



# LUND UNIVERSITY

## Pågående arbete med normer för aluminiumkonstruktioner

Pettersson, Ove

1967

[Link to publication](#)

*Citation for published version (APA):*

Pettersson, O. (1967). *Pågående arbete med normer för aluminiumkonstruktioner*. (Bulletin of Division of Structural Mechanics and Concrete Construction, Bulletin 5; Vol. Bulletin 5). Lund Institute of Technology.

*Total number of authors:*

1

### General rights

Unless other specific re-use rights are stated the following general rights apply:

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

Read more about Creative commons licenses: <https://creativecommons.org/licenses/>

### Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

LUND UNIVERSITY

PO Box 117  
221 00 Lund  
+46 46-222 00 00

OVE PETTERSSON

**PÅGÅENDE ARBETE MED NORMER FÖR  
ALUMINIUMKONSTRUKTIONER**



# Pågående arbete med normer för aluminiumkonstruktioner

Av professor Ove Pettersson, LTH

*En under de senaste åren icke oväsentligt ökad användning av aluminium och aluminiumlegeringar i bärande konstruktioner har initierat det utrednings- och utvecklingsarbete, som sedan våren 1963 pågår inom Svenska Väg- och vattenbyggares Riksförbund (SVR) och som syftar till konstruktionsnormer för bärande konstruktioner i aluminium och aluminiumlegeringar*

Normarbetet genomförs med som ansvarig en normkommitté med endast tre ledamöter, nämligen professor Ove Pettersson (LTH, kommitténs ordförande) som representant för forskare, konsulter, entreprenörer och beställare, tekn lic Åke Hedström (Kgl Arméförvaltningen) som representant för berörda statliga verk samt civilingenjör Styrbjörn Backman (AB Svenska Metallverken) som representant för aluminiumindustrin. I normkommitténs arbete har därutöver på ett betydelsefullt sätt vid ett flertal tillfällen deltagit civilingenjör Per Olof Aronsson (AB Svenska Metallverken), tekn lic Sigge Eggwertz (Flygtekniska Försöksanstalten), civilingenjör Wilhelm von Essen (Kgl Fortifikationsförvaltningen), civilingenjör Axel von Heijne (AB Svenska Metallverken), byrådirektör Olle Johnson (Kgl Arméförvaltningen), civilingenjör Evert Rodenius (AB Svenska Metallverken) samt tekn lic Hans Vinberg (tidigare AB Svenska Metallverken, numera AB Bröderna Hedlund). Som normkommitténs sekreterare tjänstgör civilingenjör Jan Jerström (tidigare SVR, numera Statens Råd för Byggnadsforskning).

Normkommittén arbetar med tekn lic Rolf Baehre (tekn dr Arne Johnson Ingenjörbyrå) som utredningsman. Dennes arbete har därvid präglats av hög grad av självständighet. Lic Baehre har i väsentlig omfattning ensam genom litteraturstudier samt genom eget teoretiskt och experimentellt arbete av i flera fall originell karaktär framtagit normmaterialets arbetsunderlag och också utarbetat normens grundläggande textutformning. Som normkommitténs ordförande vill jag därvid gärna i detta sammanhang vidareföra normkommitténs stora uppskattning av lic Baehres insatser i det hittills genomförda normarbetet.

Det direkta normarbetet finansieras till 50 % av aluminiumindustrin och till 50 % av berörda statliga tekniska verk. Av normarbetet föranledd forsknings- och utvecklingsverksamhet har med 50 000 kr bekostats av Statens Råd för Byggnadsforskning. Härtill kommer provningsmaterial och personella resurser, som i väsentlig omfattning utan kostnad ställts till förfogande av AB Svenska Metallverken och Kgl Arméförvaltningen. I anslutning till utredningsmannens arbete har vidare tekn dr Arne Johnson Ingenjörbyrå ekonomiskt bidragit.

Normarbetet syftar primärt till konstruktionsnormer av försöksnormskaraktär för bärande konstruktioner i aluminium och aluminiumlegeringar. Det är normkommitténs förhoppning, att normerna av de statliga tekniska verken antingen oreserverat eller från fall till fall försedda med kompletteringsföreskrifter och kompletteringsanvisningar skall kunna läggas till grund för konstruktion och utförande av bärande aluminiumkonstruktioner och därigenom stimulera till en funktionellt betingad, ändamålsenlig utveckling mot en ökad användning av aluminium och aluminiumlegeringar i olika härverksammanhang. Den vidare avsikten är sedan, att från försöksnormernas tillämpning vunna erfarenheter skall möjliggöra en fortsatt bearbetning av det nu föreliggande materialet till mera slutgiltiga normer, avsedda att på sedvanligt sätt efter remissbehandling fastställas av berörda verk och myndigheter.

Normarbetet har planerats att föra fram till tre försöksnormer, nämligen en huvudnorm "Aluminiumkonstruktioner", en beräkningsnorm "Normer och anvisningar för behandling av stabilitetsproblem" samt "Normer för projektering, utförande och kontroll av

svetsade aluminiumkonstruktioner". SVR:s aluminiumnormkommitté svarar därvid ensam för arbetet med huvudnormen samt beräkningsanvisningarna för behandling av stabilitetsproblem, medan svetsnormen utarbetas inom IVA:s Svetskommission i samråd med SVR:s aluminiumnormkommitté. För att underlätta den praktiska tillämpningen av normerna avser normkommittén att som avslutning på sitt normarbete utge en samling beräknings- och konstruktionsutformningsexempel, som möjligast allsidigt belyser normernas olika delavsnitt.

Normarbetet har nu framskridit så långt, att huvudnormen "Aluminiumkonstruktioner" efter avslutad remissbehandling har utgivits i tryckt form som försöksnorm. Det har med anledning härav bedömts lämpligt att här summariskt något orientera om denna huvudnorms omfattning och disposition. Nedan ges därför en sådan summarisk orientering kompletterad med en punktmässigt något mera ingående behandling av vissa huvudfrågeställningar i normen.

## **1. Omfattning och disposition av huvudnormen "Aluminiumkonstruktioner"**

Huvudnormen "Aluminiumkonstruktioner" är uppdelad i en normdel, som omfattar bestämmelser och anmärkningar till dessa, och en kommentardel, i vilken dels komprimerat redovisas förutsättningar och föreliggande underlag för normdelens bestämmelser och dels ges sådana förklaringar och rekommendationer, som kan underlätta en praktisk tillämpning av normen.

Normens giltighet är knuten till bärande konstruktioner i aluminium och aluminiumlegeringar inom områdena brobyggnad, hus- och industribyggnad,

## N1 INLEDNING • N2 ALLMÄNT

### N3 MATERIAL

N3:1 Grundläggande materialnormer — :2 Materialets provning — :3 Tillverkningsformer och materialtillstånd — :4 Aktuella legeringar som grundmaterial

#### N3:5 Material till förband

N3:51 Allmänt — : 52 Aluminiumnitar — : 53 Stålnitar —  
N3:54 Aluminiumskruvar — : 55 Stålskruvar — : 56 Svetsförband —  
N3:57 Limförband

#### N3:6 Korrosion och ytbehandling

N3:61 Allmänt — : 62 Korrosionsskydd — : 63 Skyddsbehandlings utförande

#### N3:7 Brandskydd

N3:71 Brandbelastning — : 72 Förenklade karakteristika för brandförlopp och brandvaraktighet — : 73 Noggrannare karakteristika för brandförlopp och brandvaraktighet vid brandbelastning av träbränsletyp — : 74 Brandteknisk klassbeteckning för byggnadsdel

## N4 ARBETSUTFÖRANDE, KONTROLL OCH BESIKTNING

N4:1 Inledning — :2 Allmänt om arbete med konstruktionsdelar av aluminium — :3 Materialets bearbetning

#### N4:4 Arbete med förband

N4:41 Inledning — : 42 Nitning — : 43 Skrivning — : 44 Svetsning — : 45 Limning

#### N4:5 Kontroll och besiktning

N4:51 Kontroll och reparation — : 52 Besiktning och provbelastning av färdig konstruktion

## N5 BERÄKNING OCH DIMENSIONERING

N5:1 Allmänt — :2 Erforderliga redovisningar

#### N5:3 Beräknings- och dimensioneringsregler

N5:31 Huvudregler — : 32 Nit- och skruvförband — : 33 Svetsförband — : 34 Limförband — : 35 Säkerhetsfaktorer och tillåtna spänningar vid statisk belastning

N5:351 Inledning — : 352 För grundmaterial vid elasticitetsteoretisk beräkning tillåtna spänningar för tryck utan knäckrisk samt för dragning, böjning, skjuvning och hållkantryck — : 353 Erforderlig lastfaktor för böjning vid tillämpning av gränslastmetod — : 354 Tillåtna spänningar för tryck med knäckrisk — : 355 Tillåtna spänningar för nitar och skruvar — : 356 Tillåtna spänningar för svetsförband — : 357 Erforderlig säkerhet för limförband

N5:36 Säkerhetsfaktorer och tillåtna spänningar vid dynamisk belastning (underindelning enligt : 35 med den kompletterande begränsningen, att gränslastmetod ej får tillämpas vid dynamiskt belastad konstruktion) — : 37 Formändringar

## N6 KONSTRUKTION

N6:1 Allmänna konstruktionsregler — :2 Toleranser — :3 Nit- och skruvförband — :4 Svetsförband — :5 Limförband

vattenbyggnad, cisternbyggnad, kranbyggnad, torn- och mastbyggnad, ställningsbyggnad, skeppsbyggnad samt rullande materiel.

Normen kompletteras av genom vederbörande myndighet utfärdade bestämmelser.

Som grundmaterial tillåter normen användning av följande SIS-normerade legeringar — tillhörande ISO-beteckning angiven inom parentes.

*Aluminium:* SIS 4010 (Al 99,0) med lämpligt användningsområde konstruktioner med låga hållfasthetskrav.

*Ej hårdbara aluminiumlegeringar:* SIS 4054 (AlMn) och SIS 4106 (AlMg1) med lämpligt användningsområde taktäckning, takdetaljer och fasadbeklädnad. — SIS 4120 (AlMg2) med lämpligt användningsområde smide och konstruktioner med lägre hållfasthetskrav.

*Hårdbara aluminiumlegeringar:* SIS 4104 (AlMgSi) och SIS 4212 (AlSiMg) med lämpligt användningsområde smide och konstruktioner med lägre respektive högre hållfasthetskrav. — SIS 4338 (AlCuMgSi) med lämpligt användningsområde konstruktioner med höga hållfasthetskrav.

Därutöver medtar normen i sin kommentardel den ännu icke SIS-normerade, hårdbara aluminiumlegeringen AlZn4Mg, vilken är kallåldrande och lämplig för användning i konstruktioner med höga hållfasthetskrav med särskild aktualitet för svetsade konstruktioner.

För karakterisering av materialtillstånd anger normen för ej hårdbara aluminiumlegeringar tillståndsbeteckningarna 0, 2, 4, 5, 6 och 7, varvid för plåt och band 0 betecknar varmformat, 2 mjukglödgat, 4 1/4-hårt, 5 1/2-hårt, 6 3/4-hårt och 7 1/1-hårt. För stång och rör innebär tillståndsbeteckningen 4 dimensionsdraget och 6 hårddraget

material och för tråd tillståndsbeteckningen 7 hårddraget material. För hårdbara aluminiumlegeringar anger normen för materialtillståndskaraktärisering tillståndsbeteckningarna 0 = varmformat, 2 = mjukglödgat, 4 = upplösningsbehandlat + kallåldrat, 5 = varmåldrat utan föregående upplösningsbehandling, 6 = upplösningsbehandlat + varmåldrat samt 8 = upplösningsbehandlat + kallbearbetat + varmåldrat + kallbearbetat material.

För aluminiumnitar föreskriver normen följande nitlegeringar: Al 99,0 i kombination med grundmaterialet Al 99,0 eller AlMn, AlMg3 i kombination med grundmaterialet AlMg1 eller AlMg2, AlSiMg i kombination med grundmaterialet AlMgSi eller AlSiMg samt AlCuMgSi i kombination med grundmaterialet AlCuMgSi.

För aluminiumskruvar anger normen som tillåtna materialkvaliteter varmåldrat AlSiMg (SIS 4212), varmåldrat AlCuMgSi (SIS 4338) och kallåldrat AlCuMgPb (SIS 4335).

För svetsade aluminiumförband rekommenderar normen som tillsatsmaterial Al 99,5 Ti vid grundmaterial Al 99,0 (SIS 4010), AlMn vid grundmaterial AlMn (SIS 4054), AlMg3 vid grundmaterial AlMg1 (SIS 4106), AlMg3 eller AlMg5 vid grundmaterial AlMg2 (SIS 4120), AlSi5 eller AlMg5 vid grundmaterial AlMgSi (SIS 4104), AlSiMg (SIS 4212) och AlZn4Mg. För det sistnämnda grundmaterialet ger därvid AlMg5 som tillsatsmaterial den högsta hållfastheten, medan AlSi5 som tillsatsmaterial rekommenderas till användning vid krav på god inträngning. Den SIS-normerade aluminiumlegeringen AlCuMgSi (SIS 4338) är ej svetsbar.

Huvudnormens omfattning och mera detaljerade disposition framgår närmare av ovanstående summariska inne-

hållsförteckning, vilken identiskt karakteriserar såväl norm- som kommentaravsnitt.

Normens volymmässigt starkt dominerande huvudavsnitt är avsnittet N5 rörande bärande aluminiumkonstruktioners beräkning och dimensionering. Detta är en naturlig följd av att det inom detta område föreligger ett förhållandevis omfattande underlag att bygga på i form av resultat från teoretiska och experimentella studier samt från praktiska tillämpningar för konstruktioner av material, som är med hänsyn till beräknings- och dimensioneringsteknik närbesläktade med aluminium och aluminiumlegeringar. Omvänt har sådana normavsnitt, som måste bygga på specifika erfarenheter från praktiskt konstruerande och byggande av bärande aluminiumkonstruktioner, med nödvändighet fått en mera begränsad omfattning. Speciellt påtagligt gäller detta huvudavsnittet N6 Konstruktion.

## 2. I normarbetet utnyttjat underlag. Genomförda kompletterande undersökningar

Vid huvudnormens utarbetande har i väsentlig omfattning utnyttjats de betydande och allsidiga erfarenheterna från dimensionering och praktiskt byggande i det i många avseenden med aluminium och aluminiumlegeringar närbesläktade materialet stål och vilka erfarenheter i dag finns på ett kvalificerat sätt bearbetade i ett flertal länders stålkonstruktionsnormer. Härutöver har självfallet utnyttjats förefintliga utländska, såväl till antal som omfång starkt begränsade aluminiumnormer. Dessa normer täcker närmast frågor rörande dimensionering av grundmaterial och konventionella lättmetallförband i statiskt belastade konstruktioner men ger däremot liten led-

ning, vad gäller dimensionering och konstruktiv utformning av sådana vitala tillämpningar som svetsade och limmade konstruktioner samt konstruktioner utsatta för dynamisk påverkan.

Normarbetet har inkluderat ett förhållandevis ingående litteraturstudium och för huvudnormen direkt utnyttjade litteraturkällor framgår av en omfattande litteraturförteckning i slutet av normen. Till normkommitténs disposition har professor, Dr Ing habil Neumann och Dipl-Ing Schmidt, DDR, för fritt utnyttjande välvilligt ställt ett omfattande material från dynamiska undersökningar av grundmaterial och svetsförband i AlMg-legering, vilket material exemplifieras i [1]. För normavsnittet N3:7 Brandskydd har normkommittén haft möjlighet att genom tillmötesgående från Kgl Byggnadsstyrelsen få utnyttja ett värdefullt arbetsunderlag, som framkommit i anslutning till pågående revision av Byggnadsstyrelsens anvisningar till byggnadsstadgan, BABS 1960. Därigenom har normer och kommentarer för dimensionering och konstruktiv utformning av bärande aluminiumkonstruktioner med hänsyn till brandpåverkan kunnat baseras på dels en ny och förbränningstekniskt mera korrekt definition av brandbelastningen än den i olika länders föreskrifter för närvarande konventionellt tillämpade och dels på nyanserade tidkurvor för brandcellens gastemperatur, vilka beaktar brandcellens geometri samt fönster- och dörröppningsförhållanden [2]—[4], fig 1.

Under normarbetet har framkommit en serie forsknings- och utvecklingsuppgifter, som för normens utformning bedömts som angelägna för närmare studium. En del av dessa uppgifter är av en sådan omfattning, att det ej varit möjligt att inordna ett studium av dem i det förhållandevis pressade tidsschema, som normarbetet följer. Dessa uppgifter kommer vid normarbetets slut att sammanställas till en restlista, som med hemställan till forskningssamverkan kommer att distribueras till eventuella intressenter vid landets forskningsinstitutioner.

I direkt anslutning till normarbetet har det varit möjligt att genomföra några teoretiska och experimentella undersökningar av forskningskaraktär,

Fig 1. Samband mellan brandcellstemperatur  $\vartheta_t$  och brandtid  $t$  för varierande öppningsfaktor  $A \sqrt{h}/A_t$  vid brandbelastning av i huvudsak träbränsletyp.  $A_t =$  = brandcellens totala omslutningsyta,  $A =$  = sammanlagd öppningsyta (fönster, dörrar, rökluckor, ventilationsöppningar och andra öppningar),  $h =$  ett med hänsyn till respektive delyta vägt medelvärde av öppningshöjd för brandcellen

av vilka här framför allt må nämnas

- teoretiskt studium av plan knäckning av massiv aluminiumsträva,
- teoretiskt och experimentellt studium av gränslastmetodens tillämpbarhet vid aluminiumkonstruktioner,
- experimentellt studium av brott-hypotes för tvåaxligt spänningspåverkade aluminiumsvetsar,
- experimentella studier av dynamiskt påverkade konstruktionselement av aluminium eller aluminiumlegering.

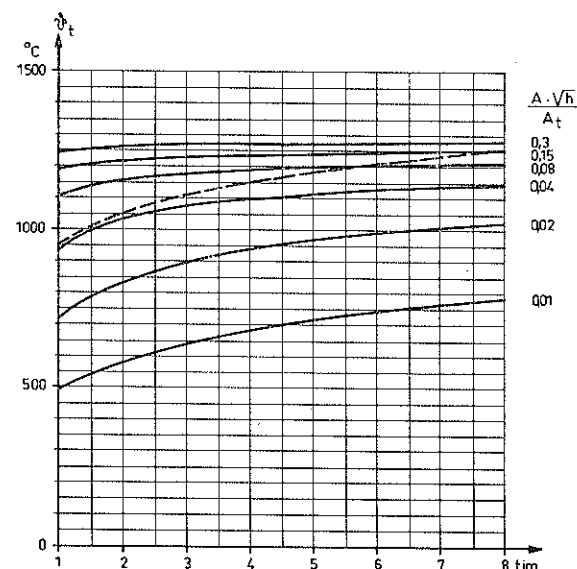
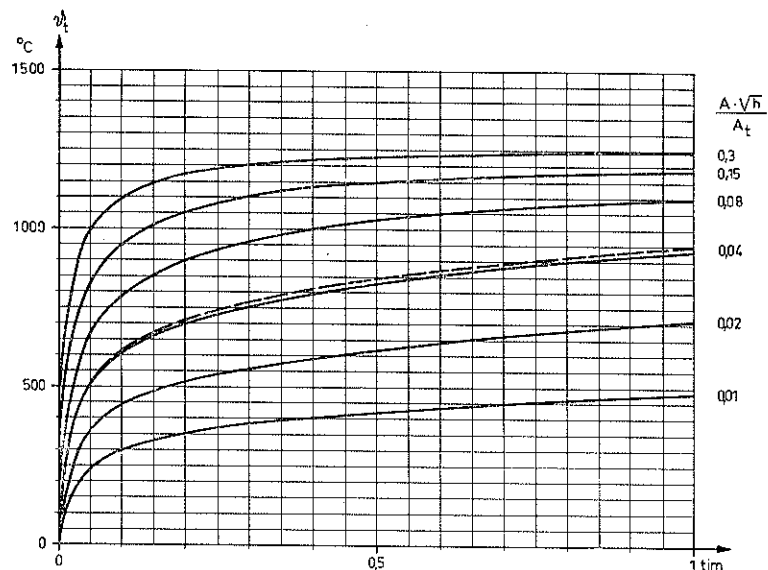
Några av de vid de genomförda undersökningarna framkomna resultaten refereras nedan summariskt.

#### 21. Plan knäckning av massiv aluminiumsträva

I litteraturen redovisade metoder för beräkning av med hänsyn till plan

knäckning tillåten axiell tryckspänning för tryckt sträva kan grovt uppdelas i två huvudgrupper.

Karakteristiskt för den ena huvudgruppens beräkningsmetoder är en grundläggande förutsättning om initieellt centrisk belastning och initieellt rak sträva. Under denna förutsättning beräknas knäckningsspänningen  $\sigma_k$  med hänsyn tagen till aktuellt materials verkliga  $\sigma - \epsilon$ -kurva ur definitionen för knäckningslast som den minsta last, vid vilken ett utböjt jämviktsläge existerar. Praktiskt ofrånkomliga avvikelser från centriskt lastläge och initieell raket för strävan beaktas vid val av den säkerhetsfaktor  $s$ , som genom division av knäckningsspänningen  $\sigma_k$  ger tillåten knäckningsspänning  $\sigma_{k, till}$ . Förfarandet gör säkerhetsfak-



— Standardbrandkurva  
 $\vartheta_0 = 20^\circ \text{C}$

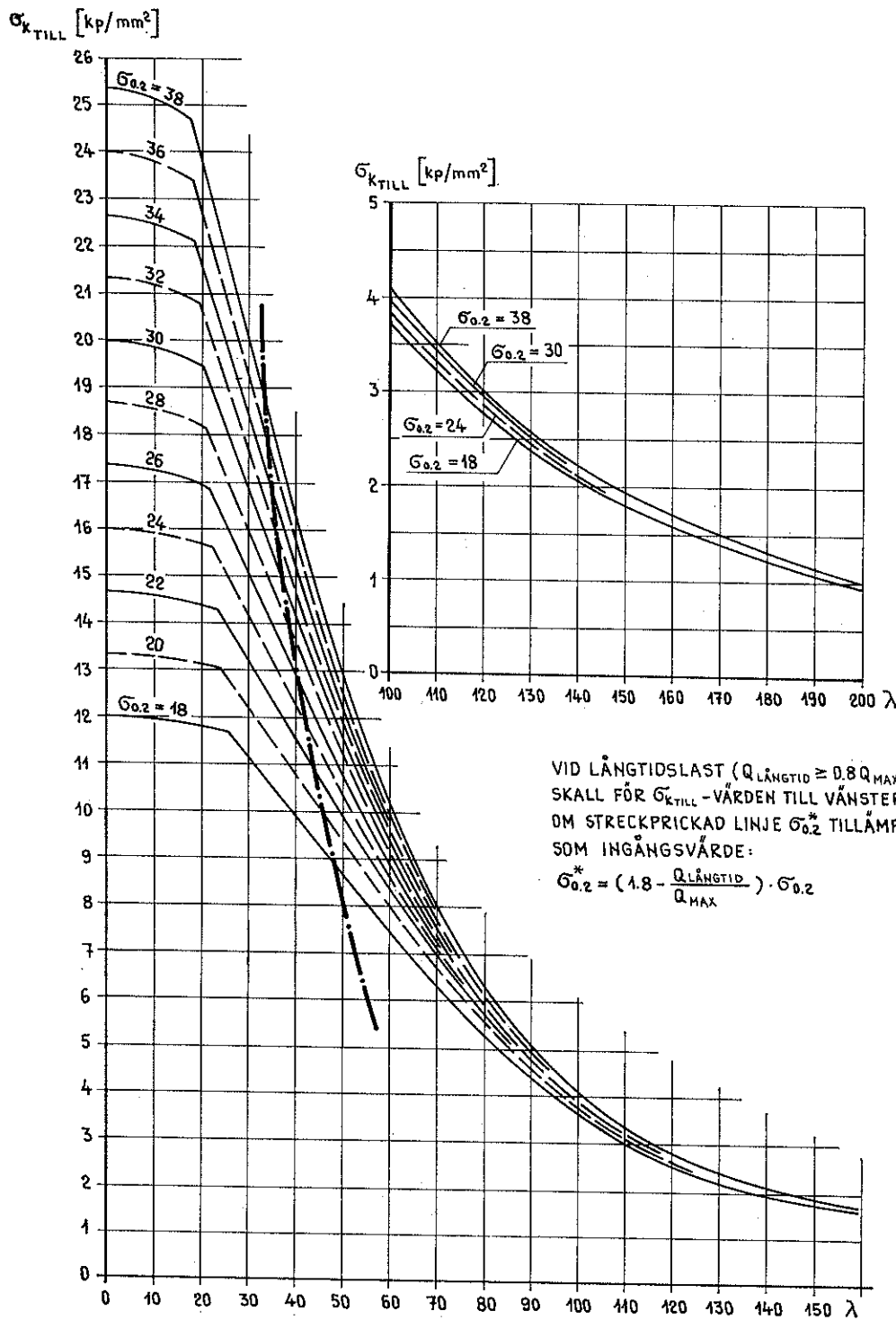


Fig 2. Med hänsyn till plan knäckning tillåten axiell tryckspänning  $\sigma_{k\_till}$  för sträva av aluminium eller aluminiumlegering. Vanligt belastningsfall

torn  $s$  till sin storlek beroende av strävans slankhetstal  $\lambda$ .

Den andra huvudgruppens beräkningsmetoder karakteriseras av en beräkning av maximal tryckspänning  $\sigma_{max}$  för en initialt excentrisk, axiellt tryckbelastad initialkrokig sträva och en bestämning härur av knäckningslasten  $N_k$  som den axiallast, vid vilken  $\sigma_{max}$  uppnår aktuellt materials sträckgräns  $\sigma_s$  eller 0,2-gräns  $\sigma_{0.2}$ . Ur på detta sätt beräknad knäckningsspänning  $\sigma_k = N_k/A$  med  $A$  = strävans tvärsnittsarea erhålls tillåten knäckningsspänning  $\sigma_{k\_till}$  genom division med en av slankhetstalet  $\lambda$  oberoende säkerhetsfaktor  $s$ . Beräkningstekniskt kan behandlingen därvid något förenklas genom att i stället för initialkrokighet och initialexcentricitet förutsätts antingen endast initialkrokighet eller endast initialexcentricitet med ett värde, som täcker praktiskt förekommande sumnavärde av båda de effekterna.

I normen har valts ett dimensioneringsförfarande för plan knäckning med karakteristika enligt den sistnämnda huvudgruppens beräkningsmetoder. Redovisade dimensioneringsdiagram, exemplifierade genom fig 2, förutsätter därvid en initialexcentricitet  $e$  med ett värde

$$(1) \quad e = 5 \cdot 10^{-5} \frac{(\beta L)^2}{d}$$

som något på säkra sidan täcker praktiskt aktuell summaeffekt av initialkrokighet och initialexcentricitet. Därvid betecknar  $L$  strävans längd,  $\beta L$  strävans fiktiva knäcklängd,  $\beta$  en dimensionslös koefficient, som beror av inspänningsförhållanden, sektionvariation och lastkaraktistika, samt  $d$  avståndet från tvärsnittets neutralaxel till tryckt kant i snittet för  $\sigma_{max}$ .

Tillämpat på stålkonstruktioner kan dimensioneringsförfarandet med för praktiska förhållanden tillfredsställande noggrannhet beräkningsmässigt förenklas genom en kompletterande förutsättning om elastiskt material ända upp till sträckgränsen  $\sigma_s$ . För aluminium och aluminiumlegeringar avviker  $\sigma$ - $\epsilon$ -kurvorna (fig 3) inom området  $0 \leq \sigma \leq \sigma_{0.2}$  alltför kraftigt från det elastiska materialets rätlinjiga  $\sigma$ - $\epsilon$ -samband, för att motsvarande beräkningsförenklade förutsättning skall vara praktiskt försvarbar också för en knäckningsdimensionering av axiellt tryckt aluminiumsträva.

Förhållandena har motiverat ett teoretiskt studium av inverkan på knäckningsspänningen  $\sigma_k$  av variationer i materialets  $\sigma$ - $\epsilon$ -kurva [5]. Som utgångspunkt för ett sådant studium har därvid valts de i fig 4 återgivna  $\sigma$ - $\epsilon$ -kurvorna, svarande mot en proportionalitetsgräns  $\sigma_p = 0,2, 0,5, 0,8$

Fig 3.  $\sigma$ - $\varepsilon$ -kurvor inom området

$$0 < \sigma < \sigma_{0,2}$$

för aluminiumlegeringarna SIS 4212-6 (AlSiMg), SIS 4212-4, SIS 4120-5 (AlMg2) och AlZn4Mg samt för teoretiska knäckningsberäkningar vald  $\sigma$ - $\varepsilon$ -kurva, karakteriserad av sambanden

$$\sigma = E\varepsilon \text{ för } \sigma < \sigma_p = 0,5 \sigma_{0,2}$$

$$\frac{\sigma}{\sigma_{0,2}} = -0,2 + 1,85 \bar{\varepsilon} - \bar{\varepsilon}^2 + 0,2 \bar{\varepsilon}^3$$

för  $0,5 \sigma_{0,2} \leq \sigma \leq \sigma_{0,2}$

$$\frac{\sigma}{\sigma_{0,2}} = 1,3 - \frac{0,45}{\bar{\varepsilon}} \text{ för } \sigma \geq \sigma_{0,2}$$

$$\bar{\varepsilon} = \frac{\varepsilon}{\frac{\sigma_{0,2}}{E}}$$

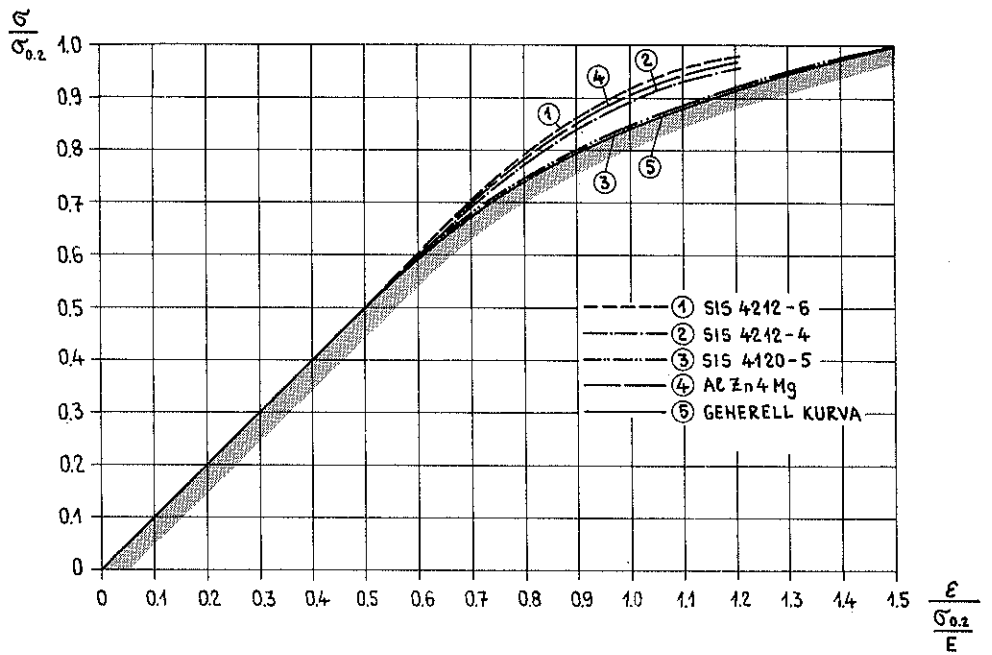


Fig 4.  $\sigma$ - $\varepsilon$ -kurvor, valda som utgångspunkt för ett studium av knäckningsspänningens  $\sigma_p$  variation med materialets proportionalitetsgräns  $\sigma_p$

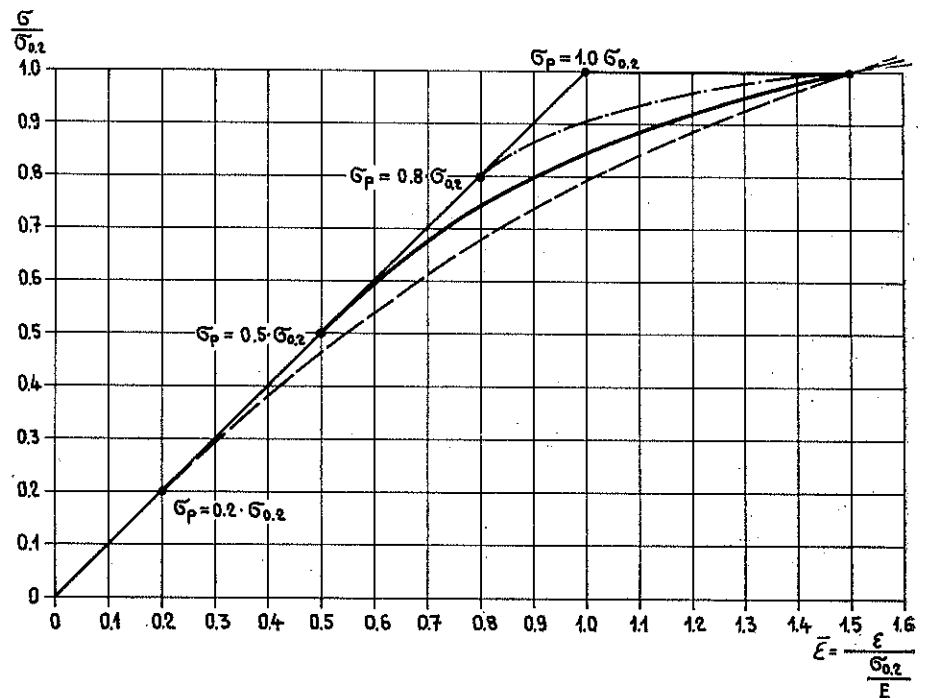
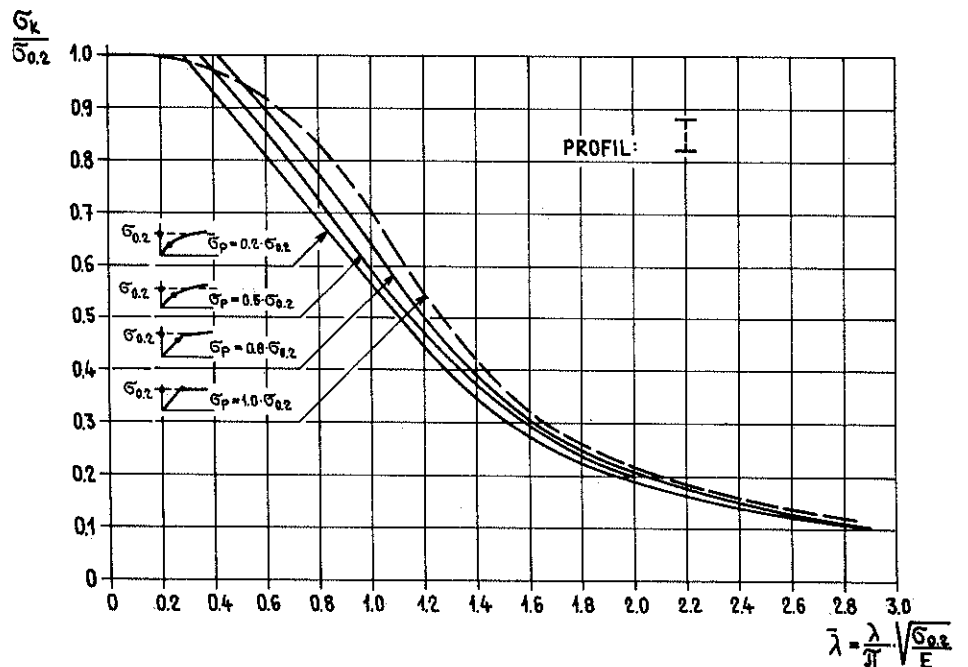


Fig 5.  $\sigma_k$ - $\lambda$ -kurvor för axiellt tryckt sträva med ideellt I-tvårsnitt och med en initieell lastexcentricitet  $e$  enligt ekv (1) vid  $\sigma$ - $\varepsilon$ -diagram med varierande förhållande  $\sigma_p/\sigma_{0,2}$  enligt fig 4





respektive 1,0  $\sigma_{0,2}$ , av vilka den sistnämnda kurvan beskriver ett ideal-elastoplastiskt material med en elastisk kurvgrän, som för  $\sigma = \sigma_{0,2}$  övergår i ett renodlat sträckgränsområde. För den till  $\sigma_p = \sigma_{0,2}$  hörande kurvan markerar  $\sigma_{0,2}$  materialets högsta spänningsvärde, medan för de till  $\sigma_p < \sigma_{0,2}$  hörande kurvorna spänningen  $\sigma$  kan växa över  $\sigma_{0,2}$ , då den modifierade relativa stukningen  $\bar{\varepsilon}$  överskrider värdet 1,5. Speciellt för den genom  $\sigma_p = 0,5 \sigma_{0,2}$  karakteriserade kurvan gäller för  $\sigma - \varepsilon$ -sambandet de i fig 3 redovisade matematiska uttrycken.

Tillämpade på en axiellt tryckt sträva med ideellt tvärsnitt och med en initieell lastexcentricitet  $e$  enligt ekv (1) ger  $\sigma - \varepsilon$ -kurvorna enligt fig 4 för knäckningsspänningen  $\sigma_k$  de i fig 5 visade funktionssambanden vid det modifierade slankhetsstalet

$$(2) \quad \bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{\sigma_{0,2}}{E}}$$

som oberoende variabel. Av kurvsambanden framgår, att för  $\bar{\lambda} > 0,5$  avtar knäckningsspänningen  $\sigma_k$  med minskat förhållande  $\sigma_p/\sigma_{0,2}$ . För  $\bar{\lambda} < 0,5$  uppträder speciella förhållanden, dikterade av att till  $\sigma_p/\sigma_{0,2} < 1$  hörande  $\sigma - \varepsilon$ -kurvor enligt fig 4 ger  $\sigma > \sigma_{0,2}$  för  $\bar{\varepsilon} > 1,5$ , medan den till  $\sigma_p/\sigma_{0,2} = 1$  hörande kurvan ger  $\sigma = \sigma_{0,2}$  som absolut största spänningsvärde. En övergång från ideellt I-tvärsnitt till massivt rektangulärt tvärsnitt medför vid i övrigt oförändrade förutsättningar en ökning av knäckningsspänningsvärdet  $\sigma_k$ .

På grundval av genomfört och ovan summariskt exemplifierat studium har i normen angivna dimensioneringsdiagram för plan knäckning av axiellt tryckt aluminiumsträva (fig 2) som en approximation något på säkra sidan baserats på för ideellt I-tvärsnitt beräknade  $\sigma_k - \bar{\lambda}$ -kurvor. Med hänsyn till genom fig 3 beskrivna  $\sigma - \varepsilon$ -egenskaper

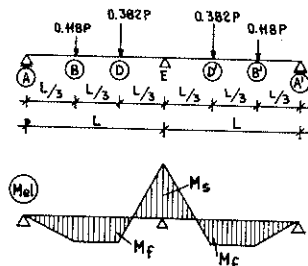


Fig 7. Balk- och belastningsutformning för experimentellt gränslaststudium av statiskt obestämmd aluminiumbalk. För elastiska förhållanden gällande kvot mellan stödmoment  $M_s$  och maximalt fjädringsmoment  $M_f$  uppgår till 2,25

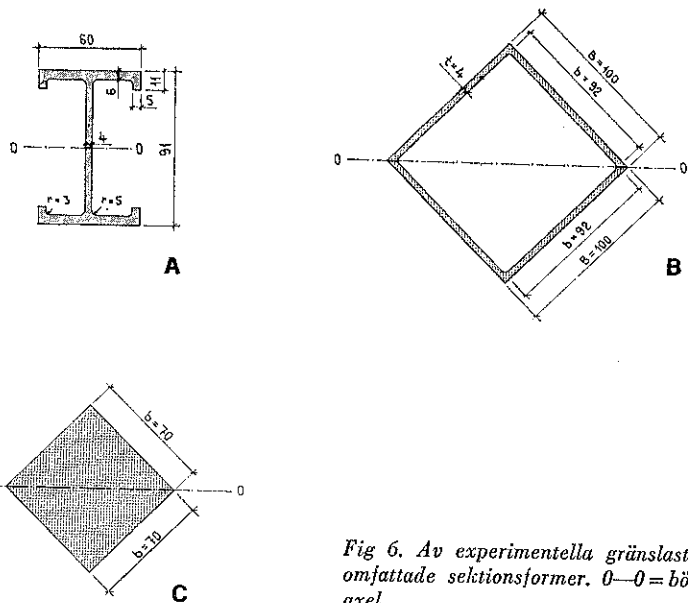


Fig 6. Av experimentella gränslaststudier omfattade sektionsformer. 0-0 = böjningsaxel

för i normen medtagna aluminiumlegeringar har därvid som en vidare approximation på säkra sidan som avgörande för varje  $\bar{\lambda}$ -värde valts det lägsta av de för kurvorna  $\sigma_p/\sigma_{0,2} = 0,5$  och  $\sigma_p/\sigma_{0,2} = 1$  gällande  $\sigma_k$ -värdena.

## 22. Gränslastmetodens tillämpbarhet vid aluminiumkonstruktioner

För att skapa ett vidgat underlag för bedömning av möjligheterna att basera en dimensionering av statiskt belastade aluminiumkonstruktioner på

gränslastmetod har i anslutning till normarbetet genomförts i frågan utslagsgivande försök med en parallell komplettering med en ingående teoretisk behandling. Försöken med tillhörande teoretiska behandling redovisas detaljerat i [6].

Försöken belyser inverkan av brotttöjning  $\varepsilon_B$ ,  $\sigma - \varepsilon$ -diagrammets form samt tvärsnittstyp på statiskt belastad, statiskt bestämd och statiskt obestämmd aluminiumbalks belastningsdeformationsförhållanden. I en delundersökning studeras inverkan av upprepad,

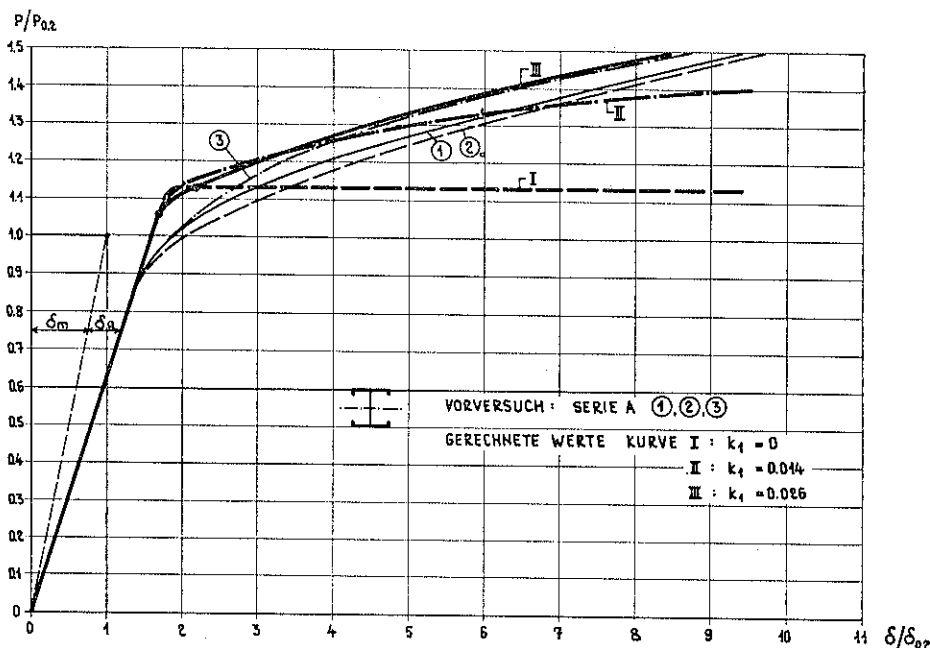


Fig 8. För tvåsidigt fritt upplagd aluminiumbalk av tvärsnittsform A (fig 6) bestämt samband mellan i fackmitt angripande punktlast  $P$  och mittnedböjning  $\delta$ . Kurvorna ①, ② och ③ härrör från belastningsförsök, kurvorna I, II och III utgör med utgångspunkt från olika förutsättningar beräknade samband.  $P_{0,2}$  = belastning, som vid elastiska förhållanden ger  $\sigma = \sigma_{0,2}$  i tvärsnittets mest ansträngda punkt.  $\delta_{0,2}$  = till last  $P_{0,2}$  hörande nedböjning från enbart böjmomentinverkan

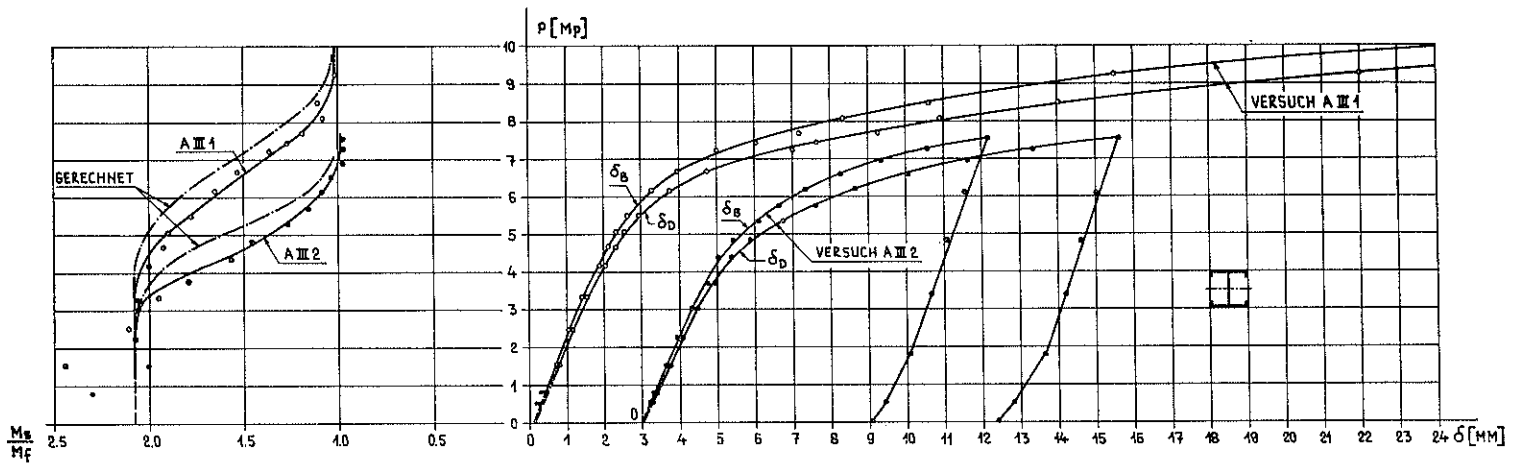


Fig 9. För i två fack kontinuerlig aluminiumbalk med belastning enligt fig 7 och med tvärsnitt av typ A (fig 6) bestämt samband mellan lastvärde  $P$  och nedböjning  $\delta_B$  och  $\delta_D$  i snitt B respektive D samt förhållande mellan stödböjmoment  $M_s$  och maximalt fältböjmoment  $M_f$

variabel belastning på statistiskt obestämd aluminiumbalks gränslast.

Försöken omfattar de tre i fig 6 visade tvärsnittsformerna, svarande mot ett beräknat förhållande (plasticeringsfaktor) mellan för idealelastoplastiskt material gällande gränslastböjmoment och böjmoment, för vilket  $\sigma_{0,2}$  just uppnås i mest ansträngd tvärsnittspunkt, av för form A 1,14, för form B 1,51 och för form C 2,0. Försöksbalkarna utgörs av strängpressade profiler i aluminiumlegering av Duraltyp med brottförlängning  $\delta_s$  varierande mellan 9 och 22 % samt förhållande  $\sigma_B/\sigma_{0,2}$ , varierande mellan 1,2 och 2,2. Studiet av statistiskt bestämd aluminiumbalks verkningssätt omfattar i fackmitt punktbelastad, tvåsidigt fritt upplagd balk och motsvarande studium för statistiskt obestämd aluminiumbalk en i två fack kontinuerlig balk med belastning och tillhörande elastiskt böjmomentdiagram enligt fig 7.

Lösryckta exempel på vid försök och kompletterande teoretisk behandling erhållna resultat ges i fig 8 och 9. I fig 8 jämförs för fritt upplagd, i fackmitt punktbelastad balk av tvärsnittsform A experimentellt upptagna samband mellan punktlast  $P$  och mittnedböjning  $\delta$  med motsvarande under olika förutsättningar teoretiskt beräknade samband. Den beräknade kurvan I svarar därvid mot idealelastoplastiskt material, medan kurvorna II och III förutsätter elastoplastiskt material med  $\sigma-\epsilon$ -kurva med en linjär elastisk kurvgrän, som för  $\sigma = \sigma_{0,2}$  övergår i en linjär plastisk kurvgrän, vars lutning mot  $\epsilon$ -axeln bestäms genom en dimensionslös koefficient  $k_1$ . För nedböjningen inom elastiskt område redovisar figuren separat de mot böjmomentinverkan och tvärkraftsinverkan svarande nedböjningsandelarna  $\delta_M$  respektive  $\delta_Q$ . I fig 9 återges för enligt fig 7 belastad, i två fack kontinuerlig

aluminiumbalk av tvärsnittsform A dels experimentellt bestämt samband mellan lastvärde  $P$  och nedböjning  $\delta_B$  och  $\delta_D$  i snitt B respektive D och dels teoretiskt och experimentellt bestämt förhållande mellan stödböjmoment  $M_s$  och maximalt fältböjmoment  $M_f$ . Av resultaten framgår bl a, att momentförhållandet  $M_s/M_f$  från ett till elastiskt material hörande initialvärde av ca 2,1 genom successivt fortskridande plasticering minskar och i gränslaststadiet antar värdet 1, dvs det värde, som karakteriserar en på förutsättning av idealelastoplastiskt material baserad dimensionering enligt gränslastmetod.

Ur vid försök och kompletterande teoretisk behandling framkomna resultat kan slutsatsen dras, att med beaktande av följande villkor kan en dimensionering av statistiskt belastad aluminiumkonstruktion genomföras på grundval av gränslastmetod.

a) Brottförlängningen  $\delta_s$  för aktuellt material och tillstånd skall minst uppgå till värdet

$$(3) \quad \delta_s (\%) = \left[ 1,15 \frac{\sigma_B}{\sigma_{0,2}} - 1,1 \right] \sigma_{0,2} \text{ (kp/mm}^2\text{)}$$

Villkoret är uppfyllt för i normen upptagna ej hårdbara legeringar i mjukt och halvhårt tillstånd samt för hårdbara legeringar med undantag för hårdat tillstånd av legeringstypen AlCuSiMg.

b) Den under förutsättning av idealelastoplastiskt material med plasticeringsgräns  $\sigma_{0,2}$  beräknade plasticeringsfaktorn får ej väljas högre än 1,5.

c) Belastningen får ej vara sådan, att dess tillhörande brott är av typen växelflytbrott.

d) Vid långtidslast  $Q_{lt}$ , som överstiger 80 % av dimensionerande maximallast  $Q_{max}$ , skall konstruktionens

plasticitetsböjmoment  $M_p$  för undvikande av skadlig krypinverkan reduceras till ett värde  $M_{pr}$ , bestämt genom sambandet

$$(4) \quad M_{pr} = \left[ 1,8 - \frac{Q_{lt}}{Q_{max}} \right] M_p$$

e) Vid belastning med en variabel, upprepad lastandel  $Q_{vl}$ , som överstiger 70 % av maximallasten  $Q_{max}$ , skall säkerheten  $s_g$  mot gränslastens uppnående, för vilken normalt föreskrivs värdet

$$s_g = 1,7 \text{ vid vanligt belastningsfall}$$

$s_g = 1,5$  vid exceptionellt belastningsfall, med hänsyn till risken för tillväxtflytbrott ökas till värdet

$$s_g = 0,8 + 1,3 \frac{Q_{vl}}{Q_{max}} \text{ vid vanligt belastningsfall}$$

$$s_g = 0,6 + 1,3 \frac{Q_{vl}}{Q_{max}} \text{ vid exceptionellt belastningsfall.}$$

### 23. Brottypotes för tvåaxligt spänningpåverkade aluminiumsvetsar

Av i litteraturen redovisade resultat framgår, att spänningstillståndet vid fleraxlig spänningpåverkan för såväl stål som aluminium och aluminiumlegeringar även för långtgående deformationer med god approximation kan beskrivas genom hypotesen för konstant formändringsarbete, medan i brottögonblicket spänningstillståndet bättre beskrivs genom maximala skjuvspänningshypotesen enligt Coulomb-Mohr-Guest. Bortsett från vissa typer av svetsförband tyder redovisade litteraturresultat på att de nämnda ansträngningshypoteserna är tillämpbara också för svetsat aluminiummaterial.

För infästningssvetsar under sådant normal- och skjuvspänningstillstånd, som ger inledande brott i form av skjuvbrott, har för svetsat aluminiummaterial experimentellt konstaterats brottspänningar, som är avsevärt lägre än de ur hypotesen för konstant formändringsarbete beräknade. Normen möter förhållandet genom att för sådana infästningssvetsars dimensionering rekommendera en förhöjning med 25 %

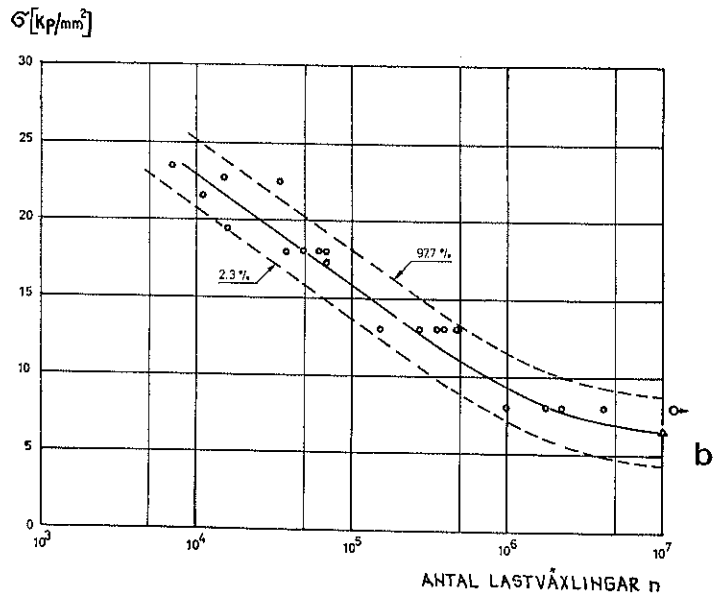
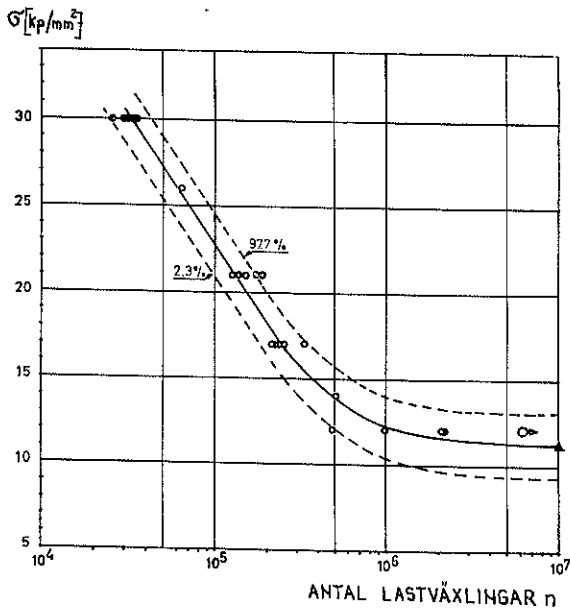


Fig 10. För legeringen AlZn4Mg bestämda Wöhler-kurvor vid a) pulserande draglängskraft med  $\mu = \sigma_{min}/\sigma_{max} = 0$ , b) växellängskraft med  $\mu = -1$ . Statisk brotthållfasthet =  $41,8 \text{ kp/mm}^2$ . Provningsmaskinens frekvens =  $110 \text{ cykler/s}$ . Heldragen kurva ger dynamiska brotthållfasthetens medelvärde och streckade kurvor medelvärde  $\pm$  dubbel standardavvikelse, innebärande en överlevandesannolikhet av 97,7 respektive 2,3 %

av den enligt hypotesen för konstant formändringsarbete beräknade jämförelsespänningen. Omvänt har försök med pulserande böjningsutmattnings av svetsade aluminiumbalkar för brottspänningen i svets mellan fläns och liv gett högre värden än ur hypotesen för konstant formändringsarbete beräknade [7].

#### 24. Dynamiskt påverkade konstruktionselement av aluminium eller aluminiumlegeringar

Inledningsvis har framhållits, att förefintliga utländska aluminiumnormer närmast täcker frågor rörande dimensionering av grundmaterial och konventionella lättmetallförband i statistiskt belastade konstruktioner men däremot ger liten ledning, vad gäller dimensionering av konstruktioner utsatta för dynamisk påverkan.

En väsentlig vidgning av underlaget för aluminiums och aluminiumlegeringars dynamiska brotthållfasthet ger det ovan nämnda material från dynamiska undersökningar av grundmaterial och svetsförband i AlMg-legering, som professor Neumann och Dipl Ing Schmidt välvilligt ställt till normkommitténs förfogande [1]. Ett väsentligt underlag för problemets normmässiga behandling utgör vidare resultaten från inom ramen för CIDA:s<sup>1</sup> verksamhet genomförda utmattningsförsök för AlSiMg-legering [8], [9].

För normarbetet erforderligt underlag har nödvändiggjort en serie kompletterande undersökningar rörande ett flertal till dynamiskt påverkade aluminiumkonstruktioner hörande problem. Resultat från några sådana undersökningar redovisas i [10]—[16].

<sup>1</sup> Centre International de Développement de l'Aluminium

Av i de redovisade undersökningarna behandlade problem må här följande anföras som fragmentarisk exemplifiering.

a) Bestämning av Wöhler-kurvor för aluminiumlegeringen AlZn4Mg vid dels pulserande, dragande längskraft, varierande mellan 0 och maximivärde ( $\mu = 0$ ), och dels växellängskraft med lika maximivärden för dragning och tryck ( $\mu = -1$ ) [16]. Belysning av erhållna resultat ger fig 10, som för  $\mu = 0$  respektive  $\mu = -1$  redovisar den dynamiska brotthållfastheten  $\sigma$  vid varierande lastväxlingsantal  $n$  genom dels medelvärde (heldragen kurva) och dels medelvärde  $\pm$  dubbel standardavvikelse (streckade kurvor). Av kurvorna

framgår bl a, att standardavvikelsen inom hela driftområdet är approximativt konstant, vilket innebär en relativ standardavvikelse, som växer med ökat lastväxlingsantal  $n$ .

b) Bestämning av lastfrekvensens inverkan på den dynamiska brotthållfastheten [12], [14]. Undersökningar har genomförts för legeringen AlZn4Mg dels som grundmaterial, utsatt för pulserande böjning, och dels för med stumsvets eller borrade hål utformade provstavar, utsatta för pulserande, dragande längskraft. Resultatexemplifiering ger fig 11. Generellt ger resultaten med avtagande lastfrekvens minskad dynamisk brotthållfasthet. På grundval av erhållna resultat och av

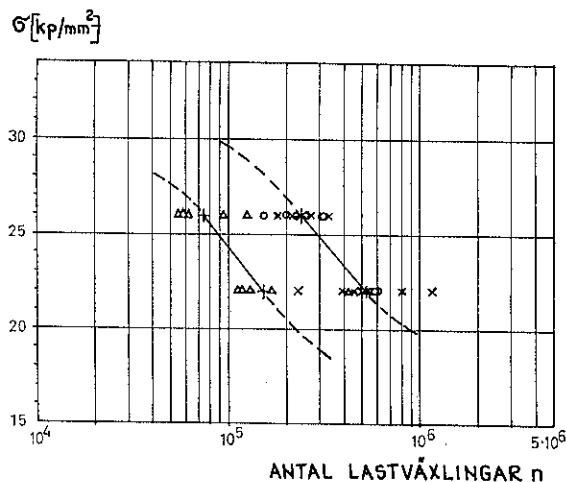
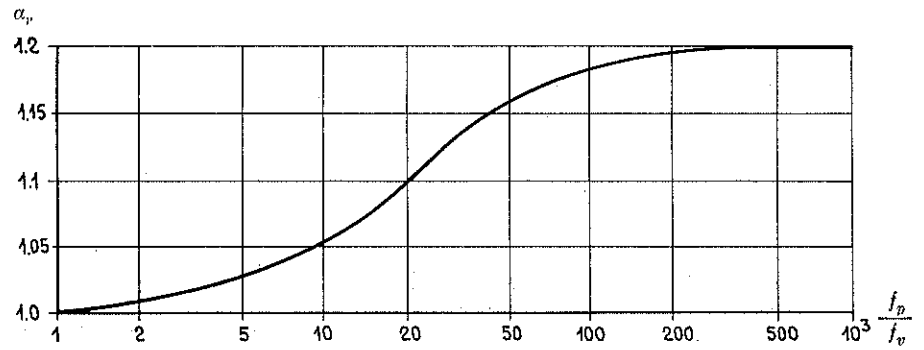


Fig 11. För legeringen AlZn4Mg bestämda Wöhler-kurvor vid pulserande böjning med lastfrekvens 23,7 (övre kurvan) respektive 0,40 cykler/s (undre kurvan). X = kontinuerligt pulserande böjspänning med lastfrekvens 23,7 cykler/s, 0 = alternerande pulserande böjspänning med lastfrekvens 23,7 cykler/s och statisk böjspänning, Δ = kontinuerligt pulserande böjspänning med lastfrekvens 0,40 cykler/s

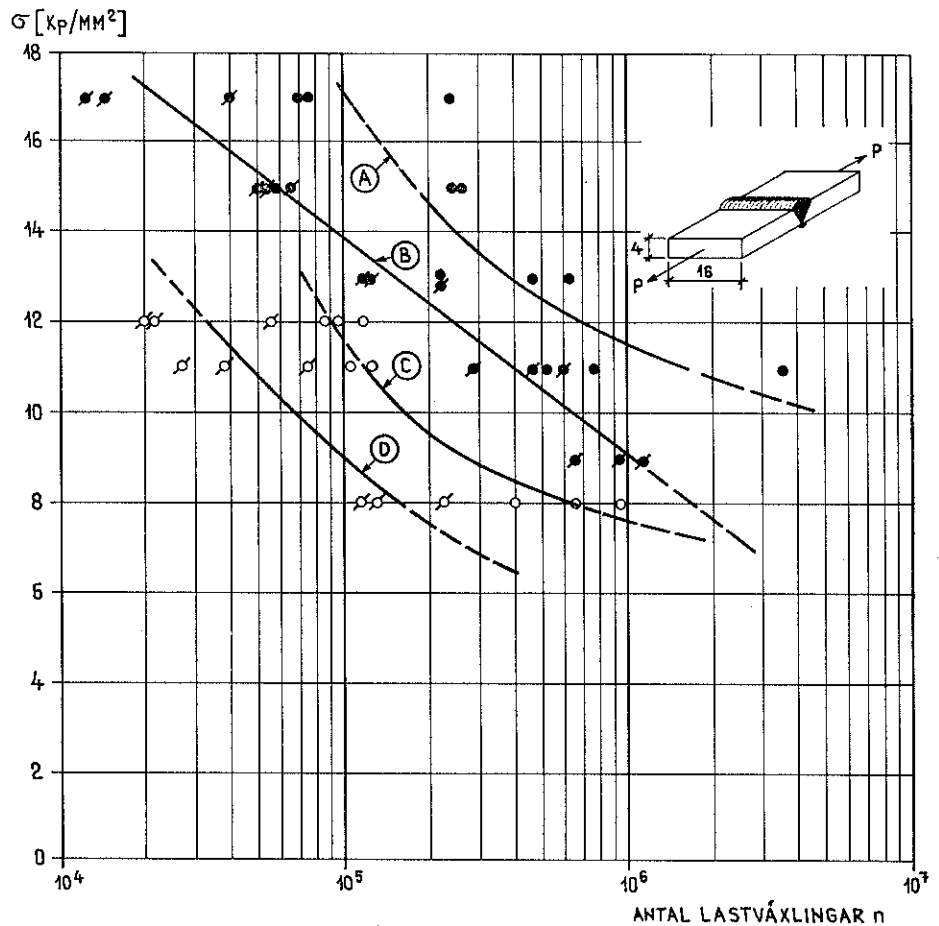
Fig 12. Förhållande  $\alpha_v$  mellan genom provning bestämd och till verkligt belastningsfall hörande dynamisk brottspänning som funktion av förhållandet mellan provningsmaskinens frekvens  $f_p$  och verkligt belastningsfalls frekvens  $f_v$



i litteraturen redovisade likartade undersökningar, speciellt [17], har för normtillämpningen konstruerats det i fig 12 återgivna kurvsambandet över korrektionsfaktor  $\alpha_v$  som funktion av förhållandet mellan provningsmaskinens frekvens  $f_p$  och verklig belastningsfrekvens  $f_v$ . Den till det verkliga belastningsfallet hörande dynamiska brottspänningen bestäms därvid ur vid provning erhållen dynamisk brottspänning genom division med faktorn  $\alpha_v$  vid  $f_p/f_v > 1$  och genom multiplikation med faktorn  $\alpha_v$  vid  $f_p/f_v < 1$ , varvid i det senare fallet förhållandet  $f_v/f_p$  används som ingångsstorhet i diagrammet för  $\alpha_v$ .

c) Studium av effekten av kallbearbetning på den dynamiska brotthållfastheten för stumsvetsat material av legeringarna AlZn4Mg och AlSiMg. Därvid har undersökts inverkan dels från en förtjning av storleksordningen 1–2 %, varvid för båda legeringarna funnits en avsevärt förhöjd dynamisk brotthållfasthet, och dels från en kulblästring (shot peening) av svetsens över- och undersida, varvid för legeringen AlZn4Mg konstaterats en avsevärd förbättring och för legeringen AlSiMg en försämring av den dynamiska brotthållfastheten [11]. Punktmässig belysning av erhållna resultat ger fig 13, vilken för stumsvetsat material av legering AlZn4Mg jämför den dynamiska brotthållfastheten för obehandlad och kulblästrad svets för dels pulserande längskraft med  $\mu=0$  och dels växellängskraft med  $\mu=-1$ .

d) Studium av effekten av korrosion på statisk och dynamisk brotthållfasthet för grundmaterial och stumsvetsat material av legeringen AlZn4Mg [15]. I försöksrum med artificiellt korrosiv atmosfär och i fält med naturlig industriell och marin atmosfär genomförda undersökningar visar därvid, att



PROVNINGSRESULTAT:  
 KURVA (A): ●  $\mu=0$  ; KULBLÄSTRAD STUMSVETS  
 KURVA (B): ■  $\mu=-1$  ; " " " " " "  
 KURVA (C): ○  $\mu=0$  ; OBEHANDLAD STUMSVETS  
 KURVA (D): □  $\mu=-1$  ; " " " " " "

Fig 13. Wöhler-kurvor för stumsvetsat material av legering AlZn4Mg (tillstånd 6) vid obehandlad och kulblästrad svets för dels pulserande längskraft med  $\mu=0$  och dels växellängskraft med  $\mu=-1$

korrosion utan samtidig närvaro av yttre belastning obetydligt påverkar den statiska eller dynamiska brotthållfastheten för såväl grundmaterial som svetsat material. I kombination med långtidsbelastning kan däremot risk för spänningskorrosion inträffa. Försöken visar därvid dock, att någon sådan spänningskorrosion ej uppkommer för grundmaterial, om verkande spänning är lägre än ca 22 kp/mm<sup>2</sup>, och för stumsvetsat material, om verkande spänning är lägre än ca 15 kp/mm<sup>2</sup>.

### 3. Säkerhetsfaktorn

Tidigare har anförts, att vid huvudnormens utarbetande i väsentlig omfattning utnyttjats de betydande och allsidiga erfarenheterna från dimensionering och praktiskt byggande i det i många avseenden med aluminium och aluminiumlegeringar närbesläktade materialet stål och vilka erfarenheter i dag finns på ett kvalificerat sätt bearbetade och inkluderade i ett flertal länders stålkonstruktionsnormer.

Från stålbyggnadsområdet har i aluminiumnormen övertagits de till statisk last hörande säkerhetsfaktorerna, innebärande för grundmaterial tillåtna spänningar enligt tabell 1 med

$$(5) \quad \frac{\sigma_{0,2}^*}{\sigma_{0,2}} = \frac{\sigma_B^*}{\sigma_B} = 1,8 - \frac{Q_{it}}{Q_{max}}$$

Tabell 1

| Belastningstyp                   | Giltighetsområde                  | Tillåten spänning                    |                                  |
|----------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|
|                                  |                                   | Vanligt lastfall                     | Except lastfall                  |
| 1 Tryck utan knäckrisk, dragning | $\frac{Q_{it}}{Q_{max}} \leq 0,8$ | $\sigma_{0,2}/1,5; \sigma_B/1,7$     | $\sigma_{0,2}/1,3; \sigma_B/1,5$ |
|                                  |                                   | $\sigma_{0,2}/1,5$                   | $\sigma_{0,2}/1,3$               |
| 2 Tryck utan knäckrisk, dragning | $\frac{Q_{it}}{Q_{max}} > 0,8$    | $\sigma_{0,2}^*/1,5; \sigma_B^*/1,7$ | $\sigma_{0,2}/1,3; \sigma_B/1,5$ |
|                                  |                                   | $\sigma_{0,2}^*/1,5$                 | $\sigma_{0,2}/1,3$               |
| 3 Skjuvning                      | Utan inskränkning                 | 0,6 $\sigma_{t111}$ enligt rad 1     |                                  |
| 4 Hållkantryck (nitförband)      | "                                 | 1,5 $\sigma_B/1,7$                   | $\sigma_B$                       |
| 5 Hållkantryck (skruvförband)    | "                                 | 1,35 $\sigma_B/1,7$                  | 1,35 $\sigma_B/1,5$              |

Som värden för  $\sigma_{0,2}$  och  $\sigma_B$  skall därvid insättas 0,2-gränsens respektive brottspänningens medelvärde minskat med under förutsättning av statistisk normalfördelning beräknad dubbel standardavvikelse, dvs värden, som täcker in 97,7 % av testat material.

Väsentliga, för säkerhetsfaktorernas storlek avgörande influenser utgör dimensionstoleranser, hållfasthetspridning, spännings-töjningskurvans utseende, giltighet av brotthypotes, noggrannhet i tillverkning och montage

samt hållfasthetsnedsättande åverkan under transport och montage.

Av dessa influenser har ovan närmare diskuterats giltighet av brotthypotes samt effekt av spännings-töjningskurvans utseende, vad gäller kryppbenägenhet, tillämpning av gränslastmetod och beräkning av axiellt tryckbelastad konstruktions knäckningslast. Med beaktande av för aluminium och aluminiumlegeringar i dessa avseenden specifika karakteristika på det sätt, som genomförts i norm och kommentar-

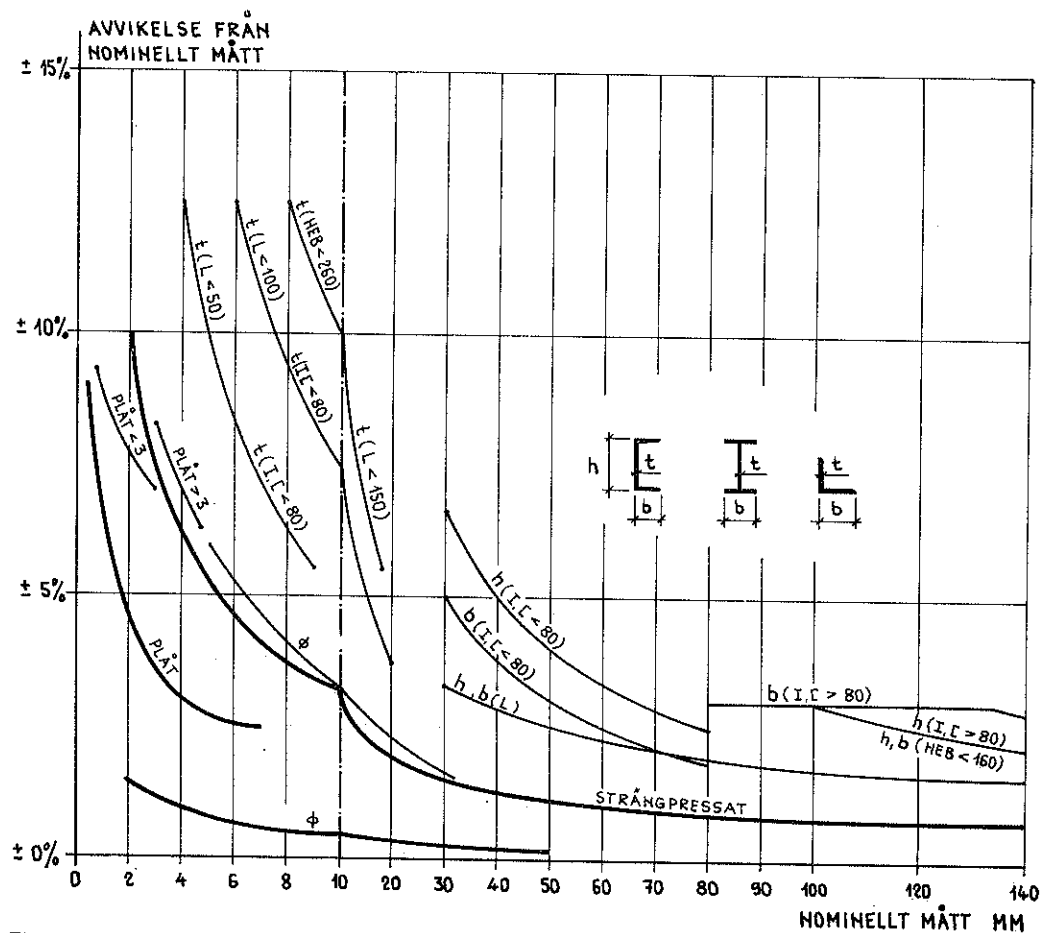


Fig 14. För formarvaror av aluminium (—) och stål (—) representativa dimensionstoleranser

texten, blir aluminium och aluminiumlegeringar å ena sidan och mjuka konstruktionsstål å andra sidan med hänsyn till dessa influenser approximativt likvärdiga. För de övriga nämnda influenserna må här följande anföras.

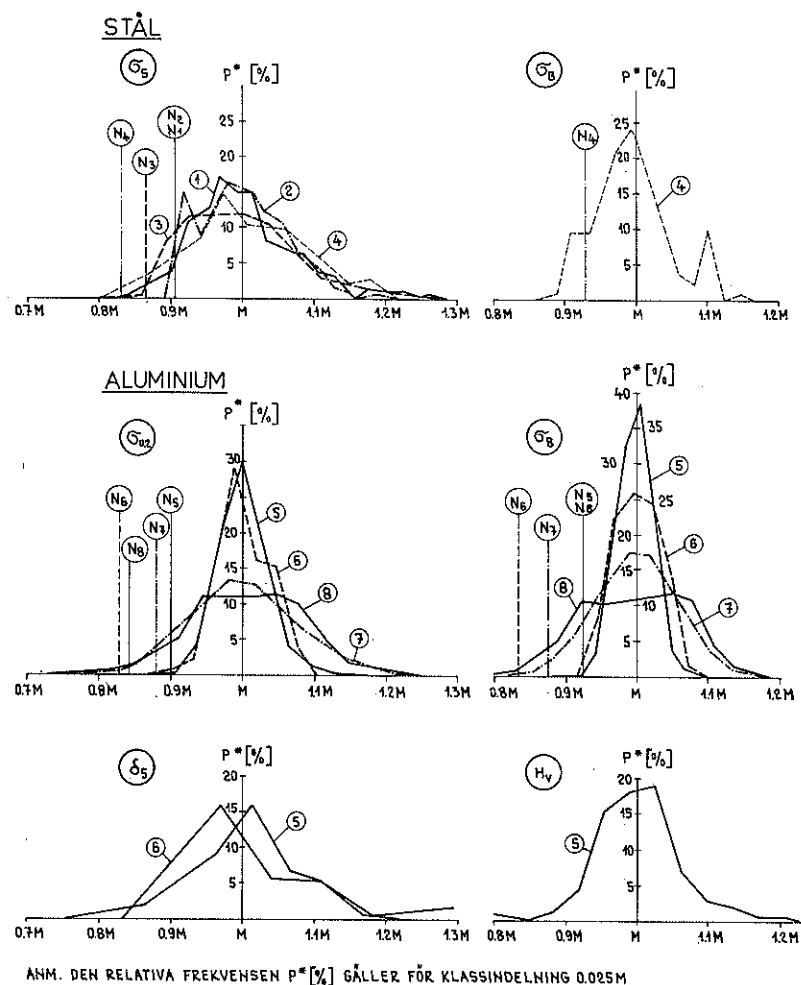
De till tillverkning, transport och montage hörande noggrannhetskraven kan förutsättas bli uppfyllda i samma utsträckning för aluminiumkonstruktioner som för stålkonstruktioner. För båda konstruktionstyperna kommer det praktiska utförandearbetet att åvila samma yrkeskategori. Aluminiumkonstruktioner är därvid mera känsliga än stålkonstruktioner för mekanisk påverkan — ett förhållande, som sannolikt kommer att leda till att aluminiumkonstruktionerna handhas med större försiktighet. Slutproduktens noggrannhet regleras genom föreskrifter i normkapitlet rörande arbetsutförande, kontroll och besiktning.

För dimensionstoleranserna representativa karakteristika ges i fig 14, i vilken formvaror av aluminium och stål jämförs, vad gäller plåt, rundstänger och profiler. Jämförelsen visar för aluminiumprodukter genomgående mindre avvikelser från nominellt mått än för motsvarande stålprodukter.

Spridningen i materialegenskaper för å ena sidan mjukt konstruktionsstål och å andra sidan aluminiumlegeringar illustreras genom kurvor för den relativa frekvensen  $p^*$  i fig 15. För stål redovisas därvid frekvenskurvor för sträckgränsen  $\sigma_s$  och brottspänningen  $\sigma_B$  och för aluminiumlegeringar frekvenskurvor för 0,2-gränsen  $\sigma_{0,2}$ , brottspänningen  $\sigma_B$ , brotttöjningen  $\delta_5$  samt Vickershårdenheten  $H_v$ . I figuren redovisas också till respektive material hörande nominella värden  $N$ . Kurvorna ger för aluminiumlegeringar en större standardavvikelse för brotttöjningen  $\delta_5$  och Vickershårdenheten  $H_v$  än för 0,2-gränsen  $\sigma_{0,2}$  och brottspänningen  $\sigma_B$ . Standardavvikelsen är större för totalprovning, omfattande ett flertal typer formvaror, än för provning i anslutning till enstaka leverans. I stort framgår av den redovisade jämförelsen, att stål och aluminiumlegeringar är nära likvärdiga, vad avser såväl standardavvikelsens storlek som förhållandet mellan respektive hållfasthets genom provning bestämda medelvärde och nominellt värde.

För de till dynamisk last hörande säkerhetsfaktorerna har i aluminiumnormen införts ett delvis nytt betraktelsesätt, som här avslutningsvis ges en summarisk, orienterande beskrivning.

Med hänsyn till dynamisk påverkan



ANM. DEN RELATIVA FREKVENSEN  $p^*$  [%] GÄLLER FÖR KLASSINDELNING 0.025M

### STÅL

| KURVA | KVALITET  | MEDELVÄRDE<br>M                                    | STANDARDDEV.<br>Δ | ANTAL<br>n | NOM. VÄRDE<br>N  | ANM. |
|-------|-----------|--|-------------------|------------|--|------|
| ①     | Ks 40     | 44.1 kp/mm <sup>2</sup>                            | 0.079M            | 545        | $\sigma_s = 40$ kp/mm <sup>2</sup>                                       | 1)   |
| ②     | Ks 40     | 44.3 kp/mm <sup>2</sup>                            | 0.060M            | 446        | $\sigma_B = 40$ kp/mm <sup>2</sup>                                       | 2)   |
| ③     | St 37     | 27.9 kp/mm <sup>2</sup>                            | 0.077M            | 6.502      | $\sigma_s = 24$ kp/mm <sup>2</sup>                                       | 3)   |
| ④     | SIS 14-11 | 28.9 kp/mm <sup>2</sup><br>47.3 kp/mm <sup>2</sup> | 0.079M<br>0.050M  | 154<br>154 | $\sigma_s = 25$ kp/mm <sup>2</sup><br>$\sigma_B = 44$ kp/mm <sup>2</sup> | 4)   |

- 1) PROVPARTI FRÅN TRE JÄRNVERK (+40) [33]
- 2) PROVPARTI FRÅN ETT — (+40) [33]
- 3) TOTALPROVNING OMFATTANDE PLÅT, PROFIL OCH STÅNG [9]
- 4) PROVNING OMFATTANDE STÅNG OCH PLÅT ( $\alpha > 30$ MM) [UNDERLAG KVVS]

### ALUMINIUM

| KURVA | KVALITET | MEDELVÄRDE<br>M          | STANDARDDEV.<br>Δ | ANTAL<br>n | NOM. VÄRDE<br>N 1)                     | ANM. |
|-------|----------|--------------------------|-------------------|------------|--|------|
| ⑤     | AlCuSiMg | 31.0 kp/mm <sup>2</sup>  | 0.032M            | 2.993      | $\sigma_{0,2} = 28$ kp/mm <sup>2</sup> | 2)   |
|       |          | 47.6 kp/mm <sup>2</sup>  | 0.025M            | 2.412      | $\sigma_B = 44$ kp/mm <sup>2</sup>     |      |
|       |          | 19.7%                    | 0.081M            | 2.462      | $\delta_5$                             |      |
|       |          | 141.2 kp/mm <sup>2</sup> | 0.057M            | 1.088      | $H_v$                                  |      |
| ⑥     | AlZn4Mg  | 33.9 kp/mm <sup>2</sup>  | 0.036M            | 139        | $\sigma_{0,2} = 28$ kp/mm <sup>2</sup> | 3)   |
|       |          | 38.7 kp/mm <sup>2</sup>  | 0.032M            | 139        | $\sigma_B = 32$ kp/mm <sup>2</sup>     |      |
|       |          | 14.4%                    | 0.083M            | 150        | $\delta_5$                             |      |
| ③     | AlZn4Mg  | 31.0 kp/mm <sup>2</sup>  | 0.076M            | 6971       | $\sigma_{0,2} = 28$ kp/mm <sup>2</sup> | 4)   |
|       |          | 36.8 kp/mm <sup>2</sup>  | 0.056M            | 6.971      | $\sigma_B = 32$ kp/mm <sup>2</sup>     |      |
| ⑧     | AlSiMg   | 29.7 kp/mm <sup>2</sup>  | 0.080M            | 3.505      | $\sigma_{0,2} = 25$ kp/mm <sup>2</sup> | 5)   |
|       |          | 32.5 kp/mm <sup>2</sup>  | 0.077M            | 3.505      | $\sigma_B = 30$ kp/mm <sup>2</sup>     |      |

- 1) NOMINELLA VÄRDEN EHLIGT ÖVERENSKOMMELSE MELLAN BESTÄLLARE OCH TILLVERKARE. ALSiMg UTAN STIPULERAT KRÄV.
- 2) PROVNING AVSER PLÅT [UNDERLAG SM]
- 3) PROVNING AVSER EN PROFILTYP [UNDERLAG KAF]
- 4) PROVNING AVSER TOTALPROVNING [UNDERLAG KAF]
- 5) ————— [UNDERLAG SM]

Fig 15. Jämförelse mellan spridning i materialegenskaper för stål och aluminiumlegeringar

ger normen möjlighet för dimensionering baserad på antingen Wöhler-kurva eller resultat från programutmattnings.

Exempel på i normen angivna Wöhler-kurvor, vilka som bekant förutsätter en med tiden  $t$  sinusformat varierande last, som monotont upprepas utan förändring av förhållandet  $\mu$  mellan minsta spänningsvärde  $\sigma_{\min}$ ,  $\tau_{\min}$  och största spänningsvärde  $\sigma_{\max}$ ,  $\tau_{\max}$ , ges genom fig 16, vilken för legeringen AlZn4Mg för olika  $\mu$ -värden mellan +1,0 och -1,0 redovisar variationen med antalet lastväxlingar  $n$  av reduktionsfaktorn  $\gamma$ , definierad som förhållandet mellan den dynamiska brotthållfastheten i grundmaterial utan anvisningsverkan  $\sigma_B$  och tillhörande ur korttidsprov bestämd statisk brotthållfasthet  $\sigma_{B_{N=1}}$ , dvs

$$(6) \quad \gamma = \frac{\sigma_{B_n}}{\sigma_{B_{N=1}}}$$

De exemplifierande kurvorna bygger på ovan nämnda, inom ramen för normarbetet utförda undersökningar med i figuren angivna värden svav-

rande mot medelvärden, minskade med dubbla standardavvikelsen. Kurvorna gäller för pulserande eller växlande längskraft. I avvaktan på systematiska undersökningar medger normen för pulserande eller växlande böjningsbelastning som en approximation något på säkra sidan 1,2-faldiga  $\sigma_B$ -värden enligt figuren.

Ett mera realistiskt dimensioneringsförfarande än det på Wöhler-kurvor baserade utgör en dimensionering med utgångspunkt från resultat från programutmattnings genom driftsförsök för approximativt verkligt belastningskollektiv. Vid sådana driftsförsök utförda på konstruktionselement i fullskala ger normen en öppen säkerhetsgrad, som får avgöras för varje särskilt fall på grundval av aktuella osäkerheter i dimensioneringsantaganden. Dock får därvid den till spänningen refererade säkerhetsfaktorn  $s_B^u$  aldrig väljas mindre än 1,2. Vid de till programutmattnings hörande driftsförsöken utförda på provstavar föreskriver normen en till spänningen refererad säkerhetsfaktor  $s_B^u$ , som varierar med legering,

$\mu$  och lastväxlingsantal  $n$  enligt för dimensionering över Wöhler-kurvor angivet sätt.

Exempel på en sådan av  $\mu$  och  $n$  bestämd säkerhetsfaktorvariation  $s_B^u$  redovisas i fig 16 för legeringen AlZn4Mg. Säkerhetsfaktorn kan beskrivas som produkten av två delsäkerhetsfaktorer  $s_m$  och  $s_p$ , varvid delsäkerhetsfaktorn  $s_m$  skall täcka spridningen i hållfasthetspåverkande materialegenskaper och delsäkerhetsfaktorn  $s_p$  sådana osäkerheter, som härrör från beräkningsmässiga eller tillverknings-tekniska avvikelser från förutsatt system. Delfaktorn  $s_p$  är därvid oberoende av lastväxlingsantalet  $n$ . För lämpligt val av den andra delfaktorn  $s_m$  har i normen framlagts följande synpunkter.

För lastväxlingsantal  $n \geq 10^8$  är Wöhler-kurvorna approximativt horisontella. Inom detta område bör kunna accepteras den överlevandesannolikhet på 97,7 %, som garanteras genom att som utgångsvärde för  $\sigma_B$  valts medelvärde, minskat med dubbel standardavvikelse, dvs väljas  $s_m = 1$ . För till  $\gamma = 1$  hörande små  $n$ -värden, dvs för ett

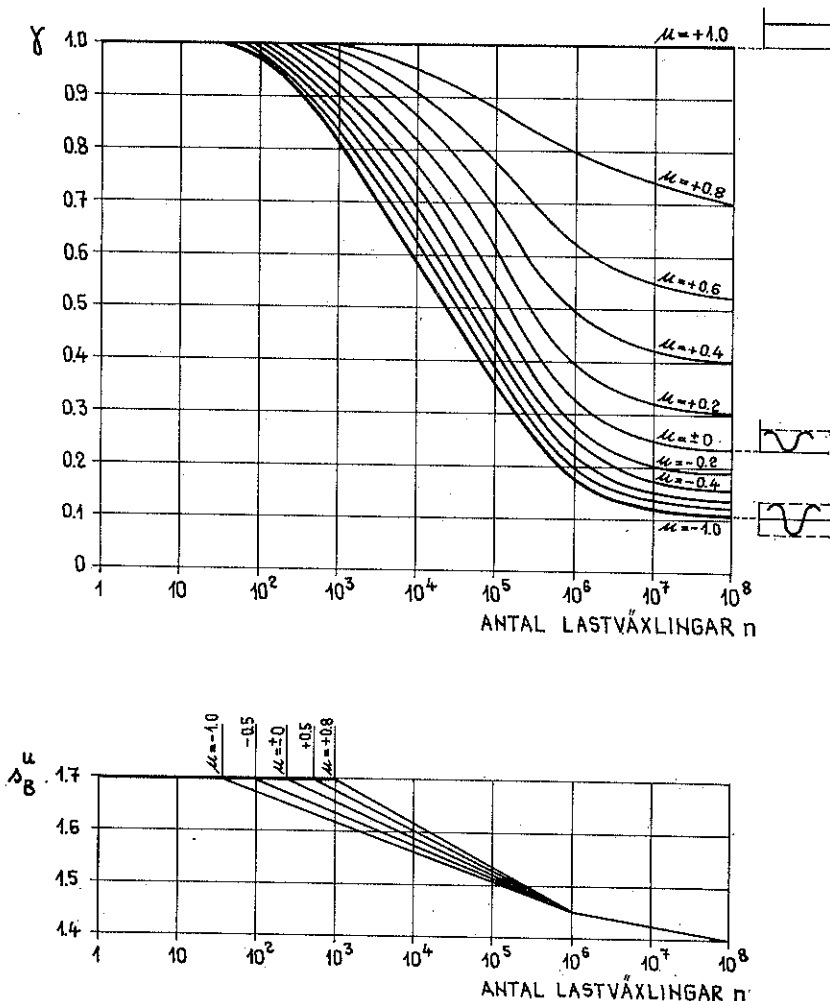


Fig 16. Reduktionsfaktor  $\gamma = \sigma_{B_n} / \sigma_{B_{N=1}}$  och säkerhetsfaktor  $s_B^u$  för grundmaterial av legeringen AlZn4Mg.  $\mu = \sigma_{\min} / \sigma_{\max}$ ;  $\tau_{\min} / \tau_{\max}$ . Provningsmaskinens frekvens = 110 p/s

i princip statistiskt lastfall, måste för den resulterande säkerhetsfaktorn  $s_B$  väljas samma värde 1,7, som gäller vid vanligt statistiskt belastningsfall, jfr tabellen på sid 12. Inom detta område måste ur hållfasthetssynpunkt krävas en större överlevandesannolikhet än nyss nämnda 97,7 %. För normen har därvid valts att acceptera en brottriskfaktor av  $10^{-6}$ , varemot svarar ett  $s_m$ -värde  $\approx 1,2$ . Som konsekvens blir då den av  $n$  oberoende delsäkerhetsfaktorn  $s_p = 1,7/1,2 = 1,4$ . En rimlig avvägning av  $s_m$ -delfaktorns variation från 1,2 vid till  $\gamma = 1$  hörande  $n$ -värden till 1 vid  $n \geq 10^3$  ger därefter för den resulterande säkerhetsfaktorn  $s_B$  ett nyanseerat  $\mu$ - och  $n$ -beroende enligt för legeringen AlZn4Mg i fig 16 exemplifierat diagram.

#### 4. Sammanfattning

Ovan har översiktligt orienterats över den av SVR:s aluminiumnormkommitté nyligen färdigställda försök-normen "Aluminiumkonstruktioner", avsedd att underlätta konstruktiv utformning, dimensionering och utförande av bärande konstruktioner i aluminium och aluminiumlegeringar inom tillämpningsområdena brobyggnad, hus- och industribyggnad, vattenbyggnad, cisternbyggnad, kranbyggnad, torn- och mastbyggnad, ställningsbyggnad, skeppsbyggnad samt rullande materiel. Orienteringen behandlar normens omfattning och disposition samt i normen utnyttjat underlag av tidigare existerande art eller sådant, som framtagits genom i anslutning till normarbetet genomförd forsknings- och utvecklingsverksamhet. Parallellt med denna översiktliga orientering belyser uppsatsen också punktmässigt något mera ingående vissa för normen karakteristiska och speciellt intressanta frågeställningar som säkerhetsfaktorn, knäckning av tryckt sträva av material med krökt  $\sigma$ - $\epsilon$ -kurva, gränslastmetodens tillämpbarhet, brottypotes för tvåaxligt spänningspåverkade svetsar samt en serie för dynamiskt påverkade aluminiumkonstruktioner speciella problem.

Det inom SVR:s aluminiumnormkommitté pågående arbetet fortsätter nu närmast med ett utarbetande av "Normer och anvisningar för behandling av stabilitetsproblem". Parallellt utarbetas inom IVA:s svetskommission i samråd med SVR:s aluminiumnormkommitté "Normer för projektering, utförande och kontroll av svetsade aluminiumkonstruktioner". Dessa båda huvudnormen "Aluminiumkonstruktioner" kompletterande normer beräknas föreligga färdiga under senare delen av år 1967.

#### LITTERATUR

- [1] *Neumann, A-Schmidt, M:* Theoretische und praktische Grundlagen des Festigkeitsverhaltens dynamisch beanspruchter Schweissverbindungen aus AlMg-Knetlegierungen. Väg- och vattenbyggaren 9, 1965.
- [2] *Ödeen, K:* Theoretical Study of Fire Characteristics in Enclosed Spaces. Division of Building Construction, KTH, Bulletin No 10, 1963.
- [3] *Pettersson, O:* Utvecklingstendenser rörande brandteknisk dimensionering av stålkonstruktioner. Väg- och vattenbyggaren 6-7, 1964.
- [4] *Pettersson, O:* Structural Fire Engineering Research Today and Tomorrow. Acta Polytechnica Scandinavica Ci 33, Stockholm 1965.
- [5] *Baehre, R:* Tryckta strävor av elastoplastiskt material — några frågeställningar. Väg och vattenbyggaren 3, 1966.
- [6] *Baehre, R-Bröchner, I-Sjölund, J:* Untersuchungen zur Anwendung der plastischen Tragwerksbemessung bei Aluminiumkonstruktionen. Väg- och vattenbyggaren 9, 1965.
- [7] *Essen, W von:* Applicability of Maximum Distortion Energy Theory to Stage of Failure of Fillet Welds in Light Metals and Alloys Subjected to Simultaneous Action of Shear Stresses and Tensile Stresses. Väg- och vattenbyggaren 9, 1965.
- [8] *Jarfäll, L E:* Axial Stress Fatigue Strength of 4-mm AlSiMg Alloy in Fully Heat-Treated (WP-) Condition and in Butt-Welded Condition. Publication No 143, Division of Strength of Materials, KTH, Stockholm 1963.
- [9] *Öberg, L:* Bending and Axial Stress Fatigue Strength of AlMgSi Alloy as Parent Material and in Welded Condition. Publication No 145, Division of Strength of Materials, KTH, Stockholm 1964.
- [10] *Hedström, Å:* Programmed Fatigue Tests on AlZn4Mg Alloy Specimens with Butt Welds or Drilled Holes. Väg- och vattenbyggaren 9, 1965.
- [11] *Hedström, Å:* Effect of Cold Working on Fatigue Strength of Welded Joints and Base Metal in Aluminium Alloys. Väg- och vattenbyggaren 9, 1965.
- [12] *Hedström, Å:* Effect of Loading Frequency on Tensile Fatigue Strength of AlZn4Mg Alloy Specimens with Butt Welds or Drilled Holes. Väg- och vattenbyggaren 9, 1965.
- [13] *Hedström Å:* Methods of Sampling in Fatigue Tests on Aluminium Alloys. Väg- och vattenbyggaren 9, 1965.
- [14] *Rodenius, E:* Effect of Loading Frequency on Endurance in Flexural Fatigue Tests on AlZn4Mg Alloy Base Material Specimens. Väg- och vattenbyggaren 9, 1965.
- [15] *Aronsson, P O-Hedström, Å:* Effects of Corrosion on Static and Dynamic Strength of AlZn4Mg Alloy. Väg- och vattenbyggaren 9, 1965.
- [16] *Persson, K E-Rodenius, E:* Fatigue Tests on AlZn4Mg Alloy Base Material Specimens. Väg- och vattenbyggaren 9, 1965.
- [17] *Mann, J Y:* The Effect of Rate of Cycling on the Fatigue Properties of 24S-T Aluminium Alloy. Aeronautical Research Laboratories, Report SM 188, 1954.



1