



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

R87:1988

# Valsade V-stänger av stål

## Provning av tryckta mastsektioner

Torsten Höglund  
Gert Westergren

INSTITUTET FÖR  
BYGGDOKUMENTATION

Accnr

Plac Ser

P/54

Byggeforskningsrådet

R87:1988

VALSADE V-STÄNGER AV STÅL

Provning av tryckta mastsektioner

Torsten Höglund  
Gert Westergren

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 780543-2  
från Statens råd för byggnadsforskning till Avdelningen  
för stålbyggnad, Kungl tekniska högskolan, Stockholm.

## REFERAT

Denna rapport utgör en avslutande del av ett projekt med syfte att ta fram regler för dimensionering av mastkonstruktioner av sk V-stänger. Arbetet har initierats och till stor del finansierats av Svenskt Stål AB i Luleå.

I rapporten redovisas dels en serie försök på mastsektioner uppbyggda av tre V-stänger och diagonaler av skruvade L-stänger och dels en serie på enkla stänger. Provingarna jämförs med beräkning med hänsyn till böjknäckning och böjridknäckning enligt Bestämmelser för stålkonstruktioner, BSK.

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

Denna skrift är tryckt på miljövänligt, oblekt papper.

R87:1988

ISBN 91-540-4941-5  
Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

## INNEHÅLL

Inledning.....	5
Stänger i mastsektioner.....	5
Enkla stänger.....	17
Sammanfattning.....	20
Referenser.....	21
Bilaga. Beräkning av bärförmåga vid böjvridknäckning.....	23



## Inledning

Denna rapport redovisar avslutande delstudien i ett större projekt med syfte att ta fram regler för dimensionering av mastkonstruktioner med sk V-stänger som ramstänger. Arbetet har utförts på uppdrag av Svenskt Stål Division Profiler i Luleå, som har utvecklat V-stången - en varmvalsad vinkelstång med 60 graders vinkel mellan flänsarna.

Fyra delrapporter har presenterats tidigare där den första (1) redovisar provningsresultat från svetsade V-profiler. En teoretisk stabilitetsanalys av V-profilen som hömpelare i mast redovisas i (2). I en preliminär rapport (3) presenteras en del provningsresultat från föreliggande rapport. En sammanfattning av (1) - (3) presenteras i (4) som också redovisar resultat från egenspanningsmätningar i valsade V-profiler.

I föreliggande rapport presenteras resultat från försök med stänger i mastsektioner och några kompletterande försök med enkla stänger. Provningsresultaten jämförs med beräknad bärförmåga enligt Bestämmer för Stålkonstruktioner (BSK), se Bygg K18. Syftet med rapporten är att finna lämpliga knäckningskurvor med hänsyn till provningsresultaten.

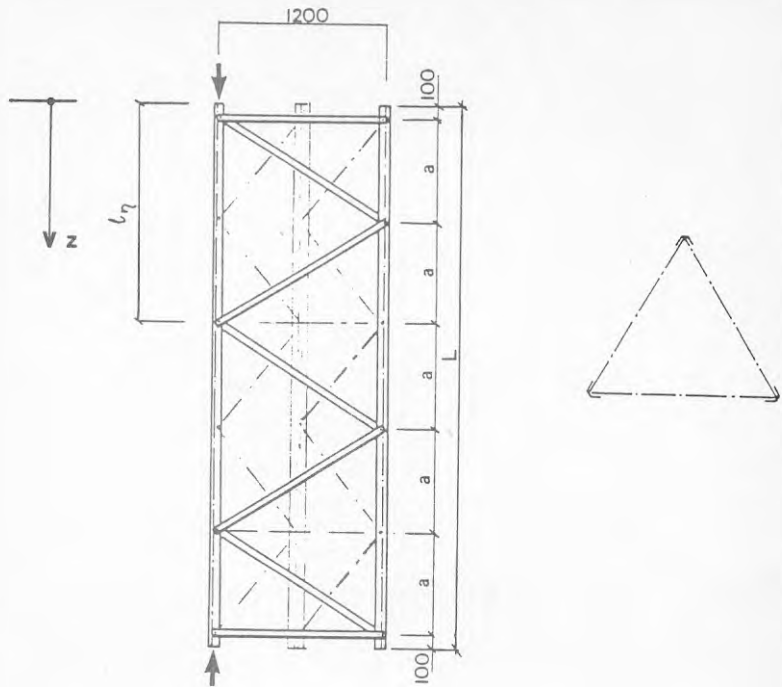
## Stänger i mastsektioner

Varje delstång i 12 mastsektioner enligt FIGUR 1 provades  $d$  v s totalt 36 stycken stänger. Proven avsåg 4.0 och 3.2 m långa mastsektioner med  $a = 750$  respektive  $a = 600$  mm, se FIGUR 1. Tre olika tvärsnitt ingick i serien med skänkeljocklekarna 5, 8 och 10 mm. Hörnprofilerna provades en och en med linjelager i stångändarna placerade så att lagrens axel var parallell med en av V-stångens skänklar.

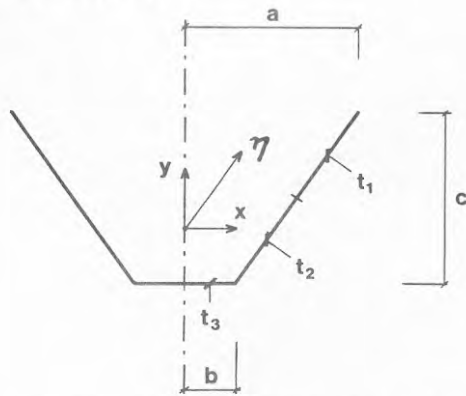
Beroende på att V-profilerna sticker ut 100 mm utanför systemlinjernas skärningspunkter vid ändarna (se FIGUR 1) blir knäcklängden  $l_c = 2a + 100 = 1600$  resp.  $1300$  mm. Böjknäckning sker då kring  $\eta$ -axeln  $S_{cm}$  som är parallell med en av skänklarna, se FIGUR 2.

Vid hälften av försöken belastades stängerna excentriskt så att största excentriciteten var 2,5 respektive 2,0 mm. Jämför med initialkrokigheten  $0.0015l_c = 2,4$  respektive 1,95 mm enligt BSK. Den andra hälften av stängerna belastades så centriskt som möjligt.

Förutom att bärförmågan uppmättes experimentellt beräknades den även utifrån ett idealiserat tvärsnitt enligt FIGUR 2. Använda medelvärden på tvärsnittsmåtten visas i TABELL 1.



FIGUR 1 Mastsektion



FIGUR 2 Idealiserat tvärsnitt vid beräkning av bärförmåga



Prov	a mm	b mm	c mm	t <sub>1</sub> mm	t <sub>2</sub> mm	t <sub>3</sub> mm	f <sub>y</sub> N/mm <sup>2</sup>
4000 - 5	56.1	19.5	63.4	5.04	5.06	10.9	495
- 8	58.6	19.8	67.0	8.40	8.23	17.3	475
- 10	58.6	20.5	67.0	10.2	10.2	21.1	430
3200 - 5	56.1	19.5	63.4	5.03	5.06	11.0	495
- 8	58.6	19.8	67.2	8.44	8.23	17.3	475
- 10	59.2	19.9	67.8	10.2	10.2	21.1	430

TABELL 1 Tvärsnittsmått vid beräkning av bärförmåga

Beräknade och uppmätta bärförmågor för respektive skänkelstjocklek är sammanställda i TABELL 2-3 för de två olika mastlängderna. Efter tabellerna följer kommentarer till varje kolumn i dessa.



TAB 3 Sammanställning av uppmätta och beräknade bärförmågor ( $kN$ ) på stänger i mastsektioner  $L = 4000$  mm och  $a = 750$  mm.

Prov (1)	e mm (2)	$f_y$ N/mm <sup>2</sup> (3)	$N_{exp}$ (4)	$\lambda_{cr}$ (5)	$N_\psi$ (6)	$N_{\eta\phi}$ (7)	$N_{\eta\phi}$ (8)	$N_\eta$ (9)			$N_x$ (10)			$N_{Ex}$ $\overline{Af_y}$ (15)	$N_{exp}$ $N_{\eta b}$ (16)	$N_{exp}$ $N_{\eta c}$ (17)	$N_{exp}$ $(N_{\eta\phi})$ (18)
								a	b	c	a	b	c				
5	A	2.5	396											0.688	0.997	1.094	1.039
	B	2.5	350											0.608	0.882	0.967	0.919
	C	2.5	379											0.658	0.955	1.047	0.995
	D	0	430											0.747			
	E	0	390											0.677			
	F	0.1	365											0.634			
8	A	0	700											0.746			
	B	0	640											0.682			
	C	0	650											0.693			
	D	2.5	610											0.650	0.893	0.976	0.893
	E	2.5	650											0.693	0.952	1.040	0.952
	F	2.5	660											0.704	0.966	1.056	0.966
10	A	0	725											0.692			
	B	0	725											0.692			
	C	0	775											0.740			
	D	2.5	675											0.645	0.857	0.932	0.857
	E	2.5	695											0.664	0.882	0.960	0.882
	F	2.5	670											0.640	0.850	0.925	0.850

(18) ( $N_{\eta\phi}$ ) är den minsta av  $N_{\eta\phi}$  enligt kolumn (8) och  $N_{\eta b}$  enligt kolumn (10)

Medelvärde  
Standardavvikelse

0.915 1.000 0.928  
0.053 0.061 0.065

- (1) Provkroppsbezeichnung.
- (2) Excentricitet av last vid stångändarna.
- (3) Uppmätt stäckgränsspänning.
- (4) Uppmätt brottlast i kN.
- (5)-(14) Beräknade brottlaster i kN.
- (5) Brottlast vid fullständig plasticering av tvärsnittet.
- (6) Slankhetsparameter vid böjknäckning kring  $\eta$ -axeln,

$$\lambda_{c\eta} = \sqrt{\frac{A f_y}{N_{E\eta}}}$$

- (7)  $N_{\varphi}$  avser vridknäckning med reduceringsfaktorn

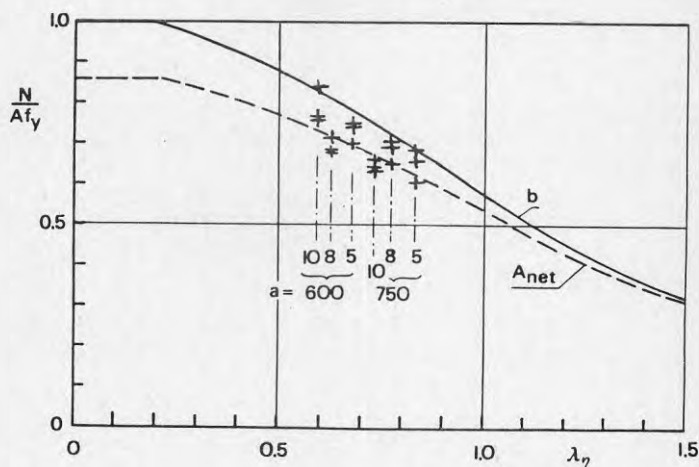
$$\omega_b = \frac{1.02}{\sqrt{1 + \lambda_b^4}}$$

- (8)  $N_{\varphi}$  avser böjvridknäckning (se bilaga 1) bestående i böjning kring  $\eta$ -axel med knäckningslängden  $l_c = 2a + 100$  och vridning med halva våglängden  $a$ . Värdet på  $a$  är 600 eller 750 mm
- (9)  $N_{\varphi}$  avser böjknäckning vid böjning kring  $\eta$ -axeln, knäckningslängden  $l_c = 2a + 100$  och  $\omega_c$  enligt BSK kurva a.
- (10), (11) Samma som (9) men  $\omega_c$  enligt kurva b respektive c.
- (12)  $N_{\varphi}$  avser böjknäckning vid böjning kring x-axeln, knäckningslängden  $0,8(2a)$  och  $\omega_c$  enligt kurva a.
- (13), (14) Samma som (12) men  $\omega_c$  enligt kurva b respektive c.
- (15) Kvoten mellan uppmätt brottlast och beräknad brottlast vid fullständig plasticering.
- (16) Kvoten mellan uppmätt brottlast och beräknad brottlast enligt kolumn (10) d v s enligt kurva b.
- (17) Kvoten mellan uppmätt brottlast och beräknad brottlast enligt kolumn (11) d v s enligt kurva c.
- (18) Kvoten mellan uppmätt brottlast och beräknad brottlast enligt det minsta av värdet enligt kolumn (8) (böjknäckning, kurva b) och värdet enligt kolumn (10) (böjvridknäckning, kurva 1 vid vippling enligt BSK)

Provningsresultaten för de excentriskt belastade stängerna jämförs i diagram i FIGUR 3 med knäckningskurva b enligt BSK. Slankhetsparametern  $\lambda$  avser böjknäckning kring  $\eta$ -axeln. I diagrammet jämförs mätvärden från samtliga av dessa stänger. egentligen bör dock värdena från stängerna med skänkeltjockleken 5 mm inte ingå i just detta diagram eftersom böjvidknäckning sannolikt var avgörande. Detta antyds av beräknade värden enligt TABELL 2 o 3 och av uppmätta utböjningar som presenteras på sidorna 9-13.

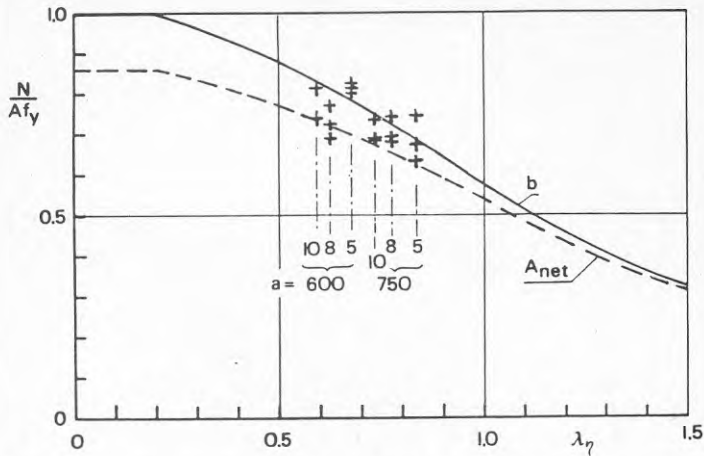
De kvarvarande värdena ligger som synes under kurva b för såväl tjockväggiga som tunnväggiga tvärsnitt. Förklaringen kan därför inte vara lokal buckling eller böjvidknäckning, utan är sannolikt den lokala försvagningen av hålen för skruvarna. Två hål, ett i vardera skänkeln, var stansade vid infästningen av varje diagonalstång. Endast ett av hålen användes för infästning av diagonaler.

Om kurva b beräknas för nettotvärsnittet vid skruvhålet erhålls den streckade kurvan i FIGUR 3. Kurvan överensstämmer bättre med provningsresultaten. I de fall böjknäckning är avgörande förefaller en kurva baserad på ett tvärsnitt nånstans mellan brutto- och nettotvärsnitt överensstämma bäst med provningsresultaten.



FIGUR 3 Provningsresultat från excentriskt belastade stänger i mastsektion jämförda med kurva b enligt BSK. Den heldragna kurvan b är baserad på bruttotvärsnittet och streckad kurva på nettotvärsnitt vid skruvhålen.

Brottlasterna för de centriskt belastade stängerna jämförs i diagram i FIGUR 4 med kurva b. Jämförelsen är egentligen inte riktigt relevant eftersom kurva b förutsätter vissa excentriciteter. Även här gäller att stängerna med skänkeltjockleken 5 mm egentligen inte bör jämföras med denna kurva eftersom böjvidknäckning sannolikt var avgörande. Den streckade kurvan baserad på nettotvärsnittet ligger som synes med ett undantag över försöksvärdena.



FIGUR 4 Provningsresultat från centriskt belastade stänger i mastsektion jämförda med kurva b enligt BSK, brutto- och nettotvärnsnitt.

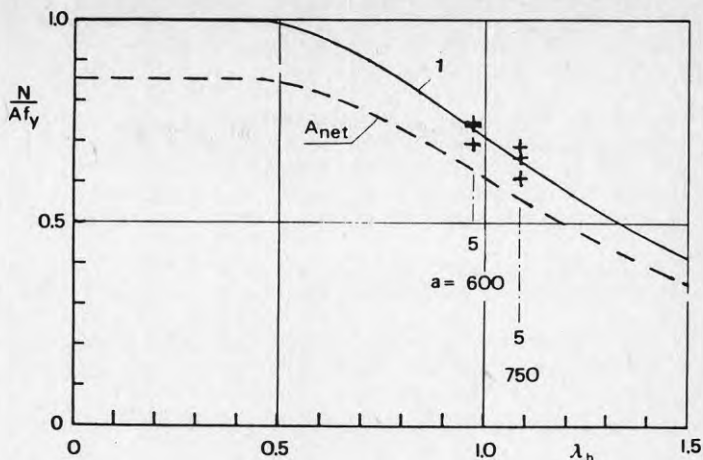
Två knäckningskurvor kan användas vid bearbetning av bärförmågan med hänsyn till böjvridknäckning. Den ena avser böjvridknäckning enligt Bygg K18:37 med reduceringsfaktorn

$$\omega_c = \frac{1.16}{1 + \lambda_c^2}$$

Den andra kurvan baseras på vippning av vanmvälsad profil enligt Bygg K18:43 kurva 1 med reduceringsfaktorn

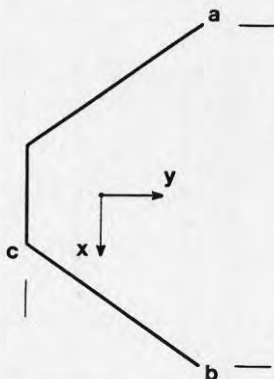
$$\omega_b = \frac{1.02}{\sqrt{1 + \lambda_b^4}}$$

Vid jämförelse med provningsresultaten för excentriskt belastade stänger med skänkeltjockleken 5 mm förefaller den första kurvan vara alltför konservativ. Den senare, baserad på bruttotvärnsnitt, överensstämmer väl med uppmätta värden, se FIGUR 5. Motsvarande kurva 1 för nettotvärnsnittet vid skruvhålen ligger klart under provningsresultaten. Förklaringen är sannolikt att skruvhålens effekt på bärförmågan är mindre vid böjvridknäckning än vid böjknäckning.



FIGUR 5 Provningsresultat från de excentriskt belastade stängerna 3200-5 och 4000-5 jämförda med vippningskurva 1 enligt BSK och bruttotvårsnitt respektive nettotvårsnitt vid skruvhål.

Vid provning av mastsektionerna enligt FIGUR 1 registrerades förutom last även transversella förskjutningar i ett antal snitt längs stängerna. I varje snitt uppmättes förskjutningar i tre punkter: a, b (y-led) och c (x-led). Se FIGUR 6.



FIGUR 6 Registrering av förskjutningar skedde i tre punkter per snitt.

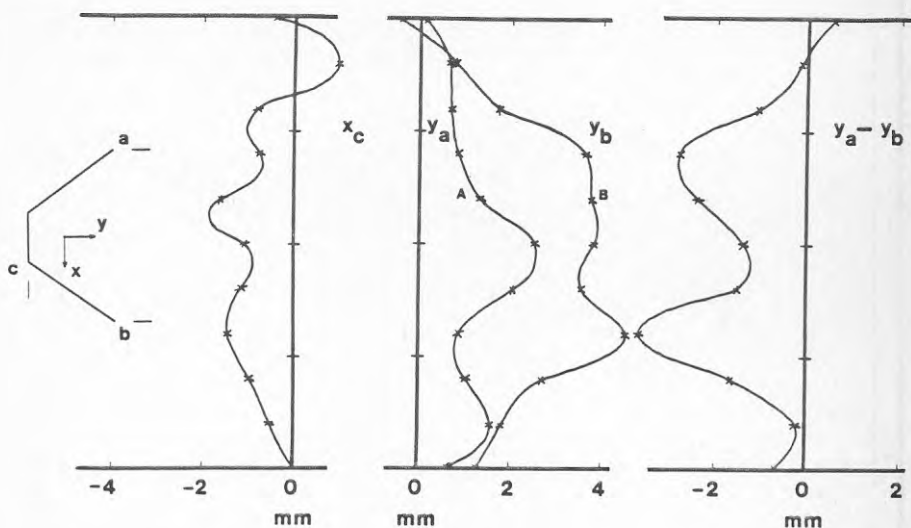
För att avgöra vilken typ av brott som varit avgörande för bärförmågan studeras nedan uppmätta deformationer i detalj för de tre stängerna 3200-5A, 3200-8A och 3200-10A. Eftersom tjockleken hos skänkeln är av överordnad betydelse för vilken typ av brott som inträffar gäller resonemanget som följer nedan även de långa stängerna. I FIGUR 7-12 presenteras provningsresultaten på tre olika sätt.

- Utböjningsformer i olika riktningar strax före brott.
- Lastens inverkan på utböjningarna i ett valt tvärsnitt.
- Tvärsnittets läge före belastning och strax före brott.

Resultaten visar bl a att böjvidknäckning ej var avgörande för bärförmågan för stängerna 8A och 10A. Deformationen av stängerna bestod nästan uteslutande av translation, se FIGUR 9-12. Bärförmågan bestämdes istället av böjknäckning. Av tvärsnittets läge strax före brott hos 8A synes böjknäckning ha skett enbart kring y-axeln. Tvärsnittets förskjutning är dock inte helt representativt för hela profilen eftersom utböjningarna i x- respektive y-led (se FIGUR 9) är av samma storleksordning för profilen som helhet.

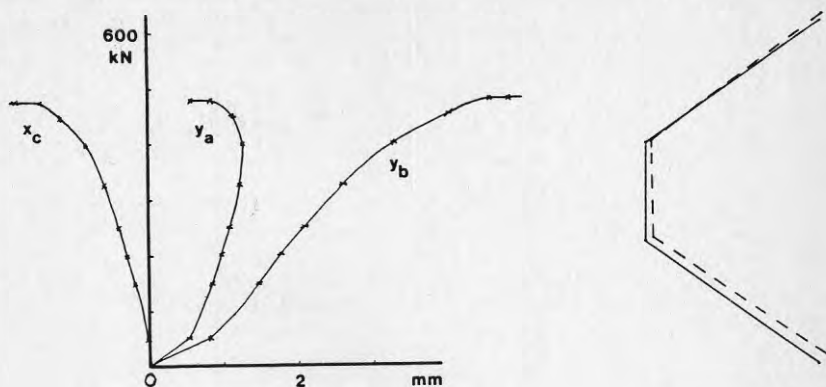
Provningsresultat från 10A (se FIGUR 11-12) visar på att böjknäckning skett kring en axel parallell med en av skänklarna.

Bärförmågan hos stängan 3200-5A bestämdes av böjvidknäckning vilket framgår av FIGUR 7-8. Tvärsnittets rotation är klart större än för stängerna med 8 respektive 10 mm godstjocklek.

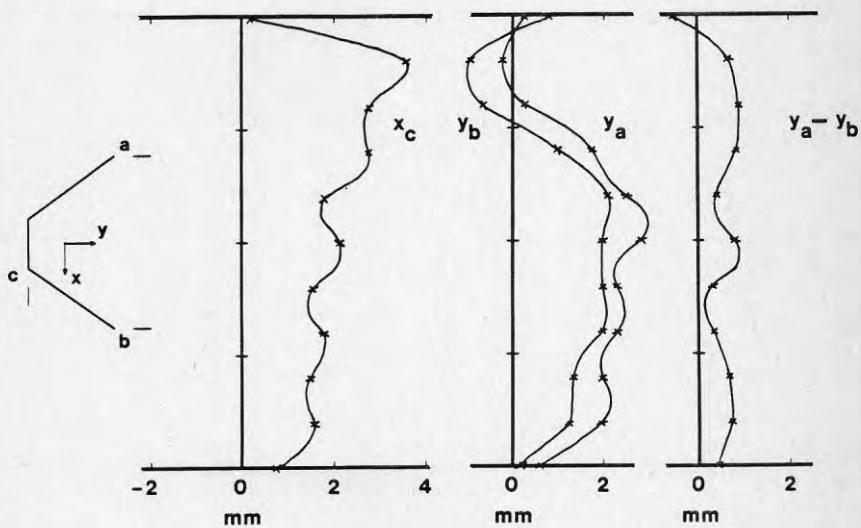


FIGUR 7 3200-5A Utböjningsformer för tvärsnittspunkterna a, b och c vid lasten 475 kN. Brottlast 477 kN.

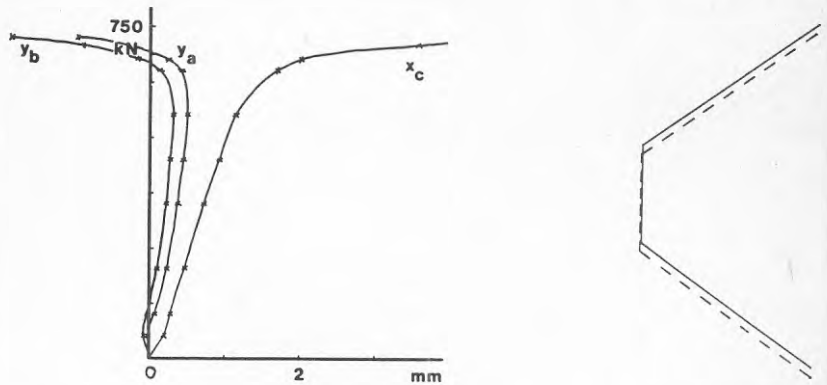




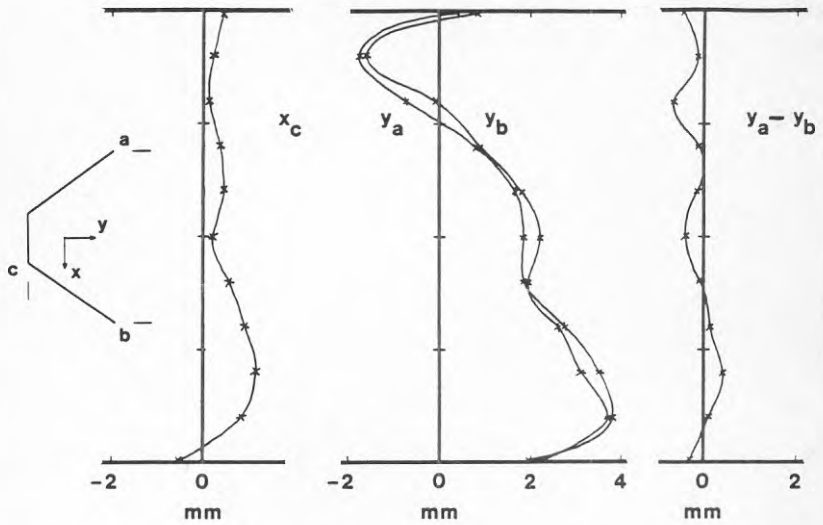
FIGUR 8 3200-5A Lastens inverkan på utböjningarna i snittet  $z = 2200$  mm samt tvärsnittets läge vid lasten 475 kN.



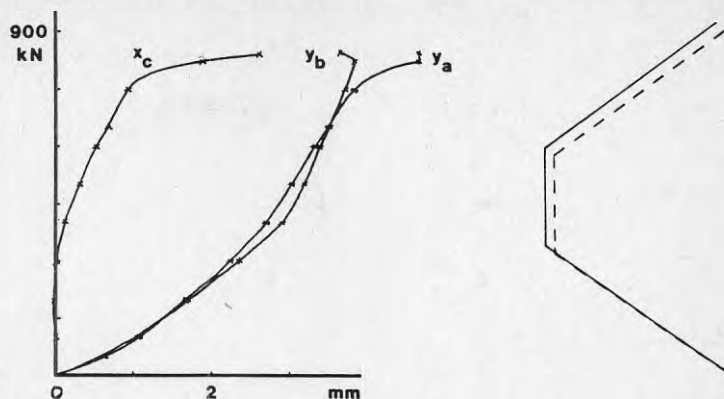
FIGUR 9 3200-8A Utböjningsformer för tvärsnittspunkterna a, b och c vid lasten 709 kN. Brottlast 725 kN.



FIGUR 10 3200-8A Lastens inverkan på utböjningarna i snittet  $z = 400$  mm samt tvärsnittets läge vid lasten 709 kN.



FIGUR 11 3200-10A Utböjningsformer för tvärsnittspunkterna a, b och c vid lasten 750 kN. Brottlast 845 kN.



FIGUR 12 3200-10A Lastens inverkan på utböjningarna i snittet  $z = 2800$  mm samt tvärsnittets läge vid lasten 825 kN.

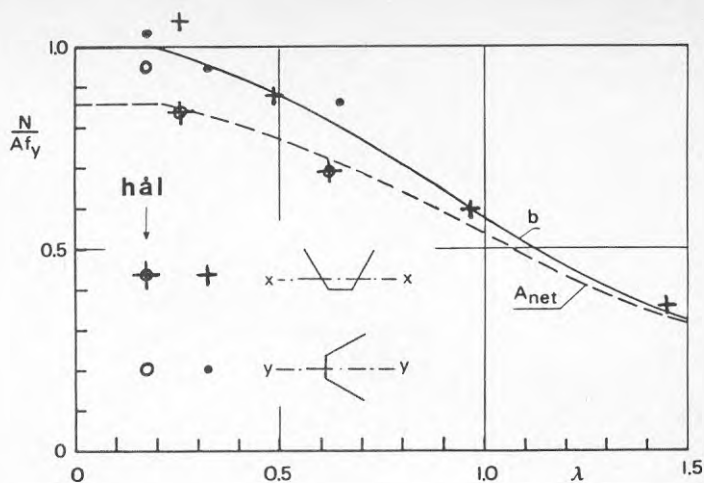
#### Enkla stänger

I samband med presentationen av tidigare provningsresultat diskuterades att bärförmågan påverkas av skruvhålen. Effekten av sådana hål undersöktes därför vid försök med enkla stänger belastade via linjelager parallella med  $y$ - respektive  $x$ -axeln. Ingående provkroppar är sammanställda i TABELL 4.

Prov	a mm	b mm	c mm	$t_1$ mm	$t_2$ mm	$t_3$ mm	$f_y$ N/mm <sup>2</sup>
350 - 6	56.2	19.5	63.4	6.09	6.00	13.4	495
660 - 6							
1330 - 6							
2000 - 6							
1330 - 5	58.0	20.0	66.0	5.03	5.06	10.9	495

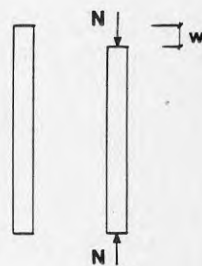
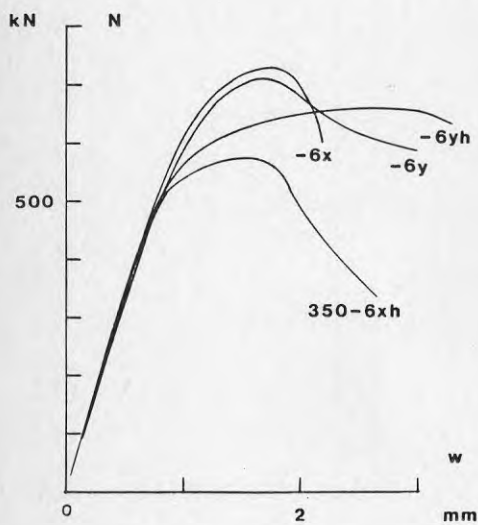
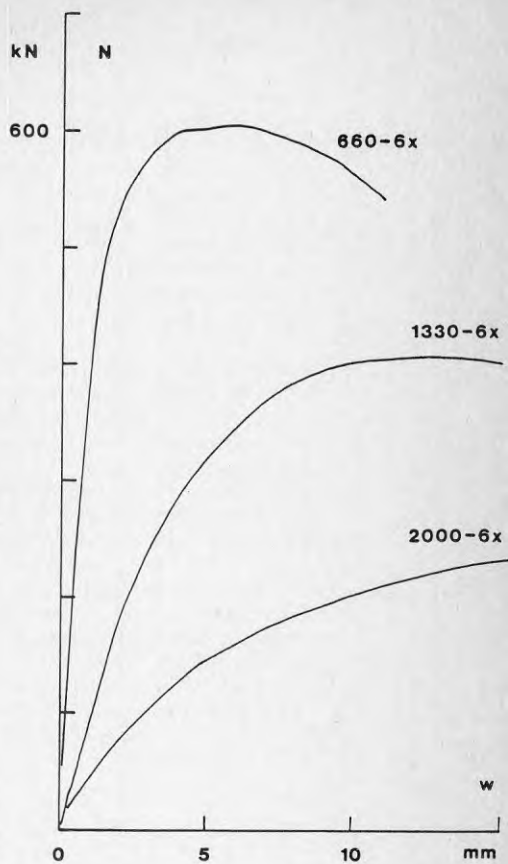
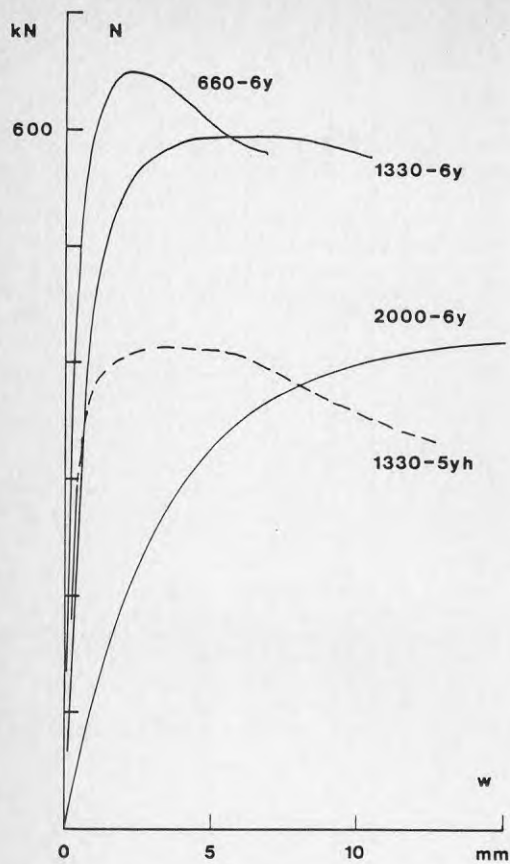
TABELL 4 Tvärsnittsmått vid beräkning av bärförmåga hos de enkla stängerna.

Provningsresultaten jämförs i diagram i FIGUR 13 med kurva b enligt BSK, baserad både på bruttoarea och nettoarea vid skruvhål. Jämförelsen visar att hålen inverkan är helt avgörande för bärförmågan. Kurvan baserad på nettotvärsnitt överensstämmer väl med uppmätta brottlaster från stänger med skruvhål.



FIGUR 13 Provningsresultat för valsade enkla stänger jämförda med kurva b enligt BSK. Den heldragna kurvan är baserad på bruttotvärsnittet och den streckade på nettotvärsnittet vid skruvhål.

Nedan i FIGUR 14 visas uppmätta last-deformationskurvor från försöken med de enkla stängerna. Deformationen avser ihoptryckningen av stängerna. Effekten av skruvhålen på bärförmågan framgår klart från kurvorna. Brottlasten för t ex 1330-5yh (med skruvhål) är 70 % av brottlasten för 1330-6y, dock bör det noteras att skänkeljockleken inte är lika.



FIGUR 14 Last-deformationssamband från försöken med enkla stänger.

### Sammanfattning

Rapporten presenterar resultat från försök med valsade V-stänger i mastsektioner. Uppmätta brottlaster jämförs med beräknade enligt BSK. Två olika typer av brott inträffade beroende på tjockleken hos skänkeln. Vid skänkel-tjockleken 5 mm var böjvridknäckning avgörande för bärförmågan. Detta framgår av beräkningar och detaljstudier av uppmätta utböjningar. Böjvridknäckning skedde genom böjning kring en axel parallell med ena skänkeln och vridning kring tvärsnittets skjuvningsmedelpunkt. För de övriga skänkel-tjocklekarna 8 respektive 10 mm bestämdes bärförmågan av böjknäckning kring en axel parallell med ena skänkeln.

Provningsresultaten och beräkningarna visar att skruvhålen vid diagonalinfästningarna klart påverkar bärförmågan då brottet sker genom böjknäckning. Kurva b enligt Bygg K18:33, baserad på nettotvärsnittet vid skruvhålen, förefaller överensstämma bättre med uppmätta brottlaster vid denna typ av brott än motsvarande kurva baserad på bruttotvärsnittet. Den av skruvhål reducerade bärförmågan vid böjknäckning understryks av resultat från försök med enkla stänger.

För de fall där böjvridknäckning var avgörande överensstämmer vippningskurva 1 enligt Bygg K18:43 bäst med försöksresultaten. Effekten av skruvhålen på bärförmågan är betydligt mindre än vid böjknäckning.

Referenser

- (1) Höglund T., "Provning av V-profiler", Stålbyggnad KTH 1984.
- (2) Höglund T. och Lindström G., "Knäckning av V-profiler - Stabilitetsanalys av profil med finit element metod", Stålbyggnad KTH 1985.
- (3) Höglund T., Preliminär rapport "Provning av fackverksmaster av V-profiler", Stålbyggnad KTH 1985.
- (4) Höglund T., "Knäckning av V-profiler - Sammanfattning" Stålbyggnad KTH 1985.

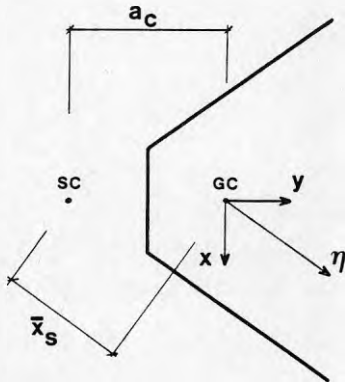




## Bilaga

Beräkning av bärförmåga vid böjvridknäckning

Knäckning antas ske genom böjning kring en  $\eta$ -axel parallell med ena skänkeln med knäcklängden  $2a$  samt vridning kring skjuvningsmedelpunkten SC med vridknäcklängden  $a$ , se FIGUR B1 och FIGUR 1. För härledning av formlerna se (2).



FIGUR B1 Tvärsnitt av V-profil

Den kritiska böjknäcklasten och vridknäcklasten definieras som

$$N_{E\eta} = \frac{\pi^2 E I_{\eta}}{(2a)^2}$$

respektive

$$N_T = \frac{C + \frac{\pi^2 C_w}{a^2}}{i_p^2}$$

Den kritiska böjvridknäcklasten erhålles ur

$$N_{kr} = \frac{N_{E\eta}}{2\left(1 - \frac{x_s^2}{i_p^2}\right)} \left[ (1 + \gamma) \pm \sqrt{(1 - \gamma)^2 + \frac{(2 \bar{x}_s)^2}{i_p^2} \gamma} \right]$$

där

$$\gamma = \frac{N_T}{N_{E\eta}} \quad \bar{x}_S = a_C \sin 60^\circ$$

Bärförmågan antas vid böjvridknäckning följa vippningskurva 1 enligt Bygg K18:43. Reduktionsfaktorn är där

$$\omega_b = \frac{1.02}{\sqrt{1 + \lambda \frac{4}{b}}}$$

där

$$\lambda_b = \sqrt{\frac{A f_Y}{N_{kr}}}$$

Slutligen erhålls bärförmågan vid böjvridknäckning till

$$N_{\eta\varphi} = \omega_b A f_Y$$

Nedan följer en förklaring av använda beteckningar

- A = tvärsnittsarea
- C = vridstyvhet
- C<sub>w</sub> = välvstyvhet
- E = elasticitetsmodul
- I<sub>η</sub> = tröghetsmoment kring en axel parallell med ena skänkeln
- L = längd
- a = avståndet mellan knutpunkterna i fackverksmasten
- a<sub>C</sub> = avståndet mellan tyngdpunkt och skjuvcentrum
- i<sub>p</sub> = polärt tröghetsradie med avseende på skjuvningsmedelpunkten
- $\bar{x}_S$  = projicerade avståndet mellan tyngdpunkt och skjuvcentrum på en axel parallell med ena skänkeln

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 780543-2  
från Statens råd för byggnadsforskning till Avdelningen  
för stålbyggnad, Kungl tekniska högskolan, Stockholm

KB / : 1980 Valsäde v-ställget av stål i Högskolan, U v-calcigiv

R87: 1988

ISBN 91-540-4941-5

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6708087

Abonnemangsgrupp:  
Z. Konstruktioner och material

Distribution:  
Svensk Byggtjänst, Box 7853  
103 99 Stockholm

Cirkapris: 30 kr exkl moms