

# Rapport

# R7:1970

TEKNISKA HOGSKOLAN I LUND  
SEKTIONEN FOR VAG- OCH VATTEN  
BIBLIOTEKET

Inst. för Byggnadsstatik

# Rörelser i ytterväggar med 1/2-stens skalmur Del 1. Undersökning av murkramlor

Leif Bergquist

Byggforskningen

# Rörelser i ytterväggar med 1/2-stens skalmur

## Del 1. Undersökning av murkramlor

Leif Bergquist

Murkramlor av varierande material för förankring av 1/2-stens skalmur till bakomvarande stomme kan i vissa fall, huvudsakligen beroende på temperaturrörelser i skalmuren, få böj deformationer som medför spänningar över materialets sträckgräns. Upprepade rörelser har befarats kunna leda till utmattningsbrott. Planverkets publikation nr 3 (SBN — S 24:4122, giltig från den 1 juli 1968) anger en begränsning av tillåten böjpåskänning till  $0,5 \cdot \sigma_{0,2}$ . Detta gör det svårt att kunna utnyttja den traditionella, dubbelsidigt inspända kramlan, t. o. m. vid byggnader med så måttlig höjd som 3—4 våningar.

Principiellt kan man använda tre metoder för att tillgodose uppställda krav:

1. Ökning av kramlornas "fria" längd
2. Utförande med rörliga förankringar
3. Uppdelning i mindre partier med rörelsefogar.

Med hänsyn till den bristande kännedomen om rostfria materials utmattningsegenskaper vid plastisk deformation har det ansetts angeläget att undersöka denna fråga och då i samband med sådana förhållanden, som kan tänkas gälla för murkramlor. Ett gynnsamt resultat skulle därvid kunna vidga användningsområdet för den traditionella kramlan och därmed reducera behovet av metoderna 1—3.

I Byggforskningens rapport R7:1970 redovisas en provning som genom-

förts med ett antal olika stålqualiteter, men med huvudvikt vid kvaliteten SIS 2343, varvid såväl kallsträckt som mjukglödgad tråd av olika dimensioner provats.

Trots rörelsens plastiska karaktär har det visat sig lämpligt att uttrycka provmaterialens "påfrestning" med det för elastisk böjrörelse gällande spänningsuttrycket

$$\sigma = 3 E \delta / l^2$$

där  $\delta$  är utböjningen och  $l$  fria längden för den dubbelsidigt inspända kramlan. Detta värde, som benämns  $\sigma_{fiktiv}$ , har satts i relation till antalet böjningsrörelser före brott.

I sammanställningsdiagram redovisas det område inom vilket böjbrott har uppträtt för material SIS 2343. Undre områdesgränsen för samtliga provade kvaliteter, med undantag för kopparråd, visas av diagrammets streckade linje.

Undersökningen har också kompletterats med en analys av kramlornas tänkbara rörelser beträffande storlek, karaktär och antal.

### Undersökningsresultat

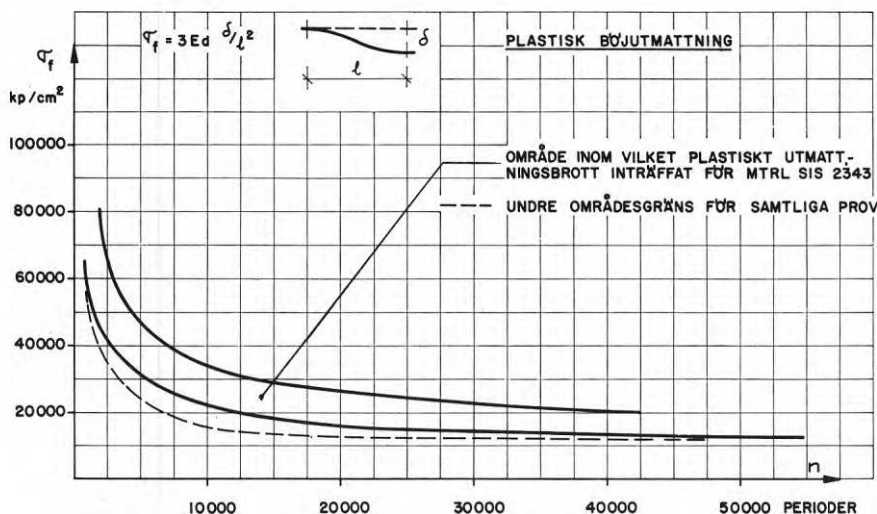
A. Med hänsyn till utmattningsrisk på grund av de i huvudsak temperaturbetingade rörelserna av plastisk karaktär hos murkramlor är den maximala dygnsvariationen av större intresse än de stora årsvarierande rörelserna.

B. Den maximala dygnsvariationen kan anses motsvara temperaturdiffe-

# Byggforskningen Sammanfattningar

R7:1970

Murkramlor för förankring av 1/2-stens skalmur kan i vissa fall få böj deformationer som medför spänningar över materialets sträckgräns. I denna rapport redovisas en undersökning av murkramlor av olika stålqualiteter, men med tonvikt på SIS 2343. Vidare ges en analys av kramlornas tänkbara rörelser i det praktiska fallet samt en enkel projekteringsanvisning för anordnandet av murkramlor.



DIAGRAM

UDK 69.022,324  
693.2  
691.88

Sammanfattning av:

Bergquist, L., 1970, Rörelser i ytterväggar med 1/2-stens skalmur. Del 1. Undersökning av murkramlor (Statens institut för byggnadsforskning) Stockholm. Rapport R7:1970, 44 s., ill. 10 kr.

Distribution: Svensk Byggtjänst, Box 1403, 111 84 Stockholm. 08-24 28 60.

Abonnemangsgrupp: (k) konstruktion och material

rensen ca 30°C. Med en temperaturutvidgningskoefficient för tegel  $\alpha = 6 \cdot 10^{-6}$ , ett värde som sannolikt i det praktiska fallet innefattar en viss säkerhetsmarginal, och med hänsyn till att kramlornas deformation är beroende av både vertikala och horisontella väggrörelser, kan för den ogynnsammast placerade kramlan dess maximala dygnsrörelse uppskattas till  $\delta_t = 30 \cdot 6 \cdot 10^{-6} \cdot h \cdot 10^8 \sqrt{2} \text{ mm}$

där  $h$  är byggnadens höjd i meter. För skalmurar av kalksandsten får utvidgningskoefficienten korrigeras uppåt, lämpligen i enlighet med Planverkets anvisningar.

C. Om en rörelse hos kramlan motsvarande 50 % av maximal dygnsrörelse anses vara av betydelse från utmattningssynpunkt, så kan man räkna med ca 30 rörelser per år. Om andelen hålls vid 25 %, kan ca 80 rörelser per år påräknas. Med 100 års livslängd för en byggnad erhålls således

totalt ca 3 000, respektive 8 000 rörelser.

D. Det kalkylerade antalet rörelser som förutsätts i 25 %-fallet bygger uppenbarligen på en medelrörelse, som avsevärt understiger provad (= maximal) rörelse. Med hänsyn till detta och till eventuell säkerhetsmarginal enligt punkt B bedöms det som tillräckligt att lägga dubbel säkerhet på antalet böjningsrörelser, dvs.  $n = 2 \cdot 8\,000 = 16\,000$  perioder.

E. Med framräknad maximal dygnsvariation  $\delta_t$  enligt punkt B och antal perioder enligt punkt D är det sedan möjligt att bedöma, om värdet på

$$\sigma_{\text{fiktiv}} = 3 E d \delta / l^2$$

medför någon risk för utmattningsbrott. Denna bedömning görs då med hjälp av diagram. (Rapporten innehåller några tillämpningsexempel på detta.)

F. Materialvalet bör av flera skäl

lämpligen inriktas på den rostfria kvaliteten SIS 2343 (eller mycket nära likvärda SIS 2347). Med hänsyn till provresultatet bör dimensionen  $\varnothing 3$  mm väljas framför  $\varnothing 4$  mm. Från utmattningssynpunkt behöver ingen större vikt läggas vid om materialet är kallsträckt eller mjukglödgat. Det från arbetssynpunkt lämpligaste, dvs. vanligen glödgat material, kan väljas. Ingendera tillståndsformen hos det rostfria materialet uppvisar några påtagligt försämrade egenskaper, när temperaturen sänks till den för murkramlorna aktuella minimitemperaturen ca  $-20^\circ$  till  $-30^\circ\text{C}$ .

Punkterna A—D innehåller uppenbarligen en rad antaganden och bedömningar. Speciellt beträffande säkerhetsfaktorn kan många olika uppfattningar finnas. Av denna orsak har i diagrammet redovisats kurvor som täcker in själva brottvärdena, dvs. "sanna värden". Därmed lämnas fältet fritt för avvikande bedömningar.

# Movements in external walls with a half-brick outer leaf

## Part 1. Investigation of wall ties

Leif Bergquist

Wall ties of various materials used to anchor the half-brick outer leaf to the load-bearing inner leaf may in some cases, mainly due to temperature movements in the outer leaf, be subjected to flexural deformation resulting in stresses in excess of the yield strength of the material. There is a danger that repeated movements may result in fatigue failure. Publication No. 3 by the National Board of Urban Planning (SBN — S 24:4122 which came into force on the 1st July 1968) specifies that bending stress may not exceed  $0.5 \cdot \sigma_{0.2}$ . This gives rise to difficulties in making use of the traditional wall tie fixed at both ends, even in buildings with a height as moderate as 3—4 storeys.

There are three methods in principle of satisfying the requirements specified:

1. Increasing the "free" length of the wall ties
2. Use of movable anchorages
3. Division of the wall into smaller sections by means of movement joints.

In view of the lack of information as to the fatigue properties of stainless materials on plastic deformation, it was considered that this matter should be investigated under conditions which may be assumed to apply to wall ties. Favourable results would then enable the field of application of the traditional wall tie to be extended and thereby reduce the need for Methods 1—3 to be applied.

Report No. R7:1970 from the National Swedish Institute for Building Research gives an account of tests performed

using a number of different steel grades, with the main emphasis on grade SIS 2343, which tested both cold-drawn and annealed wire of different dimensions.

In spite of the plastic nature of the movement, it has been found convenient to express the "load" in the material tested by the stress formula applicable to elastic flexural movement, viz.

$$\sigma = 3 E \delta / l^2$$

where  $\delta$  is the deflection and  $l$  the free length of the wall tie fixed at both ends. This value, which has been termed " $\sigma_{\text{fictive}}$ ", has been related to the number of flexural movements prior to failure.

The curves in the diagram delineate the range inside which bending failure occurred for material SIS 2343. The lower boundary of this range for all grades tested, with the exception of copper wire, is denoted by the discontinuous line in the diagram.

The investigation has also been augmented by an analysis of the probable movements of the wall ties, as regards magnitude, nature and quantity.

The results of the investigation may be summarised as follows:

A. As regards the danger of fatigue due to movements of the wall ties, which are of a plastic nature and are mainly caused by changes in temperature, the maximum diurnal variation is of greater interest than the large annual movements.

B. The maximum diurnal variation may be considered to be due to a difference in temperature of about 30°C. Taking a coefficient of expansion for brick of

# National Swedish Building Research Summaries

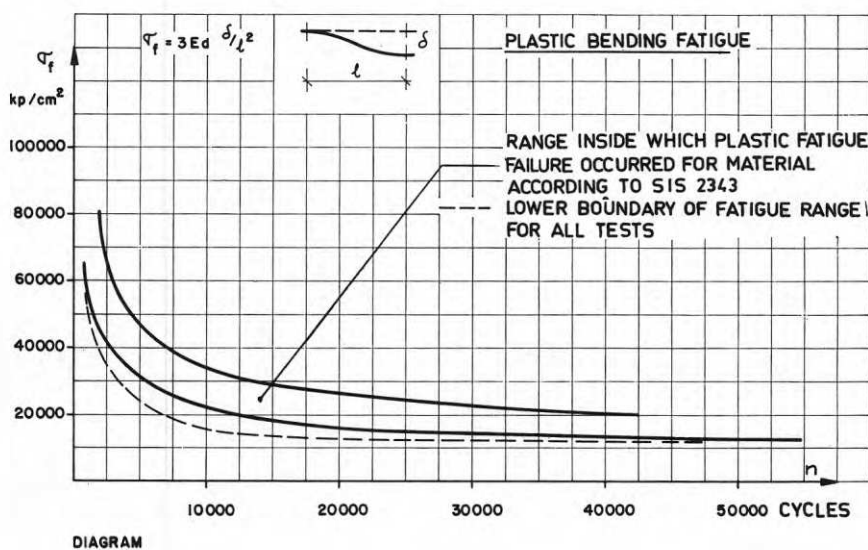
R7:1970

*Wall ties used to anchor half-brick cavity walls may in some cases be subjected to flexural deformation resulting in stresses in excess of the yield strength of the material.*

*This report gives an account of tests on wall ties of different steel grades, with the emphasis on SIS 2343.*

*The fictive stress at bending failure is shown in the diagram for different steel grades as a function of the number of flexural movements. The report also includes an analysis of the probable movements of the wall ties in the practical case.*

*Simple design recommendations are given for the arrangement of wall ties by means of a summary concentrated in six points and a diagram. There are also some examples showing the application of the method.*



UDC 69.022.324  
693.2  
691.88

Summary of:

*Bergquist, L, 1970, Rörelser i ytterväggar med ½-stens skalmur. Del 1. Undersökning av murkramlor |Movements in external walls with a half-brick outer leaf. Pt. Investigation of wall ties| (Statens institut för byggnadsforskning) Stockholm. Rapport R7:1970, 44 p., ill. 10 Sw. kr.*

Distribution: Svensk Byggtjänst, Box 1403, S-111 84 Stockholm, Sweden.

$\alpha = 6 \cdot 10^{-6}$ , a figure which in practice probably includes a certain margin of safety, and with regard to the fact that deformation of the wall ties is caused by both vertical and horizontal wall movements, the maximum daily movement of the wall tie in the most unfavourable position may be estimated as

$$\delta_t = 30 \cdot 6 \cdot 10^{-6} \cdot h \cdot 10^8 \cdot \sqrt{2} \text{ mm}$$

where  $h$  is the height of the building in metres. For cavity walls of sandlime brick, the coefficient of expansion is to be corrected upwards, most conveniently in accordance with the recommendations of the National Board of Urban Planning.

C. If a wall tie movement corresponding to 50 % of the maximum daily movement is considered to be of significance from the point of view of fatigue, then we can work on the basis of about 30 movements per year. If this figure is taken as 25 %, then the number of movements will be about 80 annually.

The total number of movements, taking the life of a building as 100 years, will thus be 3000 and 8000 respectively.

D. The number of movements calculated on the basis of the 25 % value is obviously based on a mean movement which is considerably smaller than the tested (= maximum) movement. In view of this and of the possible safety margin as per B, it is considered sufficient to make the factor of safety equal to 2, i.e.  $n = 2 \cdot 8000 = 16,000$  cycles. E. On the basis of the maximum daily variation  $\delta_t$  in accordance with B and the number of cycles in accordance with D, it will then be possible to decide whether the value of

$$\sigma_{\text{fictive}} = 3 E d^3 / l^3$$

entails any risk of fatigue failure. This is carried out with the aid of diagrams. (The report contains some examples of the application of this procedure).

F. A number of reasons point to the choice of the stainless steel grade SIS 2343 (or the very nearly equivalent SIS

2347) as the best material. In view of the test results, the dimension chosen should be  $\varnothing 3$  mm in preference to  $\varnothing 4$  mm. From the point of view of fatigue, it does not make much difference whether the material is cold-drawn or annealed, and for this reason the material most suitable from the practical point of view, i.e. usually the annealed material, can be selected. No appreciable deterioration in any of the properties of the stainless material can be observed when the temperature is lowered to the minimum temperature of about  $-20^\circ$  to  $-30^\circ\text{C}$  which is applicable to wall ties, whether the material is cold-drawn or annealed.

Paragraphs A—D obviously contain a number of assumptions and estimates. Particularly in connection with the safety factor, there may be several different views on this matter. For this reason, the diagram includes curves that cover the actual ultimate strengths, i.e. the "true strengths". This leaves room for an interpretation of the figures different from the above.

Rapport R7:1970

RÖRELSER I YTTERVÄGGAR MED 1/2-STENS SKALMUR

Del 1. Undersökning av murkramlor

MOVEMENTS IN EXTERNAL WALLS WITH A HALF-BRICK OUTER LEAF

Part 1. Investigation of wall ties

av civilingenjör Leif Bergquist

lektor vid Blombackagymnasiet i Södertälje



## INNEHÅLL

1	INLEDNING . . . . .	5
2	GÄLLANDE NORMER . . . . .	7
2.1	Planverkets anvisningar i sammandrag . . . . .	7
2.2	Synpunkter på anvisningarna . . . . .	8
2.3	Olika metoder att tillgodose normernas krav . . . . .	9
3	PROVNINGSFÖRUTSÄTTNINGAR . . . . .	11
3.1	Uppskattning av lämplig rörelse vid provningen . . . . .	11
3.2	Uppträdande böjpåkänning i murkramlorna . . . . .	12
3.3	Uppskattning av erforderligt antal böjningsperioder . . . . .	13
4	PROVNINGSUTRUSTNING . . . . .	14
5	FÖRSÖKSMATERIAL . . . . .	16
5.1	Provade materialkvaliteter och dimensioner . . . . .	16
5.2	Analyser . . . . .	17
6	PROVNINGSRESULTAT . . . . .	18
6.1	Tabeller och diagram . . . . .	18
6.2	Utvärdering . . . . .	18
7	NÄRMARE STUDIUM AV MURKRAMLORNAS RÖRELSER . . . . .	21
7.1	Antal rörelser i praktiken . . . . .	21
7.2	Böjningsrörelsens karaktär . . . . .	21
7.3	Rörelsens riktning och storlek . . . . .	22
7.4	Säkerhetsfaktorer . . . . .	23
8	TILLÄMPNINGSEXEMPEL . . . . .	24
9	SYNPUNKTER PÅ LÄMPLIGT MATERIALVAL . . . . .	26
10	SLUTSATSER I SAMMANDRAG . . . . .	27
11	LITTERATUR . . . . .	29
	PROVNINGSPROTOKOLL . . . . .	30
	DIAGRAM . . . . .	36





## 1 INLEDNING

Under senare tid har en diskussion förts angående risken för utmattningsbrott i murkramlor på grund av upprepade temperaturrelser i skalmurar av tegel eller kalksandsten. Statens planverk har i ett tillägg till Svensk Byggnorm /1/, dels lämnat underlag för uppskattning av förekommande väggrörelser, dels givit anvisningar om materialval för murkramlor och dessas konstruktiva utformning.

Den aktuella bestämmelsen /1/, med giltighet från den 1 juli 1968, medför att den mycket vanligt förekommande metoden att bekläda ytterväggar med 1/2-stens skalmur av tegel eller kalksandsten kompliceras avsevärt. Vid strikt tillämpning av bestämmelsen är det endast i undantagsfall möjligt att klara en trevåningsbyggnad med traditionellt förankrad skalmur.

Mycket tyder på att ovan nämnda tilläggsnorm bygger på alltför ofördelaktiga förutsättningar, bl.a. beträffande metallkramlors möjligheter att motstå upprepade rörelser med plastisk formändring. Detta har säkerligen sin enkla förklaring i att uppgifter om dylik "plastisk utmattning" ej finns att tillgå.<sup>1</sup> På grund av den aktuella väggkonstruktionens relativt blygsamma ålder, ca 15 år, finns givetvis möjligheten att icke önskvärda långtidsfenomen, såsom utmattning, kan göra sig gällande i sinom tid. Detta resonemang kan även ha bidragit till Planverkets försiktiga linje. I publikationen från Statens planverk efterlyses forskning i hörande frågor, såsom rörelser av fukthaltsändringar och kramlors inspänningsförhållanden. Den föreliggande undersökningen tillika med en planerad fortsättning är avsedda att ligga i linje med dessa önskemål.

Under remisstiden för de nya bestämmelserna utförde författaren på initiativ från civilingenjör Backmark, HSBs Riksförbund, en begränsad undersökning av några vanligt förekommande fasta kramlor beträffande dessas förmåga att motstå upprepade böjningsrelser av realistisk storlek. Resultatet kunde dock inte presenteras i tillräcklig tid för att kunna påverka planverksnormens utgivning. Till stor del tack vare det intresse direktör Elgenstierna, Tegelinindustrins Centralkontor AB, visade för undersökningen startades den mer omfattande försöksserie, som nedan redovisas.

---

<sup>1</sup> Den enda litteraturuppgift författaren känner till angående plastisk utmattning är Östberg m.fl.: Studies on Canning Materials for the Marviken Superheater Fuel Elements /8/.

Arbetet har utförts på byggnadstekniska institutionen vid Blombackagymnasiet i Södertälje, där institutionstekniker Per Andersson utfört erforderliga försöksanordningar och ävenledes haft hand om en stor del av provningsarbetet. Dragprovning av försöksmaterialet för kontroll av sträckgränser m.m. har utförts på Siporex Centrallaboratorium i Södertälje, där erforderlig utrustning välvilligt ställts till förfogande.

Försöksmaterialet har ställts till förfogande av AB Fosforos, Huddinge; BPA, Stockholm och Fagersta Bruks AB, Fagersta. Representanter för sistnämnda företag har också lämnat värdefulla synpunkter i samband med detta arbete.

I denna rapport har bibehållits det hittills inom byggnadsfacket tillämpade s.k. tekniska systemet för enheter. I Byggforskningens informationsblad 20:1965 redogörs för det nya internationella enhetssystemet - SI - inom byggnadstekniken. Fullständiga uppgifter om SI-systemet finns i SIS 01 61 21 och om omvandlingsfaktorer i SIS 01 62 11.

### 2.1 Planverkets anvisningar i sammandrag

I inledningen till anvisningarna anges att dessa föranletts av några icke närmare beskrivna fall av skador, som har uppkommit på byggnader med fasad av 1/2-stens skalmur. Vid undersökningar har det konstaterats brister i såväl den konstruktiva utformningen som det arbetstekniska utförandet.

Man redogör för de olika typer av rörelser, som kan förväntas mellan skalmur och bärande stomme, och man nämner vidare i det allmänna avsnittet två andra huvudfrågor i sammanhanget, nämligen fördelningen av uppträdande vindkrafter och korrosionsförhållandena.

Rörelsedifferenser mellan ytterskal och stomme på grund av elastisk deformation vid lastpåföring, krypning och krympning kan vid stomme av betong eller gasbetong bli av sådan storleksordning, att den måste beaktas. Vid bärande stomme av tegelmurverk uppstår normalt inte denna olägenhet.

De rörelser, som uppstår på grund av fuktvariationer i skalmuren, är relativt okända men antas ligga på en försumbar nivå. Däremot anses temperaturvariationerna ha en dominerande inverkan på skalmurens rörelser. Man har i anvisningarna stannat för temperaturutvidgningskoefficienten  $\alpha = 6 \cdot 10^{-6}$  per °C, maximala temperaturen +45°C i solbelyst murverk och en minimitemperatur, som varierar med det geografiska läget. Detta beräknas ge en rörelseskillnad mellan stomme och ytterskal på upp till 0,3 - 0,4 mm per m.

Större delen av publikationen ägnas åt förankringarnas utförande. Vad materialval beträffar anses rostfritt stål vara lämpligast. Förzinkad ståltråd anses olämplig, bl.a. med hänsyn till risken för skador på zinkskiktet vid infästningen. Svårigheten att få garanti för att zinkskiktet har erforderlig tjocklek anges också bland nackdelarna.

För att kunna överföra horisontalkrafterna, dvs. huvudsakligen vindkrafterna, mellan skalmur och stomme går det inte att förlita sig på vidhäftning mellan kramla och omgivande material. Kramlan måste bockas eller utformas på annat sätt så att förankringen garanteras.

Planverket ger följande citerade anvisning angående förankringens utformning: "Vid förankring av skalmur i bärande stomme, t.ex. med kramlor, måste man tillse att uppträdande rörelser inte förorsakar permanenta deformationer i kramlorna eller sådana påkänningsändringar att risk för utmattning föreligger. Dessa krav kan tillgodoses antingen genom att man tillser att rörelserna blir så små att kritiska påkänningar inte uppträder eller genom att konstruktionen utförs så att det inte uppstår några påkänningar vid rörelseskillnader mellan ytterskal och bärande stomme."

Vid användning av den enkla, hittills förekommande kramlan uppstår böjpåkänningar av väggrörelserna. Med hänsyn till utmattningsrisken vid upprepade rörelser anges kramlans tillåtna kantpåkänning till  $0,5\sigma_{0,2}$ . För rekommenderade stålqualiteter finns därvid upptaget materialens  $\sigma_{0,2}$ -värden, dvs. värden motsvarande sträckgränsen.

Anvisningarna avslutas med ett exempel, som visar att en tre våningar hög byggnad (max. 10 m) kan utföras med skalmurar, förankrade med icke ledade kramlor och uppförda obrutna förbi bjälklagen. Men detta kan endast ske om tegelväggen har ett avstånd från stommen (normalt isoleringstjockleken) av minst 100 mm och om kramlan utförs av rostfri tråd  $\emptyset$  3 mm med kvalitetskrav motsvarande SIS 2343-04 med  $\sigma_{0,2} = 8\ 000$  kp/cm<sup>2</sup>. I horisontell riktning har det maximala avståndet mellan rörelsefogar satts till 15 m.

Man ger också anvisningar om lämplig förankringsplacering och anger att kramlorna bör placeras tätare vid skalmurens kanter, vägghörn och eljest där koncentrerade vindsugkrafter kan förekomma. Medelbehovet anges till minst fyra kramlor per m<sup>2</sup>.

## 2.2 Synpunkter på anvisningarna

Murkramlor har normalt utförts av förzinkad ståltråd, koppar eller rostfri tråd med en diameter varierande mellan 3 och 6 mm. Antalet fall av fasadskador på dylika väggar är så långt man kunnat utröna mycket få. Säkerligen är det befogat att rikta uppmärksamheten på hithörande problem, men frågan är om hittills iakttagna skador kan anses bero på olämpliga konstruktiva åtgärder. Troligare orsaker kan vara slarvigt eller felaktigt utförande eller t.o.m. bortglömda förankringar.

En övergång till korrosionssäkrare kvaliteter i enlighet med Planverkets anvisningar får anses vara en riktig åtgärd. Den tidigare mycket utnyttjade förzinkade kramlan kan möjligen inge

vissa farhågor. En ännu ej publicerad uppgift från Norge tyder på erfarenheter i den riktningen. Däremot är det inte lika lätt att acceptera anvisningarna beträffande uppträdande rörelser och därmed sammanhängande begränsning av väggytorna och risk för kramlornas bestånd. Det har tidigare normalt räknats med en temperaturutvidgningskoefficient  $\alpha = 5 \cdot 10^{-6}$  för tegelmurverk, dvs. ett något lägre värde än vad Planverket anger. (Jämför Nevander /2/.) Men det skall också för rättvisans skull nämnas att vid kontroll av några utländska bestämmelser värdena varierar mellan 5 och  $10 \cdot 10^{-6}$  per  $^{\circ}\text{C}$ . Intressantare är dock att de mätresultat som finns redovisade från färdiga byggnader av aktuellt slag tyder på lägre värden. Bland annat finns mätningar från våren och sommaren 1968 på ett tiovåningshus i Norge, som uppvisar värden på ca  $3 \cdot 10^{-6}$  per  $^{\circ}\text{C}$ . Säkerligen uppträder för den fria rörelsen hämmande effekter, såsom friktion mellan tegelskalet och bakomvarande isolerade bjälklagskanter, böjmotstånd i kramlor etc., varför de teoretiska värdena kan anses ligga i överkant.

Det exempel, som anvisningarna tar fram, visar på en lösning, som normalt bara blir aktuell i gavelväggar. För långfasader blir det naturligt att ha väsentligt mindre avstånd mellan skalmur och stomme än det diskuterade måttet 100 mm. Vid bjälklagskanter och väggändar blir avståndet normalt 30 - 70 mm. Eftersom exemplet redan vid trevåningsbyggnader och murkramlornas fria längd 100 mm fordrar en av marknadens högsta stålqualiteter för praktiskt bruk, så innebär detta att gränsen redan nåtts för användning av den traditionella, fasta kramlan.

### 2.3 Olika metoder att tillgodose normernas krav

I princip kan då tre metoder bli aktuella för att tillfredsställa uppställda krav:

1. Ökning av kramlornas "fria" längd.
2. Utförande med rörliga förankringar.
3. Uppdelning i mindre väggpartier med rörelsefogar.

I ett par tidskriftsartiklar, /3/, /4/, redovisar författaren några lösningar till metoderna 1 och 2. Med metod 3 följer problemet med avlastning av skalmuren vid horisontella rörelsefogar. Det kan därvid bli aktuellt att avlasta i exempelvis varje eller vartannat våningsbjälklag. I skriften Tegelkonstruktioner /5/, har författaren sammanställt några lösningar på avlastningsproblemet.

Man kan ställa sig frågan om dessa beskrivna åtgärder är befogade vid så rimliga hushöjder som 3-4 våningar. Författaren har tillåtit sig ifrågasätta om anvisningarnas tillåtna böjspänning för murkramlorna om  $0,5 \sigma_{0,2}$  är ett rimligt värde med hänsyn till

uppträdande väggrörelsens frekvens och karaktär. Endast ett realistiskt genomfört utmattningsprov bedömdes kunna ge svar på den frågan. Vidare ansåg författaren det vara av intresse att undersöka hur de aktuella frågorna behandlas i andra länders bestämmelser eller praxis.

## 3.1 Uppskattning av lämplig rörelse vid provningen

För att få lämpliga kombinationer mellan amplitud och fri längd hos provkramlorna valdes följande utgångsvärden:

Enligt SBN-24:4122 antogs en vertikal rörelse hos skalmuren motsvarande  $\pm 45^{\circ}\text{C}$ , och utvidningskoefficienten antogs till  $5 \cdot 10^{-6}$  för tegel i likhet med vad som tidigare varit praxis. För en trevånings tegelmur (ca 10 m) innebär detta en rörelse  $\delta_t = \pm 45 \cdot 5 \cdot 10^{-6} \cdot 10 \cdot 10^3 \text{ mm} = \pm 2,25 \text{ mm}$  från ett neutralt utgångsläge.

Murverkets vertikala rörelse relativt stommen på grund av belastning och krympning kan i ogynnsammaste fall beskrivas som stommens rörelse relativt ett orörligt tegelskal.

$\epsilon$  krympning =  $0,15 \text{ }^{\circ}/\text{oo}$  för normal betongstomme.

$\epsilon$  belastning =  $\frac{\sigma}{E} = \frac{5}{10^5} = 5 \cdot 10^{-5}$  för relativt stor

vägglast i trevåningshus (medel).

(Vägglast vid grunden ca 15 t/m utslagen på 150 mm betongvägg motsvarar ca 10 kp/cm<sup>2</sup>, dvs. medelspänning ca 5 kp/cm<sup>2</sup>.)

$$\delta_o = \delta_{\text{krymp}} + \delta_{\text{belastn}} = (0,15 \cdot 10^{-3} + 5 \cdot 10^{-5}) 10^4 = 2,0 \text{ mm}$$

$$\text{Maximal utböjning } \delta_o + \delta_t = 2,0 + 2,25 = 4,25 \text{ mm}$$

$$\text{Minimal utböjning } \delta_o - \delta_t = 2,0 - 2,25 = 0 \text{ mm}$$

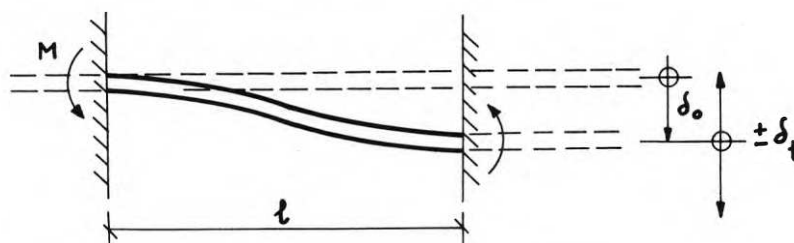


FIG. 1

Ovanstående teoretiska spekulation bygger givetvis på mycket idealiserade förhållanden, men då det måste hör till undantagen att en kramla kan muras in rak och sedan få utböjningsrörelser symmetriskt kring detta neutrala utgångsläge, har ändå ovanstående kalkyl fått bilda underlag. Vid de fortsatta provningarna har sålunda alltid kramlan från början fått vara rak och sedan givits en maximal amplitud åt ena hållet.



Kramlans fria längd har som utgångsvärde valts till  $l = 100$  mm, vilket får anses vara ett vanligt förekommande värde vid s.k. kanalväggar av tegel + isolering + tegel och ett maximalt förekommande värde vid gavelväggar av tegel + isolering + betong i exempelvis bostadshus.

### 3.2 Uppträdande böjpkänning i murkramlorna

Så länge utböjningsrörelsen är så liten att endast elastiska rörelser uppträder gäller uppenbarligen för den i båda ändar inspända kramlan

$$M_{\max} = \frac{6 EI}{l^2} \cdot \delta$$

Den därvid uppträdande böjspänningen i kramlan blir då

$$\sigma_{\max} = \frac{M}{I} \cdot e_{\max} = \frac{6 EI \delta}{l^2 I} \cdot \frac{d}{2} = \frac{3 E d \delta}{l^2}$$

För att ge en uppfattning om storleksordningen av böjspänningen väljs exempelvis en kramla av stål  $\varnothing 3$  mm och tidigare angivna värden för  $\delta$  och  $l$ . Därvid erhålls

$$\sigma_{\max} = \frac{3 \cdot 2,0 \cdot 10^6}{10^2} \cdot \frac{0,425}{2} \cdot 0,3 = \text{ca } 8\,000 \text{ kp/cm}^2$$

För de flesta stålqualiteter är detta ett värde över sträckgränsen (eller 0,2-gränsen). Eftersom provningarna i huvudsak inriktats på ändå ogynnsammare förhållanden mellan  $\delta$ ,  $l$  och  $d$ , så innebär detta att undersökningen gällt vad man skulle kunna rubricera som "plastisk utmattning".

Vid en böjningsrörelse utöver den som ger sträckgränsvärden erhålls ju ingen nämnvärd spänningsökning. Därmed är givetvis ovanstående spänningsuttryck inte giltigt för det plastiska området.

En okulär besiktning av kramlorna under böjprovet visar att dessa antar en till synes elastisk utböjningsform vid lägre värden på  $\delta/l$  medan vid högre värden på detta förhållande kramlorna får en mer koncentrerad böjning vid inspänningsställena och därmed en mer eller mindre rak form. Jämför FIG. 2 och 3.

Det skulle kunna finnas anledning förmoda att utmattningsrisken skulle stå i tydligare relation till förhållandet  $\delta/l$  än till förhållandet  $\delta/l^2$ , som ingår i spänningsuttrycket. Diagram 10 visar dock att utmattningsbrottet bättre följer det senare uttrycket. Av bl.a. den orsaken har spänningsuttrycket ovan bibehållits vid redovisningen och kallas därvid

$$\sigma_f = \sigma_{\text{fiktiv}} = 3 E d \frac{\delta}{l^2}$$

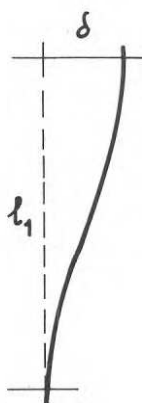


FIG. 2

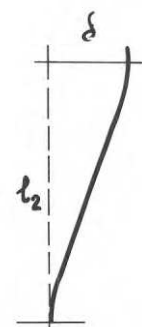


FIG. 3

### 3.3 Uppskattning av erforderligt antal böjningsperioder

De i murkramlorna i det praktiska fallet uppträdande rörelseamplituderna, som huvudsakligen får anses vara beroende av yttre-temperaturens dygnsväxlingar, kommer att variera i hög grad. I avsnitt 3.1 förutsätts utsvängningar inom det stora temperaturspannet  $\pm 45^{\circ}\text{C}$ . Sådana rörelser får närmast betraktas som "årsrörelser".

Med en antagen livslängd om 100 år för en byggnad kan denna maximalt bli utsatt för 36 500 dygnsväxlingar i temperaturen och därmed lika många hela böjningsperioder för kramlornas vidkommande. Av dessa dygnsvariationer kan rimligtvis endast en mindre del mäta sig med de i provningarna förutsatta "årsrörelserna".

Den från normala utmattningsprov helt avvikande karaktären beträffande antalet spänningsväxlar bör observeras.

Böjprovningen utfördes genom att kramlorna spändes in i den fasta respektive den rörliga delen av en äldre kipphyvel, märke Prema. Inspänningen i den fasta delen kunde ske i arbetsbordets skruvstycke. I den övre, rörliga delen, måste emellertid inspänningen arrangeras så att den erforderliga längdändringen av kramlan kunde tas upp genom glidning. Kravet på god inspänning och samtidigt möjlighet till glidning ledde sannolikt till att en icke helt försumbar tryck- och dragspänning kom att uppträda i förening med böjspänningen. Om man så önskar kan man dock dra vissa paralleller med de av vindkrafter förorsakade normalspänningarna, som uppträder i det praktiska fallet.

Ett annat icke önskvärt förhållande, som möjligen kan ge upphov till vissa fel i resultatet, var att kipphyvelns minsta slaglängd var 11,5 mm mot önskvärda 4-5 mm. Av den orsaken måste andra fria längder på provkramlorna än  $l = 100$  mm och mindre väljas för att man skulle kunna hålla  $\sigma_{\text{fiktiv}}$  på avsedd nivå.

Provningsanordningen kördes med en hastighet av 48 perioder per minut. Den låga frekvensen förde visserligen med sig att utmattningsproven blev mycket tidskrävande, men å andra sidan var det önskvärt att ha så låg hastighet att den plastiska böjningsrörelsen inte medförde någon besvärande temperaturstegring hos provmaterialet. Under provningen kunde inte heller ens omedelbart före brottillfället någon temperaturhöjning märkas.

För att om möjligt få en bild av den inverkan en realistisk temperatursänkning kan innebära på materialens plastiska utmattningsegenskaper utfördes några provserier med kramlornas nedre inspänningsområde inneslutet i en köldbö. Lådan, som utfördes av 30 mm cellplast, gavs en form som anslöt på bästa sätt till kipphyvelns fasta del. Med hjälp av kolsyresnö kunde sedan lufttemperaturen hållas vid ca  $-20^{\circ}\text{C}$  och vid något tillfälle så lågt som  $-27^{\circ}\text{C}$ . Godset och därmed kramlan kan förmodas ha hållit ändå lägre temperatur.

För undersökning och i vissa fall kontroll av provmaterialets sträck- och brottgränsvärden utfördes provdragning. Provdra-  
ningsmaskinen var därvid ansluten till skrivare, varför även brotttöjningsegenskaper m.m. har registrerats.

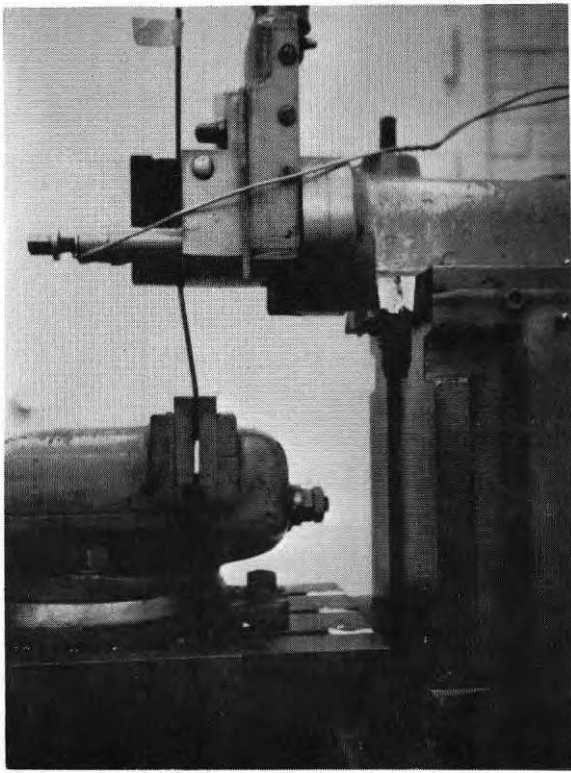


FIG. 4

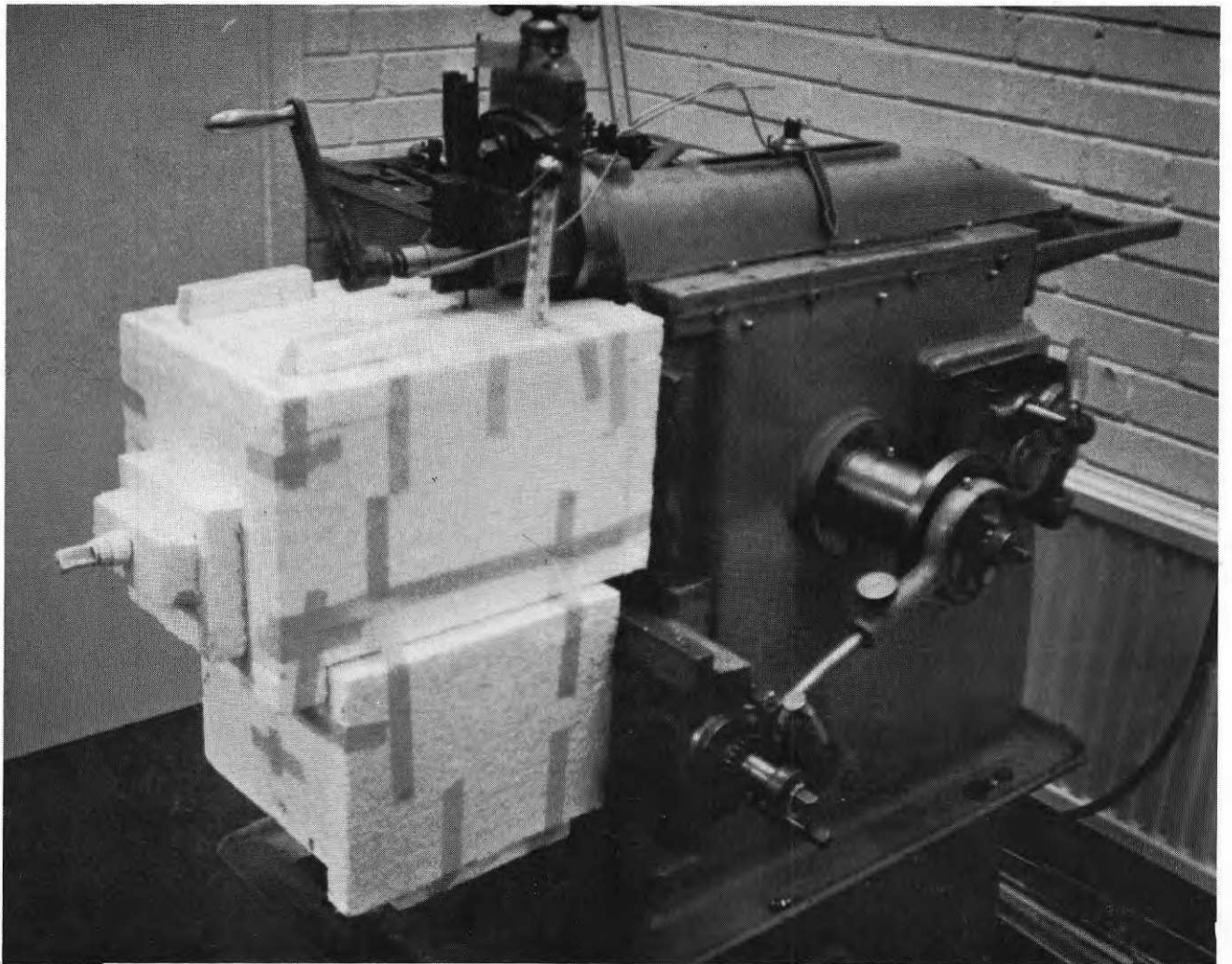


FIG. 5

5.1 Provade materialkvaliteter och dimensioner

Med hänsyn till den troliga utvecklingen inriktades provningarna så gott som helt på rostfritt material med diameter 3 och 4 mm. Några enstaka prov med annat material ingår i försöken. I de flesta fall har tråden levererats under viss SIS-beteckning, i andra fall har materialet analyserats, och slutligen i ett par fall har materialet förutom SIS-beteckningen en fullständig och verifierande analys.

Följande material har behandlats:

Prov- beteckn.	Materials lag eller närmaste SIS-beteckning	Dimension Ø mm	$\sigma_{0,2}$ kp/cm <sup>2</sup>	$\sigma_B$ kp/cm <sup>2</sup>	Leverantör eller tillverkare
A	SIS 2330	3	4 000	7 000	AB Fosforos, Huddinge
B	SIS 2330	3	4 200	7 300	Fagersta Bruks AB
C	SIS 2331	4	15 000	16 600	SYA, Mjölby
D	SIS 2330	4	3 500	6 900	AB Fosforos, Huddinge
E	SIS 2343	4	3 800	6 900	AB Fosforos, Huddinge
F	SIS 2343	4	8 000	8 500	Fagersta Bruks AB
G	SIS 2343	4	5 400	7 300	BPA, engelsk tillv.
H	SIS 2343	5	11 200	12 000	BPA, engelsk tillv.
I	SIS 2343	3	8 600	9 600	Fagersta Bruks AB
J	SIS 2343	3	3 100	6 100	Fagersta Bruks AB
K	SIS 2343	4	7 500	8 300	Fagersta Bruks AB
L	SIS 2343	4	3 200	6 200	Fagersta Bruks AB
M	Rostfri	2	8 900	10 800	Fagersta Bruks AB
N	Förzinkad	4		6 900	
O	Förzinkad	6	3 400	4 000	Byggnadsf:a A. Diös
P	Koppar	4		2 500	

## 5.2 Analyser

Material B

0,11 C	0,010 S
0,50 Si	14,9 Cr
1,23 Mn	8,6 Ni
0,014 P	0,10 Mo

Bedömning: SIS 2330 (skulle hållit 18 % Cr)

Material F

0,05 C	0,08 S
0,35 Si	14,8 Cr
1,45 Mn	12,4 Ni
0,008 P	2,48 Mo

Bedömning: SIS 2343 (skulle hållit 17 % Cr)

Material G och H

0,06 C	0,020 S
0,35 Si	17,0 Cr
1,4 Mn	11,6 Ni
0,023 P	2,81 Mo

Bedömning: SIS 2343

Material N

0,03 C	0,010 S
0,41 Mn	0,02 Cr
0,026 P	0,03 Ni

Material P

99,9	Cu
0	Zn
0	P

6.1 Tabeller och diagram

Protokoll över utförda utmattnings- och dragprov framgår av blad 1-6. I diagrammen 1-6 har utmattningsproven redovisats i grafisk form. Därvid har större vikt lagts vid att kunna jämföra olika materials beteende än att redovisa varje material för sig.

Resultatet av proven med sänkt temperatur har redovisats på något avvikande sätt (diagram 7), eftersom dessa prov körts med konstant fri längd och amplitud.

6.2 Utvärdering

Inledningsvis bör nämnas något om den arbetshypotes som legat som underlag vid utvärderingen.

Eftersom  $\sigma_{\text{fiktiv}} = 3 E d \delta / l^2$  genom sin uppbyggnad visserligen inte ger uttryck för uppträdande böjspänning vid plastisk deformation men väl ger ett värde proportionellt mot böjdeformationen för provmaterialets "yttersta fibrer", så ligger det nära till hands att anta att  $\sigma_{\text{fiktiv}}$  ( $\sigma_f$ ) som funktion av antalet böjperioder till brott skulle samla sig till en relativt enhetlig kurva oberoende av dimensionen hos provbitarna. Åtminstone skulle detta kunna vara fallet för ett och samma material.

Denna hypotes kan inte anses vara klart bekräftad genom föreliggande provningsresultat. Diagram 1 visar på att en klenare dimension tycks klara högre värden på  $\sigma_f$  för ett visst antal böjningar. Andra kurvor, såsom i diagram 2, tyder på ett motsatt förhållande. Där ligger nämligen kurvan för  $\varnothing 5$  mm högre än den för  $\varnothing 4$  mm. I det senare fallet skiljer sig dock materialens sträckgränser väsentligt.

Sammanställning av proven I, F och H med dimensionerna  $\varnothing 3$ ,  $\varnothing 4$  respektive  $\varnothing 5$  mm, material SIS 2343 och med  $\sigma_{0,2}$  varierande mellan 8 000 och 11 000 kp/cm<sup>2</sup> visar att dessa samlar sig relativt väl. Denna ganska enhetliga grupp skulle således tyda på att arbetshypotesen kan vara ganska riktig. Vidare slutsatser skall inte dras av detta.

Flera diagram (jämför diagram 1 och 5) tyder på att höga sträckgränsvärden har en gynnsam effekt på utmattningsegenskaperna. Dock förefaller det med hänsyn till resultaten som om brottsträckspän-

ningen  $\sigma_B$  är av en mer avgörande betydelse. Jämför även senare diskussion angående förhållandet mellan  $\sigma_f$  och sträckgränsen respektive brottgränsen.

Diagram 3 visar en sammanställning av tre prover med samma materialkvalitet och dimension, men med varierande sträckgräns. Brottgränsen för de olika proverna varierar dock bara mellan 6 900 och 8 500 kp/cm<sup>2</sup>. Den väl samlade serien ger inget belägg för sträckgränsens inverkan, utan det enhetliga resultatet tyder fast mer på brottgränsens avgörande betydelse.

Provningarna har som synes i ganska stor utsträckning koncentrerats till material SIS 2343, men de fåtaliga provserier som utförts med andra rostfria kvaliteter tyder på att materialvalet inte är likgiltigt. Material SIS 2330 har sålunda, trots samma eller i något fall högre sträck- och brottgränsvärden, visat sämre egenskaper beträffande plastisk utmattningsbrott. (Jämför diagram 4 och 5.) Denna erfarenhet är kanske något oväntad med hänsyn till att förekommande datablad för dessa båda kvaliteter visar så gott som samma grundegenskaper, såsom brottöjning, kontraktion och hårdhet.

På grundval av gjorda iakttagelser har i diagram 6 resultaten sammanförts i ett diagram, som dels visar det område inom vilket samtliga prov med material SIS 2343 hamnar vid plastiskt böjutmattningsbrott, dels visar undre gränsen för samtliga undersökta provmaterial med undantag för provet med koppartråd (prov P).

Undersökningen av temperaturinverkan, som utfördes med exakt samma material i dels kallsträckt, dels glödgat skick, innehåller inte tillräckligt många prov för att man skall kunna dra några långtgående slutsatser. Spridningen i resultaten har varit ganska stor och påtagligt störst i de prov som företagits vid rumstemperatur. Medelvärde för antalet böjningsperioder till brott vid konstanta värden på fria längden och böjampplituden visar något lägre värden vid de nedkylda proven. Med hänsyn till provens antal kan man dock inte fastslå att skillnaden är signifikativ.

En jämförelse kan här göras med uppgifter, som bl.a. finns att hämta ur Odqvist /7/, angående låga temperaturers inverkan på sträck- och brottgräns för Cr-Ni-Mo-stål. Dessa storheter uppvisar nämligen ca 2 % högre värden vid -21°C än vid rumstemperatur. Detta talar alltså inte emot den gjorda erfarenheten att temperaturen är av underordnad betydelse för den plastiska utmattningen, åtminstone inom det aktuella temperaturområdet.



Som tidigare påpekats i sammanfattningen av Planverkets anvisningar har tillåten böjpkänning i inspända murkramlor begränsats till  $0,5 \cdot \sigma_{0,2}$ . I dylika murkramlor är givetvis deformationen som sådan av underordnad betydelse såvida den inte leder till brott vid upprepade böjning. I samband med detta kan man då ställa sig frågan om utmattningen överhuvud kan ställas i relation till sträckgränsvärdet. För den skull har i samband med utvärderingen av provningsmaterialet  $\sigma_{\text{fiktiv}}$ , som uppenbarligen har ett direkt samband med utmattningsrisken, satts i relation till  $\sigma_{0,2}$  i samtliga genomförda prov. I diagram 8 redovisas två material, som uppvisar stora olikheter i denna relation. De övriga provade materialen ger i huvudsak kurvor mellan de inritade. Vid exempelvis 35 000 böjperioder kan man då utläsa att säkerhetsfaktorn är ca 4 gånger så stor för en kramla av mjukglödgat som för en av kallsträckt material, om sträckgränsen i båda fallen lagts till grund för dimensioneringen.

På samma sätt har då även relationen mellan  $\sigma_{\text{fiktiv}}$  och  $\sigma_B$  ritats upp. Diagram 9 visar detta förhållande för samma ytterlighetsmaterial som ovan.

Motsvarande exempel visar fortfarande avsevärda skillnader i säkerhetsfaktor. Klart torde dock framgå att  $\sigma_B$  utgör ett bättre relationstal vid kalkylering av plastisk utmattningsrisk.

### 7.1 Antal rörelser i praktiken

Som tidigare nämnts blir antalet hela böjningsperioder maximalt 36 500 vid en antagen livslängd om 100 år för en byggnad. Dessa kan givetvis inte vara böjningar med maximal amplitud, eftersom detta skulle innebära växlingar mellan högsommartemperatur och lägsta vintertemperatur varje dygn året om.

Som också tidigare nämnts ligger det kanske närmare till hands att betrakta dessa maximala utsvängningar som årsrörelser, dvs. ca 100 till antalet. Däremot må ju utsvängningens extremvärden beröras med dygnsintervaller under kortare tider i samband med begränsade amplituder.

I byggforskningens rapport 45:1968 /6/ redovisas i ett diagram dygnsamplituder av rörelser som kan förmodas vara huvudsakligen temperaturbetingade. Undersökningen, som företogs i Göteborg, redovisar dygnsvariationer under ett helt år. Med ett antaget värde på utvidningskoefficienten om  $12 \cdot 10^{-6}$  för betongen kan man utläsa en maximal variation i dygnsmedeltemperatur om ca  $20^{\circ}\text{C}$ . Vid ett försök att utnyttja nämnda diagram för att få en grov uppfattning om antalet för utmattning betydelsefulla rörelser förutsätts följande:

- a) Det redovisade året är representativt
- b) Den geografiska belägenheten är representativ
- c) En rörelse motsvarande 25 % respektive 50 % av den under året maximalt uppmätta dygnsrörelsen anses betydelsefull från utmattningssynpunkt.

Man utläser då att antalet rörelser enligt alternativ 25 % blir ca 80 stycken per år medan alternativ 50 % ger ca 30 stycken per år.

### 7.2 Böjningsrörelsens karaktär

Tidigare har visats hur man redan vid måttlig hushöjd och måttligt korta kramlor har att räkna med påkänningar över sträckgränsen. Vid högre hus och korta kramlor är det därför rimligt anta att man huvudsakligen har att göra med plastiska böjningsrörelser.

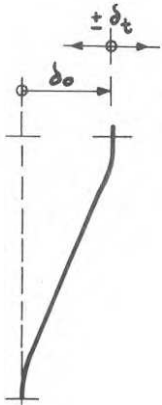


FIG. 6

Figurerna 6 och 7 illustrerar kramlans böjningsrörelser. Sträckan  $\delta_0$  är dels beroende av hur kramlan appliceras vid murverkets uppförande, dels av belastningsdeformationer, dels av det läge medeltemperaturen bestämmer. Med  $\delta_t$  avses den temperaturbetingade dygnsrörelsen, som kan förväntas bestå av en elastisk del och en dominerande plastisk del. Som FIG. 7 visar bör då den första plastiska rörelsen följas av en elastisk återgång till spänningsfri kramla. Därefter vidtar en elastisk spänningsuppbyggnad, följt av en plastisk rörelse osv.

På grund av rörelsens plastiska karaktär kan man förmoda att  $\delta_0$  är av underordnad betydelse, varav i så fall följer att  $\delta_t$  blir avgörande.

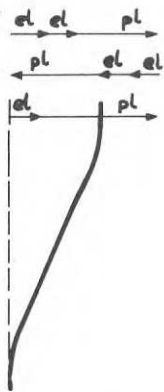


FIG. 7

### 7.3 Rörelsens riktning och storlek

Hittills har endast vertikala väggrörelser diskuterats. Vissa uppgifter tyder på att horisontella temperaturrörelser hos murverk kan bli något större. Detta framskyntar bl.a. i några utländska bestämmelser. Om dock överslagsvis samma utvidningskoefficient och deformationslängd antas både vertikalt och horisontellt för ett väggparti, så skulle den vertikala rörelsen behöva multipliceras med  $\sqrt{2}$  för att ge storleksordningen för den maximala diagonala rörelsen. Detta resonemang har tillämpats i det följande.

Enligt föregående avsnitt är det uppenbarligen angeläget att få fram en någorlunda rättvisande storlek på den dygnsvarierande temperaturrörelsen. I en tidigare relaterad redogörelse angående betongelement kunde man utläsa dygnsvariationen  $\Delta t = 20^{\circ}\text{C}$ . I samma redogörelse /6/ ges en teoretisk metod att kalkylera på samma värde. Genom denna kan man för sommarmånaderna få fram ett för hela landet giltigt värde om ca  $30^{\circ}\text{C}$ .

Enligt /2/ har vid mätningar i Skåne observerats värden  $\Delta t = 20$ - $25^{\circ}\text{C}$  under soligt väder i mars månad, dvs. under en period då solstrålningen faller in relativt vinkelrätt mot väggytan.

Planverkets anvisningar anger temperaturutvidningskoefficienten  $6 \cdot 10^{-6}$  för tegelmurverk. Detta är ett något högre värde än vad som tidigare tillämpats men kan framstå som ett lämpligt medelvärde av vad som i andra länder anses tillämpligt. Dock bör det observeras att praktiska mätningar tyder på lägre värden. Jämför avsnitt 2.2. På grundval av detta förefaller en dygnsvariation i rörelse för den ogynnsammast belägna murkramlan kunna uppskattas till

$$\delta_t = \Delta t \cdot \alpha \cdot h \cdot \sqrt{2} = 30 \cdot 6 \cdot 10^{-6} \cdot h \cdot 10^3 \cdot \sqrt{2} \text{ mm}$$

där h är skalmurens höjd i m.

#### 7.4 Säkerhetsfaktorer

Eftersom kramlornas rörelse i och för sig inte medför någon olägenhet så länge det hållfasthetsmässiga kravet uppehålls, så bör säkerhetsfaktorn kunna hållas på en rimligt låg nivå. Den kalkylerade böjningsrörelsen är ju att betrakta som maximalt uppträdande, vilket då också innebär att utmattningsrisken bedöms med hänsyn till ett värde, som även inbegriper en viss säkerhetsfaktor. Som tidigare påpekats kan ävenledes i själva valet av utvidgningskoefficient ligga en påtaglig säkerhetsfaktor.

En ytterligare säkerhetsfaktor skulle lämpligen kunna läggas på antalet uppträdande böjningsrörelser. Förslagsvis läggs därför en tvåfaldig säkerhet på det tidigare redovisade ogynnsammaste alternativet om 80 rörelser per år, dvs. totalt  $2 \cdot 80 \cdot 100 = 16\ 000$  rörelser för en byggnad med 100 års livslängd.

- A. Byggnad med 4 våningars tegelskalmur (ca 12 m) och maximalt avstånd mellan vertikala rörelsefogar ca 25 m. Kramling med rostfri tråd  $\varnothing$  3 mm SIS 2343. Sök lämplig minsta fri längd för kramlorna vid bjälklagskanter m.m.

$$\delta_t = 30 \cdot 6 \cdot 10^{-6} \cdot 12 \cdot 10^3 \cdot \sqrt{2} = 3,0 \text{ mm}$$

I diagram 6 avläses värdet på den fiktiva brottspänningen för material SIS 2343 och  $n = 16\ 000$  perioder.

$$\sigma_f = 3 E d \frac{\delta}{l^2} = 3 \cdot 2,0 \cdot 10^6 \cdot 0,3 \frac{0,3}{l^2} \leq 17\ 500 \quad l = 55 \text{ mm teor}$$

Med hänsyn till att inspänningen blir mindre fullständig i murverket rekommenderar Planverket

$$l_{\text{teor}} = l_{\text{prakt}} + 10 \text{ mm, dvs. i detta fall } l_{\text{prakt}} = 45 \text{ mm}$$

- B. Med antagande om rörelsedifferenser enligt Planverkets anvisningar erhålls följande lösning av samma problem:

$$\delta = 0,3 \text{ mm/m} \cdot 12 \text{ m} = 3,6 \text{ mm}$$

Antas vidare  $365 \cdot 100 = 36\ 500$  dylika dygnsrörelser, dvs. en stark överdrift, erhålls enligt diagram 6

$$\sigma_f = 3 E d \frac{0,36}{l^2} \leq 14\ 000$$

$$l_{\text{teor}} = 70 \text{ mm och därmed } l_{\text{prakt}} = 60 \text{ mm}$$

Motsvarande problem helt löst efter nu gällande bestämmelser ger följande resultat under förutsättning att kramlorna utförs av rostfritt material med  $\sigma_{0,2} = 8\ 000 \text{ kp/cm}^2$ :

$$\sigma = 3 E d \frac{\delta}{l^2} = 3 \cdot 2,0 \cdot 10^6 \cdot 0,3 \frac{0,36}{l^2} \leq 0,5 \sigma_{0,2} = 4\ 000$$

$$l_{\text{teor}} = 130 \text{ mm och därmed } l_{\text{prakt}} = 120 \text{ mm}$$

C. Byggnad med skalmur av tegel och minsta isoleringstjocklek 100 mm, dvs.  $l_{\text{prakt}} = 100$  mm. Sök maximalt våningsantal om rostfria kramlor  $\varnothing 4$  mm SIS 2343 används.

$$\delta = 30 \cdot 6 \cdot 10^{-6} \cdot h \cdot 10^3 \cdot \sqrt{2} \text{ mm}$$

$$l_{\text{teor}} = 100 + 10 = 110 \text{ mm}$$

$$\sigma_f = 3 E d \frac{\delta}{l^2} = 3 \cdot 2,0 \cdot 10^6 \cdot 0,4 \frac{\delta}{11^2} \leq 17\,500$$

$$8,8 \text{ mm} = 180 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{2} \cdot h$$

$h = \text{ca } 35 \text{ m, dvs. } 10\text{-}12 \text{ våningar}$

Planverket föreskriver i sina anvisningar de rostfria kvaliteterna SIS 2324, 2341 eller 2343. Dessa är samtliga Cr-Ni-Mo-stål. Rimligtvis måste dock stålqualiteter av 18/8-typ utan molybden, såsom SIS 2330, i de flesta fall vara fullt tillfredsställande från korrosionssynpunkt. Eftersom emellertid myndigheterna på vissa orter, bl.a. Stockholm, fordrar s.k. syrafasta kvaliteter för förankring av fasadelement och liknande, må det kanske av praktiska skäl accepteras att kvalitetskravet ligger något i överkant men är lika för hela landet. Materialkostnaden kan väntas ligga ca 20-25 % högre för kramlor med den syrafasta kvaliteten.

Som utvärderingen i avsnitt 6.2 visat tycks det finnas en viss skillnad i utmattningssegenskaperna mellan SIS 2343 och SIS 2330. Jämförelsen utfaller till nackdel för SIS 2330.

Material SIS 2324 skiljer sig från övriga molybdenhaltiga kvaliteter genom vissa grundegenskaper, t.ex. lågt brottöjningsvärde, som kan antas vara mindre gynnsamma med avseende på plastisk utmattningssegenskaperna. Materialet har dock inte ingått i den gjorda undersökningen.

Alla skäl talar för det lämpliga i att föreskriva en bestämd kvalitet för användning till murkramlor. Det naturliga blir då att valet faller på SIS 2343, som tillgodoser högt ställda krav och samtidigt tillhör de mest gångbara kvaliteterna. (Eventuellt finns det möjlighet att föreskriva SIS 2347, en kvalitet med något lägre molybdenhalt än SIS 2343, som blivit standard på den europeiska marknaden. Materialet är under utveckling vid svenska stålverk.)

Som tidigare påpekats kan de plastiska utmattningssegenskaperna svårligen ställas i relation till materialens sträckgränsvärden. Här föreligger således inget uttalat krav på kallsträckt material. Från arbetssynpunkt måste det glödgade materialet vara att föredra och detta kan därmed också få vara utslagsgivande för materialvalet.

Undersökningsresultatet kan sammanfattas i följande punkter:

- A. Med hänsyn till utmattningsrisk på grund av de i huvudsak temperaturbetingade rörelserna av plastisk karaktär hos murkramlor är den maximala dygnsvariationen av större intresse än de stora årsvarierande rörelserna.
- B. Den maximala dygnsvariationen kan anses motsvara temperaturdifferensen ca  $30^{\circ}\text{C}$ . Med en temperaturutvidgningskoefficient för tegel  $6 \cdot 10^{-6}$ , ett värde som sannolikt i det praktiska fallet innefattar en viss säkerhetsmarginal, och med hänsyn till att kramlornas deformation är beroende av både vertikala och horisontella väggrörelser, kan för den ogynnsammast placerade kramlan dess maximala dygnsrörelse uppskattas till
- $$\delta_t = 30 \cdot 6 \cdot 10^{-6} \cdot h \cdot 10^3 \cdot \sqrt{2} \text{ mm}$$
- där  $h$  är byggnadens höjd i meter. För skalmurar av kalksandsten får temperaturutvidgningskoefficienten korrigeras uppåt.
- C. Om en rörelse i kramlan motsvarande 50 % av maximal dygnsrörelse anses vara av betydelse från utmattningssynpunkt, så kan man räkna med ca 30 stycken rörelser per år. Om procenttalet hålls vid 25 % kan ca 80 stycken rörelser per år påräknas. Med 100 års livslängd för en byggnad erhålls således totalt ca 3 000 respektive 8 000 rörelser.
- D. Det kalkylerade antalet rörelser som förutsätts i 25 %-fallet bygger uppenbarligen på en medelrörelse som avsevärt understiger provad (= maximal) rörelse. Med hänsyn till detta och till eventuell säkerhetsmarginal enligt punkt B bedöms det som tillräckligt att lägga dubbel säkerhet på antalet böjningsrörelser, dvs.  $n = 2 \cdot 8\,000 = 16\,000$  perioder.
- E. Med framräknad maximal dygnsvariation  $\delta_t$  enligt punkt B och antal böjningsrörelser enligt D är det sedan möjligt att bedöma om värdet på  $\sigma_{\text{fiktiv}} = 3 E d \delta / l^2$  inger någon risk för utmattningsbrott. Denna bedömning görs då med hjälp av diagram 6. Rapporten innefattar även några tillämpningsexempel på detta.



F. Materialvalet bör lämpligen av flera skäl inriktas på den rostfria kvaliteten SIS 2343 (eller mycket nära likvärda SIS 2347). Med hänsyn till provresultatet bör dimensionen  $\varnothing$  3 mm väljas framför  $\varnothing$  4 mm. Från utmattningssynpunkt behöver ingen större vikt läggas vid om materialet är kallsträckt eller mjukglödgat, varför det från arbetssynpunkt lämpligaste, dvs. vanligen glödgat material, kan väljas.

Punkterna A - D innehåller uppenbarligen en rad bedömningar. Speciellt beträffande säkerhetsfaktorn kan många olika uppfattningar finnas. Av denna orsak har i diagrammet redovisats kurvor som täcker in brottvärden, dvs. "sanna" värden. Därmed lämnas fältet fritt för avvikande bedömningar.

11 LITTERATUR

- /1/ Statens planverk, 1968, Publikation nr 3 (SBN-S 24:4122).
- /2/ Nevander, L, E, 1961, Tekniska egenskaper hos isolerade hålmurar av tegel. KTH meddelande nr 23.
- /3/ Bergquist, L, 1968, Skalmursförankring. Tegel nr 4.
- /4/ Bergquist, L, 1969, Förankring av skalmurar. Byggmästaren nr 4.
- /5/ Tegelinindustrins Centralkontor AB, 1969, Tegelkonstruktioner. Teknisk information nr 38.
- /6/ Nylund, P, O, 1968, Rörelser hos fasadelement av betong. Statens institut för byggnadsforskning, Rapport 45:1968.
- /7/ Odqvist, F, 1961, Hållfasthetslära. Stockholm.
- /8/ Östberg, G, m.fl., 1965, Studies on Canning Materials for the Marviken Superheater Fuel Elements. AB Atomenergi, Stockholm.



PROVNINGSPROTOKOLL TEST RECORDS  
 MATERIAL D, E, F MATERIALS D, E, F

Blad 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Prov nr	Material	∅ mm	P <sub>0,2</sub> kp	P <sub>B</sub> kp	σ <sub>0,2</sub> kp/cm <sup>2</sup>	σ <sub>B</sub> kp/cm <sup>2</sup>	l & mm	δ mm	Tid tim-mar	Antal der	För-läng-ning %	Temp °C	Anm	δ/l 10 <sup>-2</sup>	δ/l <sup>2</sup> 10 <sup>-4</sup>	σ <sub>fiktiv</sub> kp/cm <sup>2</sup>	σ <sub>f/r</sub> 0,2	σ <sub>f/r</sub> B	Antal perlo-der medel
D																			
2a	SIS 2330	4	440	865	3900	6900					60								
6							160	11,5	9 <sup>40</sup>	27800		+21		7,2	4,5	10800	3,1	1,6	
7a							160	32	1 <sup>45</sup>	5000		+21	Brott	20,0	12,5	30000	8,6	4,4	
7b							160	32	1 <sup>10</sup>	3400		+21	Brott	20,0	12,5	30000	8,6	4,4	
2			440	840	3500	6700	100	26,5	0 <sup>15</sup>	700	50	+21	Brott	26,5	26,5	63500	18,2	9,2	
E																			
4	SIS 2343	4	480	870	3800	6900	160	11,5	5 <sup>30</sup>	15900	55	+21		7,2	4,5	10800	2,8	1,6	
16			480	870			140	11,5	17 <sup>00</sup>	49000	50	+21		8,2	5,9	14200	3,7	2,1	
17							110	11,5	5 <sup>45</sup>	16600		+21	Brott	10,5	9,5	22800	6,0	3,3	
5a			480	870			160	32	1 <sup>50</sup>	5300	50	+21	Brott	20,0	12,5	30000	7,9	4,4	
5b							160	32	2 <sup>10</sup>	6200		+21	Brott	20,0	12,5	30000	7,9	4,4	
18							80	11,5	1 <sup>07</sup>	3200		+21	Brott	14,4	18,0	43200	11,4	6,3	
1							100	26,5	0 <sup>22</sup>	1100		+21	Brott	26,5	26,5	63500	16,7	9,2	
F																			
29	SIS 2343	4	1000	1075	8000	8500					20								
29a							160	11,5	2 <sup>35</sup>	7500		+21		7,2	4,5	10800	1,4	1,3	
23							140	11,5	19 <sup>00</sup>	55000		+21		8,2	5,9	14200	1,8	1,7	
21							110	11,5	10 <sup>50</sup>	31200		+21	Brott	10,5	9,5	22800	2,9	2,7	
29b							160	31	3 <sup>20</sup>	9600		+21	Brott	19,4	12,1	29000	3,6	4,2	
19			930	1030	7400	8100	80	11,5	0 <sup>55</sup>	2600	13	+21	Brott	14,4	18,0	43200	5,4	5,1	
24			930	1010	7400	8000	80	11,5	2 <sup>00</sup>	5800	10	+21	Brott	14,4	18,0	43200	5,4	5,1	

PROVNINGSPROTOKOLL  
MATERIAL G, H

TEST RECORDS  
MATERIALS G, H

Blad 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
Prov nr	Material	ϕ mm	P <sub>0,2</sub> kp	P <sub>B</sub> kp	σ <sub>0,2</sub> kp/cm <sup>2</sup>	σ <sub>B</sub> kp/cm <sup>2</sup>	l & mm	δ mm	Tid tim-mar	Antal perio-der	För-läng-ning %	Temp °C	Anm	δ/l 10 <sup>-2</sup>	δ/l <sup>2</sup> 10 <sup>-4</sup>	σ <sub>fiktiv</sub> kp/cm <sup>2</sup>	σ <sub>f/r</sub> 0,2	σ <sub>f/r</sub> ∞	Antal perio-der medel	
39	SIS 2343	4	680	920	5400	7300	160	11,5	22 <sup>30</sup>	65000	50	+21		7,2	4,5	10800	2,0	1,6		
30			680	915			140	11,5	10 <sup>35</sup>	30500	50	+21	Brott	8,2	5,9	14200	2,6	1,9		
34							110	11,5	4 <sup>0</sup>	7700	50	+21	Brott	10,5	9,5	22800	4,2	3,1		
31			680	920			110	11,5	5 <sup>25</sup>	15500		+21	Brott	10,5	9,5	22800	4,2	3,1	11500	
35							110	11,5	4 <sup>0</sup>	13500		+21	Brott	10,5	9,5	22800	4,2	3,1		
37							110	11,5	3 <sup>05</sup>	8900		+21	Brott	10,5	9,5	22800	4,2	3,1		
38							80	11,5	0 <sup>48</sup>	2300	50	+21	Brott	14,4	18,0	43200	8,0	5,9		
32			680	920			80	11,5	0 <sup>49</sup>	2400		+21	Brott	14,4	18,0	43200	8,0	5,9		
36							60	11,5	0 <sup>25</sup>	1200	55	+21	Brott	19,2	32,0	77000	14,3	10,6		
33			680	925																
40							160	11,5	19 <sup>15</sup>	55000				7,2	4,5	13500	1,2	1,1		
41		5	2200	2360	11200	12000	140	11,5	12 <sup>15</sup>	35500	18	+21	Brott	8,2	5,9	17700	1,6	1,5		
42							110	11,5	5 <sup>25</sup>	15500		+21	Brott	10,5	9,5	28500	2,5	2,4		
45							110	11,5	6 <sup>00</sup>	17300		+21	Brott	10,5	9,5	28500	2,5	2,4	17000	
47							110	11,5	8 <sup>10</sup>	23500		+21	Brott	10,5	9,5	28500	2,5	2,4		
48			2200	2390			110	11,5	3 <sup>35</sup>	10300	15	+21	Brott	10,5	9,5	28500	2,5	2,4		
43				1320			80	11,5	1 <sup>15</sup>	3600		+21	Brott	14,4	18,0	54000	4,8	4,5	över böjpkt	
46			2200	2370			80	11,5	1 <sup>02</sup>	3000	10	+21	Brott	14,4	18,0	54000	4,8	4,5		
44							60	11,5	0 <sup>28</sup>	1300		+21	Brott	19,2	32,0	96000	8,6	8,0		

PROVNINGSPROTOKOLL TEST RECORDS  
MATERIAL I MATERIALS I

Blad 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
Prov nr	Material	∅ mm	P <sub>0,2</sub> kp	F <sub>B</sub> kp	σ <sub>0,2</sub> kp/cm <sup>2</sup>	σ <sub>B</sub> kp/cm <sup>2</sup>	λ mm	δ mm	Tid tim-mar	Antal der	För-läng-ning %	Temp °C	Anm	δ/ε 10 <sup>-2</sup>	δ/ε 10 <sup>-4</sup>	σ <sub>fiktiv</sub> kp/cm <sup>2</sup>	σ <sub>f/τ</sub> 0,2	σ <sub>f/τ</sub> 0,2	Antal der	
I																				
50	SIS 2343	3	620	680	8600	9600														
58							110	11,5	17 <sup>45</sup>	51200	15	+21	Brott	10,5	9,5	17000	2,0	1,8		
52							80	11,5	2 <sup>00</sup>	5800		+21	Brott							
53							80	11,5	2 <sup>55</sup>	8400		+21	Brott							
54							80	11,5	4 <sup>45</sup>	13700		+21	Brott	14,4	18,0	32400	3,8	3,4	9900	
55							80	11,5	3 <sup>40</sup>	10600		+21	Brott							
56				600	645		80	11,5	3 <sup>00</sup>	8700		+21	Brott							
57							80	11,5	4 <sup>15</sup>	12300	10	+21	Brott							
51				600	665		80	11,5	1 <sup>38</sup>	4700		-5	Brott							
59							80	11,5	2 <sup>55</sup>	8400		-20	Brott							
91							80	11,5	2 <sup>35</sup>	7500		-15	Brott	14,4	18,0	32400	3,8	3,4	8700	
92							80	11,5	2 <sup>45</sup>	7900		-18	Brott							
93							80	11,5	3 <sup>50</sup>	11000		-21	Brott							
94							60	11,5	0 <sup>30</sup>	1400		+21	Brott	19,2	32,0	57500	6,7	6,0		
95							60	11,5	0 <sup>35</sup>	1700		+21	Brott	19,2	32,0	57500	6,7	6,0		

över  
böjpkt

PROVNINGSPROTOKOLL TEST RECORDS MATERIAL J, K Blad 5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
nr	Prov Material	$\phi$ mm	$P_{0,2}$ kp	$P_B$ kp	$\sigma_{0,2}$ kp/cm <sup>2</sup>	$\sigma_B$ kp/cm <sup>2</sup>	$\delta$ mm	$\delta$ mm	Tid timmar	Antal der	För- läng- ning %	Temp °C	Anm	$\delta/\ell$ 10 <sup>-2</sup>	$\delta/\ell^2$ 10 <sup>-4</sup>	$\sigma_{fiktiv}$ kp/cm <sup>2</sup>	$\sigma_f/\tau_{0,2}$	$\sigma_f/\tau_B$	Antal perio- der medel	
60	SIS 2343	3	220	430	3100	6100	110	11,5	14 <sup>26</sup>	41500	75	+21	Brott	10,5	9,5	17000	5,5	2,2	8000	
67							80	11,5	4 <sup>15</sup>	12200		+21	Brott							
63							80	11,5	2 <sup>00</sup>	5800		+21	Brott	14,4	18,0	32400	10,5	5,3		
64							80	11,5	2 <sup>49</sup>	8100		+21	Brott							
65			200	430			80	11,5	2 <sup>05</sup>	6000		+21	Brott							
66			200	430			80	11,5	2 <sup>21</sup>	6800		- 8	Brott							
61							80	11,5	3 <sup>00</sup>	8700		- 8	Brott							
62							80	11,5	3 <sup>04</sup>	8800		-21	Brott	14,4	18,0	32400	10,5	5,3		7500
68							80	11,5	2 <sup>05</sup>	6000		-20	Brott							
101							80	11,5	2 <sup>30</sup>	7200		-27	Brott							
102							80	11,5	2 <sup>30</sup>	7200		+21	Brott	19,2	32,0	57500	18,5	9,4		
103							60	11,5	0 <sup>35</sup>	1700										
											30									
70	SIS 2343	4	940	1050	7500	8300	95	11,5	3 <sup>10</sup>	9100		+21	Brott	12,1	12,8	30600	4,1	3,7	2000	
76							80		0 <sup>50</sup>	2400	25	+21	Brott							
71			940	1035			80	11,5	0 <sup>30</sup>	1400		+21	Brott							
72							80	11,5	0 <sup>40</sup>	1900	30	+21	Brott	14,4	18,0	43200	5,8	5,2		
73			940	1035			80	11,5	0 <sup>51</sup>	2400		+21	Brott							
74							60	11,5	0 <sup>15</sup>	700		+21	Brott	19,2	32,0	77000	10,3	9,3		
75																				

PROVNINGSPROTOKOLL TEST RECORDS  
 MATERIAL L, M, N, O, P MATERIALS L, M, N, O, P

Blad 6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Prov nr	Material	ϕ mm	P <sub>0,2</sub> kp	P <sub>B</sub> kp	σ <sub>0,2</sub> kp/cm <sup>2</sup>	σ <sub>B</sub> kp/cm <sup>2</sup>	l mm	δ mm	Tid tim-mar	Antal der	För-läng-ning %	Temp °C	Anm	δ/λ 10 <sup>-2</sup>	δ/λ 10 <sup>-4</sup>	σ <sub>fiktiv</sub> kp/cm <sup>2</sup>	σ <sub>f/r</sub> 0,2	σ <sub>f/r</sub> 0,2	Antal der medel
80	L	SIS 2343	4	400	775	3200	6200				70								
86							95	11,5	2 <sup>14</sup>	6500		+21	Brott	12,1	12,8	30600	9,6	5,0	
87							95	11,5	1 <sup>52</sup>	5400		+21	Brott	12,1	12,8	30600	9,6	5,0	
81							80	11,5	0 <sup>55</sup>	2600		+21	Brott	14,4	18,0	43200	13,5	7,0	
82			400		770		80	11,5	0 <sup>55</sup>	2600		+21	Brott	14,4	18,0	43200	13,5	7,0	
85			400		760		60	11,5	0 <sup>25</sup>	1200		+21	Brott	19,2	32,0	77000	24	12,4	
27	M		2	280	340	8900	10000												
26			280		340		110	11,5	12 <sup>00</sup>	35000	20	+21		10,5	9,5	11400	1,3	1,1	
25	N						80	11,5	7 <sup>20</sup>	21000		+21	Brott	14,4	18,0	21600	2,4	2,0	
110	Förz. järntråd		4	870		6900	160	11,5	2 <sup>20</sup>	6700		+21		7,2	4,5	10800		1,6	
111	O						160	31	1 <sup>40</sup>	4800		+21	Brott	19,4	12,2	29300		4,3	
14a	Förz. järntråd		6	960	1140	3400	4000				18								
14							160	11,5	5 <sup>13</sup>	15000		+21	Brott	7,2	4,5	16200	4,8	4,1	
15							160	32	0 <sup>30</sup>	1400		+21	Brott	20,0	12,5	45000	13,2	11,3	
115	P	Koppar	4		314		2500												
116							160	11,5	2 <sup>20</sup>	6700		+21		7,2	4,5	6500		2,6	
117					297		2350	160	31	1 <sup>20</sup>	3800	+21	Brott	19,4	12,2	17500		7,0	



$$\sigma_f = 3Ed \cdot \frac{\delta}{l^2}$$

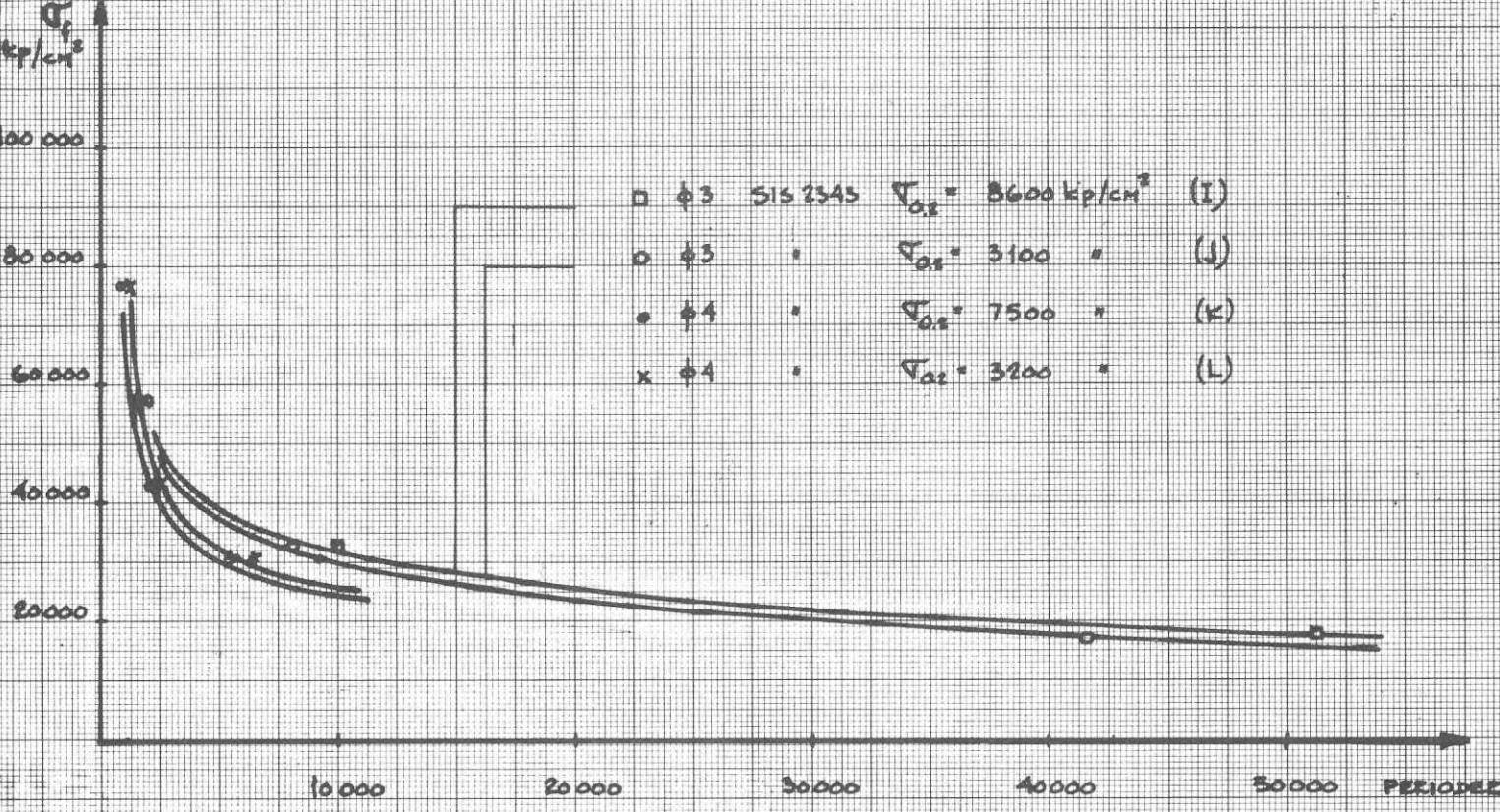


DIAGRAM 1. Plastisk böjutmattning.  
Plastic flexural fatigue.

$$\sigma_f = 3Ed \cdot \frac{\delta}{l^2}$$

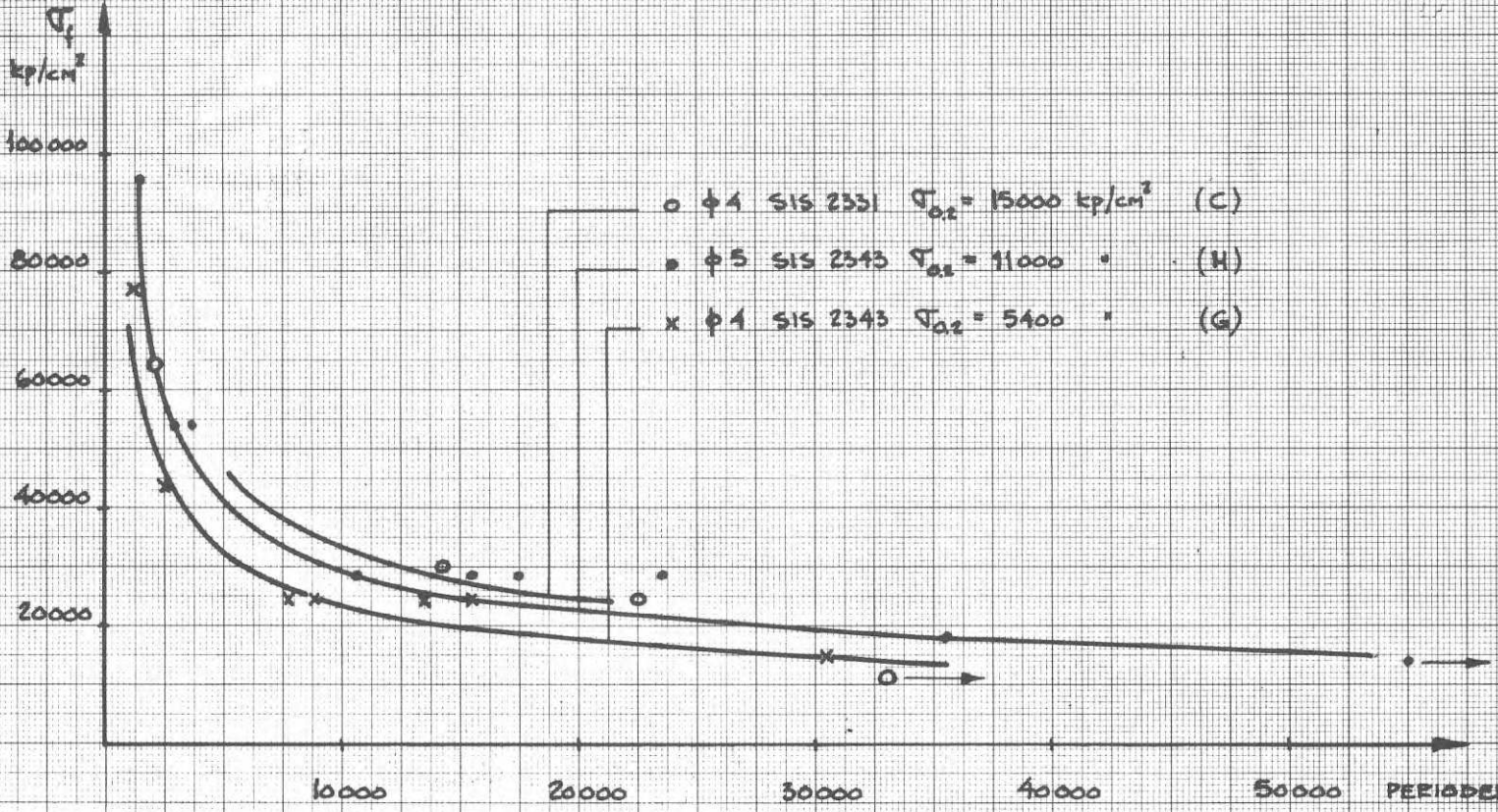


DIAGRAM 2. Plastisk böjutmattning.  
Plastic flexural fatigue.

$$\sigma_f = 3Ed \cdot \frac{\delta}{l^2}$$

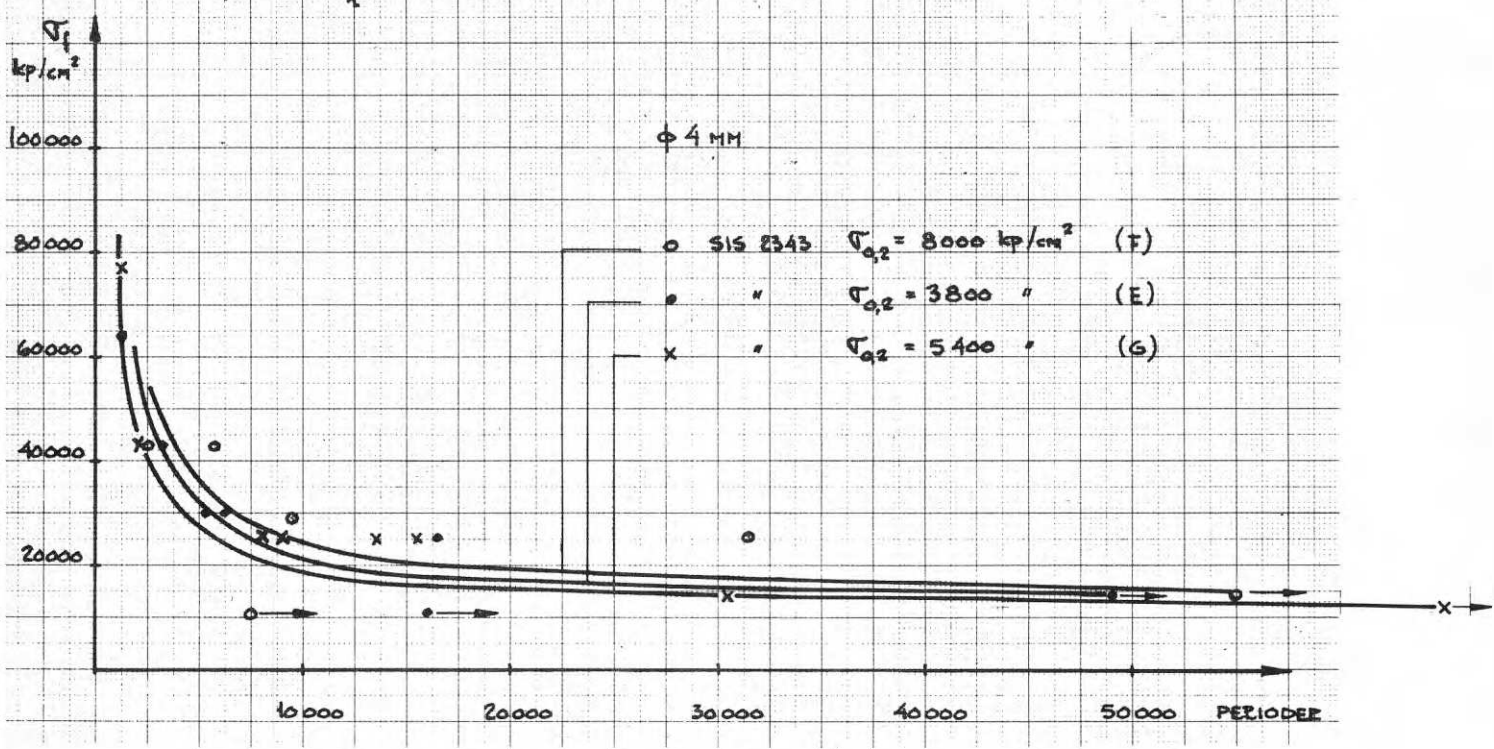


DIAGRAM 3. Plastisk böjutmattning.  
Plastic flexural fatigue.

$$\sigma_f = 3Ed \cdot \frac{\delta}{l^2}$$

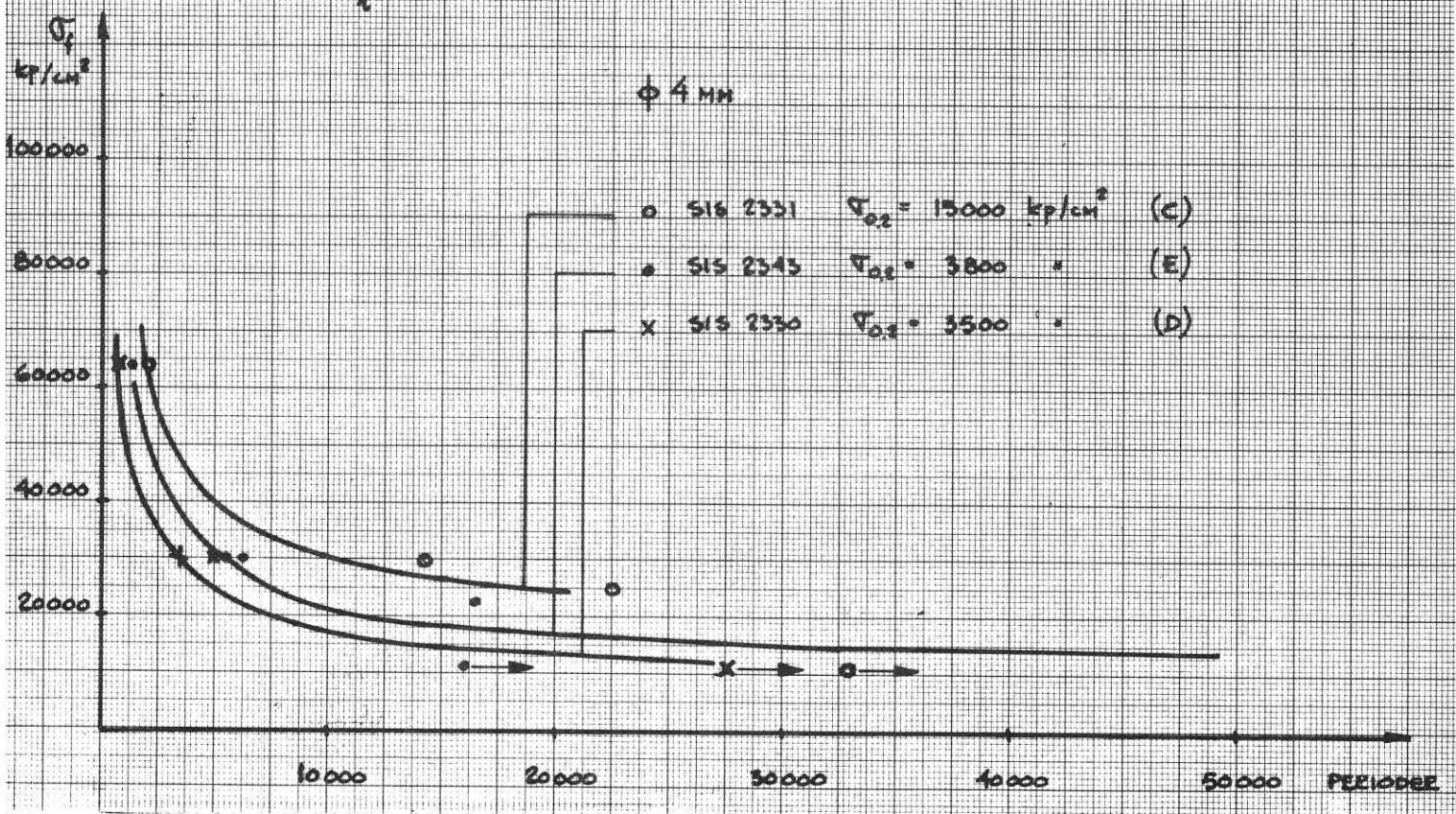


DIAGRAM 4. Plastisk böjutmattning.  
Plastic flexural fatigue.

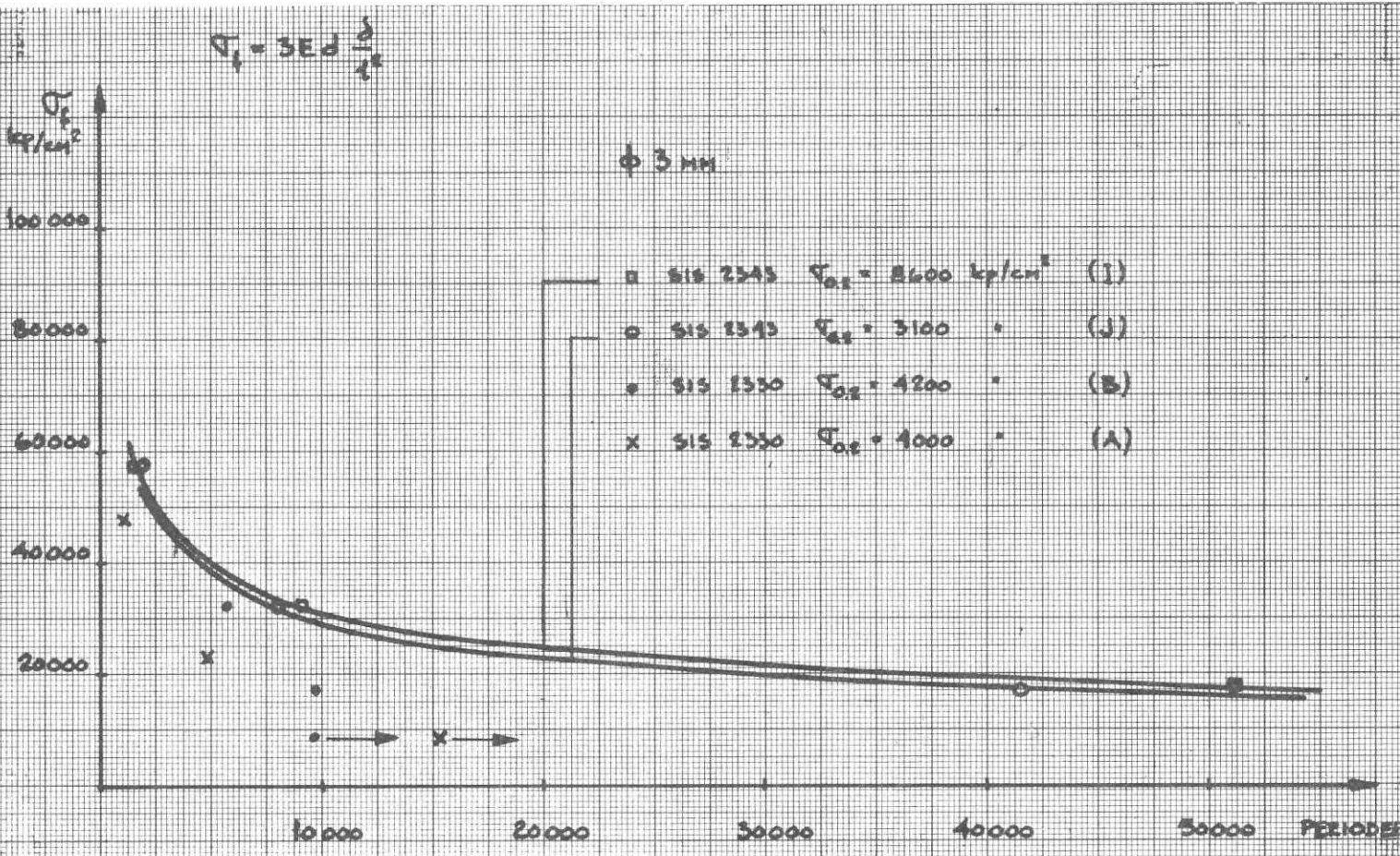


DIAGRAM 5. Plastisk böjutmattning.  
Plastic flexural fatigue.

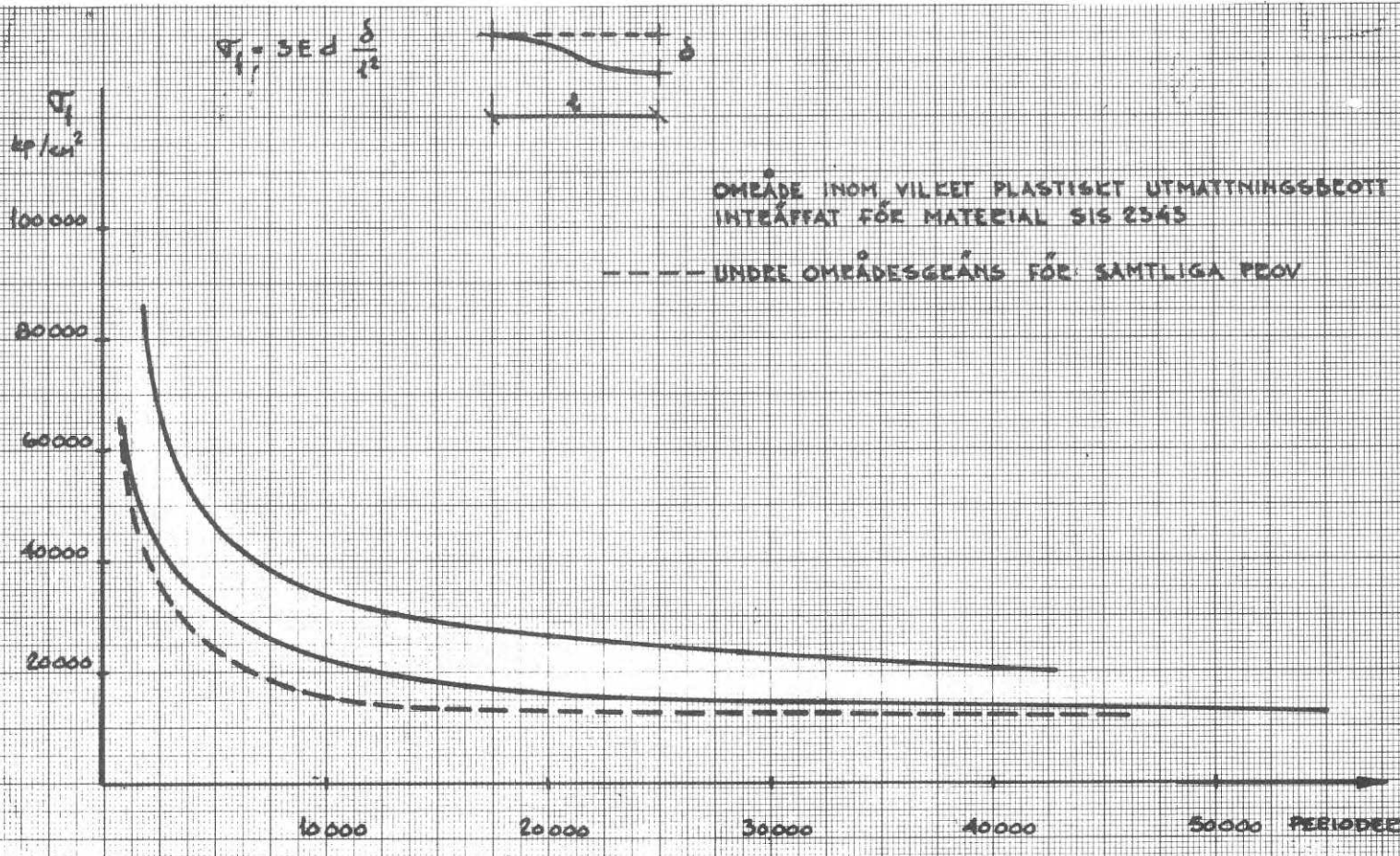


DIAGRAM 6. Plastisk böjutmattning. Sammanställning.  
Plastic flexural fatigue. Summary.

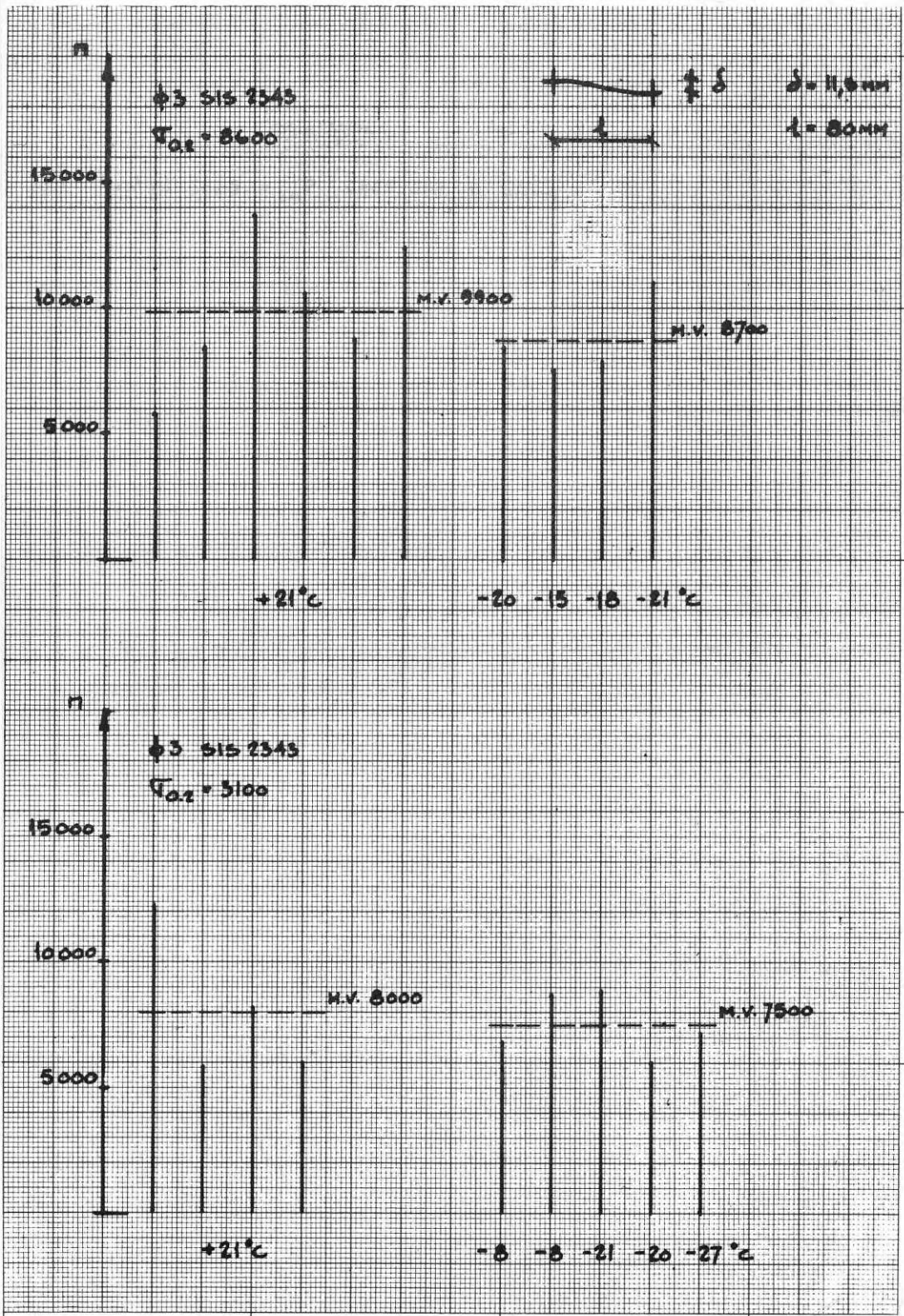


DIAGRAM 7. Plastisk böjutmattning vid olika temperaturer. Jämförelse.

Plastic flexural fatigue at various temperatures. Comparison.

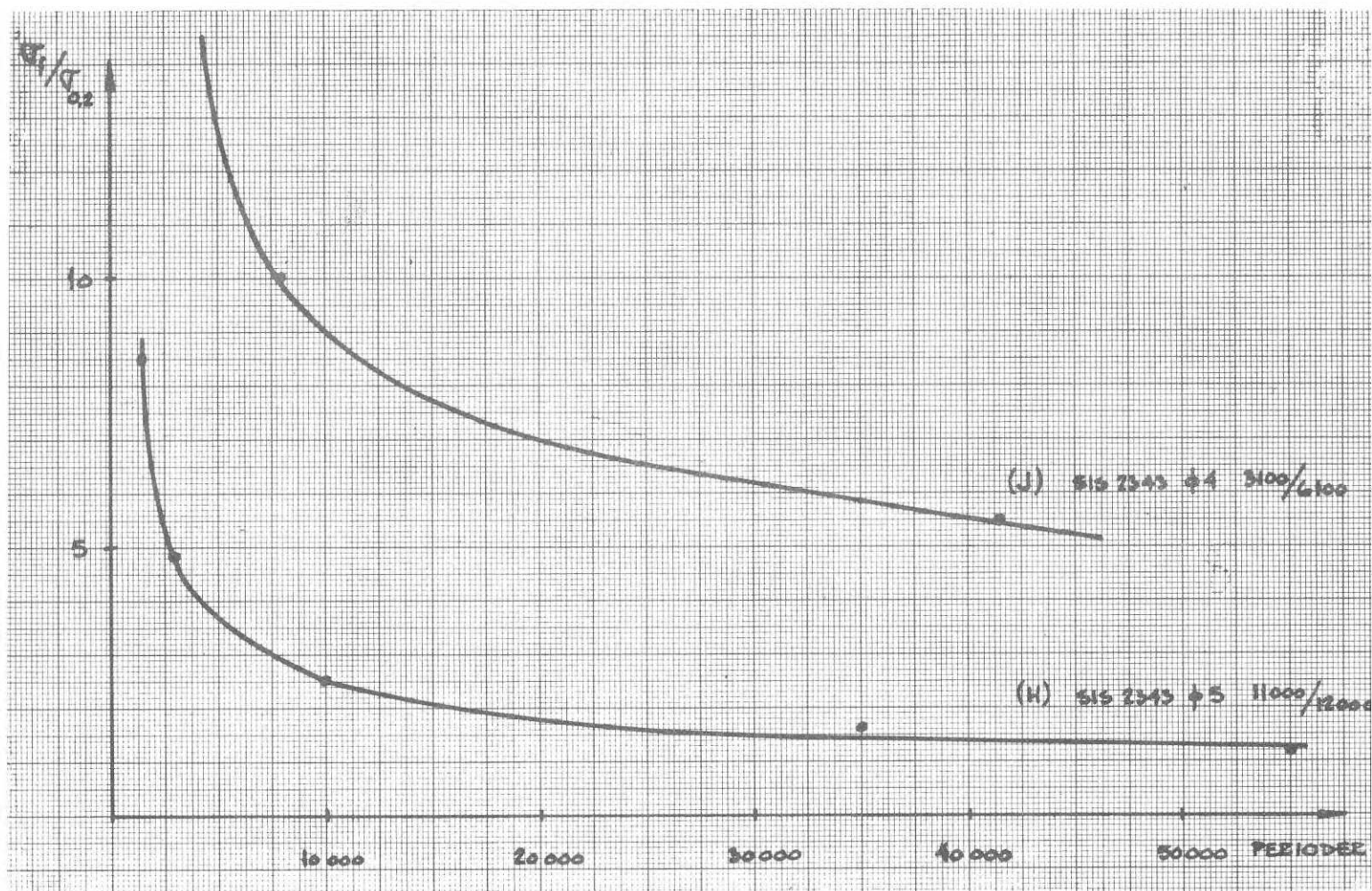


DIAGRAM 8. Förhållandet mellan  $\sigma_{\text{fiktiv}}$  och  $\sigma_{0,2}$  vid utmattningsbrott.

Relationship between  $\sigma_{\text{fictive}}$  and  $\sigma_{0,2}$  at fatigue failure.

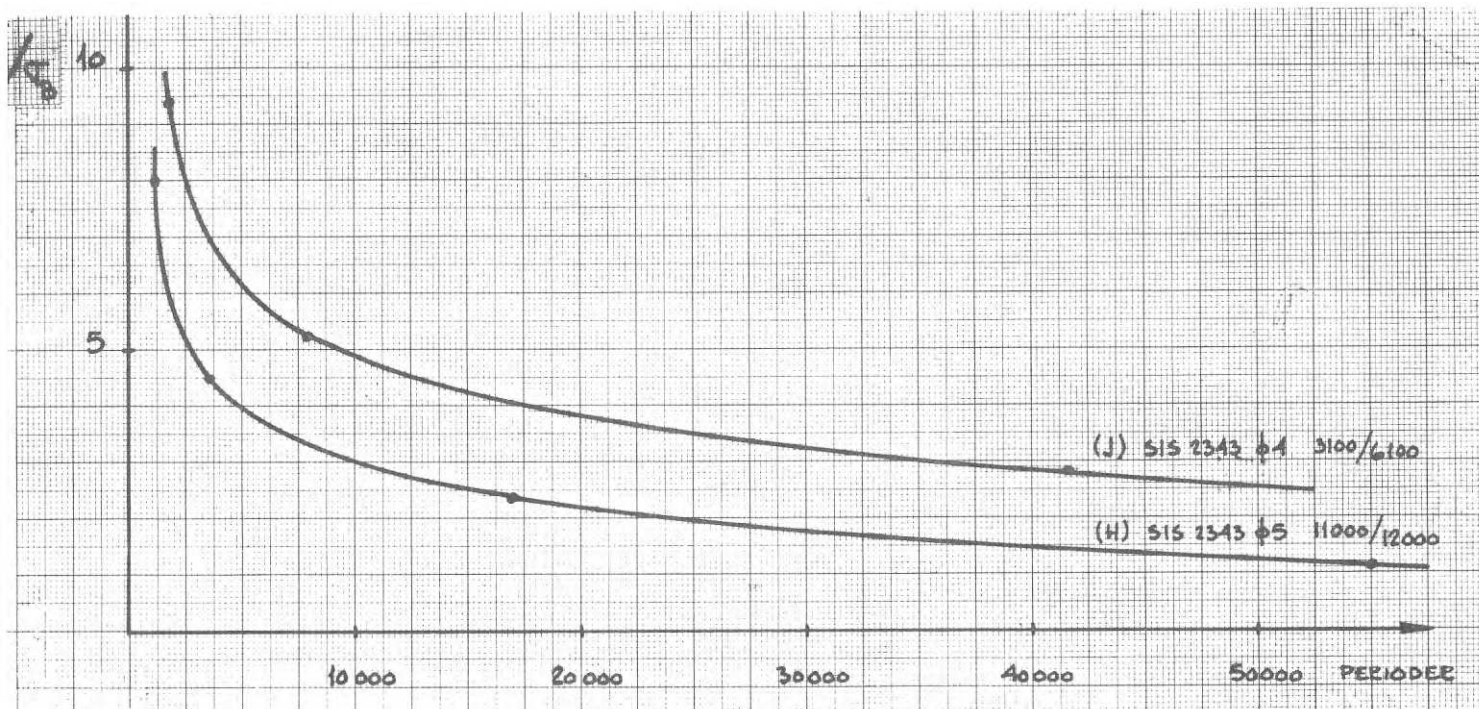


DIAGRAM 9. Förhållandet mellan  $\sigma_{\text{fiktiv}}$  och  $\sigma_{\text{brott}}$  vid utmattningsbrott.

Relationship between  $\sigma_{\text{fictive}}$  and  $\sigma_{\text{failure}}$  at fatigue failure.

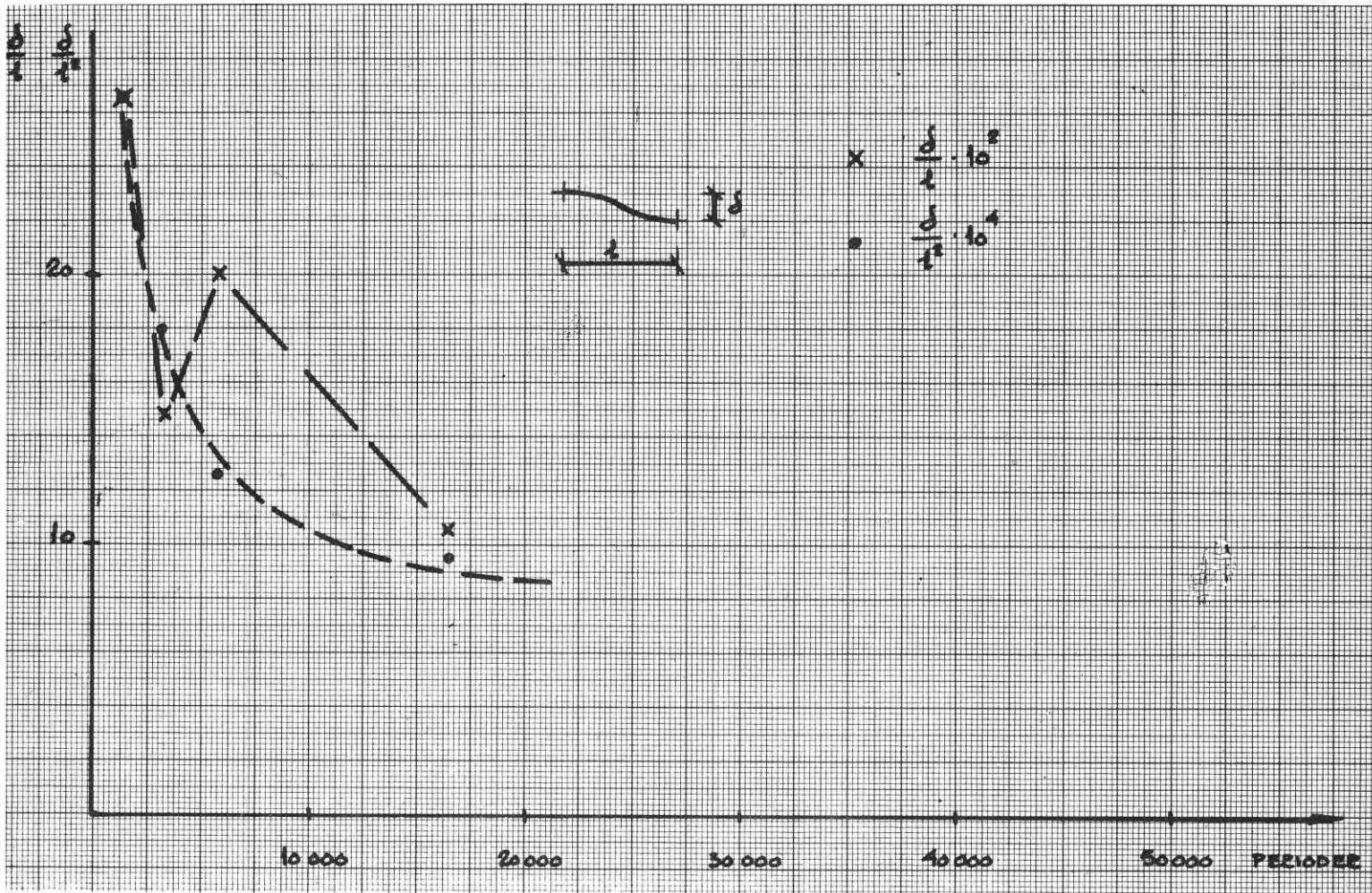


DIAGRAM 10. Brottvärdet för  $\delta/l$  resp.  $\delta/l^2$  som funktion av antalet utböjningar.

Values of  $\delta/l$  and  $\delta/l^2$  at failure as functions of the number of deflections.



**R7:1970**

**Denna rapport avser anslag nr C 482 från Statens råd för byggnadsforskning till Leif Bergquist, Tumba**

**Distribution: Svensk Byggtjänst, Box 1403, 111 84 Stockholm  
Abonnemangsgrupp: k (konstruktion)**

**Pris 10 kronor**