

INGENJÖRSVETENSKAPSAKADEMIEN
ROYAL SWEDISH ACADEMY OF ENGINEERING SCIENCES

PÅLKOMMISSIONEN

Commission on Pile Research

Rälspålars böjstyvhet – resultat av böjprovningar

Elvin Ottosson

Stockholm 1979



rapport 55

INGENJÖRSVETENSKAPSAKADEMIEN
ROYAL SWEDISH ACADEMY OF ENGINEERING SCIENCES

PÅLKOMMISSIONEN

Commission on Pile Research

Rälspålars böjstyvhet — resultat av böjprovningar

Elvin Ottosson*

Stockholm 1979

* Civilingenjör, Statens geotekniska institut, Linköping

De i rapporten framförda bedömningarna är författarens och
behöver ej vara Pålkommisionens.

Pris 40:—.



rapport 55

RÄLSPÅLARS BÖJSTYVHET - RESULTAT AV BÖJPROVNINGAR

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

	sid
FÖRORD	I
SUMMARY	II
SYMBOLS	III
SAMMANFATTNING	IV
SYMBOLER	V
1 INLEDNING	1
2 RÄLS- OCH SKARVTYPER	1
3 UNDERSÖKNINGENS SYFTE	4
4 PROVNINGENS OMFATTNING	4
5 BESKRIVNING AV PROVNINGSMETODER	6
5.1 Provning av initialvinkeländring i skarv	6
5.2 Böjprovning	8
6 REDOVISNING AV MÄTRESULTAT	10
6.1 Uppmätt initialvinkeländring	10
6.2 Böjprovningsresultat	11
6.21 Böjprovningsresultat, provningar utförda av Statens Provningsanstalt	15
7 DISKUSSION AV RESULTAT	17
7.1 Initialvinkeländring	17
7.2 Böjprovning	17
8 SLUTSATSER	24

BILAGOR

1:1-1:2	Rälers tvärsnittsarea som funktion av avrostning och vertikal förslitning
1:3-1:4	Rälers böjstyvhetsfunktion som funktion av avrostning och vertikal förslitning
2:1-2:11	Räls- och skarvjärnsritningar
3:1-3:10	Böjprovningsresultat i tabellform
4:1-4:9	Foto visande utrustning för böjprovning samt pålarnas utseende efter avslutad provning

FÖRORD

Föreliggande arbete har haft som målsättning att klarlägga om rälsplåtar med skarv uppfyller i gällande norm ställda krav med avseende på böjstyvhet och brottmoment. I rapporten har dessutom sammanställts uppgifter om olika rälers tvärsnitt och böjstyvhet efter förslitning och avrostning.

Undersökningen har utförts inom IVA:s Pålkommission där undertecknad under utredningens gång fått råd och vägledning av en arbetsgrupp den s k påldimensioneringsgruppen.

Byggnads- & Industriservice AB Binab har bidragit med resultat från böjprovningar som utförts av Statens Provningsanstalt för Binabs räkning.

Statens Järnvägar, Banavdelningen, har bidragit med räls- och skarvjärnsritningar samt vissa uppgifter på tvärsnittsdata för räler.

Linköping december 1978

Elvin Ottosson

SUMMARY

In Sweden used rails are often used as endbearing steel-piles for small buildings. In 1975 a new Building Code was published including demands for the bending stiffness of steel piles. The present investigation compares these demands with the results of bending tests on both jointed and unjointed rail piles. A total of 10 piles were investigated and the test series comprised both driven and un-driven piles. The piles were all of the type rail SJ 41 (kg/m). Jointing of the piles were for 6 piles made with SJ normal railjoints and for one pile with flat steel bars.

Besides results from bending tests on rail piles SJ 27 new, SJ 34 and SJ 43 all jointed with the normal railjoints are shown.

Theoretical calculations have been done for piles of different dimensions and for railjoints of different types.

Comparative studies have been carried out between theoretically calculated and from bending tests evaluated moment of resistance.

The investigations have shown that a rail pile jointed with SJ normal railjoint fulfils the present Swedish demands for bending resistance. However, a pile jointed with flat steel bars (20 x 60 x 500 mm) does not fulfil these demands.

SYMBOLS

- A = sectional area of the pile
B = width of the rail head
E = Young's modulus
H = height of the rail
M = moment
P = load
I = moment of inertia
d = deflection
f = deflection of the pile element at 1.4 m middle part
q = weight of the rail in kg/m

SAMMANFATTNING

I föreliggande rapport redovisas uppmätta initialvinkeländringar hos skarvade rälsplålar samt resultat från böjprovningar på dels skarvade, dels oskarvade rälsplålar. Sammanlagt har 10 plålar av typ räl SJ 41 provats. Såväl slagna som oslagna plålar har undersökts. Skarvning av plålar har utförts dels med SJ vinkelskarvjärn (6 plålar), dels med skarvjärn av plattstål (1 plåle).

Dessutom redovisas resultat från i annat sammanhang utförda böjprovningar av rälsplålar SJ 27 ny, SJ 34 och SJ 43 skarvade med vinkelskarvjärn.

Teoretiska beräkningar har utförts för plålar med olika dimensioner och för rälsskarvar av olika typer.

Jämförande studier mellan teoretiska och genom böjprov beräknade böjstyvheter har utförts.

Undersökningen visar att rälsplåle skarvad med SJ vinkelskarvjärn uppfyller ställda krav på böjstyvhet och momentöverföringskapacitet. Kraven underskrids däremot för rälsplåle skarvad med plattstål (20 x 60 x 500 mm). Jfr Mark AMA -72.

SYMBOLER

- A = pälens tvärsnittsarea
B = rälshuvudets bredd
E = elasticitetsmodul
H = rälens höjd
M = moment
P = last
I = tröghetsmoment
d = nedböjning
f = nedböjning hos pålelementet på 1,4 m mittdel
q = rälens vikt i kg/m

1 INLEDNING

Stålpålar används i huvudsak vid grundläggning av småhus och lätta industribyggnader. Allmänt för stålpålar gäller att de är lätta att kapa och skarva. Dessutom är de lättare att driva ned - främst i friktionsjord - än betong- och träpålar. Slagning av stålpålar medför också en mindre störning av jorden än slagning av betong- eller träpålar. Slanka stålpålar är däremot relativt svåra att slå ner rakt i lera som innehåller sten, block eller andra hinder (risk för knäckning).

Enligt IVA:s Pålkommissions pålstatistik har för perioden 1970-1976 stålpålarnas andel av totalt antal slagna pål-meter varit ca 5%. Rälspålar utgör huvuddelen av stålpålarnas andel och svarade 1974 för 90% (80.000 m) av totala andelen stålpålar och 1976 för 65% (51.000 m).

Stålpålar skarvas antingen genom svetsning eller med skarvjärn. I pålningsklass A krävs svetsade skarvar^{x)} medan för klasserna B och C sammanfogning med särskilt utformade skarvprofiler godtas. Pålskarv skall tåla lika hård och omfattande slagning som oskarvad påle. Efter slagning skall pålen inom det skarvade området vara likvärdig med pålen i övrigt med i huvudsak lika stor böjstyvhet som oskarvad påles (SBN 1975 23:64).

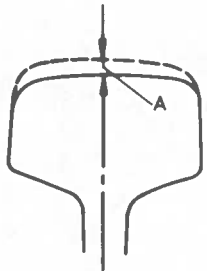
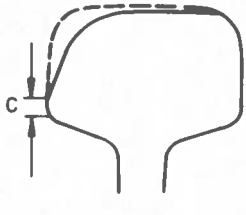
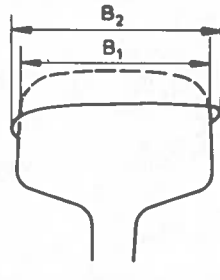
2 RÄLS- OCH SKARVTYPER

Ett flertal olika rälsdimensioner med tillhörande skarvjärn används för pålningsändamål.

Rälsdimension anges vanligen enbart genom viktangivelse i kg/m räl (t ex SJ 43). En utförligare dimensionsbeteckning brukar bestå av H/q där H = rälens höjd i mm och q = rälens vikt i kg/m (t ex 133/43,2). Även speciella modellbeteckningar används för att ange rälstyp (t ex SJ 1924). Observeras bör att angivelser med dimensionsbeteckningar avser obegagnad

^{x)} Pålning med begagnade räler kan dock ej göras i klass A

räl. Begagnad räl kan genom nedslitning ha fått avsevärt minskade dimensioner. Statens järnvägar (SJ) anger följande gränsvärden enligt Figur 1 för återanvändning av ur spår tagna begagnade räler, vilket får antas vara det största tvärsnitt, som normalt kan antas gälla för rälsplåtar.

Ursprunglig rälsvikt kg/m			
	Nedslitning Största höjdskillnad mellan ny och begagnad räl i mm (A)	Sidoslitning Osliten del av räls huvudets sida i mm (C)	Ökad huvudbredd Största skillnad i mm mellan uppmätt och ritningsenlig huvudbredd ($B_2 - B_1$)
> 50	9	0	5
40- 50	7	0	6
< 40	5	0	6

FIGUR 1. Maximalt tillåtna förslitningar för återanvändning av begagnade räler.

Maximum permitted wear for reapplication of used rails.

Rälens tvärsnittsarea och böjstyvhets reduceras i takt med förslitning och avrostning.

För de vanligaste förekommande rälsdimensionerna har tvärsnittsarea och böjstyvhets (EI_y) beräknats som funktion av dels vertikal förslitning, dels avrostning. Resultaten redovisas i bilaga 1:1-1:4.

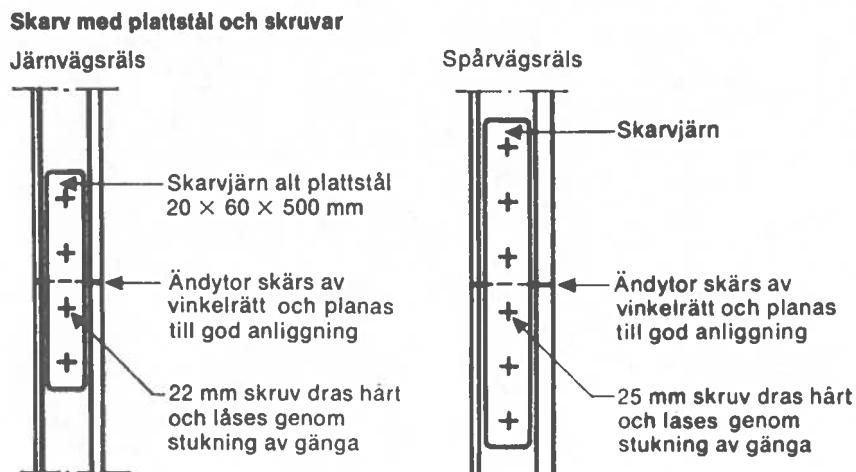
SJ skarvar ofta räler med någon typ av skarvjärn och bult.

Val av rälsdimension till pålningsändamål styrs delvis av tillgången på begagnad räl. I dag kommer huvudsakligen följande räler till användning:

SJ 43	(SJ 1924)
SJ 41	(SJ 1896)
SJ 34	(SJ 1899)
SJ 27 ny	(SJ 1878 ny)

I bilaga 2:1-2:11 visas räl SJ 50, SJ 43, SJ 41, SJ 34 och SJ 27 ny med några tillhörande skarvjärn.

I Mark AMA 72 föreslås beträffande skarvning av rälspåle:
 "Vid rälspåle bör skarv utföras med rälsskarvjärn och med god anliggning mellan de olika påldelarna." För rälspåle anges dock möjligt skarvningssätt (utöver svetsning) enligt Figur 2.



FIGUR 2. Rälsskarv enligt Mark AMA 72.

Railjoint according to Mark AMA 72.

3 UNDERSÖKNINGENS SYFTE

Avsikten med den nedan redovisade provningen var att klarlägga om de provade rälsplåarna med skarv uppfyller i gällande normer ställda krav med avseende på böjstyvhet och momentkapacitet.



4 PROVNINGENS OMFATTNING

De provade plåarna var av räler med dimensionsbeteckningen 133/41,2 (höjd i mm/vikt i kg/m) här betecknad SJ 41, modellbeteckningen SJ 1896 förekommer också (bilaga 2:6). Skarvningen av plåarna var utförd med vinkelskarvjärn (bilaga 2:7) med undantag för påle nr 10 som skarvats i enlighet med Figur 2.

Provningen omfattade mätning av initialvinkeländring i skarv under inverkan enbart av plåens egenvikt samt böjprov under inverkan av påförd yttre last. Provningen och bedömningen har i princip utförts enligt:

1. Statens Planverk: "Riktlinjer för provning och bedömning av skarv för slakarmerad betongpåle av 1972-02-05"
2. Statens Planverk: "Pålar - regler för dimensionering samt för pålningens utförande" SBN godkännanderegler 1975:8.

Totalt har tio påldelar provats. De provade plåarna hade en längd av ca $3,3 \pm 0,1$ m. I provserien ingick skarvade, oskarvade, slagna och oslagna pålar. De slagna plåarna har ej blivit normenligt slagprovade utan härrör från en provisorisk pålbrygga utförd av SJ. Plåarna har där stoppslagits och efter viss tids användning åter dragits upp. Plåarna har böjprovats dels i styva leden (livet vertikalt) och dels i veka leden (livet horisontalt). Provningsriktningarna sammanfaller således med tvärsnittets huvudtröghetsaxlar (varje symmetri-linje till en yta är huvudtröghetsaxel). Provningsförutsättningarna för respektive påle framgår av tabell 1.

Påle nr	Skarvad	Oskarvad	Slagen	Oslagen	Pålläge vid böjprovning	
					 Styva leden	 Veka leden
1		x		x		x
2		x		x	x	
3	x			x	x	
4	x			x		x
5	x			x		x
6	x		x		ej böjprovad	
7	x		x			x
8	x		x			x
9		x	x			x
10	x			x		x

TABELL 1. Provningsförutsättningar för undersökta pålar.

Skarvjärnen för pålarna nr 3, 4 och 5 hade en total längd av ca 920 mm i stället för de i bilaga 2:7 angivna 660 mm. Skarvjärnen för pålarna nr 6, 7 och 8 hade däremot den för skarvjärnen angivna längden av 660 mm. Skarvförbandet utgjordes av två skarvjärn sammanfogade med två bult på vardera sidan av skarvsnittet. Muttrarna var för påle nr 6 och 8 fastsvetsade i skarvjärnen och för påle nr 7 låsta genom kraftig stukning av bultarna. Påle nr 10 skarvades med två plattstål (20 x 60 x 500 mm) enligt Figur 2, dock användes 24 mm bult i stället för den angivna 22 mm (22 mm finns ej såsom standard). Bultarna drogs med momentnyckel till ett moment av ca 300 Nm.

Genom förslitning hade de provade pålarnas tvärsnitt förändrats något ifrån det ursprungliga. Pålarnas verkliga dimensioner framgår av tabell 2. För en obegagnad räl SJ 41 är $H = 133$ mm och $B = 69$ mm.

Påle nr	H (mm)	B (mm)
1	127	70
2	126	70
3	128	70-71
4	130	70
5	128	70
6	127-129	69
7	127	69-70
8	128	70
9	126	70
10	126-127	70
($H_{\text{med}} = 127,5$)		($B_{\text{med}} = 70$)

TABELL 2. Uppmätta dimensioner för de provade pålarna.

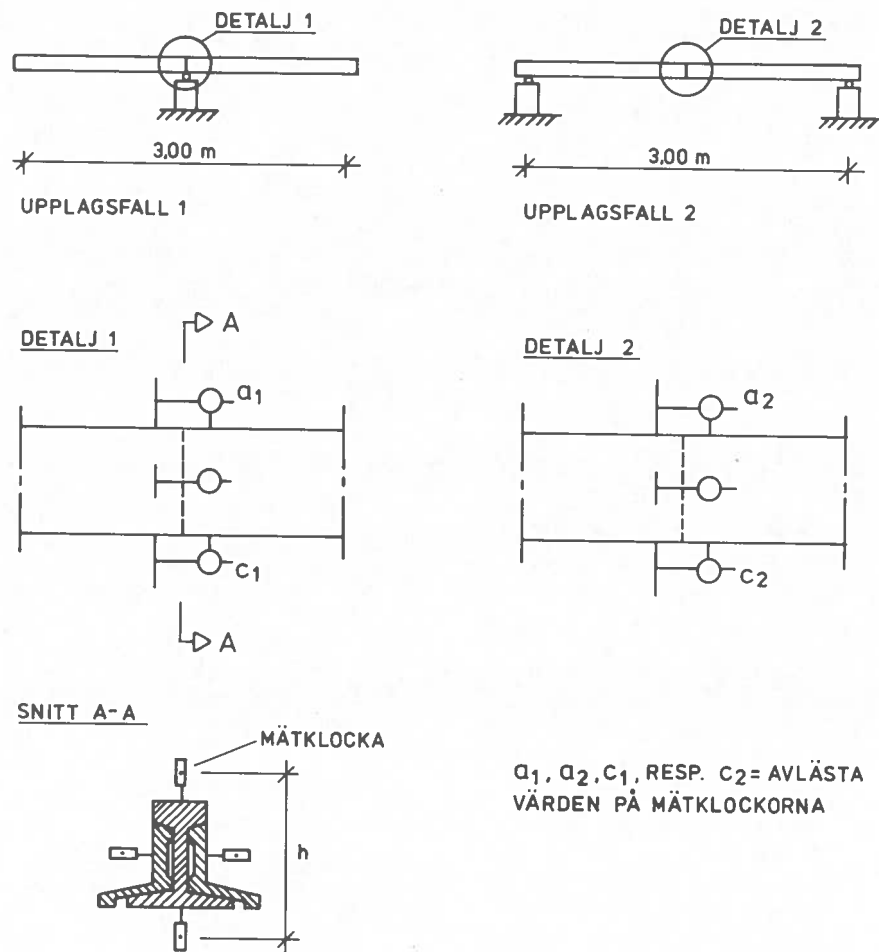
H = rälsens höjd, B = rälshuvudets bredd.

5 BESKRIVNING AV PROVNINGSMETODER

5.1 Provning av initialvinkeländring i skarv

Initialvinkeländring är den vinkeländring, som inträffar i en skarv när denna belastas enbart av påldelens egenvikt.

Vid provningen lades den skarvade pålen upp dels med skarvsnittet beläget mitt emellan två upplag på 3,00 m inbördes avstånd dels på ett stöd placerat mitt under skarvsnittet, enligt Figur 3.



FIGUR 3. Anordning för bestämning av initialvinkeländring i pålskarv.

Equipment for the determination of the changes in initial angle in pile joint.

Mätningen utfördes således vid två olika uppläggningsätt och utfördes för varje påle fyra gånger. För varje gång roterades pålen ett kvarts varv så att mätning skedde med varje elementsida vänd uppåt en gång.

Deformationsmätning skedde med ett mätur placerat på pålelementets översida och ett på dess undersida. Mätlockorna hade mätnoggrannheten 0,01 mm. Vid uppläggning enligt fall 1, upplag vid skarv, balanserades balken till ett horisontalt jämviktssläge, innan mätturen avlästes.

Initialvinkeländringen i radianer beräknas ur uttrycket $(a_1 - a_2 + c_2 - c_1)/2h$ med beteckningar enligt Figur 3.

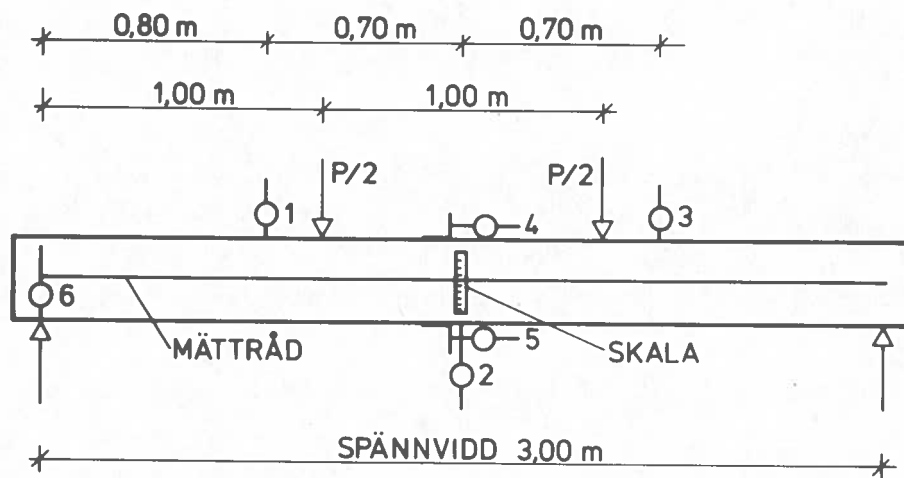
5.2 Böjprovning

Böjprovningen utfördes med pålelementen upplagda på två stöd med ett inbördes avstånd av 3,00 m.

Belastningen påfördes via en belastningsbalk med två centriskt placerade lika stora punktlaster på ett inbördes avstånd av 1,00 m och ett avstånd till närmaste upplag av 1,00 m. Belastningsbalken belastades i sin tur av en centriskt placerad hydrauldomkraft. Lasten kontrollerades med hydraulisk tryckdosa till vilken fanns ansluten två manometrar, en för mätområdet 0-70 kN och en för området 0-250 kN.

Pålelementen belastades genom en stegvis ökning av lasten. Varje steg omfattade 5 kN i laständring hos domkraften. För en del pålar användes i slutet av provningen även laststeget 2,5 kN. För påle nr 10 användes dock laststeget 2 kN genom hela böjprovningen. Ökning av lasten skedde jämnt under 1 minut varefter lasten hölls konstant i 3 minuter. Pålarna trycktes till en maximal nedböjning på ca 100 mm mätt i pålmitt.

Provningsanordningen, som framgår av Figur 4 nedan och bilaga 4:1, innebär att pålelementen vid en last från domkraften av P kN inom mellersta tredjedelen utsätts för ett konstant böjande moment av $0,5 \cdot P$ kNm.



FIGUR 4. Provningsanordning med lastplacering och mätutrustning.

Testing equipment with placing of load and measuring devices.

Deformationerna mättes med hjälp av totalt sex mätur och en mättråd med tillhörande millimeterskala i enlighet med Figur 4. Klockornas mätnoggrannhet var 0,01 mm.

- Tre mätur placerades mot pålelementen, i mittpunkten och 0,70 m på vardera sidan av denna, för att mäta nedböjningen på den mittersta delen om 1,4 m (mätur 1, 2 och 3).
- Två mätur placerades för att mäta skarvens deformation, ett på pålens översida och ett på dess undersida (mätur 4 och 5).
- Ett mätur placerades också vid det ena stödet för att mäta eventuell sammanpressning vid detta (mätur 6).
- Pålelementens totala nedböjning på hela upplagslängden under belastning mättes, förutom med mätur 2, också med hjälp av en mättråd spänd mellan upplagspunkterna. Avläsning skedde på en millimetergraderad skala fastsatt över elementmittpunkten.

Avläsning av mätur och total nedböjning med hjälp av mättråden skedde för varje laststeg, omedelbart efter avslutad laständring samt 3 min därefter, dvs omedelbart före nästa laststegs påförande.

Ur de erhållna mätvärdena har påelementens böjstyvhet räknat på en 1,4 m lång mittdel bestämts enligt följande.

För den aktuella provningsanordningen med ovan angiven lastplacering och lägen för mäturen gäller:

$$M = \frac{P}{2} \quad (5.2 \text{ a})$$

$$f = d_2 - \frac{d_1 + d_3}{2} \quad (5.2 \text{ b})$$

$$EI = \frac{M \cdot 0,7^2}{2 \cdot f} = 0,245 \frac{M}{f} \quad (5.2 \text{ c})$$

där

P = last från domkraft (kN)

M = momentet i påelementet inom tredjedelspunkterna (kNm)

$d_{1,2,3}$ = nedböjning vid mätklockorna 1, 2 och 3 enligt Figur 4

f = nedböjning hos påelementet på delen mellan mäturen 1 och 3 med längden 1,4 m (m)

EI = påelementet böjstyvhet (kNm^2)

6 REDOVISNING AV MÄTRESULTAT

6.1 Uppmätt initialvinkeländring

Initialvinkeländringen i tabell 3 är medelvinkeländringen för de olika upplagsfallen och de olika orienteringarna av pälarna.

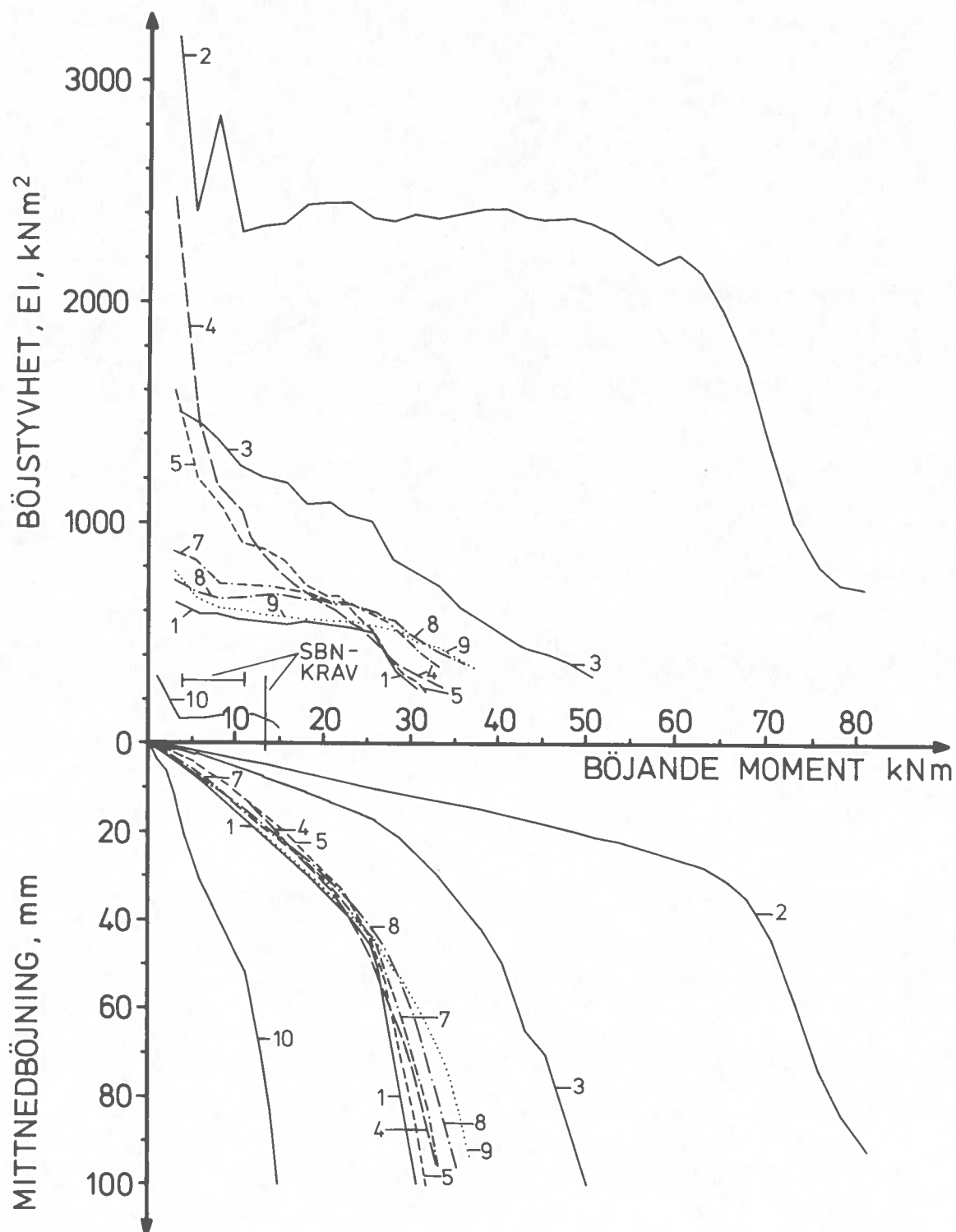
Påle nr	Initialvinkeländring i 10^{-3} radianer				Medel- värde	Anm
	sida vänt uppåt					
	1	2	3	4		
3	0,23	0,22	0,18	0,12	0,19	oslagen
4	0,13	0,09	0,07	0,08	0,09	"
5	0,24	0,16	0,25	0,13	0,20	"
6	0,20	0,12	0,23	0,16	0,18	slagen
7	0,16	0,10	0,13	0,12	0,13	"
8	0,89	1,06	0,90	0,74	0,90	"
10	0,56	0,74	0,57	0,79	0,67	oslagen

TABELL 3. Uppmätta initialvinkeländringar.

6.2 Bøjprovningens resultat

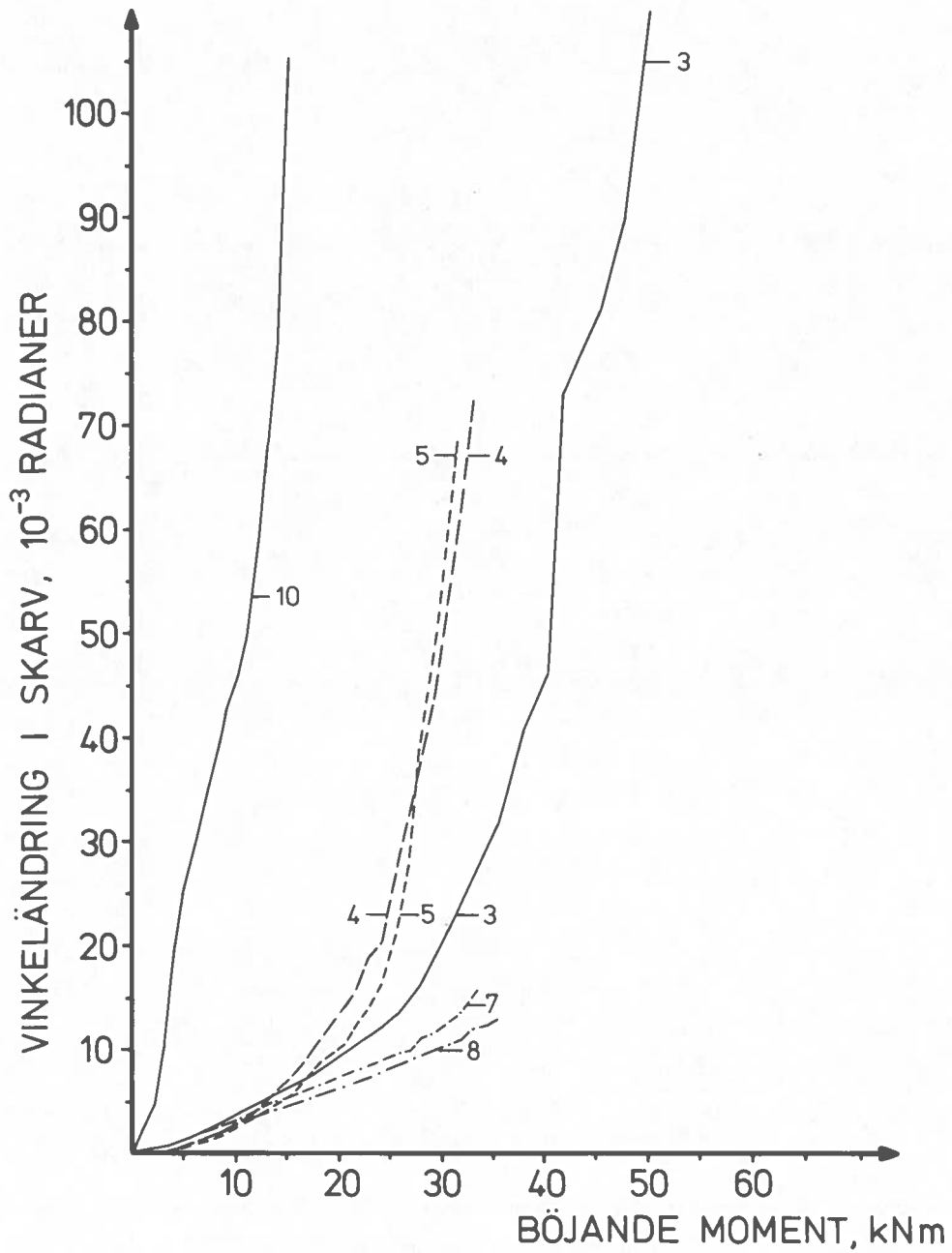
Uppmätta och beräknade värden för respektive bøjprov, enligt kapitel 5.2, redovisas i sin helhet i bilaga 3:1-3:10. I bilaga 4:1-4:9 visas med foton provningsanordning samt pålarnas utseende efter avslutad provning. Nedan redovisas resultatet i diagramform. Således framgår av Figur 5 pålelementens bøjstyvhet och mittpunktsnedbøjning, som funktion av bøjande momentet. I Figur 6 redovisas vinkeländringen över skarv i radianer som funktion av det bøjande momentet. Ökningen av mittpunktsnedbøjningen, under de 3 minuter lasten hölls konstant för varje laststeg, som funktion av bøjande momentet, redovisas i Figur 7.

Redovisad vinkeländring som funktion av moment innehåller ett litet mätfel, eftersom den mätta vinkeländringen inkluderar ett tillskott på grund av bøjning. Vid en nedbøjning av 100 mm i mittpunkten fås denna andel, med den använda placeringen av mätaren, till ca $4,4 \cdot 10^{-3}$ radianer. Denna andel av vinkeländringen härrör således inte från en egentlig vinkeländring i skarvsnittet utan är enbart beroende av bøjningen.



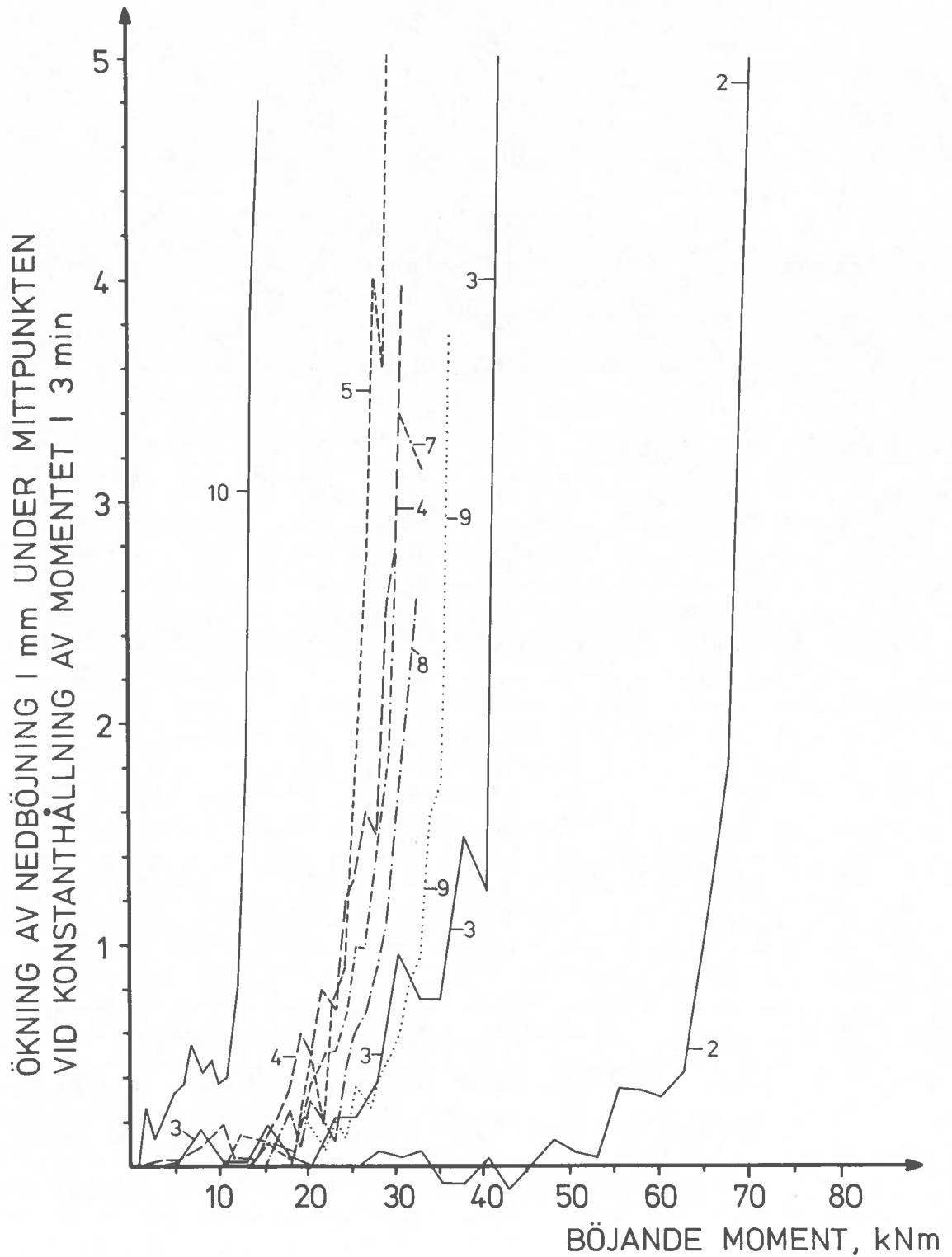
FIGUR 5. Bøjstyhvet och mittnedböjning. Siffror i figuren anger pålnummer, jfr tabell 1. SBN-krav på brottmoment och böjstyhvet är räknat på medelarean för de provade pålarna.

Bending stiffness and middle deflection. The figures in the diagram indicate pile number, cf. tabel 1. The SBN (Swedish Building Code) demands for failure moment and bending stiffness are calculated of the mean area of the tested piles.



FIGUR 6. Vinkeländring i skarv. Siffror i figuren anger pälnummer, jfr tabell 1.

Angle change in the joints at bending test.
The figures in the diagram indicate pile number
cf. table 1.



FIGUR 7. Ökning av mittnedböjning vid konstanthållning av momentet i 3 min. Siffror i figuren anger pålnummer, jfr tabell 1.

Increase of middle deflection at a constant moment during 3 minutes. The figures in the diagram indicate pile number, cf. table 1.

Vid mätningar på en oskarvad påle skulle man vid det använda förfaringssättet således ha mätt en "vinkeländring" i mittpunkten på ca $4,4 \cdot 10^{-3}$ radianer vid 100 mm nedböjning i denna punkt. Vid beaktande av hur stor andel av totalnedböjningen som härrör från vinkeländring i skarv och från böjning har för de provade pålarna den ovan beskrivna andelen av vinkeländringen beräknats till ca $1-3,5 \cdot 10^{-3}$ radianer. Uppmätta slutvärden på vinkeländringen är således på grund av denna effekt maximalt för stora med:

$1 \cdot 10^{-3}$	radianer	för påle nr	3
$2 \cdot 10^{-3}$	"-	"-	4, 5
$3,5 \cdot 10^{-3}$	"-	"-	7, 8
$1,5 \cdot 10^{-3}$	"-	"-	10

6.21 Böjprovningensresultat, provningar utförda av Statens Provninganstalt

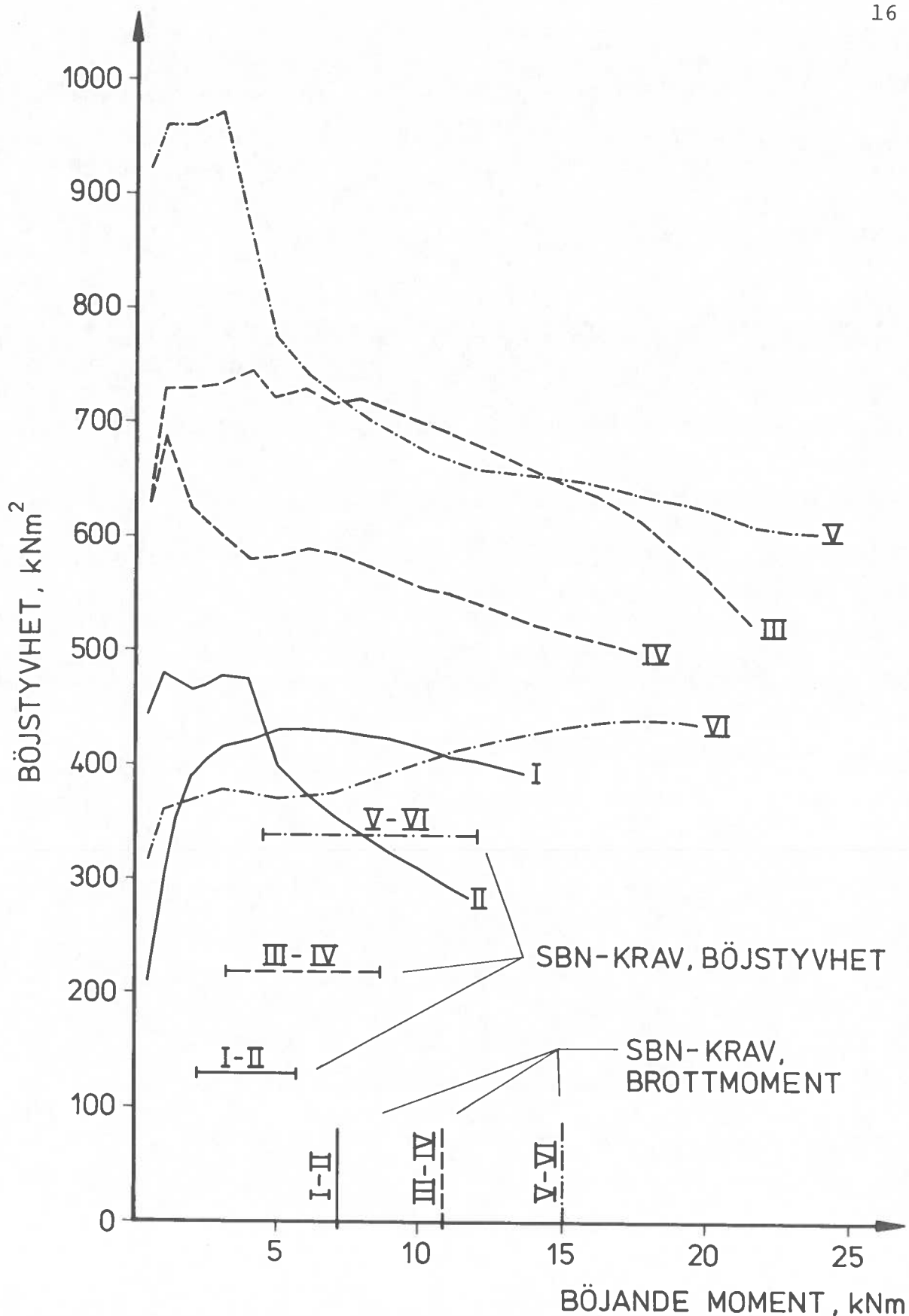
Utöver resultat från provning av pålar enligt tabell 1 redovisas nedan resultat från böjprovningar utförda av Statens Provninganstalt. Denna undersökning omfattar totalt 6 skarvade rälspålar, skarvade med SJ vinkelskarvjärn, enligt tabell 4.

Påle nr	Räl	Nominell vikt kg/m	Verklig vikt (begagnad räl) kg/m
I o II	SJ 27 ny	27,5	25
III o IV	SJ 34	34,0	33
V o VI	SJ 43	43,2	41

TABELL 4. Av Statens Provninganstalt böjprovade pålar.

Pålarna, normenligt slagprovade, böjprovades i den vekaste riktningen - med livet horisontalt. Böjprovningen är utförd i enlighet med Statens Planverks "Godkännanderegler 1975:8" (provning förfarandet beskrivs ovan i kap 5.2). I Godkännandereglererna ingår dock ej mätning av skarvens deformation som funktion av påfört moment.

I Figur 8 redovisas för de tre rälstyperna sambandet mellan påfört böjande moment och den på basis av uppmätta nedböjningar beräknade böjstyvheten EI (kNm^2).



FIGUR 8. Böjstyvhets. Siffror i figuren anger pälnummer, jfr tabell 4. SBN-krav på brottmoment och böjstyvhets är räknat på medelarean för de provade pälarna.

Bending stiffness. The figures in the diagram indicate pile number, cf. tabel 4. The SBN (Swedish Building Code) demands for failure moment and bending stiffness are calculated of the mean area of the tested piles.

7 DISKUSSION AV RESULTAT

7.1 Initialvinkeländring

Uppmätta initialvinkeländringar är små, maximalt $0,90 \cdot 10^{-3}$ radianer (för den slagna pålen nr 8). För fem av de sju skarvade pålarna mättes initialvinkeländringen till högst $0,20 \cdot 10^{-3}$ radianer.

I SBN Godkännanderegler 1975:8 finns inte något maximalt tillåtet värde på initialvinkeländringen angivet, utan det bedöms från fall till fall. Nämnas kan dock att ett tidigare förslag till krav har varit att initialvinkeländringen högst borde uppgå till $1,67 \cdot 10^{-3}$ radianer (1:600).

7.2 Böjprovning

I Svensk Byggnorm (SBN) 1975 anges kraven på böjstyvhet (EI) för spetsburna pålar av stål till:

1. Böjstyvheten i vekaste riktningen, beräknad utan hänsyn till eventuell avrostning, skall uppgå till minst 150 kNm^2 .
2. Stålpåle som slås genom mer än ca 20 m mäktiga lösa jordlager eller genom blockig jord skall ha en böjstyvhet av minst 500 kNm^2 .

I SBN Godkännanderegler 1975:8 anges kraven på böjstyvhet för skarvade stålpålar till:

3. Böjstyvheten hos skarvad påldel skall vid böjprovning inom momentintervallet (12 till 32) $\cdot \sqrt{A^3} \cdot 10^3 \text{ kNm}$ uppgå till minst $125 A^2 \cdot 10^5 \text{ kNm}^2$.
4. Pålskarv skall kunna överföra ett böjande moment av $40 \sqrt{A^3} \cdot 10^3 \text{ kNm}$.

A = Pålens tvärsnittsarea i m^2

För de provade pålarna nr 1-10 (SJ 41) motsvarar kraven under punkt 3 en böjstyvhet av 337 kNm^2 inom momentintervallet 4,5-12,0 kNm, och kravet under punkt 4 ett böjmoment

av 15,0 kNm, allt räknat på den nominella arean 51,9 cm². Medelvärdet av arean för de provade pålarna uppgår till ca 48 cm², vilket skulle ge ca 11% lägre moment och ca 15% lägre böjstyvhet än ovan (Figur 5).

Vid en jämförelse mellan ovan angivna krav och böjstyvhetskurvorna enligt Figur 5 framgår att de provade pålarna nr 1-9 väl uppfyller kraven. Böjstyvheten för påle nr 10 är däremot betydligt lägre än gällande krav. Påle nr 10 var försedd med skarv av två plattstål enligt Figur 2 medan skarvar bland pålarna nr 1-9 var utförda med vinkelskarvjärn enligt bilaga 2:7.

Ur böjstyvhetskurvorna (Figur 5) framgår att böjstyvheten är avsevärt lägre för skarvad påle än för oskarvad vid böjprovning i styva leden. I veka leden erhöles ingen reducerad böjstyvhet för de skarvade pålarna jämfört med oskarvad påle, skarven tycks snarare medföra en ökning i böjstyvhet. Böjstyvhetskurvorna visar också att slagningen tycks påverka styvheten som funktion av momentet för de skarvade pålarna genom att kurvorna för de slagna pålarna får en flackare lutning än för de oslagna, (böjprovning i veka leden). Förhållandet att de oslagna pålarna (4 och 5) varit försedda med längre vinkelskarvjärn än de slagna pålarna kan också ha bidragit till skillnaden i kurvornas utseende. Vid ett böjmoment av ca 25 kNm och en styvhet av ca 600 kNm² skär kurvorna för de oslagna och slagna pålarna varandra. Dvs för moment under 25 kNm uppvisar de oslagna pålarna en större böjstyvhet än de slagna, för moment över 25 kNm kan det motsatta förhållandet skönjas.

Vinkeländringen i skarv som funktion av momentet framgår av Figur 6. Kurvorna visar att man för samtliga pålar skarvade med vinkelskarvjärn har en linjär ökning av vinkeländringen upp till minst ca 15 kNm. Den provade skarven skall enligt kraven kunna överföra ett böjande moment av 15,0 kNm, vilket också uppnås innan någon påle visar en accelererande vinkeländring i skarv. De slagna pålarna nr 7 och 8 visar inga

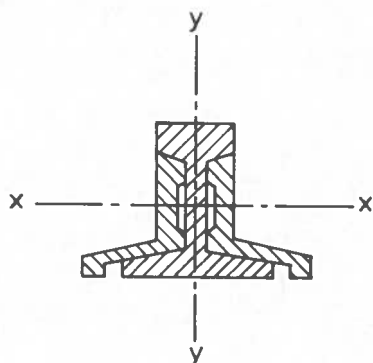
tecken på en accelererande vinkeländring, medan de oslagna pålarna nr 4 och 5 visar en allt kraftigare ökning av vinkeländringen efter ett böjmoment av ca 15 kNm. Pålarna nr 4, 5, 7 och 8 är samtliga böjprovade i veka ledan. Den kraftiga låsningen av skarvmuttrarna för de slagna pålarna nr 7 och 8 kan vara skälet till att dessa har en lägre vinkeländring än de oslagna pålarna. Huruvida slagningen påverkat skarven i detta avseende är därför osäkert.

I Figur 7 har ökningen i mittpunktsnedböjningen i mm under de tre minuter lasten hölls konstant för varje laststeg redovisats som funktion av böjande moment. För påle nr 1 utfördes endast mätningar 3 min efter påfört laststeg varför pålen saknas i denna redovisning. Dessa kurvor är framtagna eftersom de tycks ge ett säkrare bedömningsunderlag, då det gäller att bedöma skarvens verkningssätt. Ur kurvorna kan ett "krypmoment" utvärderas som för påle nr 2-9 överstiger kravet på skarvens momentöverföring (=15,0 kNm). Påle nr 10 (skarvad med plattstål) förmår däremot ej överföra erforderligt moment (jfr Figur 5).

Böjprovningensresultaten från provningar utförda av Statens Provningsanstalt (Figur 8) visar att samtliga pålar I-VI uppfyller ställda krav med avseende på böjstyvhet och brottmoment. Gällande krav på brottmoment och böjstyvhet redovisas i Figur 8. Dock är böjstyvheten för påle VI förhållandevis låg jämfört med dels påle V dels med teoretiska värden. Samtliga skarvar för påle I-VI var efter avslutad provning helt intakta.

Böjstyvheten bestämd från böjprovningensresultat jämförs nedan med teoretiska böjstyvheter. Den teoretiska böjstyvheten har beräknats dels för oskarvad sektion, dels för själva skarvsnittet. Skarvens böjstyvhet (sammanlagda böjstyvheten av de två skarvjärnen) har beräknats dels kring rälens tyndpunktsaxlar, dvs full samverkan antas råda mellan räl och skarvjärn, dels kring skarvjärnens egna tyngdpunktsaxlar (dvs utan samverkan). För beräkning av böjstyvheten

(EI) har elasticitetsmodulen (E) satts till $2,1 \cdot 10^8$ kPa.



FIGUR 9. Tvärsnitt av skarv
Cross sektion of a jointed rail.

Räl/skarv	EI_x (kNm ²)	EI_y (kNm ²)
Räl SJ 41 (obegagnad)	2670	630
Räl SJ 41 (provad sektion, medelvärde)	2350	615
Vinkelskarvjärn (bilaga 2:7): skarv med full samverkan	1440	3380
skarv utan samverkan	1040	1020
skarv av plattstål (20x60x500 mm): med full samverkan	180	150
utan samverkan	150	20

TABELL 4. Teoretiska böjstyvheter för räl SJ 41.

Teoretiska böjstyvheter för räl + skarvjärn erhålls genom addering av de enskilda värdena för räl och skarv.

För pålar med vinkelskarvjärn är sålunda den teoretiska böjstyvheter i veka leden lägst för rälen oavsett graden

av samverkan i skarvförbandet. Provningarna har också visat att skarven har bidragit till att höja böjstyvheten för pålen i denna provningsriktning, omvända förhållandet råder i styva leden.

För pålar med skarv av plattstål är skarvsnittet beräkningsmässigt pålens svagaste punkt. Böjprovningresultatet från påle nr 10 visar också en avsevärt lägre böjstyvhet för den skarvade pålen jämfört med oskarvad påle.

Ur böjstyvhetskurvorna, Figur 5, kan den genom böjprovning bestämda böjstyvheten utvärderas till värden som anges i tabell 5.

/Påle, räl SJ 41/skarvtyp/	EI_x (kNm ²)	EI_y (kNm ²)
Oskarvad påle	~2400	~600
Skarvad påle (vinkel-skarvjärn)	1400-800	800-600 (slagen påle) 1500-600 (oslagen påle)
Skarvad påle (plattstålskarv)	-	~120 (oslagen påle)

TABELL 5. Böjstyvheter utvärderade från provningsresultat.

Angivet böjstyvhetsintervall för skarvad påle har utvärderats inom ett momentintervall upp till "krypmomentet" enligt Figur 7.

För oskarvad påle stämmer teoretiska böjstyvheten väl med böjstyvheten för böjprovningarna.

Motsvarande jämförelse för skarvad påle kan inte göras lika enkelt, eftersom de teoretiska och provade värdena inte är direkt jämförbara. Böjstyvheten framtagen från böjprovningarna är beräknad på 1,4 m mittdel och omspanner således ett område större än skarvjärnens längd. Trots detta erhålls relativt god överensstämmelse mellan böjstyvheter för

skarvad påle i styva leden. Den mindre goda överensstämmelsen i veka leden torde bero på att själva rälen är den svaga punkten, och denna ingår till en del ensam i den påddel varur böjstyvheten beräknats utifrån provningsresultaten. Vilken grad av samverkan mellan de olika skarvdelarna som råder är inte helt klart, men den torde vara relativt god.

Förutom den provade skarvtypen bestående av två vinkel-skarvjärn utför SJ skarvning av räler med olika plattskarvjärn. I bilaga 2:5 visas ett plattskarvjärn avsett för räl SJ 43.

Teoretiska beräkningar av böjstyvheter för räls och skarvsnitt redovisas i tabell 6-8.

Räl	Nominell area (cm ²)	EI _x (kNm ²)	EI _y (kNm ²)
SJ 50	63,7	4320	740
SJ 43	55,0	2740	640
SJ 41	51,9	2670	630
SJ 34	43,4	2040	430
SJ 27 ny	35,1	1170	260

TABELL 6. Teoretiska böjstyvheter för räler.

Räl	EI _x skarvsnitt kNm ²		EI _y skarvsnitt kNm ²	
	ingen samverkan	full samverkan	ingen samverkan	full samverkan
SJ 50	150	180	20	160
SJ 43	150	210	20	160
SJ 41	150	180	20	150
SJ 34	150	190	20	150
SJ 27 ny	150	160	20	140

TABELL 7. Teoretiska böjstyvheter för skarv utförd med två plattstål 20 x 60 x 500 mm (Figur 2).

Räl	Skarv	EI_x skarvsnitt kNm ²		EI_y skarvsnitt kNm ²	
		ingen sam- verkan	full sam- verkan	ingen sam- verkan	full sam- verkan
SJ 50	pl(bil 2:2)	1080	1140	60	920
SJ 43	v1(bil 2:4)	1030	1930	820	2980
	pl(bil 2:5)	470	540	30	570
SJ 41	v1(bil 2:7)	1050	1440	1020	3380
SJ 34	v1(bil 2:9)	970	1430	760	2280
SJ 27 ny	v1(bil 2:11)	580	800	260	1200

TABELL 8. Teoretiska böjstyvheter för skarv av vinkelskarv-
järn (v1) och plattskarvjärn (pl).

Kravet på påles böjstyvhet enligt SBN 1975:8 är att skarvad påldel skall ha en böjstyvhet av minst $125 A^2 \cdot 10^5$ kNm², där A = pålens tvärsnittsarea i m².

Räl	EI , Krav enligt SBN 1975:8 kNm ²
SJ 50	507
SJ 43	378
SJ 41	337
SJ 34	235
SJ 27 ny	154

TABELL 9. Böjstyvhetskrav enligt SBN 1975:8.

Skarv av vinkelskarvjärn av originaltyp medför ingen försvagning av pålen enligt de teoretiska beräkningarna. Provingarna visar också att böjstyvheten för skarvade pålar ökar något i förhållande till oskarvade (böjprovning i veka leden).

Rälsskarv utförd med plattskarvjärn enligt bilaga 2:3 kan inte med säkerhet förväntas uppfylla ställda krav på böjstyvhet. De teoretiska beräkningarna visar att graden av samverkan mellan skarvjärn - räler blir avgörande för om böjstyvhetskarvet skall kunna uppfyllas. De utförda provningarna tyder på att samverkan mellan skarvdelarna är relativt god (dvs skarven fungerar som en enhet och böjning sker kring rälens tyngdpunktsaxel), vilket i så fall kan innebära att även skarv av plattskarvjärn skulle kunna uppfylla ställda böjstyvhetskrav. Är däremot samverkan mindre god torde kraven underskridas.

De teoretiska beräkningarna visar att skarv utförd med två plattstål (20 x 60 x 500 mm) inte uppfyller böjstyvhetskravet oavsett graden av samverkan i skarven. Resultatet från böjprovning av påle nr 10 visar också detta klart.

8 SLUTSATSER

Provad rälspåle SJ 41 med skarv av vinkelskarvjärn SJ 41 enligt bilaga 2:7 uppfyller väl gällande normkrav med avseende på böjstyvhet och momentöverföringskapacitet. Uppmätta initialvinkeländringar för den provade skarven ligger också klart inom acceptabel nivå.

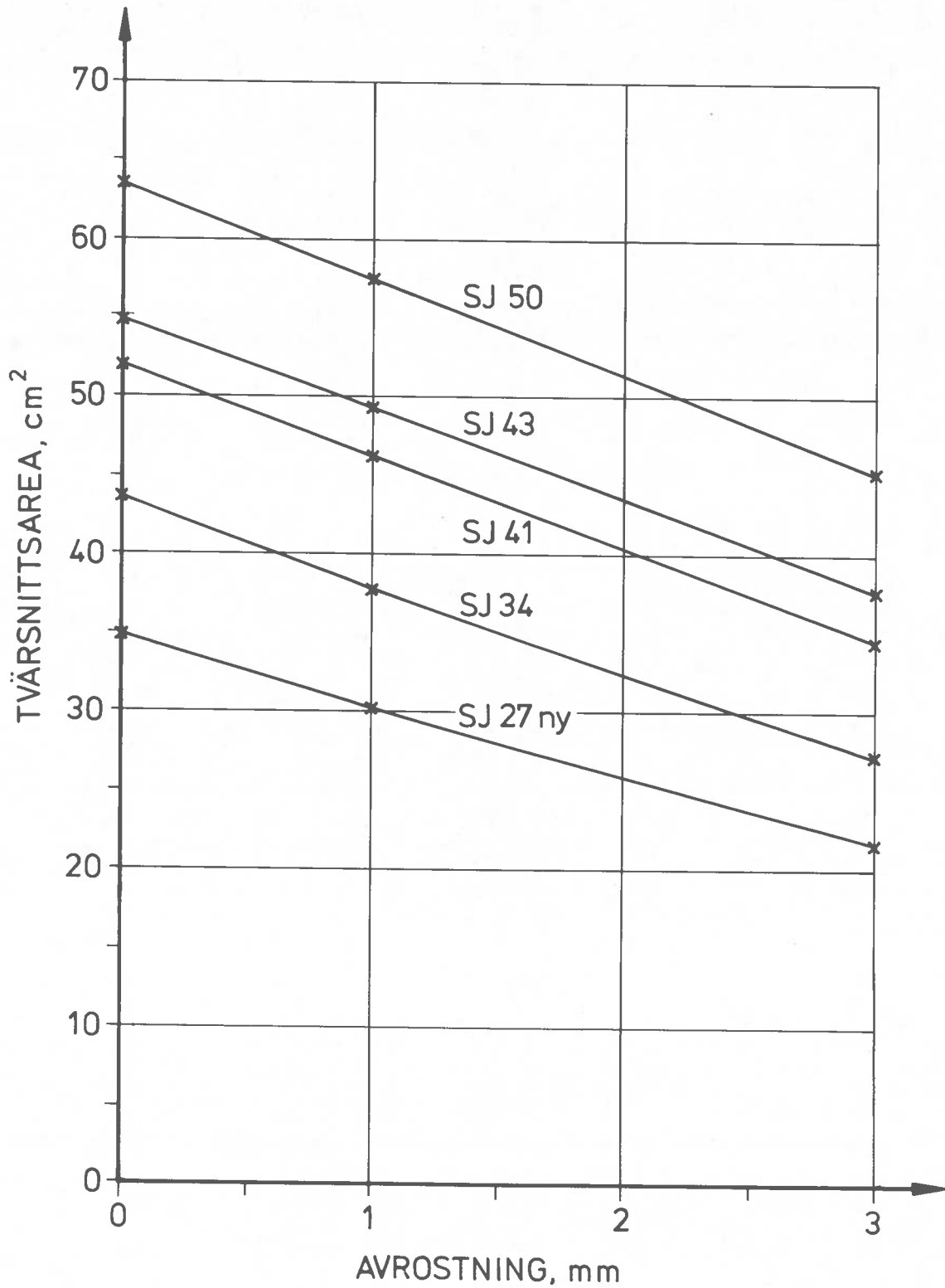
Av Statens Provningsanstalt provade pålar SJ 27 ny, SJ 34 och SJ 43 skarvade med vinkelskarvjärn uppfyller också gällande normkrav.

Rälspålar av annan dimension än de provade skarvad med vinkelskarvjärn kan förväntas ge likartade provningsresultat.

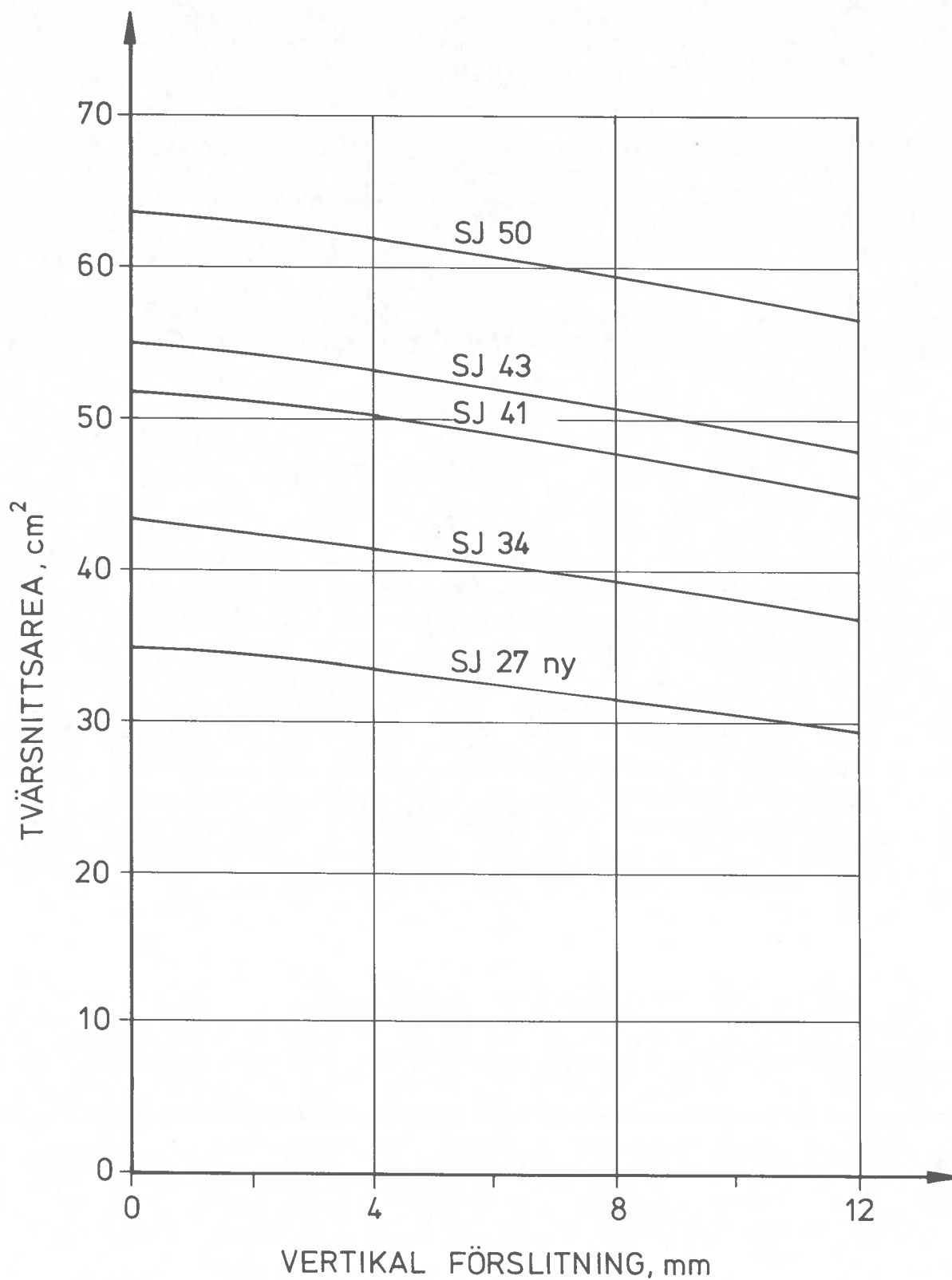
Rälspålar skarvade med SJ plattskarvjärn av typ enligt bilaga 2:5 kan inte med säkerhet förväntas uppfylla ställda krav. Om skarv av denna typ avänds bör provningar företas för att fastställa om denna skarvtyp om möjligt kan uppfylla ställda krav.

Provad rälspåle SJ 41 med skarv av två plattstål, 20 x 60 x 500 mm i enlighet med Mark AMA 72, (Figur 2) uppfyller inte ställda krav på böjstyvhet och momentöverföringskapacitet. Uppmätta initialvinkeländringar ligger dock inom godtagbar nivå. Rälspålar av annan dimension än den provade skarvad med plattstål kan förväntas ge likartade provningsresultat.

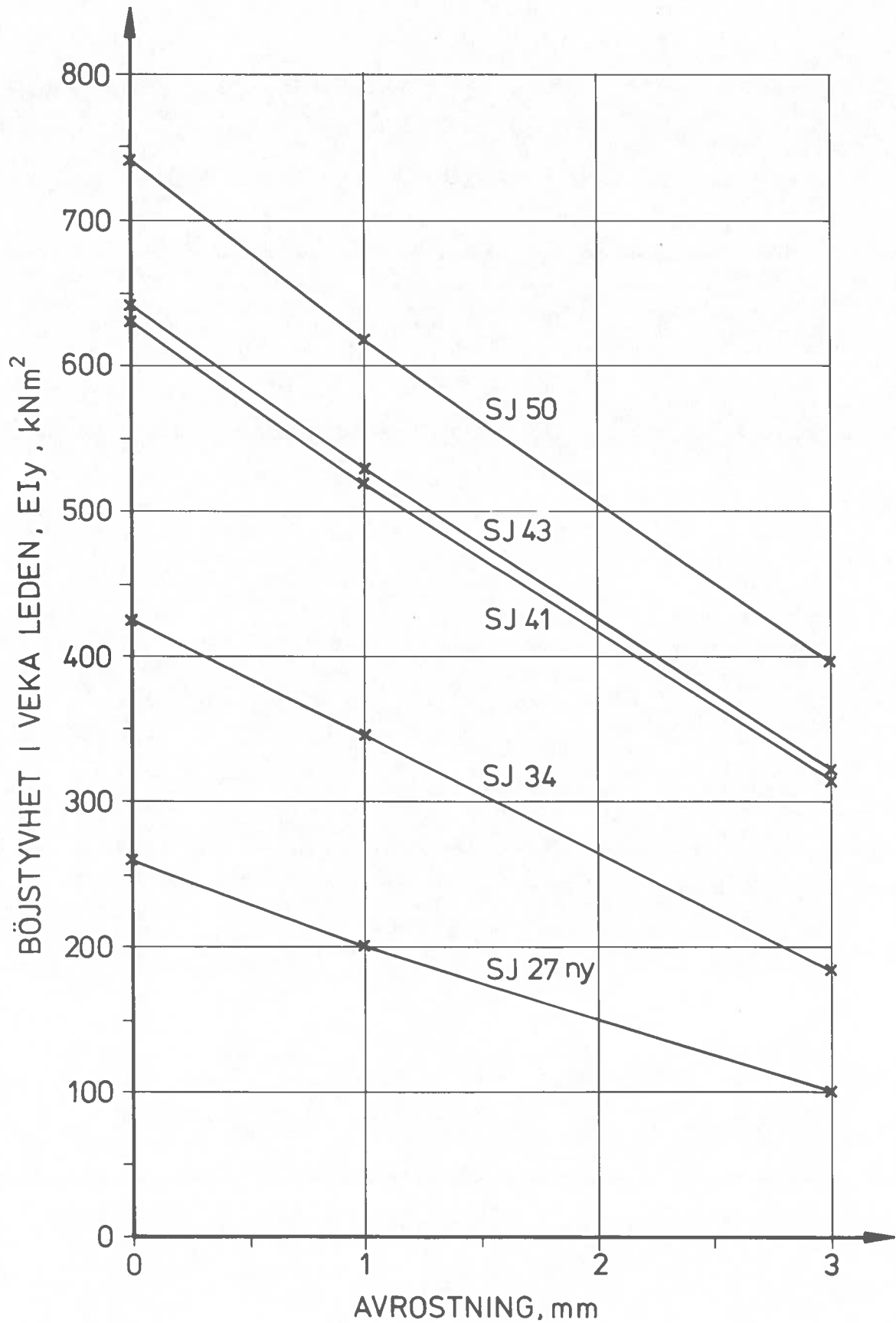
RÄLERS TVÄRSNITTSAREA SOM FUNKTION AV
AVROSTNING (AVROSTNINGEN JÄMNT FÖR-
DELAD RUNT PERIMETERN).

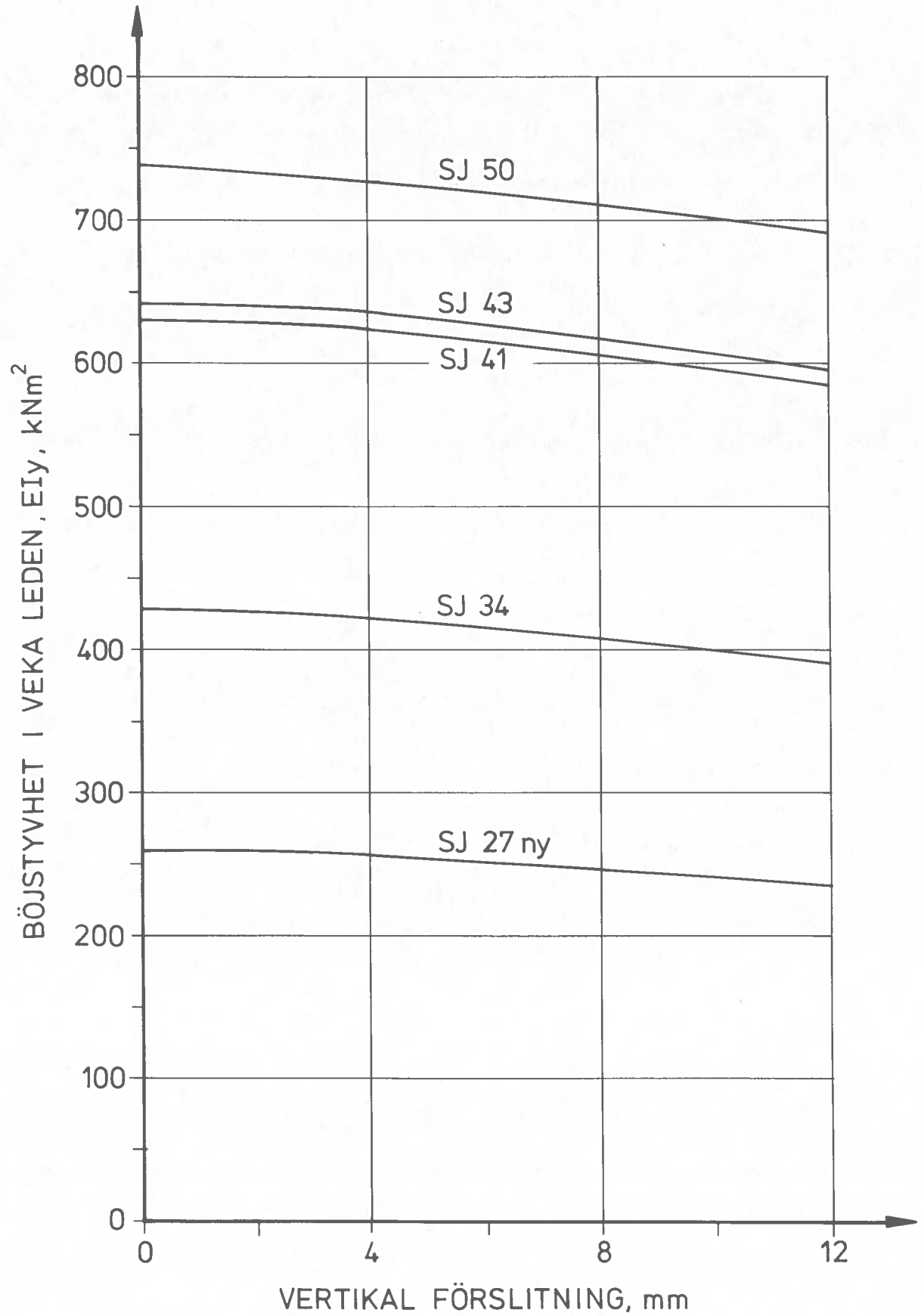


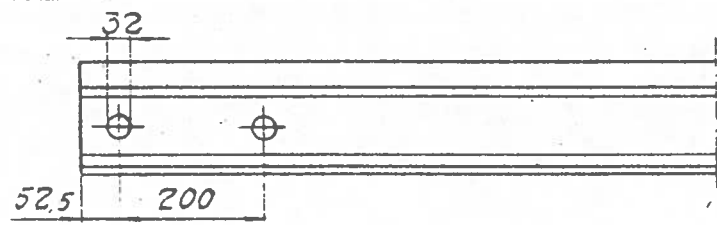
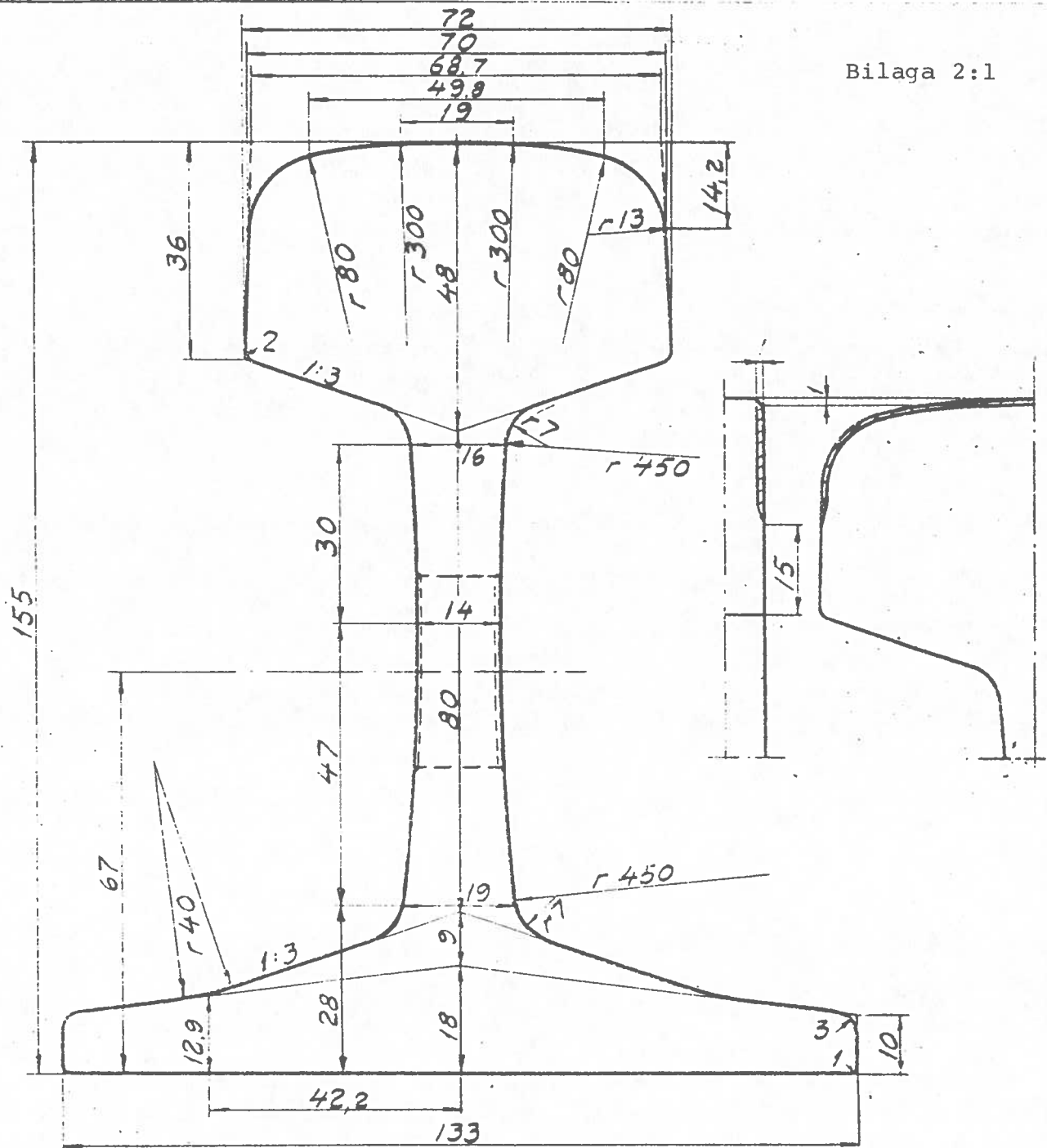
RÄLERS TVÄRSNITTSAREA SOM FUNKTION
AV VERTIKAL FÖRSLITNING.



RÄLERS BÖJSTYVHET SOM FUNKTION AV
AVROSTNING (AVROSTNINGEN JÄMNT FÖR-
DELAD RUNT PERIMETERN).



RÄLERS BÖJSTYVHET SOM FUNKTION
AV VERTIKAL FÖRSLITNING.



Hålen skall ha lätt avfasade kanter

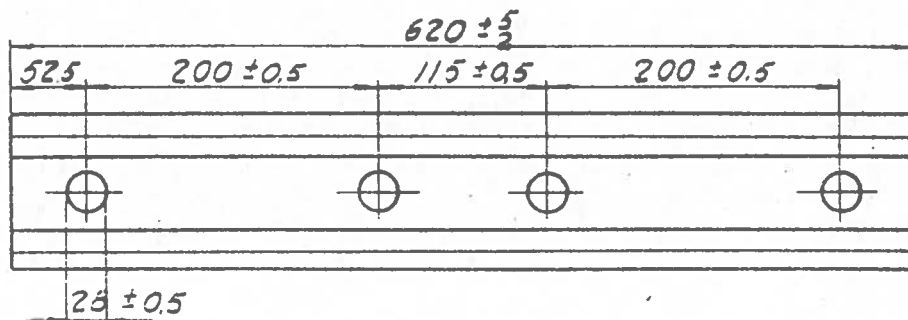
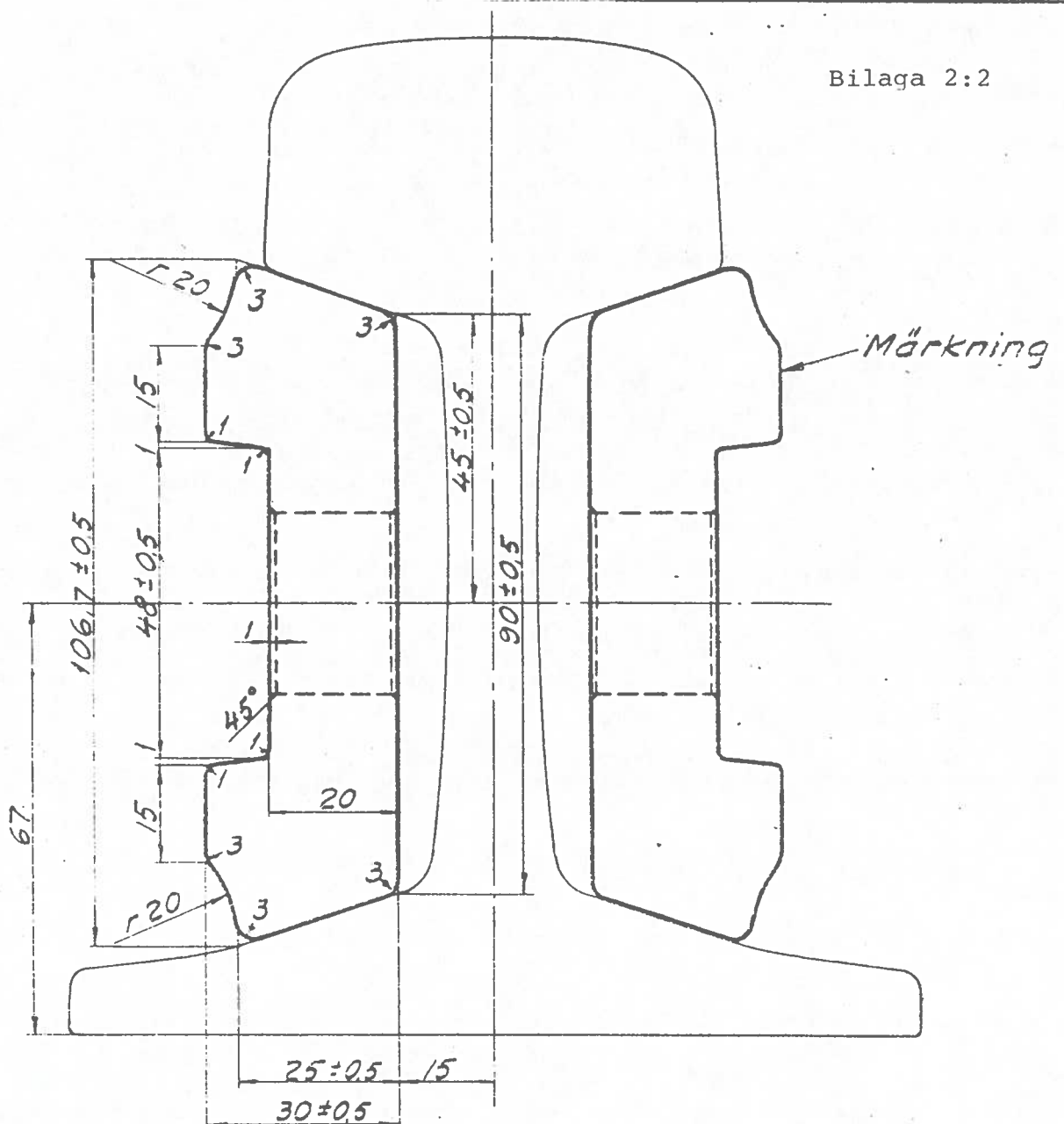
Vikt pr m	50 kg		
Area	63,7 cm ²	pl	3373
Troghetsmom	$I_x = 2046 \text{ cm}^4$, $I_y = 337 \text{ cm}^4$	pl	44193
3-ormotstånd	$W_x = 258 \text{ cm}^3$, $W_y = 50,7 \text{ cm}^3$	Skarvjärn	Ritn A nr



RÄL SJ50


CD Å P K O N T O P E T

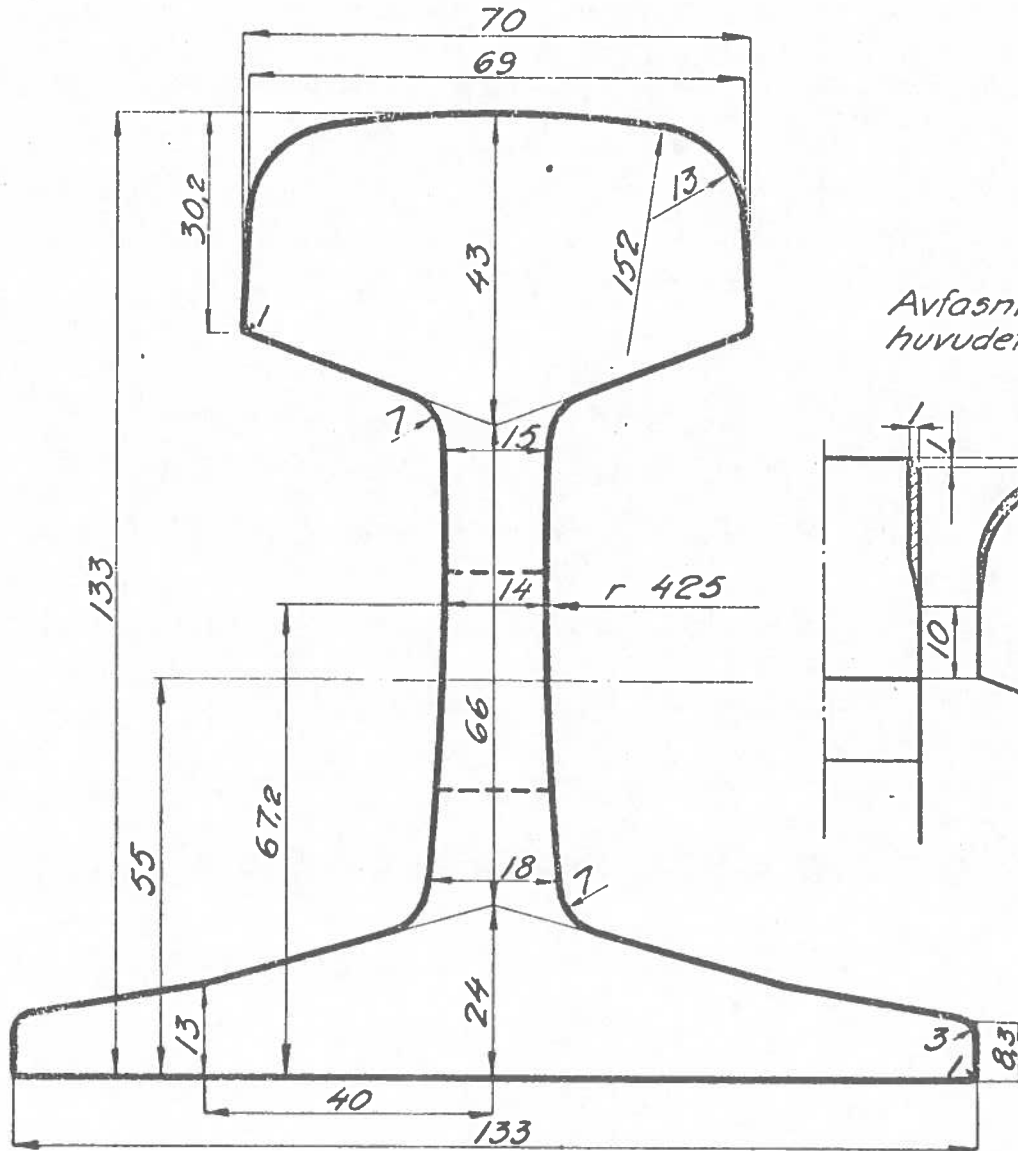
Skala	Konstr.	Ritad	Gransk.
1:1			
Stockholm 14.2		1972	
<i>Boel Sköder</i>			
Ändring	A		
A 3304			



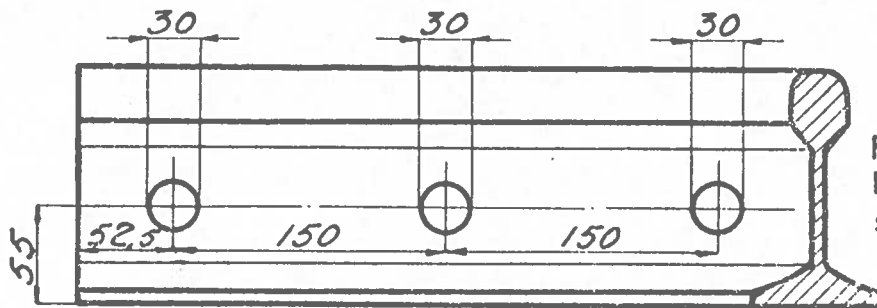
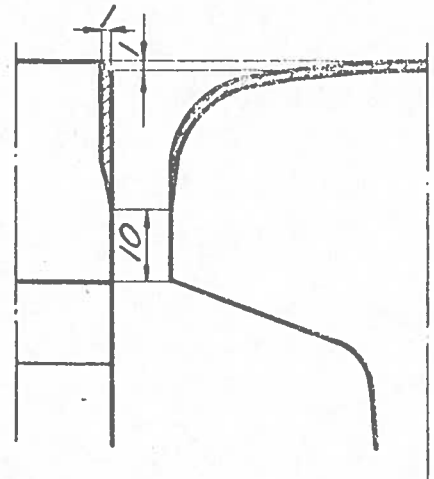
BILDKORT 4838

Vikt pr st	11,3 kg	
Tröghetsmom	$I_x = 255,8 \text{ cm}^4$, $I_y = 14,2 \text{ cm}^4$	
Böjmotstånd	$W_x = 48 \text{ cm}^3$, $W_y = 8,9 \text{ cm}^3$	Räl SJ50
		Ritn A nr 3394

 CENTRAL-FORVALT-NINGEN BANAVDEL-NINGEN	SKARVJÄRN SJ50	Skala 1:1 1:5	Konstr.	Ritad	Gransk.
		Stockholm 14.2		1972	
		<i>Wend Schäfer</i>			
	SPÄRKONTORET	Ändring			
		A 44193			



Avfasning av räls-
huvudet vid ändarna.



Hålen skall
ha lätt avfa-
sade kanter

		vl, L=800 mm	1948
		vl, L=800 » avtagen fot	3328
Vikt pr m	43,2 kg	vl, L=915 »	3621, 3596, 1949
Area	55 cm ²	vl, L=800 » utan spikhål	1975
Tröghetsmom	1310 cm ⁴	vl, L=915 » begagnade reviderade	4451
Motståndsmom	189 cm ³	Skarvjärn	Ritn A nr



CENTRAL-
FORVALT-
NINGEN
BANAVDEL-
NINGEN

RÄL SJ43

SPÄRKONTORET

Skala 1:1	Konstr.	Ritad	Grans.
1:4			

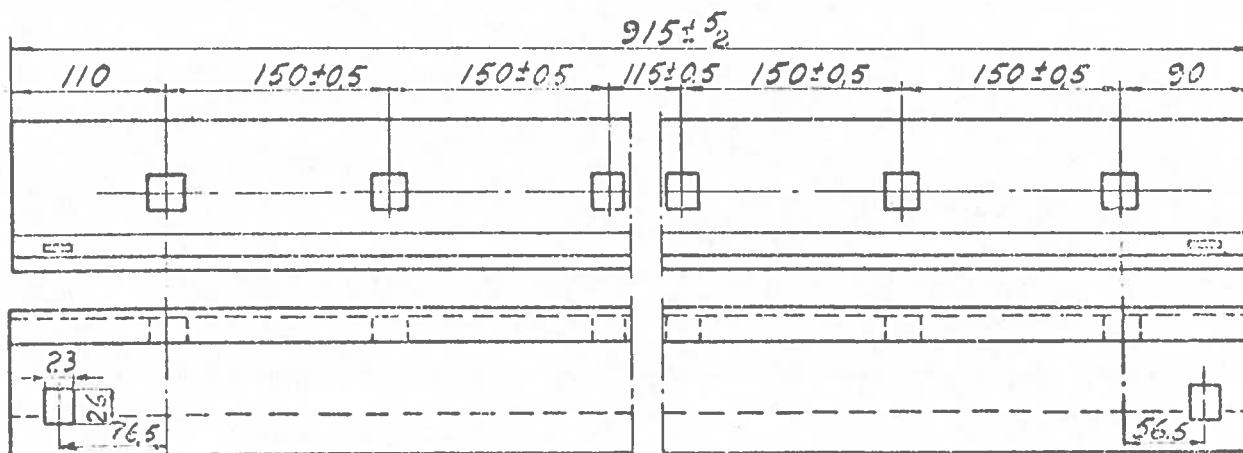
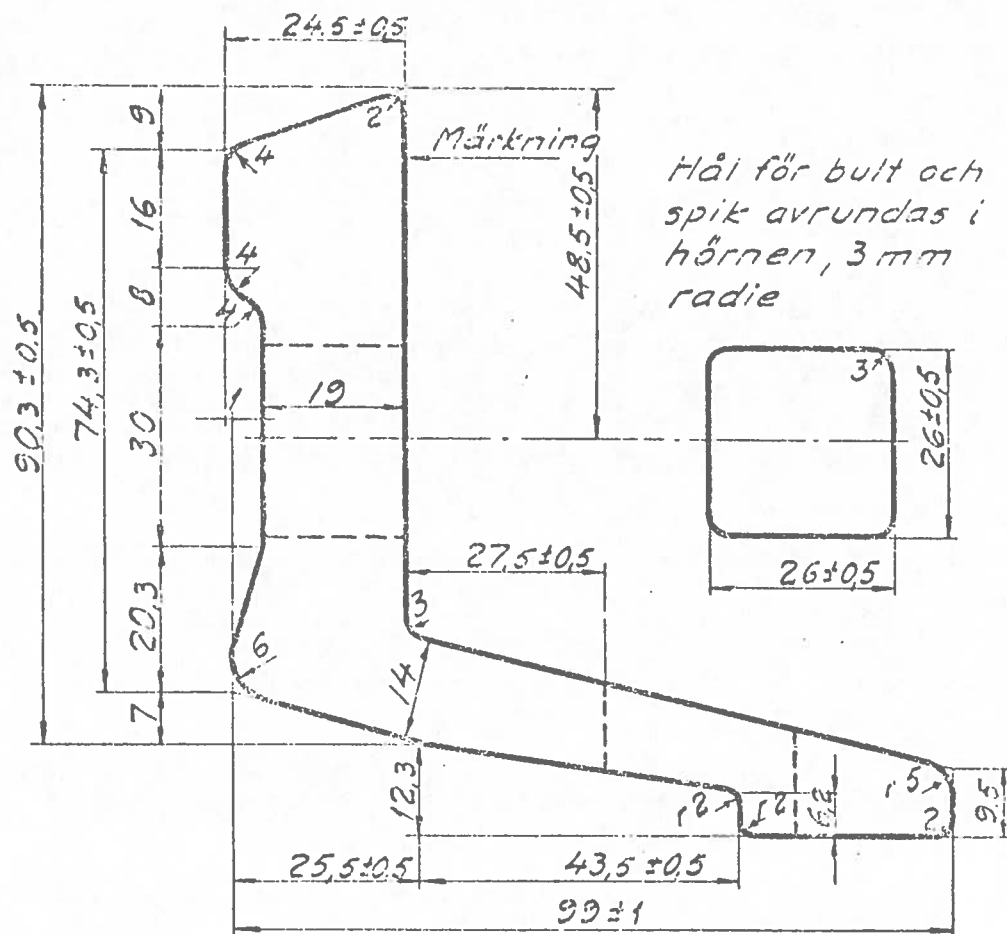
Stockholm


1968

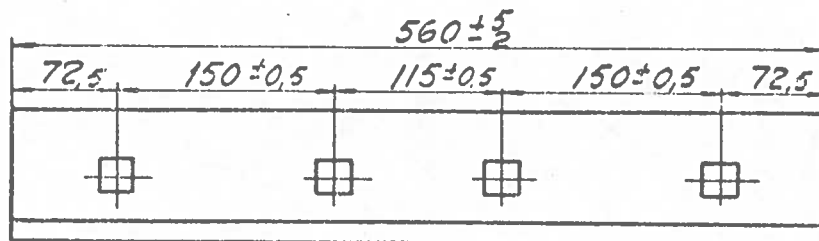
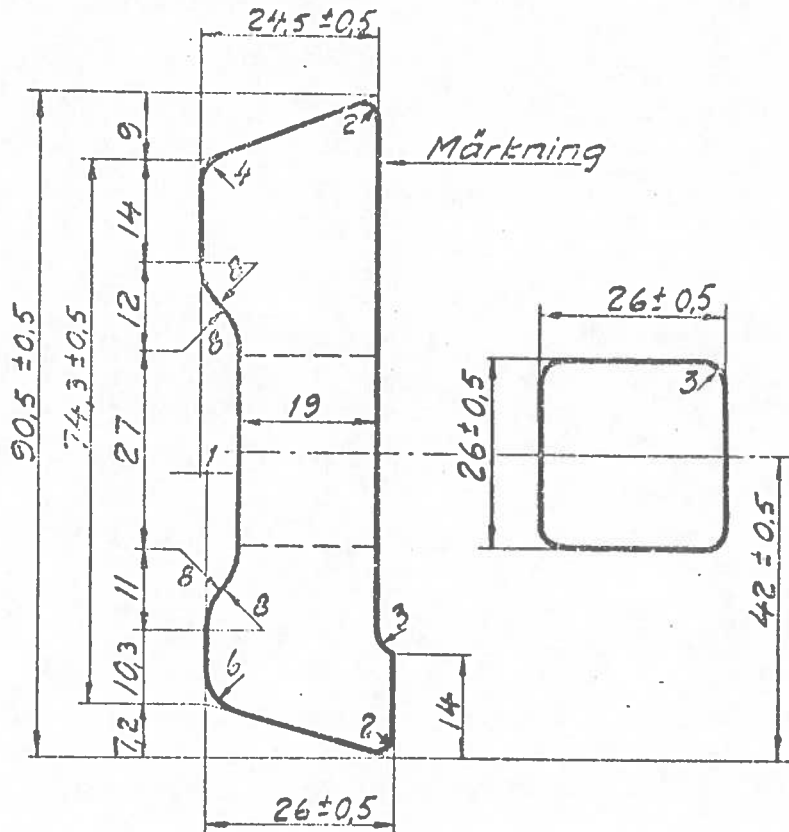
Henrik Söder

Ändring A


A 1914

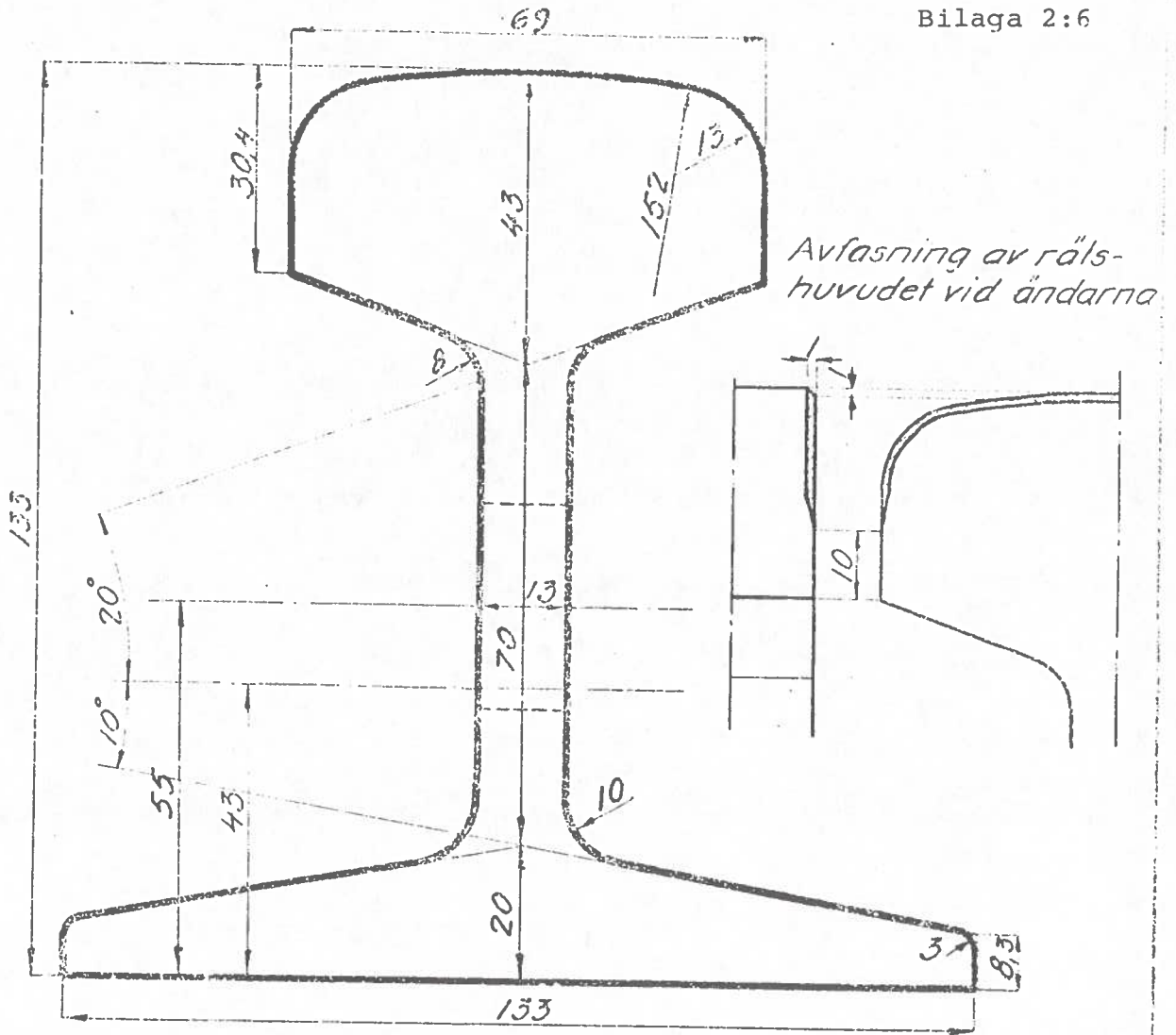


Vikt pr st	18,6 kg				
Tröghetsmom	245,96 cm ⁴				
Böjmotstånd	39,17 cm ³	Räl SJ43	Ritn A nr 1914		
 CENTRAL-FÖRVALT-NINGEN BANAVDEL-NINGEN	SKARVJÄRN SJ43 SPÅRKONTORET	Skala 1:1	Konstr.	Risad	Gransk.
		1:5			
		Stockholm 2.11.1971			
		Överförhåder Ändring A			
		A 1949			

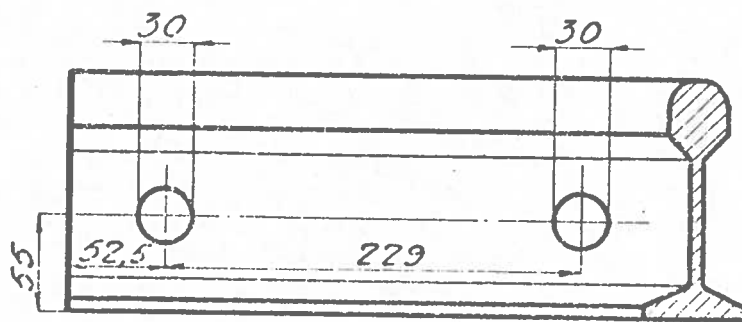


Vikt pr st	7,6 kg	
Tröghetsmom.	111 cm ⁴	
Böjmotstånd	24,9 cm ³	Räl SJ43
		Ritn A nr 1972

 CENTRAL-FÖRVALT-NINGEN BANAVDEL-NINGEN	SKARVJÄRN SJ43	Skala 1:1 1:5	Konstr.	Ritad	Gransk.
		Stockholm 2.11.1971 <i>Wend Ströder</i>			
		Ändring	A		
SPÅRKONTORET		A 3359			



*Avfasing av räls-
huvudet vid ändarna*



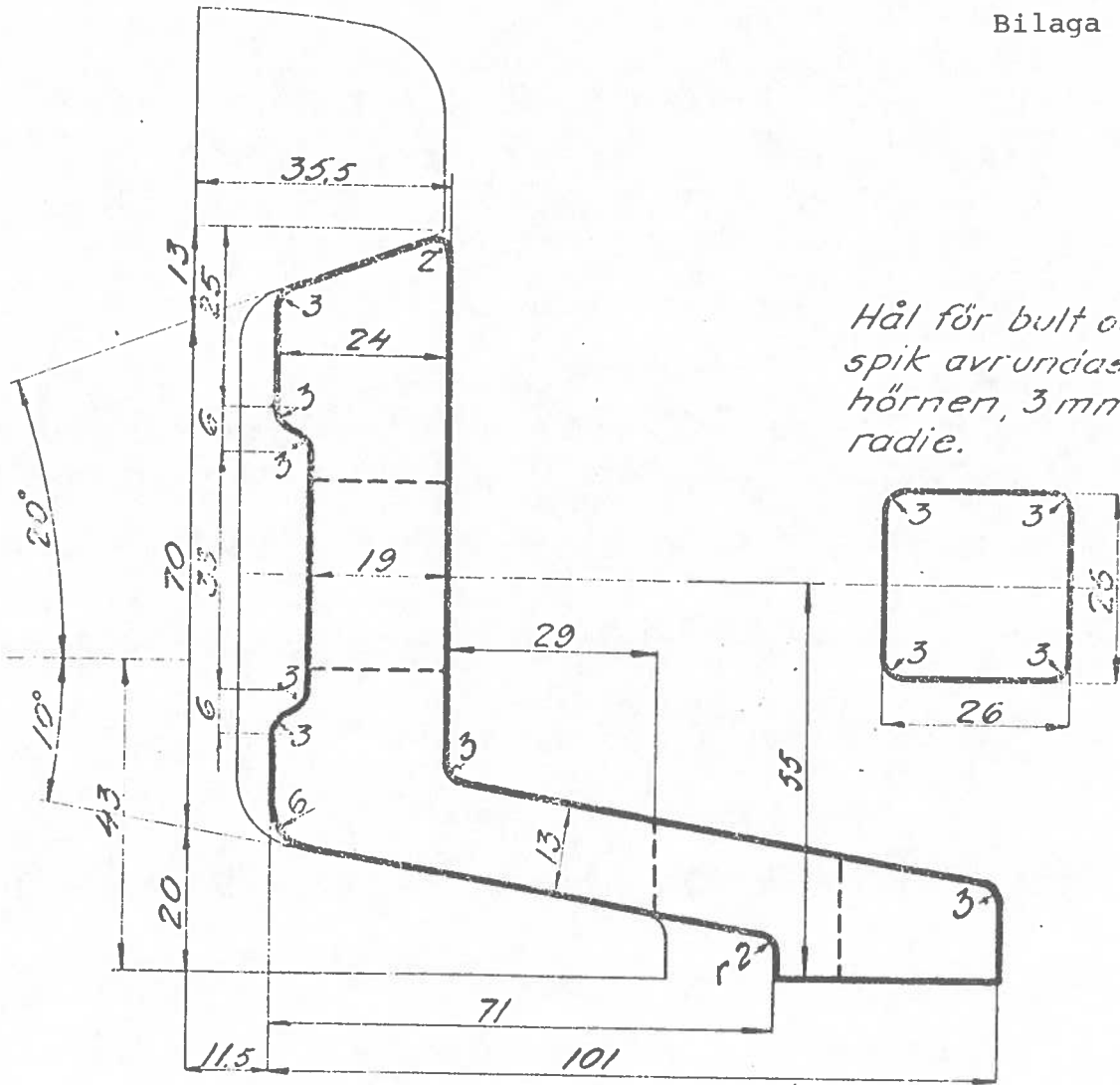
Vikt pr m	41,18 kg	vl nr 243	1425
Area	51,9 cm ²	vl	1443
Tröghetsmom	1270 cm ⁴	pl	3239, 3519
Motståndmom	189 cm ³	vl begagnade, reviderade	4386
		Skarvjärn	Ritn A nr

SJ
CENTRAL-
FÖRVALT-
NINGEN
BANA-
VÄRKEN

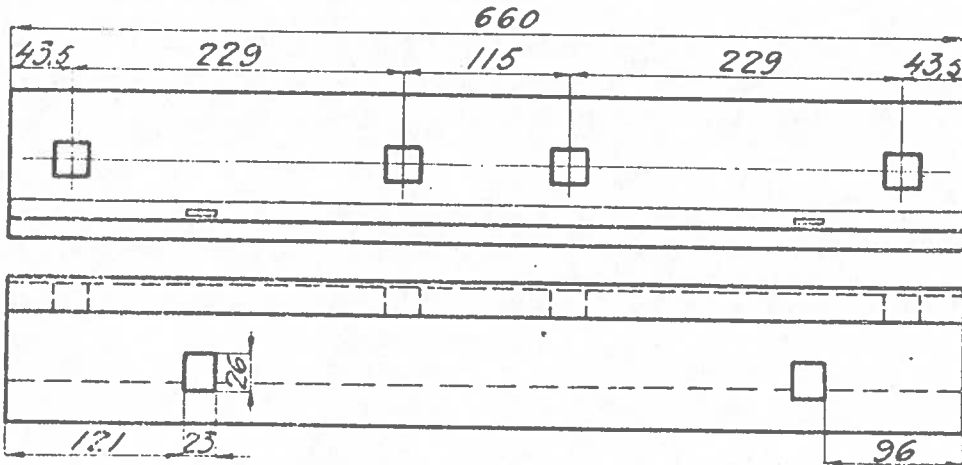
RÄL SJ41

SPÅRKONTORET

Skala 1:1 1:4	Konstr.	Ritad	Gransk.
Stückheim	1968		
Hendrik Häder			
Ändrad			
A 2020			



Hål för bult och spik avrundas i hörnen, 3 mm radie.



Vikt pr st	14,4 kg	
Tröghetsmoment	248,72 cm ⁴	
Motståndsmom.	40,21 cm ³	Räl SJ41

Ritn A nr 2020

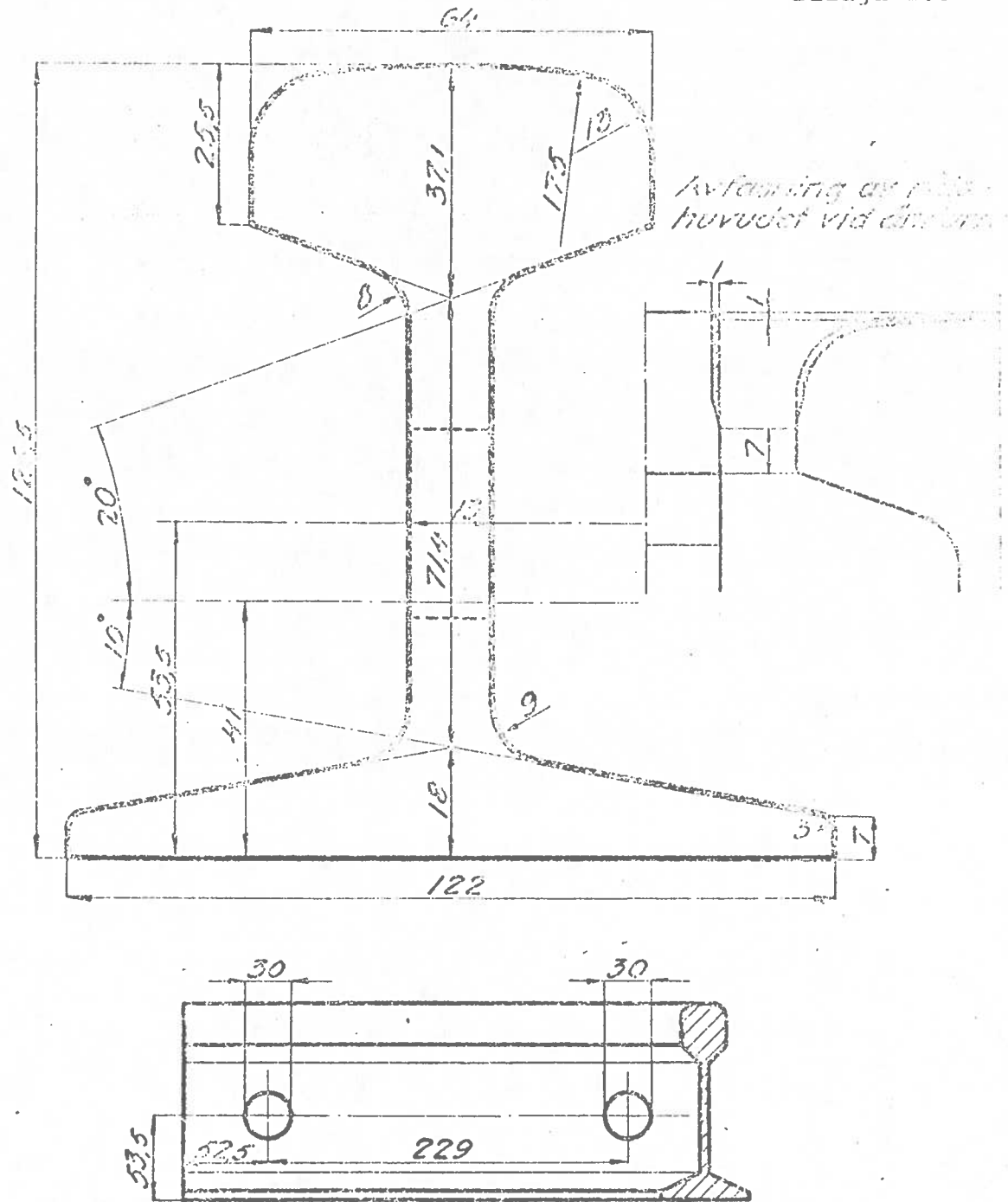



CENTRAL-FÖRVALTNINGEN
BANKAVDELNINGEN

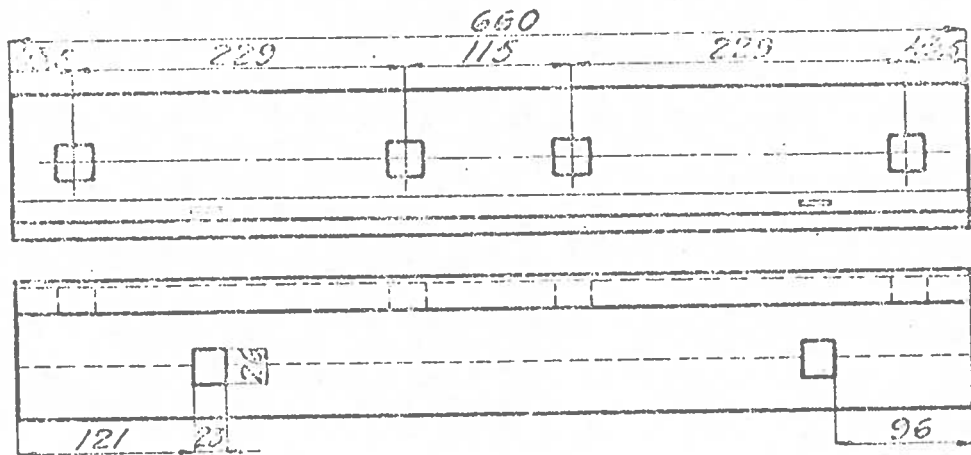
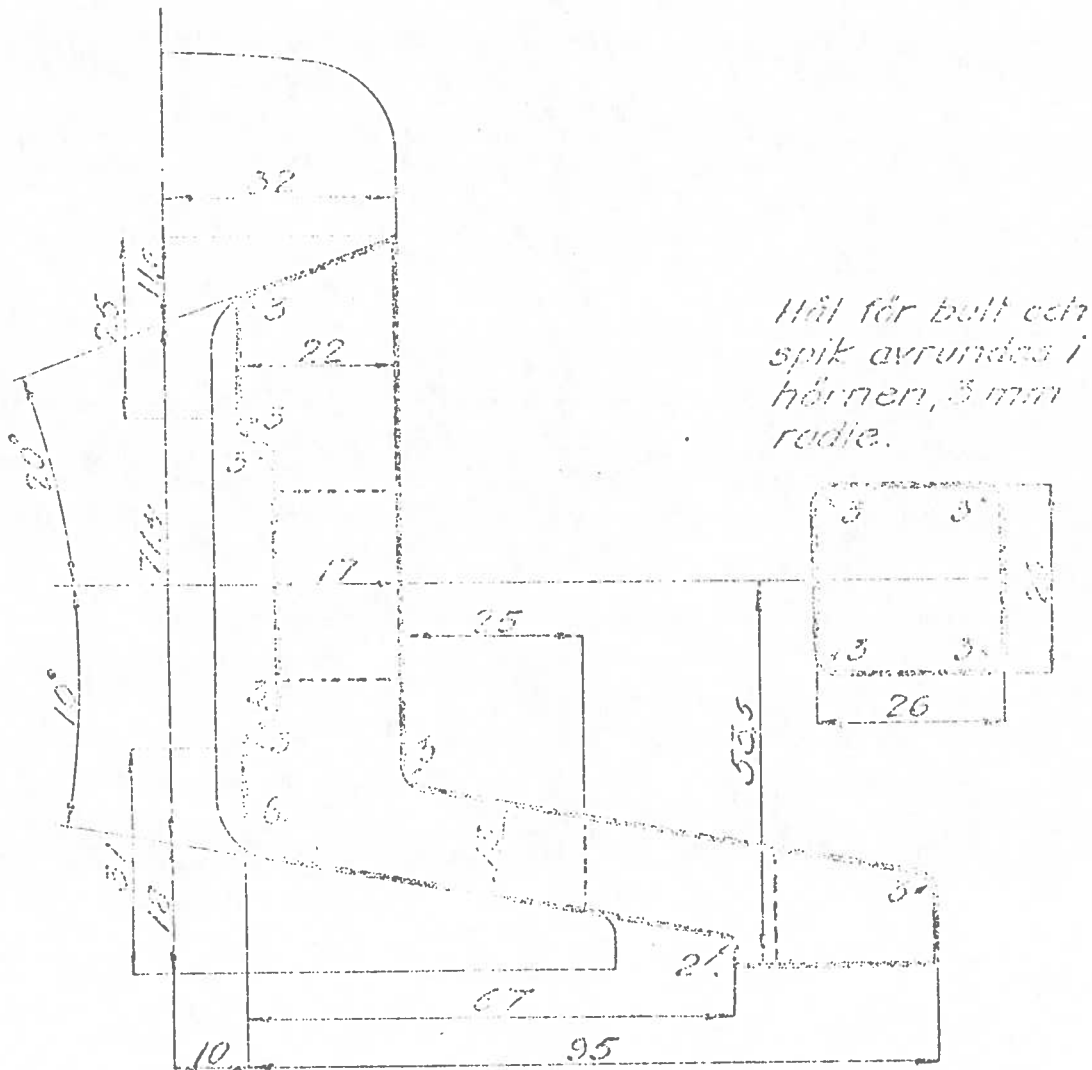
SKARVJÄRN SJ41


SPÅRKONTORET

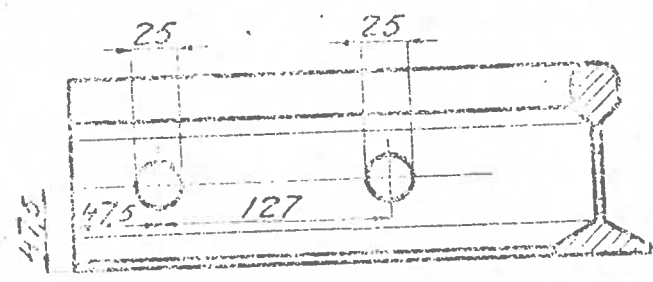
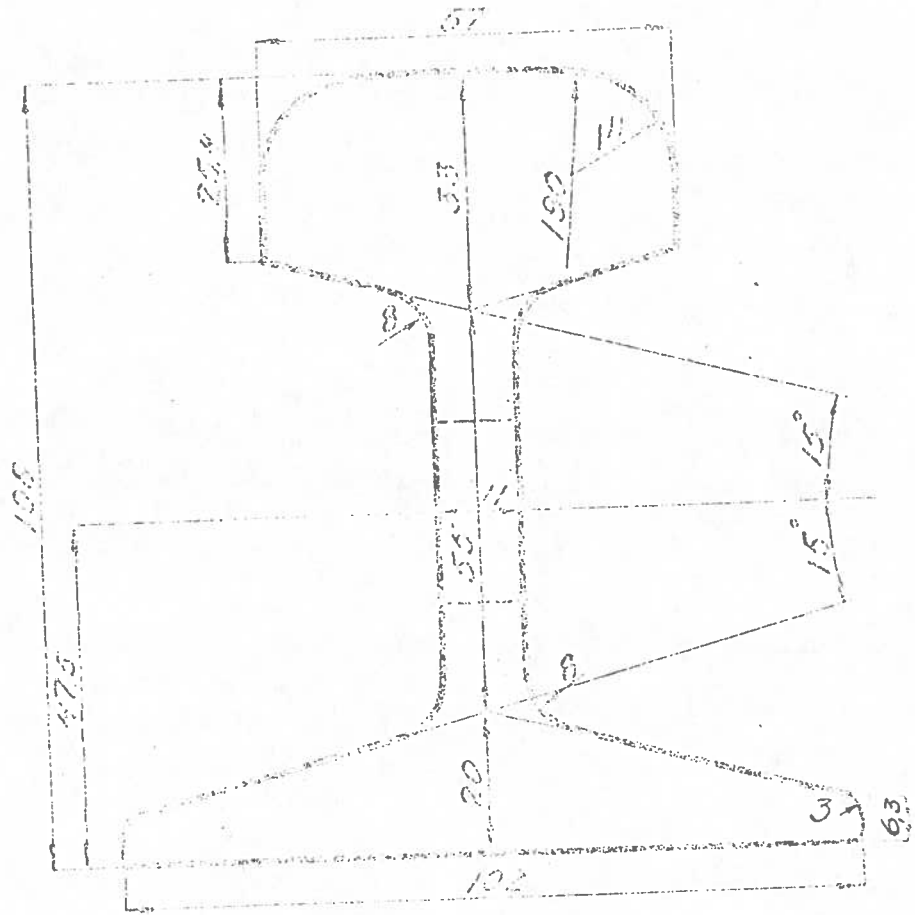
Skala 1:1 1:5	Konstr.	Ritad	Grans.
Stockholm		1968	
<i>Wend Schuster</i>			
Ändring			
A 1425			




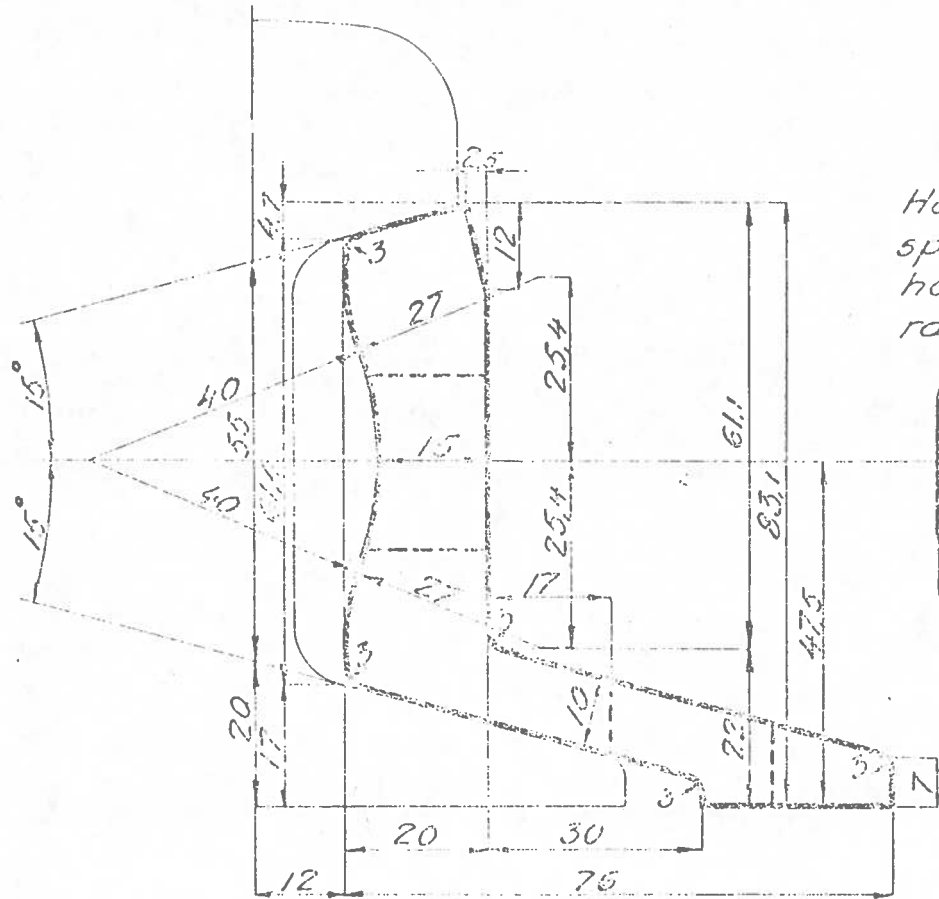
		vl begagnade reviderade	4368		
Vikt pr m	34,5 kg	vl	3772		
Area	43,4 cm ²	vl nr 244	442		
Tröghetsmom	961 cm ⁴	pl	3239, 3313		
Motståndsmom	148 cm ³	Skarvjärn	Pitn A nr		
 CENTRAL- FÖRMÅLL- FÖRETAGET DANAVÄLL- LINGEN	RÄL SJ34 SPÄRKONTORET	Skala	Konstr.	Ritad	Gransk
		1:1 1:4			
		Stockholm		1968	
		Anders		Axel Häder A 2034	



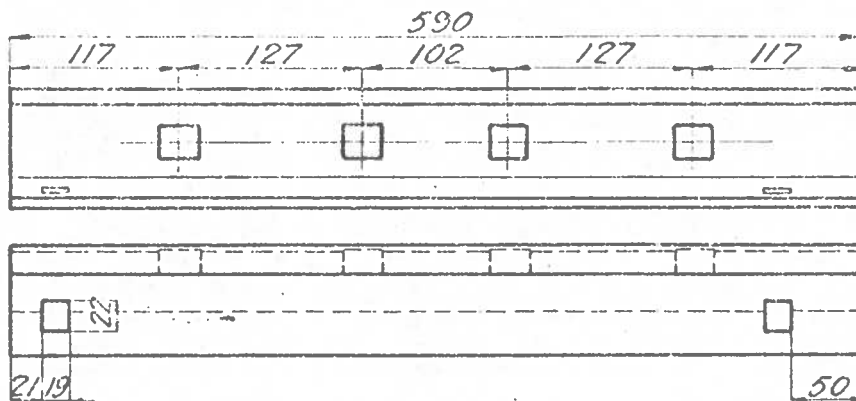
Vikt pr st	13,0 kg				
Tröghetsmoment	232,02 cm ⁴				
Motståndsmoment	37,06 cm ³	Hål SJ34	Ritn A nr 2054		
 CENTRAL- FÖRHÅLL- NINGEN BANAVDEL- NINGEN	SKARVJÄRN SJ34 SPÄRKONTORST		Skala 1:1 1:5	Färg Ritad Gransk	
			Skickat 1968		Rensköld 1968
			Ändring		A 442




Vikt pr m	27,8 kg	vl nr 242	1431		
Area	35,1 cm ²	vi nr 237a, vy nr 237b	2067		
Tröghetsmom	559 cm ⁴	pi nr 236a, vy nr 236b	2066		
Motståndsmom	109 cm ³	Skarejärn	Ritrn A nr		
 CENTRAL- FORVAL- NINGEN BANGÅRDEN KÖPENHAGEN	RÄL SJ27 NY MODELL SPÅRKONTORET	Skala	Konstr.	Ritad	Gransk
		1:1			
		1:4			
		Stockholm	1968		
		<i>Kenneth Blåder</i>			
		Ändring			
		A 217			



Hål för bult och spik avrundas i hörnen, 3 mm radie.



v1, nr 242

Vikt pr st	7,7 kg				
Tröghetsmom	138 cm ⁴				
Motståndsmom	28,45 cm ³	Räl SJ27	Ritn A nr 217 och 1892		
 CENTRAL-FORVALT-NINGEN BANAVDEL-NINGEN	SKARVJÄRN SJ27 SPÅRKONTORET	Skala	Konstr.	Ritad	Gransk.
		1:1			
		1:5			
		Stockholm	1968		
		Sven Håder			
		Ändring			
		A 1431			

Böjprovning

Påle 1, järnvägsräls SJ 41, oskarvad, oslagen, böjprovad i veka leden. Provad 1975-09-26.

Böj- moment kNm	Beräknad EI kNm ²	Nedböjning i mm	
		på hela spänn- vidden	på 1,4 m mittdel
1,0	-	0	0
3,0	645	3,59	1,14
5,5	586	7,92	2,30
8,0	590	11,94	3,32
10,5	558	16,54	4,61
13,0	551	21,11	5,78
15,5	541	25,61	7,02
18,0	546	30,04	8,08
20,5	536	34,78	9,37
23,0	526	39,90	10,72
25,5	501	45,78	12,47
28,0	343	69,08	19,99
30,5	264	96,53	28,25

Böjprovning

Påle 2, järnvägsräls SJ 41, oskarvad, oslagen, böjprovad i styva leden. Provad 1975-10-03.

Böj- moment kNm	Beräknad EI kNm ²	Nedböjning i mm		Ökning av mitt- nedböjning under 3 min vid konst. moment mm
		på hela spänn- vidden	på 1,4 m mittdel	
1,0	-	0	0	0
3,0	3341	0,72	0,22	0,01
5,5	2406	1,71	0,56	0,03
8,0	2840	2,71	0,69	0
10,5	2318	3,81	1,11	0
13,0	2342	4,84	1,36	0
15,5	2359	5,86	1,61	0
18,0	2410	6,91	1,83	0
20,5	2450	7,89	2,05	0
23,0	2450	8,90	2,30	0,02
25,5	2375	10,25	2,63	0
28,0	2366	11,02	2,90	0,07
30,5	2395	12,07	3,12	0,04
33,0	2378	13,17	3,40	0,07
35,5	2396	14,16	3,63	-0,08
38,0	2424	15,11	3,84	-0,08
40,5	2420	16,17	4,10	0,03
43,0	2367	17,32	4,45	-0,10
45,5	2372	18,45	4,70	0
48,0	2376	19,63	4,95	0,12
50,5	2357	20,92	5,25	0,06
53,0	2310	22,19	5,62	0,04
55,5	2236	23,63	6,08	0,35
58,0	2166	24,99	6,56	0,34
60,5	2212	26,39	6,70	0,30
63,0	2126	28,12	7,26	0,42

Böjprovning

Påle 2, järnvägsräls SJ 41, oskarvad, oslagen, böjprovad i styva leden. Provad 1975-10-03.

Böj- moment kNm	Beräknad EI kNm ²	Nedböjning i mm på hela spänn- vidden		Ökning av mitt- nedböjning under 3 min vid konst. moment mm
65,5	1948	30,90	8,24	1,07
68,0	1707	35,24	9,76	1,83
70,5	1330	44,02	12,99	4,56
73,0	997	58,16	17,94	6,60
75,5	814	73,56	22,73	4,50
78,0	734	84,61	26,04	2,55
80,5	703	91,26	28,05	2,50
83,0	744	94,64	27,33	0,58

Böjprovning

Påle 3, järnvägsräls SJ 41, skarvad med vinkelskarvjärn SJ 41, oslagen, böjprovad i styva leden. Provad 1975-10-08.

Böj- moment kNm	Beräknad EI kNm ²	Nedhöjning i mm		Vinkel- ändring i skarv 10 ⁻³ radianer	Ökning av mitt- nedböjning under 3 min vid konst. moment mm
		på hela spänn- vidden	på 1,4 m mittdel		
1,0	-	0	0	0	-
3,5	1504	1,28	0,57	0,88	0
5,5	1465	2,34	0,92	1,61	0,03
8,0	1371	3,82	1,43	2,69	0,17
10,5	1255	5,54	2,05	3,92	0,02
13,0	1202	7,30	2,65	5,25	0,02
15,5	1179	9,11	3,22	6,67	0,19
18,0	1076	11,19	4,10	8,18	0,04
20,5	1087	12,99	4,62	9,80	0
23,0	1044	15,05	5,40	11,47	0,22
25,5	1013	17,34	6,17	13,53	0,22
28,0	925	20,38	7,42	16,42	0,39
30,5	795	24,94	9,39	21,47	0,94
33,0	721	29,65	11,22	26,67	0,75
35,5	623	36,05	13,95	31,96	0,75
38,0	557	42,51	16,71	41,12	1,50
40,5	495	50,43	20,05	46,18	1,24
43,0	430	64,85	24,52	73,38	5,60
45,5	415	70,55	26,89	80,98	1,82
48,0	354	86,00	33,20	89,80	12,20
50,5	313	101,49	39,55	120,59	3,80

Böjprovning

Påle 4, järnvägsräls SJ 41, skarvad med vinkelskarvjärn SJ 41, oslagen, böjprovad i veka leden. Provad 1975-10-09.

Böj- moment kNm	Beräknad EI kNm ²	Nedböjning på hela spänn- vidden	i mm på 1,4 m mittdel	Vinkel- ändring i skarv 10 ⁻³ radianer	Ökning av mitt- nedböjning under 3 min vid konst. moment mm
1,3	-	0	0	0	-
3,0	2371	2,03	0,31	0,34	0,03
5,5	1481	5,10	0,91	0,89	0,03
8,0	1160	8,37	1,69	1,86	0,09
10,5	1063	12,51	2,42	3,30	0,19
11,7	931	14,61	3,08	4,19	0,04
13,0	854	16,96	3,73	5,36	0,04
14,2	798	19,18	4,36	6,53	0,03
15,5	749	21,74	5,07	7,44	0,17
16,7	714	24,07	5,73	9,14	0,21
18,0	686	26,95	6,43	10,72	0,36
19,2	644	29,77	7,30	12,23	0,60
20,5	620	32,71	8,10	14,02	0,49
21,7	587	35,97	9,05	16,15	0,80
23,0	558	39,42	10,11	18,90	0,74
24,2	519	43,58	11,42	20,55	1,21
25,5	474	48,72	13,17	27,15	1,30
26,7	436	53,87	15,01	31,82	1,60
28,0	393	60,49	17,44	37,80	1,48
29,2	362	66,97	19,78	44,05	2,50
30,5	324	75,07	23,08	52,03	2,80
31,7	294	84,51	26,44	61,51	4,49
33,0	267	95,07	30,28	71,55	4,10

Böjprovning

Påle 5, järnvägsräls SJ 41, skarvad med vinkelskarvjärn SJ 41, oslagen, böjprovad i veka leden. Provad 1975-10-13.

Böj- moment kNm	Beräknad EI kNm ²	Nedböjning på hela spänn- vidden	i mm på 1,4 m mittdel	Vinkel- ändring i skarv 10 ⁻³ radianer	Ökning av mitt- nedböjning under 3 min vid konst. moment mm
1,0	-	0	0	0	-
3,0	1598	2,21	0,46	0,21	0
5,5	1203	5,34	1,12	0,90	0
8,0	1083	8,53	1,81	1,66	0
10,5	946	12,18	2,72	2,62	0
13,0	875	16,02	3,64	3,93	0,15
15,5	826	20,24	4,60	5,66	0,12
18,0	712	25,19	6,19	7,72	0,03
20,5	669	30,16	7,51	10,34	0,51
21,7	672	32,25	7,91	12,07	0,18
23,0	601	36,49	9,37	14,07	0,75
24,2	559	40,05	10,60	16,62	0,90
25,5	508	45,11	12,31	20,69	1,78
26,7	433	52,33	15,12	27,66	2,72
28,0	355	62,78	19,33	38,20	4,00
29,2	305	73,07	23,46	49,10	3,62
30,5	269	84,21	27,78	59,24	6,20
31,7	229	100,00	33,93	68,28	3,75

Böjprovning

Påle 7, järnvägsräls SJ 41, skarvad med vinkelskarvjärn SJ 41, slagen, böjprovad i veka leden. Provad 1975-11-20.

Böj- moment kNm	Beräknad EI kNm ²	Nedböjning i mm på hela spänn- vidden	Nedböjning i mm på 1,4 m mittdel	Vinkel- ändring i skarv 10 ⁻³ radianer	Ökning av mitt- nedböjning under 3 min vid konst. moment mm
1,0	-	0	0	-	-
3,0	865	3,05	0,85	0,63	0
5,5	827	6,76	1,63	1,55	0,02
8,0	729	10,46	2,69	2,41	0
10,5	735	14,18	3,50	3,45	0
13,0	717	18,06	4,44	4,37	0,01
15,5	696	22,16	5,46	5,42	0,11
18,0	685	26,30	6,44	6,41	0,08
19,25	663	28,78	7,11	6,97	0,28
20,50	647	31,25	7,76	7,46	0,42
21,75	641	33,88	8,31	8,03	0,46
23,00	627	36,75	8,99	8,52	0,47
24,25	596	40,38	9,97	9,08	0,68
25,50	572	44,47	10,92	9,51	0,98
26,75	547	49,25	11,99	10,14	0,98
28,00	510	55,66	13,46	10,85	1,50
29,25	474	62,77	15,12	11,62	1,82
30,50	425	72,03	17,60	12,67	2,90
31,75	396	81,81	19,65	13,66	3,40
33,00	362	93,79	22,36	15,00	3,18

Böjprovning

Påle 8, järnvägsräls SJ 41, skarvad med vinkelskarvjärn SJ 41, slagen, böjprovad i veka leden. Provad 1975-11-14.

Böj- moment kNm	Beräknad EI kNm ²	Nedböjning i mm på hela spänn- vidden	Nedböjning i mm på 1,4 m mittdel	Vinkel- ändring i skarv 10 ⁻³ radianer	Ökning av mitt- nedböjning under 3 min vid konst. moment mm
1,0	-	0	0	0	-
3,0	742	3,08	0,99	0,68	0
5,5	684	7,01	1,97	1,63	0
8,0	658	10,79	2,98	2,58	0
10,5	660	14,53	3,90	3,32	0
13,0	666	18,27	4,78	4,14	0,01
15,5	669	22,05	5,68	4,95	0
18,0	653	26,33	6,75	5,76	0,25
19,25	651	28,44	7,24	6,10	0,08
20,50	635	30,66	7,91	6,64	0,29
21,75	631	33,03	8,45	7,05	0,22
23,00	630	35,74	8,94	7,46	0,12
24,25	613	38,62	9,70	7,93	0,40
25,50	603	41,74	10,36	8,41	0,60
26,75	576	45,34	11,38	8,88	0,70
28,00	558	49,56	12,30	9,42	0,87
29,25	521	55,15	13,76	9,97	1,11
30,50	492	61,79	15,20	10,58	1,65
31,75	454	69,04	17,15	11,12	2,10
33,00	417	78,22	19,39	11,80	2,60
34,25	384	88,28	21,85	12,34	2,60
35,50	372	97,55	23,40	12,81	2,00

Böjprovning

Påle 9, järnvägsräls SJ 41, oskarvad, slagen, böjprovad i veka leden. Provad 1975-11-19.

Böj- moment kNm	Beräknad EI kNm ²	Nedböjning i mm		Ökning av mitt- nedböjning under 3 min vid konst. moment mm
		på hela spänn- vidden	på 1,4 m mittdel	
1,0	-	0	0	-
3,0	774	3,52	0,95	0
5,5	674	7,86	2,00	0,02
8,0	603	12,05	3,25	0
10,5	601	16,29	4,28	-0,02
13,0	583	20,60	5,46	-0,06
15,5	569	25,01	6,67	0,05
18,0	567	29,40	7,78	0
19,25	550	31,92	8,57	0,24
20,50	555	34,13	9,05	0,28
21,75	556	36,40	9,58	0,09
23,00	548	38,93	10,29	0,20
24,25	540	41,49	11,01	0,12
25,50	534	44,26	11,70	0,36
26,75	529	46,86	12,38	0,25
28,00	509	50,28	13,47	0,42
29,25	500	53,67	14,33	0,50
30,50	477	58,13	15,66	0,60
31,75	453	62,77	17,17	0,82
33,0	432	67,97	18,70	0,94
34,25	402	74,22	20,87	1,58
35,50	370	82,09	23,51	1,73
36,75	333	92,85	27,01	3,75

Böjprovning

Påle 10, järnvägsräls SJ 41, skarvad med plattstål, oslagen, böjprovad i vecka leden. Provad 1977-04-06.

Böj- moment kNm	Beräknad EI kNm ²	Nedböjning på hela spänn- vidden	i mm på 1,4 m mittdel	Vinkel- ändring i skarv 10 ⁻³ radianer	Ökning av mitt- nedböjning under 3 min vid konst. moment mm
0	-	0	0	0	-
1	295	3,10	0,83	1,87	-
2	241	6,55	2,03	4,58	0,27
3	171	12,02	4,31	9,93	0,14
4	119	21,15	8,21	20,00	0,23
5	119	26,48	10,32	25,48	0,33
6	120	31,17	12,23	29,85	0,37
7	123	35,60	13,97	33,88	0,55
8	125	40,15	15,71	38,18	0,43
9	128	44,40	17,28	42,13	0,48
10	131	48,10	18,75	45,80	0,38
11	134	51,50	20,07	49,06	0,40
12	125	60,45	23,60	58,06	0,80
13	116	69,33	27,36	68,09	1,78
14	102	83,12	33,51	77,76	3,82
15	82	103,80	44,65	105,65	4,80

Bilaga 6:1-6:9 visar utrustning för böjprovning samt pälarnas utseende efter avslutad provning.

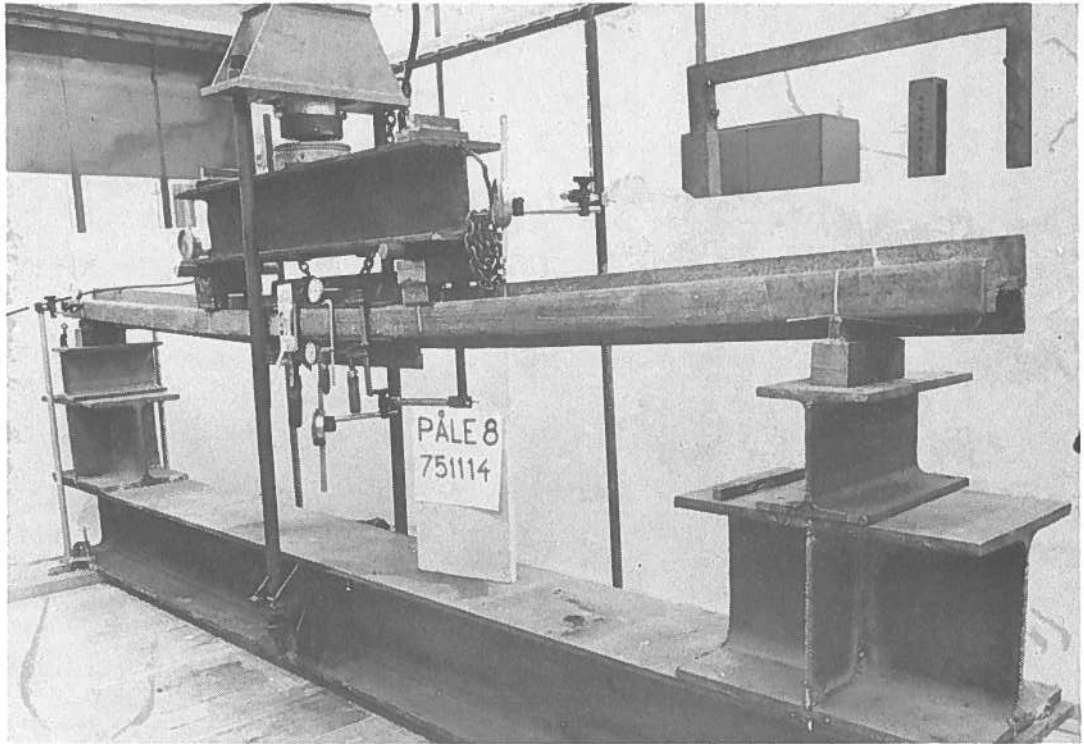


Foto 1: Utrustning för böjprovning

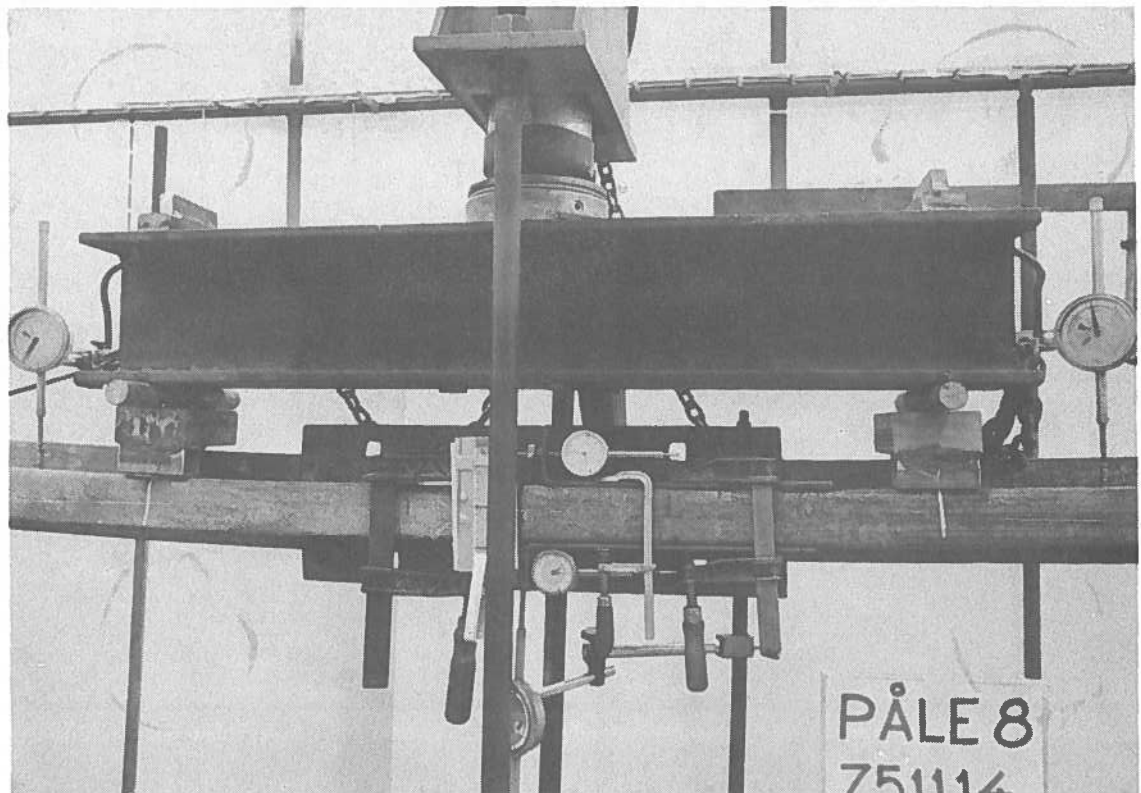


Foto 2: Utrustning för böjprovning, detalj

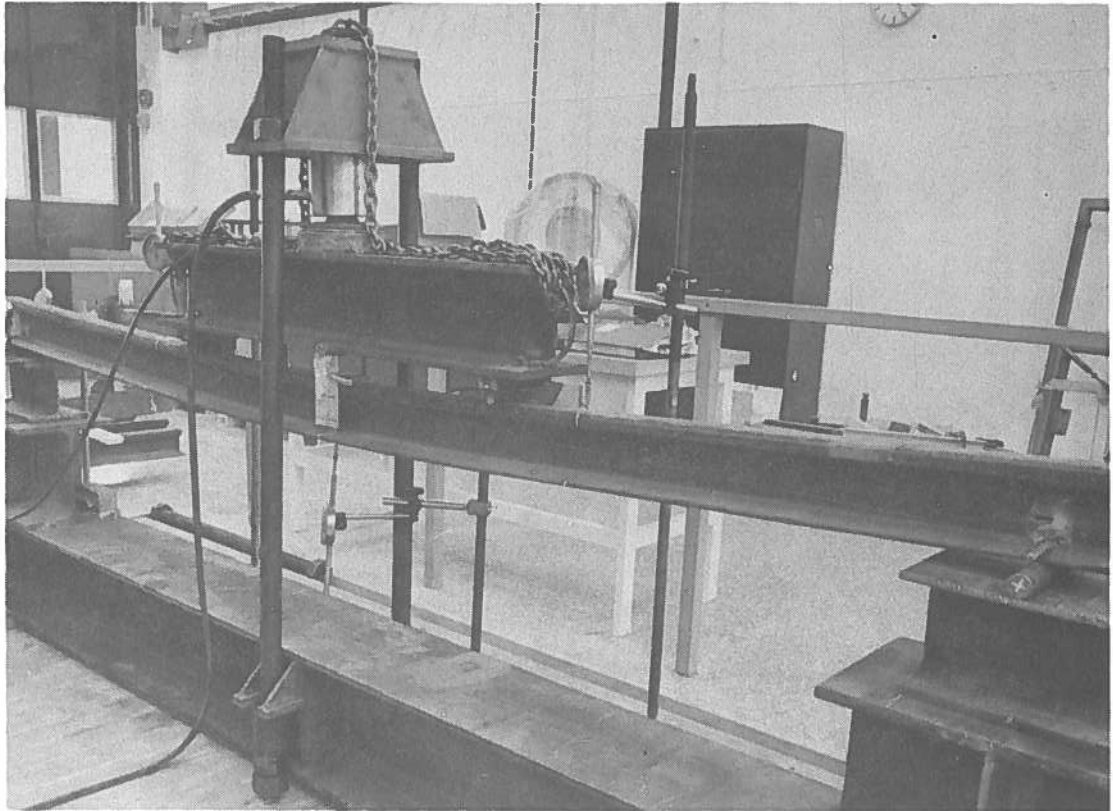


Foto 3: Påle nr 2 efter böjprov

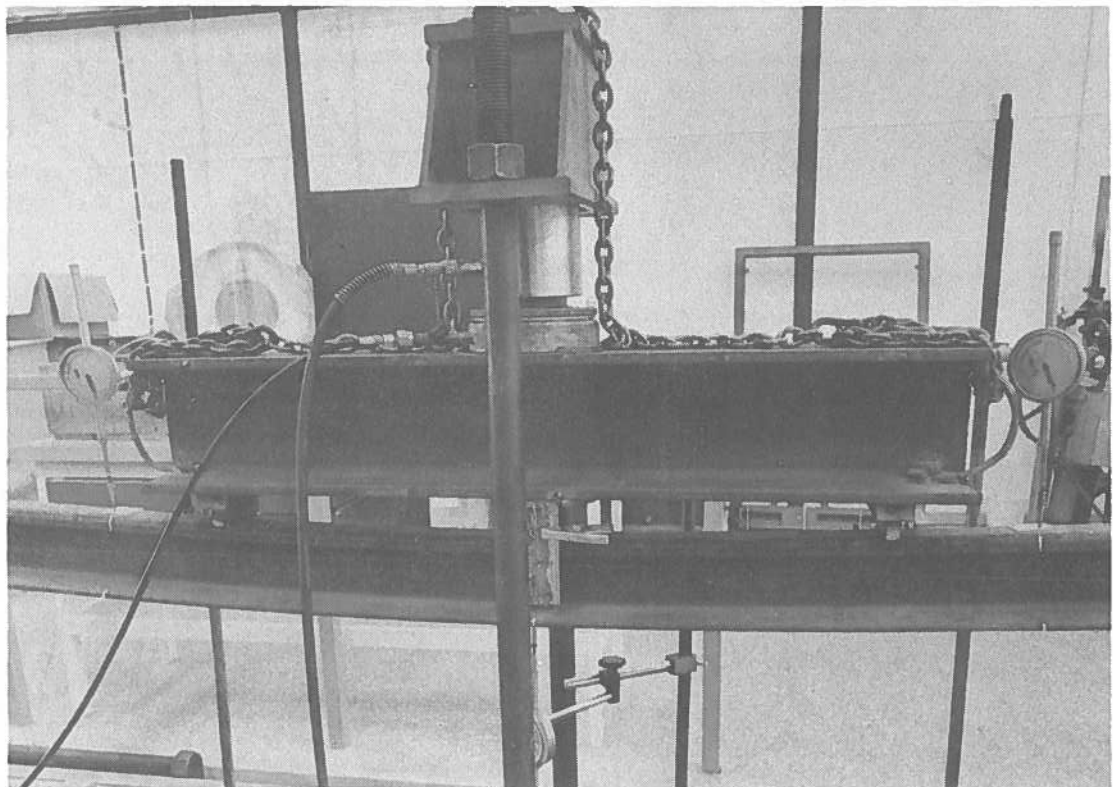


Foto 4: Påle nr 2 - detalj

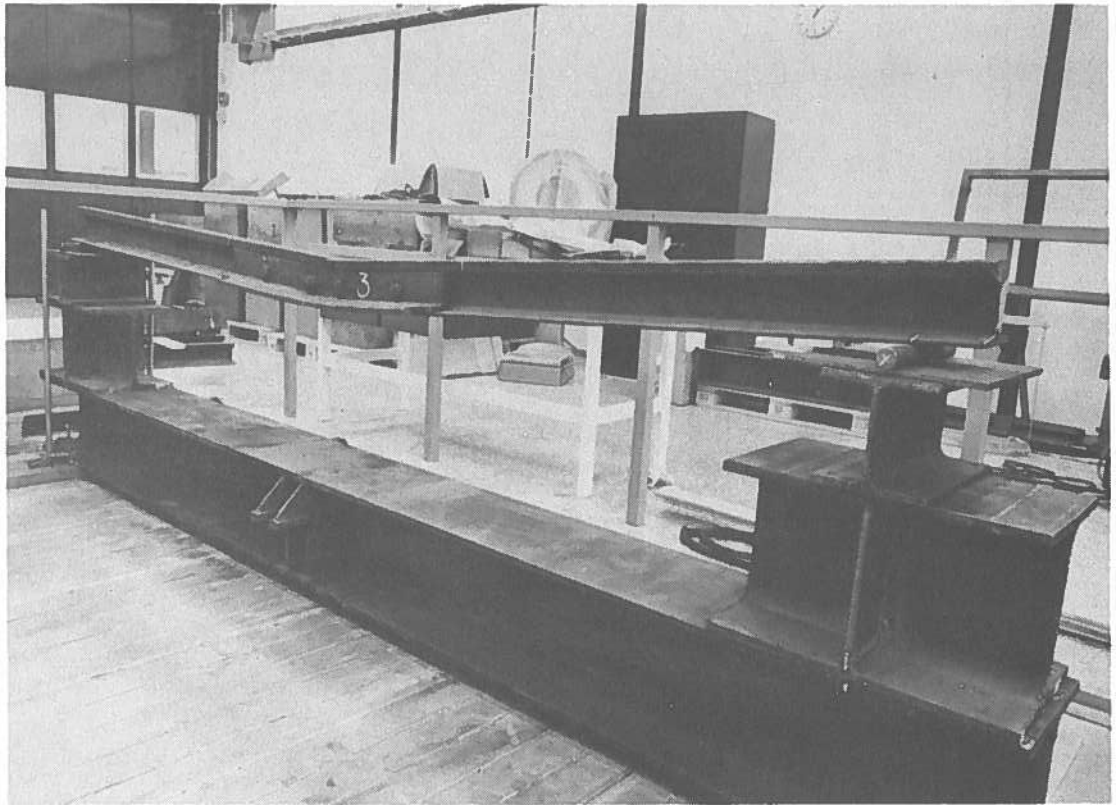


Foto 5: Påle nr 3 efter böjprov

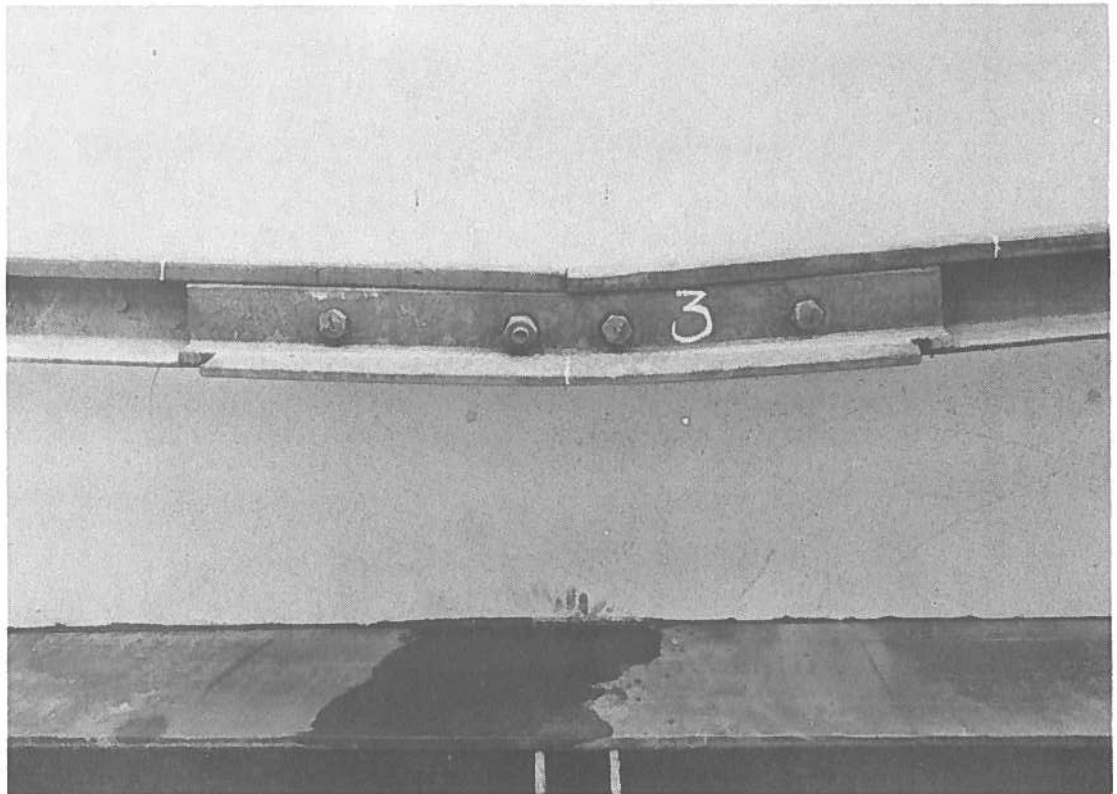


Foto 6: Påle nr 3 - detalj

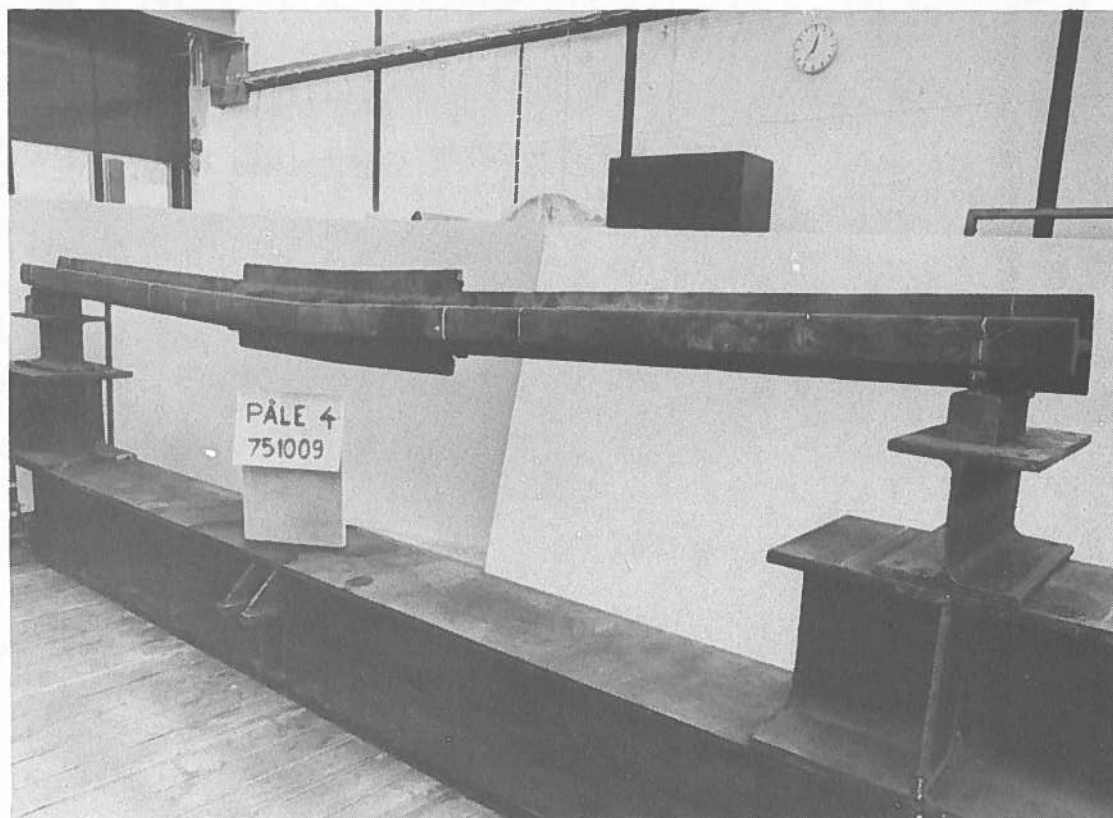


Foto 7: Påle nr 4 efter böjprov

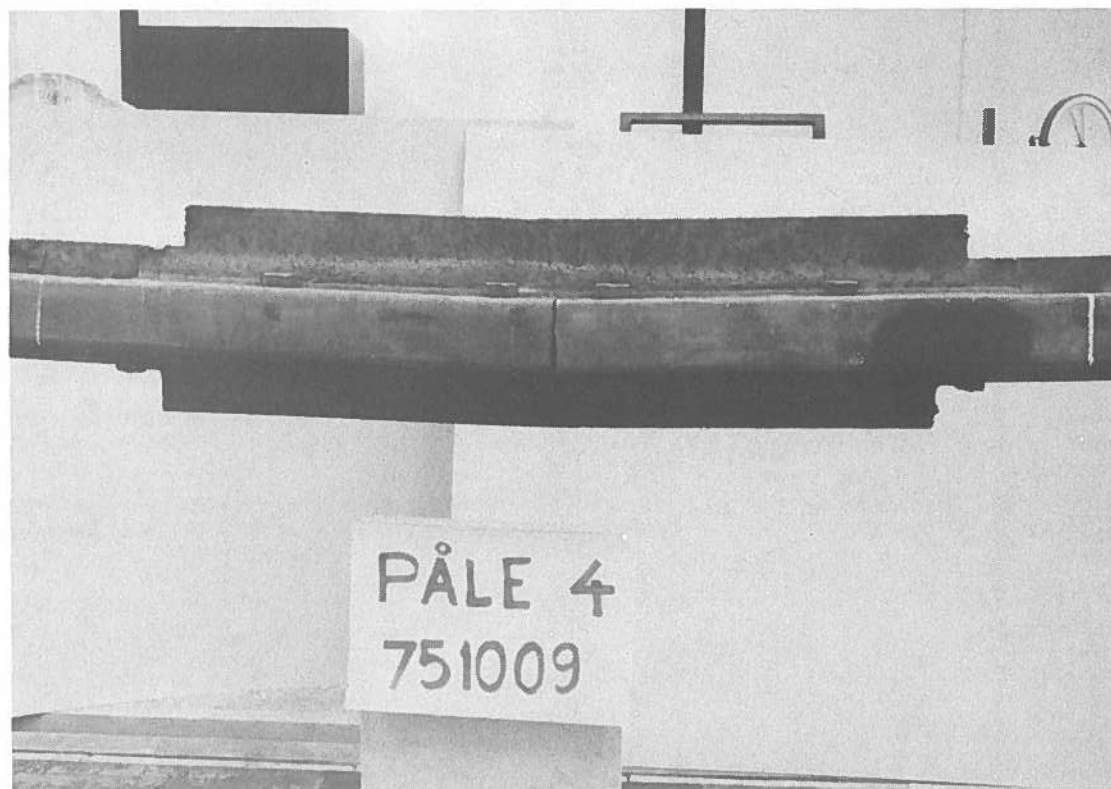


Foto 8: Påle nr 4 - detalj

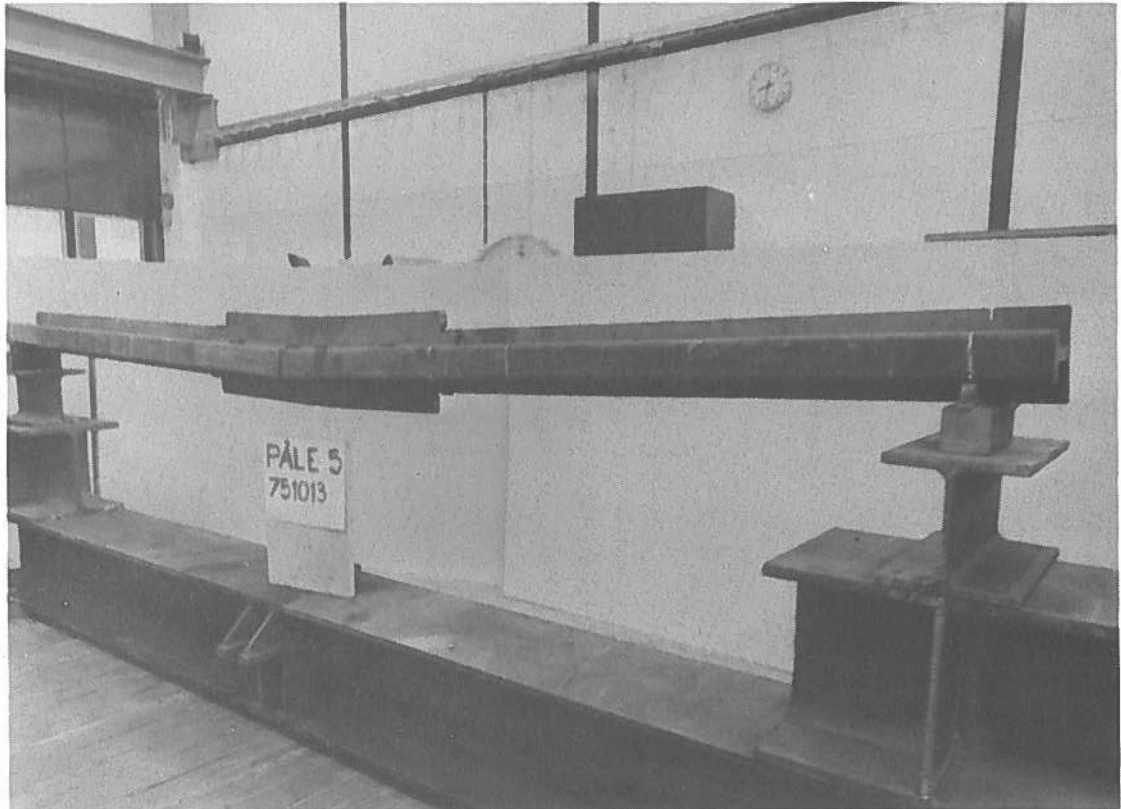


Foto 9: Påle nr 5 efter böjprov

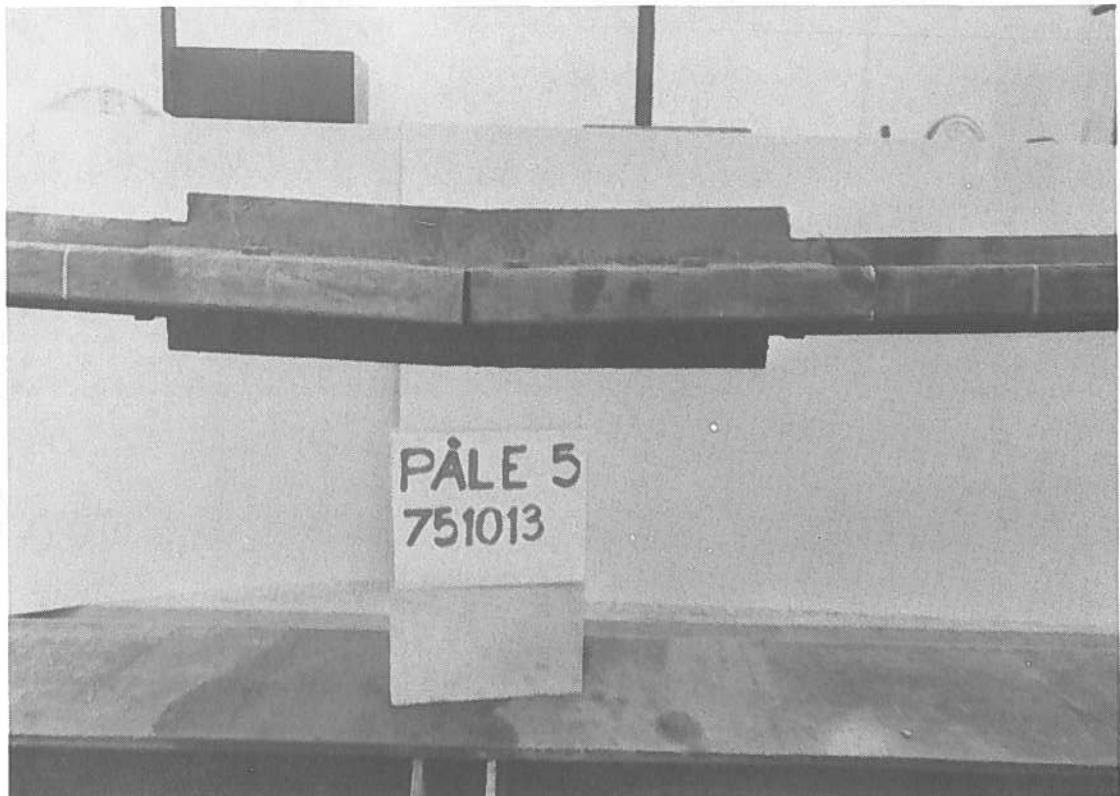


Foto 10: Påle nr 5 - detalj

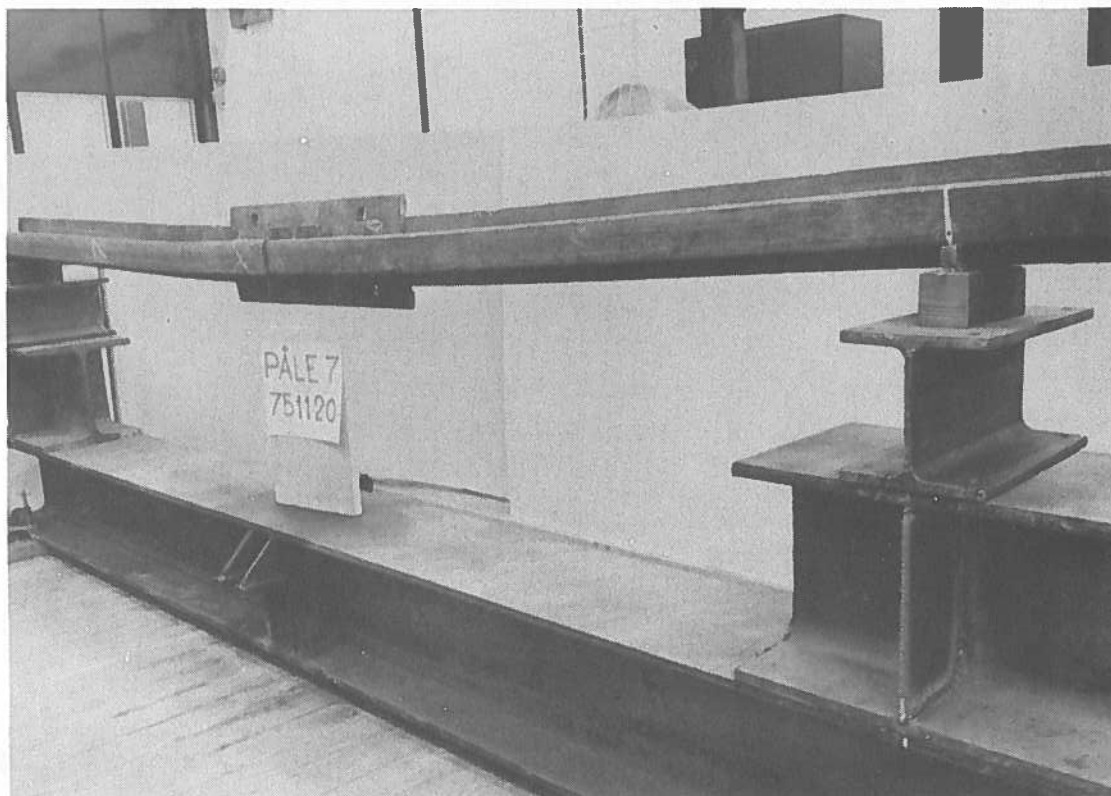


Foto 11: Påle nr 7 efter böjprov



Foto 12: Påle nr 7 - detalj

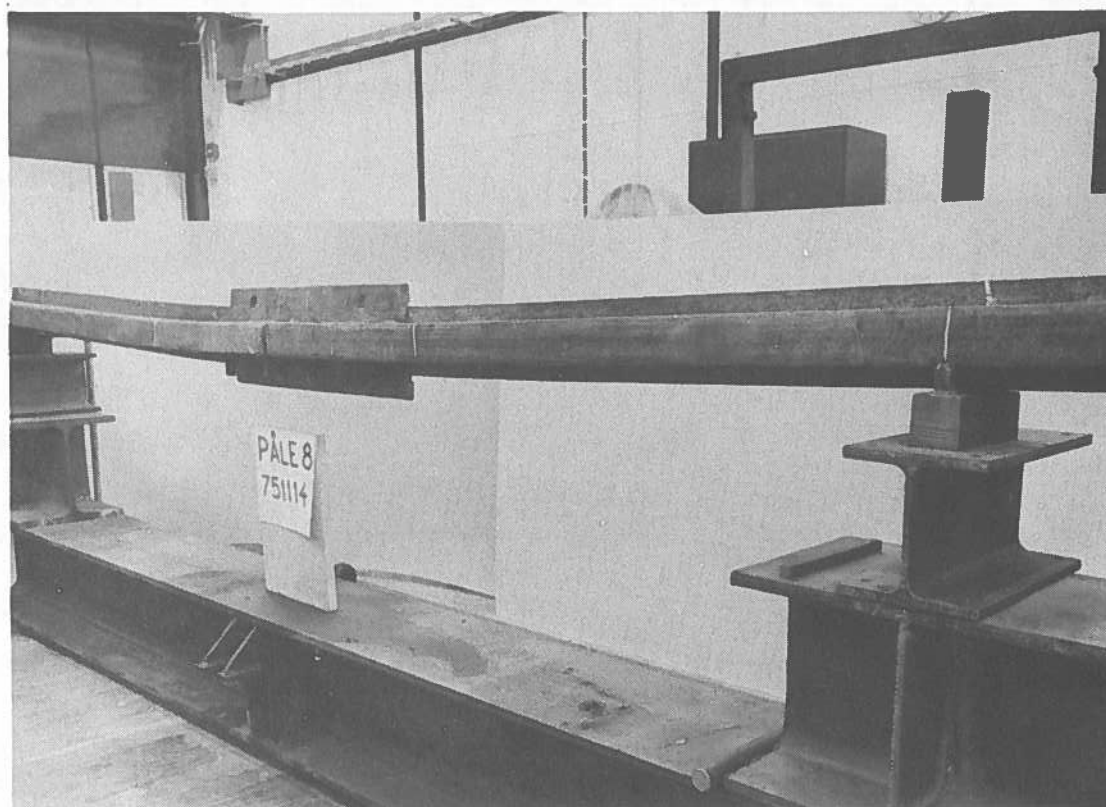


Foto 13: Påle nr 8 efter böjprov

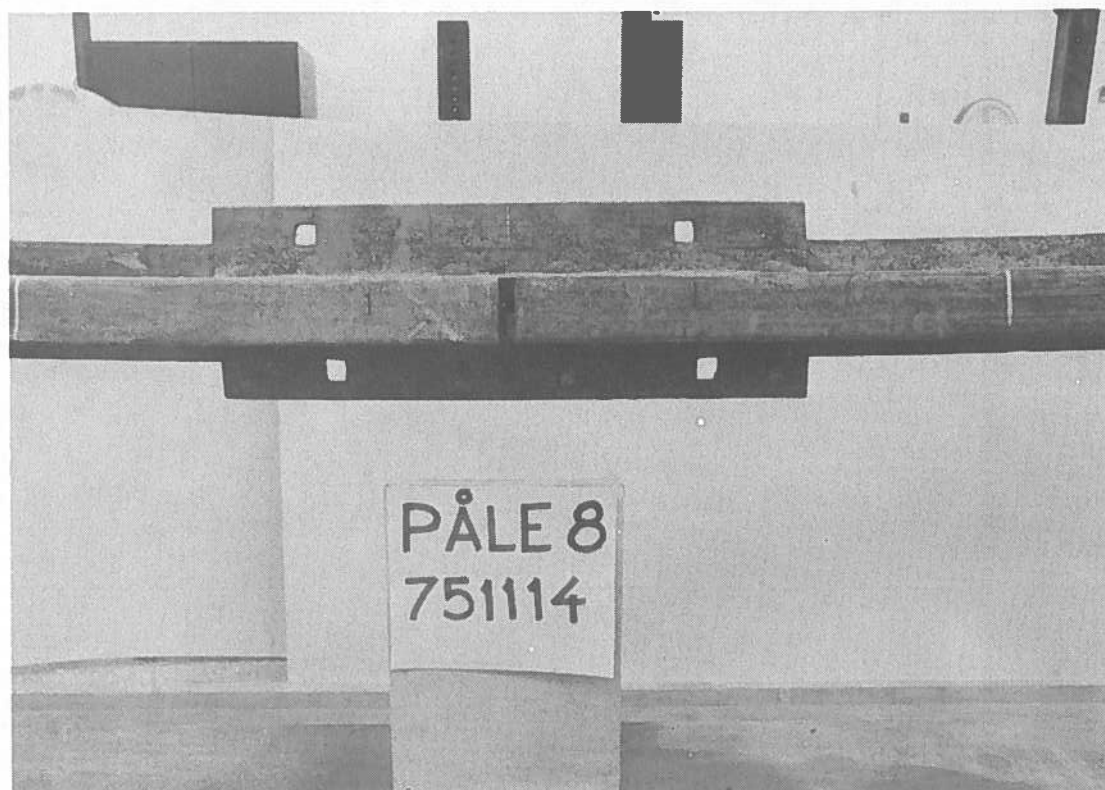


Foto 14: Påle nr 8 - detalj

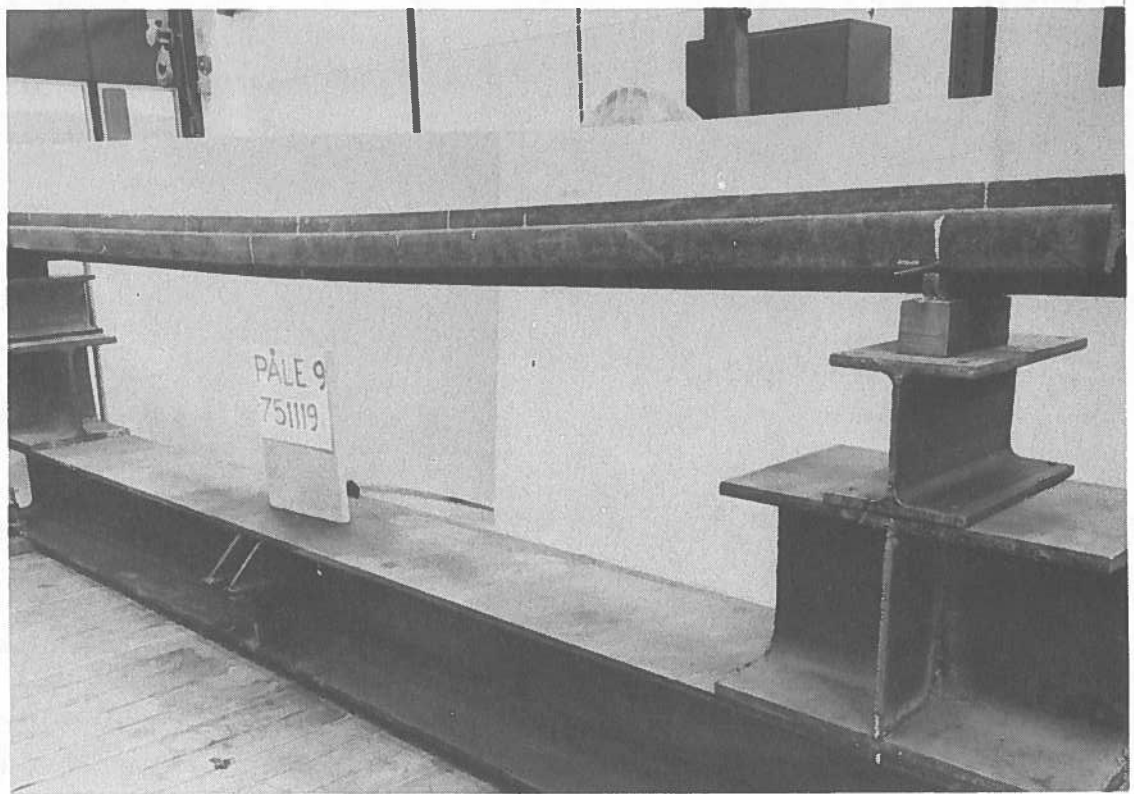


Foto 15: Påle nr 9 efter böjprov

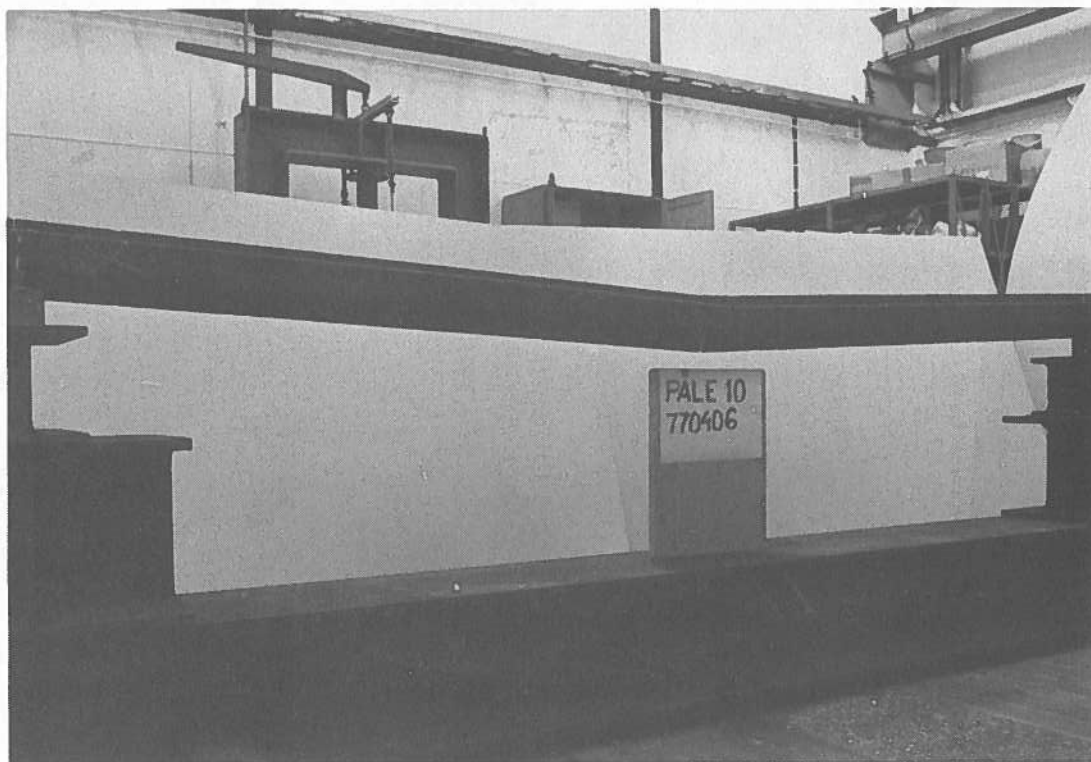


Foto 16: Påle nr 10 efter böjprov



Foto 17: Påle
nr 10 - detalj



Utgivna handlingar

Meddelanden

1	Slagningsprov av pålskor med bergdubbar Bror Fellenius 1963	10:—	14	Påkänningar, sprickbildning och utmattning vid slagning av armerade modellpålar av betong Bo Göran Hellers — Sven Sahlin 1971	30:—
2	Provpålning för broar inom blivande Olskroks- och Gullbergsmoten i samband med byggande av Europaväg 6 genom Göteborg Bror Fellenius — Waldemar Pejrud 1964	Slut	15	Bärförmåga hos släntberg vid statisk belastning av bergspets. Resultat av modellförsök Sven-Erik Rehnman 1968	15:—
3	Jämförelse mellan moment, krökningsradie och sprickvidd i betongpålar slagna genom lös lera till släntberg vid Tingstadsdelen, Göteborg Bror Fellenius 1964	10:—	16	Stålpålars bärförmåga. Resultat av fältförsök med lätta slagdon Gunnar Fjellkner 1970	30:—
4	Pålprovning för järnvägsbro vid Vännäs Bror Fellenius 1964	Slut	17	Bergdubbens hållfasthet. Resultat från statiska belastningsförsök Sven-Erik Rehnman 1970	20:—
5	Beräkningsmetoder för sidobelastade pålar Bengt Broms 1965	Slut	18	Negative skin friction on long piles in clay. I. Results of a full scale investigation II. General views and design recommendations Bengt H Fellenius 1971	30:—
6	Brottlast för snett belastade pålar Bengt Broms 1965	10:—	19	Damping of stress waves in piles during driving. Results from field tests Gunnar W Fjellkner — Bengt B Broms 1972	30:—
7	Beräkning av vertikala pålars bärförmåga Bengt Broms 1965	10:—		<i>Särtryck och preliminära rapporter</i>	
8	Provpålning mot släntberg vid Skansen Lejonet, Göteborg Waldemar Pejrud 1965	25:—	1	Allowable bearing capacity of initially bent piles Bengt Broms Referat från pålkommitténs informationsdag 25 okt 1965	
9	Inverkan av armeringsmängd, förspänning och fallhöjd på sprickrisken hos betongpålar vid slagning Sven Sahlin 1965	15:—		Provbelastning av påle slagen i lera och frik- tionsmaterial Gunnar Hellström	
10	Bärförmågan hos armerade betongpålar slagna till fast bergbotten Hjalmar Granholm 1967	20:—		Knäcklasten för momentstyvt skarvade pålar i lera Krister Cederwall 1965	10:—
11	Bärförmågan hos pålar slagna till släntberg Bengt Broms 1965	15:—	2	Provbelastning av stödpålar av betong inom östra Nordstaden, Göteborg. Delrapport Gunnar Hellström 1965	5:—
12	Dynamisk draghållfasthet hos modellpålar av oarmerad betong. Resultat av orienterande försök Sven Sahlin — Lars Hellman 1966	15:—	3	Bärighet hos släntberg vid statisk belastning av bergspets. Resultat av modellförsök Sven-Erik Rehnman 1966	5:—
13	Pålgruppers bärförmåga Bengt Broms 1967	10:—	4	Om pålslagning och pålbärighet (Informa- tionsdagen 14/11 1966) 1967	Slut

5	Resultat av pålprovning vid Göteborg C Bror Fellenius 1955 (omtryckt 1967)	20:—	19	Datorberäkning av stötvågsförlopp i pålar medelst variation av modellparametrar. Delrapport III Lennart Vilander 1969	15:—
6	Om stoppslagning av stödpålar Lars Hellman 1967	5:—	20	Nya pålnormer. Föredrag vid informations- möte 25/4 1969 Göte Åström — Per Sahlström — Erik Sandegren 1969	Slut
7	Undersökning med syfte att uppställa stopp- slagningsregler för stålpålar slagna med tryck- lufthammare. Delrapport I. Gunnar Fjellkner 1967	Ersatt av Medd 16	21	Negative skin friction on piles in clay. A literature survey Bengt H Fellenius 1969	20:—
8	Industriell tillverkning av betongpålar Kajsa Sundberg — Arne Forsell 1968	10:—	22	Deformationsegenskaper hos slagna betong- pålar Bengt H Fellenius — Torsten Eriksson Friktionspålar bärformåga. Resultat från fältförsök i Kanada Bengt H Fellenius 1969	20:—
9	Digitalisering av stötvågsmätningar. Delrapport I Lennart Vilander 1968	5:—	23	Pålars bärformåga i elastiskt medium under hänsynstagande till egenspanningar i pål- materialet Stig Bernander 1969	20:—
10	Stoppslagning av stålpålar med lätta slagdon (trycklufthammare). Delrapport II Gunnar Fjellkner 1968	Ersatt av Medd 16	24	IVA:s Pålkommision 1959—1969. Uppsatser utgivna i samband med Pålkommisionens tioårsjubileum 1969	20:—
11	Förslag till anvisningar för pålprovning och enkel provbelastning. (Andra omarbetade upplagan) 1970	20:—	25	Statistik över antal slagna pålmetrar år 1962, 1966 och 1968 1969	Ersatt av SPR 30
12	Tillåtna laster på långa stödpålar av betong i östra Nordstaden, Göteborg. Slutrapport Gunnar Hellström 1969	15:—	26	Föredrag vid Pålkommisionens jubileums- möte den 20 november 1969 Den norske pelekomités arbeide Kaare Flaate Aktuella forskningsbehov inom pålnings- området Bengt Broms 1970	20:—
13	Kvarstående förspänningskraft i slagna betongpålar. Undersökning av pålar från grunden till Silo 68, Köping Bo-Göran Hellers 1968	5:—	27	Rapport från en resa till Mexiko, USA, Kanada och England 23.8—13.9 1969 Bengt H Fellenius 1970	20:—
14	Föredrag vid Halmstad Järnverks armerings- dag 17/11 1967 Bengt Broms — Gunnar Sundberg — Per Möller — Thorild Blomdahl 1968	5:—	28	Mätning av fallhejares anslagshastighet vid pålslagning Karl-Erik Sundström 1970	15:—
15	Statistik över antal slagna pålmetrar 1962 och 1966 1968	Ersatt av SPR 30	29	Studier av en friktionspåles verkningsätt Åke Nilsson — Torbjörn Winqvist 1971	25:—
16	Friktionspålar bärformåga. En studie av utförda provbelastningar Sven Hultsjö — Jan Svensson 1969	25:—	30	Statistik över antal slagna pålmetrar 1962, 1966, 1968 och 1970 1971	Ersatt av SPR 38
17	Ett program för beräkning av stötvågsför- loppet vid friktionspålning. Delrapport II Lennart Vilander 1969	15:—			
18	Pålkraftmätare Bengt H Fellenius — Thomas Haagen Negative skin friction for long piles driven in clay Bengt H Fellenius — Bengt Broms 1969	15:—			

31	Friktionspålning för brostöd nr 2 vid Albysjön, tunnelbana 2 SV, Botkyrkabanan Sven-Erik Rehnman 1971	25:–	42	Pålar i lera. En geoteknisk återblick med speciell anknytning till Göteborgs-förhållandena Bror Fellenius 1974	15:–
32	Aktuellt forskningsbehov för pålområdet i Sverige i juni 1971 Ulf Bergdahl 1971	15:–	43	Jordundanträngning vid påslagning – resultat av modellförsök Rainer Massarsch 1974	20:–
33	Sättningar vid pålning olika djupgrundläggningsmetoder Intryck från pålkonferens 1972	20:–	44	Pålning för Silo 68 i Köping. En redovisning av mätresultat Ulf Bergdahl – Åke Nilsson 1974	20:–
34	On the bearing capacity of driven piles 1972	20:–	<i>Rapporter</i>		
35	Load testing of piles according to the polish regulations B K Mazurkiewicz 1972	15:–	45	Aktuellt forskningsbehov för pålområdet i Sverige 1974 Ulf Bergdahl 1974	20:–
36	Undersökning av konventionell slagdyna. Beräkningsanalyser och beräkningsresultat för olika fall Martti Laine 1972	15:–	46	»Root-piles» Small-diameter injected borepiles Anton Frank 1975	15:–
37	Approximativ bestämning av böjstyvheten i ett förspänt, delvis uppsprucket betongtvärsnitt Bo-Göran Hellers 1973	15:–	47	Jordgjutna pålar – en redovisning av vanliga metoder K Rainer Massarsch 1975	30:–
38	Statistik över antal slagna pålmetrar år 1962, 1966, 1968, 1970 och 1972 1973	10:–	48	Svensk statistik över antal tillverkade och slagna pålmetrar åren 1962–1974 1975	20:–
39	Inventering och sammanställning av utförda böjprovningar med oskarvade och skarvade betongpålar Björn Kvist – Pär Sandin 1973	20:–	49	Deformationsmätningar vid slagning av pålar nära en stenmur – resultat av stereofotogrammetriska mätningar K Rainer Massarsch – Gunnar Ivmark 1975	25:–
40	Undersökning av avklingande stötvågs utseende efter passage genom dyna med tallriksfjädrar Bo Larsson 1973	20:–	50	Pålgrundläggning i Sovjetunionen 1976	25:–
41	Om korrosion på stål, speciellt i betongpålar Bengt H Fellenius 1974	15:–	51	Soil movements caused by pile driving in clay K Rainer Massarsch 1976	50:–
<i>Övrigt</i>			52	Angelägenheten hos forskningsprojekt inom pålområdet i Sverige 1975 – enkätresultat Ulf Bergdahl – Gunnar Ivmark 1977	15:–
	Slagning och provbelastning av långa pålar. Försök i Gubbero, Göteborg. (Statens Råd för Byggnadsforskning, rapport 99)	35:–	53	Svensk statistik över antal tillverkade och slagna pålmetrar åren 1962–1976 1978	20:–
	Pålningprotokoll. Blanketter upprättade enligt Särtryck och preliminära rapporter nr 11. Block om 50 blad Pris per block	10:–	54	Pålgrupper med sidomotstånd och in-spänning Håkan Bredenberg – Bengt Broms 1978	40:–
			55	Rälspålar böjstyvhet – resultat av böjprovningar Elvin Ottosson 1979	40:–