



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

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



Rapport

R53:1976

**Provning av svetsfogade
stålbalkar**

Sture Sabelström

Gunnar Andersson

Byggforskningen

TEKNISKA HOGSKOLAN I LUND
SEKTIONEN FOR VAG- OCH VATTEN
BIBLIOTEKET

Rapport R53:1976

PROVNING AV SVETSFOGADE STÅLBALKAR

Jämförande provning av balkar uppbyggda av enkelsidig
respektive dubbelsidig svets

Sture Sabelström

Gunnar Andersson

Denna rapport hänför sig till anslag nr C 448 från Statens råd
för byggnadsforskning till Sture Sabelström, Stockholm.

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm
ISBN 91-540-2630-X

LiberTryck Stockholm 1976

INNEHÅLL

BETECKNINGAR	4
FÖRORD	5
1 INLEDNING	7
1.1 Allmänt om tillverkning av plåtbalkar . . .	7
1.2 Målsättning för undersökningen	7
1.3 Uppläggning av undersökningen	7
2 BÖJANDE MOMENT	9
2.1 Teori	9
2.2 Påkänningar i svets	11
2.3 Försök	13
2.31 Balkar	13
2.32 Belastningsanordning	16
2.33 Deformationsmätning	16
2.34 Spänningsmätning	20
2.35 Beräknade maximala laster	20
2.4 Försöksresultat	23
2.41 Belastning	23
2.42 Deformationer	23
2.43 Spänningsmätning	28
2.5 Jämförelser och slutsatser	32
3 AVSKÄRNINGSKRAFT VID UPPLAG	33
3.1 Teori	33
3.2 Påkänningar i svets	37
3.3 Försök	39
3.31 Försöksbalkar	39
3.32 Belastningsanordning	45
3.33 Deformationsmätning	45
3.34 Spänningsmätning	45
3.4 Försöksresultat	47
3.41 Belastning	47
3.42 Deformation	52
3.43 Spänningsmätning	52
3.5 Jämförelser och slutsatser	59
4 ROSTSKYDD AV ENKELSIDIGT SVETSADE BALKAR	68
5 SAMMANFATTNING	70
LITTERATUR	72
BILAGA Förslag till norm	73

BETECKNINGAR

a	avstånd mellan avstyvningar
A	tvärsnittsarea
b	flänsbredd, höjd på dragfält
d	livtjocklek
E	elasticitetsmodul = $2,1 \cdot 10^6$ kp/cm ²
g	diagonallängd i plattfält
h	livhöjd
h_t	tyngdpunktsavstånd mellan flänsar
i	tröghetsradie
I	ytröghetsmoment
k	bucklingskoefficient
l	bredd på dragfält
M	moment
P	domkraftslast
R	upplagsreaktion
s	säkerhetstal
t	flänstjocklek
T	tvärkraft
W	böjmotstånd
$\alpha = \frac{a}{b}$	bredd-höjd-förhållande vid dragfält
σ_{su}	undre sträckgräns
σ_{el}	tryckspänning för den enligt elasticitetsteorin beräknade bucklingslasten
σ_{kr}	kritisk spänning
τ_{el}	skjuvbucklingsspänning enligt elasticitetsteorin

FÖRORD

På uppdrag av Statens råd för byggnadsforskning har provningar och undersökningar gällande svetsning av stål utförts, vilka redovisats i tre delrapporter enligt nedan. Föreliggande rapport gäller dock enbart deluppgift C.

A. Erforderlig efterbearbetning av gasskurna ytor exempelvis flänskanter hos svetsade balkar

Denna fråga hade särskild aktualitet då man vid tillverkningen av svetsade balkar i stor utsträckning använder flänisar skurna ur plåt. Beträffande nödvändigheten och utförandet av efterbearbetningen av de gasskurna kanterna hade uppstått flera frågor, också av ekonomisk karaktär.

Resultaten från denna undersökning framlades som förslag till norm rörande kvalitetskrav för termiskt skurna ytor, vilka resultat efter Stålbyggnadsinstitutets bedömning, delvis lagts till grund för Byggsvetsnorm StBK-N2, utgiven 1974 av Statens Stålbyggnadskommitté.

B. Bedömningen av svetsbarheten hos konstruktionsstål med ledning av hårdheten i den värmepåverkade zonen

Hårdhetsprovet, där stålet godkännes för svetsning, har under många år varit föremål för livlig debatt.

Undersökningen kring hårdhetsvärdena för ståls svetsbarhet ledde fram till ett förslag till norm som i detalj reglerar själva utförandet av ett hårdhetsprov i den värmepåverkade svetszonen. Provet är ej som tidigare förbundet med något krav rörande högsta hårdhet.

Förslaget till provningsförfarande har beaktats av Metallnormcentralen som i samarbete med Svetskommissionen lagt det till grund för Svensk Standard MNC gällande "Påsvetsprov för bedömning av hårdhetsändring hos stål vid svetsning", med utgivning våren 1977 av Metallnormcentralen.

C. Jämförande provning av balkar uppbyggda av enkelsidig resp. dubbelsidig svets

Med enkelsidig svets avses i denna undersökning svets endast utförd från en sida. Enkelsidig svetsning accepteras enligt de gamla byggsvetsnormerna när åtkomligheten ej medger dubbelsidig svetsning. I sådana fall rekommenderas svetsning mot underläggsplåt. Dylik enkelsidig svetsning förekommer bland annat vid tillverkning av lådkonstruktioner och lådbalkar till hus och fabriksbyggnader, till kranar och kranbanor.

I denna undersökning behandlas egenskaper hos svetsade I-balkar där man i rationaliseringssyfte minskat antalet kälsvetsar från fyra till två genom att utan vändning av balken färdigsvetsa från ett håll.

Enligt "löpande band-" princip kan sålunda "råbalk" framställas och efter färdigsvetsning kapas i önskade längder för vidare manufakturering på annat håll. Dylika balkar framställs i utlandet enligt ett modulsystem och några enstaka byggnader finns uppförda här i landet med importerade enkelsidigt svetsade balkar.

Stålkonstruktionen till en av dessa, ett hamnmagasin på västkusten, råkade under en storm vid monteringen av stålstommen störta samman till följd av bristfällig stagnering. Takbalkar och pelare deformerades kraftigt utan att brott inträffade i någon av de enkelsidigt utförda svetsarna. Av en tillfällighet blev det möjligt att för de pågående försöken överta några balkar som efter riktning användes och provbelastades.

Undersökningen har i princip omfattat två belastningsfall, nämligen stort moment samt stor avskärningskraft.

Vid momentförsöken kunde ej någon skillnad mellan enkel- och dubbelsidig svets iakttagas. Maximal last, last-nedböjningskurva, livutböjning, flänsvidning och spänningsfördelning var nästan identiska vid de olika försöken.

Vid avskärningsförsöken tyder resultaten på att balkens lastupptagande förmåga inom ramen för acceptabla deformationer ej är beroende på fogtyp, medan brottlasten är någon eller några procent lägre vid enkelsidigt svetsade balkar än vid dubbelsidigt svetsade.

Redovisningen avslutas med förslag till normtext rörande fogutformning vid enkelsidig och dubbelsidig stumsvets och kälsvets med olika grad av partiell genomsvetsning.

Tack framförs till civilingenjör Gunnar Andersson som mycket självständigt handlagt den teoretiska behandlingen. Till professor Rolf Baehre riktas ett tack för värdefulla råd i samband med provningen. Till AB Järnmontering, Malmö, riktas ett tack för bidrag i form av material och svetsning.

Sture Sabelström

1 INLEDNING

1.1 Allmänt om tillverkning av plåt- balkar

Tillverkning av svetsade plåtbalkar sker ofta genom svetsning i pulverbågsvetsautomater. Härvid läggs två svetssträngar samtidigt. Se FIG. 1.

I regel vänder man därefter balken och lägger på svetssträngar från andra sidan. Utomlands förekommer det att man nöjer sig med att svetsa från ena sidan livet. Detta måste givetvis innebära ganska avsevärda besparingar i tid, arbete och elektrodmaterial samt en nästan fördubblad tillverkningskapacitet vid en given maskinutrustning.

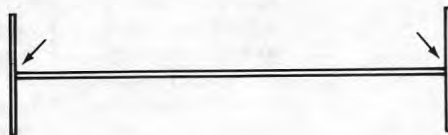


FIG. 1. Samtidig pulverbågsvetsning av två svetsar.

1.2 Målsättning för undersökningen

Den här föreliggande undersökningen syftar till att utröna huruvida det föreligger någon skillnad i hållfasthetsavseende mellan enkel- och dubbelsidigt svetsade I-balkar. Undersökningen begränsas till *statiskt* belastade kälsvetsade balkar.

1.3 Uppläggning av undersökningen

Två principiellt intressanta belastningsfall studeras, nämligen ren momentbelastning på balkar med och utan livavstyvningar samt belastning med stor avskärningskraft och moment på balkar med avstyvningar utformade så att dragfält kan uppstå.

För varje belastningsfall görs dels en teoretisk analys och dels ett antal fullskaleförsök.

Försöksserien är upplagd som en rent jämförande serie med parvis lika balkar så när som på svetsningen. Utförda försök framgår av TAB. 1.

Balkarna härstammade från ett stormskadat hammagasin. De hade importerats från kontinenten och var manuellt enkelsidigt svetsade. Balkarna F2 och F6 kompletterades med ytterligare svetssträngar så att dubbelsidigt svetsade balkar erhöles.

De övriga balkarna har tillverkats speciellt för försöken av AB Järnmontering i Malmö.

TAB. 1. Försöksserie. Enkelsidigt svetsade balkar har udda nummer.

Försök	Svetsning	Typ
F1	E	Momentförsök
F2	D	Momentförsök
F3	E	Momentförsök
F4	D	Momentförsök
F5	E	Avskärningskraft + moment
F6	D	Avskärningskraft + moment
F7	E	Avskärningskraft + moment
F8	D	Avskärningskraft + moment
F9	E	Avskärningskraft + moment
F10	D	Avskärningskraft + moment

2 BÖJANDE MOMENT

2.1 Teori

Enligt den elementära balkteorin uppnås sträckgränsen i den yttersta fibern hos en balk när denna belastas med momentet

$$M_s = W \cdot \sigma_s \quad (1)$$

För en svetsad I-balk är M_s i praktiken det största moment som kan upptas på grund av att massan är koncentrerad till flänsarna och att därigenom en genomplasticering av tvärsnittet inte ger någon större ökning av momentet. Om flänsar och liv är tillräckligt slanka kan det uppträda instabilitetsfenomen som gör att maximala momentet blir lägre än M_s . Torsionsbuckling av tryckta flänsen inträffar när flänsens vridstyvhet är alltför liten. Vridstyvheten är direkt proportionell mot flänsens bredd och proportionell mot kuben på flänsens tjocklek. För att undvika torsionsbuckling bör man alltså göra flänsen relativt tjock i förhållande till bredden. För en given sträckgräns och elasticitetsmodul kan man finna ett största värde på b/t som kan användas om man vill att torsionsbucklingsmomentet skall vara större än sträckgränsmomentet. För stål 1411 bör således b/t väljas mindre än eller lika med 25.

Det andra väsentliga instabilitetsfenomenet är vippningen som kan karaktäriseras som en samtidig sidböjning och vridning. För att motverka vippning bör man således eftersträva hög sidböjstyvhet och hög vridstyvhet. Sidböjstyvheten uppnår man genom att göra flänsarna breda i förhållande till tjockleken, dvs genom att välja ett högt värde på b/t . Valet av förhållandet b/t blir således i princip ett maximeringsproblem där optimum erhålls när vippnings- och torsionsbucklingslasten är lika. Då åtminstone vippningsfenomenet är mycket besvärligt att behandla teoretiskt skulle det bli orimligt arbetskrävande att göra ett optimalt val av b/t . I den provisoriska normen för svetsade stål balkar av typ HSI har man valt att föreskriva att b/t skall vara 25 och att torsionsbuckling därför inte behöver beaktas vid dimensionering.

Ett slankt liv kan medföra en minskning av maximal last av två skäl. Vid mycket slankt liv kan en vertikal knäckning av den tryckta flänsen ske. I HSI-normen garderar man sig mot detta genom att föreskriva att livets slankhet h/d skall vara mindre än 323. Det andra sättet på vilket en minskning av maximal last kan ske är betydligt mindre drastiskt och yttrar sig i att livet böjs ut i sidled och därigenom inte medverkar helt vid upptagandet av moment. Eftersom den momentupptagande förmågan hos svetsade I-balkar till största delen ligger i flänsarna har en minskning av livets momentupptagande förmåga inte så stor betydelse så länge livet förmår hindra vertikalknäckning av den tryckta flänsen. I den provisoriska HSI-normen har man dragit konsekvenserna av detta och tillåtit skjivspänningar som är större än den teoretiska bucklingsspänningen.

Om hopfogningen av liv och flänsar har skett med enkelsidig eller dubbelsidig svets torde knappast ha någon betydelse för ovan nämnda fenomen. För det rena uppnåendet av sträckgränsmomentet kan det inte ha någon som helst betydelse. Torsionsbuckling av tryckt fläns sker vid så hög spänning i flänsen och livet intill flänsen att livet inte kan ha någon påtaglig inverkan på flänsens vridning. Detta medför att det heller inte kan spela någon roll om svetsnittet är mer eller mindre styvt. Vippningsfenomenet innefattar överhuvudtaget ingen vridning mellan liv och fläns varför svetsningen inte heller här kan ha någon betydelse. Vad gäller livutböjningen kan man vänta sig att en vekare infästning till flänsarna skulle ge ogynnsammare förhållanden. Skillnaden i infästning mellan enkelsidig och dubbelsidig svets är emellertid mycket mindre än skillnaden mellan fast inspänning respektive fri uppläggning, som ger 65% högre bucklingsspänning vid fast inspänning. Då dessutom livets andel i den momentupptagande förmågan är ganska liten bör enkelsidig svetsning medföra en mycket obetydlig nedsättning av bärförmågan. Omvänt kan man formulera det så att en dubbelsidig svets eventuellt ger en obetydlig förhöjning av bärförmågan.

För jämförelse med försöksresultaten har teoretiska maximala laster beräknats för de olika brottyperna. Det rena uppnåendet av sträckgränsmomentet beräknas ur ekv (1). Torsionsbuckling av den tryckta flänsen beräknas under antagande att flänsen är ledartat förbunden med livet. Bucklingsspänningen för flänsen är då approximativt lika med bucklingsspänningen för en oändligt lång, tresidig fritt upplagd platta med flänsens tjocklek och halva bredd. Den elastiska bucklingsspänningen erhålls då ur formeln

$$\sigma_{el} = k \cdot \frac{E \cdot t^3}{12(1-\nu^2)} \cdot \frac{1}{(0,5b)^2 \cdot t}$$

$$\sigma_{el} = 0,456 \cdot 18,98 \cdot 10^5 \cdot \left(\frac{2t}{b}\right)^2 \quad (2)$$

Korrektion för buckling inom plastiskt område görs med följande ekvationer ur [12]

$$\sigma_{kr} = \sigma_s \quad \text{då } \frac{\sigma_s}{\sigma_{el}} < 0,2$$

$$\sigma_{kr} = \sigma_s \left[1 - \frac{1}{3,6} \left(\frac{\sigma_s}{\sigma_{el}} - 0,20 \right) \right] \quad 0,2 < \frac{\sigma_s}{\sigma_{el}} < 2$$

$$\sigma_{kr} = \sigma_{el} \quad \frac{\sigma_s}{\sigma_{el}} > 2 \quad (3)$$

Motsvarande kritiskt moment erhålls sedan genom insättning i ekv (1).

Vippningsspänningen bedöms med hjälp av de schematiska formler för utknäckning av tryckt fläns som finns i den provisoriska HSI-normen

$$\sigma_{kr} = \sigma_s \quad 0 < \alpha_2 \leq 0,4$$

$$\sigma_{kr} = \sigma_s (1,226 - 0,564 \alpha_2) \quad 0,4 < \alpha_2 \leq 1,45$$

$$\sigma_{kr} = \frac{0,857}{\alpha_2^2} \cdot \sigma_s \quad 1,45 < \alpha_2$$

$$\text{där } \alpha_2 = \sqrt{\frac{\sigma_s}{\sigma_{el}}};$$

$$\sigma_{el} = \frac{\pi^2 E}{2} \left(\frac{L_1}{i} \right)^2 \left(1 + \frac{1}{6} \cdot \frac{h \cdot d}{b \cdot t} \right) \quad (4)$$

L_1 = avstånd mellan stagningspunkter av tryckt fläns

i = största tröghetsradie för fläns

De kritiska torsionsbucklingsmomenten och vippningsmomenten är beräknade ur antagandet om helt medverkande liv. Vid slantk liv bör därför en reduktion göras. Även här används HSI-normens betraktelsesätt som går ut på att momenten beräknas ur ekv (1) med ett reducerat värde på σ_{kr} . Reduktionen görs då

$$\frac{h}{d} > 4,65 \quad \sqrt{\frac{E \cdot 1,55}{\sigma_{kr}}}$$

och blir

$$\sigma_{kr \text{ red}} = \sigma_{kr} \left[1 - 0,0005 \cdot \frac{h \cdot d}{b \cdot t} \left(\frac{h}{d} - 4,65 \sqrt{\frac{E \cdot 1,55}{\sigma_{kr}}} \right) \right] \quad (5)$$

Den lämpliga storleken av reduktionen beror emellertid i hög grad på livets initialutböjning. Ovanstående formel grundar sig på HSI-normens höga krav på plant liv. Vid större initialutböjning kan man få en uppfattning om betydelsen av minskad medverkan av livet genom att anta att en viss del av livet är överksam. Basler anger här som ett antagande på säkra sidan att bortse från den tryckta delen av livet minskad med ett område $30d$ närmast flänsen. Vid stora initialbucklor är det emellertid lika troligt att viss reduktion i dragdelen av livet också äger rum varför man kanske borde bortse från en lika stor del av den dragdelen av livet.

2.2 Påkänningar i svets

För att ange påkänningarna i svetsen används beteckningarna enligt FIG. 2. Vid belastning av balken med ett konstant moment blir spänningen $\sigma_{II} = \frac{M}{I} \cdot \frac{h}{2}$. Denna spänning är således något

mindre än den maximala spänningen i balken. På grund av balkens deformation uppkommer även vertikala tryckspänningar mellan liv och fläns enligt FIG. 3.

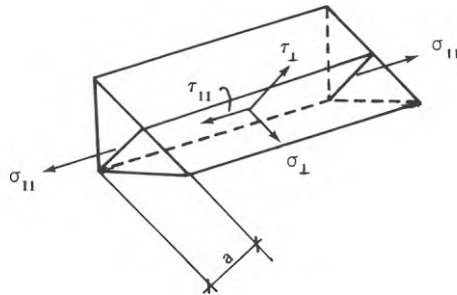


FIG. 2.

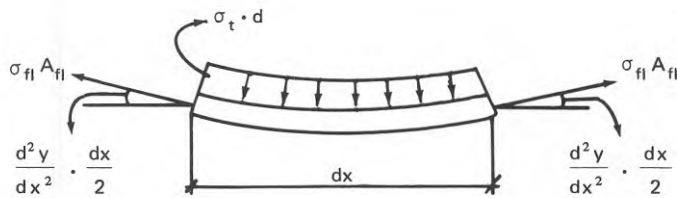


FIG. 3.

En jämviktsekvation i vertikalled ger

$$\sigma_t \cdot d \cdot dx = \sigma_{fl} \cdot A_{fl} \cdot y'' \cdot dx$$

och med

$$\sigma_{fl} = \frac{M}{I} \cdot \frac{h}{2} \quad \text{och} \quad y'' = \frac{M}{EI} = \frac{1}{R} = \frac{E \cdot dx}{\frac{h}{2}}$$

$$\sigma_t = \frac{h \cdot A_{fl}}{2d \cdot E} \cdot \left(-\frac{M^2}{I^2} \right) = \frac{2 A_{fl}}{A_{liv} \cdot E} \cdot \sigma_{fl}^2 \quad (6)$$

Med beaktande av att $2 A_{fl} \approx A_{liv}$, $E = 2.1 \cdot 10^6 \text{ kp/cm}^2$, $\sigma_s = 2600 \text{ kp/cm}^2$ (stål 1411) erhålls $\sigma_t = 3 \text{ à } 5 \text{ kp/cm}^2$ vid sträckgränsmoment i balken, således en helt försumbar påkänning. Påkänningarna σ_{\perp} och τ_{\perp} i svetsen kan således med god approximation sättas lika med noll.

En avskärningskraft ger upphov till approximativt jämnt fördelade skjuvspänningar över livet. Satsen om parvis lika skjuvspänningar och en jämviktsekvation i x-led ger

$$\tau_{liv} \cdot d = \tau_{||} \cdot a$$

eller

$$\tau_{||} = \frac{d}{a} \tau_{liv} \quad (7)$$

Om svetsens a-mått är mindre än livtjockleken blir således påkänningarna i svetsen något större än påkänningarna i livet.

Av ovanstående kan följande slutsatser dras:

1. Vid ren momentpåverkan utan avskärningskraft är påkänningarna i svetsen mindre än i grundmaterialets mest ansträngda del oberoende av svetsens a-mått.
2. Vid momentpåverkan och måttlig avskärningskraft kan påkänningarna i svetsen bli större än i grundmaterialet om svetsens a-mått är mindre än livtjockleken.

I anslutning till punkt 2 ovan, bör man dock beakta att svetsgodsets sträckgräns normalt är större än grundmaterialets varför inverkan av skjuvspänningar knappast blir avgörande i praktiska tillämpningar.

2.3 Försök

2.31 Balkar

Fyra momentförsök utfördes, varav två med enkelsidig svets och två med dubbelsidig svets. De två första försöken F1 och F2 utfördes på balkar från Falkenbergshallen. Balkarna kännetecknades av att flänsarna var relativt klena och att imperfektionerna från tillverkningen var tämligen stora. De två sista försöken F3 och F4 utfördes på speciellt tillverkade balkar. Dessa hade dimensioner enligt den provisoriska HSI-normen och uppfyllde även normens stränga krav på begränsade imperfektioner. Balkarnas tvärsnittsdata framgår av TAB. 2 där även den uppmätta sträckgränsen finns upptagen.

Balkarna F1 och F2 var manuellt svetsade med ett a-mått av ca 3 mm. Utförandet framgår av FIG. 4-5. Balkarna F3 och F4 var pulverbågsvetsade med a-mått ca 4 mm. Utförandet framgår av FIG. 6-7.

De enkelsidiga kälsvetsarna som gjorts i utlandet är, med hänsyn till inträngning och utförande i övrigt, klart underlägsna de pulverbågsvetsar som utförts vid laboratoriet.

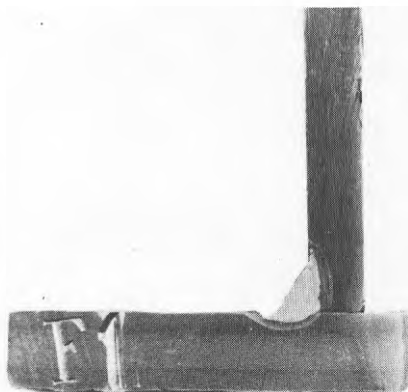


FIG. 4. Försök F1, enkelsidig svets $a = 3$ mm.

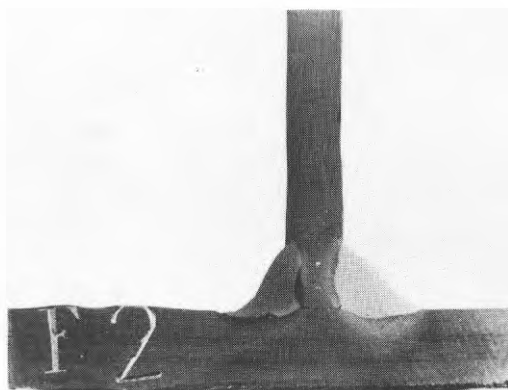


FIG. 5. Försök F2, dubbelsidig svets $a = 3$ mm.

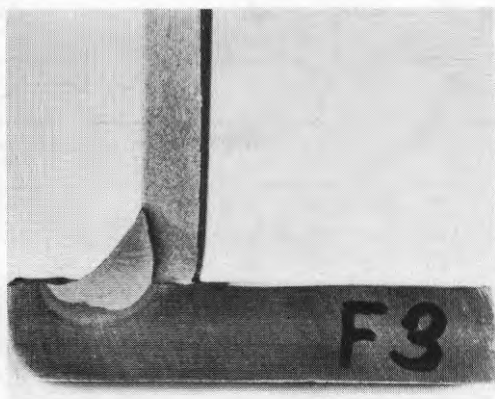


FIG. 6. Försök F3, enkelsidig svets $a = 4$ mm.

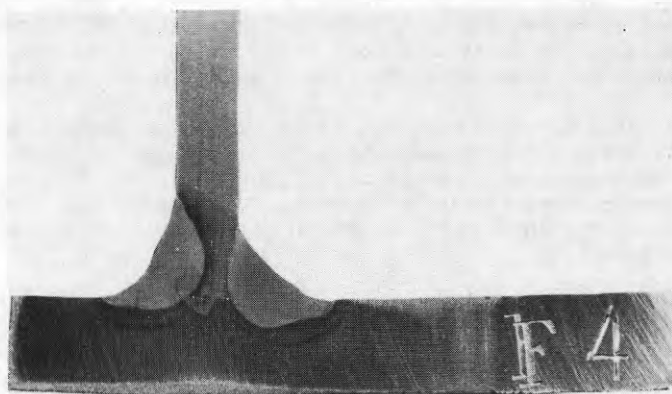


FIG. 7. Försök F4, dubbelsidig svets $a = 4$ mm.

TAB. 2. Balkar för momentförsök.

Balk	b	t	d	h_t	A	I	W	sträckgräns kp/mm ²		
	mm	mm	mm	mm	cm ²	cm ⁴	cm ³	d-fl	t-fl	liv
F1	151	6.6	4.3	694	49.5	35600	1028	33.7	32.6	44.0
F2	151	6.6	4.8	694	52.9	37350	1068	32.7	32.1	43.6
F3	200	8.1	5.2	696	68.6	53340	1530	31.9	31.4	31.5
F4	200	8.2	5.4	696	70.4	54410	1562	31.2	31.4	29.8

2.32 Belastningsanordning

Vid försök F1 och F2 påfördes lasten i den dragna flänsen på ett inbördes avstånd av 2 200 mm. Se FIG. 8a.

Den dragna flänsen ligger som synes överst. Anordningen valdes för att erhålla enkel stabilisering av balkarna. Sidostyrningsstag insattes vid lastangreppspunkterna, i mittpunkten och i ändfälten.

Belastningen påfördes med 60 Mp domkrafter som riggades upp på en ställning av balkar HEB 180. Domkrafterna förenades med balkarna med dragstag, vilka försågs med trådtöjningsgivare och kalibrerades i en dragprovmaskin. Anordningen framgår av bilden, FIG. 8b.

Vid försöken F3 och F4 påfördes lasten i den tryckta flänsen på ett inbördes avstånd av 2 300 mm. Se FIG. 9a och 9b.

Balkarna F3 och F4 försågs med ett antal avstyvningar dels för att undvika lokal buckling av livet under lasterna och dels för att kunna begränsa avståndet mellan upplag och domkrafter. Mittpartiet med konstant moment hade längden 2 000 mm mellan avstyvningarna. Sidostyrningar placerades vid domkrafterna.

Belastningen påfördes med 60 Mp domkrafter som placerades på laboratoriegolvet under balkarna. Mätningen av lasten gjordes med manometrar på pumparna till domkrafterna. Kalibreringen av manometrarna gjordes i en maskin typ Riehle. Härvid användes samma kombination av domkraft, pump och manometer som vid försöken.

2.33 Deformationsmätning

Deformationsmätningarna syftade dels till att bestämma livutböjningen och dels till att bestämma den tryckta flänsens vridning. Dessutom mättes nedböjningen.

Livutböjningen mättes med linjal från mätpunkter på livplåten till mätmärken på snören som var spända runt flänsarna. Mätmetoden gav en noggrannhet av ± 0.5 mm. Se FIG. 10.

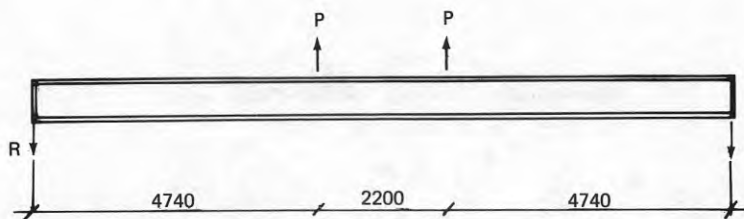


FIG. 8a. Belastningsanordning vid F1 och F2.

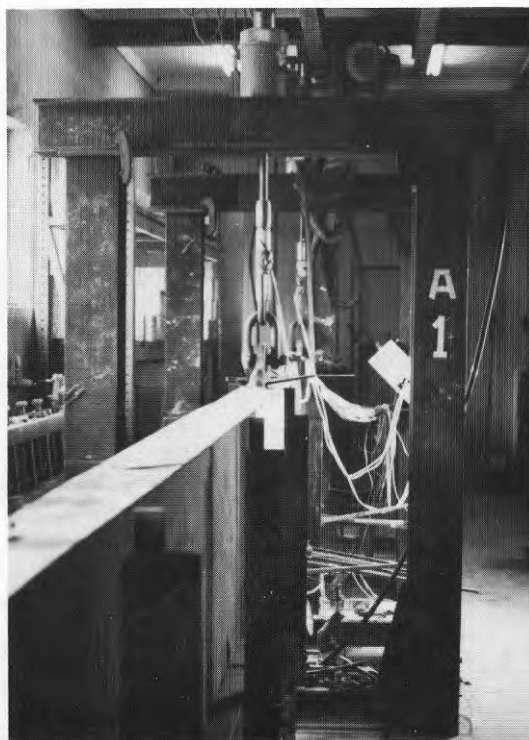


FIG. 8b. Belastningsanordning vid F1 och F2.
Materialprovninganstalten, Stockholms hamn.

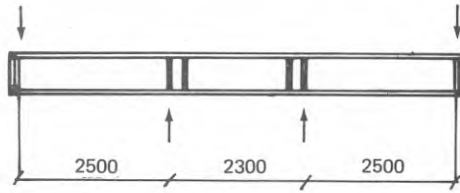


FIG. 9a. Belastningsanordning vid F3 och F4.

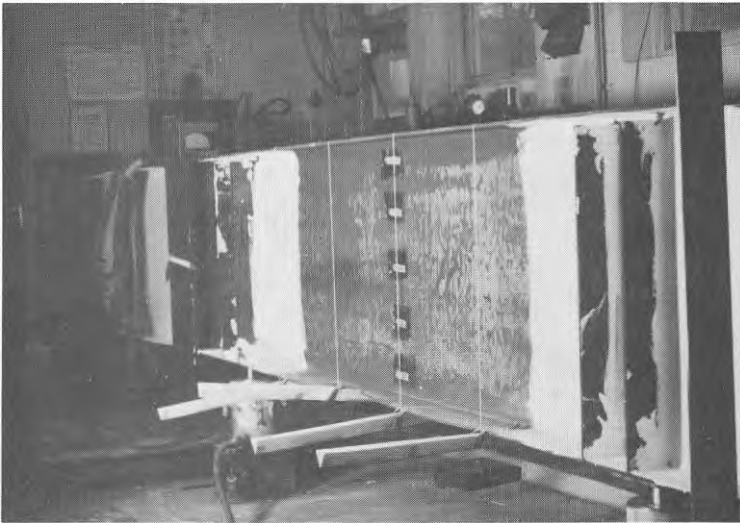


FIG. 9b. Belastningsanordning vid F3 och F4.

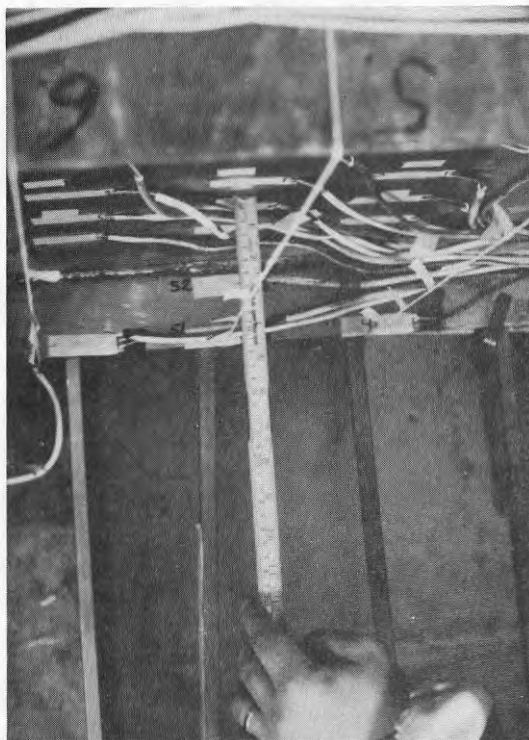


FIG. 10. Deformationsmätning av liv sett ur avläsarens synvinkel.

Mätningen av tryckta flänsens vridning gjordes genom mätning av avståndet mellan mätpunkter på golvet och mätpunkter på ca 1 m långa stavar som fästes under den tryckta flänsen och vinkelrätt mot balkens längdriktning. Idén framgår av FIG. 11.

Nedböjningen, eller rättare uppböjningen, erhöles ur samma avläsningar som vinkeländringen.

2.34 Spänningsmätning

Spänningsmätningen gjordes med trådtöjningsgivare. Mätningarna avsåg dels att bestämma spänningen i flänsarna och dels att bestämma spänningarna i livet för att fastställa hur mycket livet medverkade. I försök F1 mättes spänningarna i tryckta delen av livet i tre snitt, vilkas placering avgjordes med ledning av ett förförsök varvid balken belastades upp till ca 60% av maximal last. Vid förförsöket mättes livdeformationen och vinkeländringen av tryckta flänsen. Trådtöjningsgivarna placerades sedan i de snitt som uppvisat störst deformation. Givarplaceringen framgår av FIG. 12.

I försöken F2 - F4 placerades givarna huvudsakligen i ett snitt över både den tryckta och den dragna delen av livet. Se FIG. 13-14.

2.35 Beräknade maximala laster

Förväntade maximala laster har beräknats med de i avsnitt 2.1 angivna metoderna. De moment som därvid erhöles räknades om till domkraftslaster enligt formlerna (8) och (9).

$$\text{Försök F1 och F2: } P = \frac{M}{4.74} \quad (8)$$

$$\text{Försök F3 och F4: } P = \frac{M}{2.5} \quad (9)$$

Momenten av egenvikt är helt försumbara. I försök F1 och F2 är egenviktsmomentet av storleksordningen 1% av brottmomentet och i försök F3 och F4 är egenviktsmomentet 0.4% av brottmomentet.

De beräknade lasterna framgår av TAB. 3.

TAB. 3. Beräknad maximal last vid olika brott, typer samt uppmätt brottlaster vid försök.

Försök	P_s	P_t	P_v	P_1	P_f
F1	7.30	6.48	7.30	6.43	6.5
F2	7.22	6.38	7.19	6.38	6.5
F3	19.2	17.32	17.39	17.32	17.5
F4	19.9	17.80	17.70	17.70	17.5

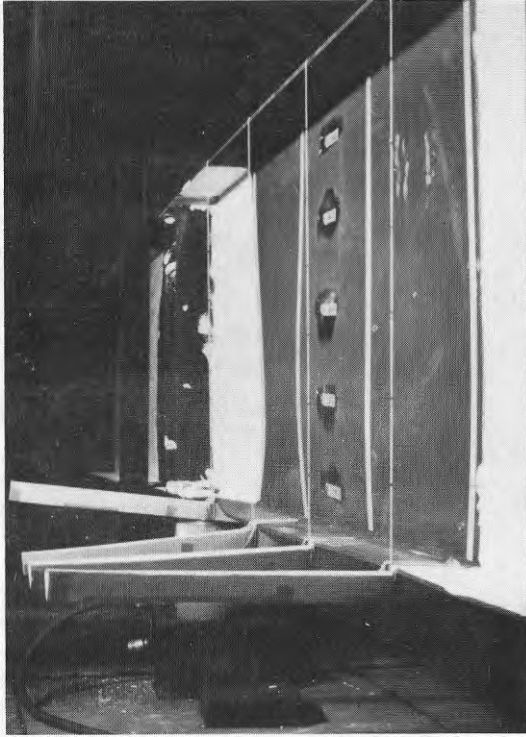


FIG. 11. Anordning för mätning av vinkeländringen av tryckta flänsen. Bilden visar försök F3 efter brott.

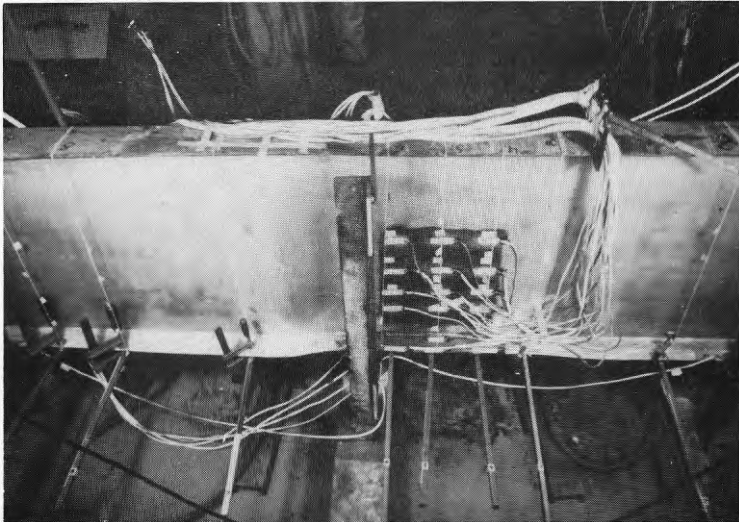


FIG. 12. Placering av givare vid försök F1. Bilden visar balken efter maximal last.

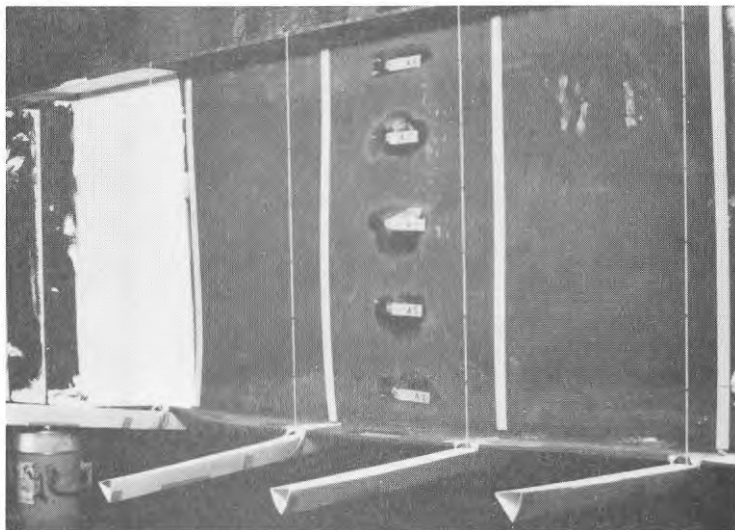


FIG. 13. Givarplacering vid försök F3.

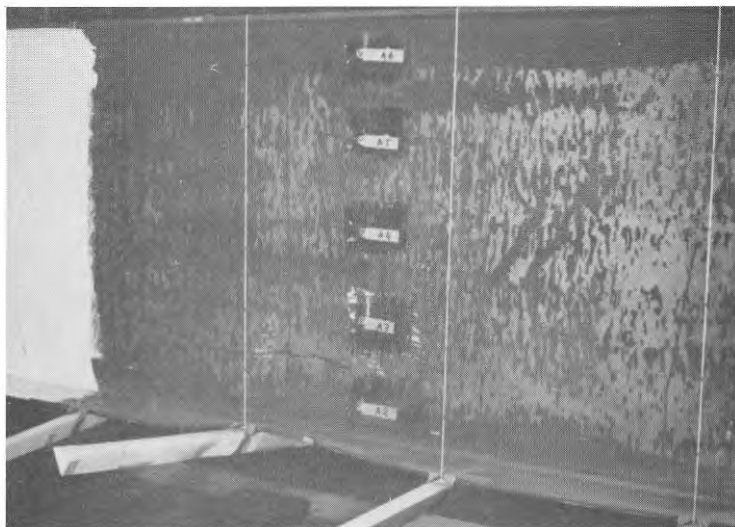


FIG. 14. Givarplacering vid försök F4.

- P_s = Sträckgränslast
 P_t = Torsionsbuckling av tryckt fläns
 P_v = Vippning
 P_1 = Reducerad kritisk last med hänsyn till slankt liv
 P_f = Maximal last vid försök

2.4 Försöksresultat

2.41 Belastning

Vid försök F1 och F2 påfördes lasten i stegen 2, 3, 4, 4.5, 5, 5.5, 6 och 6.5 Mp i vardera domkraften. Lasten kunde i båda försöken ökas endast obetydligt över 6.5 Mp varefter den tryckta flänsen vreds kraftigt lokalt och lasten i domkraften sjönk. Se FIG. 15.

Vid försöken F3 och F4 påfördes lasten i stegen 5, 8, 10, 12, 12.5, 13, 13.5, 14, 14.5, 15, 15.5, 16, 16.5, 17 och 17.5 Mp. Vid försök F3 uppnåddes 17.5 Mp varefter lasten var ungefär konstant under en liten deformationsökning. Därefter minskade lasten kraftigt i domkrafterna. Vid försök F4 inträffade samma sak fast obetydligt under 17.5 Mp. Även i dessa försök vreds den tryckta flänsen kraftigt lokalt när maximala lasten uppnåddes. Se FIG. 16-17.

2.42 Deformationer

Sambandet mellan last och nedböjning uppvisade i alla fyra försöken ett förlopp som karakteriserades av att kurvan svagt böjde av från det teoretiska linjära sambandet. Se FIG. 18-19. Mätningar gjordes endast tills maximala lasten uppnåtts. Förloppet därefter var att nedböjningen ökade i takt med pumpningen av domkrafterna och att lasten i dessa sjönk kontinuerligt.

Mätningarna av livdeformationerna visade att i försök F1 och F2 hade livet stora initialdeformationer. Vid F1 var initialutböjningen maximalt 9 mm och vid 6.5 Mp var utböjningen maximalt 16 mm.

Vid försök F2 var initialutböjningen ännu större och några försök till riktning gav ej önskat resultat. Efter riktningen var utböjningen maximalt 14 mm och vid 6.5 Mp var utböjningen maximalt 16 mm.

Vid försök F3 var initialutböjningen maximalt 4.5 mm och vid 17 Mp var utböjningen maximalt 8 mm.

Vid försök F4 var initialutböjningen maximalt 6 mm och vid 17 Mp var utböjningen maximalt 9 mm.

Gemensamt för livutböjningen i de fyra försöken var att utböjningen ökade långsamt i takt med lasten. Något bucklingsfenomen av plötslig karaktär kunde ej iakttagas. Påfallande är att vid maximal last var utböjningen av samma storleksordning oberoende av initialutböjningarna. Samtliga balkar deformerades mest i den tryckta delen av livet.



FIG. 15. Försök F1 efter att maximal last uppnåtts.

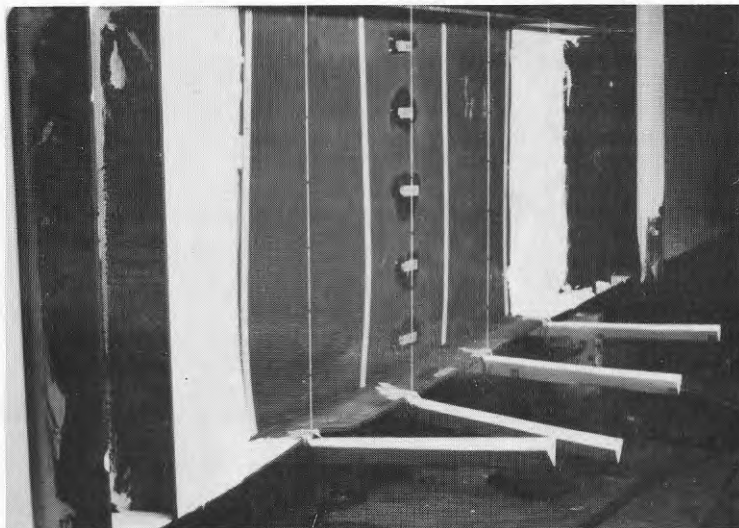


FIG. 16. Försök F3 efter att maximal last nåtts.



FIG. 17. Försök F4 efter att maximal last nåtts.

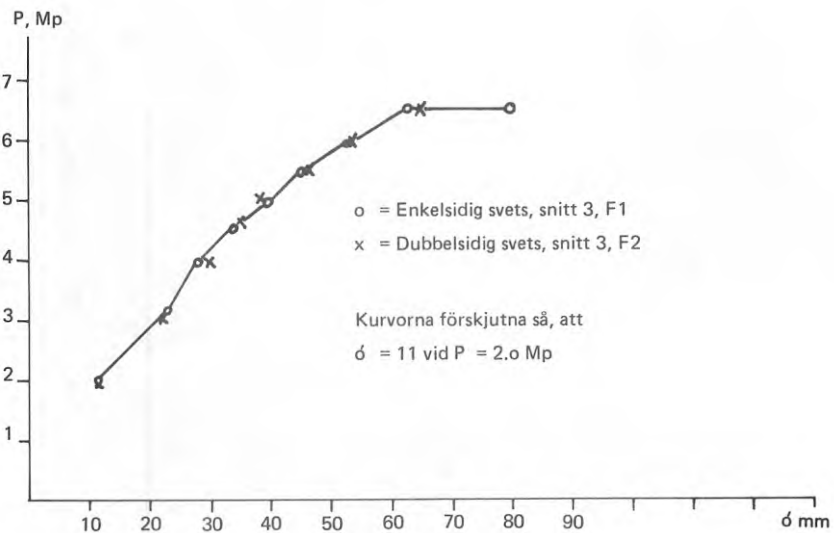


FIG. 18. Last-nedböjningskurva för försök F1 och F2. Deformationsförloppen är helt lika.

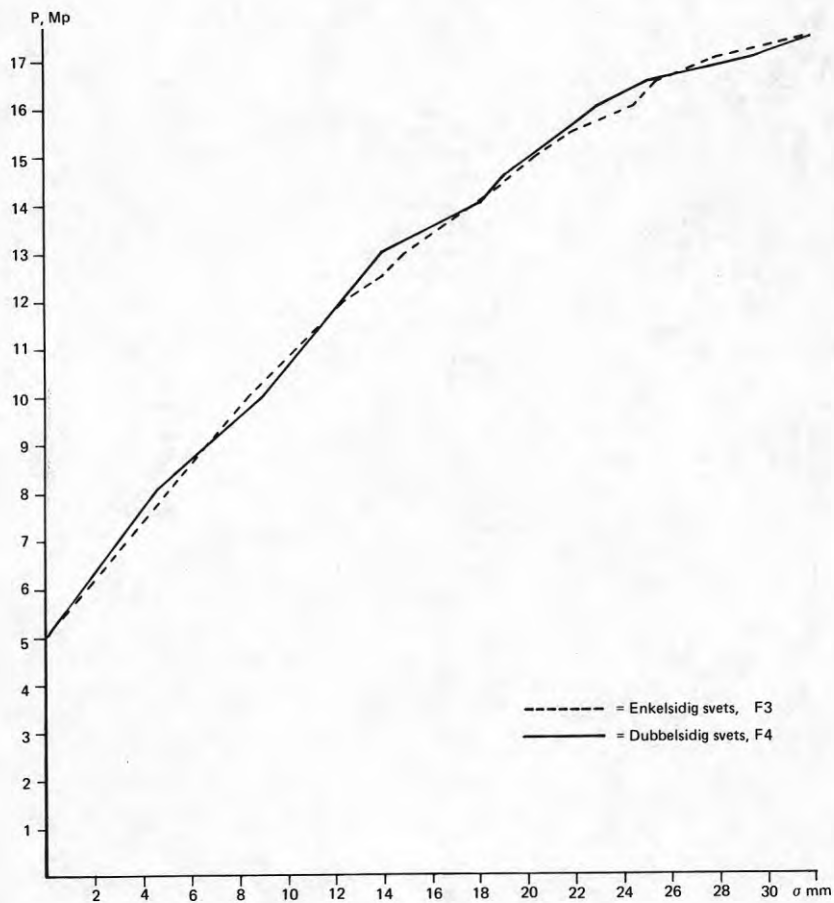


FIG. 19. Last-nedböjningskurva för försök F3 och F4. Första avläsningen skedde vid $P = 5$ Mp. Deformationsförloppen är i det närmaste helt lika.

Livbucklingen var fullt synlig med blotta ögat vid maximal last. Utböjningarna var dock så långsträckta att det var svårt att fånga dem på en bild. Genom att jämföra den vertikala tejpen och mätsnörena mellan flänserna på FIG. 20 kan man dock få en uppfattning om deformationerna.

Vridningen av den tryckta flänsen vid försök F1 och F2 visas i FIG. 21 som funktion av lasten. Motsvarande kurvor för försök F3 och F4 återfinns i FIG. 22. De visade snitten har valts med tanke på att de uppvisade störst deformation vid maximal last. Av kurvorna framgår att vridningen av den tryckta flänsen ökar tämligen linjärt från låg last och upp till strax under maximal last.

Vridningen av den tryckta flänsen började i alla försöken bli iakttagbar med blotta ögat vid ca 60 - 70% av maximal last. Härvid var vridningen långvägig med våglängd av storleksordningen någon meter. Vid uppnåendet av maximal last skedde i alla försöken en kraftig, mycket lokal vridning av den tryckta flänsen. Se FIG. 23 som visar försök F4 efter maximal last. Se även FIG. 11, 12-14 och 20.

2.43 Spänningsmätning

Mätningarna med trådtöjningsgivare visade framför allt att livets medverkan vid upptagandet av moment var reducerat. Vid försök F1 mättes töjningarna i tre snitt i tryckta delen av livet. Det framgick klart att livets medverkan var reducerad även vid mycket små laster.

Vid försök F2 mättes spänningarna över ett helt snitt av livet. Det visade sig att även den dragna delen av livet endast medverkade till en del.

Vid försök F3 och F4 mättes också spänningarna i ett snitt av livet. Reduktionen av livets medverkan föreföll här vara betydligt mindre än i de tidigare försöken. Det var först vid maximal last som effekten blev fullt tydlig.

I alla fyra försöken nåddes sträckgränsen lokalt i den tryckta flänsen åtminstone ett laststeg under maximal last. Att den maximala lasten ändå nåddes under den teoretiska sträckgränslasten måste då bero på att det effektiva tröghetsmomentet är reducerat. Reduktionen beror till en del på den minskade medverkan hos livet och förmodligen till en del på den tryckta flänsens vridning. Effekten av flänsens vridning kan delas upp i två fenomen. För det första medför vridningen att de yttre kanterna av flänsen blir mindre tryckta än mittpartiet. Detta inses om man betänker att mittpartiet beskriver i huvudsak en rät linje medan ytterkanterna får en vågig form. För det andra medför vridningen av flänsen att ett böjande moment påtvingas ytterkanterna av flänsen. Härvid överlagras spänningarna av tryck och böjning. När sträckgränsen nås i de mest tryckta partierna minskar flänsens vridstyvhet och vridningen accelererar. Den totala effekten blir en minskning av det effektiva tröghetsmomentet.

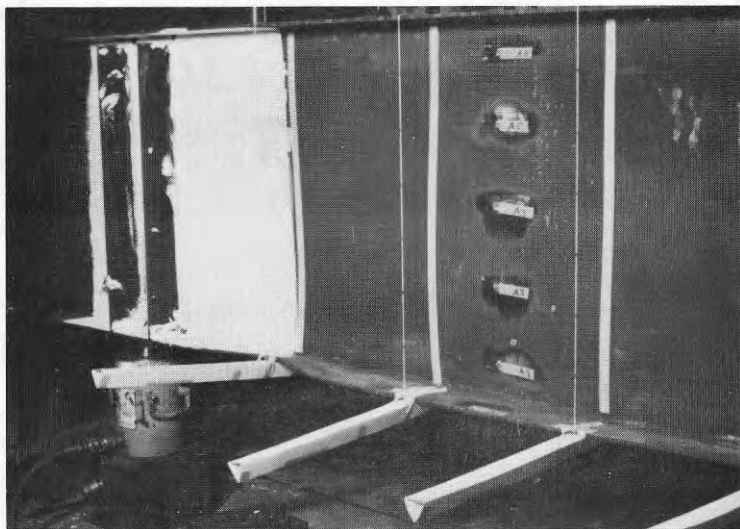


FIG. 20. Livdeformation vid försök F3. Bucklorna är långsträckta och kan urskiljas på bilden om man beaktar att tejpén på livet är vertikal.

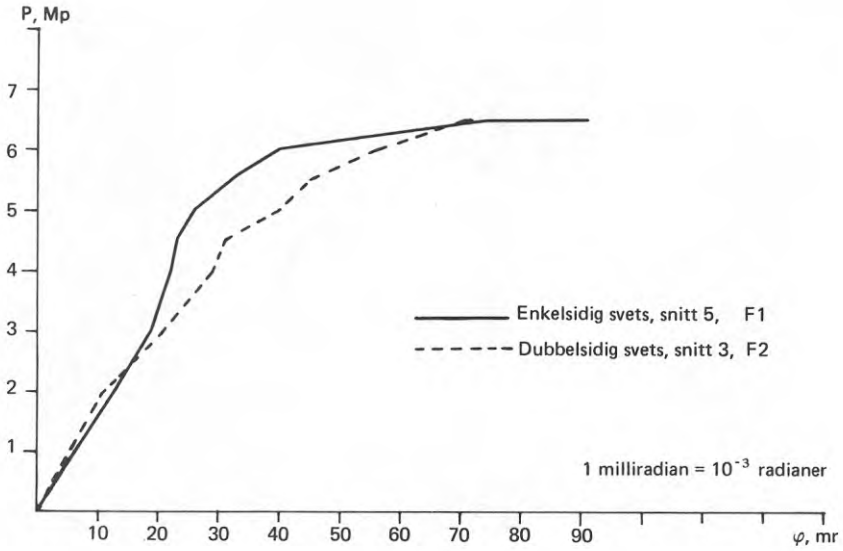


FIG. 21. Vinkeländring av tryckt fläns som funktion av lasten vid försök F1 och F2.

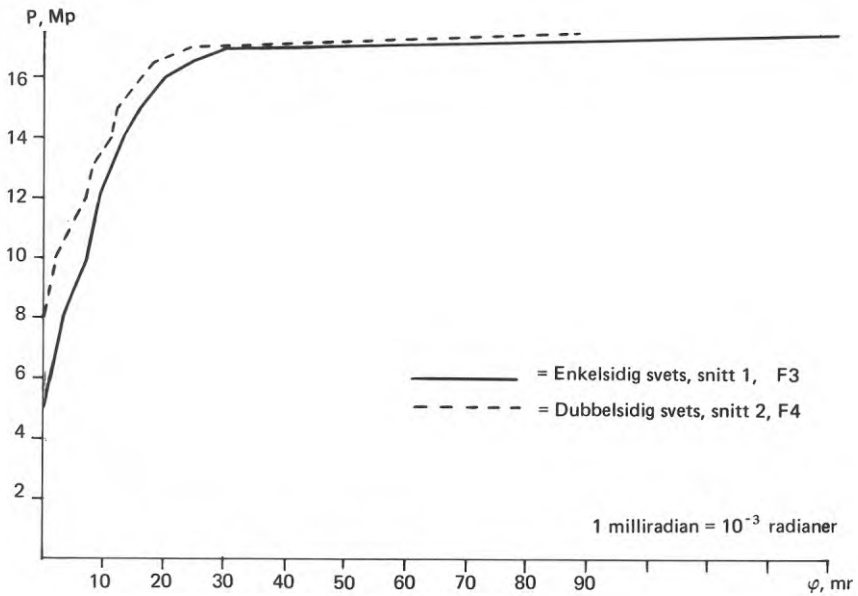


FIG. 22. Vinkeländring av tryckt fläns som funktion av lasten vid försök F3 och F4.

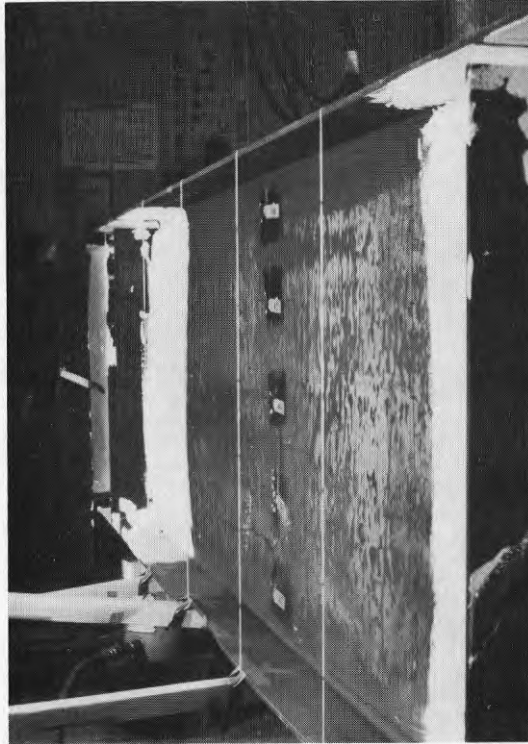


FIG. 23. Försök F⁴ efter maximal last.
Lokal vridning av tryckta flänsen.

2.5 Jämförelser och slutsatser

Några avgörande skillnader mellan enkelsidigt och dubbelsidigt svetsade balkar kunde inte iakttagas under försöken. Vid försök F1 (enkelsidig svets) och försök F2 (dubbelsidig svets) uppnåddes samma maximala last, last-nedböjningskurvorna var nästan identiska, livutböjningen likartad, flänsvridningen lika och spänningsfördelningen i den tryckta delen av livet var lika.

Vid försök F3 (enkelsidig svets) och försök F4 (dubbelsidig svets) överensstämde också maximal last, lastnedböjningskurva, livutböjning, flänsvridning och spänningsfördelning.

Slutsatsen av försöken blir således att vid momentbelastning kunde ingen skillnad mellan de enkelsidigt och de dubbelsidigt svetsade balkarna påvisas.

Några allmänna iakttagelser från försöken är också värda att nämna. Om man jämför livets medverkan vid försök F1 och F2 med livets medverkan vid försök F3 och F4 finner man att reduktionen av medverkan vid upptagande av moment var betydligt större vid F1 och F2 än vid F3 och F4. Initialdeformationerna var också betydligt större vid F1 och F2. Detta skulle således tyda på att initialbucklighet hos liv medför en viss reduktion av bärförmågan. Intressant är också att spänningarna reduceras även i den dragna delen av livet.

Vidare är det påfallande hur nära den teoretiskt beräknade torsionsbucklingslasten överensstämmer med de erhållna lasterna. Spänningsmätningarna visade emellertid att vid maximal last hade sträckgränsen nåtts i flänsarna och spänningarna var således högre än de beräknade kritiska spänningarna. En förklaring till torsionsbucklingsfenomenet inom det elastoplastiska området finns i avsnitt 2.43 och är i korthet att bucklingen inträffar när sträckgränsen lokalt har nåtts i ytterdelarna av den tryckta flänsen. Den teoretiska bucklingsspänningen har erhållits genom en reduktion av bucklingsspänningen beräknad under förutsättning av elastiska förhållanden. Reduktionen görs med empiriska formler och den erhållna spänningen kan således inte förväntas ge besked om det verkliga spänningstillståndet vid bucklingen. Lastförutsägelsen blir dock uppenbarligen mycket god.

3.1 Teori

Vid en analys av påkänningarna i svetsen mellan liv och fläns hos en plåtbalk finner man att vid huvudsakligen momentpåverkan är påkänningarna små. Svetsen har i detta fall till uppgift att "hålla ihop" balkdelarna medan huvudspänningsflödet går parallellt med svetsarna. Hos en balk med tunt liv som belastas med en stor avskärningskraft är förhållandet helt annorlunda. Där sker spänningsomlagringar i livet så att den elementära balkteorins resultat med ungefär konstant skjuvspänning över livet upphör att gälla innan maximal last uppnås. Förhållandet är speciellt utpräglat hos balkar med avstyvningar. De nämnda spänningsomlagringarna medför att huvudspänningsflödet kommer att bilda en viss vinkel mot flänsarna varvid svetsarna mellan liv och flänsar kommer att utsättas för stora påkänningar. Någon invändningsfri teori för brottlastberäkning som ger upplysning om verknings sättet i brottstadiet torde ännu inte ha presenterats. Den kanske mest kända teorin utarbetades av Basler [2] i början av sextio-talet och ligger till grund för amerikanska normer. Baslers teori ger brottlaster av något så när riktig storleksordning men dess antaganden om funktionssättet i brottstadiet visar föga överensstämmelse med försöksresultat. För att kunna få en uppfattning om olika konstruktionsdetaljers, t ex svetsens, inverkan på bärförmågan är det emellertid nödvändigt att ha en uppfattning av verknings sättet i brottstadiet. I detta avsnitt kommer därför att, efter en kort orientering om Baslers teori, presenteras den uppfattning om verknings sättet som erhöles under och efter försöken.

Basler antar i sin modell att avskärningskraften kan delas upp i två delar, en del som tas upp av rena skjuvspänningar och en del som tas upp av ett dragfält mellan avstyvningarna. Härvid antar han att vid påförande av last tas till att börja med avskärningskraften upp av skjuvspänningar tills bucklingslasten nås. Efter uppnåendet av denna last hålls tryckspänningarna konstanta och för att ta upp större avskärningskraft utvecklas membranspänningar i form av ett dragfält i livplåten. Basler antar här att flänsarna ej kan förankra någon del av dragfältet, utan att detta helt måste förankras av avstyvningarna.

Genom en enkel maximeringsberäkning kommer man fram till att maximal avskärningskraft kan bäras när dragfältet har en lutning som är halva diagonallutningen. Se FIG. 24.

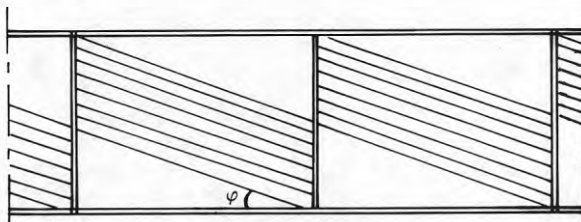


FIG. 24. Dragfält enligt Basler.

Huvuddragspänningen bestäms sedan genom att utnyttja v. Mises flytvillkor och att anta att bucklings-skjuvspänningen är konstant. Teorin leder till följande uttryck på gränslasten:

$$\tau_g = \tau_s \left[\frac{\tau_{cr}}{\tau_s} + \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{\sigma_1}{\sigma_s} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + \alpha^2}} \right]$$

$$\text{där } \frac{\sigma_1}{\sigma_s} = \sqrt{1 + \left(\frac{\tau_{cr}}{\sigma_s} \right)^2 \left(\left[\frac{3}{2} \sin 2\varphi \right]^2 - 3 \right) - \frac{3}{2} \frac{\tau_{cr}}{\sigma_s} \sin 2\varphi} \quad (10)$$

Baslers teori har mött kritik främst på två punkter. Dels har Fujii visat att Basler försummat en kraft i den jämviktsekvation han ställer upp för att beräkna dragfältets bidrag till tvärkraften, dels har han mött kritik för att han helt försummat flänsarnas inverkan. Försök utförda av Rocky och Skaloud [14] visar att flänsarnas styvhet har en betydande inverkan på bärformågan.

Den uppfattning om verkningssättet vid avskärningskraft som erhålls vid försöken skiljer sig från Baslers på flera väsentliga punkter. Betrakta till att börja med en rektangulär plåt som deformeras enligt FIG. 25. Vid liten deformation råder ett rent skjuvspänningstillstånd i plåten med huvudspänningar i 45°-riktningen. Vid ökad deformation sker en diagonal buckling och största dragspänningen kommer att ligga i diagonalens riktning.

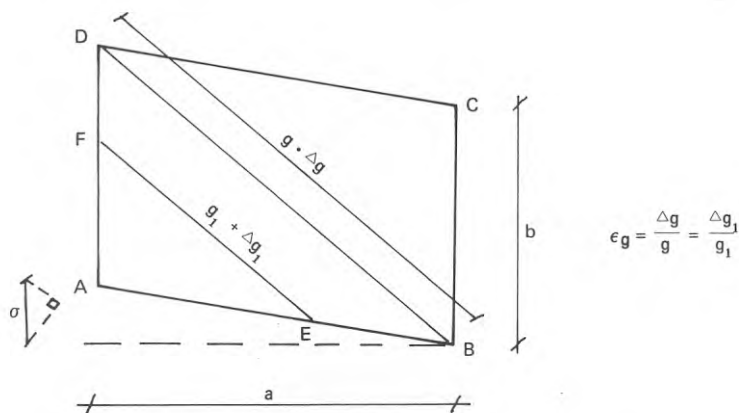


FIG. 25. Deformation av plattfält.

Vid en viss deformation är töjningen i diagonalen tillräckligt stor för att flytning skall inträffa. Ett geometriskt faktum kan konstateras. Töjningarna i alla snitt parallella med diagonalen är lika stora så länge plåten betraktas som plan. Betrakta nu deformationen av ett fält mellan två avstyvningar hos en balk som påverkas av en stor avskärningskraft. På grund av att kombinationen livplåt, avstyvning och fläns utgör en styv enhet i

hörnpartierna kommer deformationsfiguren i princip att bli enligt FIG. 26. Härvid uppkommer förutsättningar för ett diagonalt dragfält enligt figuren.

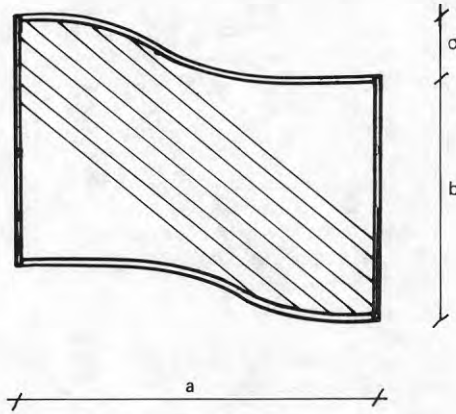


FIG. 26. Deformation av balk med avstyvningar.

Verkningssättet vid belastning kan nu beskrivas på följande sätt. Vid liten last tar livet upp avskärningskraften huvudsakligen med hjälp av skjuvspänningar, vilka motsvaras av huvuddrag- och huvudtryckspänningar i 45° -riktningen. Emellertid börjar livet omedelbart att böjas ut på grund av att initialdeformationer finns. Utböjningens form beror bl a på flänsarnas styvhet. Utböjningen ger upphov till böjspänningar i plåten. Tryckspänningarna stabiliseras på en tämligen låg nivå av dels momentspänningarna och dels dragspänningarna. Vid fortsatt ökning av lasten och därigenom deformationen ökar utbucklingen, böjspänningarna och dragspänningarna medan tryckspänningarna hålls konstanta. Verkningsättet framgår av FIG. 27 där en strimla vinkelrätt mot dragdiagonalen betraktas. En viss sträcka från diagonalen är plåten plan och momentet därför försumbart.

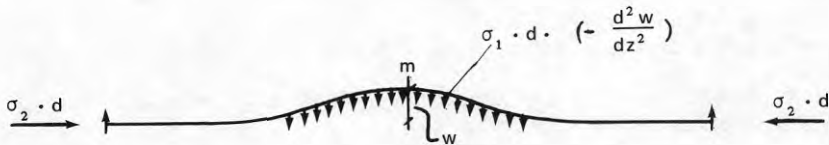


FIG. 27. Plattstrimla vinkelrätt mot dragdiagonalen.

Storleken av den tvärkraft som ett givet dragfält kan uppta erhålls om man betraktar ett vertikalt snitt mitt emellan avstyvningarna. Tvärkraften består då av vertikalkomponenterna av dragfältet och tryckspänningarna i snittet.

Under den vidare belastningen kommer tvärkraften att tas upp genom allt större och mer utbredda dragspänningar i diagonalens riktning. Hela tiden ökar även utbucklingen och därigenom även momentspänningarna. Slutligen nås i diagonalens mitt flytning i plåtens ytskikt till följd av överlagringen av drag-, tryck- och böjspänningar. Utbucklingen ökar härvid kraftigt, tvärsnittet genomplasticeras och eftersom momentet inte kan öka sker en minskning av tryckspänningarna. En större del av tvärkraften måste nu upptas genom dragspänningar. Härvid sker en omlagring av spänningar så att dragfältet blir än mer påkänt. På grund av deformationsvillkoren för livfältet kan dock dragfältet inte nå vilken bredd som helst och maximala lasten nås i samband med att tryckspänningarna sjunker till lägre värden.

Det skisserade betraktelsesättet kan utvecklas till en beräkningsmodell om vissa antaganden görs om utbucklingens form och utbredning. Detta har genomförts av Andersson [19]. Analysen visar bl a att tryckspänningarna i livplåten minskar i samband med att maximal last uppnås vilket även bekräftades vid försöken.

Sammanfattningsvis leder denna dragfältsteori till att följande faktorer bör ha inverkan på förmågan att uppta avskärningskraft:

1. Flänsarnas styvhet som påverkar dragfältets bredd och i viss mån bucklingens form.
2. Initialutböjningens storlek och form hos livet vilket påverkar deformationsutvecklingen.
3. Styvheten hos livet som har betydelse dels för utbucklingen, dels för det stöd det kan ge flänsarna vid dragfältets förankring. I första hand torde livtjockleken vara avgörande, men även infästningen till flänsarna kan ha betydelse. En vekare infästning kan tänkas ge ogynnsammare form på utbucklingen och mindre stöd åt flänsarna. Tanken kan grovt illustreras med förhållandena vid 2:a och 4:e knäckfallet.

Om man jämför det här presenterade betraktelsesättet med Baslers teori finner man främst följande skillnader. Basler antar att man kan dela upp den maximala lasten i två komponenter, nämligen en del som är konstant och lika med skjuvbucklingslasten och en del som beror av dragfältet. Dragfältet kan enligt Basler endast förankras i avstyvningarna och konsekvensen blir då att maximal effekt av dragfältet erhålls vid en lutning av dragfältet motsvarande halva diagonallutningen. Flänsarna har enligt Basler ingen effekt på dragfältet.

Den här presenterade modellen ger en helt annan bild av verkningssättet. Spänningstillståndet analyseras med utgångspunkt från tillståndet i den mest kritiska punkten i plattfältet, nämligen mittpunkten.

Det konstateras att i samband med uppnåendet av maximal last sker en minskning av huvudtryckspänningarna samtidigt som böjmomentets balanserande inverkan försvinner. Dragfältets lutning bestäms av deformationsvillkoren för ett plattfält omgivet av flänsar och avstyvningar. Lutningen kommer att överensstämma med diagonallutningen. Den maximala lasten erhålls som summan av vertikalkomponenterna av dragfältet och tryckspänningarna. Som helhet kan man konstatera att modellen ger en god uppfattning av verkningssättet hos ett dragfält.

3.2 Påkänningar i svets

Vid utbildande av dragfält kommer som tidigare nämnts huvudspänningsflödet i livplåten att bilda en viss vinkel med flänsarna. Detta ger upphov till avsevärda påkänningar i svetsarna och accentueras ytterligare av den anvisningsverkan som finns hos en kälsvets belastad vinkelrätt mot svetsens längdriktning. På grund av livplåtens utbuckling tillkommer dessutom momentspänningar i svetsarna. En kvantitativ analys av spänningstillståndet i svetsarna torde vara omöjlig att utföra, men en kvalitativ bedömning kan göras med utgångspunkt från den uppfattning om verkningssättet som redovisats i föregående avsnitt.

Betrakta svetsen mellan liv och fläns i ett fält avgränsat av livavstyvningar. I ena änden av svetsen skall ungefär hälva dragfältet förankras medan påkänningarna i andra änden av svetsen är mindre.

Dragspänningen vinkelrätt mot svetsens längdriktning bör således vara stor i den ände där dragfältet förankras och ca 1/3 så stor i andra änden av svetsen. Se FIG. 28. Tryckspänningarna varierar på ungefär samma sätt som dragspänningarna, vilket beror på att livets utsträckning i tryckspänningsriktningen nära dragfältets änden är liten. Livet kan därför i närheten av hörnet uppbära betydande tryckspänningar trots sin ringa tjocklek. Längre bort från hörnet kan livet endast bära små tryckspänningar. Se FIG. 29. Resulterande dragspänning visas i FIG. 30. Figuren är tämligen osäker nära dragfältets änden genom att den där erhållits genom addition av stora drag- och tryckspänningar. Med tanke på verkningssättet att dragfältet förankras med tryckspänningar i livet nära hörnet och med avskärningskraft i flänsen en bit från hörnet är det dock rimligt att anta att största dragpåkänningen vinkelrätt mot svetsen uppkommer en bit från hörnet som visas i figuren.

Ur den antagna drag- och tryckspänningsfördelningen erhålls också skjuvspänningarna parallellt med svetsen enligt FIG. 31. Som synes är skjuvspänningarna stora i hörnet.

På grund av livbucklingen kommer stora spänningar av moment att uppkomma i svetsen nära hörnet, FIG. 32. Dessa spänningstillskott kommer att vara av helt olika storleksordning vid enkelsidig och dubbelsidig svets. Om man antar att svetsarnas a -mått är 3 mm och livtjockleken 4 mm erhålls inre hävarmen vid enkelsidig svets till ca 1,5 mm och vid dubbelsidig svets ca 7 mm. Detta innebär att spänningarna blir fyra till fem gånger större vid enkelsidig svets.

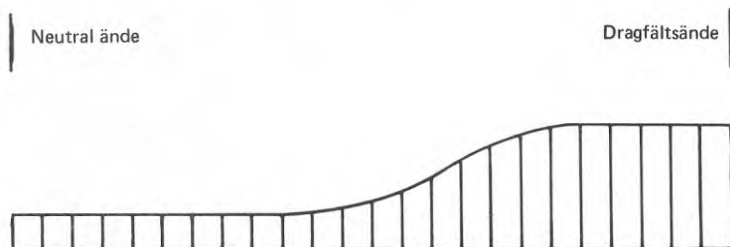


FIG. 28. Dragspänningar vinkelrätt mot svets.

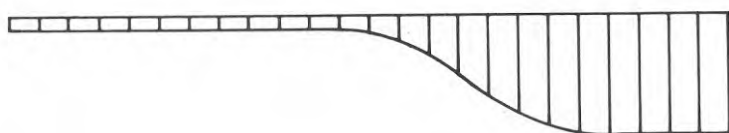


FIG. 29. Tryckspänningar vinkelrätt mot svets.

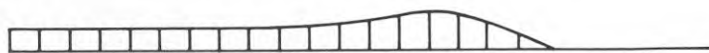


FIG. 30. Resultande dragspänning vinkelrätt mot svets.



FIG. 31. Resultande skjuvspänning längs med svets.



FIG. 32. Moment i svets på grund av livplåtens utbuckling.

Av analysen framgår att påkänningarna på svetsen blir stora nära dragfältshörnet. Se FIG. 28-32. Spänningstillståndet är fleraxligt och på grund av anvisningsverkan nås antagligen svetsgodsets sträckgräns åtminstone lokalt då dragfältet är fullt utbildat. Att en viss plasticering sker i svetsgodset har emellertid ingen större betydelse så länge brott i svetsen inte inträffar innan maximal last med hänsyn till flytning i liv och minskning av tryckspänningarna nåtts.

Enkelsidig svets är mer kritisk än dubbelsidig svets av två skäl. Dels blir påkänningarna större på grund av momentspänningarna och dels kan inte lika stort totalt a-mått nås. Huruvida dessa faktorer inverkar på den totala bärförmågan kan endast avgöras med försök.

3.3 Försök

3.31 Försöksbalkar

Försök har gjorts på sex balkändar, tre enkelsidigt svetsade och tre dubbelsidigt svetsade. De två första avskärningsförsöken, F5 och F6, gjordes på ändarna av balk F2. För att möjliggöra de stora tvärkrafter som behövdes för att dragfält skulle utbildas, försågs flänsarna på F2 med påläggsplåtar och lastangreppen flyttades närmare ändarna. Livavstyvningar påsvetsades så att livfälten närmast upplagen fick längden 1 500 mm. Se FIG. 33.

De övriga fyra försöken gjordes på balkändar som tillverkades speciellt för försöken. Flänsarna var kraftigare och livavstyvningar och ändplåtar snyggare anordnade. Längden på livfälten vid upplagen valdes till 1 200 mm. Se FIG. 34.

De viktiga dimensionerna och materialegenskaperna framgår av TAB. 4.

Svetsningens utförande framgår av FIG. 35-39. Vid försök F5 erhöles brott i svetsen och någon bild finns därför inte av den.

TAB. 4. Balkdimensioner och sträckgräns vid försök med avskärningskraft.

Balk	b mm	t mm	d mm	h mm	a mm	$\frac{h}{d}$	$\alpha = \frac{a}{h}$	σ_{su} liv kp/mm ²
F5	151	6.5+10	5.2	687	1 500	132	2.18	40
F6	151	6.5+10	4.0	687	1 500	172	2.18	40
F7	275	12	4.0	678	1 200	165	1.77	31.1
F8	275	12	4.0	676	1 190	165	1.76	30.5
F9	275	12	3.9	678	1 200	176	1.77	33.7
F10	275	12	4.0	676	1 190	165	1.76	31.8

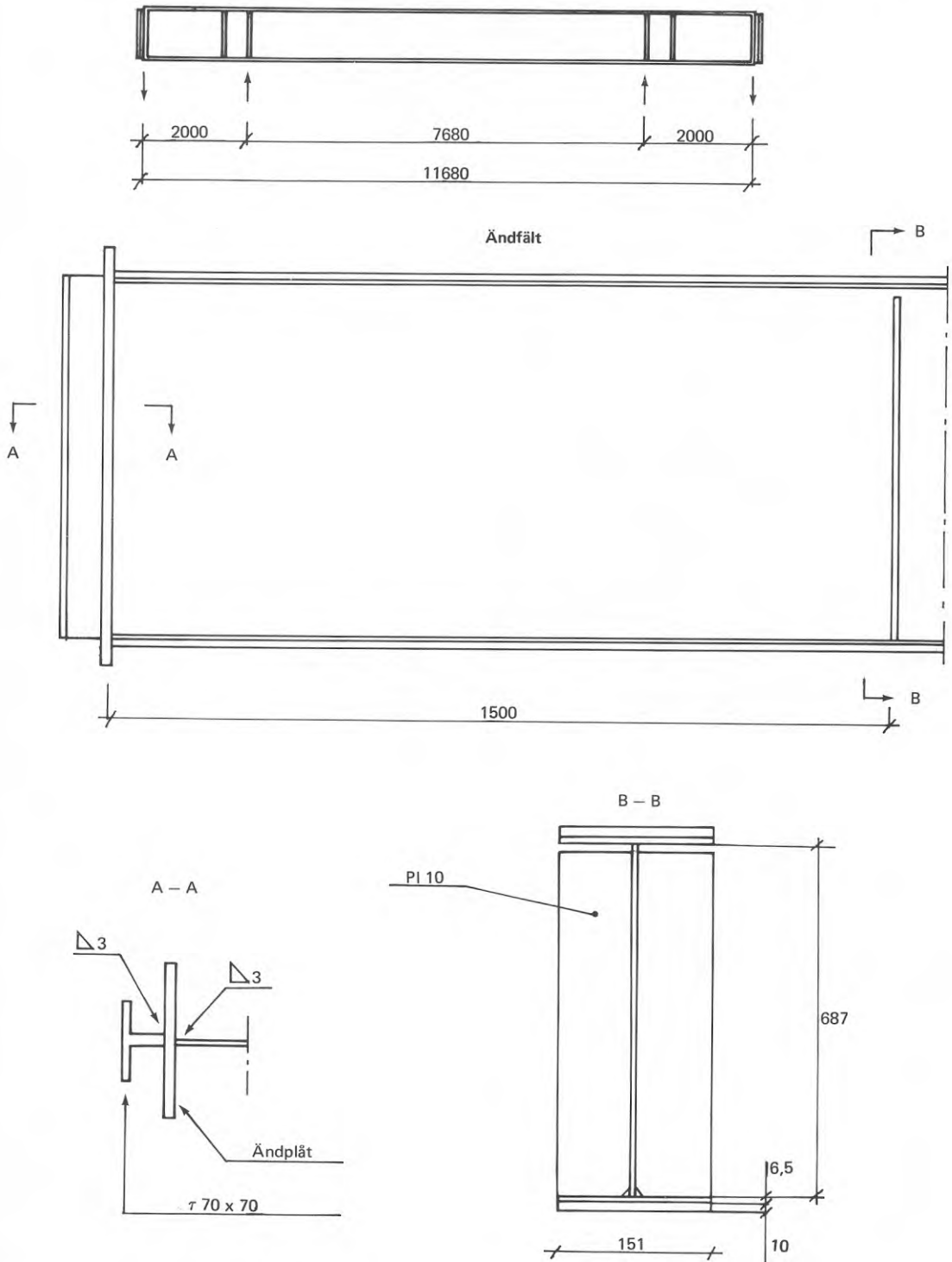


FIG. 33. Balk F5 och F6. Utformning av livplåtsfält.

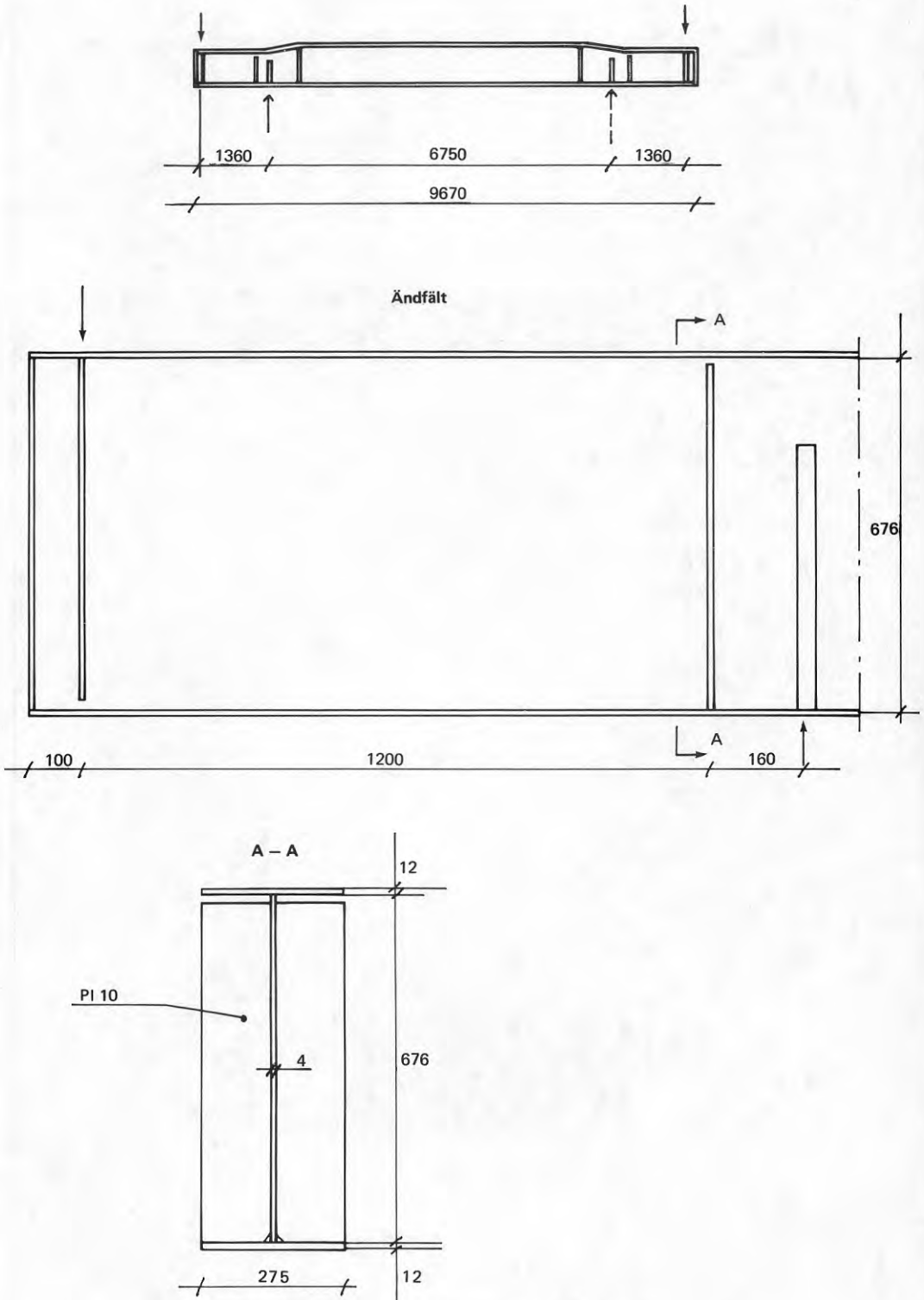


FIG. 34. Balk F7 - F10. Utformning av livplåtsfält.

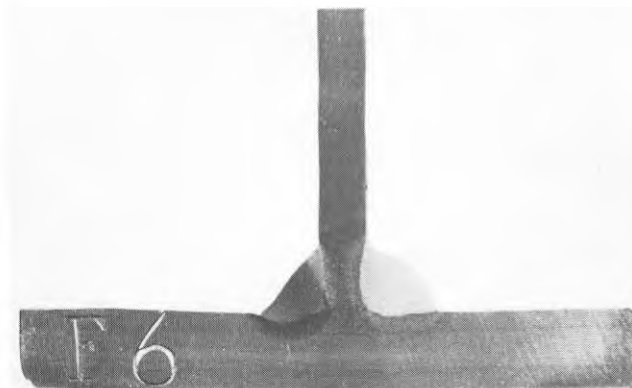


FIG. 35. Försök F6, dubbelsidig svets $a = 3$ mm.

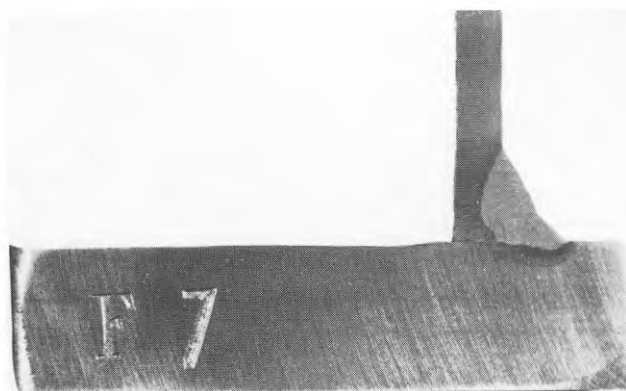


FIG. 36. Försök F7, enkelsidig svets $a = 4$ mm.

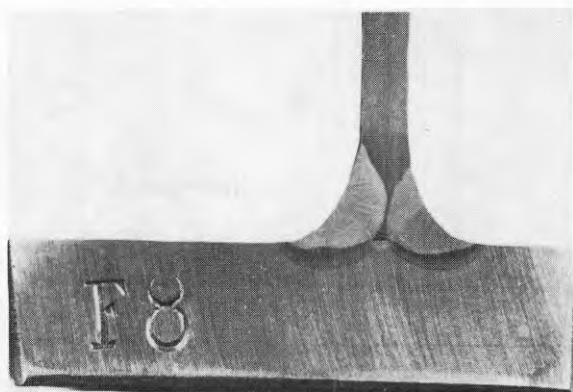


FIG. 37. Försök F8, dubbelsidig svets $a = 4$ mm.

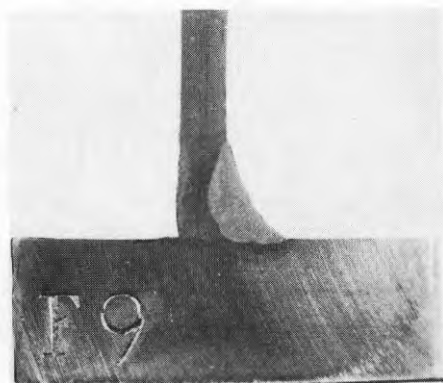


FIG. 38. Försök F9, enkelsidig svets $a = 4$ mm.

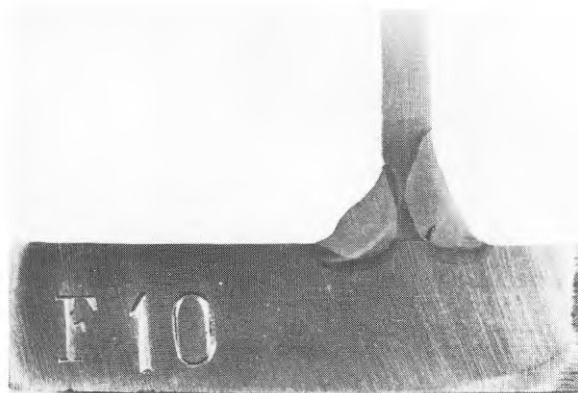


FIG. 39. Försök F10, dubbelsidig svets $a = 4$ mm.

3.32 Belastningsanordning

Vid första hälften av försök F5 användes samma anordning som vid försök F1 och F2. Det visade sig emellertid att balken var starkare än dragstaget, varför försöket avbröts och återupptogs med samma metod som vid försök F3 och F4 med domkraften på golvet. Försöksuppställningen vid F5 visas i FIG. 40. Vid försök F6 flyttades helt enkelt domkraften till andra änden av balken. Resthållfastheten i den deformerade änden var fullt tillräcklig.

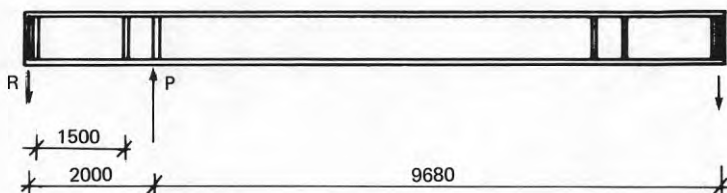


FIG. 40. Belastningsanordning vid försök F5. Vid F6 flyttades domkraften till högra änden.

Vid försöken F7 - F10 användes en belastningsanordning enligt FIG. 41a. Se även FIG. 41b.

Den vid utvärderingen intressanta storheten är upplagsreaktionen. Denna erhålls lätt ur domkraftslasten genom att balkens vikt och längd är kända. De i redogörelsen lämnade lasterna avser upplagsreaktionerna.

3.33 Deformationsmätning

Livutböjningen mättes med samma metod som i momentförsöken. I försöken F5 - F8 skedde mätningen i fem snitt och i försöken F9 och F10 mättes enbart mittsnittet.

Vid de två sista försöken mättes även nedböjningen i båda ändarna av skjuvfälten.

3.34 Spänningsmätning

Mätningar av töjningar med trådtöjningsgivare gjordes i alla försök utom F6. Placeringen av givarna har varierats vid de olika försöken för att om möjligt få svar på olika frågor om verknings sättet hos ett dragfält.

Vid försök F5 användes 6 rosettgivare och 12 vanliga givare. Rosetterna var utplacerade i tre punkter i mittsnittet av livet.

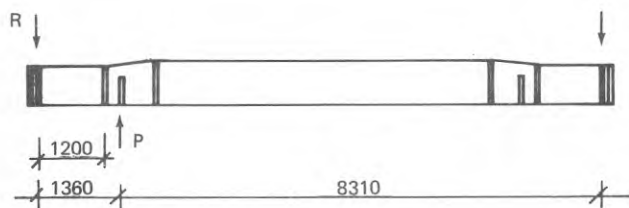


FIG. 41a. Belastningsanordning vid försök F8 och F10. Vid F7 och F9 flyttades domkraften till högra änden.

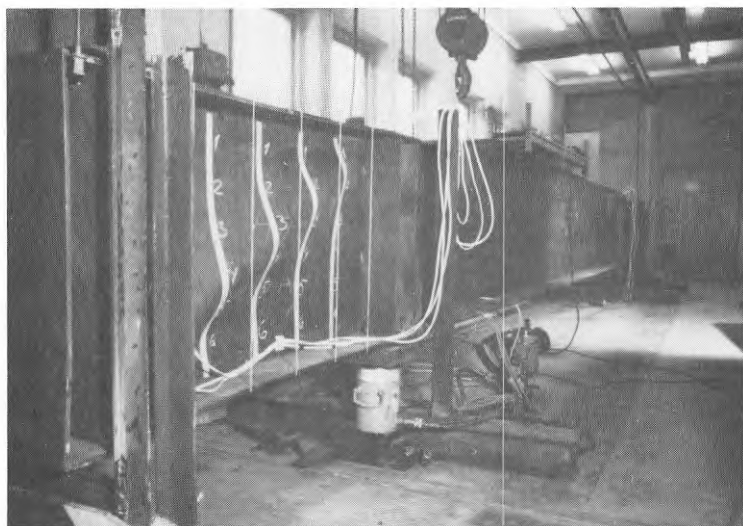


FIG. 41b. Belastningsanordning vid försök F8. Närmast kameran syns en del av upplagsanordningen, ett "hängsle" som förankrades i golvet.

Vid försök F7 och F8 placerades två rosetter i dragfältet nära upplaget. Syftet var att söka uppskatta påkänningarna i svetsen nära upplaget.

Vid de två sista försöken F9 och F10 användes fyra rosetter placerade i två punkter i livfältet. Den ena punkten valdes till mittpunkten och den andra punkten placerades vid sidan om dragfältet 250 mm från upplaget och 170 mm från dragna flänsen. Se FIG. 42.

3.4 Försöksresultat

3.41 Belastning

Uppnådda maximala upplagsreaktioner och motsvarande teoretiska värden framgår av TAB. 5.

TAB. 5. Teoretiska och uppmätta upplagsreaktioner i Mp.

Försök	R_{cr}	R_B	R_{till}	R_F	s
F5	24.0	46.5	18.5	41.5	2.24
F6	10.8	29.6	8.3	32.0	3.86
F7	12.5	29.9	9.6	26.1	2.72
F8	12.5	29.6	9.6	28.4	2.96
F9	10.7	30.5	8.2	27.8	3.39
F10	12.5	30.5	9.6	27.2	2.84

R_{cr} = Elasticitetsteoretisk bucklingslast

R_B = Maximal last enligt Basler

R_{till} = Tillåten last enligt StBK-N1

R_F = Maximal last vid försök

s = R_F/R_{till}

Vid försök F5 uppstod brott genom att livet bucklades diagonalt samtidigt som svetsen mellan liv och tryckt fläns långsamt sprack på en sträcka av ca 100 mm med början ca 50 mm från upplaget. Därefter sprack svetsen mellan liv och ändplåt med en kraftig smäll. Se FIG. 43. I samband med att svetsen sprack helt bucklades livet kraftigt.

Vid försök F6 uppnåddes den maximala lasten då den tryckta flänsen plötsligt böjdes in mot livet vid upplaget. Livet veckades härvid kraftigt diagonalt. Se FIG. 44. Veckningen var så kraftig att livplåten sprack intill svetsen.

Vid försöken F7 - F10 nåddes maximala lasten i samband med att livet veckades diagonalt medan livfältet i huvudsak förblev rektangulärt. När deformationen ökades genom fortsatt pumpning med domkraften sjönk lasten långsamt. Se FIG. 45-48.

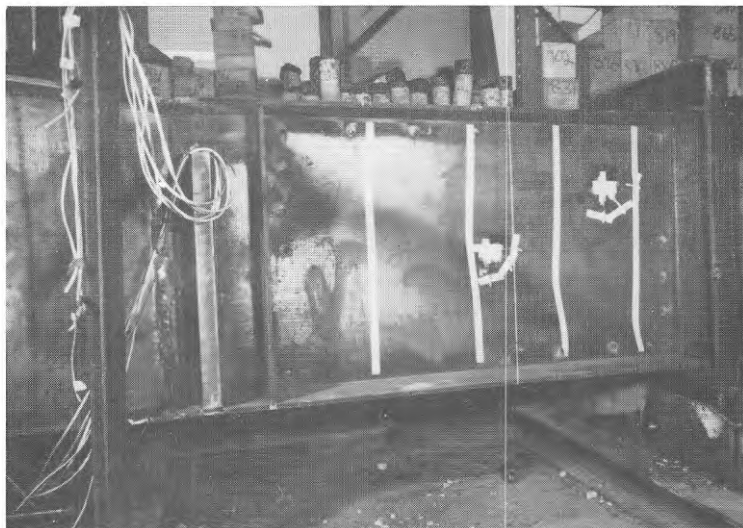


FIG. 42. Givarplacering vid F9. Den ena rosettgivaren är placerad i centrum av dragfältet och den andra vid sidan av dragfältet. I dragfältets hörn syns dubbar som användes vid ett försök att mäta diagonaldeformationen. Tillräcklig noggrannhet uppnåddes dock ej vid dessa mätningar, varför de ej finns redovisade i texten.

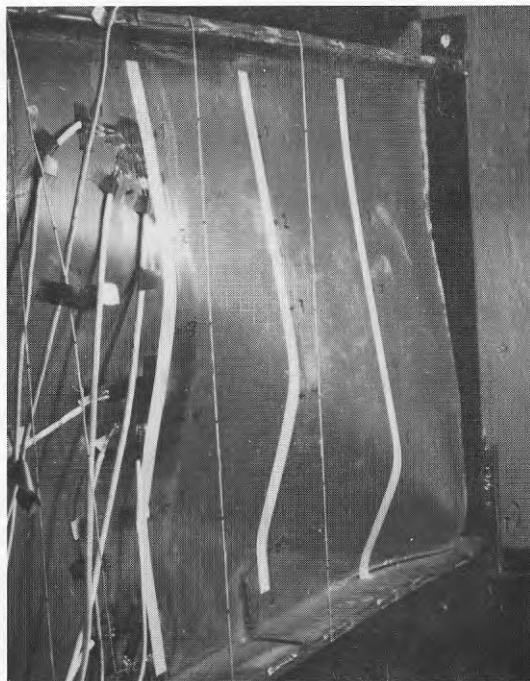


FIG. 43. Försök F5 efter brott.

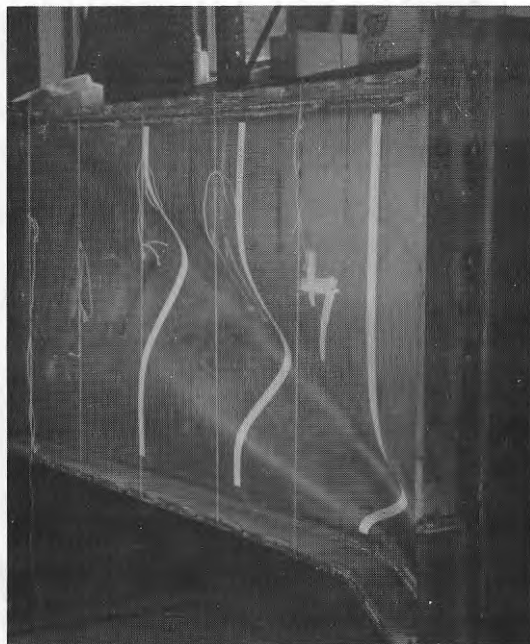


FIG. 44. Försök F6 efter brott.

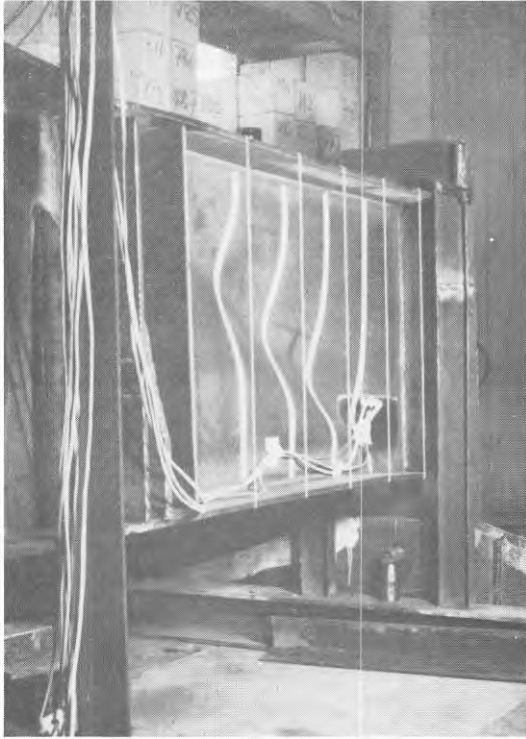


FIG. 45. Försök F7 efter brott.

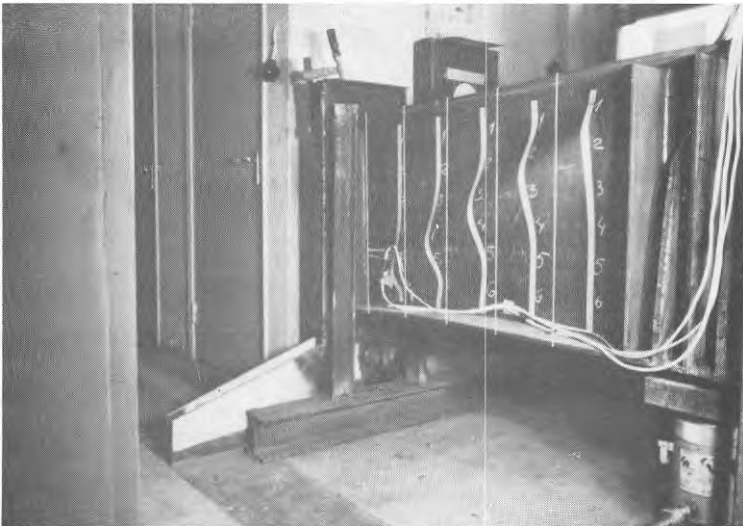


FIG. 46. Försök F8 efter brott.

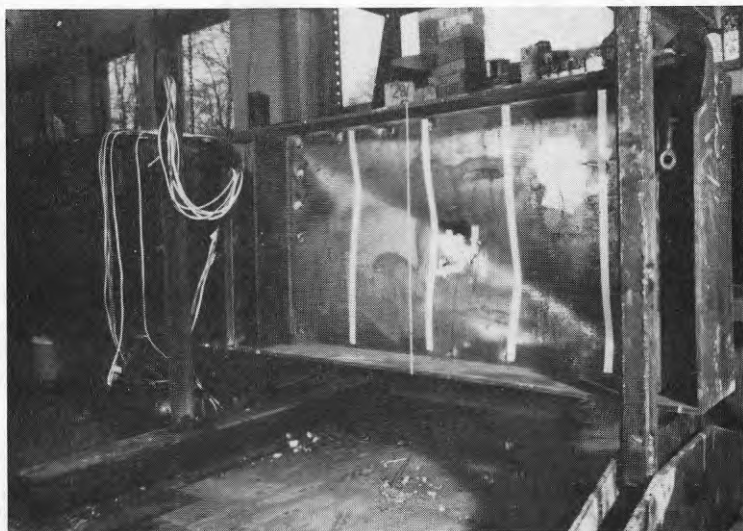


FIG. 47. Försök F9 efter brott.



FIG. 48. Försök F10 efter brott.

Vid försök F7 och F8 fortsattes deformationen med hjälp av domkraften så långt slaglängden tillät. Härvid erhöles brott i den enkelsidiga svetsen medan den dubbelsidiga ej kunde fås att brista. Vid brottet var emellertid lasten i domkraften avsevärt under den maximala, vilket innebär att om lasten hade utgjorts av en gravitationsbelastning, t ex snö, hade balken redan börjat kollapsa fullständigt innan brottet i svetsen skedde.

3.42 Deformation

Vid samtliga försök utvecklades en diagonal livbuckling som ökade kraftigt nära maximala lasten.

Vid försök F5 och F6 var initialutböjningarna av storleksordningen 10 mm. På grund av de stora initialdeformationerna är det svårt att göra några jämförelser av deformationerna under belastningen.

Vid försök F7 - F10 var initialutböjningarna mindre, mellan 1.5 och 5 mm. Bucklingens form var likartad i alla fyra försöken varför det är meningsfullt att jämföra utböjningen i motsvarande punkter som funktion av lasten. Se FIG. 49. Av kurvorna framgår att livutböjningen ökar snabbare vid enkelsidig svets än vid dubbelsidig svets upp till ca 20 Mp. Vidare framgår att vid största lasten är utböjningen ungefär lika i tre av försöken med 21 - 22 mm, medan initialutböjningarna varierar mellan 1.5 och 5 mm. Detta förhållande kan möjligen tolkas så att vid en viss storlek på utbucklingen, i detta fall 21 - 22 mm, bryter den tryckspänningsupptagande förmågan samman och balken går till brott.

Nedböjningen som funktion av lasten mättes vid försök F9 och F10. Vid maximal last var nedböjningen i båda fallen 13-14 mm, och under hela belastningen följdes kurvorna åt mycket väl. Se FIG. 50.

Vid uppnåendet av maximal last veckades som nämnts livet kraftigt. I själva anslutningen mellan liv och fläns var härvid deformationen av livet olika vid enkelsidig och dubbelsidig svets. Vid enkelsidig svets var vinkeländringen mellan liv och fläns vid svetsen fullt påtaglig, medan vid dubbelsidig svets ingen vinkeländring i själva svetsnittet kunde iakttagas. Se FIG. 51-55.

3.43 Spänningsmätning

Vid försök F5 mättes töjningarna i mittnittet i livet i tre punkter. I FIG. 56 är ur töjningarna beräknade huvudspänningar och huvudspänningsriktningar inritade för tre laststeg. Ur figurerna framgår att ett utpräglat dragfält uppstår med dragspänningar som är mycket större än tryckspänningarna. Vidare är tryckspänningarna kraftigt reducerade vid hög last. Denna reduktion är betydligt större än vad som senare erhöles i försöken F9 och F10. Detta kan tolkas så, att de stora initialdeformationerna gör att den kritiska utbuckling, vid vilken tryckspänningarna börjar minska, uppnåddes tidigare i försök F5 än i F9 och F10. Töjningsmätningarna i avstyvningarna visade att tryckkraften vid $R = 37.3$ Mp var 1.8 Mp. Enligt Baslers teori borde tryckkraften vid $R = 46.5$ Mp vara 6.0 Mp.

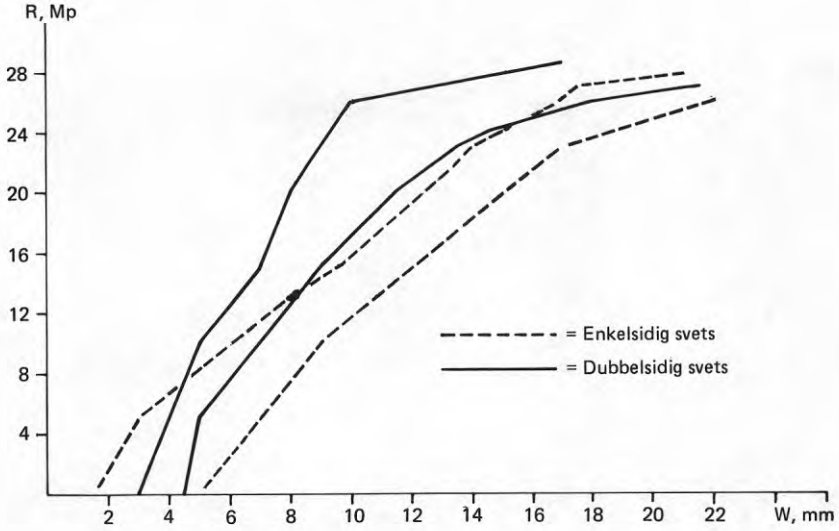


FIG. 49. Livdeformation som funktion av last.
 Snitt 3 pkt 3. Försök F7 - F10.
 Deformationen tycks öka något snabbare med
 enkelsidigt svetsad balk. Deformationen vid
 brott är dock likartad.

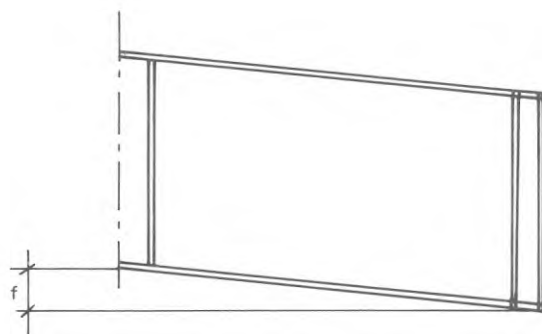
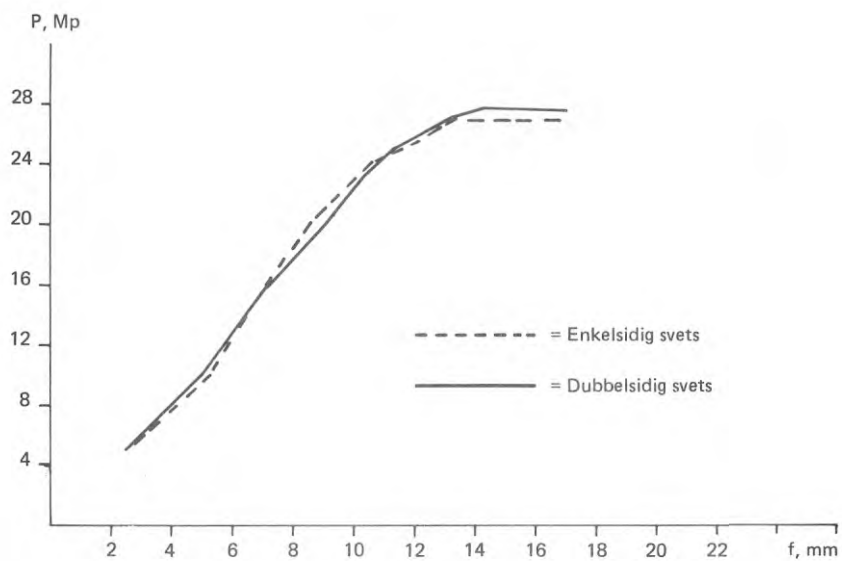


FIG. 50. Last-nedböjningskurva. Försök F9 och F10.
Deformationen är helt likartad.

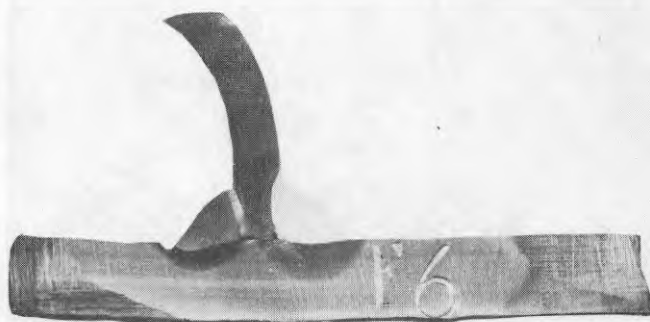


FIG. 51. Försök F6 efter brott.



FIG. 52. Försök F7 efter brott.



FIG. 53. Försök F8 efter brott.



FIG. 54. Försök F9 efter brott.

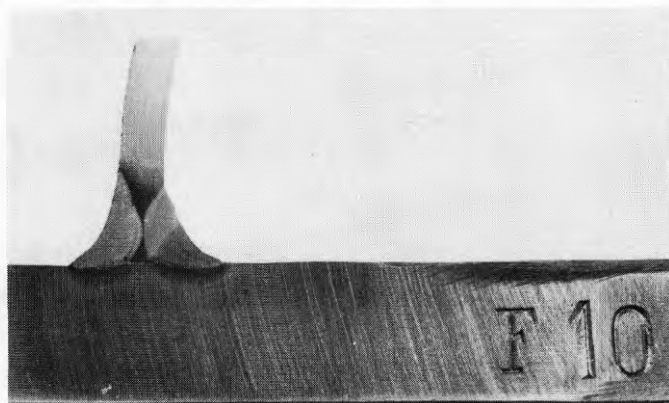


FIG. 55. Försök F10 efter brott.

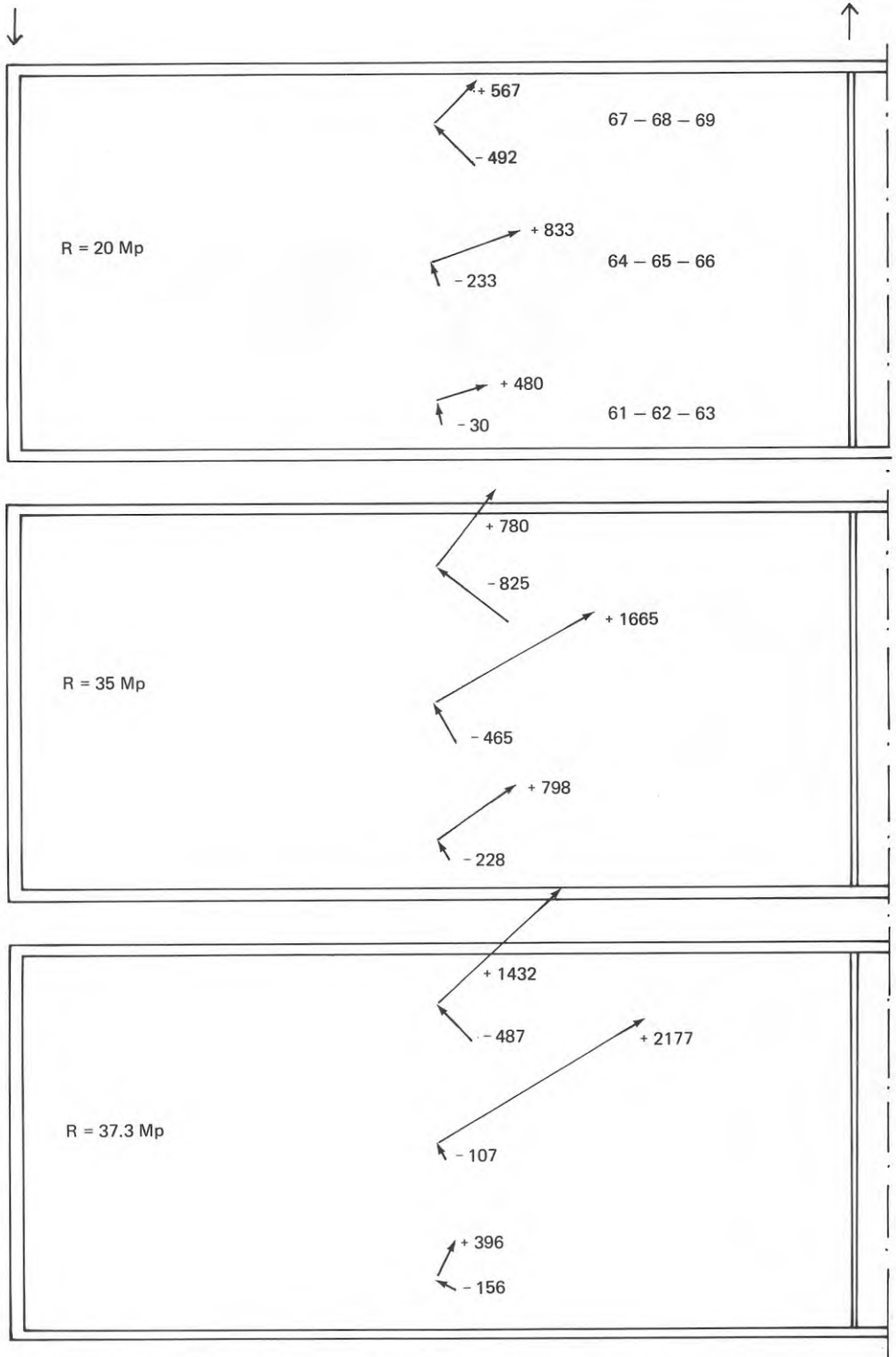


FIG. 56. Huvudspänningar och huvudspänningsriktningar.
Försök F5.

Vid försök F7 och F8 mättes töjningarna i livet i dragfältet nära upplaget. I FIG. 57 är motsvarande huvudspänningar uppritade som funktion av lasten. På grund av utbucklingen och det därav uppkommande momentspänningstillståndet som överlagrar drag- och tryckfälten uppnåddes sträckgränstöjningar i ytskikten redan vid $R = 20 \text{ Mp}$ i F7 och vid $R = 23 \text{ Mp}$ i F8, varför kurvorna över dessa laster är mer eller mindre missvisande. Ur kurvorna framgår det dock att tryckspänningarna är av samma storleksordning som dragspänningarna.

Vidare tycks dragspänningarna växa något snabbare vid enkelsidig svets.

Vid försök F9 och F10 mättes töjningarna dels i mittpunkten i livet och dels vid sidan om dragfältet. Mätvärdena från mittpunkten i försök F9 blev mycket underliga. En jämförelse mellan mätvärdena i F9 och F10 gör det troligt att givare A1 i F9 har varit ur funktion. I FIG. 58 är därför endast värdena från försök F10 inritade. Kurvan visar den typiska tillväxten av dragspänningen medan tryckspänningen är tämligen konstant. Även vid denna mätning gjorde utbucklingen att värdena över $R = 23 \text{ Mp}$ är mer eller mindre fel.

I den andra mätpunkten, kallad 4-5-6, var bucklingen mindre och de beräknade spänningarna torde vara korrekta ända upp till största lasten. Dragspänningarna visar ett nära linjärt samband med lasten ända upp till brott. Därefter sker en ökning av spänningarna vid samma eller något mindre last. Spänningarna är maximalt 13 kp/mm^2 . Dragspänningen ökade något snabbare i försök F10 än i F9. Tryckspänningarna nådde maximalt storleken $-3,9 \text{ kp/mm}^2$ vid $R = 23 \text{ Mp}$. Vid ökad last skedde en minskning som gick snabbare i försök F10 än i F9. Vid försök F9 skedde en mätning även efter att en viss flytning vid maxlast fått äga rum, och tryckspänningen gick härvid ner till $-0,35 \text{ kp/mm}^2$. Se FIG. 59.

Huvudspänningsriktningen som funktion av lasten är tecknad i FIG. 60a. Ur kurvorna framgår att dragfältet ligger i ca 45° lutning vid upplaget oberoende av lasten. I mittpunkten avtar lutningen med ökande last, för att vid brottlast närma sig diagonallutningen. Vid sidan om dragfältet avtar också lutningen med ökande last, men inte så mycket som i livmitt. Se FIG. 60b.

I FIG. 61 är huvudspänningarna och huvudspänningsriktningarna i de olika försöken vid $R = 26 \text{ Mp}$ inritade på skisser av balkarna. Tendensen till diagonallutning av dragfältet framträder tydligt. Vidare framgår att dragfältseffekten är påtaglig även i punkt 4-5-6.

3.5 Jämförelser och slutsatser

Vid samtliga försök utbildades diagonala bucklor i livfälten. Töjningsmätarna i livmitt i försöken F5 och F10 visade att huvudspänningsriktningen är i det närmaste diagonal vid maximal last. Mätningarna i punkt 4-5-6 i försök F9 och F10 visade att tryckspänningarna är i det närmaste konstanta vid medelstora laster men att de avtar kraftigt nära maximal last. Vidare visade mätningarna i försök F7 och F8 att betydande tryckspänningar finns vinkelrätt mot dragfältet nära upplaget.

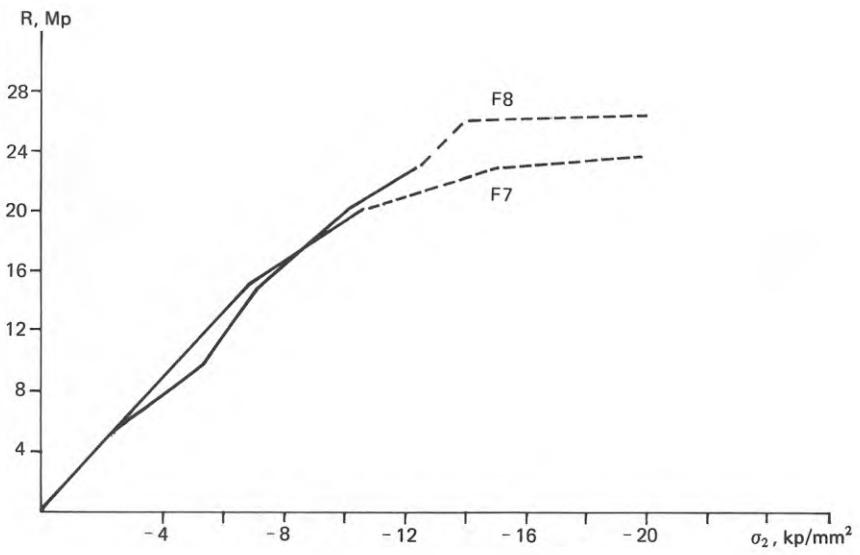
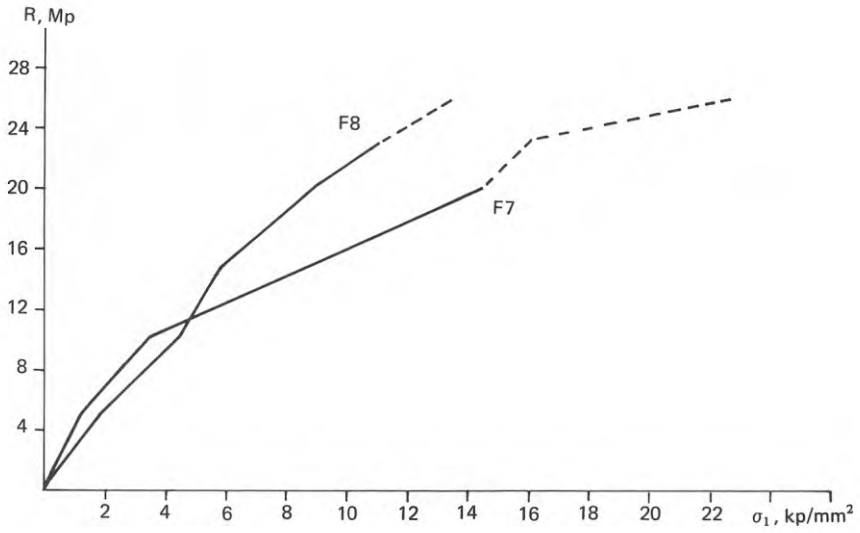


FIG. 57. Huvudspänningar i dragfält nära upplag.
Försök F7 och F8.

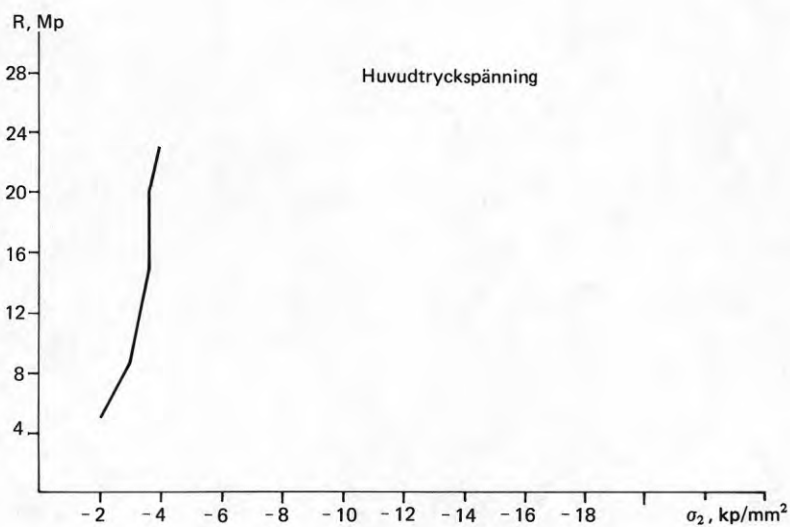
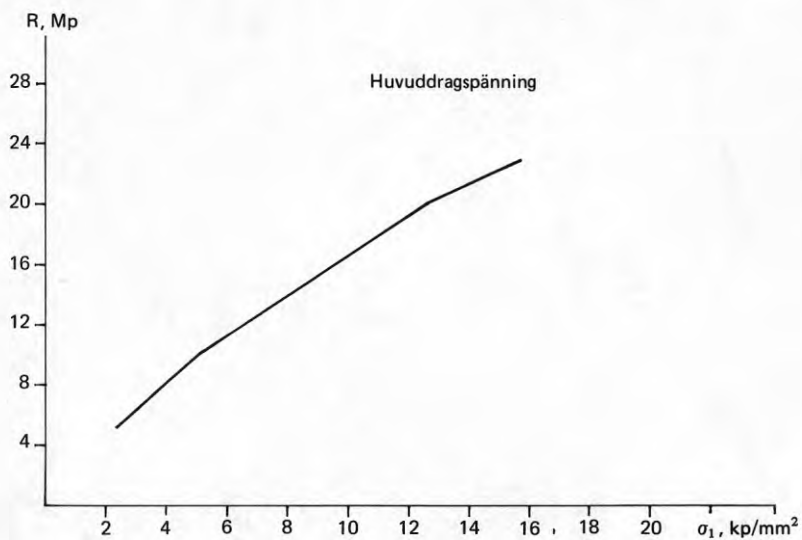


FIG. 58. Huvudspänningar i fältmitt.
Försök F10.

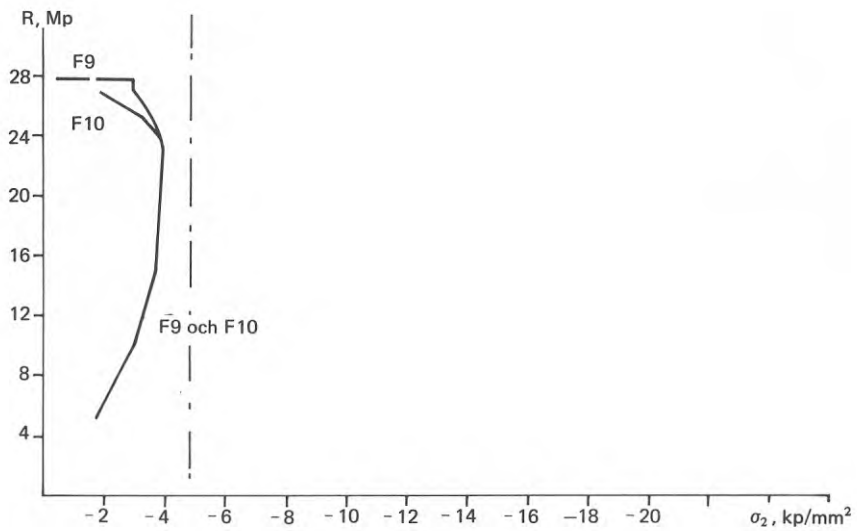
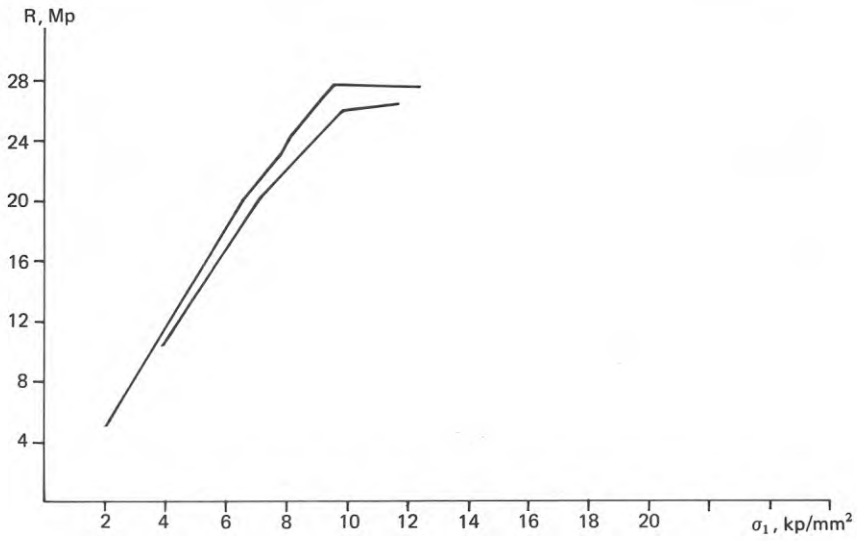


FIG. 59. Huvudspänningar i pkt 4-5-6.
Försök F9 och F10.

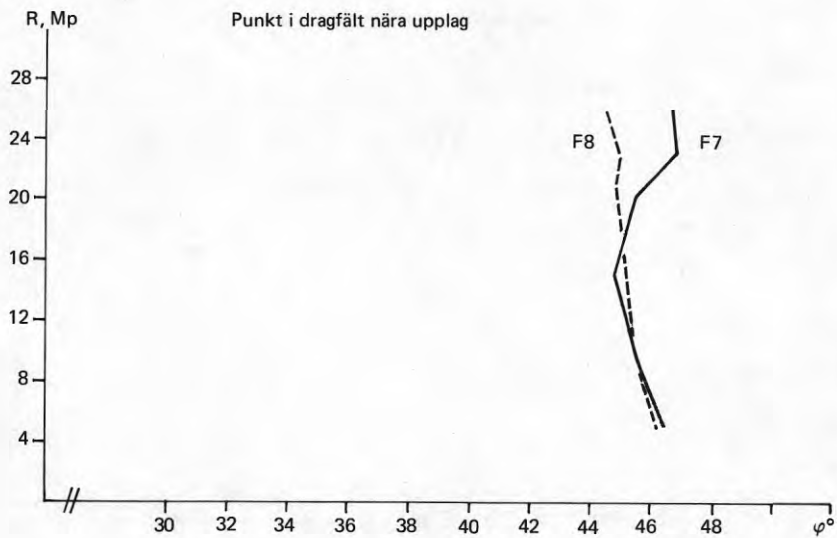


FIG. 60a. Huvudspänningsriktning som funktion av lasten. Försök F7 och F8.

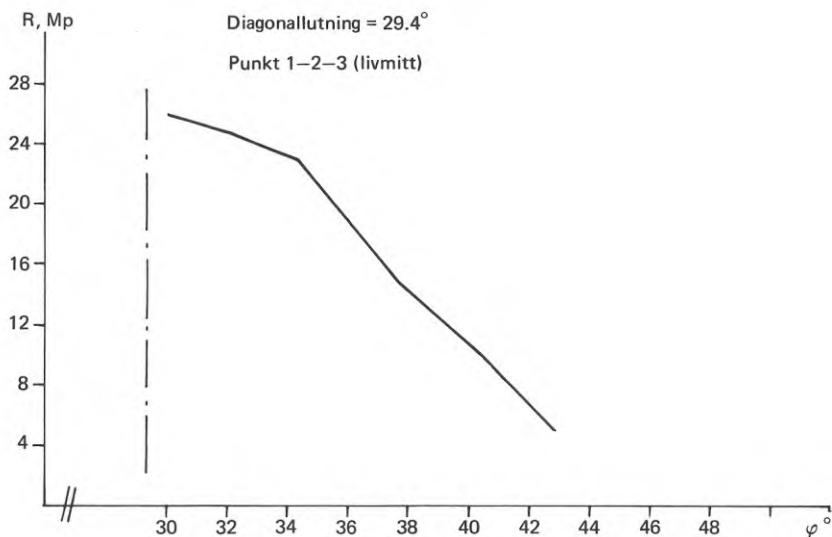
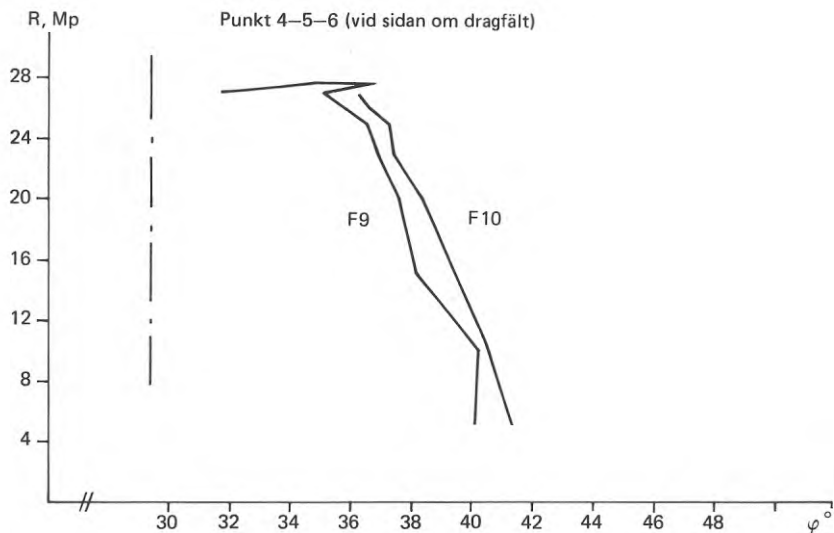


FIG. 60b. Huvudspänningsriktning som funktion av lasten. Försök F9 och F10.

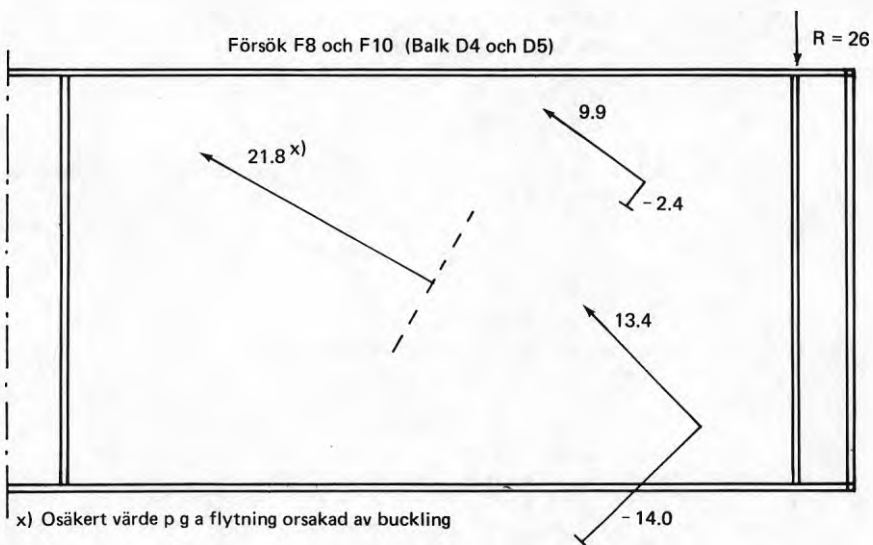
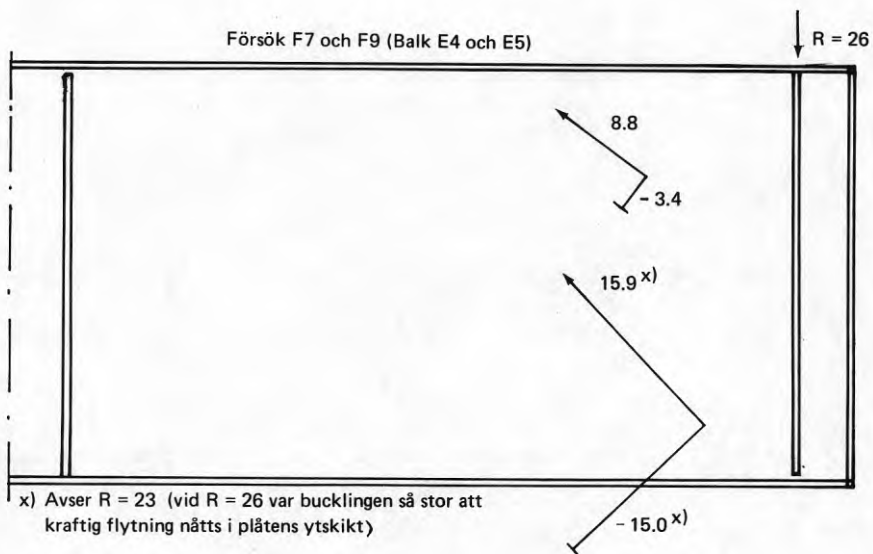


FIG. 61. Huvudspänningar och huvudspänningsriktningar vid $R = 26 \text{ Mp}$. Försök F7 - F10.

Baslers teori säger att vid maximal last är huvudspänningsriktningen lika med halva diagonallutningen och tryckspänningen lika med kritiska bucklingsskjuvspänningen. Försöksresultaten vederlägger antagandet om huvudspänningsriktningen och gör antagandet om konstant tryckspänning ganska tvivelaktigt.

Den i avsnitt 3.1 skisserade dragfältsteorin med diagonalt lutande dragfält styrks i sina väsentliga delar av försöken. Teorin formulerades i sina huvuddrag efter försök F8 och det beslöts att i försök F9 och F10 söka kontrollera teorin dels genom töjningsmätning i punkt 4-5-6 och dels genom diagonalmätning. Den senare kunde inte utföras tillräckligt noggrant, men töjningsmätningarna visade att tryckspänningarna minskar när maximala lasten uppnås.

Vid skjuvförsök utförda av Rockey och Skaloud [14] har bl a flänsarnas deformation mätts och deformationskurvor erhållits som i princip överensstämmer med de i FIG. 26 angivna. Dessa försök har haft till uppgift att bestämma vilken inverkan den relativa flänsstyvheten har på bärförmågan. Försöken visar att flänsarnas styvhet har en väsentlig betydelse.

Utförda försök tyder således på att betraktelsesättet i den skisserade teorin är användbart för vidare diskussion. Vid en jämförelse mellan enkelsidig och dubbelsidig svets mellan liv och fläns framkommer följande punkter:

1. Enkelsidig svets kan inte ges samma totala a-mått som är möjligt vid dubbelsidig svets.
2. Enkelsidig svets är en betydligt mindre styv anslutning mellan fläns och liv.
3. Vid dragning av livplåten är anslutningen mot flänsen excentrisk vid enkelsidig svets.

Punkt 1 ovan är av intresse om det skulle visa sig omöjligt att utnyttja dragfältseffekten helt innan brott i enkelsidig svets inträffar. Försöken visar emellertid att svetsen klarar påkänningarna upp till maximal last om den är riktigt utförd. Det slutliga sammanbrottet, som uppnås efter maximal last och vid mycket kraftig livbuckling, sker dock relativt plötsligt som ett brott i den enkelsidiga svetsen. Vid dubbelsidig svets var det inte möjligt att framkalla brott i själva svetsen med den använda försöksutförningen. Att den enkelsidiga svetsen kan brista torde också bero på punkt 2 och 3 ovan, som medför att en betydande vinkeländring mellan liv och fläns uppstår vid dragfältets förankring.

Punkt 2 ovan har betydelse genom att den påverkar utbucklingens form. Mycket schematiskt kan man tänka sig livplåten uppdelad i tryckta stänger vinkelrätt mot dragdiagonalen. Dessas upplagsförhållanden vid flänsarna kan då vid enkel- respektive dubbelsidig svets tänkas som vid Eulers 2:a respektive 4:e knäckfall. Vid försök borde utbucklingen då gå hastigare vid enkelsidig än vid dubbelsidig svets. Försöksresultaten tyder också på detta. Minskningen av tryckspänningarna borde komma vid en lägre last vid enkelsidig svets. Försöken kan möjligen tolkas som att så är fallet. Skillnaden i lastupptagande förmåga är dock mycket liten

i förhållande till spridningen av lasterna. Vid en given livdimension torde t ex flänsstyvheten ha långt större betydelse än infästningen mellan liv och fläns.

Punkt 3 ovan inverkar vid livplåtens dragning genom att den ger upphov till ett böjande moment hos plåten. Vid alla tre skjuvförsöken med enkelsidig svets skedde utbucklingen åt den sida där den enkelsidiga svetsen fanns. Detta moment måste också göra att svetsen utsätts för en böjning som inte har någon motsvarighet vid dubbelsidig svets. Förhållandet tycks dock endast ha betydelse efter att maximal last nåtts eller vid undermålig svets.

Slutsatsen av försöken och diskussionerna blir att det inte kan påvisas någon avgörande skillnad mellan enkelsidigt och dubbelsidigt svetsade balkar. Möjligen är brottlasten någon eller några procent lägre och brottet något mindre segt vid enkelsidig svets.

Vid dimensionering av balkar enligt StBK-N1 används en säkerhetsfaktor 1,3 mot skjuvbucklingsspänning vid stor slankhet hos livet. Detta ger en säkerhet mot brott som oftast är betydligt större än två. I försöken varierade säkerhetsfaktorn mellan 2,24 och 3,86. Med nuvarande normer torde det därför vara fullt tillfredsställande att använda enkelsidig svets.

4 ROSTSKYDD AV ENKELSIDIGT SVETSAD
BALKAR

Används enkelsidigt svetsade balkar utomhus föreligger viss risk för spaltkorrosion i den spalt som finns mellan liv och fläns på balkens ena sida. Spaltkorrosionen gynnas om fukt och smuts får tillfälle att tränga in i spalten, och efter viss tid åstadkommer korrosionsprodukterna genom sin ökade volym spänningspåkänningar i konstruktionen. Ur Statens stålbyggnadskommittés specialhäfte StBK-N4 rostskydd som kommer att utges i tryck citeras: "Konstruktioner utformas så att spalter som kan ge upphov till spaltkorrosion undviks".

Dock kan sägas att om stålytorna sandblästras och rostskyddsbehandlas på lämpligt sätt är korrosionsrisken för dessa enkelsidigt svetsade balkar ej större än vad den är vid nitade balkar. Vid rostskyddsbehandlingen bör hänsyn tas till risken för spaltkorrosion och rostskyddet förstärkas där sådan risk föreligger. Detta kan t ex ske genom att spalten och dess närmaste omgivning får ett eller flera extra färgskikt.

Alternativt kan konstruktionen sprutförzinkas.

Det har nämligen visat sig vid laboratorieprov i saltdimma under en tid av 4 månader med provstycken innehållande enkelsidigt svets, dels målade, dels omålade, att ett färgskikt på ca 50 μm ej förmådde skydda mot rostangrepp. Rostsprängningar pga spaltkorrosion kunde i denna provning ej konstateras, vilket kan förklaras av den relativt korta provningstiden. Nya försök med enkelsidigt svetsade prov i saltdimma pågår, FIG. 62 och 63.

Långtidsprov med enkelsidigt svetsade målade balkar har pågått ca 5 år. Balkarna har under denna tid varit utsatta för relativt korrosiv atmosfär (tätort). Färgskiktet på ca 50 μm har ej kunnat förhindra rostangrepp i spalten mellan liv och fläns. Angreppen är dock obetydliga med en inträngning av ca 1 mm, och har ej förorsakat rostsprängning.

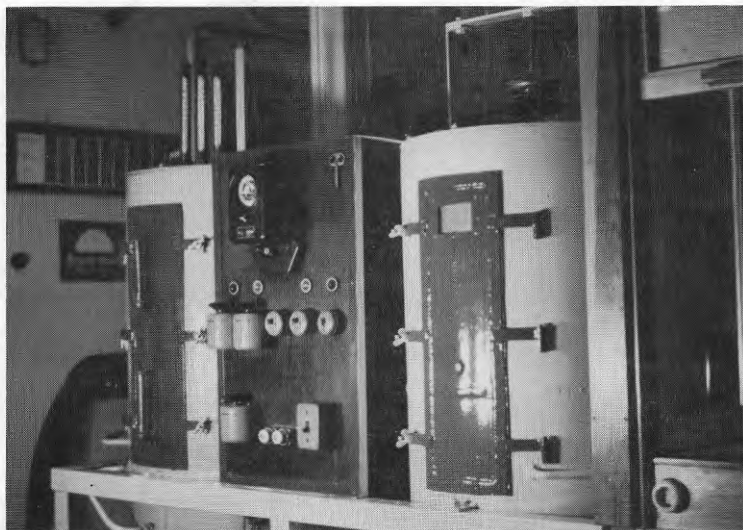


FIG. 62. Apparatur för korrosionsprovningar.
T h saltdimmeskåp, t v tropikskåp.

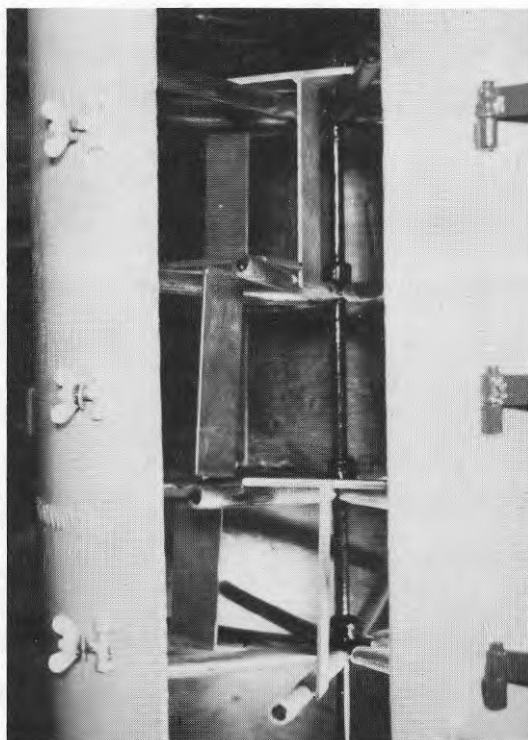


FIG. 63. Enkelsidigt svetsade balkprov monterade i saltdimmeskåp.

Vid tillverkning av svetsade plåtbalkar med I-tvärnsnitt utförs för närvarande som regel svetsarna mellan liv och flänsar dubbelsidigt, dvs på båda sidorna om livet. Tillverkningen sker i pulverbågsvetsmaskiner, varvid båda svetsarna på en sida om livet läggs samtidigt. Om det vore möjligt ur teknisk synpunkt att nöja sig med enkelsidigt svetsade balkar skulle svetsningsarbetet kunna utföras i en operation utan vändning av balken. Målsättningen för föreliggande undersökning har varit att undersöka om det föreligger några skillnader ur hållfasthetssynvinkel mellan enkelsidigt och dubbelsidigt kälsvetsade balkar.

Undersökningen har omfattat en teoretisk del och en försöksdel. Två principiellt intressanta belastningsfall har behandlats, nämligen ren momentpåverkan utan avskärningskraft och påverkan av stor avskärningskraft och moment vid balk med avstyvningar.

Den teoretiska analysen gav vid handen att man inte kan vänta sig någon väsentlig nedsättning av bärförmågan vid ren momentbelastning. Vid fallet med stor avskärningskraft visade det sig att de modeller som finns för beräkning av brottlasten inte gav någon anvisning om balkens beteende i slutstadiet. Med ledning av erfarenheterna från de fyra första avskärningskraftsförsöken uppställdes därför en modifierad dragfältmodell. Modellen ledde bl a till att man kunde vänta sig att tryckspänningarna i livplåten skulle minska vid uppnåendet av maximal last. Mätningar i de två sista försöken visade att så också var fallet. Den nya modellen gav också vid handen att enkelsidigt svetsning kunde tänkas ge något lägre maximal last.

Den experimentella delen omfattade tio försök, varav fyra var momentförsök och sex avskärningskraftförsök. Undersökningen var komparativ med parvis lika försök med enkelsidigt och dubbelsidigt svetsade balkar.

Vid momentförsöken kunde inte någon skillnad mellan enkel- och dubbelsidigt svets iakttagas. Maximal last, last-nedböjningskurva, livutböjning, flänsvridning och spänningsfördelning var nästan identiska vid de olika försöken. Det slutliga uppnåendet av maximal last var i samtliga fall förenat med en kraftig lokal vridning av den tryckta flänsen.

Vid avskärningskraftförsöken blev bilden något mer nyanserad. De två första försöken gjordes på förstärkta delar av de första momentbalkarna. Vid den enkelsidigt svetsade balken erhöles brott i svetsen mellan liv och tryckt fläns innan full dragfältseffekt hade uppnåtts. Lasten var dock 2.24 ggr större än den tillåtna enligt StBK-N1. Vid kontroll av svetsen visade det sig också att denna var behäftad med bindfel. Vid den dubbelsidigt svetsade balken trycktes den tryckta flänsen in mot livet i samband med att dragfältseffekten blev maximalt utnyttjad. Vid kontrollmätning av livtjockleken efter försöken visade det sig att denna var väsentligt olika i de båda försöken. Den slutsats som kunde dras av dessa två försök blev därför endast att vid enkelsidigt svets kan brott inträffa innan grundmaterialet är fullt utnyttjat om svetsens kvalitet är otillfredsställande.

De följande fyra avskärningskraftförsöken utfördes med för ändamålet speciellt tillverkade balkar. Utförandet var av hög kvalitet med små initialdeformationer och med god inträngning av svetsen. Försöken visade att dragfältseffekten blev fullt utnyttjad även med enkelsidig svets. Brott i den enkelsidiga svetsen kunde endast erhållas vid deformation långt över maximal last då kraften i domkraften var betydligt lägre än vid maximal last. I en konstruktion belastad med t ex snö skulle då balken för länge sedan ha kollapsat innan svetsen brast. Den maximala lasten var i alla fyra försöken ungefär lika.

Resultaten tyder på att balkens lastupptagande förmåga inom ramen för acceptabla deformationer inte är beroende på fogtypen, medan brottlasten möjligen är någon eller några procent lägre vid enkelsidigt svetsade I-profiler än vid dubbelsidigt svetsade.

Undersökningens resultat kan sammanfattas på följande sätt. Vid dimensionering enligt nuvarande normer är enkelsidig svetsning helt likvärdig med dubbelsidig svetsning. Skillnaden i seghet är helt försumbar. Vid brott kommer instabilitetsfenomen att leda till totalt sammanbrott innan svetsbrott inträffar. När man vid dimensionering börjar ta hänsyn till dragfältseffekten på ett mer avancerat sätt än att stipulera en lägre säkerhetsfaktor mot buckling, är enkelsidig svetsning i det närmaste lika tillförlitlig som dubbelsidig svetsning, förutsatt att svetsen utförs med god inträngning.

LITTERATUR

- [1] Baehre, R: Kompendium i stålbyggnad, Institutionen för stålbyggnad, Kungl tekniska högskolan, Stockholm.
- [2] Basler, Bung-Tsen Yen, Mueller, Thürlimann: Web Buckling Tests on Welded Plate Girders, Welding Research Council Bulletin Series, Number 64, September 1960, New York.
- [3] Basler - Thürlimann: Strength in Bending, Trans of Am Society of Civil Engineers, Vol 128, 1963, Part II.
- [4] Basler: Strength in Shear, Se 3.
- [5] Basler: Strength under Combined Bending and Shear, Se 3.
- [6] Bergman, S G A: Behavior of Buckled Rectangular Plates under the Action of Shearing Forces Along All Edges, Stockholm 1948.
- [7] Granholm, C-A: Lättbalkar, Teknisk Tidskrift 1961, h 17.
- [8] Provisoriska normer för svetsade stålbalkar, typ HSI.
- [9] Hult, J: Hållfasthetslära, Uppsala 1968.
- [10] Höglund, T: Thin Plate I-girders Subjected to Eccentric Compressive Loads, Kungl tekniska högskolans handlingar Nr 237, Stockholm 1964.
- [11] Kollbrunner-Meister: Knicken, Biegedrillknicken, Kippen, Berlin 1961.
- [12] Nylander, H: Stabilitet av tryckt fläns vid tunnväggig I-balk, Väg- och vattenbyggaren 1963, nr 4.
- [13] Nylander, H: Torsion, Bending and Lateral Buckling of I-beams, Kungl tekniska högskolans handlingar Nr 102, Stockholm 1956.
- [14] Rockey & Skaloud: Influence of Flange Stiffness Upon the Load Carrying Capacity of Webs in Shear, Acta Technica CSAV, Nr 3, Prag 1969.
- [15] Stålbyggnadsnorm 70 StBK-N1.
- [16] Timoshenko & Gere: Theory of Elastic Stability, Second Edition, Tokyo.
- [17] Vollwandträger, Schweizer Stahlbau-Vereinigung, Zürich.
- [18] Wästlund, G: Buckling of Webs in deep Steel I-girders, Statens kommitté för byggnadsforskning, meddelande nr 8, Stockholm 1947.
- [19] Andersson, G: Svetsade balkars lastupptagande förmåga vid enkelsidig svets mellan fläns och liv - teoretiska och experimentella undersökningar. Institutionen för stålbyggnad, Kungl tekniska högskolan, Stockholm.

Förslag till norm rörande fogtyper överlämnad till
STATENS STÅLBYGGNADSINSTITUT 1972
avsedd att ingå i de omarbetade BYGGSVETSNORMERNA
under beteckning StBK - N2

Vid val av fogtyp tas hänsyn till belastningens art och storlek, godstjocklek, svetsklass, svetsmetod och svetsläge.

Som ledning vid val av fogtyp och fogberedning hänvisas till "Rekommendationer för utformning av svetsfogar", utgiven av IVA Svetskommission. För svetsklasserna Sv2 och Sv2A föreskrivs vissa särskilda svetssektionsformer som återfinns i avsnitt 3.

Normalt används stumsvets, K-svets och kälsvets. Kälsvets kan utföras som dubbel- eller enkelsidig svets. Både stumsvets, K-svets och kälsvets kan förekomma med full eller partiell genomsvetsning. Vid stumsvets och kälsvets kan svetsning ske från båda sidor eller enbart från en sida. Vid partiell genomsvetsning anges på ritning tillåten osvetsad del av fog.

Svets utsatt för höga dragspänningar vinkelrätt mot svetsens längdriktning utförs normalt som stumsvets, K-svets eller dubbel kälsvets.

Enkelsidig stumsvets med krav på full genomsvetsning används i konstruktionsklass 1 och 2 och utförs normalt med användande av rotstöd eller rotstrimla. Enkelsidig stumsvets med krav på full genomsvetsning får även utföras utan rotstöd eller rotstrimla om metoden kan visas ge full genomsvetsning och svetsen är åtkomlig för kontroll.

Enkelsidig stumsvets och kälsvets med partiell genomsvetsning användes i konstruktionsklass 1. Vissa typer av enkelsidig kälsvets, t ex i svetsade lådprofiler, används även i konstruktionsklass 2.

Vid användande av enkelsidig kälsvets ska eventuella excentricitetseffekter beaktas, speciellt om inträngningen är liten. Dragspänning vinkelrätt mot ensidig kälsvets undviks. Vid enkelsidig kälsvets ska vidare korrosionsrisken i spalten beaktas.

I svetsad balk med enkelsidig kälsvets bör denna kompletteras med svets även på andra sidan livet över upplag och under koncentrerad last.

Kälsvets utförs i regel liksidig. Ändkälsvets utbildas dock lämpligen oliksidig, då gynnsammare kraftfördelning därvid kan erhållas. Kälsvets och K-svets bör om möjligt ha rak eller konkav form, och konvex råge bör undvikas.

Kälsvetsens a-mått avpassas till anslutande gods. Härvid bör a-måttet ej vara större än beräkningarna erfordrar och ej mindre än 3,5 mm. I regel bör a-måttet ej överstiga halva minsta godstjockleken hos anslutande gods. Ändkälsvets utformas dock ofta så att svetsen ansluter till övre kanten på anslutande plåt.

Kälsvets och K-svets får utföras med inträngningselektrod eller svetsmetod som ger inträngning och inträngningen får utnyttjas beräkningsmässigt.

R53:1976

**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag C 448 från Statens
råd för byggnadsforskning till Sture Sabelström, Stockholm**

**Distribution: Svensk Byggtjänst, Box 1403, 111 84 Stockholm
Grupp: konstruktion**

Pris: 26 kronor + moms