



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

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



Rapport

R55:1976

**Utmattningshållfasthet
vid tunnplåtsförband 1**

Birger Nissfolk

Byggforskningen

Rapport R55:1976

UTMATTNINGSHALLFASTHET VID TUNNPLÄTSFÖRBAND 1
NITFÖRBAND

av civilingenjör Birger Nissfolk

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag C 913 från
Statens råd för byggnadsforskning till Avdelningen för
Stålbyggnad, KTH, Stockholm

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm
ISBN 91-540-2632-6

LiberTryck Stockholm 1976

SAMMANFATTNING

Utmattningshållfasthet vid tunnplåts-
förband 1
Nitförband

Birger Nissfolk

Tunnplåtskonstruktioner i användning som vägg- och takbärverk kommer under sin livstid att utsättas för variabel upprepad belastning, orsakad av exempelvis vindpåverkan samt kraftpåverkan från kranbanor. För att garantera bärverkets säkerhet och byggnadens funktionsstabilitet är det nödvändigt att ha kännedom om förbindningarnas lastupptagningsförmåga och formändringar vid dynamisk kraftpåverkan samt om antalet lastväxlingar och förväntad lastvariation.

Tunnplåtsförband under kraftpåverkan av övervägande vilande last, med engångsbelastning som specialfall, har tidigare studerats av Baehre och Berggren, redovisat i Byggforskningens rapport R30:1971 "Hopfgöning av tunnväggiga stål- och aluminiumkonstruktioner 2".

Forskningsarbetet avser teoretiska och experimentella studier rörande tunnplåtsförband med upprepad kraftpåverkan. Syftet med detta arbete är att ge underlag för en kvalificerad säkerhetsbedömning samt för dimensionering av utmattningsbelastade tunnplåtskonstruktioner.

Försöksplanering med diskussion av vindens belastningsframkallande parametrar och dess samspel med byggnadens aerodynamiska och mekaniska egenskaper har utförts.

Brottlastpåverkande faktorer har studerats med utgångspunkt från i litteraturen refererade försök med förbindningar av tunnväggiga aluminiumkonstruktioner och inordnats i följande huvudgrupper:

Konstruktiva parametrar,
tillverkningstekniska parametrar,
metallurgiska parametrar och
belastningsparametrar.

Olika principer för utvärdering av
försöksresultat vid statisk och dy-
namisk belastning har sammanställts.

Provningen omfattar enbart nitför-
band, utförda med ihålig nit av
stål, monelmetall och aluminium.
Motsvarande undersökningar för andra
typer av förbindare kommer att pre-
senteras i en senare rapport.

Vid provningarna använda ihåliga ni-
tar framgår av FIG 1.

Provningarna avser att bestämma ut-
mattningshållfastheten hos förband i
tunnplåt. De olika parametrarna har
bestämts med hänsyn till de dynamis-
ka belastningar som orsakas av vind
och traverser samt med beaktande av
övriga programförutsättningar.

Försöksgenomförande: 15 provserier,
varje provserie består av 20 prov-
kroppar, varav 3 st avser statisk be-
lastning, 12 st dynamisk belast-
ning vid 3 olika spänningsnivåer,
med $N = 30.000$, $N = 100.000$, $N =$
 500.000 och 5 reservprov. Prov-
ningsföljden mellan olika spännings-
nivåer och tillhörande provkroppar
har utvalts med hjälp av slumpvals-
tabell.

Provkropparna belastas statiskt från
0 till F_{\max} och ned till

$\frac{F_{\max} + F_{\min}}{2}$, varefter dynamisk be-

lastning påföres.

Provkroppsutformningen framgår av
FIG 2.

Utvärdering av resultaten sker genom
anpassning av en rät linje, enligt
minsta kvadratmetoden, på dubbello-
garitmiskt papper.

Utvärderingen har gjorts med avseen-
de på:

- a) Maximal last, F_{\max} .
- b) Lastvidd, F_r . Definierad som skillnaden mellan F_{\max} och F_{\min} med insatta tecken.

c) Hålkanttryck, $\sigma_{Hr} = \frac{F_r}{t_{\text{stål}} \cdot d_H}$.

Beräknat på projicerad area, d v s plåtkärnans tjocklek gånger borrhålsdiametern vid lastvidden F_r .

- d) Skjuvning i nitskaft,

$$\tau_r = \frac{F_r}{\frac{\pi}{4} [d^2 - (d_s)^2]}.$$

Beräknat

på nitens nominella skjuvarean vid lastvidden F_r . d och d_s avser nitkärnans ytter- resp. innerdiameter. Provningsen utförts med kortbrottssplint, vilket gör att splinten inte inverkar på skjuvarean.

Vissa provserier har utvärderats gemensamt, se FIG 3. Rätlinjig reducering till nominell brottgräns och nominell plåttjocklek har gjorts. Därefter har provserie R reducerats enligt det vid försöken erhållna sambandet mellan plåttjockleken

$(t_{\text{nomL}}/t_{\text{nomR}})^{1,4}$. Enligt StBK-N2 får kollektivparametern p väljas av storleksordningen 1/2, för normal stålkonstruktion. Vid nivån för den statiskt tillåtna belastningen ger detta ett tillåtet antal spänningscykler av storleksordningen $N = 10^5$.

De olika parametrarnas inverkan på provningsresultatet har studerats. En ökning av spänningsförhållandet R ger lägre utmattningshållfasthet. Vid låga spänningscykeltal har monel- och stål nit betydligt högre utmattningshållfasthet än motsvarande aluminiumnit; detta förhållande avtar dock med ökat antal spänningscykler.

Inverkan av provningsmaskinens frekvens gav dock ej ett enhetligt resultat. Resonansfrekvens, störningar

vid vissa frekvenser, provkroppsutformning m m inverkar. Lämplig provningsfrekvens får dock anses ligga inom intervallet 0,5 till 5 Hz, speciellt vid användning av provplåtar med längden större än 200 mm.

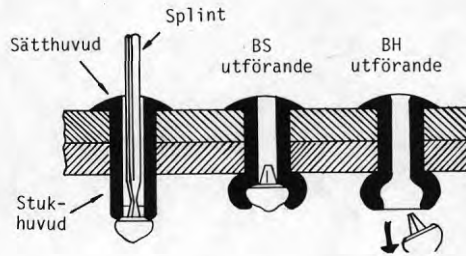


FIG 1. Ihålig nit, principfigur

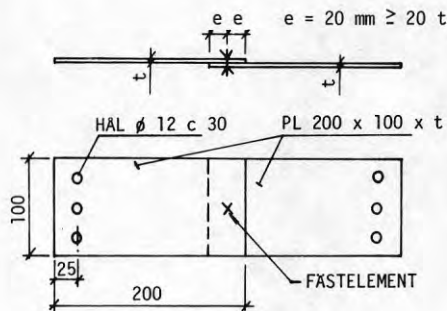


FIG 2. Provkropp

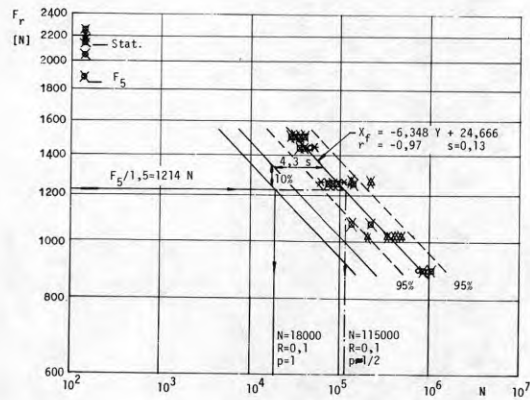


FIG 3. Bestämning av tillåten last vid snedställning och hålkantflytning ($d = 4,8$ mm, $t_{\text{stål}} = 0,637$ mm, $\sigma_B = 430$ MPa). Provsérie R och L.

INNEHÅLL

| | sid |
|--|-----|
| FÖRORD | 5 |
| BETECKNINGAR | 6 |
| 1 INLEDNING | 8 |
| 2 VINDBELASTNING | 9 |
| 2.1 Allmänt | 9 |
| 2.2 Belastningsparametrar | 10 |
| .1 Svängningar orsakade av virvelavlösning | 11 |
| .2 Självinducerade svängningar | 12 |
| .3 Svängningar orsakade av vindbylaster | 12 |
| 2.3 Dimensioneringsmetod vid dynamisk vindbelastning | 13 |
| .1 Beskrivning av vindens aktion | 13 |
| .2 Aerodynamisk överföringsfunktion | 13 |
| .3 Mekanisk överföringsfunktion | 14 |
| .4 Byggnadens respons | 14 |
| 2.4 Dimensionering med hjälp av vindbylastfaktor | 15 |
| 2.5 Slutsatser | 16 |
| 3 FÖRSÖKSPLANERING | 17 |
| 3.1 Principer för utmattningsprovning | 17 |
| 3.2 Konstruktiva parametrar | 17 |
| .1 Plåttjocklek | 17 |
| .2 Nitdiameter | 18 |
| .3 Nitbild | 18 |
| .4 Nitform | 21 |
| 3.3 Tillverknings tekniska parametrar | 23 |
| .1 Borrning av nithål | 23 |
| .2 Nitning av POP-nit | 23 |
| 3.4 Metallurgiska parametrar | 24 |
| .1 Plåtkvalitet | 24 |
| .2 Inverkan av ytskikt på grundmaterialets hållfasthet | 25 |
| .3 Nötningskorrosion | 25 |
| .4 Inverkan av ytskikt på förbandets utmattnings- hållfasthet | 28 |
| .5 Inverkan av nitens grundmaterial | 28 |
| 3.5 Belastningsparametrar | 28 |
| .1 Spänningsförhållandet $R = F_{\min}/F_{\max}$ | 28 |
| .2 Provningsmaskinens frekvens | 30 |
| .3 Antal spänningscykler | 31 |
| .4 Kollektivparametern p | 31 |
| 4 PROVNINGSPROGRAM | 33 |
| 4.1 Provningsmaterial | 34 |
| 4.2 Provningsmaskin, mätutrustning och mätningar | 35 |
| 4.3 Mätnoggrannhet | 41 |
| 4.4 Provningsomfattning | 42 |

| | sid | |
|-----|--|-----|
| 5 | UTVÄRDERING AV FÖRSÖKSRESULTAT VID STATISK BELASTNING, ALLMÄNNA PRINCIPER | 43 |
| 5.1 | Bestämning av m och σ^2 | 43 |
| 5.2 | Bestämning av intervallgränser | 44 |
| 5.3 | Konfidensgränser | 44 |
| 5.4 | Toleransgränser | 45 |
| 5.5 | Predikteringsgränser | 47 |
| 5.6 | Bedömning av provningsresultat enligt SIS 27 11 14 "Tunnplåtsförband. Bestämning av hållfasthet parallellt plåtplanet" | 47 |
| 6 | UTVÄRDERING AV FÖRSÖKSRESULTAT VID DYNAMISK BELAST- NING, ALLMÄNNA PRINCIPER | 49 |
| 6.1 | Linjär regression | 49 |
| 6.2 | Korrelation | 50 |
| 6.3 | Standardavvikelse | 51 |
| 6.4 | Konfidensintervall och predikteringsgränser | 51 |
| 6.5 | Noggrannhet vid beräkningarna | 53 |
| 6.6 | Utvärdering med hänsyn till F_{\max} , F_r , σ_{Hr} och τ_r | 54 |
| 6.7 | Utvärdering av provningsresultat enligt Byggsvetsnorm [16] | 54 |
| 6.8 | Analys av spridningsområde vid utvärdering av Wöhler- kurvor enligt DDR-Standard TGL 19336 | 56 |
| | .1 Försöksutvärdering enligt TGL 19336 | 56 |
| | .2 Kommentarer | 58 |
| 7 | FÖRSÖKSUTVÄRDERING | 61 |
| 7.1 | Bestämning av brottkriterium | 61 |
| 7.2 | Anpassning av rät linje enligt minsta kvadratmetoden . | 63 |
| 7.3 | Diskussion av provningsresultat | 63 |
| | .1 Spänningsförhållandet $R = \frac{F_{\min}}{F_{\max}}$ (provserie B, E, F) | 64 |
| | .2 Inverkan av nitens grundmaterial (provserie M,R,P) | 65 |
| | .3 Inverkan av nitdiameter vid jämförelse mellan provserier med skjuvbrott och stål nit (provserie I, H, N och O) | 66 |
| | .4 Jämförelse mellan olika plåtkvaliteter (provserie B, R) | 67 |
| | .5 Inverkan av plåttjocklek (provserie R, L) | 68 |
| | .6 Provningsmaskinens frekvens. Jämförelse mellan provserie B, G och R1 | 69 |
| | .7 Provkropparnas resonansfrekvens | 70 |
| | .8 Gemensam utvärdering av provserie N och H | 71 |
| | .9 Gemensam utvärdering av provserie R och L | 72 |
| | .10 Sammanfattning av provningsresultat..... | 73 |
| 8 | LITTERATUR | 79 |
| 9 | TABELLER | 82 |
| 9.1 | Sammanställning av räta linjens ekvation | 83 |
| 9.2 | Sammanställning av provningsresultat | 84 |
| 10 | PROGRAM VID UTVÄRDERING MED RÄKNEDOSA | 92 |
| 11 | BILDBILAGA | 99 |
| 12 | DIAGRAMBILAGA | 104 |
| 13 | UTVÄRDERING AV PROVSERIE B, C OCH K ENLIGT DDR-STANDARD TGL 19336 | 135 |

FÖRORD

Vid Avdelningen för Stålbyggnad, KTH, pågår med ekonomiskt stöd från Statens råd för byggnadsforskning ett omfattande forskningsarbete avseende plåtpaneler i byggnadsteknisk användning. Forskningsledare för projektet är professor Rolf Baehre.

Den expansiva utvecklingen inom tunnplåtsområdet innefattar i allt högre grad bärverkskomponenter med höga krav på säkerhet och funktionsstabilitet under konstruktionens livslängd. Funktionskraven gäller i lika hög grad för förbindningar.

Omfattande undersökningar avseende tunnplåtsförband med övervägande vilande kraftpåverkan utfördes i slutet av sextiotalet av Baehre och Berggren. Dessa undersökningar resulterade i en försöksnorm "Tunnplåtsförband" (BFR-informationsblad B14:1971).

Föreliggande rapport är en första redovisning av teoretiska och experimentella studier rörande tunnplåtsförband med upprepad kraftpåverkan. Syftet med detta arbete är att ge underlag för en kvalificerad säkerhetsbedömning samt för dimensionering av utmattningsbelastade tunnplåtskonstruktioner.

Undersökningarna ingår som ett delprojekt i avdelningens forskningsarbete. En förberedande litteraturstudie och försöksplanering har utförts av civ.ing. Bernt Kruse och en bearbetning av försöksresultatet har inom ramen för ett examensarbete utförts av teknolog Mikael Torres.

Avdelningen för matematisk statistik, KTH, har medverkat vid utformningen av den statistiska utvärderingen i kap. 5 och 6.

Försöken har utförts av ing. K. Lindberg i avdelningens laboratorium under ledning av forskningsingenjör B. Löfvén.

Avdelningens sekreterare Gunvor Öjemo har svarat för utskrift och redigering av manuskriptet.

Försöksmaterial har tillhandahållits av Domnarvets Järnverk och United Shoe Machinery Company AB.

Stockholm i augusti 1976

Birger Nissfolk

BETECKNINGAR

| | | |
|----------------|--|-----------------|
| A | nominell area | mm ² |
| b | bredd | mm |
| d | nominell diameter | mm |
| d _H | håldiameter | mm |
| L | längd | mm |
| K _X | förbandsfaktor | - |
| n | antal spänningscykler vid en viss storlek av spänningsvidden σ_r , antal prov vid en viss spänningsnivå | - |
| N | spänningscykeltal | - |
| N _d | dimensionerande spänningscykeltal | - |
| p | kollektivparameter | - |
| R | spännings- eller lastförhållande; $\frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}}; \frac{F_{\min}}{F_{\max}}$ | - |
| t | tjocklek | mm |
| σ | normalspänning | MPa |
| σ_j | jämförelsespänning | MPa |
| σ_r | spänningsvidd | MPa |
| F | last | N |
| F _r | lastvidd | N |
| σ_{rd} | dimensionerande spänningsvidd | MPa |
| σ_{su} | normerad undre sträckgräns | MPa |
| σ_B | normerad brottgräns | MPa |
| σ_H | hållkantryck | MPa |
| σ_{Hd} | dimensionerande hållkantryck | MPa |
| τ | skjuvspänning | MPa |
| τ_r | skjuvspänningsvidd | MPa |
| till | (index) tillåten | - |

| | | |
|-------------|--|---|
| - | population = mängd om vilken man på statistisk väg söker information | - |
| - | urval = delmängd av populationen | - |
| μ | populationens medelvärde | - |
| σ^2 | populationens varians | - |
| σ | populationens standardavvikelse | - |
| x_j | j:te försöksresultatet inom urvalet, här uttryckt med log N | - |
| m | antal spänningsnivåer | - |
| \bar{x}_i | $\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_{ij}$ = urvalets medelvärde = medelvärdet vid i:te spänningsnivån | - |
| s_i^2 | $\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_i)^2$ = urvalets varians | - |
| s_i | urvalets standardavvikelse med avseende på N | - |
| δ | s/\bar{y} = variationskoefficienten, vid statisk provning. Standardavvikelsen dividerad med medelvärdet. | - |
| γ | $1 - p$ = konfidensnivå, sannolikheten att intervallet innesluter den parameter som skall uppskattas | - |
| p | komplementär sannolikhet, p är ett tal mellan 0 och 1 | - |
| P | sannolikhet | - |

1. INLEDNING

Tunnplåtskonstruktioner i användning som vägg- och takbärverk kommer under sin livstid att utsättas för variabel upprepad belastning, orsakad av exempelvis vindpåverkan samt kraftpåverkan från kranbanor. För att garantera bärverkets säkerhet och byggnadens funktionsstabilitet är det nödvändigt att ha kännedom om förbindningarnas lastupptagningsförmåga och förändringar vid dynamisk kraftpåverkan samt om antalet lastväxlingar och förväntad lastvariation.

Tunnplåtsförband under kraftpåverkan av övervägande vilande last, med engångsbelastning som specialfall, har tidigare studerats av Baehre och Berggren, redovisat i Byggforskningens rapport R30:1971 "Hopfogning av tunnväggiga stål- och aluminiumkonstruktioner 2".

Föreliggande rapport utgör en komplettering av denna studie med avseende på förbindningars utmattningshållfasthet.

För att erhålla underlag för en adekvat försöksplanering inleds denna studie i kapitel 2 med en diskussion av vindens belastningsframkallande parametrar och dess samspel med byggnadens aerodynamiska och mekaniska egenskaper.

Kapitel 3 utgör en redovisning av försöksplaneringen och kapitel 4 innehåller en presentation av provningsprogrammet.

I kapitel 5 respektive 6 diskuteras principer för utvärdering av försöksresultat vid statisk och dynamisk belastning.

Kapitel 7 slutligen innehåller en utvärdering av försöksresultat, som presenteras i bilaga till rapporten.

Provningsprogrammet omfattar enbart nitförband, utförda med popnit av stål, monelmetall och aluminium. Motsvarande undersökningar för andra typer av förbindare kommer att presenteras i en senare rapport.

2. VINDBELASTNING

2.1 Allmänt

Den naturliga vinden är sammansatt av vågrörelser med olika frekvens och amplitud, vilket gör att varje uppmätt värde på vindhastigheten är ett medelvärde. Mätning av medelvärdet på vindhastigheten utförs i Skandinavien över en 10 minuters period, i större delen av övriga världen över 1 timme. Vindhastighetsvärden avser vanligen den meteorologiska standardhöjden 10 meter över markytan.

Hastighetsvariationen i vinden har slumpartad karaktär och kan beskrivas med statistiska begrepp. Den stokastiska synen på vindbelastning på byggnader introducerades först i slutet av 1950-talet och början av 60-talet av Davenport [18].

Vindhastigheten V beskrivs som en medelvindhastighet \bar{V} över en viss tidsperiod med överlagrade variationer. FIG 2:1 anger schematiskt vindens fluktuationer med olika frekvenser och amplituder överlagrade på varandra, och FIG 2:2 ger en starkt förenklad bild av vindens tidsvariation.

Vindhast.

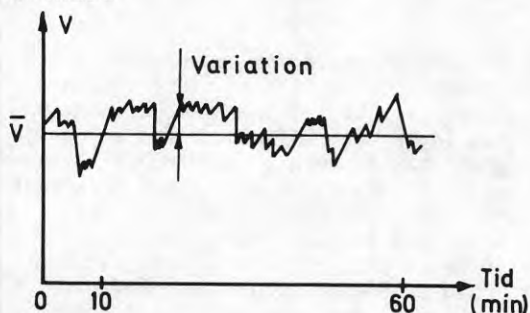


FIG 2:1. Vindens variation överlagrad på medelvinden

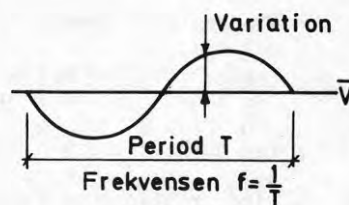


FIG 2:2. Förenklad bild av vindens tidsvariation

Vinden i det sk markgränsskiktet, dvs atmosfären upp till högst 1500 m över mark är turbulent. Turbulensen orsakas i huvudsak av den mekaniska blandningen av luften i luftlagret närmast marken som påverkas av markens råhet. I stadsbebyggelse är medelhastigheten lägre än i dess omgivning, jfr FIG 2:3, men stadsatmosfären är däremot mer turbulent.

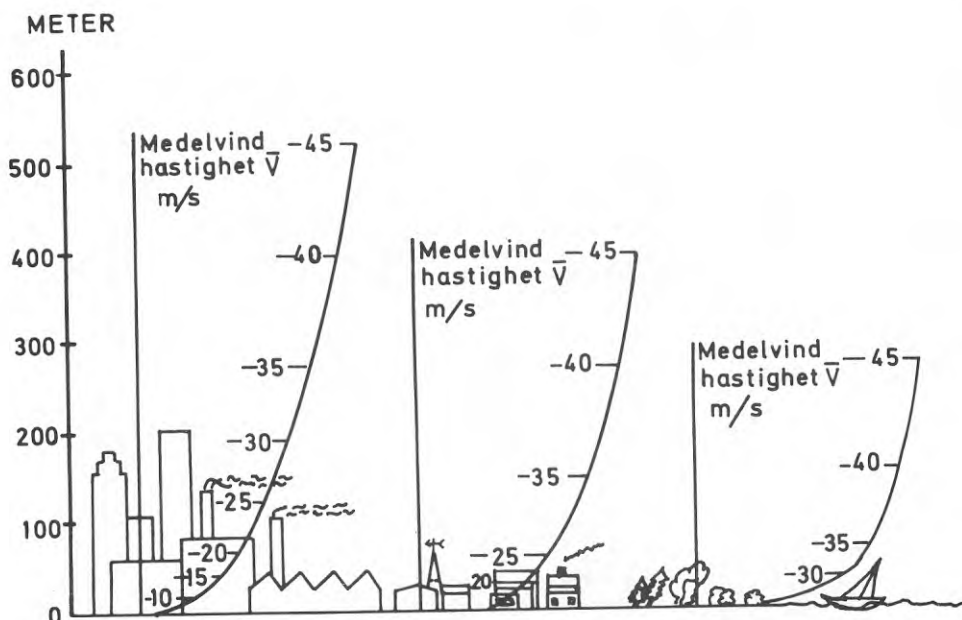


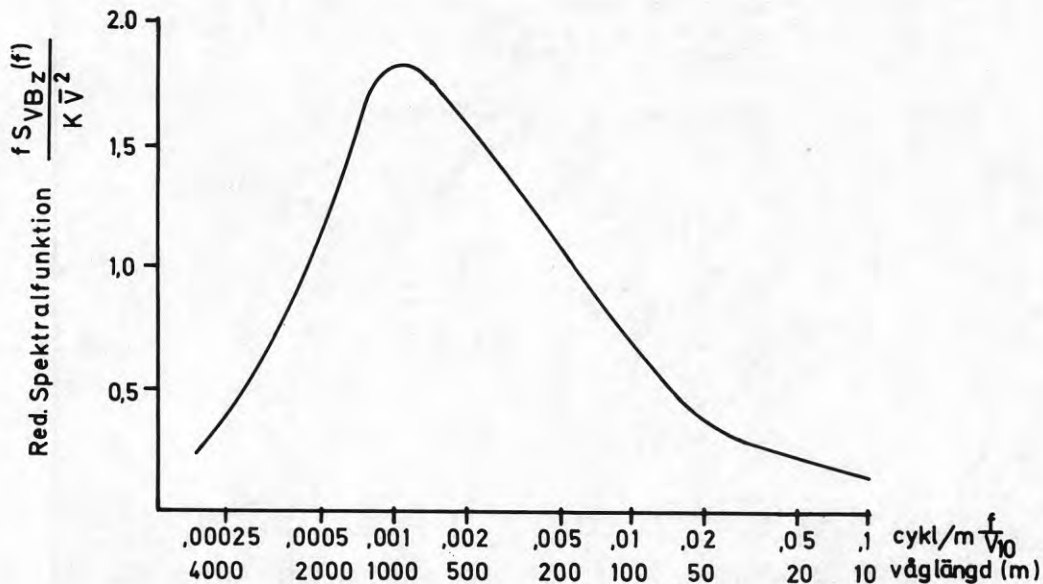
FIG 2:3. Variation av vindens medelhastighet med hänsyn till markens råhet. I princip enligt Davenport [5].

Vindens energiinnehåll är frekvensberoende och proportionellt mot kvadraten på vindhastigheten. Det existerar flera separata frekvensområden med maximal energi. Variationer med perioder på flera dygn motsvarar hög- och lågtryck. Dessutom finns en daglig och årlig period hos hastighetsvariationerna. I vindbyar varierar turbulenselement med perioder från någon minut till bråkdelar av en sekund. Energins fördelning över olika frekvenser hos vindvariationerna sammanställs vanligen till energispektrum. FIG 2:4 visar Davenports vindbyspektra. Som framgår av figuren har spektrat maximal energi vid ca 800 m:s våglängd. För våglängder över 50 km och under 20 m innehåller spektrat låg energi. Ytan under kurvan är ett mått på den totala energin i vindbyn.

2.2 Belastningsparametrar

De aerodynamiska krafterna på en elastisk kropp kan indelas i tre grupper med hänsyn till uppkomst och påverkan:

- svängningar orsakade av virvelavlösning,
- självinducerade svängningar och
- svängningar orsakade av vindbylaster.



Förklaringar:

- $S_{VB_z}(f)$ = vindenergi (m/s)² per frekvensenhet vid frekvensen f Hz och höjden z över markytan
 \bar{V} = vindens medelhastighet vid referenshöjden $z = 10$ meter över markytan
 K = ytmotståndskraft refererad till \bar{V}

FIG 2:4. Longitudinellt vindbyspektrum enligt Davenport [5]. Figuren anger i princip den horisontella vindens energiinnehåll (vertikala axeln) vid olika våglängder (horisontella axeln).

2.2.1 Svängningar orsakade av virvelavlösning

Vindkrafter som uppstår genom virvelavlösning är beroende av dels vindhastigheten, dels föremålets form och orientering. Vid ett långsträckt föremål bildas, då vinden blåser vinkelrätt mot föremålets längdriktning, virvlar som avlöses omväxlande vid den ena och den andra sidan, se FIG 2:5. Föremålet påverkas av krafter vinkelrätt mot vindriktningen. Svängningar till följd av virvelavlösning uppträder då virvelavlösningens frekvens överensstämmer med konstruktionens egenfrekvens. Motsvarande vindhastighet kallas resonansvindhastighet. För att resonanssvängningar skall hinna uppträda erfordras även att vindhastigheten är ungefär konstant under en inte alltför kort tidsperiod (10 minuter). Vindkrafter p g a virvelavlösning uppstår på konstruktioner, som har

stor utsträckning vinkelrätt mot vindriktningen, t ex skorstenar, torn, master, höghus, och kan beaktas genom att räkna med en statistiskt ekvivalent last enligt SBN 21:64 [17].

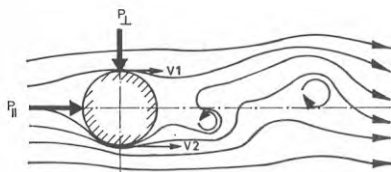


FIG 2:5. Virvelavlösning vid cirkulärt föremål

2.2.2 Självinducerade svängningar

Krafter som uppstår genom konstruktionens lägesändring från sitt jämviktsläge beror av amplitud och frekvens hos konstruktionens rörelse samt vindens hastighet. Till dessa räknas även frekvensoberoende krafter som ger ett negativt bidrag till konstruktionens styvhet.

Självinducerade svängningar uppstår på konstruktioner som har liten utsträckning vinkelrätt mot vindriktningen, t ex hängbrobånar, hängtak och tunna oförstyvade väggar. Dessa kan förenklat betraktas som plana plattor. I en luftström utför plattan svängningsrörelser som inducerar krafter och moment. Vid enbart translations- eller rotationsrörelser är krafter och moment motriktade rörelsen och svängningarna är dämpade. Vid kombinerad rörelse uppträder däremot krafter eller moment som är ur fas med rörelsen. Plattan extraherar då energi från vinden och vid viss kritisk vindhastighet ökar amplituden och kan växa över alla gränser.

2.2.3 Svängningar orsakade av vindbylaster

En vindby kan ses som en ström av virvlar med samma medelhastighet men med olika våglängd och energi. En vindby ger upphov till krafter i vindriktningen eller vinkelrätt mot denna. Till denna typ av vindkrafter räknas även sådana som orsakas av ett föremål i lovart. Vindbylasterna påverkar i första hand långa slanka konstruktioner.

Vindbyspektrat har olika utseende och energiinnehåll längs och vinkelrätt mot aktuell vindriktning. Det longitudinella spektrat (FIG 2:4) har ca dubbelt så stor energinivå som det vertikala och transversella spektrat. Vid dimensionering av väggarna i en byggnad är såväl det longitudinella som det transversella spektrat av intresse. För takkonstruktioner är det vertikala spektrat viktigast. Vid tak som överför krafter genom skivverkan är däremot samtliga spektra av intresse.

2.3 Dimensioneringsmetod vid dynamisk vindbelastning

Vindens inverkan på en byggnad kan beskrivas statistiskt, varvid samspillet med byggnadens aerodynamiska och mekaniska egenskaper ger uttryck för byggnadens respons. Modellen illustreras i FIG 2:6.

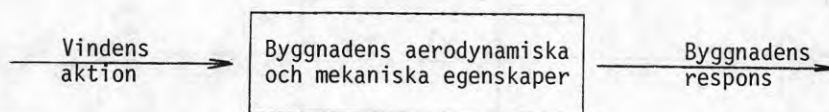


FIG 2:6. Dimensioneringsmetodik

Metoden avser endast linjära fall, d v s aktion och respons skall kunna beskrivas med samma statistiska parametrar. Respon- sen skall även vara direkt beroende av aktionen. Om aktionen dubbleras skall även responsen öka till det dubbla.

Icke linjära fall kan behandlas på likartat sätt men blir betyd- ligt mer komplicerade.

2.3.1 Beskrivning av vindens aktion

Vinden beskrivs vanligen som en medelvind över en viss tidsperiod med en överlagrad variation.

Bortsett från fenomenet självinducerande svängningar ger medel- vinden upphov till en statisk belastning och variationerna upp- hov till en överlagrad dynamisk belastning samt motsvarande responser.

Den fluktuerande delen av vinden kan beskrivas med hjälp av tre samvarierande parametrar:

- 1) en sannolikhetsfördelning som ger uppgift om sannolikheten för att något värde skall överskridas,
- 2) ett energispektrum som beskriver fluktuationernas energiinne- håll för varierande frekvens,
- 3) en fördelning av vindbyar över det påverkade föremålet, exv, lokalisering av vindbylaster för en byggnad.

2.3.2 Aerodynamisk överföringsfunktion

Överföringsfunktionen skall översätta vindbyspektrat till det aerodynamiska kraftspektrat. I princip uttrycker den effekten av turbulens på motståndskoefficienterna på kroppen, bestämda i la- minär vind. Överföringsfunktionen skall uttrycka hur krafterna fördelar sig över en konstruktion och krafternas beroende av vin- dens byighet. Överföringsfunktionen är beroende av kroppens

form och kan uttryckas som förhållandet mellan motståndskoefficienterna för turbulent och jämn strömning. Vid mycket höga frekvenser antar den värdet noll (jfr FIG 2:7).

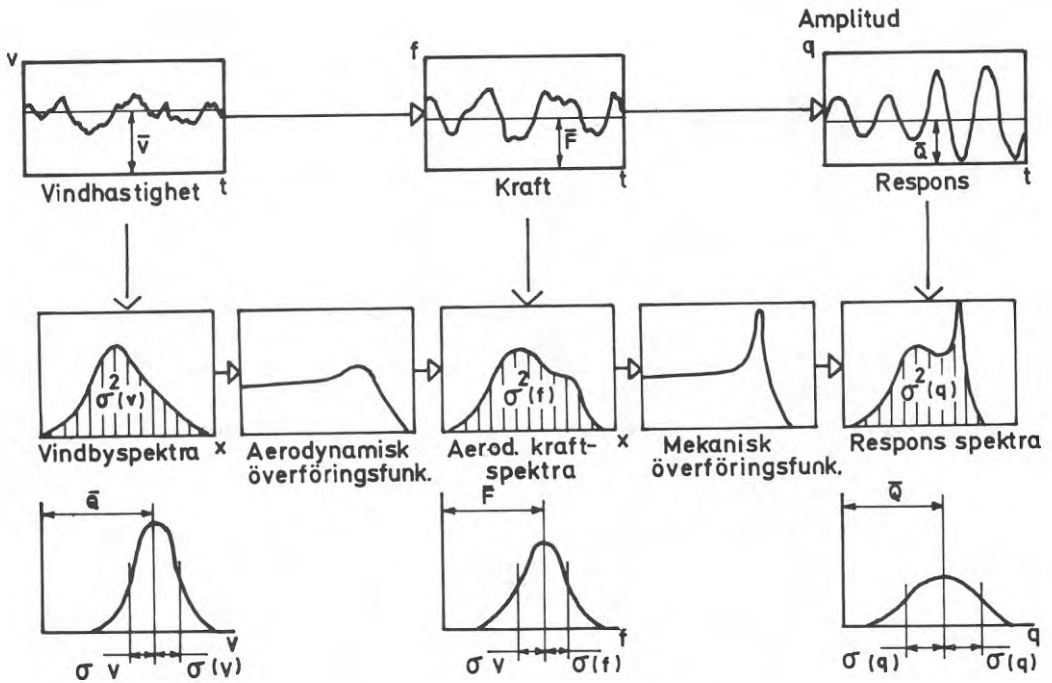


FIG 2:7. Beräkningsgång för att bestämma responspektra [5]

2.3.3 Mekanisk överföringsfunktion

Kraftfunktionen som verkar på en konstruktion ger upphov till en respons via den mekaniska överföringsfunktionen. Då konstruktionen påverkas av en föränderlig kraft kommer ett maximum för responsen att erhållas vid konstruktionens egenfrekvens. Vid mycket höga frekvenser går funktionen mot noll (jfr FIG 2:7).

2.3.4 Byggnadens respons

Utböjningens energispektra får en matematiskt komplicerad form och bestäms lämpligen med hjälp av dator. Dimensioneringskriteriet är vanligen maximal respons och motsvarande spänningar, beräknade med viss statistisk sannolikhet.

2.4 Dimensionering med hjälp av vindbylastfaktor

Vindlasten på en byggnad orsakad av vindens variationer kan ses som ett dynamiskt pålägg, eller lastfaktor, på de stationära laster som erhålles från medelvindhastigheten. Lastfaktorernas storlek kommer då att bli beroende av vindens byighet och byggnadens dynamiska egenskaper. Den största energiupptagningen i byggnadskonstruktioner sker i grundsvängningsformen. Högre frekvenser motsvarar vågtal högre upp i spektrat, d v s lägre energi och mindre dynamiskt tillägg, se FIG 2:8. Svängningssamplituden (utböjningen) hos konstruktionen för en given vindby är därför ett mått på dess vindbykänslighet.

Moderna materialbesparande konstruktioner med höga materialkvaliteter får lägre egenfrekvenser och de tenderar att närma sig det turbulenta mikrospektrets maximum.

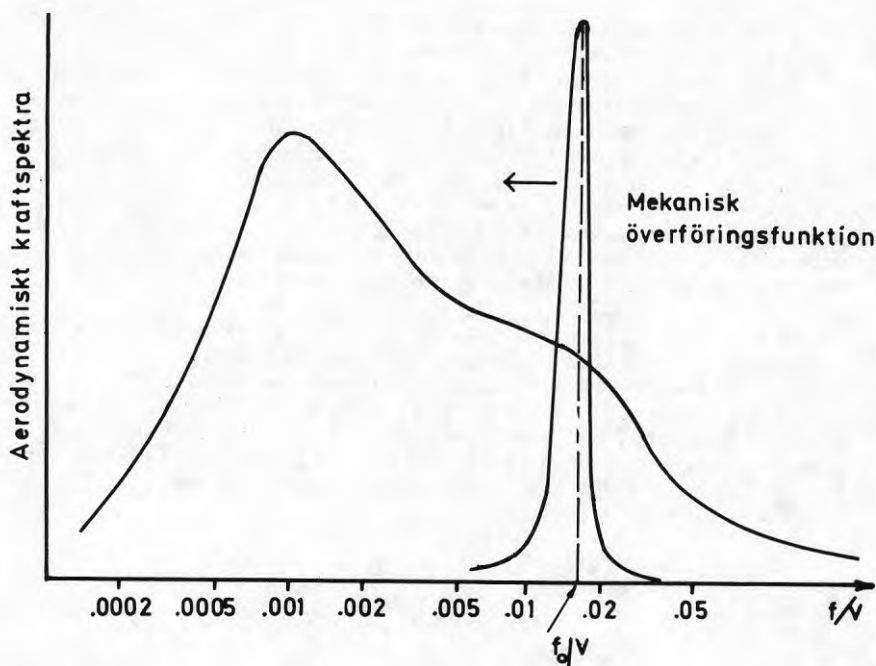


FIG 2:8. Aerodynamiskt kraftspektra och mekanisk överföringsfunktion

Detta framgår av Svensk Byggnorm SBN-75 kap. 21 [17], där inverkan av vindstöt, på fristående tornliknande byggnader, p g a vindens turbulens behöver iaktas endast om föremålets egenfrekvens är lägre än 3 Hz och samtidigt vissa andra villkor föreligger. Lastfaktorn eller stötfaktorn har formen

$$\phi = 1 + \phi_p \phi_u \sqrt{\phi_b + \frac{2\pi \phi_a \phi_w}{\delta}}$$

där ϕ_p = spetsfaktor
 ϕ_u = råhetsfaktor
 ϕ_b = inverkan av bakgrundsturbulens
 ϕ_a = storleksfaktor
 ϕ_w = relativ vindstötsenergi och
 δ = den mekaniska dämpningen.

Lastfaktorn har en relativt komplicerad form och kurvor och tabeller över de ingående variablerna erfordras vid beräkningarna.

2.5 Slutsatser

Kapitel 2 ger en kort sammanfattning av olika vindbelastningar och beräkningsmetoder. Vid användning av provnings- och beräkningsmetodik enligt Byggsvetsnorm StBK-N2 [16] saknas dock för närvarande underlag för bestämning av vindens kollektivparameter och spänningsförhållande. Ett försök till uppskattning av spänningsförhållandet (R) i vindbyar har redovisats i kap. 3.5.

Med hänsyn till uppkomst och påverkan kan de aerodynamiska krafterna på tunnplåtskonstruktioner i byggnader i regel hänföras till "svängningar orsakade av vindbylaster".

Enligt 2.3 är byggnadens respons beroende av vindens aktion och byggnadens aerodynamiska och mekaniska egenskaper. Förband i tunnplåtskonstruktioner kommer därför att belastas olika beroende på t ex byggnadens läge och form, förbandets utseende, placering m m. Provingen bör därför ansluta till tidigare praxis inom byggnadsområdet t ex Byggsvetsnormer [16]. Kollektivparametern p väljes lika med ett och provningsresultaten kan omräknas till aktuell kollektivparameter.

3. FÖRSÖKSPLANERING

3.1 Principer för utmattningsprovning

Inom ramen för denna rapport behandlas blindnitförband utförda med POP-nit av stål, monelmetall och aluminium i kombination med stålplåt.

Utmattningsprov är erfarenhetsmässigt tidskrävande och brottlasten kan påverkas av en rad parametrar. Det är därför angeläget att göra en sådan uppsortering av provningsmaterialet som med minsta möjliga antal provningsserier ger ett maximalt informationsutbyte.

Brottlastpåverkande faktorer har studerats med utgångspunkt från i litteraturen refererade försök med förbindningar av tunnväggiga aluminiumkonstruktioner och inordnats i följande huvudgrupper:

- konstruktiva parametrar
- tillverkningstekniska parametrar
- metallurgiska parametrar
- belastningsparametrar.

Principen för försöksplaneringen har varit att, på grundval av de nedan diskuterade parametrarnas inverkan i utmattningshänseende, konstruera provningsserier, där de viktigaste egenskaperna varierar, medan övriga parametrar hålls konstanta. Som exempel på detta må nämnas att inverkan av olika nitdiametrar och plåttjocklekar studeras men däremot inte olika kombinationer av nitdiametrar och plåttjocklekar. I vissa fall kompletteras huvudserierna med stickprov på sådana parametrar som förmodas ha betydelse i sammanhanget.

3.2 Konstruktiva parametrar

3.2.1 Plåttjocklek

Huvuddelen av plåtsortimentet för trapetsprofilerad plåt har för närvarande en tjocklek mellan 0,6 och 1,0 mm. En ökande andel produkter förväntas dock inom området $1,25 \leq t \leq 3$ mm. Av plåtsortimentet väljes plåttjocklekarna 0,5-0,7-0,9-1,2-2,0 mm. Plåten väljes med 25 μ m zinkbeläggning per enkelsida och med nominell hållfasthet $\sigma_{su} = 350$ MPa.

Huvudanvändningsområdet för nitförband är tunn mot tunn-förbindningar, där ingående förbandsdelar har godstjocklek av samma storleksordning. Vid sidoöverlapp av trapetsprofilerad plåt exv. har de ingående plåtarna som regel samma tjocklek och hopfogningen sker för närvarande i huvudsak med blindnitar.

Nitförband har emellertid också betydelse för infästning av tunnare plåt mot grövre bärverkselement exv. tunnplåtsreglar, åsar och avstyvningar. Enligt Baehre-Berggren [2] är vid statisk belastning tjocklekens inverkan på brottlasten inom aktuellt tjock-

leksområde försumbart om förhållandet mellan plåttjockleken hos ingående plåtar är $t_2 \leq 0,4 t_1$.

Mot denna bakgrund bör huvudserien baseras på förband med samma plåttjocklek hos förbandsdelarna och med tyngdpunkten inom tjockleksområdet, där brott genom snedställning eller hålkantflytning kan förväntas. Stickprov bör utföras med sådan tjocklekskombination där skjuvbrott i niten kan ha aktualitet som brottform. Skjувbrott i nitskaft kan även framkallas genom lämpligt förhållande mellan skaftarea och plåttjocklek (se avsnitt 3.2.2).

3.2.2 Nitdiameter

För bestämning av lämplig nitdiameter med hänsyn till olika plåttjocklekar har statistiska beräkningar gjorts för USM-POP-nit. Beräkningarna har sammanställts i FIG 3:1 och avser förhållanden vid brott i nitförbandet vid statisk belastning.

För att erhålla sektionsbrott i nettotvärnsnittet erfordras att fästelementens area är ca 2 ggr större än nettotvärnsnittets area. Är samtidigt bruttotvärnsnittets bredd större än ca 8d kan alternativt brott erhållas i bruttotvärnsnittet [4].

Vid utmattningsprovning med nitade aluminiumförband [3], där förhållandet mellan nitdiameter (d) och godstjocklek (t) varierats, erhöles minsta spridningen med $d = 4$ mm och $d/t = 2,7$; mindre d/t var otillräckliga och större d/t gav en något större spridning. Linjen $d = 2,7 t$ har inritats i FIG 3:1. Denna ger en begränsning av plåttjockleken i förhållande till nitdiametern, d v s man bör välja $d \geq 2,7 t$.

Av försöken framgår även att, vid konstant förhållande d/t , spänningscykeltalet N minskar när absolutvärdena på d och t växer. Statistiskt kan detta förklaras med att risken för felaktigheter i niten ökar med nitens storlek. Beräkningsmässigt bör man således välja så liten nitdiameter som möjligt, under förutsättning att $d \geq 2,7 t$.

Programförutsättning:

Som baskombination väljs 0,9 mm plåt och en stål nit med $d = 4,8$ mm. För att få en uppfattning om nitdiameterens inverkan utförs provning med 0,9 mm plåt och stål nitar med $d = 3,2, 4,0, 4,8$ och $6,4$ mm.

3.2.3 Nitbild

För att ge provkroppen en utformning som i största möjliga grad motsvarar ett förband i byggnadsteknisk användning bör hänsyn tas till följande faktorer:

- a) böjmoment p g a osymmetri i enskäriga förband
- b) inverkan av nitbildens geometri.

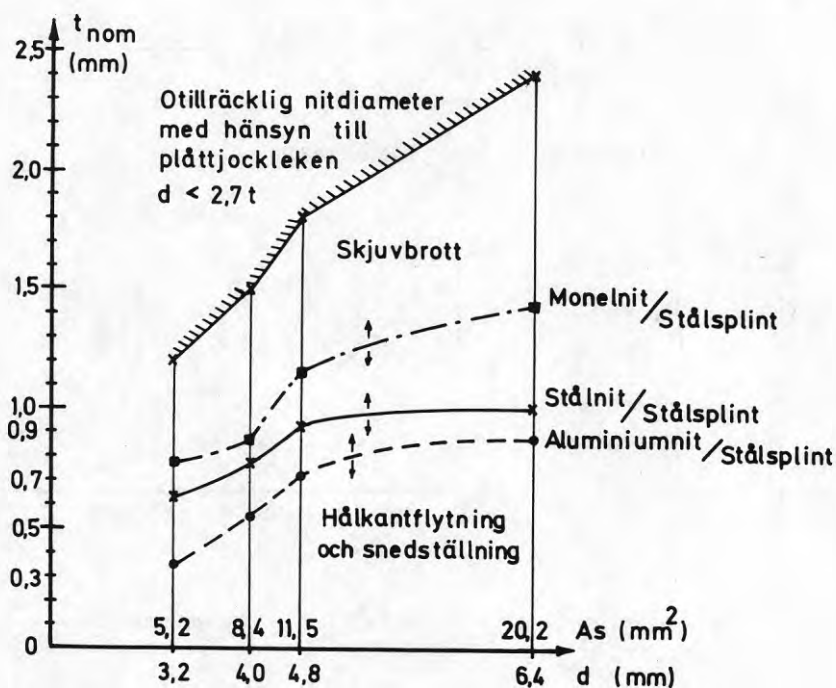
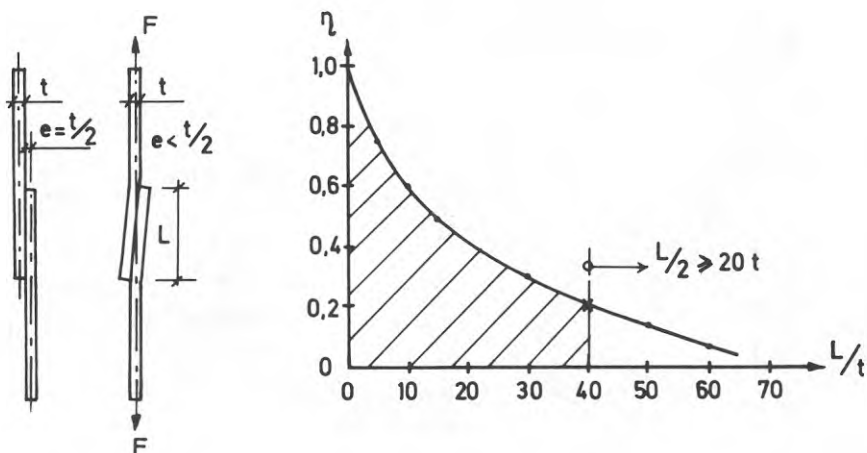


FIG 3:1. Brottyper POP-nit.
 Beräkning enl. [2] med $F_{Bs} = k_1 (d + 5)(t^2 + 0,22) \sigma_B$.
 Plåtkvalitet $\sigma_s = 350$ MPa
 A_s = POP-nitens effektiva avskärningsyta
 d = POP-nitens diameter
 F_{Bs} = brottlastvärden för nit
 $k_1 = 0,65$ för $t_1 = t_2 = t$

a) Böjmoment p g a osymmetri i enskäriga förbandFIG 3:2. Förminskningsfaktor η av excentricitetsmoment

Kraften F , FIG 3:2, ger ett böjmoment $H_e = F \cdot t/2$. Förbandets deformation gör att böjmomentet minskar. Vid limmade förband [3] avtar böjmomentet enligt ekvationen

$$\eta = 1/[1 + 2,83 \tan (0,58 \sqrt{\varepsilon} L/t)]$$

där η betecknar förhållandet mellan böjmomentet vid fogen och värdet på detta moment vid styva förbandsdelar. Excentricitetsmomentet minskar vid tilltagande

- dragtöjning ε
- relativ överlappningslängd L/t .

Inverkan av excentricitetsmomentet kan således minimeras genom en stor överlappslängd. I FIG 3:2 har η beräknats för $\sigma_M = 350$ MPa och $E = 2,1 \cdot 10^5$ MPa. Av figuren framgår att inverkan av excentricitetsmomentet kan anses försumbar vid $L/t \gtrsim 40$, vilket ger ett minsta kantavstånd i kraftriktningen $L/2 \gtrsim 20 t$.

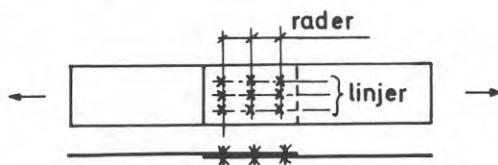
b) Inverkan av nitbildens geometri

FIG 3:3. Definition av nitrader och nitlinjer

I praktisk tillämpning kommer nitbildens variation (se FIG 3:3) att vara mycket begränsad. Sålunda finns ingen större anledning att undersöka :

Inverkan av antalet rader. Undantag: vid lokal lastinföring oftast infästning med skruv mot tjockare gods.

Inflytande av antalet nitar i en rad.

Inverkan av delningen mellan nitarna i en rad.

Inverkan av delningen mellan nitarna i en linje.

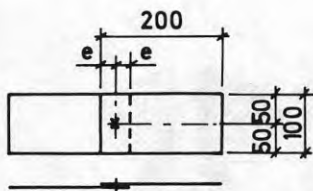
Kantavstånd när avståndet mellan nit och kant är större än 20 mm.

Beträffande avståndet mellan förbindningspunkter vid sidoöverlapp föreslås enligt konstruktionsanvisningar vanligen ett c-avstånd på min. 280-300 mm. Plåtens nettoarea är således 10 å 20 ggr större än nitarean, vilket gör att brott i nettotvärsnittet ej kan erhållas; jfr avsnitt 3.2.2.

På grund av det för nitförband relativt stora avståndet mellan förbindningspunkterna föreslås i princip en provkroppsutformning som använts vid tidigare undersökningar av Baehre-Berggren [1]; se FIG 3:4.

Programförutsättning:

Provkroppar utformas som enskärigt nitförband med geometrisk utformning och kantavstånd enligt FIG 3:4.



| | |
|---------------------|-------------------------|
| $e = 20 \text{ mm}$ | $t \leq 1,0 \text{ mm}$ |
| $e = 30 \text{ mm}$ | $t = 1,2 \text{ mm}$ |
| $e = 40 \text{ mm}$ | $t = 2,0 \text{ mm}$ |

FIG 3:4. Provkroppsutformning

3.2.4 Nitform

Nitens utformning karakteriseras av sätthuvudets, stukhuvudets och nitkroppens utseende.

a) Sätthuvud

USM-POP-nitar tillverkas med två skallformer, kullrig och försänkt, se FIG 3:5. POP-nitar med försänkt huvud används i speciella sammanhang, t ex då en slät plåtyta erfordras. Enligt [3] har nitar med försänkt huvud något lägre utmattningshållfasthet än nitar med kullrigt huvud.

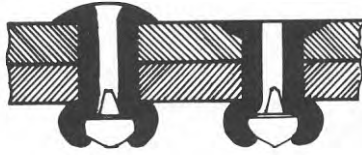


FIG 3:5. POP-nitar med kullrigt resp. försänkt huvud

b) Stukhuvud

Stukhuvudet tillverkas i två utföranden:

BS-utförande - splinthuvudet stannar kvar i nitens stukhuvud, se FIG 3:6. Ett vädertätt förband erhålles.

BH-utförande - splinthuvudet faller bort när nitningen utförs. Väljs för att förhindra rostangrepp på splintresten eller om man önskar utnyttja hålet som en funktion i slutprodukten.

Stukhuvudets höjd har enligt [3] ingen inverkan på utmattningshållfastheten. En ökning av stukhuvudets diameter ger däremot en ökning av utmattningshållfastheten.

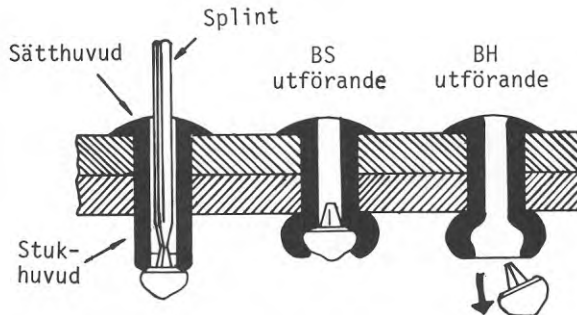


FIG 3:6. POP-nitar med olika stukhuvud

c) Nitkropp

Trycktät POP-nit har sluten nitkropp, FIG 3:7. Den finns med två splinttyper:

Kortbrottsplint - typ H - splinten brister strax ovanför splinthuvudet som blir kvar i niten. Kortbrottsplint är den mest använda splinttypen.

Långbrottsplint - typ S - splinten brister vid nitningen något ovanför nithuvudet och skall därefter slipas ner till detta. Nitar med långbrottsplint har enligt USM ca 50 % större skjuvhållfasthet, vid statisk belastning, än motsvarande nitar med kortbrottsplint.

Programförutsättning:

Nitar med kullrigt sätthuvud och BS-utformat stukhuvud väljes. Prov med trycktät POP-nit typ H utförs i begränsad omfattning.

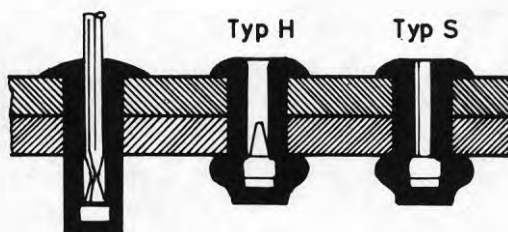


FIG 3:7. Trycktät POP-nit

3.3 Tillverkningstekniska parametrar

3.3.1 Borrning av nithål

Borrning av nithål utförs normalt med elektrisk handbormaskin, varvtal per minut 2000-2800.

Stansade hål kan ge upphov till lägre utmattningshållfasthet jämfört med borrade hål; någon enhetlig nedsättning har dock ej noterats [3].

3.3.2 Nitning av POP-nit

Nitningen utförs med nittång eller nitpistol. Vid nitningen deformerar nitens stukhuvud och splinten dras till brott. Dragkraften i splinten ger en förspänning av förbandet, varvid detta delvis kommer att verka som ett friktionsförband. Dessutom trycks nitskaftet mot hålkanten och ger en förspänning i plåten, vilket inverkar gynnsamt på utmattningshållfastheten.

Vid försök med nitförband i aluminiumplåt [3] erhöjls en ökning av utmattningshållfastheten vid en ökning av nitkraften från 0 till 60 kN. Nitkraften vid användning av USM-POP-nitar är av storleksordningen 5 kN. Nitkraften varierar dock med tiden, krypning, relaxation m m; det är därför tveksamt om man kan utnyttja av nitkraften orsakat anliggningstryck på motsvarande sätt som vid friktionsförband.

Programförutsättning:

Borring av nithål utförs med elektrisk handbormaskin, med borrar diameter enligt nit-tillverkarens anvisningar. Nitningen utförs med nittång, vid $d = 6,4$ mm erfordras dock tryckluftsdreven nitpistol.

3.4 Metallurgiska parametrar

3.4.1 Plåtkvalitet

Enligt StBK-N2 ökar utmattningshållfastheten vid höjning av sträckgräns och brottgräns hos grundmaterialet. Detta beaktas i normen genom att spänningsvidden multipliceras med en materialfaktor k_B , jfr FIG 3:8.

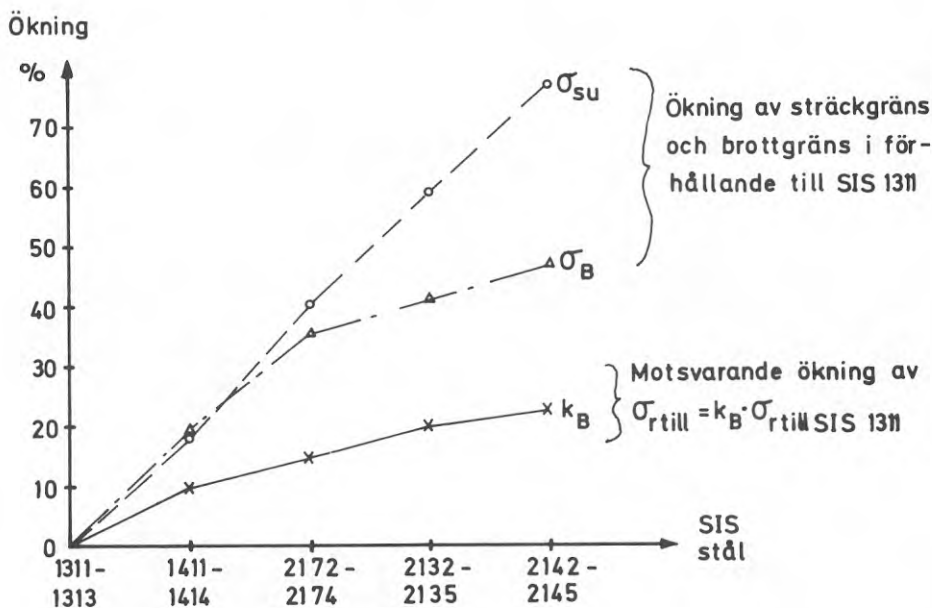


FIG 3:8. Materialfaktorn k_B för förhöjning av σ_r till enligt StBK-N2 och motsvarande sträckgränsvärden σ_{su} resp. brottgränsvärden σ_B

3.4.2 Inverkan av ytskikt på grundmaterialets hållfasthet

Vid formgivning genom smidning eller valsning och efterbehandling genom glödning eller seghärdning utbildas speciella oxidskikt på stålets yta, så kallade vals- eller glödningsskikt. På grund av dessa skikt nedsätts utmattningshållfastheten i förhållande till provstavar med bearbetad yta.

Det skadliga inflytandet beror på strukturuppbyggnaden och felen i oxidskiktet, t ex grovhet, räfflor, ärr, blåsor och porer.

Sprickbildning i ytskiktet fortplantas in i materialet vid utmattningshållfasthet. Alla ytskikt, t ex zink- och färgskikt som innehåller dragrestspänningar ger således upphov till sprickbildning och en ytterligare nedsättning av utmattningshållfastheten i förhållande till obehandlad yta erhålles.

Nedsättningen av utmattningshållfastheten tilltar med ökande brotthållfasthet hos stålet. Vid höghållfasta stål med $\sigma_B \geq 1500$ MPa nedsätts utmattningshållfastheten med 60 ä 70 %, vilket gör att inverkan av andra parametrar är obetydlig i förhållande till valsskiktets inverkan, FIG 3:9.

Utmattningshållfastheten kan höjas genom att ytan behandlas så att den blir hårdare eller genom att man bygger in tryckrestspänningar i ytskiktet (hamring, kulblästring). Inverkan av ytskiktet blir större vid pulserande dragspänning jämfört med växlande spänning. Orsaken anses vara skillnaden i medelspänning; med tilltagande statisk förspänning blir spänningsutslaget mindre för att uppnå sträckgränsen i botten på ytskiktets mikrosprickor jfr FIG 3:12.

3.4.3 Nötningskorrosion

Metalldelar som kommer i kontakt med varandra under tryck och samtidigt rör sig oscillerande i förhållande till varandra utsätts för ett förslitnings-oxidationsfenomen som betecknar nötningskorrosion eller nötningsoxidation.

Nötningskorrosionen kan i ett tidigt skede av provningen ge upphov till sprickbildning i ytskiktet. Denna sprickbildning fortplantas till grundmaterialet; jfr FIG 3:10.

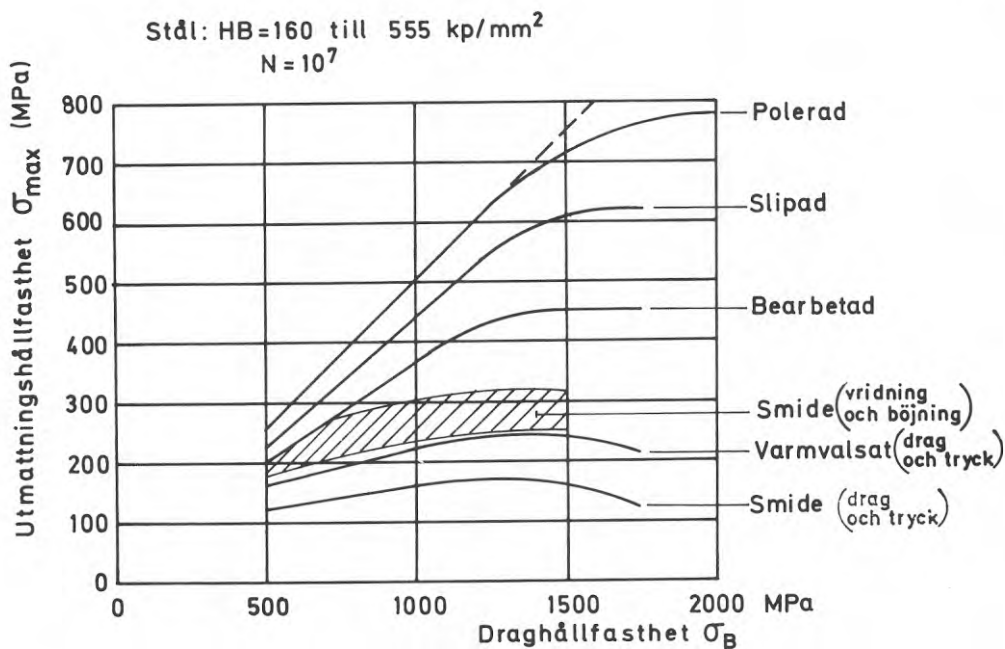


FIG 3:9. Ytskiktets inflytande på utmattningshållfastheten i förhållande till brotthållfastheten. Avser höghållfasta stål. [3]

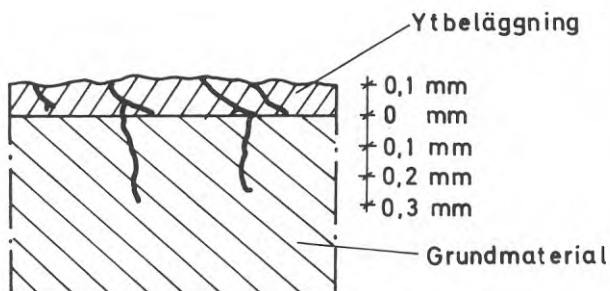


FIG 3:10. Sprickbildning och nötningskorrosionsskada i ytskiktet enl. [3]

För att erhålla nötningskorrosion erfordras tryckspänningar större än ca 30 MPa mellan metalldelarna.

Vid skruv- och nitförband kan nötningskorrosion erhållas antingen i de inre plåtytorna, med brott i netto- eller bruttotvårsnittet som följd, eller i borrhålets ytterkanter, se FIG 3:11, med åtföljande sprickbildning i hålkanten eller brott i netto-tvårsnittet.

Vid skruv- och nitförband samverkar spänningskoncentrationer och nötningskorrosion vid hålkanterna. Utmattningshållfastheten kan dock ökas genom införande av restspänningar i hålkanterna, t ex genom användning av koniska bultar eller höga nitkrafter (jfr 3.3.2).

Enligt [3] ger nötningskorrosion upphov till en större spridning i provningsresultaten vid små spänningsvidder, jämfört med motsvarande spridning vid stora spänningsvidder.

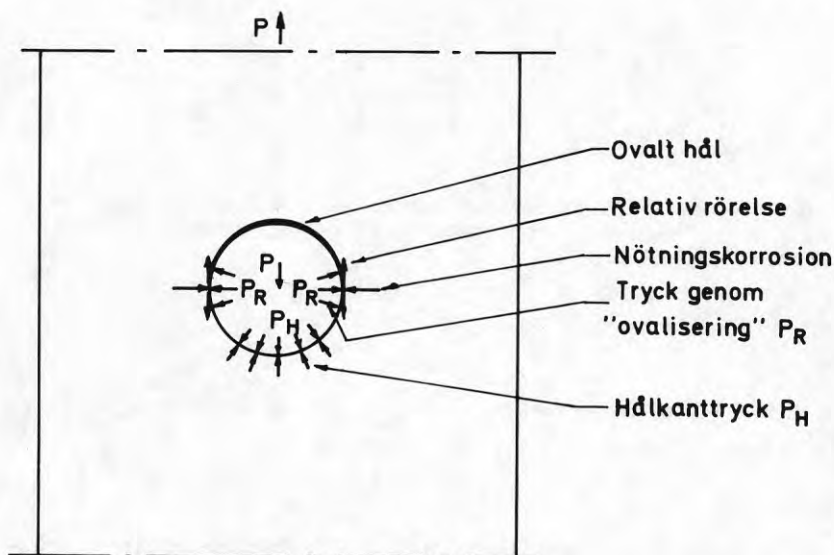


FIG 3:11. Nötningskorrosion i hålkanterna. Hålkantrycket P_H ger upphov till ett ovalt hål och ett tryck P_R på fästelementets båda sidor. Den relativa rörelsen mellan plåt och fästelement ger nötningskorrosion i dessa punkter.

3.4.4 Inverkan av ytskikt på förbandets utmattningshållfasthet.

Vid förband överlagras inverkan av grundmaterialets ytbehandling av andra parametrar med väsentligt större inflytande, t ex spänningskoncentrationer vid hålkanten m m. Några större skillnader hos förbandets utmattningshållfasthet, med hänsyn till provplåtarnas ytbehandling, kan därför inte erhållas [3]. Undantag: kulblästring ökar grundmaterialets utmattningshållfasthet men har en ogynnsam inverkan på nötningskorrosionen.

En ökning av grundmaterialets brottgräns bör därför ge en motsvarande ökning av förbandets utmattningshållfasthet; jfr FIG 3:8.

3.4.5 Inverkan av nitens grundmaterial

Grundmaterialet hos nit och splint består vanligen av :

| <u>Nit</u> | <u>Splint</u> |
|------------|---------------|
| Aluminium | Stål |
| Stål | Stål |
| Aluminium | Aluminium |
| Monel | Stål |

Utöver dessa finns ytterligare några materialkombinationer med bl a koppar men dessa förekommer endast i ett begränsat sortiment.

Programförutsättning:

Plåt

Plåtqualiteten SIS 14 21 22 med $\sigma_{su} = 350$ MPa (SUB 350) väljes, prov med $\sigma_{su} = 300$ MPa och $\sigma_{su} = 250$ MPa utföres.

Nitar

Som grundmaterial hos nitarna används vid försöken stål nit med stålsplint. Nitar av monel-stål, aluminium-stål, trycktät aluminium-stål och deras inverkan på förbandets utmattningshållfasthet undersöks.

3.5 Belastningsparametrar

3.5.1 Spänningsförhållandet $R = \frac{F_{min}}{F_{max}}$

Utmattningshållfastheten med hänsyn till olika spänningsförhållanden (R) visas i FIG 3:12.

Spänningsvidden σ_r definieras som skillnaden mellan σ_{max} och σ_{min} med insatta tecken.

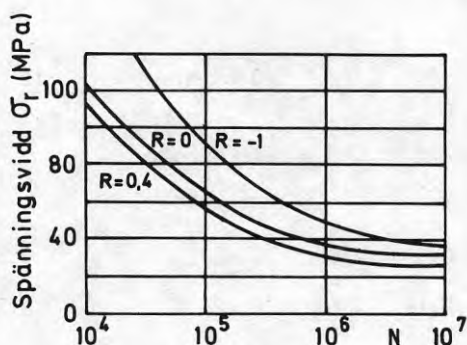


FIG 3:12. Jämförelse mellan Wöhlerkurvor med olika spänningsförhållanden. Provserierna avser lättmetallplåt och enradiga nitförband enligt [3].

Av figuren framgår att $R = 0,4$ ger sämre resultat, med avseende på spänningsvidd, än $R = 0$. Vid $R = 0,4$ ligger spänningarna i mikrospäckorna närmare materialets sträckgräns än vid $R = 0$. Jfr 3.4.2.

Inverkan av vindbyar

Byggnader och liknande konstruktioner anses inte hinna påverkas av vindbyar, vilkas varaktighet är kortare än ca 2 sek. Enligt [6] kan vindhastigheten för en vindby på 2 sek beräknas enligt ekv (1)

$$\bar{V}_{2s} = \bar{V}_{10} + 3,3 \sigma(V) \quad (1)$$

där \bar{V}_{10} = medelvindstyrkan vid höjden 10 m över markytan och tiden 1 timme

och $\sigma(V)$ = standardavvikelsen för vindstyrkan i vindbyarna i förhållande till medelvindstyrkan.

Genom division med \bar{V}_{10} erhålles:

$$\frac{\bar{V}_{2s}}{\bar{V}_{10}} = 1 + 3,3 \frac{\sigma(V)}{\bar{V}_{10}} \quad (2)$$

Ekv (2) anger förhållandet mellan en vindby på 2 sek och en medelvind på 1 timme.

Enligt ekv (2) och följande förutsättningar erhålles TABELL 3:1.

$\frac{\sigma(V)}{\bar{V}_{10}}$ vid 10 m höjd erhålles enligt [6].

$V_{\min} = \bar{V}_{2s(\min)} = \bar{V}_{10}$ d v s $\sigma(V) = 0$ i ekv (1).

Vindens hastighetstryck (q) är proportionellt mot V^2 .

$$\frac{\sigma(V)}{\bar{V}_{10}} \quad \frac{\bar{V}_{2s}}{\bar{V}_{10}} \quad \frac{\bar{V}_{10}}{\bar{V}_{2s}} = \frac{V_{\min}}{V_{\max}} \quad R = \frac{F_{\min}}{F_{\max}} = \left(\frac{V_{\min}}{V_{\max}}\right)^2$$

| | | | | |
|------------------------|------|------|-------|------|
| Stadslandskap | 0,58 | 2,9 | 0,345 | 0,12 |
| Skogslandskap, förstad | 0,32 | 2,05 | 0,488 | 0,24 |
| Öppen terräng | 0,18 | 1,6 | 0,625 | 0,39 |

TABELL 3:1. Förhållandet mellan min- och max-påkänning för en konstruktion med avseende på vindbybelastning

Inverkan av kranbanor

I byggnader med fast monterad kranbana skall horisontella krafter såsom broms- och accelerationskrafter upptas i byggnadskonstruktionen. Vid bromsning av en travers påverkas byggnaden av en konstant kraft under en tid varierande mellan 2-4 sek. Detta föranleder att förbandet provas vid ett värde på spänningsförhållandet $R = 0$.

Programförutsättning:

För att applicera en belastning som motsvarar den spänningsvariation som maximalt åstadkommes av vindens fluktuation inom olika typer av bebyggelseområden göres försök vid följande spänningsförhållanden: $R = 0,1$, $R = 0,25$ och $R = 0,5$.

Som grundvärde väljes $R = 0,1$. Detta värde täcker i princip även inverkan av kranbanor.

3.5.2 Provningsmaskinens frekvens

De svängningar som vanligtvis antas uppkomma i en byggnadskonstruktion ligger inom ett intervall på 0,1 - 5 Hz.

Frekvensinflytandet vid böjning av Al-plåt ($R = -1$) har undersökts [3]. Lägre frekvens ger lägre hållfasthet. Frekvensinflytandet är störst vid låga spänningscykelta, se FIG 3:13.

Enligt försök [3] med platta provstavar av stål med bredden b och borrhålsdiametern d försämrades hållfastheten med ca 20 % vid $b/d = 1,1$ och ca 5 % vid $b/d = 5$, när frekvensen sänktes från 125 Hz till 6 Hz.

Programförutsättning:

För att minimera tidsåtgången vid provningen väljes en frekvens på 25 Hz. Med hänsyn till ovanstående är det dock nödvändigt att undersöka om hållfastheten försämras vid frekvenserna 5 Hz och 1 Hz.

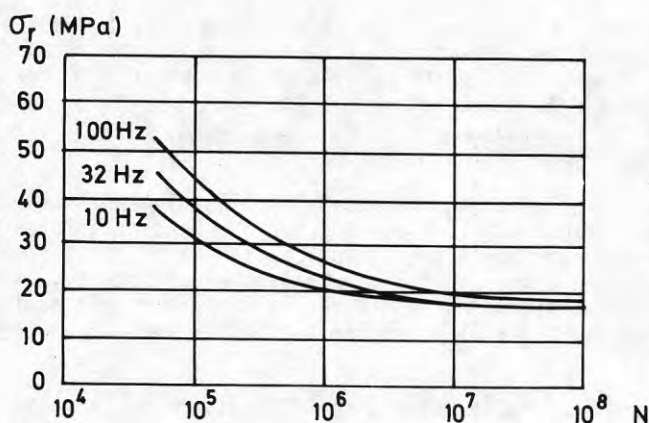


FIG 3:13. Inflytande av belastningsfrekvensen på utmattningshållfastheten. Böjbelastning av Al-plåt. [3]

3.5.3 Antal spänningscykler

Spänningscykler vid vindbelastning [19]

Antalet spänningscykler (N) med hänsyn till vindens pulserande karaktär är av storleksordningen 2000 å 10000/år. Detta ger totalt 10^5 å $5 \cdot 10^5$ lastväxlingar för en byggnad med livslängden 50 år.

Spänningscykler vid traverskranbanor

Krangrupperna I och II representerar den allra största delen av förekommande typer av traverser. För att täcka in dessa krangrupper är $N = 10^5$ tillräckligt enligt SBN-75. Vid vissa typer av stålverkstraverser, krangrupp V, förekommer dock ett betydligt större antal spänningscykler, $N = 2 \cdot 10^6$. Tidsåtgången blir dock för stor för att täcka in krangrupp V. Provningar upp till $N \approx 5 \cdot 10^5$ bör dock ge en god indikation på utmattningshållfastheten vid ett större antal lastväxlingar.

Programförutsättning:

Tre spänningsnivåer med ett uppskattat antal spänningscykler $N = 30000$, $N = 100000$ och $N = 500000$ väljs för provningen.

3.5.4 Kollektivparametern p

Utmattningsprovning kan utföras på i princip tre olika sätt beroende på provningsutrustning: Provning med slumpartat påkänningsförlopp, blockprogramprovning och provning med fullt belastningskollektiv.

1) Vid provning med slumpartat påkänningsförlopp erfordras datorstyrd provningsmaskin. Vid en sådan provning erfordras även i detta fall olika program för vindbelastning resp. belastning från kranbanor.

2) Blockprogramprovning.

Belastningsspektrum omformas till belastningskollektiv för provningsändamål eller av vederbörande myndighet föreskrivet blockprogram föreligger. Blockprogram kan i många fall ha orealistiska ordningsföljder mellan belastningarna, vilket kan ge kraftig överskattning av livslängden. Vid jämförelser mellan olika blockprogram bör därför viss försiktighet iaktas.

3) Provning med fullt belastningskollektiv, d v s kollektivparametern $p = 1$. Provningresultatet kan omräknas till önskat lastkollektiv med Palmgrens delskadehypotes, jfr StBK-N2.

Bestämning av kollektivparametern p

De vid dimensioneringen beaktade spänningscyklerna, $10^2 \leq N \leq 10^7$, sammanställs till ett dimensionerande spänningskollektiv, vilket jämförs med typiserade spänningskollektiv. I exemplet FIG 3:14 väljs $p = 1/2$.

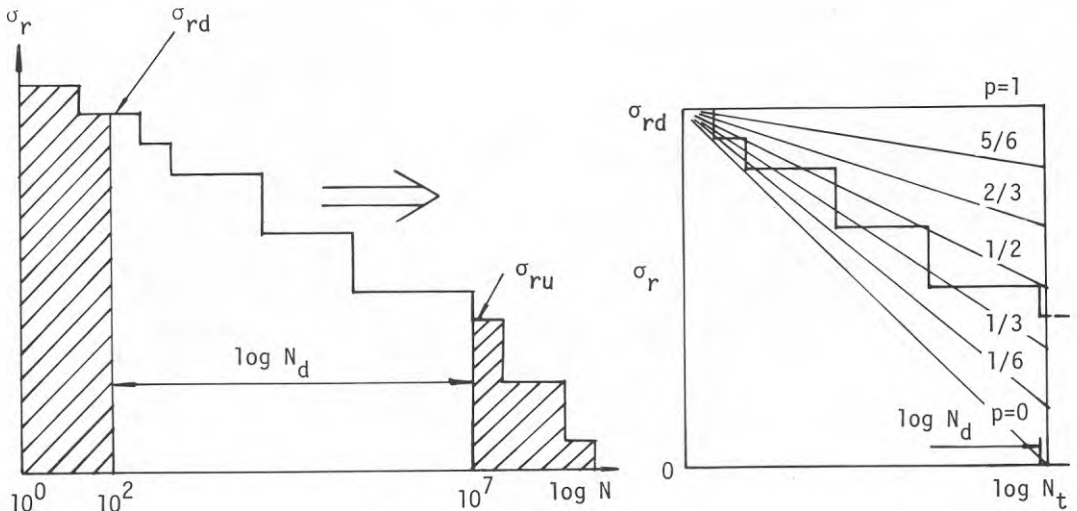


FIG 3:14. Bestämning av kollektivparameter (enligt StBK-N2)

σ_{rd} = dimensionerande spänningssvidd

σ_{ru} = σ_r till vid $N = 10^7$, $p = 1$ och aktuellt K_x -värde

N_d = dimensionerande spänningscykeltal

Programförutsättning:

Provningarna utförs i en MTS-universalprovningmaskin, sinusformade svängningar och kollektivparametern $p = 1$ väljes.

4. PROVNINGSPROGRAM

Utmattningsprovning av tunnplåtsförband

Provningarna avser att bestämma utmattningshållfastheten hos förband i tunnplåt. De olika parametrarna har bestämts med hänsyn till de dynamiska belastningar som orsakas av vind och traverser samt med beaktande av övriga programförutsättningar enligt kapitel 3.

Grundparametrar:

$$\text{Spänningsförhållande } R = \frac{F_{\min}}{F_{\max}} = 0,1$$

Kollektivparametern $p = 1$

Sinusformade svängningar

Frekvens $f = 25 \text{ Hz}$

Material, tunnplåt av stål

SIS 14 21 22 $t = 0,9 \text{ mm}$

$\sigma_s = 350 \text{ MPa}$, varmförzinkad

Varierade parametrar:

$R = 0,25$, $R = 0,50$

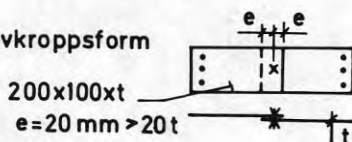
-

-

$f = 5 \text{ Hz}$ (1 Hz)

SIS 141270, SIS 141360

$t = 0,5, 0,6, 0,7, 1,25, 1,50, 2,00$

Provkroppsform

Fästelement: USM nit SD 630 BS
Stålnit med stålsplint, diameter
4,8 mm

Borrhålsdiameter 4,9 mm, sam-
borrning med handborrmaskin

Provkroppsinfästning: Friktions-
förband med 3 st skruv $\emptyset 12 \text{ c } 30$

Aluminiumnit, Monelnit
nitform, nitdiameter 3,2,
4,0, 4,8, 6,4 mm

Försöksgenomförande: Ca 20 provserier, varje provserie består av 20 provkroppar varav 3 st avser statisk belastning, 12 st dynamisk belastning vid 3 olika spänningsnivåer, med $N = 30.000$, $N = 100.000$, $N = 500.000$ och 5 reservprov. Provningsföljden mellan olika spänningsnivåer och tillhörande provkroppar har utvalts med hjälp av slumpstalstabell [12].

Provkropparna belastas statistiskt från 0 till F_{\max} och ned till $\frac{F_{\max} + F_{\min}}{2}$, varefter dynamisk belastning påföres.

Utvärdering av resultaten sker genom anpassning av en rät linje, enligt minsta kvadratmetoden, på dubbellogaritmiskt papper.

4.1 Provningmaterial

Provplåtar

Provplåtarna utgörs av varmförzinkad stålplåt. Kemisk analys av provplåtarna visade följande sammansättning i %

| Prov-serie | C | Si | Mn | P | S | N | Nb |
|------------|------|------|-------|-------|-------|------|------|
| B - K | 0,06 | 0,03 | 0,027 | 0,016 | 0,036 | 0,06 | 0,02 |
| M, P, R, S | 0,06 | 0 | 0,032 | 0,018 | 0,025 | 0,06 | 0,03 |
| 0 | 0,09 | 0,02 | 0,044 | 0,027 | 0,020 | 0,06 | 0,04 |

Provplåtarna till provserie B-K uttogs ur samma materialleverans. Dragprovning av materialet gav följande resultat:

| Prov-serie | Antal dragprov | $t_{\text{stål}}$ mm | σ_s MPa | σ_B MPa | δ_{50} % |
|------------|----------------|-------------------------|-------------------|-------------------|--------------------|
| B - K | 18 | 0,82 | 425 | 473 | 27 |
| L | 3 | 0,65 | 411 | 480 | - |
| M, P, R | 12 | 0,83 | 346 | 447 | 33 |
| N | 3 | 1,14 | 380 | 455 | 28 |
| 0 | 3 | 1,92 | 341 | 451 | 34 |

Max. avvikelse ± 3 %.

Fästelement

Fästelementen består av stål nit-stålsplint som grundkombination och aluminium nit-stålsplint samt monel nit-stålsplint som varianter. Beträffande nitmateriallets sammansättning hänvisas till United Shoe Machinery, Örebro.

För att få en uppfattning om klämkräften i förbandet utfördes dragprovning av splintarna, se TABELL 4:1. Enligt tabellen erfordras vid montering av POP-nitar en dragkraft på ca 5000 N vid nitdiametern 4,8 mm och ca 13000 N vid nitdiametern 6,4 mm.

| Beteckning | Nit-diam. mm | d_{splint} mm | Dragkraft [N] | | | | σ_{splint} N/mm ² |
|-------------|-----------------|---------------------------|---------------|-------|-------|-------|---|
| | | | 1 | 2 | 3 | Medel | |
| SD 424 BS | 3,2 | 1,9 | 3500 | 3450 | 3500 | 3480 | 1228 |
| SD 524 BS | 4,0 | 2,3 | 4200 | 4400 | 4500 | 4360 | 1050 |
| AD 66 H | 4,8 | 2,6 | 6150 | 5900 | 6050 | 6030 | 1136 |
| TAP D/64 BS | 4,8 | 2,65 | 5350 | 5200 | 5450 | 5330 | 967 |
| SD 630 BS | 4,8 | 2,9 | 5050 | 4900 | 4950 | 4960 | 751 |
| SD 835 BS | 6,4 | 3,9 | 13000 | 13100 | 12900 | 13000 | 1089 |

TABELL 4:1. Dragprovning av stålsplint till USM-POP-nit

4.2 Provningsmaskin, mätutrustning och mätningar

Provningsmaskin: MTS universalprovningsmaskin nr 980.69
 Oscilloskop: Tektronix 510 3N/D15
 Förstärkare: Tektronix 5A 18N, 5A 19N, 5B 10N
 Strain Indikator Brüel o Kjaer Typ 1526
 Digital Multimeter DMM2

Deformationsmätningar utförs med 2 extensometrar med vardera 4 foliegivare i X-Y-skrivare Hewlett-Packard 7044A/7045A.

MTS-maskinens lastcell är placerad ovanför provkroppen och registrerar storleken av den pulserande lasten. Lastcellen är sedan kopplad till MTS-maskinens kolv.

Signalen från lastcellen jämförs med ett i förväg inställt program och eventuella avvikelser minimeras genom att oljetrycket mot kolven justeras. Principen för "Closed Loop" framgår av FIG 4:3.

Vid provning med pulserande last kontrollerades lastgränserna med hjälp av oscilloskopet. Vid de dynamiska provningarna kunde antalet lastväxlingar, som uppnåtts då provkroppen gick till brott, avläsas på MTS-maskinens räkneverk. De vid deformationsmätningen använda extensometrarna var kopplade till en förstärkare med Wheatstonebrygga (Strain Indikator Brüel o Kjaer Typ 1526) som registrerade provplåtarnas svängningsrörelse kring lastnivån F_{medel} . Till denna förstärkare var i sin tur en Digital Multimeter DMM2 och en X - Y - skrivare kopplade. Digital Multimetern registrerade den statiska nivån vid lastnivån F_{medel} , dvs provplåtarnas inbördes rörelse vid lastnivån F_{medel} beroende av svängningar. Vid den statiska provningen ritade X - Y - skrivaren ett lastdeformationsdiagram.

Mätinstrumentens placering och kopplingar framgår av FIG 4:1.

Extensometrarnas utseende och applicering på provkroppen framgår av FIG 4:2.

Exempel på provningsprotokoll till ett prov tillhörande provserie B visas i FIG 4:4 och 4:5 samt TABELL 4:2.

FIG 4:4 visar ett last-förskjutningsdiagram vid statisk provning. F_{brott} erhöles till 3550 N vid deformation 4,2 mm. Brottypen var snedställning och skjuvbrott av niten.

TABELL 4:2 visar avläsningen av den statiska nivån på Digital Multimetern DMM2 och avläsningen av svängningsrörelsen på Strain Indikatorn samt amplituden på Oscilloskopet.

FIG 4:5 visar de registrerade värdena i TABELL 4:2 uppritade i diagramform.

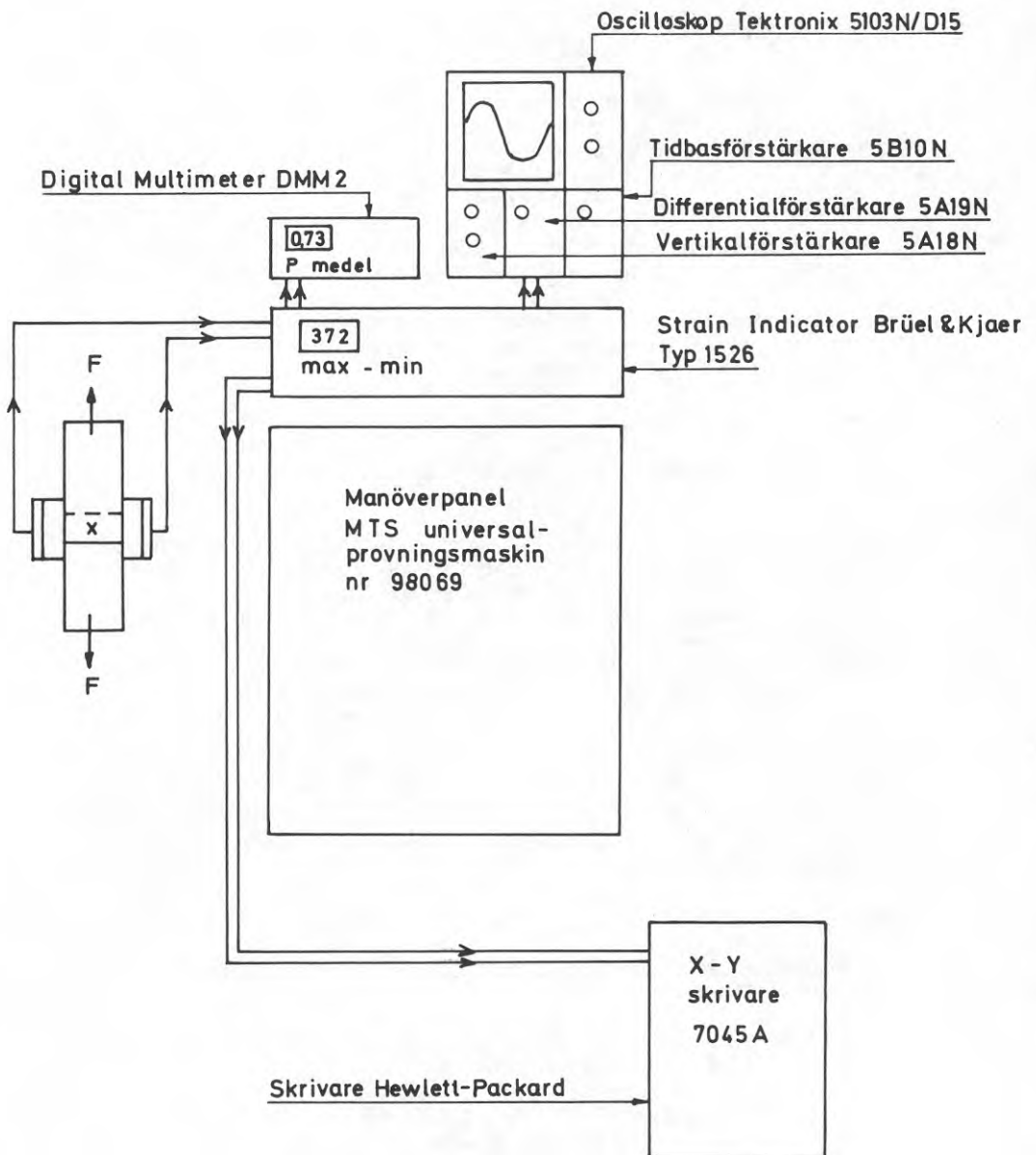


FIG 4:1. Mätinstrument

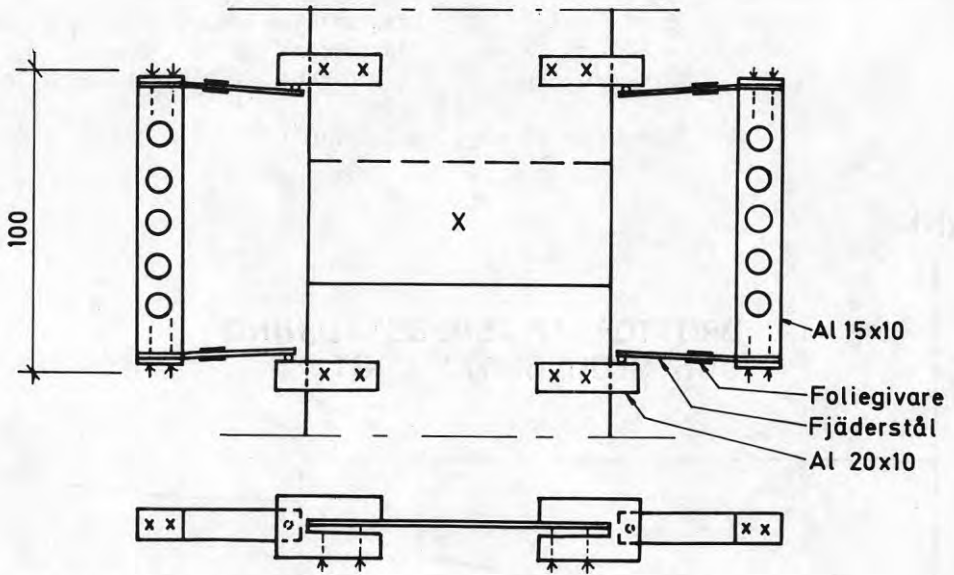


FIG 4:2. Extensometer

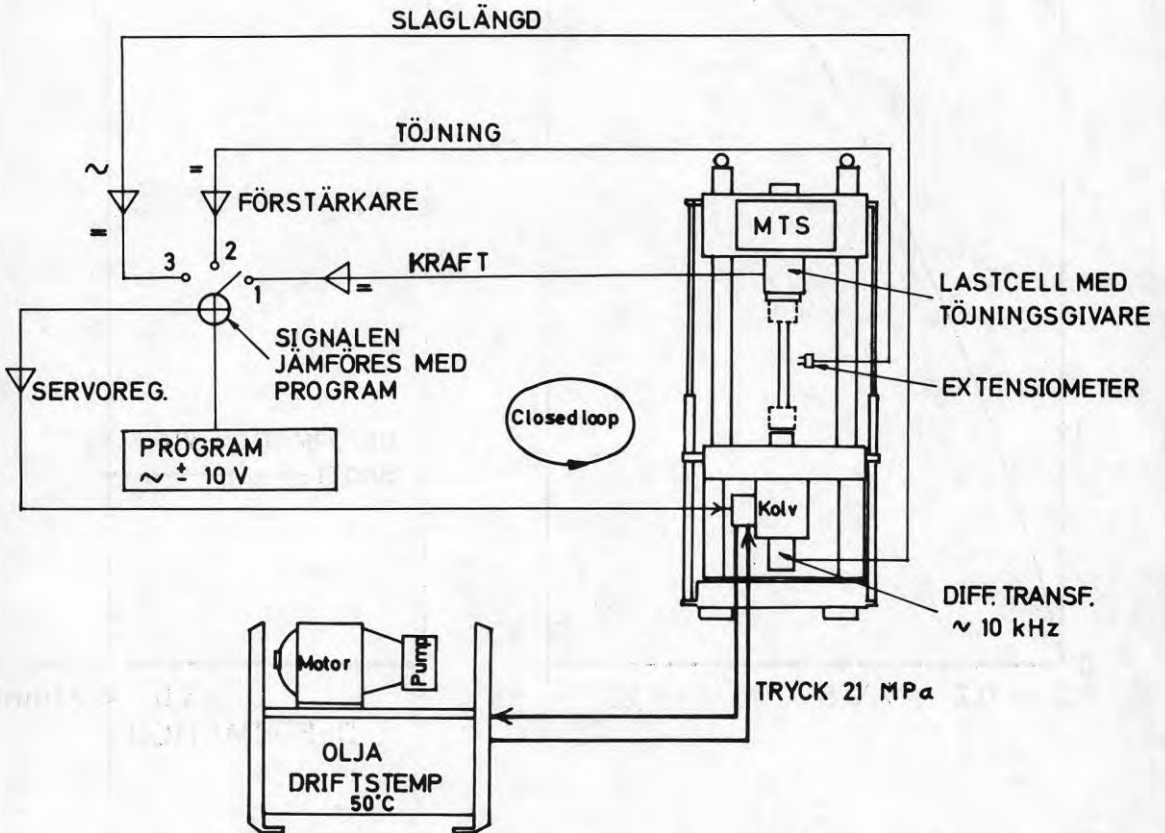


FIG 4:3. Closed Loop

Datum: 74-11-26
 Provserie: B
 Prov nr: 1 B23, B1
 F_{max} : 3.550 N

Provningsprotokoll
 Utmattningsprovning av tunnplåtsförband
 Plåt: Dogal SUB 350, tjocklek 0,8 mm
 Förbindare: Stålnit med stålsplint,
 USM SD 630 BS
 $d = 4,8$ mm, $d_H = 4,9$ mm

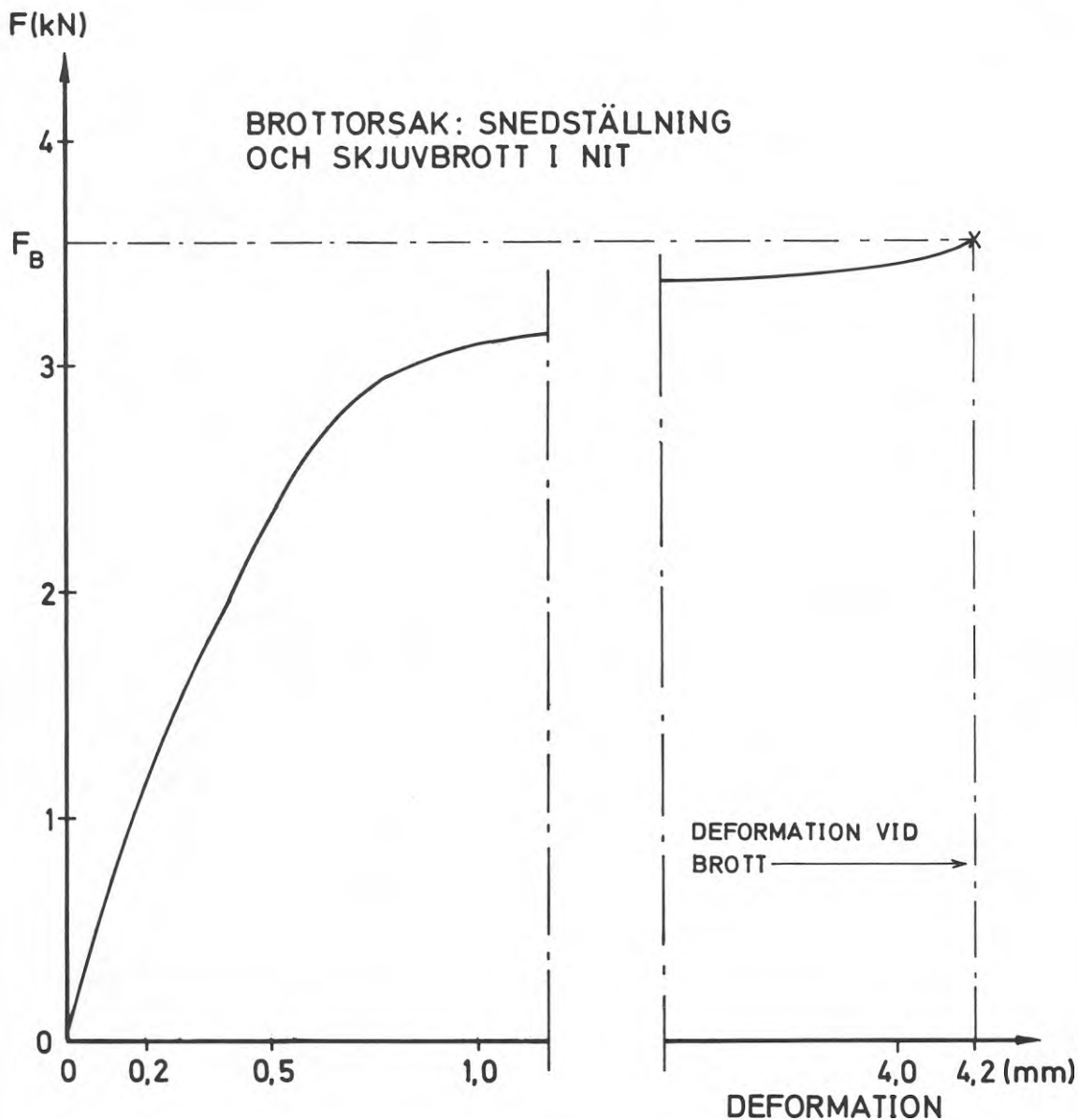


FIG 4:4. Exempel på provningsprotokoll, statisk provning
 (X - Y - skrivare)

Datum: 74-11-29
 Provserie: B
 Prov nr: 9 B35, B26
 F_{max} : 1850 N

Provningsprotokoll
 Utmattningsprovning av tunnplåtsförband
 Plåt: Dogal SUB 350, tjocklek 0,8 mm
 Förbindare: Stålnit med stålsplint,
 USM SD 630 BS
 $a = 4,8$ mm, $d_H = 4,9$ mm,
 $R = F_{min}/F_{max} = 0,1$
 Frekvens 25 Hz

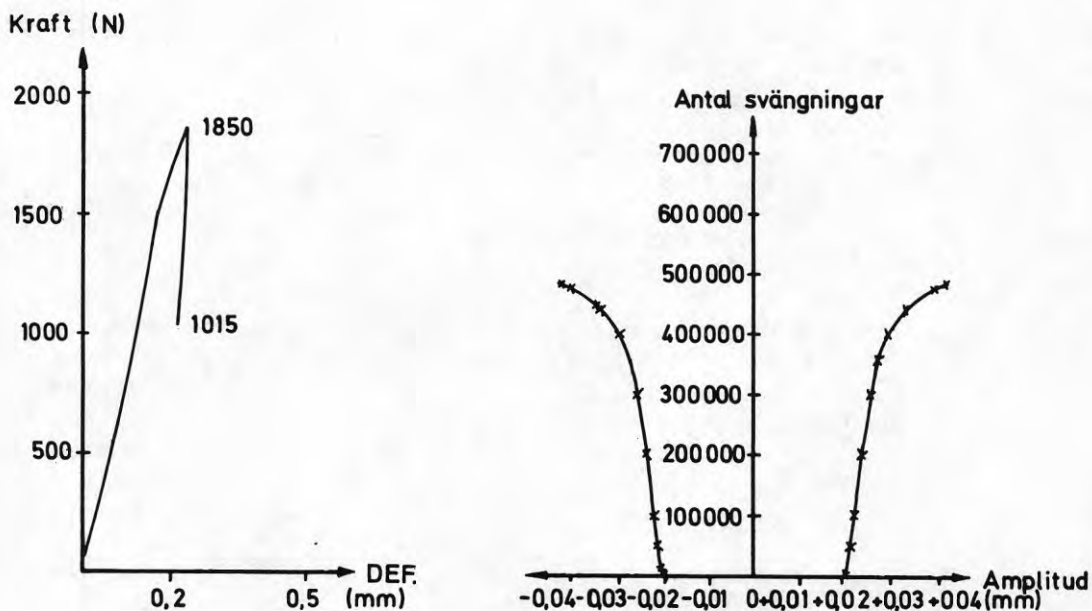
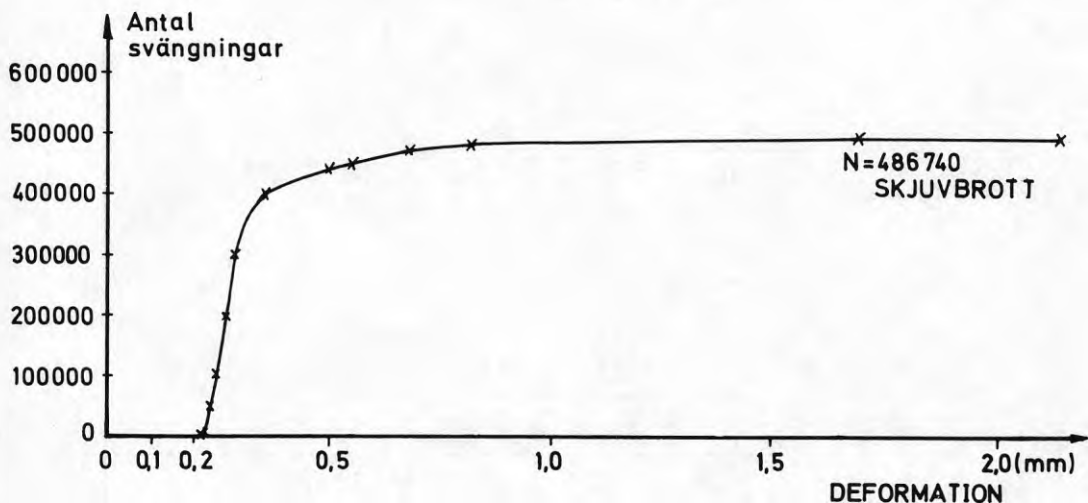


FIG 4:5. Exempel på provningsprotokoll, utmattningsprovning

DATUM : 1974.11.29

Provserie: B

Prov nr: 9 B35, B26

Belastningsgränser mV: $\begin{array}{c} 0,36 \quad 2,03 \quad 3,7 \\ | \quad | \quad | \\ \hline 1,67 \quad 1,67 \end{array}$

N: 180 1015 1850

| Antal svängn. | DMM statistik nivå mV | Strain Ind. μ s digital | Oscilloscope Amplitud mV | Anm. |
|---------------|-----------------------|-----------------------------|--------------------------|------------------------------|
| 1 | 788 | 393 | 0 | |
| 100 | 810 | 443 | 150 | |
| 1.000 | 811 | 444 | 150 | |
| 10.000 | 828 | 454 | 155 | |
| 50.000 | 855 | 470 | 160 | |
| 100.000 | 913 | 500 | 165 | |
| 175.000 | 969 | 528 | 170 | |
| 200.000 | 993 | 541 | 175 | |
| 300.000 | 1068 | 583 | 190 | |
| 400.000 | 1307 | 710 | 220 | |
| 439.890 | 1813 | 970 | 250 | 0,5 mm |
| 449.000 | 2000 | 1063 | 260 | |
| 474.690 | 2500 | 1330 | 300 | |
| 484.300 | 3000 | 1610 | 315 | MTS-koivens rörelse 1,7mm |
| 486.000 | | | | 1,7 mm |
| 486.740 | | | | 2.2 Brott Skjuvbrott i niten |

TABELL 4:2. Exempel på provningsprotokoll, utmattningsprovning

4.3 Mätnoggrannhet

Vid utmattningsprovningen belastas provkropparna statistiskt från 0 till F_{\max} och ned till $\frac{F_{\max} + F_{\min}}{2}$, därefter påförs dynamisk belastning genom att $F_r = F_{\max} - F_{\min}$ inställes på MTS-maskinen.

F_r avläses även på oscilloskopet.

Enligt kalibreringskurvan för MTS-maskinens lastcell, mätområde $5\text{KN} \pm 40\text{ N}$, erhålles då ett maximalt fel på $(\pm 40 \pm 40)\text{ N} = \pm 80\text{N}$.

Med två extensometrar mäts deformationen i förbandet under provningen. Enligt kalibreringskurvor blir felet vid 1 mm deformation $\pm 0,009\text{ mm}$.

Strain Indikatorns (typ 1526) digitala avläsning har ett fel på $\pm 0,1\% \pm 1$ siffra, vilket innebär vid maximalt utslag på 2000 μstr ett fel i sista avläsningssiffran på ± 3 enheter. Vid koppling av fler apparater från förstärkarens uttag tillkommer ytterligare ett fel på $\pm 0,1\%$. Omräknat till mm fås ett totalt fel på $(\pm 0,0017 \pm 0,0011) = \pm 0,0028\text{ mm} \approx \pm 0,003\text{ mm}$.

Vid den statistiska provningen uppritas ett last-deformationsdiagram av en X-Y-skrivare (HP 7044A/7045A). Då uppstår ett fel vid själva uppritningen av kurvan på $\pm 0,2\%$ av fulla skalan på de två vinkelräta axlarna, dvs i last-axelriktningen uppstår ett fel på $\pm 8\text{N}$ och i deformation-axelriktningen ett fel på $\pm 0,008\text{ mm}$.

Avläsningen av den statistiska nivån sker med en Digital Multimeter DMM2. Enligt specifikation till instrumentet uppstår ett fel i avläsningen på $\pm 4\text{ mV}$ då skalområdet 2000 mV är inställt. Omräknat till mm fås ett fel på $\pm 0,001\text{ mm}$.

Felfortplantning:

Eftersom extensometrarna är anslutna till Strain Indikatorn och denna i sin tur har en X-Y-skrivare och en Digital Multimeter tillkopplade, kommer det slutliga felet i seriekopplingen att bestå av summan av de olika komponenternas fel.

Statisk provning

Deformation: Slutliga fel i deformation-axelriktningen hos X-Y-skrivaren blir summan av fel hos extensometern + fel hos Strain Indikatorn + fel hos X-Y-skrivaren = $\pm 0,009 \pm 0,003 \pm 0,008 = \pm 0,020\text{ mm}$.

Kraft: Slutliga fel i last-axelriktningen hos X-Y-skrivaren blir summan av fel i inställning av MTS-maskinen + fel hos X-Y-skrivaren = $\pm 80 \pm 8 = \pm 88\text{ N}$.

Dynamisk provning

Deformation: Slutliga fel i avläsningen av den statistiska nivån på DMM2 blir summan av fel hos extensometern + fel hos

Strain Indikatorn + fel hos Digital Multimetern
DMM2 = $\pm 0,009 \pm 0,003 \pm 0,001 = 0,013$.

Kraft: Fel vid inställning av MTS-maskinen = ± 80 N.

4.4 Provningsomfattning

Varje provserie består av 20 prov, d v s 40 provplåtar. 12 st prov avser dynamisk belastning vid 3 olika spänningsnivåer motsvarande $N \approx 30.000$, $N \approx 100.000$ och $N \approx 500.000$, 3 st prov avser statisk belastning samt 5 st är reservprov. Provserierna förses med littera B, C, D, E och F och provplåtarna numreras från 1 till 40 inom varje serie.

De inverkande parametrarna vid de olika provserierna framgår av TABELL 7:1, sid. 78.

Vid statistisk utvärdering av försöksresultaten är det lämpligt att använda sig av slumpmässigt uttagna prov. Provningsföljden mellan olika typer av prov, t ex statiska prov, dynamiska prov på olika belastningsnivåer och reservprov, har därför bestämts med hjälp av slumpstalstabell enligt Kreyszig [12]. Därefter har de olika typerna av prov tilldelats provplåtar på motsvarande sätt.

5. UTVÄRDERING AV FÖRSÖKSRESULTAT VID STATISK BELASTNING, ALLMÄNNA PRINCIPER

Kapitel 5 och 6 avser beskrivning av olika utvärderingsmetoder och utgör underlag för kapitel 7 FÖRSÖKSUTVÄRDERING. Gränserna för spridningsområdet (intervallgränserna) kan beräknas på olika sätt. Vid provning med statisk belastning bestäms tillåten last med hänsyn till intervallgränserna. Vid utmattningsprovning bestäms däremot tillåten last med hänsyn till en till brottlasterna anpassad kurva, och val av beräkningsmetod för spridningsgränserna påverkar ej den tillåtna lastnivån på samma sätt som vid statisk belastning.

5.1 Bestämning av m och σ^2

Vid provningar med stort antal element kan man bestämma populationens medelvärde (m) och varians σ^2 med tillräcklig noggrannhet. Vanligen vill man bestämma m och σ^2 med hjälp av ett urval, d v s genom provning av ett begränsat antal element. Man använder då följande vänteriktiga bestämningar av m och σ^2 :

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$$

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n X_i \right)^2}{n-1}$$

Alla urval har individuella avvikelser, men dessa bestämningar är sådana att "de i medeltal" tenderar att bli lika med m och σ^2 . Vid ökning av urvalets storlek n erhålles bättre och bättre överensstämmelse; jfr FIG 5:1 resp. 5:2.

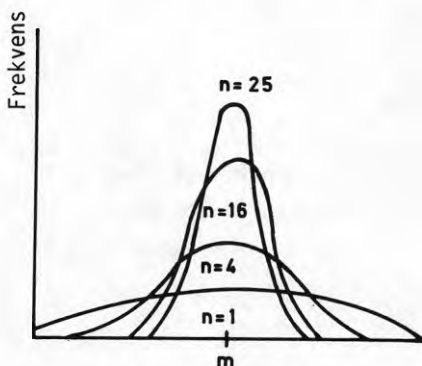


FIG 5:1. Fördelning av \bar{X} vid urval av storlek n från en normalfördelning med medelvärde m . Enligt Handbook 91 [10]

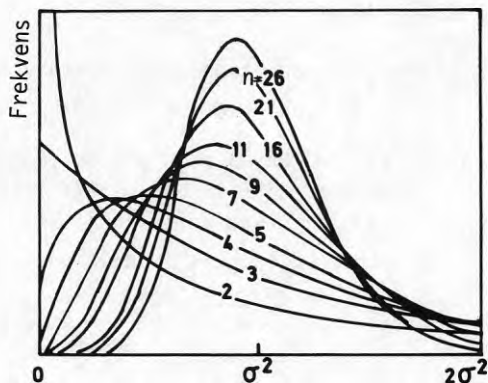


FIG 5:2. Fördelning av s^2 vid urval av storlek n från en normalfördelning med $\sigma = 1$. Enligt Handbook 91 [10]

5.2 Bestämning av intervallgränser

Med ledning av provningsresultat erhållna vid provning av ett urval med begränsad storlek n kan intervall, som med viss sannolikhet innesluter någon obekant parameter, inom populationen bestämmas på något av följande sätt:

- 1) konfidensgränser
- 2) toleransgränser
- 3) predikeringsgränser.

Skillnaderna mellan de olika intervallgränserna beror på variationer i de statistiska betraktelsesätten, jfr Little [20].

Konfidensgränser är gränser för ett konfidensintervall, vilket med viss sannolikhet innesluter någon obekant parameter och avser vanligen gränser för medelvärdet.

Toleransgränserna innesluter en viss del av hela populationen.

Predikeringsgränserna avser vanligen gränserna för en enskild framtida observation.

5.3 Konfidensgränser

Ett konfidensintervall är ett ur ett urval beräknat intervall, vilket med viss sannolikhet innesluter någon obekant parameter.

Sannolikheten att intervallet innesluter den obekanta parametern kallas konfidensintervallets konfidensnivå γ .

Gränserna för konfidensintervallet kallas konfidensgränser.

Ex. Konfidensgränser för populationens medelvärde vid normalfördelning

$$\bar{X} \pm z_C \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

σ = populationens standardavvikelse

$z_C = 1,645$ vid konfidensnivån $\gamma = 90\%$.

Vid små urval ($n < 30$) är denna uppskattning ej tillräckligt noggrann enligt Spiegel [21], vilket gör att man ersätter faktorn z_C med $t_{\gamma, f}$, som kallas kritiskt värde eller konfidenskoefficient och erhålls ur t-fördelningstabell. Populationens standardavvikelse σ ersätts med $\sqrt{n/(n-1)} \cdot s$, vilket är urvalets uppskattning av σ , d v s vid $n < 30$ erhålles:

$$\bar{X} \pm t_{\gamma, f} \frac{s}{\sqrt{n-1}} \quad \text{alt. } \bar{X} \pm k s$$

Faktorn k är beroende av γ , f och n .

Med ökande n konvergerar de båda betraktelsesätten, jfr TABELL 5:1.

5.4 Toleransgränser

Ensidig toleransgräns

Givet:

Uppskattning av medelvärdet \bar{X} och standardavvikelsen s baserade på n st prov med f frihetsgrader (överbestämningar) av en normalfördelning.

Sökt:

Faktorn k för en undre toleransgräns av formen $\bar{X} - k s$ så att följande påstående kan göras, "åtminstone en del, P , av den normalfördelade populationen är större än $\bar{X} - k s$ med konfidensnivån γ ". Faktorn k är en funktion av P , γ , f och n . För exakt lösning av ekvationen för k se Owen, Handbook of statistical tables [22]. Tabeller över faktorn k se Owen [22], ASTM [8], ISO-DIS 3207. Förenklad beräkning av k se Struck [23].

Tvåsidig toleransgräns

Givet:

Uppskattning av medelvärdet \bar{X} och standardavvikelsen s baserade på n st prov med f frihetsgrader av en normalfördelning.

Sökt:

Faktorn k för tvåsidiga toleransgränser av formen $\bar{X} \pm k s$ så att följande påstående kan göras, "åtminstone en del, P av den normalfördelade populationen ligger mellan $\bar{X} - k s$ och $\bar{X} + k s$ med konfidensnivån γ ". Tabeller över faktorn k se Owen [22], Eisenhart [24], ISO-DIS 3207.

Anmärkning:

Konfidensgränserna för medelvärdet vid normalfördelning är

$$\bar{X} \pm z_c \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \text{ med } \sigma \text{ känt och } \bar{X} \pm t_c \frac{s}{\sqrt{n-1}} \text{ med } \sigma \text{ obekant; dessa}$$

gränser är beräknade från mittpunkten på respektive fördelningskurva och går ej att använda vid bestämning av toleransgränser för fraktilvärden. Vid beräkning av faktorn k används därför en icke central t -fördelning, d v s en kombination av t - och χ^2 -fördelning. Vid användning av toleransgränser bör även, enligt Owen [22], P och γ vara av samma storleksordning, t ex $P = 0,95$ ger $\gamma = 0,95$.

TABELL 5:1. Bestämning av faktorn k vid intervall enligt formeln $\bar{X} \pm k s$ och normalfördelning

| Sannolikhet P % | Konfidenst nivå Y % | Antal prov n | | | | | | | | | | Anm. | | | |
|---------------------------------------|---------------------------|--------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|---|
| | | 1 | 2 | 4 | 5 | 6 | 8 | 10 | 12 | 20 | 25 | | 30 | 60 | ∞ |
| <u>Tvåsidigt konfidsintervall</u> | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | 95 | 1,96 | 1,39 | 0,98 | 0,88 | 0,80 | 0,69 | 0,62 | 0,57 | 0,44 | 0,39 | 0,36 | 0,25 | 0 | $k = 1,96/\sqrt{n}$ |
| - | 90 | 1,645 | 1,16 | 0,82 | 0,74 | 0,67 | 0,58 | 0,52 | 0,47 | 0,37 | 0,33 | 0,30 | 0,21 | 0 | $k = 1,645/\sqrt{n}$ |
| - | 95 | - | 12,71 | 1,84 | 1,39 | 1,15 | 0,89 | 0,75 | 0,66 | 0,48 | 0,42 | 0,38 | 0,26 | 0 | $k = t_{\gamma, (n-1)}/\sqrt{n-1}$ |
| - | 90 | - | 6,31 | 1,36 | 1,07 | 0,90 | 0,72 | 0,61 | 0,54 | 0,40 | 0,35 | 0,32 | 0,22 | 0 | - |
| <u>Ensidiga toleransgränser</u> | | | | | | | | | | | | | | | |
| 95 | 95 | - | 26,26 | 5,14 | 4,21 | 3,71 | 3,19 | 2,91 | 2,74 | 2,40 | 2,29 | 2,22 | 2,02 | 1,645 | $k = f(P, \gamma, f, n)$ |
| " | 90 | - | 13,09 | 3,96 | 3,40 | 3,09 | 2,75 | 2,57 | 2,45 | 2,21 | 2,13 | 2,08 | 1,93 | 1,645 | - |
| " | 75 | - | - | 2,68 | 2,46 | 2,34 | 2,19 | 2,10 | 2,05 | 1,93 | 1,90 | - | - | 1,645 | - |
| " | 50 | - | - | 1,83 | 1,78 | 1,75 | 1,72 | 1,70 | 1,69 | 1,67 | 1,67 | - | - | 1,645 | - |
| <u>Tvåsidiga toleransgränser</u> | | | | | | | | | | | | | | | |
| 90 | 90 | - | 15,98 | 4,17 | 3,49 | 3,13 | 2,74 | 2,54 | 2,40 | 2,15 | 2,08 | 2,03 | 1,89 | 1,645 | " |
| " | 75 | - | 6,30 | 2,89 | 2,60 | 2,43 | 2,24 | 2,13 | 2,06 | 1,93 | 1,88 | 1,86 | 1,78 | 1,645 | - |
| " | 50 | - | - | 2,07 | 1,97 | 1,90 | 1,83 | 1,79 | 1,77 | 1,72 | 1,70 | 1,69 | 1,67 | 1,645 | - |
| <u>Tvåsidiga predikteringsgränser</u> | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | 95 | - | 15,57 | 3,56 | 3,05 | 2,78 | 2,50 | 2,37 | 2,29 | 2,14 | 2,10 | 2,07 | 2,02 | 1,96 | $k = t_{\gamma, (n-1)}\sqrt{1 + \frac{1}{n}}$ |
| - | 90 | - | 7,73 | 2,63 | 2,33 | 2,18 | 2,02 | 1,92 | 1,87 | 1,77 | 1,74 | 1,73 | 1,68 | 1,645 | - |

5.5 Predikteringsgränser (prediktera = förutsäga)

Med ledning av provningsresultat erhållna vid provning av ett urval bestäms gränserna för en framtida observation.

Ex. $X_1 \dots X_n$ oberoende och $N(m, \sigma)$.

Prediktering av någon observation X_{n+1} innebär att ge predikteringsgränser $\bar{X} + k s$ respektive $\bar{X} - k s$ som uppfyller:

$$P(\bar{X} - k s < X_{n+1} < \bar{X} + k s) = \gamma$$

$$\text{Med } f = n - 1 \text{ fås } k = t_{\gamma(n-1)} \cdot \sqrt{1 + \frac{1}{n}}$$

($f = n - 2$ se avsnitt 6).

Vid bestämning av predikteringsgränser används t-fördelning med f frihetsgrader och önskad konfidensnivå.

Predikteringsgränserna är symmetriska.

Predikteringsgränserna vid anpassning av rät linje till provningsresultaten blir något böjda linjer på grund av större osäkerhet i intervallets ytterkanter (jfr avsnitt 6).

5.6 Bedömning av provningsresultat enligt SIS 27 11 14 Tunnplåtsförband. Bestämning av hållfasthet parallellt plåtplanet.

Avsnittet om bedömning av provningsresultat är endast anvisningar, ej svensk standard.

Provning av en eller två plåttjocklekar

Korrigerig för avvikelser från nominell brottgräns och nominell plåttjocklek utföres. Karakteristisk brottlast och tillåtna laster bestäms enligt "Hållfasthetsdimensionering genom provning", Statens planverks godkännanderegler 1975:4 (d v s ensidigt toleransintervall med $P = 95\%$ och $\gamma = 75\%$).

Provning av minst tre olika plåttjocklekar eller brottgränser

En empirisk formel för brottlasten $F_f = k_1 \sigma_B t^{k_2}$ uppställs, där koefficienterna k_1 och k_2 bestäms med regressionsanalys eller passning.

Den karakteristiska bärformågan F_5 bestäms enligt följande:

$$F_5 = F_f (1 - C_5 \delta),$$

där F_f är funktionssamband enligt FIG 5:3.

C_5 är koefficient enligt följande tabell

| | | | | | | |
|-------|------|------|------|------|------|------|
| n | 6 | 9 | 12 | 20 | 40 | 100 |
| C_5 | 2,33 | 2,14 | 2,04 | 1,93 | 1,83 | 1,75 |

δ är variationskoefficient (standardavvikelse dividerat med medelvärde)

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{n-1} \left[\sum_{i=1}^n \left(\frac{F_i}{F_{fi}} \right)^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n \frac{F_i}{F_{fi}} \right)^2 \right]}$$

där n är antal mätvärden

F_i är enskilt mätvärde vid provning i

F_{fi} är värde av F_f för brottgräns och plättjocklek vid provning i

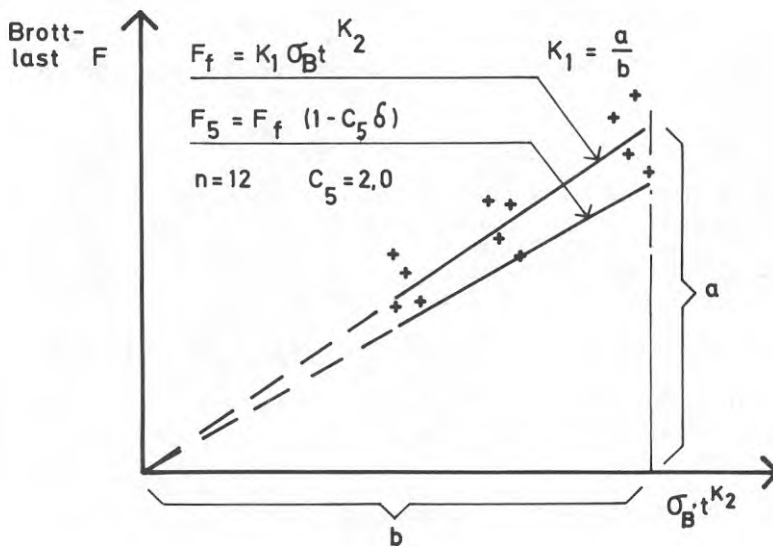
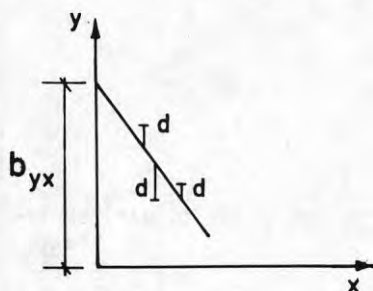


FIG 5:3. Exempel på samband mellan brottlast F och brottgräns σ_B samt plättjocklek t

6 UTVÄRDERING AV FÖRSÖKSRESULTAT VID DYNAMISK BELASTNING, ALLMÄNNA PRINCIPER

6.1 Linjär regression [12], [13], [14]

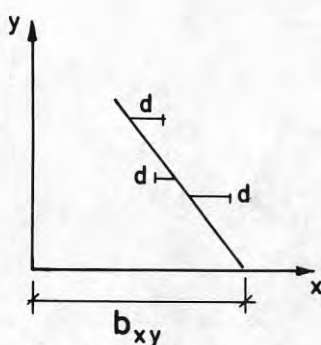
Utvärderingen sker genom anpassning av en rät linje till provningsresultaten. Anpassningen sker enligt minsta kvadratmetoden, d v s summan av kvadraterna på alla punkters avvikelse från den räta linjen minimeras.



Räta linjens ekv:

$$Y_f = a_{yx} \cdot X + b_{yx}$$

FIG 6:1.



Räta linjens ekv:

$$X_f = a_{xy} \cdot Y + b_{xy}$$

FIG 6:2.

Parametern a_{yx} alt. a_{xy} anger den räta linjens lutning och kallas regressionskoefficient. FIG 6:1 anger regression av Y-värden på X-värden och FIG 6:2 anger regression av X-värden på Y-värden. Regressionsanalys anger typen av samband mellan X_j och Y_j . Regressionskoefficienterna a_{xy} , a_{yx} och konstanterna b_{xy} , b_{yx} beräknas enligt följande formler:

$$a_{xy} = \frac{n \sum XY - \sum X \sum Y}{n \sum Y^2 - (\sum Y)^2}$$

$$b_{xy} = \frac{\sum X - a_{xy} \sum Y}{n}$$

$$a_{yx} = \frac{n \sum XY - \sum X \sum Y}{n \sum X^2 - (\sum X)^2}$$

$$b_{yx} = \frac{\sum Y - a_{yx} \sum X}{n}$$

Räta linjens ekv.

Dubbellogaritmiskt koordinatsystem (log - log):

$N = b \sigma^{-a}$ i explicitform $\log N = -a \log \sigma + \log b$, vilket ger:

$$X_f = a_{xy} \cdot Y + b_{xy}$$

6.2 Korrelation

Provningsresultatet består av n värdepar $(X_1, Y_1), (X_2, Y_2) \dots (X_n, Y_n)$, vilket ger:

| | | |
|------------|--|---|
| Medelvärde | X-riktning $\bar{X} = \frac{1}{n} (X_1 + \dots + X_n)$ | Y-riktning $\bar{Y} = \frac{1}{n} (Y_1 + \dots + Y_n)$ |
| Varians | $s_1^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (X_j - \bar{X})^2$ | $s_2^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (Y_j - \bar{Y})^2$ |
| Kovarians | $s_{xy}^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (X_j - \bar{X})(Y_j - \bar{Y})$ | |

Förhållandet: $r = \frac{s_{xy}}{s_1 s_2}$ kallas korrelationskoefficient, alt. skrivsätt;

$$r = \frac{s_{xy}}{s_1 s_2} = \sqrt{a_{yx} a_{xy}} = \sqrt{\frac{\sum X_j Y_j - \frac{1}{n} \sum X_j \sum Y_j}{[\sum X_j^2 - \frac{1}{n} (\sum X_j)^2][\sum Y_j^2 - \frac{1}{n} (\sum Y_j)^2]}}$$

Med hjälp av korrelationskoefficienten r kan graden av samband bestämmas, d v s de båda variablernas beroende av varandra. När korrelationskoefficienten r går mot 1 eller -1 , går vinkeln β mellan de båda linjerna mot 0, se FIG 6:3. Vid $r = 1$ eller $r = -1$ sammanfaller de båda linjerna.

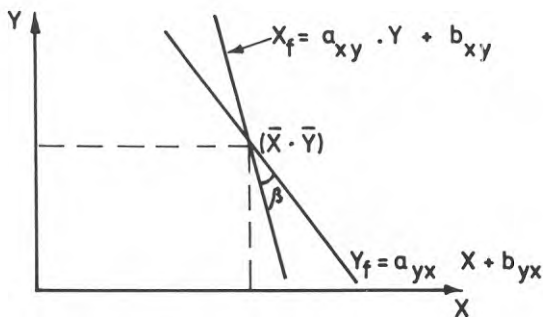


FIG 6:3. Korrelation

6:3 Standardavvikelse

Om alla X -värden har samma vikt, kan följande ekvation för standardavvikelse användas:

$$s = \sqrt{\frac{\sum (X - X_f)^2}{n - 2}}; \text{ jfr FIG 6:4.}$$

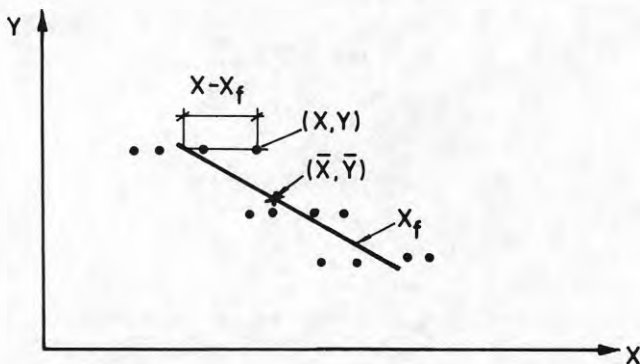


FIG 6:4. Bestämning av $X - X_f$

6.4 Konfidensintervall och predikteringsgränser [7], [8], [10]

Vid bestämning av gränser för en rät linje bör tre typer av fel beaktas, jfr FIG 6:5:

- 1) Parallellförflyttning, ändring av medelvärdet (\bar{X}).
- 2) Rotation, ändring av regressionskoefficienten (a_{xy}).
- 3) Urvalets standardavvikelse (s) avviker från mängdens standardavvikelse (σ).

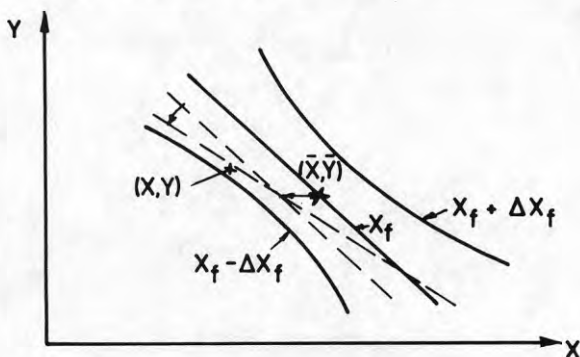


FIG 6:5. Predikteringsgränser

Prognos för ett individuellt X-värde vid ett givet Y-värde

Motsvarande gränser kallas symmetriska predikteringsgränser för den räta linjen med konfidensnivån $\gamma = p \%$.

Förutsättningar:

t-fördelning med $f = n - 2$ frihetsgrader;
symmetriska predikteringsintervall;
konfidensnivån γ .

Ekvationen för predikteringsgränserna erhålles enligt

$$X_f \pm \Delta X_f = X_f \pm t_{\gamma(n-2)} \cdot s \cdot \sqrt{1 + \frac{1}{n} + \frac{(Y - \bar{Y})^2}{\sum_{j=1}^n (Y_j - \bar{Y})^2}};$$

jfr FIG 3.

$$\sum_{j=1}^n (Y_j - \bar{Y})^2 = \sum_{j=1}^n Y_j^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{j=1}^n Y_j \right)^2$$

$t_{\gamma(n-2)}$ är en koefficient, som beror av antalet mätvärden, n , enligt följande:

| n | 4 | 5 | 6 | 8 | 10 | 12 | 15 | 18 | 20 | 40 |
|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| t. _{.95} | 2,92 | 2,35 | 2,13 | 1,94 | 1,86 | 1,81 | 1,77 | 1,75 | 1,73 | 1,69 |
| t. _{.90} | 1,89 | 1,64 | 1,53 | 1,44 | 1,40 | 1,37 | 1,35 | 1,34 | 1,33 | 1,30 |

Ex. Bestäm $t_{\gamma(n-2)}$ med $\gamma = 95 \%$ och $n = 12$.

Enligt tab. erhålles $t_{.95(12-2)} = 1,81$.

Med $n \gtrsim 50$ och $\gamma = 95 \%$ kan predikteringsgränserna ersättas med $X_f = a_{xy}Y + (b_{xy} \pm D)$ med $D = t_{\gamma(n-2)} \cdot s$, d v s predikteringsgränserna blir räta linjer parallella med X_f .

Konfidensintervall för en punkt på linjen (medelvärde på X vid ett givet Y)

Motsvarande konfidensgränser erhålles enligt

$$X_f \pm \Delta X_f = X_f \pm \sqrt{2 F_{(2, n-2)}} \cdot s \cdot \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{(Y - \bar{Y})^2}{\sum_{j=1}^n (Y_j - \bar{Y})^2}}$$

$F_{(2,n-2)}$ är en koefficient enligt F-fördelningstabell, som beror av antalet mätvärden n enligt följande:

| n | 4 | 5 | 6 | 8 | 10 | 12 | 15 | 18 | 20 | 40 |
|-----------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $\gamma = 95\%$ | 19,00 | 9,55 | 6,94 | 5,14 | 4,46 | 4,10 | 3,81 | 3,63 | 3,55 | 3,24 |
| $\gamma = 90\%$ | 9,00 | 5,46 | 4,32 | 3,46 | 3,11 | 2,92 | 2,76 | 2,67 | 2,62 | 2,45 |

Intervall för medelvärdet är väsentligt mindre än intervallet för ett individuellt X -värde.

6.5 Noggrannhet vid beräkningarna

Avrundningsfelet i logaritmer är med användning av n decimaler $1/2 \cdot 10^{-n}$.

Felfortplantning (maximalfel)

Vid addition och subtraktion adderas de absoluta felen.

$$\text{Ex. } \sum_{n=1}^{12} X \text{ med } d_{X_{\max}} = 5 \cdot 10^{-7} \text{ erhålles } d(\sum X)_{\max} = \\ = 12 \cdot 5 \cdot 10^{-7} = 60 \cdot 10^{-7}$$

Vid multiplikation och division adderas de relativa felen.

$$\text{Ex. } \sum_{n=1}^{12} y^2 \text{ med } y = 3 \text{ och } dy_{\max} = 5 \cdot 10^{-7} \text{ erhålles} \\ \frac{d(y^2)_{\max}}{y^2} = 2 \left[\frac{dy_{\max}}{y} \right] = 2 \frac{5 \cdot 10^{-7}}{3} \Rightarrow d(y^2)_{\max} = 30 \cdot 10^{-7}$$

Beräkning av regressionskoefficienten a_{xy} enligt formeln:

$$a_{xy} = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{n \sum y^2 - (\sum y)^2}$$

innebär dels avrundningsfel och dels fel på grund av "cancellation av termer" i täljare och nämnare, dvs subtraktionen utförs där skillnadens belopp är betydligt mindre än termernas. Däremot förekommer $\sum y$ i både täljare och nämnare, vilket gör att en feluppskattning utan hänsyn till detta ger ett för stort maximalfel.

En uppskattning av maximalfelet i a_{xy} enligt ovan ger, vid användning av sex decimaler vid logaritmeringen, ett fel i andra eller tredje decimalen. Felet är beroende av storleken på n , x , y och a_{xy} .

Vid cancellation av termer kan parallellförflyttning av koordinatsystemet ge noggrannare beräkningar. Beräkningarna utförs enligt föregående avsnitt med beaktande av att x ersätts med $x' = x - c$, y ersätts med $y' = y - d$ och c adderas till $b_{x'y'}$; jfr FIG 6:6.

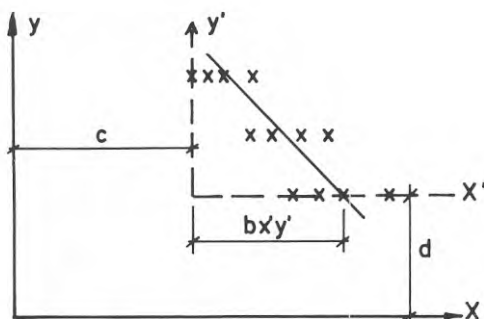


FIG 6:6. Parallellförflyttning av koordinatsystemet

6.6 Utvärdering med hänsyn till F_{\max} , F_r , σ_{Hr} och τ_r

Räta linjens ekvation, korrelationskoefficient och standardavvikelse kan beräknas med användning av F_{\max} -värden. Vid utvärdering med hänsyn till F_r , σ_{Hr} och τ_r multipliceras F_{\max} med en konstant, vilket ger parallellförflyttning av linjen i log-log-skalan, d v s addition av logaritmer. De nya linjernas ekvationer erhålles genom beräkning av nytt värde på \bar{Y} och b_{xy} . Observera att \bar{Y} är medelvärdet av logaritmerna för de olika spänningsnivåerna och erhålles ej genom logaritmering av medelvärdet för spänningarna eller krafterna. Predikteringsgränserna, korrelations- och regressionskoefficienterna samt standardavvikelsen ändras ej vid parallellförflyttning av den räta linjen i log-log-skalan.

6.7 Utvärdering av provningsresultat enligt Byggsvetsnorm [16]

Till grund för i normen valt samband mellan σ_r till, K_x och N vid fullt lastkollektiv ($p = 1$) ligger ett mycket stort antal utmattningsprovningar omfattande såväl provstavs försök som försök med konstruktionselement i full skala. Tillåten spänningsvidd har bestämts utgående från provningsresultatens medelvärde och spridning för konstruktionselement med olika utformning. Härvid har nivån

valts så att risken för utmattningsbrott är mindre än 10^{-5} ($P = 99,999\%$ ger $4,26 \sigma = 4,3 s$) vid känd lastvariation. Provningsresultat visar att spridningen i $\log N$ kan anses normalfördelad och oberoende av spänningsnivån. Tillåten spänningsvidd har för närvarande, 1976, valts som 0,9 gånger det värde som motsvarar medelvärdet minus minst 4,3 standardavvikelser i $\log N$.

Bestämning av K_x eller σ_r till vid utmattningsprovning

För förband som inte kan bedömas med ledning av liknande förbandstyper i tabellen över K_x -värden i Byggsvetsnormen bestäms K_x utgående från provningsresultat som godkänns av vederbörande myndighet. Provningsresultat får avse liknande förband dokumenterade i litteraturen eller speciella provningar på aktuell förbandstyp.

Dimensionerande K_x -värde bestäms genom jämförelse mellan medianhållfastheten enligt provningar med medianhållfastheten enligt i normen antagna kurvor. Jämförelsen sker lämpligen vid $N \gtrsim 6 \cdot 10^5$.

Vid mycket omfattande provningsserie med aktuell konstruktionsdel, varmed får förstås avsevärt mer än tio försök med konstruktionsdel av aktuell geometri och aktuellt utförande, får tillåten spänningsvidd alternativt beräknas utgående från den i normen valda principen för bestämning av tillåten spänningsvidd. Sådan provningsserie bör innefatta försök vid aktuell storlek av spänningsvidden. Jfr FIG 6:7

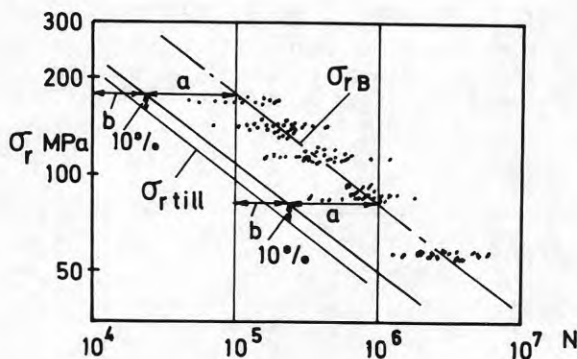


FIG 6:7. Bestämning av tillåten spänningsvidd vid viss provkroppsutformning, t ex balkar med påläggsplåt, $K_x = 5,0$ och svetsklass Sv2.

$$\begin{aligned} \text{Ex. } s &= 0,14 \text{ ger } a = 4,3 s = 4,3 \cdot 0,14 = 0,6 \\ a + b &= 1,0, \text{ d v } s b = 0,4 \end{aligned}$$

6.8 Analys av spridningsområde vid utvärdering av Wöhler-kurvor enligt DDR-Standard TGL 19336

6.8.1 Försöksutvärdering enligt TGL 19336

För att statistiskt utvärdera försöken erfordras försök på minst 4 spänningsnivåer med minst 10 prov på varje nivå, vilket ger totala antalet prov ≥ 40 . Överlevnadssannolikheten $P_{\ddot{o}}$ är den procentuella andelen av alla prov på en spänningsnivå som överlever ett bestämt spänningscykeltal.

$$P_{\ddot{o}} = 100 \frac{m}{n + 1} \quad [\%]$$

m = ordningstal vid viss spänningsnivå
 n = antalet prov vid viss spänningsnivå ($n \geq 10$).

Brottsannolikheten P_B är den procentuella andelen av alla prov på en spänningsnivå som inte överlever ett bestämt spänningscykeltal.

$$P_B = 100 - P_{\ddot{o}} \quad [\%]$$

Provningsresultaten vid varje spänningsnivå, d v s spänningscykeltalen vid brott, placeras i fallande ordning och förses med ordningstal m . Jfr TABELL 6:1.

Resultaten enligt formel och motsvarande spänningscykeltal upprättas på sannolikhetspapper, FIG 6:8, 6:9; punkter med önskad sannolikhet erhålles, exempelvis $P_{\ddot{o}} = 50 \%$ (medelvärde), $P_{\ddot{o}} = 90 \%$ o s v. Dessa punkter överförs direkt till den undersökta nivån på Wöhler-kurvan. När alla nivåer är klara, upprättas den slutliga Wöhler-kurvan med önskade överlevnadsintervall, FIG 6:10.

| Prov nr | N | m | $P_{\ddot{o}} \%$ |
|---------|------------------------|--------|-------------------|
| 6 | 2,7 · 10 ⁵ | 1 | 7,1 |
| 10 | 2,5 · 10 ⁵ | 2 | 14,3 |
| 8 | 2,5 · 10 ⁵ | 3 | 21,4 |
| 1 | 2,3 · 10 ⁵ | 4 | 28,6 |
| . | . | . | . |
| . | . | . | . |
| . | . | . | . |
| 12 | 1,2 · 10 ⁵ | 10 | 71,4 |
| 3 | 1,2 · 10 ⁵ | 11 | 78,6 |
| 8 | 1,0 · 10 ⁵ | 12 | 85,7 |
| 7 | 0,95 · 10 ⁵ | 13 = n | 92,9 |

TABELL 6:1. Räkneexempel för bestämning av överlevnadssannolikheten $P_{\ddot{o}} = 100 \frac{m}{n + 1}$ enligt TGL 19336

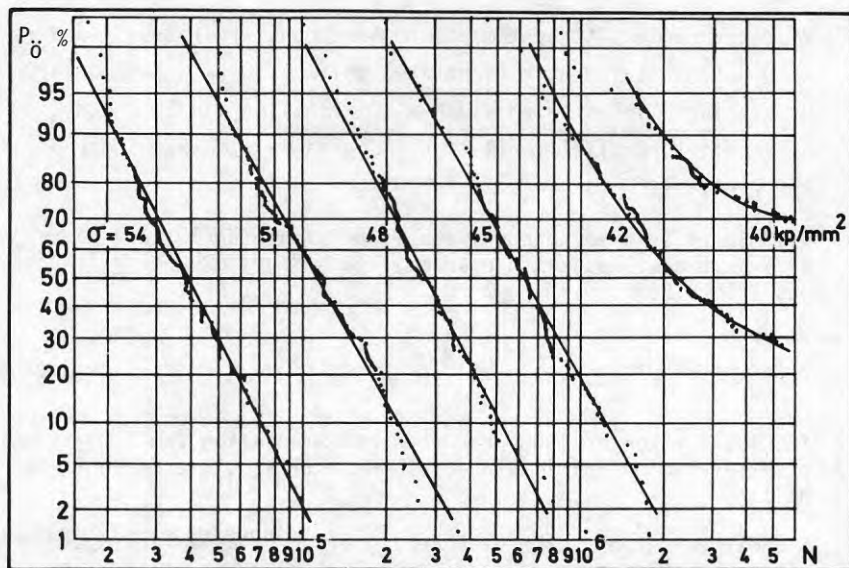


FIG 6:8. Utvärdering enligt TGL 19336 - överlevnadssannolikhet

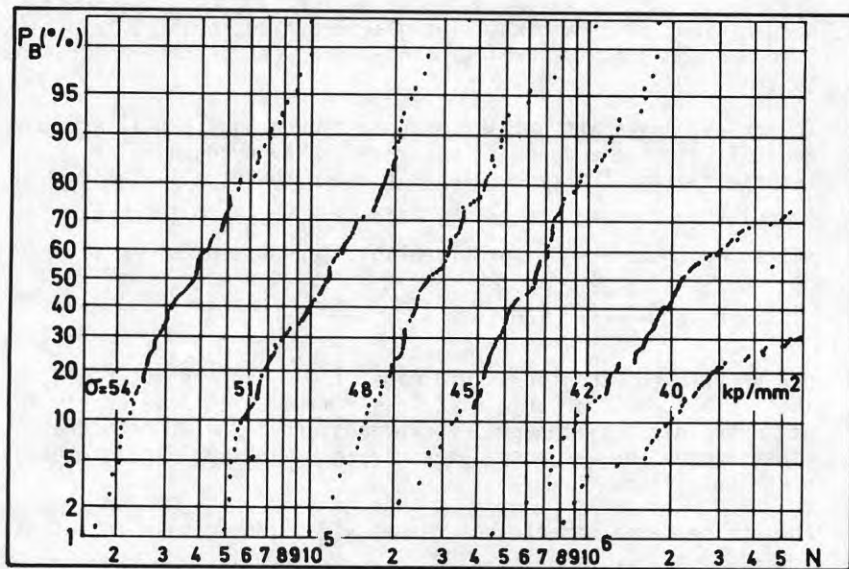


FIG 6:9. Utvärdering enligt TGL 19336 - brottsannolikhet

På motsvarande sätt bestäms utmattningshållfastheten vid $N = 10^7$ (FIG 6:11). Abskissans axel delas i 50 ($\frac{1}{N} \cdot 10^7$) delar. Utmattningshållfastheten vid $N = 10^7$ erhålles vid 50 % och $\frac{1}{N} = 0$. Alternativt parallellförflyttas linjerna så att skärning vid $\frac{1}{N} = 0$ erhålles.

Vid mindre än 4 spänningsnivåer eller mindre än 10 prov på varje nivå är endast uppskattningar möjliga. Några exempel på sådana ges i TGL 19336.

6.8.2 Kommentarer

TGL 19336 utkom år 1965 och är en rekommendation som kommer att ersättas med definitiv standard, när tillräcklig erfarenhet erhållits.

Standarden ger en snabb utvärdering efter relativt enkla beräkningar. Wöhler-kurvans form är ej låst utan kan variera från fall till fall.

Däremot erfordras ett relativt stort antal prov. Standardavvikelsen $s \approx \sigma$ kan erhållas på sannolikhetspapperet ($\approx 84\% - 50\%$). Om linjerna för de olika nivåerna är i stort sett parallella kan spridningen anses oberoende av spänningsnivån.

Utvärderingen förutsätter provning på i förväg bestämda spänningsnivåer. Vid sammanställning av provningsresultat från olika laboratorier ger utvärderingsmetodiken ej den önskade noggrannheten.

Enligt [9] anses att antalet prov är mycket högt och av ekonomiska skäl knappast användbart vid provning av byggnadsdelar. Erfarenheter enligt [9] tyder på att formeln för utfalls- eller brott-sannolikhet som angetts enligt Weibull $P_A = \frac{m}{n+1} 100\%$ kan ersättas med motsvarande formel enligt Stepnov med:

$$P_A = \frac{m - 1/2}{n} 100\%$$

och provningen kan utföras vid minst tre spänningsnivåer med lägst 5 ä 6 prov på varje nivå, d v s minimum 15 ä 18 prov. För att extrapolera till högre överlevnadssannolikheter erfordras minst 6 prov för varje spänningsnivå och minst 3 lämpligt belägna spänningsnivåer.

För att bestämma utmattningsgränsen vid i förväg valt spänningscykeltal, t ex $N = 10^7$ är trappstegsförfarandet lämpligt enligt [8]. Tre till fyra spänningsnivåer väljes, varvid tillses att differenserna mellan nivåerna är lika stora.

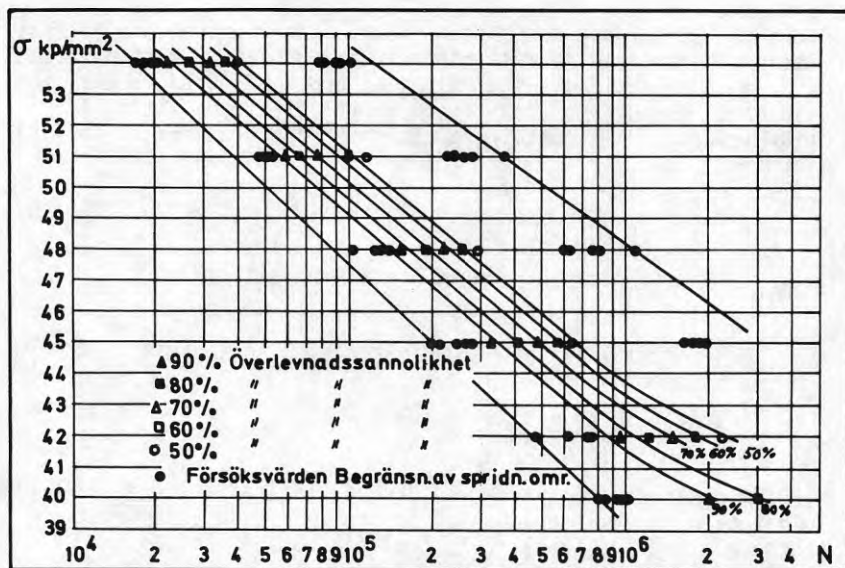


FIG 6:10. Utvärdering enligt TGL 19336. Spridningsområde med överlevnadssannolikheter enligt FIG 6:8.

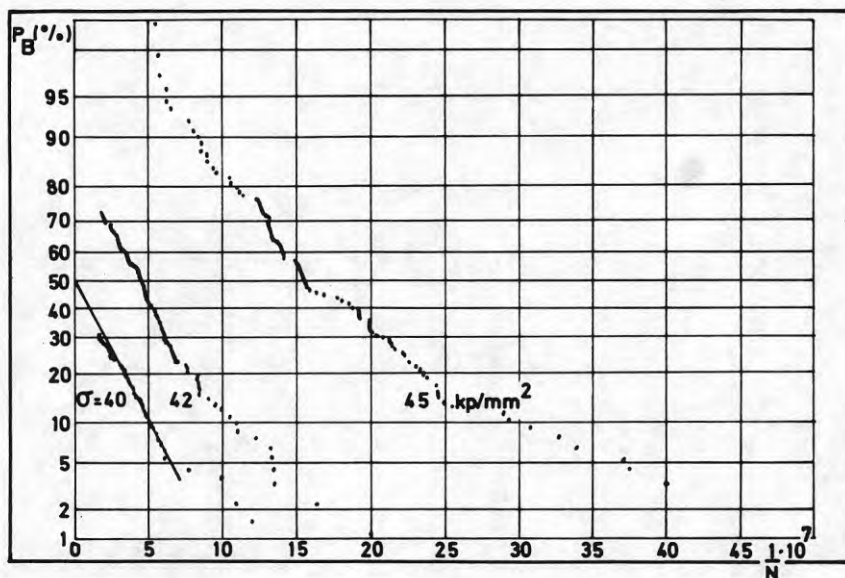


FIG 6:11. Utvärdering enligt TGL 19336. Bestämning av utmattningshållfastheten vid $N = 10^7$.

Försöken börjar vid den lägsta nivån; klarar provet $N = 10^7$ sker nästa provning vid närmast högre spänningsnivå. Försöken fortsätter på samma sätt, d v s erhålles ej brott höjes nivån ett steg vid nästa försök resp. sänkes om brott inträffar. 15 till 30 prov erfordras. Utmattningsgränsen σ_{ru} beräknas enligt följande formel:

$$\sigma_{ru} = \sigma_{rmin} + d \left(\frac{A}{F} \pm 0,5 \right) \text{ MPa.}$$

σ_{rmin} = lägsta nivå, där inget brott erhållits [MPa]

d = differensen mellan de valda nivåerna [MPa]

i = numrering av spänningsnivåerna med början vid nivån σ_{rmin} som erhåller $i = 0$

n_i = antal brott vid nivån i

$A = \sum i \cdot n_i$; $F = \sum n_i$

$\pm 0,5$, minustecken används vid utvärdering med avseende på brott, plustecken om utvärderingen avser provkropparna utan brott.

Formeln återfinns även i [8], [10] och BS 3518 Part 5.

Ex. 28 prov varav 13 med brott vid $N < 10^7$, utvärdering av brott.

| σ_r | i | n_i | $i \cdot n_i$ | $i^2 \cdot n_i$ |
|------------|-----|----------|---------------|-----------------|
| 750 | 3 | 4 | 12 | 36 |
| 725 | 2 | 7 | 14 | 28 |
| 700 | 1 | 2 | 2 | 2 |
| 675 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Σ | | $F = 13$ | $A = 28$ | $B = 66$ |

$$\sigma_{ry} = 675 + 25 \left(\frac{28}{13} - 0,5 \right) = \underline{716,4 \text{ MPa.}}$$

Enligt [10] kan även väntevärdet för standardavvikelsen σ beräknas enligt:

$$s = 1,620 d \left(\frac{F \cdot B - A^2}{F^2} + 0,029 \right)$$

med $B = \sum i^2 \cdot n_i$; formeln är tillräckligt noggrann för

$$F \leq \frac{\sum n_i}{2}; \quad (13 < \frac{28}{2});$$

$$\begin{aligned} \text{enligt exemplet erhålles } s &= 1,620 \cdot 25 \left(\frac{13 \cdot 66 - 28^2}{13^2} + 0,029 \right) = \\ &= 18,914 \end{aligned}$$

$$\text{Variationskoefficienten } \delta = \frac{s}{\sigma_{ru}} = \frac{18,914}{716,4} = 0,026.$$

7 FÖRSÖKSUTVÄRDERING

7.1 Bestämning av brottkriterium

Kriterier på utmattning kan vara brott eller alternativt första synliga spricka, viss tillväxthastighet hos spricka eller sprickor eller viss plastisk deformation.

För att bestämma lämpligt brottkriterium gjordes förberedande försök med statiskt belastade nitförband. Nitförbandets beteende redovisas i FIG 7:1, där vid olika lastnivåer en avlastning och förnyad pålastning företagits.

Last-förskjutningsdiagrammet enligt FIG 7:1 visar att formändringen i någon mån är beroende av provstavsutformningen men att huvuddelen av förskjutningen är hänförlig till den lokala spänningskoncentrationen vid niten. Vid avlastning erhålls redan vid relativt små belastningar en kvarstående formändring till följd av dels lokal plasticering i nitskaft och hålränd, dels ofullständig utfyllnad av hålet.

Den lokala kallbearbetningen av hålkanten medför sannolikt även en hållfasthetsökning, ty vid avlastning från viss lastnivå och förnyad pålastning erhålls ett närapå linjärt samband mellan last och formändring med en kraftigt minskad eftergivlighet hos förbandet. Den kvarstående formändringen är vid redovisat förband och avlastning från ca 60 % av brottlasten av storleksordningen 0,3 mm.

Brott erhålles genom snedställning och urdragning av niten eller genom avskjuvning av nitskaftet.

Deformationen ökar kraftigt i nivå med brottlasten, d v s last-deformationssambandet övergår till en horisontell kurva, vilket försvårar en exakt bestämning av deformationen i brottögonblicket. Motsvarande brottlast alternativt spänningscykelantal kan däremot bestämmas med betydligt större noggrannhet.

Att avsluta utmattningsprovningarna vid viss deformation hos förbandet var ej lämpligt med hänsyn till provningsutrustningen. Last-förskjutningssambandet varierar med plåttjocklek, nitdiameter, nitform och olika materialkvaliteter hos plåt respektive nitar. Däremot registrerades förbandets last-förskjutningssamband även under utmattningsförsöken (jfr FIG 4:5). En utvärdering med avseende på viss deformation är därför möjlig.

Spänningscykelantalet vid brott valdes i detta fall som brottkriterium.

Några speciella undantag:

- 1) Vid en deformation i förbandet av storleksordningen tre till sex millimeter kan en låsning av niten erhållas med dragkraft i nitens längdriktning. Som exempel på detta kan nämnas prov nr 11 serie E med deformationen 4 mm vid $N = 9300$ och 4,1 mm

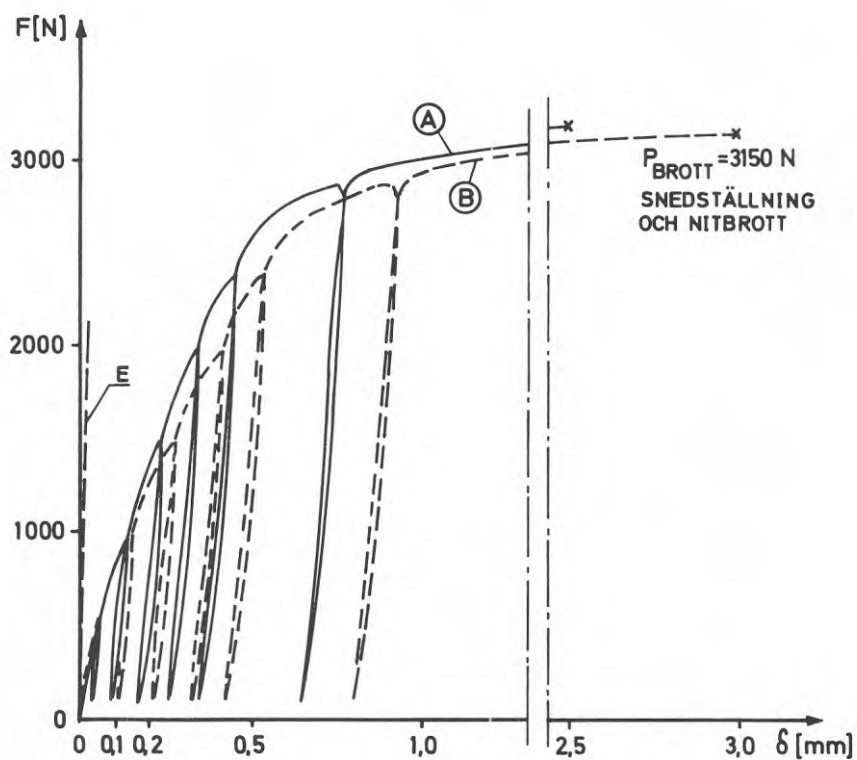
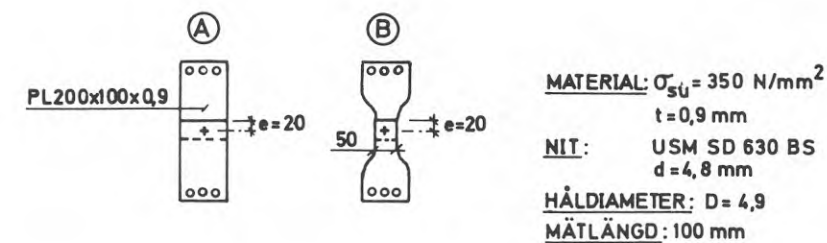


FIG 7:1. Samband mellan lastnivå och deformation vid nitförband

vid $N = 55000$. Med tanke på att brottkriteriet skall åter-
spegla bristen på funktionsstabilitet betraktas härvid det
lägre spänningscykeltalet som brott.

- 2) Vid monteringen av niten kan även splinten dras av felaktigt
så att en för lång splintrest erhålles. Exempel: Serie H,
prov nr 13, avbröts efter $N = 10^6$ och ersattes med prov nr 15.

7.2 Anpassning av rät linje enligt minsta kvadratmetoden

En rät linje har anpassats till provningsresultaten enligt av-
snitt 6.

Test av att normalfördelning föreligger har gjorts för serie B-F
i examensarbetet [14]. Normalfördelning anses föreligga och någon
ytterligare test av detta anses ej erforderlig vid fortsatta prov-
ningar under likvärdiga provningsförhållanden. Den linjära regres-
sionen har även testats för serie B-F i [14] med resultat att lin-
jär regression anses föreligga. Serie D gav den största avvikel-
sen beroende på att den högsta lastnivån ligger för nära den sta-
tiska brottlasten.

7.3 Diskussion av provningsresultat

Utvärderingen har gjorts med avseende på:

- a) Maximal last F_{\max} .
- b) Lastvidd, F_r . Definierad som skillnaden mellan F_{\max} och F_{\min}
med insatta tecken, se FIG 7.2.
- c) Hållkantryck, $\sigma_{Hr} = \frac{F_r}{t_{\text{stål}} \cdot d_H}$. Beräknat på projicerad area,
d v s plåtkärnans tjocklek gånger borrhålsdiametern vid last-
vidden F_r .
- d) Skjuvning i nitskaft, $\tau_r = \frac{F_r}{\frac{\pi}{4} [d^2 - (d_s)^2]}$. Beräknat på nitens
nominella skjuvarea vid lastvidden F_r . d och d_s avser nitkär-
nans ytter- resp. innerdiameter. Provningsen har utförts med
kortbrottssplint, vilket gör att splinten inte inverkar på
skjuvarean.

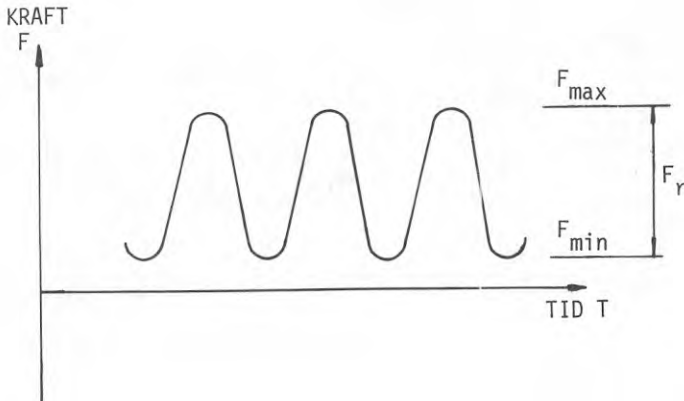


FIG 7.2. Definition av lastvidd F_r

7.3.1 Spänningsförhållandet $R = \frac{F_{min}}{F_{max}}$ (provserie B, E, F)

Provning med spänningsförhållandet $R = 0,10$, $R = 0,25$ och $R = 0,50$ har utförts. $R = 0,25$ och $R = 0,50$ nedsatte utmattningshållfastheten med 10 % resp. 30 % i förhållande till motsvarande utmattningshållfasthet vid $R = 0,10$ och $N = 10^6$, jfr FIG 7.3. Försämringen orsakas av att spänningarna i mikrosprickorna ligger närmare materialets sträckgräns vid $R = 0,50$ och $R = 0,25$ än vid $R = 0,10$.

Anm.: Vid provning $R \gtrsim 0,30$ bör skillnaden mellan den statistiska brotthållfastheten och F_{max} väljas tillräckligt stor, vilket i detta fall ger spänningscykelantal N inom området $5 \cdot 10^5 \lesssim N \lesssim 10^7$ och motsvarande förlängning av provningstiden.

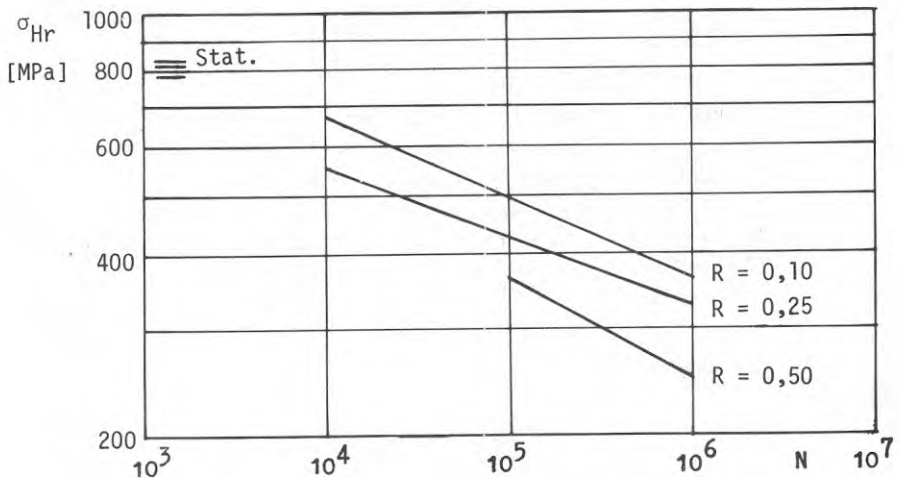


FIG 7.3. Utmattningshållfasthet, jämförelse mellan olika spänningsförhållanden

7.3.2 Inverkan av nitens grundmaterial (provserie M, R, P)

Nitar med nitkropp av monel, stål och aluminium provades. Resultat från tre provserier har sammanställts i FIG 7.4.

Brottsaker vid utmattning:

Monelnit: Snedställning och sprickbildning i hålkanten. Plåtmaterial bearbetades av monelniten så att sprickbildning av typ nötningskorrosion uppstod i hålkanten. Sprickbildningen orsakade stor spridning i provningsresultaten.

Stålnit: Hålkantflytning och snedställning.

Al-nit: Skjuvbrott.

Av FIG 7:4 framgår att materialet i nitkroppen har stor inverkan på förbandets hållfasthet vid statisk belastning och utmattningshållfastheten vid låga spänningscykeltal ($N \lesssim 10^5$). Vid höga spänningscykeltal avtar dock denna inverkan.

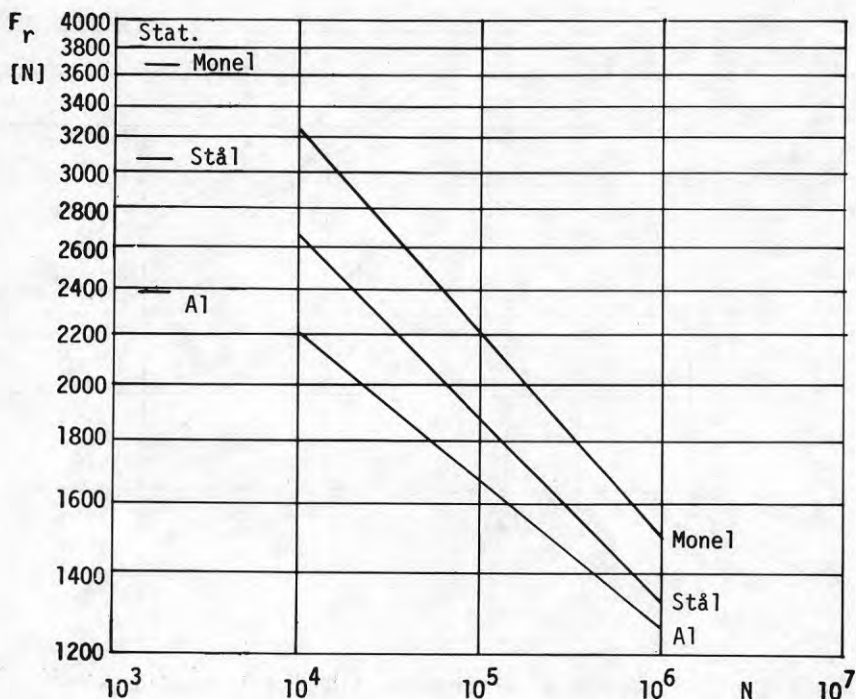


FIG 7:4. Inverkan av nitens grundmaterial. Nitdiameter 4,8 mm, plåttjocklek 0,9 mm, $R = 0,10$, frekvens 25 Hz.

7.3.3 Inverkan av nitdiameter vid jämförelse mellan provserier med skjuvbrott och stål nit (provserie I, H, N och O)

Skjuvspänningarna vid utmattningsprovning av stål nit med $d = 4,8$ och $d = 4,0$ överensstämmer relativt väl, jfr FIG 7:5. En minskning av diametern till $d = 3,2$ mm ger en förbättring av utmattningshållfastheten. Vid ökning av diametern till $d = 6,4$ mm uppträder däremot en markant försämring av både den statistiska hållfastheten och utmattningshållfastheten. Vid $d = 6,4$ mm minskar nitens styvhet, d v s den kan pressas samman innan den skjuvas av. Utmattningshållfastheten nedsätts ytterligare på grund av att provserien med $d = 6,4$ mm är provad med spänningsförhållandet $R = 0,25$, se jämförelse mellan olika R-värden, FIG 7:3.

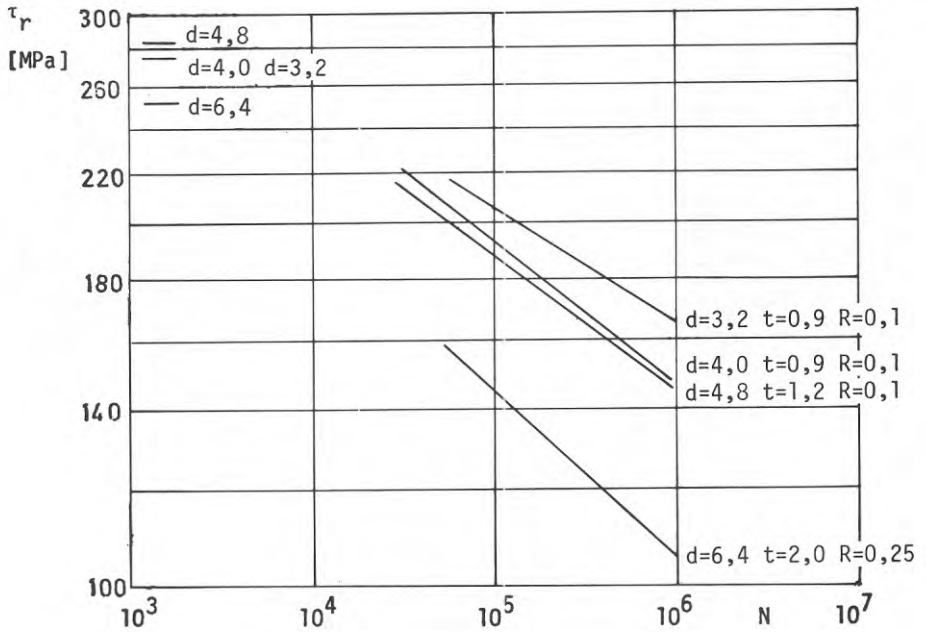


FIG 7:5. Inverkan av nitdiameter vid provserier med skjuvbrott

7.3.4 Jämförelse mellan olika plåtkvaliteter (provserie B, R)

Jämförelse mellan olika plåtkvaliteter framgår av FIG 7:6. Hål-
kanttrycket har reducerats proportionellt mot provplåtarnas brott-
gränsspänning till nominell brottgränsspänning $\sigma_B = 430$ MPa.

Stål nit med $d = 4,8$ mm har använts i båda serierna. Brottorsaken
var i huvudsak hålkantflytning och snedställning.

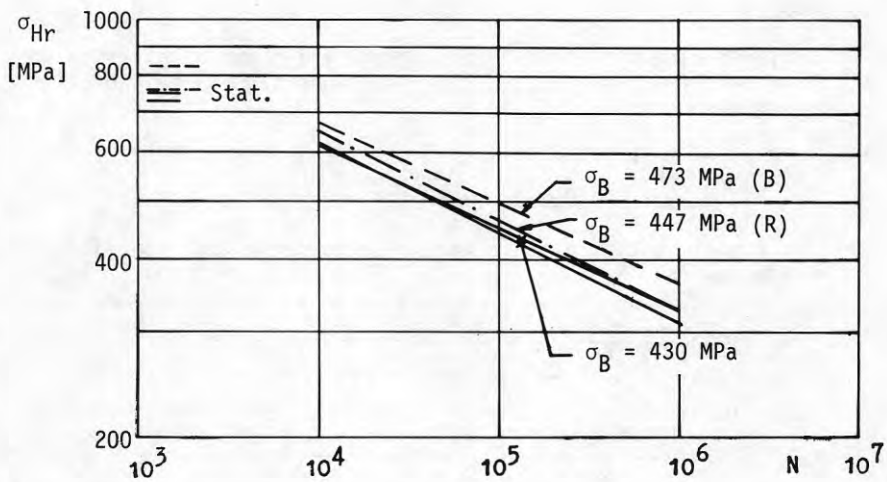


FIG 7:6. Jämförelse mellan olika plåtkvaliteter efter reducering
proportionellt mot σ_B till nominell brottgränsspänning
 $\sigma_B = 430$ MPa

7.3.5 Inverkan av plåttjocklek (provserie R, L)

Provserie R: Stålnit $d = 4,8$ mm, $t = 0,83$ mm, $\sigma_B = 447$ MPa,
 $R = 0,1$, $f = 25$ Hz

Provserie L: Stålnit $d = 4,8$ mm, $t = 0,65$ mm, $\sigma_B = 480$ MPa,
 $R = 0,1$, $f = 25$ Hz

Brottorsak: hålkantflytning och snedställning

Vid jämförelse mellan provserie R och L har brottlasterna vid statiska prov och lastnivåerna vid utmattningsbelastning reducerats linjärt nedåt för avvikelser från nominell brottgräns och nominell plåttjocklek, se FIG 7:7.

Reduceringsfaktorer:

Provserie R:

Provserie L:

$430/447 = 0,962$

$430/480 \cdot 0,637/0,65 = 0,878$

En jämförelse vid $N = 10^6$ mellan reducerade provningsvärden enligt ovan ($867/1273 = 0,681$) ger följande samband mellan plåttjocklekarna:

$$\left(\frac{t_{\text{nomL}}}{t_{\text{nomR}}}\right)^k = \left(\frac{0,637}{0,833}\right)^{1,4} = 0,687$$

d v s plåttjockleken inverkan är av formen t^k där koefficienten k i detta fall är 1,4.

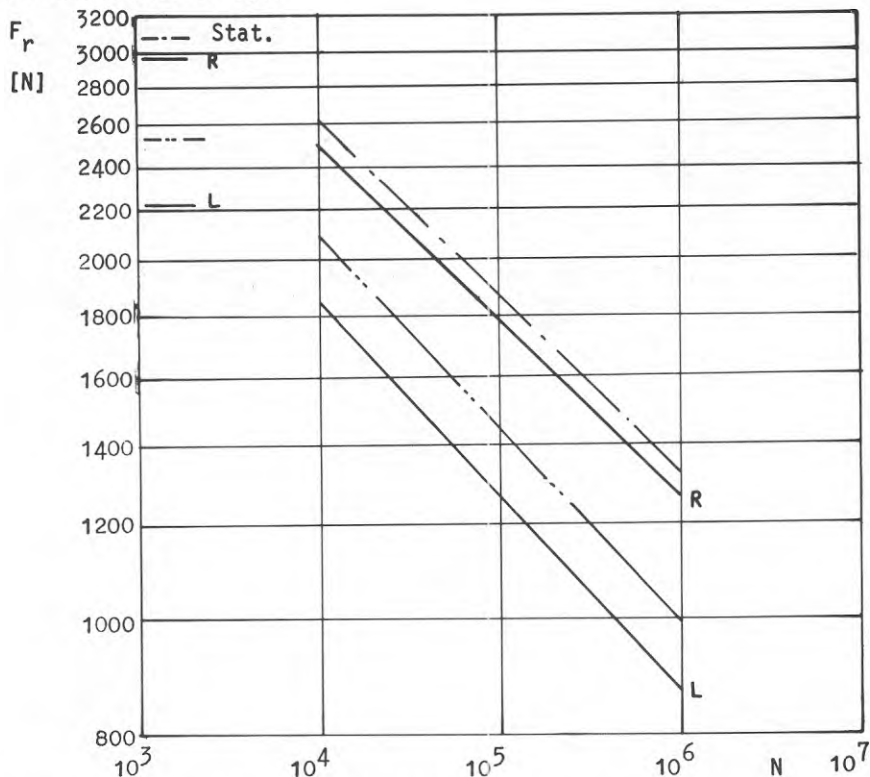


FIG 7:7. Jämförelse mellan olika plåttjocklekar

7.3.6 Provningsmaskinens frekvens. Jämförelse mellan provserie B, G och R1.

Provning med frekvensen $f = 5$ Hz (serie G) nedsatte utmattningshållfastheten med ca 13 % i förhållande till motsvarande utmattningshållfasthet vid $f = 25$ Hz och $N = 10^6$ (serie B), jfr FIG 7:8.

En ytterligare sänkning av frekvensen till $f = 1$ Hz invercade däremot inte på utmattningshållfastheten i förhållande till $f = 25$ Hz vid $N \approx 10^5$.

Serie R1 innehöll endast fyra prov, men den indikerar att en sänkning av provningsmaskinens frekvens inte alltid ger en lägre utmattningshållfasthet.

Vid provning med $f \approx 5$ Hz var belastningshastigheten så låg att en pulserande rörelse i förbandet, på grund av excentricitetsmomentet, kunde utbildas. Detta indikerar att vid utmattningsprovning av tunnplåtsförband bör provningsmaskinens frekvens väljas inom intervallet $0,5 \text{ Hz} \approx f \approx 5 \text{ Hz}$. Endast speciellt utformade provkroppar kan provas med högre frekvens, jfr avsnitt 7.3.7.

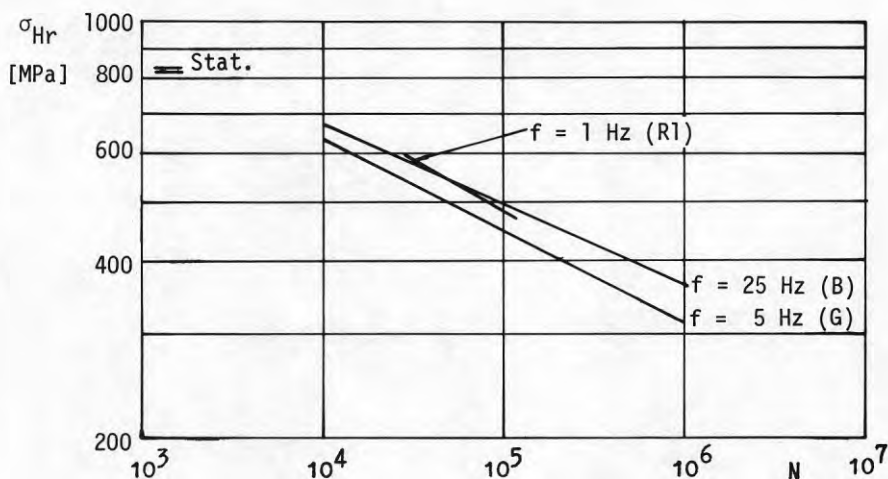


FIG 7:8. Inflytande av provningsmaskinens frekvens på utmattningshållfastheten

7.3.7 Provkropparnas resonansfrekvens

Utmattningsprovningens frekvens bör ligga vid högst ca 1/3 av provkropparnas resonansfrekvens. Resonansfrekvensen är beroende av infästningsanordningar och provkroppsform. Vid bestämning av resonansfrekvensen erhöles följande resultat:

| Provplåtar L x b x t mm | Resonans- frekvens Hz | Anmärkning |
|----------------------------|--------------------------|--|
| 200 x 100 x 0,9 | 60 | Vid olika spänningsnivåer och nitmaterial |
| 200 x 100 x 0,5 | 30 | - " - |
| 360 x 100 x 0,9 | 30 | - " - |

Provplåtarnas längd och tjocklek påverkar resonansfrekvensen; nitmaterial och spänningsnivå har däremot obetydlig inverkan.

7.3.8 Gemensam utvärdering av provserie N och H

Provsérie N: Stålnit $d = 4,8$ mm, $t = 1,14$ mm, $R = 0,1$,
 $f = 25$ Hz, skjuvbrott

Provsérie H: Stålnit $d = 4,0$ mm, $t = 0,82$ mm, $R = 0,1$,
 $f = 25$ Hz, skjuvbrott

Utvärdering med avseende på statisk belastning ger $\bar{\tau} = 279$ MPa,
 $\delta = 0,03$, $\tau_5 = 260$ MPa och $\tau_5/1,5 = 173$ MPa, jfr FIG 7:9.

Utvärdering med avseende på utmattningshållfasthet följer i princip Byggsvetsnorm StBK-N2. Risken för utmattningsbrott är mindre än 10^{-5} . Enligt FIG 7:9 erhålles vid nivån för tillåten statisk belastning ($\tau_5/1,5$) spänningscykeltalet $N = 12\ 000$ med $R = 0,1$ och $p = 1$ och spänningscykeltalet $N = 220\ 000$ med $R = 0,1$ och $p \approx 1/2$. En sänkning av kollektivparametern p enligt ovan har betydligt större inflytande på utmattningshållfastheten än t ex en sänkning av spänningsförhållandet R från $R = 0,25$ till $R = 0,10$, jfr FIG 7:3.

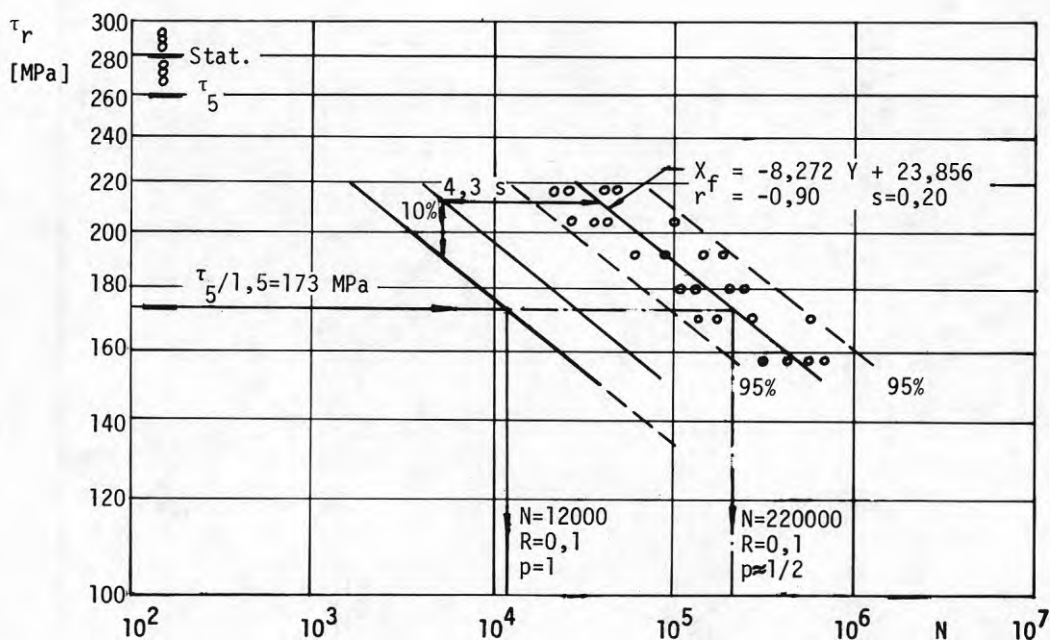


FIG 7:9. Bestämning av tillåten last vid skjuvbrott i stålnit $\phi 4,8$ och $\phi 4,0$ mm

7.3.9 Gemensam utvärdering av provserie R och L

Reducering till nominell brottgräns och nominell plåttjocklek har gjorts enligt avsnitt 7.3.5. Därefter har provserie R reducerats enligt det i avsnitt 7.3.5 erhållna sambandet mellan plåttjockleken $\left(\frac{t_{\text{nomL}}}{t_{\text{nomR}}}\right)^{1,4} = 0,687$.

Den gemensamma utvärderingen avser: Stålnit $d = 4,8$ mm, $t_{\text{stål}} = 0,637$ mm, $\sigma_B = 430$ MPa, $R = 0,1$, $f = 25$ Hz; brottorsak: snedställning och hålkantflytning.

Vid lastvidden F_r motsvarande den statistiskt tillåtna belastningen ($F_5/1,5 = 1214$ N) erhålles spänningscykeltalet $N = 18\ 000$ med $R = 0,1$ och $p = 1$, jfr FIG 7:10. En sänkning av kollektivparametern från $p = 1$ till $p \approx 1/2$ ger en ökning av spänningscykeltalet till $N \approx 115\ 000$. En sänkning av provningsmaskinens frekvens eller en ökning av spänningsförhållandet R ger däremot något lägre tillåten lastvidd vid oförändrade värden på p och N .

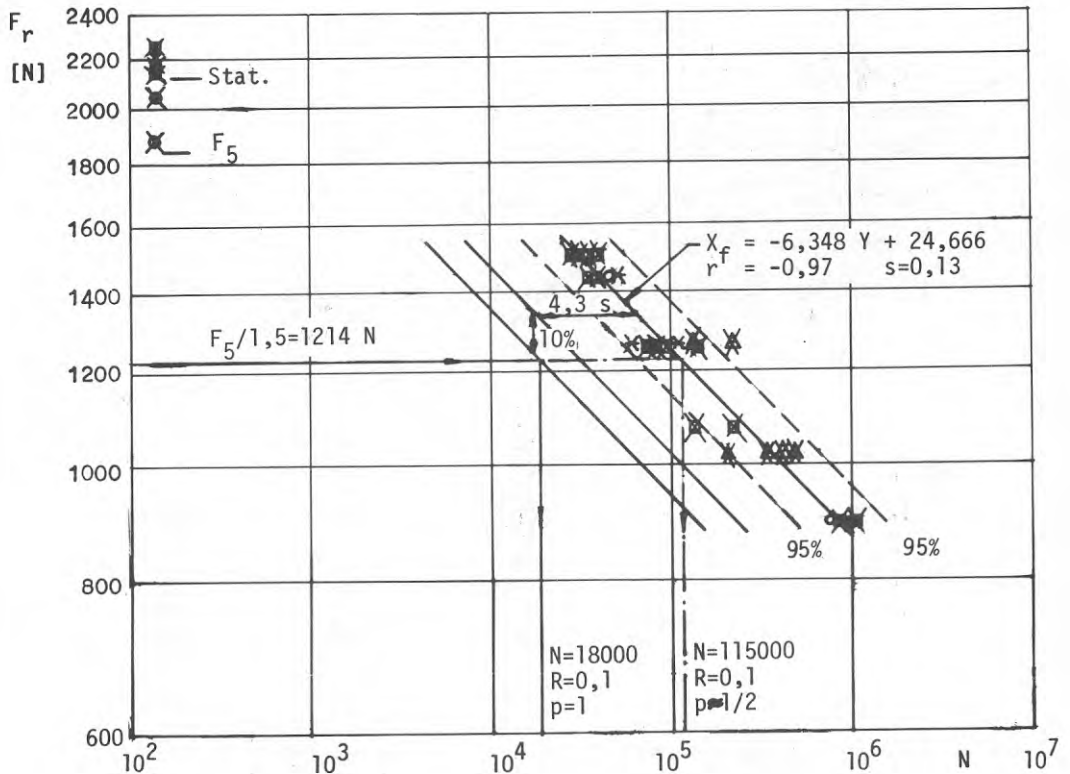


FIG 7:10. Bestämning av tillåten last vid snedställning och hålkantflytning ($d = 4,8$ mm, $t_{\text{stål}} = 0,637$ mm, $\sigma_B = 430$ MPa)

7.3.10 Sammanfattning av provningsresultat

Provningsresultaten för de femton olika provserierna har sammanfattats i DIAGRAM 7:1 - 7:4 och TABELL 7:1.

DIAGRAM 7:1 Utvärdering med avseende på maximal last F_{\max}

DIAGRAM 7:2 Utvärdering med avseende på lastvidden F_r

DIAGRAM 7:3 Utvärdering med avseende på hållkantryck σ_{Hr}

DIAGRAM 7:4 Utvärdering med avseende på skjuvning i nitskaft τ_r

TABELL 7:1 Provnings- och materialdata

De räta linjerna är i stort sett parallella med undantag av linjerna för provserie C, D och K, där följande kan noteras:

Provserie C (monelnit)

Brottorsakerna vid statisk belastning och låga spänningscykelantal var hållkantflytning och snedställning; vid höga spänningscykelantal nedsattes hållfastheten genom sprickbildning i hållkanten. Linje C har därför en något större lutning än de övriga linjerna.

Provserie D

Den högsta spänningsnivån med $N \approx 10^4$ ligger för nära den statistiska brottlasten. Val av spänningscykelantal $N \approx 10^4$, $N \approx 10^5$ och $N \approx 5 \cdot 10^5$ justerades vid de fortsatta provningarna till $N \approx 3 \cdot 10^4$, $N \approx 10^5$ och $N \approx 5 \cdot 10^5$.

Provserie K

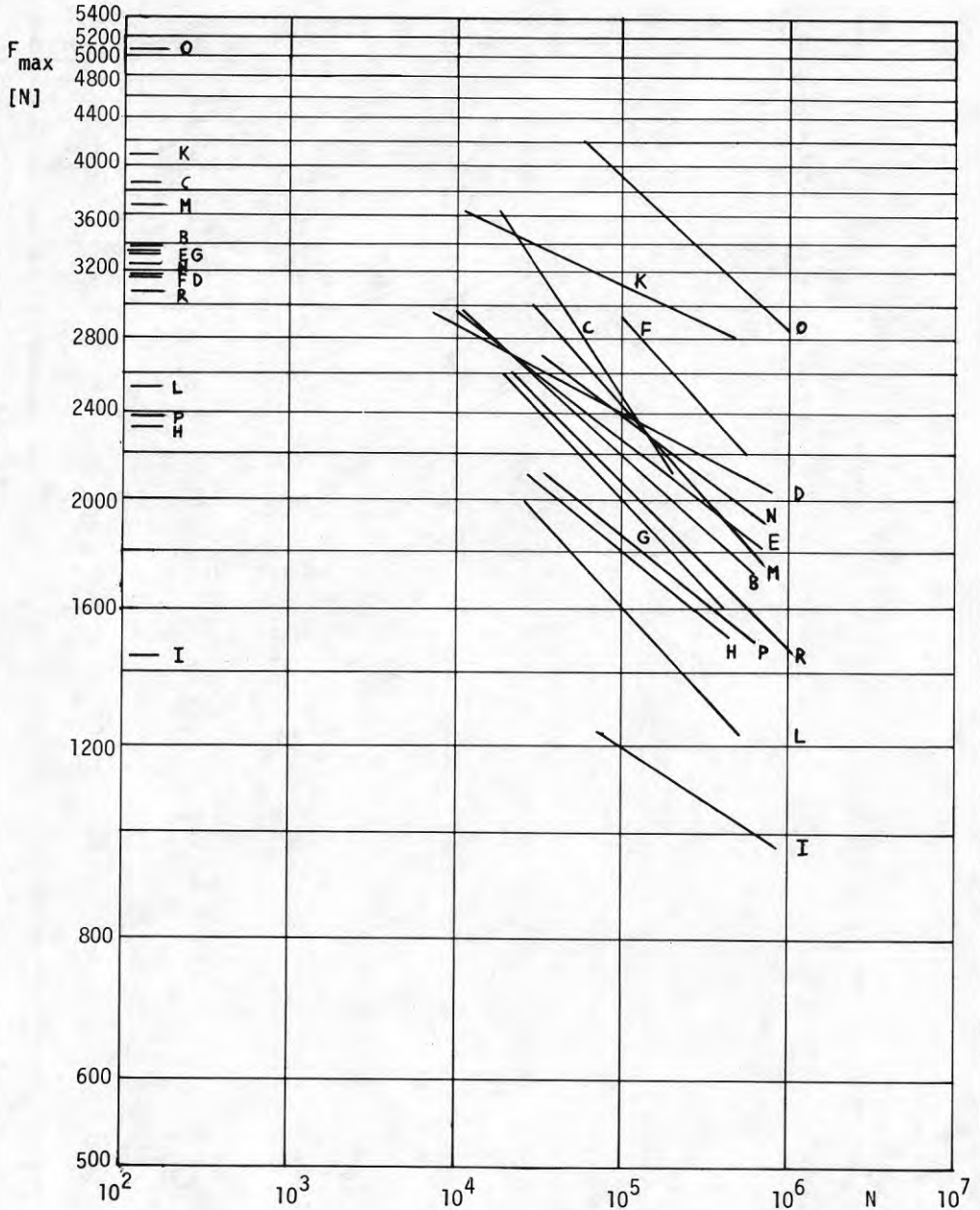
Den högsta spänningsnivån har även i detta fall kommit för nära den statistiska brottlasten, bland annat beroende på den stora spridningen vid statisk belastning.

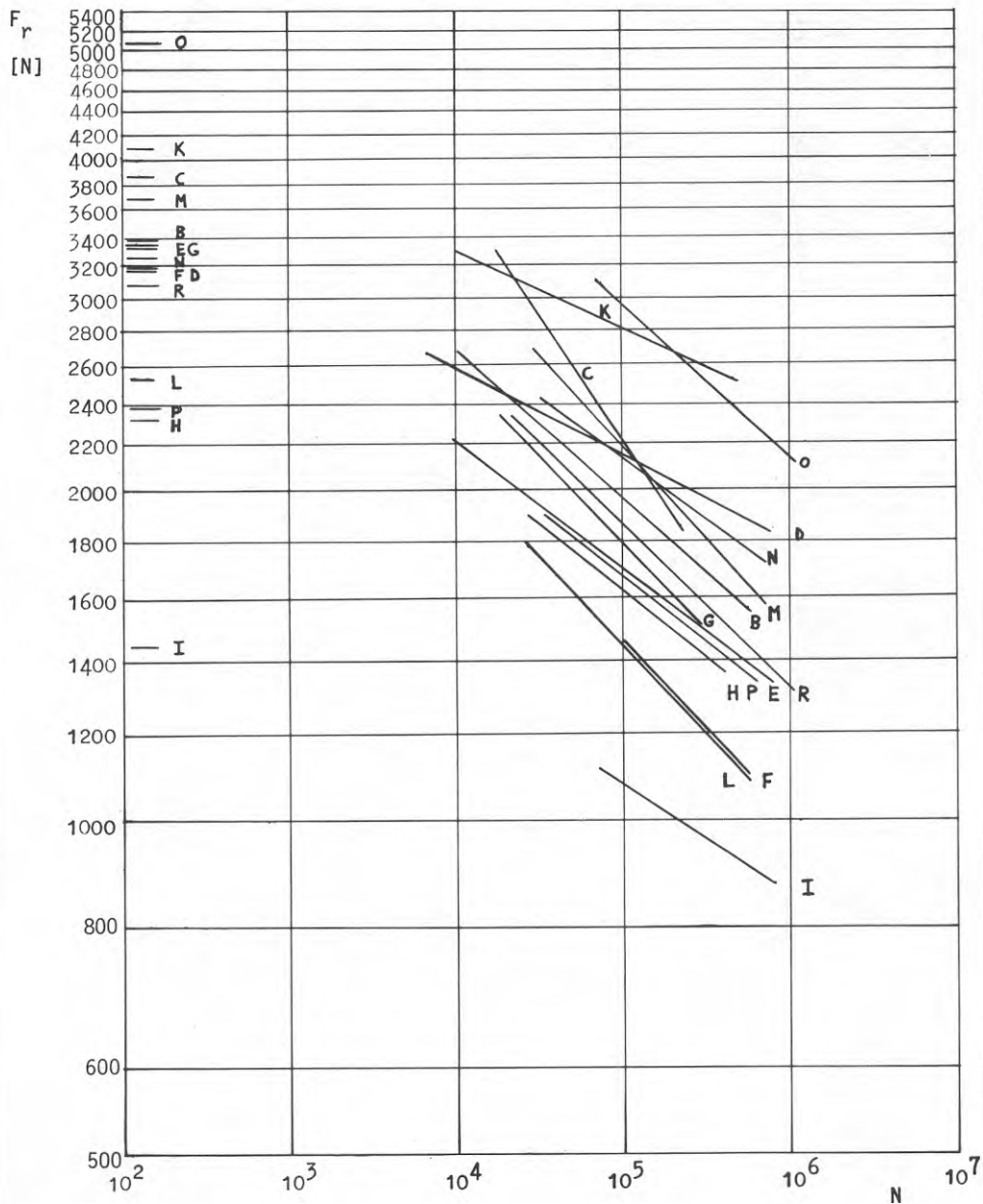
Utvärdering av provserierna B, C och K har även utförts enligt DDR-Standard TGL 19336, se avsnitt 13. Utvärdering med fyra prov på varje spänningsnivå är möjlig. Wöhlerkurvorna blir konvexa eller konkava men ansluter i stort till en rät linje. Spridningsområdet bör dock vara större vid de yttre spänningsnivåerna jämfört med den mellersta spänningsnivån; vid provserie C erhöles i detta fall ett motsatt förhållande. Svårigheten att bestämma standardavvikelsen s och tillåten spänningsnivå med någon större noggrannhet begränsar även standardens användning.

Vid dimensionering och även vid provning av fästelement eftersträvar man kombinationer av plåttjocklek och fästelement, där brottorsakerna snedställning och hållkantflytning erhålls. Vid försöken var plåttjockleken $t = 0,9$ mm och nitdiametern $d = 4,8$ mm fasta parametrar. Detta medverkade till att skjuvbrott erhöles i sex av provserierna. En samtidig variation av plåttjocklek och nitdiameter hade förmodligen minskat antalet skjuvbrott men försvårat utvärderingen.

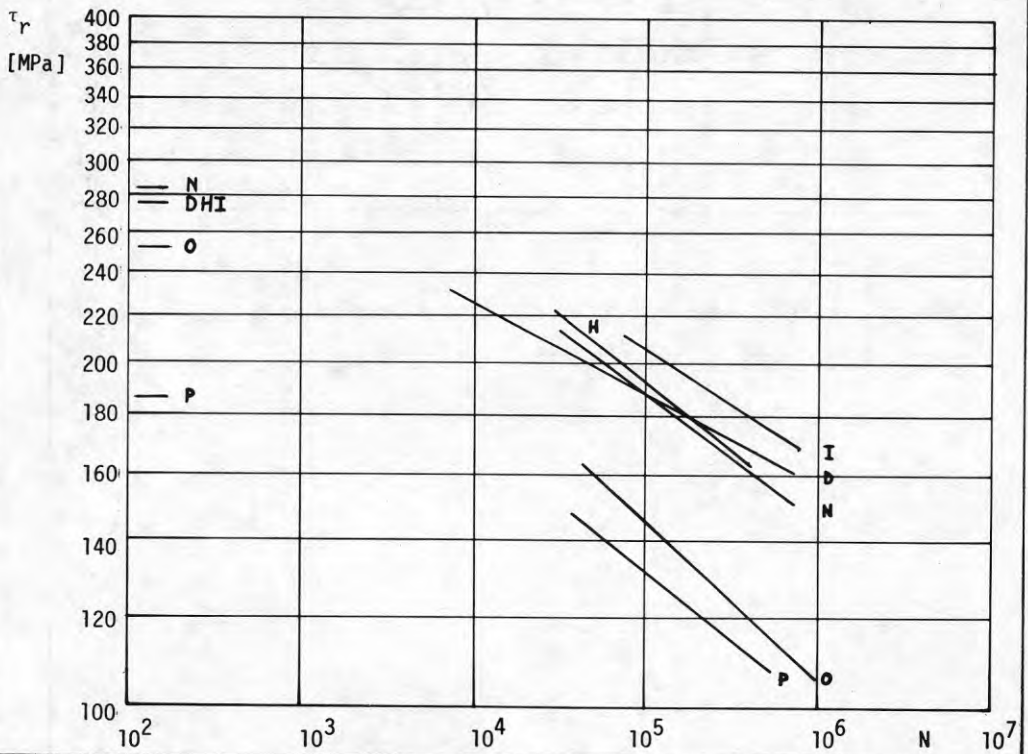
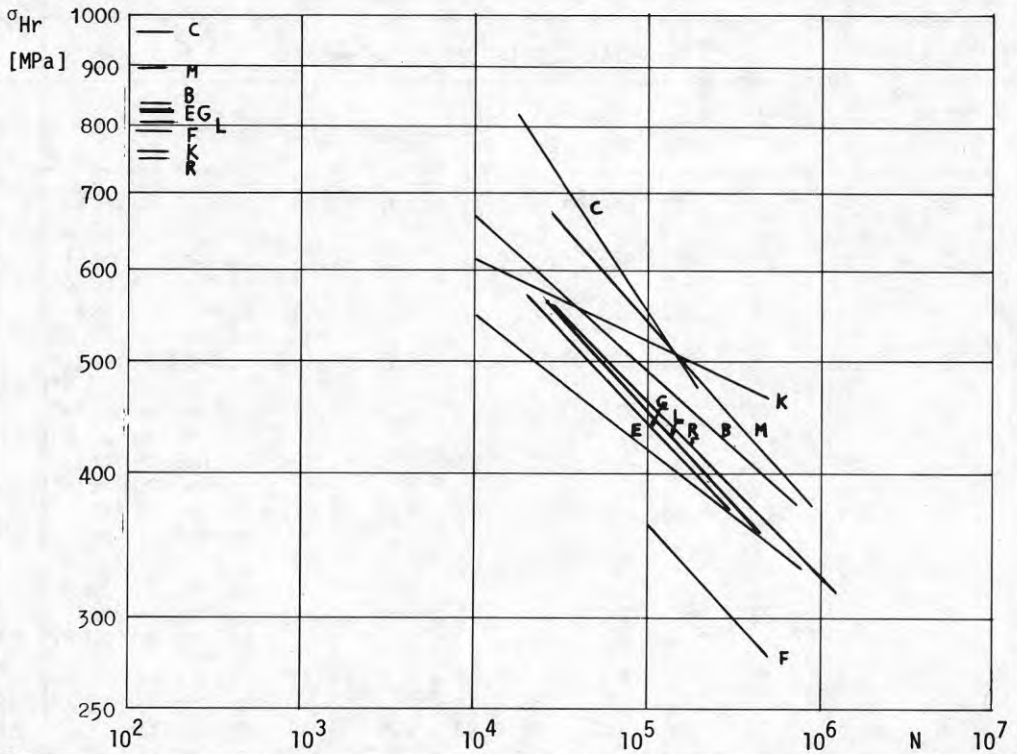
Med stål nit eller aluminium nit erhålls enbart skjuvbrott då plåttjockleken $t \gtrsim 1,0$ mm, jfr FIG 3:1. Vid användning av ihålig nit kan således brottorsakerna snedställning och hålkantflytning enbart erhållas inom ett relativt begränsat tjocklekssortiment.

Försöksresultaten vid dessa provningar med kraftriktningen parallellt plåtplanet motsvarar i princip de uppställda förväntningarna. Pågående utmattningsförsök med kraftriktningen vinkelrätt plåtplanet tyder däremot på att tunnplåtsförband är betydligt känsligare för dynamisk belastning vinkelrätt plåtplanet. Försök med kombinerad belastning bör även utföras; samtidig lastinföring parallellt och vinkelrätt plåtplanet ger dock en relativt komplicerad provningsanordning.





Utmattningshållfasthet vid tunnplåtsförband Sammanfattning : σ_{Hr} , τ_r



| Prov- serie | $R = \frac{F_{\min}}{F_{\max}}$ | Frek- vens Hz | Provplåt SIS 142122 | | | | Fästelement | | |
|----------------|---------------------------------|---------------------|---------------------|-------------------|--------------------|-------------------------|-------------|---------------------------------------|---|
| | | | σ_B MPa | σ_S MPa | δ_{50} % | $t_{\text{stål}}$ mm | Diam. mm | A_{netto} mm ² | Material + beteckning |
| B | 0,1 | 25 | 473 | 425 | 27,0 | 0,82 | 4,8 | 11,49 | Stålnit + Stål- splint USM SD 630BS |
| C | 0,1 | 25 | 473 | 425 | 27,0 | 0,82 | 4,8 | 11,49 | Monelnit + Stål- splint USM LD 630BS |
| D | 0,1 | 25 | 473 | 425 | 27,0 | 0,82 | 4,8 | 11,49 | Alum.nit + Stål- splint USM AD 66 BSLF |
| E | 0,25 | 25 | 473 | 425 | 27,0 | 0,82 | 4,8 | 11,49 | Stålnit + Stål- splint USM SD 630 BS |
| F | 0,50 | 25 | 473 | 425 | 27,0 | 0,82 | 4,8 | 11,49 | Stålnit + Stål- splint USM SD 630 BS |
| G | 0,1 | 5 | 473 | 425 | 27,0 | 0,82 | 4,8 | 11,49 | Stålnit + Stål- splint USM SD 630 BS |
| H | 0,1 | 25 | 473 | 425 | 27,0 | 0,82 | 4,0 | 8,41 | Stålnit + Stål- splint USM SD 524 BS |
| I | 0,1 | 25 | 473 | 425 | 27,0 | 0,82 | 3,2 | 5,21 | Stålnit + Stål- splint USM SD 424 BS |
| K | 0,1 | 25 | 473 | 425 | 27,0 | 0,82 | 6,4 | 20,21 | Stålnit + Stål- splint USM SD 835 BS |
| L | 0,1 | 25 | 480 | 411 | - | 0,65 | 4,8 | 11,49 | Stålnit + Stål- splint USM SD 630 BS |
| M | 0,1 | 25 | 447 | 346 | 33,0 | 0,83 | 4,8 | 11,49 | Monelnit + Stål- splint USM LD 630 BS |
| N | 0,1 | 25 | 455 | 380 | 28,0 | 1,14 | 4,8 | 11,49 | Stålnit + Stål- splint USM SD 630 BS |
| O | 0,25 | 25 | 451 | 341 | 34,0 | 1,92 | 6,4 | 20,21 | Stålnit + Stål- splint USM SD 835 BS |
| P | 0,1 | 25 | 447 | 346 | 33,0 | 0,83 | 4,8 | 12,78 | Alum.nit + Stål- splint USM AD 66 H |
| R | 0,1 | 25 | 447 | 346 | 33,0 | 0,83 | 4,8 | 11,49 | Stålnit + Stål- splint USM SD 630 BS |

TABELL 7:1. Provnings- och materialdata vid provserierna

8. LITTERATUR

- [1] Baehre, R & Berggren, L, Hopfogning av tunnväggiga stål- och aluminiumkonstruktioner 2. (Statens råd för byggnadsforskning). Rapport R30:1971.
- [2] Byggeforskningens informationsblad B14:1971, Tunnpåtsförband.
- [3] Hertel, H, Ermüdungsfestigkeit der Konstruktionen. (Springer Verlag). Berlin/Heidelberg, 1969.
- [4] Fisher, John W & Struik, John H A, Guide to Design Criteria for Bolted and Riveted Joints. (John Wiley & Sons). New York, 1974.
- [5] Davenport, A G, The buffeting of large superficial structures by atmospheric turbulence. (Annals New York Academy of Science). Volume 116, p. 135-160, New York, 1964.
- [6] Harris, R I, CIRIA Paper 3, The nature of the wind. (Construction Industry Research and Information Association). 6 Storey's Gate, London SW1. June 1970.
- [7] ASTM, Manual on fitting straight lines. ASTM STP No 313, 1962.
- [8] A tentative guide for fatigue and the statistical analysis of fatigue data. ASTM STP No 91-A, 1958.
- [9] Autorenkollektiv, Schwingfestigkeit. (VEB Verlag für Grundstoffindustrie). Leipzig, 1973.
- [10] National Bureau of Standards, Experimental Statistics. Handbook 91, Aug. 1963.
- [11] Nordiska riktlinjer för träkonstruktioner 3. NKB-skrift nr 18. December 1973.
- [12] Kreyszig, E, Statistische Methoden und ihre Anwendungen. (Vandenhoeck u. Ruprecht). Göttingen, 1965.
- [13] Steinhardt, O und Kostes, D, Die Schwingfestigkeit geschweisster Aluminiumverbindungen. Optimierung erweiterter Lebensdauerfunktionen mit Berücksichtigung der Überlebenswahrscheinlichkeiten. Berichte der Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine der Universität Fridericiana in Karlsruhe. H.5. 1971.
- [14] Torres, M, Utmattningsprovning av tunnpåtsförband. Examensarbete i stålbyggnad, Tekniska Högskolan i Stockholm, 1975. Intern skrift.
- [15] Stålbyggnadsnorm 70, StBK-N1. Statens Stålbyggnadskommitté.
- [16] Byggsvetsnorm StBK-N2. Statens Stålbyggnadskommitté och Svetskommissionen, 1974.

- [17] Svensk Byggnorm SBN 1975. Statens planverk.
- [18] Davenport, A G, The Application of Statistical Concepts to the Wind Loading of Structures. Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Vol. 19 (1961).
- [19] Baehre, R, Svängningsproblem. Kompendium i stålbyggnad, Tekniska Högskolan i Stockholm.
- [20] Little, R E, and Jebe, E H, Statistical Design of Fatigue Experiments. Applied Science Publishers LTD. London 1975.
- [21] Spiegel, Murray R, Theory and Problems of Statistics. Mc Graw-Hill Book Company.
- [22] Owen, D B, Handbook of Statistical Tables. Addison, Wesley Publishing Company Inc.
- [23] Struck, Zur Berechnung von einseitigen, unteren Grenzwerten (Fraktilen) bei der statistischen Auswertung von Messergebnissen. Materialprüfung 9, 1967 Nr 6.
- [24] Eisenhart m fl, Selected Techniques of Statistical Analysis. New York: McGraw-Hill Book Company, Inc., 1947.

STANDARD FÜR UTMATTNINGSPROVNING

ISO R 373, General principles for fatigue testing of metals.

ISO/DIS 3800/II, Threaded fasteners - Axial load fatigue testing - Part II (in preparation).

ISO R 1099, Axial load fatigue testing.

TGL 19330 Blatt 1, 2, Prüfung metallischer Werkstoffe, Schwingversuch.

TGL 19336, Streufeldauswertung zur Bestimmung von Wöhler-Kurven.

BS 3518 Part 1, Methods of fatigue testing. General principles.

BS 3518 Part 5, 1966, Guide to the application of statistics.

SIS 01 42 01, Statistik. Terminologi.

SIS 11 23 70, Utmattningsprovning, metalliska material. Allmänna principer.

SIS 11 02 30, Procedure for deriving and verifying the elevated temperature yield proof stress properties. Ferritic steels. (Ej utmattning).

9. TABELLER

9:1 Sammanställning av räta linjens ekvation

9:2 Sammanställning av provningsresultat

TABELL 9:1. Sammanställning av räta linjens ekvation

| Prov-serie | F_{\max} ($F_{\min} = R \cdot F_{\max}$) | | F_r ($F_{\min} = 0$) | | σ_{Hr} ($\sigma_{H\min} = 0$ alt. $\tau_{\min} = 0$) | | Anm. |
|------------|--|-------|--------------------------|--------------------------|---|------|----------|
| | Räta linjens ekv. | r | s | Räta linjens ekv. | r | s | |
| B | $X_f = - 7,417Y+29,794$ | -0,99 | 0,11 | $X_f = - 7,417Y+29,454$ | -0,99 | 0,11 | |
| C | $X_f = - 4,382Y+19,869$ | -0,85 | 0,25 | $X_f = - 4,382Y+19,669$ | -0,85 | 0,25 | |
| D | $X_f = - 12,582Y+47,530$ | -0,97 | 0,20 | $X_f = - 12,582Y+46,954$ | -0,97 | 0,20 | τ_r |
| E | $X_f = - 8,662Y+34,092$ | -0,98 | 0,16 | $X_f = - 8,662Y+33,010$ | -0,98 | 0,16 | |
| F | $X_f = - 6,076Y+26,056$ | -0,78 | 0,17 | $X_f = - 6,076Y+24,227$ | -0,78 | 0,17 | |
| G | $X_f = - 6,506Y+26,485$ | -0,96 | 0,14 | $X_f = - 6,506Y+26,187$ | -0,96 | 0,14 | |
| H | $X_f = - 8,177Y+31,620$ | -0,88 | 0,21 | $X_f = - 8,177Y+31,246$ | -0,88 | 0,21 | τ_r |
| I | $X_f = - 10,344Y+36,828$ | -0,86 | 0,22 | $X_f = - 10,344Y+36,355$ | -0,86 | 0,22 | τ_r |
| K | $X_f = - 14,573Y+55,937$ | -0,90 | 0,30 | $X_f = - 14,573Y+55,270$ | -0,90 | 0,30 | |
| L | $X_f = - 6,090Y+24,516$ | -0,94 | 0,16 | $X_f = - 6,090Y+24,237$ | -0,94 | 0,16 | |
| M | $X_f = - 6,128Y+25,756$ | -0,90 | 0,26 | $X_f = - 6,128Y+25,476$ | -0,90 | 0,26 | |
| N | $X_f = - 9,079Y+35,667$ | -0,93 | 0,18 | $X_f = - 9,079Y+35,252$ | -0,93 | 0,18 | τ_r |
| O | $X_f = - 7,240Y+31,018$ | -0,88 | 0,22 | $X_f = - 7,240Y+30,114$ | -0,88 | 0,22 | τ_r |
| P | $X_f = - 8,482Y+32,747$ | -0,96 | 0,11 | $X_f = - 8,482Y+32,359$ | -0,96 | 0,11 | τ_r |
| R | $X_f = - 6,610Y+26,935$ | -0,99 | 0,09 | $X_f = - 6,610Y+26,633$ | -0,99 | 0,09 | τ_r |

TABELL 9:2. Utmattningshållfasthet vid tunnplåtsförband.
Sammanställning av provningsresultat.

| Provföljd och prov- kropp nr | Belastning | | Brott- typ | Brott- defor- mation mm | Brott- cykel- tal [N] | Anmärkningar |
|------------------------------------|-------------------|--------------|---------------|----------------------------------|--------------------------------|--|
| | F_{\max} [N] | F_r [N] | | | | |
| Provserie: B | | | | | | |
| 1 B23, B1 | 3550 | - | SN/S | 4,2 | - | Statiskt prov |
| 4 B2, B34 | 3500 | - | SN/S | 4,2 | - | " " |
| 7 B31, B27 | 3140 | - | H/S | 1,65 | - | " " |
| 5 B6, B18 | 2900 | 2610 | SN/S | 3,1 | 12950 | $a_{xy} = - 7,417345948$ |
| 6 B12, B19 | 2900 | 2610 | SN/S | 2,4 | 12000 | $b_{xy} = 29,79355604$ |
| 10 B24, B28 | 2900 | 2610 | SN/S | 3,2 | 18920 | $\bar{x} = 4,855076327$ |
| 13 B32, B13 | 2900 | 2610 | SN/S | 5,0 | 12240 | $\bar{y} = 3,362183709$ |
| | | | | | | $r = - 0,986$ |
| | | | | | | $s = 0,108$ |
| 3 B36, B16 | 2275 | 2047,5 | SN/S | 2,5 | 60680 | |
| 2 B33, B11 | 2275 | 2047,5 | SN/S | 3,2 | 78950 | |
| 11 B38, B9 | 2275 | 2047,5 | SN/S | 2,0 | 80960 | |
| 14 B10, B4 | 2275 | 2047,5 | SN/S | 2,4 | 56070 | $X_{f1} = 4,11 \quad \Delta X_{f1} = 0,22$ |
| 8 B14, B20 | 1850 | 1665 | S | 1,2 | 515660 | $X_{f2} = 4,89 \quad \Delta X_{f2} = 0,20$ |
| 9 B35, B26 | 1850 | 1665 | S | 2,2 | 486740 | |
| 12 B5, B3 | 1850 | 1665 | SN/S | 2,0 | 338190 | $X_{f3} = 5,56 \quad \Delta X_{f3} = 0,22$ |
| 15 B40, B37 | 1850 | 1665 | S | 1,8 | 274500 | |
| Provserie: C | | | | | | |
| 1 C23, C1 | 3650 | - | H/SN | 5,0 | - | Statiskt prov |
| 2 C2, C34 | 4125 | - | H/SN | 6,0 | - | " " |
| 6 C31, C27 | 3775 | - | SN | 6,0 | - | " " |
| 5 C6, C18 | 3500 | 3150 | SN | 5,5 | 21010 | $a_{xy} = - 4,38210004$ |
| 7 C12, C19 | 3500 | 3150 | SN | 6,0 | 25800 | $b_{xy} = 19,8691654$ |
| 10 C24, C28 | 3500 | 3150 | SN | 6,0 | 35480 | $\bar{x} = 4,821816692$ |
| 11 C13, C32 | 3500 | 3150 | SN | 6,0 | 13340 | $\bar{y} = 3,433821358$ |
| | | | | | | $r = - 0,848$ |
| | | | | | | $s = 0,250$ |
| 3 C33, C11 | 2600 | 2340 | SN/SP | 1,5 | 170730 | |
| 4 C36, C16 | 2600 | 2340 | SN/SP | 6,0 | 90940 | |
| 13 C9, C38 | 2600 | 2340 | SN | 6,0 | 33470 | |
| 15 C4, C10 | 2600 | 2340 | SN/S | 5,0 | 56340 | $X_{f1} = 4,34 \quad \Delta X_{f1} = 0,50$ |
| 8 C14, C20 | 2200 | 1980 | SN/SP | 5,0 | 174870 | $X_{f2} = 4,90 \quad \Delta X_{f2} = 0,47$ |
| 9 C35, C26 | 2200 | 1980 | SN/SP | 5,0 | 98190 | |
| 12 C5, C3 | 2200 | 1980 | SN/SP | 5,0 | 446820 | $X_{f3} = 5,22 \quad \Delta X_{f3} = 0,49$ |
| 14 C37, C40 | 2200 | 1980 | SN/SP | 5,0 | 126230 | |

Forts.

TABELL 9:2. Utmattningshållfasthet vid tunnplåtsförband.
Sammanställning av provningsresultat.

| Provföljd och prov- kropp nr | Belastning | | Brott- typ | Brott- defor- mation mm | Brott- cykel- tal [N] | Anmärkningar |
|------------------------------------|-------------------------|-----------------------|---------------|----------------------------------|--------------------------------|---|
| | F _{max} [N] | F _r [N] | | | | |
| <u>Provserie: D</u> | | | | | | |
| 2 D23, D1 | 3220 | - | S | 2,2 | - | Statiskt prov |
| 3 D2, D34 | 3180 | - | S | 2,4 | - | " " |
| 8 D31, D27 | 3100 | - | S | 2,0 | - | " " |
| 6 D6, D18 | 2900 | 2610 | S | 2,0 | 9180 | a _{xy} = - 12,5822273 |
| 7 D12, D19 | 2900 | 2610 | S | 2,0 | 14780 | b _{xy} = 47,52953223 |
| 10 D24, D28 | 2900 | 2610 | S | 2,0 | 5300 | x̄ = 4,897471189 |
| 12 D13, D32 | 2900 | 2610 | S | 2,0 | 5220 | ȳ = 3,388276178 |
| 1 D39, D8 | 2400 | 2160 | S | 2,0 | 190540 | r = - 0,969 |
| 4 D33, D11 | 2400 | 2160 | S | 1,5 | 200110 | s = 0,203 |
| 13 D9, D38 | 2400 | 2160 | S | 1,9 | 97500 | |
| 15 D4, D10 | 2400 | 2160 | S | 2,0 | 130110 | X _{f1} = 3,96 ΔX _{f1} = 0,41 |
| 5 D14, D20 | 2100 | 1890 | S | 2,0 | 366680 | X _{f2} = 5,00 ΔX _{f2} = 0,38 |
| 9 D26, D35 | 2100 | 1890 | S | 1,5 | 386030 | |
| 11 D3, D5 | 2100 | 1890 | S | 2,5 | 581910 | X _{f3} = 5,73 ΔX _{f3} = 0,40 |
| 14 D37, D40 | 2100 | 1890 | S | 1,3 | 393420 | |
| <u>Provserie: E</u> | | | | | | |
| 2 E23, E1 | 3050 | - | S | 3,0 | - | Statiskt prov |
| 3 E2, E34 | 3450 | - | SN/S | 3,6 | - | " " |
| 10 E31, E27 | 3480 | - | SN/S | 3,2 | - | " " |
| 7 E6, E18 | 2900 | 2175 | SN | 4,8 | 19000 | a _{xy} = - 8,662346832 |
| 9 E12, E19 | 2900 | 2175 | SN/S | 6,0 | 11610 | b _{xy} = 34,09192364 |
| 11 E24, E28 | 2900 | 2175 | SN | 4,0 | 9300 | x̄ = 4,967522235 |
| 13 E32, E13 | 2900 | 2175 | SN/S | 3,8 | 16160 | ȳ = 3,362183709 |
| 4 E33, E11 | 2275 | 1706,25 | SN/S | 6,0 | 144570 | r = - 0,979 |
| 6 E36, E16 | 2275 | 1706,25 | SN/S | 5,0 | 72160 | s = 0,157 |
| 14 E38, E9 | 2275 | 1706,25 | SN/S | 6,0 | 52440 | |
| 15 E10, E4 | 2275 | 1706,25 | SN/S | 6,0 | 111020 | X _{f1} = 4,10 ΔX _{f1} = 0,31 |
| 5 E14, E20 | 1850 | 1387,5 | SN/S | 4,0 | 456220 | X _{f2} = 5,01 ΔX _{f2} = 0,30 |
| 8 E35, E26 | 1850 | 1387,5 | SN/S | 5,0 | 916570 | |
| 12 E5, E3 | 1850 | 1387,5 | SN/S | 5,0 | 716280 | X _{f3} = 5,79 ΔX _{f3} = 0,31 |
| 16 E40, E37 | 1850 | 1387,5 | SN/S | 5,0 | 675920 | |
| | | | | | | Prov nr 1, F _{max} = 2400N, SN/S, N = 66650 |

Forts.

TABELL 9:2. Utmattningshållfasthet vid tunnplåtsförband.
Sammanställning av provningsresultat.

| Provföljd och prov- kropp nr | Belastning | | Brott- typ | Brott- defor- mation mm | Brott- cykel- tal [N] | Anmärkningar |
|------------------------------------|-------------------------|-----------------------|---------------|----------------------------------|--------------------------------|--|
| | F _{max} [N] | F _r [N] | | | | |
| <u>Provserie: F</u> | | | | | | |
| 3 F23, F1 | 3450 | - | S | 4,5 | - | Statiskt prov |
| 4 F2, F34 | 3120 | - | S | 3,5 | - | " " |
| 9 F31, F27 | 2980 | - | S | 2,5 | - | " " |
| 6 F6, F18 | 2800 | 1400 | SN | 3,8 | 100000 | a _{xy} = - 6,07600094 |
| 8 F12, F19 | 2800 | 1400 | SN/S | 6,0 | 173940 | b _{xy} = 26,05620158 |
| 10 F24, F28 | 2800 | 1400 | SN/S | 6,0 | 127130 | \bar{x} = 5,365057039 |
| 12 F13, F32 | 2800 | 1400 | SN | 4,0 | 164590 | \bar{y} = 3,405388634 |
| 2 F36, F16 | 2500 | 1250 | S | 3,0 | 276020 | r = - 0,783 |
| 5 F11, F33 | 2500 | 1250 | SN | 6,5 | 191750 | s = 0,167 |
| 14 F9, F38 | 2500 | 1250 | SN | 6,0 | 234590 | |
| 15 F4, F10 | 2500 | 1250 | SN/SP | 4,0 | 165520 | X _{f1} = 5,11 ΔX _{f1} = 0,33 |
| 1 F8, F39 | 2350 | 1175 | SN/SP | 6,0 | 804130 | X _{f2} = 5,41 ΔX _{f2} = 0,31 |
| 7 F26, F35 | 2350 | 1175 | SN/SP | 6,0 | 352030 | |
| 11 F3, F5 | 2350 | 1175 | SN/SP | 6,0 | 221160 | X _{f3} = 5,57 ΔX _{f3} = 0,33 |
| 13 F37, F40 | 2350 | 1175 | SN/SP | 6,0 | 513080 | |
| <u>Provserie: G</u> | | | | | | |
| 2 G1, G23 | 3150 | - | SN | 3,1 | - | Statiskt prov |
| 3 G2, G34 | 3520 | - | SN | 4,2 | - | " " |
| 10 G31, G37 | 3270 | - | S | 4,0 | - | " " |
| 6 G6, G18 | 2500 | 2250 | SN | 4,4 | 13760 | a _{xy} = - 6,506224933 |
| 9 G12, G19 | 2500 | 2250 | SN | 5,5 | 24690 | b _{xy} = 26,48496735 |
| 11 G24, G28 | 2500 | 2250 | SN | 6,0 | 26310 | \bar{x} = 4,904668909 |
| 14 G13, G32 | 2500 | 2250 | SN/SP | 5,0 | 32850 | \bar{y} = 3,316869408 |
| 4 G11, G33 | 2100 | 1890 | SN/S | 2,1 | 110750 | r = - 0,961 |
| 5 G16, G36 | 2100 | 1890 | SN/S | | 78070 | s = 0,141 |
| 15 G38, G9 | 2100 | 1890 | S | 2,5 | 64660 | |
| 17 G4, G10 | 2100 | 1890 | SN/SP | 5,5 | 64100 | X _{f1} = 4,38 ΔX _{f1} = 0,28 |
| 8 G21, G29 | 1700 | 1530 | SP | 3,8 | 163200 | X _{f2} = 4,87 ΔX _{f2} = 0,27 |
| 12 G26, G35 | 1700 | 1530 | SN/SP | 4,8 | 359160 | |
| 13 G3, G5 | 1700 | 1530 | S | 1,5 | 354890 | X _{f3} = 5,47 ΔX _{f3} = 0,28 |
| 16 G37, G40 | 1700 | 1530 | S | 2,5 | 327950 | |

Forts.
 TABELL 9:2. Utmattningshållfasthet vid tunnplåtsförband.
 Sammanställning av provningsresultat.

| Provföljd och prov- kropp nr | Belastning | | Brott- typ | Brott- defor- mation mm | Brott- cykel- tal [N] | Anmärkningar |
|------------------------------------|-------------------------|-----------------------|---------------|----------------------------------|--------------------------------|--|
| | F _{max} [N] | F _r [N] | | | | |
| <u>Provserie: H</u> | | | | | | |
| 1 H1, H23 | 2270 | - | S | 1,6 | - | Statiskt prov |
| 2 H2, H34 | 2270 | - | S | 1,8 | - | " " |
| 11 H27, H31 | 2400 | - | S | 1,8 | - | " " |
| 8 H6, H18 | 2050 | 1845 | S | 1,0 | 42860 | a _{xy} = - 8,176887273 |
| 10 H12, H19 | 2050 | 1845 | S | 1,2 | 47410 | b _{xy} = 31,62004587 |
| 12 H24, H28 | 2050 | 1845 | S | 1,8 | 25470 | x̄ = 4,987525126 |
| 14 H13, H32 | 2050 | 1845 | S | 1,4 | 22690 | ȳ = 3,257048783 |
| 5 H16, H36 | 1800 | 1620 | S | 1,4 | 147960 | r = - 0,879 |
| 6 H11, H33 | 1800 | 1620 | S | 1,4 | 60990 | s = 0,214 |
| 16 H9, H38 | 1800 | 1620 | S | 1,4 | 185480 | |
| 18 H10, H4 | 1800 | 1620 | S | 1,8 | 94640 | X _{f1} = 4,54 ΔX _{f1} = 0,43 |
| 7 H14, H20 | 1600 | 1440 | S | 1,0 | 167070 | X _{f2} = 5,00 ΔX _{f2} = 0,40 |
| 9 H26, H35 | 1600 | 1440 | S | 2,0 | 261230 | |
| 15 H7, H15 | 1600 | 1440 | S | 0,8 | 598210 | X _{f3} = 5,42 ΔX _{f3} = 0,42 |
| 17 H37, H40 | 1600 | 1440 | S | 1,8 | 145870 | |
| <u>Provserie: I</u> | | | | | | |
| 2 I1, I23 | 1350 | - | S | 1,3 | - | Statiskt prov |
| 3 I2, I34 | 1480 | - | S | 1,35 | - | " " |
| 9 I27, I31 | 1460 | - | S | 1,0 | - | " " |
| 6 I6, I18 | 1200 | 1080 | S | 1,4 | 74700 | a _{xy} = - 10,34371428 |
| 8 I12, I19 | 1200 | 1080 | S | 1,5 | 113850 | b _{xy} = 36,82797664 |
| 10 I24, I28 | 1200 | 1080 | S | 1,5 | 94400 | x̄ = 5,381106384 |
| 11 I13, I32 | 1200 | 1080 | S | 1,4 | 98740 | ȳ = 3,04019131 |
| 1 I8, I39 | 1100 | 990 | S | 1,5 | 252870 | r = - 0,858 |
| 4 I11, I33 | 1100 | 990 | S | 1,4 | 212555 | s = 0,219 |
| 13 I9, I38 | 1100 | 990 | S | 1,3 | 156100 | |
| 14 I4, I10 | 1100 | 990 | S | 1,3 | 375060 | X _{f1} = 4,98 ΔX _{f1} = 0,44 |
| 5 I14, I20 | 1000 | 900 | S | 1,4 | 398070 | X _{f2} = 5,37 ΔX _{f2} = 0,41 |
| 7 I26, I35 | 1000 | 900 | S | 1,5 | 408330 | |
| 12 I3, I5 | 1000 | 900 | S | 1,5 | 2147920 | X _{f3} = 5,80 ΔX _{f3} = 0,44 |
| 15 I37, I40 | 1000 | 900 | S | 1,5 | 429830 | |

Forts.

TABELL 9:2. Utmattningshållfasthet vid tunnplåtsförband.
Sammanställning av provningsresultat.

| Provföljd och prov- kropp nr | Belastning | | Brott- typ | Brott- defor- mation mm | Brott- cykel- tal [N] | Anmärkningar |
|------------------------------------|-------------------------|-----------------------|---------------|----------------------------------|--------------------------------|--|
| | F _{max} [N] | F _r [N] | | | | |
| Provserie: K | | | | | | |
| 2 K1, K23 | 3800 | - | SN | 6,5 | - | Statiskt prov |
| 3 K2, K34 | 4650 | - | SN/S | 5,9 | - | " " |
| 9 K27, K31 | 3780 | - | SN/SP | 6,0 | - | " " |
| 5 K6, K18 | 3600 | 3240 | SN | 5,0 | 19110 | a _{xy} = - 14,57326581 |
| 8 K12, K19 | 3600 | 3240 | SN | 6,0 | 3960 | b _{xy} = 55,93713457 |
| 10 K24, K28 | 3600 | 3240 | H/SN | 7,0 | 9400 | \bar{x} = 4,81484446 |
| 12 K13, K32 | 3600 | 3240 | SN | 6,0 | 25250 | y = 3,507950159 |
| 4 K11, K33 | 3200 | 2880 | SN/SP | 6,0 | 57030 | r = - 0,901 |
| 7 K26, K35 | 3200 | 2880 | SN/SP | 5,5 | 67770 | s = 0,296 |
| 13 K9, K38 | 3200 | 2880 | SN | 4,5 | 169780 | |
| 15 K4, K10 | 3200 | 2880 | SN/SP | 6,0 | 103530 | X _{f1} = 4,11 ΔX _{f1} = 0,59 |
| 1 K8, K39 | 2900 | 2610 | SN/SP | 5,6 | 643400 | X _{f2} = 4,86 ΔX _{f2} = 0,56 |
| 6 K14, K20 | 2900 | 2610 | SN/SP | 6,0 | 124650 | |
| 11 K3, K5 | 2900 | 2610 | SN/SP | 5,0 | 184620 | X _{f3} = 5,48 ΔX _{f3} = 0,59 |
| 14 K37, K40 | 2900 | 2610 | SN/SP | 5,0 | 332080 | |
| Provserie: L | | | | | | |
| 1 L23, L1 | 2580 | - | H/SN | 6,0 | - | Statiskt prov |
| 2 L2, L34 | 2450 | - | H/SN | 5,5 | - | " " |
| 9 L31, L27 | 2520 | - | SN | 4,0 | - | " " |
| 6 L6, L18 | 1900 | 1710 | H/SN | 2,5 | 30000 | a _{xy} = - 6,090205049 |
| 8 L12, L19 | 1900 | 1710 | H/SN | 2,9 | 39000 | b _{xy} = 24,51560941 |
| 10 L24, L28 | 1900 | 1710 | H/SN | 2,7 | 31000 | \bar{x} = 5,033415084 |
| 12 L32, L13 | 1900 | 1710 | H/SN | 5,0 | 32000 | y = 3,198938979 |
| 3 L39, L8 | 1600 | 1440 | SN | 5,3 | 106000 | r = - 0,944 |
| 4 L11, L33 | 1600 | 1440 | SN/SP | 5,0 | 212130 | s = 0,158 |
| 13 L38, L9 | 1600 | 1440 | SN | 3,3 | 60000 | |
| 15 L10, L4 | 1600 | 1440 | SN/SP | 4,5 | 127390 | X _{f1} = 4,55 ΔX _{f1} = 0,31 |
| 5 L14, L20 | 1300 | 1170 | SN/SP | 3,0 | 418980 | X _{f2} = 5,00 ΔX _{f2} = 0,30 |
| 7 L26, L35 | 1300 | 1170 | SN/SP | 4,0 | 352420 | |
| 11 L5, L3 | 1300 | 1170 | SN/SP | 2,0 | 202680 | X _{f3} = 5,55 ΔX _{f3} = 0,31 |
| 14 L40, L37 | 1300 | 1170 | SN/SP | 4,5 | 421720 | |

Forts.

TABELL 9:2. Utmattningshållfasthet vid tunnplåtsförband.
Sammanställning av provningsresultat.

| Provföljd och prov- kropp nr | Belastning | | Brott- typ | Brott- deform- ation mm | Brott- cykel- tal [N] | Anmärkningar |
|------------------------------------|-------------------------|-----------------------|---------------|----------------------------------|--------------------------------|--|
| | F _{max} [N] | F _r [N] | | | | |
| Provserie: M | | | | | | |
| 1 M1, M23 | 3550 | - | H/SN | 6,0 | - | Statiskt prov |
| 2 M2, M34 | 3630 | - | H/SN | 5,0 | - | " " |
| 9 M24, M28 | 3900 | - | H/SN | 5,0 | - | " " |
| 6 M6, M18 | 2900 | 2610 | SN/SP | 5,0 | 67520 | a _{xy} = - 6,127739393 |
| 8 M12, M19 | 2900 | 2610 | H/SN | 5,5 | 26170 | b _{xy} = 25,75639532 |
| 10 M31, M27 | 2900 | 2610 | H/SN | 5,0 | 34130 | \bar{x} = 5,153809762 |
| 12 M32, M13 | 2900 | 2610 | H/SN | 6,0 | 47730 | \bar{y} = 3,362183709 |
| 3 M39, M8 | 2275 | 2047,5 | H/SN | 5,0 | 51650 | r = - 0,902 |
| 4 M11, M33 | 2275 | 2047,5 | H/SN | 4,0 | 124490 | s = 0,257 |
| 13 M38, M9 | 2275 | 2047,5 | SN/SP | 6,0 | 139050 | |
| 15 M10, M4 | 2275 | 2047,5 | SN/SP | 5,5 | 137610 | X _{f1} = 4,54 ΔX _{f1} = 0,51 |
| 5 M14, M20 | 1850 | 1665 | SN/SP | 4,5 | 1120070 | X _{f2} = 5,19 ΔX _{f2} = 0,48 |
| 7 M35, M26 | 1850 | 1665 | SN/SP | 5,0 | 669500 | |
| 11 M3, M5 | 1850 | 1665 | SN/SP | 4,5 | 249460 | X _{f3} = 5,74 ΔX _{f3} = 0,51 |
| 14 M40, M37 | 1850 | 1665 | SN/SP | 4,0 | 1058110 | |
| Provserie: N | | | | | | |
| 1 N23, N1 | 3150 | - | S | 1,6 | - | Statiskt prov |
| 2 N2, N34 | 3330 | - | S | 1,5 | - | " " |
| 8 N31, N27 | 3280 | - | S | 1,6 | - | " " |
| 6 N6, N18 | 2600 | 2340 | S | 2,0 | 38040 | a _{xy} = - 9,078725694 |
| 7 N12, N19 | 2600 | 2340 | S | 2,0 | 27670 | b _{xy} = 35,66714251 |
| 9 N24, N28 | 2600 | 2340 | S | 2,0 | 37600 | \bar{x} = 5,169490172 |
| 12 N32, N13 | 2600 | 2340 | S | 2,0 | 100550 | \bar{y} = 3,359243727 |
| 3 N39, N8 | 2300 | 2070 | S | 3,0 | 211950 | r = - 0,931 |
| 4 N33, N11 | 2300 | 2070 | S | 2,0 | 101380 | s = 0,182 |
| 13 N38, N9 | 2300 | 2070 | S | 2,5 | 109670 | |
| 15 N4, N10 | 2300 | 2070 | S | 2,0 | 207710 | X _{f1} = 4,66 ΔX _{f1} = 0,36 |
| 5 N14, N20 | 2000 | 1800 | S | 3,0 | 431200 | X _{f2} = 5,15 ΔX _{f2} = 0,34 |
| 10 N35, N26 | 2000 | 1800 | S | 2,5 | 596720 | |
| 11 N5, N3 | 2000 | 1800 | S | 2,0 | 325030 | X _{f3} = 5,70 ΔX _{f3} = 0,36 |
| 14 N37, N40 | 2000 | 1800 | S | 1,5 | 663680 | |

Forts.

TABELL 9:2. Utmattningshållfasthet vid tunnplåtsförband.
Sammanställning av provningsresultat.

| Provföljd och prov- kropp nr | Belastning | | Brott- typ | Brott- deform- ation mm | Brott- cykel- tal [N] | Anmärkningar |
|------------------------------------|-------------------------|-----------------------|---------------|----------------------------------|--------------------------------|--|
| | F _{max} [N] | F _r [N] | | | | |
| <u>Provserie: 0</u> | | | | | | |
| 1 023, 01 | 5150 | - | S | 2,0 | - | Statiskt prov |
| 2 02, 034 | 5100 | - | S | 1,5 | - | " " |
| 9 031, 027 | 5000 | - | S | 3,0 | - | " " |
| 3 039, 08 | 4000 | 3000 | S | 1,5 | 162360 | a _{xy} = - 7,239639234 |
| 4 033, 011 | 4000 | 3000 | S | 2,0 | 66310 | b _{xy} = 31,01836000 |
| 13 038, 09 | 4000 | 3000 | S | 2,5 | 60140 | \bar{x} = 5,412576127 |
| 15 010, 04 | 4000 | 3000 | S | 2,0 | 105780 | \bar{y} = 3,536886721 |
| 5 014, 020 | 3400 | 2550 | S | 1,2 | 152280 | r = - 0,883 |
| 7 035, 026 | 3400 | 2550 | S | 1,0 | 412040 | s = 0,215 |
| 11 05, 03 | 3400 | 2550 | S | 1,3 | 309620 | |
| 14 040, 037 | 3400 | 2550 | S | 2,6 | 224660 | X _{f1} = 4,94 ΔX _{f1} = 0,43 |
| 6 06, 018 | 3000 | 2250 | S | 1,0 | 414330 | X _{f2} = 5,45 ΔX _{f2} = 0,41 |
| 8 012, 019 | 3000 | 2250 | S | 2,5 | 1005410 | |
| 10 024, 028 | 3000 | 2250 | S | 1,0 | 458040 | X _{f3} = 5,85 ΔX _{f3} = 0,43 |
| 12 032, 013 | 3000 | 2250 | S | 2,5 | 1565880 | |
| <u>Provserie: P</u> | | | | | | |
| 1 P23, P1 | 2450 | - | S | 3,2 | - | Statiskt prov |
| 2 P2, P34 | 2350 | - | S | 3,2 | - | " " |
| 9 P31, P27 | 2380 | - | S | 3,0 | - | " " |
| 6 P6, P18 | 2000 | 1800 | S | 2,0 | 86000 | a _{xy} = - 8,481532777 |
| 8 P12, P19 | 2000 | 1800 | S | 2,0 | 59740 | b _{xy} = 32,74748143 |
| 10 P24, P28 | 2000 | 1800 | S | 2,0 | 40500 | \bar{x} = 5,153033694 |
| 12 P32, P13 | 2000 | 1800 | S | 2,0 | 47840 | \bar{y} = 3,253474161 |
| 3 P8, P39 | 1800 | 1620 | S | 2,0 | 112060 | r = - 0,956 |
| 4 P33, P11 | 1800 | 1620 | S | 2,5 | 151330 | s = 0,113 |
| 13 P38, P9 | 1800 | 1620 | S | 1,5 | 99040 | |
| 15 P10, P4 | 1800 | 1620 | S | 0,5 | 212490 | X _{f1} = 4,75 ΔX _{f1} = 0,22 |
| 5 P14, P20 | 1600 | 1440 | S | 2,5 | 382000 | X _{f2} = 5,14 ΔX _{f2} = 0,21 |
| 7 P26, P35 | 1600 | 1440 | S | 1,0 | 372280 | |
| 11 P5, P3 | 1600 | 1440 | S | 0,5 | 351470 | X _{f3} = 5,57 ΔX _{f3} = 0,22 |
| 14 P40, P37 | 1600 | 1440 | S | 2,0 | 386410 | |

Forts.

TABELL 9:2. Utmattningshållfasthet vid tunnplåtsförband.
Sammanställning av provningsresultat.

| Provföljd och prov- kropp nr | Belastning | | Brott- typ | Brott- defor- mation mm | Brott- cykel- tel [N] | Anmärkningar |
|------------------------------------|-------------------------|-----------------------|---------------|----------------------------------|--------------------------------|--|
| | F _{max} [N] | F _r [N] | | | | |
| <u>Provserie: R</u> | | | | | | |
| 1 R1, R23 | 3100 | - | SN/S | 4,0 | - | Statiskt prov |
| 2 R2, R34 | 3300 | - | SN/S | 5,0 | - | " " |
| 9 R1, R27 | 2850 | - | SN/S | 4,0 | - | " " |
| 6 R6, R18 | 2400 | 2160 | H/SN | 5,5 | 34980 | a _{xy} = - 6,610474924 |
| 8 R12, R19 | 2400 | 2160 | H/SN | 5,5 | 35450 | b _{xy} = 26,93541891 |
| 10 R24, R28 | 2400 | 2160 | H/SN | 5,5 | 42150 | \bar{x}_{xy} = 5,168178708 |
| 12 R13, R32 | 2400 | 2160 | SN | 3,5 | 45000 | y = 3,292840598 |
| 3 R8, R39 | 2100 | 1890 | H/SN | 5,5 | 81260 | r = - 0,989 |
| 4 R33, R11 | 2100 | 1890 | H/SN | 6,0 | 86750 | s = 0,093 |
| 13 R38, R9 | 2100 | 1890 | H/SN | 5,0 | 156280 | |
| 15 R10, R4 | 2100 | 1890 | H/SN | 5,0 | 69390 | X _{f1} = 4,59 ΔX _{f1} = 0,18 |
| 11 R5, R3 | 1500 | 1350 | S | 2,3 | 926620 | X _{f2} = 4,97 ΔX _{f2} = 0,18 |
| 14 R40, R37 | 1500 | 1350 | S | 2,0 | 749910 | |
| 16 R36, R16 | 1500 | 1350 | H/SN | 4,5 | 963080 | X _{f3} = 5,94 ΔX _{f3} = 0,19 |
| 17 R29, R21 | 1500 | 1350 | H/SN | 4,0 | 866520 | Prov nr 5, F _{max} = 1800, H/SN, N = 210160 Prov nr 7, F _{max} = 1800, H/SN, N = 134480 |
| <u>Provserie: R1 (f = 1 Hz)</u> | | | | | | |
| 18 R7, R15 | 2400 | 2160 | H/SN | 4,8 | 42034 | |
| 19 R22, R25 | 2400 | 2160 | SN/S | 4,5 | 35895 | |
| 20 R17, R30 | 2200 | 1980 | H/SN | 1,5 | 46084 | |
| 21 R41, R42 | 2200 | 1980 | H/SN | 2,0 | 62771 | |

10. PROGRAM VID UTVÄRDERING MED RÄKNEDOSA
(Texas SR-51A)

Beräkning av $\bar{x} = \frac{\sum x}{n}$, $s_x = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n}}$ och Σx på varje
spänningsnivå.

(s_x och s_y används vid beräkning av r. Antal prov n förkortas
bort, dvs n-1 erfordras ej)

2nd **CM**

x_1 **2nd** **log** **$\Sigma +$**

x_2 " " "

x_3 " " "

x_4 " " " **RCL** 1 ger $\sum_{i=1}^4 x_i =$ _____

x_5 **2nd** **log** **$\Sigma +$**

x_6 " " "

x_7 " " "

x_8 " " " **RCL** 1 **-** ger $\sum_{i=1}^8 x_i =$ _____

$\sum_{i=1}^4 x_i$ **=** $\sum_{i=5}^8 x_i =$ _____

x_9 **2nd** **log** **$\Sigma +$**

x_{10} " " "

x_{11} " " "

x_{12} " " " **RCL** 1 **-** ger $\Sigma x =$ _____

$\sum_{i=1}^8 x_i$ **=** $\sum_{i=9}^{12} x_i =$ _____

RCL 2

ger $\Sigma x^2 =$ _____

2nd **mean**

ger $\bar{x} =$ _____

2nd **Var** **\sqrt{x}**

ger $s_x =$ _____

Beräkning av Σy , Σy^2 , $\bar{y} = \frac{\Sigma y}{n}$ och $s_y = \sqrt{\frac{\Sigma(y_i - \bar{x})^2}{n}}$

| | | | | |
|----------|------------------------------------|-------------------------------------|---|-------------------|
| | <input type="button" value="2nd"/> | <input type="button" value="C M"/> | | |
| y_1 | <input type="button" value="2nd"/> | <input type="button" value="log"/> | <input type="button" value="Σ +"/> | |
| y_2 | " | " | " | |
| ⋮ | | | | |
| y_{12} | " | " | " | |
| | <input type="button" value="RCL"/> | 1 | ger $\Sigma y =$ _____ | |
| | <input type="button" value="RCL"/> | 2 | ger $\Sigma y^2 =$ _____ | |
| | <input type="button" value="2nd"/> | <input type="button" value="mean"/> | ger $\bar{y} =$ _____ | |
| | <input type="button" value="2nd"/> | <input type="button" value="var"/> | <input type="button" value="√x<sup>1</sup>"/> | ger $s_y =$ _____ |

Beräkning av regressionskoefficient $a_{yx} = \frac{n \Sigma xy - \Sigma x \Sigma y}{n \Sigma x^2 - (\Sigma x)^2}$

| | | | | |
|-------|------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|
| | <input type="button" value="2nd"/> | <input type="button" value="C A"/> | | |
| x_1 | <input type="button" value="2nd"/> | <input type="button" value="log"/> | <input type="button" value="2nd"/> | <input type="button" value="x"/> |
| y_1 | <input type="button" value="2nd"/> | <input type="button" value="log"/> | <input type="button" value="2nd"/> | <input type="button" value="y"/> |
| x_2 | o s v | | | |
| y_2 | o s v | | | |
| | <input type="button" value="2nd"/> | <input type="button" value="slope"/> | ger $a_{yx} =$ _____ | |

Kontroll:

| | | | |
|-----------|------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------|
| \bar{x} | <input type="button" value="2nd"/> | <input type="button" value="y'"/> | ger $\bar{y} =$ _____ |
| | <input type="button" value="RCL"/> | 1 | ger $\Sigma x^2 =$ _____ |
| | <input type="button" value="RCL"/> | 2 | ger $\Sigma xy =$ _____ |
| | <input type="button" value="RCL"/> | 3 | ger $\Sigma y =$ _____ |

Beräkning av korrelationskoefficient $r = \frac{a_{yx} \cdot s_x}{s_y}$,
 regressionskoefficient $a_{xy} = \frac{r^2}{a_{yx}}$ och $b_{xy} = \bar{x} - a_{xy} \bar{y}$

2nd C A
 s_y 1/x
 s_x = STO 1
 a_{yx} STO = ger $r =$ _____

RCL 1 x^2
 RCL 2 = ger $a_{xy} =$ _____

+/-
 \bar{y} +
 \bar{x} = ger $b_{xy} =$ _____

Beräkning av standardavvikelsen $s = \sqrt{\frac{\sum(x - x_f)^2}{n - 2}} = \sqrt{\frac{\sum x^2 - \sum k}{n - 2}}$

där faktorn k beräknas för varje spänningsnivå, ex. spänningsnivå 1:

$$k_1 = 2 x_{f1} \left(\sum_{i=1}^4 x_i - \frac{n_1}{2} x_{f1} \right)$$

$$x_{f1} = a_{xy} y_1 + b_{xy}$$

n_1 = antal x-värden på spänningsnivå 1

y_1 = y-värde för spänningsnivå 1

b_{xy} STO 1 +
 y_1
 a_{xy} STO 2 = ger $x_{f1} =$ _____

forts.

$\boxed{\text{RCL}} \boxed{1} \boxed{+}$
 $y_5 \quad \boxed{\otimes} \boxed{\text{RCL}} \boxed{2} \boxed{=} \text{ ger } \underline{x_{f2} = \rule{10cm}{0.4pt}}$

$\boxed{\text{RCL}} \boxed{1} \boxed{+}$
 $y_9 \quad \boxed{\otimes} \boxed{\text{RCL}} \boxed{2} \boxed{=} \text{ ger } \underline{x_{f3} = \rule{10cm}{0.4pt}}$

$\boxed{2\text{nd}} \boxed{\text{C A}}$
 $2 \quad \boxed{+/-} \boxed{\otimes}$
 $x_{f1} \quad \boxed{\text{STO}} \boxed{1} \boxed{+}$
 $\sum_{i=1}^4 x_i \quad \boxed{=} \boxed{\otimes}$
 $2 \quad \boxed{=} \boxed{\otimes} \boxed{\text{RCL}} \boxed{1} \boxed{=} \text{ ger } \underline{k_1 = \rule{10cm}{0.4pt}}$

$\boxed{2\text{nd}} \boxed{\text{C A}}$
 $2 \quad \boxed{+/-} \boxed{\otimes}$
 $x_{f2} \quad \boxed{\text{STO}} \boxed{1} \boxed{+}$
 $\sum_{i=5}^8 x_i \quad \boxed{=} \boxed{\otimes}$
 $2 \quad \boxed{=} \boxed{\otimes} \boxed{\text{RCL}} \boxed{1} \boxed{=} \text{ ger } \underline{k_2 = \rule{10cm}{0.4pt}}$

$\boxed{2\text{nd}} \boxed{\text{C A}}$
 $2 \quad \boxed{+/-} \boxed{\otimes}$
 $x_{f3} \quad \boxed{\text{STO}} \boxed{+}$
 $\sum_{i=9}^{12} x_i \quad \boxed{=} \boxed{\otimes}$
 $2 \quad \boxed{=} \boxed{\otimes} \boxed{\text{RCL}} \boxed{1} \boxed{=} \boxed{\text{STO}} \boxed{3} \text{ ger } \underline{k_3 = \rule{10cm}{0.4pt}}$

$\Sigma x^2 \quad \boxed{-}$

$k_1 \quad \boxed{-}$

$k_2 \quad \boxed{-} \boxed{\text{RCL}} \boxed{3} \boxed{=} \boxed{\div}$

$10 \quad \boxed{=} \boxed{\sqrt{x}} \boxed{\text{STO}} \boxed{3} \text{ ger } \underline{s = \rule{10cm}{0.4pt}}$

forts.

Beräkning av $\Delta x_f = \pm t_{\gamma(n-2)} \cdot s \cdot \sqrt{1 + \frac{1}{n} + \frac{(y - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$

där $\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 = \Sigma y^2 - \frac{1}{n} (\Sigma y)^2$

Σy

12

Σy^2

y_1

\bar{y}

1,08 3333 333

1,81 ger $\Delta x_{f1} =$ _____

y_5

1,08 3333 333

1,81 ger $\Delta x_{f2} =$ _____

y_9

1,08 3333 333

1,81 ger $\Delta x_{f3} =$ _____

Räta linjens ekvation: $x_f = a_{xy} y + b_{xy}$

$x_f = -$ $y +$

Anm. avser ggr

Indata a_{xy} tag positivt värde och

Beräkning av b_{xy} för F_r , σ_{Hr} och τ_r (parallellförflyttning av räta linjen)

y_{1r} 2nd C A
 " 2nd log $\Sigma +$
 y_{5r} " " "
 y_{9r} " " "
 ger $\bar{y} =$
 - a_{xy} +
 \bar{x} = ger $b_{xy} =$ (b_{xy} för F_r)

2nd C A
 y_{1r} \div (ej log y_{1r})

$t_{stål}$ = \div

d_H = 2nd log $\Sigma +$

y_{5r} på samma sätt

y_{9r} på samma sätt

2nd mean \otimes ger $\bar{y} =$
 - a_{xy} +
 \bar{x} = ger $b_{xy} =$ (b_{xy} för σ_{Hr})

2nd C A
 y_{1r} \div (ej log y_{1r})

A_{netto} = 2nd log $\Sigma +$

y_{5r} på samma sätt

y_{9r} på samma sätt

2nd mean \otimes ger $\bar{y} =$
 - a_{xy} +
 \bar{x} = ger $b_{xy} =$ (b_{xy} för τ_r)

Statistisk belastning (F_1, F_2, F_3 o s v); $\bar{F} = \frac{\sum F_i}{n}$; $s = \sqrt{\frac{\sum (F_i - \bar{F})^2}{n - 1}}$

$$\delta = \frac{s}{\bar{F}}; F_5 = \bar{F}(1 - C_5 \delta); F_{till} = F_5/1,5$$

| | | | | | | |
|-----------|-------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|------------------|
| | <input type="text" value="2nd"/> | <input type="text" value="C A"/> | | | | |
| F_1 | <input type="text" value="Σ +"/> | | (OBS! ej log) | | | |
| F_2 | <input type="text" value=""/> | | | | | |
| | <input type="text" value="o s v"/> | | | | | |
| | <input type="text" value="2nd"/> | <input type="text" value="mean"/> | ger $\bar{F} =$ | | | |
| | <input type="text" value="2nd"/> | <input type="text" value="S DEV"/> | <input type="text" value="÷"/> | ger $s =$ | | |
| \bar{F} | <input type="text" value="STO 1"/> | <input "="" type="text" value="="/> | <input type="text" value="⊗"/> | ger $\delta =$ | | |
| C_5 | <input "="" type="text" value="="/> | <input type="text" value="+/-"/> | <input type="text" value="+"/> | | | |
| 1 | <input "="" type="text" value="="/> | <input type="text" value="⊗"/> | <input type="text" value="RCL 1"/> | <input "="" type="text" value="="/> | <input type="text" value="÷"/> | ger $F_5 =$ |
| 1,5 | <input "="" type="text" value="="/> | | | | | ger $F_{till} =$ |

11 BILDBILAGA

| | sid |
|-------------------------------------|-----|
| Bild 1 - 3 | |
| Provningsmaskin och provkropp | 100 |
| Bild 4 - 7 | |
| Brottbilder vid serie B | 101 |
| Bild 8 - 11 | |
| Brottbilder vid serie C | 102 |
| Bild 12 - 15 | |
| Brottbilder vid serie F | 103 |

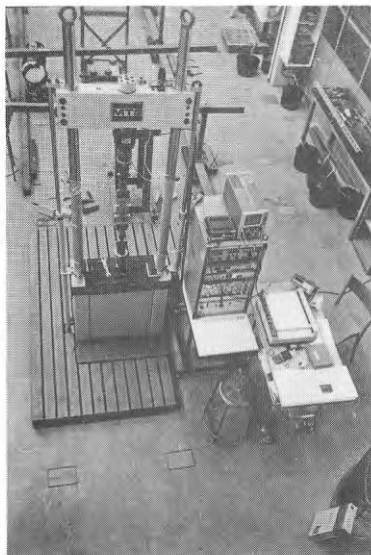


Bild 1.

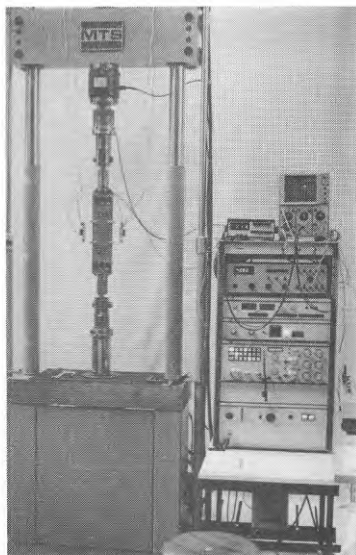


Bild 2.

Bilderna 1 och 2 visar provningsmaskinen med utrustning för styrning och registrering.

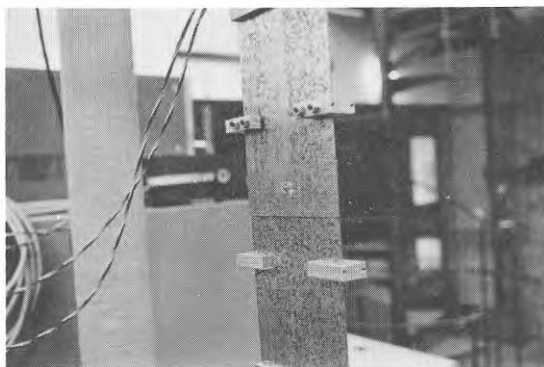


Bild 3.

Provkropp med snedställd nit och upplagsplattor för extensometer.

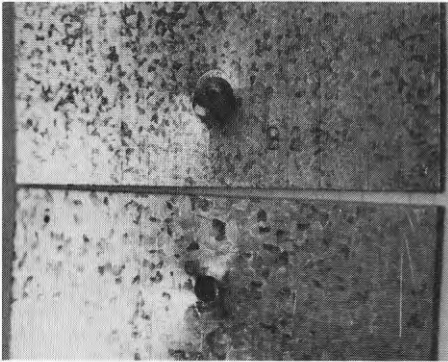


Bild 4. Provkropp B23, B1
 $P_{\max} = 3550 \text{ N}$
 Def. = 4,2 mm
 Brottyp SN/S
 Stat. belastning

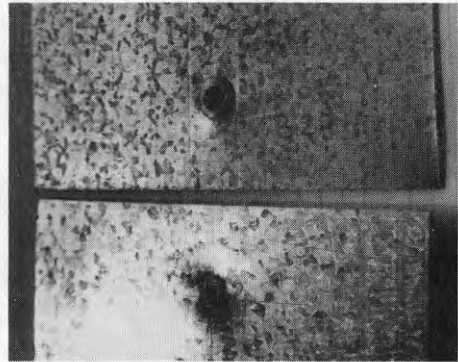


Bild 5. Provkropp B28, B24
 $P_{\max} = 2900 \text{ N}$
 Def. = 3,2 mm
 Brottyp SN/S
 $N = 18.920$ spänningscykler

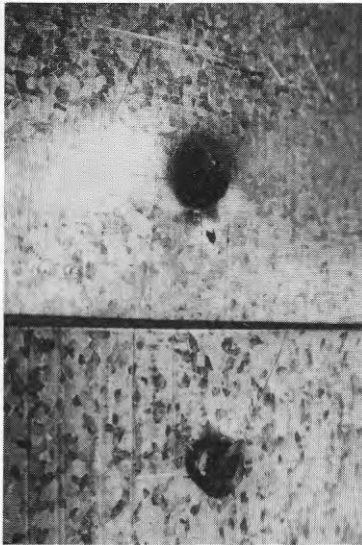


Bild 6. Provkropp B36, B16
 $P_{\max} = 2275 \text{ N}$
 Def. = 2,5 mm
 Brottyp SN/S
 $N = 60.680$ spänningscykler



Bild 7. Provkropp B35, B26
 $P_{\max} = 1850 \text{ N}$
 Def. = 2,2 mm
 Brottyp S
 $N = 486.740$ spänningscykler

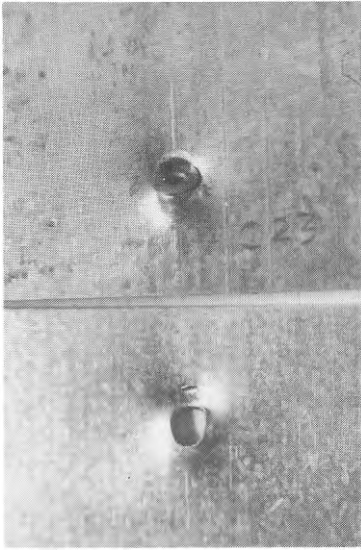


Bild 8. Provkropp C23, C1
 $P_{\max} = 3650 \text{ N}$
 Def. = 5,0 mm
 Brottyp H/SN
 Stat. belastning

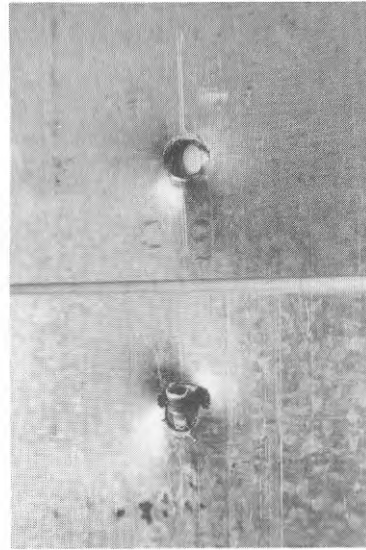


Bild 9. Provkropp C19, C12
 $P_{\max} = 3500 \text{ N}$
 Def. = 6,0 mm
 Brottyp SN
 $N = 25.800$ spänningscykler

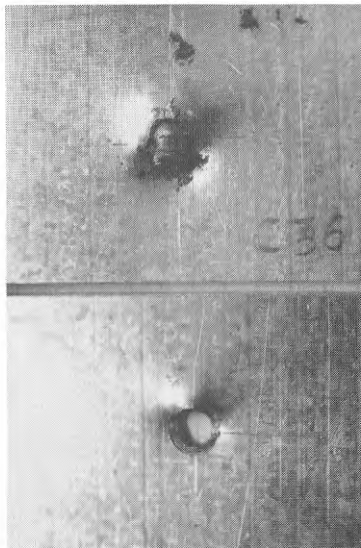


Bild 10. Provkropp C36, C16
 $P_{\max} = 2600 \text{ N}$
 Def. = 6,0 mm
 Brottyp SN/SP
 $N = 90.940$ spänningscykler



Bild 11. Provkropp C20, C14
 $P_{\max} = 2200 \text{ N}$
 Def. = 5,0 mm
 Brottyp SN/SP
 $N = 174.870$ spänningscykler

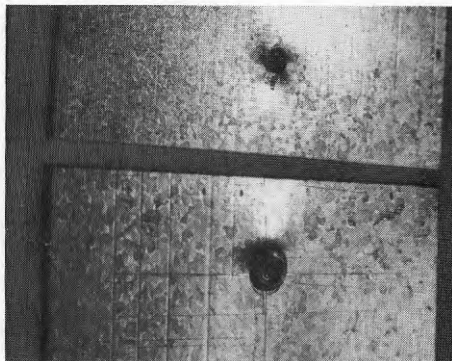


Bild 12. Provkropp F34, F2
 $P_{max} = 3450$ N
Def. = 3,5 mm
Brottyp S
Statisk belastning



Bild 13. Provkropp F19, F12
 $P_{max} = 2800$ N
Def. = 6,0 mm
Brottyp SN/S
 $N = 173.940$ spänningscykler

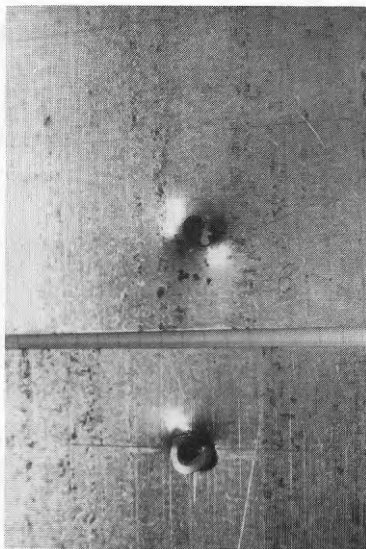


Bild 14. Provkropp F38, F9
 $P_{max} = 2500$ N
Def. = 6,0 mm
Brottyp SN
 $N = 234.590$ spänningscykler

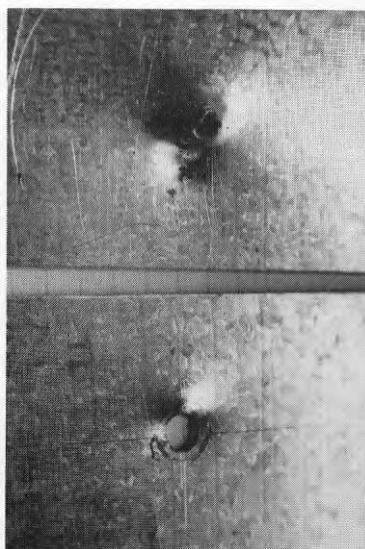


Bild 15. Provkropp F35, F26
 $P_{max} = 2350$ N
Def. = 6,0 mm
Brottyp SN/SP
 $N = 352.030$ spänningscykler

12 DIAGRAMBILAGA

| | sid |
|---------------------------------|-----|
| Diagram nr 1: Provserie B | 105 |
| 2: " C | 107 |
| 3: " D | 109 |
| 4: " E | 111 |
| 5: " F | 113 |
| 6: " G | 115 |
| 7: " H | 117 |
| 8: " I | 119 |
| 9: " K | 121 |
| 10: " L | 123 |
| 11: " M | 125 |
| 12: " N | 127 |
| 13: " O | 129 |
| 14: " P | 131 |
| 15: " R | 133 |

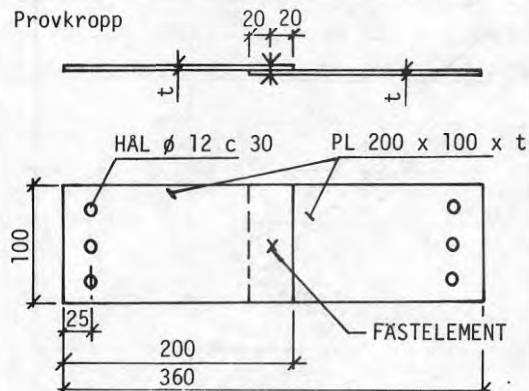
Material

Plåt: SIS 14 21 22

| | | | | | | |
|------------|------------|-----------------|---------------|---|-------------------|----|
| σ_B | σ_s | MP _a | δ_{50} | % | $t_{\text{stål}}$ | mm |
| 473 | 425 | | 27,0 | | 0,82 | |

Fästelement: Stålnit med stålsplint
 USM SD 630 BS
 diameter $d = 4,8$ mm
 håldiameter $d_H = 4,9$ mm

Provkropp



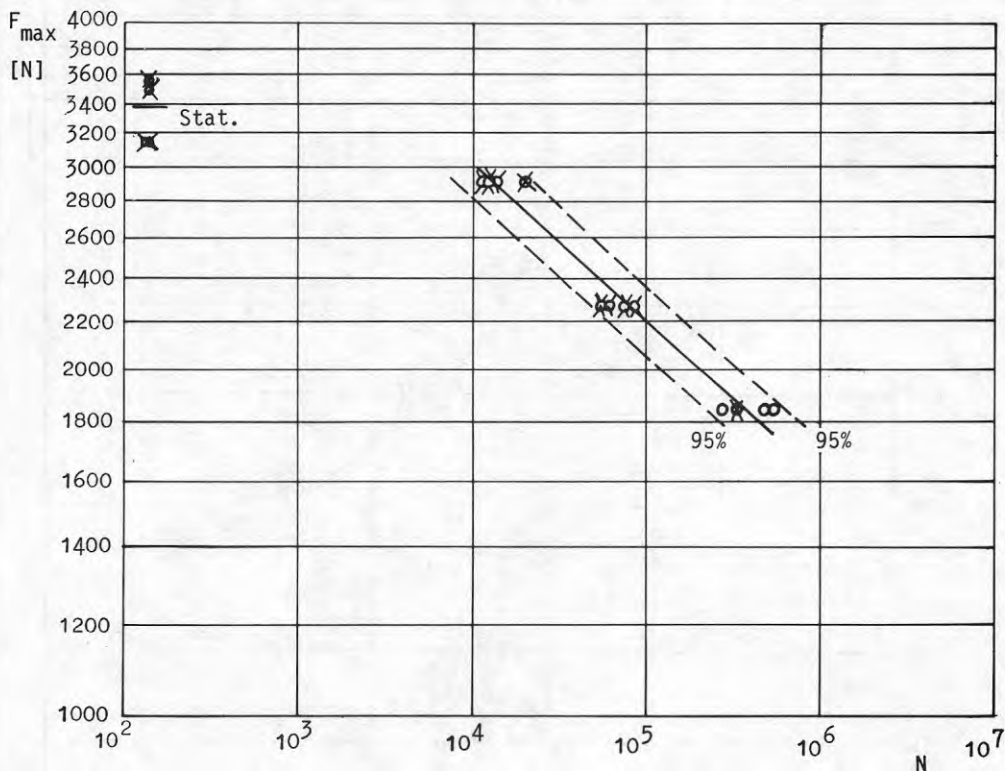
Spänningsförh. $R = F_{\min}/F_{\max} = 0,1$

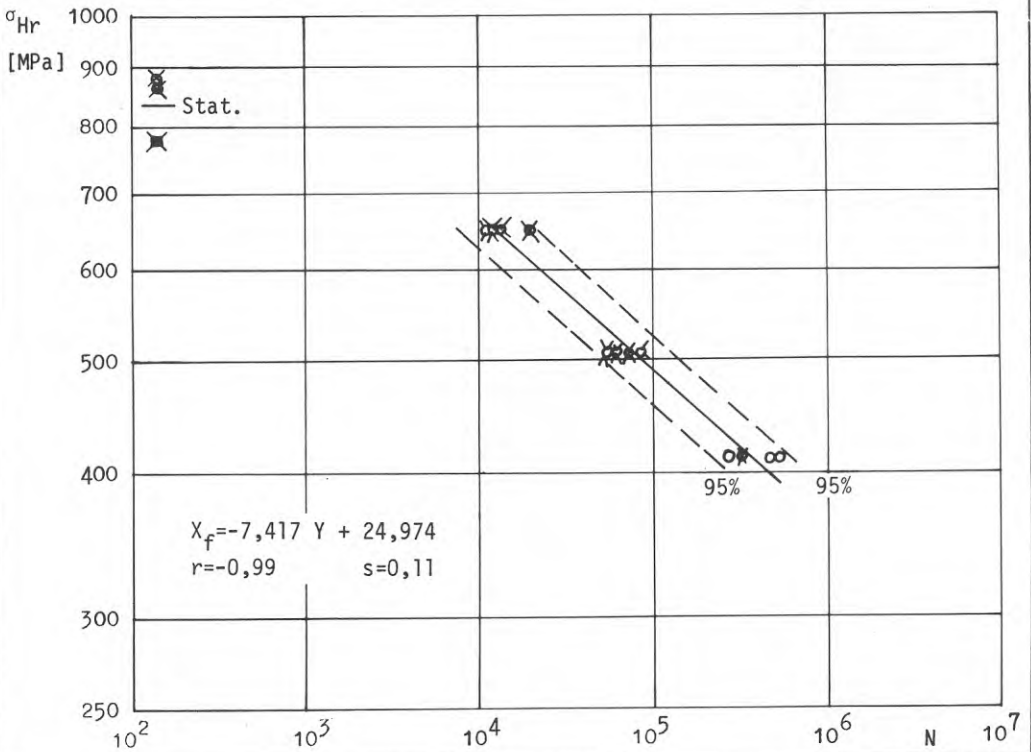
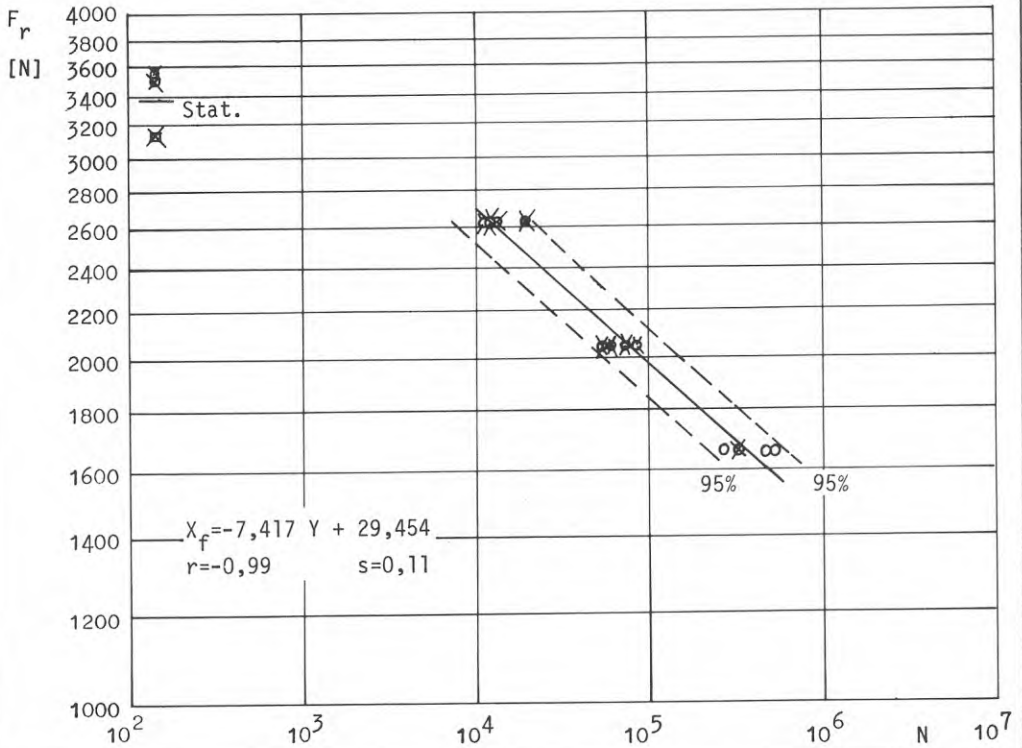
Frekvens $f = 25$ Hz

Brottsaker

- H = hålkantflytning - kraftig deformation av hålkanten
- * SN = snedställningsbrott - förbindaren snedställs och dras ut ur plåten
- S = skjuvbrott - förbindaren skjivas av
- △ SP = sprickbildning i hålkanten och utdragning av nit
- ⊗ H/SN = kombination av H och SN
- ⊗ SN/S = kombination av SN och S
- ⊗ SN/SP = kombination av SN och SP

Resultat $X_f = -7,417 Y + 29,794$
 $r = -0,99$ $s = 0,11$





Utmattningshållfasthet vid tunnplåtsförband
 Provserie: C

107
 Diagram 2

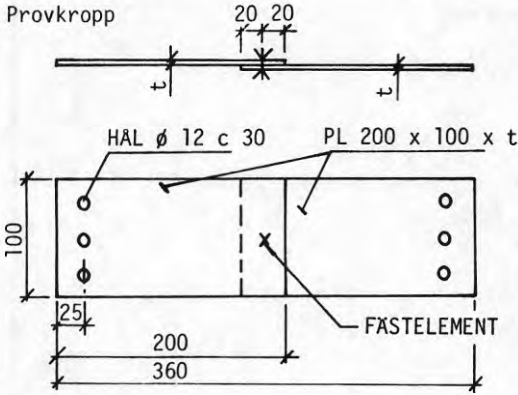
Material

Plåt: SIS 14 21 22

σ_B σ_S MP_a δ_{50} % $t_{\text{stål}}$ mm
 473 425 27,0 0,82

Fästelement: Monelnit med stålsplint
 USM LD 630 BS
 diameter $d = 4,8$ mm
 håldiameter $d_H = 4,9$ mm

Provkropp



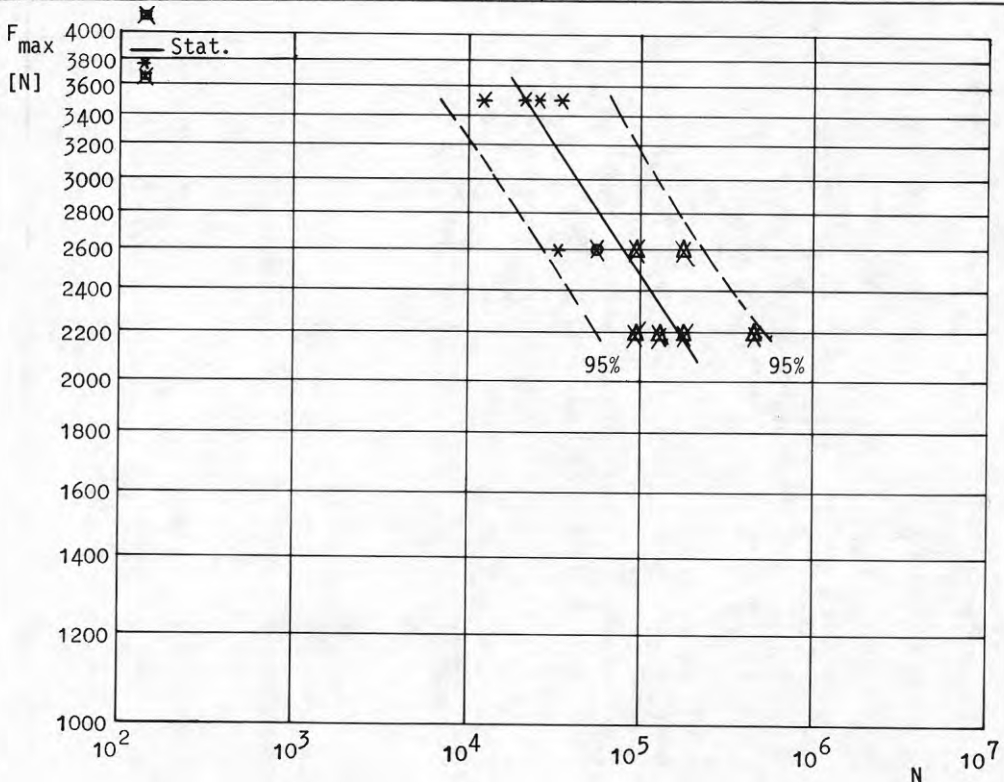
Spänningsförh. $R = F_{\min}/F_{\max} = 0,1$

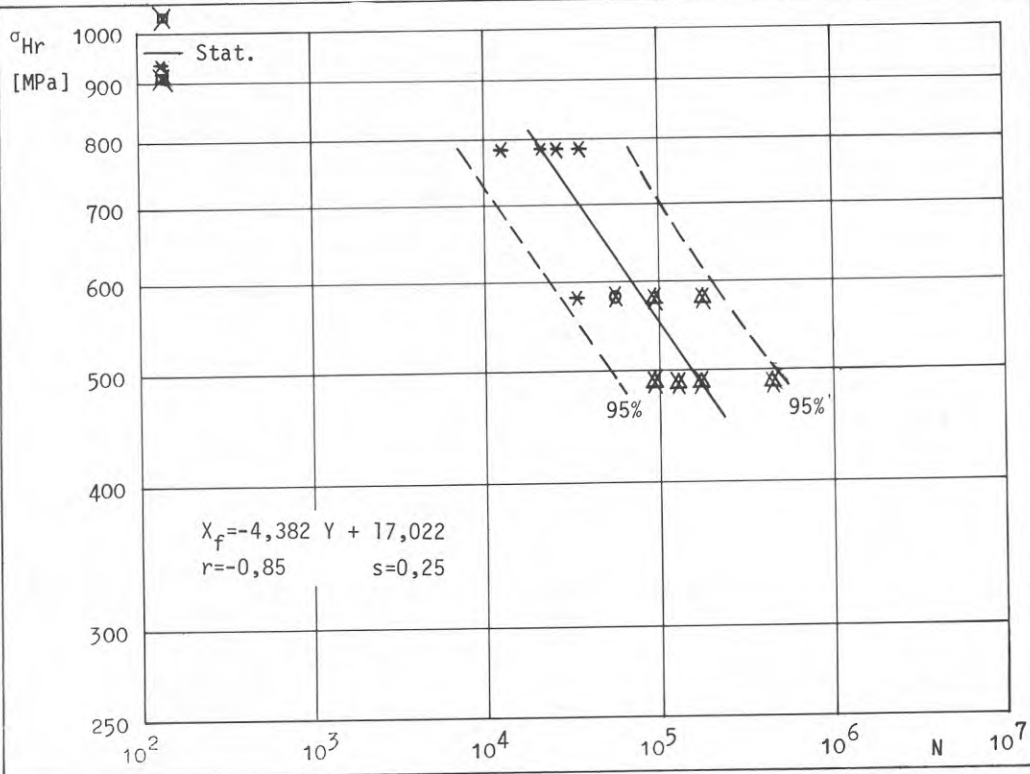
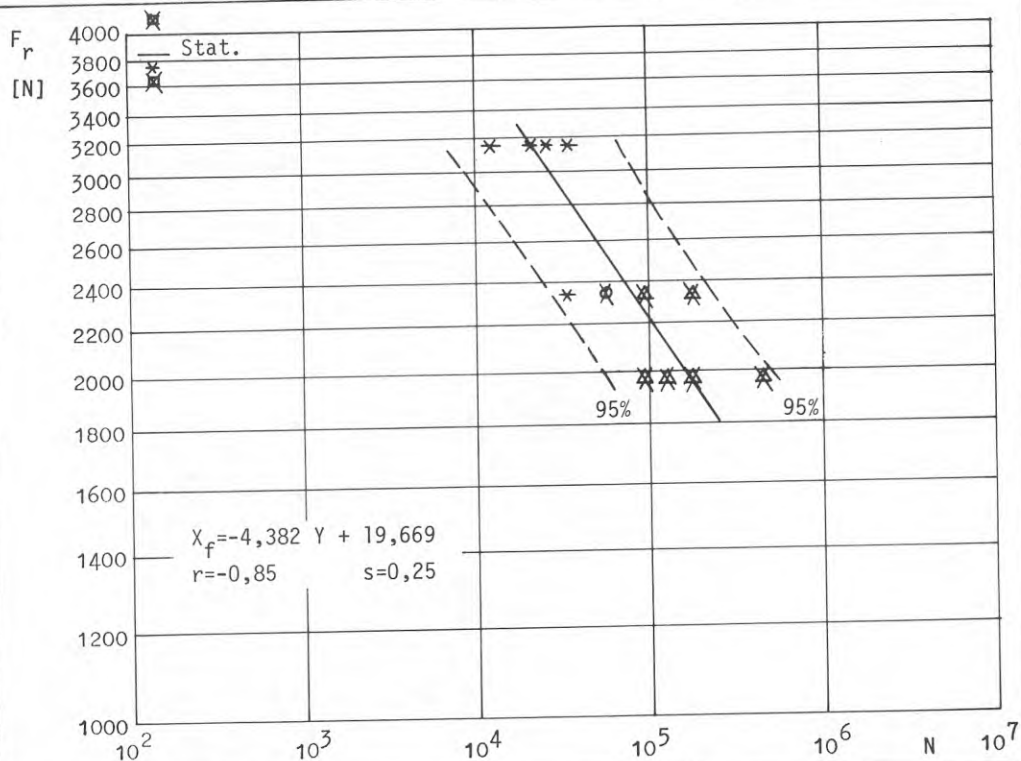
Frekvens $f = 25$ Hz

Brottsaker

- H = hålkantflytning - kraftig deformation av hålkanten
- * SN = snedställningsbrott - förbindaren snedställs och dras ut ur plåten
- o S = skjuvbrott - förbindaren skjuvas av
- Δ SP = sprickbildning i hålkanten och utdragning av nit
- ⊗ H/SN = kombination av H och SN
- ⊗ SN/S = kombination av SN och S
- ⊗ SN/SP = kombination av SN och SP

Resultat $X_f = -4,382$ $Y = +19,869$
 $r = -0,85$ $s = 0,25$





Utmattningshållfasthet vid tunnplåtsförband
 ProvsSerie: D

109

Diagram 3

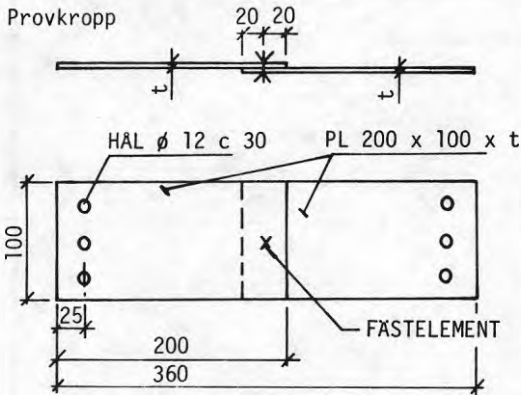
Material

Plåt: SIS 14 21 22

σ_B σ_S MP_a δ_{50} % $t_{stål}$ mm
 473 425 27,0 0,82

Fästelement: Alum. nit med stålsplint
 USM AD 66 BSLF
 diameter $d = 4,8$ mm
 håldiameter $d_H = 4,9$ mm

Provkropp



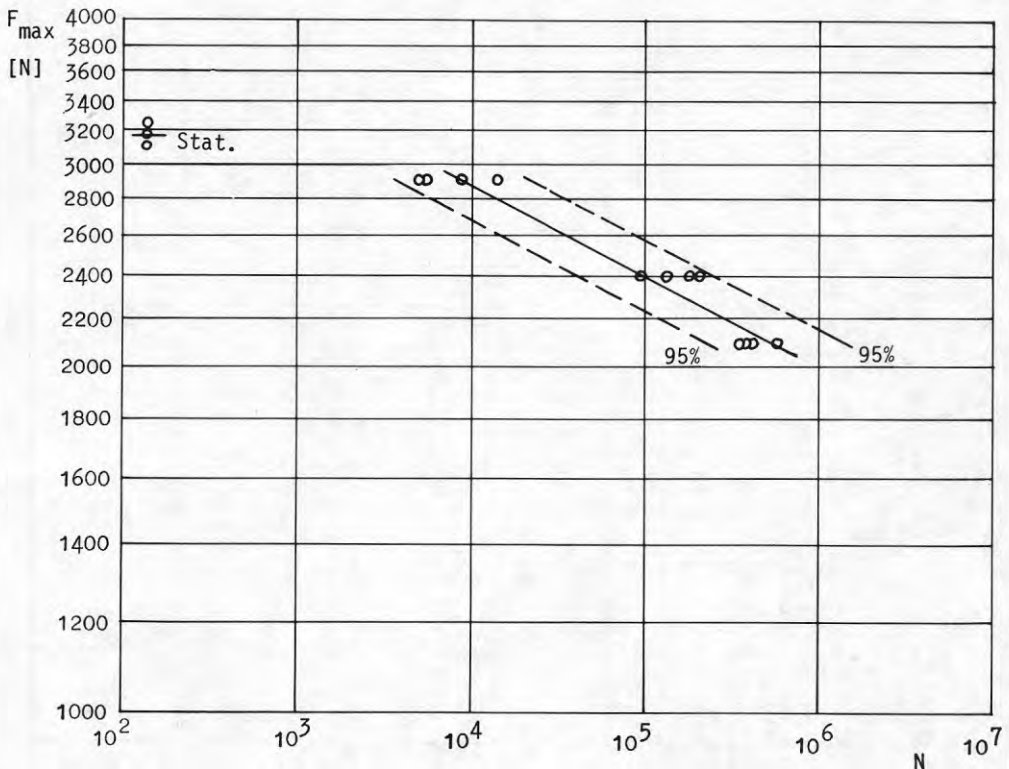
Spänningsförh. $R = F_{min}/F_{max} = 0,1$

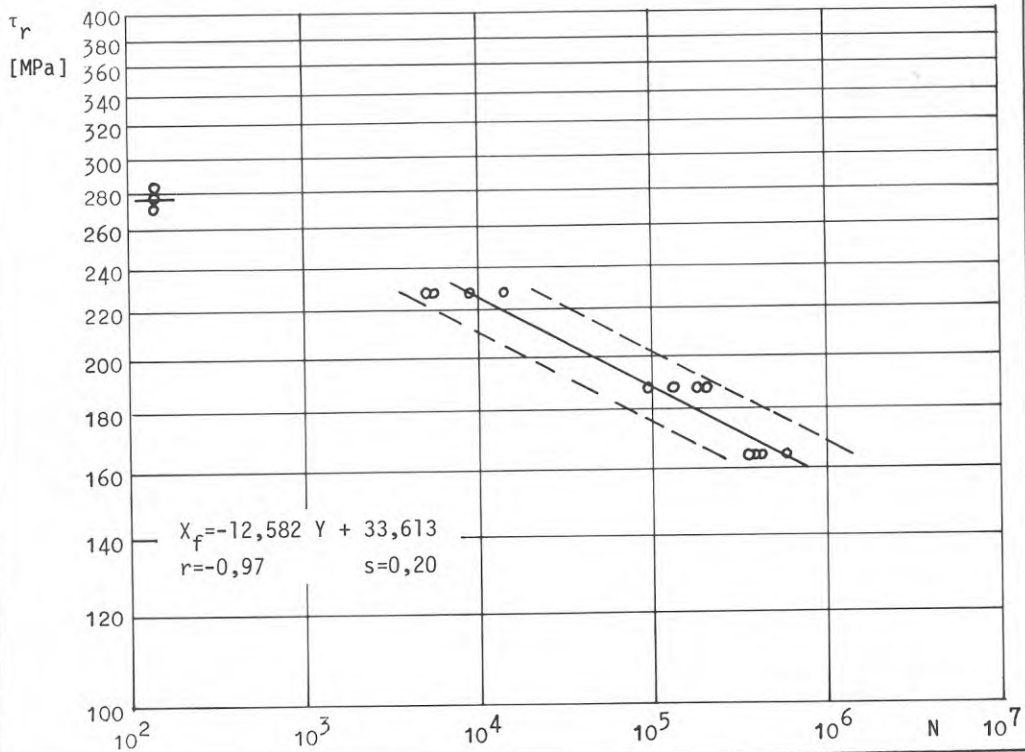
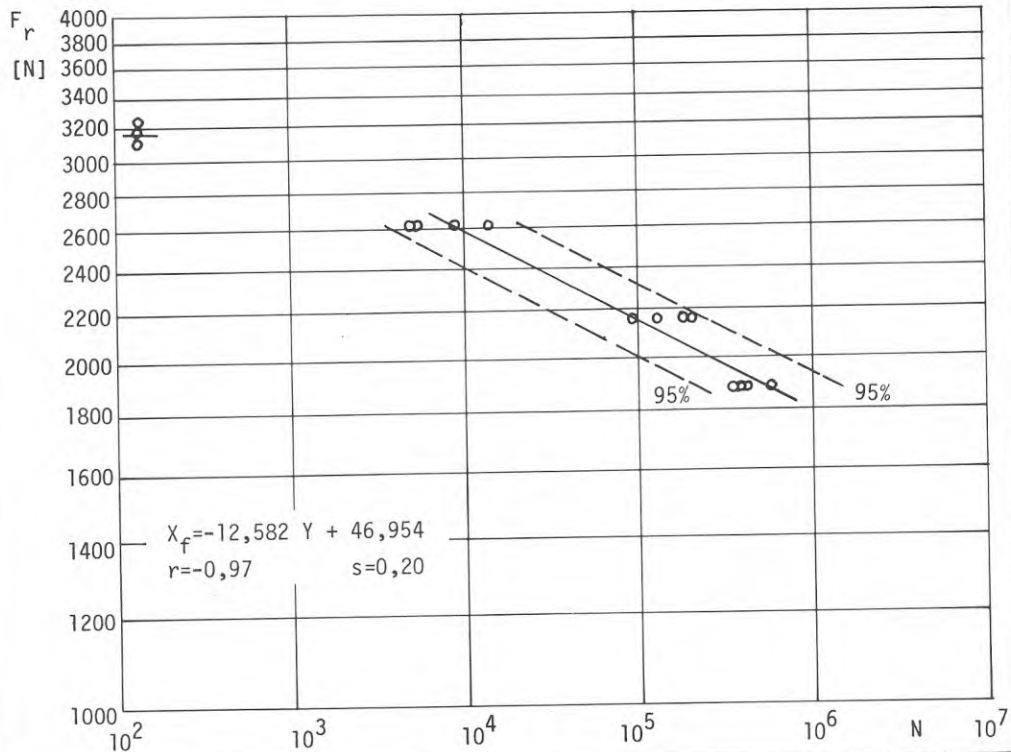
Frekvens $f = 25$ Hz

Brottsaker

- H = hålkantflytning - kraftig deformation av hålkanten
- * SN = snedställningsbrott - förbindaren snedställs och dras ut ur plåten
- o S = skjuvbrott - förbindaren skjivas av
- Δ SP = sprickbildning i hålkanten och utdragning av niten
- ⊗ H/SN = kombination av H och SN
- ⊗ SN/S = kombination av SN och S
- ⊗ SN/SP = kombination av SN och SP

Resultat $X_f = -12,582 Y + 47,530$
 $r = -0,97$ $s = 0,20$





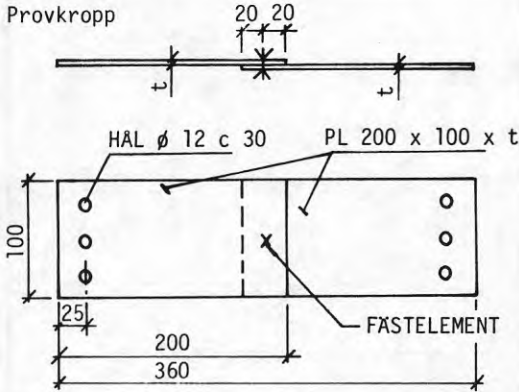
Material

Plåt: SIS 14 21 22

σ_B 473 σ_s 425 MP_a δ_{50} 27,0 % $t_{stål}$ 0,82 mm

Fästelement: Stålnit med stålsplint
 USM SD 630 BS
 diameter $d = 4,8$ mm
 håldiameter $d_H = 4,9$ mm

Provkropp



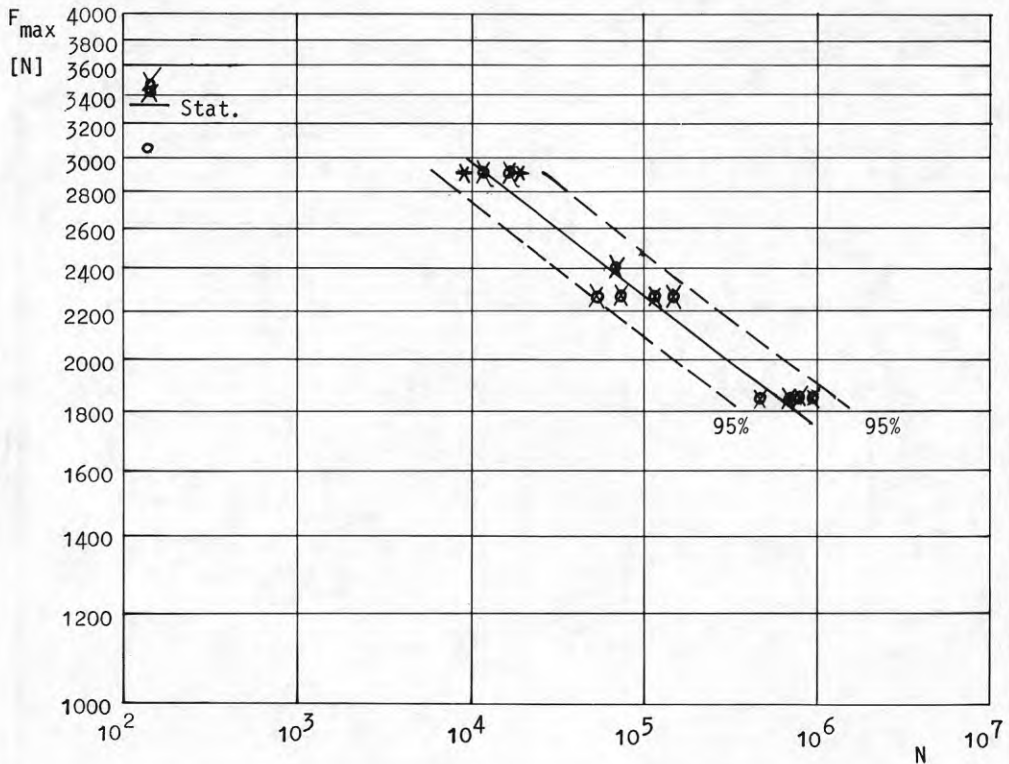
Spänningsförh. $R = F_{min}/F_{max} = 0,25$

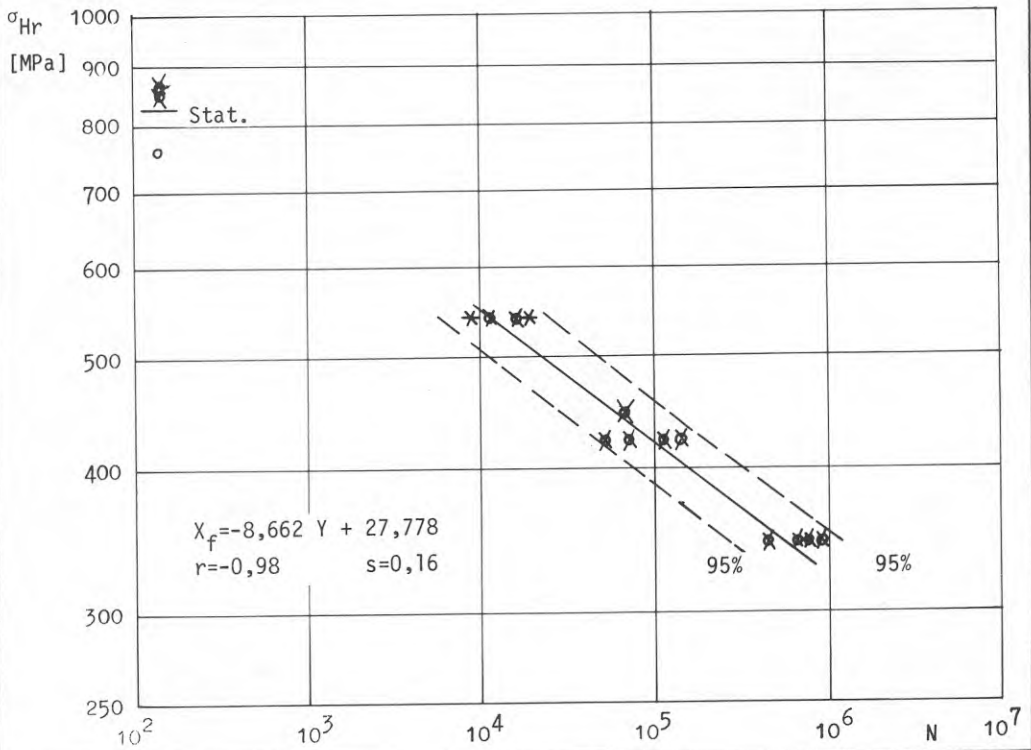
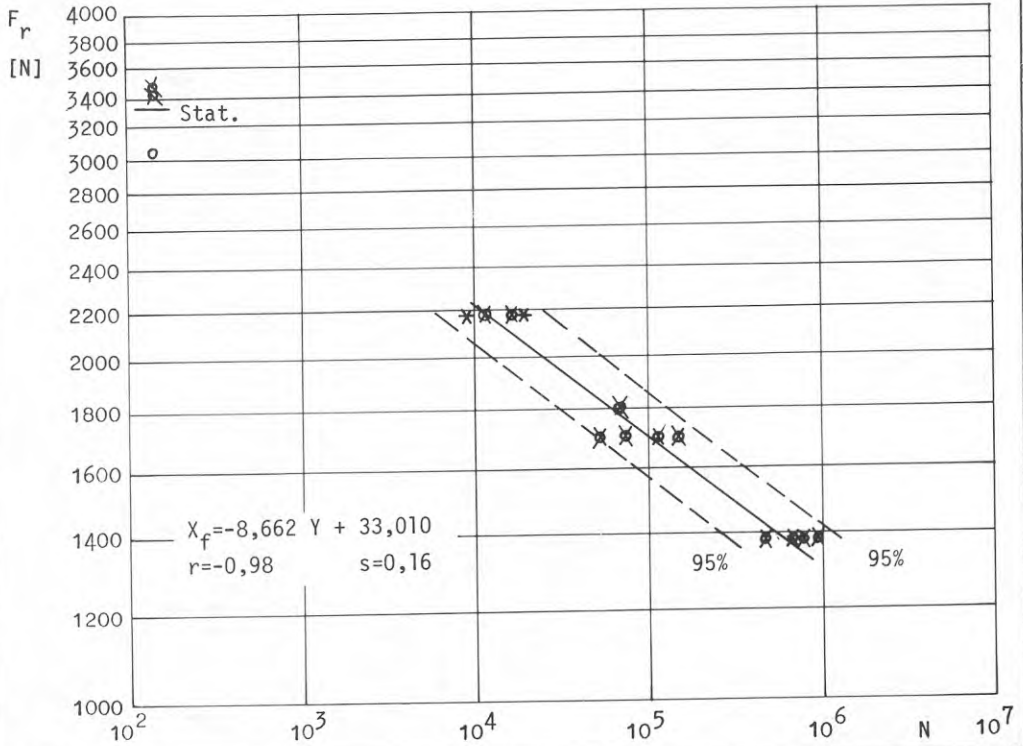
Frekvens $f = 25$ Hz

Brottsaker

- H = hålkantflytning - kraftig deformation av hålkanten
- * SN = snedställningsbrott - förbindaren snedställs och dras ut ur plåten
- S = skjuvbrott - förbindaren skjuvas av
- △ SP = sprickbildning i hålkanten och utdragning av nit
- ⊗ H/SN = kombination av H och SN
- ⊗ SN/S = kombination av SN och S
- ⊗ SN/SP = kombination av SN och SP

Resultat $X_f = -8,662 Y + 34,092$
 $r = -0,98$ $s = 0,16$





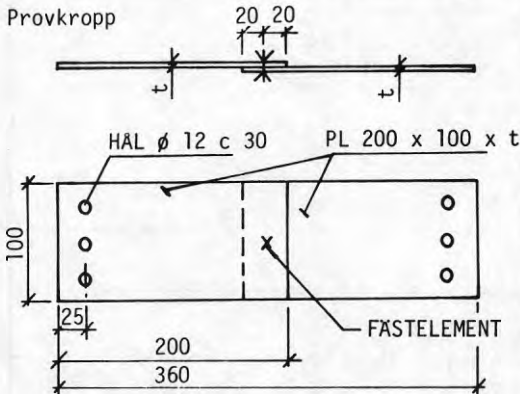
Material

Plåt: SIS 14 21 22

σ_B 473 σ_s 425 MP_a δ_{50} 27,0 % $t_{stål}$ 0,82 mm

Fästelement: Stålnit med stålsplint
 USM SD 630 BS
 diameter $d = 4,8$ mm
 håldiameter $d_H = 4,9$ mm

Provkropp



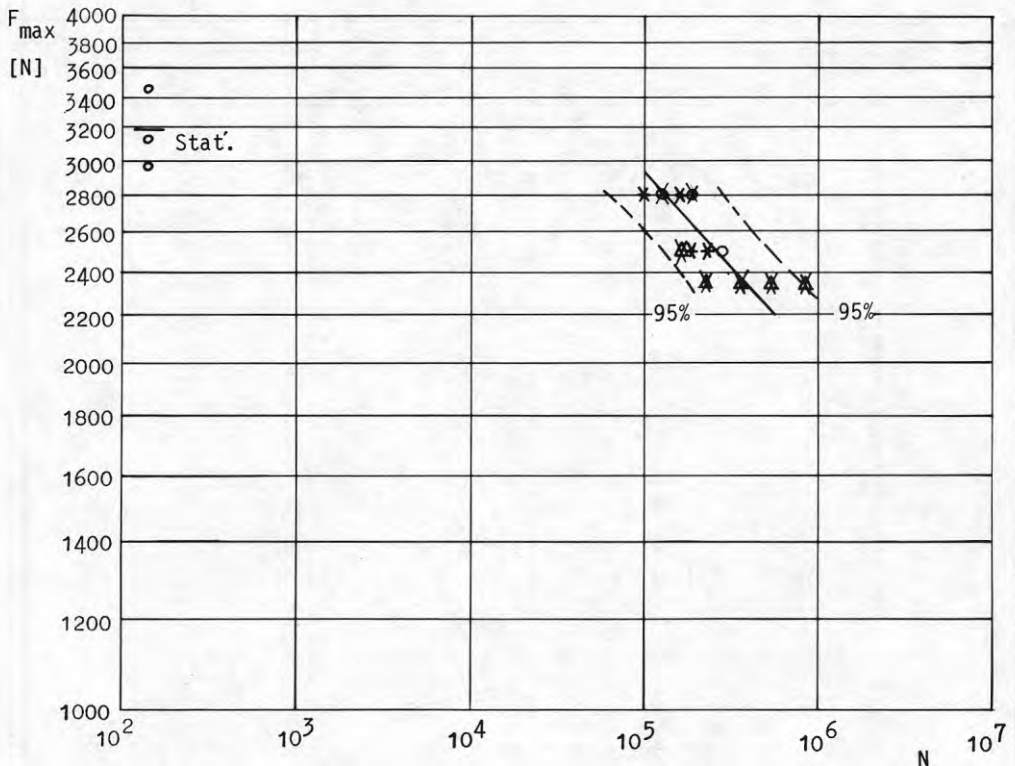
Spänningsförh. $R = F_{min}/F_{max} = 0,1$

Frekvens $f = 25$ Hz

Brottsaker

- H = hålkantflytning - kraftig deformation av hålkanten
- * SN = snedställningsbrott - förbindaren snedställs och dras ut ur plåten
- o S = skjuvbrott - förbindaren skjuvas av
- Δ SP = sprickbildning i hålkanten och utdragning av nit
- ✕ H/SN = kombination av H och SN
- ✕ SN/S = kombination av SN och S
- ✕ SN/SP = kombination av SN och SP

Resultat $X_f = -6,076 Y + 26,056$
 $r = -0,78$ $s = 0,17$



Material

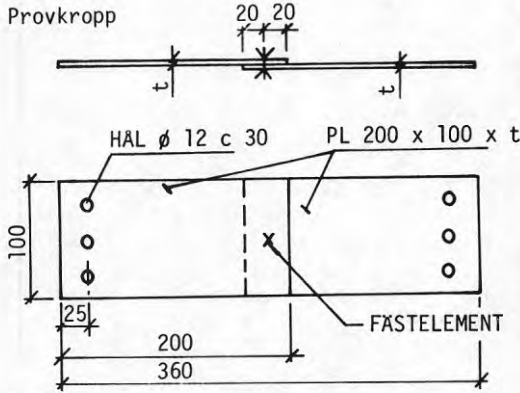
Plåt: SIS 14 21 22

σ_B σ_s MPa δ_{50} % $t_{\text{stål}}$ mm
 473 425 27,0 0,82

Fästelement: Stålnit med stålsplint

USM SD 630 BS
 diameter $d = 4,8$ mm
 håldiameter $d_H = 4,9$ mm

Provkropp



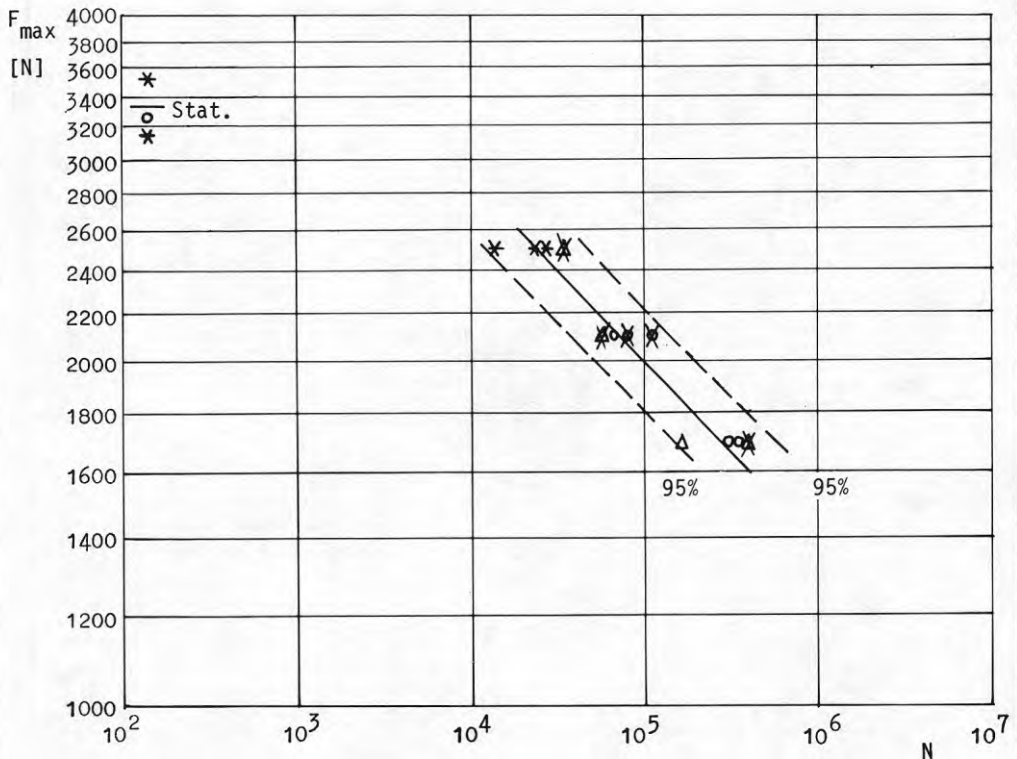
Spänningsförh. $R = F_{\min}/F_{\max} = 0,1$

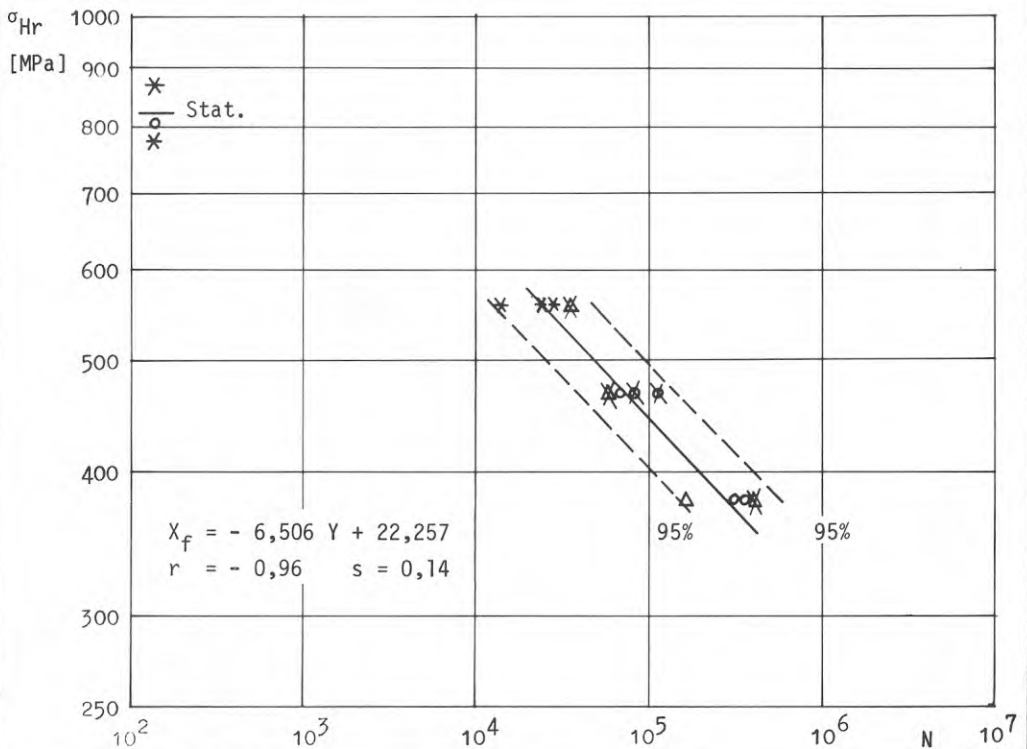
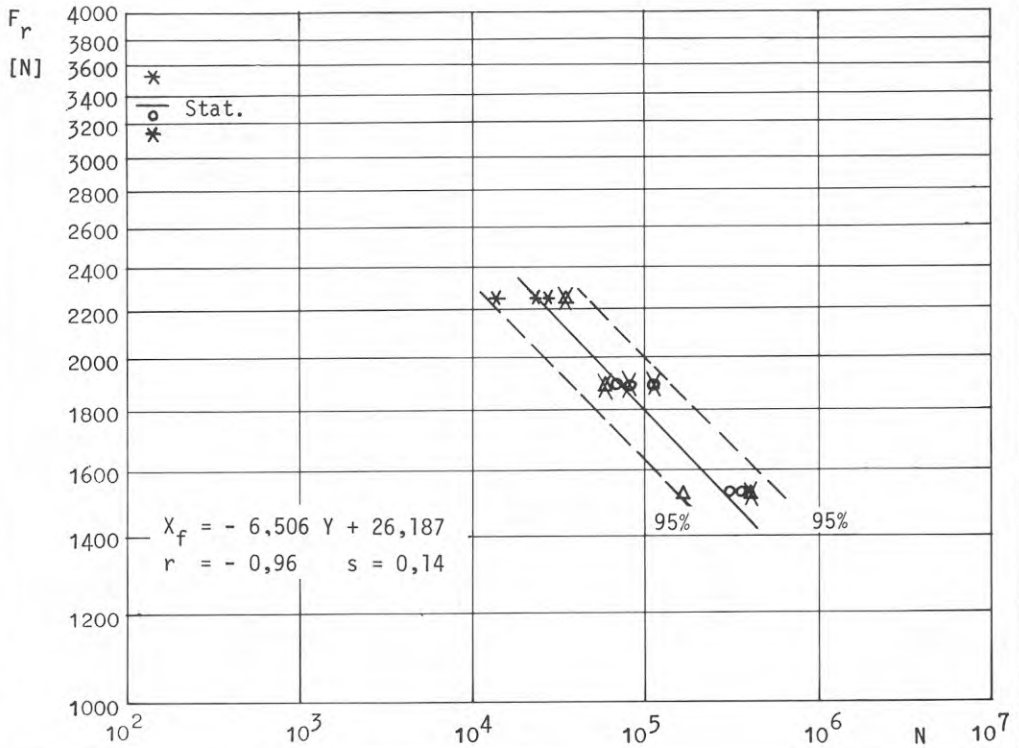
Frekvens $f = 5$ Hz

Brottsaker

- H = hålkantflytning - kraftig deformation av hålkanten
- * SN = snedställningsbrott - förbindaren snedställs och dras ut ur plåten
- o S = skjuvbrott - förbindaren skjuvas av
- Δ SP = sprickbildning i hålkanten och utdragning av nit
- ⊗ H/SN = kombination av H och SN
- ⊗ SN/S = kombination av SN och S
- ⊗ SN/SP = kombination av SN och SP

Resultat $X_f = - 6,506 Y + 26,485$
 $r = - 0,96$ $s = 0,14$





Material

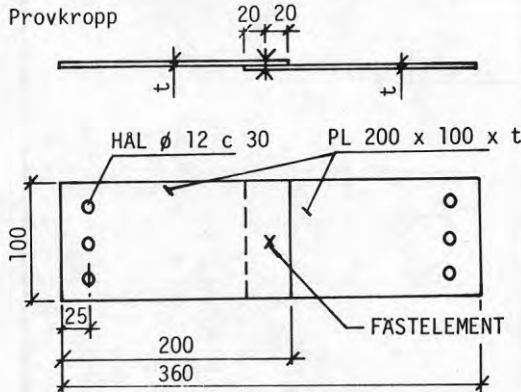
Plåt: SIS 14 21 22

σ_B 473 σ_s 425 MP_a δ_{50} 27,0 % $t_{stål}$ 0,82 mm

Fästelement: Stålnit med stålsplint

USM SD 524 BS
 diameter $d = 4,0$ mm
 håldiameter $d_H = 4,1$ mm

Provkropp



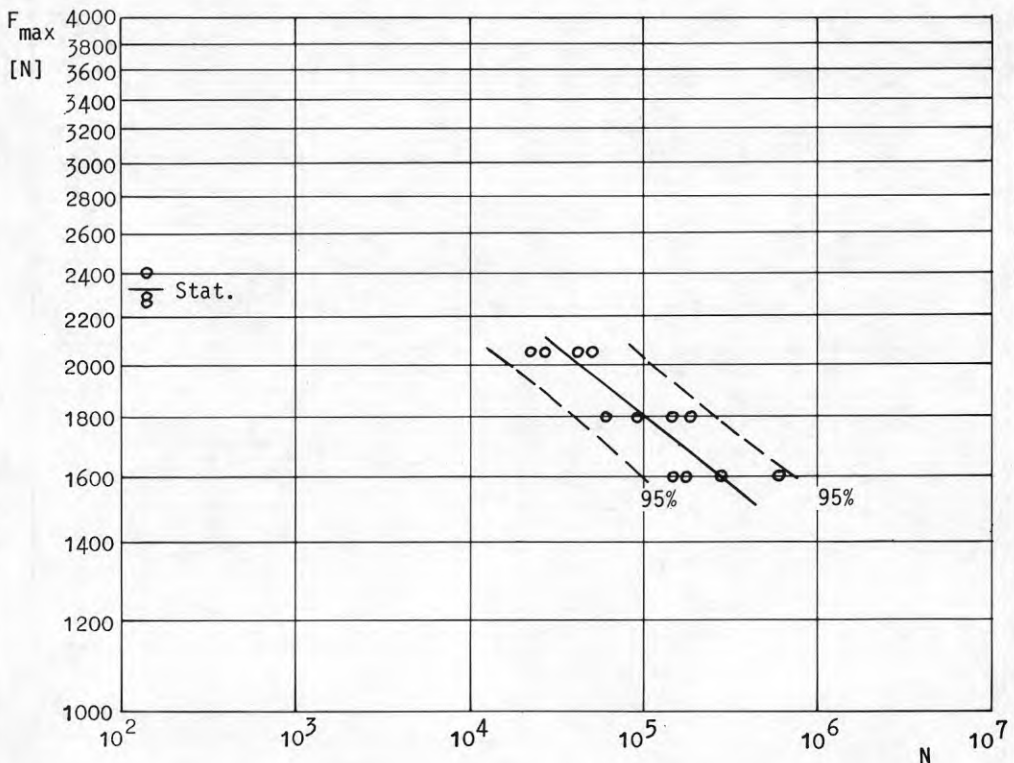
Spänningsförh. $R = F_{min}/F_{max} = 0,1$

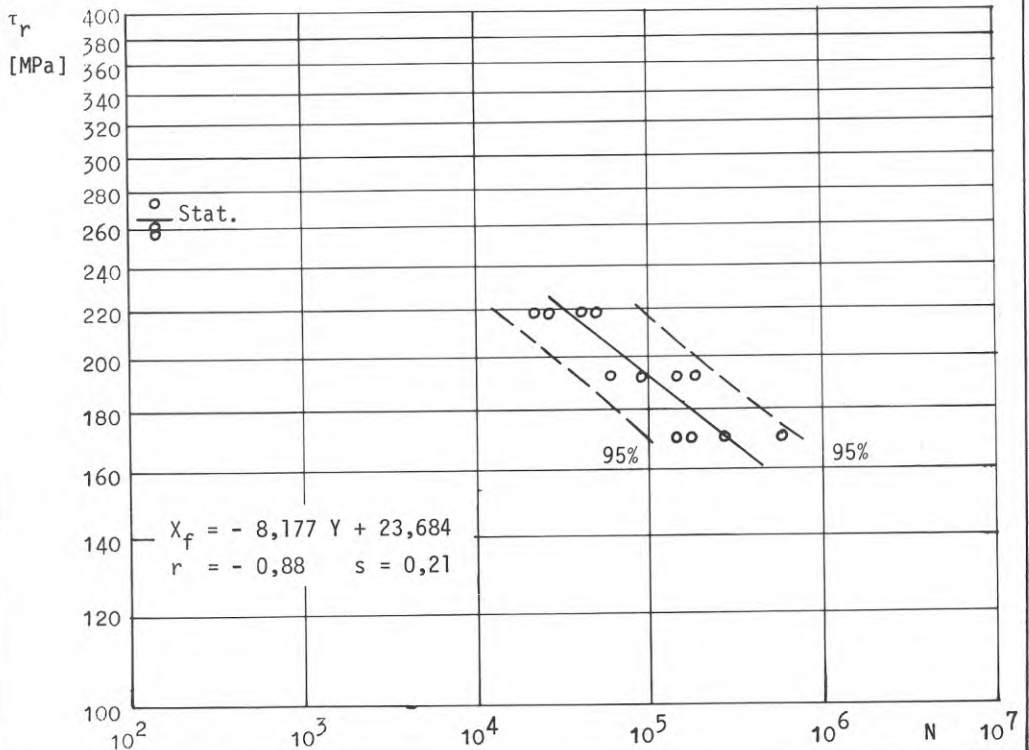
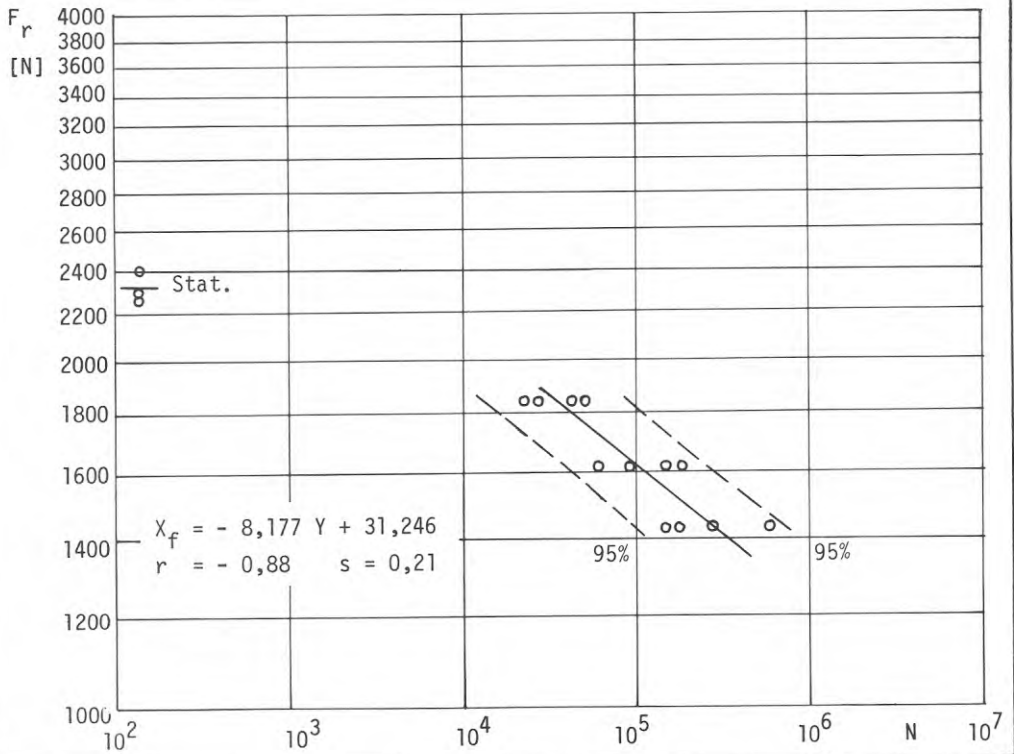
Frekvens $f = 25$ Hz

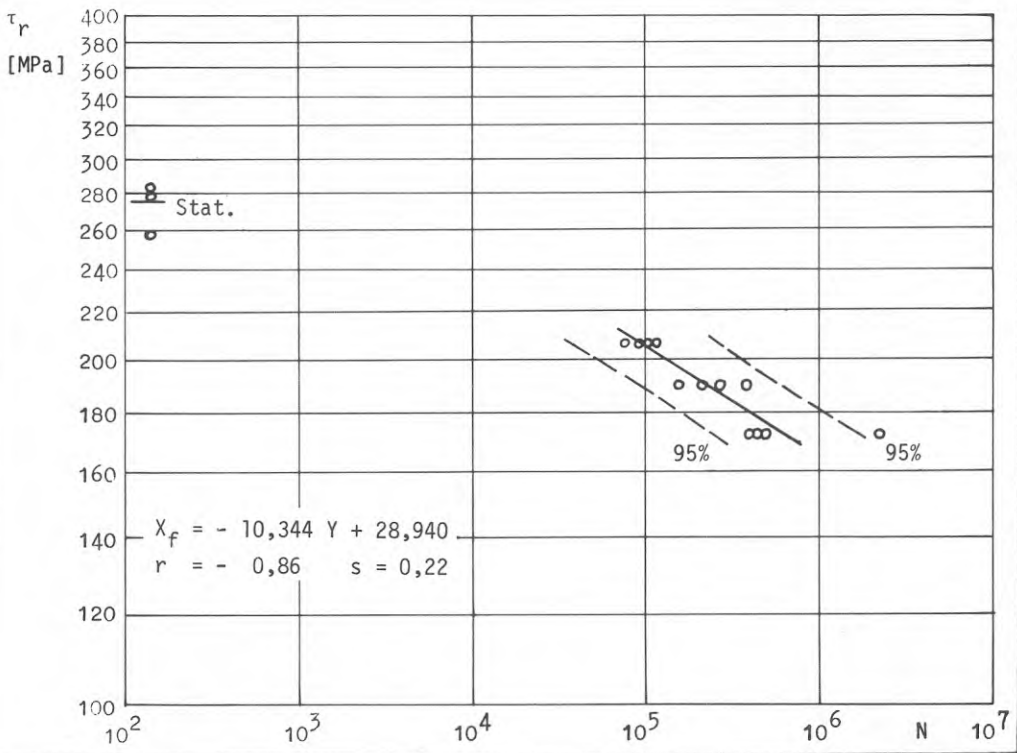
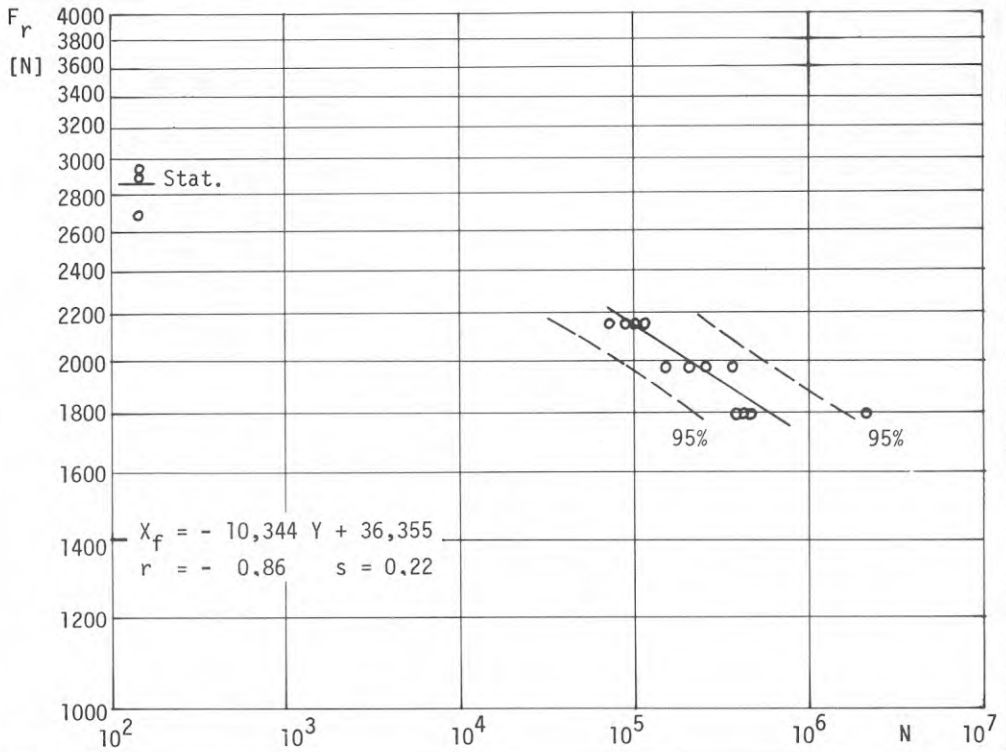
Brottsaker

- H = hålkantflytning - kraftig deformation av hålkanten
- * SN = snedställningsbrott - förbindaren snedställs och dras ut ur plåten
- o S = skjuvbrott - förbindaren skjuvas av
- Δ SP = sprickbildning i hålkanten och utdragning av nit
- ⊗ H/SN = kombination av H och SN
- ⊗ SN/S = kombination av SN och S
- ⊗ SN/SP = kombination av SN och SP

Resultat $X_f = - 8,177 Y + 31,620$
 $r = - 0,88$ $s = 0,21$







Material

Plåt: SIS 14 21 22

σ_B 473 σ_s 425 MP_a δ_{50} 27,0 % $t_{stål}$ 0,82 mm

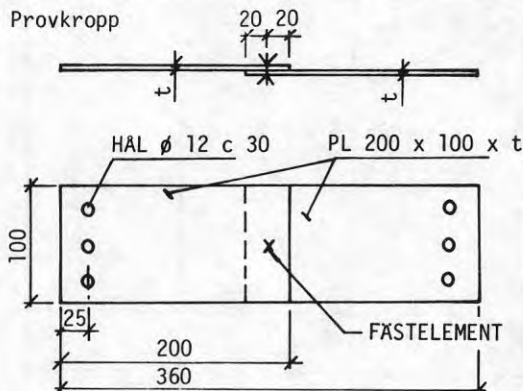
Fästelement: Stålnit med stålsplint

USM SD 835 BS

diameter $d = 6,4$ mm

hål diameter $d_H = 6,55$ mm

Provkropp



Spänningsförh. $R = F_{min}/F_{max} = 0,1$

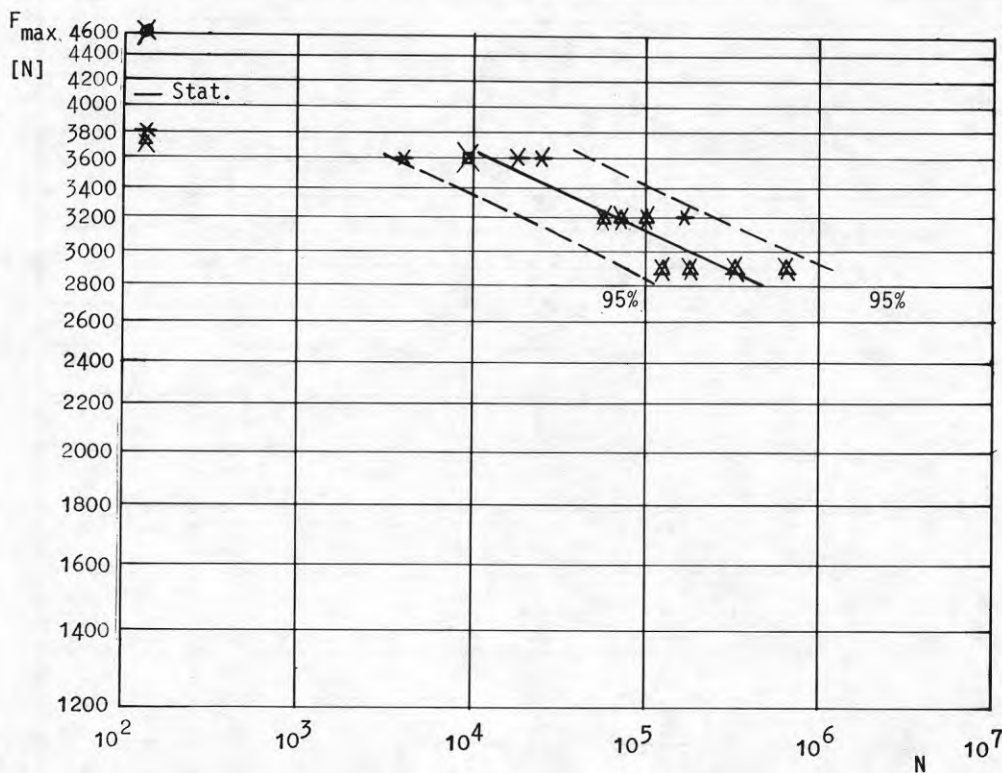
Frekvens $f = 25$ Hz

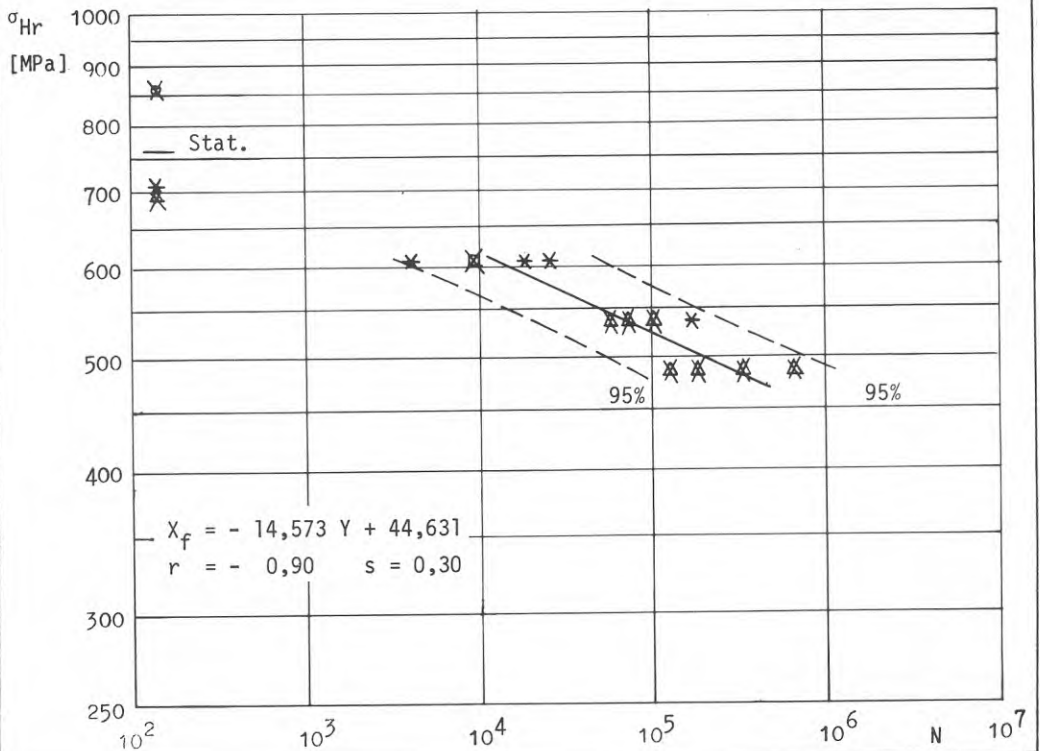
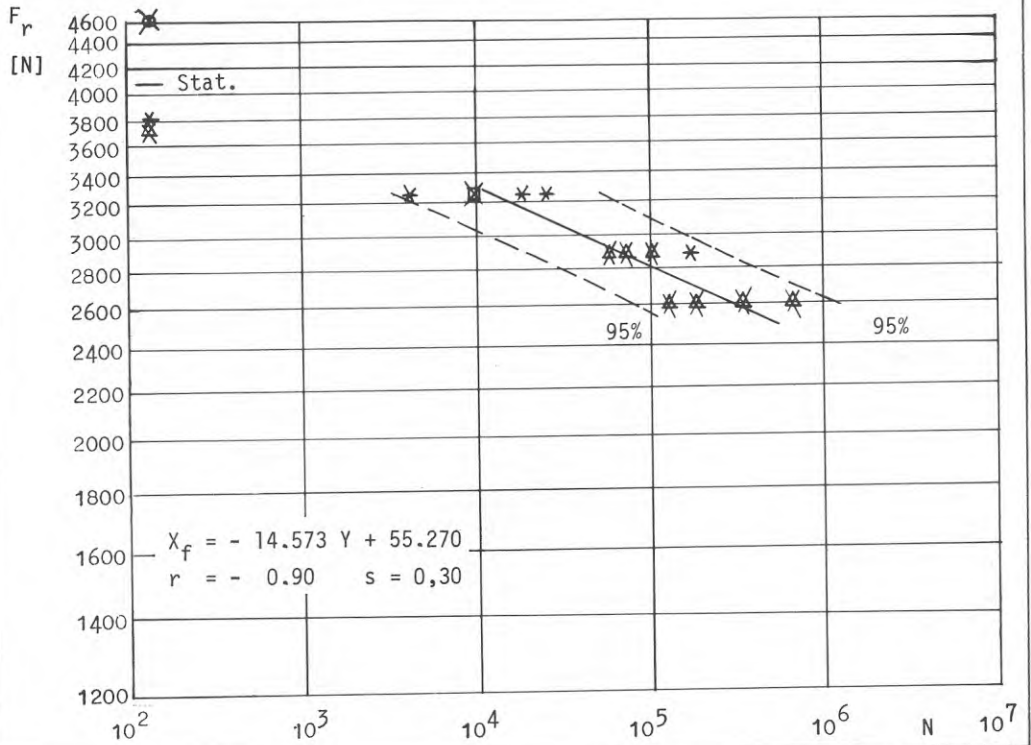
Brottsaker

- H = hålkantflytning - kraftig deformation av hålkanten
- * SN = snedställningsbrott - förbindaren snedställs och dras ut ur plåten
- o S = skjuvbrott - förbindaren skjuvas av
- Δ SP = sprickbildning i hålkanten och utdragning av nit
- ⊗ H/SN = kombination av H och SN
- ⊗ SN/S = kombination av SN och S
- ⊗ SN/SP = kombination av SN och SP

Resultat $X_f = - 14,573 Y + 55,937$

$r = - 0,90$ $s = 0,30$





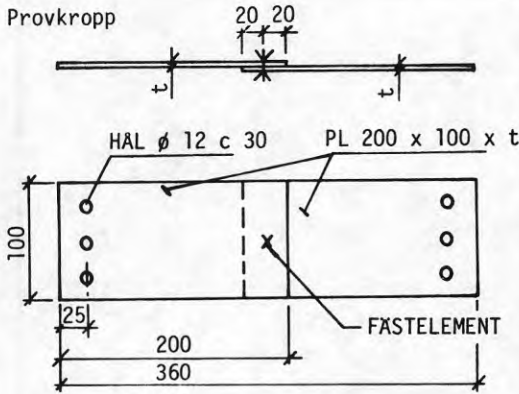
Material

Plåt: SIS 14 21 22

σ_B 480 σ_S 411 MP_a δ_{50} - % $t_{stål}$ 0,65 mm

Fästelement: Stålnit med stålsplint
 USM SD 630 BS
 diameter $d = 4,8$ mm
 håldiameter $d_H = 4,9$ mm

Provkropp



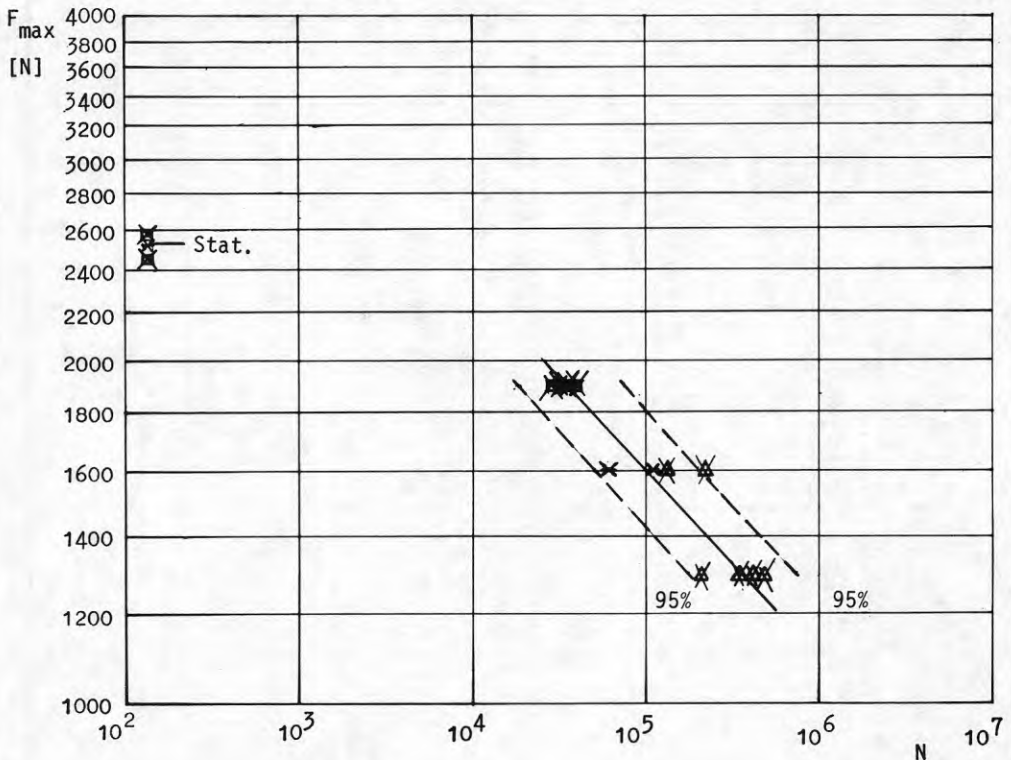
Spänningsförh. $R = F_{min}/F_{max} = 0,1$

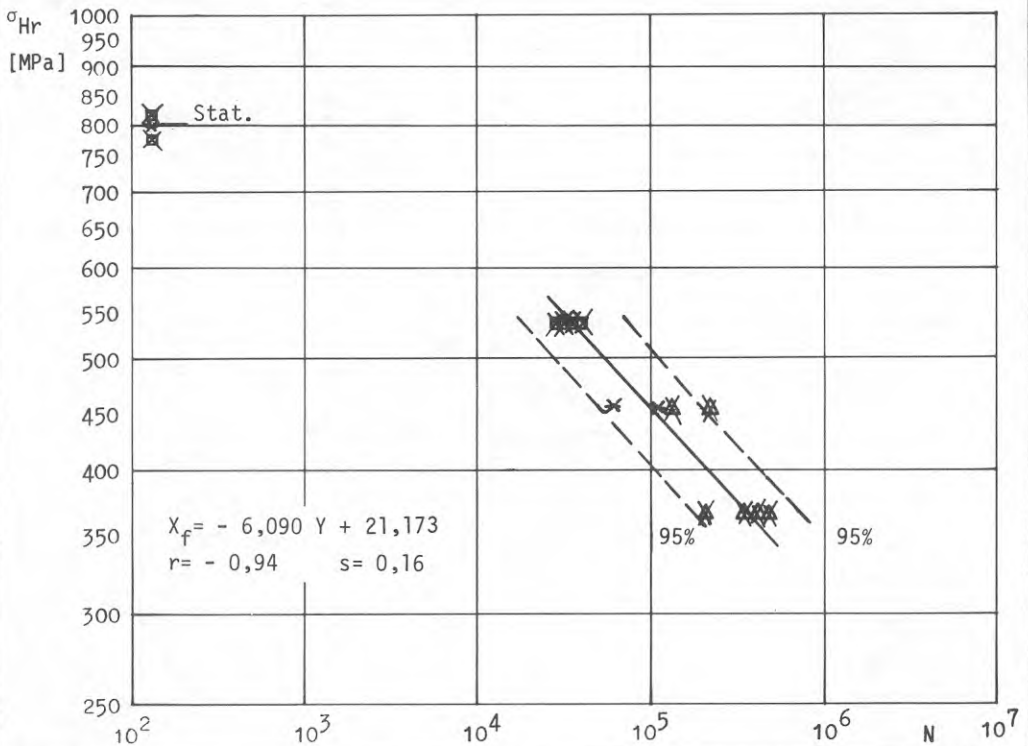
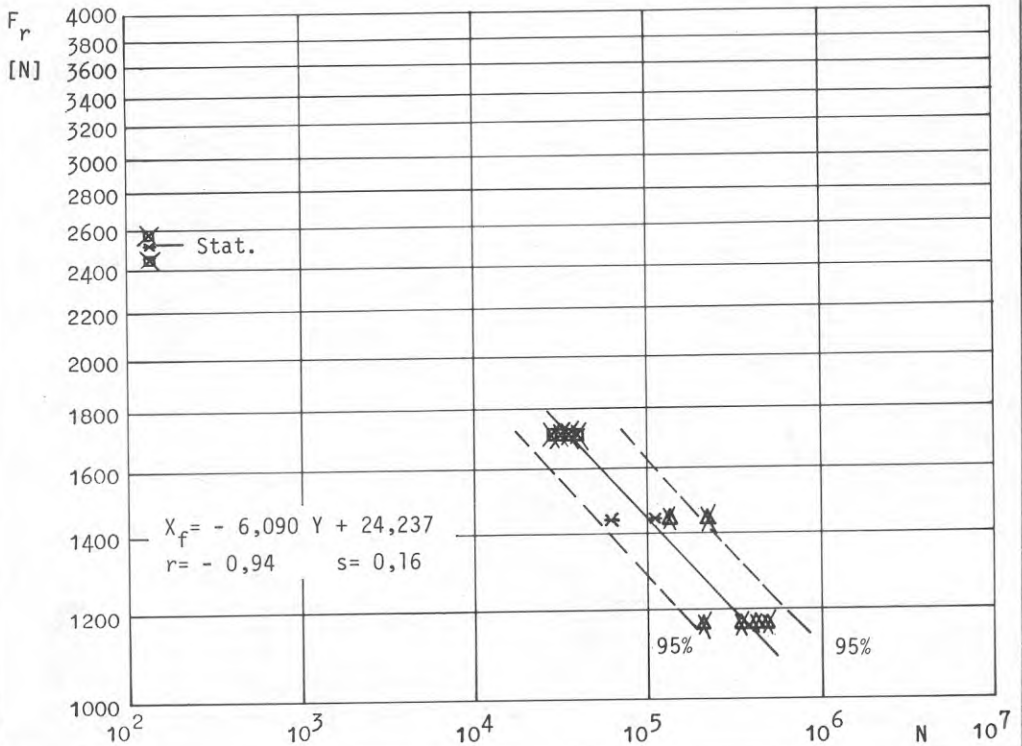
Frekvens $f = 25$ Hz

Brottsaker

- H = hålkantflytning - kraftig deformation av hålkanten
- * SN = snedställningsbrott - förbindaren snedställs och dras ut ur plåten
- o S = skjuvbrott - förbindaren skjuvas av
- Δ SP = sprickbildning i hålkanten och utdragning av nit
- ⊗ H/SN = kombination av H och SN
- ⊗ SN/S = kombination av SN och S
- ⊗ SN/SP = kombination av SN och SP

Resultat $X_f = - 6,090 Y + 24,516$
 $r = - 0,94$ $s = 0,16$





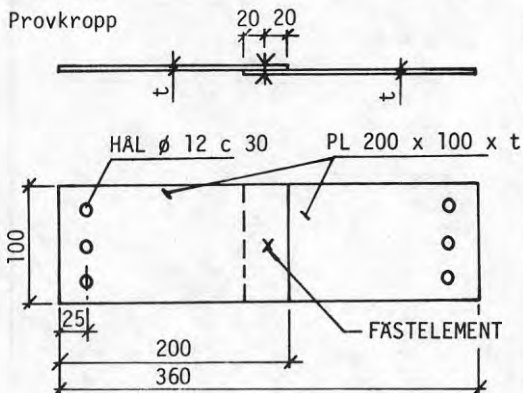
Material

Plåt: SIS 14 21 22

σ_B σ_s MP_a δ_{50} % $t_{stål}$ mm
 447 346 33,0 0,83

Fästelement: Monelnit med stålsplint
 USM LD 630 BS
 diameter $d = 4,8$ mm
 håldiameter $d_H = 4,9$ mm

Provkropp



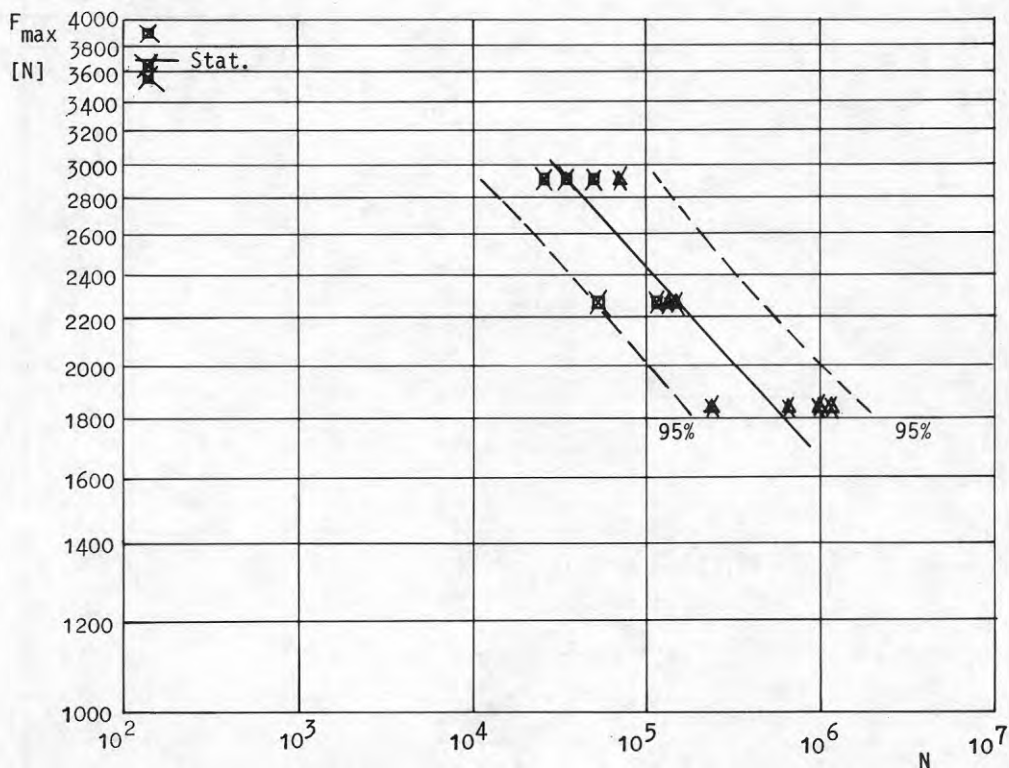
Spänningsförh. $R = F_{min}/F_{max} = 0,1$

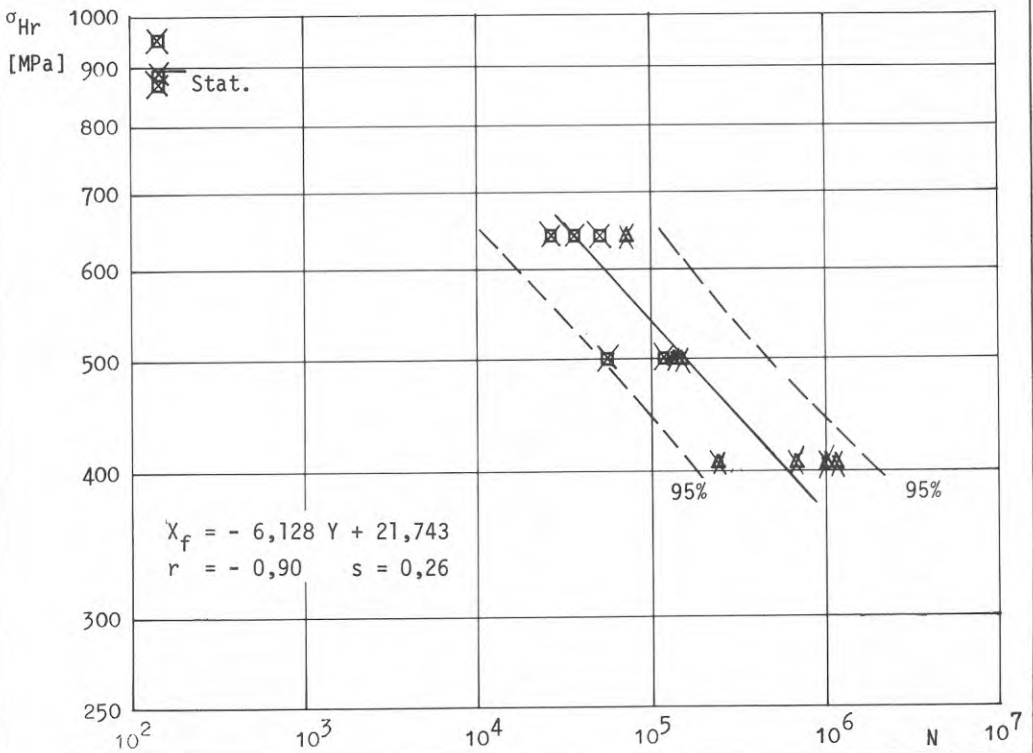
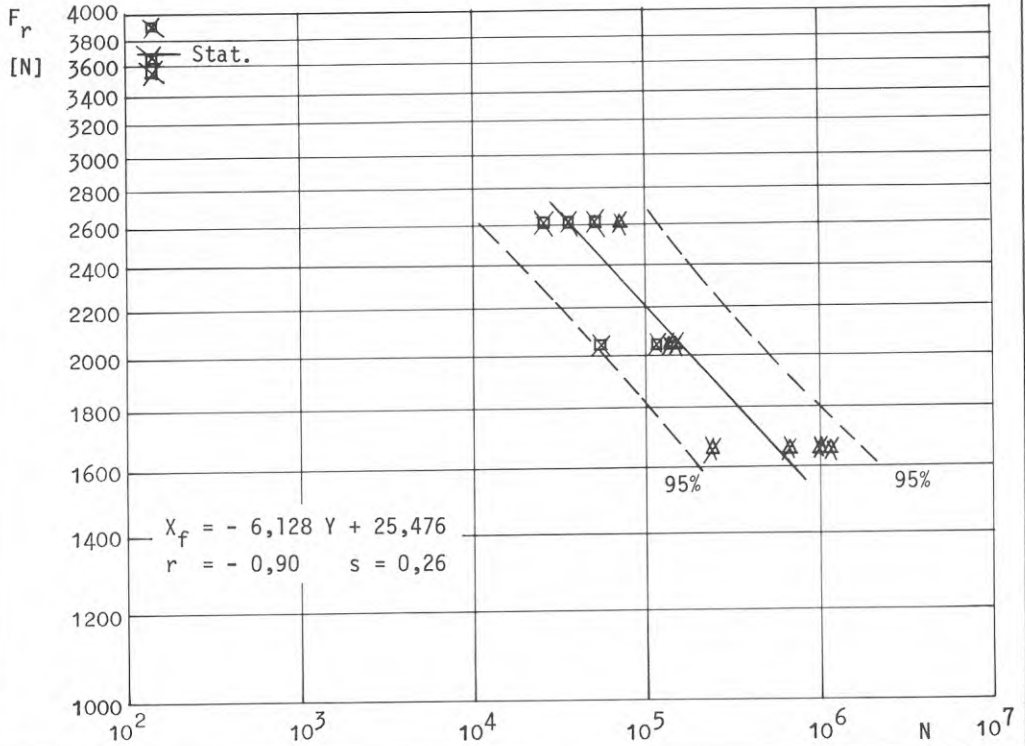
Frekvens $f = 25$ Hz

Brottsorsaker

- H = hålkantflytning - kraftig deformation av hålkanten
- * SN = snedställningsbrott - förbindaren snedställs och dras ut ur plåten
- S = skjuvbrott - förbindaren skjuvas av
- △ SP = sprickbildning i hålkanten och utdragning av nit
- ⊗ H/SN = kombination av H och SN
- ⊗ SN/S = kombination av SN och S
- ⊗ SN/SP = kombination av SN och SP

Resultat $X_f = - 6,128 Y + 25,756$
 $r = - 0,90$ $s = 0,26$





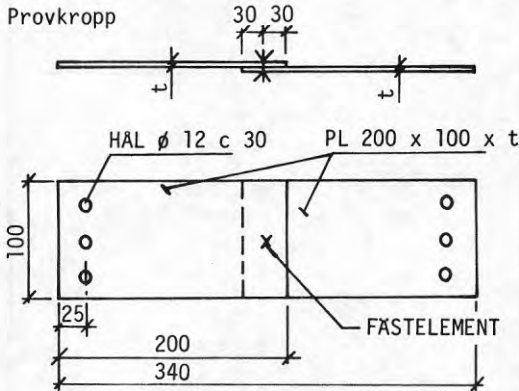
Material

Plåt: SIS 14 21 22

σ_B σ_s MP_a δ_{50} % $t_{stål}$ mm
 455 380 28,0 1,14

Fästelement: Stålnit med stålsplint
 USM SD 630 BS
 diameter $d = 4,8$ mm
 håldiameter $d_H = 4,9$ mm

Provkropp



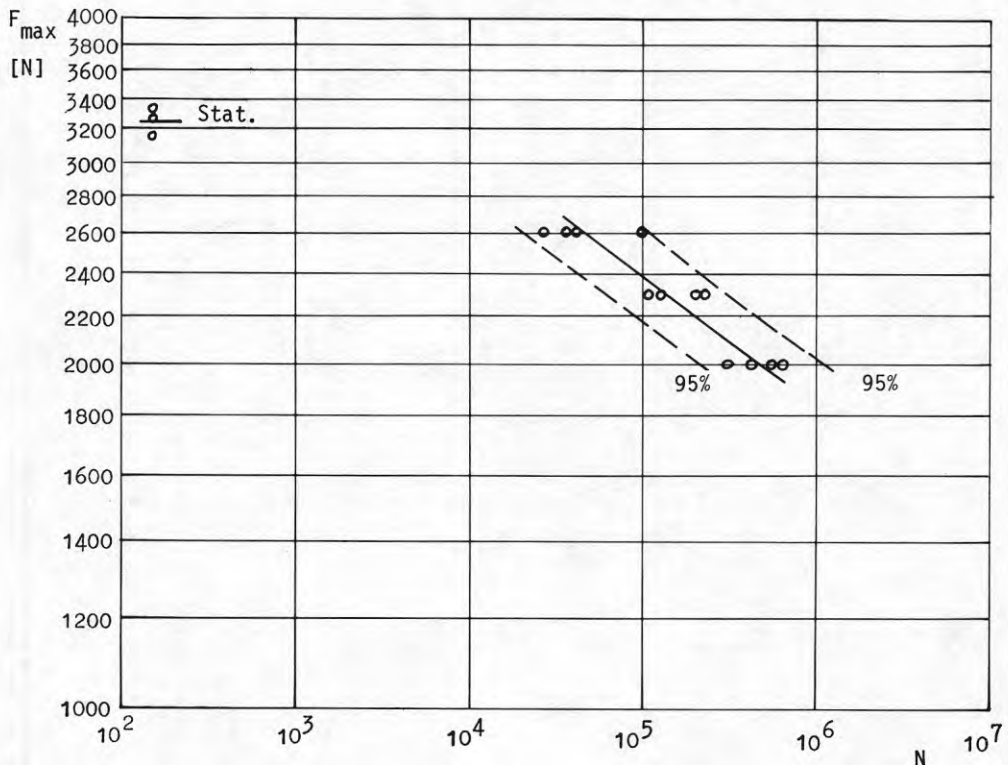
Spänningsförh. $R = F_{min}/F_{max} = 0,1$

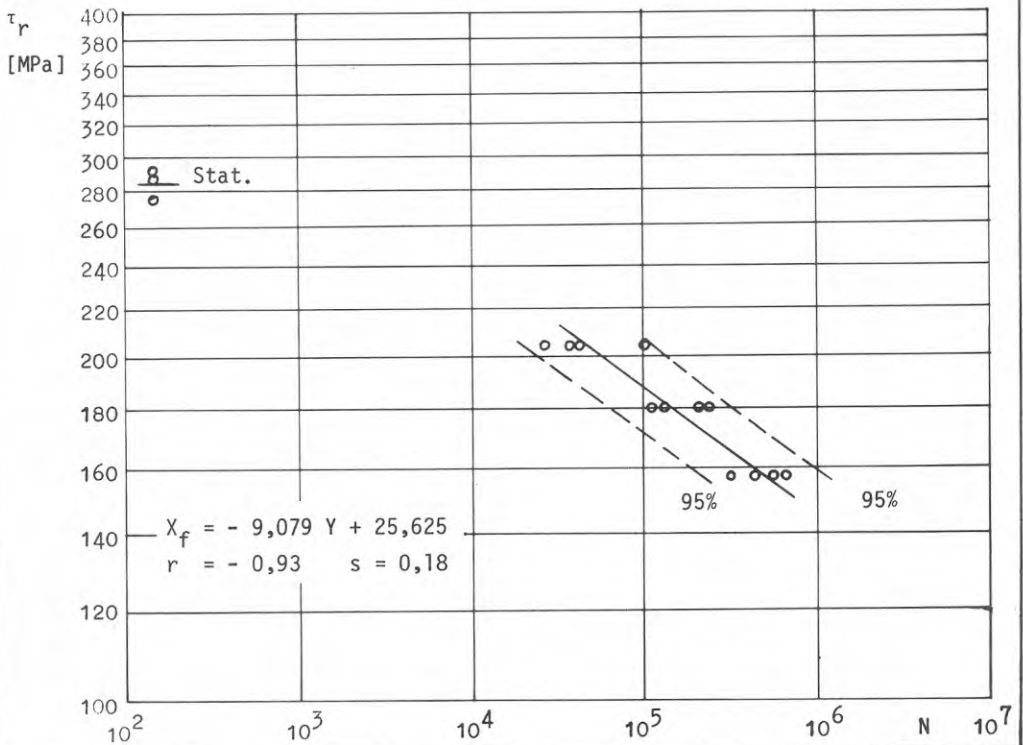
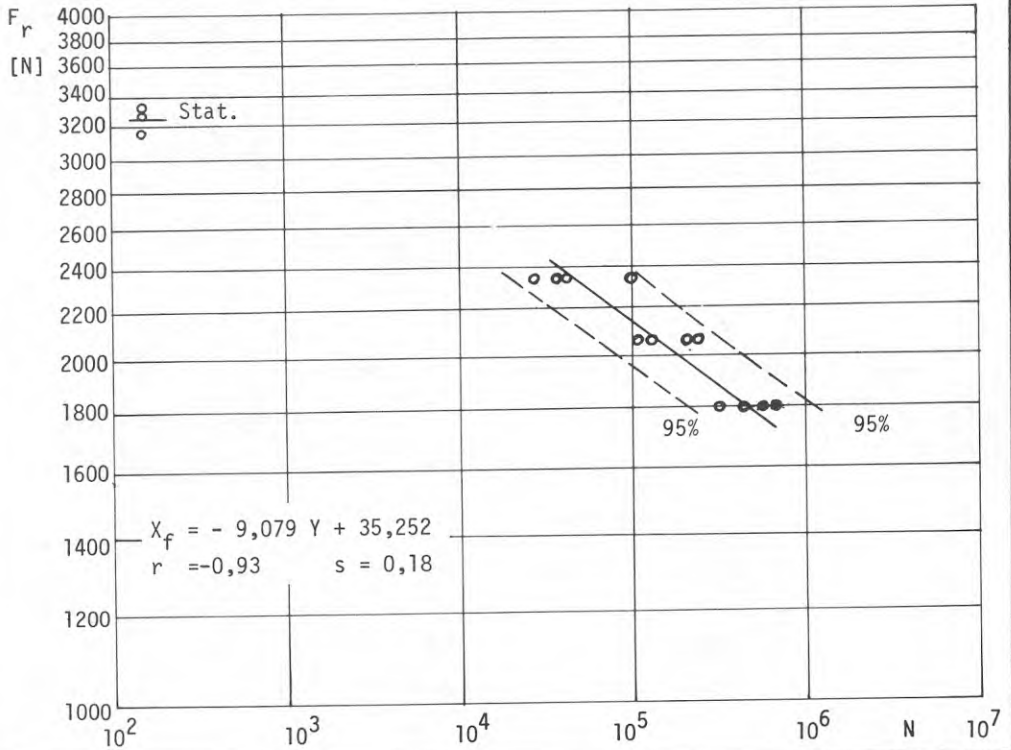
Frekvens $f = 25$ Hz

Brottsaker

- H = hålkantflytning - kraftig deformation av hålkanten
- * SN = snedställningsbrott - förbindaren snedställs och dras ut ur plåten
- o S = skjuvbrott - förbindaren skjuvas av
- Δ SP = sprickbildning i hålkanten och utdragning av nit
- X H/SN = kombination av H och SN
- X SN/S = kombination av SN och S
- X SN/SP = kombination av SN och SP

Resultat $X_f = - 9,079 Y + 35,667$
 $r = - 0,93$ $s = 0,18$





Material

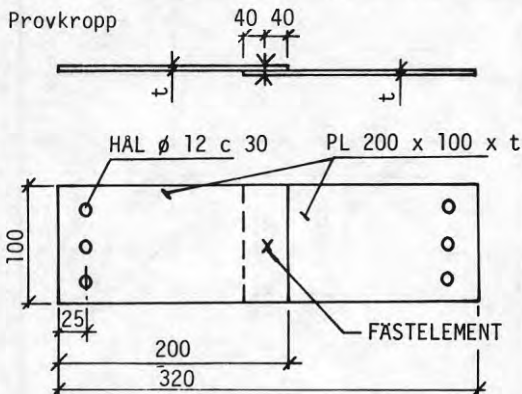
Plåt: SIS 14 21 22

σ_B σ_S MP_a δ_{50} % $t_{stål}$ mm
 451 341 34,0 1,92

Fästelement: Stålnit med stålsplint
 USM SD 835 BS

diameter $d = 6,4$ mm
 håldiameter $d_H = 6,55$ mm

Provkropp



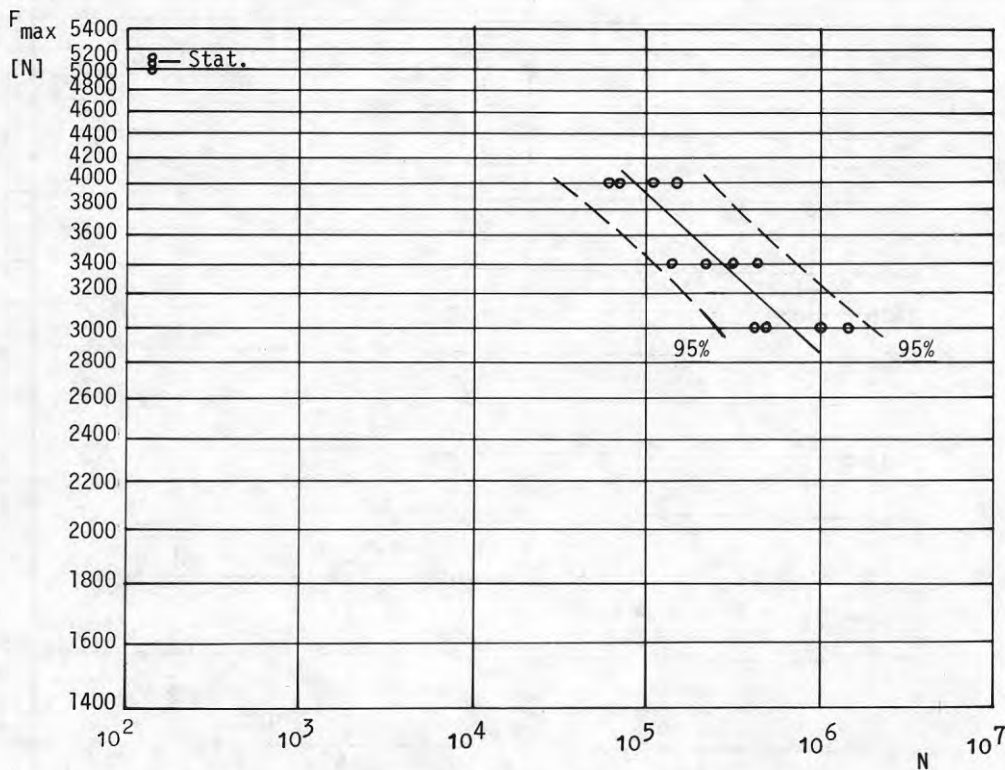
Spänningsförh. $R = F_{min}/F_{max} = 0,25$

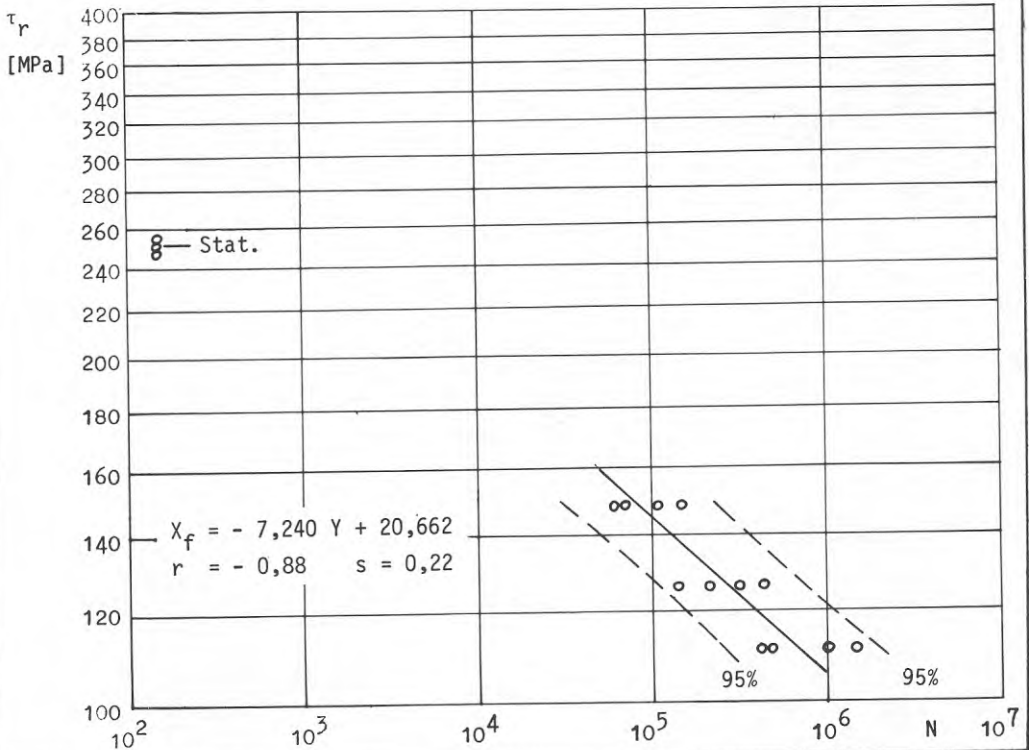
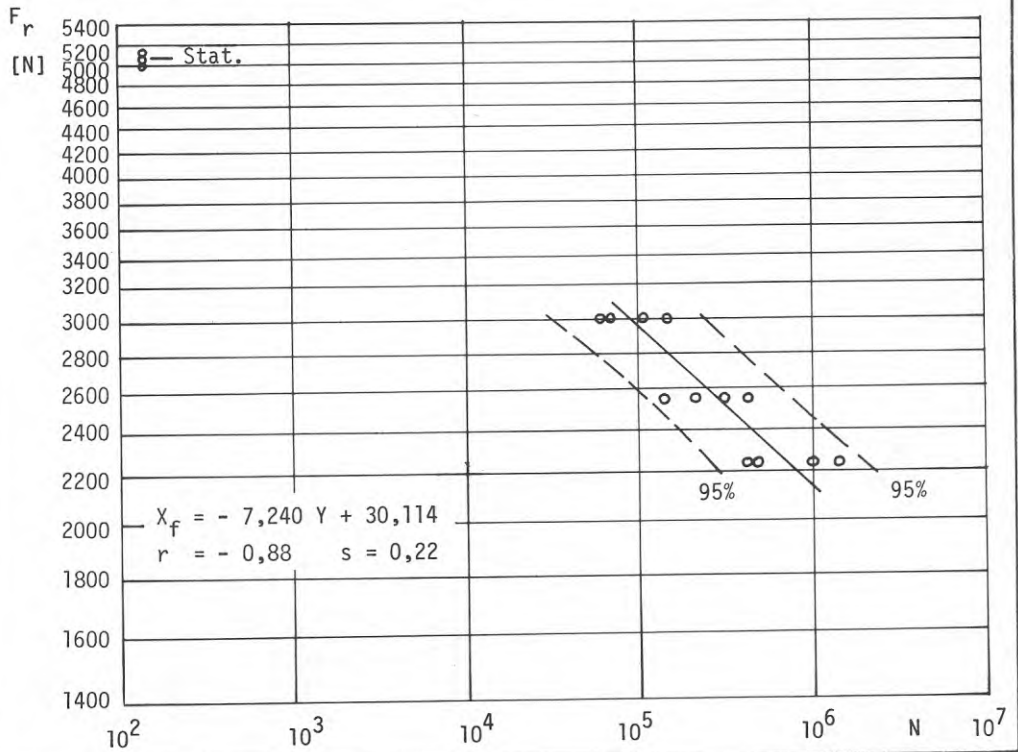
Frekvens $f = 25$ Hz

Brottsaker

- H = hålkantflytning - kraftig deformation av hålkanten
- * SN = snedställningsbrott - förbindaren snedställs och dras ut ur plåten
- o S = skjuvbrott - förbindaren skjivas av
- Δ SP = sprickbildning i hålkanten och utdragning av niten
- ⊗ H/SN = kombination av H och SN
- ⊗ SN/S = kombination av SN och S
- ⊗ SN/SP = kombination av SN och SP

Resultat $X_f = - 7,240 Y + 31,018$
 $r = - 0,88$ $s = 0,22$





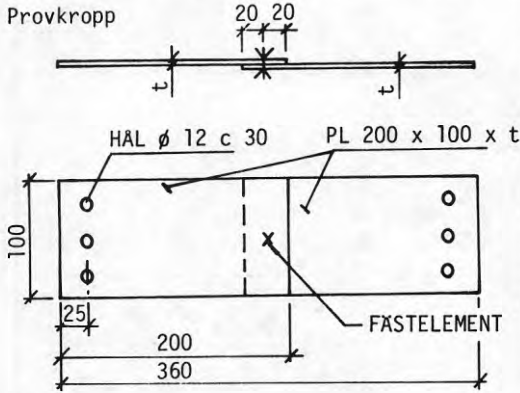
Material

Plåt: SIS 14 21 22

σ_B σ_s MP_a δ_{50} % $t_{stål}$ mm
 447 346 33,0 0,83

Fästelement: Alum.nit med stålsplint
 USM AD 66H
 diameter $d = 4,8$ mm
 håldiameter $d_H = 4,9$ mm

Provkropp



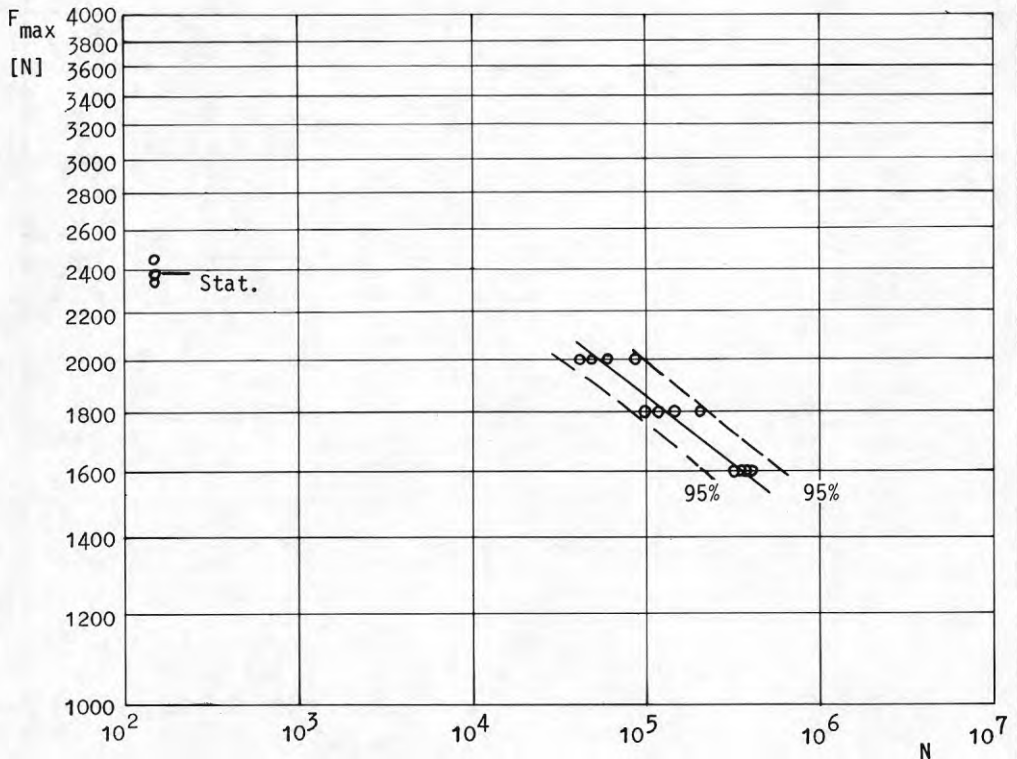
Spänningsförh. $R = F_{min}/F_{max} = 0,1$

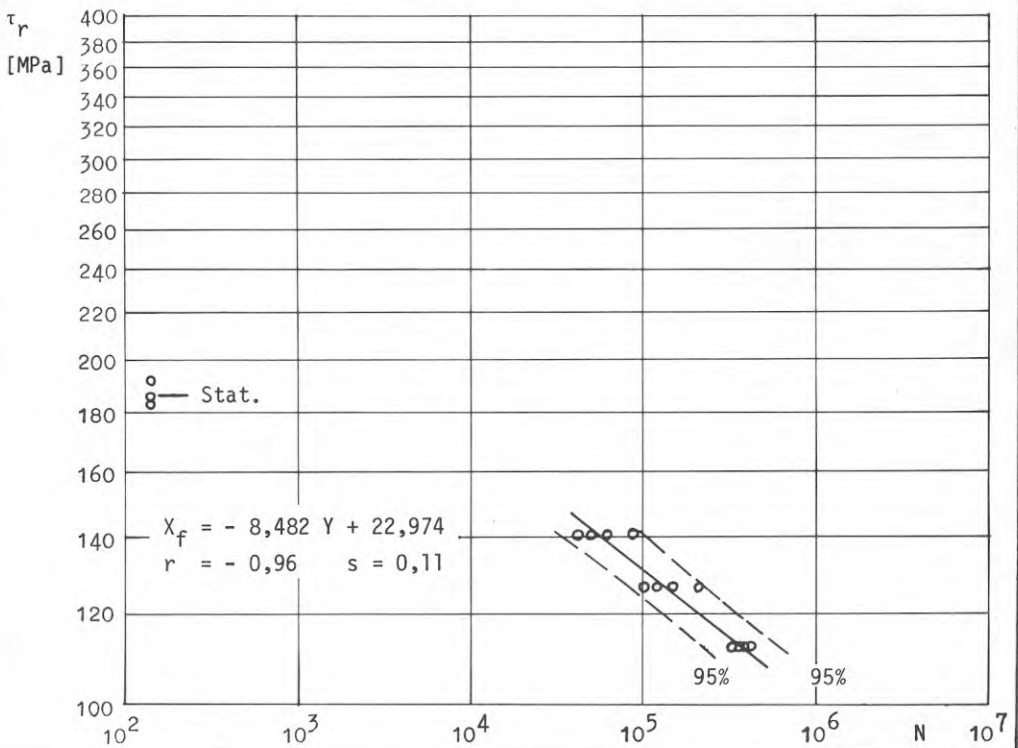
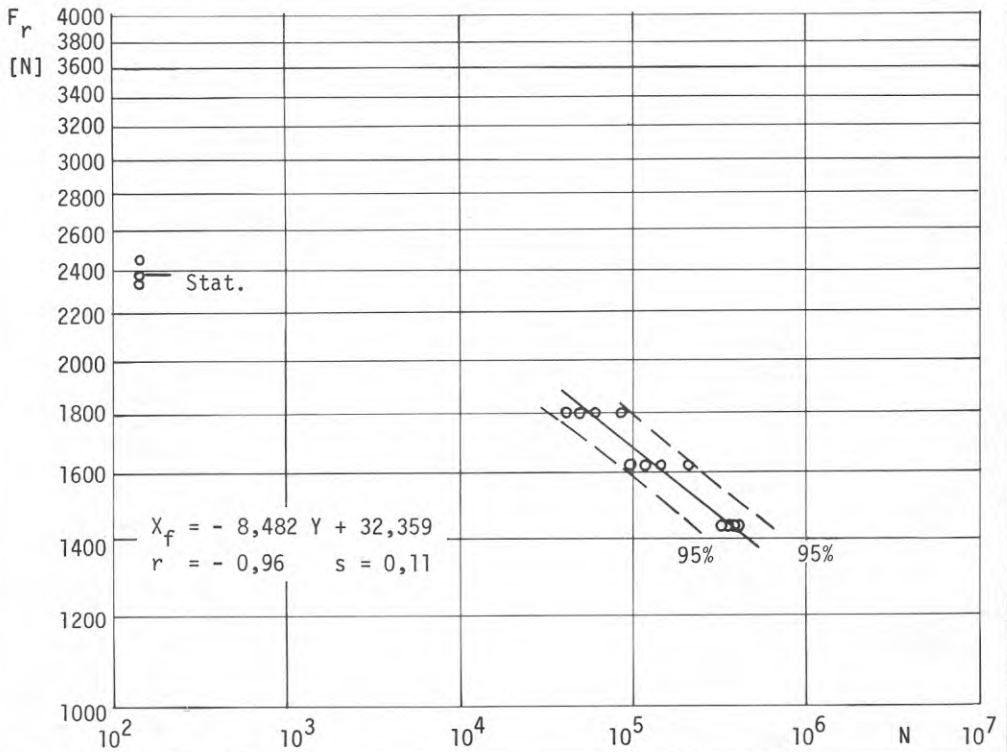
Frekvens $f = 25$ Hz

Brottsaker

- H = hålkantflytning - kraftig deformation av hålkanten
- * SN = snedställningsbrott - förbindaren snedställs och dras ut ur plåten
- o S = skjuvbrott - förbindaren skjuvas av
- Δ SP = sprickbildning i hålkanten och utdragning av niten
- ⊗ H/SN = kombination av H och SN
- ⊗ SN/S = kombination av SN och S
- ⊗ SN/SP = kombination av SN och SP

Resultat $X_f = - 8,482 Y + 32,747$
 $r = - 0,96$ $s = 0,11$





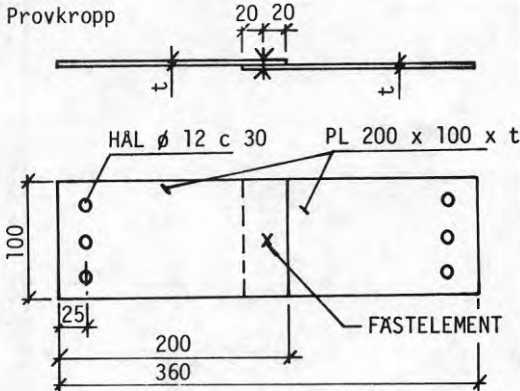
Material

Plåt: SIS 14 21 22

σ_B 447 σ_s 346 MP_a δ_{50} 33,0 % $t_{stål}$ 0,83 mm

Fästelement: Stålnit med stålsplint
 USM SD 630 BS
 diameter $d = 4,8$ mm
 håldiameter $d_H = 4,9$ mm

Provkropp



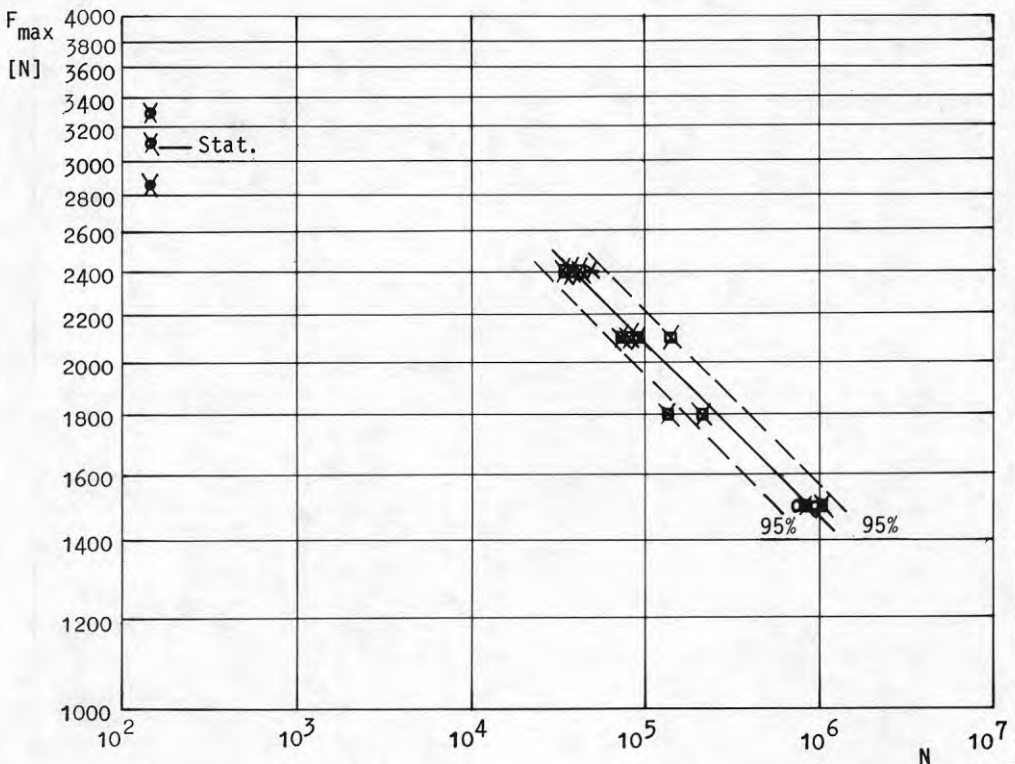
Spänningsförh. $R = F_{min}/F_{max} = 0,1$

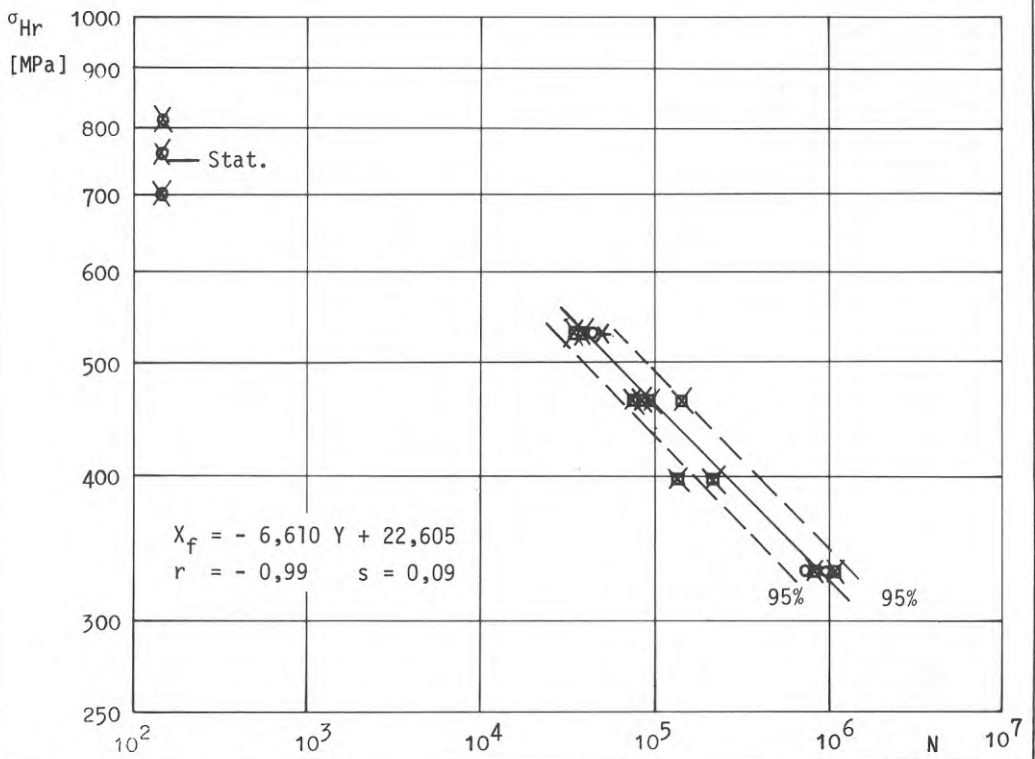
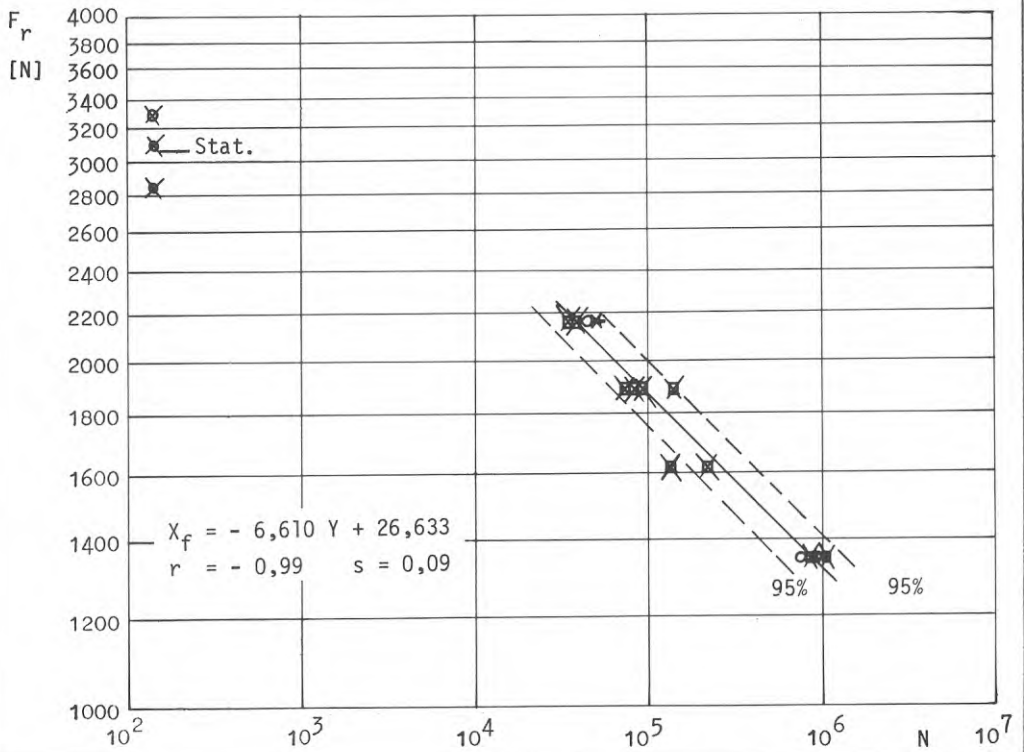
Frekvens $f = 25$ Hz

Brottsaker

- H = hålkantflytning - kraftig deformation av hålkanten
- * SN = snedställningsbrott - förbindaren snedställs och dras ut ur plåten
- S = skjuvbrott - förbindaren skjivas av
- △ SP = sprickbildning i hålkanten och utdragning av nit
- ⊗ H/SN = kombination av H och SN
- ⊗ SN/S = kombination av SN och S
- ⊗ SN/SP = kombination av SN och SP

Resultat $X_f = - 6,610 Y + 26,935$
 $r = - 0,99$ $s = 0,09$





13 UTVÄRDERING AV PROVSERIE B, C OCH K ENLIGT
DDR-STANDARD TGL 19336

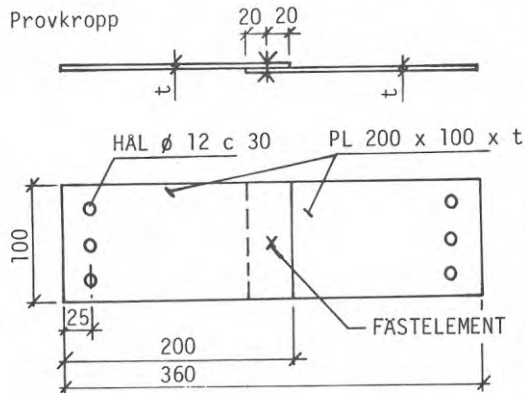
Material

Plåt: SIS 14 21 22

σ_B 473 σ_S 425 MP_a δ_{50} 27,0 % $t_{\text{stål}}$ 0,82 mm

Fästelement: Stålnit med stålsplint
 USM SD 630 BS
 diameter $d = 4,8$ mm
 håldiameter $d_H = 4,9$ mm

Provkropp



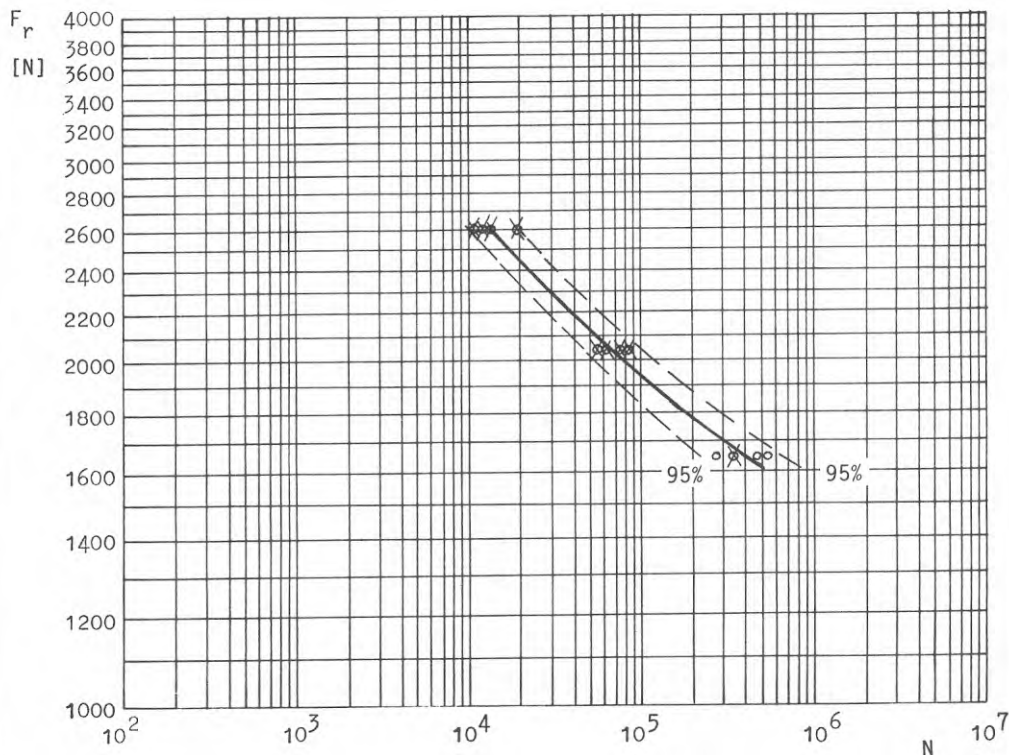
Spänningsförh. $R = F_{\text{min}}/F_{\text{max}} = 0,1$

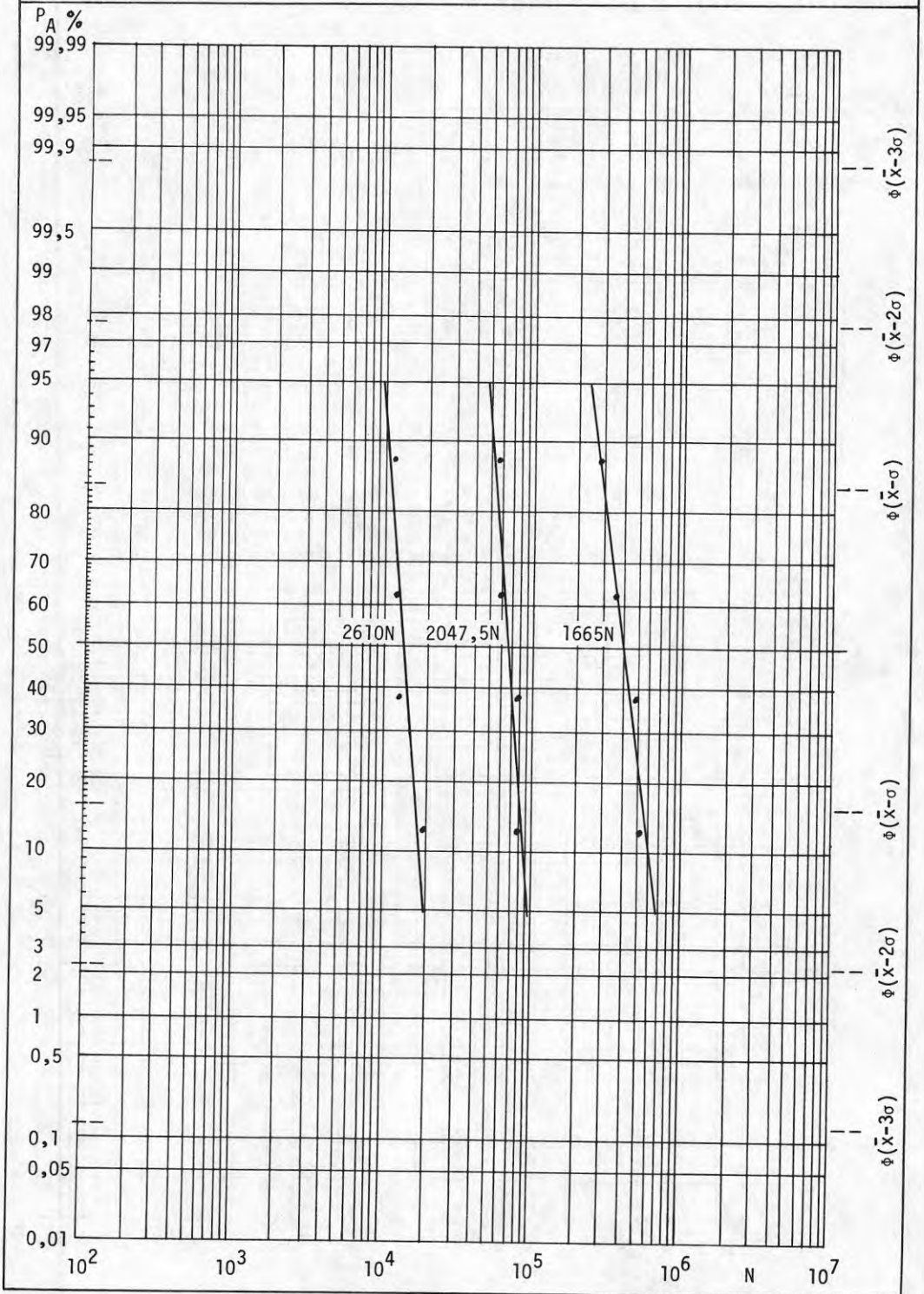
Frekvens

$f = 25$ Hz

Brottsaker

- H = hålkantflytning - kraftig deformation av hålkanten
- * SN = snedställningsbrott - förbindaren snedställs och dras ut ur plåten
- S = skjuvbrott - förbindaren skjuvas av
- △ SP = sprickbildning i hålkanten och utdragning av niten
- ⊗ H/SN = kombination av H och SN
- ⊗ SN/S = kombination av SN och S
- ⊗ SN/SP = kombination av SN och SP





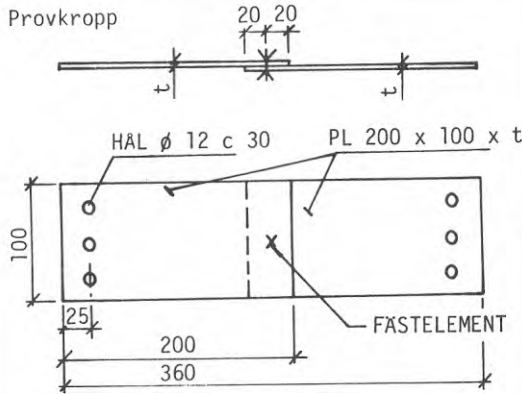
Material

Plåt: SIS 14 21 22

| σ_B | σ_s | MP _a | δ_{50} | % | t _{stål} | mm |
|------------|------------|-----------------|---------------|---|-------------------|----|
| 473 | 425 | | 27,0 | | 0,82 | |

Fästelement: Monelnit med stålsplint
 USM LD 630 BS
 diameter $d = 4,8$ mm
 håldiameter $d_H = 4,9$ mm

Provkropp



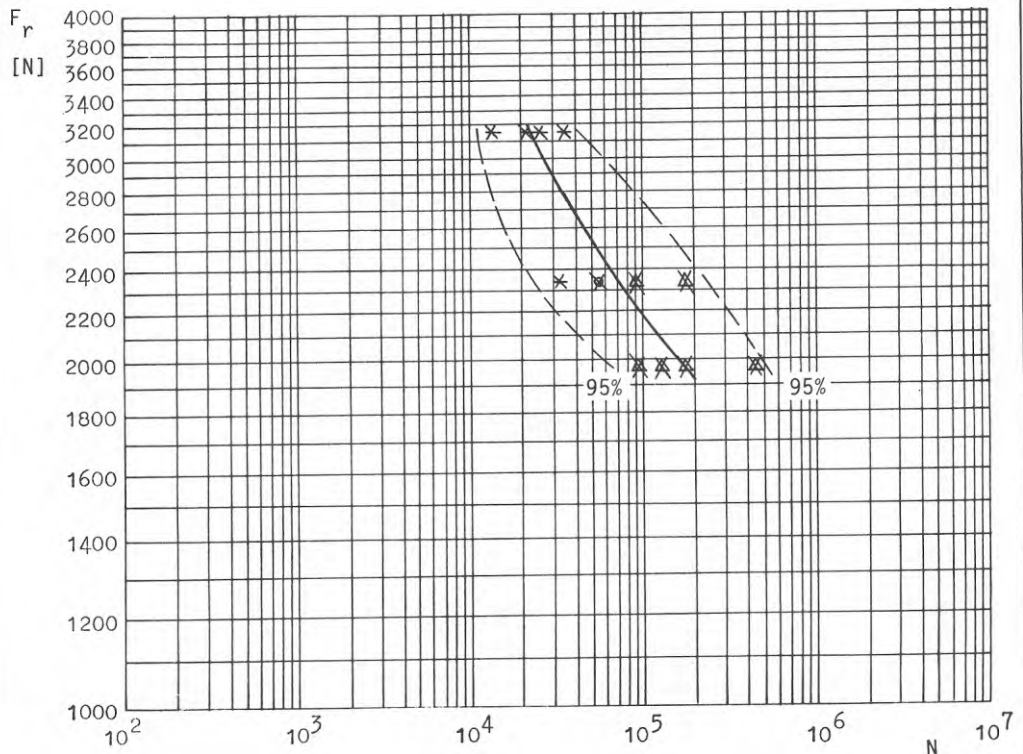
Spänningsförh. $R = F_{min}/F_{max} = 0,1$

Frekvens

$f = 25$ Hz

Brottsaker

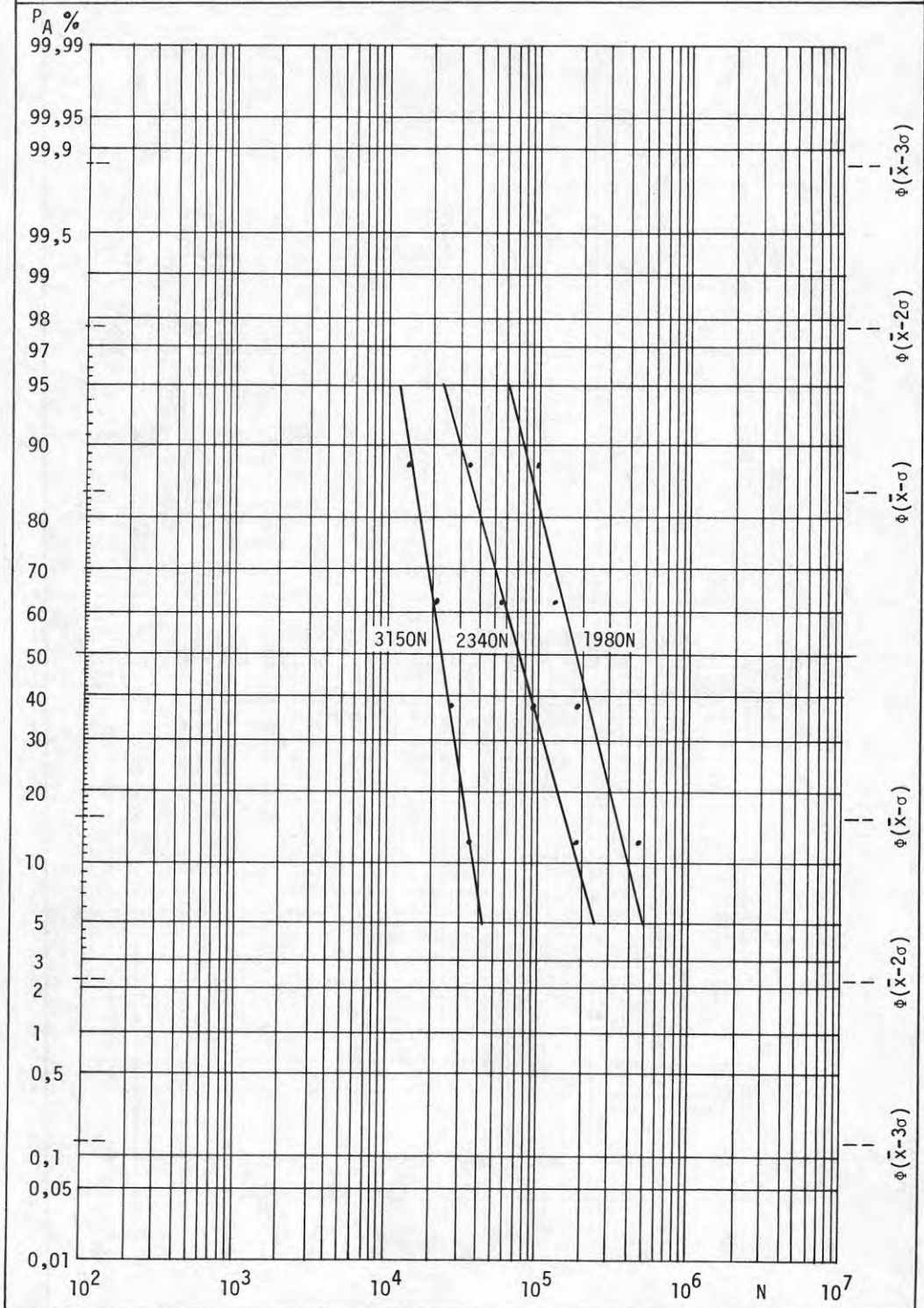
- H = hålkantflytning - kraftig deformation av hålkanten
- * SN = snedställningsbrott - förbindaren snedställs och dras ut ur plåten
- o S = skjuvbrott - förbindaren skjivas av
- △ SP = sprickbildning i hålkanten och utdragning av nit
- ⊗ H/SN = kombination av H och SN
- ⊗ SN/S = kombination av SN och S
- ⊗ SN/SP = kombination av SN och SP



Utmattningshållfasthet vid
 tunnplåtsförband
 överlevnadssannolikhet $P_A = \frac{m-0,5}{n} \cdot 100\%$

Provserie: C

139



Material

Plåt: SIS 14 21 22

| σ_B | σ_S | MP _a | δ_{50} | % | $t_{\text{stål}}$ | mm |
|------------|------------|-----------------|---------------|---|-------------------|----|
| 473 | 425 | | 27,0 | | 0,82 | |

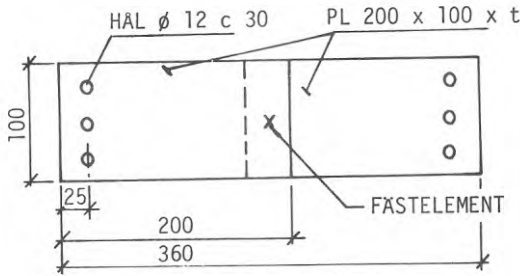
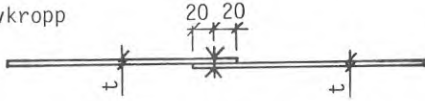
Fästelement: Stålnit med stålsplint

USM SD 835 BS

diameter $d = 6,4$ mm

håldiameter $d_H = 6,55$ mm

Provkropp

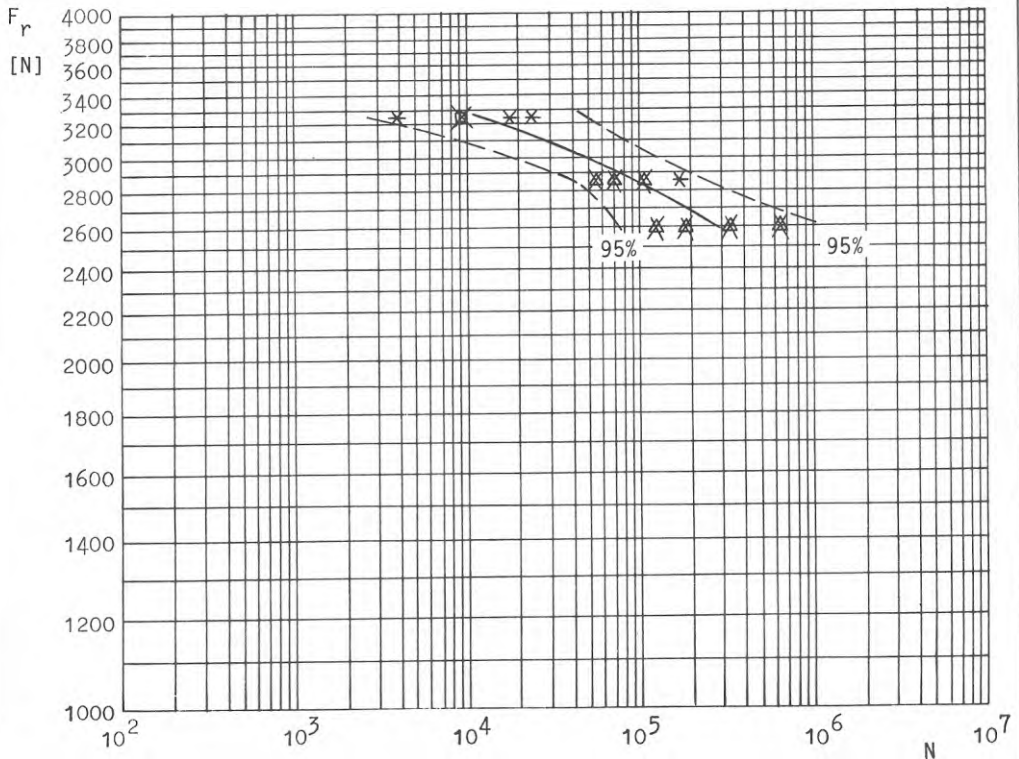


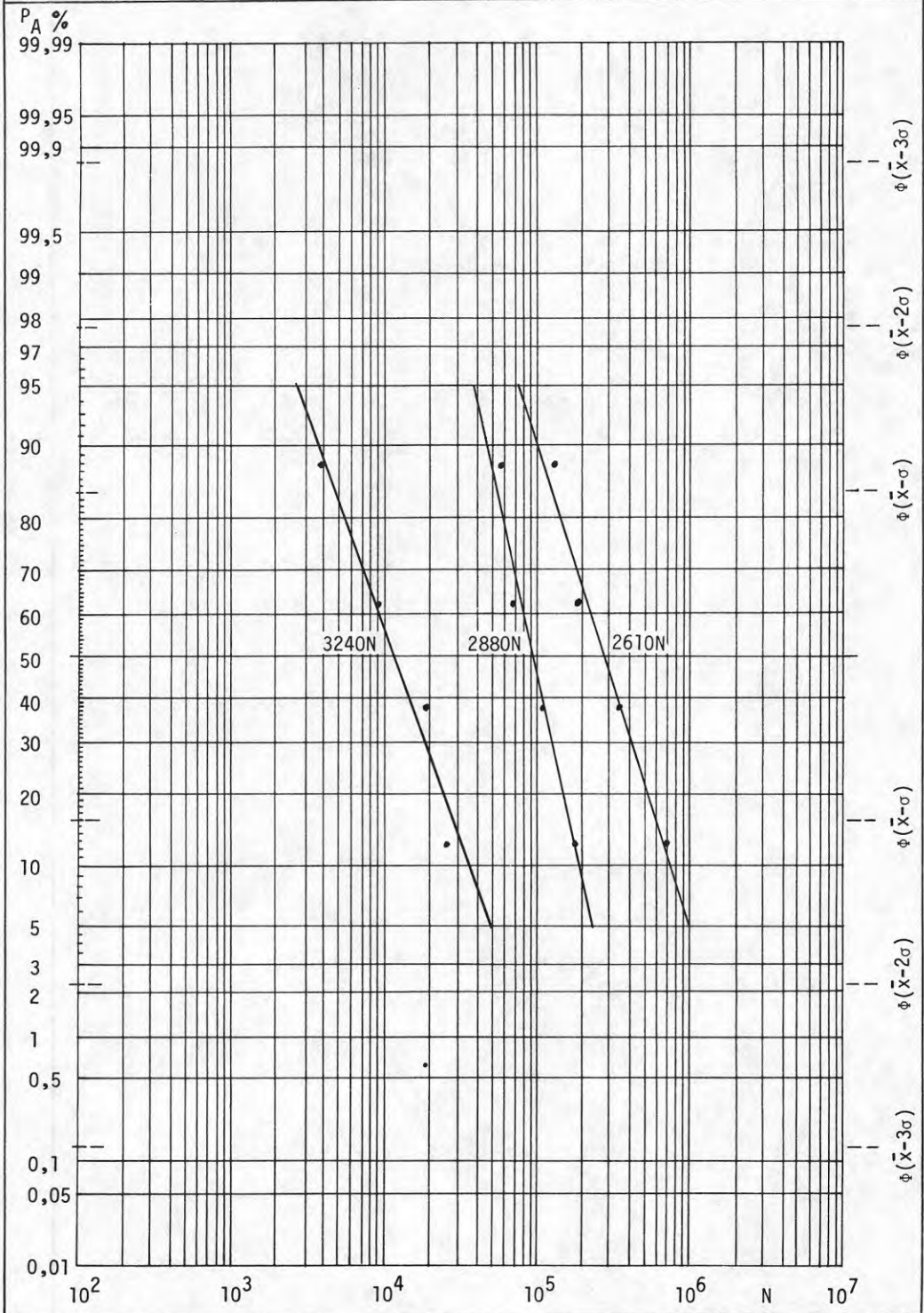
Spänningsförh. $R = F_{\text{min}}/F_{\text{max}} = 0,1$

Frekvens $f = 25$ Hz

Brottsaker

- H = hålkantflytning - kraftig deformation av hålkanten
- * SN = snedställningsbrott - förbindaren snedställs och dras ut ur plåten
- S = skjuvbrott - förbindaren skjuvas av
- △ SP = sprickbildning i hålkanten och utdragning av nit
- ⊗ H/SN = kombination av H och SN
- ⊗ SN/S = kombination av SN och S
- ⊗ SN/SP = kombination av SN och SP





R55:1976

**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 710913-8 från
Statens råd för byggnadsforskning till Kungliga tekniska hög-
skolan, Avd för stålbyggnad, Stockholm**

**Distribution: Svensk Byggtjänst, Box 1403, 11184 Stockholm
Grupp: konstruktion**

Pris: 37 kr + moms