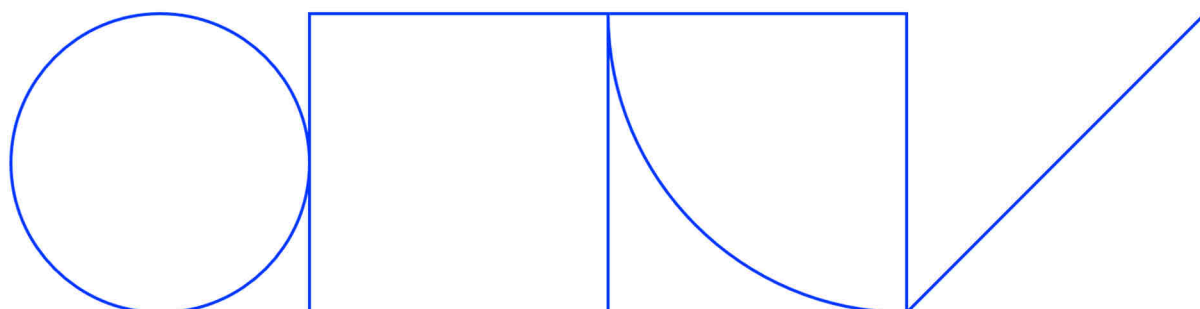


Överföring av tryckkrafter genom anläggning

Wylliam Husson
ProDevelopment AB

2024-01-18



Förord

Denna rapport presenterar resultaten av laboratorieförsök och ger rekommendationer för utformning och dimensionering av svetsade T-förband avsedda att överföra stora tryckkrafter genom anliggning.

Arbetet initierades av Jan Adolfsson, Peab, och pågick under hösten 2023 tack vare bidrag från SBUF.

Provningarna utfördes av Erik Andersson och Mats Petersson hos Mining and Civil Engineering Lab (tidigare Complab) på Luleå Tekniska Universitet.

Wylliam Husson, ProDevelopment AB, stod för analysen med hjälp och goda råd av Ove Lagerqvist.

För sitt deltagande i referensgruppen och värdefulla diskussioner vill vi tacka:

Andreas Furenberg, Peab Sverige AB

Björn Uppfeldt, Mekaniska Verkstädernas Riksförbund (MVR)

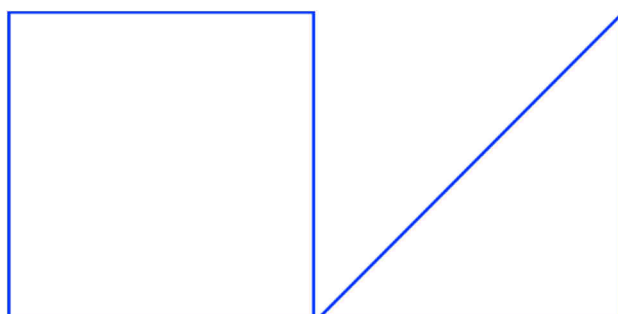
Björn Åstedt, Stålbyggnadsinstitutet (SBI)

Hans Hedlund, Skanska

Sulaiman Omid, NCC

Söderhamn,

Januari 2024



Sammanfattning

Många svetsade T-förband kan typiskt utsättas för både drag- och tryckspänningar där de sistnämnda oftast är mycket större. Att dimensionera dessa svetsar för tryckspänningar leder vanligtvis till stora dimensioner och det är därför fördelaktigt att kunna förutsätta att tryckkrafter överförs genom anliggning mellan de anslutande delarna. På så sätt kan svetsarna dimensioneras enbart för eventuella dragspänningar vilket ger mindre svetsdimensioner.

Många handböcker har genom åren rekommenderat denna metod men det har visat sig att det förekommer olika uppfattningar inom "branschen" angående om man kan överföra tryckkrafter genom anliggning eller om man ska dimensionera svetsarna för dessa tryckkrafter.

Inga kända haverier har inträffats pga sådana förband, men det finns inte heller några empiriska eller teoretiska belägg för att metoden är säker.

Därför har ett tjugotal laboratorieförsök genomförts för att kontrollera om dragkraftskapaciteten hos förband som överfört stora tryckkrafter genom anliggning påverkas negativt.

Hälften av förbanden utsattes först för en tryckkraft mer än dubbel så stor som den beräknade karakteristiska bärförmågan och samtliga förband belastades sedan med en dragkraft till brott.

Passningen mellan plåtar gjordes avsiktligt "dålig" och förbanden delades in i två grupper: en grupp där avvikelserna motsvarade toleranskraven i SS-EN 1090-2:2018 och en grupp där avvikelserna var dubbelt så stora.

Resultaten visade att brottlasten är opåverkad av tidigare tryckbelastning. Även deformationen vid brott var den samma oberoende om förbanden tidigare utsatts för tryck eller ej. Däremot uppstår en viss "uppmjukning" av förbanden efter första belastningen.

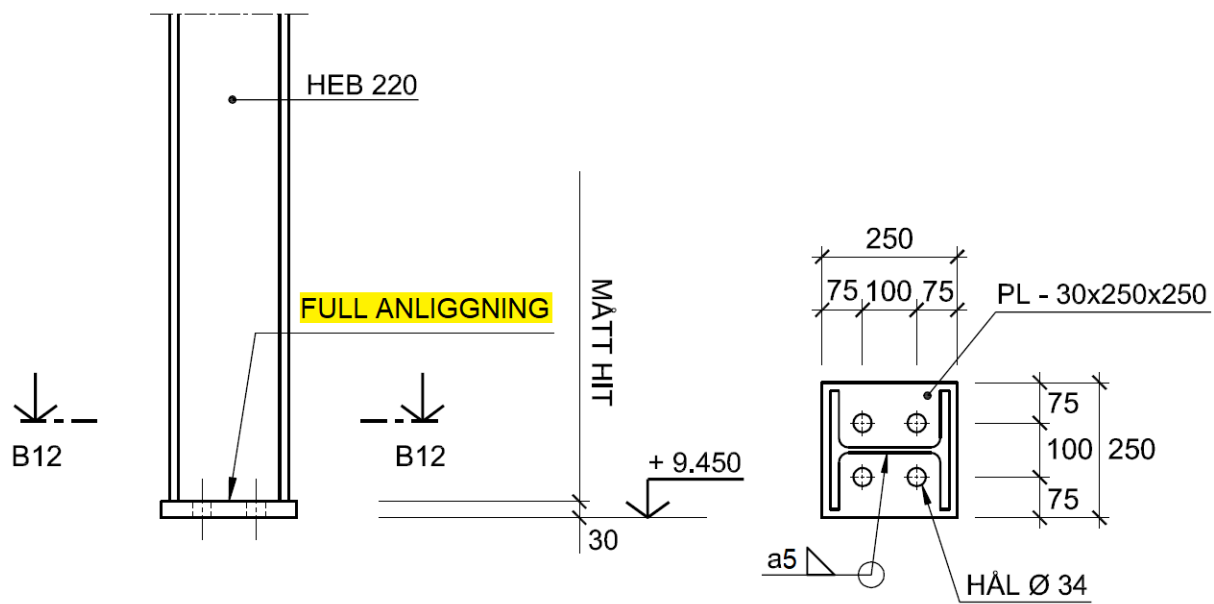
För dimensionering i brottgränstillstånd ger dock resultaten stöd åt hypotesen att T-förband vars ytor uppfyller krav på full anliggning kan dimensioneras enbart för dragkrafter.

Det rekommenderas att svetsförband i statiskt belastade konstruktioner dimensioneras enbart för dragkrafter under följande förutsättningar:

- **$a \geq 5 \text{ mm}$, och;**
- **krav på monteringtoleranser för kontaktytor med krav på full anliggning enligt Tabell B.19 i SS-EN 1090-2:2018 uppfylls.**

Om ett T-förband förutsätts överföra tryckkrafter genom anliggning behöver detta framgå av föreskrifterna och ritningarna.

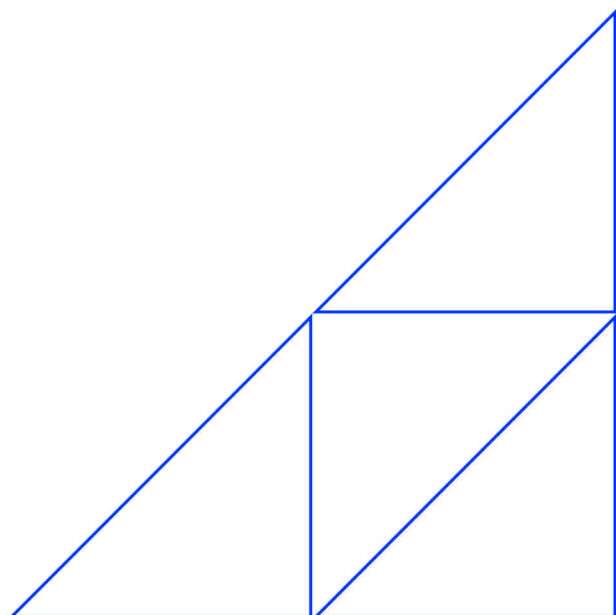
Rätt terminologi, i enlighet med SS-EN 1090-2, ska användas. Se exempel nedan.



A12 PELARE

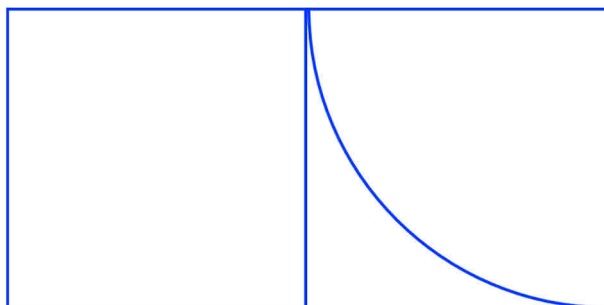
B12

SVETSUTFÖRANDE:	Utförandeklass EXC2 Kontaktytor med full anliggning ska uppfylla toleranskrav enl. Tabell B.19 i SS-EN 1090-2:2018
-----------------	--



Innehåll

1	Bakgrund	5
2	Provningsplan	9
2.1	Syfte	9
2.2	Provkroppar	9
2.3	Instrumentering	11
2.4	Provning	12
3	Resultat och analys	13
3.1	Brottlast	13
3.2	Beteende	18
4	Slutsatser och rekommendationer	22
4.1	Dimensionering	22
4.2	Föreskrifter	22
	Referenser	23
	Bilaga A – Svetsdatablad (WPS)	24
	Bilaga B – Last-deformationskurvor	25

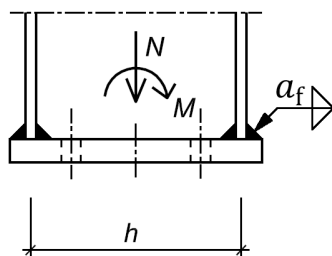


1 Bakgrund

Svetsförband i pelarfötter, mellan pelarfläns och fotplåt kan typiskt utsättas för både drag- och tryckspänningar där de sistnämnda oftast är mycket större. Att dimensionera dessa svetsar för tryckspänningar leder vanligtvis till stora dimensioner, t ex i samma storleksordning som godstjocklek hos konstruktionsrör, vilket påverkar ekonomin och klimatprestandan negativt. Det är därför fördelaktigt att kunna förutsätta att tryckkrafter överförs genom anliggning mellan pelarände och påsvetsad fotplåt. På så sätt kan svetsarna dimensioneras enbart för eventuella dragspänningar vilket ger mindre svetsdimensioner (figur 1-1, t v).

dimensionering för dragspänningar:

$$a_f \geq \frac{\beta_w \gamma_{M2}}{\sqrt{2} f_u b h} (M - 0,5 N h)$$



dimensionering för tryckspänningar:

$$a_f \geq \frac{\beta_w \gamma_{M2}}{\sqrt{2} f_u b h} (M + 0,5 N h)$$

Figur 1-1 Principer för dimensionering av kälsvets mellan pelarfläns och fotplåt för pelare med I-tvärsnitt belastad med normalkraft (N) och böjande moment (M) – till vänster beräkning av a_f med antagande att tryckkraften överförs genom anliggning, till höger beräkning av a_f om svetsen ska dimensioneras för den totala tryckkraften

Historiskt sett har Stålbyggnadsinstitutets detaljhandboksserie från 1971 (1) rekommenderat att:

”Vid bearbetad pelarände motsvarande minst sågad yta kan tryckspänningar förutsättas överförda som direkt tryck i kontaktytan. Svetsarna behöver då dimensioneras endast för uppträdande dragspänningar.”

Nyare versioner från 1987 (2) och 2011 (3) förutsätter implicit att tryckspänningar överförs genom direkt kontakt, även om det inte nämns explicit i texten. Detta framgår av formlerna som anges för dimensionering av flänssvetsarna, se figur 1-2.

För flänssvetsarnas a-mått gäller

$$a_f \geq \frac{\beta_w \gamma_{M2}}{\sqrt{2} f_u h_f b} (M_y - 0,5 N h_f) \quad (56)$$

Figur 1-2 Ekvation (56) för dimensionering av flänssvetsar i (3)

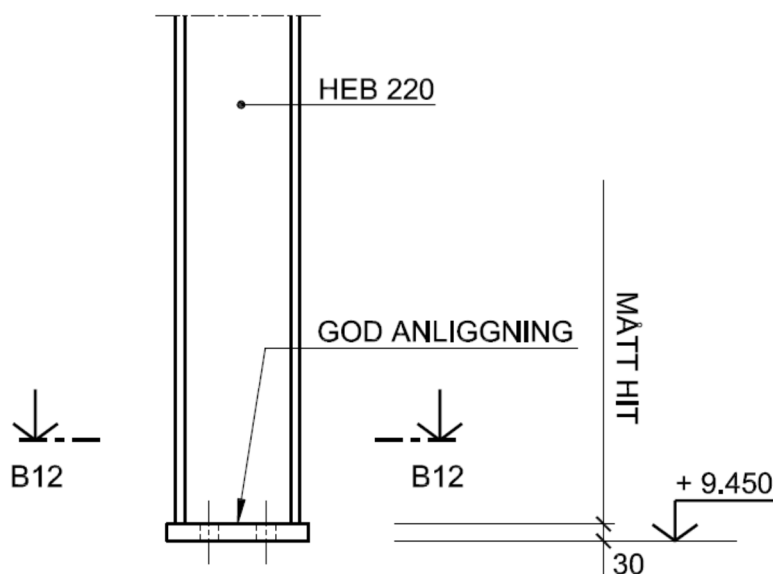
Denna syn på dimensionering av flänssvetsar finns även i engelskspråkiga länder. I Storbritannien ger *The Steel Construction Institute* och *The British Constructional Steelwork Association* samma rekommendation i publikationen P398 (4) som Stålbyggnadsinstitutet i (1) från 1971, se figur 1-3 nedan.

Bending moments on bases may generally act in both directions, meaning there is no "compression" flange – the welds to both flanges must be designed for the tension in the flange. If a compression case is considered, a sawn end on the column member is generally sufficient for contact in direct bearing and only nominal welds (6 mm or 8 mm) would be required.

Figur 1-3 Rekommendationer i engelska P398, s.74 (4)

Även Amerikanska *Steel Tube Institute* följer samma linje och menar att, vid en tryckt infästning, "The connection of the HSS to the base plate can be achieved with a minimum all around weld." (5)

En förutsättning för att dessa rekommendationer ska gälla är att konstruktionen utförs på ett visst sätt. Stålbyggnadsinstitutets detaljhandboksserie från 1971 (1) och engelska P398 (4) förutsätter sågad yta medan nyare versioner av Stålbyggnadsinstitutets detaljhandboksserie (2) (3) föreskriver "god anliggning", se figur 1-4 nedan.

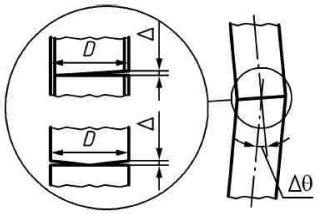


A12 PELARE

Figur 1-4 Exempel på föreskrift på ritning i (3)

Här bör noteras att detaljhandboken inte följer terminologin i SS-EN 1090-2 där termen "full anliggning" används istället för "god anliggning" för trycköverförande kontaktytor. Detta krav på full anliggning som kan föreskrivas av konstruktören kopplas till toleranskrav gällande bl.a. vinkelräthet och ytornas planhet i Tabell B.19 som återges i figur 1-5 nedan.

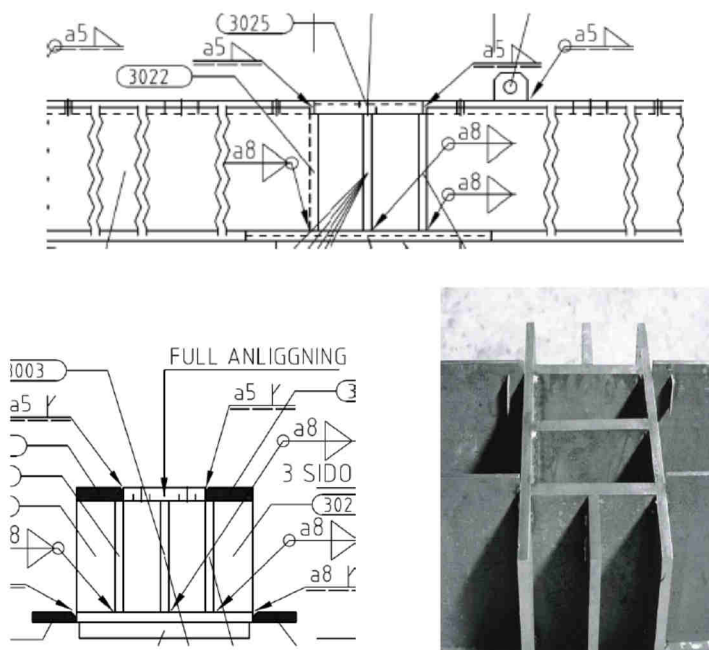
Tabell B.19 — Monteringstoleranser - Kontaktytor med krav på full anliggning

Nr	Kriterium	Parameter	Väsentliga toleranser Tillåten avvikelse Δ	Funktionstoleranser Tillåten avvikelse Δ
			Klass 1 och 2	Klass 1 och 2
1	Lokal vinkelavvikelse $\Delta\theta$ med samtidigt glapp Δ i punkten "X": 		$\Delta\theta = \pm 1/500$ och $\Delta = 0,5 \text{ mm}$ över minst 2/3 av ytan, och $\Delta = 1,0 \text{ mm}$ som mest lokalt	Inget krav

Figur 1-5 Toleranskrav för kontaktytor med krav på full anliggning enligt SS-EN 1090-2:2018

Det har visat sig att det förekommer olika uppfattningar inom "branschen" angående om man kan överföra tryckkrafter genom anliggning eller om man ska dimensionera svetsarna för dessa tryckkrafter.

Även om beskrivningen ovan har fokuserat på överföring av tryckkrafter genom anliggning mellan pelare och fotplåt har frågeställningen även relevans för andra vanligt förekommande detaljutformningar, t ex knutpunkter mellan kontinuerliga hattbalkar och våningshöga pelare, se figur 1-6, där olika uppfattningar om hur detta ska tolkas har lett till tvister.



Figur 1-6 Exempel på kontinuerlig hattbalk – anslutning av pelare där full anliggning föreskrivits

En sak som enligt uppgift har kommit på fråga i samband med att antagandet om kraftöverföring genom anliggning har ifrågasatts är om passningen mellan pelarände och fotplåt är tillräckligt god för att detta antagande ska vara korrekt.

Om passningen inte är perfekt behöver nämligen svetsarna genomgå en viss deformation innan kontakttryck kan mobiliseras och förbandet beter sig som planerat.

I brottgränstillstånd tillåts plastiska deformationer och vid tryckbelastning enbart är antaganden om full anliggning motiverad. I applikationer där även dragkrafter kan uppstå finns dock en risk att en initial plasticering i svetsarna, tillräcklig för att mobilisera ett kontakttryck, kan ha en negativ inverkan på svetsarnas bärförmåga för efterföljande dragbelastning.

För att möjliggöra optimering av svetsdimensioner och undvika tvister, fanns det därför ett behov att analysera deformationsbeteendet hos tryckta svetsar och undersöka inverkan av tidigare belastning med höga tryckkrafter på efterföljande kapacitet för dragkrafter hos svetsar i T-förband, samt om toleranskraven för full anliggning i SS-EN 1090-2:2018 medger en tillräcklig god passning för att kraftöverföring genom anliggning ska kunna förutsättas.

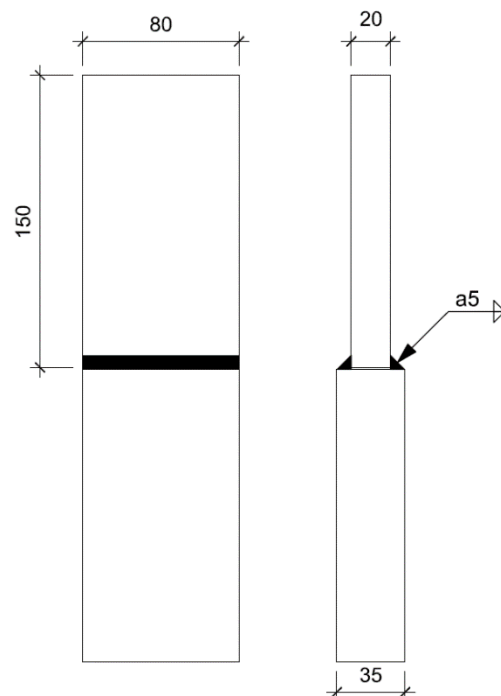
2 Provningsplan

2.1 Syfte

Syftet med provningarna var att jämföra beteende och statisk bärförmåga vid drag hos svetsade T-förband i nytt tillstånd och hos samma förband som först utsatts för en tryckkraft tillräcklig för att uppnå överföring genom kontakt.

2.2 Provkroppar

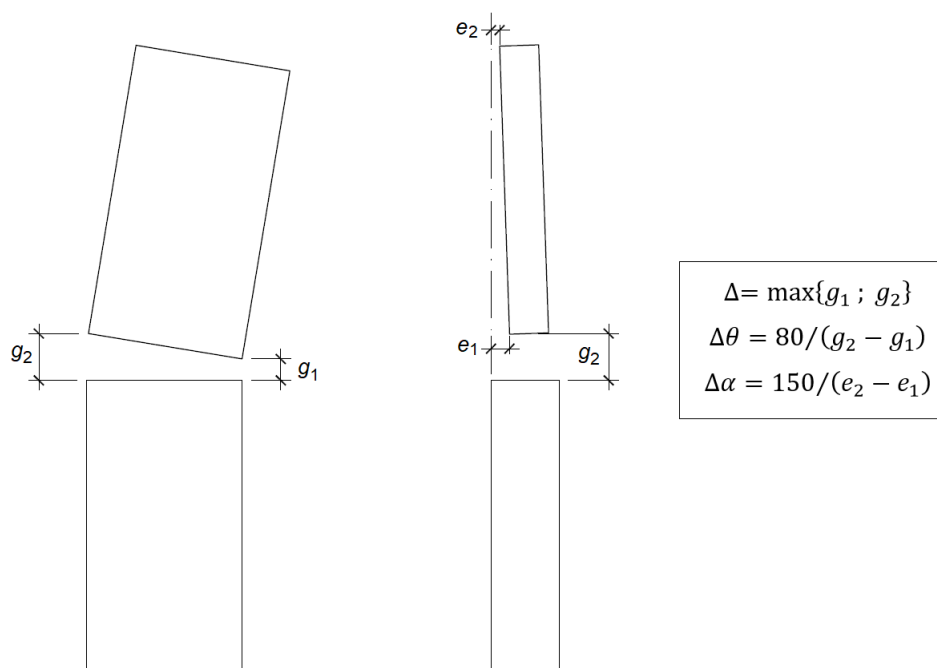
Provkropparna utgjordes av plåtar i S355 med nominell tjocklek 20 respektive 35 mm som svetsats ände mot ände till ett T-förband enligt figur 2-1 med dubbla a5 kälsvetsar tillverkade enligt svetsdatablad (WPS) i Bilaga A. Svetsaren instruerades att, om möjligt, göra "dåliga" svetsar.



Figur 2-1 Provkropparnas nominella dimensioner

Passningen mellan plåtar gjordes avsiktligt "dålig" med både vinkelavvikelse och glapp lika stora eller större än vad som är tillåtet för ytor med full anliggning enligt Tabell B.19 i SS-EN 1090-2:2018.

Totalt tillverkades 20 prover uppdelade i två grupper med "nominell avvikelse" på 1,0 respektive 2,0 mm. De uppmätta avvikelserna redovisas i Tabell 2-1 med beteckningar enligt figur 2-2.



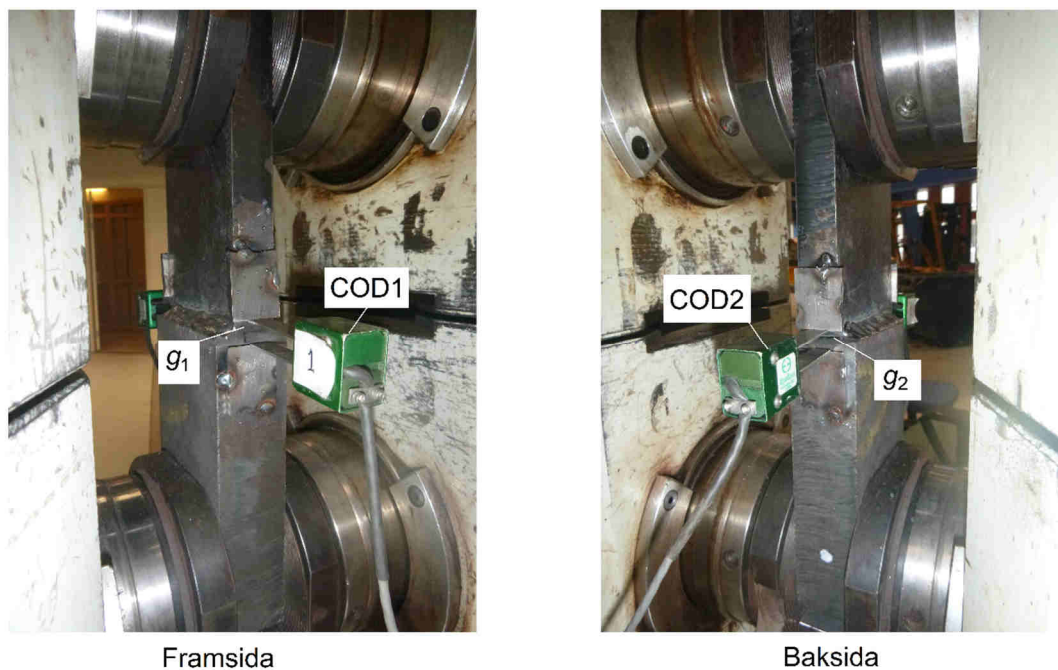
Figur 2-2 Beteckningar för provkropparnas avvikelser

Tabell 2-1 Uppmätta avvikelser

Provnr.	g_1	g_2	e_1	e_2	Δ	$\Delta\theta$	$\Delta\alpha$
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[1/x]	[1/x]
1-1	0,25	0,60	8,3	10,3	0,6	229	75
1-2	0,00	0,70	8,2	9,3	0,7	114	136
1-3	0,25	0,70	7,3	6,4	0,7	178	-167
1-4	0,10	1,00	7,3	7	1,0	89	-500
1-5	0,20	1,00	6,5	5,2	1,0	100	-115
1-6	0,10	1,60	8,1	8,5	1,6	53	375
1-7	0,15	0,80	7,9	9,1	0,8	123	125
1-8	0,00	0,90	6,7	6,1	0,9	89	-250
1-9	0,60	1,20	7,4	8,2	1,2	133	188
1-10	0,20	1,30	7,1	5,9	1,3	73	-125
2-1	-	-	-	-	-	-	-
2-2	0,00	0,70	9,0	9,7	0,7	114	214
2-3	0,10	2,30	8,3	9,6	2,3	36	115
2-4	0,00	2,40	6,7	7,0	2,4	33	500
2-5	0,10	2,00	8,7	12,2	2,0	42	43
2-6	0,10	1,80	7,0	7,4	1,8	47	375
2-7	0,70	2,40	8,3	9,7	2,4	47	107
2-8	0,10	2,10	8,9	8,0	2,1	40	-167
2-9	0,10	2,20	9,6	10,7	2,2	38	136
2-10	0,00	2,40	8,8	8,2	2,4	33	-250

2.3 Instrumentering

Lokala deformationer på båda sidor om förbandet mättes med s.k. COD (*Crack Opening Devices*) mellan punktsvetsade stålknivar, se figur 2-3.



Figur 2-3 Instrumentering

2.4 Provning

Först utfördes ett preliminärt test (Provn. 2-1) som trycktes med konstant hastighet på 3 $\mu\text{m/s}$ till en kraft på ca 400 kN varpå svetsförbandet drogs med samma hastighet till brott.

Övriga test utfördes sedan med en konstant hastighet på 5 $\mu\text{m/s}$.

Provgrupperna 1 och 2 delades i två undergrupper om fem prover var, d.v.s. en referensgrupp som enbart provades till brott i drag och en testgrupp som även trycktes till en betydande kraft innan den drogs till brott.

Dessa grupper sammansättning och fler uppgifter om provningen sammanställs i tabell 2-2 nedan.

Tabell 2-2 Provningsplan och -uppgifter

Provgrupp	Provnr.	Provning
Testgrupp 1	1-1	Provning i tre steg: 1. Ökande tryckkraft till 550 kN med konstant hastighet på 5 µm/s 2. Konstant tryckkraft på 550 kN under en minut. 3. Ökande dragkraft till brott med konstant hastighet på 5 µm/s
	1-2	
	1-3	
	1-9	
	1-10	
Testgrupp 2	2-1*	
	2-3	
	2-4	
	2-5	
	2-7	
Referensgrupp 1	1-4	Enbart dragprov: 1. Ökande dragkraft till brott med konstant hastighet på 5 µm/s
	1-5	
	1-6	
	1-7	
	1-8	
Referensgrupp 2	2-2	
	2-6	
	2-8	
	2-9	
	2-10	
*Preliminär test, se beskrivning i början av kapitel 2.4.		

3 Resultat och analys

3.1 Brottlast

Brottlasten definieras som den största lasten som uppnåddes vid deformationsstyrd dragprovning.

Resultat för samtliga prov sammanställs i tabell 3-1 nedan.

Tabell 3-1 Brottlast

Provning	"Nominellt glapp"	Provnr.	Brottlast [kN]
Test (Tryck + Drag)	1 mm (Provgrupp 1)	1-1	304,9
		1-2	333,5
		1-3	310,3
		1-9	324,6
		1-10	316,5
	2 mm (Provgrupp 2)	2-1*	325,2
		2-3	318,2
		2-4	329,9
		2-5	310,8
		2-7	331,4
Referens (Enbart drag)	1 mm (Provgrupp 1)	1-4	325,1
		1-5	332,8
		1-6	328,9
		1-7	336,8
		1-8	352,9
	2 mm (Provgrupp 2)	2-2	309,3
		2-6	320,0
		2-8	340,0
		2-9	319,4
		2-10	329,5

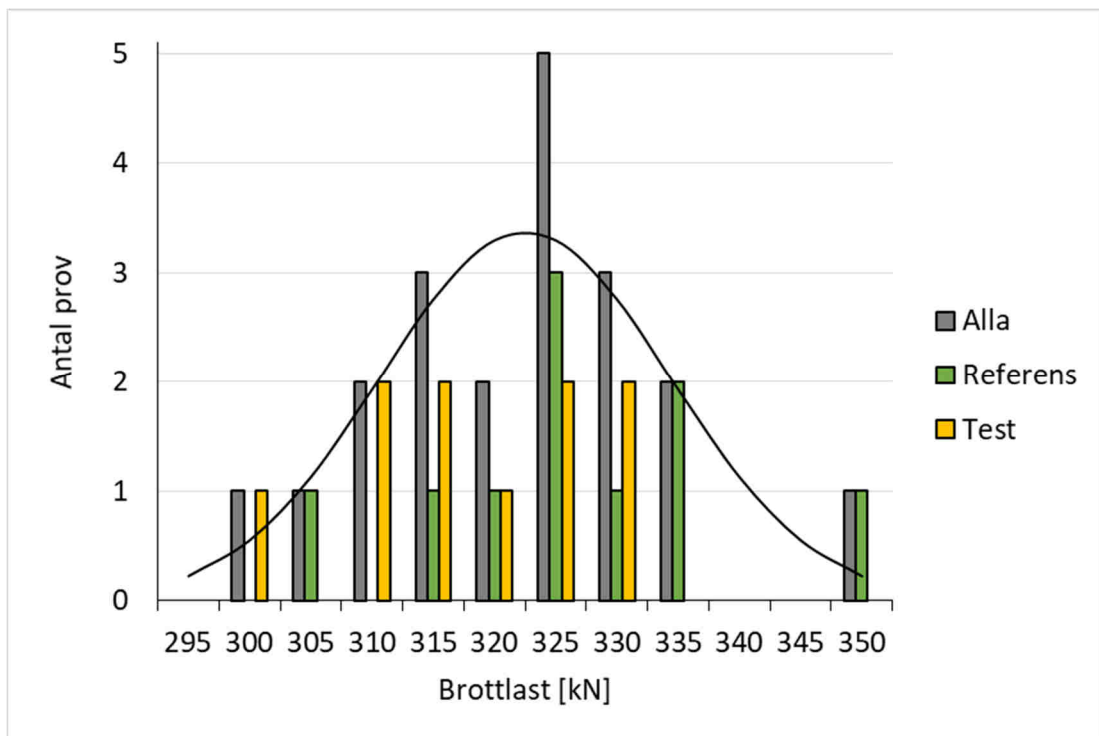
Provningarna kan delas in i olika provgrupper på två sätt, för att skilja mellan:

1. test- och referensgrupper, d.v.s. de prover som först utsatts för tryck och de prover som utgick från nytt tillstånd, eller;
2. prover med större (2 mm) och mindre (1 mm) nominellt glapp.

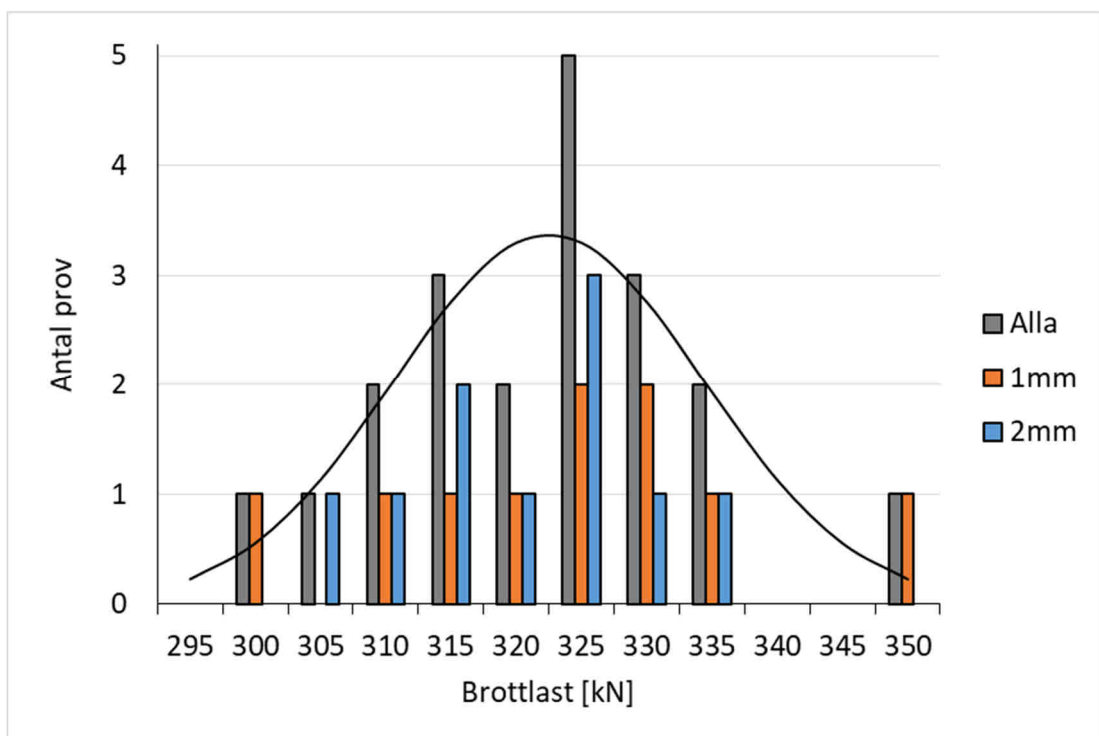
Genom att jämföra resultat från dessa provgrupper kan man undersöka den möjliga inverkan av den varierande parametern på förbandets dragkapacitet.

Först kan resultaten redovisas i form av histogram där brottlasten fördelas i intervaller om till exempel 5 kN, se figur 3-1 och figur 3-2.

När alla prov betraktas som en enda grupp (Alla) verkar mätvärden vara någorlunda normalfördelade. Det finns ingen tydlig trend i hur resultat från olika provgrupper fördelas. Ett enskilt prov (Provn. 1-8) sticker ut med en större brottlast mellan 350 och 355 kN. I övrigt är dock resultat från olika provgrupper fördelade på liknande sätt.

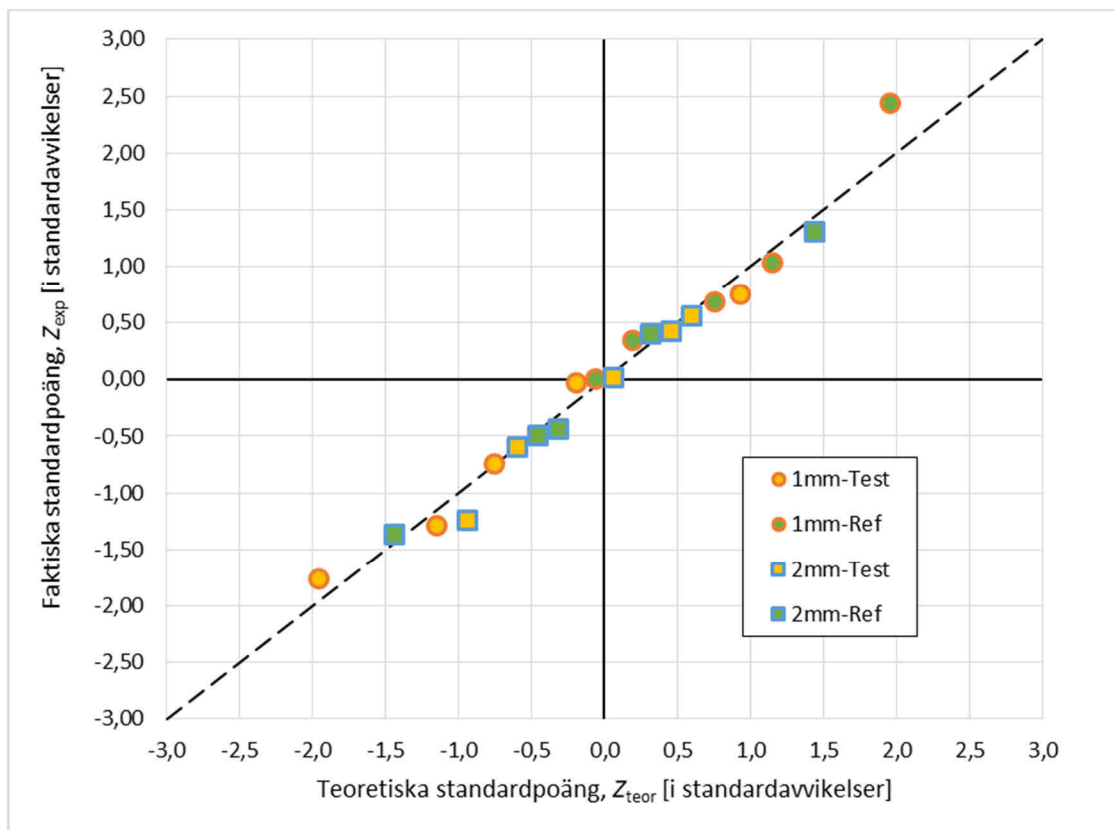


Figur 3-1 Histogram som visar brottlastens fördelning i intervaller om 5 kN, jämförelse mellan test- och referensgrupp



Figur 3-2 Histogram som visar brottlastens fördelning i intervaller om 5 kN, jämförelse mellan provgrupper med olika nominella glapp

Ett annat grafiskt verktyg för att analysera resultaten är ett Q-Q diagram som visar resultatens kvantiler som funktion av de teoretiska kvantilerna hos en antagen fördelning med samma parametrar (medelvärde och standardavvikelse). figur 3-3 nedan visar ett sådant diagram för samtliga resultat när en normal fördelning antas. Eftersom mätpunkterna ordnas längs diagonalen kan man dra slutsatsen att resultaten kan vara normalfördelade.



Figur 3-3 Q-Q diagram för samtliga resultat under antagande om en normal fördelning

Statistik om brottlasten hos olika provgrupper sammanställs i tabell 3-2 nedan.

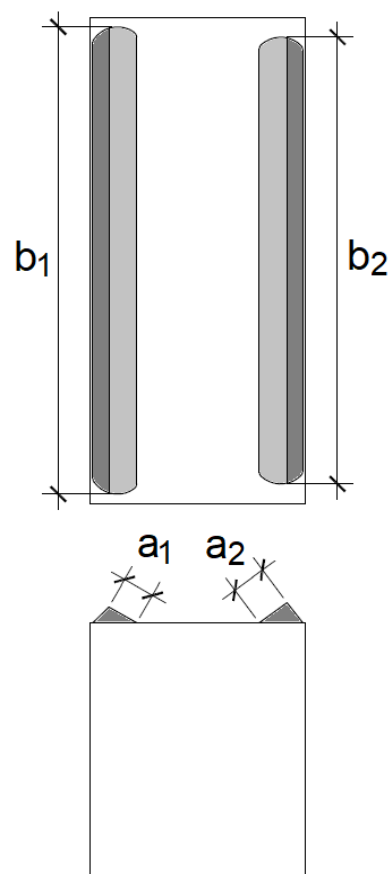
Tabell 3-2 Statistik om brottlasten [kN] hos olika provgrupper

Provgrupper	Alla	1 mm	2 mm	Test	Referens
Medelvärde	325,0	326,6	323,4	320,5	329,5
Standardavvikelse	11,7	13,9	9,6	9,9	12,2
	3,6%	4,3%	3,0%	3,1%	3,7%
Max	352,9	352,9	340,0	333,5	352,9
Min	304,9	304,9	309,3	304,9	309,3

Medelvärdet är något mindre hos testgruppen än hos referensgruppen, men skillnaden på något under 3 % är mindre än standardavvikelsen. En jämförelse mellan dessa grupper ger ett p-värde på $0,09 > 0,05$ vilket betyder att det inte är statistiskt säkerställt att den initiala tryckbelastningen leder till en minskad bärförmåga för dragkraft.

Medelvärdet hos provgruppen med större glapp skiljer sig också mycket lite, ca 1 %, från det hos provgruppen med mindre glapp. P-värdet mellan dessa grupper är $0,55 > 0,05$. Inom det undersökta intervallet är det inte statistiskt säkerställt att ett större glapp leder till en minskad bärförmåga för dragkraft.

Figur 3-4 nedan visar ett exempel på brottytor. Deras dimensioner uppmättes med skjutmått: total längd (b) och bredd (a) i en representativ punkt. Dessa värden redovisas i tabell 3-3.



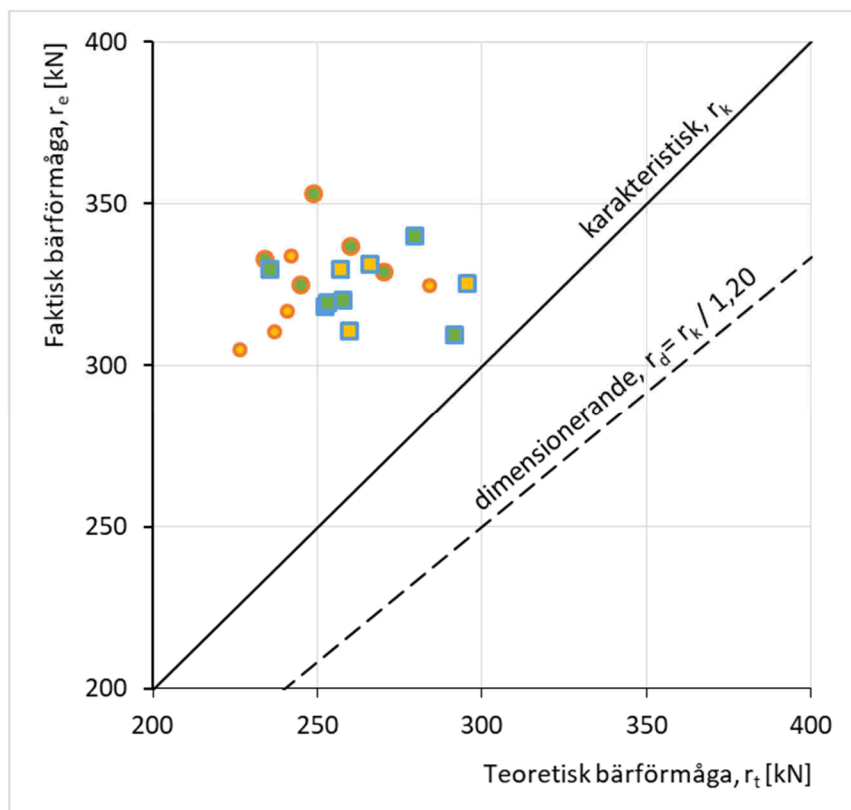
Figur 3-4 Exempel på brottytor och beteckningar

Tabell 3-3 Brottyornas dimensioner

Provning	"Nominellt glapp"	Provnr.	b_1 [mm]	a_1 [mm]	b_2 [mm]	a_2 [mm]	$b = b_1 + b_2$ [mm]	$\bar{a}$ [mm]
Test (Tryck + Drag)	1 mm (Provgrupp 1)	1-1	72,5	4,2	72,0	4,3	145	4,3
		1-2	73,4	4,0	75,6	4,8	149	4,4
		1-3	70,8	4,6	70,3	4,5	141	4,6
		1-9	74,2	5,9	75,3	4,4	150	5,2
		1-10	74,7	4,4	77,2	4,2	152	4,3
	2 mm (Provgrupp 2)	2-1*	75,0	5,5	74,6	5,2	150	5,4
		2-3	73,5	4,5	72,0	4,9	146	4,7
		2-4	74,5	4,6	70,6	5,0	145	4,8
		2-5	70,2	4,3	73,4	5,5	144	4,9
		2-7	73,3	4,9	73,6	4,9	147	4,9

Referens (Enbart drag)	1 mm (Provgrupp 1)	1-4	71,2	4,5	72,9	4,7	144	4,6
		1-5	72,8	4,6	74,6	4,0	147	4,3
		1-6	73,5	5,0	72,8	5,0	146	5,0
		1-7	73,5	5,0	73,3	4,6	147	4,8
		1-8	77,0	4,1	74,5	4,8	152	4,5
	2 mm (Provgrupp 2)	2-2	75,6	5,5	72,1	5,2	148	5,4
		2-6	70,9	4,9	76,1	4,6	147	4,8
		2-8	75,8	4,7	72,7	5,5	149	5,1
		2-9	70,8	5,1	73,5	4,4	144	4,8
		2-10	73,4	4,2	73,3	4,5	147	4,4

Brottyornas dimensioner kan användas till att beräkna den teoretiska bärförmågan (r_t) med Eurokodens dimensioneringsmodell, baserad på nominella materialegenskaper. Det blir tydligt att dimensioneringsmodellen ger resultat på säker sida, se figur 3-5. Den genomsnittliga brottlasten på 324,2 kN kan jämföras med det genomsnittliga teoretiska värdet på 256,9 kN, och samtliga prov har en brottlast (r_e) minst 6 % större än det teoretiska värdet. Vid dimensionering används dessutom en partialkoefficient $\gamma_{M2} = 1,20$ som bedöms vara tillräcklig för att beakta variationer i materialegenskaper, se streckad linje.



Figur 3-5 r_e - r_t diagram Eurokodens dimensioneringsmodell

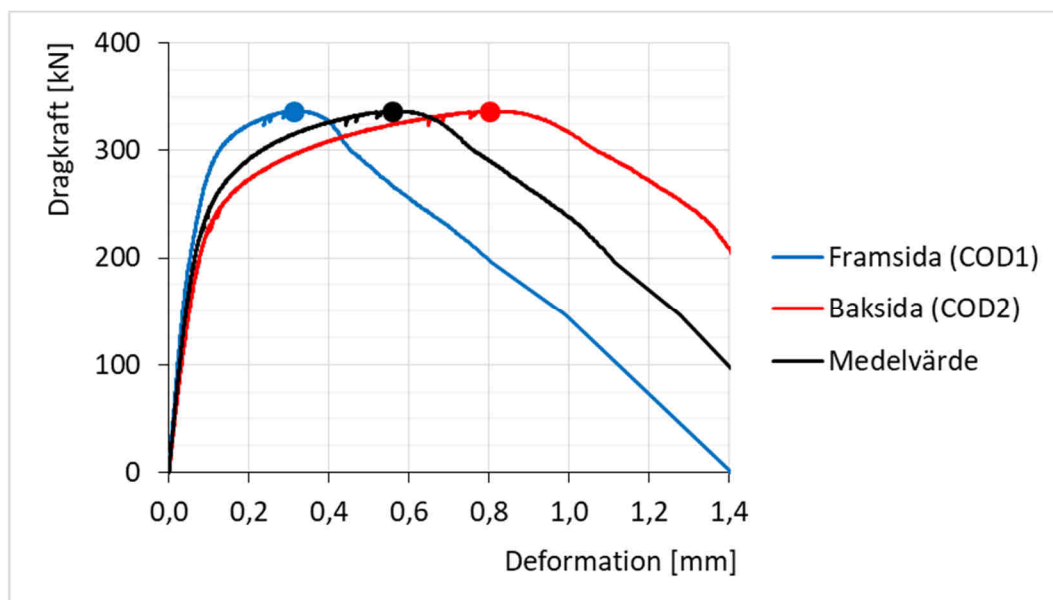
3.2 Beteende

Förutom brottlasten är det av intresse att undersöka om svetsarnas beteende, dvs initial styvhet och deformationsförmåga, påverkas av en tidigare tryckbelastning.

Last-deformationskurvor för samtliga prov finns i Bilaga B.

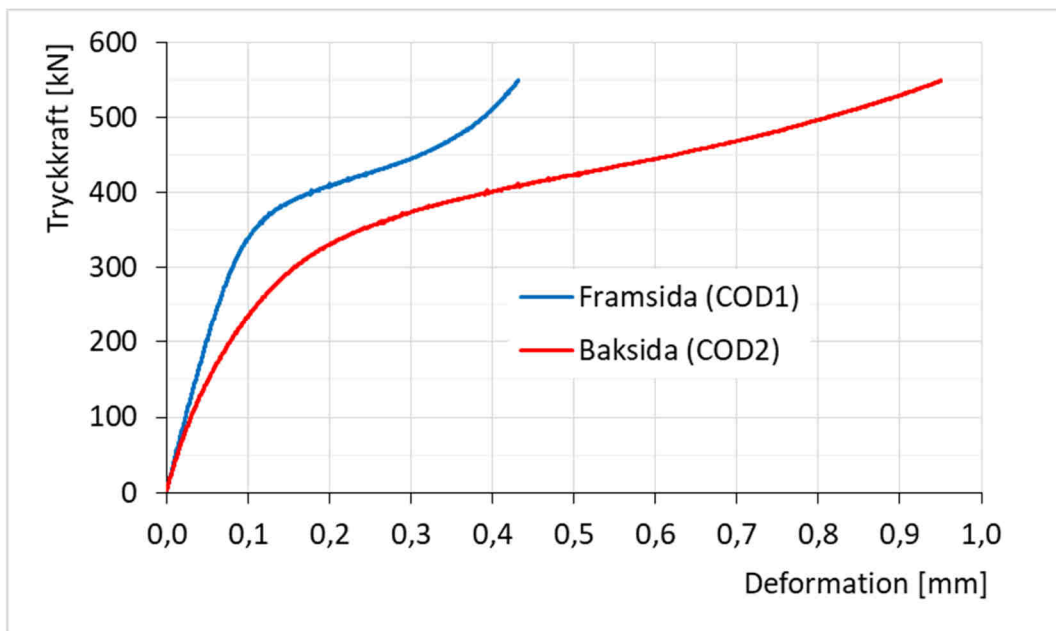
Generellt visar mätningar på dragprover att deformationerna på "framsida" (COD1) är mindre än på "baksida" (COD2). Provnr. 1-7 ger ett bra exempel på detta, se figur 3-6. Det är oklart om dessa skillnader härrör från varierande glapp eller om de beror på provinställningen som t.ex. en konsekvent felriktning av proverna.

Det bedöms vara mer relevant att i fortsättningen analysera eventuella skillnader mellan provernas medelvärde (svart kurva på figur 3-6).



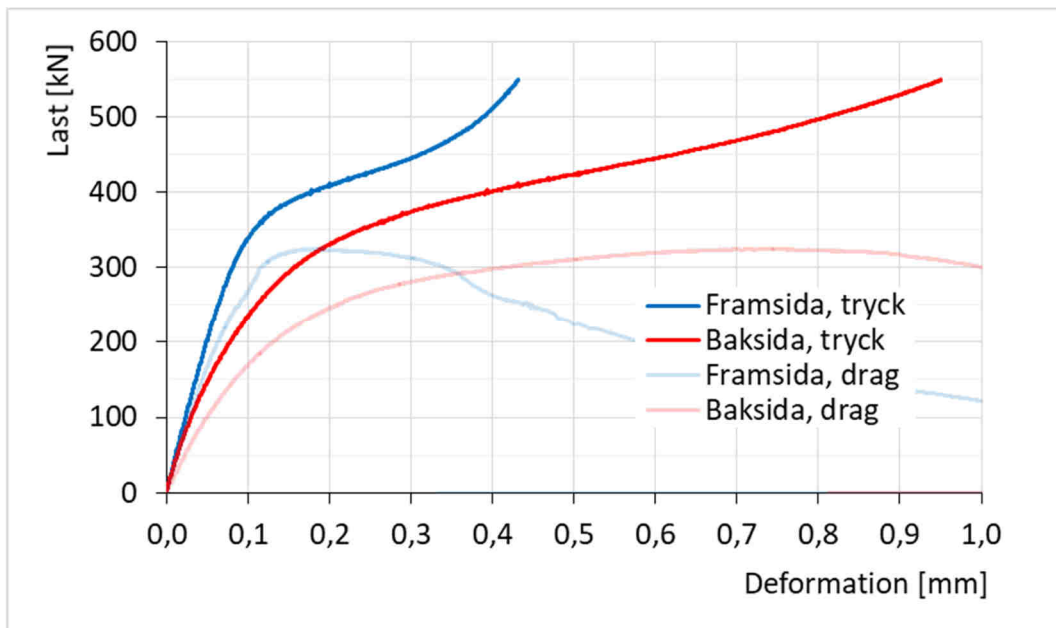
Figur 3-6 Last-deformation kurvor från Provnr. 1-7 (dragprov, referensgrupp).

Vid tryckbelastning kan skillnaderna mellan fram- och baksida även tydligt härledas till olika glapp som "stängs" när svetsarna plasticeras. Provnr. 1-9 ger ett bra exempel på detta, se figur 3-7. Efter det initiala elastiska beteendet minskar styvheten progressivt och plastiska deformationer tar vid tills kontakt uppstår mellan plåtarna och styvheten återigen ökar markant. Detta sker först på framsidan där glappet är minst. På baksidan med ett relativt stort initialt glapp uppnås inte full kontakt mellan plåtarna men styvheten börjar öka igen.



Figur 3-7 Last-deformation kurvor från Provnr. 1-9 (tryck, testgrupp).

Efter tryckbelastningen minskar förbandens initiala styvhet i drag. Provnr. 1-9 ger ett bra exempel på detta, se figur 3-8.



Figur 3-8 Last-deformation kurvor från Provnr. 1-9 (tryck och drag, testgrupp).

För att lättare jämföra prover kan den initiala styvheten definieras utifrån deformationen vid en last på 150 kN. Den initiala styvheten och deformationen vid brott anges i tabell 3-4 för samtliga prover.

Tabell 3-4 Deformation vid brott samt initial styvhet vid tryck och drag

Provning	"Nominellt glapp"	Provnr.	Deformation vid brott, δ [mm]	Initial styvhet vid 150 kN [kN/mm]	
				Tryck	Drag
Test (Tryck + Drag)	1 mm (Provgrupp 1)	1-1	0,56	3958	3010
		1-2	0,45	3371	2847
		1-3	0,62	3411	2504
		1-9	0,45	3948	2894
		1-10	0,56	3521	2749
	2 mm (Provgrupp 2)	2-1	0,52	3617	2616
		2-3	0,38	3821	2823
		2-4	0,45	3930	2399
		2-5	0,44	3775	2755
		2-7	0,51	3012	2285
Referens (Enbart drag)	1 mm (Provgrupp 1)	1-4	0,53	-	4175
		1-5	0,48		3512
		1-6	0,46		3890
		1-7	0,56		3851
		1-8	0,48		4095
	2 mm (Provgrupp 2)	2-2	0,44		3906
		2-6	0,51		3957
		2-8	0,39		3719
		2-9	0,47		3177
		2-10	0,35		3771

Statistik om dessa värden sammanfattas i tabell 3-5 och tabell 3-6 nedan.

Tabell 3-5 Statistik om initial styvhet vid 150 kN [kN/mm] hos olika provgrupper.

Provgrupper	Referens Drag	Test Steg 1 - Tryck	Test Steg 3 - Drag
Medelvärde	3805	3637	2688
Standardavvikelse	289	310	232
	7,6%	8,5%	8,6%
Max	4175	3958	3010
Min	3177	3012	2285

Tabell 3-6 Statistik om deformation vid brott [mm] hos olika provgrupper.

Provgrupper	Alla	1 mm	2 mm	Test	Referens
Medelvärde	0,48	0,51	0,44	0,49	0,47
Standardavvikelse	0,07	0,06	0,06	0,07	0,06
	14,0%	11,4%	13,2%	14,8%	13,3%
Max	0,62	0,62	0,52	0,62	0,56
Min	0,35	0,45	0,35	0,38	0,35

Den initiala styvheten hos ett nytt förband är den samma oavsett om förbandet utsätts för tryck (steg 1 för testgruppen) eller drag (referensgrupp). Medelvärde är då ca 3 700 kN/mm.

Däremot kan en tydlig "uppmjukning" noteras när ett förband som först utsätts för tryck belastas i drag. Den initiala styvheten vid andra belastningen (drag) är i genomsnitt 30 % mindre än den vid första belastningen (tryck).

De elastiska deformationerna är dock mycket små, under 0,1 mm. Vid dimensionering i brottgränstillstånd är förbandens beteende vid laster närmare brottlasten av större vikt. Här kan det noteras att deformationen vid brott inte verkar påverkas av tidigare belastning eller glappstorlek. Medelvärde är ca 0,5 mm.

I tryck klarade förbanden en betydande last på mer än två gånger den beräknade karakteristiska bärförmågan. Deformationen kunde bli över två gånger större än deformationen vid brott i drag.

Enligt AISI:s *Steel Construction Manual* (6), är deformationen vid brott direkt proportionell till svetsstorleken (z-mått), och kan, vid transversal belastning av T-förband, beräknas som:

$$\delta = 0,056 \cdot z$$

Denna formel baseras på resultat från Miazga och Kennedy (7) som även bekräftas av Kanvinde et al. (8).

Eftersom $z = \sqrt{2}a$ kan vi beräkna δ baserat på a-måttet och den förväntade deformationen vid brott blir:

$$\delta = 0,079 \cdot a = 0,079 \cdot 5 = 0,4 \text{ mm}$$

Detta värde är något mindre men i samma storleksordning som den uppmätta deformationen.

Eftersom den absoluta deformationsförmågan kan förväntas öka med svetsens storlek kan vi vara säkra på att kälsvetsar lika eller större än a5 kommer ha tillräcklig deformationskapacitet för att tillåta trycköverföring genom kontakt om toleranskraven på full anliggning i SS-EN 1090-2:2018 uppfylls.

4 Slutsatser och rekommendationer

4.1 Dimensionering

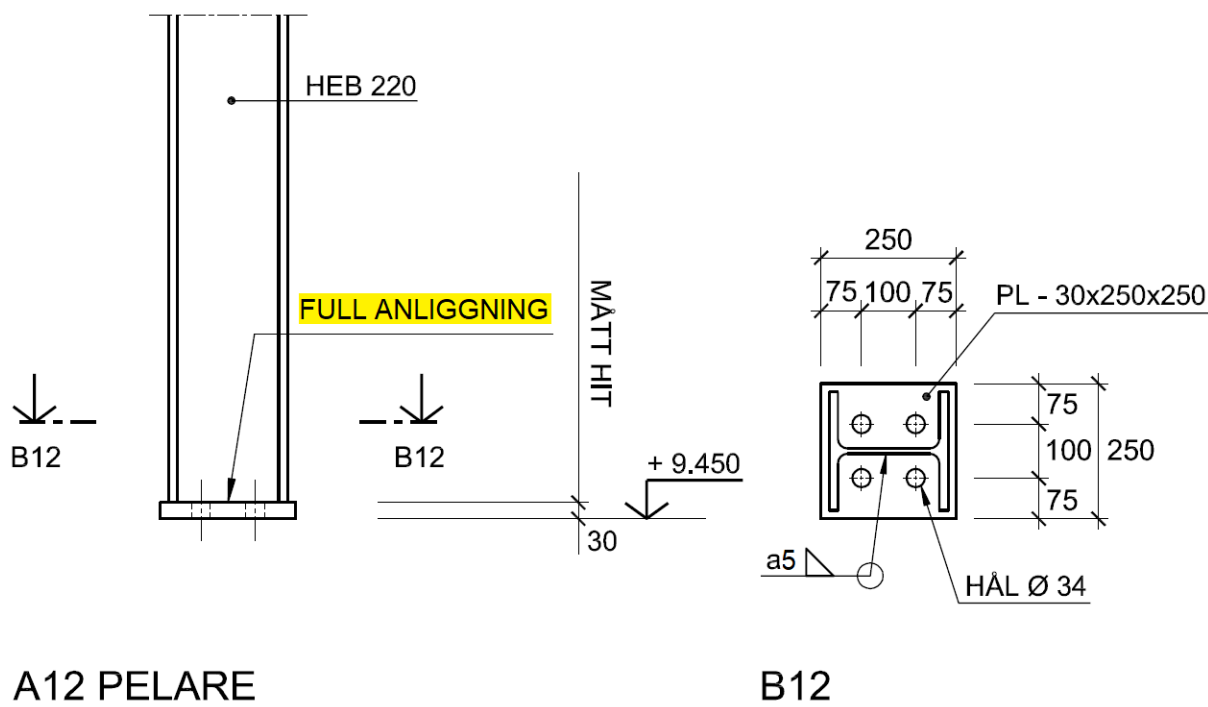
I statiskt belastade konstruktioner kan det antas att tryckkrafter kan överföras genom anliggning och T-förband med kälsvetsar kan dimensioneras med Eurokodens modell i SS-EN 1993-1-8 för enbart dragkrafter under följande förutsättningar:

- $a \geq 5 \text{ mm}$, och;
- krav på monteringtoleranser för kontaktytor med krav på full anliggning enligt Tabell B.19 i SS-EN 1090-2:2018 uppfylls.

4.2 Föreskrifter

Om ett T-förband förutsätts överföra tryckkrafter genom anliggning behöver detta framgå av föreskrifterna och ritningarna.

För att undvika missförstånd är det viktigt att använda rätt terminologi, i enlighet med SS-EN 1090-2. Se exempel i figur 4-1 och figur 4-2 nedan.



Figur 4-1 Exempel på ritning där full anliggning anges.

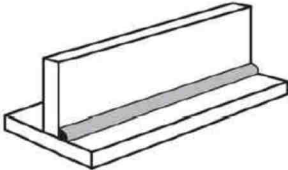
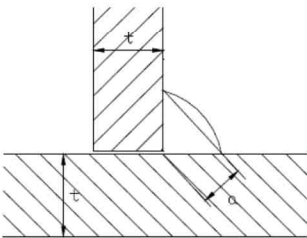
SVETSUTFÖRANDE: Utförandeklass EXC2
Kontaktytor med full anliggning ska uppfylla toleranskrav
enl. Tabell B.19 i SS-EN 1090-2:2018

Figur 4-2 Exempel på föreskrift.

Referenser

1. **Stålbyggnadsinstitutet.** *Publikation 30:3, Pelarfot.* Stockholm : SBI, 1971.
2. **Treiberg, Tom.** *Publikation 101, Pelarfot.* Stockholm : Stålbyggnadsinstitutet, 1987.
3. **Husson, Wylliam.** *Publikation 183, Pelarfot.* Stockholm : Stålbyggnadsinstitutet, 2011.
4. **BCSA/SCI.** *P398 - Joints in Steel Construction: Moment-resisting joints to Eurocode 3.* London : BCSA/SCI, 2013.
5. **Olson, Kim.** *Axially Loaded HSS Column to Base Plate Connections.* u.o. : Steel Tube Institute, 2017.
6. **American Institue of Steel Construction, Inc (AISC).** *Steel Construction Manual. 13th edition.* Chicago (IL, USA) : American Institute of Steel Construction, 2005.
7. **Miazga, Gregory S. och Kennedy, D. J. Laurie.** *Behaviour Of Fillet Welds As A Function Of The Angle Of Loading.* Edmonton, Alberta : Department Of Civil Engineering, University Of Alberta, March 1986.
8. **Kanvinde, A.M., o.a.** Strength and ductility of fillet welds with transverse root notch. *Journal of Constructional Steel Research.* 2009, Vol. 65, 948-958.

Bilaga A – Svetsdatablad (WPS)

STÅLSMIDE I LULEÅ AB		WPS - Svetsdatablad Kvalificerad_enl.EN_ISO_15612 15609-1				WPS nr: 136-1.2-FW-32-PB-a5						
		Extra spec:				Sid: 1/1 Datum: 2023-11-24						
		Utförd av: Andre' Johansson				Detta dokument är skapat av Montico montico						
Kund:		Projekt: 136 MAG				MK 136-BW-3						
GRUNDMATERIAL:		H-namn		Form:		CR ISO 15608		Tjocklek (mm)		Rördiameter (mm)		
A:	S355			PLÅT		1.2		15-32				
B:	S355			PLÅT		1.2		15-32				
Min arbetstemp (°C): RT °C Max mellansträngstemp (°C): °C						Min arbetstemp °C:						
Svetsläge sid 1: PB 						MEJSLING: Elektroddiam (mm) Area (mm²) Min arbetstemp °C Lufttryck i bar Slipning, mejsling						
						HÄFTNING: Med metod Min arbetstemp °C Längd per häfta (mm) 20 Antal strängar: 1 Antal häftor/m: 2 Häftläge: PB						
Svetsföljd 						Fogberedning: Maskinbearbetad Vinkelslip						
						Anm: Svetsklass : C enl. EN ISO 5817 a4-5 Slipning: Minimalt, stålborste.						
Str	Sid	Metod		Tillsatsmaterial		Dimension (mm) Diam Längd		Beteckning		Gas/Pulver Enligt SS-EN ISO 14175		H ₂
1		136 MAG		ELGA_DWA_50		1,2		EN-ISO 17632-A T42 2 P M 1 H5				
Str	Sid	Polaritet	Ström (A)	Trådmatn (m/min)	K-avst. (mm)	Spänning (V)	Hast mm/min / sträcklängd mm		Energi kJ/mm	Gasflöde (l/min) Pending		Anm: Nr
1		DC+	252 - 308	10 - 13	20 mm	30,33 - 37	270 - 330		1,4 - 1,6	14,4 - 18		
Pending												
VÄRMEBEHANDLING: Temperatur (°C): Hålltid:												
Uppvärmningshast: °C/h Avkylningshast: °C/h												
Anmärkning:												
Datum: 2023-11-24						Datum: 2014-09-09						
Underskrift: Andre' Johansson						Underskrift: Evert Eriksson						
Verkstad: Stålsmide i Luleå AB						Verkstad:						

Bilaga B – Last-deformationskurvor

