



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**

**R97:1986**

# **I-balkar av höghållfast stål**

**Provning av svetsade balkar av  
seghärdad plåt**

**Anders Rading  
Torsten Höglund**

INSTITUTET FÖR BYGGDOKUMENTATION	
Accnr	
Plac	ser

R  
Adh

**Byggeforskningsrådet**

R97:1986

I-BALKAR AV HÖGHALLFAST STÅL

Provning av svetsade balkar av seghärdad plåt

Anders Rading  
Torsten Höglund

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 821419-8  
från Statens råd för byggnadsforskning till Avdelningen  
för Stålbyggnad, Kungl. Tekniska Högskolan, Stockholm.

## REFERAT

Seghårdade stål är sedan några år standardiserade i Sverige och ingår bland de stål som upptas i kommande bestämmelser för stålkonstruktioner, BSK. De seghårdade stålen har litet förhållande mellan brottgräns och sträckgräns. I många länders stålbestämmelser finns ett krav på ett minsta förhållande för att gränslastmetod skall få användas. Vanligen skall brottgränsen vara större än 1.2 gånger sträckgränsen. Detta krav fanns också infört i ett remissförslag till BSK. Avsikten med försöken var att undersöka om rotationskapaciteten är tillräcklig för momentomlagring i en statiskt obestämd konstruktion. Fyra serier provades.

Serie 1 balkar med sådana tvärsnittsförhållanden att gränslastteorins krav nått och jämnt är uppfyllda.

Serie 2 balkar med samma tvärsnittsmått och med en svets i den dragna flänsen.

Serie 3 balkar med slankare flänsar än kravet för gränslastmetoden.

Serie 4 balkar med samma flänsar som serie 1 och 2 men med liv av mjukt konstruktionsstål.

Speciellt avsågs serie 2 belysa om sprött brott uppkommer i en svets i den dragna fläns, serie 3 ge anvisning om slankhetsgränserna i BSK är rätt valda och serie 4 ge verkningssätt vid sk hybridbalkar, dvs balkar med olika material i flänsar och liv. Försöken visar att balkar av de standardiserade seghårdade stålen SS 261X och SS 262X har erforderlig rotationskapacitet för tillämpning av gränslastmetoden.

I Bygghörsningsrådets rapportserie redovisar forskaren sitt anslagsprojekt. Publiceringen innebär inte att rådet tagit ställning till åsikter, slutsatser och resultat.

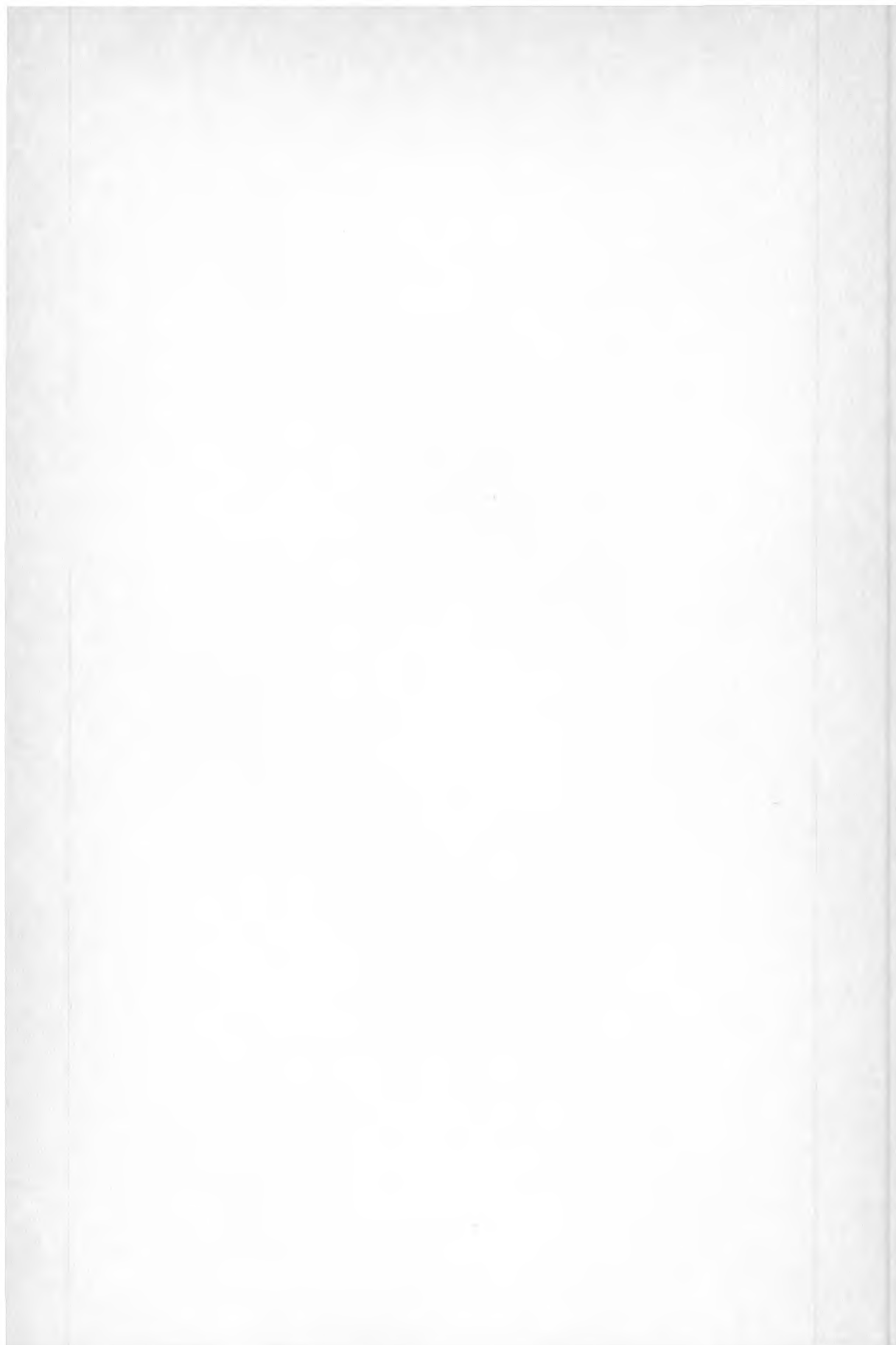
R97:1986

ISBN 91-540-4625-4

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

## INNEHALL

	sid
SYFTE .....	5
PROVBALKAR .....	6
PROVNINGSANORDNING .....	8
PROVNINGSRESULTAT .....	9
SAMMANFATTNING .....	14
BETECKNINGAR .....	15
BILAGA A Last-deformationssamband	
BILAGA B $\sigma$ - $\epsilon$ -diagram	
BILAGA C Fotografier	



## SYFTE

I många länders stålbestämmelser finns krav på ett minsta förhållande mellan brottgräns och sträckgräns för att gränslastmetod skall få användas. Vanligen är kravet brottgräns/sträckgräns större än 1,2. Detta krav finns också infört i förslag till Bestämmelser för Stålkonstruktioner, BSK. De seghärdade, höghållfasta stålen, SS-stål 2624 och 2625 samt kallformningsstålen SS-stål 265X och 266X uppfyller inte detta krav. Anledningen till kravet är oklart.

Syftet med redovisade provningar är att undersöka om kravet är nödvändigt. Fyra serier balkar provades.

Serie 1 avser balkar med sådana tvärsnittsförhållanden att gränslastteorins krav nätt och jämnt är uppfyllda.

Serie 2 har samma tvärsnittsmått men har en svets i dragen fläns.

Serie 3 har slankare flänsar än som är tillåtet för gränslastmetoden.

Serie 4 slutligen har samma flänsar som serie 1 och 2 men har liv av mjukt konstruktionsstål.

Avsikten med försöken är att undersöka om rotationskapaciteten är tillräcklig för momentomlagring i en statiskt obestämd konstruktion. Speciellt avsågs serie 2 belysa om sprött brott uppkommer i en svets i en dragen fläns, serie 3 ge anvisning om slankhetsgränserna i BSK är rätt valda och serie 4 ge verkningssätt vid alltför klent liv.

Redan inledningsvis kan nämnas att flänsarna kom att tas ur tjockare plåt än som ursprungligen var avsett, vilket resulterade i att tvärkraften blev avgörande vid flera prov. Livet i vissa balkar förstärktes därför med diagonala livavstyvningar.



## PROVBALKAR

Varje provserie omfattade 2 balkar. Totalt provades 8 balkar. Balkarna tillverkades genom horisontell pulverbågssvetsning utan förvärmning vid SSAB i Oxelösund. Som elektrod användes OK 12.20  $\phi$  4 mm och som pulver OK 10.71. a-mättet åstadkoms medelst en sträng. I provserie 2 skarvades den dragna flänsen genom manuell utförda stumsvetsar. Materialet i flänsarna var för samtliga balkar OX 812, medan livet var av SS 1412 i provserie 4 och av OX 812 i övriga provserier. Samma flänstjocklek och balkhöjd användes för samtliga balkar, medan övriga tvärsnittsmått varierades. Livavstyvningar av PLS 75x16 placerades vid upplag och punktlast. Längden på balkarna var 1800 mm.

Uppmätta tvärsnittsmått och stålqualiteter i liv och fläns framgår av FIG 1 och TABELL 1 nedan.

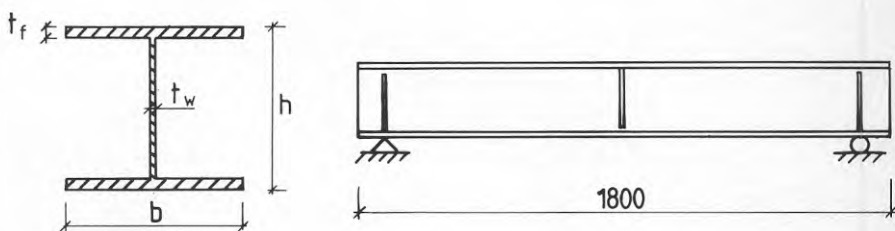


FIG 1 Tvärsnitt och vy

TABELL 1 Uppmätta tvärsnittsmått, slankheter för flänsar och liv, gränsvärden för slankheter enligt BSK tvärsnittsklass 1 samt stålqualiteter i liv och fläns

Serie	Balk	h mm	b mm	$t_w$ mm	$t_f$ mm	Fläns		Liv		Stålqualitet	
						$\frac{b_f}{t_f}$	$\beta_{fp\lambda}$	$\frac{b_w}{t_w}$	$\beta_{wp\lambda}$	Liv	Fläns
1	E, F	250	180	6,8	16	5,10	4,92	30,6	40,3	OX 812	OX 812
2	G, H	250	180	6,8	16	5,10	"	"	"	-	-
3	C, D	250	220	6,8	16	6,35	"	"	"	-	-
4	A, B	250	180	6,1	16	5,12	"	34,1	61,2	SS 1412	-

Efter provningen skars provbitar ur flänsar och liv till dragprov för bestämning av materialens sträckgräns, TABELL 2. Proven togs ur balkändarna. Livmaterialet har vid provningarna varit utsatt för stora töjningar, medan flänsmaterialet varit utsatt för endast små töjningar. Inget dragprov visade någon sträckgräns, vilket tyder på att materialet varit kallbearbetat.

Kraft-deformationskurvor från dessa prov framgår ur BILAGA B.

Vid beräkning av teoretiska laster användes värden på materialens sträckgräns från SSAB:s materialprovningar, se TABELL 3.



TABELL 2 Materialdata från egna provningar

Balk	Stål	b mm	t mm	$f_{0,2}$ N/mm <sup>2</sup>	$f_u$ N/mm <sup>2</sup>	$A_{50}$ %
A <sub>liv</sub>	SS 1412	20,0	6,09	369	495	37
B <sub>liv</sub>	SS 1412	19,99	6,11	364	486	37
D <sub>liv</sub>	OX 812	20,03	6,75	758	823	18
E <sub>liv</sub>	OX 812	20,0	6,93	750	816	20
D <sub>fläns</sub>	OX 812	14,98	15,92	786	828	29
E <sub>fläns</sub>	OX 812	14,98	16,17	800	836	28
G <sub>svets</sub>	OX 812	15,04	15,87	759	812	8
G <sub>svets</sub>	OX 812	15,03	15,86	776	850	20

TABELL 3 Materialdata från SSAB:s materialprovningar och jämförelse med medelvärden från egna provningar enligt TABELL 2

Stål	t mm	$f_y$ N/mm <sup>2</sup>	$f_u$ N/mm <sup>2</sup>	$A_{50}$ %	Medelvärden ur TABELL 2	
					$f_{0,2}$ N/mm <sup>2</sup>	$f_u$ N/mm <sup>2</sup>
OX 812	6,8	745	779	16	754	820
OX 812	16	780	818	18	793	832
SS 1412	6,8	323	494	31	366	490
Tillsatsmaterial	-	390 <sup>a)</sup>	490 <sup>a)</sup>	-	-	-

a) Enligt standarden

Vid de 5 först provade balkarna (A, B, D, E och G) bestämdes verknings-sättet av skjuvning av balklivet. De återstående 3 balkarna (C, F och H) förstärktes (se FIG 2) med Pls 80x10, SS 1412 på båda sidor om livet.

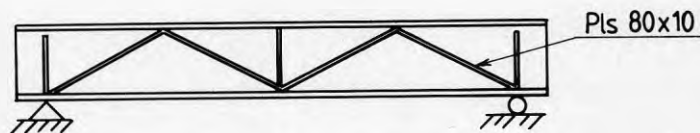


FIG 2 Förstärkning av balkliv

## PROVNINGSANORDNING

Balkarna provtrycktes i en Losenhausen provtryckningsmaskin enligt FIG 3. Förutom lasten mättes nedböjningen. Efter provningen fotograferades balkarna innan provbitar för dragprov skars ut.

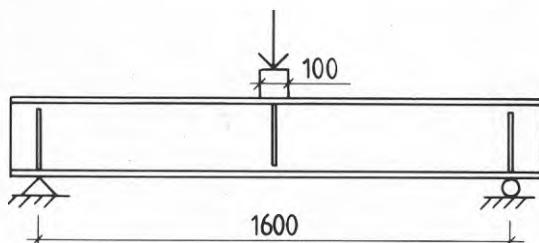


FIG 3 Provningsanordning

## PROVNINGSRESULTAT

Uppmätta tvärsnittsmått, brottlast och beräknade teoretiska laster redovisas i TABELL 4, sid 11. Deformationskurvor redovisas i BILAGA A, och bilder tagna av de provade balkarna redovisas i BILAGA C. Beräkning av teoretiska laster har gjorts enligt följande:

Last då sträckgräns uppnås i livet ( $P_y$ )

Sträckgräns uppnås först vid punktlasten i övergång mellan liv och fläns. Von Mises flytvillkor har använts, och beräkningen har gjorts enligt följande:

$$\tau = \frac{P_y \cdot S}{2 \cdot I \cdot t_w}$$

$$\sigma = \frac{P_y \cdot \ell}{4 I} \cdot z \quad \text{där } z = h/2 - t_f - 5$$

$$3 \tau^2 + \sigma^2 = f_y^2$$

$$\Rightarrow P_y = 4 f_y I t_w \left( \frac{1}{12 S^2 + \ell^2 t_w^2 z^2} \right)^{1/2}$$

Tröghetsmomentet för de förstärkta balkarna har beräknats inklusive förstärkningar.

Last då livet är plastiserat av enbart tvärkraft ( $P_{pv}$ )

Tvärsnittets lastupptagningsförmåga är teoretiskt uttömd då livet är genomplastiserat av enbart tvärkraft. Denna last har bestämts enligt följande:

$$\tau = \frac{P_{pv}}{2 A_w} ; \quad \tau_y = \frac{f_y}{\sqrt{3}}$$

$$\Rightarrow P_{pv} = \frac{f_y}{\sqrt{3}} \cdot 2 A_w$$

Last då sträckgräns uppnås av enbart moment ( $P_{ym}$ )

$$P_{ym} = \frac{4}{\ell} \cdot f_y \cdot \frac{I}{z}$$

Last då tvärsnittet är plastiserat av enbart moment ( $P_{pm}$ )

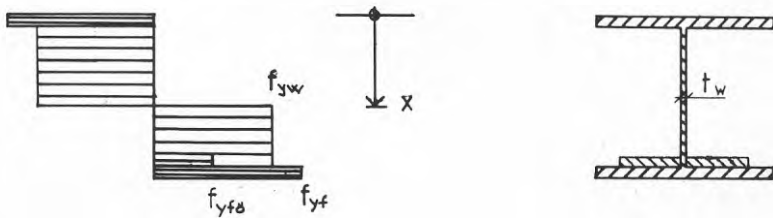
För balkarna utan förstärkning har  $P_{pm}$  bestämts enligt följande:



$$\frac{P_{pm} \cdot l}{4} = f_{yf} \cdot A_f (h - t_f) + f_{yw} \cdot \frac{A_w}{4} (h - 2 t_f)$$

$$P_{pm} = \frac{1}{l} [f_{yf} \cdot A_f \cdot 4 (h - t_f) + f_{yw} A_w (h - 2 t_f)]$$

För de förstärkta balkarna har förstärkning tagits med i beräkningen enligt följande:



$f_{yf0}$  = sträckgräns för förstärkning

Projektionsekvation ( $\rightarrow$ ) medför att  $x$  kan bestämmas. Därefter beräknas  $P_{pm}$  i princip enligt ovan.

TABELL 4 Uppmätta tvärsnittsmått, beräknade teoretiska laster och brottlast

Serie	Balk	h mm	b mm	t <sub>w</sub> mm	t <sub>f</sub> mm	I 10 <sup>6</sup> mm <sup>4</sup>	f <sub>y</sub> liv	N/mm <sup>2</sup> fläns	P kN	P <sub>pv</sub> kN	P <sub>ym</sub> kN	P <sub>pm</sub> kN	Brottlast P <sub>pv</sub>	Brottlast P <sub>pm</sub>
1	{ E F a)	250	180	6,8	16	84,84	745	780	1052	1275	1323	1465	1,10	
		250	180	6,8	16	99,03	745	780	1049	1275	1343	1566		1,09
2	{ G H a)	250	180	6,8	16	84,84	745	780	1052	1275	1323	1465	1,11	
		250	180	6,8	16	96,44	745	780	1036	1275	1324	1553		1,11
3	{ C a) D	250	220	6,8	16	116,98	745	780	1129	1275	1613	1858		1,06
		250	220	6,8	16	102,4	745	780	1133	1275	1598	1757	1,14	
	250	180	6,1	16	84,24	323	780	422	496	624 <sup>c)</sup>	1373	755	(1,52) <sup>b)</sup>	
	250	180	6,1	16	84,24	323	780	422	496	624 <sup>c)</sup>	1373	720	(1,45) <sup>b)</sup>	
													1,12	1,09

- a) Förstärkt liv  
 b) Ej medräknat i medelvärdet  
 c) Sträckgräns uppnås i livet

## Kommentarer till provningarna (hänvisning till BILAGA A och C)

### Serie 1 (E, F)

Bärförmågan för balk E utöver då livets teoretiska tvärkraftskapacitet är uttömd är ej så stor (10 %).

För den förstärkta balken F översteg bärförmågan den beräknade gränslasten  $P_{pm}$ . Gapet mellan livavstyvning och fläns trycktes ihop omedelbart efter maximal last. Vid den förstärkta balken syns tydligt hur flänsen har bucklat med böjning i tvärled och med bucklingsdeformationer i flera vågor.

### Serie 2 (G, H)

Denna serie innehöll balkar med svets i dragen fläns.

Den inte förstärkta balken G uppnår maximal bärförmåga efter det att flytning har inträffat i livet. Maximallasten överstiger  $P_{ym}$  med 6 % och når nästan upp till gränslasten  $P_{pm}$  trots att livet flyter av tvärkraften.

Den förstärkta balken H hade en bärförmåga som översteg gränslasten med ungefär 11 %. Den tryckta flänsen bucklade även här utan vridning av flänsen.

Som nämnts togs dragprov ur de svetsade delarna av flänsen. Ur BILAGA B kan iakttas att brotthållfastheten för de svetsade flänsarna var i ena provet i nivå med grundmaterialet, medan det andra var ungefär 5 % lägre. De kraftigt krökta diagrammen beror på att dragproven kröktes då de skars ut ur flänsarna på g a egenspanningar i svetsen. Brotttöjningen för dragprovet med svets är större än halva brottöjningen för dragprov utan svets. Det slutliga brottet inträffade i den värmepåverkade zonen i närheten av svetsen.

### Serie 3 (C, D)

Bärförmågan utöver då det flyter i livet är ganska stor (~ 15 %).

Vid den förstärkta balken kom man upp i en last som översteg den beräknade gränslasten  $P_{pm}$ .

Trots att slankheten hos den tryckta flänsen var större än gränsvärdet för tillåtning av gränslastteori, så har vridknäckning av den tryckta flänsen ej inträffat. Däremot har flänsen bucklat men åt samma håll på båda sidor om livet, vilket innebär att flänsen också har böjts i tvärled.

Maximal vinkeländring vid provet var 0,08, vilket är tillräckligt för momentomlagring vid en kontinuerlig balk.

Serie 4 (A, B)

Bärförmågan för dessa balkar är vid brott ungefär 70 % större än bärförmågan  $P_{yv}$  vid begynnande flytning i liv. Deformationskurvorna kröker av i nivå med  $P_{pv}$ , och det är långt kvar tills man uppnår det plastiska momentet  $P_{pm}$ .

Ur bilderna kan iakttas att stora skjuvdeformationer och kraftiga bucklor har inträffat i livet. För balk A har gapet mellan livavstyvning och fläns tryckts ihop.



## SAMMANFATTNING

Tvårkraftskapaciteten för liv av OX 812 är större än enligt von Mises flytkriterium och överensstämmer ungefär med värdet enligt BSK. För liv av SS 1412 är bärförmågan avsevärt större än enligt såväl von Mises flytkriterium som BSK:s värde.

Även om balklivet är fullt utnyttjat för att uppta tvärkraft, kan balken uppta ett moment som nära svarar mot flytning i flänsarna.

Livavstyvning över upplag där flytled skall utbildas bör anslutas såväl mot den draga som mot den tryckta flänsen.

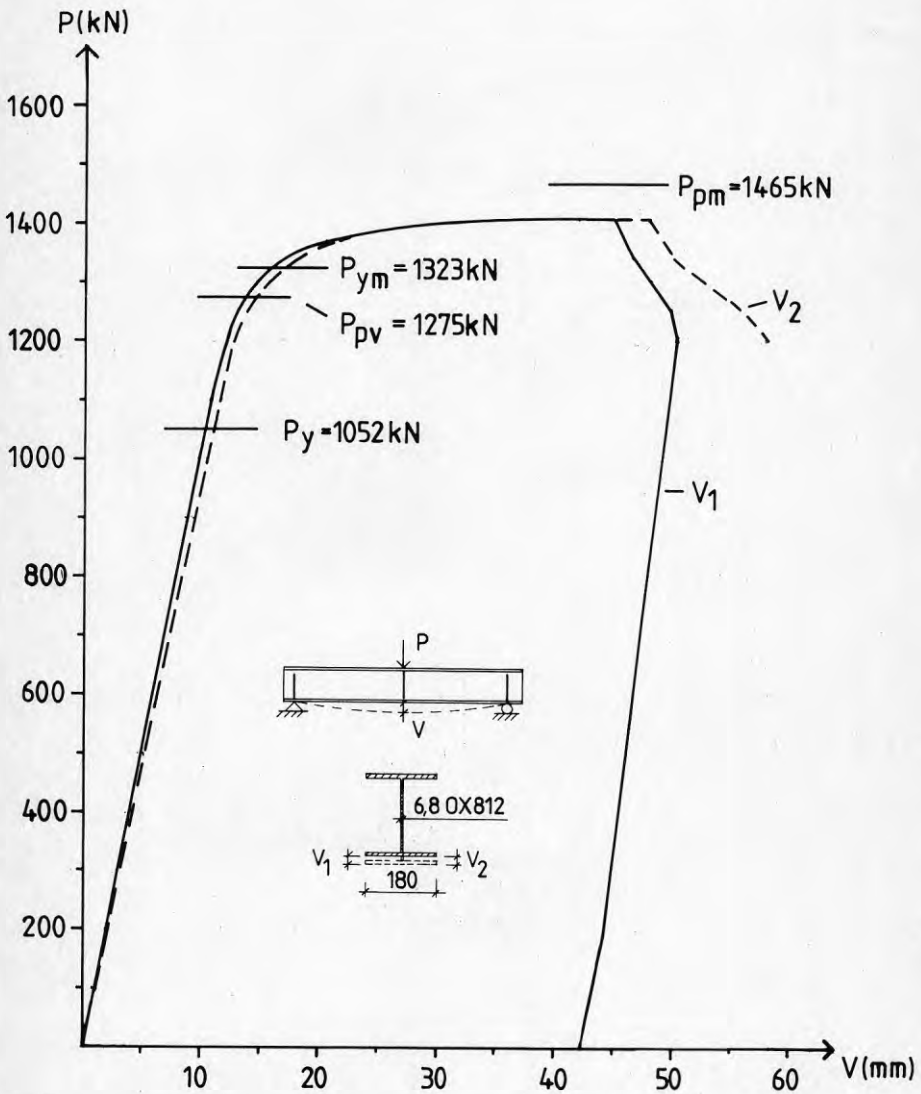
Slankhetsgränserna för tvärsnittsklass 1 enligt BSK är i varje fall inte för liberala. I inget fall inträffade flänsbuckling i form av vridknäckning, trots att slankheten vid några prov översteg gränsvärdet. Däremot styrdes bucklingen så att utböjning på var sida om livet gick åt samma håll.

Genom lämpligt val av elektroder och svetsföljd kan en stumsvets i seghärdat stål göras jämnstark med grundmaterialet. Svetsens deformierbarhet är dock normalt mindre än grundmaterialet. En dragen fläns bör därför inte skarvas inom område där flytled skall utbildas.

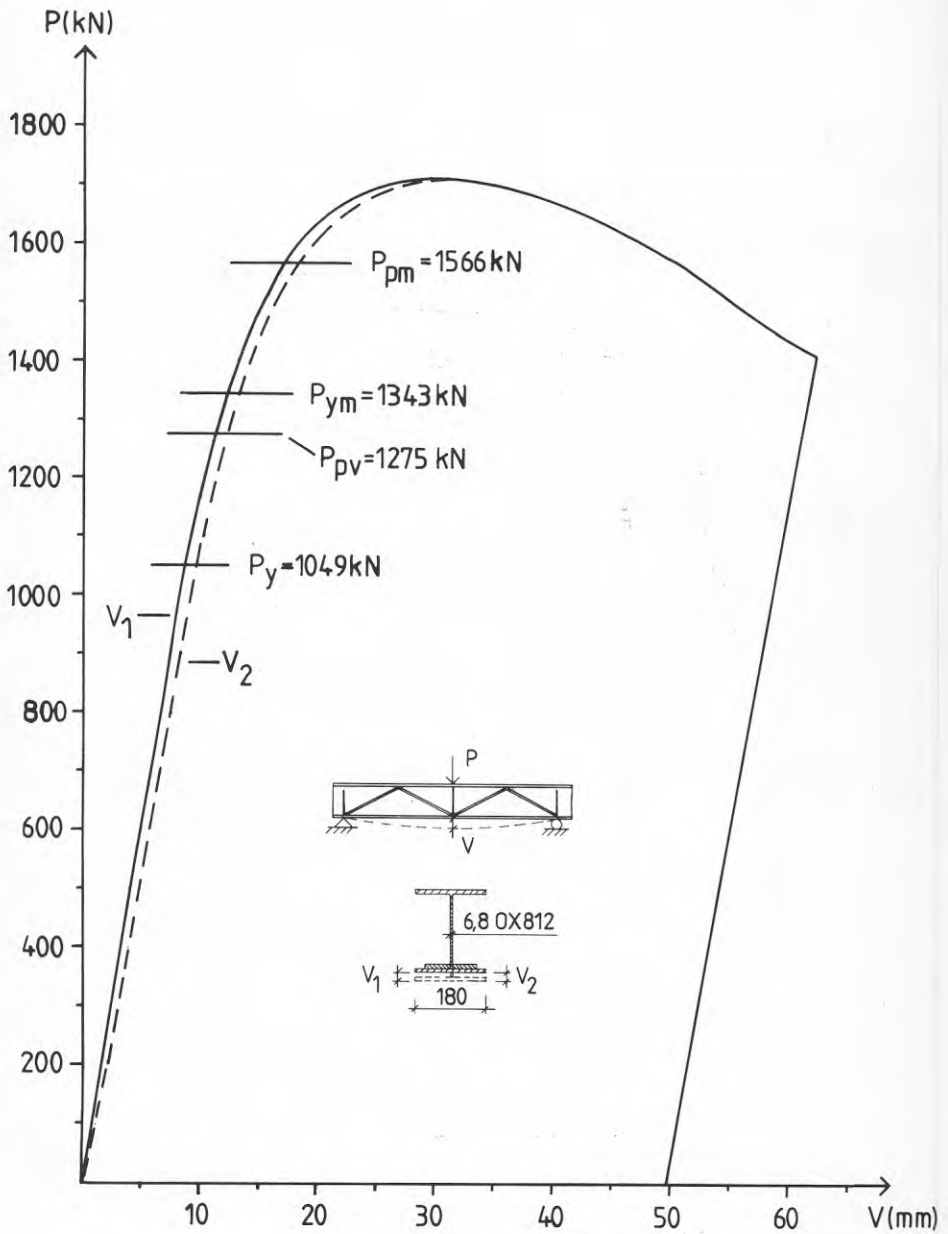
## BETECKNINGAR

h	balkhöjd
b	flänsbredd
$b_f$	avstånd från flänskant till svetskant
$b_w$	avstånd mellan svetskanter i liv
$t_w$	livetjocklek
$t_f$	flänstjocklek
I	tröghetsmoment
S	statiskt moment
ℓ	längd mellan upplag
$f_{0,2}$	spänning vid 0,2 % kvarstående töjning
$f_y$	sträckgräns
$f_{yw}$	sträckgräns liv
$f_{yf}$	" fläns
$f_{yfö}$	" förstärkning
$f_u$	brottgräns
$A_{50}$	brottförlängning i % mätt på 50 mm
v	nedböjning
$P_y$	last då sträckgräns uppnås i liv
$P_{pv}$	last då livet är plasticerat av enbart tvärkraft
$P_{ym}$	last då sträckgräns uppnås av enbart moment
$P_{pm}$	last då tvärsnittet är plasticerat av enbart moment
$\beta_{fp\ell}$	$= 0,3 \sqrt{E/f_y}$
$\beta_{wp\ell}$	$= 2,4 \sqrt{E/f_y}$

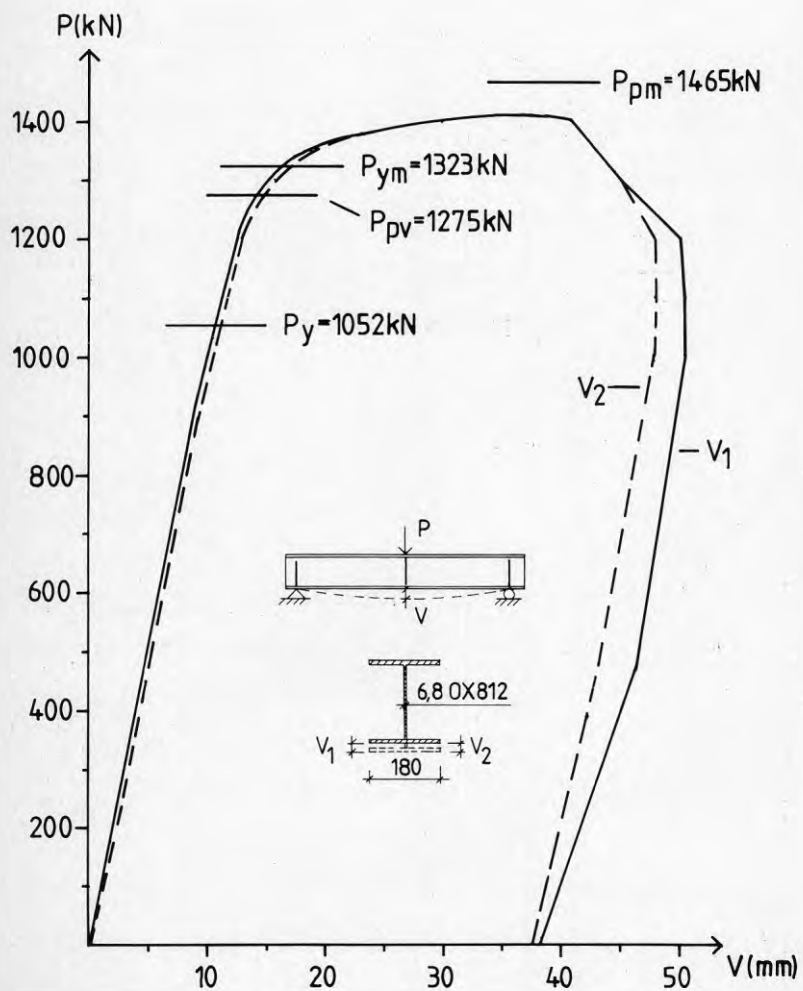




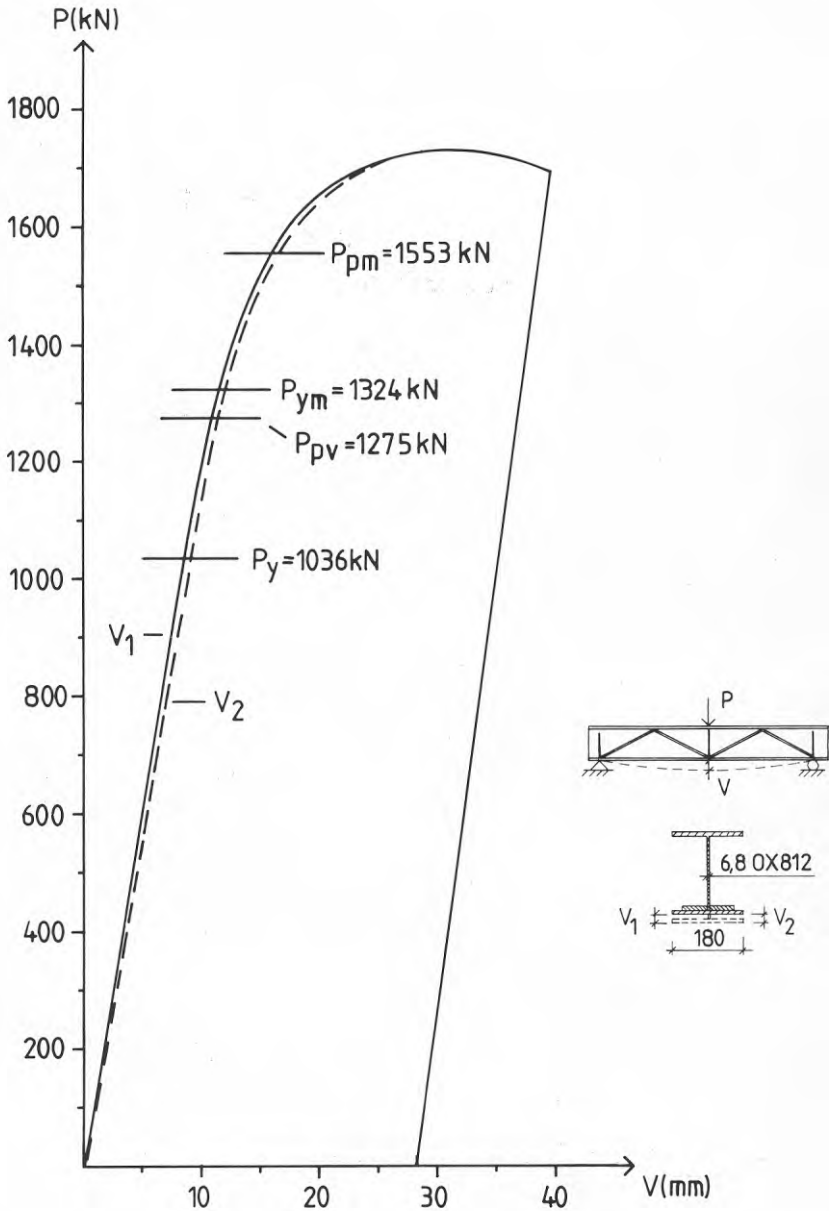
SERIE 1 - BALK E



SERIE 1 - BALK F

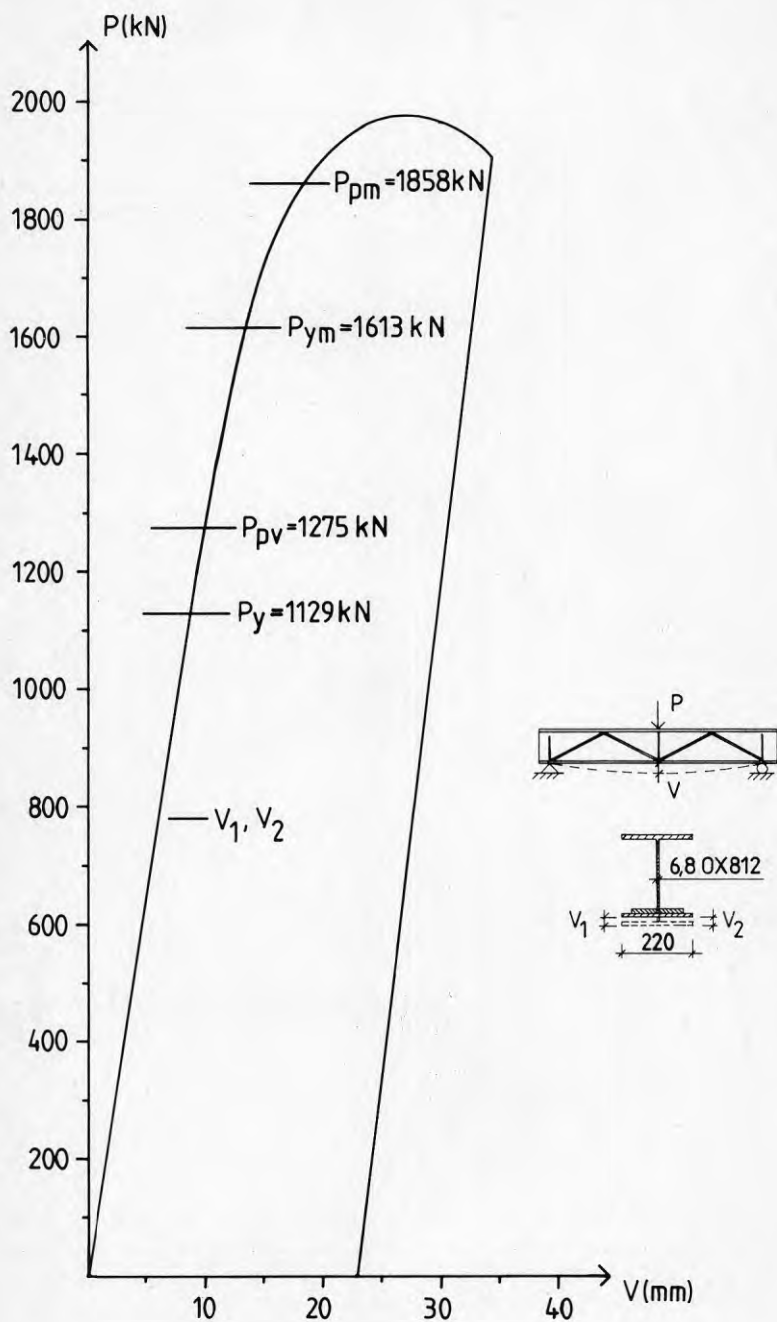


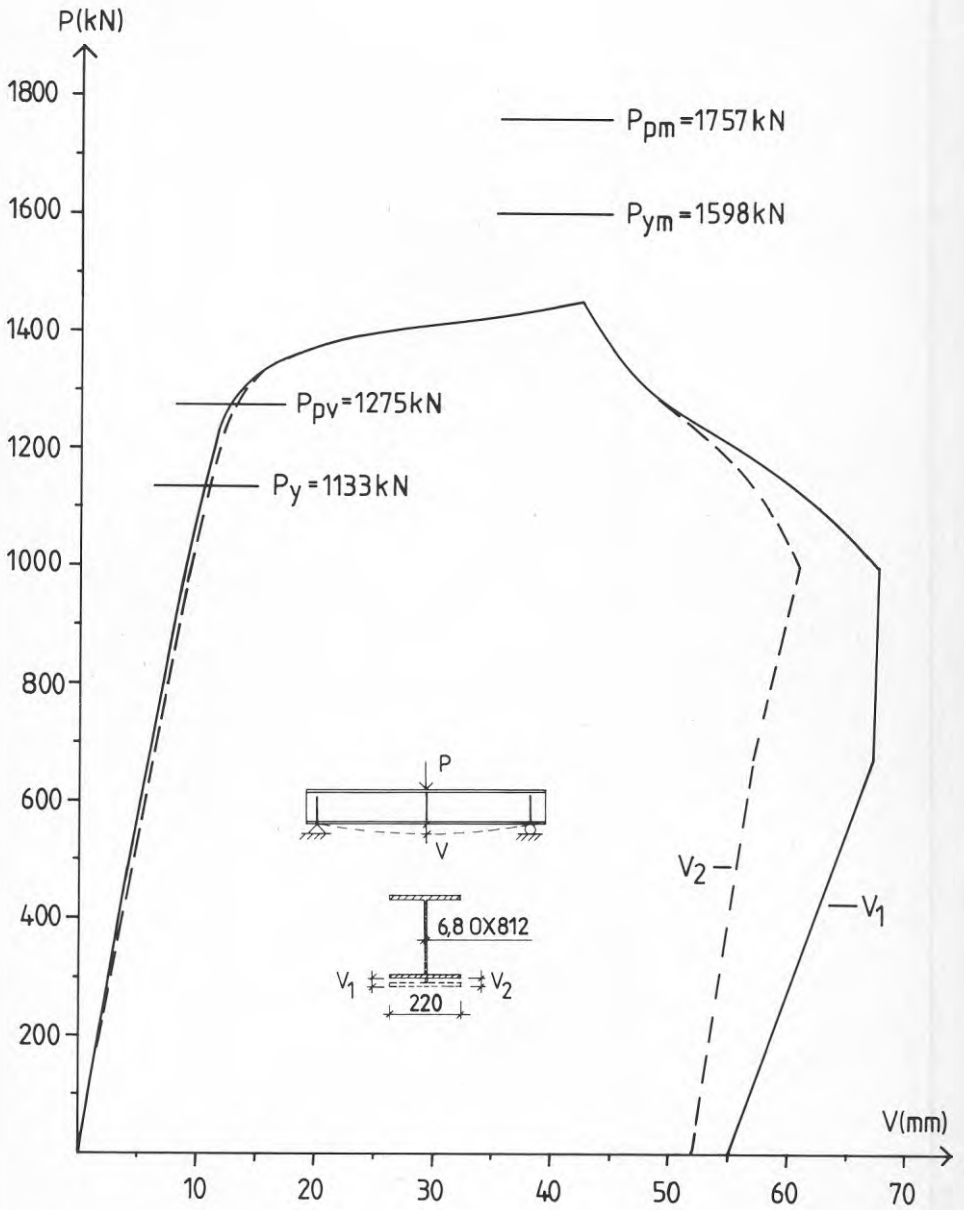
SERIE 2 - BALK G (svets i dragen fläns)



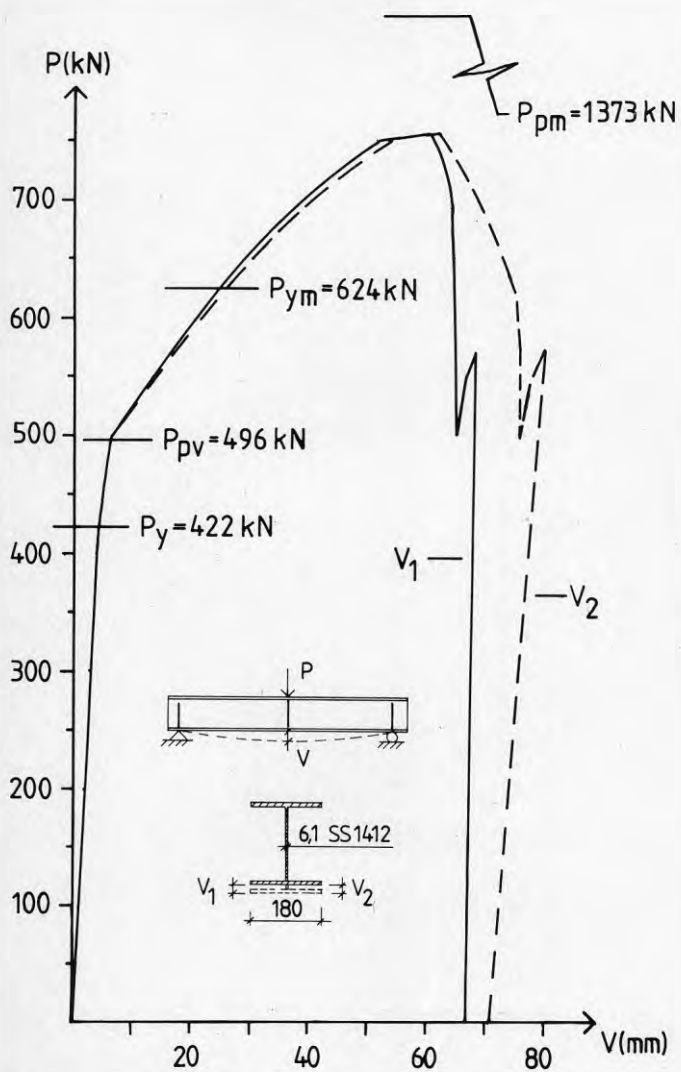
SERIE 2 - BALK H (svets i dragen fläns)



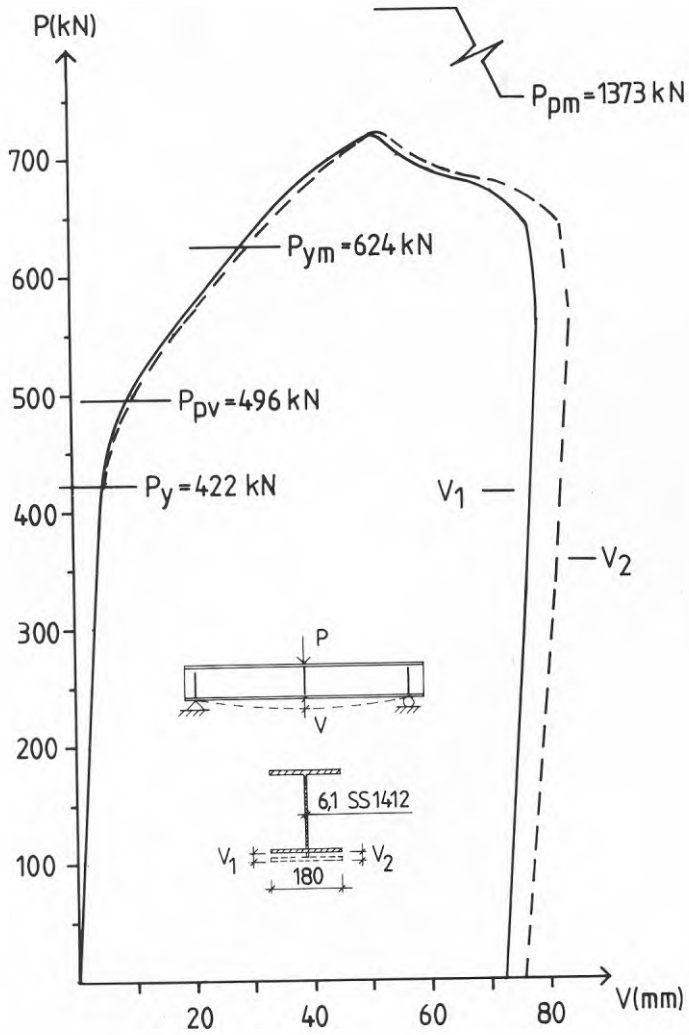
SERIE 3 - BALK C



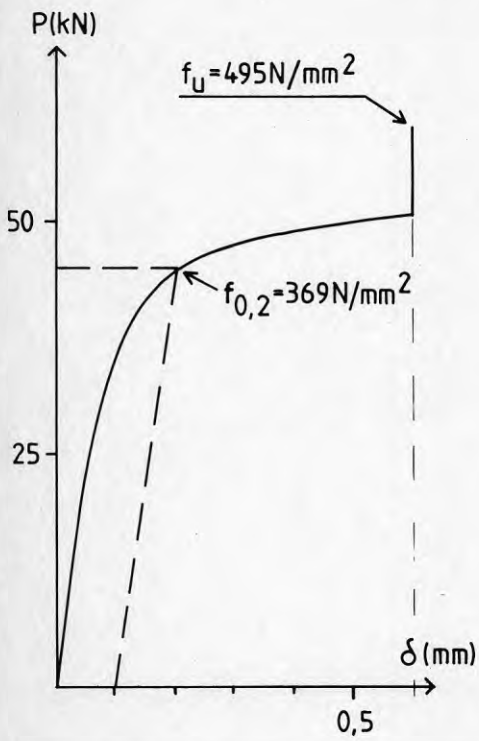
SERIE 3 - BALK D



SERIE 4 - BALK A



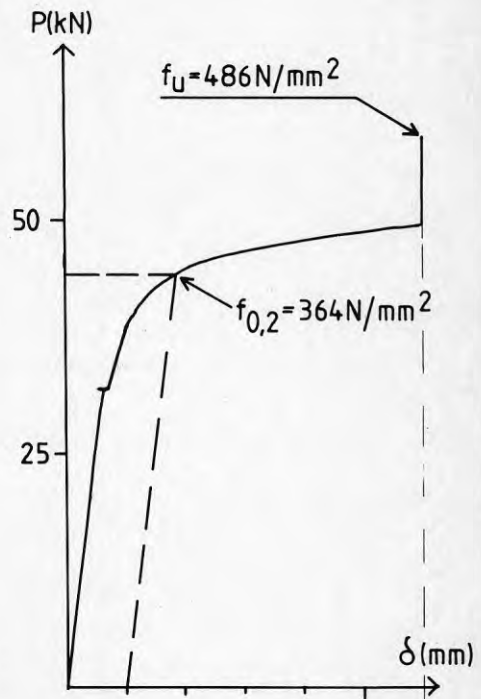
SERIE 4 - BALK B



A-liv SS1412

$b = 20,00 \text{ mm}$

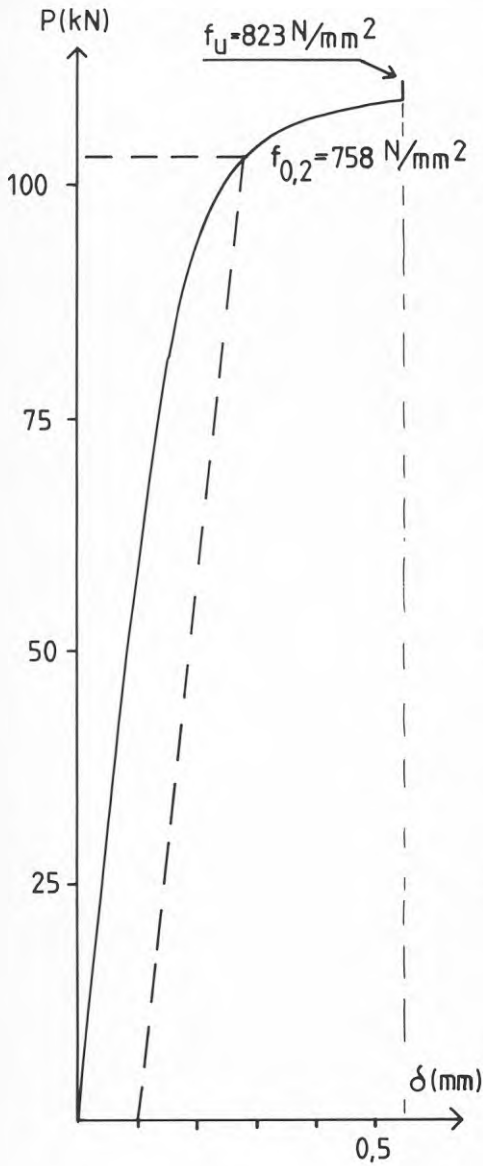
$t = 6,09 \text{ mm}$



B-liv SS1412

$b = 19,99 \text{ mm}$

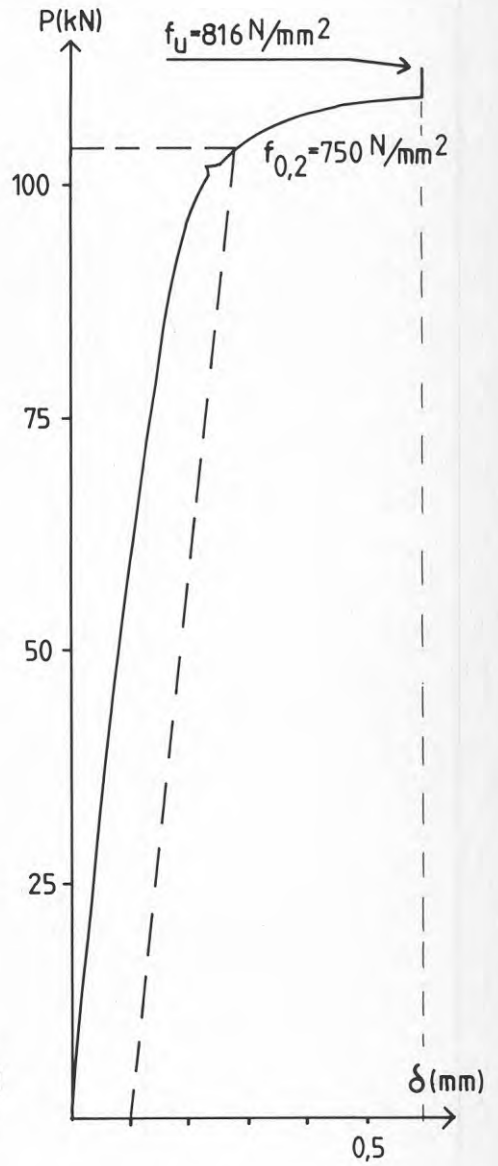
$t = 6,11 \text{ mm}$



D-liv OX812

$b = 20,03\text{mm}$

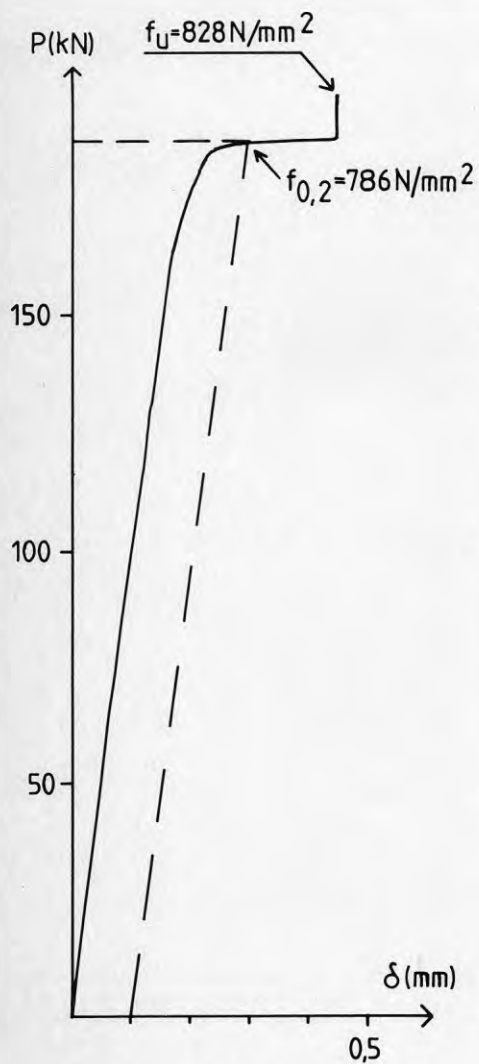
$t = 6,75\text{mm}$



E-liv OX812

$b = 20,0\text{mm}$

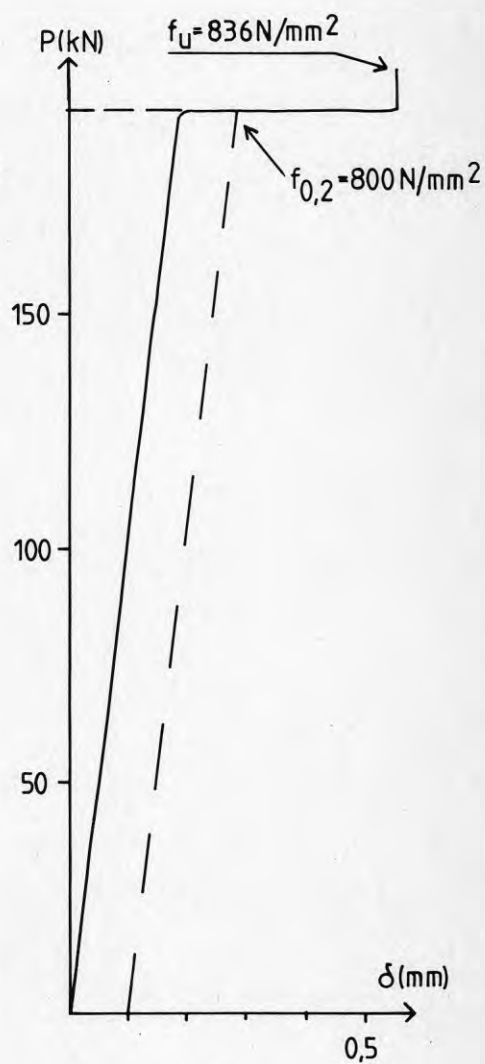
$t = 6,93\text{mm}$



D-fläns OX812

$b = 14,98 \text{ mm}$

$t = 15,92 \text{ mm}$

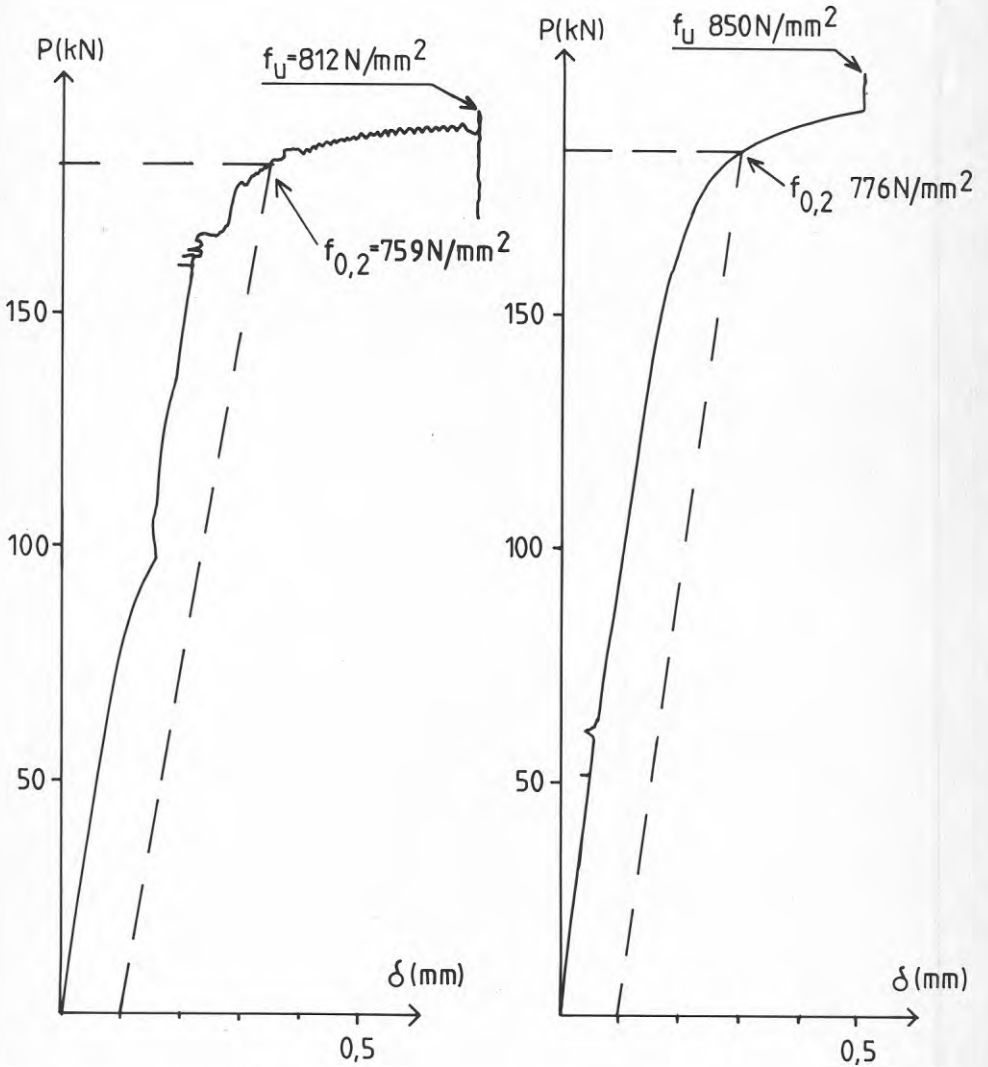


E-fläns OX812

$b = 14,98 \text{ mm}$

$t = 16,17 \text{ mm}$





G<sub>1</sub>svets OX812

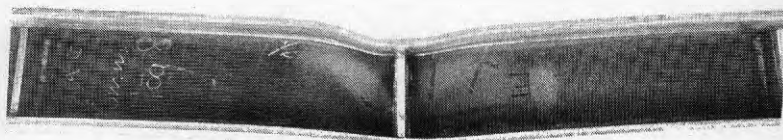
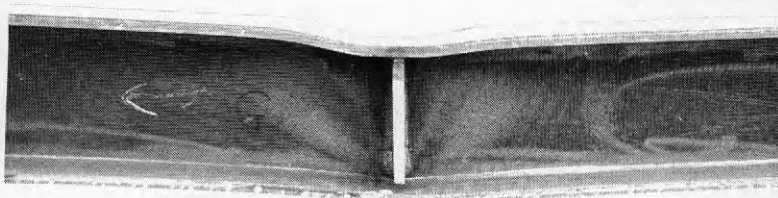
b = 15,04 mm

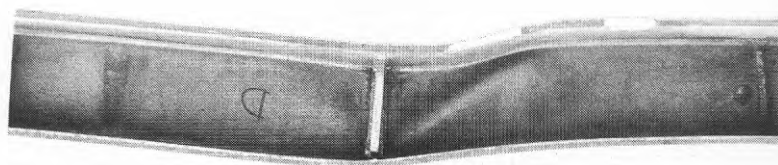
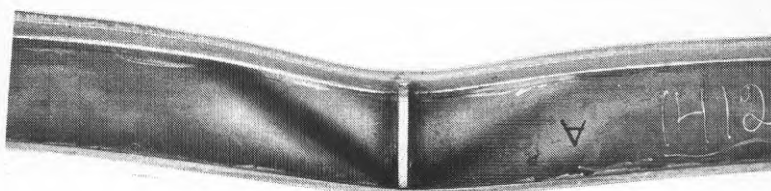
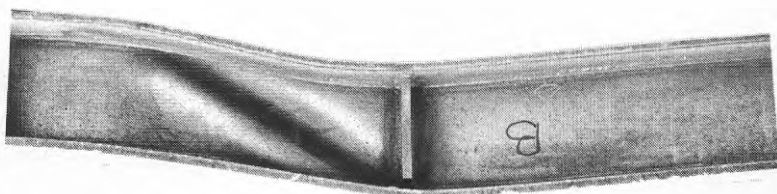
t = 15,87 mm

G<sub>2</sub>svets OX812

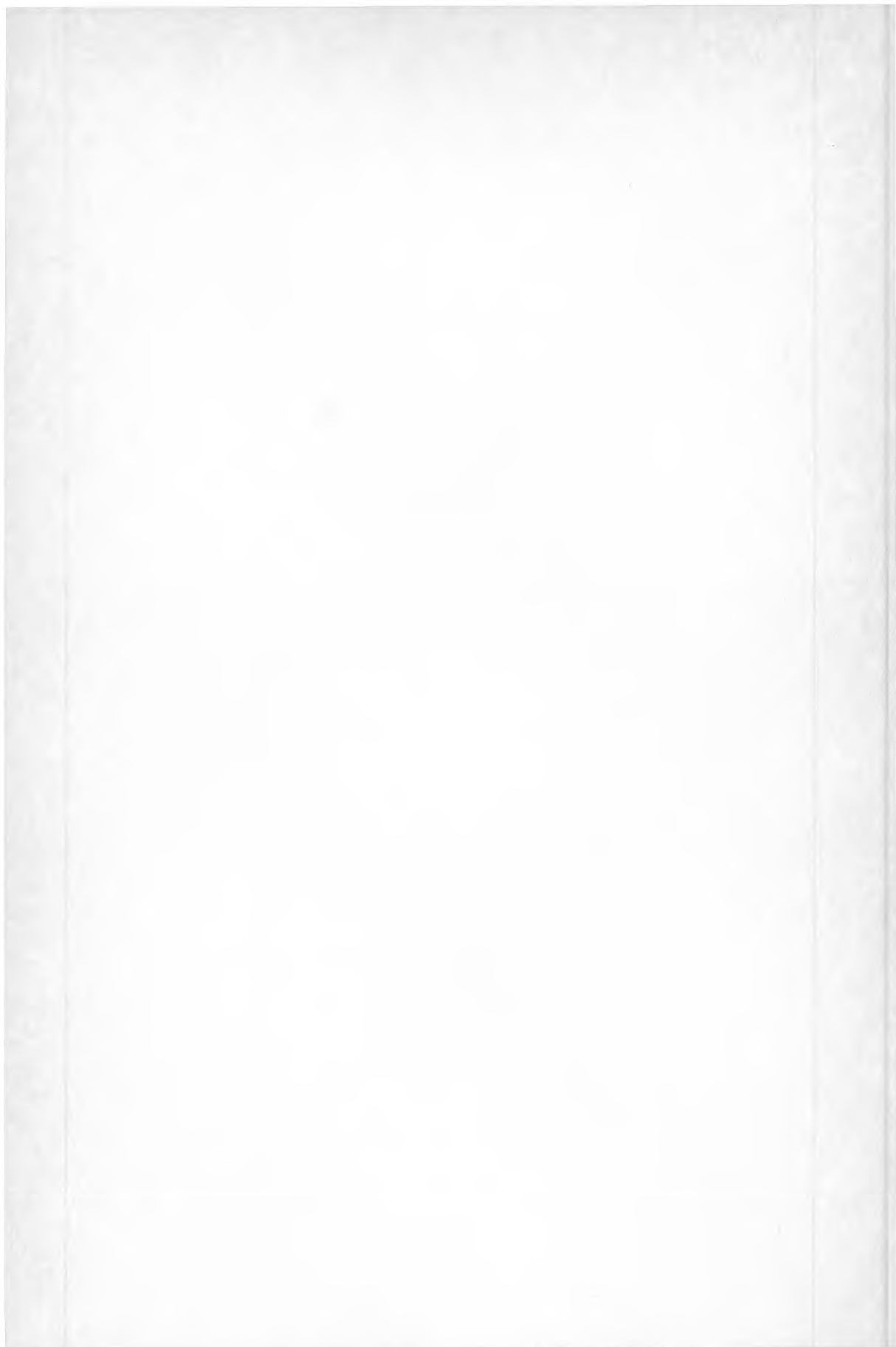
b = 15,03 mm

t = 15,86 mm

SERIE 1Balk EBalk FSERIE 2Balk GBalk H

SERIE 3Balk CBalk DSERIE 4Balk ABalk B





Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 821419-8  
från Statens råd för byggnadsforskning till Avdelningen  
för Stålbyggnad, Kungl. Tekniska Högskolan, Stockholm.

R97: 1986

ISBN 91-540-4625-4

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6706097

Abonnemangsgrupp:  
Z. Konstruktioner och material

Distribution:  
Svensk Byggtjänst, Box 7853  
103 99 Stockholm

Cirkapris: 25 kr exkl moms