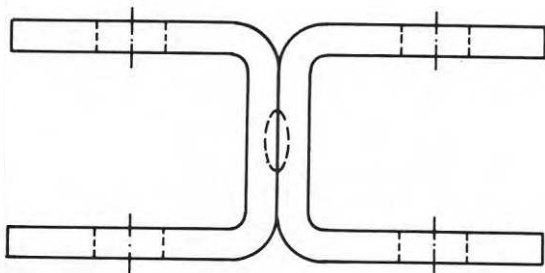
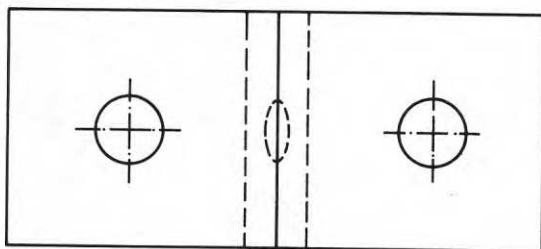


Fig.D80. Provkropp för axiell dragbelastning.

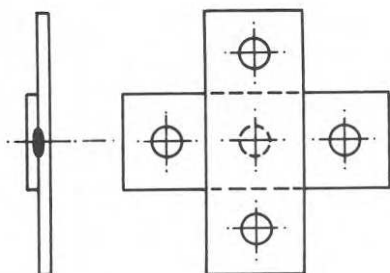


Fig.D81. Alternativ utformning av provkropp för axiell dragbelastning.

Protokoll skall föras i samband med provning varvid värden motsvarande de vid enkelt skjuvbrottprov skall antecknas.

Vridbrottprov kan utföras med enkla hjälpmedel men kan trots detta ge en del värdefull information. Svetsen utsätts för ett vridande moment, som orsakar vridbrott på svetslins eller urvridning av svetslins ur plåt. Belastningsprincipen framgår av fig. D 82.

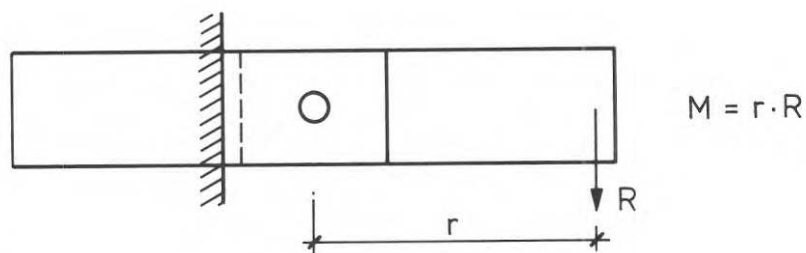


Fig.D82. Belastningsprincip vid vridbrottprov.

Beroende på vilken brotttyp som utbildas kan vridbrottmomentet  $M_B$  tecknas:

$$\text{för skjuvbrott svetslins} \quad M_B = \frac{\pi \cdot d_s^3}{12} \cdot \tau^{br}$$

$$\text{för urvridning ur plåt} \quad M_B = \frac{\pi \cdot d_s^2 \cdot t}{2} \cdot \tau^{br}$$

$\tau^{br}$  = skjuvbrottsspänningen.

Enligt dessa uttryck erhålles då skjuvbrott för  $d_s \leq 6t$  och urvridningsbrott när  $d_s \geq 6t$ .

Försök i referens [3] visar att urvridningsbrott även kan inträffa för något mindre värde på  $d_s$  än  $6t$  vilket kan orsakas av att brottet sker i den värmepåverkade zonen där i vissa fall  $\tau^{br}$  kan vara något lägre.

I allmänhet är  $d_s < 6t$  varför vid normala val av svetsparametrar brottet sker i svetslinsen.

Nedan anges ett samband som utgående från vridbrottlasten ger ett värde på den skjuvbrottlast som bestämmes med enkelt skjuvbrottprov.

Skjuvbrottlasten  $F_B$  kan tecknas

$$F_B = \frac{\pi \cdot d_s^2}{4} \cdot \tau^{br}$$

I referens [2] anges att kantskjuvspänningen vid vridbrott är dubbelt så stor som vid skjuvbrott. Utgående från detta faktum och uttrycken på  $F_B$  och  $M_B$  kan ett samband mellan dessa storheter uppställas enligt

$$F_B = \frac{1,5 M_B}{d}$$

God överensstämmelse har funnits vid testning mot provningsresultat i referens [3]. I referens [2] anges formeln

$$F_B = \frac{2 M_B}{d}$$

som emellertid tycks ge alltför stora värden på  $F_B$ . Skillnaden i uttrycken bero på att i det senare fallet ett elastiskt stadium har förutsatts, men i det förra ett plastiskt.



Efter provning kan svetslinsens diameter uppmätas. Protokoll skall föras varvid geometriska storheter, svetsdata, värden på brottmoment och vridningsvinkel skall antecknas. Maximalt moment multipliceras med vid detta moment uppnådd vridningsvinkel är ett mått på svetsens seghet.

Läckströmsprov avser att bestämma den ökning i svetsström som måste göras för att kompensera för den ström som vid svetsningen passerar tidigare utförda svetsar. En lämplig provkropp framgår av fig. D 83.

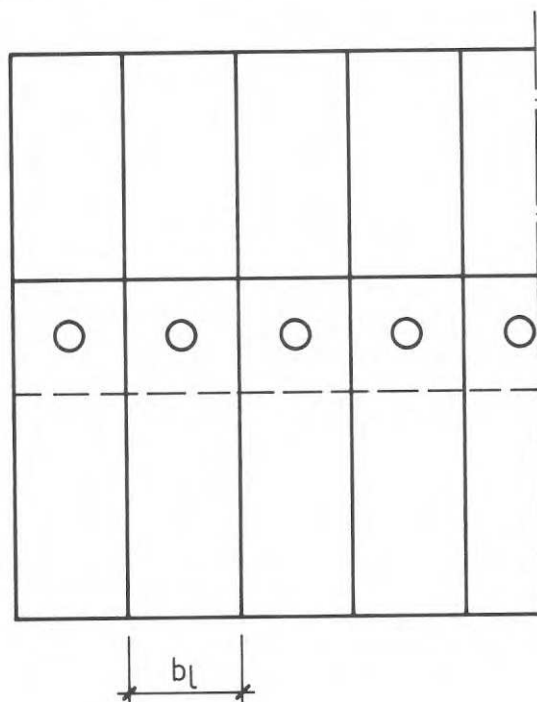


Fig.D83. Moderplåt för bestämning av läckströmmars inverkan på svetsresultatet.

Bredden  $b_1$  skall väljas identisk med den punktdelning som valts för det aktuella svetsobjektet. Det är lämpligt att samtidigt svetsa provkroppar för enkla skjuvbrottprov med bredden  $b_s$ . Jämförelser dem emellan kan därefter göras med avseende på svetslins- och vidhäftningsdiameter. Strömstyrkan skall korrigeras så att dessa diametrar för de olika proven blir lika stora.

I enklare fall och valsblankt stålplåt kan läckströmskompensationen bestämmas enligt avsnitt 8.2.

Ovan visade provkropp är endast ett exempel på utformning. Provkroppen skall överensstämma med huvudsvetsobjektet vad gäller avstånd mellan svetspunkter, antal punktrader samt antal fogdelar.

#### 8.342 Icke förstörande provning

De två viktigaste metoderna för icke förstörande provning är röntgenundersökning och avsyning, där avsyningen även omfattar viss uppmätning. Ingen av metoderna är användbar för kontroll av svetslinsdiameter, varför en icke förstörande provningsmetod lämpligen kombineras med en förstörande.

Avsyning avser att kontrollera att svetsars placering, elektrodintryck samt i den mån det är möjligt separationen mellan plåtarna.

Röntgenundersökning avslöjar bindfel och porositeter men är ej användbar för kontroll av svetslinsdiameter.

### 8.4 Förbandsutformning

Vid utformning av punktsvetsförband bör speciell uppmärksamhet ägnas åt följande delproblem;

- A. Anslutande fogdelars utformning.
- B. Punktsvetsars antal och placering.
- C. Åtkomligheten.
- D. Läckströmmars inverkan.

A. Anslutande fogdelar bör om möjligt utformas så att punktsvetsar i huvudsak påverkas av skjuvkrafter. Detta krav anses uppfyllt för de fogtyper som framgår av fig. D 84.

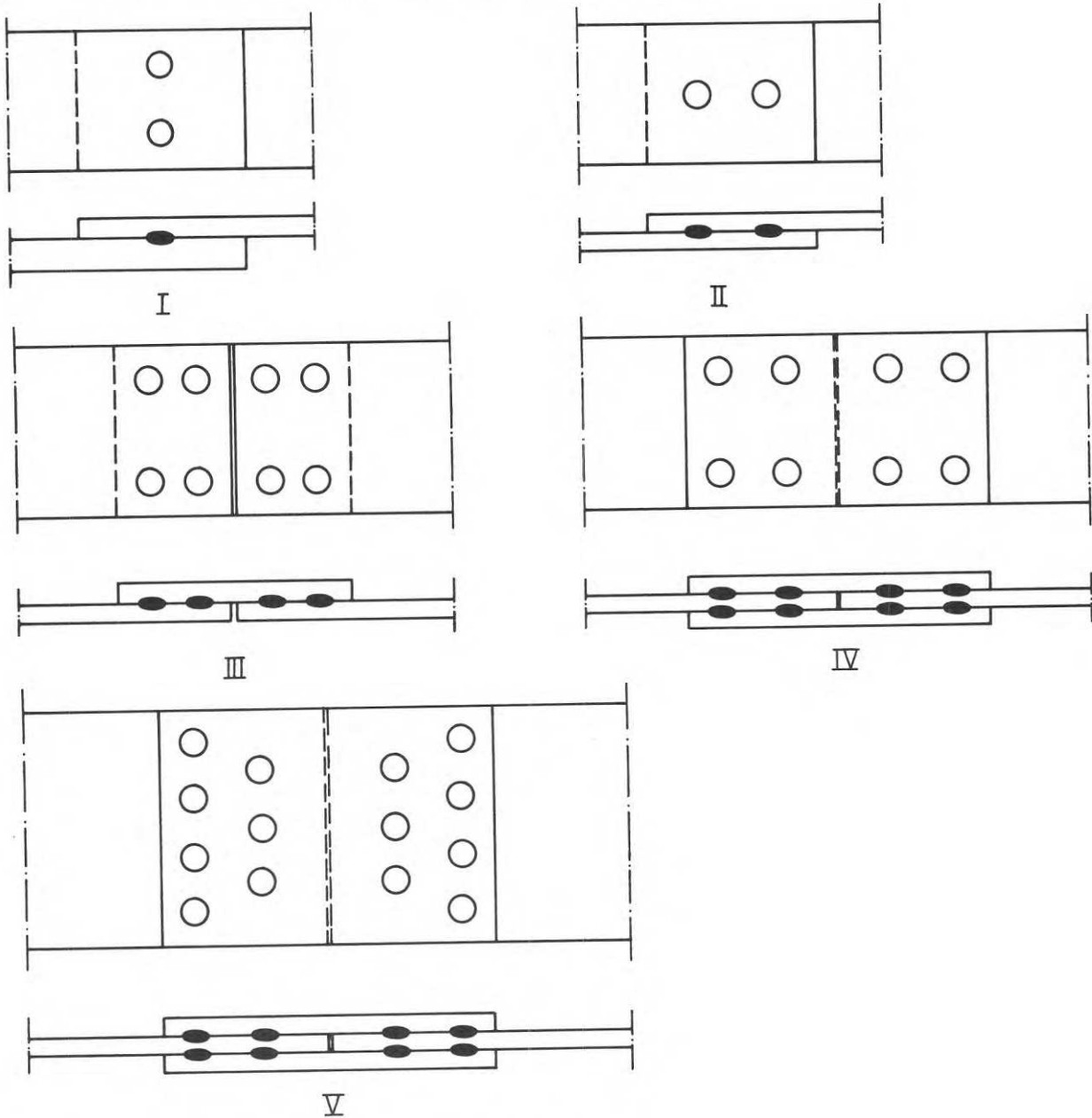


Fig.D84. Typexempel på överlappsförband.

Vid de symmetriska förbandstyperna (IV och V) bestäms tillåten last per punkt på samma sätt som vid olika tjocka plåtar och med  $t_1 \geq 2,5 t_2$ .

- B. Punktsvetsars antal bestäms utgående från aktuell belastning samt den tillåtna lasten per punkt enligt avsnitt 7.6.

Svetspunkterna bör placeras enligt följande regler;

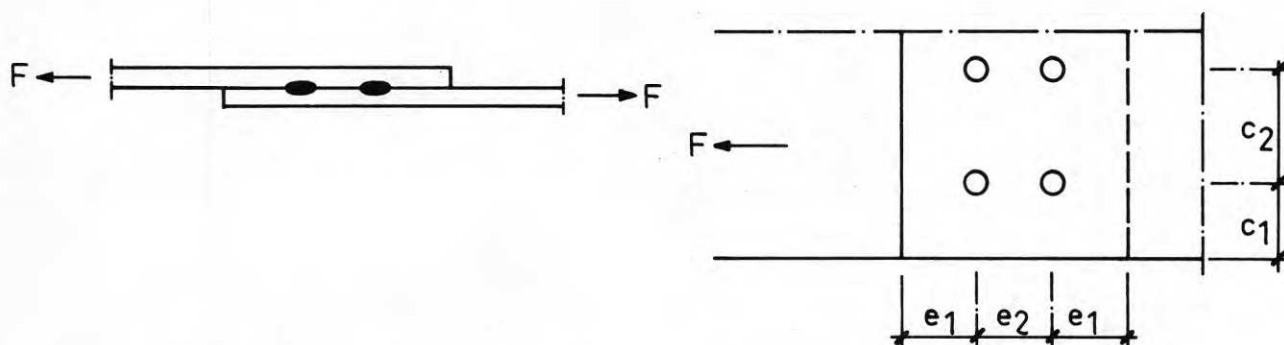


Fig.D85. Förbandsbeteckningar.

$$3d_s \leq e_1 \leq 6d_s$$

$$3d_s \leq e_2 \leq 6d_s$$

$$2d_s \leq c_1 \leq 4d_s$$

$$3d_s \leq c_2 \leq 6d_s$$

Beträffande kantavståndet  $e_1$  kan ett avstånd  $1,5d_s \leq e_1 < 3d_s$  tolereras varvid emellertid en minskning i tillåten last enligt avsnitt 7.6 måste beaktas.

För häftsvetsar bör följande krav uppfyllas;

$$c_2 \begin{cases} \leq 12d_s \\ \leq 30t \end{cases}$$

$t$  är tjockleken hos förbandets tunnaste plåt.

C. Åtkomligheten beaktas genom att anslutande fogdelar ges en lämplig form. Ett antal regler som kan vara till ledning framgår av fig. D 86. I referenserna [1], [8] och [11] anges ytterligare synpunkter och regler.

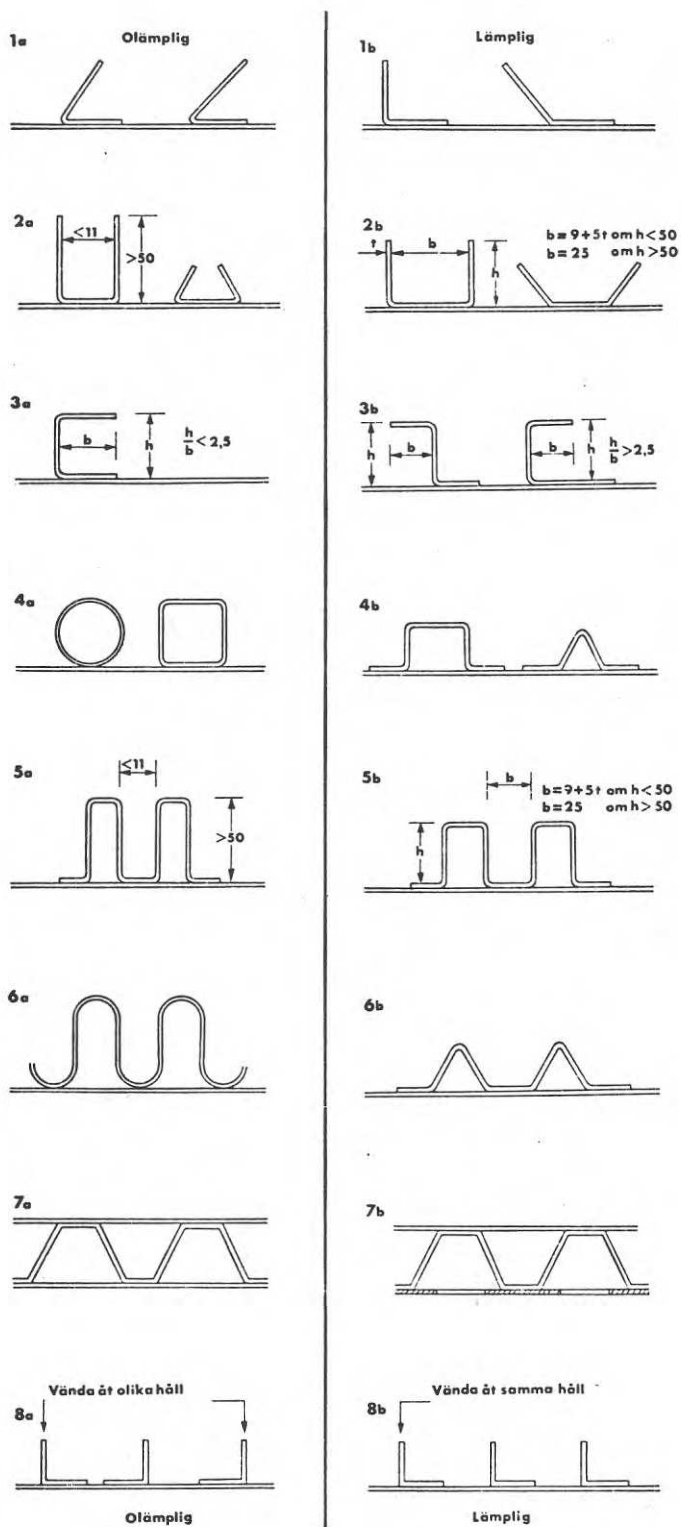


Fig.D86. Regler för utformning av anslutande konstruktions-element. [8] .

- D. Läckströmmars inverkan kan vid enkla överlappsförband bestämmas enligt avsnitt 8.2. Vid anhopning av punktsvetsar eller fler än två fogdelar måste läckströmmars inverkan vanligen undersökas genom provning.

## 8.5 Förberedande åtgärder vid förorenad eller ytbelagd plåt

För att svetsar med hög och jämn kvalité skall erhållas fordras att variationer i ytförhållanden för ett svetsobjekt är små. Naturligtvis uppfyller ytbeläggningar av typ smuts, fett eller olja inte ett sådant krav beroende på inhomogenitet och tjockleksvariation. Nedan beskrivs lämpliga metoder att avlägsna icke önskvärda beläggningar samt några sätt att kringgå svårigheter i samband med vissa beläggningar.

För bästa svetsresultat rekommenderas blankglödgad, blankvalsad eller betad stålplåt. Material med valshud, glödskal eller rost bör om möjligt undvikas.

För aluminium gäller att plåten inom området för elektrodernas anläggning strax före svetsningen bör befrias från oxidskikt.

Fett och olja avtvättas med organiska lösningsmedel.

Tunt oljeskikt försämrar inte svetsresultatet under förutsättning att smuts och damm ej får tillträde till ytan. Risken för detta är emellertid stor varför även tunna oljeskikt före svetsning lämpligen avlägsnas med lämpligt lösningsmedel.

Färg som är isolerande måste avlägsnas åtminstone inom svetsområdet. Färg som ännu ej torkat är svetsbar men korrigering av svetsdata måste ske. Vissa färger med hög halt av zink- eller aluminiumpulver förhindrar ej svetsning ens i torrt tillstånd.

Rost avlägsnas mekaniskt varvid den mekaniska bearbetningen ej får vara sådan att repor eller ojämnheter uppstår.

Förzinkat material kan vid felaktig hantering beläggas med vitrost. En sådan beläggning försvårar svetsningen och bör därför avlägsnas vilket kan ske på kemisk väg eller genom borstning. Enklare är däremot att vidta förebyggande åtgärder genom att förse plåtmaterialen med ett tunt olje- eller kromatskikt. Oljeskikt avlägsnas enkelt strax före svetsningen. Fosfatskikt verkar isolerande och bör undvikas.

Zinkskiktet bör, för att erforderlig produktkontroll ej skall bli för betungande, appliceras på elektrokemisk väg eller genom Sendzmirför-farandet.

Det har konstaterats att elektrodlevslängden kraftigt ökas samt svets-effekten minskas om zinken legeras med 10 % järn.

Svetsprocedurens kyltid bör avpassas så att zinkskiktet ej onödigt skadas.

Vid svetsning av zinkbelagt material måste av arbetsskyddsskäl en tillfredsställande ventilation anordnas.



D9. LITTERATUR

- 1 Welding handbook section one and two. American welding society 1968.
- 2 Recommended practices for resistance welding. American welding society 1966.
- 3 F. Eichhorn - A. Kunsmann. Einflussgrößen für das Festigkeits- und Zähigkeitsverhalten von punktförmigen Schweissverbindungen bei verschiedenartiger Beanspruchung. Mitteilung aus dem Institut für Schweisstechnische Fertigungsverfahren der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen.
- 4 O. Becken - K. Havers. Beim Punktschweissen von Kohlenstoffstahl erreichbare Scherzugkräfte bei Blechdicken bis 6 mm. Schweißen und Schneiden 13. Jahrgang, Heft 4 1961.
- 5 G. Franz. Beitrag zur ermittlung der Tragfähigkeit von Widerstandspunktschweissverbindungen. ZIS - Mitteilungen 11. Jahrgang. 9. 1969.
- 6 E.V. Beatson - H. Wängsjö. Punktsvetsning av kolstål med låg kolhalt och av 0,5 till 3,2 mm tjocklek. Svetsen 28 nr 1, 1969.
- 7 G. Ekberg - H. Wängsjö. Kvalitetskontroll vid punktsvetsning. Elektriska svetsningsaktiebolaget, 1966.
- 8 H. Wängsjö. Konstruktionsanvisningar för motståndssvetsning av tunnplåt. Elektriska svetsningsaktiebolaget, 1968.
- 9 Punktsvetsning. Elektriska svetsningsaktiebolagets instruktion nr 2024 101.
- 10 Punktsvetsning av ren stålplåt med låg kolhalt. AB ASEA svetsmaskiner, 1965.
- 11 Widerstandschweissen von Feinblech Teil A Punktschweissen. Merkblatt 420. Beratungsstelle für Stahlverwendung 1968.
- 12 Resistance spot welding galvanized steel Assembly, directory & handbook. Hitchcock publ. 1966.

- 13 A.W. Schueler. Welding steels with thin metal coatings. Welding Journal aug 1963.
- 14 E.A. Green. - J. Riley. Resistance spot welding galvanized steel of thickuessess .022 to .138. Welding Journal, okt 1963.
- 15 H. Haake. Werkstattbücher heft 73, Berlin 1962.
- 16 Wiederstandschweissen. Fachbuckreihe Schweisstechnik. Band 45 Düsseldorf 1965.
- 17 G. Franz. Das Tragverhalten von Punktschweissverbindungen. Schweisstechnik 16. Jahrgang 10, 1966.
- 18 Motståndssvetsning. Mekanresultat Nr 6909. Sveriges Mekanförbund 1969.
- 19 S. Radtke. How to resistance weld galvanized steel. Welding design & fabrication. Febr. 1965.
- 20 H. Wängsjö. Motståndssvetsning, AB ASEA svetsmaskiner 1950.
- 21 Erker - Hermsen - Stoll. Gestaltung und berechnung von Schweisskonstruktionen. Fachbuchreihe Schweisstechnik Band 9, Düsseldorf 1959.
- 22 R.C. Lavery - H.T. Williams. Resistance spot welding of galvanised steel. Metal construction Feb. 1969.
- 23 E. Brandon. Techniques for welding galvanized steel. Research Center Armco Steel Corp. Middletown Ohio.
- 24 I.W. Mc Geachie. Selection of joining methods for aluminium. The Australian Welding Journal vol 11 5, 1968.
- 25 J. Rudy - R. Mc Cauley - R. Green. The stress behavior of spot welds under stress. Supplement to the Welding Journal Febr. 1956.
- 26 W.P. Kraus. A practical design approach to resistance weld peeling loads. Welding Journal vol 40 Oct 1961.

- 27 G. Welter - A. Choquet. Internal - stress distribution of single spot welds in relation to their fatigue life.  
Welding Journal Supplement April 1959.
- 28 Improving the fatigue life of spot welds. Welding Research Consil.  
Welding Journal Supplement (37) July 1958.
- 29 I.W. Johnson. Spot welding thin aluminium.  
Welding Journal (33) Aug. 1954.
- 30 H.A. Jahnle. Development of a zinc alloy coating for low carbon steel to improve resistance spot welding.  
British Welding Journal (15) Jan. 1968.
- 31 Resistance welding theory and use.  
American welding society. New York 1956.
- 32 H-E. Steinicke. Punktschweiss-Kleb-Verbindungen  
Schweisstechnik 16. Jahrgang 10, 1966.
- 33 P.M. Knowlson - D.N. Waller. Quality control during spot and stitchwelding sheet metals.  
Sheet Metal Industries (41) Jan 1964.
- 34 DIN 1911
- 35 DIN 4115
- 36 DIN 44753
- 37 B.S. 449:1959
- 38 SMS 667

D 10. BETECKNINGAR

$F$	= tvärlast	[kp]
$F_B$	= brottlast vid tvärlast	[kp]
$F_{BS}$	= brottlast vid skjuvbrott svetslins	[kp]
$F_{BH}$	= brottlast vid hålkantflytning	[kp]
$F_{BSN}$	= brottlast vid snedställningsbrott	[kp]
$F_{BK}$	= brottlast vid kantbrott	[kp]
$F_S$	= flytlast	[kp]
$F_{till}$	= tillåten belastning per punktsvets	[kp]
$\bar{F}_{till}$	= tillåten belastning per punkt vid $b \sim 6d_s$	[kp]
$\delta$	= förskjutning	[mm]
$k_1$	= korrektionsfaktor beroende av kontroll	
$k_2$	= korrektionsfaktor beroende av punktavståndet	
$t$	= plåttjocklek	[mm]
$t_1$	= tjocklek på förbandets tjockare plåt	[mm]
$t_2$	= tjocklek på förbandets tunnare plåt	[mm]
$t_{ekv}$	= ekvivalent plåttjocklek	[mm]
$b$	= punktdelning vinkelrät kraftriktningen	[mm]
$e_1$	= kantavstånd i kraftriktningen	[mm]
$e_2$	= punktavstånd i kraftriktningen	[mm]
$c_1$	= kantavstånd vinkelrät kraftriktningen	[mm]
$c_2$	= punktavstånd vinkelrät kraftriktningen	[mm]
$M_B$	= vridbrottmoment	[kpmm]
$\sigma_S$	= sträckgränsspänning	[kp/mm <sup>2</sup> ]
$\sigma_B$	= brottgränsspänning	[kp/mm <sup>2</sup> ]
$\sigma_{till}$	= tillåten plåtspänning	[kp/mm <sup>2</sup> ]
$\tau^{br}$	= skjuvbrotts <span>spänning</span>	[kp/mm <sup>2</sup> ]

$s_{\sigma}$	= säkerhetsfaktor	
$s_{\sigma}^*$	= föreslagen brottsäkerhet	
$d_E$	= elektroddiameter (elektrodspetsdiameter)	[mm]
$A_E$	= elektrodens anliggningsyta	[mm <sup>2</sup> ]
$E_T$	= elektrodtryck	[kp]
$S$	= svetstid	[sek]
$I$	= svetsström	[amp]
$Q$	= energi	[wattsek.]
$R$	= motstånd	[ohm]

## E. MIG-PUNKTSVETSNING

### E1. INLEDNING

Gasmetallbågsvetsning är ett sammanfattande namn på ett antal förekommande svetsmetoder, vars princip framgår av fig. E1.

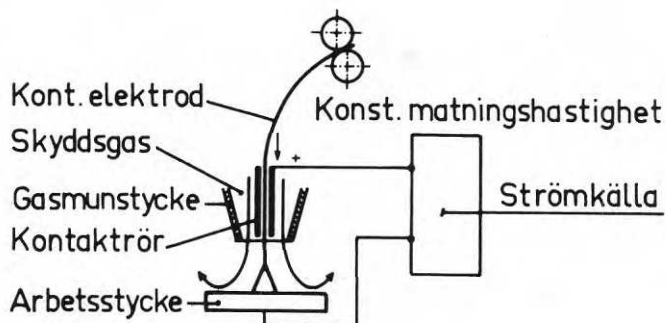


Fig.E1. Arbetsprincip för gasmetallbågsvetsning.

Det för svetsningen erforderliga värmnet utvecklas av en elektrisk ljusbåge som brinner mellan en metallektrod och arbetsstycket. Jämfört med andra bågsvetsmetoder sker en mindre uppvärmning av fogområdet vilket medför att kastningarna minskas samt att svårare lägen kan svetsas genom att smältan blir kall och trögflytande.

Kortbågsvetsning är en gasmetallbågsvetsmetod för strängsvetsning vid vilken svetsparametrar väljs på sådant sätt att elektrodmaterialen droppvis överförs till arbetsstycket och i samband därmed orsakar en periodisk kortslutning av bågen. Skyddsgasen kan vara ädel (vanligen argon), oxiderande (vanligen koldioxid) eller utgöra en blandning av de nämnda gastyperna. Beroende på vilken skyddsgas som används, förekommer också namn som Mig-svetsning (metal inert gas), Mag-svetsning (metal active gas) och Blandgassvetsning.

Kortbågsvetsning har de senaste åren fått en kraftigt ökad spridning beroende på dess relativt höga produktivitet i förening med möjligheten att svetsa tunna plåtmetaller. Svetsutrustningarna är vanligen halvautomatiska.

I sådana fall där ej speciella täthetskrav måste uppfyllas kan det vara motiverat att endast punktviss förbinda plåtar. Under förutsättning att ett speciellt gasmunstycke används och en tidsregleringsenhet ansluts kan i övrigt samma utrustning som för kortbågs svetsning användas för att svetsa punktformiga förbindningar. Oavsett vilken typ av skyddsgas som används brukar metoden kallas Mig-punktsvetsning.

För byggnadsteknisk tillämpning har punktsvetsning bedömts vara mer intressant än strängsvetsning varför teoretiska och praktiska studier har koncentrerats till detta svetsförfarande.

Jämfört med motståndspunktsvetsning så har Mig-punktsvetsning den fördelen att åtkomlighet endast erfordras från förbandets ena sida. Dessutom är kraven på ytrenhet vanligtvis lägre, medan däremot svårigheter kan uppstå vid svetsning av varmförzinkat material om plåttjockleken understiger 1,5 mm.

## E2. METODBESKRIVNING

Mig-punktsvetsning kan, som nämnts i inledningen, ske med utrustning för kortbågsvetsning under förutsättning att ett speciellt gasmunstycke används och en speciell tidregleringsenhet inkopplas. En komplett utrustning för Mig-punktsvetsning framgår av fig. E2.

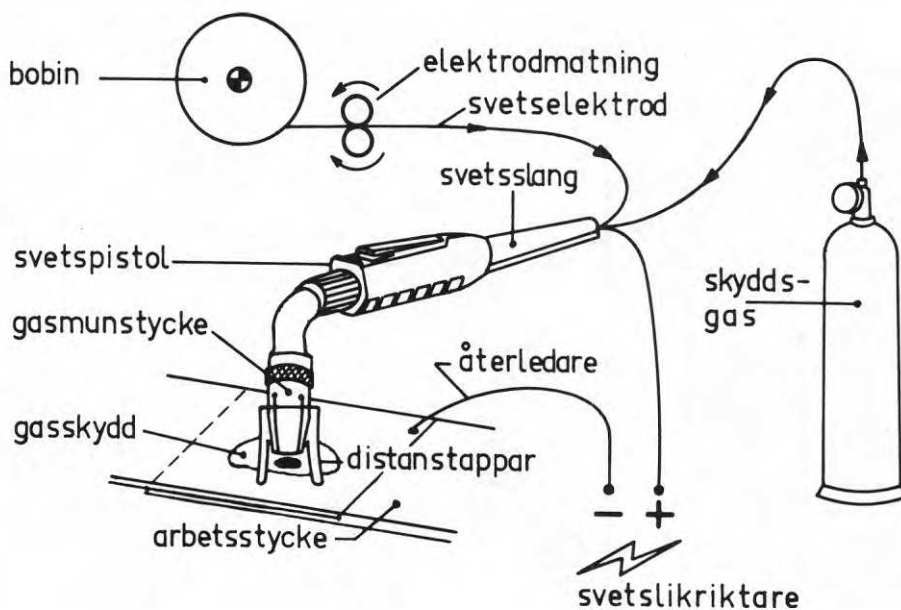


Fig. E2. MIG-punktsvetsutrustning.

Utrustningen är halvautomatisk. Elektroden matas med under svetsförloppet konstant hastighet genom svetssslagen. Det för elektrodens avsmältning erforderliga värmets delar alstras dels av ohmsk uppvärmning och dels av den elektriska ljusbågen som brinner mellan elektrod och arbetsstycke. Strömmen tillförs elektroden via kontaktröret. Genom svetssslagen transporteras även skyddsgasen som vid svetsning omger smältan och förhindrar densamma att reagera med luftens syre. Genom att elektrod diametern endast är 0,6 - 1,2 mm kan förhållandevis låga strömstyrkor användas.



Svetsförloppet karakteriseras av variation av spänning och strömstyrka. Med spänning avses vanligen spänningsfallet över ljusbågen och kallas i enlighet härmed ofta bågspänning. Praktiskt registreras ofta spänningen så att förutom den egentliga bågspänningen även spänningsfallet i ytan mellan kontaktrör och elektrod samt i elektrod kommer att innefattas. Av fig. E3 framgår hur ström och spänning kan variera under svetsförloppet.

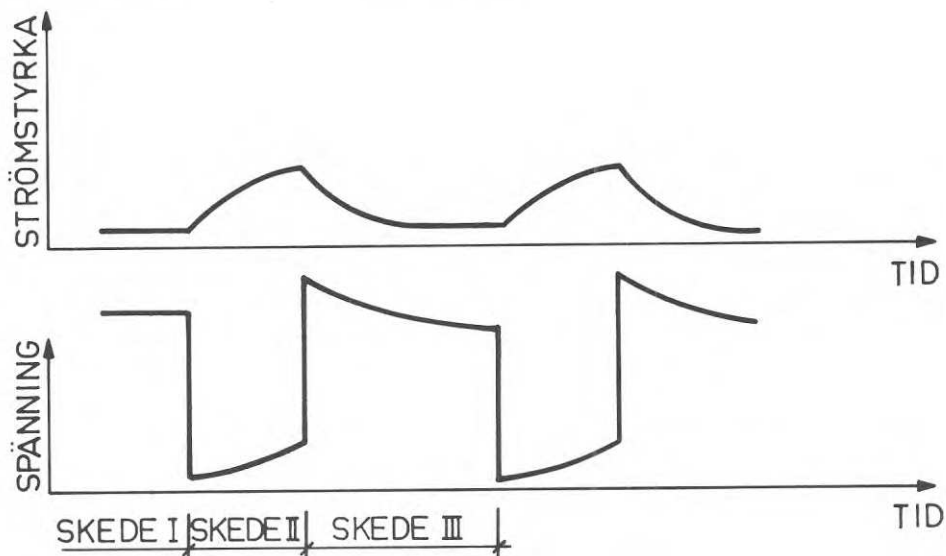


Fig.E3. Variation av strömstyrka och bågspänning under svetsförloppet.

Under skede I matas elektroden mot arbetsstycket och orsakar kortslutning. Kortslutningen innebär att strömstyrkan i skede II kraftigt höjs vilket i sin tur medför att den ohmska uppvärmningen får elektrodmaterialiet att smälta och bilda en droppe. Strömstyrkan måste under skedet växa med sådan hastighet att uppvärmningen är tillräcklig för att hålla elektrodspetsen smält. Sker en för snabb stegring av strömstyrkan kommer emellertid smält material att utstötas i form av sprut. Strömstyrkans tillväxthastighet kontrolleras genom en i svetskretsen inkopplad variabel induktans. Värden på högsta och lägsta strömstyrka inom skede II är 50 - 100 amp respektive 150 - 225 amp. Kortslutningsfrekvensen kan variera mellan 50 - 200 c/s. Strömstyrkorna är jämfört med andra bågsvetsmetoder låga, men genom att elektrod diametern endast är 0,6 - 1,2 mm så blir strömintensiteten förhållandevis hög. Skede III inleds med att droppen avsnörs och ljusbågen tänds varvid spänningsfallet kraftigt ökar. Ljusbågen utvecklar värme samtidigt som den påverkar smältan med ett tryck som får det smälta elektrodmaterialiet att tränga in i arbetsstycket. Under tiden bågen brinner bildas en ny

droppe på elektrospetsen som kommer allt närmare arbetsstycket för att så småningom åter kortsluta strömkretsen.

Av det mångfald faktorer som påverkar svetsförloppet kan strömkällans statiska karakteristik anses vara den viktigaste. Genom att nyttja strömkällor som med ökad strömstyrka ger en något minskad spänning förmås ljusbågen att bli självreglerande. Förhållandet innebär att om ljusbågen från ett idealtillstånd av någon anledning störs sker ett automatiskt återställande av begynnelsestillståndet. Vid exempelvis ökad båglängd (bågspänning) sker beroende på strömkällans karakteristik en minskning av strömstyrkan vilket medför att elektrodens avsmältning minskar. Minskad avsmältning medför att begynnelsestillståndet återställts. På omvänt sätt sker en automatisk reglering om störningen innebär att båglängden (bågspänningen) minskas. Bågspänningen ligger vanligen i intervallet 15 - 25 volt.

E3. HUR OLIKA SVETSvariationer PÅVERKAR SVETSFÖRLOPPET, SVETSPUNKTENS  
UTSEENDE OCH HÅLLFASTHETSEGENSKAPER

Nedan ges en översiktlig beskrivning av hur den svetsade punkten påverkas av variabelvalet. I fig. E4 definieras några i genomgången ofta förekommande uttryck.

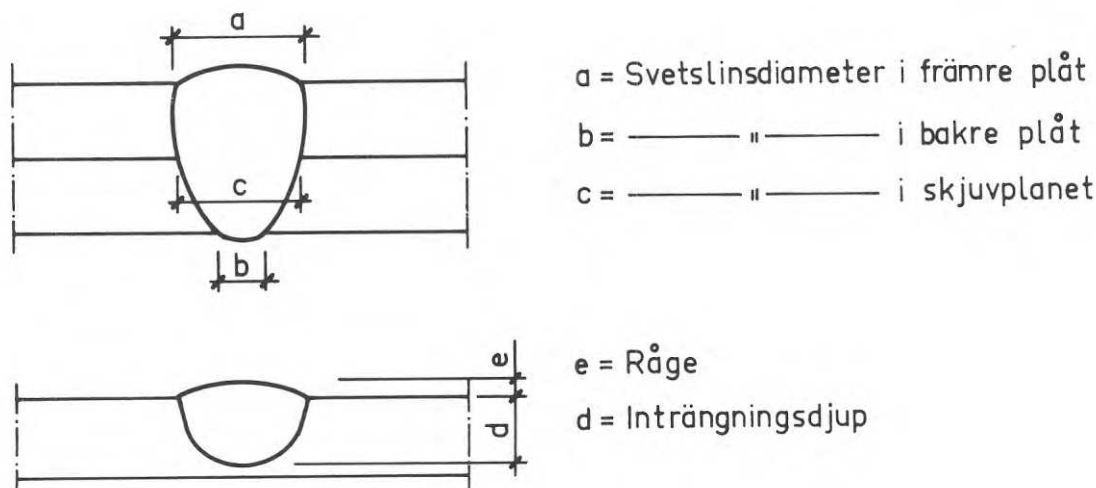


Fig.E4. Svetsningsnomenklatur.

Strömstyrkan bestämmer i hög grad svetsförloppet och den färdiga svetspunktens egenskaper. Svetsförloppet påverkas av att elektrodens smälthastighet och därmed även droppstorlek och droppfrekvens är starkt beroende av strömstyrkan. Ökad strömstyrka medför oftast också ett ökat inträngningsdjup och förhöjd temperatur hos smältan. Det ökade inträngningsdjupet är gynnsamt för svetspunktens skjuvbrotthållfasthet, medan den ökade temperaturen kan medföra svårigheter vid svetsning i vertikal- eller underuppläge. Vanligen väljs en så hög strömstyrka som är svets tekniskt acceptabelt och som ger en kort svets-tid och därmed liten energiåtgång. Den goda inträngningen vid hög strömstyrka innebär även minskad elektrod förbrukning.

Väsentligt för svetsförloppet är strömstyrkans tillväxthastighet under kortslutningsskedet. Tillväxthastigheten regleras med en i strömkretsen inkopplad variabel induktans. En för hög tillväxthastighet ger ett explosionsartat svetsförlopp, medan en för låg ger för långt kortslutningsskede och dålig bådastabilitet.

Med bågspänningen är det möjligt att inom vissa gränser påverka svetspunktens utseende och hållfasthetsegenskaper. Lämplig bågspänning bero förutom av uppställda krav i dessa avseende även av plåttjocklek, svetsläge, elektroddiameter och gassammansättning. Spänningsfallet i en båge är vid i övrigt fasta parametrar i stort sett konstant varför en ökad bågspänning även ger en ökad båglängd. Hög bågspänning medför således att elektrodpetsen kommer långt från arbetsstycket varför strömintensiteten i dess yta blir låg. Följden av detta blir en försämrad inträngning, hög råge och porositeter men samtidigt erhålls vanligen en stor svetslinsdiameter i såväl överyta som skjuvplan. Sänkt bågspänning innebär i enlighet med ovanstående en inom vissa gränser förbättrad inträngning och minskad råge. Svetsare utnyttjar ofta ändring av bågspänningen för att kontrollera smältbadet, varvid en flack sluttande karakteristik medför att bågspänningen enkelt justeras via elektrodmätningshastigheten.

Smälthastigheten påverkas endast i ringa utsträckning av bågspänningen.

Elektroddiametern bestämmer till stor del svetslinsens diameter. Det vore med hänsyn till svetsens hållfasthetsegenskaper bra om en relativt grov elektrod kunde nyttjas. En grov elektrod betyder emellertid att starkt ökad strömstyrka erfordras, vilket ökar risken för genombränning. Vid en bestämd strömstyrka förbrukas en större viktmängd av en tunn elektrod än av en grov. I överensstämmelse härmed uppnås också en bättre inträngning vid relativt små elektroddiametrar. En mycket vanlig diameter är 0,8 mm.

Elektrodmätningshastigheten står i bestämt förhållande till strömstyrkan. Med anledning härav har vad som sägs om strömstyrkan till stor del även giltighet för elektrodmätningshastigheten. Vanliga värden på densamma är 10 - 15 m/min.

Svetstiden påverkar inom vissa gränser svetslinsens storlek i alla avseenden. En för lång tid medför stora energiförluster och risk för genombränning, medan en för kort tid ger kraftig spridning i skjuvbrotthållfastheten. Svetstider under 0,3 sek. bör ej utnyttjas. Vid korta svetstider är det viktigt att svetsutrustningen registrerar den effektiva svetstiden.

Kontaktavståndet utgör avståndet mellan kontaktrörets nedre ände och arbetsstyckets överyta. Kontaktavståndet bör vara 10 mm (+ 2 mm). Ett överskridande av detta mått medför visserligen en ökad storlek på svetslinsen, men samtidigt tilltar också risken för genombränning. Dessutom kan svetsförloppet karakteriseras av hackningar. Vid kortare kontaktavstånd föreligger risk för att kontaktröret förorenas och att elektroden fastnar. Risken för att elektroden skall frysa fast i smältan ökar också med minskat kontaktavstånd. Genom speciella munstycken med distanstappar hålls kontaktavståndet inom ovan nämnda gränser.

Efterbrinntiden (efterströmtiden) är den tid som förlöper från det trådframmatningen stoppat tills strömmen bryts. Genom en justering av denna tid förhindras enklast fastfrysning eller fastbränning av elektroden i smälta respektive kontaktrör.

Skyddsgasen har stor betydelse för både svetsförlopp och svets-ekonomi. Argon-gas anses ge ett lungt svetsförlopp med god bågstabilitet och inträngning. I överensstämmelse härmed erhålls för argon-gas förhållandevis höga värden på skjuvbrotthållfastheten. Priset på denna gas är emellertid högt.

CO<sub>2</sub>-gas ger ett mer instabilt svetsförlopp med ett oroligt smältbad och en hel del sprut. Fördelen med CO<sub>2</sub>-gas är i första hand det låga priset.

Med en blandning av ovan nämnda gaser (ofta 80 % argon 20 % CO<sub>2</sub>) erhålls en gas som i viss mån förena de positiva egenskaperna hos de olika gaserna. Jämfört med ren CO<sub>2</sub>-gas uppnås ett stabilare svetsförlopp vilket resulterar i att ett fullgott svetsresultat uppnås inom ett större område med hänsyn till val av svetsparametrar.

E4. TILLÄMPNINGSSOMRÅDEN

Mig-svetsutrustningar är väl lämpade för svetsning när åtkomligheten är mindre god. En viss begränsning kan den korta svetsslangen ( $\sim 3$  m) innebära, som emellertid i viss utsträckning kan kompenseras genom att elektrodmatarenheten kan frigöras från strömkällan. Jämfört med motståndssvetsning har metoden den fördelen att mothåll normalt ej erfordras. Intressant i det sammanhanget är också att skjувbrotthållfastheten enligt referens [3] inte påverkas negativt av spalter mellan de fogade plåtarna på upp till 1 mm.

Plåt med mindre tjocklek än ca 2 mm kan svetsas i samtliga lägen, medan med ökande tjocklek smältan tenderar att rinna undan i underupp- och vertikalläge. Mig-punktsvetsning är i första hand tillämpbar för fogning av obehandlad plåt i tjocklekar 0,6 - 4,0 mm. En tunn plåt kan också svetsas till en betydligt tjockare plåt ( $\sim 20$  mm) såvida svetspistolen ansätts mot den tunnare plåten.

Svetsning av förzinkad plåt är möjlig med vissa förbehåll. Svetsningen försvåras med minskad plåttjocklek och ökad zinkskiktstjocklek. Anledningen är att zinkskiktet verkar isolerande och förhindrar uppsmältningen av förbandets bakre plåt. En förutsättning för att en svets skall utbildas är att zinkskiktet kan smältas undan innan en överhettning och utstötning av material från svetsområdet sker. Tunna plåtars förhållandevis låga värmeavledningsförmåga medför att överhettningsrisken vid svetsning av sådant material ökar. En ökad tjocklek på zinkskikten medför en högre isoleringsförmåga och ökad tidåtgång för bortsmältningen vilket också medför ökad risk för överhettning. Jämfört med svetsning av obehandlad plåt måste åtminstone vid tunnare material spänning och strömstyrka minskas. Vilka plåttjocklekar och zinkskiktstjocklekar som låter sig svetsas är beroende av bl.a. följande faktorer:

1. variationer i zinkskiktets tjocklek
2. kraven på utseende och hållfasthet
3. svetsarens skicklighet.

För ett beräkningsmässigt utnyttjande av svetspunkters hållfasthet krävs att zinkskiktets tjocklek endast uppvisar små variationer, varför endast elförzinkad och med sendzimirmetoden varmförzinkad plåt bör komma ifråga. Som riktvärden kan anges att ett zinkskikt på 20  $\mu$ m kan

accepteras vid svetsning av 1,0 mm plåt, 30  $\mu\text{m}$  vid 1,3 mm och 40  $\mu\text{m}$  vid 1,5 mm. Underskrids dessa värden på plåttjocklekar ökas kraftigt risken för porositeter i svetsen.

Jämfört med motståndssvetsning är svetsresultatet inte lika beroende av ytrenheten, varför svetsning mycket väl kan utföras även om valshud eller tunna oljeskikt belägger ytorna. Rostiga plåtar kan också svetsas med fullgott resultat, om följande åtgärder vidtages;

1. lösa rostpartiklar på den mot elektroden vända sidan avlägsnas så att elektrisk kontakt erhålles
2. de inåtvända plåtsidorna stålborstas och lös rost avlägsnas så att porositeter i svetsen ej uppstår.

Målarfärg försvårar till följd av den isolerande förmågan svetsningen för att vid starkt värmebeständig färg helt omöjliggöra densamma. Svetsning kan endast utföras under följande förutsättningar:

1. färgskiktets tjocklek är mindre än 15  $\mu\text{m}$
2. färgen bortskrapas på den mot elektroden vända ytan inom ett område med minst 15 mm diameter så att elektrisk kontakt erhålles
3. färgen bränns bort av värmen från smältan.

Den sista förutsättningen är ingalunda alltid uppfylld varför provsvetsning bör tillämpas vid färgbelagd plåt.

## E6. EXPERIMENTELLA UNDERSÖKNINGAR

Följande avsnitt beskriver de experimentella undersökningar som utförts i avsikt att få ett underlag för bestämning av från säkerhetssynpunkt acceptabel belastningsnivå.

Provningarna omfattar totalt 61 provkroppar varav 30 med varmförzinkad och 31 med valsblank stålplåt.

Följande förbandsparametrar varierades:

- plåttjocklek
- grundmaterialalets hållfasthet

Följande svetsparametrar varierades:

- strömstyrka (elektrodmattningshastighet)
- bågspänning
- svetstid
- elektroddiameter

Elektroddiameteren valdes enligt Esab:s rekommendationer utgående från aktuella plåttjocklekar. För varje tjocklekskombination valdes 2-4 olika strömstyrkor (elektrodmattningshastigheter). Svetsaren inställde därefter lämplig tid och spänning, för att svetsen skulle få acceptabelt utseende.

### 6.1 Provningsutrustning och provkroppsutformning

Beträffande provkropparnas infästning, mätklockans placering och använda dragprovningmaskiner råder överensstämmelse med vad som anges i kap. B4 avsnitt 4.1. Belastningen påfördes i steg om 10 - 80 kp beroende på förbandets hållfasthet. Efter varje lastökning hölls lasten konstant under någon sekund för deformationsavläsning. Belastningsprocessen är jämförbar med en kontinuerlig deformation på 0,01 - 0,50 mm/min.

Endast en provkroppstyp, som framgår av fig. E5, användes vid försöken.



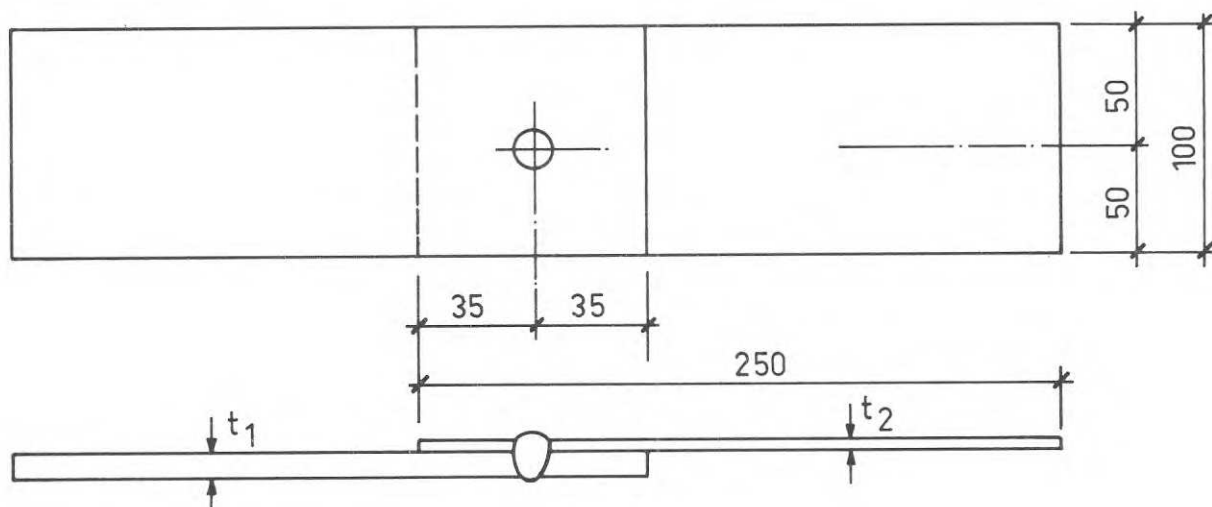


Fig.E5. Provkroppsutformning.

## 6.2 Material till förband

Svetsningen utfördes med Esab:s Mig-punktsvetsutrustning A10 - 275. Gasen var av sort SK203 med flödet 12 l/min. Som grundmaterial till förbanden användes plåt av följande kvalitet:

t = 0,8	SIS 1140 - 32	valsblankt
t = 2,0	- " -	- " -
t = 1,0	DOGAL SU 320	210 g zink per m <sup>2</sup> enkelsida
t = 1,5	DOGAL FA	150 g " " " "
t = 2,5	DOGAL FA	210 g " " " "

Hållfasthetsdata för ovan angivna material framgår av tabell 1 i kap. B4 avsnitt 4.3.

### 6.3 Provningsomfattning och försöksresultat

Provningarna omfattar en registrering av sambandet mellan tvärlasten  $F$  och korresponderande förskjutningar  $\delta$ , uppmätta över förbandet med 115 mm mätlängd.

En sammanställning av maximal erhållen tvärlast  $F_B$  med avseende godstjocklek och svetsvariabler ges i tabellerna 1 - 2.

Under rubriken "brottyp" införda beteckningar avser

S = skjuvbrott i svetslins

SN = snedställning av svetslins

I anslutning till brottlastredovisningen illustreras förbandens deformationsbeteende i form av  $F - \delta$  - kurvor (fig. E6), varvid provningsresultaten för liknande provkroppar sammanslagits. Detta innebär att lastförskjutningskurvorna representerar medelvärden från tre försök.

Tabell 1: Brottlast  $F_B$  för valsblankt material

Provkr. nr	$t_2/t_1$ [mm]	Elektrod- diam. [mm]	Tråd- hastighet [m/min]	Ström- styrka [A]	Svets- spänning [V]	Svets- tid [sek]	Max. last [kp]	Brott- typ
1	0,8/0,8	0,8	15	210	25,5	0,35	527	SN
2	0,8/0,8	0,8	15	210	25,5	0,35	595	SN
3	0,8/0,8	0,8	15	210	25,5	0,35	568	SN
4	0,8/0,8	0,8	12	190	22,5	0,42	378	S
5	0,8/0,8	0,8	12	190	22,5	0,42	352	S
6	0,8/0,8	0,8	12	190	22,5	0,42	342	S
7	0,8/0,8	0,8	10	160	23,0	0,60	506	SN
8	0,8/0,8	0,8	10	160	23,0	0,60	618	SN
9	0,8/0,8	0,8	10	160	23,0	0,60	627	SN
10	0,8/0,8	0,8	18	232	28,0	0,30	537	SN
11	0,8/0,8	0,8	18	232	28,0	0,30	495	SN
12	0,8/0,8	0,8	18	232	28,0	0,30	595	SN
13	2,0/2,0	1,0	15	288	26,5	0,80	871	S
14	2,0/2,0	1,0	15	288	26,5	0,80	826	S
15	2,0/2,0	1,0	15	288	26,5	0,80	818	S
16	2,0/2,0	1,0	15	288	26,5	0,80	916	S
17	2,0/2,0	1,0	12	260	26,0	1,30	867	S
18	2,0/2,0	1,0	12	260	26,0	1,30	898	S
19	2,0/2,0	1,0	12	260	26,0	1,30	825	S
20	2,0/2,0	1,0	10	232	26,0	1,60	940	S
21	2,0/2,0	1,0	10	232	26,0	1,60	944	S
21.1	2,0/2,0	1,0	10	232	26,0	1,60	842	S
22	0,8/2,0	0,8	18	232	28,0	0,60	818	S
23	0,8/2,0	0,8	18	232	28,0	0,60	792	S
24	0,8/2,0	0,8	18	232	28,0	0,60	817	S
25	0,8/2,0	0,8	15	212	25,5	0,80	623	S
26	0,8/2,0	0,8	15	212	25,5	0,80	821	S
27	0,8/2,0	0,8	15	212	25,5	0,80	918	S
28	0,8/2,0	0,8	10	200	26,2	1,40	1024	S
29	0,8/2,0	0,8	10	200	26,2	1,40	1062	S
30	0,8/2,0	0,8	10	200	26,2	1,40	1145	S

Tabell 2: Brottlast  $F_B$  för varmförzinkat material

Provkr. nr	$t_2/t_1$ [mm]	Elektrod- diam. [mm]	Tråd- hastighet [m/min]	Ström- styrka [A]	Svets- spänning [V]	Svets- tid [sek]	Max. last [kp]	Brott- typ
31	1,0/1,0	0,6	10	88	22,5	2,00	805	SN
32	1,0/1,0	0,6	10	88	22,5	2,00	560	S
33	1,0/1,0	0,6	10	88	22,5	2,00	784	SN
34	1,0/1,0	0,6	15	114	24,7	0,90	640	S
35	1,0/1,0	0,6	15	114	24,7	0,90	730	SN
36	1,0/1,0	0,6	15	114	24,7	0,90	920	SN
40	2,5/2,5	1,2	10	300	27,0	1,70	835	S
41	2,5/2,5	1,2	10	300	27,0	1,70	1005	S
42	2,5/2,5	1,2	10	300	27,0	1,70	591	S
43	2,5/2,5	1,2	12	360	25,5	0,90	1107	S
44	2,5/2,5	1,2	12	360	25,5	0,90	1185	S
45	2,5/2,5	1,2	12	360	25,5	0,90	1110	S
46	2,5/2,5	1,2	15	410	24,0	0,70	1365	S
47	2,5/2,5	1,2	15	410	24,0	0,70	1200	S
48	2,5/2,5	1,2	15	410	24,0	0,70	1360	S
49	1,0/2,5	0,8	12	192	24,0	1,40	865	S
50	1,0/2,5	0,8	12	192	24,0	1,40	834	S
51	1,0/2,5	0,8	12	192	24,0	1,40	990	S
52	1,0/2,5	0,8	10	160	23,0	2,00	475	S
53	1,0/2,5	0,8	10	160	23,0	2,00	3	S
54	1,0/2,5	0,8	10	160	23,0	2,00	585	S
55	1,5/1,5	0,8	15	200	25,5	0,90	675	S
56	1,5/1,5	0,8	15	200	25,5	0,90	694	S
57	1,5/1,5	0,8	15	200	25,5	0,90	757	S
58	1,5/1,5	0,8	18	224	26,5	0,75	689	S
59	1,5/1,5	0,8	18	224	26,5	0,75	771	S
60	1,5/1,5	0,8	18	224	26,5	0,75	718	S
61	1,5/1,5	0,8	12	180	25,0	1,60	738	S
62	1,5/1,5	0,8	12	180	25,0	1,60	1105	S
63	1,5/1,5	0,8	12	180	25,0	1,60	1136	S

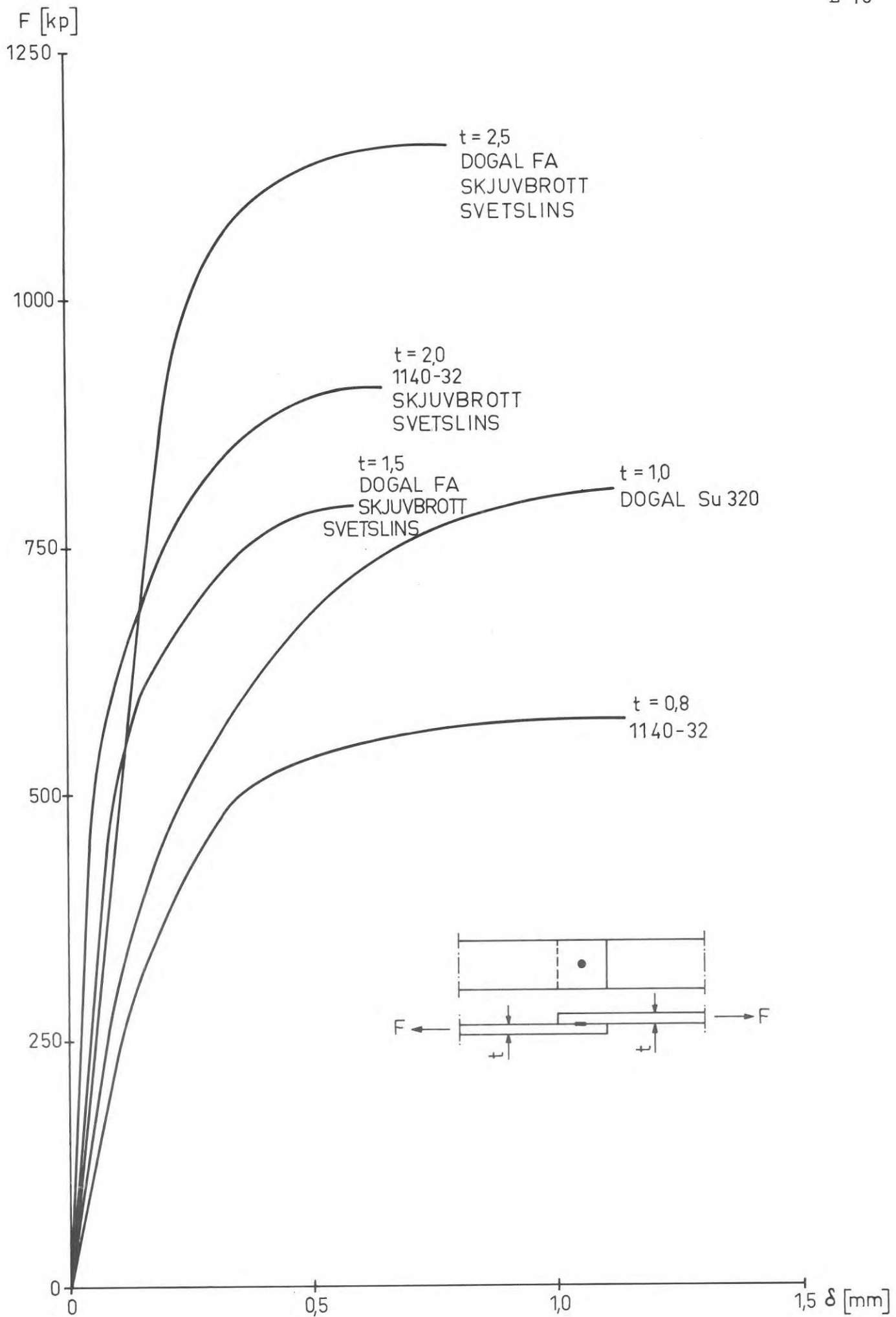


Fig.E6. Några typiska last-deformationskurvor för MIG-punktsvetsade förband.

#### 6.4 Svetsresultatets beroende av svetsparametervalet

Vid svetsningen bestämdes elektroddiameter och elektrodmalningshastighet varefter svetsaren själv fick välja ström, spänning och tid med den förutsättningen att ett bra svetsresultat skulle uppnås. Förfarandet medförde att enstaka svetsparametrars inverkan på resultatet ej kunde bedömas.

Av försöken framgår att det är möjligt att uppnå bra svetsresultat med många olika kombinationer av svetsdata. Liksom för motståndspunktsvetsar visade sig svetslinsdiametern vara ett bra mått på Mig-punktsvetsars lastupptagande förmåga. För samtliga godkända svetsar var svetslinsdiametern i avskjuvningsplanet inom intervallet 3,0 - 6,5 mm. Diametrarna visade inget direkt beroende av grundmaterialets tjocklek.

Dessutom uppmättes svetslinsdiametrar i fogdelarnas ytterytor vilka emellertid i det närmaste saknade samband med lastupptagande förmågan. Möjligen kan dessa diametrar tillsammans med uppgift om svetsrågens höjd och den tillförda mängden elektrodmaterial ge en viss uppfattning om svetslinsens utseende i ett vertikalsnitt. I överensstämmelse härmed ökade för valsblankt material brottlasten med den tillförda elektrod-mängden vid ungefär lika råghöjd. Det visade sig omöjligt att dra liknande slutsatser för varmförzinkat material beroende på förekomst av håligheter i svetsen. Typiska utseenden för sådana framgår av fig. E 7.

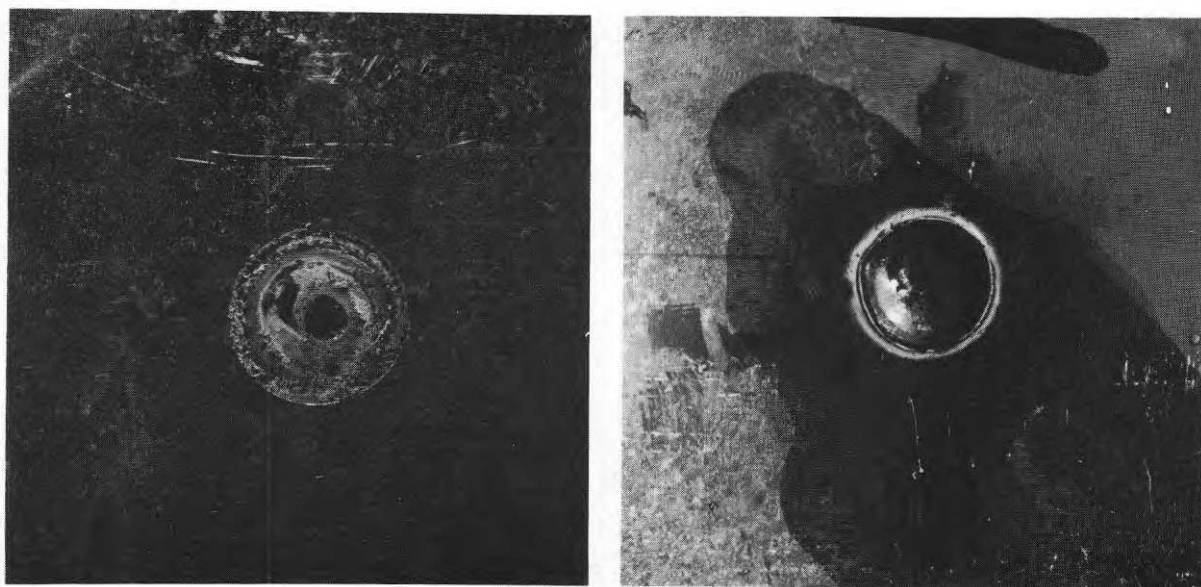


Fig.E7. Porositet i svets.

De förekom i mer eller mindre omfattning vid samtliga godstjocklekar och orsakade i några fall en kraftig nedsättning av lastupptagande förmågan. Risken för att dylika håligheter skall bildas ökar med zinkskiktets tjocklek.

Varmförzinkat material visade sig omöjligt att svetsa vid mindre godstjocklek än 1 mm. Anledningen var att den värmemängd som åtgick för att tillfredsställande smälta bort zinkskikten på plåtarnas insidor samtidigt smälte grundmaterialet i sådan omfattning att det utstöttes från svetszonen. Någon svets kom härigenom inte att bildas. Resultatet framgår av fig. E8.

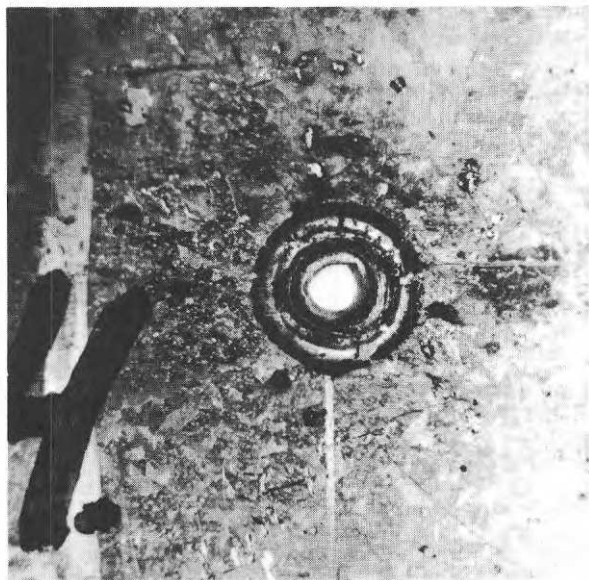


Fig.E8. Resultat av svetsförsök i 0,7 mm plåt med 40  $\mu$ m zinkskikt.

E7. MIG-PUNKTSVETSFÖRBANDETS LASTUPPTAGANDE FÖRMÅGA.DIMENSIONERINGSUNDERLAG

Mig-svetsförband visar inom vissa plåttjockleksintervall god överensstämmelse med motståndspunktsvetsade förband vad beträffar den lastupptagande förmågan. De skillnader som konstaterats bero i första hand på följande egenskaper hos Mig-punktsvetsar:

- svetslinsdiameterns (i avskjuvningsplanet) relativa oberoende av plåttjockleken.
- den främre plåtens relativt stora svetslinsdiameter.

Den första egenskapen medför att brott genom svetslinsens avskjuvning sker vid tunnare plåt än vad som gäller för motståndspunktsvetsning. Den andra egenskapen medför att brott genom överskridet hålkanttryck (hålkantflytning) även vid  $t_1 > 2,5t_2$  saknar aktualitet.

7.1 Skjuvbrott

Skjuvbrott innebär att svetslinsen avskjuvas mellan plåtarna. Brottypen är aktuell vid följande värden på plåttjocklekarna  $t_1$  och  $t_2$  där  $t_2$  är förbandets tunnare plåt.

$$\begin{array}{ll} t_2 \leq t_1 < 2,5t_2 & t_2 > 2,0 \text{ mm} \\ t_1 \geq 2,5t_2 & t_2 > 0,5 \text{ mm} \end{array}$$

Brottlasten kan beräknas enligt följande:

$$F_{BS} = \frac{\pi d^2}{4} \sigma_B$$

Skjuvbrott sker visserligen i första fallet även för  $t_2 < 2,0$  men därvid under betydande snedställning av svetslinsen. Bestämning av dessa brottlaster sker i likhet med för motståndspunktsvetsar utan närmare bestämning av brotttyp. Dimensioneringsunderlaget redovisas under rubriken snedställningsbrott.



## 7.2 Snedställningsbrott

Brottypen är aktuell i de fall plåttjocklekarna  $t_1$  och  $t_2$  uppfyller följande samband:

$$t_2 \leq t_1 < 2,5t_2 \qquad t_2 < 2,0 \text{ mm}$$

Inom intervallet  $1,3 < t_2 < 2,0$  mm sker visserligen brott genom svetslinsens avskjuvning, men först efter en viss snedställning av svetslinsen. Dessa brott är att betrakta som en övergång mellan de olika brottyperna. Brottlasten bestämmes enligt metod som gäller för ett renodlat snedställningsbrott.

Vid lika tjocka plåtar har brottlasterna funnits överensstämma med de som gäller för motståndspunktsvetsar under förutsättning att svetslinsdiametrarna varit lika. Brottlaster för motståndspunktsvetsar framgår av del D. avsnitt 7.2. I de fall Mig-punktsvetsars linsdiameter fallit utanför de i detta avsnitt aktuella har en extrapolering av kurvorna utförts.

I fig. E 9- 12 framgår i egna försök registrerade brottlaster samt de från motståndspunktsvetsning extrapolerade kurvorna. Brottlaster har anpassats till en referensspänning  $\sigma_B = 37 \text{ kp/mm}^2$ , samt reducerats med 10 % med hänsyn till de relativt breda provkroppar som nyttjats vid försöken.

Dimensioneringskurvor för plåttjocklekar med 0,2 mm intervall redovisas i avsnitt 7.4.

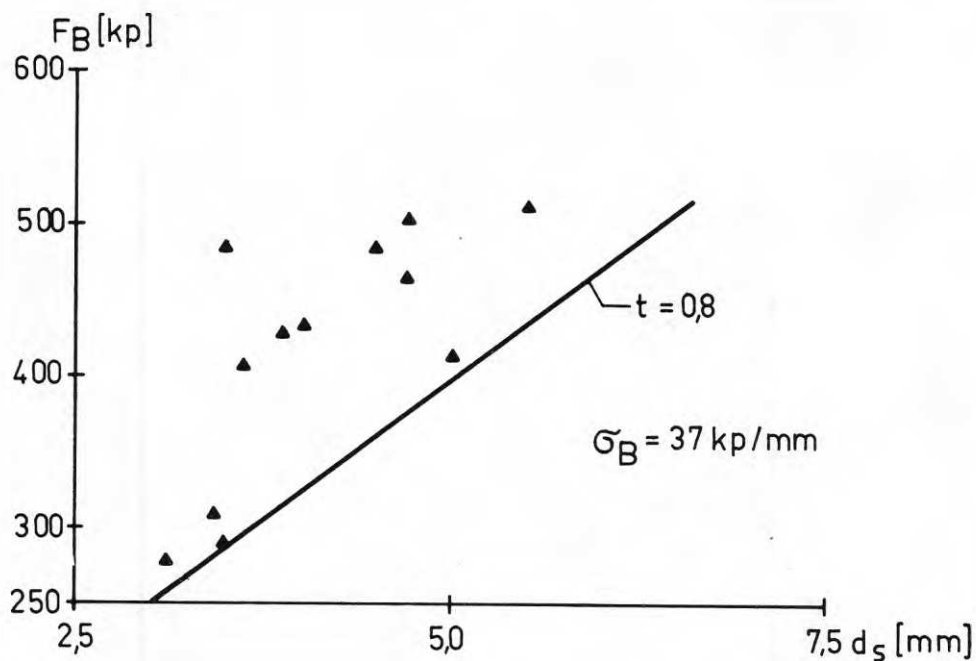


Fig.E9. Brottlast för enkelt överlappsförband med plåttjocklek  $t = 0,8$  mm. Valsblankt material.

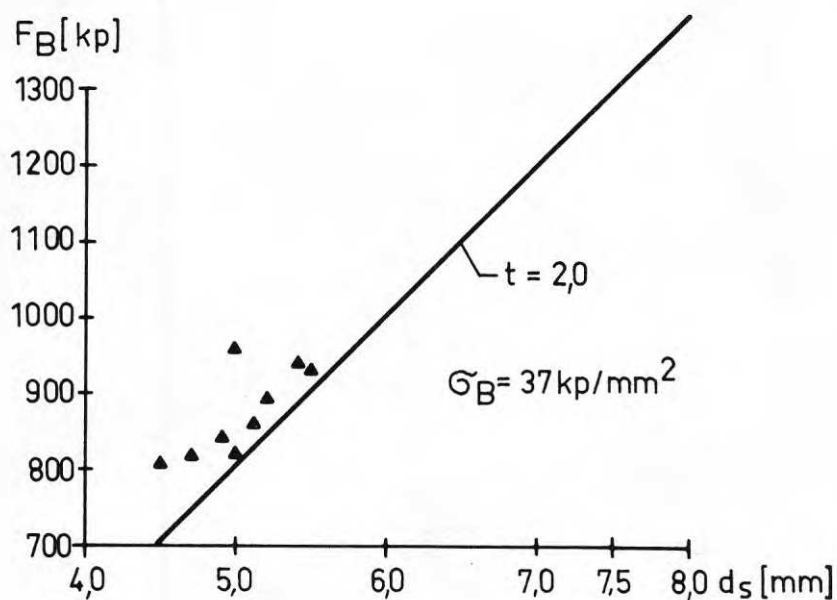


Fig.E10. Brottlast för enkelt överlappsförband med plåttjocklek  $t = 2,0$  mm. Valsblankt material.

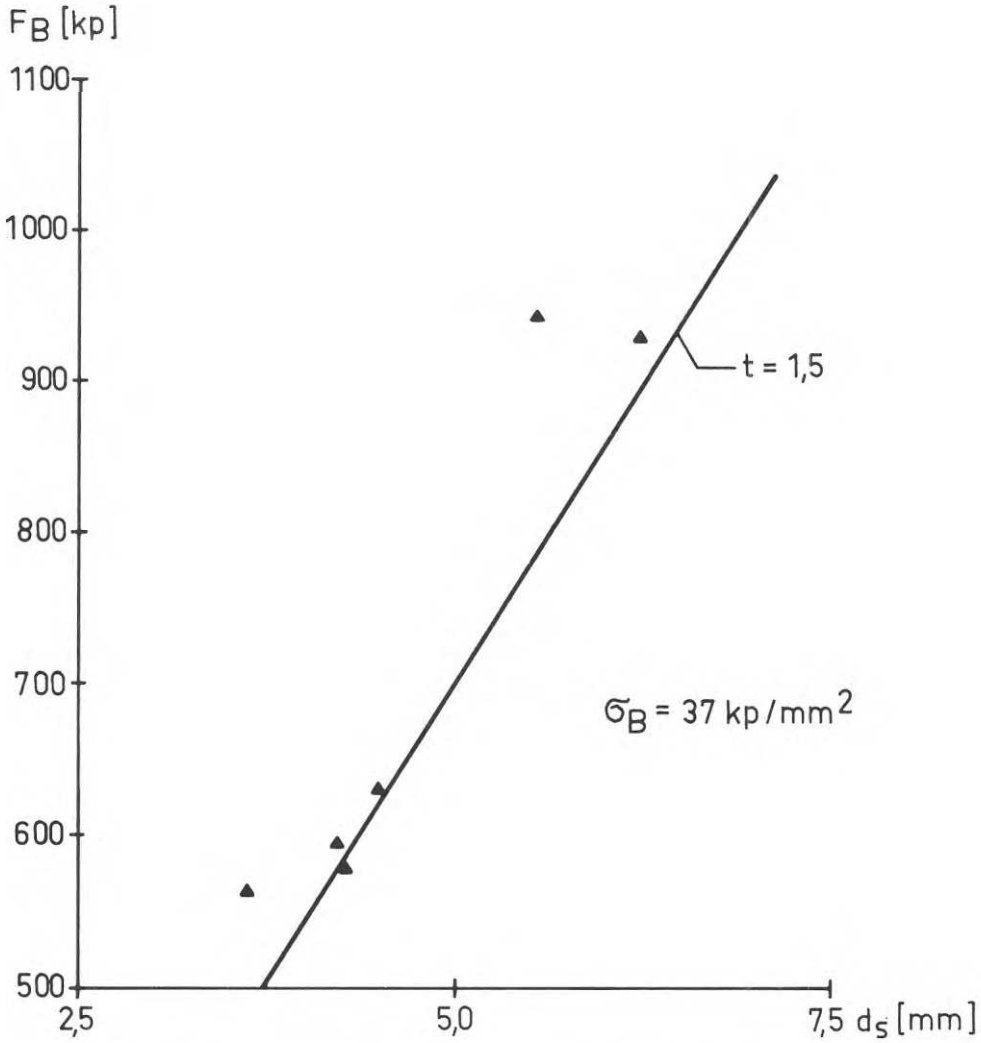


Fig.E11. Brottlast för enkelt överlappsförband med plåttjocklek  $t = 1,5$  mm. Varmförzinkat material.

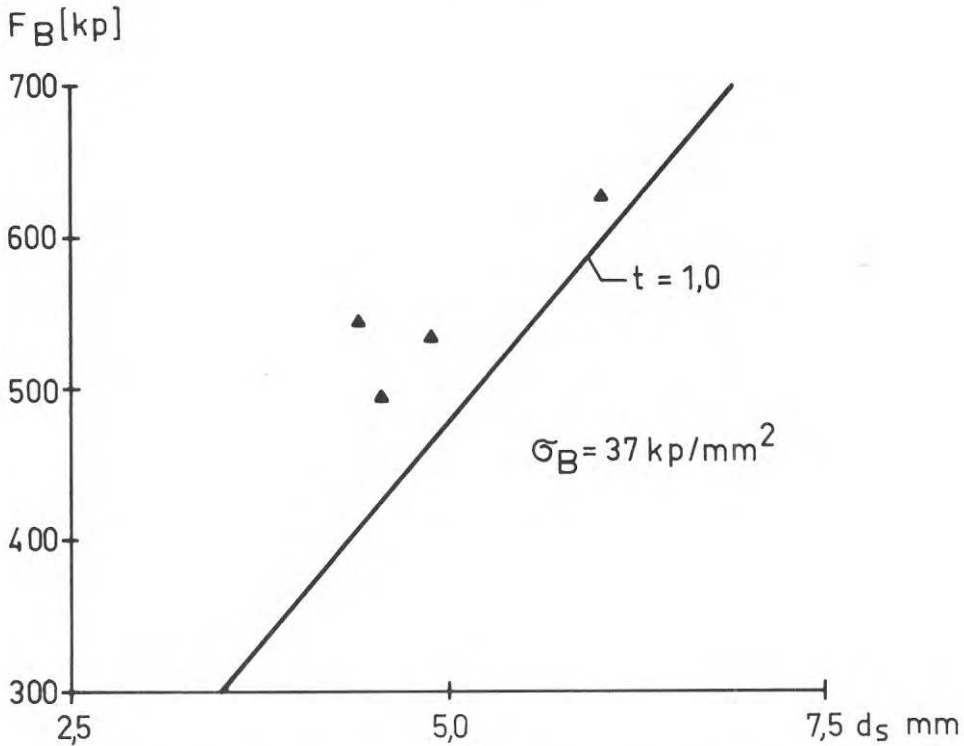


Fig.E12. Brottlast för enkelt överlappsförband med plåttjocklek  $t = 1,0$  mm. Varmförzinkat material.

### 7.3 Sektionsbrott

Fullständig överensstämmelse med del D. MOTSTÅNDSPUNKTSVETSNING  
avsnitt 7.4.

### 7.4 Säkerhet mot uppnående av brottlast vid tvärlast

Beträffande säkerhetsbedömning hänvisas till kapitel D7.6.

### 7.5 Belastningar vinkelrät mot plåtplanet

Jfr. kapitel D7.7.

## ES. TILLVERKNING OCH UTFORMNING AV MIG- PUNKTSVETSFÖRBAND

Mig- punktsvetsning kräver jämfört med motståndspunktsvetsning normalt en mindre arbetsinsats vid utformning av konstruktionselement och val av utrustning. Anledningarna är i första hand följande:

- ett för tillämpningsområdet begränsat antal utrustningar
- åtkomligheten är för de flesta utrustningar god och behöver ej specialstuderas.

### 8.1 Val av utrustning

Vilken utrustning som bör väljas är i första hand beroende på vilka plåttjocklekar som skall svetsas genom att dessa bestämmer nödvändig kapacitet hos svetslikriktaren. Preciserade krav med avseende på de plåttjocklekar som skall kunna svetsas bör föreligga vid kontakt med tillverkare.

### 8.2 Val av gas, tillsatsmaterial och svetsdata

Gas, tillsatsmaterial och svetsdata bör väljas i enlighet med vad tillverkaren av utrustningen rekommenderar. Av fig. E13 framgår av ESAB rekommenderade data för svetsning av valsblank stålplåt med utrustningen A 10 - 275. För bästa svetsresultat rekommenderas elektroddiametrarna 0,8 och 1,0 mm tillsammans med blandgas bestående av 80 % argon och 20 % koldioxid.

Rekommenderade data skall endast betraktas som riktvärden varför de i vissa fall måste modifieras med hänsyn till vilka utseende- och hållfasthetskrav som skall uppfyllas.

### 8.3 Kontroll av Mig- punktsvetsförband

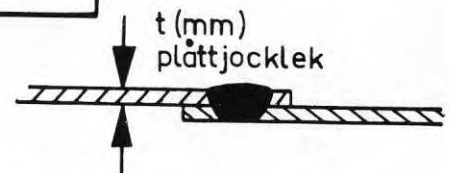
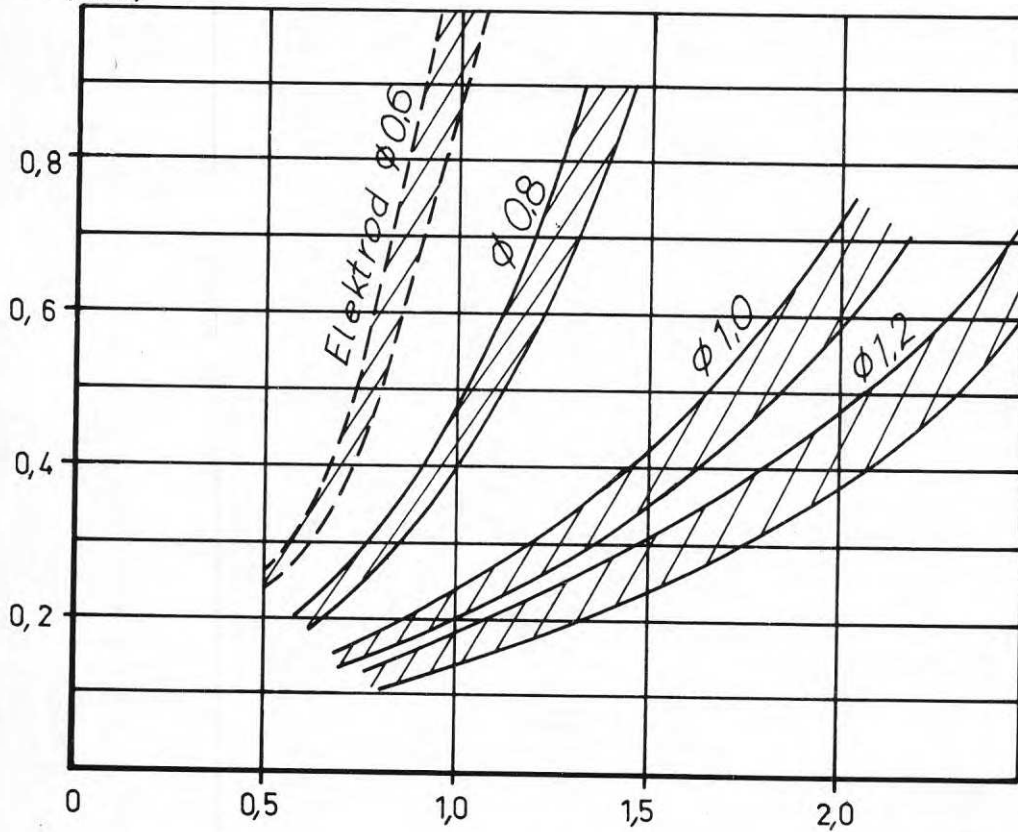
Jfr. kapitel D.8.3

## Punktsvetsning av stålplåt med stålelektrod

Elektroddiameter mm	ø06	ø08	ø10	ø12
Fininställning läge	6	8	10	10
Grovinställning läge	III			
Matningshastighet $\frac{m}{min}$	15			

### Erforderlig punktsvetstid

Svetstid <sup>\*)</sup>  
T (sek)



<sup>\*)</sup> Effektiv svetstid exklusive efterbrinntid.

Fig.E13. Riktvärden för svetsparametrar för ESABs utrustning A10-275.

#### 8.4 Förbandsutformning

Vid utformning av Mig- punktsvetsförband bör speciell uppmärksamhet ägnas åt följande delproblem;

- A. Anslutande fogdelars utformning.
- B. Punktsvetsars antal och placering.

Åtkomligheten är mycket god och kräver normalt ingen speciell uppmärksamhet.

- A. Anslutande fogdelar bör om möjligt utformas så att punktsvetsar i huvudsak påverkas av skjuvkrafter. Detta krav kan anses uppfyllt för de fogtyper som framgår av fig. D 83 i del D. Motståndspunktsvetsning avsnitt 8.4. Vid de symmetriska förbandstyperna ( IV - V ) bestäms tillåten belastning på samma sätt som vid olika tjocka plåtar och med

$$t_1 > 2,5 t_2$$

Förband skall dessutom alltid utformas så att svetspistolens kan föras mot förbandets tunnare plåt. Dessutom bör vid plåttjocklek  $> 2,0$  mm konstruktionen som helhet utformas så att svetsning kan ske i horisontalläge.

- B. Mig- punktsvetsars antal bestäms utgående från aktuell belastning samt tillåten belastning per punkt med säkerhetskrav enl. avsnitt D7.6. Storheten  $0,9 \cdot \bar{F}_{till}$  bestäms ur fig. E15.

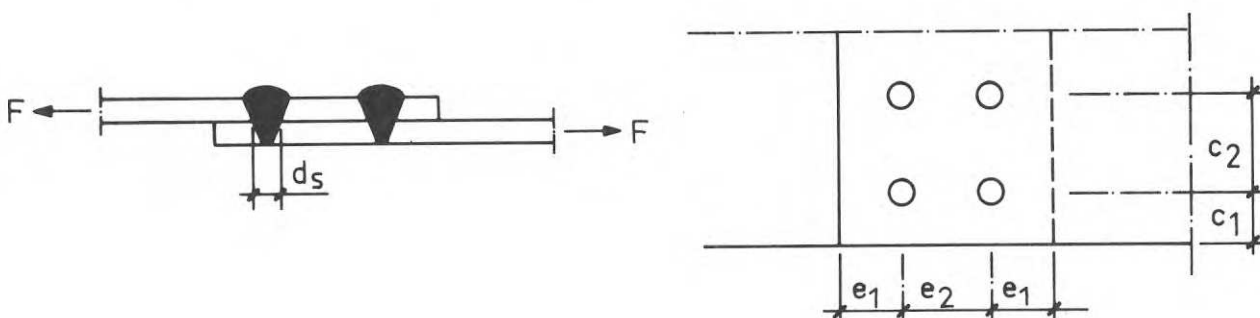


Fig.E14. Förbandsbeteckningar.

$$1,5d_s \leq e_1 \leq 6d_s$$

$$3d_s \leq e_2 \leq 8d_s$$

$$1,5d_s \leq c_1 \leq 4d_s$$

$$3d_s \leq c \leq 6d_s$$

För häftsvetsar bör följande krav uppfyllas

$$c_2 \begin{cases} \leq 12d_s \\ \leq 30t_2 \end{cases}$$

där  $t_2$  är tjockleken hos förbandets tunnare plåt.



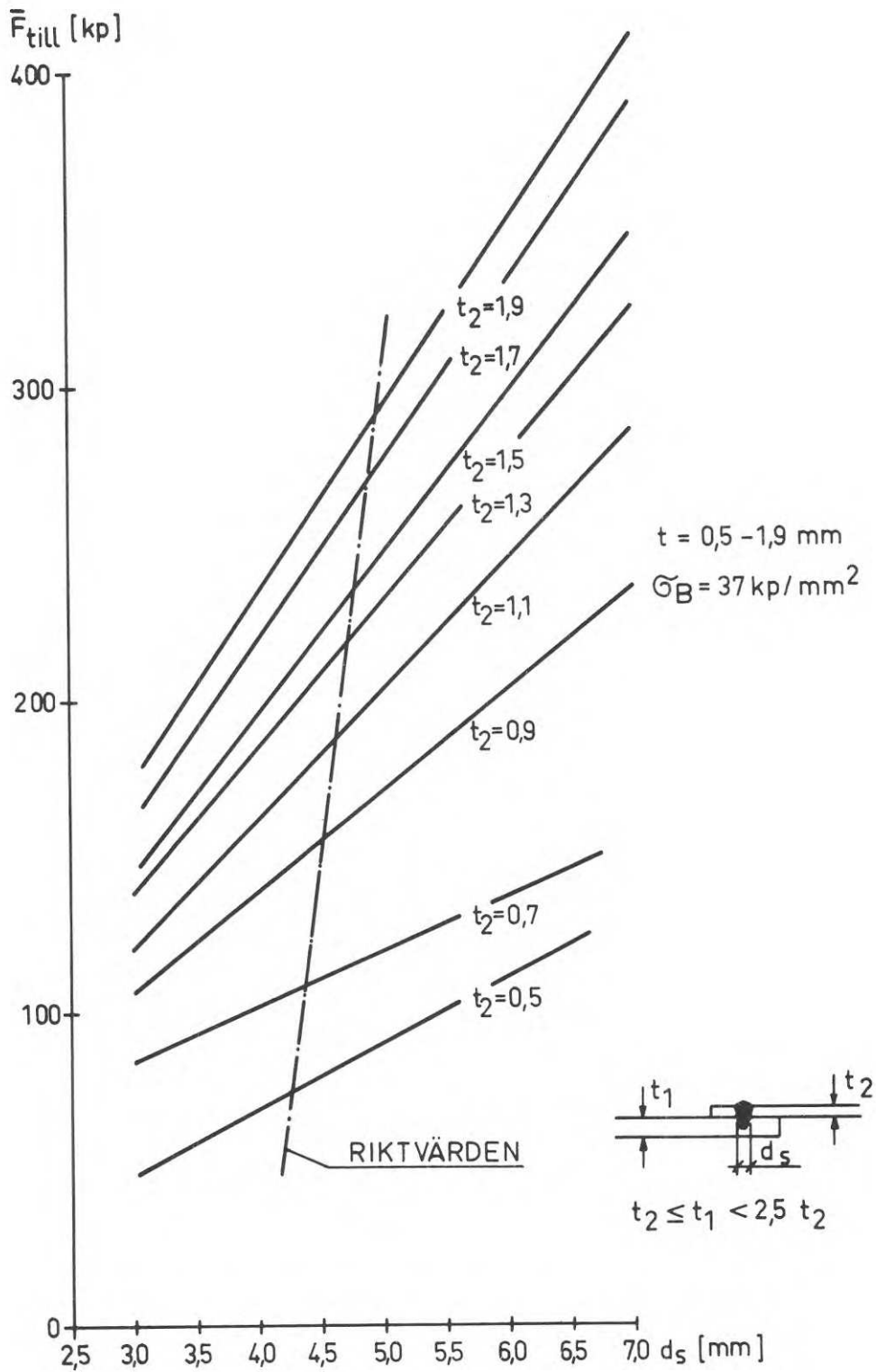


Fig. E15. Diagram för bestämning av tillåten last för enkelt överlappsförband vid valsblank eller varmförzinkad stålplåt.

### 8.5 Förberedande åtgärder vid plåt belagd med färg, rost, olja eller fett

Beläggningar av något slag påverkar alltid svetsresultatet i någon form varför man för att få jämn och hög kvalité alltid bör sträva efter att ha ytorna obelagda före svetsning. Det är i första hand följande egenskaper hos beläggningar som försvårar eller förhindrar svetsning:

- verkar elektriskt isolerande, varför den elektriska kontakten mellan arbetsstycke och elektrod blir dålig
- verkar termiskt isolerande vilket medför att uppsmältningen av förbandets bakre plåt förhindras
- bildar gasinneslutningar i smältan.

Tunna oljeskikt påverkar inte svetsresultatet men bör avlägsnas beroende på att sådana skikt lätt samlar smuts. Tvättning med organiskt lösningsmedel.

Fett avtvättas med organiskt lösningsmedel.

Rost förhindrar ej svetsning, men en förutsättning för att jämn kvalité och porfria svetsar skall erhållas är att stålborstning sker av de inåtvända ytorna samt den yta mot vilken svetspistolen riktas.

Färg måste alltid provsvetsas då det ej finns allmängiltiga regler som bestämmer vilka färger som medger svetsning. En förutsättning är emellertid att färgen bortskrapas inom en cirkel med 15 mm diameter på den yta mot vilken svetspistolen riktas. Vissa s.k. primers förhindrar ej svetsning under förutsättning att färgskiktets tjocklek är  $\leq 15 \mu\text{m}$ .

E9. LITTERATUR

- 1 Welding handbook section one and two.  
American welding society 1968.
- 2 Intern rapport från Elektriska svetsaktiebolaget 1969.
- 3 Rapport over forsog med MIG-punktsvejsning af karrosserieplade.  
Svejsecentralen Rapport nr SF 6744.
- 4 Handbuch des Schutzgasschweissen Band 30, 1969.
- 5 E.N. Gregory. Arc welding of galvanized steel.  
Sheet Metal Industries (45) July 1968.
- 6 E.N. Gregory - D.C. Herrschaft. CO<sub>2</sub> short-circuit transfer welding  
of galvanized steel.  
Sheet Metal Industries (46) March 1969.
- 7 J. Strömberg. Gasmetallbågsvetsning med kontrollerad material-  
transport.  
Svetsen (25) Aug. 1966.
- 8 K.C. Rockey - H.V. Hill. Thin walled steel structures.  
Crosby Lockwood & son Ltd 1969.
- 9 J.A. Howery - G.F. Mack. Consumable electrode spot welding.  
Welding Journal July 1961.
- 10 G. Franz. Das Tragverhalten von Punktschweissverbindungen.  
Schweisstechnik 16. Jahrgang 10, 1966.
- 11 Svetsarhandledning för A10 - 150.  
Elektriska svetsningsaktiebolaget.
- 12 Instruction book A10 - 150 .  
Elektriska svetsningsaktiebolaget.

E 10. BETECKNINGAR

$F$	= tvärlast	[kp]
$F_B$	= brottlast vid tvärlast	[kp]
$F_{BS}$	= brottlast vid skjuvbrott svetslins	[kp]
$F_{till}$	= tillåten belastning per punktsvets	[kp]
$\bar{F}_{till}$	= tillåten belastning per punkt vid $b \sim 6d_s$	[kp]
$t$	= plåttjocklek	[mm]
$t_1$	= plåttjocklek	
$t_2$	= plåttjocklek	
$d_s$	= svetslinsdiameter i skjuvplanet	[mm]
$\delta$	= förskjutning	[mm]
$e_1$	= kantavstånd i kraftriktningen	[mm]
$e_2$	= punktavstånd i kraftriktningen	[mm]
$c_1$	= kantavstånd vinkelrät kraftriktningen	[mm]
$c_2$	= punktavstånd vinkelrät kraftriktningen	[mm]
$\sigma_B$	= brottgränsspänning	[kp/mm <sup>2</sup> ]



## F. LIMFÖRBAND

### F1. INLEDNING

Limning har som förbindningsmetod för tunnplåtkonstruktioner idag en begränsad användning i byggnadstekniskt sammanhang, medan den är vanlig vid flygplansbyggnad och inom transportsektorn. Anledningen därtill torde vara att användningen av tunnväggiga konstruktioner inom byggnadssektorn för närvarande begränsas till den profilerade plåten, varvid fogningen sker på arbetsplatsen och således förutsättningarna för en kvalificerad fogningsmetod som limning inte är givna.

Limning förutsätter normalt en verkstadstillverkning med innehållande av stränga krav på förbehandling av förbandsdelarna, utförande och kontroll.

Fördelen med limförband i jämförelse med andra fogningsmetoder är framförallt

- den ytmässiga kraftöverföringen med undvikande av spänningskoncentrationer och därav resulterande gynnsamma hållfasthetskaraktäristika vid dynamisk belastning
- undvikande av försvagningar i förbandsområdet genom håltagning vid nitning eller uppträdande av hårdstrukturer vid svetsning
- möjligheten att utföra trycktäta förband
- undvikande av korrosion mellan fogdelarna.

Vidare kan nämnas förbandets styvhet vid måttliga påkänningar av limmaterialet, möjligheten att erhålla släta ytor i förbandsområdet samt gynnsamma ekonomiska aspekter vid långa serier.

Nackdelarna ligger i huvudsak inom tillverkningstekniskt område eftersom hårdprocessen - åtminstone vid krav på hög hållfasthet - erfordrar värme och tryck och därmed betingar en investeringsintensiv utrustning. Vidare erfordras speciella åtgärder med hänsyn till brandfara och hygienbesvär. Som funktionella nackdelar må nämnas limmaterialets krypbenägenhet vid höga varaktiga påkänningar och vid hög temperatur samt svårigheten att byta och ersätta skadade konstruktionsdelar.

Limförbandets verkningsätt och lastupptagande förmåga grundar sig på en aktivering av dels adhesionskrafterna mellan metallytan och limmet samt dels kohesionskrafterna i limmaterialet.

En mycket stor del av de krafter som verkar inom en kropp och även mellan olika kroppar kan förklaras utgående från det kraftutbyte som sker mellan molekyler. Inom en molekyl är laddningarna momentant ojämnt fördelade vilket gör att en molekyl får positiva och negativa poler. Kraftutbytet mellan molekyler sker genom attraktion mellan sådana positiva och negativa poler. De verkande krafterna är starkt beroende av avståndet mellan molekylerna. Överstiger avståndet  $5 \cdot 10^{-7}$  mm sker nästan inget kraftutbyte alls. Inom en kropp understiger molekylavståndet det ovan nämnda och man får ett kraftutbyte och en inre sammanhållning kallad kohesion. Läger man samman två metalliska material fäster de dåligt vid varandra beroende på att även en till synes slät yta är med molekyllära mått mycket ojämn. Ojämnheten leder till att endast en liten del av de ytliga molekylerna kommer tillräckligt nära varandra varför sammanhållningen mellan kropparna, kallad adhesion blir dålig.

Limmets uppgift är att komma i så nära kontakt med de olika ytorna att krafter kan överföras från metall till lim. Mot bakgrund av limkrafternas korta räckvidd är det naturligt med högt ställda krav på fogytors renhet. Samtidigt måste limmet ha så god inre sammanhållning att kraftflödet kan passera limskiktet utan att detsamma brister. För att limmet skall få den nära kontakten med metallen krävs dessutom att de adhesionskrafter som verka mellan lim och metall är större än kohesionskrafterna inom limsubstansen.

Limförbandets funktionssätt, hållfasthetsegenskaper och brottbeteende är väl dokumenterade inom litteraturen. Av den anledningen har egna experimentella undersökningar inte utförts utan arbetet med denna förbandstyp har begränsats till att samla och återge erfarenhetsunderlaget i den mån resultaten kan användas till att ge rekommendationer för dimensionering, utförande och kontroll av limförband.

Mångfalden av marknadsförda limtyper samt den expansiva utvecklingen inom detta område gör att det för närvarande inte är meningsfyllt att klassificera limmaterial med avseende på hållfasthetsegenskaper eller tillåtna spänningar. Arbetet har i stället inriktats på att ge rekommendationer för provningsutföranden, vars resultat kan ligga till grund för en bestämning av tillåten förbandshållfasthet i varje särskilt fall och efter myndigheternas medgivande.



## F2. MATERIAL TILL LIMFÖRBAND

Den följande beskrivningen av limmaterial, lämpligt för fogning av plåtytor, är av översiktlig karaktär. Beträffande den specifika sammansättningen av i handeln förekommande limmaterial hänvisas till tillverkarens specifikationer. Limningsprocessen undandrar sig normalt kontrollmöjligheter ifråga om analysen varför en egenskapskontroll måste begränsas till en provning av distinkta hållfasthetskaraktéristika. Däremot bör tillverkaren garantera limmaterialets sammansättning och specifika egenskaper.

### 2.1 Limmets beståndsdelar

Limämne ger limmet dess mekaniska egenskaper i stelnat tillstånd. För metallimning har syntetiska hartser kommit att dominera som limämne.

Lösningsmedel utgörs av flyktiga organiska lösningar och skall främst förenkla spridningen av limmet. För att inte håligheter och därmed försvagningar skall uppstå i fogen måste lösningsmedlet avdunsta innan fogytorna läggs samman.

Mjukmedel kan i viss utsträckning inblandas i lim för att minska dess sprödhet i hårdnat tillstånd.

Fyllmedel inblandas som armering i limmet för att öka hållfastheten och minska krypbenägenheten. Fyllmedlet är ofta av metall eller annat hårt material i finmalen form.

Hjälpkemikalier tillsätts ofta i mindre mängd för att punktvis ge limmet önskvärda egenskaper.

Härdare möjliggör limmets stelning. Den kan vara inblandad vid leverans varvid limmet får begränsad livslängd och fordrar värme vid härdningen. Vid två-komponentlim utgör härdaren en av komponenterna som skall blandas strax före limningen. De senare limtyperna möjliggör snabb och kall härdning.

## 2.2 Limtyper

En presentation av aktuella limtyper bör ske med utgångspunkt från sådana parametrar som ger limmet dess karakteristiska egenskaper.

Följande indelningsgrunder synes vara lämpliga:

### a) Limämne

För metallim huvudsakligen använda limämnena är fenolharts, epoxiharts samt blandade hartser.

Fenolhartsbaserade lim har ofta hög hållfasthet och god beständighet mot åldring och fukt. De kräver värme och relativt höga tryck vid härdning.

Epoxihartslim ger ofta hög hållfasthet och goda krypegenskaper. De kan härdas både varmt och kallt. Vid varmhärdning kan emellertid de elastiska egenskaperna bli mindre goda och vid kall härdning beständigheten mot fukt och åldring reduceras. Härdning sker ofta även utan tryck.

Blandhartser framställs genom polymerisation av olika basämnen. Man får härigenom möjligheten att bygga in positiva egenskaper i limmet samtidigt som en del negativa egenskaper kan reduceras. Inom denna grupp finns möjligheten att få ett lim med god anpassning till uppställda krav.

### b) Leveransform

Metallim förekommer i form av fast lim, pasta och flytande konsistens, varvid de två senare kan vara av en- eller tvåkomponenttyp.

Fasta lim förekommer som film, pulver och i styckeform. Limmet kan placeras mellan fogytorna och därefter utsättas för värme och tryck. En del film smältes lämpligen före appliceringen. De fasta limmen förenkla i viss mån hanteringen men är i allmänhet dyrare än andra leveransformer.

Pastor sprids ofta i strängar direkt från burk eller fat med hjälp av inbyggd mataranordning. Alternativt kan limmet spridas med en räfflad spackelspade, där räfflorna är anpassade så att rätt limmängd per ytenhet erhålles. Två-komponents limpastor kräver en förhållandevis kraftig blandarutrustning.

Flytande lim kan spridas genom sprutning, pensling, doppning eller med roterande valsar. För kontinuerlig spridning är den sistnämnda metoden mest rationell. Även trögflytande lim kan sprutas med ändamålsenlig utrustning. Två-komponentlim kräver en noggrann blandning före appliceringen.

### c) Härdprocess

Med utgångspunkt från härdprocessen skiljes mellan kall- och varmhärdande lim.

Kallhärdande lim kallas i allmänhet sådana lim som förmår härda ned till en temperatur omkring  $+15^{\circ}\text{C}$ . Det är alltid möjligt att för dessa lim påskynda själva härdprocessen genom en höjning av temperaturen.

Varmhärdande lim fordrar i allmänhet temperatur om  $100 - 250^{\circ}\text{C}$  för att härda. Ett varmhärdande lim blir alltid hårdare men samtidigt sprödare än ett kallhärdande.

De flesta lim kräver för bästa resultat ett konstant och jämnt fördelat presstryck under härdningen. Presstrycket kan appliceras på mekanisk väg med utnyttjande av hävstångs- eller fjäderprincipen eller med utnyttjande av över- eller undertryck (autoklav- eller vakuummotod). Den värme som ofta erfordras kan tillföras på olika sätt genom direkt kontakt, strömgenomgång, strålning eller uppvärmning av omgivande medium.

### F3. UTFÖRANDE AV LIMFÖRBAND

Limförbandets funktionsstabilitet och hållfasthet är i väsentlig grad beroende av utförandekvalitén. Detta innebär att - i högre grad än vid någon annan förbandstyp - förbehandlingen av fogytorna och limningsprocessen måste ske med beaktande av nedan angivna tillverknings- och kontrollkrav. Samtidigt erfordras för undvikande av hygienbesvär och brandfara lämpliga utrymmen ifråga om ventilation, utrymningsmöjligheter m.m. För arbete med limförband avsett utrymme skall vara dammfritt och avskilt från annan typ av materialbearbetning.

#### 3.1 Förbehandling

Även en synbart blank yta har i verkligheten avsevärda ojämnheter. Förhållandet medför att den för molekylärt kraftutbyte tillgängliga ytan är avsevärt större än ytan av ett plan som skär genom alla ojämnheter. För att kunna utnyttja hela ytan krävs en förbehandling som avlägsnar alla föroreningar och möjliggör den nära kontakten mellan lim och metall. Det fordras en mycket noggrann planering av förbehandlingen för att ett bra limningsresultat skall uppnås.

I amerikansk norm ASTM D2651-67 och tysk norm DIN 53281 finns standardiserade förbehandlingsmetoder för olika metaller; i allmänhet ger dessutom limtillverkaren speciella rekommendationer för varje lim.

Förbehandlingsprocessen utgörs av rengörning och plätering. Rengörningen kan indelas i avfettning, mekanisk rengörning och betning.

Plätering avser att förhindra metallen att bilda ett hållfasthetsnedsättande oxidskikt.

Avfettning sker genom tvättning i ånga av organiska lösningsmedel. Speciellt bör vid avfettning hänsyn tagas till hälsovård och brandfara. Det är även möjligt att avfetta i mindre farliga alkaliska lösningar.

Mekanisk rengörning av ytor kan ske genom slipning och sandblästring. En ojämn yta är känslig för dynamiska belastningar, varför speciellt vid mycket tunn plåt lämplig mekanisk förbehandling måste väljas. Efter behandling måste löst material noggrant avlägsnas.

Betning kan göras med syror eller alkalier. Behandlingen är ofta noggrant preciserad med avseende på temperatur och tid. Metoden har en given fördel vid mycket tunn plåt där mekaniska metoder medför materialförsvagningar. Betning har visat sig ge limfogar med mycket jämn och hög kvalitet.

Efter föreskriven tid skall kemikalierna spolats bort i destillerat eller avjoniserat vatten. I detta läge är det möjligt att bedöma ytornas tillstånd. En kontroll att fullgott resultat uppnåtts är att vattenfilmen är obruten över fogytorna.

Efter torkning bör limmet appliceras så snart som möjligt. Det är viktigt att efter den kemiska behandlingen inte vidröra fogytorna med bara händer. Hantering skall ske med nylon- eller bommulsvantar.

Plätering utförs vanligen för aluminium genom anoxidering och för stål genom fosfatering.

### 3.2 Limningsprocessen

Limningsprocessen är i hög grad beroende på limmets leveransform, hopfognings- och fixeringsskedet samt härdprocessens art och varaktighet.

Leveransformen påverkar limprocessens genomförande med avseende på appliceringssättet och den för limningen erforderliga tidsåtgången.

Tidsåtgången mellan limmets applicering och hopfogningen är beroende av limtypen och kan variera inom vida gränser. Sådana lim, där härdningen börjar omedelbart efter komponentblandningen eller vid lufttillträde kräver en snabb fogning och fixering av fogytorna.

Vid lim, som med hjälp av förtunningsmedel gjorts strykbara krävs en viss tid för avdunstning av lösningsmedlet innan fogningen får ske.

Vid limtyper, där den kemiska reaktionen är fördröjd eller beroende av exv. värmestillförsel, erhålls större valfrihet ifråga om tidpunkten för fogningen.

Limförband kräver - utom vid användning av kontaktlim - en fixering av fogdelarna under härdningsprocessen.

Limfogens kvalitet och hållfasthet är i hög grad beroende av att föreskrivna processkaraktäristika ifråga om tid, temperatur och anliggningsstryck noggrant innehålls.

### 3.3 Efterbehandling

En efterbehandling av limförband är normalt inte erforderlig.

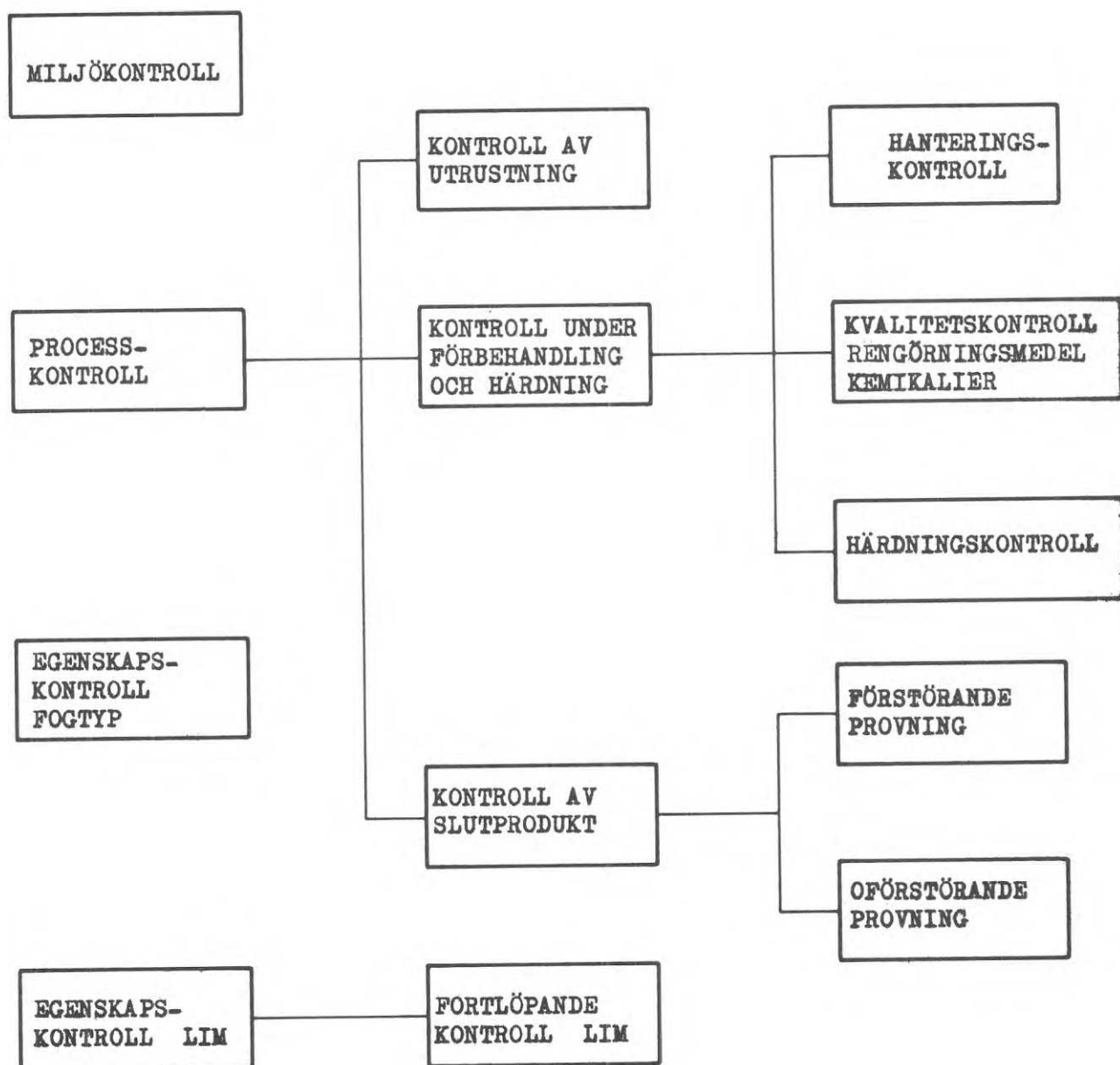
Efterbehandling av limförband inom ramen för en vidare bearbetning av arbetsstycket i form av sågning, fräsning, hyvling, borrarning eller bockning får tillämpas. Det bör dock beaktas att värmepåverkan vid bearbetning av fogområdet kan medföra en nedsättning av förbands-hållfastheten.

Vid efterbearbetning av limförband bör fläkpåkänningar undvikas.

Punktsvetsning inom förbandsområdet kan ske utan menlig inverkan på limmets hållfasthetsegenskaper såvida svetsningen utföres innan limmet härdat. Smältsvetsning måste däremot undvikas i närheten av limfogen.

### 3.4 Utförandekontroll

En omsorgsfullt planerad och genomförd utförandekontroll vid arbete med limförband (intern kontroll) är en förutsättning för att limförband skall kunna utnyttjas som kraftupptagande förband. Härvid bör följande kontrollåtgärder tillämpas och kunna redovisas för beställaren eller vederbörande myndighet:



Miljökontroll: Lämpligt rumsklimat bör fortlöpande kontrolleras så att temperaturen är 18 - 24°C och relativa luftfuktigheten 40 - 65 %. Luften skall vara fri från stoft och ett övertryck bör råda i lokalen.

Egenskapskontroll av fogtyp avser att kartlägga den aktuella fogens specifika hållfasthetsegenskaper och lastupptagande förmåga. Sådan kontroll bör utföras innan produktens slutliga utformning bestäms. Provningsutföras med provkroppar och belastningssätt som så nära som möjligt ansluter till de verkliga förhållandena. Provningsresultatet kan tjänstgöra som dimensioneringsunderlag.

Egenskapskontroll av lim avser att kartlägga limmets hållfasthetskaraktäristika. Denna kontroll baseras på nedan angivna standardiserade hållfasthetsprov (jfr. F5).

Kontroll av utrustning: Kontrollen bör ske regelbundet och skall omfatta visuell inspektion och funktionskontroll av all utrustning som används i limprocessen.

Hanteringskontroll: Kontrollen skall beakta att uppställd hanteringsplan följs och att inte någon förorening av fogtor sker.

Kvalitetskontroll av rengöringsmedel och kemikalier: För rengöringsmedel och kemikalier skall kvalitetskrav formuleras som garanterar ett fullgott limresultat. Innehållandet av kravspecifikationer bör kontrolleras regelbundet så att tillverkningsfel elimineras och kassationsandelen hålls låg.

Härdningskontrollen innefattar en kontinuerlig övervakning av hela limningsprocessen med avseende på tillåtna tids- och temperaturmarginaler som föreskrivs av limtillverkaren eller som funnits vara mest lämpliga vid aktuell tillverkningsprocess.

Produktkontroll utgör den interna fortlöpande kontrollen av den färdiga produktens egenskaper ifråga om hållfasthet, limfogens tjocklek samt adhesion mellan lim och metall.

Hållfasthetsprovning utförs som regel genom dragprovning på provkroppar som passerar limprocessen parallellt med huvudobjektet. En statistisk bearbetning av resultaten ger upplysning om slutproduktens kvalitet i fråga om hållfasthetsmedelvärden och spridningar (jfr. avsnitt F5). Som komplement därtill rekommenderas en oförstörande provning i form av provbelastning för bestämning av last-deformationskurvans lutning inom elastiskt område. Otillfredsställande limningsresultat karakteriseras härvid av från normallutningen avvikande kurvförlopp.

Limfogens utförandekvalitet kan ifråga om dess tjocklek testas med hjälp av ultrason samt ifråga om adhesionen med hjälp av vakuumplocka.



#### F4. FUNKTIONSSÄTT OCH FÖRBANDSPARAMETRAR

I detta avsnitt ges en översiktlig behandling av grundläggande teoretiska frågeställningar samt en beskrivning av limförbandets funktionssätt och hållfasthetsegenskaper vid olika driftsbetingelser. För ett fördjupat studium hänvisas till den omfattande litteraturen inom området.

##### 4.1 Förbandsteori och spänningsanalys

En grundläggande parameter inom teorin för limmade förband är "fogfaktorn". Den definieras som  $\frac{\sqrt{t}}{l_0}$  [ $\text{mm}^{-\frac{1}{2}}$ ] och används ofta som oberoende variabel vid presentation av lims hållfasthetsegenskaper. Uttrycket har teoretiskt ursprung och är ett betydelsefullt hjälpmedel vid utformning av förband. I fig. F1 framgår hur medelskjuvhållfastheten  $\tau_{B_m}$  vid ett enkelt överlappsförband enligt fig. F2 kan variera med fogfaktorn

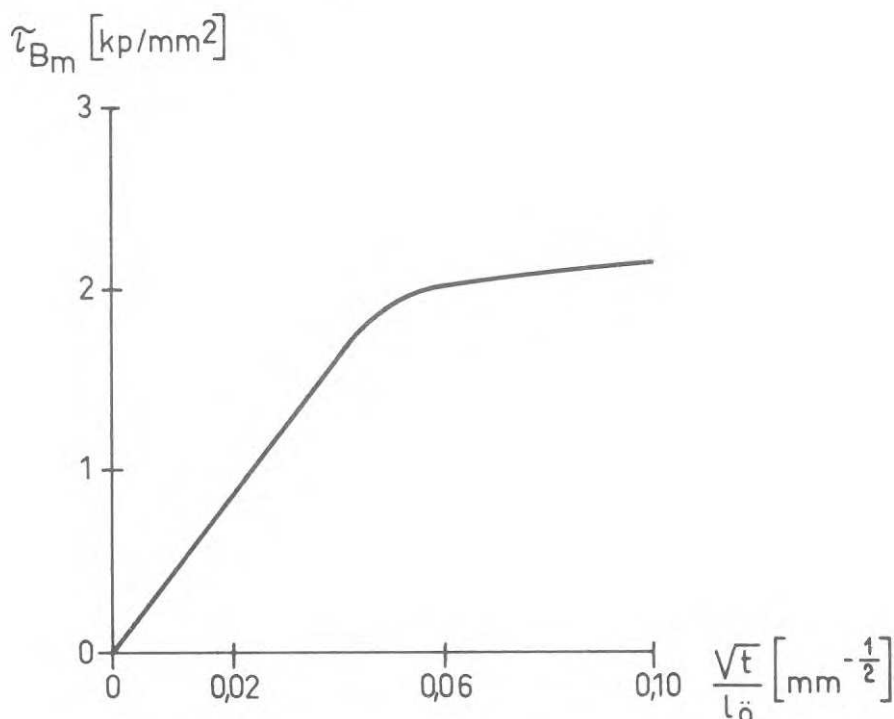


Fig.F1. Medelskjuvhållfastheten som funktion av fogfaktorn.

Spänningsfördelningen i förbandsdelarna bero av de olika delarnas elastiska och geometriska egenskaper samt av hur de olika delarna sammanbyggs. I det följande kommer endast enkel överlappsfog enligt fig. F2 att behandlas.

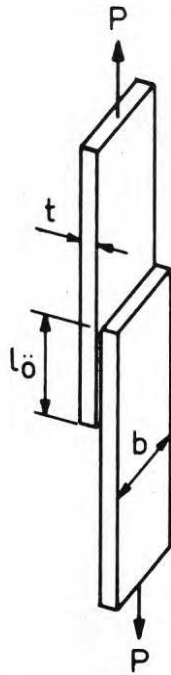


Fig.F2. Enkelt överlappsförband.

Som utgångspunkt för diskussionen betraktas två teoretiska modeller med utseende enligt fig. F3 där i det ena fallet limskiktet är elastiskt och delarna I och II stela och i det andra fallet egenskaperna är ombytta.

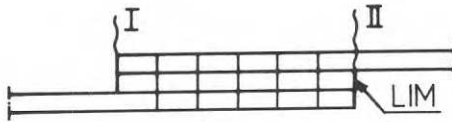


Fig.F3. Beräkningsmodell.

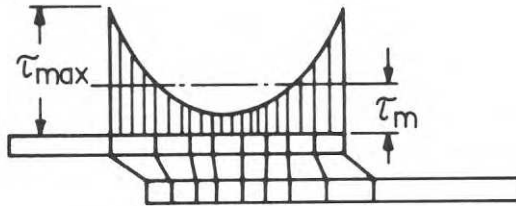


Fig.F4. Skjuvspänningsfördelning i ett enkelt överlappsförband.

Kraftöverföringen kommer vid belastning i första fallet att ske jämt över hela limskiktet medan i det andra fallet all kraft överförs vid kanterna I och II. I ett verkligt limförband är delarna I och II elastiska och limskiktet elastoplastiskt vilket ger ett principiellt utseende på skjuvspänningsfördelningen enligt fig. F4. Förhållandet mellan  $\tau_{max}$  och  $\tau_m$  har för ett enkelt överlappsförband med varierande egenskaper teoretiskt bestämts av VOLKERSEN. Teorin beskrivs i referens [10]. Resultatet framgår i koncentrat av fig. F5.

Teorin är ofullständig då den inte tar hänsyn till lastexcentriciteten och de därav beroende deformationerna. Man får ur diagrammen ej heller dra den slutsatsen att ett förbands hållfasthet skulle öka med tilltagande limskiktjocklek. I en teoretisk behandling av GOLAND och REISSNER (återgiven i [10]) är deformationernas inverkan beaktad.

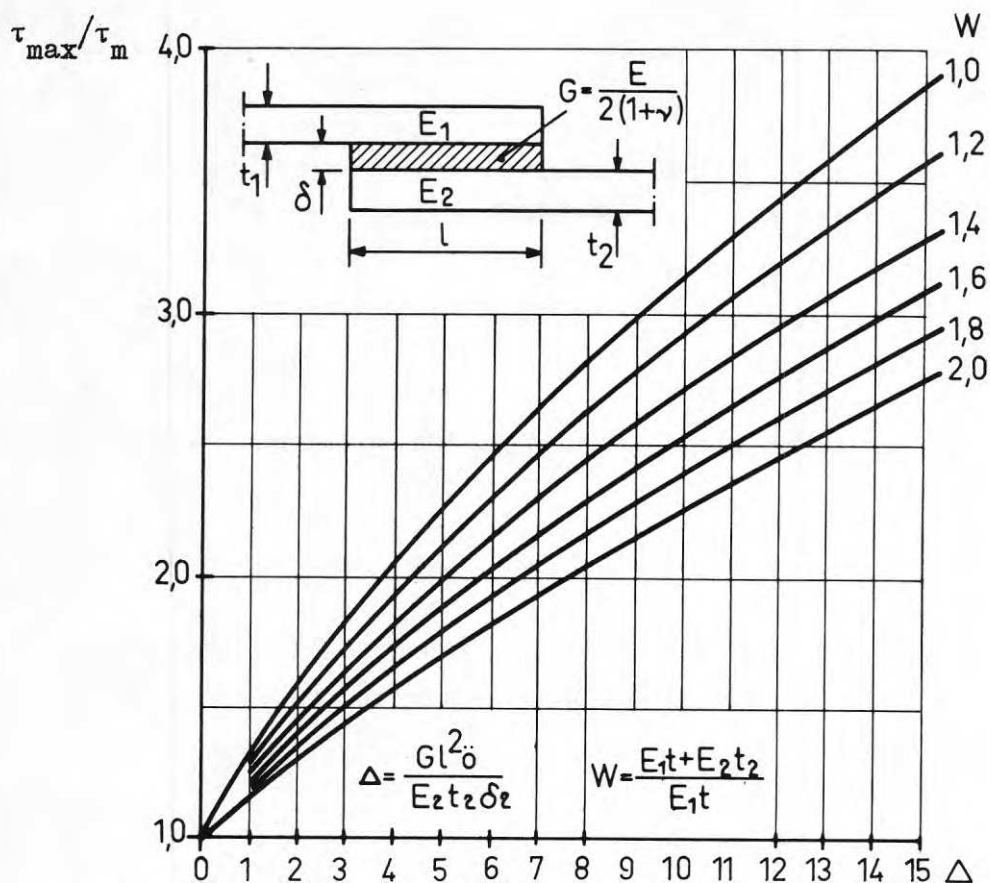


Fig.F5. Beräkningsdiagram för skjuvspänningsfördelningen i en överlappsfog.

Analysen sker i två steg. I det första sker en beräkning av de på förbandet verkande krafterna utgående från en beräkningsmodell enligt fig. F6.

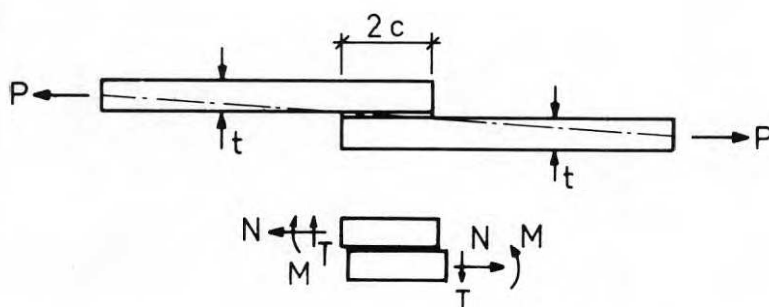


Fig.F6. Beräkningsmodell för spänningsanalys.

Beräkningen sker i enlighet med teori för tunna cylindriskt böjda plattor. Det andra steget bestämmer spänningarna i limmet. Analysen sker med platteori och antagande om plant töjningstillstånd. Dessutom bortses från töjningsarbetet i fogdelarna av skjuvspänning och spänning vinkelrät förbandets utsträckning.

Momentet  $M$  som verkar på förbandet kan enligt analysens första steg tecknas

$$M = k \cdot P \cdot \frac{t}{2}$$

Värdet på  $k$  beskriver inverkan av deformationerna. Vid odeformerat tillstånd är  $k = 1$ , men avtar med ökande belastning. Värdet på  $k$  för olika belastning framgår av fig. F7.

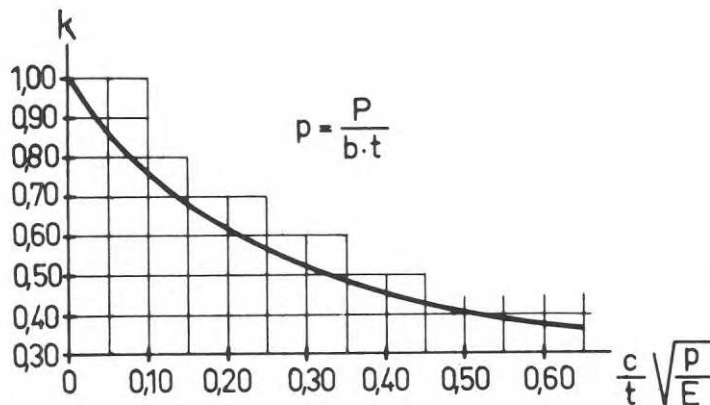


Fig.F7. Diagram för beräkning av momentbelastning på limfog.

Skjuv- och fläckspänningar bestäms för olika värden på  $P$  och  $k$  utgående från diagrammen i fig. F8 - 9.

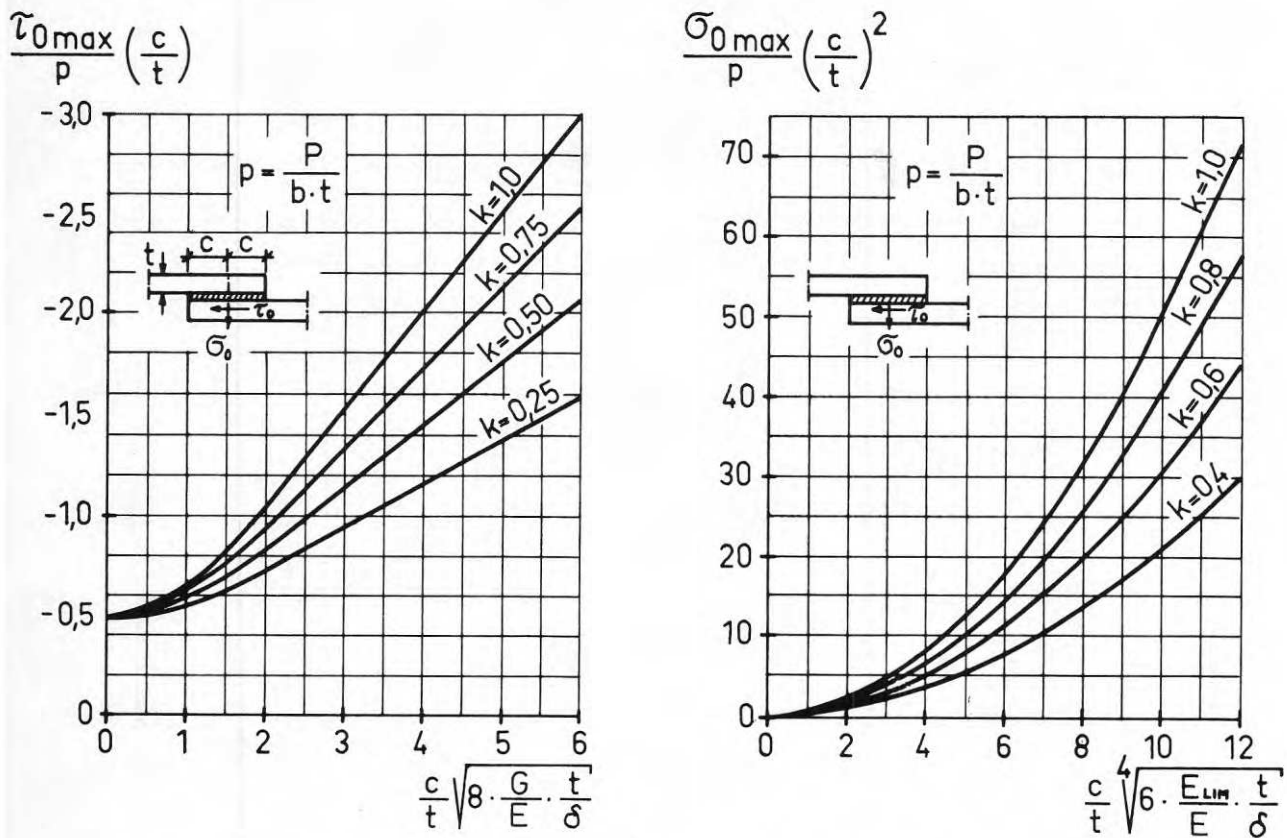


Fig.F8-9 Beräkningsdiagram för skjuv- och dragspänningar i limskiktet.

De båda ovan beskrivna analysmetoderna förutsätter linjärt elastiska material. Som regel är detta krav för såväl lim som fogdel endast uppfyllt inom ett mindre töjningsintervall, varför metoderna visar mycket låg precision om de används för beräkning av brottlaster. Teorierna ger emellertid mycket bra indikation på hur olika förbandsparametrar påverkar hållfastheten.

Spänningarna i en fogdel får med  $k = 1$  utseende enligt fig. F 10.

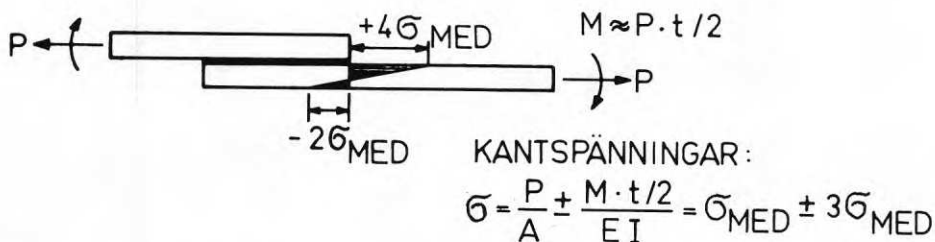


Fig.F10. Spänningsfördelning i ett tvärsnitt.

Med avtagande  $k$ -värde kommer den momentberoende spänningsdelen procentuellt att minska. I det betraktade snittet kommer när tvärsnittet plasticerats att uppstå en koncentrerad vinkeländring, som medför att limmet utsätts för mycket ogynnsam belastning (fläkning). Vanligtvis utbildas från detta läge mycket snart ett brott i limskiktet.

Man kan av ovannämnda spänningsteorier dra slutsatsen att förbandets lastupptagande förmåga i första hand är beroende av:

- skjuvhållfastheten hos limmet
- fogdelarnas sträckgräns
- limskiktets tjocklek
- fläkhållfastheten hos limmet
- förbandstypen

Fläckspänningar, som orsakas av kraftangrepp vinkelrät mot limytan eller kraftexcentricitet vid enskäriga förband medför generellt en reduktion av den lastupptagande förmågan. Samma effekt har spänningskoncentrationer i närheten av förbandskanter vid relativt långa enskäriga förband. Det bör således eftersträvas att välja symmetriska förband (dubbla överlappsförband) eller att uppstyva plåtkanterna. Skjuvbrotthållfastheten som funktion av fogfaktor och förbandstyp återges i fig. F 11 och ett exempel på uppstyvning av plåtkanter i fig. F 12.

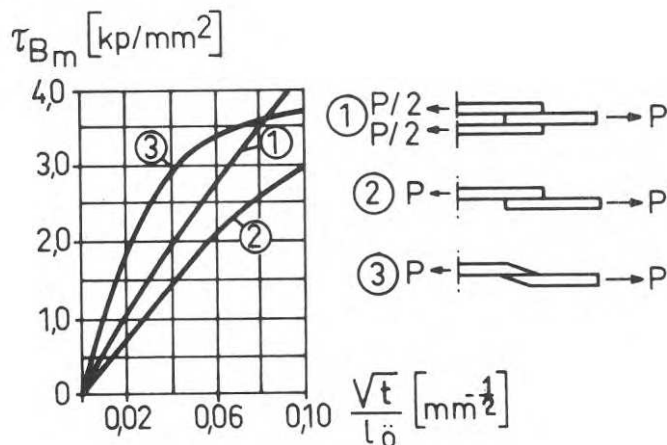


Fig. F11. Medelskjuvhållfastheten som funktion av fogfaktorn för några olika fogtyper.



Fig.F12. Pålimmad uppstyvningsplåt vid ett enkelt överlappsförband.

#### 4.2 Förbandets hållfasthetsegenskaper

Vid bedömning av förbandets lastupptagande förmåga och funktions-sätt måste hänsyn tas till betingelserna som konstruktionen utsätts för i drift. Limmets krypbenägenhet vid varaktigt höga påkänningar och förhöjd temperatur kan inverka menligt på förbandets funktions-stabilitet.

Förbandets lastupptagande förmåga, bestämd i korttidsprov och karakteriserad genom medelskjuvspänning  $\tau_{B_m}$  vid brott, är beroende av förbandets geometri (överlappslängd, fogfaktor), limmets hållfasthet samt fogdelarnas hållfasthet och styvhet. Detta innebär att förbandets hållfasthet inte enbart kan karakteriseras genom limmets egenskaper.

Vid försök med fogdelar av höghållfast aluminium och varierande överlappslängder och limsorter har exempelvis medelskjuvspänningen  $\tau_{B_m}$  vid konstant fogfaktor och olika limtyper varierat mellan 2,5 och 5 kp/mm<sup>2</sup>. Approximativt har kunnat tecknas sambandet  $\tau_{B_m} = a \cdot \left(\frac{\sqrt{t}}{l_{\text{ö}}}\right)^{\frac{1}{2}}$ , varvid proportionalitetsfaktorn  $a$  med avseende på limsort har varierat från ca 8 - 14 vid tvåskärigt och ca 6 - 11 vid enskärigt förband.

Vid samma limsort och varierande hållfasthet hos fogdelarna ( $13 \leq \sigma_B \text{ [kp/mm}^2\text{]} \leq 54$ ) har faktorn  $a$  varierat mellan ca 6 och 12.

För kraftupptagande förband erfordras av den anledningen generellt en bestämning av den lastupptagande förmågan genom provning med sådan omfattning att provningsresultaten är statistiskt säkrade.



I korttidsdragprov erhållna hållfasthetsvärden är inte representativa för förband, som varaktigt utsätts för höga påkänningar. Detta förhållande accentueras vid förhöjd temperatur. Vid förband, där påkänningen varaktigt överstiger ca 40 - 50 % av korttidshållfastheten erfordras som regel långtidsprov för att bestämma kryphastigheten och den kritiska formändringen vid vilken brott i limskiktet framkallas. Detsamma gäller vid förhöjd temperatur i kombination med varaktig belastningspåverkan. Kryphastighetens beroende på påkänningens storlek exemplifieras i fig. F 13. Beträffande långtidsprov och utvärdering av provningsresultat se avsnitt F5.

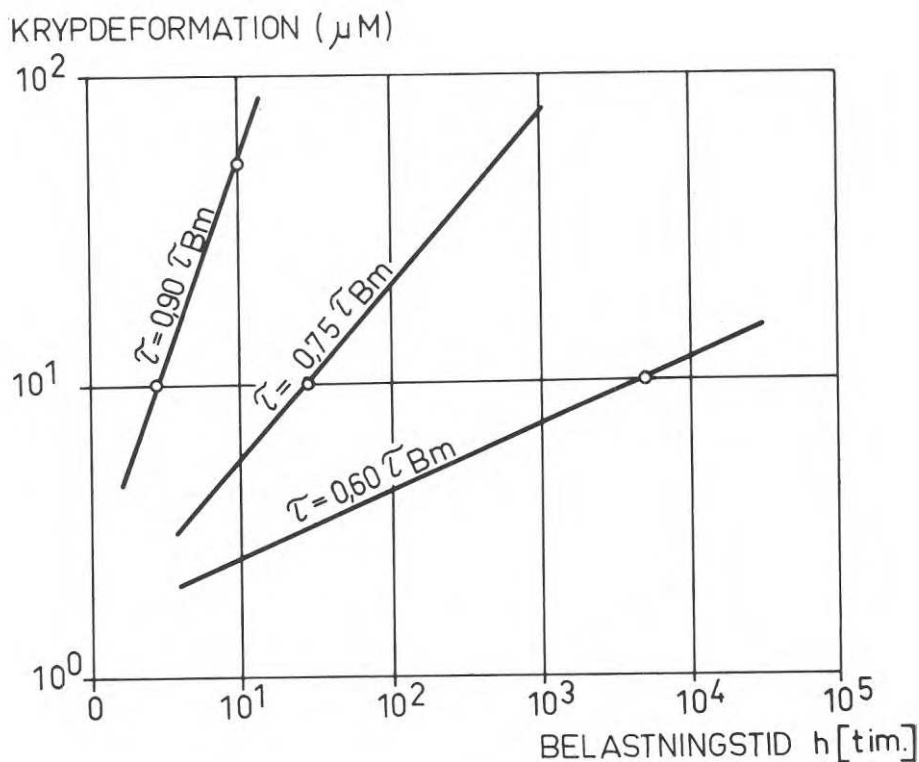


Fig.F13. Krypdeformationernas beroende av lastintensitet och lastens varaktighet.

En varaktig temperaturpåverkan överstigande ca  $70^{\circ}\text{C}$  har en hållfasthetsnedsättande inverkan på vissa lintyper, beroende på hartsmaterialens kemiska sammansättning och molekylstruktur. Val av lämpligt, till aktuellt temperaturområde avpassat limmaterial är en väsentlig förutsättning för att garantera förbandets funktionsstabilitet i drift.

Limförbandets dynamiska hållfasthet kan betecknas som god, jämförd med andra förbandstyper såsom nitning, skruvning och svetsning. Förhållandet illustreras i fig. F 14, som visar att vid större lastväxlingstal den limmade provstavens utmattningshållfasthet nära motsvarar den massiva provstavens. Förhöjd temperatur och låg lastfrekvens har negativ effekt för den dynamiska hållfastheten.

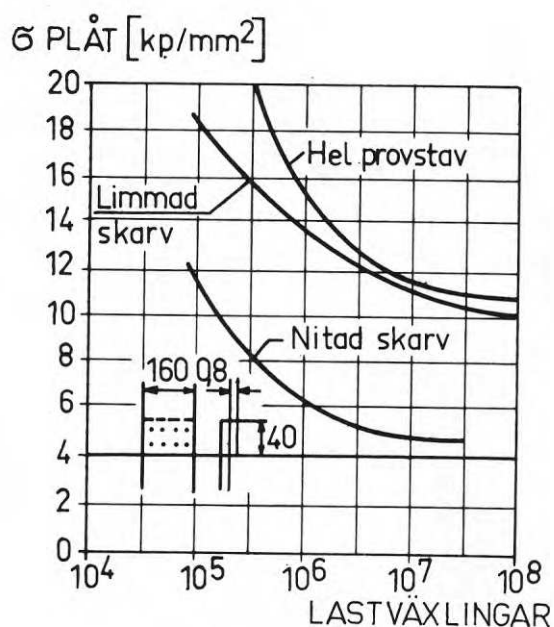


Fig.F14. Utmattningskurvor för hel provstav samt nitad och limmad skarv.

### 4.3 Förbandsutformning och dimensionering

Utformning av limmade fogar måste i första hand ske så att ogynnsamma dragpåkänningar i limskiktet begränsas. Av fig. F 15 framgår några olika belastningstyper av vilka endast typerna b) och c) är lämpade för förband i tunn plåt.

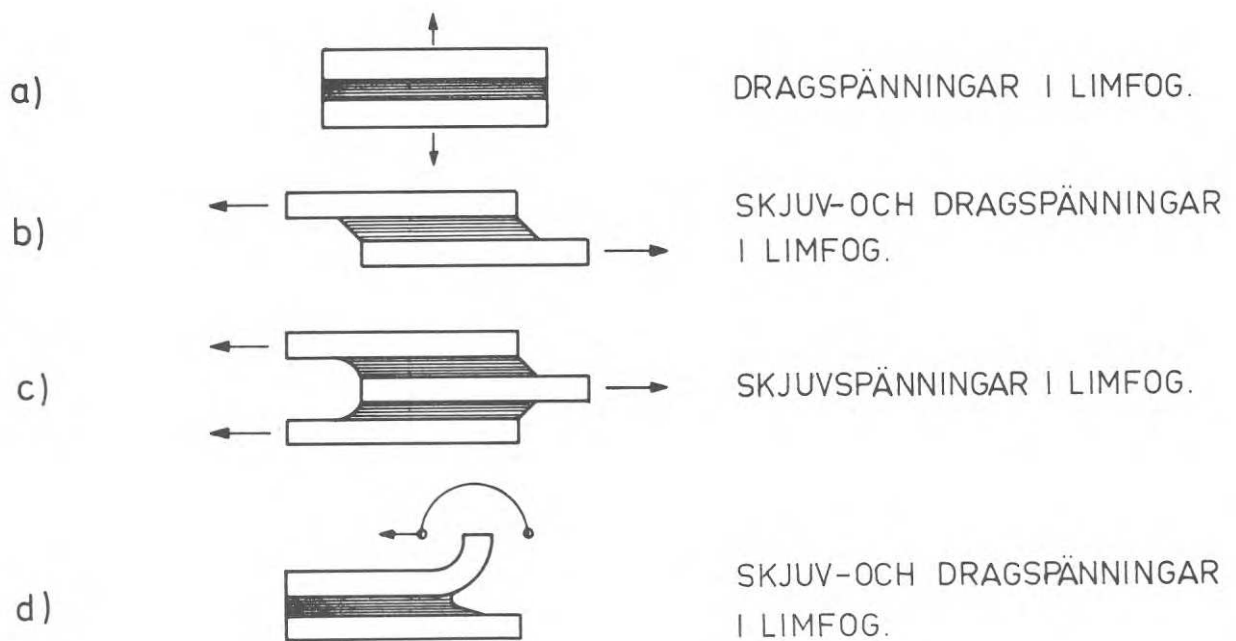


Fig.F15. Några olika belastningsfall.

Utgående från dessa två belastningar kan ett antal olika förbandstyper byggas upp enligt fig. F 16. Härvid beaktas att förbandets lastupptagande förmåga vid ett givet limmaterial i huvudsak är beroende av fogfaktorn  $\sqrt{t}/l_0$  och att en ökning av överlappslängden  $l_0$  utöver ett karakteristiskt värde inte medför någon ökning av brottlasten.

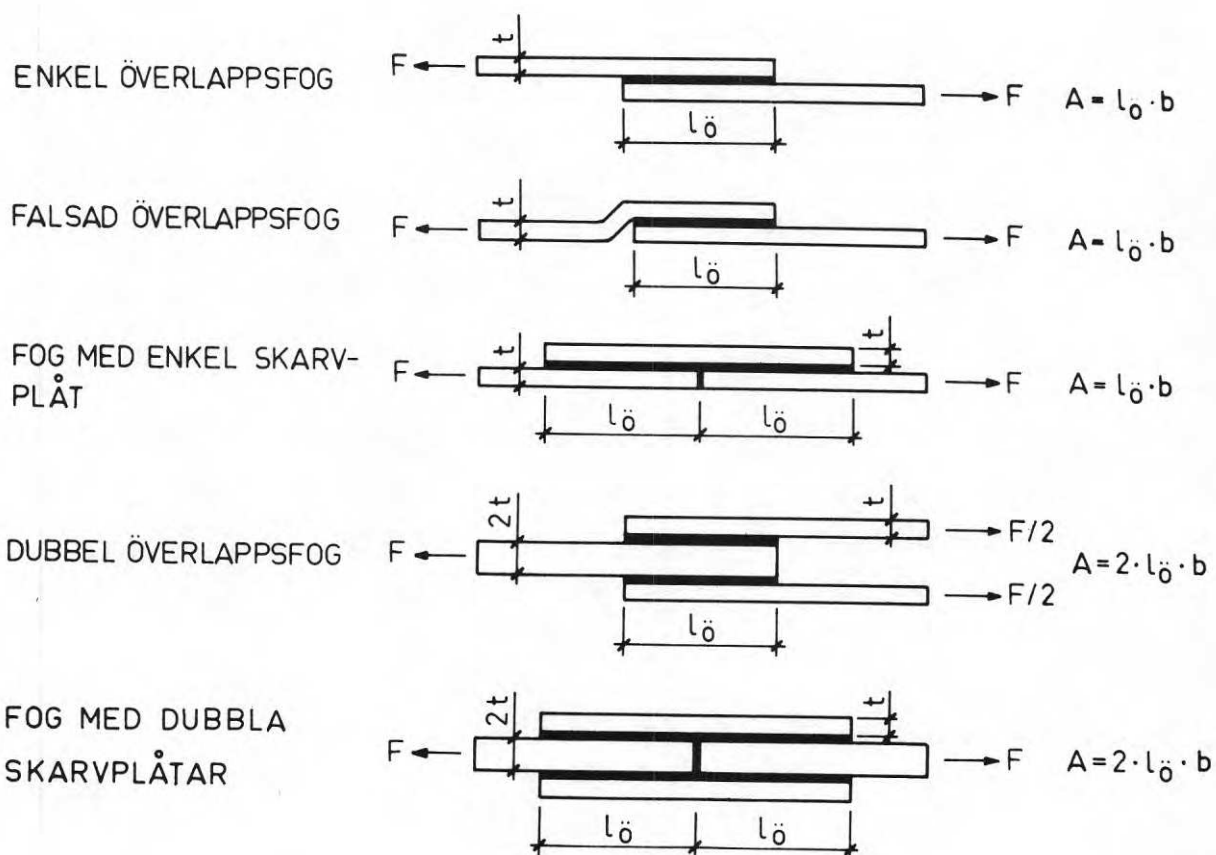


Fig.F16. Beräkningsmässiga förbandstyper.

Erforderlig och optimal överlappslängd som dimensioneringsunderlag bör fastställas experimentellt, varvid medelskjuvhållfastheten  $\tau_{B_m}$  tecknas som funktion av överlappslängden (jfr. fig. F 17).

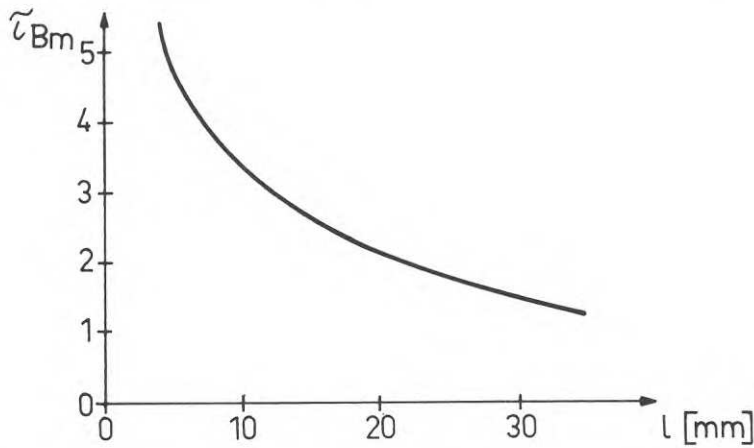


Fig.F17. Medelskjuvhållfastheten som funktion av överlappslängden. Exempel.

Ingår flera olika plåttjocklekar i fogningsprocessen, är det lämpligt att istället teckna fogfaktorkurvan i enlighet med fig. F 24, varefter brottlasten som funktion av överlappslängden och med plåttjockleken som parameter kan redovisas i diagramform. (jfr. fig. F 18).

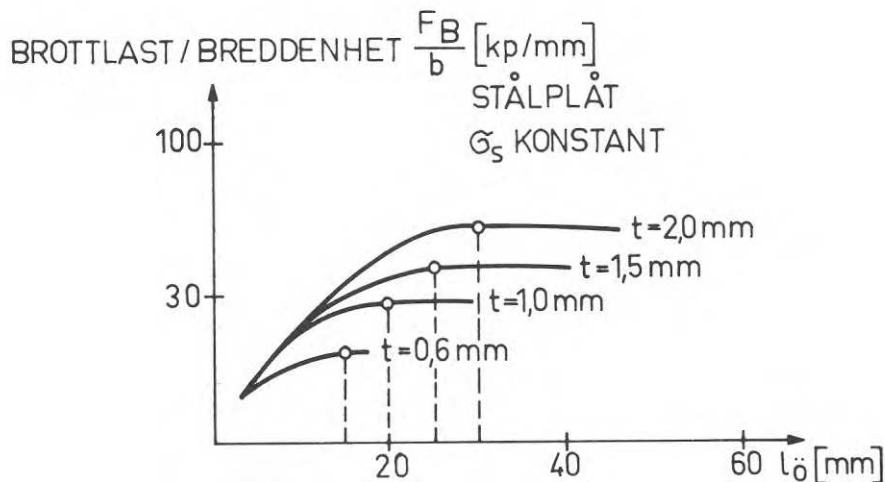


Fig.F18. Brottlasten som funktion av överlappslängden.

En förhandsbedömning av medelskjuvhållfastheten - som preliminär dimensioneringsgrund - kan ske med utgångspunkt från sambandet

$$\tau_{B_m} = \tau_{\max} \cdot \frac{\operatorname{tgh} \sqrt{\frac{\Delta}{2}}}{\sqrt{\frac{\Delta}{2}}}$$

varvid 
$$\Delta = \frac{G \cdot l \ddot{o}^2}{E t}$$

och  $\tau_{\max} = 0,75$  x den genom försök med kort överlappslängd för aktuell limtyp och limskiktstjocklek bestämda skjuvhållfastheten. Koefficienten 0,75 täcker härvid en ordinärt representativ hållfasthetsspridning.

Förbandets lastupptagande förmåga erhålls till

$$F_B = \tau_{B_m} \cdot A \quad (A = \text{kontaktyta enligt fig. F 16})$$

Tillåten belastning beräknas enligt

$$F_{\text{till}} = F_B / s_g, \text{ varvid } s_g \text{ är en lastfaktor, som med hänsyn till hållfasthetsspridningen normalt bör vara större än säkerhetsfaktorn för grundmaterialet.}$$

Samtidigt gäller kravet att säkerheten  $s$  mot uppnående av fogdelarnas materialhållfasthet ( $\sigma_s$ ) innehålls d.v.s.

$$F_{\text{till}} \leq \frac{1}{s} \cdot \sigma \cdot t \cdot b$$

Speciell uppmärksamhet måste ägnas åt risken för krypdeformationsbrott varvid fordras en uppskattning av livslängd, framtida lastintensitet och arbetstemperatur. Den lastintensitet, som vid aktuell temperatur med viss sannolikhet leder till brott efter den uppskattade livslängden kan bestämmas enligt metod som beskrivs i avsnitt 5.

## F5. PROVNING AV LIMFÖRBAND

Nedan beskrivs några vanliga provningsmetoder och hur provningsresultaten bör utvärderas, för att kunna utgöra underlag för dimensionering. Proven kan även användas för att få direkta jämförelser mellan olika lim och förbehandlingar samt för att få upplysning om limmets beständighet i olika miljöer. Korttidsproven är även lämpade för den fortlöpande kvalitetskontrollen under tillverkningen. En översiktlig beskrivning av brottyper återges i bilaga 1.

### 5.1 Allmänt

Provkroppar med varmhärdande lim skall före provningen lagras i minst ett dygn och kallhärdande i minst sju dygn. Under provning skall protokoll med följande uppgifter föras:

Fullständig beskrivning av:

1. limmet med kodbeteckningar och tillverkningsdatum
2. metallens yta, sträckgräns och tjocklek ( $\pm 0,1$  mm)
3. förbehandling
4. limapplicering
5. härdningsbetingelser
6. brotttyp

Vidare bör antalet prov, överlappslängder ( $\pm 0,1$  mm), överlappsbredder ( $\pm 0,1$  mm), limskikt + tjocklekar ( $\pm 0,01$  mm), max-, min- och medelvärden på brottlaster anges. Dragprovmaskinen skall möjliggöra infästning utan momentpåverkan, samt ha ett lastregister så att brottlaster är 15 - 85 % av full kapacitet.

### 5.2 Fläkhållfasthetsprov (DIN 53282)

Provet ger upplysning om limfogs känslighet för fläkande, d v s mot fogen vinkelrät verkande krafter. Provkropparnas utseende och uttagning ur moderplåt framgår av fig. 19 - 20.

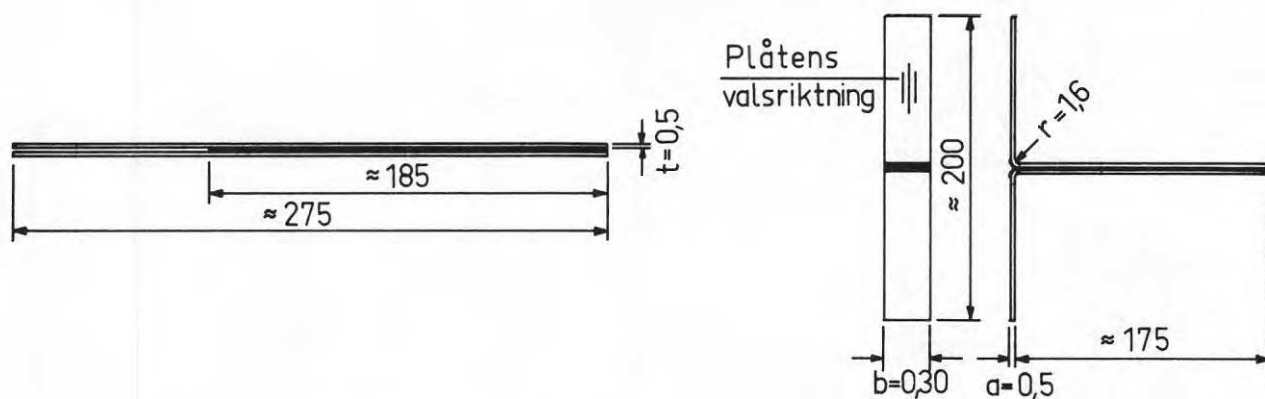


Fig.F19. Provkropp för fläckhållfasthetsprov.

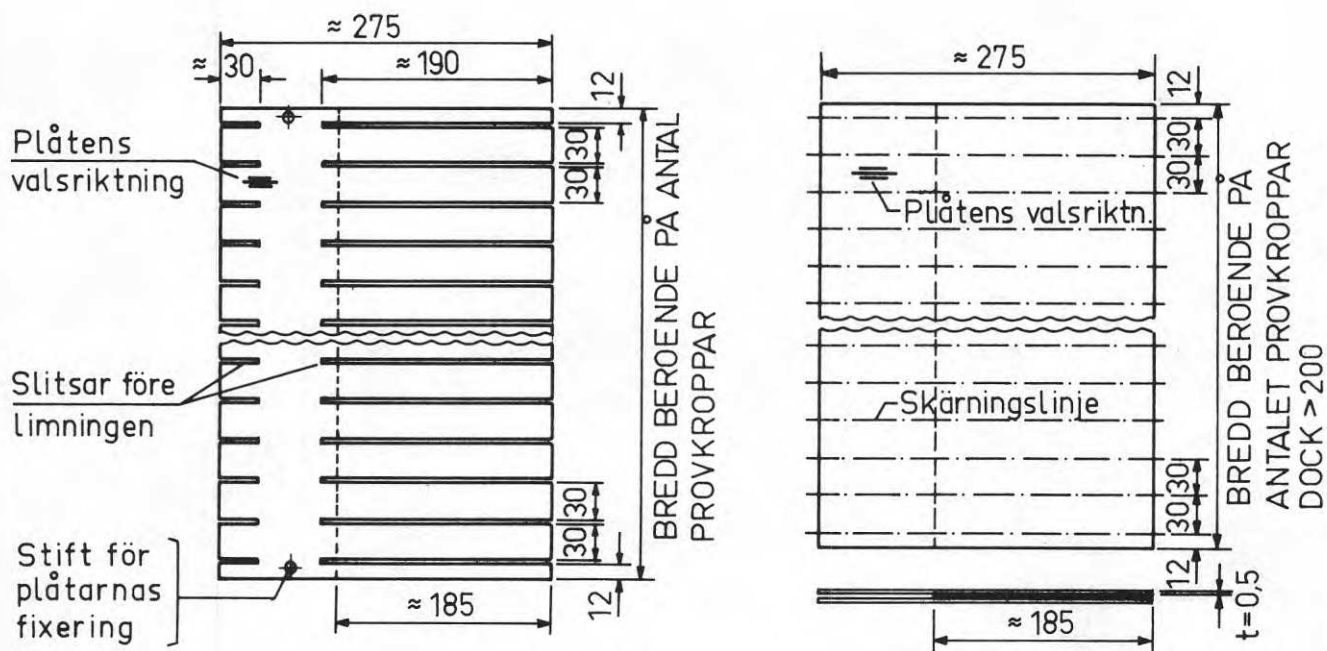


Fig.F20. Moderplåtar för fläckhållfasthetsprov.

Utvärdering av proven förutsätter att dragprovsmaskinen är försedd med utrustning för registrering av last-förskjutningsförloppet.

Värden som bör redovisas är sprick-fläckmotståndet  $P_A = \frac{F}{b}$  (kp/mm<sup>2</sup>)

och fläckmotståndet  $P_s = \frac{\bar{F}}{b}$  (kp/mm). Storheterna  $F_A$  och  $\bar{F}$  bestäms enligt fig. F 21. Bästa värde på  $F$  erhålles med planimetermätning.

Provet bör ske i rumstemperatur och med belastningshastigheten 15 - 20 mm/min.



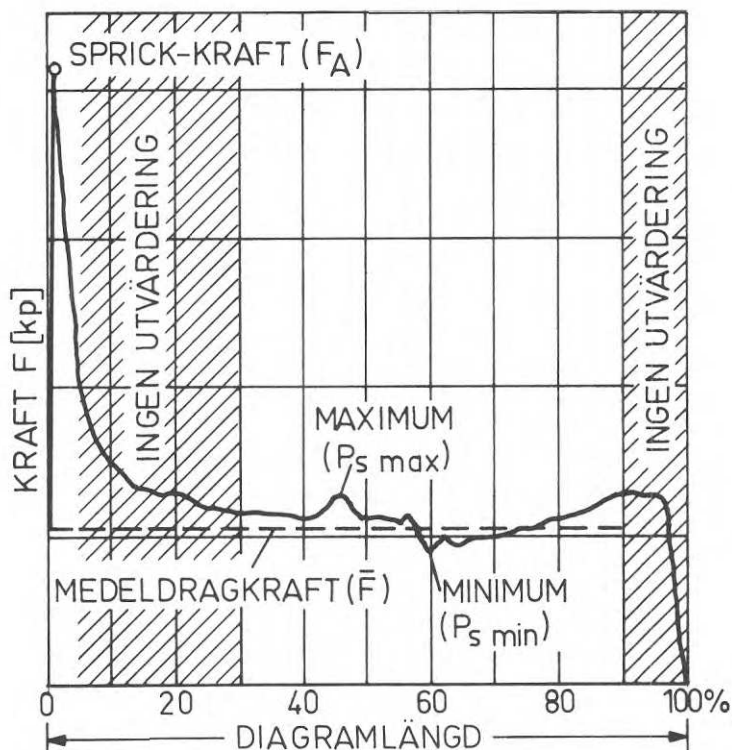


Fig.F21. Last-förskjutningskurva för fläckhållfasthetsprov.

Uttagning av provkropparna ur moderplåt skall göras så att fogen så lite som möjligt utsätts för värme och mekanisk åverkan. Två olika moderplåtar visas i fig. F 20 varav den som slitsas före limningen är att föredra i de fall provningsförfarandet används för direkt jämförelse mellan olika lim. Utvärderingen inskränker sig i detta fall till beräkning av medelvärden och spridning.

### 5.3 Enkelt överlappsprov (DIN 53283)

Provet är avsett för bestämning av limfogs känslighet för en kombination av skjuv- och dragspänningar. Provkropparnas och modersplåtens utseende framgår av fig. F 22-23. Provet bestämmer skjuvhållfastheten

$$\tau_B = \frac{F_{\max}}{A} = \frac{F_{\max}}{l_{\text{ö}} \cdot b} \quad (\text{kp/mm}^2).$$

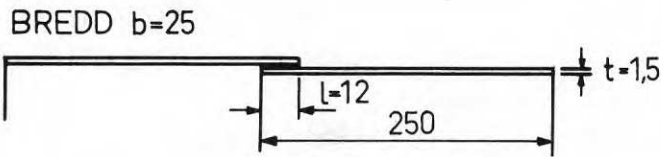


Fig.F22. Provkropp för enkelt överlappsprov.

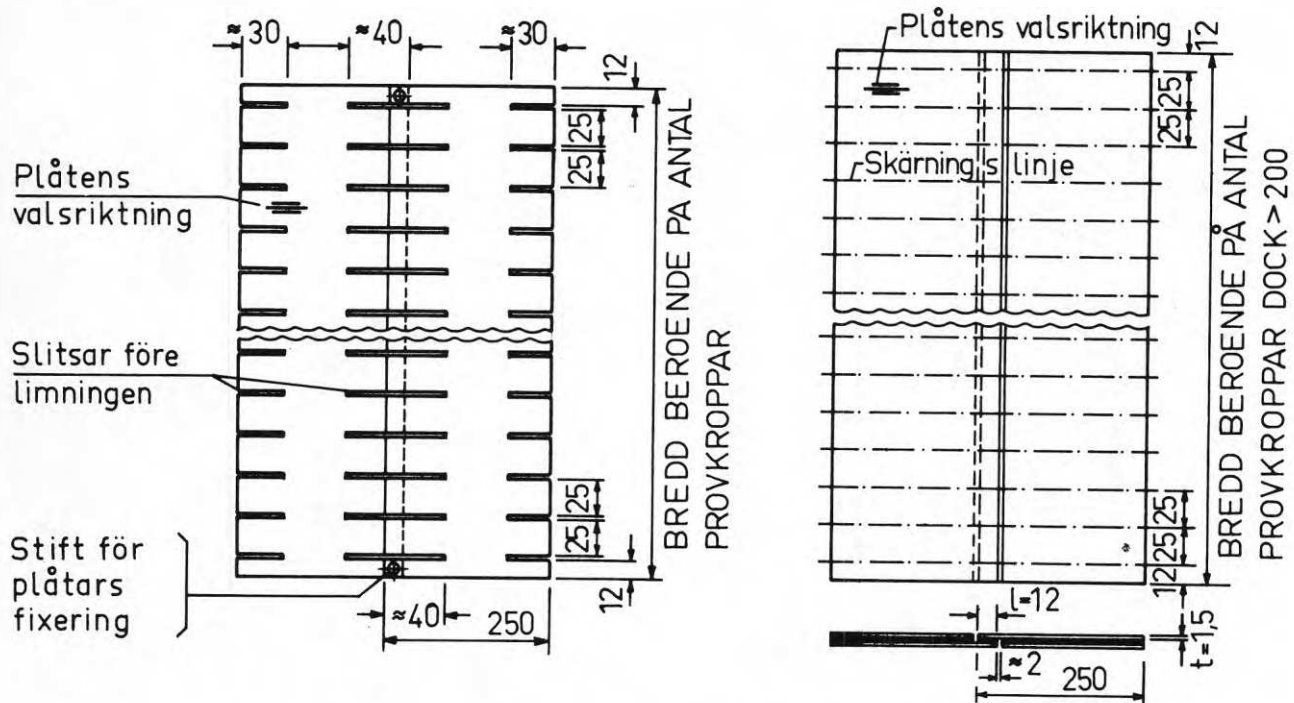


Fig.F23. Moderplåtar för enkelt överlappsprov.

Belastningshastigheten bör vara  $\sim 15$  mm/min och provningen ske i rumstemperatur. Infästning i dragprovmaskinen skall ske med mellanlägg av samma tjocklek som provplåtarna. För de ur provningarna erhållna skjuvhållfastheterna beräknas medelvärden och spridningar. För närmare kvalitetsvärdering kan inritning av resultaten ske på normalfördelningspapper. I övrigt gäller samma provningsförutsättningar som för fläckhållfasthetsprovet enligt 5.2.

#### 5.4 Överlappsprov som dimensioneringsunderlag

Utformning av ett förband kräver normalt ett bredare underlag än vad de ovan beskrivna standardproven ger. Med hjälp av en fogfaktorkurva är det möjligt att bestämma lämpliga förbandsdimensioner. Kurvan bestäms med överlappsprov med endast den skillnaden gentemot ovanstående prov att plåttjocklek och överlappslängd varierar, samt att proven utförs vid högre temperatur. Den sökta kurvan har principutseende enligt fig. F 24.

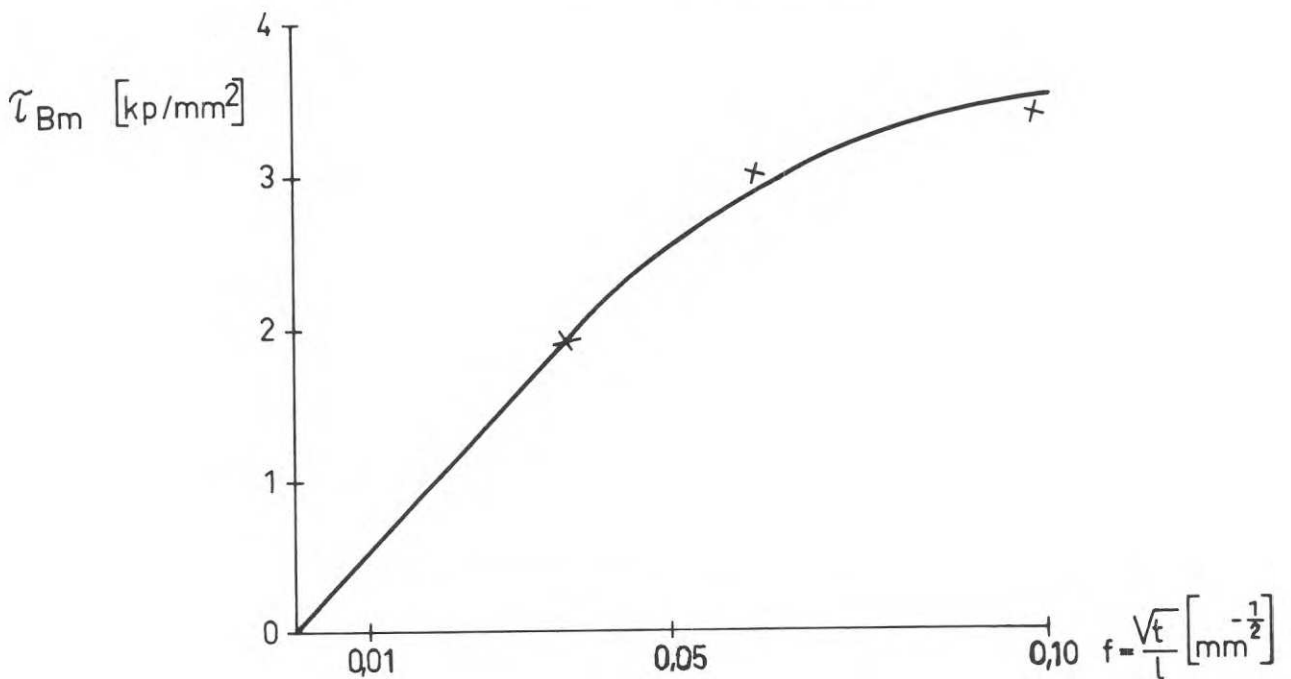


Fig.F24. Principutseende för en fogfaktorkurva.

Längden på kurvans raka del kan bero på materialets sträckgräns. Det är därför viktigt att använt plåtmaterial har samma sträckgräns och adhesionegenskaper. Det kan vara svårt att få material i olika tjocklek med samma sträckgräns varför variationen inom en provserie ofta endast sker genom ändrad överlappslängd. Kurvan skall uppritas med hjälp av minst tre genom provning fastlagda punkter. Varje punkt skall vara medelvärde av minst fem överlappsprov med lika utformning och från samma moderplåt. Moderplåten slitsas ej före limningen.

Fogfaktorn beräknas ( $f = \frac{\sqrt{t}}{l_0} \text{ mm}^{\frac{1}{2}}$ ) och medelskjuvhållfastheten

$\tau_{B_m} = \frac{F_B}{b \cdot l_0}$ . Provningsen utföres vid en i förhållande till avsett användningsområde väl anpassad temperatur.

Det är möjligt att använda kurvan för material med andra hållfasthetsgenskaper än det för vilket kurvan upprättats. Förutsättningen är att adhesionsförutsättningarna är lika. Hänsyn till de ändrade hållfasthetsgenskaperna tages genom multiplikation med en faktor

$\frac{\sigma_B}{\sigma_B^0}$  där  $\sigma_B^0$  gäller för det provade materialet och  $\sigma_B$  det för användning aktuella.

### 5.5 Utförande och utvärdering av långtidsprov

Proven utföres med enkla överlappsförband och syftar till att bestämma den tidsberoende hållfastheten  $\tau_{B_m}(h) = \frac{F_B(h)}{b \cdot l_0}$  där  $F_B(h)$  är den last som för förbandet innebär brott efter tiden  $h$ . Överlappslängden bör vara realistisk och anpassad till plättjockleken men ej av sådan längd att brott sker i plåtmaterialet. Lasten bör ej i större utsträckning påverkas av förbandets deformationer.

Vid vibrationsfria lokaler är last av dödviktstyp bättre än fjäderbelastning. En noggrann reglering av temperaturen ( $\pm 1^\circ\text{C}$ ) måste ske. Provningsen utföres med minst fyra grupper om tio provkroppar vardera. Den första gruppen korttidsbelastas varigenom  $\tau_{B_m}$  bestämmes. De övriga grupperna belastas med respektive  $0,90 \tau_{B_m}$ ,  $0,80 \tau_{B_m}$  och  $0,70 \tau_{B_m}$ . Inom varje grupp skall så en statistisk utvärdering ske och fördelningskurva uppritas. I de fall resultaten inte är normalfördelade kan de ges sådan fördelning. Det kan ske på så sätt att proven ordnas i rang efter antal timmar till brott. Om rangnumret anges med  $M$  och antal prov inom gruppen med  $N$ , så kan sannolikheten att brott inträffat efter tiden  $h$  (= tid till brott för provkropp med rangnummer  $M$ ) skrivas;  $B_s = \frac{100 \times M}{(N + 1)}$ .

Nu kan punkterna läggas in på normalfördelningspapper och en rät linje anpassas enligt fig. F 25.

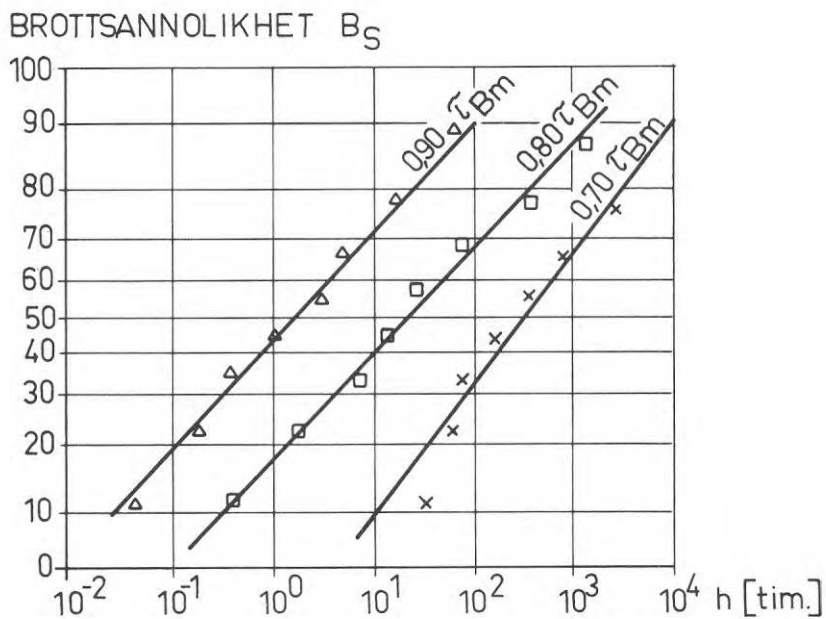


Fig.F25. Brottsannolikheten som funktion av tiden för några olika lastintensiteter.

Det är sedan möjligt, att för olika brottsannolikhet på dubbellogaritmiskt papper uttrycka belastbarheten som funktion av tiden enligt fig. F 26.

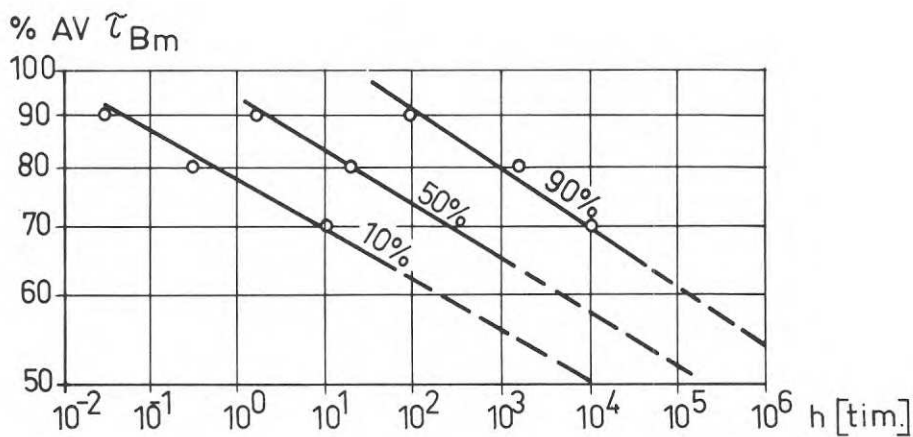


Fig.F26. Lastintensiteten som funktion av tiden vid några olika brottsannolikheter.

Slutligen ger extrapolering maximal last vid given tid och brottsannolikhet. För normalfördelade provningsresultat kan några karakteristiska brottsannolikheter direkt inprickas på normalfördelningspapper enligt fig. F 25 varefter slutlig utvärdering kan ske enligt ovan nämnt förfarande.

De ovan beskrivna förfaranden ger konservativa värden på tid till brott för viss lastintensitet. Emellertid ger en mycket liten ändring i lastintensitet en mycket stor ändring i tid till brott, varför en noggrannare bestämning med hänsyn till de ofta osäkra lastförutsättningarna synes onödig. En noggrannare metod som även kräver deformationsmätningar beskrivs i referens [51].

F6. LITTERATUR

- 1 ALUMINIUMKONSTRUKTIONER 1966, Försöksnorm och kommentarer,  
SVR:s Förlag AB.
- 2 Noton, B.R. "Limningens teori"
- 3 Engdahl, C. "Olika typer av metallim och deras egenskaper".
- 4 Backman, S. "Förbehandling av material för limning".
- 5 Engdahl, C. - Johnsson, L. "Metoder för provning av lim och limfogar".
- 6 Noton, B.R. "Hållfasthetsegenskaper hos limmade fogar".
- 7 Reynold, T. "Produktionsteknik vid limning av metaller".
- 8 Ljungström, O. "Limningens tillämpning inom mekanisk industri".
- 9 Noton, B.R. "Limmade sandwichkonstruktioner".  
Ref. [2] - [9]: Tekn. Meddelanden Ve 44,  
Sveriges Mekanförbund.
- 10 Goland, M. - Reissner, E. "The stress in cemented joints",  
Journal of Applied Mechanics, nov 1944.
- 11 "Das Kleben von Stahl". Merkblatt 382 Beratungsstelle für Stahl-  
vekwendung, Düsseldorf.
- 12 Winter, H. "Forschungsergebnisse über das Metallkleben"  
Schweisstechnik, jan 1964.
- 13 Evans, B.G. The Fokker Bond Tester,  
Sheet Metal Industries, vol 42 oct 1965.
- 14 Negretti, W. "Metallkleben - eine Übersicht über Grundlagen,  
Konstruktion und Fertigung",  
Schweisstechnik nr 11 1965, Zürich.
- 15 Sharpe, L. "Adhesives",  
Machine Design, june 15, 1967.

- 16 Adhesive bonding. Assembly and Directory and Handbook 1966.  
Hitchcock publication
- 17 Arbeitsblätter für das Metallkleben.  
Aluminium-Verlag GmbH Düsseldorf.
- 18 Meckelburg, H. "Beanspruchungsarten und Dimensionierungs-  
grundlagen von Metallklebverbindungen",  
Industrie-Anzeiger 86, dez 1964.
- 19 Hemberg, B. "Resumé av den teoretiska bakgrunden".
- 20 Carlsson, G. "Hållfasthet hos limfogar vid metallimning".
- 21 Ljungström, O. "Konstruktionsmässiga aspekter".
- 22 Reynold, T. "Produktionsmässiga aspekter".
- 23 Scherman, A. "Medicinska och arbetshygieniska aspekter".
- 24 Säfholm, T. "Moderna limtyper för metallimning".
- 25 Stavmar, L. "Några av dagens utvecklingslinjer inom metallimnings-  
tekniken".
- 26 Ljungström, O. "Tillämpningsexempel - översikt".
- 27 Carlsson, G. "Konstruktionsanvisningar".  
Ref. [19] - [27]: Mekanresultat 65021,  
Sveriges Mekanförbund.
- 28 Draft - British Standard Methods of Test for Adhesive Metod 3,5,  
Longitudinal Shear.  
British Standard Institution.
- 29 Strength Properties of Adhesives in Shear by Tension Loading.  
(Metal to Metal), ASTM Designation D1002-64.
- 30 Cleavage Strength of Metal-to-Metal Adhesive Bonds,  
ASTM Designation: D1062-51.
- 31 Effect of Moisture and Temperature on Adhesive Bonds,  
ASTM Designation: D1151-61.



- 32 Conducting Creep Tests of Metal-to-Metal Adhesives.  
ASTM Designation: D1780-62.
- 33 Peel Resistance of Adhesives. (T-Peel Test)  
ASTM Designation: D1876-61 T.
- 34 Creep Properties of Adhesives in Shear by Tension Loading.  
(Metal-to-Metal).  
ASTM Designation: D2294-64 T.
- 35 Preparation of Metal Surfaces for Adhesive Bonding,  
ASTM Designation: D2651-65.
- 36 DIN 53281, blatt 1. Probekörper - Vorbehandlung der Klebflächen.
- 37 DIN 53281, blatt 2. Probekörper - Herstellung.
- 38 DIN 53281, blatt 3. Probekörper - Kenndaten des Klebvorganges.
- 39 DIN 53282 Winkelschälversuch.
- 40 DIN 53283 Bestimmung der Bindefestigkeit von einschnittig  
überlappten Klebungen im Zugversuch.
- 41 DIN 53284 Zeitstandversuch an einschnittig überlappten Klebungen.
- 42 DIN 53285 Dauerschwingversuch an einschnittig überlappten  
Klebungen.
- 43 DIN 53286 Bedingungen für die Prüfung bei verschiedenen  
Temperaturen.
- 44 Dolk, Å., Sunde, E. Limkurs  
AB Casco, 1970
- 45 Handbook of Adhesives, Bloomingdale Departement, 1969.

- 46 Broschymaterial, Bloomingdale
- 47 Broschymaterial, Casco
- 48 Broschymaterial, Cementex
- 49 Broschymaterial, Ciba
- 50 Broschymaterial, 3M Company
- 51 Matting, A. "Metallkleben. Grundlagen, Technologie, Prüfung, Verhalten, Berechnung, Anwendungen", Springer Verlag, Berlin, 1969.

F7. BETECKNINGAR

$b$	= bredd	[mm]
$h$	= tid	[tim]
$l_{\ddot{o}}$	= överlappsängd	[mm]
$t$	= fogdels tjocklek	[mm]
$s$	= säkerhetsfaktor	
$B_s$	= brottsannolikhet	
$E$	= elasticitetsmodul	[kp/mm <sup>2</sup> ]
$F$	= last på förbandet	[kp]
$F_B$	= last på förbandet vid brott	[kp]
$F_B(h)$	= brottlast efter tiden $h$	[kp]
$G$	= skjuvmodul	[kp/mm <sup>2</sup> ]
$M$	= rangnummer	
$N$	= antal prov i en serie	
$\tau$	= skjuvspänning	[kp/mm <sup>2</sup> ]
$S$	= limskiktets tjocklek	[mm]
$\tau_m$	= medelskjuvspänning i ett förband	[kp/mm <sup>2</sup> ]
$\tau_{B_m}$	= medelskjuvspänning vid brott (korttidlast)	[kp/mm <sup>2</sup> ]
$\tau_{B_m}(h)$	= medelskjuvbrottspänning efter tiden $h$	[kp/mm <sup>2</sup> ]
$\tau_{max}$	= av spänningskoncentration framkallad maximal skjuvspänning	
$\sigma_m$	= medellängsspänning i fogdel	[kp/mm <sup>2</sup> ]
		[kp/mm <sup>2</sup> ]

G. BULTSVETSNINGG1. INLEDNING

Bultsvetsning används som sammanfattande namn på två metoder där genom svetsning en bult, s.k. studs, fästes vid en plåt. Det för svetsningen erforderliga värmets värme alstras av en ljusbåge som brinner mellan bult och arbetsstycke. Metoderna preciseras närmare genom namnen Bågbultsvetsning och Kondensatorbultsvetsning varav den senare har störst intresse inom aktuellt plåttjockleksområde. Med anledning härav begränsas framställningen till att omfatta endast denna metod varvid i fortsättningen beteckningen CD-bultsvetsning (capacitor discharge) används.

CD-bultsvetsning har något annorlunda tillämpningsområden än de i kapitel D och E beskrivna svetsmetoderna och används förutom för fogning av tunna plåtar även för uppbyggnad av samverkankonstruktioner samt infästning av kompletterande material till tunnplåtkonstruktioner.

En bult kan svetsas till en plåt utan att plåtens baksida är åtkomlig.

CD-bultsvetsning kan utföras med portabla eller stationära utrustningar varvid den förra är lämpad för svetsning på arbetsplats och den senare för seriemässig tillverkning.

G2. METODBESKRIVNING

En portabel utrustning för CD-bultsvetsning framgår av fig. G1. Utrustningen består av två delar; svetspistol och strömkälla.

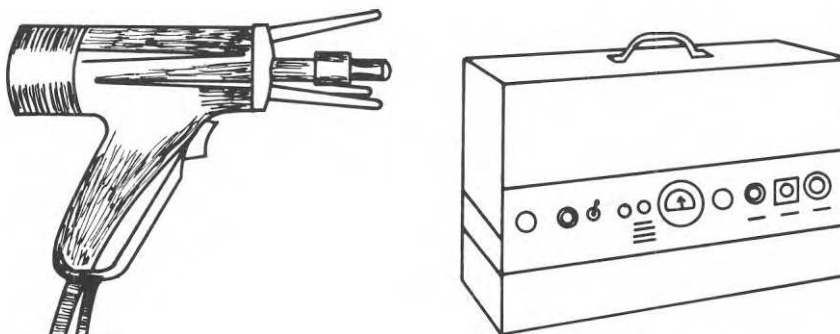


Fig.G1. Portabel svetsutrustning.  
(Svetspistol och strömkälla)

För svetsprocessen erforderligt värme utvecklas av en elektrisk ljusbåge, som brinner mellan arbetsstycke och den bult som skall fastsvetsas. Den erforderliga elektriska energin samlas före svetsningen med låg spänning i en kondensatorer.

CD-bultsvetsning karakteriseras som framgår av fig. G2 av fyra steg (A - D).

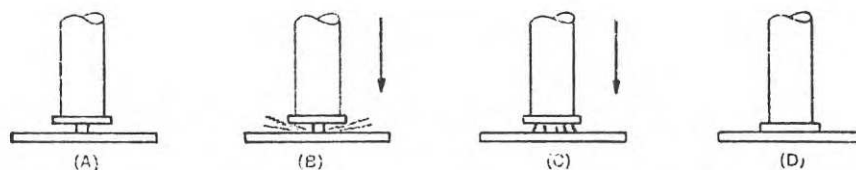


Fig.G2. Olika skeden (A-D) vud CD-bult-bultsvetsning.

- A. Bulten sätts i svetspistolen som därefter riktas mot arbetsstycket.
- B. Strömgenomgång varvid den speciella avståndstappen snabbt smälter och en ljusbåge tänds. Värmet från ljusbågen smälter ytorna på bult och arbetsstycke.
- C. Bulten pressas mot arbetsstycket med hjälp av en fjäder, en vikt eller tryckluft.
- D. Avkylning.

Bågtiden är mycket kort vanligen mindre än 0,01 sekunder. Den korta tiden medför att endast mycket tunna skikt hinner smältas varför metoden kan nyttjas även vid mycket tunn plåt och oftast utan att plåtens baksida och eventuell beläggning skadas.

### G3. TILLÄMPNINGSSOMRÅDEN

CD-bultsvetsning har byggnadstekniskt mycket stort intresse genom det rika urval på fästelement som finns att tillgå. Ett antal olika typer framgår av fig. G3.

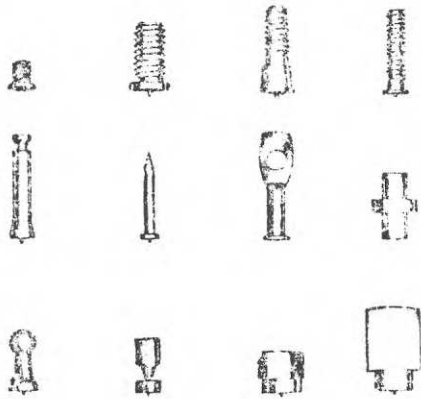


Fig.G3. Olika fästelement.

Fästelement finns i kolstål, rostfritt stål, aluminium, mässing och koppar. Arbetsstycket kan vara av stål eller aluminium. Minsta plåttjocklek är för stål 0,5 mm och för aluminium 0,8 mm. Fästelementen kan ha en diameter på upp till 10,0 mm.

Plåtarnas frånsida kan vara ojämn och försedd med godtycklig beläggning. Svetssidan däremot måste vara jämn samt fri från valshud, rost, olja, fett, smuts, färg och tjocka ojämna zinksikt. Varmförzinkad plåt kan emellertid svetsas utan åtgärd med ett zinksikt på högst 30 µm om bultdiametern är mindre än 4,8 mm. Varmförzinkad eller målad plåt kan alltid svetsas om ytskiktet avlägsnas där bulten skall fästas.

CD-bultsvetsning är i byggsammanhang väl lämpad för:

- Fogning av plåtar
- Uppbyggnad av samverkankonstruktioner
- Montering av VVS- och elinstallationer
- Infästning av träreglar
- Montering av isolering och ytbeklädnader

#### G4. VERKNINGSSÄTT OCH BROTTBETEENDE

Det statiska verknings sättet för ett bultsvetsförband påverkas av ett flertal faktorer vilka närmare diskuteras i slutet på detta avsnitt.

För att klargöra ett bultförbandsbrottbeteende diskuteras först en modell enligt fig. G4.

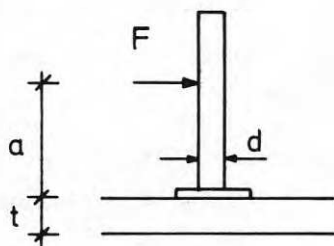


Fig.G4. Beteckningar.

Beroende på plåttjockleken  $t$ , bultdiametern  $d$ , materialkvaliteer samt avståndet  $a$  kan ett antal olika brottyper förekomma vilka närmare preciseras i fig. G5.

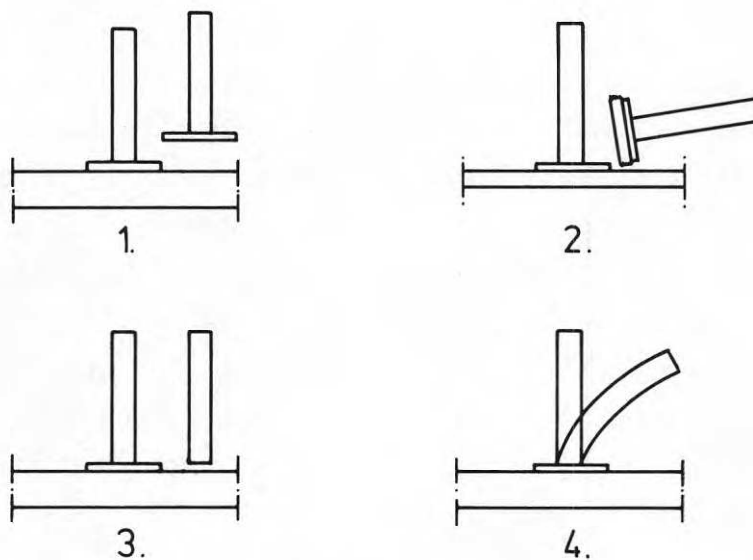


Fig.G5. Olika brottyper.



1. Visar ett brott i själva svetsen vilket är ett tecken på att svetsvillkoren ej är uppfyllda eller att fel svetsspänning valts.
  2. Sker vanligen vid tunn plåt ( $t < 1,25$  mm) och är en följd av den tunna plåtens otillräckliga böjmotstånd.
- 3-4. Dessa båda brottyper är önskvärda därigenom att bultmaterialet vanligen är definierat i sträck- och brottgränsspänning och de olika brottlasterna därigenom kan bestämmas. Vilken brotttyp av dessa två som sker är beroende av förhållandet mellan bultmaterialets sträck- och brottgränsspänning samt det i fig. G4 markerade avståndet  $a$ .

Baserat på bults axiella dragbrottlast  $P_B$  kan brott enligt 3 bestämmas enligt;

$$F_B = K \cdot P_B$$

För faktorn  $K$  gäller vanligen

$$0,7 < K < 0,8$$

Baserat på axiella dragbrottlasten  $P_B$  kan även momentbrottlasten  $M_B$  enligt 4 beräknas. Härvid förutsätts att vid axiellt dragbrott dragbrottspänningen uppnåtts över hela bultens tvärsnitt samt att vid momentbrott kantspänningen uppnått bultmaterialets flytgränsspänning  $\sigma_S$ . I beräkningarna används beteckningarna  $A^*$ ,  $d^*$ ,  $I^*$  som representerar fiktiva storheter vilka för praktisk användning av resultatet ej fordrar närmare bestämning.

$$A^* = \frac{\pi d^{*2}}{4} \quad (1)$$

$$I^* = \frac{\pi d^{*4}}{64} \quad (2)$$

$$P_B = \sigma_B \cdot A^* \quad (3)$$

$$M_B = \frac{2I^* \sigma_S}{d^*} \quad (4)$$

(1), (2) och (3) ger

$$I^* = \frac{A^{*2}}{4\pi} = \frac{P_B^2}{4\pi \cdot \sigma_B^2} \quad (5)$$

(4) och (5) ger

$$M_B = \frac{P_B^2 \cdot \sigma_S}{2\pi \sigma_B^2 \cdot d^*}$$

Med antagande  $\frac{\sigma_S}{\sigma_B} = 0,7$  kan  $M_B$  tecknas

$$M_B = \frac{0,35 P_B^2}{\pi \sigma_B \cdot d^*} > \frac{P_B^2}{9 \cdot \sigma_B \cdot d}$$

Vid bestämning av bultbrottmomentet enligt ovan har ett något förenklat och kanske mer sällan förekommande lastfall antagits. Det framräknade brottmomentet ger emellertid i många fall ett konservativt värde på bultbrottmomentet.

Under förutsättning att vissa deformationer kan accepteras och bultens fria ände förhindras att röra sig axiellt bör genom provning en högre tillåten belastning kunna bestämmas än den som är baserad på ovan beräknade bultbrottmoment  $M_B$ .

Några praktiska fall framgår av fig. G6.

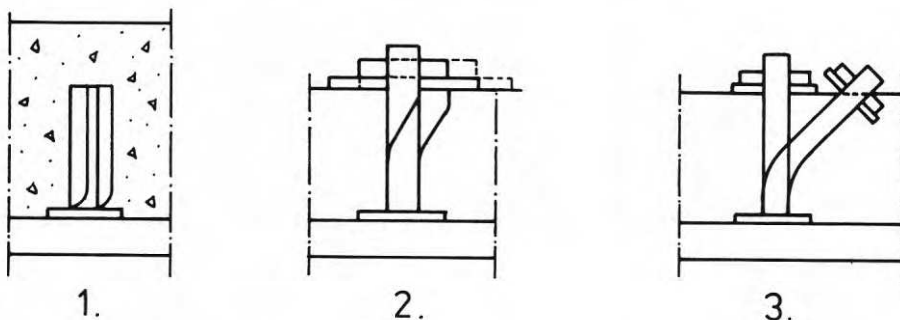


Fig.G6. Några praktiska tillämpningar samt förväntade deformationer i brottstadiet.

1. Avser bult ingjuten i en betongplatta. Betongens hårdhet medför att kraftresultaten kan antas ligga nära plåtytan. I ett belastningsskede krossas betongen vid bultens fot och en mindre böjdeformation sker vilken dock i obetydlig utsträckning tycks påverka brottlasten. Vid dimensionering måste två brottyper beaktas:  
snedställningsbrott ( $t < 1,25$  mm) och  
skjuvbrott ( $t > 1,25$  mm).
2. Avser ett relativt mjukt material där bultens fria ände försetts med en stor bricka och en åtdragen mutter. Hänsyn till böjande moment måste tas varvid med konservativt resultat lastresultaten kan antas placerad på en tredjedel av materialets höjd ovan plåtytan.
3. Avser ett relativt mjukt material där bultens ände försetts med en mindre bricka och en åtdragen mutter. Belastningsfallet är något ogynnsammare än det förra men dimensionering kan ske utgående från samma lastförutsättningar.

## G5. EXPERIMENTELLA UNDERSÖKNINGAR

Avsnittet beskriver de experimentella undersökningar som utförts för att få ett underlag för bestämning av från säkerhetssynpunkt acceptabel lastnivå.

Provningarna omfattar totalt 27 provkroppar fördelade på valsblank eller varmförzinkad stålplåt samt aluminiumplåt. Försöksserien omfattar variation av plåttjocklek och bultdiameter. Dessutom gjordes ett antal dragprov på bultmaterialet.

### 5.1 Provkroppsutformning

Med hänsyn till aktuella tillämpningsområden valdes för de flesta proven en något speciell provkroppsutformning. Provkropparna avser att ta hänsyn till brottlastsänkning till följd av deformationsbeteende.

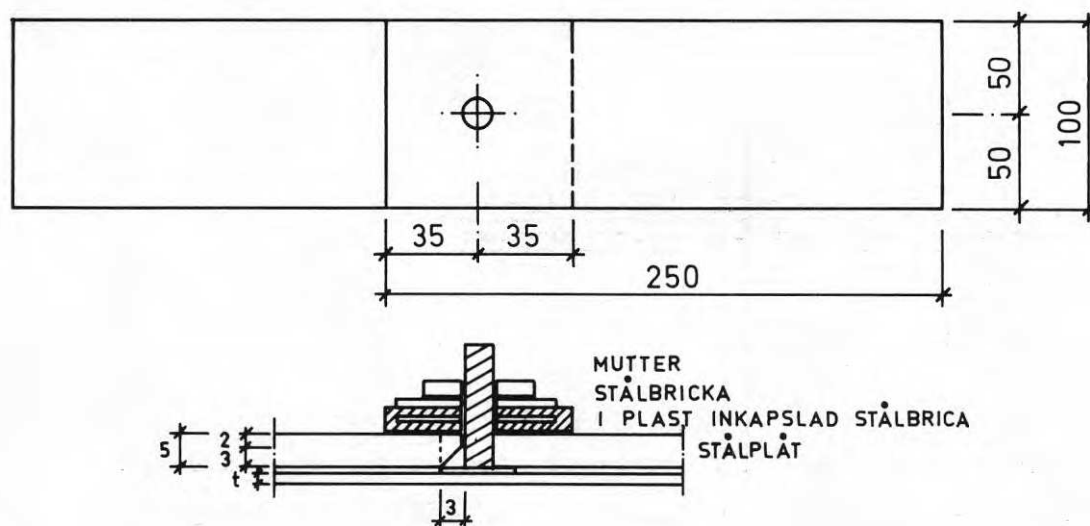


Fig.G7. Provkroppstyp I.

För provkropparna gäller följande:

- Tvärlasten påföres bulten med  $\sim 4$  mm excentricitet i förhållande till svetsen.
- Bulten kan böjdeformeras.
- En viss axiell deformation kan ske.

För att bestämma inverkan av denna provkroppstyps (I) speciella utformning utfördes några försök med en annan provkroppstyp (II).

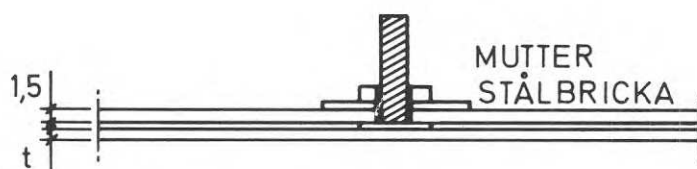
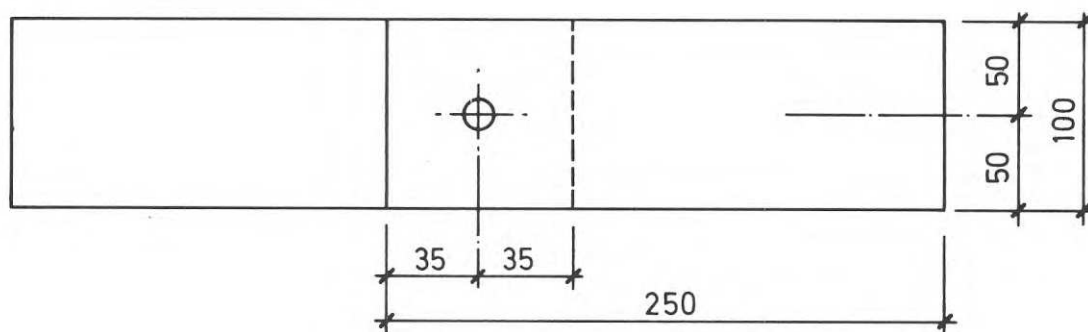
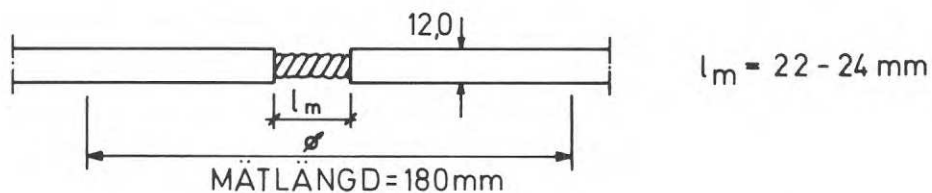


Fig.G8. Provkroppstyp II.

För dragprovning av bultmaterialet kapades den bultände som var försedd med fot varefter bulten gängades in i två homogena stålstavar. Provningsanordning framgår av fig. G9.



$$l_m = 22 - 24 \text{ mm}$$

Fig.G9. Provningsanordning för dragbrottförsök på bultmaterial.

## 5.2 Material till förband

Följande grundmaterial användes vid försöken:

t = 0,8	SIS 1140 - 32	valsblankt
t = 2,0	SIS 1140 - 32	valsblankt
t = 0,7	DOGAL Su 320	210g zink per m <sup>2</sup> enkelsida
t = 1,5	DOGAL FA	150g zink per m <sup>2</sup> enkelsida
t = 2,5	DOGAL FA	210g zink per m <sup>2</sup> enkelsida
t = 1,5	SIS 4120 - 14	(SM 6526 - 14)

Bultmaterialet var kopparöverdraget kolstål ( $\sigma_B^{\min} = 39 \text{ kp/mm}^2$ ) alternativt aluminiumlegering ( $\sigma_B^{\min} = 15 \text{ kp/mm}^2$ ).

Använda diametrar: 3/16" (4,76 mm) och 1/4" (6,35 mm).

## 5.3 Provningsomfattning och försöksresultat

Provningsarna omfattar en registrering av sambandet mellan tvärlasten  $F$  och korresponderande förskjutningar  $\delta$ , uppmätta över förbandet med 180 mm mätlängd.

En sammanställning av maximala tvärlaster  $F_B$  med avseende på godstjocklek, bultdiameter, svetsspänning, max. last och brotttyp ges i tabellerna 1 och 2.

Under rubriken brotttyp införda beteckningar avser:

S = skjuvbrott bult (fig. G 10)

SN = snedställning av bult (fig. G 11)

S/SN = kombinationerna S och SN

Tabell 3 utgör en sammanställning av dragbrottlasten för bultmaterialet.

Av fig. G 12 - 13 framgår karakteristiska  $F - \delta$  samband från provningarna.

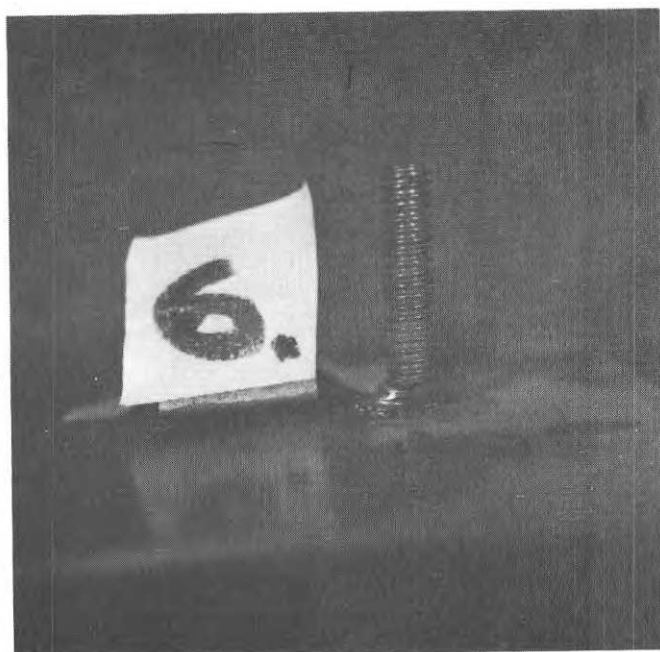


Fig.G10. Skjuvbrott. Bultstam.



Fig.G11. Snedställningsbrott.

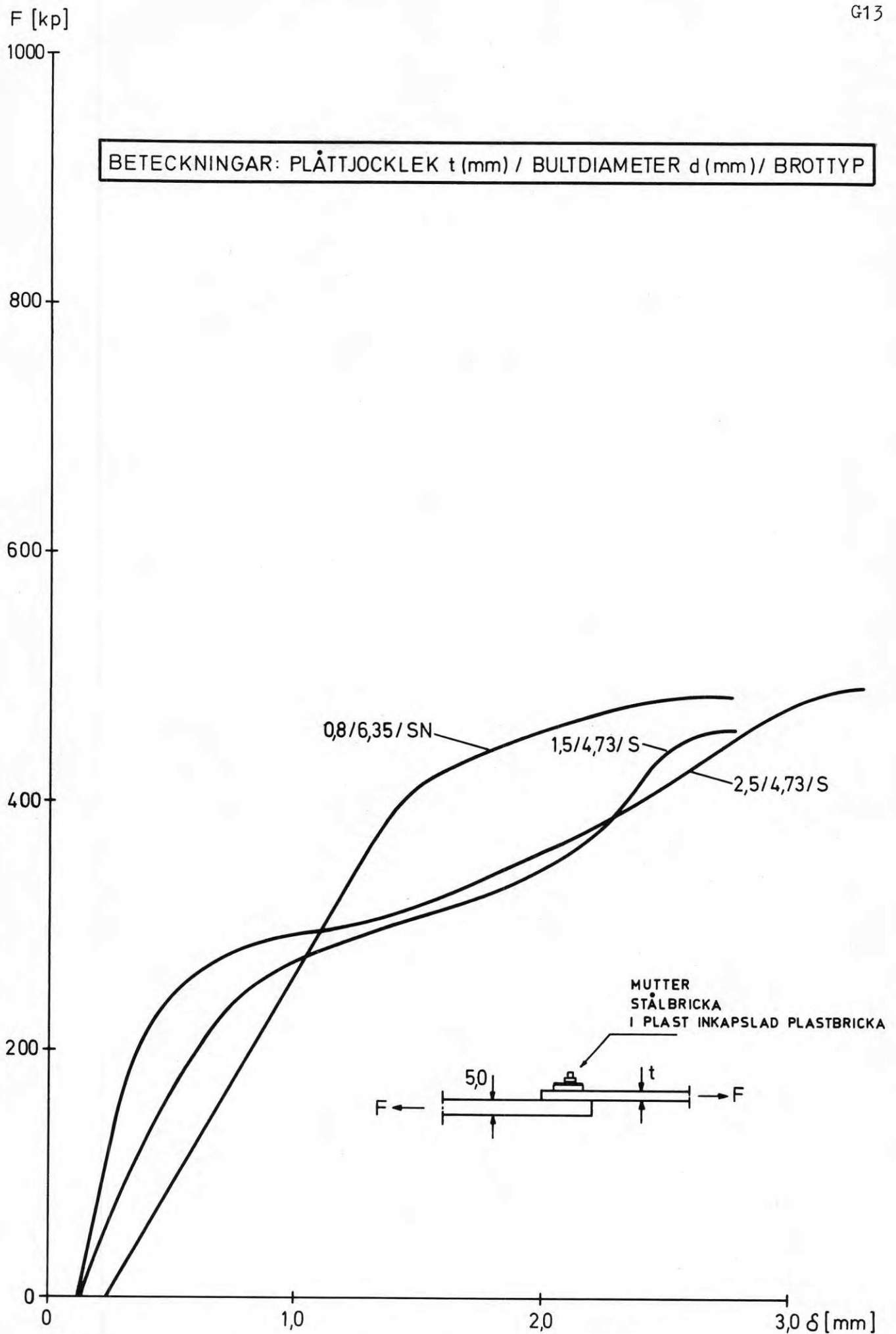


Fig.G12. Några typiska last-förskjutningskurvor för provkroppstyp I.



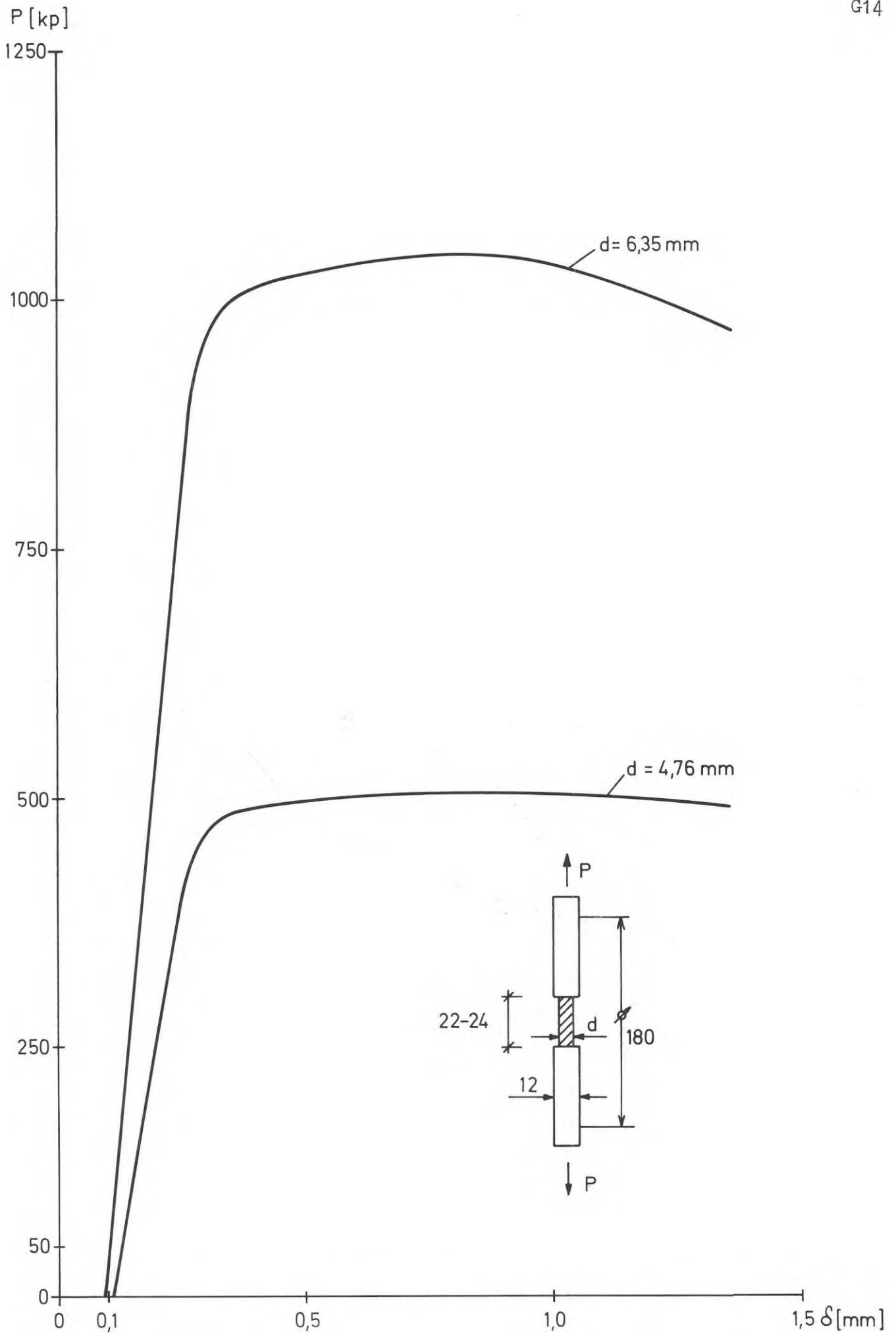


Fig.G13. Last-förskjutningsdiagram från dragprovning av bultmaterial.

Tabell 1: Brottlaster  $F_B$  vid provkroppstyp I

Provkropps- nummer	godstjocklek t [mm]	bultdiameter d [mm]	svetsspänning [volt]	max. last [kp]	brotttyp
Stål					
1	2,5	4,7	170	460	S
2	2,5	4,7	170	495	S
3	2,5	4,7	170	420	S
4	2,0	6,3	160	840	S
5	2,0	6,3	160	940	S
6	2,0	6,3	160	830	S
7	1,5	4,7	170	505	S
8	1,5	4,7	170	450	S
9	1,5	4,7	170	555	S
10	0,8	4,7	135	310	SN
11	0,8	4,7	135	307	SN
12	0,8	4,7	135	335	SN
16	0,8	6,3	160	440	SN
17	0,8	6,3	160	430	SN
18	0,8	6,3	160	530	SN
19	0,7	4,7	170	435	SN
20	0,7	4,7	170	360	SN
21	0,7	4,7	170	330	SN
Aluminium					
1	1,5	4,7	150	233	S
2	1,5	4,7	150	225	S
3	1,5	4,7	150	225	S

Tabell 2: Brottlaster  $F_B$  vid provkroppstyp II

Provkropps- nummer	godstjocklek t [mm]	bultdiameter d [mm]	svetsspänning [volt]	max. last [kp]	brotttyp
13	0,8	4,7	135	417	S
14	0,8	4,7	135	400	SN
15	0,8	4,7	135	433	S/SN
22	0,7	4,7	170	397	SN
23	0,7	4,7	170	377	S
24	0,7	4,7	170	393	S

Tabell 3: Dragbrottkrafter  $P_B$  vid dragprovning av bultmaterial

Provkropps- nummer	bultdiameter [mm]	brottlast [kp]
1	6,3	1040
2	6,3	1040
3	6,3	1050
4	6,3	1045
5	6,3	990
6	4,7	502
7	4,7	502
8	4,7	790
9	4,7	509

#### 5.4 Diskussion av provningsresultat

Diskussionen baseras förutom på provningsresultaten på uppgifter om verkningsätt och brottbeteende som anges i avsnitt G4, provningsresultat i referens [4] samt dimensioneringsunderlag i referenserna [1] och [2].

Dragbrottprovningen av bultmaterialet visade att de i referenserna [1] och [2] angivna värdena på dragbrottlaster väl kan bilda underlag för dimensionering. Vid försöken registrerades ej någon utpräglad flytlast vilket framgår av P -  $\delta$  - kurvorna i fig. G 13. Anledningen är att tvärkontraktionen till största delen förhindras av gängorna varigenom ett fler-axligt spänningstillstånd uppstår. Förhållandet medför att brottet blir sprött vilket också bekräftas av utseendet på brottytorna.

Provningarna i övrigt verifierade följande:

- Skjuvbrott på bultstammen sker så länge  $t > 1,25$  mm och lastresultantens läge är högst 3 mm ovan plåtens överyta.
- Samtliga vid skjuvbrott på bultstam registrerade brottlaster understiger de i referenserna [1] och [2] angivna.
- Snedställningsbrott sker vanligen vid  $t < 1,25$  mm.
- Varmförzinkad plåt medför inga problem så länge bultens diameter är mindre än 4,8 mm.

## G6. DIMENSIONERING AV BULTSVETSFÖRBAND

Underlaget medger inte att fullständiga dimensioneringsanvisningar ges där exakt hänsyn tas till plåttjocklek, materialkaraktäristika, kraftresultants läge osv. Med utgångspunkt från de dimensioneringsregler som ges är det emellertid möjligt att för de flesta i praktiken förekommande fall bestämma en konservativ tillåten belastning.

Följande regler bör beaktas:

1. Bults axiella rörelse förhindras genom att bulten förankras med hjälp av mutter, sprint, vidhäftning (betong) eller friktion (trä).
2. För bult med lastupptagande funktion skall  $t \geq 0,7$  mm.
3. Vid  $t \geq 1,25$  mm gäller när  $a \leq 3,0$  mm

$$F_{\text{till}} = \frac{F_{\text{BS}}}{2,0}$$

$F_{\text{BS}}$  är nedre gränsen för bultens skjuvbrottlast.

Vid  $a > 3,0$  mm gäller

$$F_{\text{till}} = \frac{P_{\text{B}}^2}{15 \cdot \sigma_{\text{B}} \cdot d \cdot a}$$

$P_{\text{B}}$  är bultstammens dragbrottlast,  $\sigma_{\text{B}}$  bultmaterialets brottgränsspänning ( $\text{kp}/\text{mm}^2$ ),  $d$  bultstammens ytterdiameter (mm) och  $a$  kraftresultantens angreppspunkt ovan plåtytan (mm).

Vid  $0,7 \leq t < 1,25$  mm och  $a \leq 3,0$  mm kan med minst 3-faldig säkerhet som tillåten tvärlast antas

$$F_{\text{till}} = 100 \text{ kp}$$

Härvid förutsätts plåtmaterialets brottgränsspänning vara lägst  $37 \text{ kp}/\text{mm}^2$ .

4. Svetssidan skall vara fri från rost, smuts, valshud, fett, olja och färg.
5. Frånsidan kan ha godtycklig beläggning. Tunna icke värmebeständiga färgskikt kan emellertid förstöras vid svetsning i tunn plåt. Däremot skadar normalt ej svetsning plastfärg eller folie med tjocklek  $> 200 \mu\text{m}$ .
6. Svetssidan kan vara varmförzinkad varvid emellertid vid en skiktthjocklek på  $30 \mu\text{m}$  bultens diameter skall understiga  $4,8 \text{ mm}$ . Vid större diameter eller tjockare zinkskikt bör provsvetsning genomföras.

Tabell 4: Karakteristiska värden för bultar i material med  $\sigma_B = 37 \text{ kp/mm}^2$

Bulldiameter [mm]	$P_B$ [kp]	$F_{BS}$ [kp]	$M_V$ [kpcm]
4,76	500	350	16
6,35	840	590	60

$M_V$  avser maximal åtdragning av mutter.

G7. PROVNING

För bultsvetsning brukar tillämpas en mycket enkel provningsmetod som ger en del väsentliga upplysningar om svetsens kvalité. Provningsmetodiken samt aktuella brottyper framgår av fig. G 14.

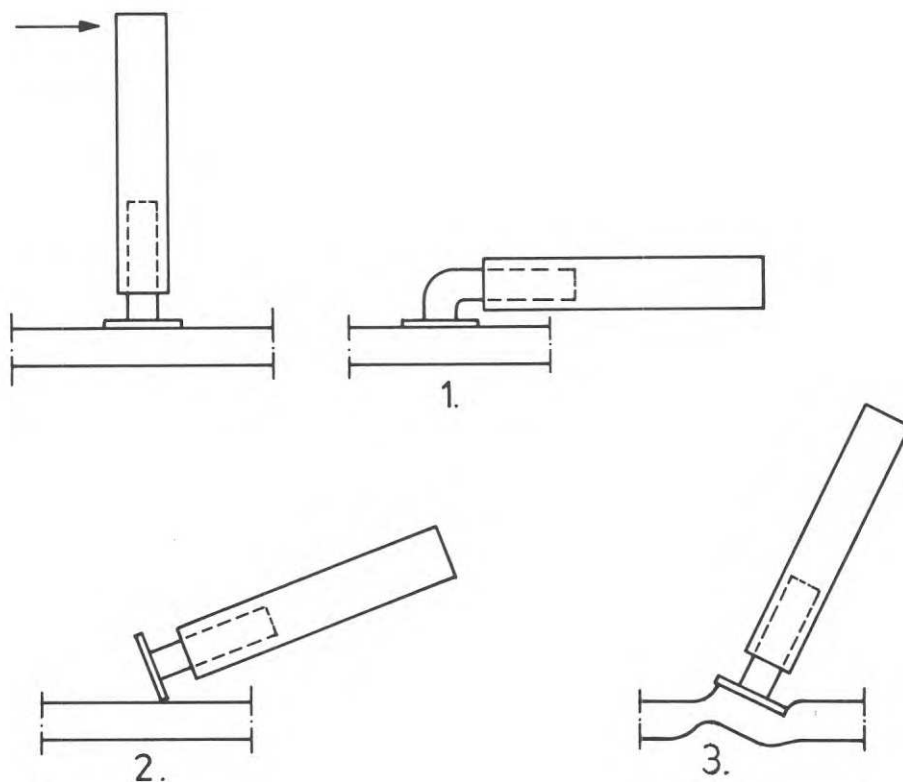


Fig.G14. Provningsmetod och olika brottyper.

Brottyp 1 är den önskvärda och verifierar att svetsen är överstark i förhållande till bultstammen.

Brottyp 2 bevisar att svetsen inte tagit. Anledningen kan vara att ytornas renhets- eller jämnhetskrav ej uppfyllts eller fel svetsspänning använts.

Brottyp 3 förekommer i mycket tunt material och visar att svetsen är överstark i förhållande till plåtmaterialet, men visar samtidigt att endast mindre påkänningar kan tillåtas. Om möjligt bör bultens fotdiameter ökas.

G8. LITTERATUR

- 1 Stud welding design and specifications. KSM division,  
Omark industries, inc. Moorestown, New Jersey.
- 2 C.H. Meader. Projection welded fasteners.  
Fasteners - design engineering series.  
Morgan - Grampian Ltd., Books Division 1969.
- 3 A.L. Phillips. Welding handbook section two.  
American welding society 1968.
- 4 B. Vretblad. Push-out-försök på studs med liten diameter.  
Institutionen för Brobyggnad, KTH, 1970.
- 5 Machine design, Fastening and joining issue, vol 39,  
June 15, 1967.



G9. BETECKNINGAR

$F$	= tvärlast	[kp]	
$F_{\text{till}}$	= tillåten tvärlast	[kp]	
$F_B$	= tvärlast vid brott	[kp]	
$F_{BS}$	= bultstams skjuvbrottlast	[kp]	
$P$	= axiell last på bult	[kp]	
$\delta$	= förskjutning	[mm]	
$t$	= plåttjocklek	[mm]	
$\sigma_S$	= flytgränsspänning	[kp/mm <sup>2</sup> ]	
$\sigma_B$	= brottgränsspänning	[kp/mm <sup>2</sup> ]	
$d$	= nominell bultdiameter	[mm]	
$a$	= lastresultants angreppsläge ovan plåtyta	[mm]	
$M_B$	= bults böjbrottmoment	[kpm]	
$A^*$	= fiktiv tvärsnittsytta	[mm <sup>2</sup> ]	
$d^*$	= fiktiv bultdiameter	[mm]	
$I^*$	= bults fiktiva tröghetsmoment	[mm <sup>4</sup> ]	
$M_V$	= maximalt på mutter tillåtet vridande moment	[kpcm]	

## H. SKJUTSPIKFÖRBAND

### H1. INLEDNING

Med skjutspikförband avses här fogningsmetoden, där förbands-  
element av stål eller aluminium sammanfogas med ståls pik, som  
appliceras med hjälp av en s k bultpistol.

Medan det ursprungliga utförandesättet baseras på en direkt påverkan  
av spiken genom den exploderande laddningen kännetecknas moderna  
bultpistoler av att laddningen påverkar en kolv, som i sin tur  
driver spiken. Genom denna typ av kraftöverföring är spikens egen-  
energi under skjutförloppet liten i förhållande till kolvens, och  
rörelsen avstannar snabbt efter det att spiken lämnat pistolen.  
Förfaringssättet tillåter en väsentligt noggrannare styrning av  
skjutförloppet med innehållande av såväl krav på fogningsresultatet  
som operatörens säkerhet.

Här nedan redovisade undersökningar stödjer sig i huvudsak på av  
tillverkaren (HILTI) uppgivna karakteristika för denna förbandstyp.  
I syfte att dels studera förbandets verkningsätt i bruks- och  
brottlaststadiet, dels att verifiera uppgivna hållfasthetsdata har  
ett fåtal egna försök utförts.

## H2. METODBESKRIVNING

Spikindrivningen via en kolv som påverkas av den exploderande laddningen sker antingen så att

- a) spik, kolv och patron står direkt efter varandra i verktygets pipa ("stående spik och kolv"), eller
- b) spik och kolv står i kontakt med varandra på avstånd från pipmynningen ("flygande spik och kolv"), eller
- c) spik och kolv är åtskilda med spiken i mynningen och kolven bakåt i pipan ("stående spik och flygande kolv").

Utgångshastigheten är vid alternativ a) och c) ca 60 m/sek och vid b) max. 100 m/sek.

Laddningen av pistolen sker antingen med laddningsstake eller automatiskt.

Skjutföremålet ("spiken") är av höghållfast stål ( $\sigma_B \approx 200 \text{ kp/mm}^2$ ) och förekommer som framgår av fig. H1 i diverse olika utföranden.

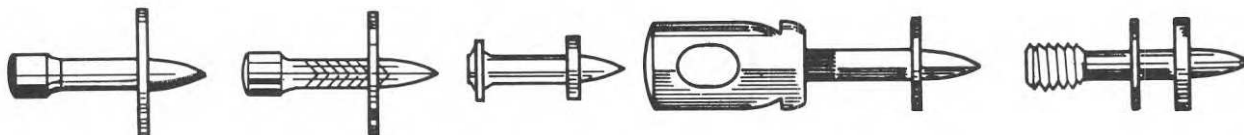


Fig.H1. Några olika spiktyper.

Bultpistol skall vara typgodkänd av Arbetarskyddsstyrelsen.

### H3. TILLÄMPNINGSSOMRÅDEN

Skjutspikförband har inom byggnadstekniskt område speciellt intresse vid sammanfogning av tunnväggiga konstruktionselement med grövre material, exempelvis vid fastsättning av tak- och väggplåt i takåsar och väggreglar av valsade profiler.

Som andra användningsområden kan nämnas stomkompletteringsarbeten med fastsättning av ståldetaljer i befintlig stålstomme (exempelvis upphängningsanordningar för installationer och undertak). Skjutspikförband bör företrädesvis utformas så att kraftöverföring sker via skjuvning i spikskaftet.

Skjutspik i nu aktuella tillverkningsformer är relativt korrosionskänslig (6 - 12  $\mu\text{m}$  zink) och bör därför inte utan kompletterande rostskydd användas vid utomhuskonstruktioner.

Beroende på spikdimension, laddningens styrka och förbands- materialets hållfasthet begränsas såväl fastsättningstjockleken som inträngningsdjupet. Några allmängiltiga regler för möjliga plåttjocklekar ges i avsnitt H6.

För närmare studium av ingående parameter hänvisas till bultpistol tillverkarens uppgifter.

#### H4. VERKNINGSSÄTT OCH BROTTBETEENDE

Montering av en skjutspik innebär att spiken med energi från en mindre sprängsats pressas genom de plåtar som skall förbindas. Under monteringsförloppet uppbyggs ett egenspanningstillstånd av sådan storlek att plåtmaterial i spikens närhet försätts i flyttillstånd.

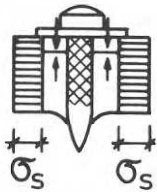


Fig.H2. Spänningar i plåtmaterial efter spiks montering.

Kontakttrycket mellan spikskafv och plåtmaterial medför att avsevärda skjuvkrafter kan överföras genom friktion.

Skjuvkrafternas riktning i de fall spik påverkas av utdragskraft eller utdragskraft och vridande moment framgår av fig. H3.

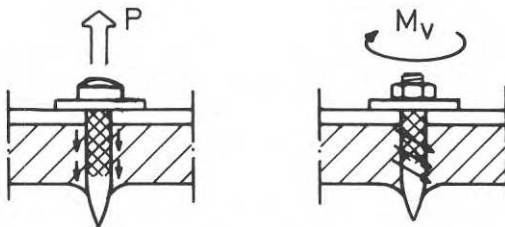


Fig.H3. Friktionskrafter vid utdragskraft resp. utdragskraft och vridande moment.

Av fig. H 4-5 framgår hur utdragsbrottlasten respektive vridbrottmomentet kan variera med plåttjockleken  $t$ .

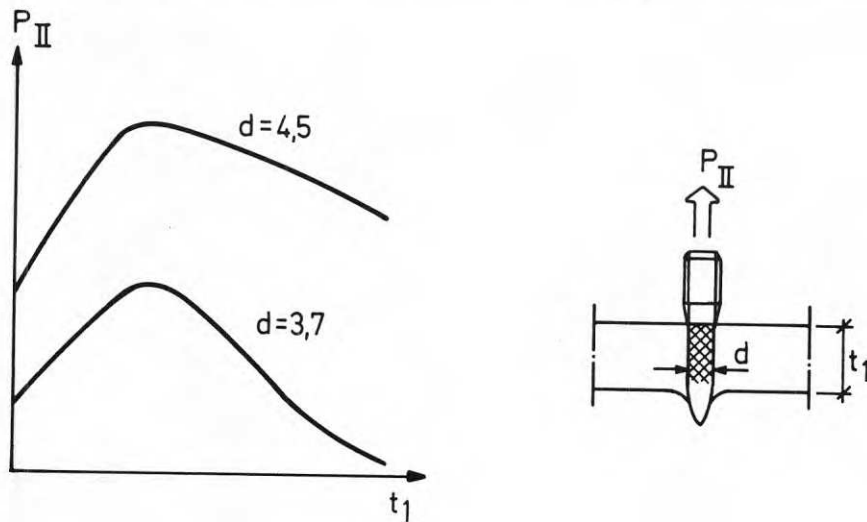


Fig.H4. Utdragskraften  $P_{II}$  som funktion av plåttjockleken  $t_1$ .

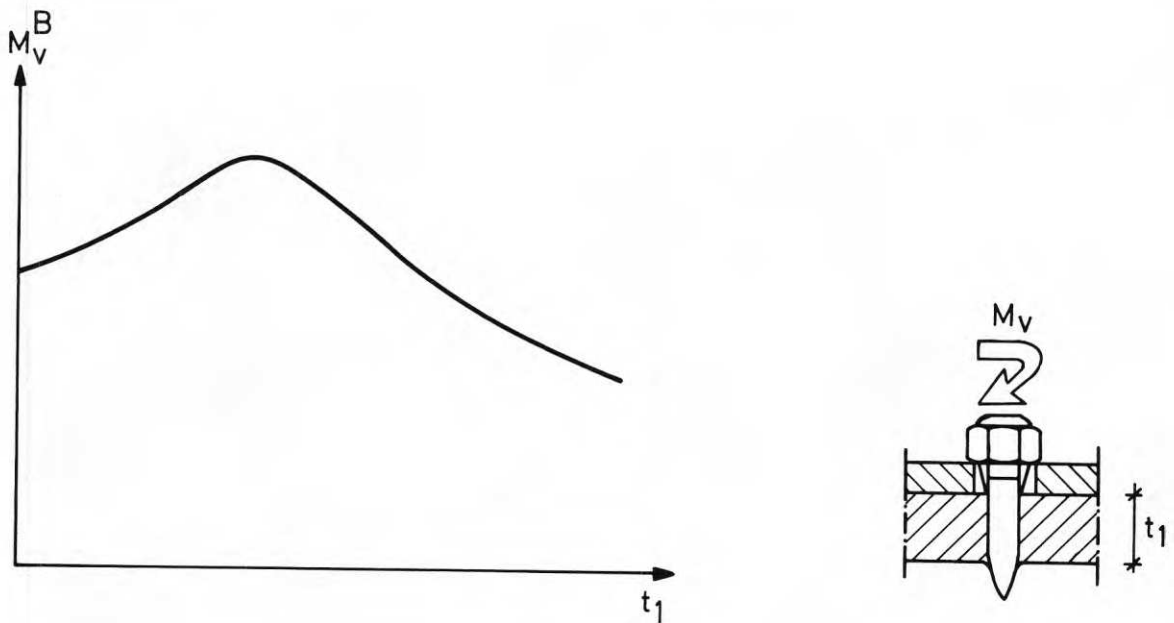


Fig.H5. Vridbrottmomentet  $M_v^B$  som funktion av plåttjockleken  $t_1$ .

Vid dragkrafter i de fogade plåtarnas plan kan ett antal olika brottyper urskiljas. Vilken brottypp som bestämmer den lastupptagande förmågan bero på förbandets utformning, spikens skaftdiameter, plåtarnas tjocklek samt spik och plåtars materialegenskaper.

De olika brottyperna framgår av fig. H6.

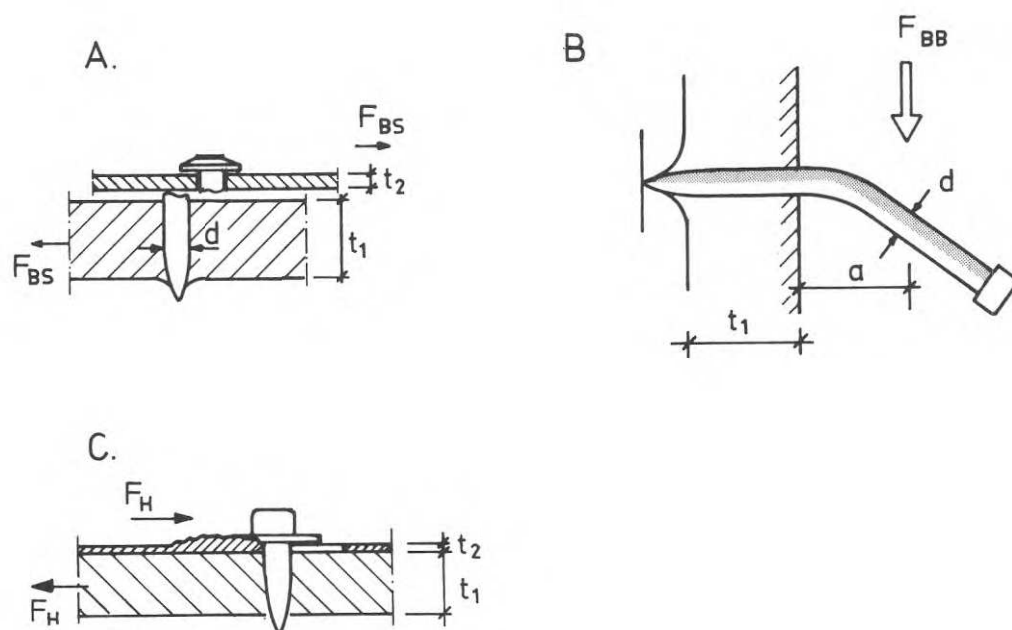


Fig.H6. Olika brottyper vid tvärlast.

- A. Skjuvbrott på spikskافت sker när tvärlasten  $F$  uppnår värdet

$$F_{BS} = \frac{\pi d^2}{4} \cdot 0,6 \sigma_B$$

$\sigma_B$  är spikmaterialets dragbrottsspänning.

- B. Böjbrott på spikskافت inträffar när tvärlasten  $F$  uppnår värdet

$$F_{BB} = 0,14 \cdot \frac{d^3 \cdot \sigma_B}{a}$$

varvid förutsatts att spikskافتet genomplasticerats och sträckgränsspänningen  $\sigma_s = 0,85 \sigma_B$ .

- C. Hålkantflytning kännetecknas av att ett spår bildas i plåtmaterialen. Jämfört med exempelvis ett skruv- eller nitförband erhålles vid belastning ett något annorlunda lastförskjutningsförlopp.

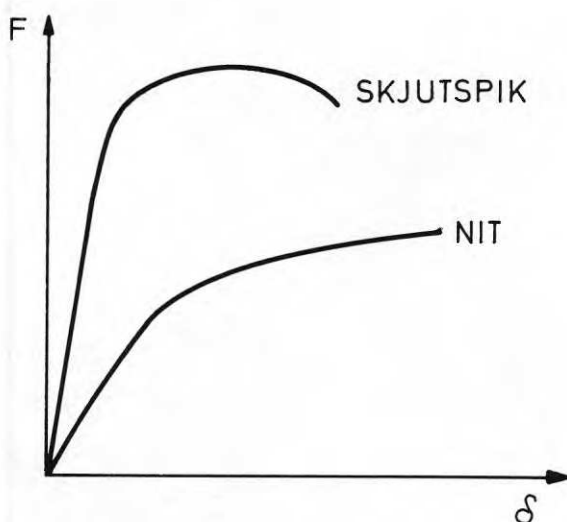


Fig.H7. Karakteristiskt last-förskjutningsförlopp vid brott genom hålkantflytning.

Beräkningsmässig bestämning av brottlasten vid hålkantflytning kan enligt referens [1] ske genom sambandet

$$F_H = 17 \cdot t_2 \cdot \sigma_B \quad [\text{kp}]$$

$\sigma_B$  är plåtmaterialens brottgränsspänning i  $\text{kp/mm}^2$  och  $t_2$  är plåtmaterialens tjocklek i mm. Vid jämförelse med motsvarande samband för exempelvis nit, framgår att brottlasten för skjutspikförbandet, åtminstone vid mycket tunn plåt, är avsevärt större. Skillnaden torde bero på att vid skjutspikförband tvärlast i större utsträckning överförs genom friktion. Ytterligare tvärlast kan tänkas överförd genom dymlingsverkan orsakad av att en viss deformation av fogdelarna sker vid monteringen av spiken. Båda dessa effekter avtar med plåttjockleken  $t_2$  vilket också återspeglas i den beräkningsmässiga skillnaden i brottlast mellan skjutspik och nit.



## H5. EXPERIMENTELLA UNDERSÖKNINGAR

Avsnittet beskriver de experimentella undersökningar som utförts för att få ett underlag för bestämning av acceptabel lastnivå, samt för att verifiera av tillverkare uppgivna hållfasthetsdata.

Provningarna omfattar totalt 10 provkroppar fördelade på valsblank och varmförzinkad stålplåt. Vid försöken varierades plåttjocklek och spikdiameter.

### 5.1 Provkroppsutformning

Med hänsyn tagen till aktuella tillämpningar utformades provkroppen som ett enkelt överlappsförband med en tunn och en något tjockare plåt. Värderna på parametrarna  $t_2$  och  $d$  i fig. H8 anges i tabell 1 i avsnitt 5.3.

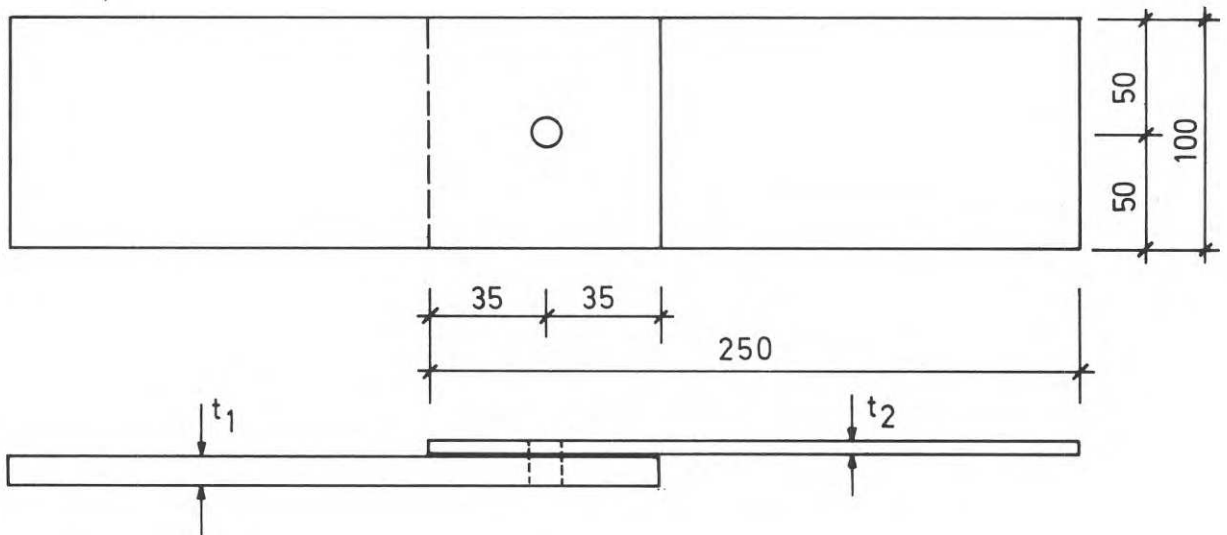


Fig.H8. Provkropp.

## 5.2 Material till förband

Följande grundmaterial användes vid försöken:

$t_2 = 0,8$	SIS 1140 - 32	valsblankt
$t_2 = 2,0$	SIS 1140 - 32	valsblankt
$t_2 = 5,0$	SIS 1311	valsblankt
$t_2 = 1,5$	DOGAL FA	150 g zink per $m^2$ enkelsida

Spikarna var av härdat stål med en genomsnittlig draghållfasthet  $\sigma_B = 200 \text{ kp/mm}^2$ .

## 5.3 Provningsomfattning och försöksresultat

Provningarna omfattar en registrering av sambandet mellan tvärlasten  $F$  och korresponderade förskjutningar  $\delta$ , uppmätta över förbandet med 115 mm mätlängd.

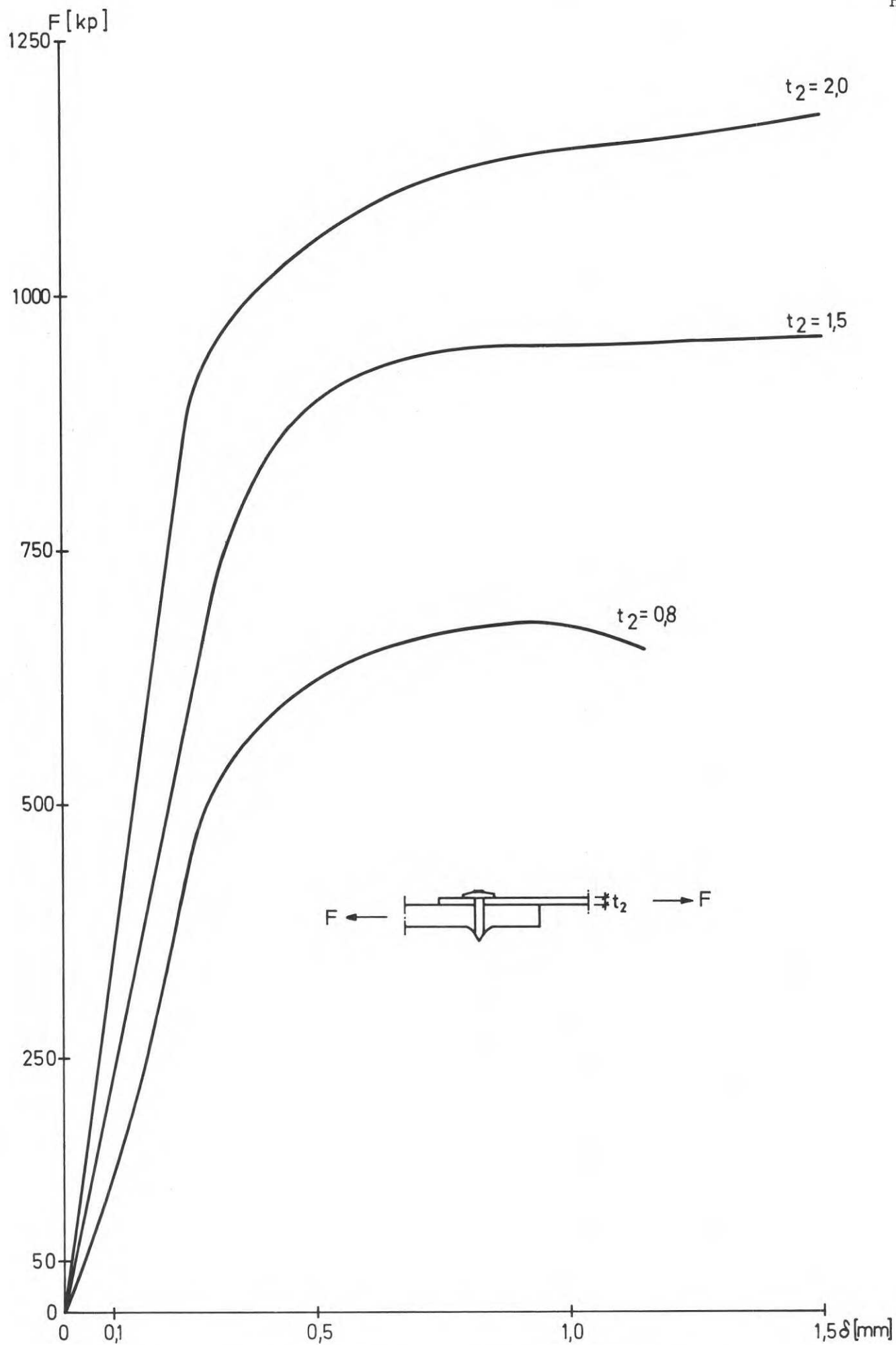
En sammanställning av maximala tvärlaster med avseende på plåt-tjockleken  $t_2$  och spikdiametern  $d$  ges i tabell 1.

För samtliga provkroppar utbildades brott genom hålkantflytning.



Fig.H9. Brott genom hålkantflytning.

Av fig. H 10 framgår karakteristiska  $F - \delta$  samband från provningarna.

Fig.H10. Karakteristiska  $F$ - $\delta$  - samband för enkel överlappsfog.

Tabell 1: Förbandsparametrar samt registrerade max. laster.

Provkropps- nummer	gods- tjocklek $t_2$ [mm]	spik- diameter $d$ [mm]	spikbeteckning	patronbeteckning	max.last [kp]
1	0,8	3,7	ENK - 14 S 12	KAL 6,8/11 - RÖD	710
2	0,8	3,7	ENK - 14 S 12	KAL 6,8/11 - GUL	705
3	0,8	3,7	ENK - 14 S 12	KAL 6,8/11 - GUL	677
4	0,8	3,7	ENK - 14 S 12	KAL 6,8/11 - GUL	653
5	2,0	4,5	EDS - 19 P 10	KAL 6,8/18 - GUL	1520
6	2,0	4,5	EDS - 19 P 10	KAL 6,8/18 - GUL	1280
7	2,0	4,5	EDS - 19 P 10	KAL 6,8/18 - GUL	1220
8	1,5	3,7	ENK - 14 S 12	KAL 6,8/11 - GUL	960
9	1,5	3,7	ENK - 14 S 12	KAL 6,8/11 - GUL	975
10	1,5	3,7	ENK - 14 S 12	KAL 6,8/11 - GUL	880

#### 5.4 Diskussion av provningsresultat

Av kap. H4 framgår att det är ett flertal faktorer som påverkar ett skjutspikförbands lastupptagande förmåga. Det är därför svårt att med ledning av de fåtal försök som utförts dra slutsatser om de olika faktorernas relativa inverkan. I fig. H 11 har de registrerade brottlasterna ställts i relation till plåttjockleken  $t_2$ . Brottlasterna har omformats för att gälla ett referensmaterial med brottgränsspänningen  $\sigma_B = 37 \text{ kp/mm}^2$ . Vid omformningen har antagits direkt proportionalitet mellan brottlast och brottgränsspänning.

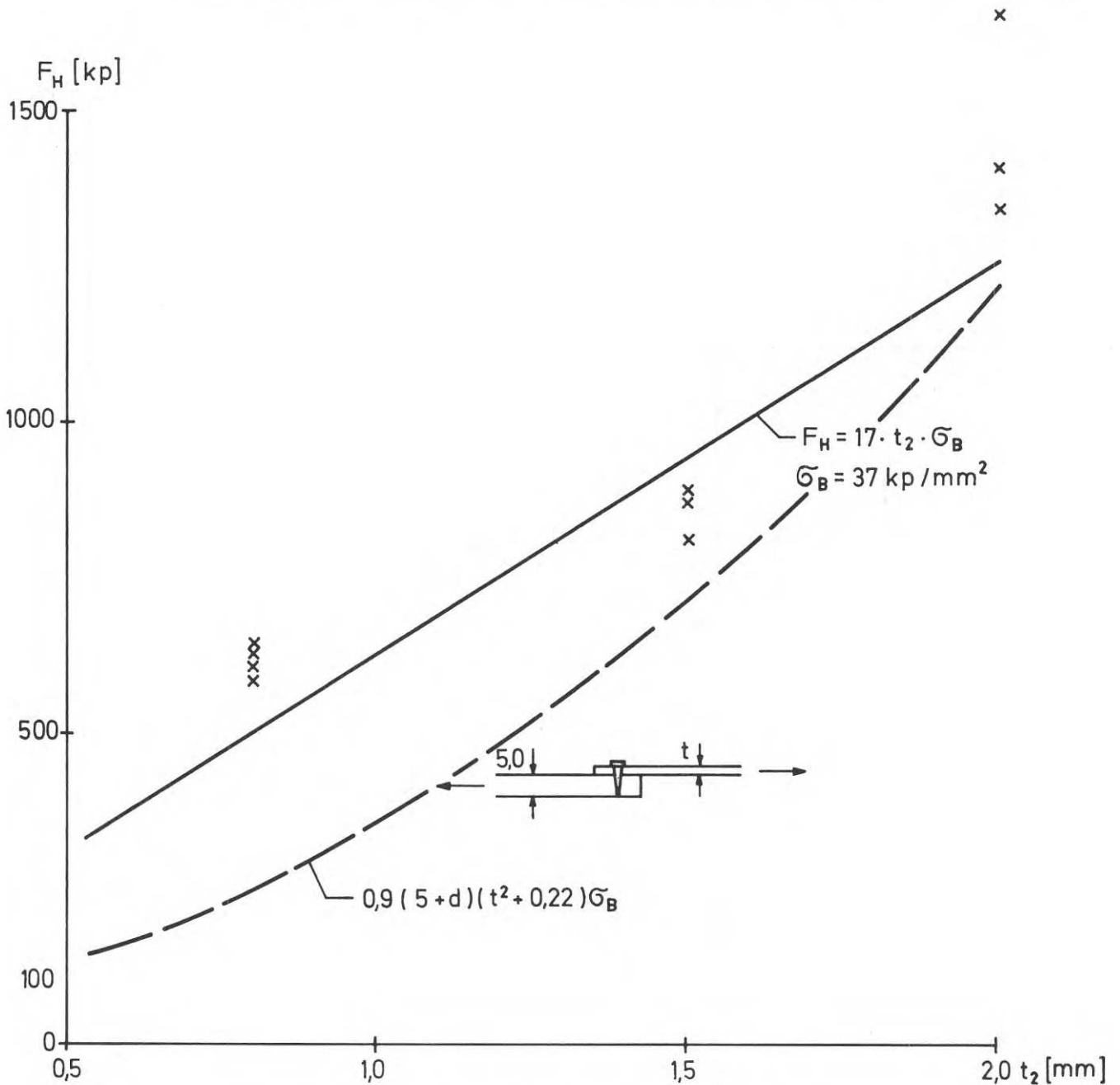


Fig.H11. Brottlasten  $F_H$  som funktion av plåttjockleken  $t$ .

I fig. H 11 har inlagts föreslagna brottlastkurvor för skjutspik (heldragen) och nit (streckad). Den beräkningsmässiga skillnaden som framgår av kurvorna förklaras av att vid skjutspikförband, jämfört med nitförband, en större kraftandel överförs genom friktion, samtidigt som en viss dymlingsverkan uppstår genom att plåtarnas kanter deformerar vid spiks montering. Svårigheten att kontrollera klämkraften vid skjutspikförband medför emellertid att brottsäkerheten vid dimensionering bör väljas så stor att en viss säkerhet mot brott innehålls även om klämkraften helt uteblir. Brottlasten för skjutspikförband vid utebliven klämkraft antas beräkningsmässigt bestämd av den i fig. H 11 streckade kurvan.

## H6. DIMENSIONERING AV SKJUTSPIKFÖRBAND

Vid dimensionering av skjutspikförband, skall vid belastning i plåtars plan (tvärlast) hänsyn tas till brottyperna böj- och skjuvbrott på spik samt hålkantflytning.

Tillåten tvärlast med hänsyn till böj- och skjuvbrott på spik kan avläsas som funktion av lastavståndet  $a$  i fig. H 12. Den tillåtna tvärlasten har bestämts med ett antagande om 2,5-faldig säkerhet mot brott. För små  $a$ -värden har hänsyn tagits till lastens utbredning i höjddled.

Tillåten belastning med hänsyn till hålkantflytning kan bestämmas ur sambandet

$$F_H^{\text{till}} = 4,9 \cdot t_2 \cdot \sigma_B$$

Säkerheten mot hålkantflytning har härvid satts till 3,5. Den relativt höga säkerhetsfaktorn motiveras av svårigheten att i praktiken kontrollera i vilken omfattning klämkraft och dymlingsverkan aktiveras vid montering av spik.

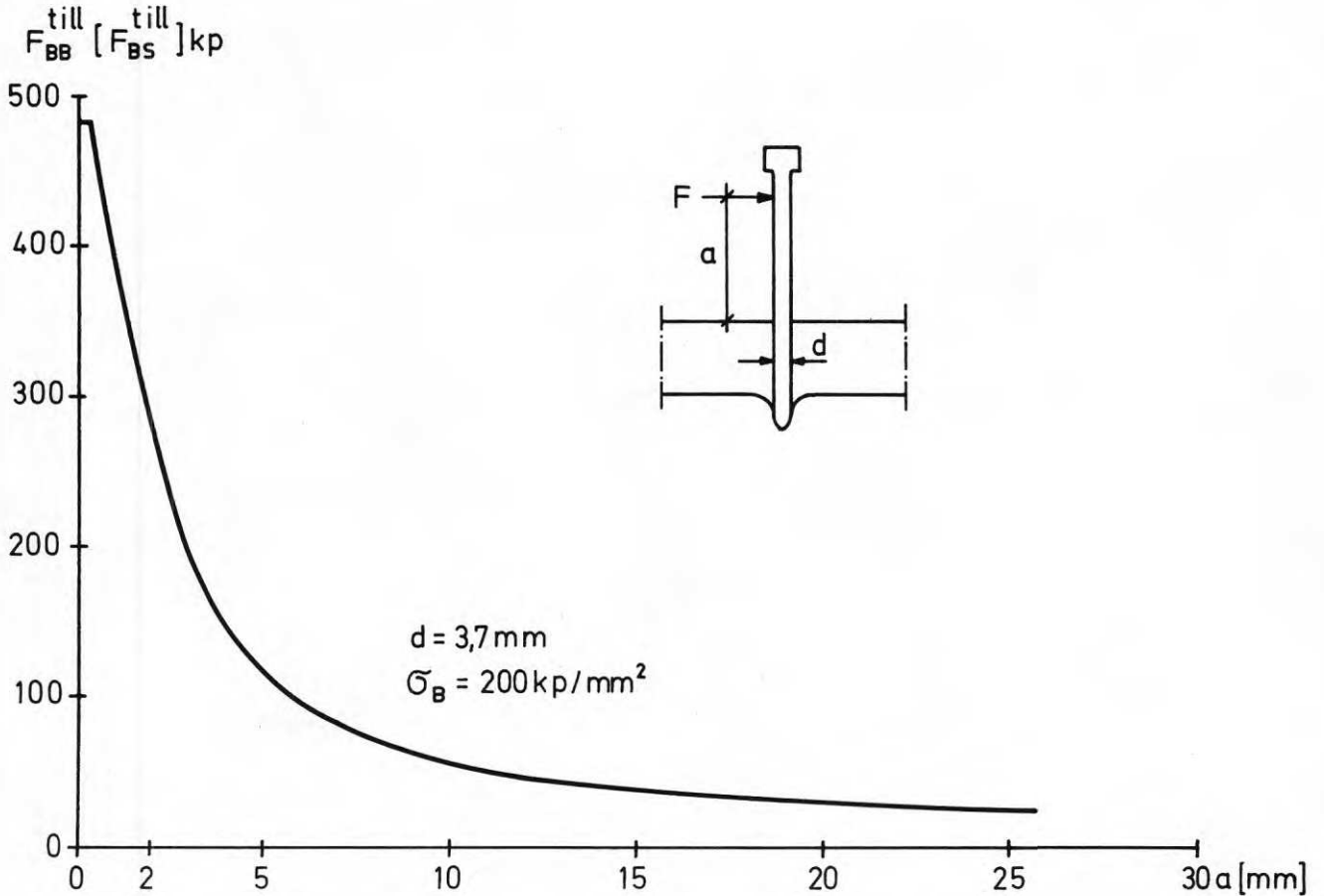
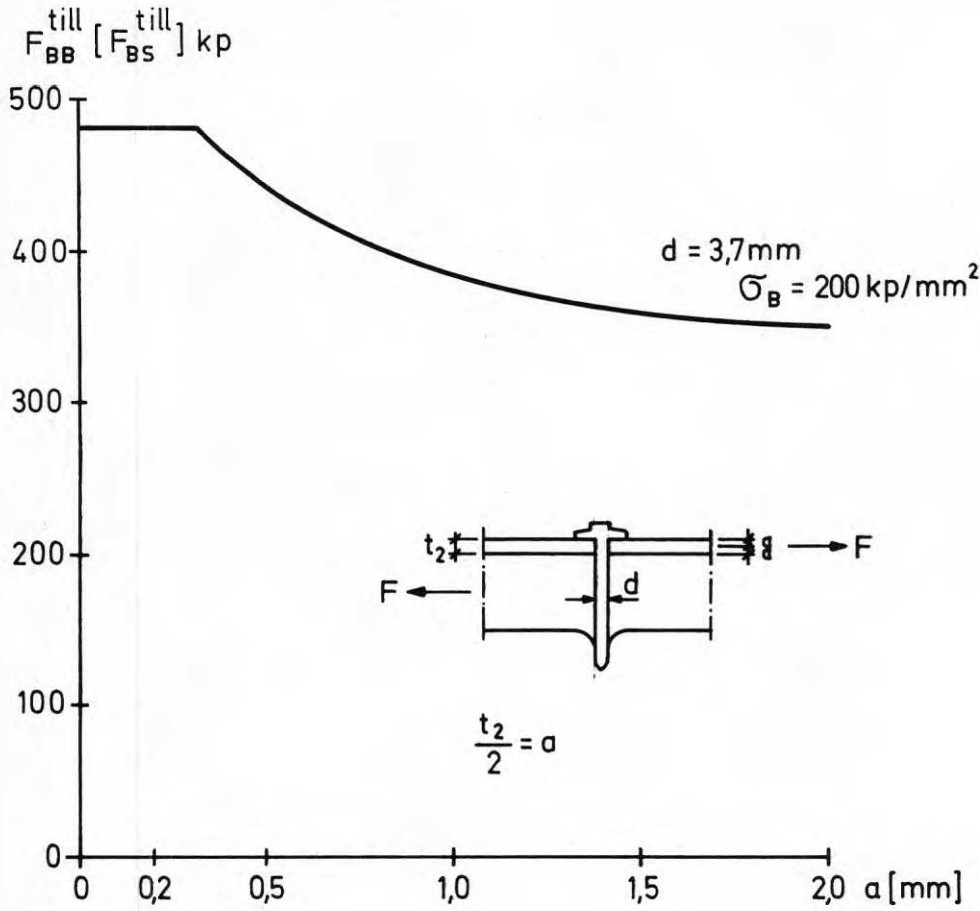


Fig.H12. Tillåten tvärlast med hänsyn till böj- och skjuvbrott på spik som funktion av lastavståndet  $a$ .



Vid dimensionering av skjutspikförband för belastning vinkelrät mot plåtplanet skall hänsyn tas till ett antal olika brottyper nämligen: plåtvikningsbrott ( $P_I$ ), utdragsbrott ( $P_{II}$ ) och överdragsbrott ( $P_{III}$ ). Den lägsta av de tillåtna belastningarna för de olika brottyperna utgör den dimensionerande belastningen för förbandet. I kap. B Nitförband behandlas ytterligare några brottyper vilka emellertid vid skjutspikförband saknar aktualitet.

Tillåten belastning med hänsyn till plåtvikningsbrott kan bestämmas enligt avsnitt 5.7 - 5.8 i kap. B Nitförband.

Tillåten belastning med hänsyn till utdragsbrott kan med 2,5-faldig säkerhet bestämmas ur diagrammet i fig. H 13.

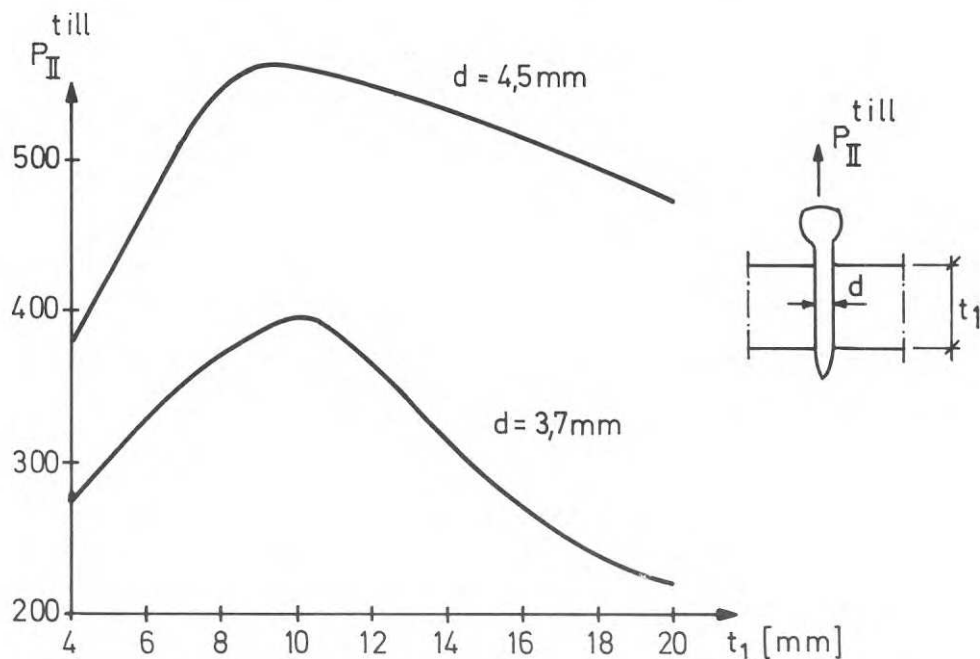


Fig.H13. Tillåten axiell belastning på spik med hänsyn till spikens utdragning.

Tillåten belastning med hänsyn till överdragsbrott kan med 3,0-faldig säkerhet beaktas genom sambandet

$$P_{III}^{\text{till}} = \frac{14}{3} t_2^2 \cdot \sigma_B = 4,7 \cdot t_2^2 \cdot \sigma_B \quad [\text{kp}]$$

Det bör påpekas att de i avsnittet redovisade sambanden för bestämning av dimensionerande laster avser HILTI-skjutspik och HILTI-utrustningar och bör ej okritiskt användas för andra typer av spik och utrustningar.

Det bör framhållas att fogning med skjutspik normalt endast är möjlig inom nedan angivna intervall på tjocklekarna  $t_1$  och  $t_2$ .

#### Ø 3,7 mm skaftdiameter

$$\begin{aligned} \text{stål} \quad & 4,0 \leq t_1 \leq 10,0 \text{ mm} \\ & t_2 \leq 4,0 \text{ [vid enkel plåt]} \end{aligned}$$

Vid infästning av mer än en plåt skall emellertid den sammanlagda tjockleken vara mindre än 2,8 mm.

Exempel: Vid infästning av fyra lika tjocka plåtar är den maximala plåttjockleken 0,7 mm ( $4 \times 0,7 = 2,8$  mm).

$$\text{aluminium} \quad t_2 \leq 7,0 \text{ mm [vid enkel plåt]}$$

Vid infästning av mer än en plåt skall emellertid den sammanlagda tjockleken vara mindre än 4,0 mm.

#### Ø 4,5 mm skaftdiameter

$$\begin{aligned} \text{stål} \quad & t_1 > 6,0 \text{ mm} \\ & t_2 < 7,0 \text{ mm [vid enkel plåt]} \\ \text{aluminium} \quad & t_2 < 7,0 \text{ mm [vid enkel plåt]} \end{aligned}$$

Vid infästning av mer än en plåt skall emellertid den sammanlagda tjockleken vara mindre än 4,0 mm (gäller både stål och aluminium).

H7. LITTERATUR

- 1 Profilblechbefestigung mit HILTI Direktbefestigungs System  
Technische Information HILTI International 6.4, 1970
- 2 Mechanische Eigenschaften von HILTI - Bolzen und Naegeln.  
Technische Information HILTI International 28.7, 1970
- 3 Bultpistoler - kurskompendium, Svenska Byggnadsarbetareförbundet  
september 1969.

H8. BETECKNINGAR

$F$	= last i plåtars plan (tvärlast)	[kp]
$P$	= last vinkelrät plåtars plan	[kp]
$M_V^B$	= vridbrottmoment	[kpcm]
$F_H$	= brottlast vid brott genom hålkantflytning	[kp]
$F_{BS}$	= brottlast vid skjuvbrott på spik	[kp]
$F_{BB}$	= brottlast vid böjbrott på spik	[kp]
$F_H^{till}$	= tillåten tvärlast m h t hålkantflytning	[kp]
$F_{BS}^{till}$	= tillåten tvärlast m h t skjuvbrott på spik	[kp]
$F_{BB}^{till}$	= tillåten tvärlast m h t böjbrott på spik	[kp]
$P_I$	= brottlast vid plåtvikningsbrott	[kp]
$P_{II}$	= brottlast vid utdragsbrott	[kp]
$P_{III}$	= brottlast vid överdragsbrott	[kp]
$P_I^{till}$	= tillåten belastning m h t plåtvikningsbrott	[kp]
$P_{II}^{till}$	= tillåten belastning m h t utdragsbrott	[kp]
$P_{III}^{till}$	= tillåten belastning m h t överdragsbrott	[kp]
$\sigma_S$	= sträckgränsspänning	[kp/mm <sup>2</sup> ]
$\sigma_B$	= brottgränsspänning	[kp/mm <sup>2</sup> ]
$t_1$	= grövre plåts tjocklek	[mm]
$t_2$	= tunnare plåts tjocklek	[mm]
$d$	= spiks skaftdiameter	[mm]
$\delta$	= förskjutning mellan plåtar	[mm]
$a$	= lastavstånd	[mm]



UDK 693.8:389.6  
624.078  
621.79

SfB M  
N  
Xt 6  
Xt 3

Nyckelord:

*tunnplåt (stål, aluminium),  
bärande konstruktion,  
förband, dimensionering  
utförande*

*förband, skruvförband, nit-  
förband, svetsförband,  
limförband, försöksnorm,  
dimensionering, utförande,  
kontroll, provning.*

Författare:

Rolf Bæhre, tekn.dr och  
Lennart Berggren, civ.ing.  
Tekn.dr Arne Johnson  
Ingenjörbyrå AB,  
Stockholm.

Distribution:

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

Pris: 10 kronor

Utgivare:

Statens institut för bygg-  
nadsforskning, Stockholm.

# TUNNPLÅTS- FÖRBAND

*Dimensionering, utförande, kontroll och provning av för-  
bindningar i tunnplåtskonstruktioner*

*I avvaktan på planerade svenska normer inom tunnplåts-  
området har detta informationsblad sammanställts för att  
vara ett hjälpmedel vid dimensionering, utförande, kontroll  
och provning av tunnplåtsförband. Materialet har karaktären  
av försöksnorm, och har för husbyggnadsområdet typgodkänts  
av Statens planverk som dimensioneringsunderlag.  
Litteratur, utländska normer, egna försök och erfarenheter  
som legat till grund för innehållet redovisas i Byggeforsk-  
ningens rapporter om hopfogning av tunnväggiga stål- och  
aluminiumkonstruktioner (R4:1969 och R30:1971).  
Det är väsentligt att erfarenheter från materialets tillämpning  
tillvaratas och beaktas vid upprättandet av SBN-normen.*

## STATENS PLANVERK

TYPGODKÄNNANDE NR T. 468/71

Svensk Byggnorm - Godkännande

SBN-G avd 2

Sakord: Tunnbrätsförband, skruvförband, UDK 693.8:389.6, 629.078, 621.79  
 nitförband, friktionsförband, punkt-  
 svetsförband SFB M N Xt6 Yt3

TUNNPLÅTSFÖRBAND

Typgodkännandebevis T 468/71

- Objekt** Rekommendationer för beräkning, dimensionering, utförande, kontroll och provning av förbindningar i tunnbrätskonstruktioner.
- Sökande** Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm
- Tillhörande handling** "Tunnbrätsförband", Informationsblad B14:1971 från byggeforskningen, utarbetad av professor Rolf Baehre och civilingenjör Lennart Berggren.
- Godkännande** Under nedan angivna förutsättningar godtas reglerna i den tillhörande handlingen för dimensionering och utförande av förband i tunnbrätskonstruktioner i anslutning till föreskrifterna i Svensk Byggnorm (SBN 67) avd 2 och planverkets publikation nr 8 Stålbyggnormer. Dimensioneringsreglerna gäller för konstruktion som huvudsakligen utsätts för statisk last (konstruktionsklass 1 enligt Stålbyggnadsnorm 70). Godkännande av limförband enligt avd 7 i informationsbladet prövas från fall till fall av vederbörande myndighet.
- Kontroll** Byggek kontroll skall ske enligt SBN 12:13 varvid kontrollens omfattning bestäms av konstruktör i samråd med vederbörande myndighet. Punktsvetsförband enligt avd 5 och 6 skall underkastas tillverkningskontroll enligt SBN 12:12.
- Kommentarer** I informationsbladets avd 1 och 2 hänvisas till "Normer för skruv-, friktions- och nitförband" (StBK-N3) angående krav på skruvar, muttrar och underläggsbrickor, tillåten last för friktionsförband vid kombinerad tvärkraft och dragkraft samt utförande och kontroll av friktionsförband. I avvaktan på utgivning av StBK-N3 kan motsvarande regler i planverkets publikation nr 8 tillämpas. Som alternativ till de i avd 2 angivna samhörande värdena på åtdragningsmoment och förspänningskraft för friktionsförband kan motsvarande värden i StBK-N3 tillämpas. I StBK-N3 anges även värden för skruv med metrisk gänga. För tunnbrät utan garanterad brottgräns får tillsvidare antas  $\sigma_B = 1,3 \sigma_{su}$ , då  $\sigma_{su} \leq 32 \text{ kp/mm}^2$ . För dimensionering erforderliga hållfasthetsvärden för nitar och skruvar enligt avd 3 och 4 prövas av vederbörande myndighet. I samband med typgodkännande av nitar och skruvar för tunnbrätskonstruktioner kan provning av dessa värden utföras av planverket.
- Giltighet** Godkännandet gäller t o m den 30.6.1973.

Stockholm den 31 augusti 1971.

*Göte Åström*  
 Göte Åström

*Sven Olof Björk*  
 Sven Olof Björk

Här presenterat dimensioneringsunderlag och tillhörande kravspecifikationer avser sådana förband, där tunnbrät inom tjockleksområdet 0,5–4 mm ingår som lastupptagande förbandselement. Motsvarande tjockleksområde täcks för närvarande inte av stålbyggnadsnormerna.

Synpunkter på föreliggande normförslag bör lämnas till Stålbyggnadsinstitutet (Drottning Kristinas väg 48, 114 28 Stockholm), som förklarar sig berett att medverka till en spridning av erfarenhetsunderlaget.

Informationsbladet ingår som en del i rapport R30:1971, Hopfogning av tunnväggiga stål- och aluminiumkonstruktioner 2, men utges även separat.

## Innehåll

- 1 SKRUVFÖRBAND (SKJUVFÖRBAND) 4
  - 1.1 Giltighetsområde 4
  - 1.2 Grundmaterial 4
  - 1.3 Material till skruvförband 4
  - 1.4 Dimensionering av skruvförband 4
  - 1.41 Säkerhet mot skjuvbrott i skruvskaft 4
  - 1.42 Säkerhet mot otillåtet hålkanttryck 5
  - 1.43 Säkerhet mot dragbrott i plåttvärsnitt 5
  - 1.44 Säkerhet mot avskärningsbrott i plåttvärsnitt 5
  - 1.5 Konstruktiv utformning av skruvförband 6
  - 1.6 Utförande och kontroll 6
  
- 2 FRIKTIONSFÖRBAND 7
  - 2.1 Giltighetsområde 7
  - 2.2 Grundmaterial 7
  - 2.3 Material till skruvförband 7
  - 2.4 Dimensionering av friktionsförband 7
  - 2.41 Säkerhet mot uppnående av glidlast 7
  - 2.42 Säkerhet mot otillåtet hålkanttryck 8
  - 2.43 Säkerhet mot dragbrott i plåttvärsnitt 8
  - 2.5 Konstruktiv utformning av friktionsförband 8
  - 2.6 Utförande och kontroll 8
  - 2.7 Bestämning av friktionskoefficient genom provning 8
  
- 3 NITFÖRBAND 10
  - 3.1 Giltighetsområde 10
  - 3.2 Grundmaterial 10
  - 3.3 Nitmaterial och nittyper 10
  - 3.4 Dimensionering av nitförband 10
  - 3.41 Säkerhet mot nitbrott 10
  - 3.42 Säkerhet mot snedställningsbrott och hålkantflytning 11
  - 3.43 Säkerhet mot sektionsbrott 11
  - 3.44 Säkerhet mot kantbrott 11
  - 3.45 Säkerhet mot fläkbrott (last vinkelrätt mot plåtplanet) 11
  - 3.5 Konstruktiv utformning av nitförband 12
  - 3.6 Nitningsutförande och kontroll 12
  - 3.7 Provning av nitförband 13
  
- 4 SKRUVFÖRBAND 14
  - 4.1 Giltighetsområde 14
  - 4.2 Grundmaterial 14
  - 4.3 Skruvmaterial och skruvtyper 14
  - 4.4 Dimensionering av skruvförband 14
  - 4.41 Säkerhet mot skruvbrott 14
  - 4.42 Säkerhet mot snedställningsbrott och hålkantflytning 15
  - 4.43 Säkerhet mot sektionsbrott 15
  - 4.44 Säkerhet mot kantbrott 15
  - 4.45 Säkerhet mot fläkbrott (last vinkelrätt mot plåtplanet) 16
  - 4.5 Konstruktiv utformning av skruvförband 16
  - 4.6 Skruvningsutförande och kontroll 16
  - 4.7 Provning av skruvförband 17
  
- 5 PUNKTSVETSFÖRBAND (MOTSTÅNDSSVETSNING) 18
  - 5.1 Giltighetsområde 18
  - 5.2 Grundmaterial 18
  - 5.3 Svetsutrustning 18
  - 5.4 Dimensionering av punktsvetsförband 19
  - 5.41 Säkerhet mot skjuvbrott, hålkantflytning och snedställningsbrott 19
  - 5.42 Säkerhet mot sektionsbrott 20
  - 5.43 Säkerhet mot kantbrott 20
  - 5.5 Konstruktiv utformning av punktsvetsförband 20
  - 5.6 Utförande och kontroll 21
  - 5.7 Provning av punktsvetsförband 22
  
- 6 PUNKTSVETSFÖRBAND (MIG-PUNKTSVETSNING) 23
  - 6.1 Giltighetsområde 23
  - 6.2 Grundmaterial 23
  - 6.3 Svetsutrustning 23
  - 6.4 Dimensionering av punktsvetsförband 23
  - 6.41 Säkerhet mot skjuvbrott 23
  - 6.42 Säkerhet mot snedställningsbrott 23
  - 6.43 Säkerhet mot sektionsbrott 24
  - 6.5 Konstruktiv utformning av punktsvetsförband 25
  - 6.6 Utförande och kontroll 25
  - 6.7 Provning av punktsvetsförband 25
  
- 7 LIMFÖRBAND 26
  - 7.1 Giltighetsområde 26
  - 7.2 Grundmaterial 26
  - 7.3 Material till limförband 26
  - 7.4 Utförande av limförband 26
  - 7.41 Förbehandling 26
  - 7.42 Limningsutförande och härdning 26
  - 7.43 Efterbehandling 27
  - 7.5 Dimensionering av limförband 27
  - 7.6 Konstruktiv utformning 27
  - 7.7 Provning och kontroll 28
  - 7.8 Provkroppsutformning 28



# 1 Skruvförband (skjuvförband)

## 1.1 Giltighetsområde

Med skruvförband avses här statiskt belastat förband, där den på förbandet verkande tvärlasten  $F$  överförs via hållkanttryck mellan skruvstammen och hållkanten samt via skjuvspänningar i skruvstammen (skjuvförband). I skruvförband ingående skruvar skall vara försedda med underläggsbricka vid såväl skruvskalet som mutter.

### Anmärkning

Medgällande bestämmelser: Stålbyggnadsnorm StBK-N3, "Skruv-, friktions- och nitförband."

## 1.2 Grundmaterial

Grundmaterial till kraftupptagande tunnplåtskonstruktioner skall vara hållfasthetsgaranterat ifråga om sträckgräns  $\sigma_S$  och dragbrotthållfasthet  $\sigma_B$ .

### Anmärkning

Tunnplåt är f.n. endast undantagsvis SIS-normerat i hållfasthetshänseende. Vid icke-normerat material förutsätts att hållfasthetsvärden för respektive material styrks på liknande sätt som föreskrivs i Stålbyggnadsnormerna.

## 1.3 Material till skruvförband

Skruvar, muttrar och underläggsbrickor skall uppfylla kraven i Stålbyggnadsnorm StBK-N3 under avsnitt 11:212 "Tekniska bestämmelser för skruvförband".

## 1.4 Dimensionering av skruvförband

Dimensionering av skruvförband skall ske med beaktande av aktuella brottfenomen, varvid det minsta värdet på tillåten last, bestämt med utgångspunkt från nedan angivna föreskrifter, är dimensionerande.

### 1.41 Säkerhet mot skjuvbrott i skruvskaft

Vid skruvförband, där bearbetningen för skruvgången inkl. gängutloppet slutar utanför godsytan (jfr StBK-N3) gäller bestämmelserna enligt Stålbyggnadsnormerna (typ A). I det fall då gängor ligger innanför godset skall tillåten spänning reduceras i enlighet med tabell 1.1 (typ B).

Det skall påvisas att aktuell skjuvspänning i skruv beräknad med utgångspunkt från sambandet

$$\tau_s = \frac{F}{n \cdot m \cdot \frac{d^2 \pi}{4}} \text{ är mindre eller högst lika med } \tau_{s, \text{till}} \text{ enligt tabell 1.1.}$$

Härvid är

$F$  = aktuell tvärlast

$d$  = skruvens nominella diameter

$n$  = antal skruvar

$m$  = antal skär.

Tabell 1.1. Tillåtna skjuvspänningar ( $\text{kp/mm}^2$ ) i skruvmaterial. ( $v$  = vanligt belastningsfall; exc = exceptionellt belastningsfall)

Skruvförbands- klass	Skruv- kvalitet	Flerskärigt förband				Enskärigt förband			
		Typ A		Typ B		Typ A		Typ B	
		$v$	exc	$v$	exc	$v$	exc	$v$	exc
S 1	4.6	10,0	11,5	9,0	10,5	9,0	10,5	8,0	9,0
	5.8	15,0	17,0	13,5	15,5	13,5	15,5	12,0	14,0
	8.8	22,0	25,5	20,0	23,0	20,0	23,0	18,0	20,5
S 2	4.6	12,0	14,0	10,5	12,5	10,5	12,5	9,5	11,0
	5.8	18,0	21,0	16,0	19,0	16,0	19,0	14,5	17,0
	8.8	26,0	30,0	23,5	27,0	23,5	27,0	21,0	24,0

1.42 *Säkerhet mot otillåtet hållkantryck*

Hållkantrycket får högst uppgå till i tabell 1.2 angivna tillåtna spänningar med avseende på skruvmaterialet, samt i tabell 1.3 redovisade tillåtna spänningar vid grundmaterialets hålkant.

Hållkantrycket beräknas med utgångspunkt från sambandet

$$\sigma_H = \frac{F}{n \cdot m \cdot d \cdot t}, \text{ varvid } t \text{ avser minsta godstjocklek i förbandet. (Övriga beteckningar enligt 1.41.)}$$

Tabell 1.2. Tillåtet hållkantryck (kp/mm<sup>2</sup>) vid skruvmaterial.

Skruvförbandsklass	Skruv-kvalitet	Flerskärt förband				Enskärt förband			
		Typ A		Typ B		Typ A		Typ B	
		<i>v</i>	<i>exc</i>	<i>v</i>	<i>exc</i>	<i>v</i>	<i>exc</i>	<i>v</i>	<i>exc</i>
S 1	4.6	23,0	26,5	21,0	24,0	21,0	24,0	19,0	22,0
	5.8	29,0	33,5	26,0	30,0	26,0	30,0	23,5	27,0
	8.8	29,0	33,5	26,0	30,0	26,0	30,0	23,5	27,0
S 2	4.6	26,0	30,0	23,5	27,0	23,5	27,0	21,0	24,0
	5.8	33,0	38,0	29,5	34,0	29,5	34,0	26,5	30,5
	8.8	33,0	38,0	30,0	35,0	30,0	35,0	27,0	31,0

Tabell 1.3. Tillåtet hållkantryck  $\sigma_{H_{till}}$  (kp/mm<sup>2</sup>) för konstruktionsstål.

Hållfasthetsklass kp/mm <sup>2</sup>	Skruvförbandsklass S 1		Skruvförbandsklass S 2	
	<i>v</i>	<i>exc</i>	<i>v</i>	<i>exc</i>
33	18,0	20,5	—	—
37	23,0	26,5	26,0	30,0
44	27,0	31,0	31,0	36,0
50	31,0	35,5	36,0	41,5

1.43 *Säkerhet mot dragbrott i plåttvärsnitt*

Dragpåkänning  $\sigma_1$  av tvärlasten, refererad till nettotvärsnittet i brottlinjen, får uppgå till högst

$$\sigma_1 \leq \frac{\sigma_s}{s} (0,1 + 3d/c) \quad \text{vid } d/c \leq 0,3$$

$$\sigma_1 \leq \frac{\sigma_s}{s} \quad \text{vid } d/c > 0,3$$

Härvid är

$$\sigma_1 = \frac{F_1}{(c-d)t} \quad (\text{beteckningar enligt figur 1 a})$$

$F_1$  = i betraktat snitt aktuell tvärlastandel

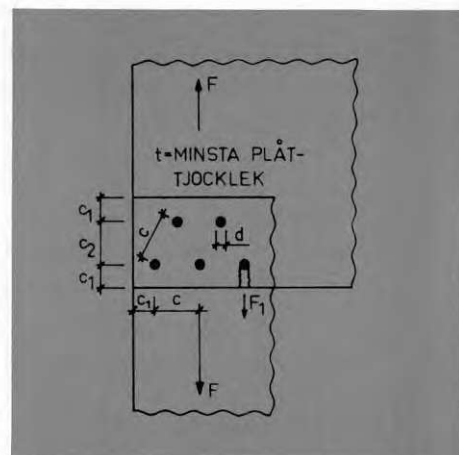
$s$  = vid tunnplåtskonstruktioner och aktuellt belastningsfall gällande säkerhet mot uppnående av  $\sigma_s$ .

1.44 *Säkerhet mot avskärningsbrott i plåttvärsnitt*

Av tvärlasten  $F_1$  orsakad avskärningspåkänning i parallella snitt, belägna på avstånd  $d$  (jfr figur 1 a) får uppgå till högst

$$\frac{F_1}{2tc_1} \leq 0,5 \cdot \frac{\sigma_s}{s}$$

varvid  $c_1$  betecknar avståndet från skruvcentrum till fri kant och  $F_1$  i betraktat snitt aktuell tvärlastandel.



Figur 1 a. Beteckningar vid skruvförband.

*Anmärkning*

I avvaktan på bestämmelser och om annat ej föreskrivs gäller

$s = 1,65$  vid vanligt belastningsfall

$s = 1,4$  vid exceptionellt belastningsfall.

*Anmärkning*

Beträffande värdet på  $s$ , se 1.43.

### 1.5 Konstruktiv utformning av skruvförband

I infästning med kraftupptagande funktion skall ingå minst två skruvar.

Följande begränsningar för hål- och kantavstånd bör gälla:

hålavstånd vid en skruvrad i kraftriktningen	$2,5d \leq c \leq 6d$
hålavstånd vid två skruvrader i kraftriktningen	$4d \leq c \leq 7d$
	$3d \leq c_2 \leq 5d$
kantavstånd till oavstyvad kant	$1,5d \leq c_1 \leq 2,5d$
kantavstånd till avstyvad kant	$c_1 \leq 5d$
delning för häft- eller stagskruvar	$c \leq 7d$

Vid förband med krav på planhet vid plåtkanten kan vid tunna plåtar ( $t \lesssim 1$  mm) speciell täckplåt bli erforderlig.

### 1.6 Utförande och kontroll

Håltagning får ske genom stansning. Vid tillämpning av skruvclass 2 skall dock det stansade hålets diameter ha minst 3 mm mindre diameter än den slutliga, varefter hålet uppborras till färdigt mått. Sammanhörande hål måste passa mot varandra. Förskjutningar skall elimineras genom uppborring eller brotschning.

Godset skall vara fritt från grader vid hålkanten. Såväl muttrar som skruvhuvud skall ha full anliggning. Underlagsbricka skall användas under muttern och skruvskallen. Mutter skall åtdragas väl samt säkras på betryggande sätt.

## 2 Friktionsförband

### 2.1 Giltighetsområde

Med friktionsförband avses här skruvförband med kontrollerad mutteråtdragning, där tvärlasten överförs genom friktion. Anvisningarna avser UNC-gängade skruvar i hållfasthetsklass D 80 samt hållfasthetsklass 8.8 enligt SMS.

#### Anmärkning

Medgällande bestämmelser: Stålbyggnadsnorm StBK-N3, "Friktionsförband".

### 2.2 Grundmaterial

Grundmaterial till kraftupptagande tunnplåtskonstruktioner skall vara hållfasthetsgaranterat ifråga om sträckgräns  $\sigma_s$  och dragbrotthållfasthet  $\sigma_B$ . Som förutsättning gäller att  $\sigma_B \geq 44 \text{ kp/mm}^2$  (motsvarande SIS 1411).

Anmärkning: Jämför 1.2

### 2.3 Material till skruvförband

Skrubar, muttrar och underläggsbrickor skall uppfylla kraven i StBK-N3 under avsnitt 11:32 "Tekniska bestämmelser för skruvar, muttrar och brickor".

### 2.4 Dimensionering av friktionsförband

Vid dimensionering av friktionsförband skall aktuella brottfenomen beaktas. Det minsta värdet på tillåten last, bestämt med utgångspunkt från nedan angivna föreskrifter, är dimensionerande.

#### 2.4.1 Säkerhet mot glidlast

Tillåten tvärlast per skruv och skär bestäms ur sambandet

$$F_{\text{till}} = \frac{1}{s_g} \cdot \frac{\mu \cdot P_{f_{\text{nom}}}}{1,65}$$

Härvid betecknar

- $\mu$  = friktionskoefficient enligt tabell 2.1
- $P_{f_{\text{nom}}}$  = förspänningskraft, beroende av skruvdiametern (tabell 2.2)
- $s_g$  = glidsäkerhetsfaktor, vald till
  - $s_g = 1,5$  för vanligt belastningsfall
  - $s_g = 1,3$  för exceptionellt belastningsfall

Friktionsförband med tunnplåt skall normalt inte utsättas för axiell dragkraft  $P_y$ . Endast under förutsättning att förbandets formstabilitet kan uppfyllas medges en dimensionering för detta lastfall. För bestämning av  $F_{\text{till}}$  vid samtidig påverkan av  $P_y$  hänvisas till StBK-N3.

Tabell 2.1. Tillämpliga  $\mu$ -värden vid olika ytbehandlingar i kontaktytan.

Ytbehandling <sup>1</sup>	Tillämpligt <sup>2</sup> $\mu$ -värde
Obehandlad plåt med valsblank yta	0,18
Obehandlad plåt med sandblästrad yta	0,35
Varmförzinkad plåt med skiktjocklek $\lesssim 40 \mu\text{m}$	0,13 <sup>3</sup>
Varmförzinkad plåt $\lesssim 40 \mu\text{m}$ med sandblästring	0,24
Målningsbehandling med lufttorkande zinkfärg	0,25 <sup>4</sup>

Tabell 2.2. Riktvärden för åtdragningsmoment  $M_y$  och nominell förspänningskraft  $P_{f_{\text{nom}}}$ . Alternativt kan åtdragningsmoment och förspänningskraft enligt StBK-N3 nyttjas.

Skruvdiameter tum mm	Åtdragningsmoment $M_y$ (kpm)	Förspänningskraft $P_{f_{\text{nom}}}$ (kp)
1/2	12,7	10,1
5/8	15,9	19,9
3/4	19,0	35,0
7/8	22,2	51,3

Not till tabell 2.1

<sup>1</sup> Avser ytbehandling av kontaktytan.

<sup>2</sup> Skall högre  $\mu$ -värde än här angivet tillämpas skall detta styrkas genom prov.

<sup>3</sup> Avser Sendzimir-förzinkad plåt.

<sup>4</sup> Skiktjocklek  $\lesssim 80 \mu\text{m}$ .

### 2.42 Säkerhet mot otillåtet hållkanttryck

Friktionsförbandet skall kontrollberäknas för hållkanttryck av tvärlasten  $F$ . Aktuellt hållkanttryck får högst uppgå till i figur 2 a angivna värden på  $\sigma_H$  till

$$\frac{F}{n \cdot m \cdot d \cdot t} \leq \sigma_H \text{ till}$$

där  $t$  = minsta plättjocklek

$d$  = skruvens nominella diameter

### 2.43 Säkerhet mot dragbrott i plättvärsnitt

Dragpåkänning  $\sigma_1$  i plättvärsnittet får högst uppgå till

$$\sigma_1 = \frac{F}{c \cdot t} \leq \frac{\sigma_s}{s}$$

varvid  $c$   $t$  svarar mot bruttotvärsnittet hos plåten.  $s$  är den vid tunnplåtskonstruktioner och vid aktuellt belastningsfall gällande säkerheten mot uppnående av sträckgränsen.

#### Anmärkning

I avvaktan på bestämmelser och om ej annat föreskrivs gäller

$s = 1,65$  vid vanligt belastningsfall

$s = 1,4$  vid exceptionellt belastningsfall.

### 2.5 Konstruktiv utformning av friktionsförband

I infästning av kraftupptagande funktion skall ingå minst två skruvar.

Följande begränsningar för hål- och kantavstånd med beteckningar enligt figur 1a avsnitt 1.43 bör gälla:

hålavstånd vid en skruvrad i

kraftriktningen  $2,5d \leq c \leq 3,5d$

hålavstånd vid två skruvrader i

kraftriktningen  $4d \leq c \leq 7d$

$3d \leq c_2 \leq 5d$

kantavstånd till oavstyvad kant  $2,5d \leq c_1 \leq 3,5d$

kantavstånd till avstyvad kant  $2,5d \leq c_1 \leq 5d$

### 2.6 Utförande och kontroll

Följande anvisningar bör gälla som komplement till Stålbyggnadsnorm StBK-N3.

För att i tabell 2.1 angivna  $\mu$ -värden skall vara tillämpliga krävs att kontaktytorna är fria från fett och föroreningar. Avfettning skall ske på kemisk väg. Anrikning av lösningsmedel i tvättredskap undviks. Kontaktytorna skall vara plana.

Håltagning får ske genom stansning. Hållkanterna skall vara fria från grader. Maximal tillåten håldiameter  $d_H$  är vid skruvarna

1/2" 14,5 mm

5/8" 18 mm

3/4" 21 mm

7/8" 24,5 mm

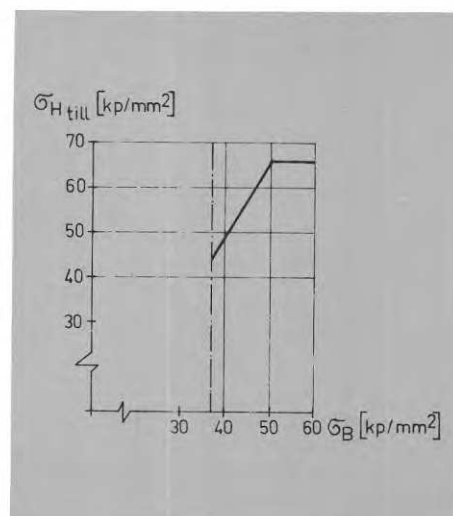
Vid samling av förbandet tillses att skarvplåtarna har god anliggning. Vid förband med mycket tunna plåtar ( $t \lesssim 1,5$  mm) och krav på plana plåtkanter kan täckplåt med större godstjocklek fordras.

Förspänning av skruvar bör normalt ske med momentnyckel, som skall vara väl kalibrerad. I tabell 2.2 angivna åtdragningsmoment, med motsvarande nominell förspänningskraft  $P_{f_{nom}}$ , bör innehållas.

### 2.7 Bestämning av friktionskoefficient genom provning

Vid ytbehandlingar som avviker från de typer som angivits i avsnitt 2.4, skall tillämpbar friktionskoefficient  $\mu$  verifieras genom provning.

Figur 2a. Tillåtet hållkanttryck beroende av grundmaterialets hållfasthet.



Härvid gäller följande:

*Provkroppen* skall utformas i enlighet med figur 2 b, varvid godstjockleken  $t$  skall svara mot det minsta aktuella värdet.

Grundmaterial	SIS 1411
Skruv	5/8", hållfasthetsklass D 80 (8.8) (lätt anoljad)
Bricka	typ HRSB, D = 45 mm
Förbandstyp	tvåskärgigt
Åtdragningsmoment	19,9 Mpm

*Provningsen* skall omfatta minst 4 provkroppar, varvid deformationsbeteendet under pålastningen i form av last-förskjutningsdiagram registreras.

*Glidlasten* definieras som den last för vilken en spontan förskjutning i förbandet observeras ( $F_g$ ) eller förskjutningar i mätsnittet (se figur 2 c) uppgår till högst 0,2 mm ( $F_{0,2}$ ).

*Friktionskoefficienten* beräknas med utgångspunkt från glidlasten  $F_g$  eller  $F_{0,2}$  samt förspänningskraften  $P_f = 6,55$  Mp, varvid de lägsta sålunda erhållna  $\mu$ -värdena är dimensionerande

$$(\mu_g = \frac{F_g}{2P_f}; \mu_{0,2} = \frac{F_{0,2}}{2P_f}).$$

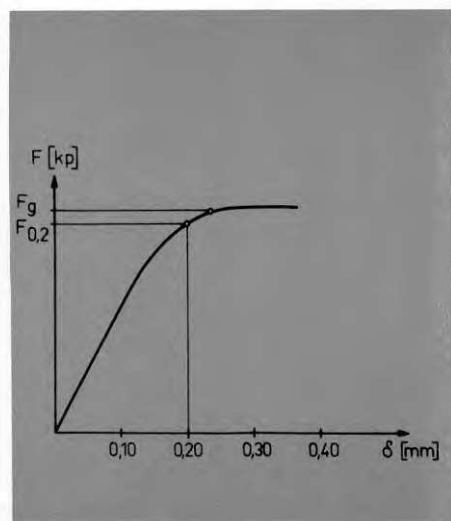
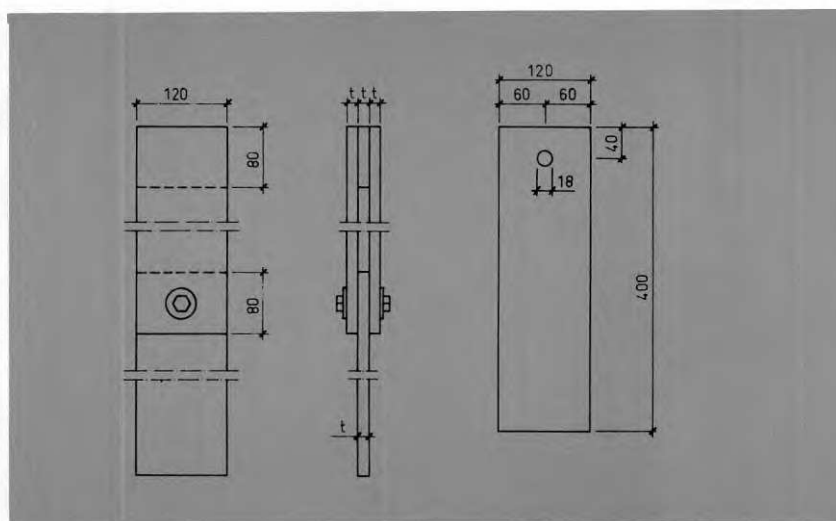
För utnyttjande av  $\mu$ -värden  $> 0,35$  måste förbandens formstabilitet speciellt beaktas. Praktiskt tillämpbar friktionskoefficient bestäms som medelvärdet på  $\mu$ , minskat med produkten  $k \cdot s$ . Härvid betecknar  $s$  standardavvikelsen, och faktorn  $k$  är beroende av antalet provkroppar enligt nedan:

Antal provkroppar	4	5	10	15	25	$\geq 100$
$k$	2,7	2,5	2,1	2,0	1,9	1,7

Försöksresultaten skall underställas vederbörande myndighet för granskning och godkännande.

Figur 2b. (T.v.) Utseende på provkropp för bestämning av friktionskoefficient.

Figur 2c. Definition av lasterna  $F_g$  och  $F_{0,2}$ .



### 3 Nitförband

#### 3.1 Giltighetsområde

Med nitförband avses här statiskt belastat förband, där den i förbandet verkande tvärlasten  $F$  överförs med hjälp av fästdon i form av solid-nit eller ihålig nit med skaftdiameter  $2,5 \text{ mm} \lesssim d \lesssim 6,5 \text{ mm}$ .

*Anmärkning*

Medgällande bestämmelser: Stålbyggnadsnorm StBK-N3. Aluminiumnormer, Försöksnorm och kommentarer 1966.

#### 3.2 Grundmaterial

Grundmaterial till kraftupptagande tunnplåtskonstruktioner skall vara hållfasthetsgaranterat ifråga om sträckgräns  $\sigma_s$  ( $\sigma_{0,2}$ ) och dragbrotthållfasthet  $\sigma_B$ .

*Anmärkning:* Jämför 1.2

#### 3.3 Nitmaterial och nittyper

Nitmaterialet skall ifråga om materialets sammansättning och hållfasthet uppfylla kraven enligt tillämpliga SIS-normer eller, om materialet ej är SIS-normerat eller undergår hållfasthetsförändringar vid nittillverkningen eller nitningsprocessen, motsvara nittillverkarens specifikationer. Nitleveransen skall åtföljas av leveransintyg som styrker analys- och hållfasthetsspecifikationen.

I lastupptagande förband får endast användas nittyper, där nitbrott karakteriseras av skjuvbrott dvs. där brottfenomen på grund av otillräcklig styvhet hos nithuvudet saknar aktualitet.

Vid hålnit med lång splintrest får den sammanlagda tvärsnittsarean av nitskaft och splint anses vara dimensionerande endast under förutsättning att splintens längd minst motsvarar förbandets totaltjocklek.

#### 3.4 Dimensionering av nitförband

Dimensionering av nitförband skall ske med utgångspunkt från nedan angivna dimensioneringsregler och med angivna säkerhetskrav om ej annat föreskrivs av vederbörande myndighet. Det minsta värde på tillåten last som erhålls på detta sätt är dimensionerande. Vid exceptionellt belastningsfall får tillåten belastning ökas med 20 %.

##### 3.4.1 Säkerhet mot nitbrott

För nitar med solida tvärsnitt i avskärningsplanet och med endast en nitrad parallell med kraftriktningen, beräknas tillåten avskärningskraft enligt

$$F_{N\text{till}} = \frac{0,8}{s_N} \cdot F_{BN} = \frac{0,8}{s_N} \cdot \tau_B \cdot A_s$$

varvid

$\tau_B$  = den med hänsyn till kallstukningseffekten aktuella skjuvbrottspänningen eller, som ett värde på säkra sidan, skjuvbrottspänningen refererad till nitmaterialets sträckgränsspänning ( $\tau_B = 0,6 \cdot \sigma_s$ ).

$A_s$  = den effektiva avskärningsytan

$s_N$  = säkerhetsfaktor motsvarande säkerhetskravet för tunnplåtskonstruktioner (1,65).

För ihålig nit och endast en nitrad parallell med kraftriktningen baseras tillåten avskärningskraft på av tillverkaren uppgivna och styrkta brottlastvärden  $F_{BN}$ , varvid

$$F_{N\text{till}} = \frac{0,8}{s_N} \cdot F_{BN}$$

Vid förband med flera nitrader parallellt med kraftriktningen, skall för

samtliga nittyper påvisas, att den med nitdiametern  $d$  korresponderande minsta plättjockleken  $t_2$  i förbandet, högst uppgår till

$$t_2 \leq \sqrt{\frac{F_{BN}}{1,4 \cdot k_1 (d+5) \sigma_B}} - 0,22$$

Härvid är

$F_{BN}$  = nitens skjuvbrottlast (kp)

$t_2$  = minsta plättjocklek i förbandet (mm). (Jfr figur 3 a)

$d$  = nitdiameter (mm)

$\sigma_B$  = plåtens dragbrotthållfasthet (kp/mm<sup>2</sup>)

$k_1$  = koefficient, beroende av plättjockleksförhållandet  $t_2/t_1$ , varvid  $t_1$  beskriver den grövre plåtens tjocklek. Värdet på  $k_1$  bestäms ur sambandet

$$k_1 = 0,111 [t_1/t_2 - 1]^2 + 0,65 \text{ eller figur 3 b, som gäller för } 0,65 \leq k_1 \leq 0,90.$$

Härvid förutsätts att sätthuvudet placeras mot den tunnare plåten. I annat fall sätts alltid  $k_1 = 0,65$ .

### 3.42 Säkerhet mot snedställningsbrott och hålkantflytning

Säkerhet mot snedställningsbrott och hålkantflytning skall uppgå till minst

$$s_g^* \text{-faldig aktuell tvärlast, } F_{till} = \frac{F_{BS}}{s_g^*} \text{ (kp).}$$

Brottlasten har bestämts ur sambandet

$$F_{BS} = k_1 (d + 5)(t_2^2 + 0,22) \sigma_B.$$

Om ej annat föreskrivs skall följande värden på lastfaktorn tillämpas:

$$\begin{array}{l} \text{vid stålplåt} \quad s_g^* = 2,4 \\ \text{vid aluminiumplåt} \quad s_g^* = 2,8 \end{array}$$

### 3.43 Säkerhet mot sektionsbrott

Dragpåkänning  $\sigma_1$  av tvärlasten, refererad till nettotvärsnittet i brottlinjen får uppgå till högst

$$\sigma_1 \leq \frac{\sigma_s(\sigma_{0,2})}{s}$$

varvid  $s$  = vid tunnplåtskonstruktioner och aktuellt belastningsfall gällande säkerhet mot uppnående av  $\sigma_s$  eller  $\sigma_{0,2}$ .

### 3.44 Säkerhet mot kantbrott

Säkerhet mot uppnående av brottlaster som medför kantbrott skall uppgå till minst  $s_g^*$ -faldig aktuell tvärlast  $F$

$$F_{till} \leq \frac{F_{BK}}{s_g^*}$$

$$\text{där } F_{BK} = 0,9 \cdot \sigma_B \cdot t_2 \cdot e.$$

I sambandet för  $F_{BK}$  betecknar

$\sigma_B$  = plåtens dragbrotthållfasthet

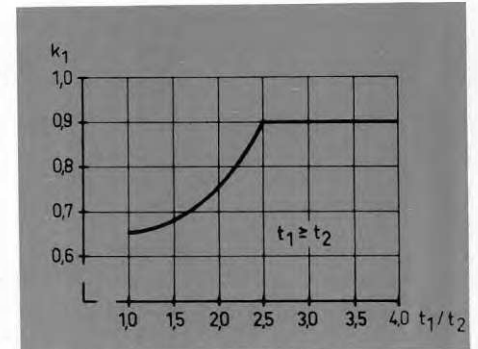
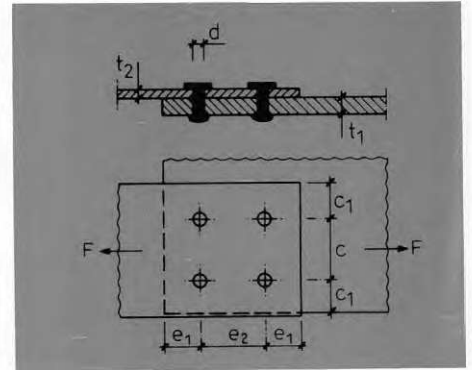
$t_2$  = minsta plättjockleken

$e$  = kantavstånd (jfr figur 3 a).

Värdet på lastfaktorn  $s_g^*$  skall motsvara vad som anges under avsnitt 3.42.

### 3.45 Säkerhet mot fläkbrott (last vinkelrätt mot plåtplanet)

Säkerhet mot fläkbrott skall garanteras för vardera av nedan angivna aktuella brottyper och med beaktande av till respektive brotttyp hörande lastfaktor  $s_p$ .



Figur 3a. Förbandsbeteckningar.

Figur 3b. Samband mellan plåtarnas tjockleksförhållande  $t_1/t_2$  och koefficient  $k_1$ .

#### Anmärkning

I avvaktan på bestämmelser och om annat ej föreskrivs gäller  $s = 1,65$  vid vanligt belastningsfall.

#### Anmärkning

Vid kantavstånd  $e \geq 3d$  fordras ingen redovisning av säkerhet mot kantbrott.



Den på detta sätt bestämda minsta tillåtna lasten vinkelrätt mot plåtplanet är dimensionerande

$$P_{\text{till}}^{\text{min}} = P_B / s_P$$

En ökning av tillåten last med 20 % accepteras vid exceptionell belastningstyp när utdrags- eller överdragsbrott är dimensionerande.

### 3.5 Konstruktiv utformning av nitförband

Nitförbandets läge i bärverket väljs så att påkänningar i skaftriktningen (vinkelrätt mot plåtplanet) om möjligt undviks.

Om fläkspänningar på grund av förbandsexcentricitet eller kraftangrepp vinkelrätt mot plåtytan inte kan undvikas beaktas att:

- stukhuvudet utbildas mot förbandets grövsta plåt
- lasten förs in så nära niten som möjligt
- god passning mellan nit och hålet erhålls (samborring)
- bricka eller förstärkningsskena placeras under stukhuvudet vid tunn underplåt och åtkomlig fränsida.

Nittyp och nitdiameter väljs med hänsyn till aktuell plåttjocklek och belastning. (Jfr kravet på minsta plåttjocklek  $t_2$  enl. 3.41.) Vid flera nitrader parallella med kraftriktningen tillämpas företrädesvis förskjuten nitbild.

Antalet nitar i rad parallellt med kraftriktningen begränsas med avseende på kraftupptagningen till sex. (Avser ej fallet när kraft införs fördelad efter nitrader.)

Stukhuvudet bildas om möjligt mot förbandets grövsta plåt.

Vid val av nitmaterial beaktas att detta är ädlare eller minst lika ädelt som grundmaterialet.

Följande kant- och radavstånd (jfr figur 3 a) bör hållas:

kantavstånd i kraftriktningen	$3d \leq e_1 \leq 6d$
radavstånd i kraftriktningen	$3d \leq e_2 \leq 8d$
kantavstånd vinkelrätt mot kraftriktningen	$1,5d \leq c_1 \leq 3d$
radavstånd vinkelrätt mot kraftriktningen	$3d \leq c \leq 6d$
(gäller även nitavstånd vid förskjuten nitbild)	
delning för häft- och stagnitar	$e_2 \leq 20d$

### 3.6 Nitningsutförande och kontroll

Nithål i sammanhörande förbandsdelar skall samborras så att god passning erhålls. Håldiametern väljs med utgångspunkt från nitleverantörens anvisningar. Nitspelet får inte överstiga av nitleverantören anvisat värde. Borrverktyget skall hållas i rät vinkel mot plåtytan och förbandsdelarna skall vara väl sammanpressade under samborringen.

Nitens skaftlängd skall vara väl avpassad till förbandets tjocklek, nitdiametern och nitmaterialet. Den färdiga niten skall väl utfylla nithålet. Nitleverantörens anvisningar skall följas såvida inte genom provnitning påvisas att vald skaftlängd motsvarar utfyllnadskravet. Stukhuvudet skall uppvisa sådan utformning och storlek att urdragnings av niten samt brott eller otillåten deformation av nithuvudet utesluts.

Nitar i kraftupptagande förband avses med avseende på stukhuvudets form och anläggning och stickprovkontrolleras med avseende på nitspelet. Ger resultatet av sådan kontroll anledning att förmoda ofullständig utfyllnad av nithålet skall provnitning av arbetsstycke med samma karakteristika som det aktuella förbandet företas i närvaro av kontrollant. Utfyllnadsgraden kontrolleras därefter genom att stukhuvudet avlägsnas och nitskaftet friläggs. Vid otillräcklig hålutfyllnad eller bristfällig utformning av stukhuvudet skall niten borras ur och ersättas.

Kontrollens omfattning bestäms från fall till fall i samråd med kontrollant.

Tabell 3.1. Fläksbrottyper och tillhörande säkerhetskrav.

Brottyp <sup>1</sup>	Brottlast $P_B$	Säkerhetskrav $s_P$
Plåtvikningsbrott	$P_I$	1,65 <sup>4</sup>
Utdragsbrott	$P_{II}$	3,0
Överdragsbrott	$P_{III}$	3,0
Skaftbrott	$0,8 \cdot P_{IV}$	1,65
Stansbrott	$P_{V}^3$	3,0
Brott på nithuvudet <sup>2</sup>	$P_{VI}$	

<sup>1</sup>För bedömning av aktuella brottyper och bestämning av brottlaster  $P_I - P_V$  hänvisas till rapporten (se sida 2), kapitel B. NITFÖRBAND, avsnitt 5.7–5.8.

<sup>2</sup>Nithuvudet förutsätts ha sådan styvhet att risk för brott på nithuvudet utesluts. Brottlasten  $P_{VI}$  skall vara större än den tvåfaldiga tillåtna belastningen ( $P_{VI} \geq 2 \cdot P_{\text{till}}^{\text{min}}$ ). Uppgifter om brottlaster ges av nitleverantören.

<sup>3</sup>Om stansbrottlasten  $P_V$  ej är känd får antas att

$P_V \approx P_{III}$ .

<sup>4</sup>Angiven lastfaktor tillämpas om kvarstående formändringar intill fästdonet skall uteslutas. Föreligger inte sådant krav, gäller  $s_g = 1,1$ .

### 3.7 Provning av nitförband

Nitens skjuvbrottlast  $F_{BN}$ , som vanligen uppges av nitleverantören, bestäms och styrks efter anmodan genom myndighet eller beställare med hjälp av här angivet provningsförfarande. Annan provningsmetod må tillämpas efter speciellt medgivande.

Lastupptagningsförmågan bestäms för dubbelt överlappsförband enligt figur 3 c med nedanstående förbandskaraktistika.

Plåtdimensioner 200 x 75 x  $t$

$$\text{där } t \gtrsim \sqrt{\frac{2F_{BN}^*}{\sigma_B \cdot 0,9(d+5)}} - 0,22$$

varvid

$F_{BN}^*$  = förväntad skjuvbrottlast (kp)

$t$  = plåttjocklek (mm)

$\sigma_B$  = plåtens dragbrotthållfasthet (kp/mm<sup>2</sup>)

$d$  = nitdiameter (mm)

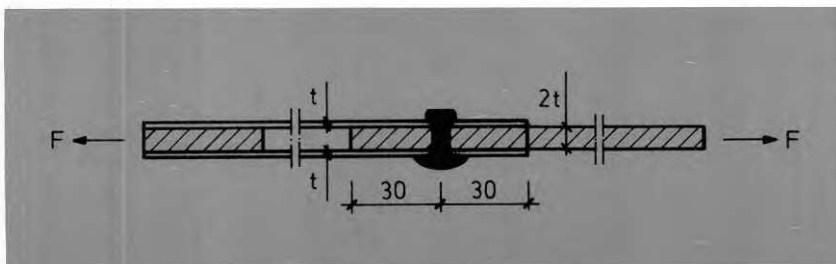
Belastningen påförs i steg om  $F_{BN}^*/25$  med tidsintervall om lägst 10 sekunder.

Vid provningen avläst brotllast motsvarar nitens dubbla skjuvbrottlast. Splintresten får vid provning inte skära skjuvplanet såvida inte niten har lång splintrest som förutsätts medverka vid lastupptagning.

Provnigen bör ges sådan omfattning att en statistisk bearbetning av försöksresultaten kan utföras. Som dimensionerande skjuvbrottlast räknas den last som motsvarar hållfasthetsmedelvärdet, minskat med produkten  $k \cdot s$ .  $s$  betecknar standardavvikelsen och faktorn  $k$  beror av antalet provkroppar enligt nedan.

Antal provkroppar	4	5	10	15	25	$\geq 100$
$k$	2,7	2,5	2,1	2,0	1,9	1,7

Vid förband där niten utsätts för axiella dragpåkänningar skall nittillverkaren styrka att nithuvudets lastupptagande förmåga uppgår till minst 2 ggr den aktuella tillätta lasten vinkelrätt mot plåtplanet (jfr 3.45).



Figur 3c. Provkroppsutförande.

## 4 Skruvförband

### 4.1 Giltighetsområde

Med skruvförband avses här statiskt belastat förband, där den på förbandet verkande tvärlasten  $F$  överförs med hjälp av fästdon i form av gängpressande, gängskärande eller självborrande skruvar med nominell diameter  $3,0 \text{ mm} \lesssim d \lesssim 6,4 \text{ mm}$ .

#### Anmärkning

Medgällande bestämmelser: Stålbyggnadsnorm StBK-N3. Aluminiumnormer, Försöksnorm och kommentarer 1966.

### 4.2 Grundmaterial

Grundmaterial till kraftupptagande tunnplåtskonstruktioner skall vara hållfasthetsgaranterat ifråga om sträckgräns  $\sigma_s$  ( $\sigma_{0,2}$ ) och dragbrotthållfasthet  $\sigma_B$ .

Anmärkning: Jämför 1.1

### 4.3 Skruvmaterial och skruvtyper

Skruvmaterialet skall ifråga om sammansättning och hållfasthet uppfylla kraven i tillämpliga SIS-normer eller, om materialet ej är SIS-normerat eller undergår hållfasthetsförändringar vid skruvtillverkning, motsvara skruvtillverkarens specifikationer. Skruvleveransen skall följas av leveransintyg som styrker analys- och hållfasthetsspecifikationen.

Minsta nominella skruvdiameter i kraftupptagande förband skall vara 3,0 mm.

### 4.4 Dimensionering av skruvförband

Skruvförband skall dimensioneras med utgångspunkt från nedan angivna dimensioneringsregler och med angiven säkerhet om ej annat föreskrivs av vederbörande myndighet. Det på detta sätt erhållna minsta värdet på tillåten last är dimensionerande. Vid exceptionellt belastningsfall får tillåten belastning ökas med 20 %. Nedanstående dimensioneringsregler kan tillämpas under förutsättning att under avsnitt 5.3 angivna krav avseende förbandets tillverkning och kontroll uppfylls.

#### 4.4.1 Säkerhet mot skruvbrott

För skruv beräknas tillåten avskärningskraft, vid endast en skruvrad parallell med kraftriktningen, enligt

$$F_{S_{\text{till}}} = \frac{0,8}{s_S} \cdot F_{BS}$$

där

$F_{BS}$  = av tillverkaren angivet och genom provning styrkt värde på skruvens skjuvbrottlast

$s_S$  = säkerhetsfaktor motsvarande säkerhetskravet för tunnplåtskonstruktioner (= 1,65).

Alternativt beräknas skjuvbrottlasten  $F_{BS}$  enligt sambandet

$$F_{BS} = 0,9 \cdot \frac{40 M_{BV}}{d}, \text{ varvid}$$

$M_{BV}$  = bestämt vridbrottmoment för aktuell skruv (kpcm)

$d$  = nominell skruvdiameter (mm)

eller

$$F_{BS} = \tau_B A_s$$

$\tau_B$  = skjuvbrottsstressen refererad till skruvmaterialets sträckgränsspänning ( $\tau_B = 0,6 \sigma_s$ )

$A_s$  = spänningsarean, eller som ett värde på säkra sidan, kärnarean av skruvstammen.

Vid förband med flera skruvrader parallellt med kraftriktningen skall vid samtliga skruvtyper påvisas att den med skruvdiametern  $d$  korresponderande minsta plåttjockleken  $t_2$  i förbandet högst uppgår till

$$t_2 \leq \sqrt{\frac{F_{BS}}{1,4 \cdot k_1 (d+10)\sigma_B}} - 0,22$$

Härvid är

$F_{BS}$  = skruvens skjuvbrottlast (kp)

$t_2$  = minsta plåttjocklek i förbandet (mm) (jfr figur 4 a)

$d$  = skruvdiameter (mm)

$\sigma_B$  = plåtens dragbrottsstress (kp/mm<sup>2</sup>)

$k_1$  = koefficient, beroende på plåttjockleksförhållandet  $t_2/t_1$ , varvid  $t_1$  beskriver den grövre plåtens tjocklek.

Värdet på  $k_1$  bestäms ur sambandet

$$k_1 = 0,156 [t_1/t_2 - 1]^2 + 0,35 \text{ eller figur 4 b där } k_1 \leq 0,7.$$

#### 4.42 Säkerhet mot snedställningsbrott och hålkantflytning

Säkerhet mot snedställningsbrott och hålkantflytning skall uppgå till minst  $s_g^*$ -faldig aktuell tvärlast

$$(F_{\text{till}} = \frac{F_B}{s_g^*})$$

där brotllasten bestämts ur sambandet

$$F_B \text{ (kp)} = k_1 (d + 10)(t_2^2 + 0,22)\sigma_B$$

Om ej annat föreskrivs skall följande värden på lastfaktorn  $s_g^*$  tillämpas:

vid stålplåt  $s_g^* = 2,9$

vid aluminiumplåt  $s_g^* = 3,3$

#### 4.43 Säkerhet mot sektionsbrott

Dragpåkänning  $\sigma_1$  av tvärlasten, refererad till nettotvärsnittet i brottninjen, får uppgå till högst

$$\sigma_1 \leq \frac{\sigma_s (\sigma_{0,2})}{s}$$

varvid  $s$  = vid tunnplåtskonstruktioner och aktuellt belastningsfall gällande säkerhet mot uppnående av  $\sigma_s$  eller  $\sigma_{0,2}$ .

#### 4.44 Säkerhet mot kantbrott

Säkerhet mot uppnående av brotllast som medför kantbrott

$$F_{BK} = 0,7 \cdot \sigma_B \cdot t_2 \cdot e$$

skall uppgå till minst  $s_g^*$ -faldig aktuell tvärlast  $F$

$$F_{\text{till}} \leq \frac{F_{BK}}{s_g^*}$$

I sambandet för  $F_{BK}$  (kp) betecknar

$\sigma_B$  = plåtens dragbrotthållfasthet

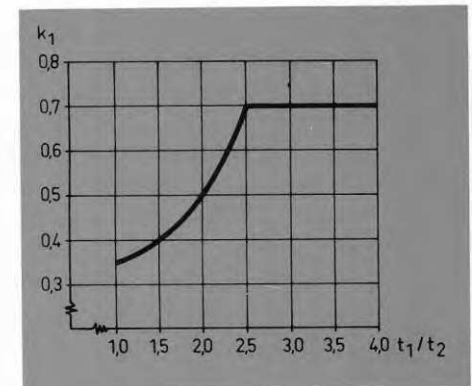
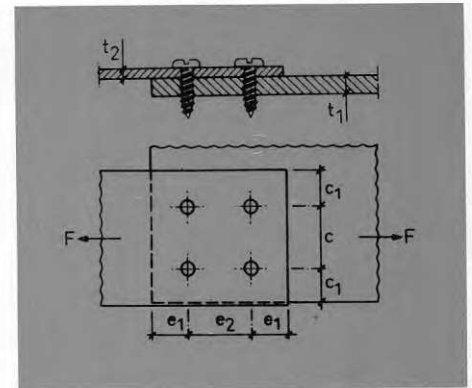
$t_2$  = minsta plåttjockleken

$e$  = kantavstånd (jfr figur 3 a)

Värdet på lastfaktorn  $s_g^*$  skall motsvara

$s_g^* = 2,9$  vid stålplåt

$s_g^* = 3,7$  vid aluminiumplåt



Figur 4a. Förbandsbeteckningar.

Figur 4b. Samband mellan plåtarnas tjockleksförhållande  $t_1/t_2$  och koefficient  $k_1$ .

#### Anmärkning

I avvaktan på bestämmelser och om annat ej föreskrivs gäller

$s = 1,65$  vid vanligt belastningsfall.

#### Anmärkning

Vid kantavstånd  $e \geq 3d$  fordras ingen redovisning av säkerhet mot kantbrott.

#### 4.45 Säkerhet mot fläktbrott (last $P$ vinkelrätt mot plåtplanet)

Säkerhet mot fläktbrott skall innehållas för vardera av vidstående angivna aktuella brottyper och med beaktande av till respektive brotttyp hörande lastfaktor  $s_P$ . Det minsta värdet på sålunda bestämd tillåten last vinkelrätt mot plåtplanet är dimensionerande:

$$P_{\text{till}}^{\text{min}} = P_B / s_P$$

#### 4.5 Konstruktiv utformning av skruvförband

Skruvförbandets läge i bärverket väljs så att påkänningar i skaftriktningen (vinkelrätt mot plåtplanet) i möjligaste mån undviks.

Om fläktspänningar på grund av förbandsexcentricitet eller kraftangrepp vinkelrätt mot plåtytan inte kan undvikas beaktas att

- lasten förs in så nära skruven som möjligt
- god passning mellan skruv och hål erhålls (samborrning)
- plåtmutter eller förstärkningskena används vid tunn underplåt och åtkomlig fränsida.

Skruvtyp och skruvdiameter väljs med hänsyn till aktuell plåttjocklek och belastning. (Jfr kravet på minsta plåttjocklek  $t_2$  enl. 4.41 samt erforderligt åtdragningsmoment enligt avsnitt 6.3.) Vid flera skruvrader vinkelrätt mot kraftriktningen tillämpas företrädesvis förskjutna skruvbild.

Antalet skruvar i kraftriktningen begränsas med avseende på kraftupptagningen till sex i rad. (Avser ej fallet när kraft införs fördelad utefter skruvraden.)

Vid olika tjocka plåtar skall skruvhuvudet placeras mot förbandets tunnare plåt.

Vid val av skruvmaterial beaktas att detta är ädlare eller minst lika ädelt som grundmaterialet.

Följande värden på kant- och radavstånd (jfr figur 3 a) innehålls:

kantavstånd i kraftriktningen	$3d \leq e_1 \leq 6d$
radavstånd i kraftriktningen	$3d \leq e_2 \leq 8d$
kantavstånd vinkelrätt mot kraftriktningen	$1,5d \leq c_1 \leq 3d$
radavstånd vinkelrätt mot kraftriktningen	$3d \leq c \leq 6d$
(gäller även skruvavstånd vid förskjutna skruvbild)	
delning för häft- och stagskruvar	$e_2 \leq 10d$

#### 4.6 Skruvning utförande och kontroll

Skruvhål i sammanhörande förbandsdelar skall samborras så att god passning erhålls. Borrningen skall ske i en ansats och borrarverktyget hållas i rät vinkel mot plåtytan. Förbandsdelarna skall vara väl sammanpressade under samborrningen. Alternativt kan ingående plåtar borras var för sig, varvid samtliga utom de bakre förses med genomgångshål.

Vid kraftupptagande förband skall skruvdiametern vara så anpassad, att:

- skruvhuvudets undersida har jämn anliggning mot plåtens översida
- gängorna är fullt utbildade och gängbrott undviks under åtdragningen
- god anliggning mellan plåtarna erhålls under skruvåtdragningen
- vid skruvar med tätningsbrickor brickan blir väl sammanpressad efter åtdragningen.

Kontrollens omfattning bestäms från fall till fall i samråd med kontrollant.

Skruvar i kraftupptagande förband avsynas med avseende på skruvhuvudets anliggning mot plåten samt förbandsdelarnas hopdragning. Stickprov utförs lämpligen också genom åtdragning med väskalibrerat verktyg till nominellt åtdragningsmoment.

Ger resultatet av kontrollen anledning förmoda att ovan angivna krav systematiskt inte är uppfyllda, företas provmontering av arbetsstycket med samma karakteristika som aktuellt förband i närvaro av kontrollant. Visar sig därvid att fullgott förbandsutförande inte kan åstadkommas med vald

Tabell 4.1. Fläktbrottyper och tillhörande säkerhetskrav.

Brottyp <sup>1</sup>	Brottlast $P_B$	Säkerhetskrav $s_P$
Plåtvikningsbrott	$P_I$	1,65 <sup>3</sup>
Utdragsbrott	$P_{II}$	3,0
Överdragsbrott	$P_{III}$	3,0
Skaftbrott	$0,8 P_{IV}$	1,65
Stansbrott	$P_V$ <sup>2</sup>	3,0

<sup>1</sup> För bedömning av aktuella brottyper och bestämning av brottlasterna  $P_I$ ,  $P_{IV}$  och  $P_V$  hänvisas till rapporten (se sida 2), kapitel B. Nitförband, avsnitt 5.7–5.8. Med avseende på brottlast  $P_{II}$  och  $P_{III}$  hänvisas till kapitel C. Skruvförband, avsnitt 5.7–5.8.

<sup>2</sup> Om stansbrottlasten  $P_V$  ej är känd får antas att, som ett värde på säkra sidan,  $P_V \approx P_{III}$ .

<sup>3</sup> Angiven lastfaktor tillämpas om kvarstående formändringar intill fästdonet skall uteslutas. Föreligger inte sådant krav gäller  $s_g = 1,1$ .

#### Anmärkning

Val av lämplig borrhålsdiameter vid gängformande skruvar kan ske med utgångspunkt från rapporten (se sida 2), kapitel C, avsnitt 6.3, för aktuell plåttjocklek, hållfasthet, vridmoment och skruvdimension.

På detta sätt teoretiskt bestämd borrhålsdiameter skall kontrolleras genom provborrning och åtdragning under *aktuella* förhållanden.

I det fall *skruvbrott* erhålls vid åtdragning och ovan angivna krav ej uppfylls *ökas* borrhålsdimensionen i steg om 1/10 mm tills fullgott resultat erhålls.

I det fall *gängbrott* erhålls vid åtdragningsmoment som understiger det dubbla nominella *minskas* borrhålsdimensionen i steg om 1/10 mm tills dubbelt nominellt åtdragningsmoment uppnås.

I det fall *gängbrott* erhålls vid åtdragningsmoment som överstiger det dubbla nominella och fullgod anliggning mellan plåtarna inte erhålls *ökas* borrhålsdimensionen i steg om 1/10 mm tills fullgott resultat erhålls.

håldiameter skall aktuellt kontrollparti kasseras. I annat fall må bristfälligheter åtgärdas genom att skruven borras upp och ersätts av skruv med större diameter eller genom att förbandet kompletteras.

#### 4.7 Provning av skruvförband

*Skruvens skjuvbrottlast*  $F_{BS}$  bestäms och styrks efter anmodan genom myndighet eller beställare med hjälp av här angivet provningsförfarande. Annan provningsmetod må tillämpas efter speciellt medgivande.

Lastupptagningsförmågan bestäms för dubbelt överlappsförband enligt figur 4 c med följande förbandskaraktistika:

Plåtdimensioner 200 x 75 x  $t$

$$t \gtrsim \sqrt{\frac{2F_{BS}^*}{\sigma_B \cdot 0,7(d+10)}} - 0,22$$

varvid

$F_{BS}^*$	= förväntad skjuvbrottlast	(kp)
$t$	= plåttjocklek	(mm)
$\sigma_B$	= plåtens dragbrotthållfasthet	(kp/mm <sup>2</sup> )
$d$	= skruvdiameter	(mm)

Mittplåten förses med genomgångshål

$$\phi = d + 0,2$$

De yttre plåtarna samborras med håldiameter enligt avsnitt C 6.3 i rapporten (se sida 2), eller enligt tillverkarens anvisningar.

Belastningen påförs i steg om  $F_{BS}/25$  med tidsintervall om minst 10 sekunder.

Vid provningen avläst brottlast motsvarar skruvens dubbla skjuvbrottlast.

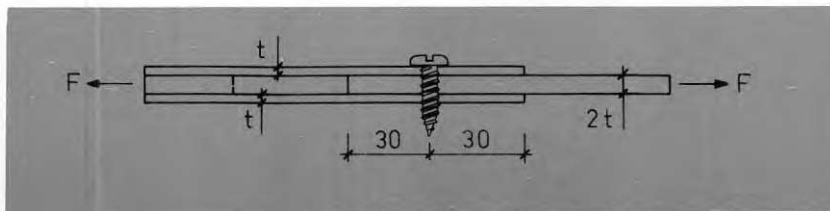
*Skruvs vridbrottmoment*  $M_{BV}$  bestäms lämpligen genom ingångning av skruv i ett förborrat hål enligt figur 4 d.

Åtdragningen utförs med väl kalibrerat verktyg som möjliggör avläsning av det maximalt anbringade vridmomentet = skruvens vridbrottmoment.

Provningen bör ges sådan omfattning att en statistisk bearbetning av försöksresultaten kan utföras. Som dimensionerande vridbrottmoment räknas det moment som motsvarar brottmomentmedelvärdet, minskat med produkten  $k \cdot s$ . Härvid betecknar  $s$  standardavvikelsen och faktorn  $k$  beror av antalet provkroppar enligt:

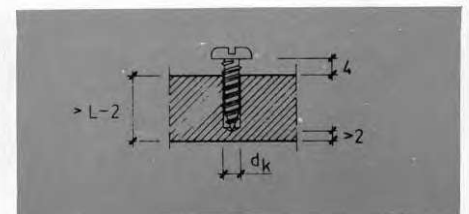
Antal provkroppar	4	5	10	15	25	$\geq 100$
$k$	2,7	2,5	2,1	2,0	1,9	1,7

För bestämning av brottlast och säkerhetsnivå vid *belastningar vinkelrätt mot plåtplanet* bör provkropp utformas så att största möjliga överensstämmelse med den praktiska tillämpningen uppnås.



Figur 4c. (T.v.) Provkropsutförande för skjuvbrott.

Figur 4d Bestämning av vridbrottmoment för skruv enl. vridhålmotoden.



## 5 Punktsvetsförband (motståndssvetsning)

### 5.1 Giltighetsområde

Med punktsvetsförband avses här statiskt belastat förband, där den i förbandet verkande tvärlasten  $F$  överförs med hjälp av punktsvets, framställd genom motståndssvetsning med tryck- och tidstyrd svetsmaskin och där maximal godstjocklek av den tunnare plåten uppgår till högst 3,1 mm.

### 5.2 Grundmaterial

Grundmaterial till kraftupptagande tunnplåtskonstruktioner skall vara hållfasthetsgaranterat i fråga om sträckgräns  $\sigma_s$  ( $\sigma_{0,2}$ ) och dragbrotthållfasthet  $\sigma_B$ .

### 5.3 Svetsutrustning

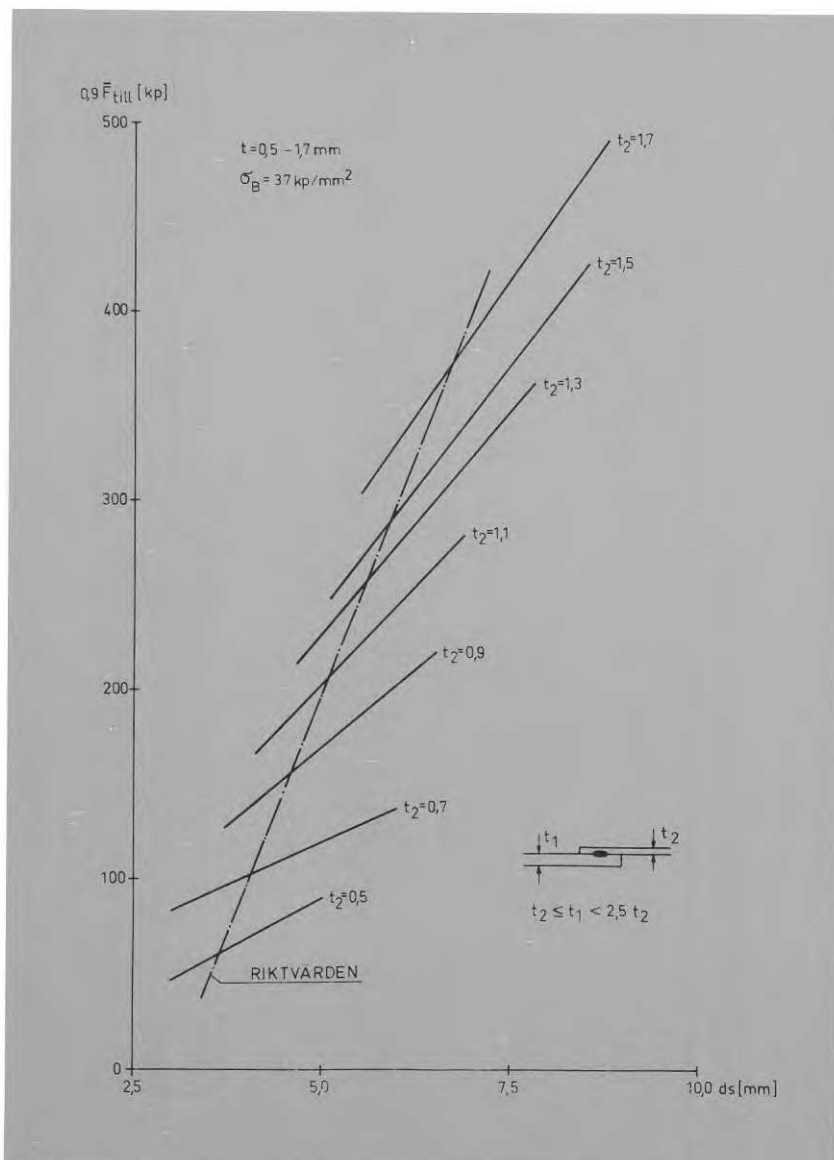
Svetsmaskin skall vara utrustad med såväl kontroll för elektrodtryck som tidkontroll (s.k svetsvakt).

#### Anmärkning

1. Medgällande bestämmelser: Stålbyggnadsnormer, Aluminiumnormer

2. Dessa anvisningar innefattar ej lastfallet där lasten angriper vinkelrätt mot plåtytan. Speciellt godkännande fordras.

Anmärkning: Jämför 1.2.



Figur 5a. Diagram för bestämning av tillåten last för enkelt överlappsförband vid valsbank eller varmförzinkad stålplåt.

#### 5.4 Dimensionering av punktsvetsförband

Punktsvetsförband skall dimensioneras med utgångspunkt från nedan angivna dimensioneringsregler och med angiven säkerhet om ej annat föreskrivs av vederbörande myndighet. På detta sätt erhållet minsta värde på tillåten last är dimensionerande.

Vid exceptionellt belastningsfall får tillåten belastning ökas med 20 %.

##### 5.41 Säkerhet mot skjuvbrott, hålkantflytning och snedställningsbrott

Tillåten tvärlast  $F_{till}$  bestäms, vid tjockleksförhållande  $t_1/t_2 < 2,5$  hos förbandselement, ur sambandet

$$F_{till} = 0,9 \frac{1}{s_g^*} \cdot k_1 \cdot F_B$$

Härvid är

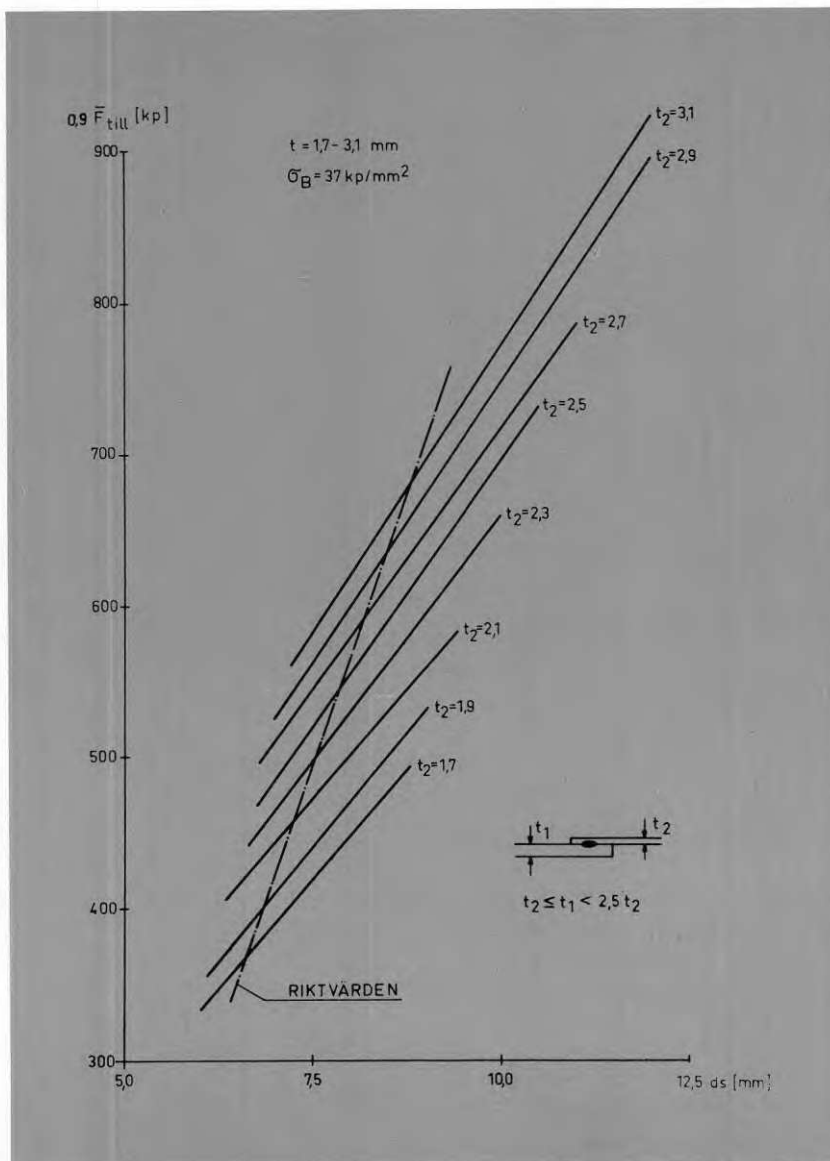
$F_B$  = brottlast (kp), svarande mot någon av ovan angivna brottyper och bestämd vid provkroppstyp enligt avsnitt 5.7

$k_1$  = korrektionsfaktor, som vid noggrann kontroll av svetsparametrar och korresponderande hållfasthet sätts = 1,0.

$s_g^*$  = lastfaktor. Om ej annat föreskrivs gäller  $s_g^* = 2,6$ .

##### Anmärkning

Vid valsblankt material kan val av svetsparametrar ske med utgångspunkt från erfarenhetsvärden, varvid  $k_1 = 0,6$ .



Figur 5b. Diagram för bestämning av tillåten last för enkelt överlappsförband vid valsverk eller varmförzinkad stålplåt.



Tillåten tvärlast bestäms för valsblank och varmförzinkad stålplåt, med utgångspunkt från figur 5 a resp 5 b, varvid

$$F_{\text{till}} = 0,9 \cdot \bar{F}_{\text{till}} \cdot k_1,$$

med  $0,9 \bar{F}_{\text{till}}$  bestämt med hänsyn till minsta plåttjocklek  $t_2$  och svetslinsdiameter  $d_s$ .

Vid annan hållfasthet hos grundmaterial än  $\sigma_B = 37 \text{ kp/mm}^2$  gäller, att tillåten tvärlast får uppgå till

$$F_{\text{till}}^{(\sigma_B)} = F_{\text{till}}^{(\sigma_B = 37)} \cdot \left(\frac{\sigma_B}{37}\right)$$

med  $\sigma_B$  i  $\text{kp/mm}^2$ .

Vid tjockleksförhållande  $t_1/t_2 \geq 2,5$  gäller ovanstående under förutsättning att som brottlast  $F_B$  insätts det lägsta av värdena  $F_{BS}$  eller  $F_{BH}$  enligt

$$F_{BS} = \frac{\pi d_s^2}{4} \cdot \sigma_B$$

$$F_{BH} = 3,5 \cdot t_2 \cdot d_s \cdot \sigma_B$$

#### 5.42 Säkerhet mot sektionsbrott

Dragpåkänning  $\sigma_1$  av tvärlasten, refererad till bruttotvärsnittet, får uppgå till högst

$$\sigma_1 = \frac{\sigma_s(\sigma_{0,2})}{s}$$

varvid  $s$  = vid tunnplåtskonstruktioner och aktuellt belastningsfall gällande säkerhetsfaktor mot uppnående av  $\sigma_s$  eller  $\sigma_{0,2}$ .

#### Anmärkning

I avvaktan på bestämmelser och om annat ej föreskrivs gäller  $s = 1,65$  vid vanligt belastningsfall.

#### 5.43 Säkerhet mot kantbrott

Tillåten tvärlast med hänsyn till risk för kantbrott  $F_{BK}$  får uppgå till högst

$$F_{\text{till}} = \frac{k_1 \cdot F_{BK}}{s_g^*},$$

varvid

$$F_{BK} = 0,8 \cdot F_B \text{ vid } t_1 < 2,5 t_2$$

$$F_{BK} = 2,8 \cdot t_2 \cdot d_s \cdot \sigma_B \text{ vid } t_1 \geq 2,5 t_2$$

$$k_1 = \text{korrektionsfaktor enligt 5.41}$$

$$s_g^* = \text{lastfaktor enligt 5.41}$$

Säkerhet mot kantbrott behöver inte redovisas om för kantavståndet  $e_1$  gäller

$$e_1 \geq 3d_s$$

#### 5.5 Konstruktiv utformning av punktsvetsförband

Kraftupptagande förband utformas som överlappsfog i enlighet med utförandetyperna i figur 5 c (I–IV).

Av de redovisade typerna utgör I normalfallet, medan II och III möjliggör framställning av förband med slät utsida. Fall IV är från statisk synpunkt speciellt lämpligt varför tillåten belastning oavsett tjockleksförhållanden kan bestämmas enligt vad som gäller vid  $t_1 \geq 2,5 t_2$ .

Överlappsbredden  $B$  bestäms av följande krav på rad- och kantavstånd:

$$\begin{array}{l} \text{kantavstånd i kraftriktningen} \\ \text{radavstånd i kraftriktningen} \end{array} \quad \begin{array}{l} 3d_s \leq e_1 \leq 6d_s \\ 3d_s \leq e_2 \leq 8d_s \end{array}$$

#### Anmärkning

Vid mera komplicerade arbetsstycken bör fogutformning bestämmas i samråd med tillverkarer (jfr även del I, avsnitt D8.4).

$$\begin{aligned} \text{kantavstånd vinkelrätt mot kraftriktningen} & 2d_s \leq c_1 \leq 4d_s \\ \text{radavstånd vinkelrätt mot kraftriktningen} & 3d_s \leq c \leq 6d_s \\ \text{delning för häftsvetsar} & e_2 \leq \begin{cases} 12d_s \\ 30t_2 \end{cases} \end{aligned}$$

Fogutformningen bör ske med beaktande av åtkomligheten.

Svetspunktdiameter  $d_s$  väljs med hänsyn till plåttjocklek och erforderlig lastupptagningsförmåga, varvid i figur 5 a och 5 b aktuella samband mellan tillåten last  $F_{\text{till}}$ , plåttjocklek  $t$  och svetspunktdiameter  $d_s$  bör beaktas.

Antalet punktsvetsar i rad parallellt med kraftriktningen begränsas med avseende på kraftupptagningen till sex. (Avser ej fallet när kraft införs fördelad utefter punktsvetsraden.)

## 5.6 Utförande och kontroll

Förbandsdelar i kraftupptagande förband skall ha sådan ytbeskaffenhet att fullgott svetsresultat kan uppnås. Anliggningsytorna skall vara fria från föroreningar såsom valshud, glödska, rost, färg, olja och fett.

Med avseende på leveranstillståndet gäller följande krav på förbehandling inom fogområdet:

*Kallvalsad plåt* rengörs på kemisk väg varvid beaktas att tvättredskap inte anrikas på lösningsmedel.

*Varmvalsad plåt* skall befrias från valshud och glödska samt andra föroreningar genom slipning eller blästring, eventuellt i kombination med kemisk rengöring.

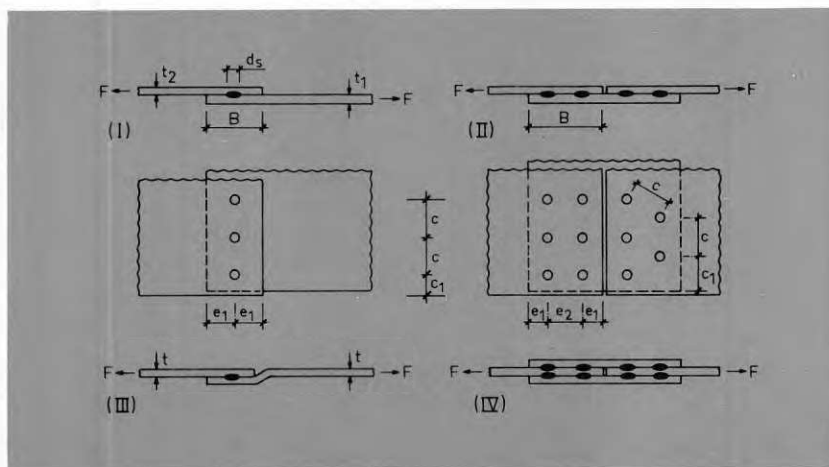
*Förzinkad plåt* får endast användas om zinksiktet anbringats på galvanisk väg eller genom Sendzimirförfarandet med zinksiktjocklek mindre än  $50 \mu\text{m}$ . Ytan rengörs på kemisk väg. Nya elektroder skall före produktion förses med en beläggning av zink, vilket lämpligen sker genom att ett antal provsvetsar ( $\sim 50$  st) utförs.

*Färgbelagd plåt* skall normalt befrias från färgbeläggning så att svetsytan är metalliskt blank. Vissa färgbeläggningar innehållande hög halt av zink eller aluminium ger begränsad svetsbarhet, som skall styrkas genom prov.

*Tillverkningskontroll* skall vid utnyttjande av maximalt tillåten tvärlast enligt avsnitt 5.41 ( $k_1 = 1,0$ ) innefatta provsvetsning jämte dragprovning och uppmätning av svetslinsdiameter. Resultat av sådan kontroll protokollförs och redovisas för kontrollant.

*Kontroll av slutprodukt* begränsas normalt till en avsyning av förbandet i fråga om svetsens placering, elektrodintryck och eventuellt förekommande separation. Ger kontrollen anledning att förmoda förekomst av porositeter eller bindfel bör radiografisk kontroll tillämpas.

Kontrollens omfattning bestäms från fall till fall i samråd med kontrollant.



Figur 5c. Utförandetyper I–IV för motståndspunktsvetsförband.

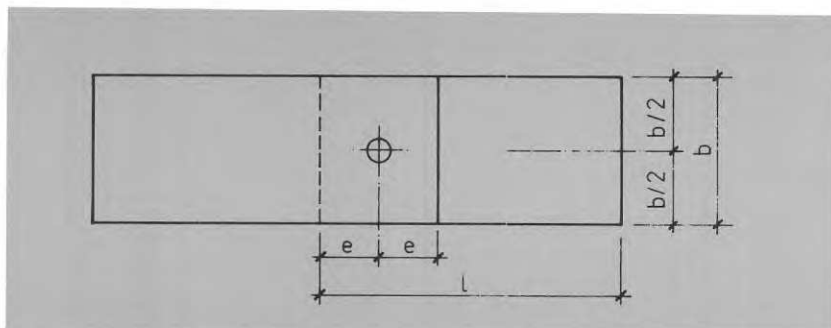
### 5.7 Proving av punktsvetsförband

Punktsvetsens lastupptagande förmåga bestäms genom skjuvbrottsprov av enkelt överlappsförband med i figur 5 d redovisad utformning. Vid plåttjocklek överstigande 1,5 mm placeras mellanlägg av samma tjocklek som provstycket vid infästning i dragprovmaskinen.

Resultatet från provningen, innefattande förbandsstorheter, svetspunktarea och skjuvbrottlast protokollförs. Vidare skall uppmätning företas av inträngningsdjup, bredd på den värmepåverkade zonen och eventuellt förekommande separation mellan plåtar.

Provingen bör ges sådan omfattning att en statistisk bearbetning av försöksresultaten kan utföras. Som dimensionerande skjuvbrottlast räknas den last som motsvarar hållfasthetsmedelvärdet, minskat med produkten  $k \cdot s$ . Härvid betecknar  $s$  standardavvikelsen och faktorn  $k$  beror av antalet provkroppar enligt:

Antal provkroppar	4	5	10	15	25	$\geq 100$
$k$	2,7	2,5	2,1	2,0	1,9	1,7



Figur 5d. Provkroppsutformning vid skjuvbrottsprov  $3,5 d_s < e < 5,0 d_s$ ;  $b \sim 6 d_s$ ;  $l = 250$  mm.

## 6 Punktsvetsförband (MIG-punktsvetsning)

Beräkning, dimensionering, utförande och kontroll av MIG-punktsvetsning sker i allt väsentligt på samma sätt som vid punktsvetsförband med motståndssvetsning, enligt avdelning 5.

### 6.1 Giltighetsområde

Jämför 5.1.

MIG-punktsvetsning kan tillämpas inom tjockleksområden  $0,5 \leq t \leq 3,0$  mm vid valsblankt material och  $t^* \leq t \leq 3,0$  mm vid varmförzinkat material. I det senare fallet är den lägre tjockleksgränsen beroende av zinksiktigtjockleken, varvid för storleken på  $t^*$  hänvisas till huvudrapporten (se sida 2).

### 6.2 Grundmaterial

Jämför 5.2.

### 6.3 Svetsutrustning

Svetsutrustningen skall vara halvautomatisk och försedd med timer för mätning av effektiv svetsid.

### 6.4 Dimensionering av punktsvetsförband

Dimensionering av punktsvetsförband skall ske med utgångspunkt från nedan angivna dimensioneringsregler och med angiven säkerhet, om inte annat föreskrivs av vederbörande myndighet. På detta sätt erhållet minsta värde på tillåten last är dimensionerande. Vid exceptionellt belastningsfall får tillåten belastning ökas med 20 %.

#### 6.41 Säkerhet mot skjuvbrott

Aktuell tvärlast  $F_{till}$  får uppgå till högst

$$F_{till} = \frac{F_{BS}}{s_g^*}$$

där svetspunktens skjuvbrottlast  $F_{BS} = \frac{\pi d_s^2}{4} \sigma_B$ .

$s_g^*$  = lastfaktor. Om ej annat föreskrivs gäller  $s_g^* = 2,6$ .

$d_s$  = svetspunktdiameter (mm)

$\sigma_B$  = grundmaterialets dragbrotthållfasthet (kp/mm<sup>2</sup>)

Redovisning av skjuvbrottlast fordras vid följande tjocklekskombinationer

$$t_2 \leq t_1 < 2,5t_2 \text{ och } t_2 > 2,0 \text{ mm}$$

$$t_1 \geq 2,5t_2 \text{ och } t_2 > 0,5 \text{ mm}$$

där

$t_1$  = grövre plåt i förbandet

$t_2$  = tunnare plåt i förbandet.

#### 6.42 Säkerhet mot snedställningsbrott

Aktuell tvärlast  $F_{till}$  får uppgå till högst

$$F_{till} = 0,9 \frac{1}{s_g^*} k_1 \cdot F_B$$

Härvid är

$F_B$  = brottlaster, bestämd vid provkroppstyp enligt avsnitt 6.7

$k_1$  = korrektionsfaktor, som vid noggrann kontroll av svetsparameter och korresponderande hållfasthet sätts = 1,0.

$s_g^*$  = lastfaktor. Om ej annat föreskrivs gäller  $s_g^* = 2,6$ .

#### Anmärkning

Vid valsblankt material kan val av svetsparameter ske med utgångspunkt från erfarenhetsvärden, varvid  $k_1 = 0,6$ .

Tillåten tvärlast får för valsblank och varmförzinkad stålplåt, om inte annat påvisas vara motiverat, bestämmas med utgångspunkt från figur 6 a, varvid

$$F_{\text{till}} = 0,9 \cdot k_1 \bar{F}_{\text{till}}$$

med  $0,9 \bar{F}_{\text{till}}$  bestämt med hänsyn till minsta plåttjocklek  $t_2$  och svetspunkt-diameter  $d_s$ .

Vid annan hållfasthet än  $\sigma_B = 37 \text{ kp/mm}^2$  gäller, att tillåten tvärlast får uppgå till

$$F_{\text{till}}(\sigma_B) = F_{\text{till}}(\sigma_B=37) \cdot \left(\frac{\sigma_B}{37}\right)$$

med  $\sigma_B$  i  $\text{kp/mm}^2$ .

#### 6.43 Säkerhet mot sektionsbrott

Dragpåckning  $\sigma_1$  av tvärlasten, refererad till bruttotvärsnittet, får uppgå till högst

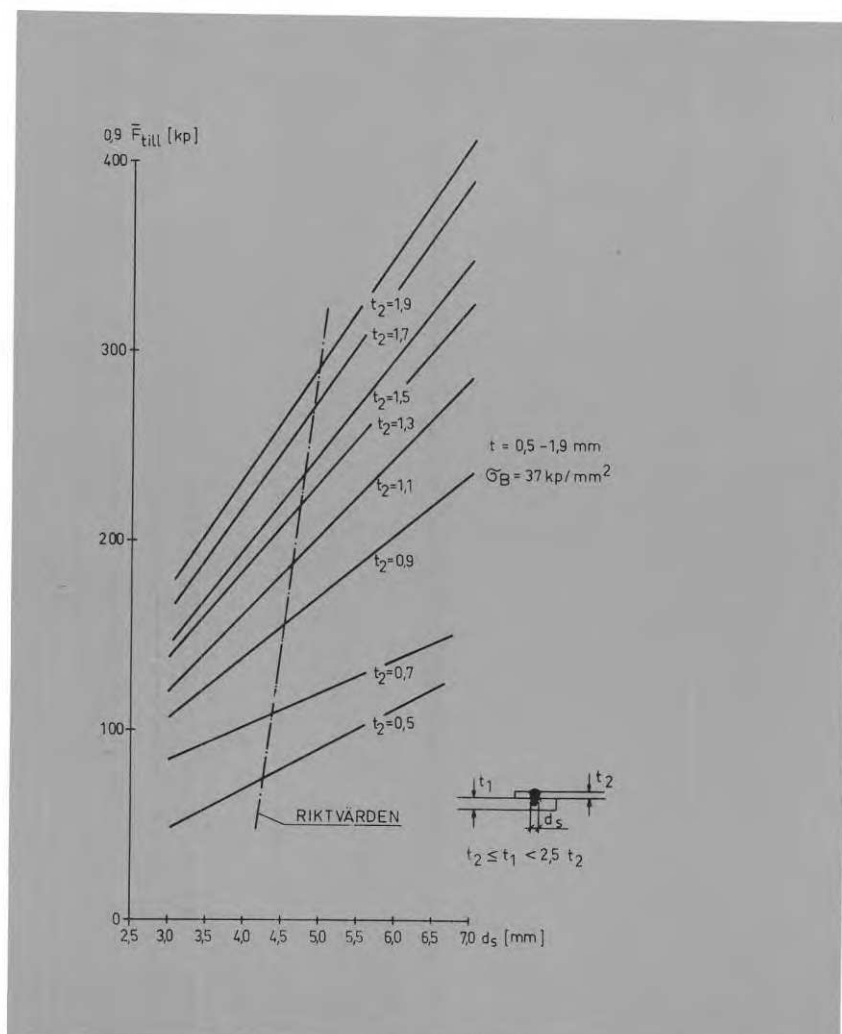
$$\sigma_1 = \frac{\sigma_s(\sigma_{0,2})}{s}$$

varvid  $s =$  vid tunnplåtskonstruktioner och aktuellt belastningsfall gällande säkerhetsfaktor mot uppnående av  $\sigma_s$  eller  $\sigma_{0,2}$ .

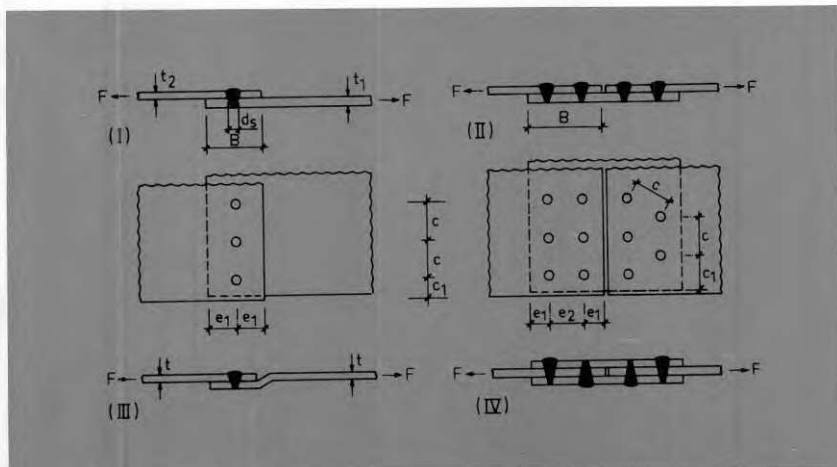
#### Anmärkning

I avvaktan på bestämmelser och om annat ej föreskrivs gäller

$s = 1,65$  vid vanligt belastningsfall.



Figur 6a. Diagram för bestämning av tillåten last för enkelt överlappsförband vid valsbank eller varmförzinkad stålplåt.



Figur 6b. Utförandetyper I-IV för MIG-punktsvetsförband.

### 6.5 Konstruktiv utformning av punktsvetsförband

Kraftupptagande förband utformas som överlappsfog i enlighet med utförandetyperna enligt figur 6 b. Vid förbandsutformningen måste även hänsyn tas till att svetspistolen måste föras mot förbandets tunnare plåt.

Vid svetsning av grövre plåt än 2,0 mm bör svetsningen utföras i horisontalläge.

Överlappsbredden  $B$  bestäms av följande krav på rad- och kantavstånd:

kantavstånd i kraftriktningen	$2d_s \leq e_1 \leq 6d_s$
radavstånd i kraftriktningen	$3d_s \leq e_2 \leq 8d_s$
kantavstånd vinkelrätt mot kraftriktningen	$2d_s \leq c_1 \leq 4d_s$
radavstånd vinkelrätt mot kraftriktningen	$3d_s \leq c \leq 6d_s$
delning för häftsvetsar	$e_2 \leq \begin{cases} 12d_s \\ < 30t_2 \end{cases}$

Typ IV medger utnyttjande av tillåten last per punkt bestämd enligt vad som gäller vid  $t_1 \geq 2,5t_2$ .

Antal punktsvetsar i rad parallellt med kraftriktningen begränsas med avseende på kraftriktningen till 6 (sex). (Avser ej fallet när kraft införs fördelad efter punktsvetsraden.)

### 6.6 Utförande och kontroll

Förbandsdelarna i kraftupptagande förband bör ha sådan ytbeskaffenhet att fullgott svetsresultat kan uppnås. Anliggningsytorna skall vara fria från föroreningar såsom valshud, glödska, rost, färg, olja och fett.

Med avseende på ytan gäller följande krav på förbehandling inom fogområdet:

*Olja eller fett* avtvättas med organiskt lösningsmedel varvid beaktas att tvättredskap inte anrikas på lösningsmedel.

*Rost* avlägsnas genom stålborstning vid inåt vända förbandsytor samt på svetsningssidan.

*Färg* avlägsnas på svetsningssidan inom ett område med 15 mm diameter kring svetsstället. Vid färgbeläggning på innerytorna erfordras provsvetsning, åtföljd av hållfasthetsprovning.

### 6.7 Provning av punktsvetsförband

Jämför 5.7.

## 7 *Limförband*

### 7.1 **Giltighetsområde**

Med limförband avses här förband där den totala åverkande tvärlasten  $F$  överförs via limskiktet. Förbandets lastupptagande förmåga skall vara statistiskt underbyggd och baserad på medelvärdet av brotthållfastheten, minskat med dubbla standardavvikelsen.

Limförband skall framställas under sakkunnig arbetsledning och verkstads-mässiga betingelser som garanterar att nedan angivna krav på arbetsutförande och kontroll uppfylls jämte av arbetarskyddsstyrelsen utfärdade hygienkrav.

### 7.2 **Grundmaterial**

Grundmaterial till kraftupptagande tunnplåtskonstruktioner skall vara hållfasthetsgaranterat i fråga om sträckgräns  $\sigma_s$  och draghållfasthet  $\sigma_B$ .

*Anmärkning: Jämför 1.2.*

### 7.3 **Material till limförband**

Grundmaterial till förband med bärande funktion skall vara märkt och åtföljas av leveransintyg, som ger uppgift om materialets specifika egenskaper samt de speciella krav som måste ställas ifråga om ytbehandling av fogområdet, limberedning, limmets anbringande, presstryck, värme under härdningsprocessen, härdningstiden osv.

Limmet får inte ha korroderande egenskaper och skall efter härdningen vara kemiskt neutralt mot grundmaterialet.

Limmet får inte vara hygroskopiskt. Det skall vara beständigt mot vatten och andra ämnen som konstruktionsdelen kan utsättas för.

Limmet skall vara temperatur- och åldringsbeständigt vid för konstruktionsdelen aktuella klimatiska förhållanden.

### 7.4 **Utförande av limförband**

Limförband skall utföras på verkstad och under betryggande kontroll.

Tillverkningen av limförband skall ske med utgångspunkt från speciell arbetsplan, som beaktar limtillverkarens kravspecifikationer (jfr 7.3). Arbetsplanen skall godkännas av vederbörande myndighet och arbetsutförandet övervakas av auktoriserad kontrollant. Om ej annat föreskrivs, skall nedanstående allmänna tillverkningskrav uppfyllas.

#### 7.41 *Förbehandling*

Kontaktytorna skall vara fria från grader och föroreningar. Rengöring utförs genom tvättning samt efterföljande avfettning. Avfettningen skall ske i ångbad. Vid förband med höga hållfasthetskrav skall betning, åtföljd av sköljning och torkning utföras. Beroende på hantering och material som skall fogas erfordras i vissa fall även en plätering. Vid förband med lägre hållfasthetskrav må rengöring ske mekaniskt genom slipning eller sandblåst-ring, varefter allt löst material noggrant avlägsnas.

Sålunda förberedda fogtytor skyddas noggrant mot föroreningar samt förvaras i avvaktan på limningsmomentet i damm- och oljefritt utrymme.

Vid hantering av material med förbehandlade fogtytor skall skyddshandskar användas.

#### 7.42 *Limningsutförande och härdning*

Limmets applicering, arbetsstyckets hopläggning och fixering samt härdningen skall ske i enlighet med arbetsplanen. Speciellt beaktas att föreskriven tidsintervall mellan limmets applicering och hopfogningen samt angivna krav

på härdningstemperatur och anliggningsstryck innehålls. Vid varmhärdande lim skall uppvärmning ske till föreskriven temperatur och jämn temperatur hållas under härdningen. Effekten av möjliga temperaturvariationer skall kartläggas genom prov.

#### 7.43 Efterbehandling

Efterbehandling av förbandet erfordras normalt ej.

#### 7.5 Dimensionering av limförband

Dimensionering av limförband skall ske på basis av brottförsök, varvid provföremålet i möjligaste mån skall vara belastat utfört och i enlighet med den aktuella konstruktionen.

Brottsäkerheten, refererad till minimivärdet av brotthållfastheten  $F_B$ , skall uppgå till minst

$s_B = 2,0$  för vanligt belastningsfall

$s_B = 1,7$  för exceptionellt belastningsfall

Tillåten belastning för förbandet bestäms till  $F_{till} = F_B/s_g$ .

Parallellt skall påvisas att erforderlig säkerhet  $s$  mot uppnående av grundmaterialets sträckgräns  $\sigma_s$  innehålls, dvs.  $F_{till} \leq \frac{1}{s} \cdot \sigma_s \cdot b \cdot t$ , varvid

$t$  = minsta plåttjocklek,

$b$  = plåtbredd,

$s$  = vid tunnplåtskonstruktioner aktuellt säkerhetskrav.

#### 7.6 Konstruktiv utformning

Utformning av limförbandet skall ske med beaktande av att dragpåkänningar vinkelrätt mot förbandsplanet undviks. Förbandets lastupptagande förmåga är beroende av kontaktytans storlek, som för vanliga förbandstyper återges i figur 7 a. Symmetrisk förbandsutformning eftersträvas. Vid risk för uppkomst av otillåtna fläkspänningar bör särskilda åtgärder vidtas för undvikande av fläkbrott. Detta kan ske genom kombination av limförband med nit-, skruv- eller friktionsförband i för dragning vinkelrätt mot limytan utsatta snitt.

Användning av limförband i sådana konstruktionselement där brukslasten under längre perioder svarar mot den beräkningsmässiga totallasten måste med hänsyn till limmaterialets krypbenägenhet ägnas speciell uppmärksamhet. Samma förhållande gäller generellt vid varaktigt temperaturpåverkan överstigande + 60 °C. (Tabell 7.1.)

#### Anmärkning

Av limtillverkaren uppgivna hållfasthetsvärden för limmaterialet får ej läggas till grund för dimensioneringen. Överslagsmässigt kan brottmedelvärdet för skjuvspänningen i enkelt överlappsförband bestämmas med utgångspunkt från sambandet

$$\tau_{Bm} = \tau_{\max} \cdot \frac{\operatorname{tgh} \sqrt{\frac{\Delta}{2}}}{\sqrt{\frac{\Delta}{2}}}, \text{ varvid}$$

$$\Delta = \frac{G \cdot l_{\delta}^2}{E \cdot t \cdot \delta}$$

$l_{\delta}$  = överlappslängd

$G$  = limskiktets skjuvmodul

$E$  = grundmaterialets elasticitetsmodul

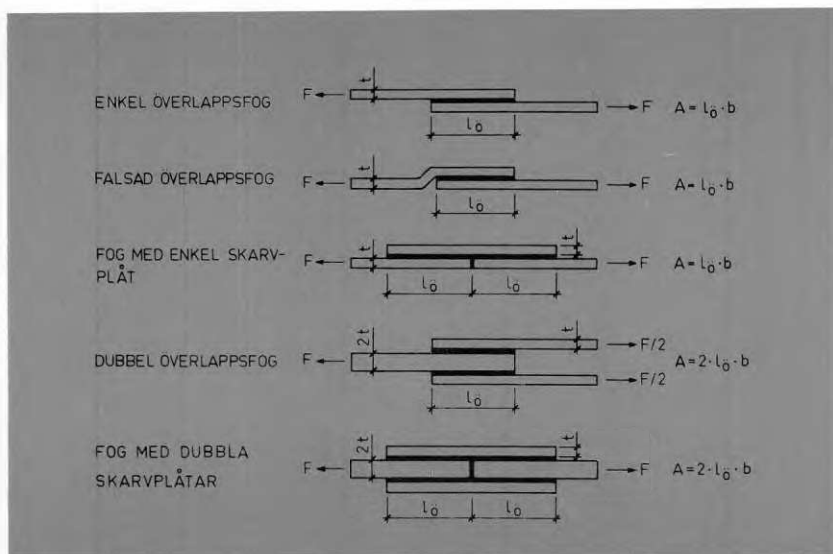
$\delta$  = limskiktets tjocklek

$t$  = grundmaterialets tjocklek

$\tau_{\max} = 0,75$  gånger den genom försök med kort överlappslängd bestämda skjuvhållfastheten för aktuell limtyp och aktuell limskiktstjocklek. Koefficienten 0,75 täcker en ordinarie representativ hållfasthetspridning.

Sambandet förutsätter elastiska förhållanden. Försöksresultat visar emellertid att på grund av plasticering inom limskiktet med åtföljande spänningsutjämnning är dragkärhållfastheten för limförband högre än vad som erhålls ur den ovan visade ekvationen.

Erforderlig och optimal överlappslängd bör fastställas experimentellt, varvid för förband med varierande utförande och plåttjocklek lämpligen skjuvhållfastheten bestäms som funktion av fogfaktorn  $f = t/l_{\delta}$  [ $\text{mm}^{-1/2}$ ].



Figur 7a. Beräkningsmässiga fogtyper.



## 7.7 Provning och kontroll

Limförband skall vid tillverkningen kontrolleras kontinuerligt i en omfattning som vederbörande myndighet fordrar och i närvaro av auktoriserad kontrollant. Kontrollresultaten jämte erforderliga åtgärder skall protokollföras.

Kontrollen skall omfatta

- *Utrustningsprotokoll* av den maskinella utrustningen
- *Hanteringskontroll* under förbehandling, limning och härdning
- *Kvalitetskontroll* av lösningsmedel och kemikalier
- *Härdningskontroll* avseende tid-temperaturförhållanden
- *Produktkontroll* avseende den färdiga produktens hållfasthet. Provstycken uttas därvid efter kontrollantens anvisningar och utsätts för förstörande provning under belastning som så nära som möjligt anpassas till förbandets verkningssätt eller de speciella krav som måste ställas på konstruktionsdelen.

Provningens omfattning skall möjliggöra en statistisk bearbetning av provningsresultaten. Minimivärdet av brotthållfastheten förutsätts svara mot medelvärdet, minskat med produkten  $k \cdot s$ . Härvid betecknar  $s$  standardavvikelsen och faktorn  $k$  beror av antalet provkroppar enligt:

Antal provkroppar	4	5	10	15	25	≥100
$k$	2,7	2,5	2,1	2,0	1,9	1,7

### Anmärkning

Provning må i avvaktan på svenska normer ske med utgångspunkt från tillämpliga DIN-normer för standardprov såsom:

DIN 53281 avseende provkroppsförande

DIN 53282 avseende fläkhållfasthet

DIN 53283 avseende överlappsförbands skjuvhållfasthet

DIN 53284 avseende skjuvhållfasthet vid varaktigt lastpåverkan

DIN 53285 avseende hållfasthet vid dynamisk belastning

DIN 53286 avseende hållfasthetens temperaturoberoende.

## 7.8 Provkroppsutformning

Avsnittet behandlas i huvudrapporten, kapitel F 5.

Tabell 7.1. Beskrivning av olika brottyper vid limförband.

Förbandsgeometri	Relativt hög fogfaktor $[\frac{\sqrt{t}}{l} \text{ mm}^{-1/2}]$		Relativt låg fogfaktor $[\frac{\sqrt{t}}{l} \text{ mm}^{-1/2}]$		
	$F = 0$				
Ökande last ↓	Linjärt elastiskt område, tilltagande spänningskonc. i förbandsändar		Begynnande plasticering av plåtkanter, tilltagande böjdeformationer		
	Tilltagande deformationer				
Brottyp	Adhesionsbrott	Kohesionsbrott	Adhesionsbrott	Kohesionsbrott	Plåtbrott
Brottorsak	Höga skjuvspänningar ger brott i ytan mellan lim och plåt. Otillräcklig förbehandling eller härdprocess.	Höga skjuvspänningar ger kohesionsbrott i limmet. Naturlig brottorsak.	De höga spänningskoncentrationerna vid fogkanterna ger brott mellan lim och plåt. Otillräcklig förbehandling eller härdprocess.	De höga spänningskoncentrationerna vid fogkanterna ger kohesionsbrott i limmet. Naturlig brottorsak.	Plåten rivs av vid fogkanten till följd av för högt utnyttjande.
Beräkning eller åtgärd	Annan förbehandling eller härdprocess	$F_B = \tau_{Bm} \cdot b \cdot l$ $\tau_{Bm}$ är bestämd genom fogfaktorkurvan	Annan förbehandling eller härdprocess	$F_B = \tau_{Bm} \cdot b \cdot l$ $\tau_{Bm}$ är bestämd genom fogfaktorkurvan	$F_B = \sigma_B \cdot b \cdot t$

**R30:1971**

**Denna rapport avser anslag nr C 423 från Statens råd för byggnadsforskning till Arne Johnson Ingenjörbyrå, Stockholm**

**Distribution: Svensk Byggtjänst, Box 1403, 111 84 Stockholm  
Grupp: konstruktion**

**Pris: 67 kronor**