1973

Särtryck och preliminära
rapporter nr 39

Inventering och sammanställning av utförda böjprovningar med oskarvade och skarvade betongpålar

Björn Kvist—Pär Sandin

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Institutionen för geoteknik med grundläggning

INGENIÖRSVETENSKAPSAKADEMIEN
PÅLKOMMISSIONEN

INGENJÖRSVETENSKAPSAKADEMIEN
Pålkommissionen

Särtryck och preliminära
rapporter nr 39

Inventering och sammanställning av utförda böjprovningar med oskarvade och skarvade betongpålar

Björn Kvist—Pär Sandin

Examensarbete vid Kungl Tekniska Högskolan,
Institutionen för Geoteknik, Stockholm

Stockholm 1973

De i rapporten framförda åsikterna är författarnas och behöver ej överensstämma med Pålkommissionens

Pris 20 kr

FÖRORD

I samarbete med IVA:s Pålkommission har en inventering och bearbetning utförts av de böjprovningar av oskarvade och skarvade pålelement, som redovisats efter 1958. Huvuddelen av materialet har funnits tillgängligt vid Statens Planverk och Statens Vägverk. Arbetet ingår i den verksamhet som Pålkommissionens påldimensioneringsgrupp bedriver. Handledare för detta examensarbete har varit tekn. lic Sven-Erik Rehnman, Statens Planverk. Civilingenjör Ulf Bergdahl, IVA:s Pålkommission, har bistått med råd vid planering och redovisning.

Vi vill uttrycka vår tacksamhet till fru Naima Hellquist och fru Marianne Gedda för hjälp med utskrift och renritning, samt till civilingenjör David Bayne för hjälp med den engelska översättningen.

Ett tack riktas även till alla pålskarvtillverkare, som välvilligt tillåtit oss att använda sina provningsresultat.

Stockholm i augusti 1973

Björn Kvist Pär Sandin

Inventering och sammanställning av utförda böjprovningar med oskarvade och skarvade betongpålar.

INNEHÅLL

		Sida
	SAMMANFATTNING	II
	SUMMARY	IV
1.	INLEDNING	1 - 2
2.	UNDERSÖKNINGENS SYFTE	3
3.	INVENTERING AV UTFÖRDA BÖJPROVNINGAR	4 - 5
4.	BESKRIVNING AV PROVNINGSMETODER	6
.1	Slagprovning	6
.2	Böjprovning	7
.3	Sammanfattning av Planverkets riktlinjer	11
5.	SAMMANSTÄLLNING AV REDOVISADE RESULTAT	14
.1	Brottmoment	14
.2	Beräkning av nedböjningen $\delta_{1,4}$	19
.3	Slagningens inverkan vid böjprovningsresultatet	23
.4	Jämförelse mellan oskarvade och skarvade pålelement m.a.p. böjstyvheten	42
.5	Vinkeländring i skarv	50
.6	Initialvinkeländring	62
.7	Förankringsarmeringens betydelse	66
.8	Dragprovning av skarv	69
6.	SYNPUNKTER PÅ PROVNINGSFÖRFARANDE OCH RESULTATREDOVISNING	72
7.	FÖRSLAG TILL FORTSATTA UNDERSÖKNINGAR	74
8.	LITTERATURREFERENSER	75
9.	BILAGA 1 Sammanställning av provningsprotokoll	

SAMMANFATTNING

Grundmaterialet för denna undersökning består av provningsrapporter med resultat från böjprovningar av oskarvade och skarvade betongpålelement. Provningarna är utförda huvudsakligen vid Statens Provningsanstalt och Chalmers Provningsanstalt under tidsperioden 1958-1972. Det övervägande antalet provningar är dock gjorda senare än 1966. Provningsresultaten har huvudsakligen varit bilagda ansökningar om typgodkännande av skarvar till Statens Planverk och Statens Vägverk. Totalt har materialet omfattat 232 st oskarvade och skarvade pålelement. Materialets fördelning m.a.p. dimension, skarvade respektive oskarvade samt slagna respektive oslagna framgår av Figur 3:1. I Sverige finns för närvarande (1973) 5 st olika skarvfabrikat, som typgodkänts.

För att få en skarv typgodkänd fordras bl a, att ett oskarvat och två skarvade 3 m pålelement, som först slagprovats, böjprovas. Slagprovningen består i att pålen efter stoppslagning mot berg slås 3000 gånger med en fallhejare. Böjprovningen tillgår så att pålelementet uppläggs fritt på 3 m längd och belastas i tredjedelspunkterna. Nedböjningen på 1,4 m längd ($\delta_{1,4}$) mäts, varur böjstyvheten EI kan beräknas. I denna rapport anges dock endast nedböjningsvärden $\delta_{1,4}$, som emellertid lätt kan omräknas till böjstyvhet med formeln $EI = \frac{M \cdot 1{,}4^2}{8 \cdot \delta_{1,4}}$. Planverket har utarbetat vissa riktlinjer, med krav på minsta böjstyvhet inom visst momentintervall, för skarvade pålelement.

Syftet med detta examensarbete var bl a att studera inverkan av slagprovningen på pålelementens deformationsegenskaper. Slagningens inverkan på oskarvade pålelement har härvid befunnits vara obetydlig. Även för skarvade pålelement är slagningen av mindre betydelse, men kan dock för vissa skarvtyper möjligen ha en något försämrande effekt, dvs öka deformationerna.

Vidare har förhållandet mellan uppmätt brottmoment och beräknat flytmoment enligt gränslastteori studerats och beräknats till ca 1,3 för slakarmerade pålelement. Undersökningen visar vidare att de slagna pålelementens brottmoment är obetydligt lägre än de oslagna pålelementens.

För slakarmerade, kvadratiska, oskarvade pålar, har även teoretisk nedböjning, som funktion av böjmomentet, beräknats. De uppmätta nedböjningarna ligger mycket nära de beräknade vilket medför att böjprovningar av oskarvade, slakarmerade, kvadratiska pålar skulle kunna undvaras.

En jämförelse mellan deformationsförloppen hos oskarvade och skarvade pålelement har utförts. Enligt pålnormerna skall den skarvade pålen i huvudsak vara lika styv som den oskarvade. Undersökningen visar, att detta krav endast med svårighet går att uppfylla för slakarmerade pålelement, medan det för spännarmerade pålelement är praktiskt taget omöjligt att uppfylla trots att dessa skarvade element är styvare än slakarmerade skarvade pålelement.En jämförelse mellan provningsmaterialet och Planverkets krav på böjstyvhet har även utförts.

En studie av betydelsen av vinkeländringen i skarven på totalnedböjningen för ett skarvat pålelement har också genomförts. Totalnedböjningen tycks inte ha något entydigt samband med uppmätt vinkeländring, vilket förmodligen beror på att man vid uppmätningen av vinkeländringen inte mäter glappet mellan påle och skarvmanschett, utan endast vinkeländringen i själva skarvsnittet.

För att bedöma det skarvglapp, som skarven uppvisar enbart belastad med pålelementets egenvikt, mäts den s k initialvinkeländringen. Dess storlek har sammanställts i ett frekvensdiagram. Härav framgår, att det av Planverket uppställda värdet på maximal initialvinkeländring (1:300) i de flesta fall underskrids.

Det begränsade antalet dragprovningsresultat, som finns tillgängliga i undersökningsmaterialet, har inte kunnat bearbetas, enär någon standard för hur en sådan provning skall utföras ännu ej fastställts och provningarna därför ej är jämförbara.

I rapporten har synpunkter samt förslag till förenklingar av provningar och resultatredovisning gjorts. Bl a föreslås uppmjukning av kravet på slagning samt mätningen av vinkeländringen i skarv.

SUMMARY

The data for this investigation consists of results from bending tests on jointed and unjointed concrete pile sections. The tests have mostly been carried out by Statens Provningsanstalt [1] and Chalmers Provningsanstalt [2] during the period 1958 - 1972. Most of the tests have, however, been carried out after 1966. The test results have mostly been appended to application forms for type-approval of joints by Statens Planverk [3] and Statens Vägverk [4]. The material covers 232 jointed and unjointed pile sections. The spread of the material with regard to dimension, jointed or unjointed sections and driven or undriven piles can be seen in Figure 3:1. In sweden there are at present (1973) five manufactures each of whom has a type-approved pile-joint.

To get a joint type-approved, satisfactory results must be submitted for one unjointed and two jointed 3 m pile sections, which have first been test-driven and then tested in bending. The test-driving means that the pile, after reaching the rock surface, is hammered 3000 times with a drop hammer. The bending test is arranged so that the pile section, freely supported with a span of 3 m, is loaded at the third points. The deflection within the central 1.4 m length ($\delta_{1.4}$) is measured, from which the bending stiffness EI can be calculated. In this report only the deflection value $\delta_{1.4}$ is given. It can, however, easily be converted to the bending stiffness using the formula $EI = \frac{M \cdot 1.4^2}{8 \cdot \delta_{1.4}}$. Statens Planverk [3] has worked out certain limits for minimum stiffness for given bending moments on pile sections.

The purpose of this work was, among other things, to study the influence of the test-driving on the deformation characteristics of the pile section. The influence of the test-driving on unjointed pile sections has been found to be insignificant.

Even for jointed pile sections the driving is of minor importance. Test-driving might, however, have a detrimental effect on certain joint types, in the form of increased deformation under bending.

The relationship between the measured ultimate moment and the calculated yield moment according to the limit-load theory has also been studied and calculated to approximatly 1.3 for unprestressed pile sections. Investigations show further that the ultimate bending moment of driven pile sections is inconsiderably lower than that of undriven pile sections.

The theoretical deflection, as a funktion of the bending moment, has been determined for unprestressed, square, unjointed piles. The measured deflections are very close to the calculated ones, which means that bending test on unjointed, unprestressed, square piles are unneccessary.

A comparison between the deformation in relation to the applied moment on unjointed and jointed pile sections has been carried out. According to the Swedish Building Code a jointed pile shall be, in the main, as stiff as an unjointed pile. The investigation shows that this requirement can only be fullfilled with difficulty by unprestressed pile sections, but with prestressed pile sections fullfillment of the requirement is practically impossible. A comparison between the test material and Statens Planverk's [3] requirements has been made.

A study has also been made of the significance of the angular deformation in the joint, in relation to the total deflection for a jointed pile section. The total deflection does not seem to have any clear connection with this angular deformation. This is probably due to the fact the angle is measured between the joint collars but not where the collars meet the concrete.

To estimate the gap that the joint shows when loaded with only the weight of the pile sections, the so called initial angular deformation is measured. It´s magnitude has been put together in a frequency of occurance against angle deformation diagram. From this it appears that few joints exceed the value of the maximum initial angle (1:300) as set by Statens Planverk [3].

Because of the lack of any standard tension test procedure, the limited amount of tension test material which is available in the report has not been studied as the results are not comparable.

The report contains discussions and proposals for the simplification of the test procedure and presentation of results. Suggestions include a reduction of the test-driving requirement for test sections and the removal of the angular deformation measurement.

1) Statens Provningsanstalt - The Swedish State Materials Testing Station
2) Chalmers Provningsanstalt - Chalmers Materials Testing Station
3) Statens Planverk - The National Swedish Board of Urban Planning
4) Statens Vägverk - The National Swedish Road Administration

1. INLEDNING

I Sverige används vanligen betongpålar med tvärsnitten 235x235, 250x250, 270x270, 300x300 mm och Ø 280, Ø 335 mm samt sexkantpålar med arean 600 cm^2. Under de senaste åren har man sökt begränsa antalet tvärsnittsdimensioner genom att standardisera 235x235 och 270x270 mm samt Ø 280 och Ø 335 /6/. De runda pålarna tillverkas med förspänd armering, medan de kvadratiska tillverkas med ospänd armering. Man har vidare infört standardiserade pålningsklasser och normerade laster. De vanligaste är C33, B45 och B60, vilka tillåts uppta 330, 450 respektive 600 kN last /2/.

För varje tvärsnitt finns ett flertal skarvar att tillgå på marknaden. En skarv skall kunna överföra tryck och dragkrafter på samma sätt som den oskarvade pålen. Dessutom skall den skarvade pålen kunna uppta böjmoment på ett likartat sätt, som den oskarvade pålen. Detta problem har lösts på ett flertal principiellt olika sätt av skarvfabrikanterna. De tre vanligaste metoderna är bajonettkoppling, sprintkoppling och kilförankring. Bajonettkopplingen består av två skarvplattor med spår, som vrids ihop. Vid sprintkopplingen sätts de två skarvplattorna mot varandra och sprintar slås in i speciella kopplingar som sammanfogar elementen. Kilförankringen finns i två olika utföranden, nämligen dels med en ursparing i skarvplattorna, mitt på sidorna där kilar slås in och sätts fast, dels med ursparingar i hörnen där kilarna slås in. Förutom dessa tre skarvningsprinciper finns några mera sällan förekommande metoder. För närvarande finns fem olika typgodkända skarvfabrikat representerade på marknaden.

Typgodkännande av skarvar för pålar ges av Statens Planverk. I Planverkets Pålnormer finns krav på oskarvade och skarvade pålar uppställda. Pålnormernas krav på en skarvad påle kan sammanfattas med att, efter slagning skall pålen i det skarvade avsnittet vara i huvudsak likvärdig med pålen i övrigt ur hållfasthets- och deformationssynpunkt. I anslutning till detta har Plan-

verket givit ut "Riktlinjer för provning och bedömning av skarv för slakarmerad betongpåle" /3/, vilken mera preciserar hur en provning av en skarv skall tillgå och vilka krav på skarvens styvhet som ställs. För de olika pålningsklasserna och normerade lasterna har här uppställts krav bl a på minsta tillåtna böjstyvhet samt maximal initialvinkeländring.

2. UNDERSÖKNINGENS SYFTE

Syftet med detta examensarbete var främst, att sammanställa och systematisera resultaten från tidigare gjorda provningar, för att underlätta eventuellt kommande undersökningar.

En avsikt med undersökningen var även att söka erhålla samband mellan pålars böjstyvhet som funktion av vissa materialegenskaper såsom armering, påltvärsnitt etc. Här förväntades man finna samband mellan oskarvade och skarvade pålelement.

Vidare var man intresserad av att studera effekten av slagning hos såväl skarvade som oskarvade element. Förhoppningen var att finna eventuella samband mellan slagna och oslagna element för att i framtiden eventuellt kunna förenkla provningsförfarandet.

Som resultat av undersökningen hoppades man även få en kontroll på de normalkrav på böjstyvhet m m som idag ställs av Planverket.

Det bedömdes dessutom som intressant att vid böjprovning studera inverkan av vinkeländring i skarven på totala nedböjningen.

3. INVENTERING AV UTFÖRDA BÖJPROVNINGAR

Som utgångsmaterial för denna undersökning av hittills genomförda böjprovningar på oskarvade och skarvade betongpålar, har använts de provningsprotokoll, som bl a finns tillgängliga hos Statens Planverk och Statens Vägverk. Dessa provningsprotokoll utgörs i huvudsak av bilagor till ansökningshandlingar för typgodkännande av skarvar, men förekommer även i andra sammanhang, t ex Pålkommissionens rapporter. Undersökningsmaterialet sträcker sig tillbaka till 1958, men större delen av materialet har tillkommit efter 1966. En sammanställning av de tillgängliga protokollen redovisas i Bilaga 1.

Arbetet med inventeringen av materialet tillgick så att varje böjprovningsresultat överfördes till en blankett, för att få alla provningarna redovisade på samma sätt. Härvid antecknades även provningsdatum, provningsanstalt, armering, skarvtyp, dimension m m, vilket sedan kom till användning vid uppdelningen av materialet. En grov uppdelning av materialet enligt Figur 3:1 gav den redovisade fördelningen. Som framgår av figuren fanns totalt 232 böjprovningsresultat att tillgå.

Inom varje grupp uppdelades sedan materialet med avseende på armeringsmängd respektive skarvarmeringsmängd. Bearbetningen av materialet bestod sedan främst i att räkna om vinkeländringen i skarven till ett för alla provningarna gemensamt redovisningssätt. Därefter kunde varje provning uppritas i diagram på ett jämförbart sätt.

En svårighet vid jämförelser av skarvade pålar har varit de eventuella ej redovisade förändringar, som gjorts på skarven från provningstillfälle till provningstillfälle. Detta har medfört att möjligheterna till jämförelser av skarvade pålar, som provats vid olika tillfällen, kraftigt begränsats. En annan svårighet har varit de tyvärr ofta ofullständiga provningsprotokollen, vilket medfört, att en del material endast kunnat användas i begränsad omfattning.

		SLAKARM.				SPÄNNARM.				
		SKARVAD		OSKARVAD		SKARVAD		OSKARVAD		
		OSL.	SL.	OSL.	SL.	OSL.	SL.	OSL.	SL.	
⊕ 23.5	SIS	6	11	3	7					27
	–	3 [1]		1 [1]						4
⊕ 25.0		10	21	7	9					47
⊕ 27.0	SIS	9	14	4	9					34
	–			1 [2]						1
⊕ 30.0		16	3	9						28
Ø 28.0	SIS						22	9	12	43
	–	1	3	1						5
Ø 33.5	SIS					2	12	7	8	29
	–				3 [3]					3
6-kant 600 cm^2		1	3	1	4					9
		46	55	27	32	2	34	16	20	≤ 232

FIGUR 3:1

Undersökningsmaterialets fördelning

1) 4 Ø 19 huvudarmering ej SIS

2) 8 Ø 12 huvudarmering ej SIS

3) runda slakarmerade ej SIS

4. BESKRIVNING AV PROVNINGSMETODER

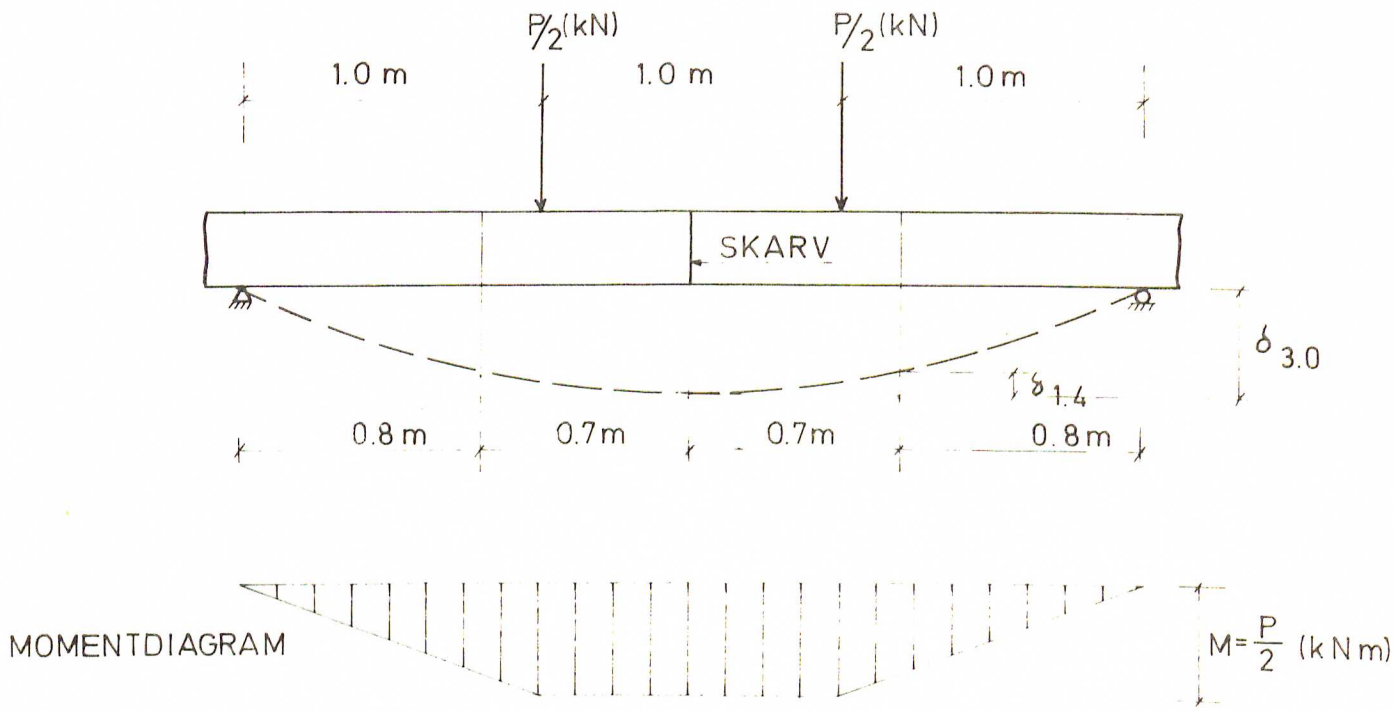
4.1 Slagprovning

Enligt Planverkets nu gällande "Riktlinjer för provning och bedömning av skarv för slakarmerad betongpåle" /3/ skall till ansökningar om typgodkännande av pålskarvar bifogas böjprovningsresultat, som utförts av opartisk provningsanstalt. I princip skall alla pålar, som böjprovas vara provslagna. Provslagningen består i att den skarvade pålen, efter stoppslagning mot berg, slås med 3000 slag med 3 tons hejare varav 2500 slag med 0,30 m och 500 slag med 0,40 m fallhöjd. Därefter dras pålen upp och kapas i lämpliga 3 m längder för att böjprovas. Därvid erhålles normalt ett oskarvat och ett skarvat 3 m pålelement per påle.

Vid hantering och slagning av en påle uppkommer normalt dragspänningar i pålen, vilket medför, att betongen spricker. Betongen i en slagen påle kommer därför att i pålens längdled endast kunna uppta tryckpåkänningar, medan dragpåkänningar upptas av huvudarmeringen.

4.2 Böjprovning

Vanligen utförs böjprovning av skarvade och oskarvade pålelement på det sätt, som beskrivs i /3/. Uppläggning av elementet och momentfördelning framgår av Figur 4:21.



FIGUR 4:21

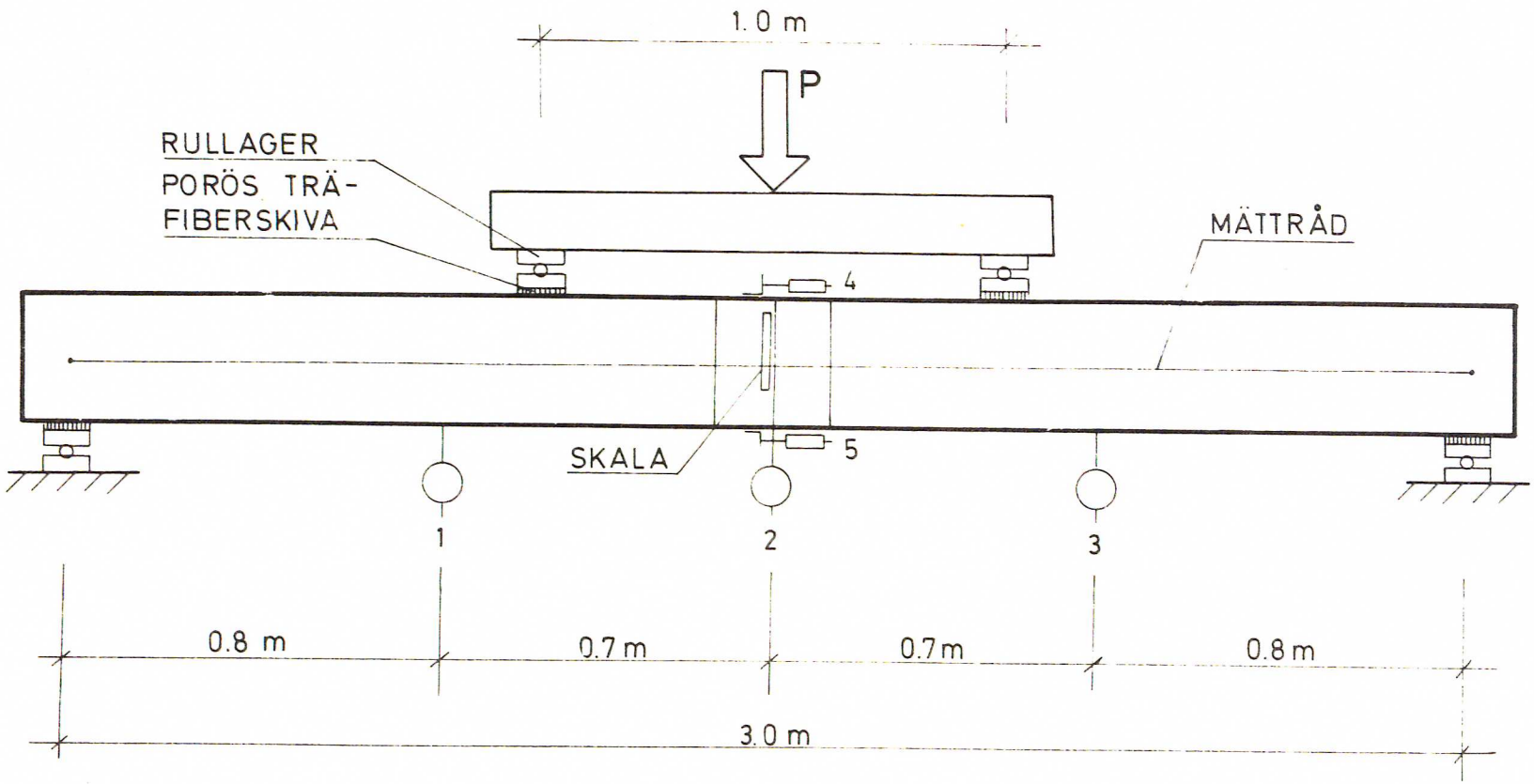
Belastning, nedböjning och momentfördelning vid böjprovning

Nedböjningen mäts på 3,0 respektive 1,4 m längd över pålelementet. I detta examensarbete har dock endast nedböjningen på 1,4 m spännvidd($\delta_{1,4}$) redovisats, på grund av att denna enhet numera är den mest använda. Ur nedböjningen $\delta_{1,4}$ (m) kan sedan böjstyvheten EI (kNm^2) härledas, vilket redovisas i Pålkommissionens meddelande nr 8 kap. 4.2 /1/. Härvid erhålles böjstyvheten som

$$EI = \frac{M \cdot 1.4^2}{8 \cdot \delta_{1,4}}$$

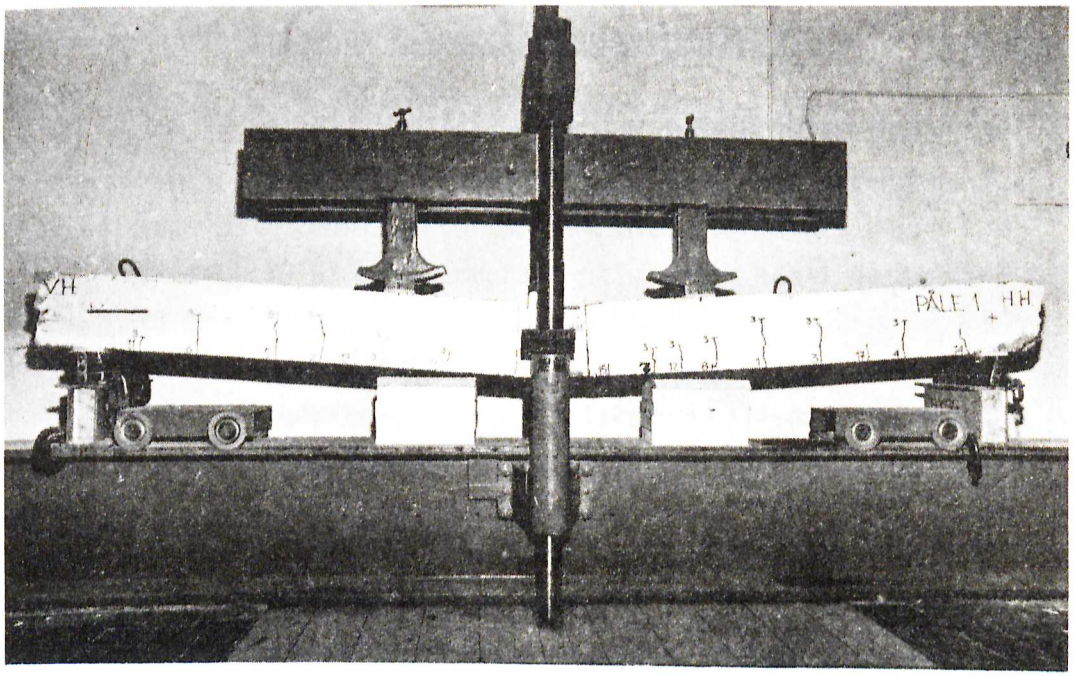
där M är det maximala böjmomentet (kNm). I denna redovisning har genomgående nedböjningen $\delta_{1,4}$ uppritats som funktion av momentet M. Detta förfarande har tillämpats p g a att det, särskilt för spännarmerade pålar, ger en överskådligare redovisning. För spännarmerade pålar varierar nämligen EI mycket kraftigt vid små moment. I nedböjningen $\delta_{1,4}$ ingår ej den initialnedböjning som erhålls när pålelementet enbart påverkas av egenviktsmomentet.

En böjprovning tillgår så att belastningen påförs stegvis under ca 1 minut och nedböjningen mäts efter ca 3 minuters konstanthållning av lasten. Nedböjningen mäts dels på hela spännvidden 3,0 m med en klen spänd metalltråd och en mätskala och dels på 1,4 m av pålens mittparti med mätur. För skarvade pålar mäts dessutom vinkeländringen i skarven, vilket behandlas närmare i kap 5.5. Figur 4:22 visar en principskiss av den försöksanordning som används vid Statens Provningsanstalt. I Figurerna 4:23, 4:24 visas bilder tagna efter en böjprovning av en skarvad och en oskarvad betongpåle.



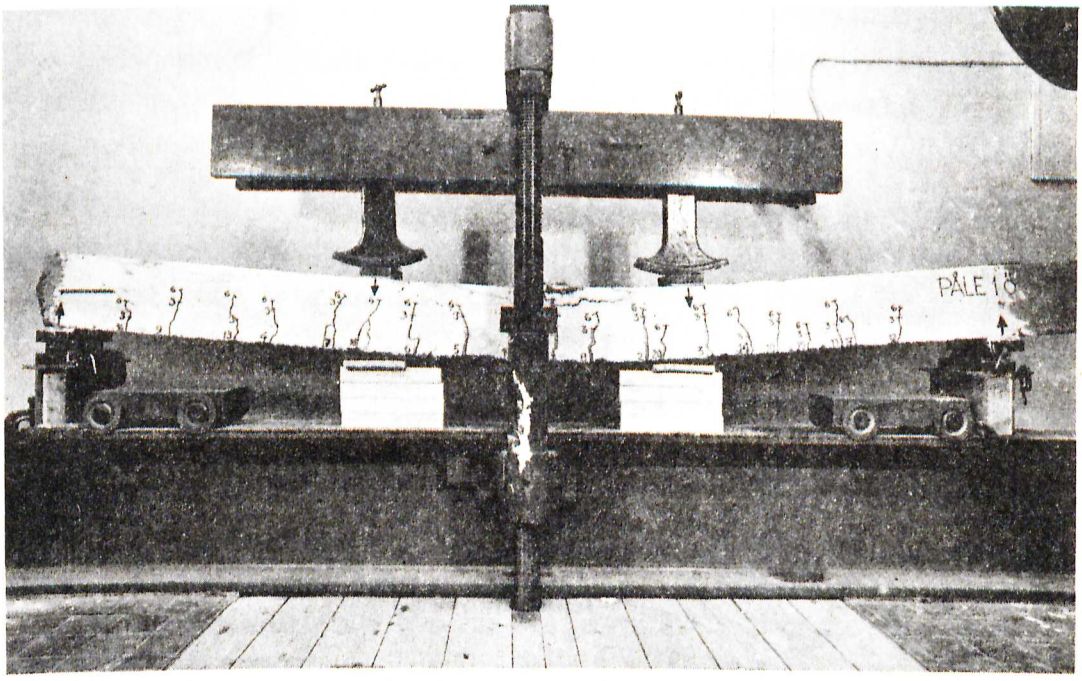
FIGUR 4:22

Provningsanordningens utseende samt lastplacering och mäturens läge, vid böjprovning av skarvad betongpåle



FIGUR 4:23

Skarvad påle efter avslutad böjprovning. Uppkomna sprickor iritade med svart färg. Siffra vid spricka avser spricknummer. Tvärstreck över spricka anger sprickslut vid angiven last i Mp.



FIGUR 4:24

Oskarvad påle efter avslutad böjprovning

4.3 Sammanfattning av Planverkets riktlinjer

Planverkets "Riktlinjer för provning och bedömning av skarv för slakarmerad betongpåle" /3/ gäller, som framgår av lydelsen, för slakarmerade pålelement. Eftersom det inte utarbetats några speciella riktlinjer för spännarmerade pålelement har i detta examensarbete använts samma riktlinjer även för dessa.

Provning för typgodkännande av en pålskarv skall omfatta minst två skarvade och ett oskarvat element. Provningen omfattar slagprovning, se kap. 4.1 och laboratorieprovning. Den senare omfattar normalt mätning av initialvinkeländring (skarvat element), se kap. 5.6 samt böjprovning av oskarvat och skarvat pålelement, se kap. 4.2. Vidare tryckprovning av objektlagrade betongkuber samt dragprovning av armering. Utöver detta kan Planverket om så erfordras kräva ytterligare provningar, t ex dragprovning.

De normala krav som ställs för typgodkännande av en pålskarv avser skarvar för slakarmerade pålar i pålningsklasserna B och C. I pålningsklass A sker bedömning från fall till fall.

Initialvinkeländringen i skarven provad enligt beskrivning i kap. 5.6 får inte överstiga 1:600, vilket motsvarar $V_0 = 1{,}67 \cdot 10^{-3}$ rad.

Flytmomentet, dvs det moment vid vilket böjstyvheten börjar avta påtagligt, får inte understiga följande värden:

Pålningsklass och normerad last	Flytmoment (kNm)
C33	34
B45	43
B60	51

Mittpunktsnedböjningen ($\delta_{3,0}$) och nedböjningen på 1,4 m längd ($\delta_{1,4}$) får inte överstiga följande värden för pålningsklass B

Moment	0,3	0,5	0,7	x $M_{brott\ oskarv}$
Mittpunktsnedböjning ($\delta_{3,0}$)	1,5	1,5	1,7	x δ_{oskarv}
Nedböjning ($\delta_{1,4}$)	1,33	1,18	1,33	x $\delta_{1,4}$ oskarv

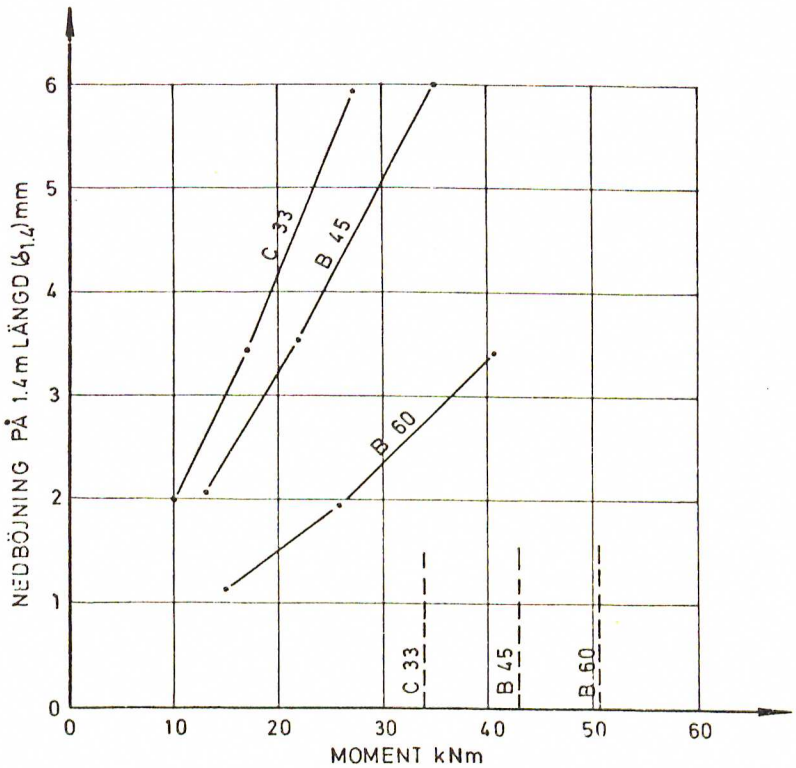
En motsvarande tabell finns även för pålningsklass C.

Nedböjningen på 1,4 m längd får emellertid inte heller överstiga vissa i absoluta tal angivna värden. För exempelvis pålningsklass B45 gäller nedanstående minimikrav på böjstyvheten EI, vilka omräknats till maximikrav på nedböjningen ($\delta_{1,4}$):

Moment (kNm)	13	22	35
Böjstyvhet (kNm^2)	1500	1500	1400
Nedböjning $\delta_{1,4}$ (mm)	2,1	3,6	6,1

I Figur 4:31 har kraven på $maxima_l$ nedböjning ($\delta_{1,4}$) redovisats för C33, B45 och B60.

I kapitel 5.5 har totala nedböjningen på 1,4 m längd ($\delta_{1,4}$) som funktion av böjmomentet uppritats för några typgodkända skarvar i olika pålningsklasser, Figurerna 5:509 - 5:511. Av dessa diagram framgår hur nedböjningskurvorna för olika skarvar väl ansluter till Planverkets krav. Det framgår också, att för pålningsklassen B60 uppstår vissa svårigheter att uppfylla minimikravet för de slakarmerade pålelementen. Kravet i klass C33 är å andra sidan relativt lätt att uppnå. Trots detta har en skarv godkänts utan att helt uppfylla kravet.



FIGUR 4:31

Statens Planverks krav på maximal nedböjning på 1,4 m längd ($\delta_{1,4}$) för olika pålningsklasser (skarvade pålelement). I figuren visas även minimikravet på flytmomentet.

5. SAMMANSTÄLLNING AV REDOVISADE RESULTAT

5.1 Brottmoment

De uppmätta brottmomenten har jämförts med ett beräknat flytmoment. Den beräkningsmodell, för bestämning av flytmomentet, som använts redovisas nedan. Den bygger på den i spännbetongnormerna beskrivna metoden för beräkning av brottmomentet. I enlighet med /3/ har det beräknade brottmomentet kallats för flytmoment för att skilja det från de uppmätta brottmomenten, som vanligen är betydligt större. Detta sammanhänger med att armeringen, som vid flytmomentets uppnående har uppnått sträckgränsen σ_s, kan uppta ytterligare last innan brott uppkommer. Efter det att flytmomentet uppnåtts blir dock deformationerna så stora, att brottet vanligen orsakas av ett betongbrott. Detta beror på att tryckzonshöjden minskar mycket kraftigt sedan armeringen börjar flyta, vilket snabbt ökar tryckspänningen i betongen.

För att få ett rimligt värde på hur mycket högre det uppmätta brottmomentvärdet ligger över det beräknade flytmomentet, har en beräkning av kvoten uppmätt brottmoment genom beräknat flytmoment gjorts. Denna undersökning redovisas i Tabell 5:12. Härvid var man även intresserad av att veta om slagningen har någon betydelse för brottmomentet. En uppdelning i slagna och oslagna element har därför gjorts. Tabellen ger vid handen att det troligen är en viss skillnad i brottmomentet mellan slagna och oslagna. Detta gäller såväl skarvade som oskarvade. Möjligen kan detta bero på att betongen försämras något genom slagningen och uppsprickningen, vilket kan medföra att betongskjuvbrott tidigare uppkommer i slagna än i oslagna pålar.

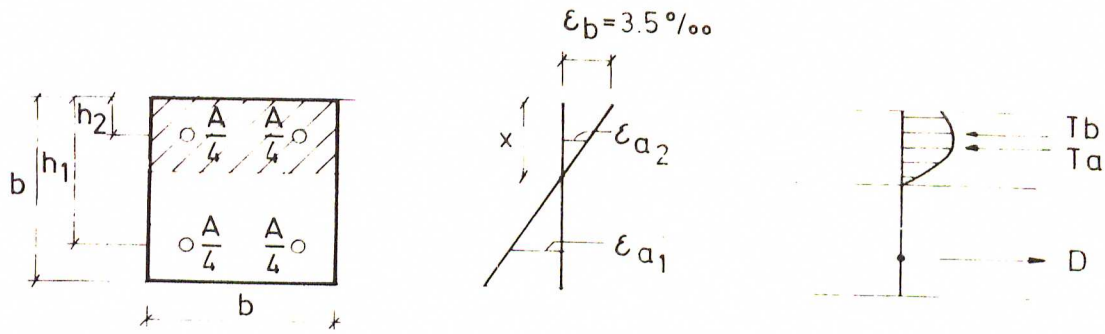
Vid beräkning av kvoten för de skarvade pålarna har ingen hänsyn till skarvarmeringen tagits, vilket gör att spridningen i praktiken kan vara mycket stor. Man kan dock se att det verkliga brottmomentet är ca 30 % större än det beräknade flytmomentet för både oskarvade och skarvade pålar. Detta kan vara värdefullt att veta vid jämförelser med nya provningsresultat.

Någon motsvarande beräkning för spännarmerade runda betongpålar har inte utförts p g a att det vanligen inte framgår av provningshandlingarna vilken armeringskvalitet och förspänningskraft som använts. Dessa båda faktorer är mycket betydelsefulla vid en brottmomentberäkning för spännarmerad betong, vilket därför omöjliggjort en beräkning i dessa fall.

5.11 Beräkningsmodell för flytmomentberäkning

(Slakarmerade kvadratiska tvärsnitt)

FIGUR 5:11



(Enligt Figur 4:3421 a spännbetongnormerna)

$$D = \frac{A}{2} \cdot \sigma_s$$

$$T_b = \frac{4}{9} \cdot b \cdot x \cdot K$$

$$\frac{\varepsilon_{a_2}}{b} = \frac{x - h_2}{x} \Rightarrow \varepsilon_{a_2} = \varepsilon_b \cdot \frac{x - h_2}{x} = \varepsilon_b \cdot \left(1 - \frac{h_2}{x}\right)$$

$$\sigma_{a_2} = E_a \cdot \varepsilon_{a_2} = E_a \cdot \varepsilon_b \cdot \left(1 - \frac{h_2}{x}\right) \quad \text{där} \quad E_a = 2{,}1 \cdot 10^6 \text{ kp/cm}^2$$

$$T_a = \frac{A}{2} \cdot \sigma_{a_2} = \frac{A}{2} \cdot E_a \cdot E_b \cdot \left(1 - \frac{h_2}{x}\right)$$

$D = T_a + T_b$ vilket ger x

Flytmomentet erhålles som

$$M = T_b \left(h_1 - \frac{3x}{8}\right) + T_a \left(h_1 - h_2\right)$$

Man måste dock kontrollera att

$$\varepsilon_{a_2} \leq \varepsilon_s = \frac{\sigma_s}{E_a}$$

om $\varepsilon_{a_2} \geq \varepsilon_s$ ersättes σ_{a_2} med σ_s

Beteckningar:

A = totala huvudarmeringsarean
K = betongens kubhållfasthet
σ_s = armeringens sträckgräns
ε = töjningen
E = elasticitetsmodulen

Tabell 5:12 Brottmoment/Flytmoment för slakarmerade btg-pålar. Btg K 500

Dimension (mm)	Armering	Beräknat flytmom. (kNm)	Oskarvade				Skarvade			
			oslagna		slagna		oslagna		slagna	
			brottmom (kNm)	Ant. x $\frac{\text{brottm.}}{\text{flytm.}}$	brottmom. (kNm)	Ant. x $\frac{\text{brottm.}}{\text{flytm.}}$	brottmom. (kNm)	Ant. x $\frac{\text{brottm.}}{\text{flytm.}}$	brottmom. (kNm)	Ant. x $\frac{\text{brottm}}{\text{flytm.}}$
235x235	4 Ø 16 Ks 40	30,0	51,5	1 x 1,70	39,5	2 x 1,32	43,0	3 x 1,43	35,0	2 x 1,17
	4 Ø 16 Ks 60	43,0	53,0	2 x 1,23	50,0	2 x 1,16	54,5	3 x 1,27	49,0	4 x 1,14
270x270	4 Ø 20 Ks 40	54,0	65,5	4 x 1,21	69,5	7 x 1,29	70,5	9 x 1,31	71,0	12x 1,32
250x250	4 Ø 16 Ks 40	32,7	45,3	3 x 1,39			48,7	5 x 1,49		
	4 Ø 19 Ks 40	44,0	54,5	2 x 1,24			56,0	2 x 1,27	56,0	2 x 1,27
	4 Ø 19 Ks 60	63,7			81,5	5 x 1,28				
	4 Ø 20 Ks 60	70,2			77,5	1 x 1,10				
	4 Ø 22 Ks 40	56,9	66,4	2 x 1,17			77,3	2 x 1,36		
300x300	4 Ø 12 Ks 40	24,7	32,5	1 x 1,31						
	4 Ø 16 Ks 40	41,4	59,5	4 x 1,35			61,0	1 x 1,47	62,0	8 x 1,50
	4 Ø 19 Ks 40	56,3	77,5	2 x 1,37			81,8	2 x 1,45		
	4 Ø 22 Ks 40	73,2	94,3	2 x 1,29			98,3	2 x 1,34		
Viktat medelvärde på brottmoment/flytmoment			1,31		1,26		1,37		1,33	
			1,29				1,35			

5.2 Beräkning av nedböjningen $\delta_{1,4}$

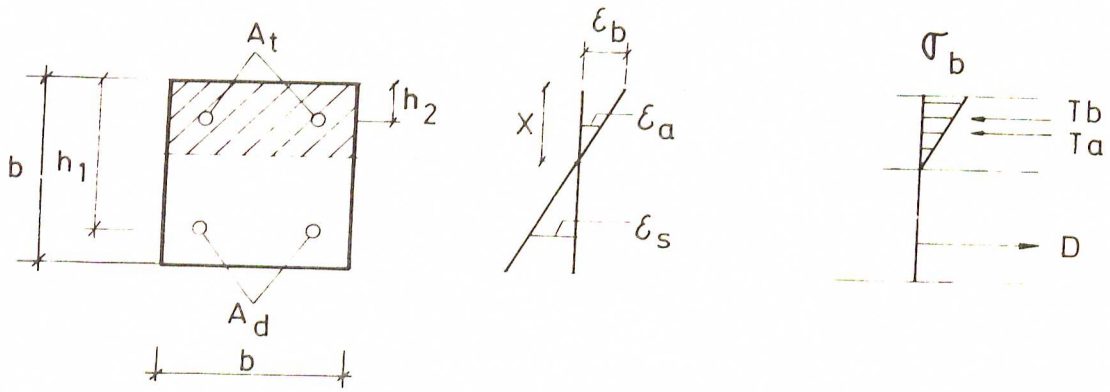
För oskarvade slakarmerade kvadratiska betongpålar har den uppmätta nedböjningen $\delta_{1,4}$ kunnat jämföras med en motsvarande beräknad nedböjning. Denna beräknade nedböjning bygger på elasticitetsteorin och ger en rimlig överensstämmelse med verkligheten. Beräkningsmodellen redovisas nedan. Jämförelse mellan beräknade nedböjningar och uppmätta redovisas i Figurerna 5:301 - 5:305. Kurvan för beräknad nedböjning har avslutats vid det beräknade flytmomentet, därför att beräkningsmodellen därefter icke är tillämplig. Som synes i figurerna erhålls en mycket god överensstämmelse mellan uppmätt och beräknad nedböjning, vilket borde leda till, att man kunde slopa kravet på att böjprova oskarvade slakarmerade pålelement. n-värdet, dvs förhållandet mellan armeringens och betongens elasticitetsmodul har vid beräkningen valts till 6, därför att krypningen icke inverkar vid korttidsbelastningar.

Någon motsvarande beräkning för spännarmerade betongpålar har inte utförts, enär förloppet där endast med svårighet kan beräknas. Man kan dock i princip använda samma metod för att beräkna nedböjningarna tills uppsprickning i underkant uppstår. Detta förlopp är rätlinjigt, men efter uppsprickning är förloppet ej rätlinjigt, eftersom tryckzonshöjden vandrar uppåt. Beräkningen kompliceras av att pålen är rund och att därför armeringen hamnar på olika nivåer. Ett förslag till behandling härav har givits i Pålkommissionens SPR nr 37, /8/.

5.21 Beräkningsmodell för uppskattning av nedböjningar hos slakarmerade betongpålar

Beräkning av x

FIGUR 5:21



$$D = A_d \cdot \sigma_s$$

$$T = \frac{\sigma_b \cdot x}{2} \cdot b = \frac{b \cdot x}{2} \cdot \varepsilon_b \cdot \frac{E_a}{n}$$

$$\varepsilon_b = \frac{x}{h_1 - x} \cdot \varepsilon_s = \frac{x}{h_1 - x} \cdot \frac{\sigma_s}{E_a}$$

$$T = \frac{b \cdot x}{2} \cdot \frac{x}{h_1 - x} \cdot \frac{\sigma_s}{n}$$

$$T_a = A_t \cdot \sigma_a = A_t \cdot \varepsilon_a \cdot E_a$$

$$\varepsilon_a = \frac{x - h_2}{h_1 - x} \cdot \varepsilon_s = \frac{x - h_2}{h_1 - x} \cdot \frac{\sigma_s}{E_a}$$

$$T_a = A_t \cdot \frac{x - h_2}{h_1 - x} \cdot \sigma_s$$

$D = T + T_a$ ger

$$A_d \cdot \sigma_s = \frac{b \cdot x^2}{2 \cdot (h_1 - x)} \cdot \frac{\sigma_s}{n} + A_t \cdot \frac{x - h_2}{h_1 - x} \cdot \sigma_s$$

$$A_d \cdot 2\,n \cdot (h_1 - x) = b\,x^2 + A_t \cdot 2\,n \cdot (x - h_2)$$

$$A_d \cdot 2n \cdot h_1 - x \cdot A_d \cdot 2n = bx^2 + x \cdot A_t \cdot 2n - A_t \cdot 2n \cdot h_2$$

$$2n\,(A_d \cdot h_1 + A_t \cdot h_2) = bx^2 + x \cdot 2n \cdot (A_d + A_t)$$

$$x^2 + x \cdot \frac{2n}{b} \cdot (A_d + A_t) - \frac{2n}{b}\,(A_d h_1 + A_t h_2)$$

$$x = \frac{n}{b}\,(A_d + A_t) \cdot \left[\sqrt{1 + \frac{2b\,(A_d h_1 + A_t h_2)}{n\,(A_d + A_t)^2}} - 1 \right]$$

om $A_d = A_t = \frac{A}{2}$ erhålles

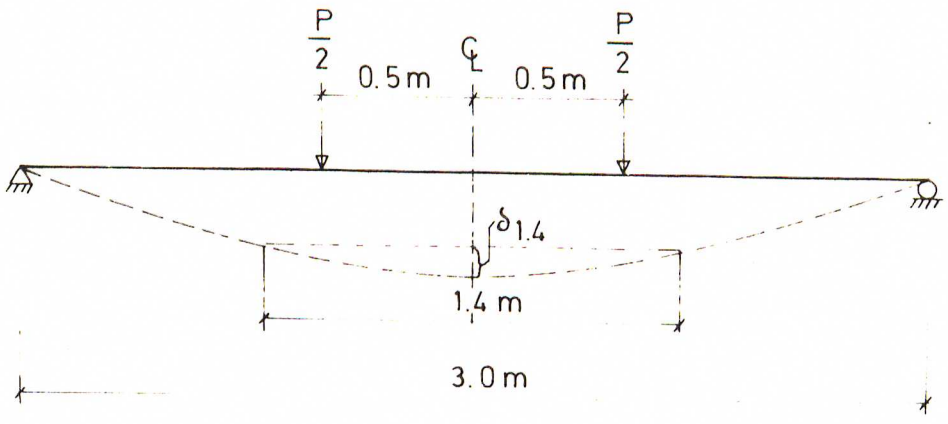
$$x = \frac{n\,A}{b} \cdot \left[\sqrt{1 + \frac{b \cdot (h_1 + h_2)}{n \cdot A}} - 1 \right]$$

För kvadratiskt tvärsnitt, med symmetrisk placering av armeringen, kan ovanstående formel skrivas:

$$x = \frac{n \cdot A}{b} \cdot \left[\sqrt{1 + \frac{b^2}{n \cdot A}} - 1 \right]$$

Beräkning av nedböjningen

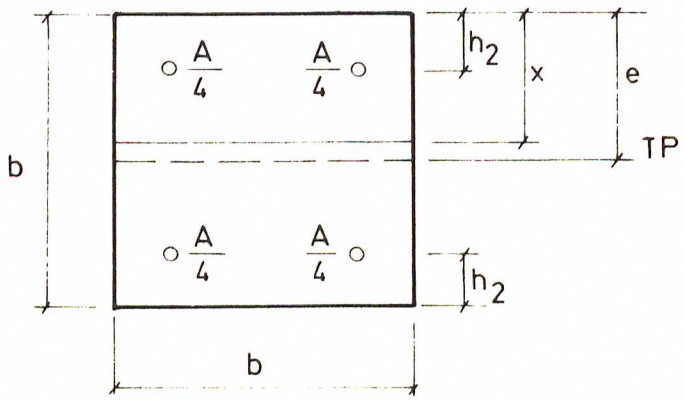
FIGUR 5:22



$$\delta_{1,4} = \frac{0{,}245 \cdot M}{E \cdot I}$$

erhålles genom belastning med $\frac{M}{EI}$ - diagrammet.

FIGUR 5:23



$E_{b_{korttid}} = 16000 \cdot \sqrt{K} \cdot 3{,}6 \cdot 10^6$ Mp/m^2 för K = 500 kp/cm^2

om $E_a = 2{,}1 \cdot 10^7$ Mp/m^2 $\longrightarrow$ $n = \frac{E_a}{E_b} \sim 6$

$$I = \frac{n \cdot A}{2} \cdot \left[(b-h_2-e)^2 + (e-h_2)^2 \right] + bx \cdot \left[\frac{x^2}{12} + (e - \frac{x}{2})^2 \right]$$

$$e = \frac{b}{2} \cdot \frac{x^2 + n\,A}{bx + n\,A}$$

där $x = \frac{n \cdot A}{b} \cdot \left[\sqrt{1 + \frac{b^2}{n \cdot A}} - 1 \right]$ enligt tidigare

(sorter i Mp och m)

Vanligen är e $\sim$ x.

5.3 Slagningens inverkan vid böjprovning

5.31 Diskussion om slagningens inverkan på oskarvade pålar

Då det befintliga ansökningsmaterialet innehåller en relativt stor del oslagna pålar har en jämförelse kunnat göras av oslagna och slagna pålelement. Pålarna har uppdelats i grupper med samma dimension och armering. Därefter har böjprovningsresultaten inprickats i diagram varefter fält för oslagna respektive slagna pålar kunnat uppritas. I Figurerna 5:301 - 5:311 finns resultaten av denna undersökning redovisade.

För slakarmerade pålar har vidare beräknats teoretiska nedböjningskurvor enligt elasticitetsteorin. Den använda beräkningsmodellen har beskrivits i kap. 5.2. Vid den teoretiska beräkningen försummas betongens draghållfasthet, som vid en strikt beräkning för osprucken betong kan medräknas tills $\sigma_{bd} \sim 0{,}125 \sqrt{K}$ MPa.

Det teoretiska brottmomentet, här kallat flytmomentet, dvs då σ_s uppnås i huvudarmeringen, har även beräknats för de slakarmerade tvärsnitten. Beräkningsförfarandet har beskrivits i kap. 5.1.

I Figurerna 5:301 - 5:318 har vid mer än 2 mätvärden medelvärden på de uppmätta brottmomenten angivits, samt minsta och största uppmätta brottmomentvärde.

5.311 Slakarmerade pålar

I Figurerna 5:301, 5:302, 5:304 och 5:305 finns redovisat fält för både oslagna och slagna pålar. Figurerna 5:301, 5:302 och 5:304 visar alla en mycket god överensstämmelse mellan uppmätta värden och den beräknade nedböjningskurvan. Man kan även se att de oslagna pålarna i början har mindre nedböjningar än de slagna. Detta beror på att betongen hos de oslagna pålarna hjälper till att uppta dragspänningar innan sprickmomentet uppnås. De slagna pålarna är p g a slagningen redan uppspruckna och anslu-

ter därför bättre till den teoretiskt beräknade nedböjningskurvan i begynnelseskedet. Efter det att sprickmomentet uppnåtts tenderar de båda fälten att sammanfalla. Ur figurerna kan man även se hur väl det teoretiskt beräknade flytmomentet överensstämmer med det moment vid vilket deformationerna börjar att öka snabbare. Detta kan även ses i Figur 5:303. Vid 6-kantpålar, Figur 5:305 där armeringen ligger på flera nivåer uppnås inte sträckgränsen i armeringen samtidigt i alla armeringsstänger, vilket medför att man där inte får en så markant förändring av deformationshastigheten.

De uppmätta brottmomenten för kvadratiska pålar har blivit ca 30 % större än de teoretiska flytmomenten, jämför kap. 5.1.

5.312 Spännarmerade pålar

Figurerna 5:306 - 5:311 visar alla jämförelser mellan runda slagna respektive oslagna pålar. Alla kurvorna visar att deformationerna med spännarmerad betong blir betydligt mindre än för slakarmerad. En spännarmerad påle skiljer sig från en slakarmerad i det avseendet att betongen från början är tryckt p g a den införda förspänningen. Detta medför att hela betongarean kan medverka vid kraftupptagningen i böjprovningen ända tills nollspänning i underkant uppnås. Man får alltså vid böjningens första del ett rätlinjigt samband mellan nedböjning och påfört moment. Detta framgår klart ur Figurerna 5:306 - 5:311. Sedan nollspänning i underkant uppnåtts kan de slagna pålarna ej uppta någon dragspänning i betongen, varför tryckzonshöjden för dem direkt börjar minska. För de oslagna ej spruckna pålarna bör teoretiskt betongen kunna uppta ytterligare ca $0{,}125\sqrt{K}$ MPa i dragspänning innan den spricker upp i underkant. Denna effekt är dock obetydlig, varför den ej heller klart framgår ur figurerna. Efter det att betongen spruckit upp i underkant tilltar deformationerna och tryckzonshöjden minskar allt mer. För de flesta pålarna gäller det att brottet uppkommer i betongen, eftersom de är ganska kraftigt armerade.

Ur ovanstående resonemang framgår att det teoretiskt inte bör vara någon markant skillnad mellan en slagen och en oslagen påle. Figurerna tycks ganska väl bekräfta detta påstående och de variationer som förekommer ligger inom den naturliga spridningen. I en av provningarna i Figur 5:306 har dock någonting hänt med en av de oslagna pålarna, som inte framgår av provningsprotokollet. Förmodligen är det fråga om ett vidhäftningsbrott.

5.32 Diskussion om slagningens inverkan på skarvade pålar

De tillgängliga provningarna av skarvade pålar består till största delen av slagna pålar. Det har visat sig omöjligt att jämföra tidigare gjorda provningar av oslagna pålar med senare gjorda provningar av slagna pålar p g a att man kan förmoda att skarven har utvecklats och förändrats vilket även framhållits från fabrikanthåll. Materialet måste därför begränsas till en jämförelse av det fåtal samtidiga provningar, som innehåller både oslagna och slagna skarvade pålar. Materialet har därför blivit mycket begränsat. Detta gäller särskilt de spännarmerade pålarna där bara en jämförelse kunnat göras.

5.321 Slakarmerade pålar

Figurerna 5:312 - 5:317 beskriver nedböjningskurvor för sinsemellan jämförbara provningar av slakarmerade skarvade pålelement. Figurerna tyder på att slagningens effekt på nedböjningskurvan för en skarvad påle är obetydlig. Detta påstående medför dock inte att slagningen i och för sig skulle vara ointressant. Den visar ju om en skarv tål de påfrestningar, som den i praktiken skall utsättas för.

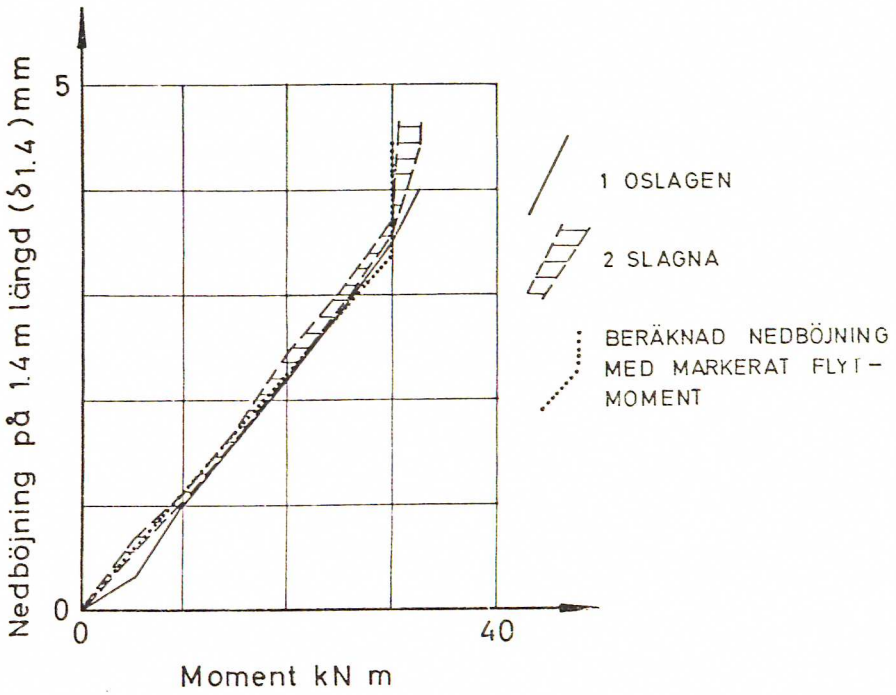
5.322 Spännarmerade pålar

Som tidigare nämnts är materialet här endast två oslagna pålar. Dessa finns uppritade tillsammans med en likadan slagen påle i Figur 5:318. Man kan konstatera att den oslagna och den slagna pålen är likvärdiga även i det spännarmerade fallet.

5.33 Sammanfattning av jämförelsen slagen - oslagen betongpåle

1. De oskarvade pålarnas böjstyvhet påverkas ej av slagningen. En viss skillnad mellan slagen och oslagen kan dock konstateras i böjprovningens inledningsskede innan den oslagna spricker upp.

2. Den skarvade pålens påverkan av slagningen är ännu ej helt klarlagd, men man kan förmoda att slagningens effekt på böjstyvheten är marginell. Här är således fortsatta undersökningar med helt jämförbara pålar nödvändiga.



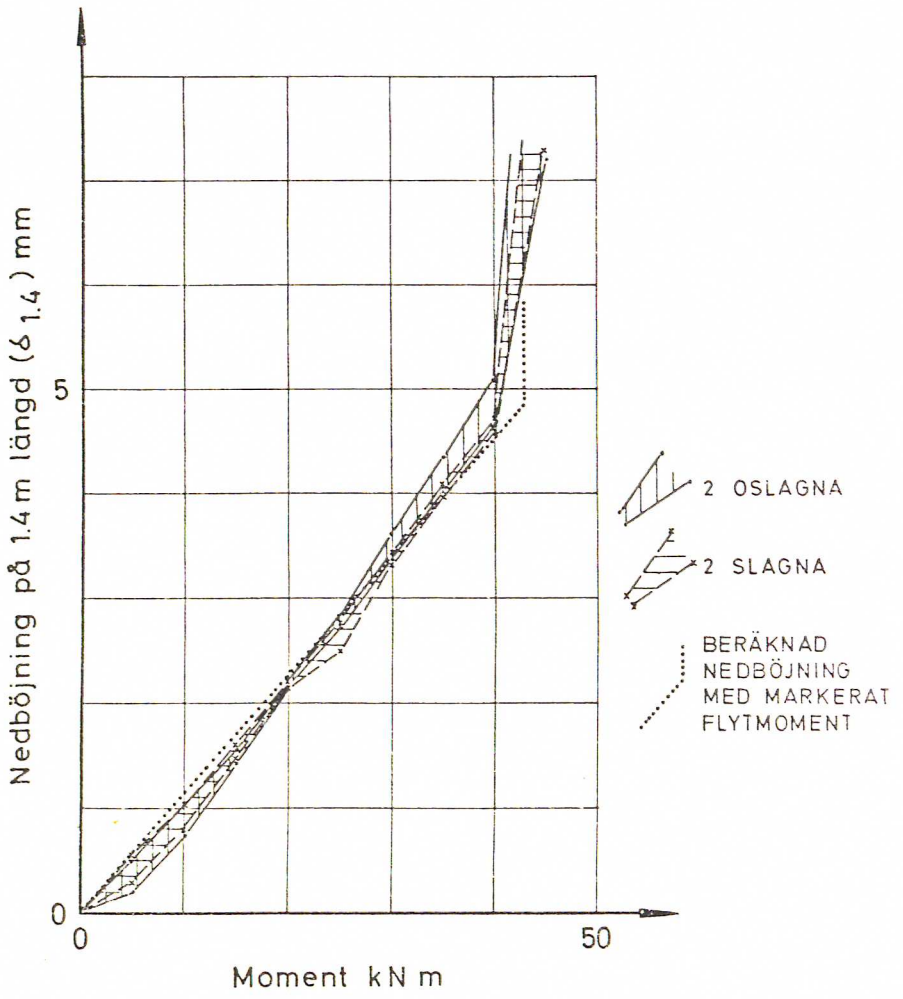
FIGUR 5:301

Jämförelse oslagen - slagen påle. Nedböjningen $\delta_{1,4}$, som funktion av böjmomentet M, för oskarvade pålelement.

Påldimension: 235 x 235 mm, C33

Btg K 500, slakarmerad 4 Ø 16 Ks 40

Uppmätt brottmoment: oslagna 51,5 kNm
slagna 39,5 kNm (37,5 - 41,5)



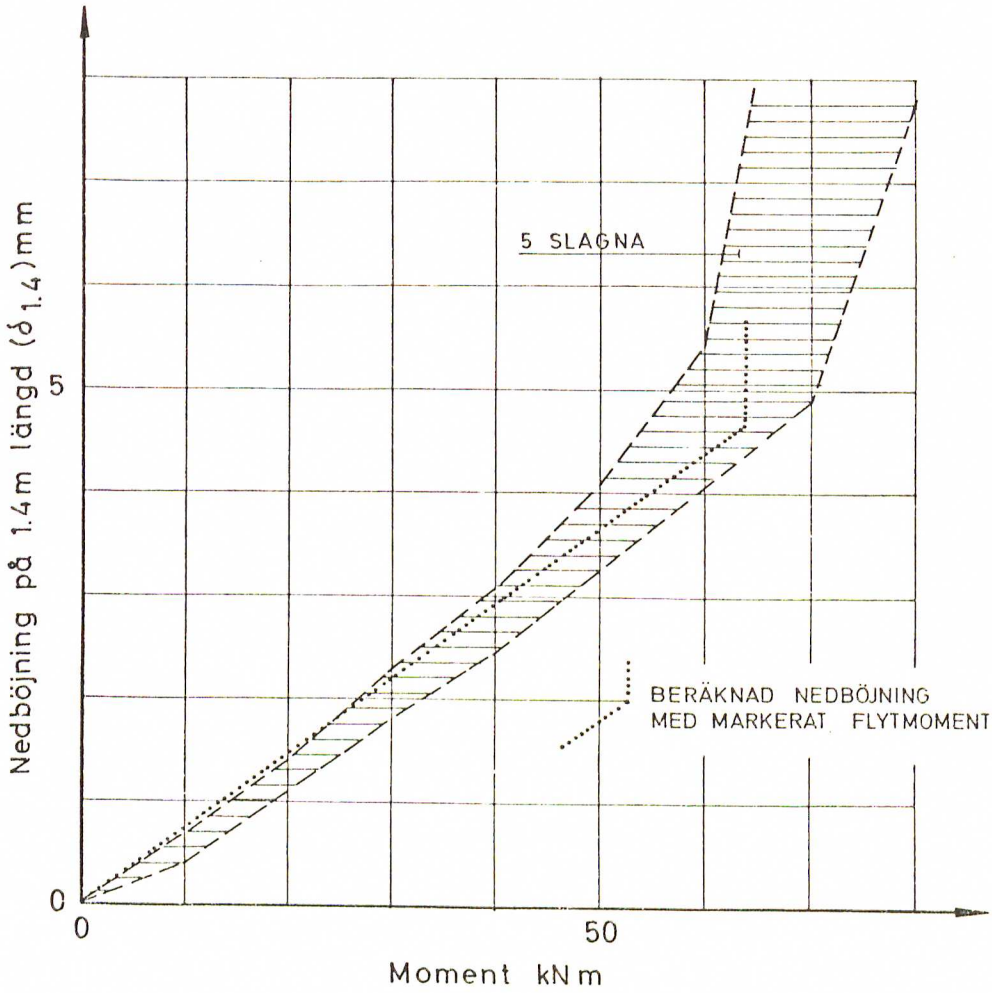
FIGUR 5:302

Jämförelse oslagen - slagen påle. Nedböjningen $\delta_{1,4}$, som funktion av böjmomentet M, för oskarvade pålelement.

Påldimension: 235 x 235 mm, B45

Btg K 500, slakarmerad 4 Ø 16 Ks 60

Uppmätt brottmoment: oslagna 53 kNm (49,5 - 56,0)
slagna 50 kNm (50,0 - 50,0)



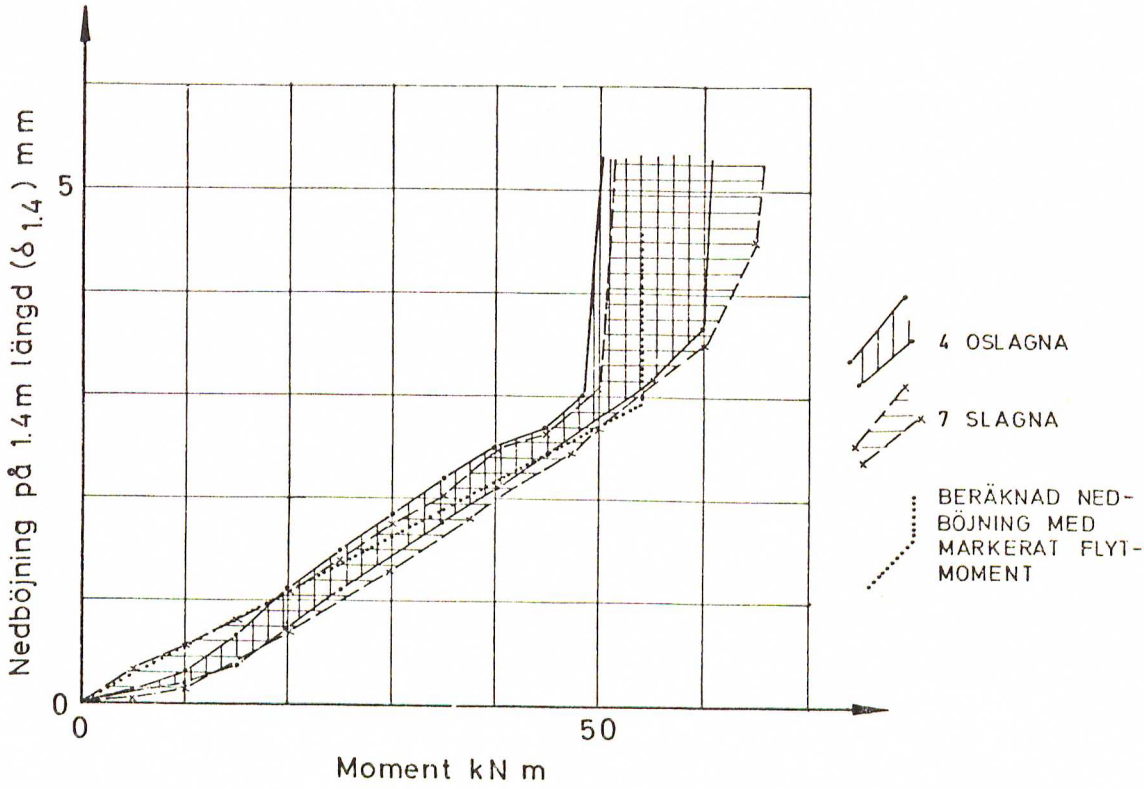
FIGUR 5:303

Jämförelse oslagen - slagen påle. Nedböjningen $\delta_{1.4}$, som funktion av böjmomentet M, för oskarvade pålelement.

Påldimension: 250 x 250 mm

Btg K 500, slakarmerad 4 Ø 19 Ks 60

Uppmätt brottmoment: oslagna -
slagna 81,5 kNm (75,5 - 88,0)



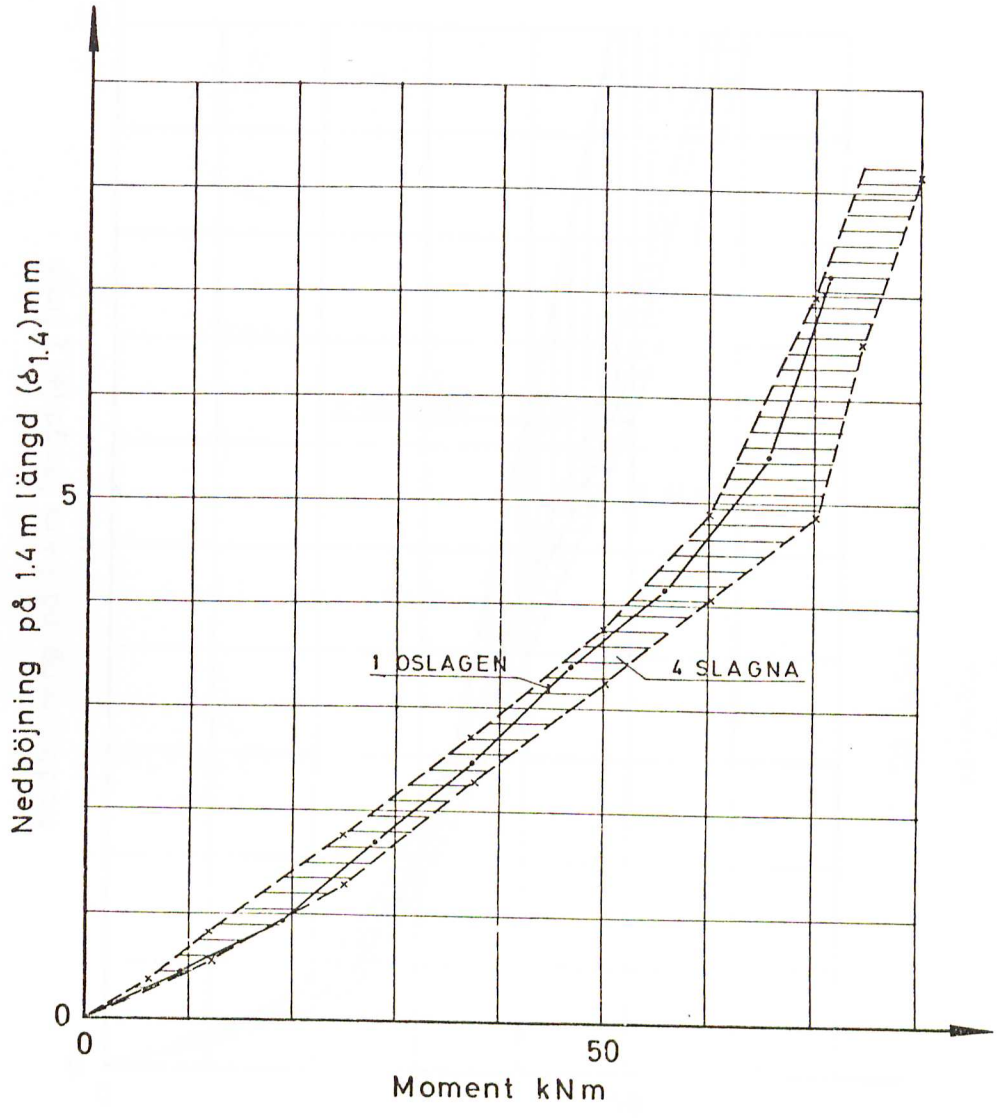
FIGUR 5:304

Jämförelse oslagen - slagen påle. Nedböjning $\delta_{1,4}$, som funktion av böjmomentet M, för oskarvade pålelement.

Påldimension: 270 x 270 mm, B60

Btg K 500, slakarmerad 4 Ø 20 Ks 40

Uppmätt brottmoment: oslagna 65,5 kNm (61,0 - 70,5)
slagna 69,5 kNm (60,5 - 80,0)



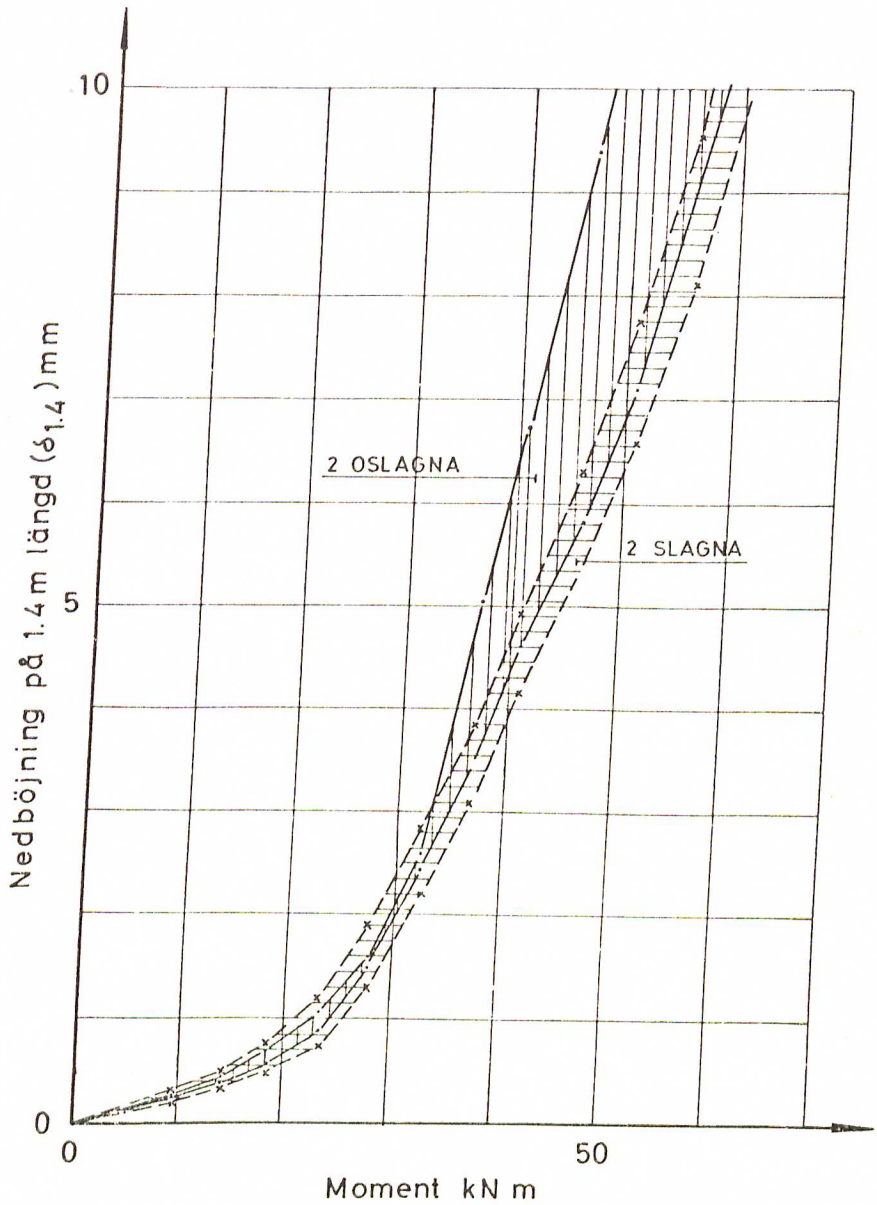
FIGUR 5:305

Jämförelse oslagen - slagen påle. Nedböjningen $\delta_{1,4}$, som funktion av böjmomentet M, för oskarvade pålelement.

Påldimension: 6-kant 600 cm^2

Btg K 500 slakarmerad 6 Ø 16 Ks 60

Uppmätt brottmoment: oslagna 82,1 kNm
slagna 80,0 kNm (73,3 - 85,4)



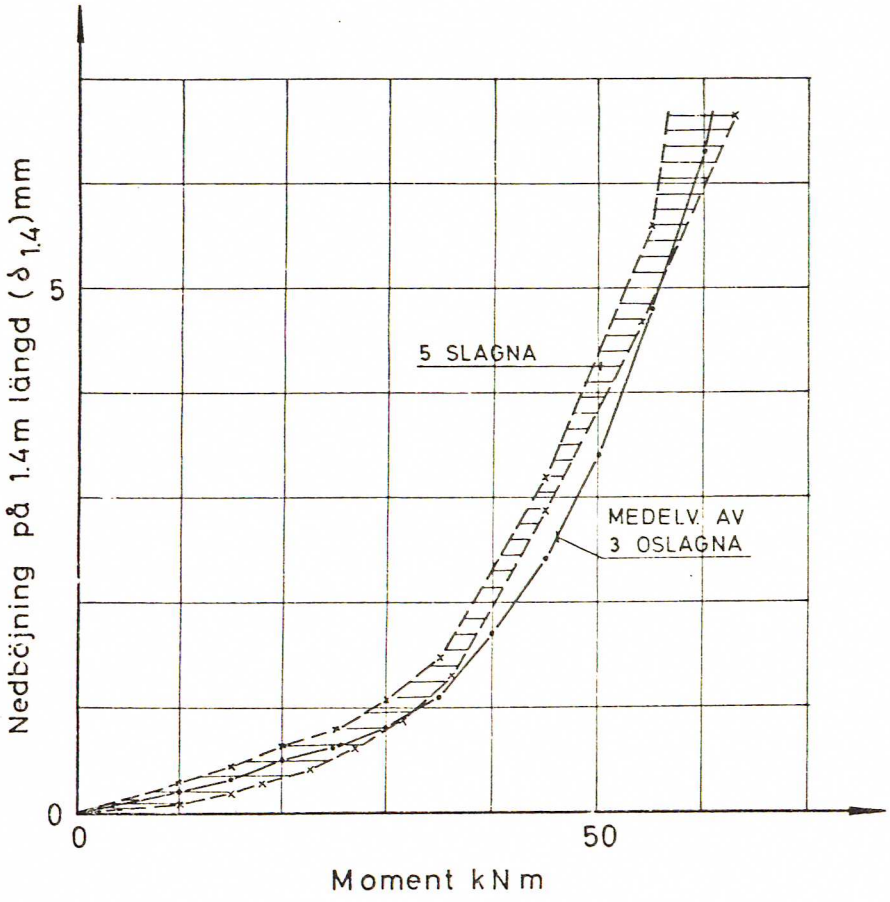
FIGUR 5:306

Jämförelse oslagen - slagen påle. Nedböjningen $\delta_{1,4}$, som funktion av böjmomentet M, för oskarvade pålelement.

Påldimension: Ø 280 mm, B 45

Btg K 500, spännarmerad 5 Ø 11

Uppmätt brottmoment: oslagen 48,8, 68,8 kNm
slagna 64,6, 68,4 kNm



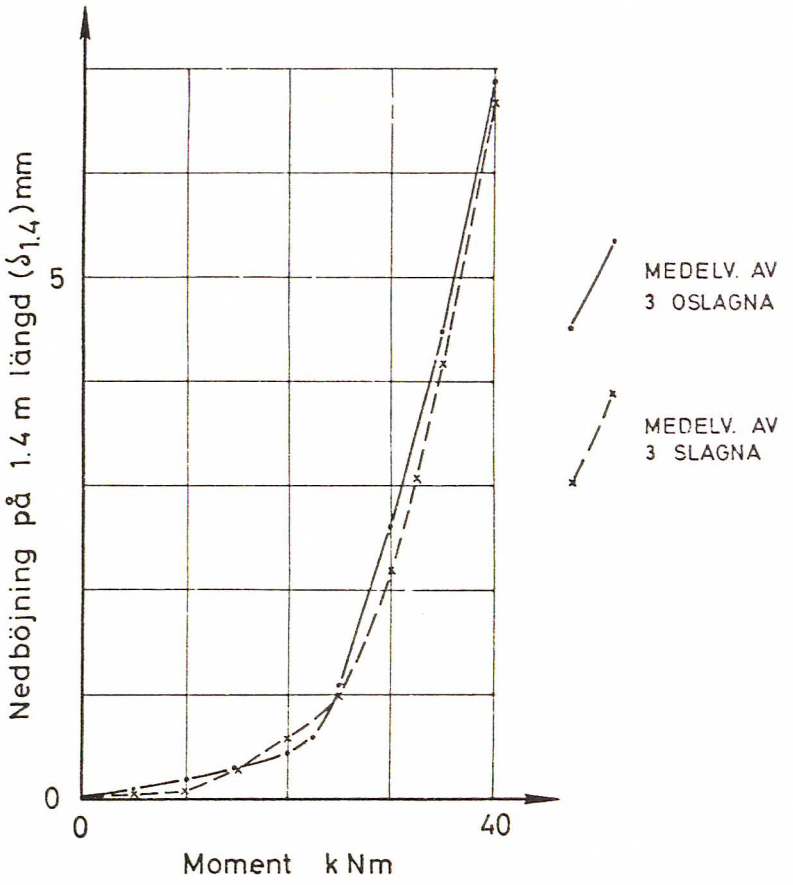
FIGUR 5:307

Jämförelse oslagen - slagen påle. Nedböjningen $\delta_{1,4}$, som funktion av böjmomentet M, för oskarvade pålelement.

Påldimension: Ø 280 mm, B 45

Btg K 600 spännarmerad 6 Ø 11

Uppmätt brottmoment: oslagna 71 kNm (65,0 - 78,0)
slagna 71 kNm (67,5 - 78,0)



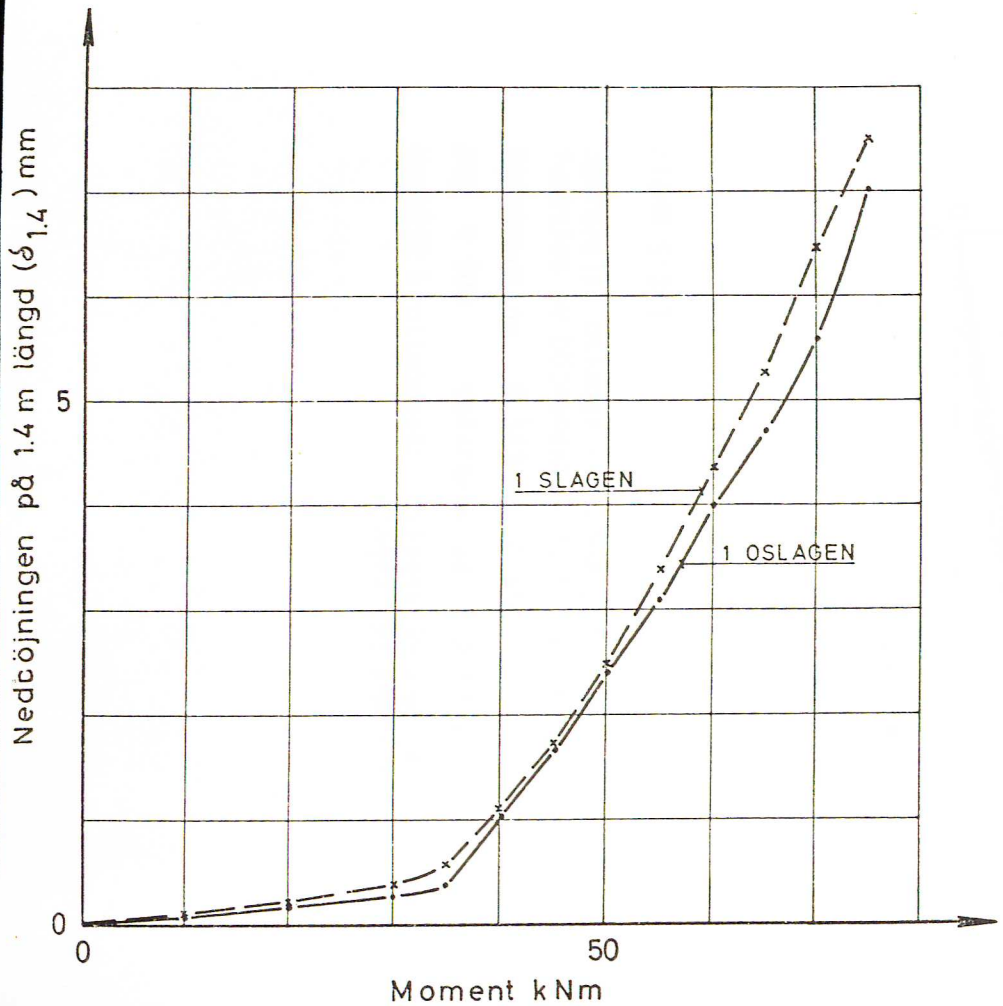
FIGUR 5:308

Jämförelse oslagen - slagen påle. Nedböjningen $\delta_{1,4}$, som funktion av böjmomentet M, för oskarvade pålelement.

Påldimension: Ø 280 mm, C33

Btg K 500 spännarmerad 6 Ø 8

Uppmätt brottmoment: oslagna 45 kNm (44,0 - 45,5)
slagna 44 kNm (42,5 - 45,0)



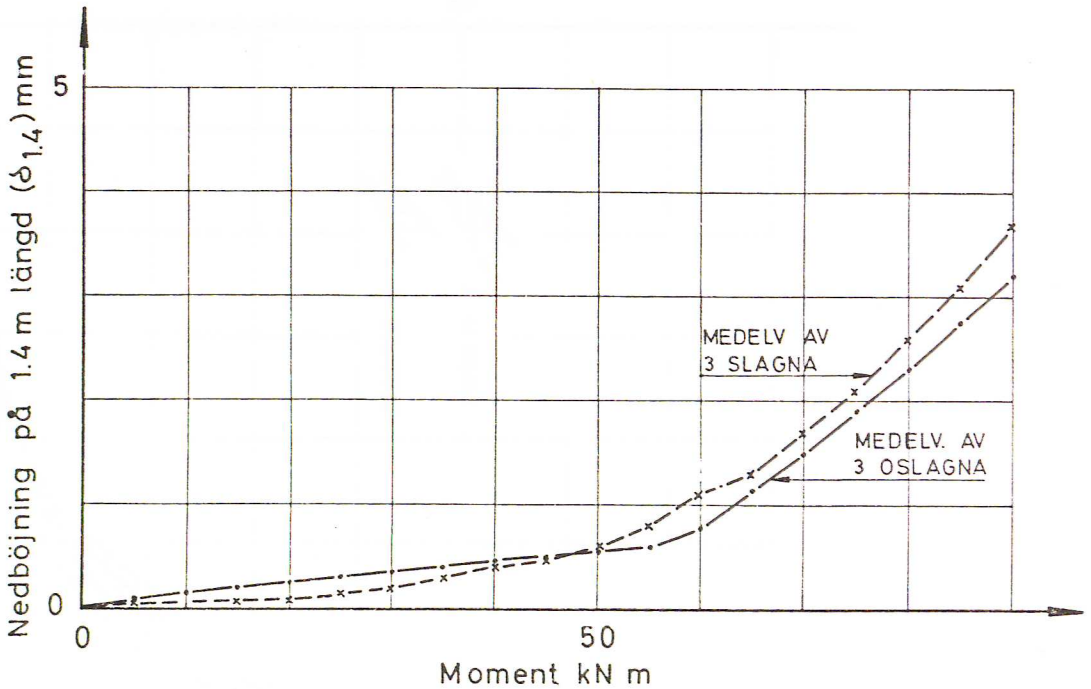
FIGUR 5:309

Jämförelse oslagen - slagen påle. Nedböjningen $\delta_{1,4}$, som funktion av böjmomentet M, för oskarvade pålelement.

Påldimension: Ø 335 mm, B 60

Btg K 500 spännarmerad 7 Ø 9,5

Uppmätt brottmoment: oslagna 77 kNm
slagna 81 kNm



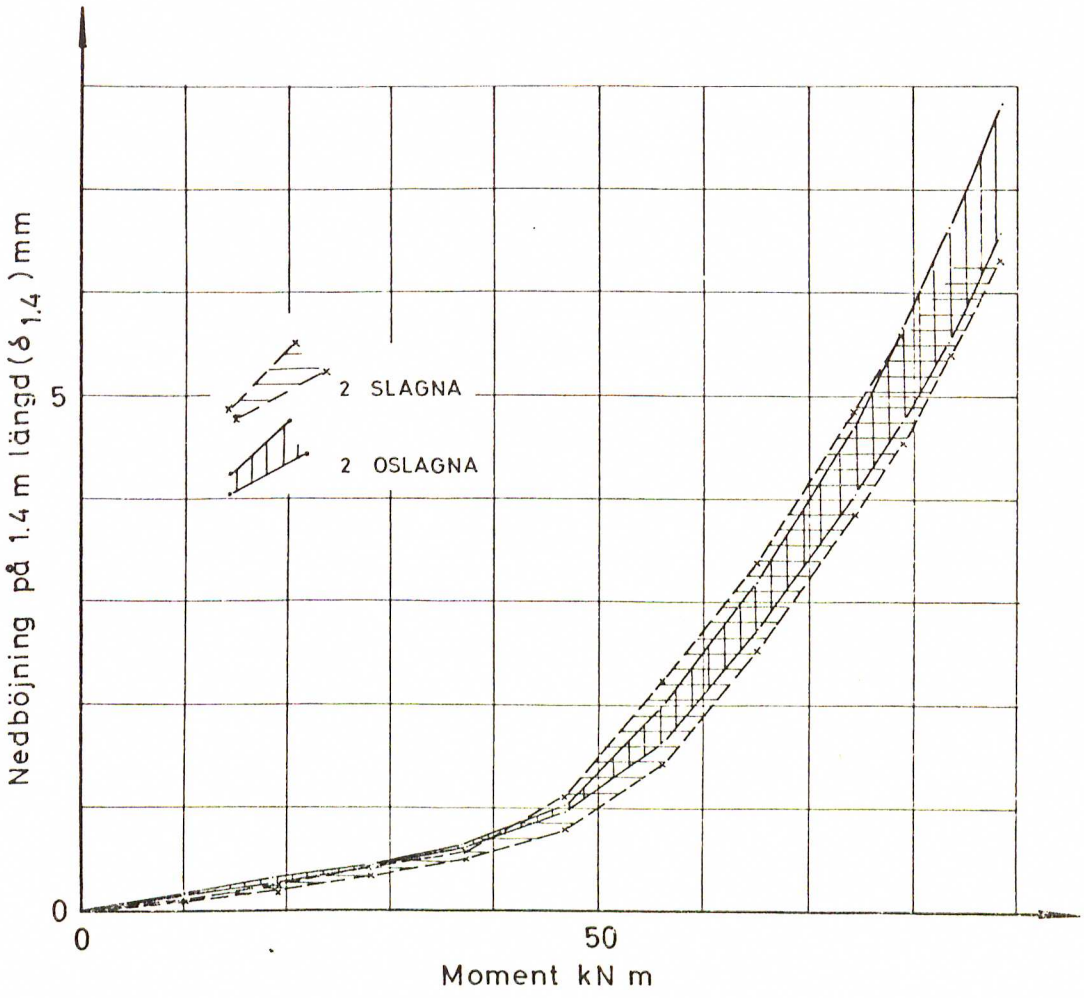
FIGUR 5:310

Jämförelse oslagen - slagen påle. Nedböjningen $\delta_{1,4}$, som funktion av böjmomentet M, för oskarvade pålelement.

Påldimension: Ø 340 mm, B 60

Btg K 500 spännarmerad 8 Ø 11

Uppmätt brottmoment: oslagna 117 kNm (111 - 122)
slagna 118 kNm (116 - 121)



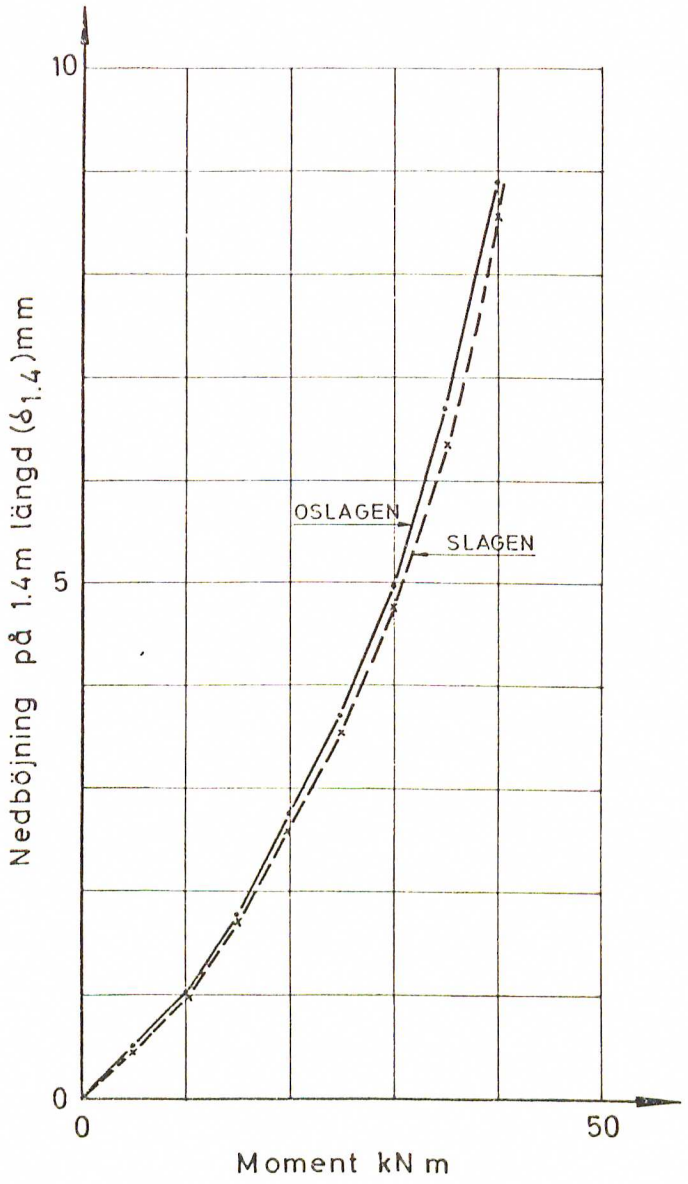
FIGUR 5:311

Jämförelse oslagen - slagen påle. Nedböjningen $\delta_{1,4}$, som funktion av böjmomentet M, för oskarvade pålelement.

Påldimension: Ø 340 mm, B 60

Btg K 500 spännarmerad 5 Ø 12,5

Uppmätt brottmoment: oslagna 99 kNm (93,0 - 104,2)
slagna 91 kNm (79,1 - 102,3)



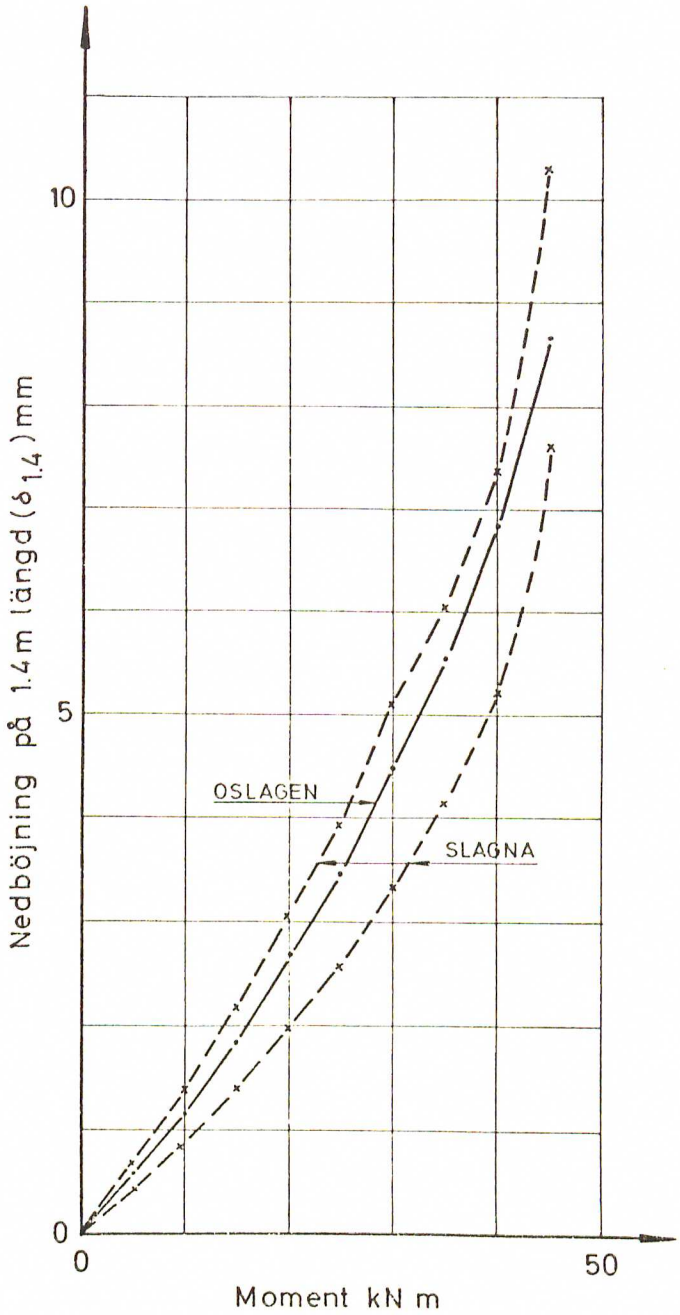
FIGUR 5:312

Jämförelse oslagen - slagen påle. Nedböjningen $\delta_{1,4}$, som funktion av böjmomentet M, för skarvade pålelement.

Påldimension: 235 x 235 mm, C33

Btg K 500 slakarmerad 4 Ø 16 Ks 40

Uppmätt brottmoment: oslagna 45,0 kNm
slagna 44,5 kNm



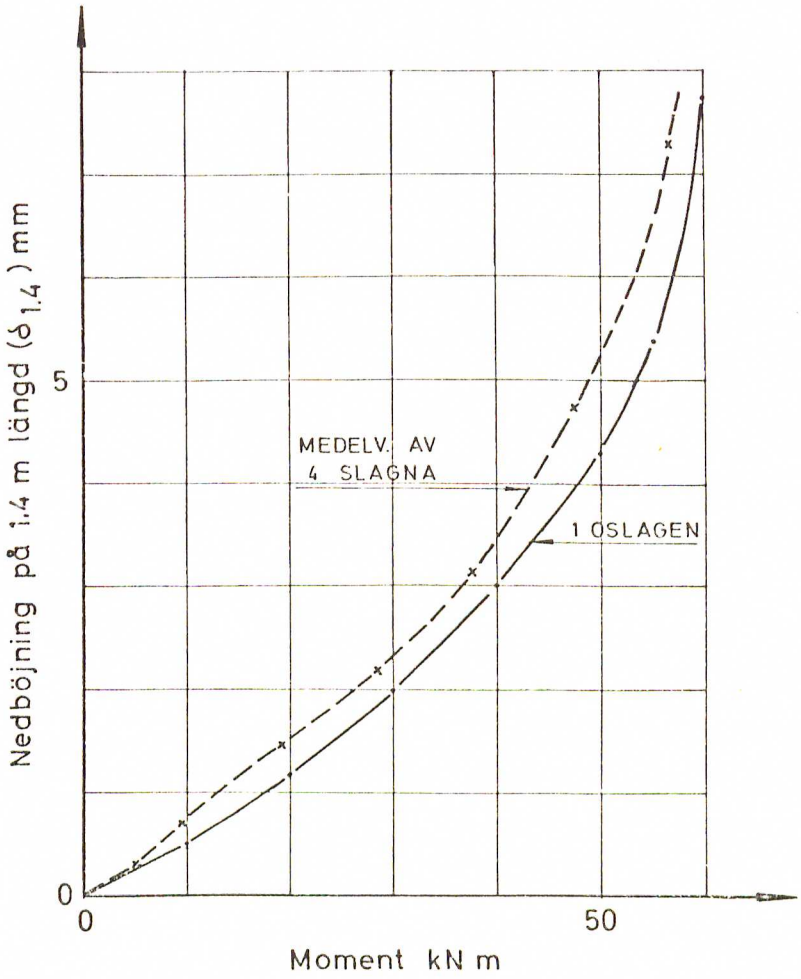
FIGUR 5:313

Jämförelse oslagen - slagen påle. Nedböjningen $\delta_{1,4}$, som funktion av böjmomentet M, för skarvade pålelement.

Påldimension: 235 x 235 mm, B45

Btg K 500 slakarmerad 4 Ø 16 Ks 60

Uppmätt brottmoment: oslagna 52,5 kNm
slagna 49,5, 50,0 kNm



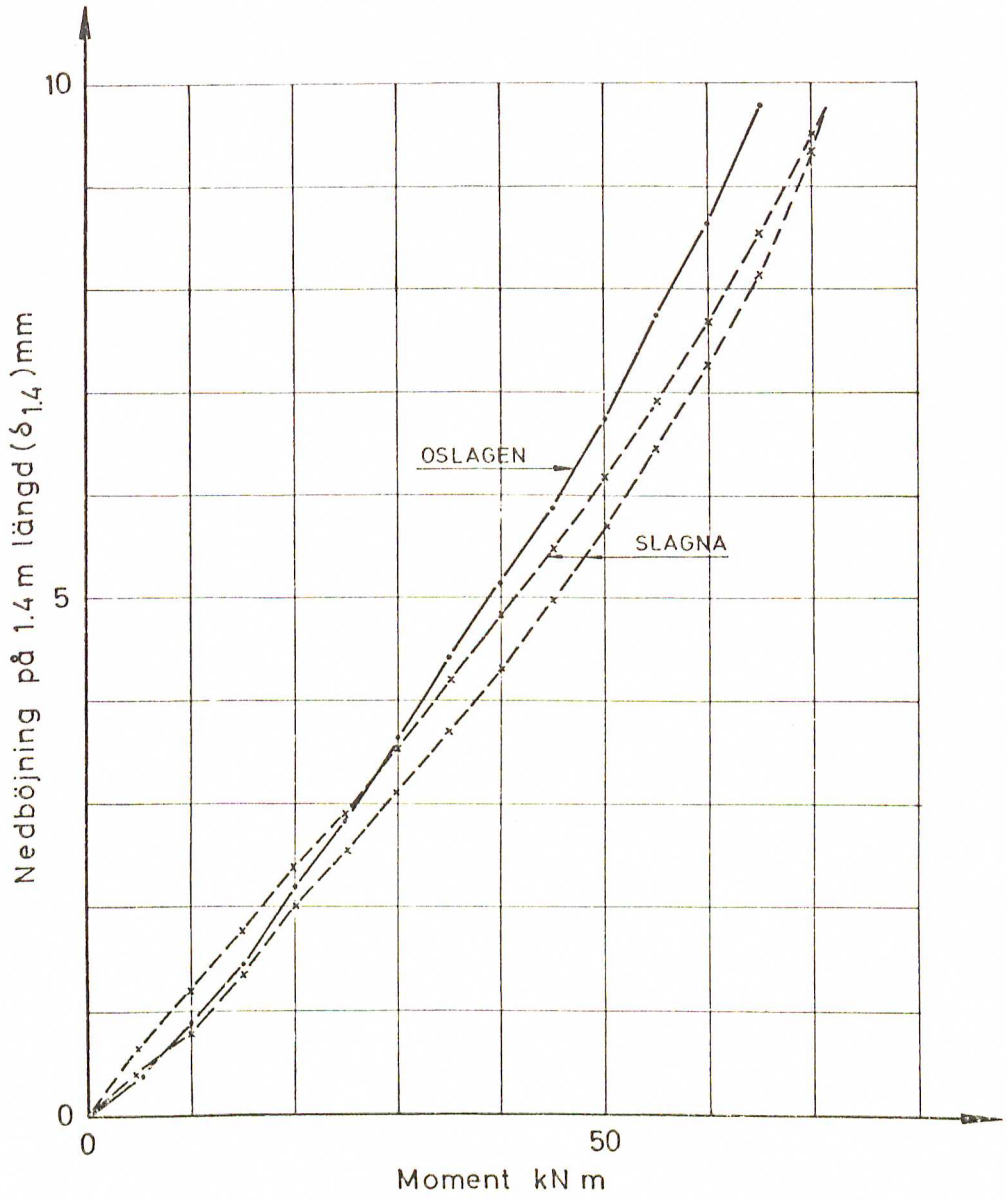
FIGUR 5:314

Jämförelse oslagen - slagen påle. Nedböjningen $\delta_{1,4}$, som funktion av böjmomentet M, för skarvade pålelement.

Påldimension: 270 x 270 mm, B60

Btg K 500 slakarmerad 4 Ø 20 Ks 40

Uppmätt brottmoment: oslagna 74,0 kNm
slagna 73,5 kNm (70,5 - 79,0)



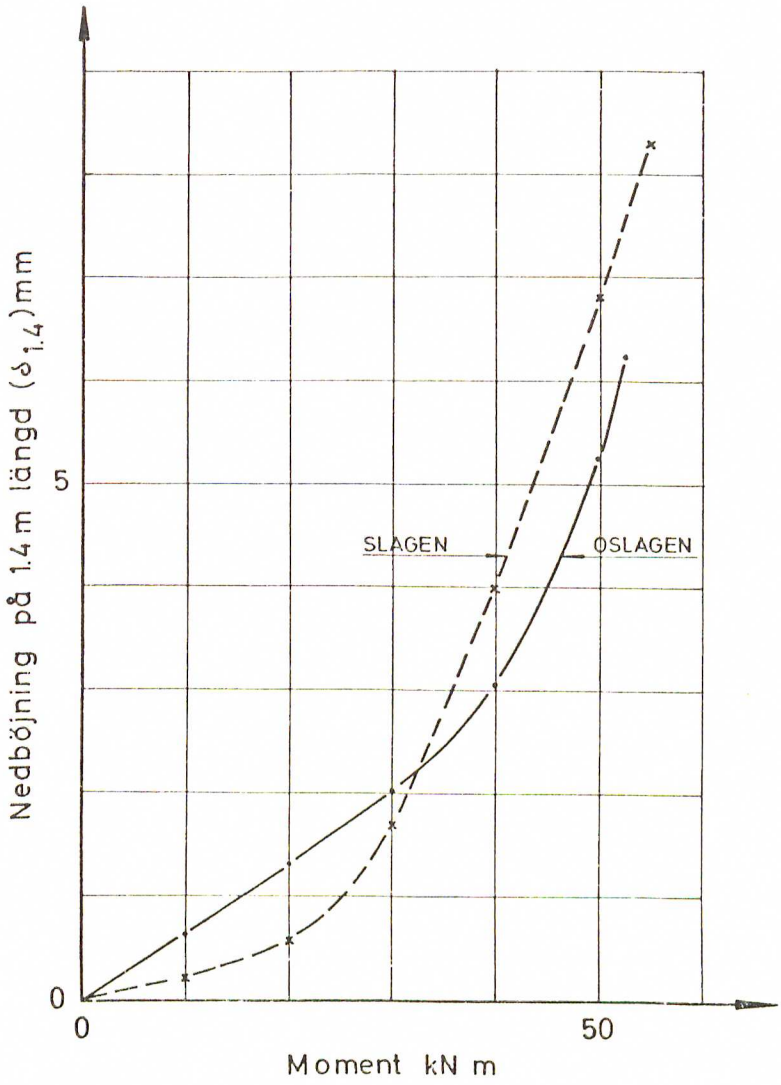
FIGUR 5:315

Jämförelse oslagen - slagen påle. Nedböjningen $\delta_{1,4}$, som funktion av böjmomentet M, för skarvade pålelement.

Påldimension: 270 x 270 mm, B60

Btg K 500 slakarmerad 4 Ø 20 Ks 40

Uppmätt brottmoment: oslagna 82,0 kNm
slagna 77,5, 82,5 kNm



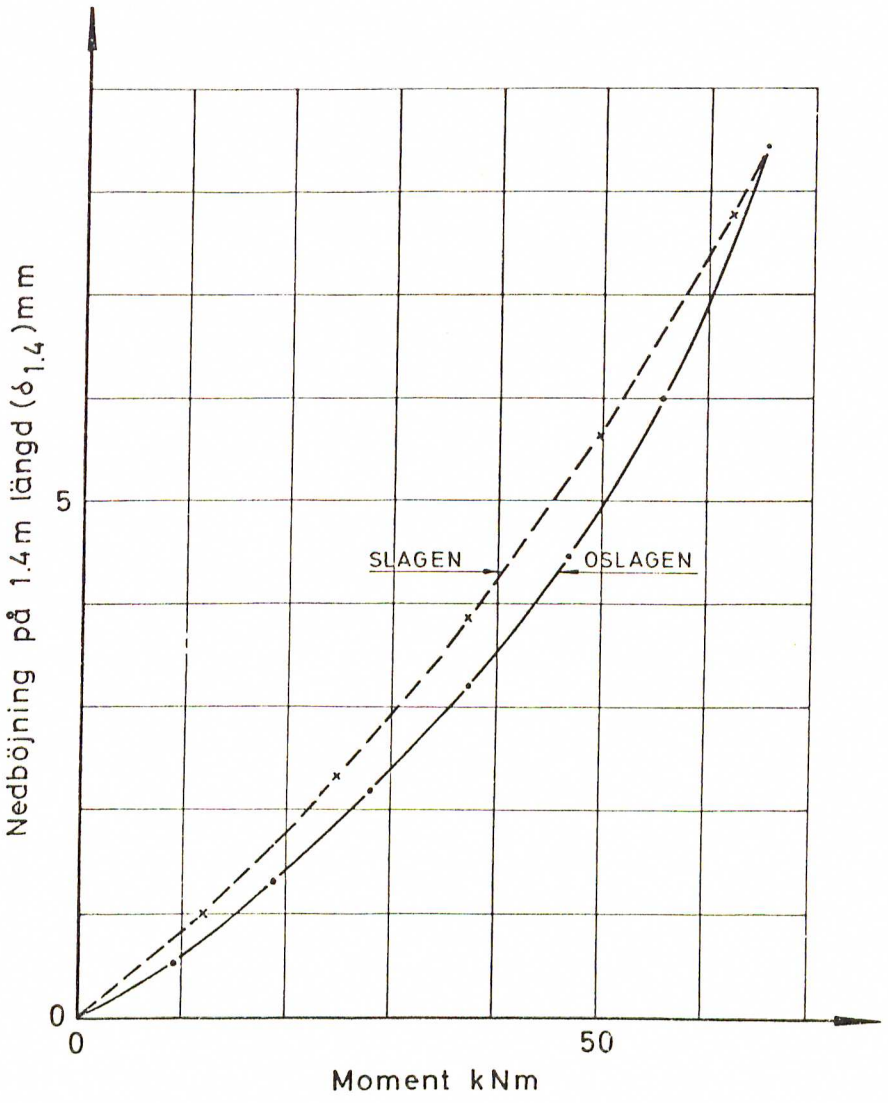
FIGUR 5:316

Jämförelse oslagen - slagen påle. Nedböjningen $\delta_{1,4}$, som funktion av böjmomentet M, för skarvade pålelement.

Påldimension: 300 x 300 mm

Btg K 400 slakarmerad 4 Ø 16 Ks 40

Uppmätt brottmoment: oslagna 56,5 kNm
slagna 61,0 kNm



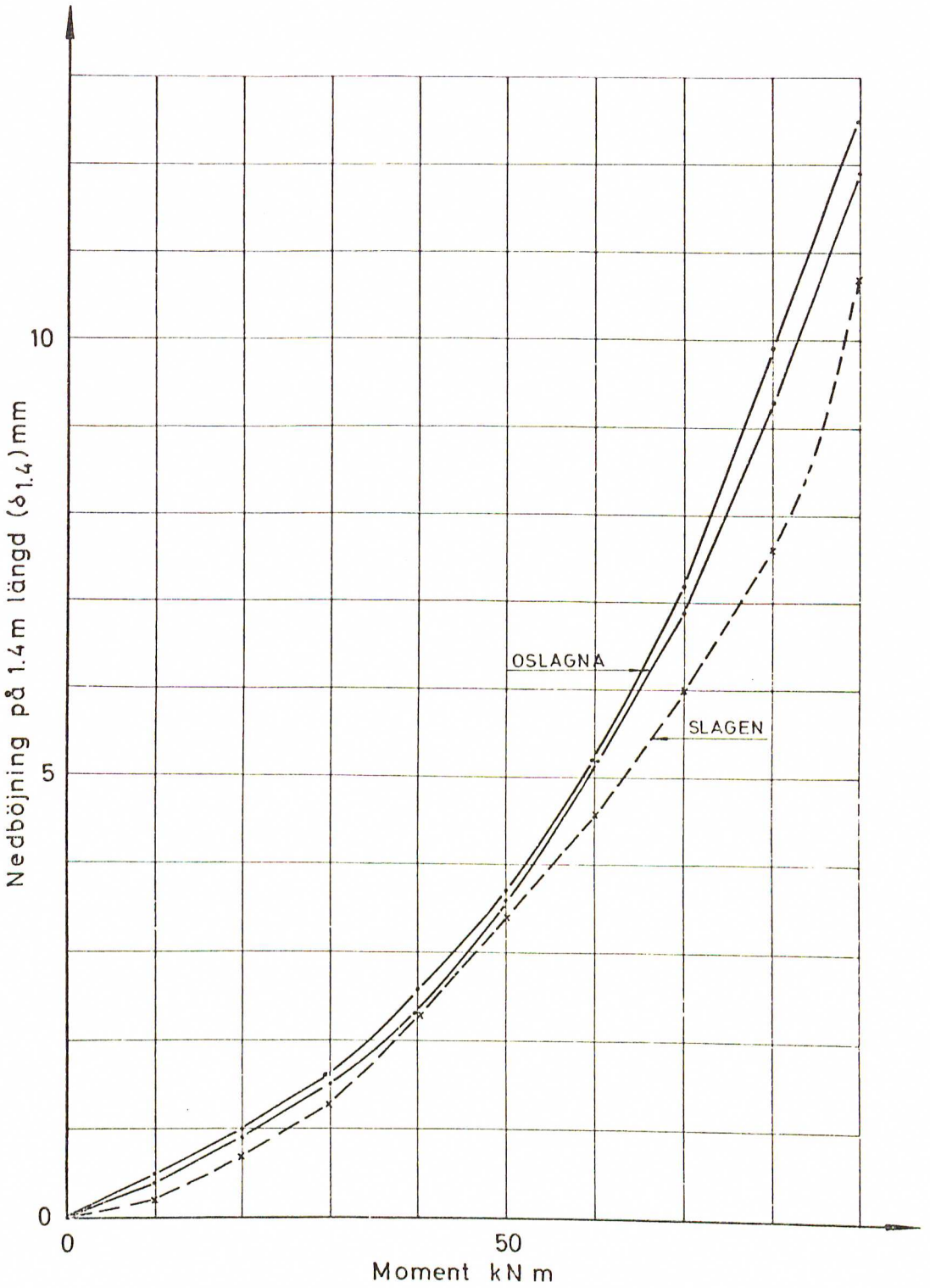
FIGUR 5:317

Jämförelse oslagen - slagen påle. Nedböjningen $\delta_{1,4}$, som funktion av böjmomentet M, för skarvade pålelement.

Påldimension: 6-kant 600 cm^2

Btg K 500 slakarmerad 6 Ø 16 Ks 60

Uppmätt brottmoment: oslagna 85,2 kNm
slagna 74,6 kNm



FIGUR 5:318

Jämförelse oslagen - slagen påle. Nedböjningen $\delta_{1,4}$, som funktion av böjmomentet M, för skarvade pålelement.

Påldimension: Ø 335 mm, B 60

Btg K 500 spännarmerad 7 Ø 9,5

Uppmätt brottmoment: oslagna 100, 102 kNm
slagna 105 kNm

5.4 Jämförelse mellan oskarvade och skarvade pålelement m.a.p. böjstyvhet

En jämförande undersökning har utförts mellan skarvade respektive oskarvade betongpålar genom att upprita fält med angivande av antalet medtagna böjprovningskurvor. Vid indelningen i de respektive grupperna har hänsyn endast tagits till pålens dimension och huvudarmering. Ingen hänsyn har tagits till huruvida pålen är slagen eller oslagen samt till skarvtyp och förankringsarmering. Detta medför att spridningen inom fältet för skarvade pålar blir stort där antalet ingående pålar är stort.

I figurerna har i de fall då pålarna är standardpålar inlagts de krav som Planverket uppställt m.a.p. nedböjning respektive flytmoment för skarvade pålar. Se kap. 4.3.

5.41 Slakarmerade pålar

Figurerna 5:41 - 5:43 och 5:44 visar nedböjningskurvor (spridningsområden) för skarvade respektive oskarvade kvadratiska och sexkantpålar. Man kan observera att spridningen för oskarvade är betydligt mindre än för skarvade pålar. I Figur 5:44 bör man observera att det bara är två skarvade pålar. Av figurerna framgår även att de skarvade pålarna uppvisar större nedböjning än motsvarande oskarvade pålar.

Enligt Planverket skall en skarvad påle ha ett flytmoment, som är minst lika stort som i en motsvarande oskarvad påle. Man ser i Figur 5:41, 5:42 och 5:43 hur väl markerat flytmomentet är för oskarvade pålar och hur väl Planverkets minimikrav ansluter till detta. Skarvade pålar uppvisar emellertid inget karaktäristiskt flytmoment, vilket försvårar användandet av den definition på flytmomentet som Planverket anger, nämligen:

Flytmomentet avser det moment vid vilket nedböjningen börjar öka påtagligt.

Detta accentueras ytterligare när det gäller spännarmerade pålar, vilket beskrivs nedan.

Planverket har vidare uppställt krav på minsta böjstyvhet (maximal nedböjning) inom ett visst momentintervall, för skarvade pålar. Då man kan förmoda att det material, som insänts till myndigheten för granskning och eventuellt typgodkännande av skarv, endast är relativt lyckade provningar, kan man kanske inte bedöma hur hårda kraven är, men för B60 kan man dock konstatera att flera tillverkare har svårt att konstruktivt klara de uppställda kraven med slakarmerade pålar. Skarvar för pålar i klass C 33 syns dock relativt lätt att konstruera.

Tidigare har kravet på böjstyvheten formulerats så att den skarvade pålen skall vara i princip lika styv som motsvarande oskarvade påle. Alla fyra Figurerna 5:41, 5:42, 5:43 och 5:44 visar dock att det är i det närmaste omöjligt att få en skarvad påle lika styv som en oskarvad inom hela momentområdet.

5.42 Spännarmerade pålar

Jämförelsen mellan skarvade och oskarvade spännarmerade runda pålar finns redovisad i Figurerna 5:45, 5:46, 5:47 och 5:48. De spännarmerade pålarna uppvisar som syns generellt betydligt mindre deformation än de slakarmerade. Planverket har inte utarbetat några riktlinjer för provning av spännarmerade pålar, men i brist på sådana tillämpas i detta examensarbete de riktlinjer som utarbetats för slakarmerade betongpålar. I figurerna har därför inlagts de krav, som gäller för motsvarande slakarmerade pålningsklasser. Man bör observera, att man knappast kan tala om något markerat flytmoment för spännarmerade pålar. Detta gäller både skarvade och oskarvade pålar.

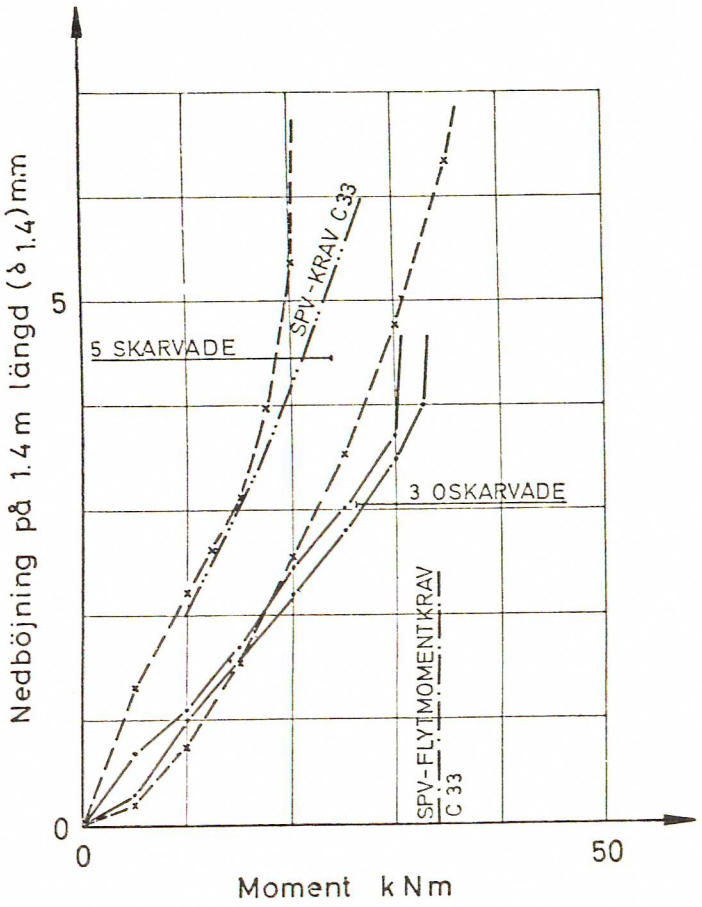
Spridningen för skarvade spännarmerade pålarna är relativt stor medan den för oskarvade med samma förspänningskraft och armering är mindre.

Man kan vidare i alla fyra figurerna se att förhållandet mellan skarvade och oskarvade pålars nedböjningar är betydligt större för spännarmerade än för slakarmerade pålar. Det syns således omöjligt att för spännarmerade pålar uppfylla pålnormernas krav, att den skarvade pålen i princip skall vara lika styv som den oskarvade.

5.43 Sammanfattning av jämförelse oskarvad - skarvad betongpåle

1. Den skarvade pålen uppvisar generellt större nedböjning, dvs sämre böjstyvhet än motsvarande oskarvad påle inom den övre delen av momentområdet.

2. Relativt sett orsakar skarven en större försämring av pålens styvhet när den ingår i en spännarmerad påle än när den ingår i en slakarmerad påle. I absoluta tal tycks skarvade spännarmerade och slakarmerade pålar erhålla samma styvhet inom respektive pålningsklass.

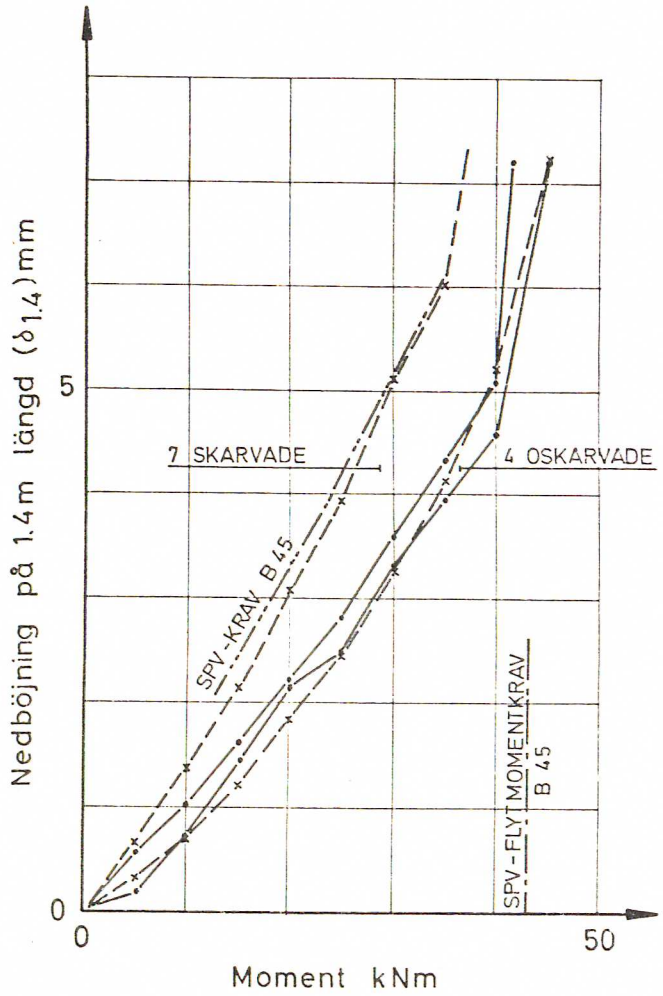


FIGUR 5:41

Jämförelse oskarvad - skarvad påle. Nedböjningen $\delta_{1,4}$ som funktion av böjmomentet M.

Påldimension: 235 x 235 mm, C33

Btg K 500 slakarmerad 4 Ø 16 Ks 40

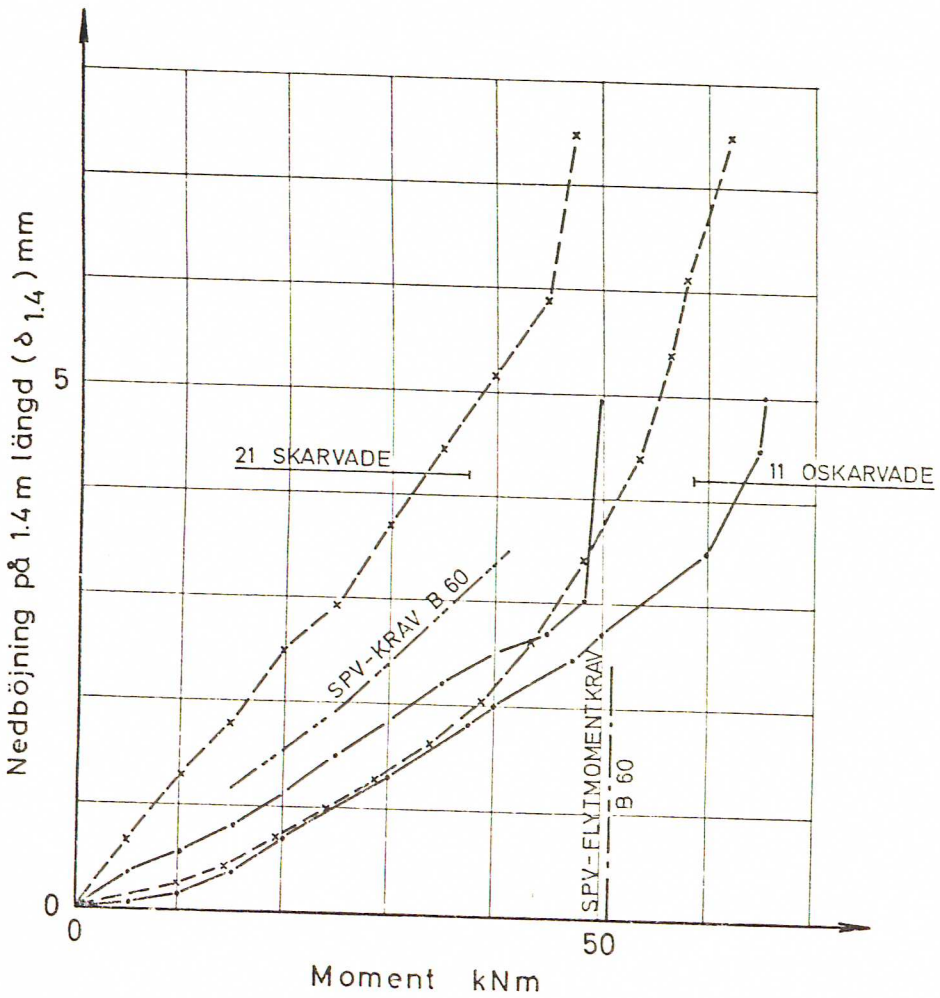


FIGUR 5:42

Jämförelse oskarvad - skarvad påle. Nedböjningen $\delta_{1,4}$ som funktion av böjmomentet M.

Påldimension: 235 x 235 mm, B45

Btg K 500 slakarmerad 4 Ø 16 Ks 60

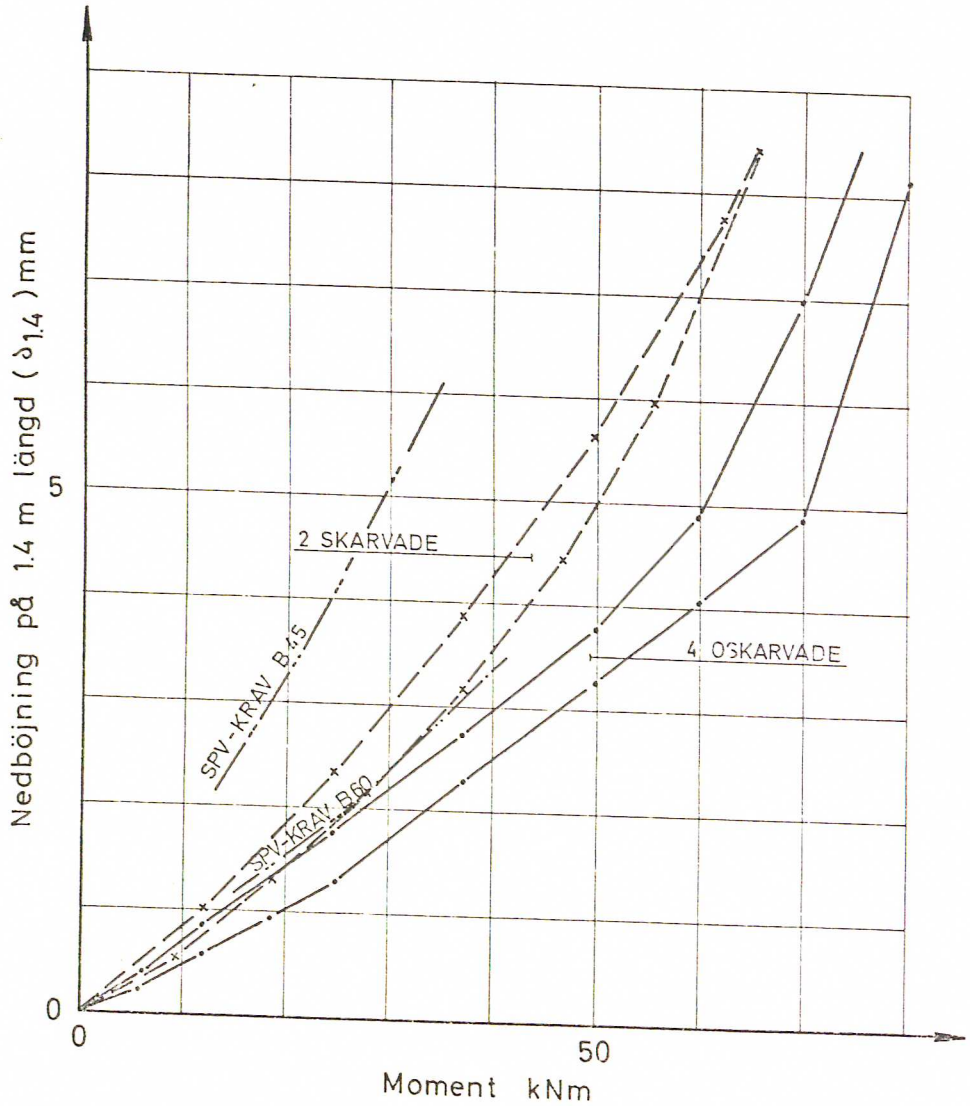


FIGUR 5:43

Jämförelse oskarvad - skarvad påle. Nedböjningen $\delta_{1,4}$, som funktion av böjmomentet M.

Påldimension: 270 x 270 mm. B60

Btg K 500 slakarmerad 4 Ø 20 Ks 40

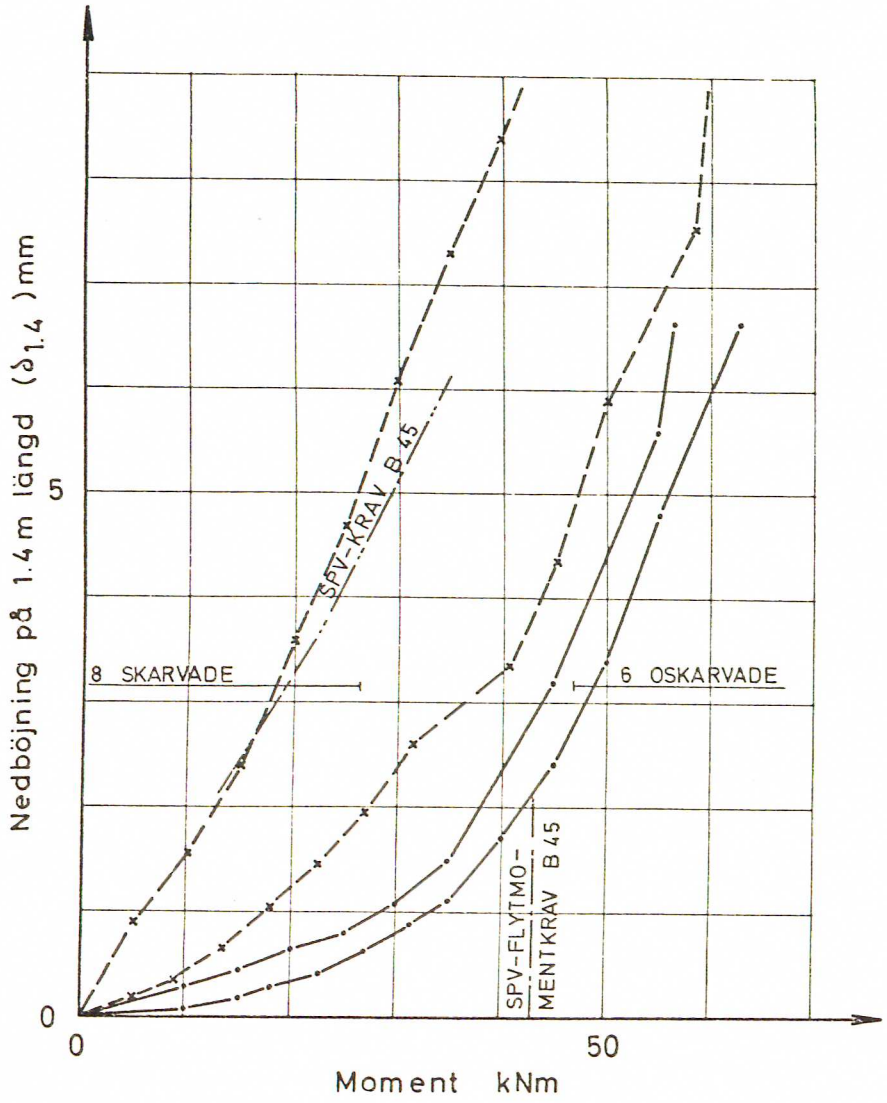


FIGUR 5:44

Jämförelse oskarvad - skarvad påle. Nedböjningen $\delta_{1,4}$, som funktion av böjmomentet M.

Påldimension: 6-kant 600 cm^2

Btg K 500 slakarmerad 6 Ø 16 Ks 60

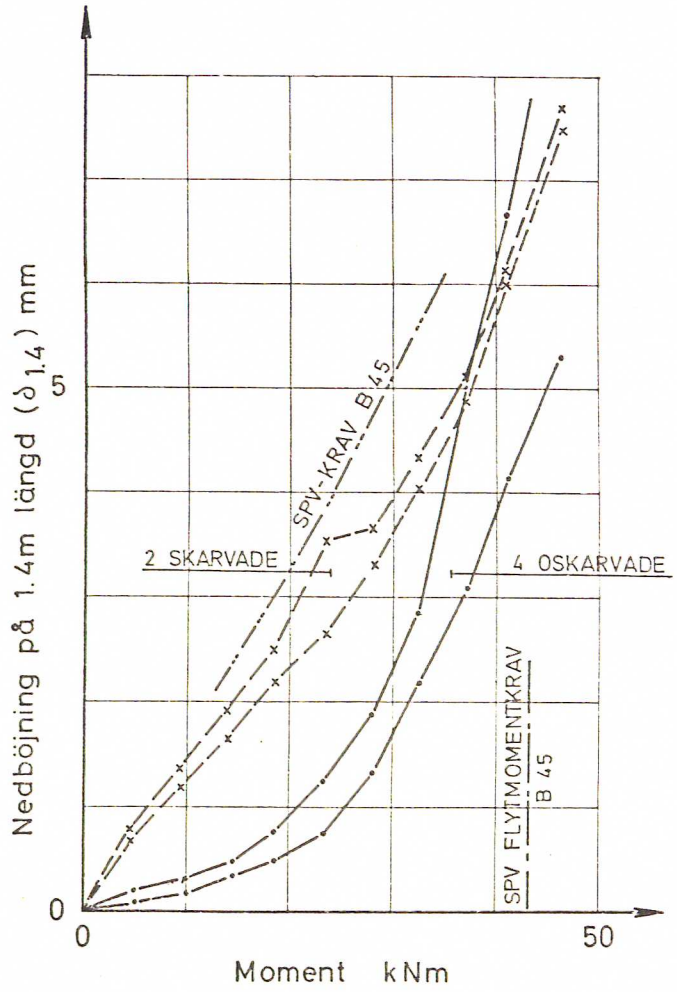


FIGUR 5:45

Jämförelse oskarvad - skarvad påle. Nedböjningen $\delta_{1,4}$, som funktion av böjmomentet M.

Påldimension: Ø 280 mm, B 45

Btg K 600 spännarmerad 6 Ø 11

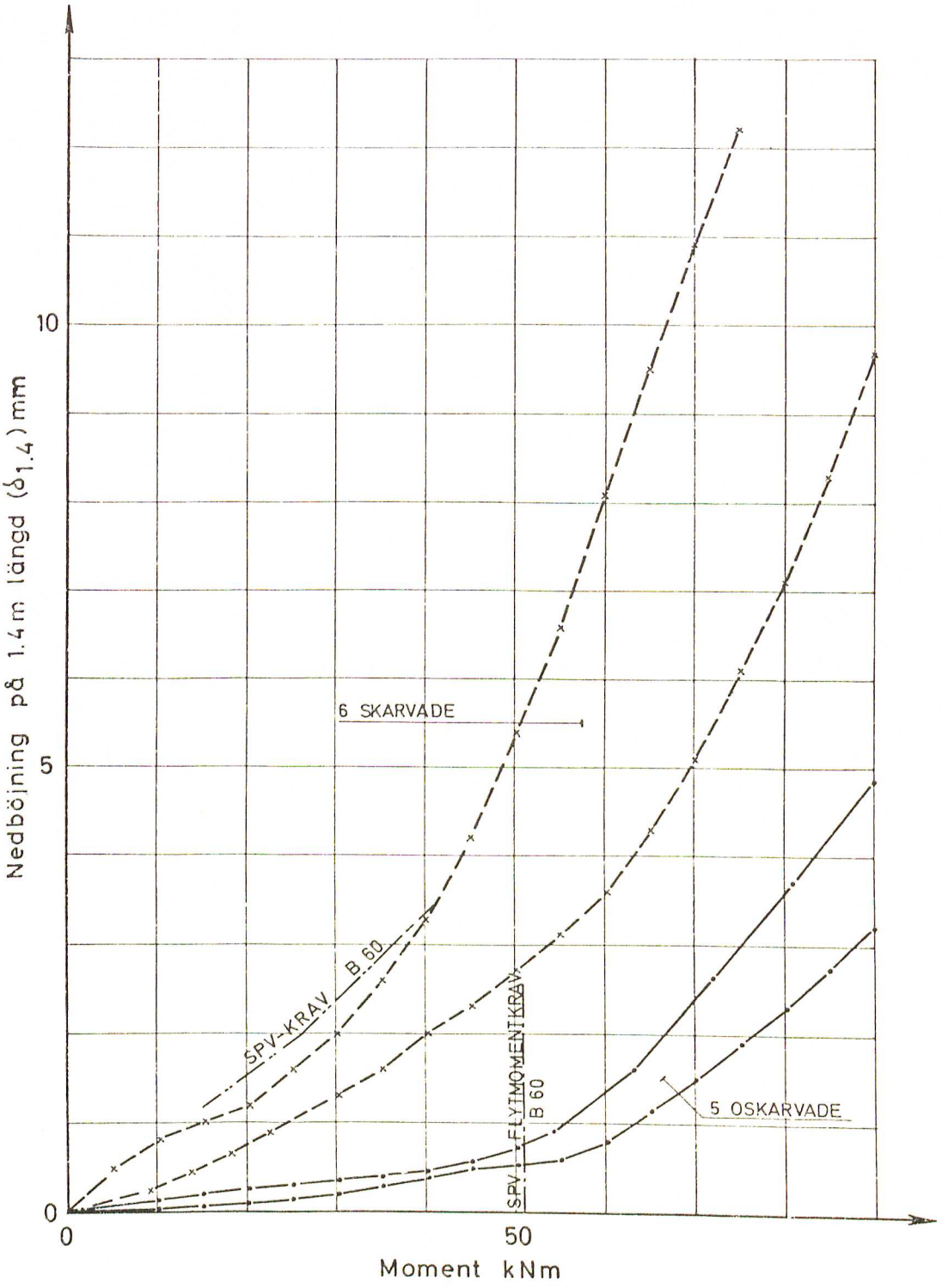


FIGUR 5:46

Jämförelse oskarvad - skarvad påle. Nedböjningen $\delta_{1,4}$, som funktion av böjmomentet M.

Påldimension: Ø 280 mm, B 45

Btg K 500 spännarmerad 5 Ø 11

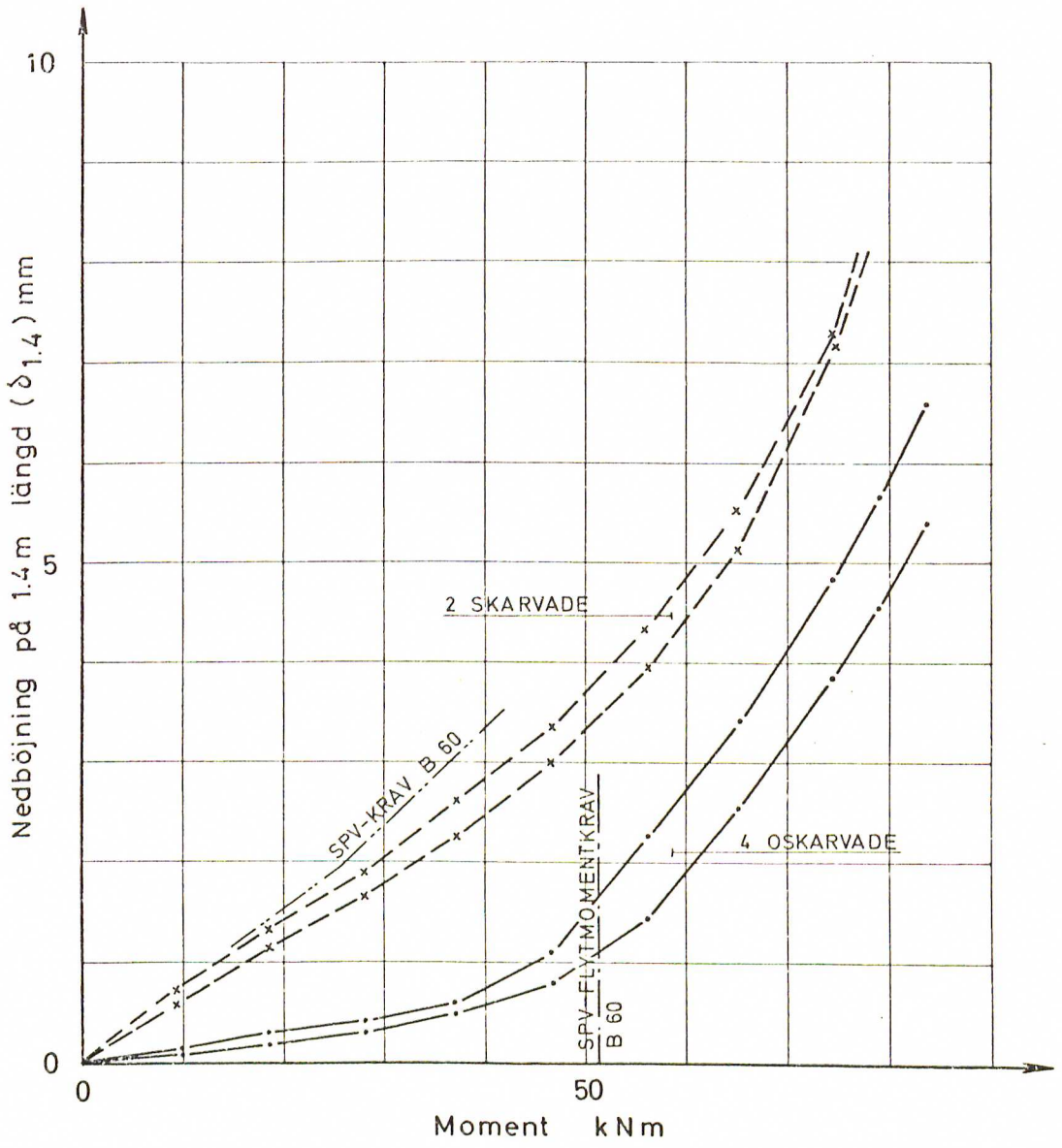


FIGUR 5:47

Jämförelse oskarvad - skarvad påle. Nedböjningen $\delta_{1,4}$, som funktion av böjmomentet M.

Påldimension: Ø 340 mm, B 60

Btg K 500 spännarmerad 8 Ø 11



FIGUR 5:48

Jämförelse oskarvad - skarvad påle. Nedböjningen $\delta_{1,4}$, som funktion av böjmomentet M.

Påldimension: Ø 340 mm, B 60

Btg K 500 spännarmerad 5 Ø 12,5

5.5 Vinkeländring i skarv

Med vinkeländringen i skarv menas den vinkel som uppstår i skarvsnittet på grund av momentbelastningen i skarvsnittet.

Vinkeländringen mäts med två stycken mätur placerade på pålens över respektive undersida, se Figur 4:22. Mäturen är fastsatta på skarvmanschetten och mätningen sker 25 mm utanför pålens konturlinje. Vinkeländringen blir då

$$V = \frac{\text{Rörelse i överkant + rörelse i underkant (mm)}}{\text{pålens höjd (mm) + 2 x 25}} \text{ (radianer)}$$

Det skarvade pålelementets nedböjning på 1,4 m längd ($\delta_{1,4}$) kan uppdelas i tre delar (Figur 5:501):

1. Nedböjning p g a vinkeländringen i skarvsnittet ($\delta^{V}_{1,4}$). Denna vinkeländring (V) mäts enligt ovanstående beskrivning, varvid nedböjningen $\delta^{V}_{1,4}$ (m) = $\frac{V}{2} \cdot \frac{1,4}{2}$ = 0,35 V erhålles.

2. Nedböjning p g a krökning i anslutande delar ($\delta^{A}_{1,4}$). Denna nedböjning mäts inte.

3. Nedböjning p g a deformation i skarvplåtar och anslutande delar ($\delta^{D}_{1,4}$). Inte heller denna nedböjning mäts.

Den totala nedböjningen $\delta_{1,4}$ blir således: $\delta_{1,4} = \delta^{V}_{1,4} + \delta^{A}_{1,4} + \delta^{D}_{1,4}$

Denna nedböjning ($\delta_{1,4}$) mäts enligt beskrivning i kap. 4.2.

I Figurerna 5:502, 5:505 visas $\delta_{1,4}$ och $\delta^{V}_{1,4}$ som funktion av böjmomentet M, för några olika skarvtyper med påldimensionen 270x 270 respektive 235x235 mm.

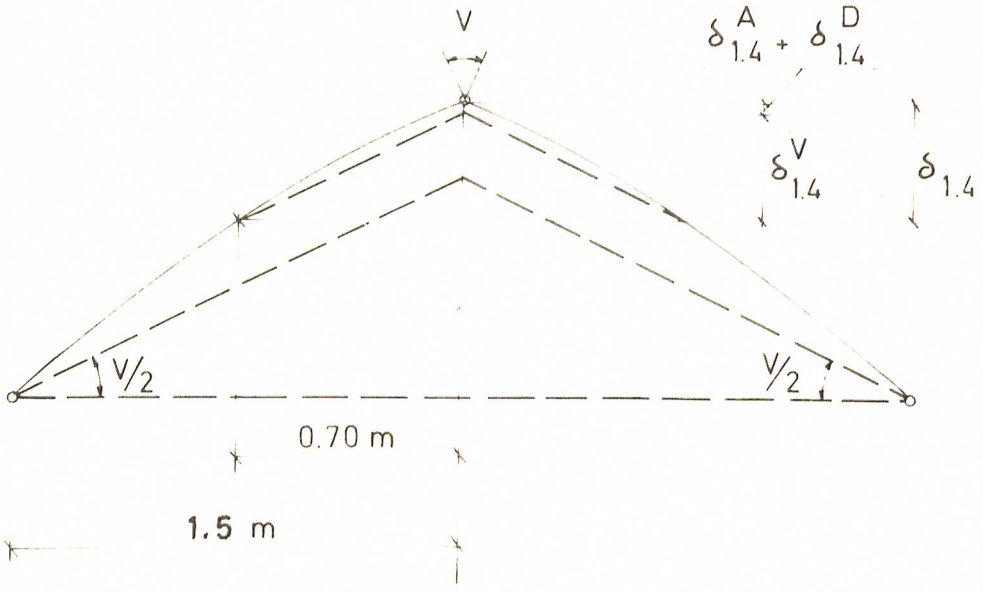
Av dessa diagram framgår, att totala nedböjningen ($\delta_{1,4}$) har dålig korrelation med nedböjningen p g a vinkeländring i skarv ($\delta^{V}_{1,4}$). Man ser i Figur 5:502, att en i och för sig stor nedböjning p g a vinkeländring i skarv, inte behöver betyda att totalnedböjningen blir större. Detta beror förmodligen på, att man vid mätning av vinkeländringen i skarv, inte mäter samma sak vid provningar av olika fabrikat. Detta belyses ytterligare, om man som i Figurerna 5:503 och 5:506 redovisar ($\delta_{1,4} - \delta^{V}_{1,4}$) dvs ($\delta^{A}_{1,4} + \delta^{D}_{1,4}$), som funktion av böjmomentet M.

I dessa figurer har även inlagts teoretiskt beräknade nedböjningskurvor för motsvarande oskarvat påltvärsnitt, varvid nedböjningen dels beräknats utan hänsyn till förankringsarmering och dels med hänsyn till förankringsarmering. Man kan alltså konstatera att uppmätning av vinkeländringen i skarv knappast har någon funktion att fylla, då man inte kommer åt de stora deformationerna mellan skarvplåtarna och betongen. I Figur 5:508 kan man se en oskarvad och två skarvade pålar, vilka böjprovats. Man bör därvid observera de stora deformationerna, som uppstått mellan skarvplåtarna och betongen, vilka väl framträder.

För att ge en uppfattning om spridningen i mätningsvärdena för vinkeländringen i skarven har Figurerna 5:504 och 5:507 upprits. I figurerna visas nedböjningen p g a vinkeländringen i skarven ($\delta^{V}_{1,4}$) som funktion av böjmomentet, varvid fält innehållande alla mätvärden för respektive skarvtyp uppritats. Som framgår av figurerna är spridningen ganska stor för vissa skarvtyper. Detta beror dock troligen inte att skarven skulle vara ojämn i kvaliteten, utan snarare på det faktum att skarven utvecklats under den studerade tidsperioden och på osäkerheter i mätmetoden.

I Figurerna 5:509 - 5:511 visas typkurvor för fem stycken olika skarvtyper i pålningsklasserna C33, B45 och B60, samtliga typgodkända av Planverket. I figurerna redovisas både totala nedböjningen ($\delta_{1,4}$) samt nedböjningen p g a vinkeländring i skarv ($\delta^{V}_{1,4}$) som funktion av böjmomentet. Dessutom har Planverkets krav på maximal nedböjning inlagts.

Även av dessa kurvor framgår att mätning av vinkeländring i skarv är onödig. Trots relativt stor spridning hos nedböjningskurvorna p g a vinkeländring i skarv, är de totala nedböjningskurvorna väl samlade, detta framgår särskilt tydligt i Figur 5:511.



FIGUR 5:501

Beräkning av nedböjningen på 1,4 m längd.

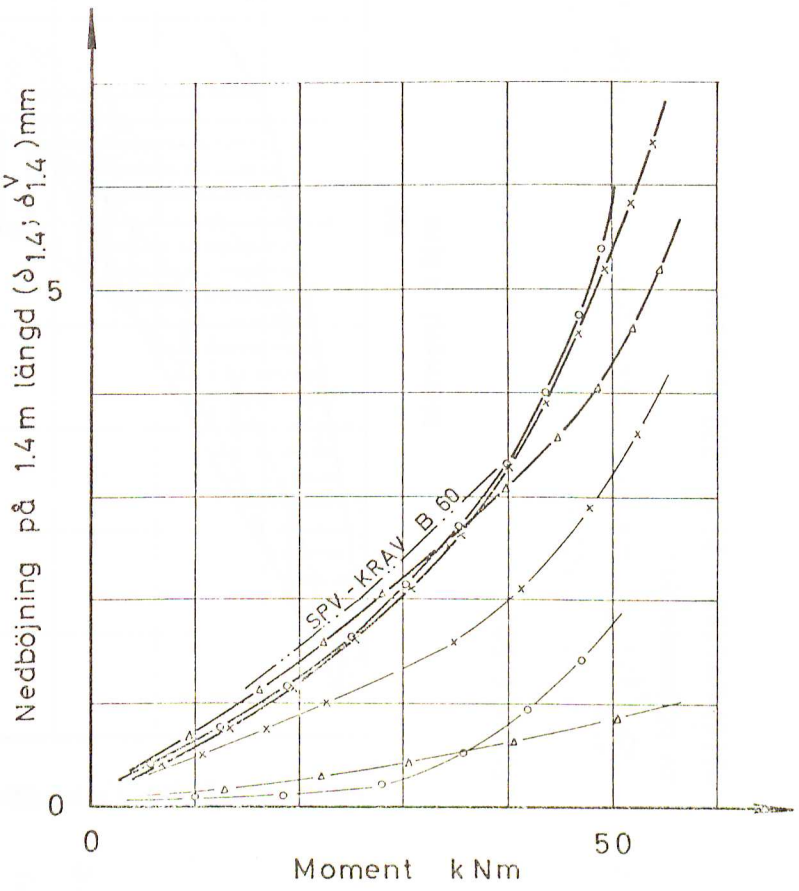
$\delta_{1,4}$ = total nedböjning

$\delta^{V}_{1,4}$ = nedböjning p g a vinkeländring i skarvsnittet

$\delta^{A}_{1,4}$ = nedböjning p g a krökning i anslutande delar

$\delta^{D}_{1,4}$ = nedböjning p g a deformation i skarvplåtar och anslutande delar

V = vinkeländring i skarvsnittet

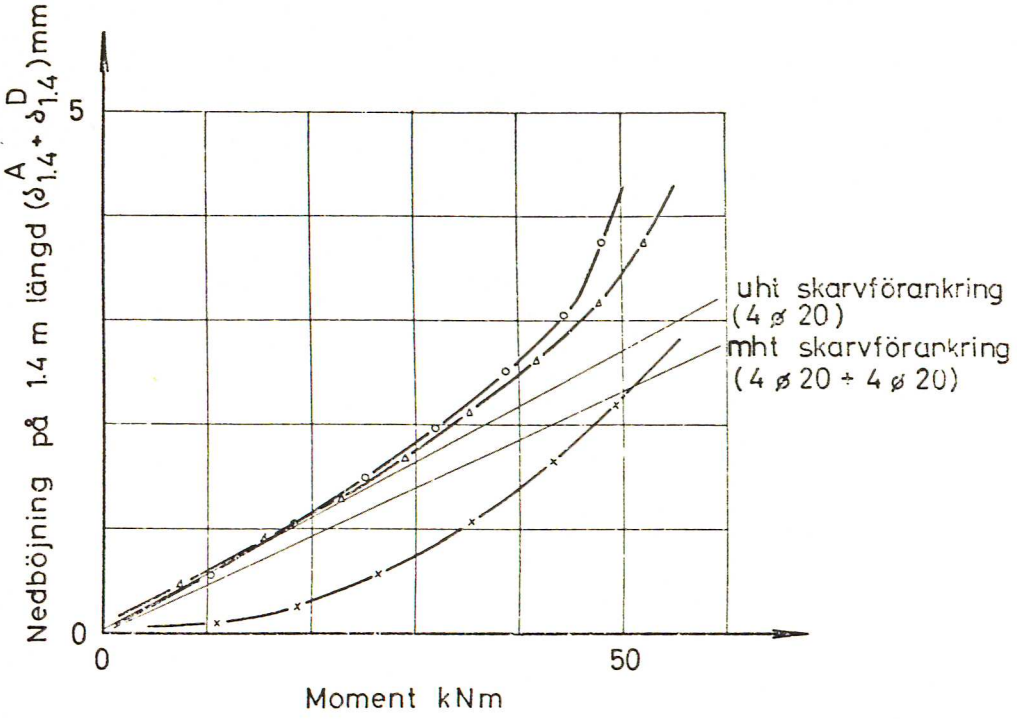


FIGUR 5:502

Totala nedböjningen ($\delta_{1,4}$) och nedböjningen p g a vinkeländring i skarv ($\delta^{V}_{1,4}$), för tre olika skarvtyper 270 x 270 mm. Nedböjningen som funktion av böjmomentet.

Beteckningar:

——o——o——	skarvtyp A
——Δ——Δ——	skarvtyp B
——x——x——	skarvtyp C
Grov linje	totalnedböjning ($\delta_{1,4}$)
Tunn linje	nedböjning p g a vinkeländring i skarv ($\delta^{V}_{1,4}$)



FIGUR 5:503

Nedböjning p g a krökning i anslutande delar samt av deformation i skarvplåt och anslutande delar ($\delta^{A}_{1,4} + \delta^{D}_{1,4}$), för tre olika skarvtyper 270 x 270 mm.

Nedböjningen som funktion av böjmomentet.

Beteckningar:

——○——○—— skarvtyp A

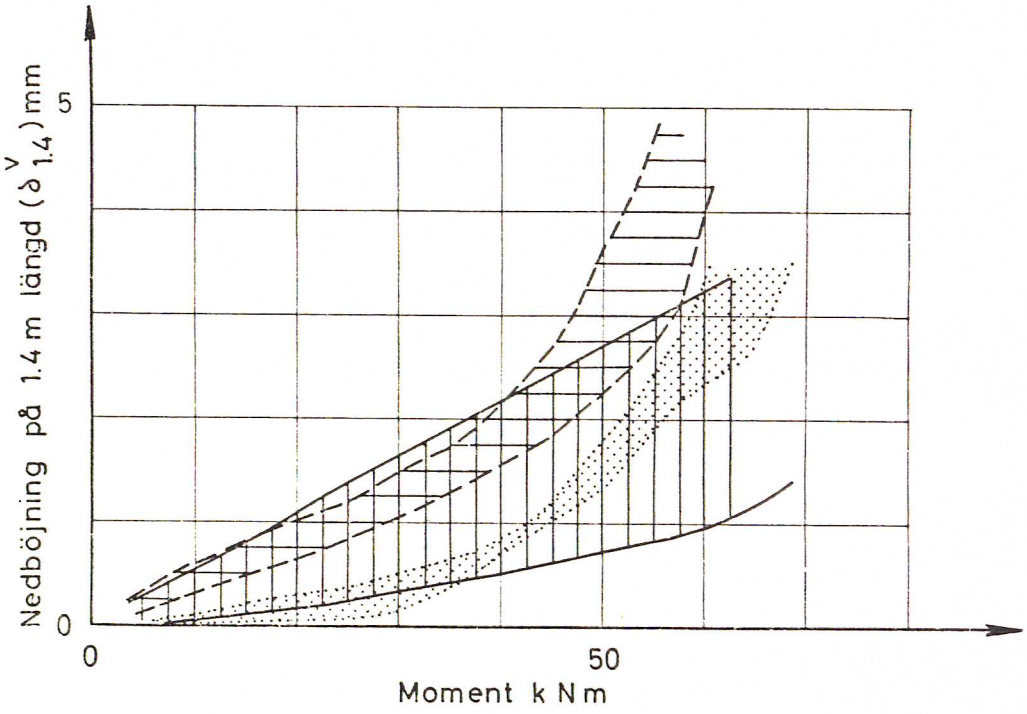
——△——△—— skarvtyp B

——×——×—— skarvtyp C

teoretiska nedböjningslinjer

övre linjen: utan hänsyn till förankringsarm

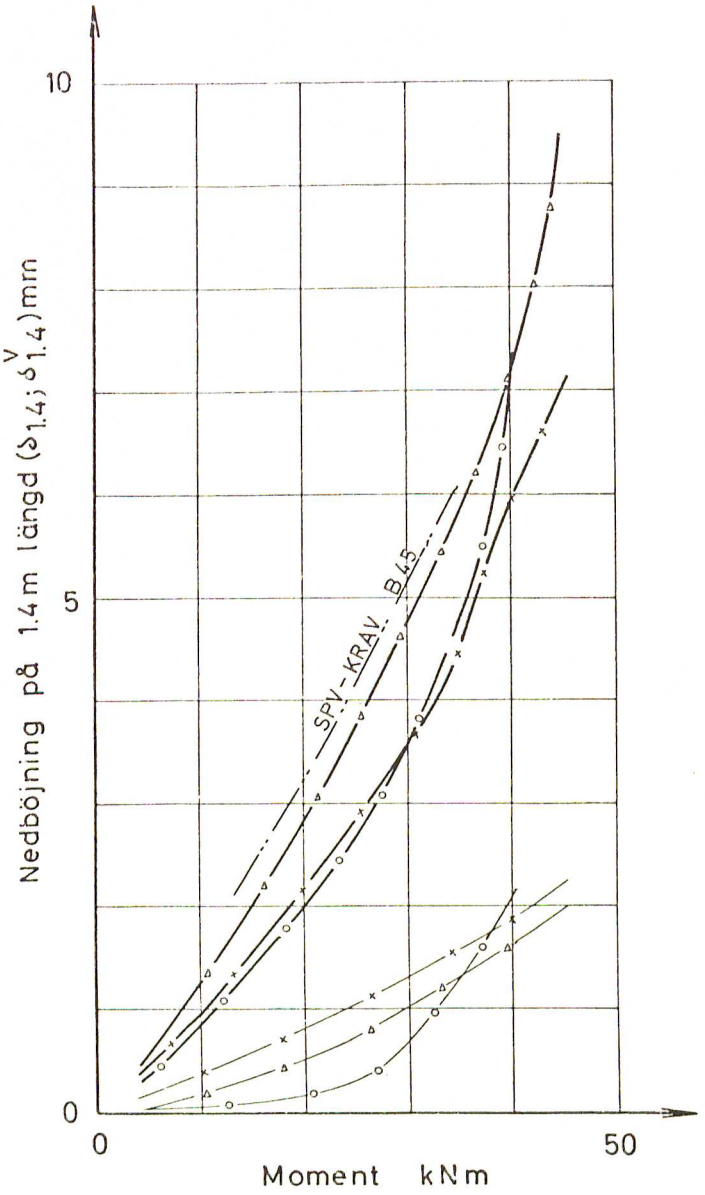
undre linjen: med hänsyn till förankringsarm



FIGUR 5:504

Spridningsområde för nedböjning p g a vinkeländring i skarv ($\delta^{V}_{1,4}$), för tre olika skarvtyper. Nedböjningen som funktion av böjmomentet.

Påldimension 270 x 270 mm, B60

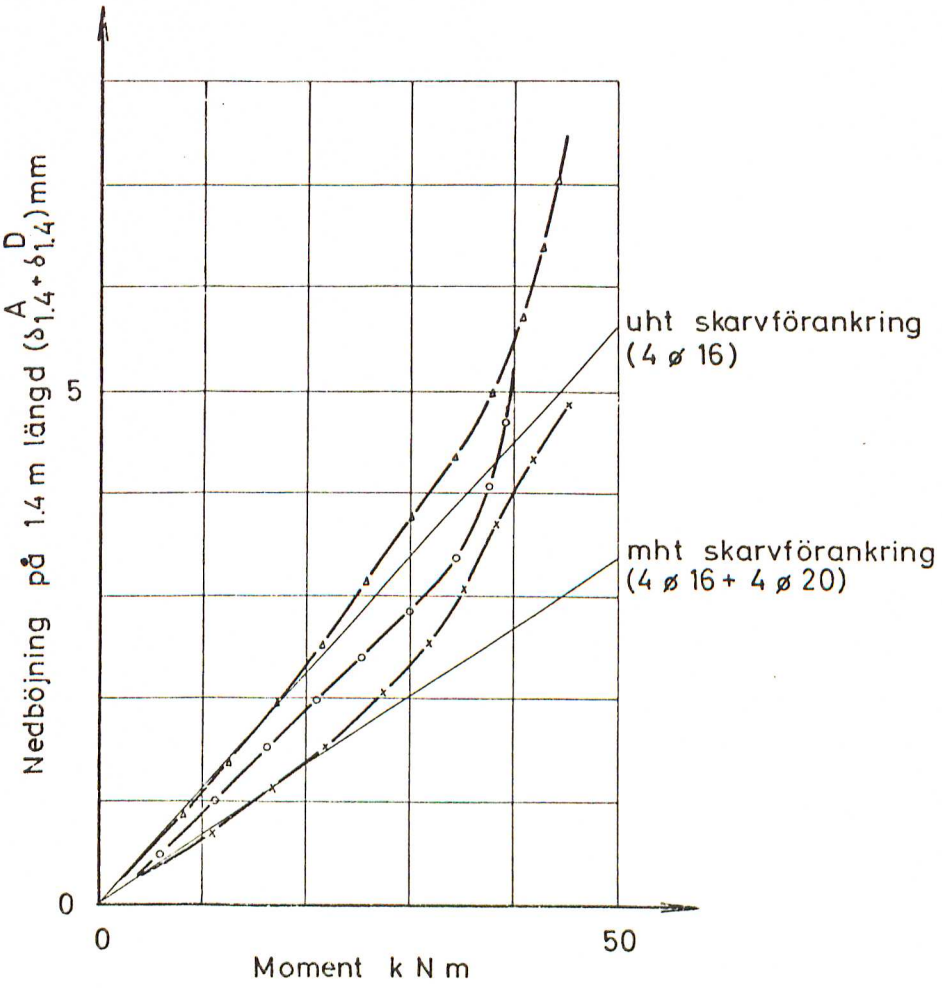


FIGUR 5:505

Totala nedböjningen ($\delta_{1,4}$) och nedböjningen p g a vinkel-ändring i skarv ($\delta^{V}_{1,4}$), för tre olika skarvtyper 235 x 235 mm. Nedböjningen som funktion av böjmomentet.

Beteckningar:

——o——o——	skarvtyp A
——▵——▵——	skarvtyp B
——×——×——	skarvtyp C
Grov linje	totalnedböjning ($\delta_{1,4}$)
Tunn Linje	nedböjning p g a vinkeländring i skarv ($\delta^{V}_{1,4}$)



FIGUR 5:506

Nedböjning p g a krökning i anslutande delar samt av deformation i skarvplåt och anslutande delar ($\delta^{A}_{1,4} + \delta^{D}_{1,4}$), för tre olika skarvtyper 235 x 235 mm.

Nedböjningen som funktion av böjmomentet

Beteckningar:

——o——o—— skarvtyp A

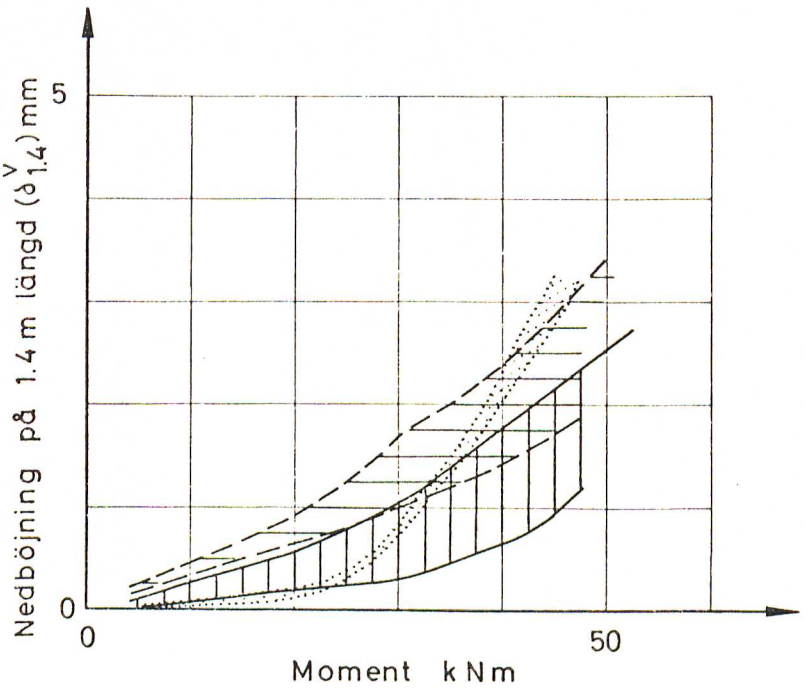
——△——△—— skarvtyp B

——×——×—— skarvtyp C

teoretiska nedböjningslinjer

övre linjen: utan hänsyn till förankringsarm

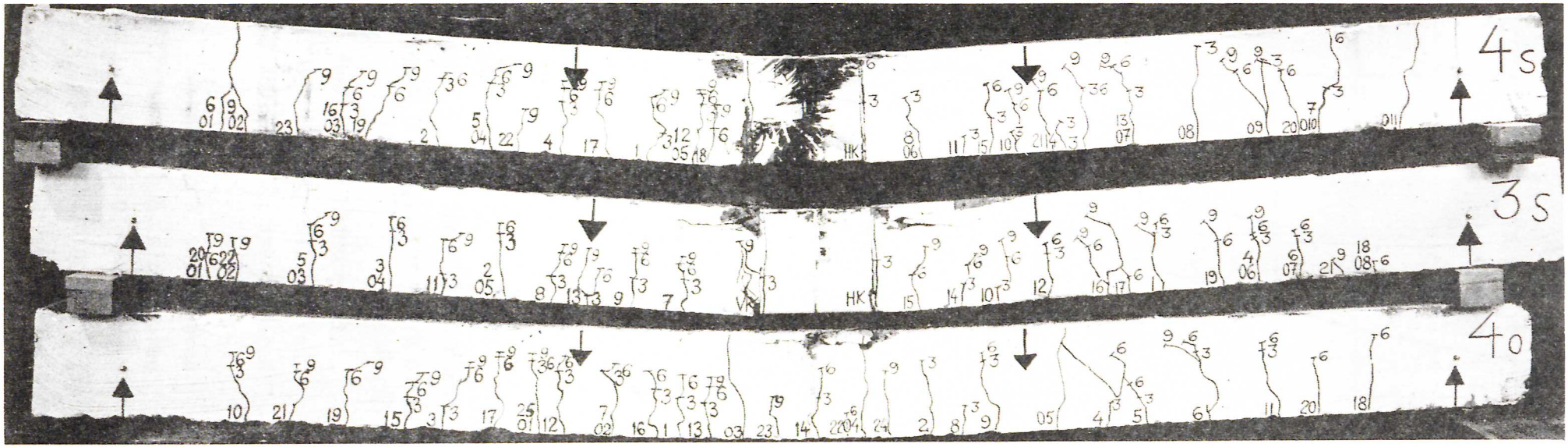
nedre linjen: med hänsyn till förankringsarm



FIGUR 5:507

Spridningsområde för nedböjning p g a vinkeländring i skarv ($\delta^{V}_{1,4}$) för tre olika skarvtyper. Nedböjningen som funktion av böjmomentet.

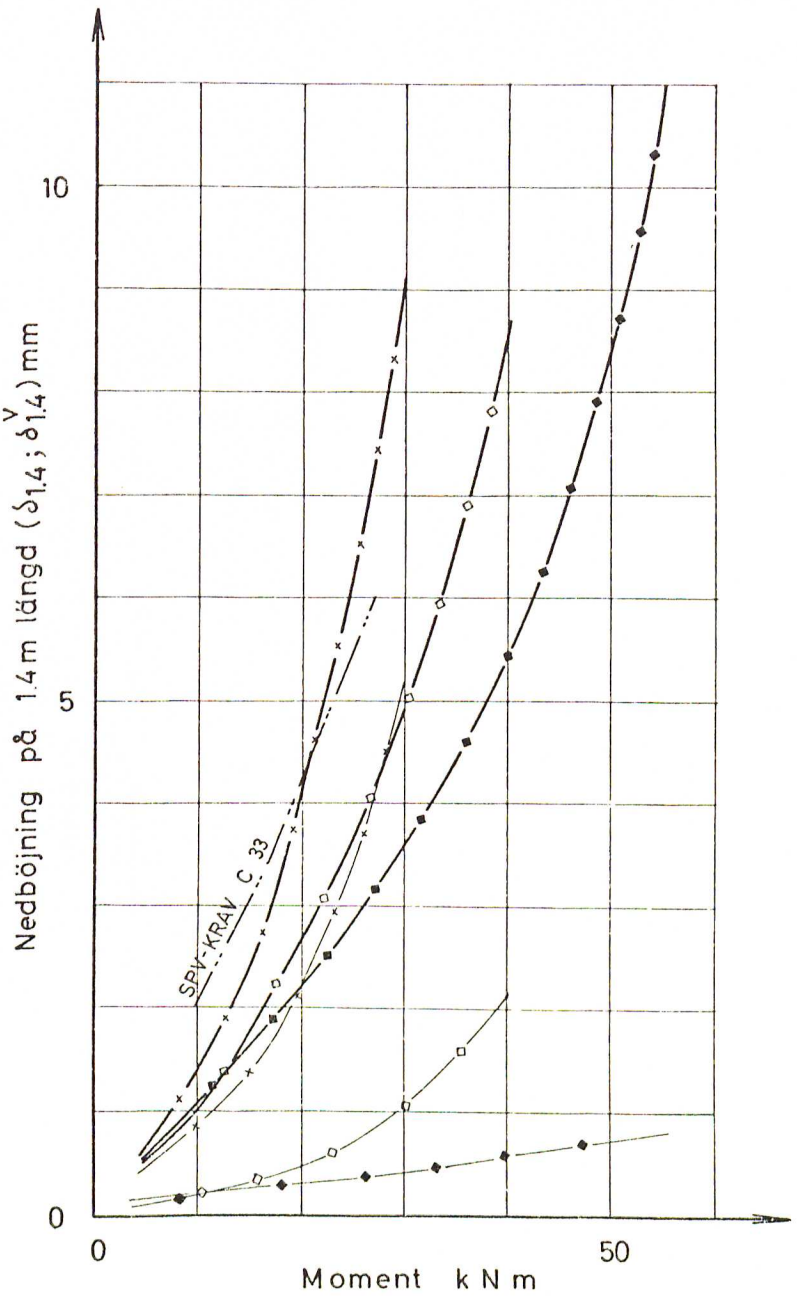
Påldimension 235 x 235 mm, B45



FIGUR 5:508

Pålar 235 x 235 mm efter avslutad böjprovning. Uppkomna sprickor initade med svart färg. Tvärstreck över spricka anger spricksluts vid angiven last i Mp.

Observera vinkeländringen vid skarvmanschetterna för de skarvade pålarna.

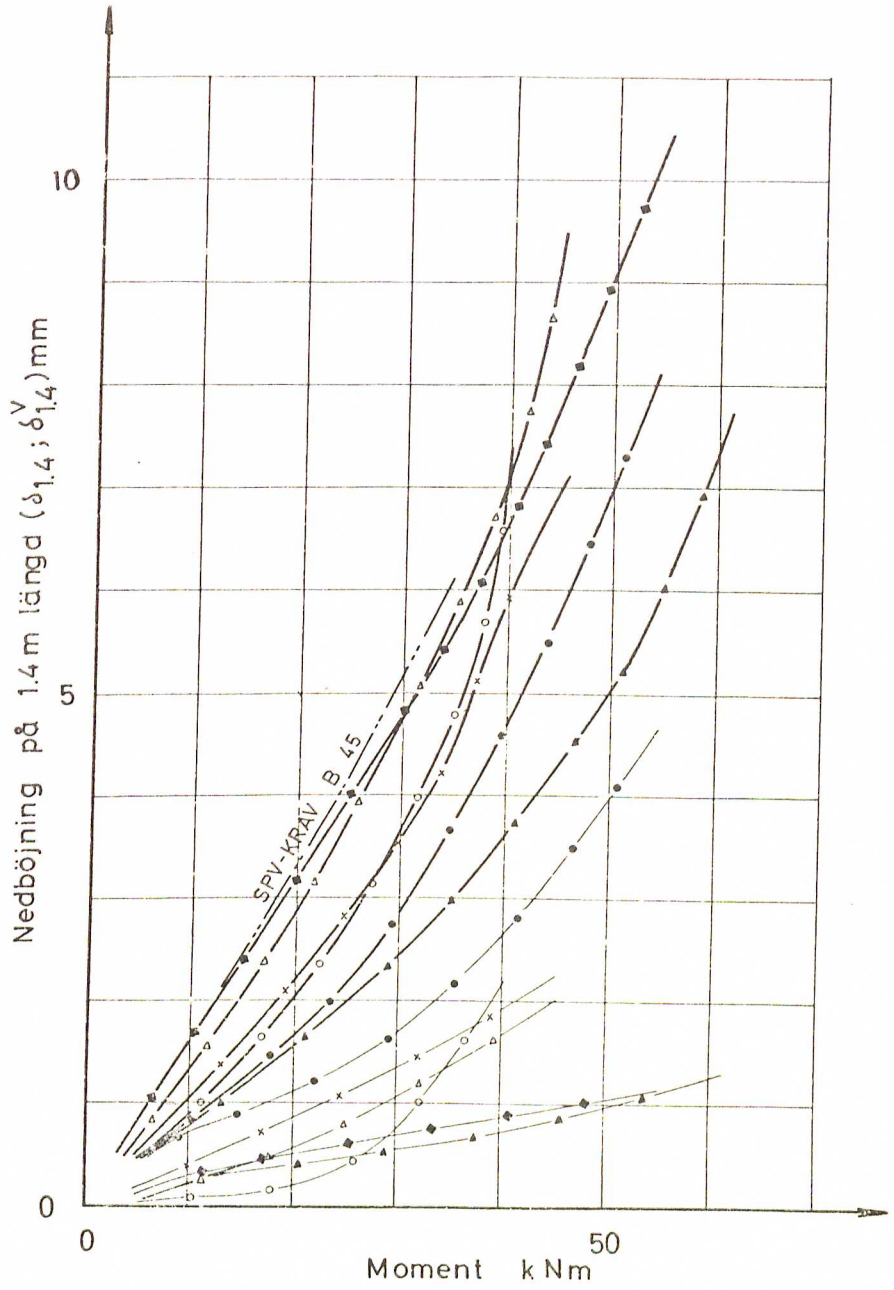


FIGUR 5:509

Typkurvor pålningsklass C33.
Totala nedböjningen ($\delta_{1,4}$) och nedböjningen p g a vinkeländring i skarv ($\delta^{V}_{1,4}$), för några olika typgodkända skarvar.
Nedböjningen som funktion av böjmomentet.
Påldimensioner: 235 x 235 mm slakarmerad
Ø 280 mm spännarmerad

Beteckningar:

——×——×—— skarvtyp C, slakarmerad
——□——□—— skarvtyp E, slakarmerad
——■——■—— skarvtyp D, spännarmerad
Grov linje totalnedböjning ($\delta_{1,4}$)
Tunn Linje nedböjning p g a vinkeländring i skarv ($\delta^{V}_{1,4}$)



FIGUR 5:510

Typkurvor pålningsklass B45

Totala nedböjningen ($\delta_{1,4}$) och nedböjningen p g a vinkeländring i skarv ($\delta^{V}_{1,4}$), för några olika typgodkända skarvar. Nedböjningen som funktion av böjmomentet1

Påldimensioner: 235 x 235 mm slakarmerad

Ø 280 mm spännarmerad

Beteckningar:

—o—o— skarvtyp A, slakarmerad

—Δ—Δ— skarvtyp B, slakarmerad

—×—×— skarvtyp C, slakarmerad

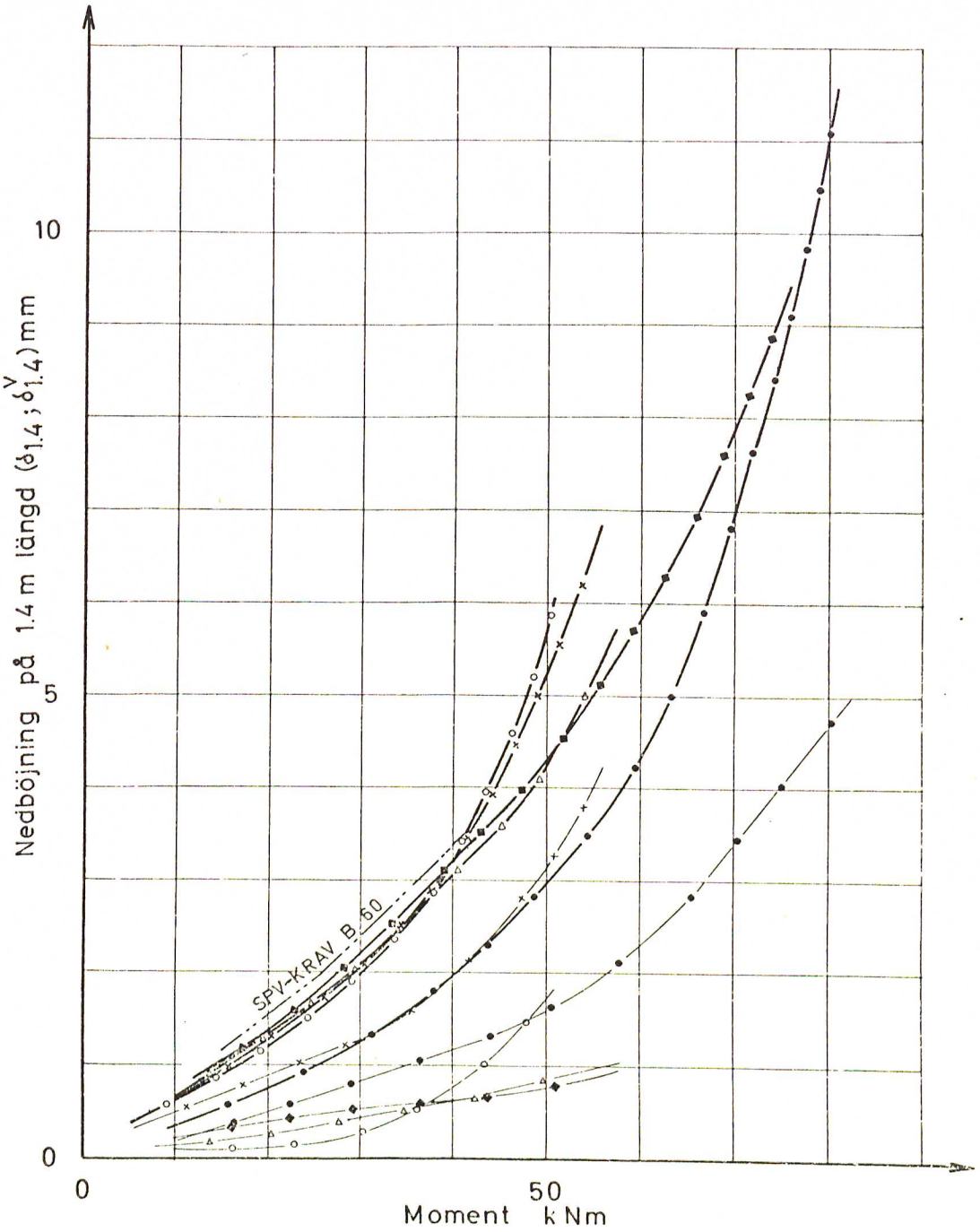
—●—●— skarvtyp A, spännarmerad

—▲—▲— skarvtyp B, spännarmerad

—■—■— skarvtyp D, spännarmerad

Grov linje totalnedböjning ($\delta_{1,4}$)

Tunn linje nedböjning p g a vinkeländring i skarv ($\delta^{V}_{1,4}$)



FIGUR 5:511

Typkurvor pålningsklass B60.
Totala nedböjningen ($\delta_{1,4}$) och nedböjningen p g a vinkel-
ändring i skarv ($\delta^{V}_{1,4}$), för några olika typgodkända skarvar.
Nedböjningen som funktion av böjmomentet.

Påldimensioner:	270 x 270 mm	slakarmerad
	Ø 335 mm	spännarmerad

Beteckningar:

—o—o—	skarvtyp A, slakarmerad
—△—△—	skarvtyp B, slakarmerad
—×—×—	skarvtyp C, slakarmerad
—●—●—	skarvtyp A, spännarmerad
—◀—◀—	skarvtyp D, spännarmerad
Grov linje	totalnedböjning ($\delta_{1,4}$)
Tunn linje	nedböjning p g a vinkeländring i skarv ($\delta^{V}_{1,4}$)

5.6 Initialvinkeländring

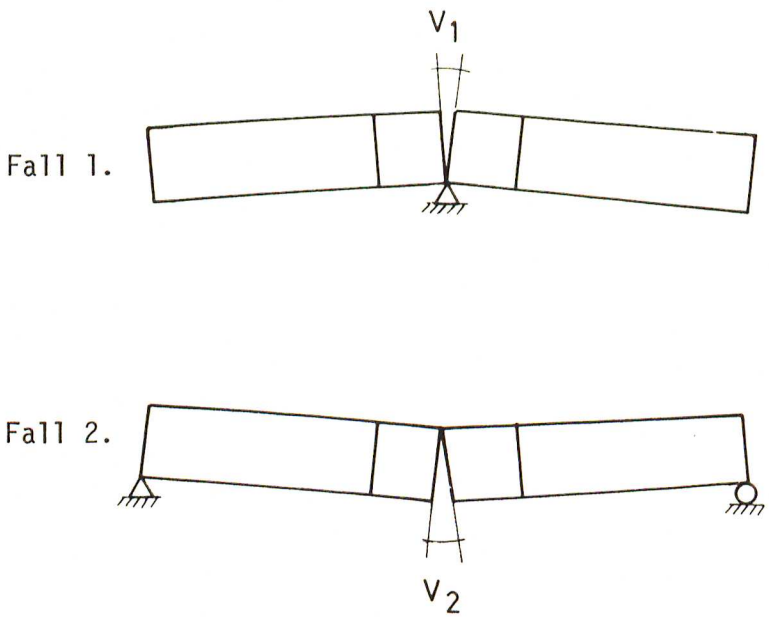
För att bedöma de skarvglapp, som skarven uppvisar enbart belastad med pålelementets egentyngd, har man standardiserat ett provningsförfarande.

Först läggs det skarvade pålelementet upp på ett stöd mitt under skarven och vinkeländringen i skarven mäts med mätklockor (upplagsfall 1, Figur 5:63), därefter placeras pålelementet fritt upplagt på två stöd och vinkeländringen i skarven mäts (upplagsfall 2). Förfarandet upprepas för fyra mot varandra vinkelräta sidor.

Initialvinkeländringen, som kan definieras som den vinkeländring som inträffar i skarven när denna belastas av elementets egenvikt. Eftersom vinkeländringen kan vara olika i upplagsfallen 1 och 2 uttrycks initialvinkeländringen som medelvärdet av de uppmätta vinkeländringarna i de båda upplagsfallen. Sålunda erhålls

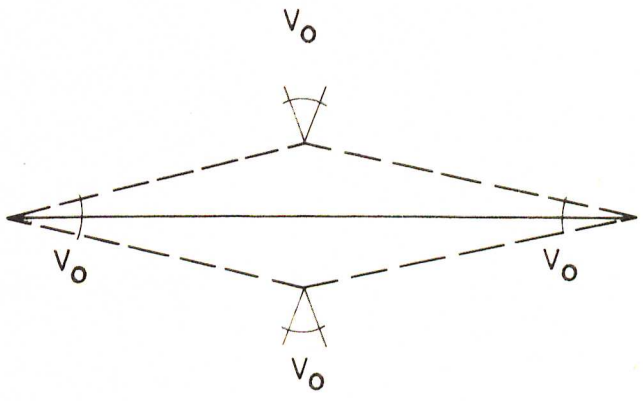
$$V_o = \frac{a_1 - a_2 + c_1 - c_2}{2\,h}$$, beteckningar, se Figur 5:63

Något förenklat blir initialvinkeländringen $V_o = \frac{V_1 + V_2}{2}$ enligt Figur 5:61



Figur 5:61

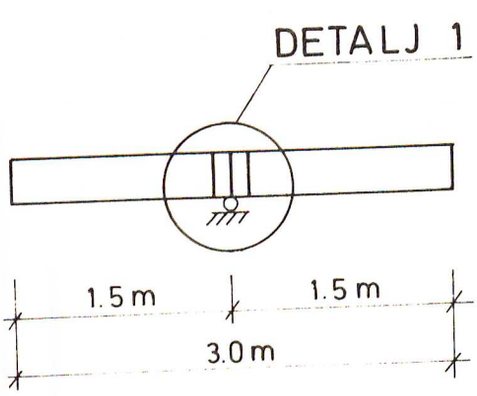
I grundmaterialet från de olika provningsanstalterna har en viss förbistring rått om redovisningen av initialvinkeländringen. Ibland redovisas hela vinkeln $V_1 + V_2$ och ibland V_0. I denna rapport redovisas initialvinkeländringen som V_0, se Figur 5:62, för att få överensstämmelse med vinkeländringen i skarv som redovisats i kap 5.5.



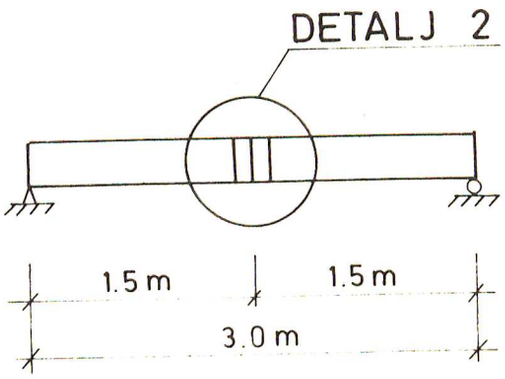
Figur 5:62

I Figur 5:64 finns resultatet av undersökningen av initialvinkeländringen redovisad. Då spridningen är mycket stor med ett fåtal mycket stora värden har medianvärden beräknats i stället för medelvärden. I figuren finns även Planverkets krav på initialvinkeländringen inlagt. Detta krav tycks relativt lätt kunna uppnås av skarvtillverkarna.

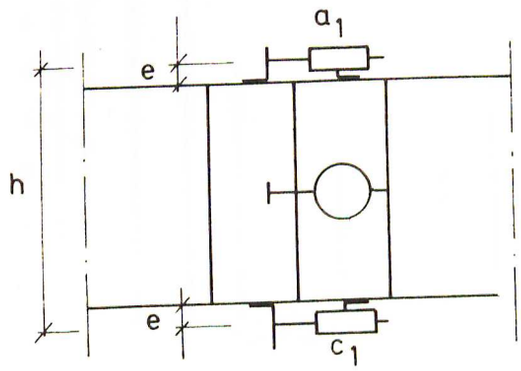
Planverkets krav gäller endast för slakarmerade pålelement, men eftersom inga speciella krav finns uppställda för spännarmerade pålelement, tillämpas här samma krav även för dessa.



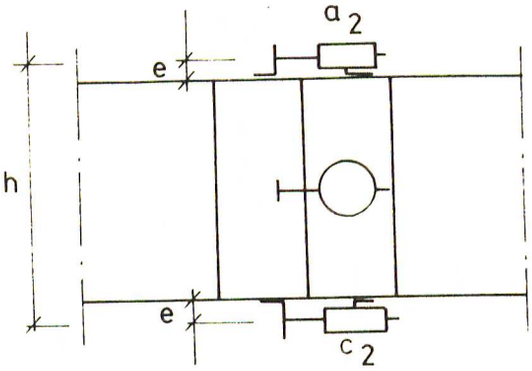
UPPLAGSFALL 1



UPPLAGSFALL 2



DETALJ 1



DETALJ 2

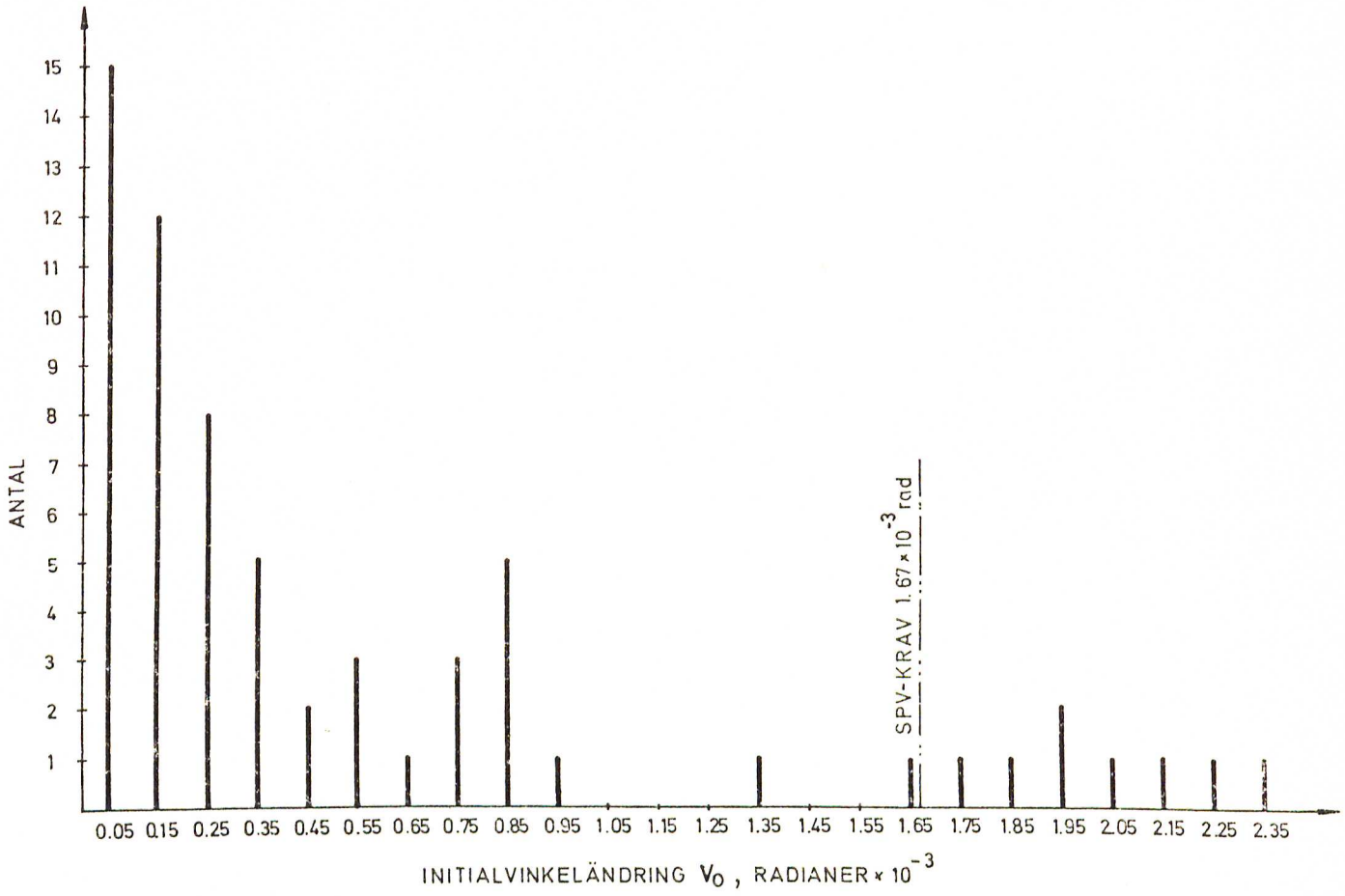
a_1, a_2, c_1 RESP. c_2 AVLÄSTA VÄRDEN PÅ MÄTKLOCKORNA

$e = 25\,mm$

INITIALVINKELÄNDRINGEN $V_o = \dfrac{a_1 - a_2 + c_2 - c_1}{2h}$

FIGUR 5:63

Provningsanordningens utseende samt mäturens placering vid provning av initialvinkeländring



FIGUR 5:64

Fördelning av initialvinkeländringen av 71 mätningar

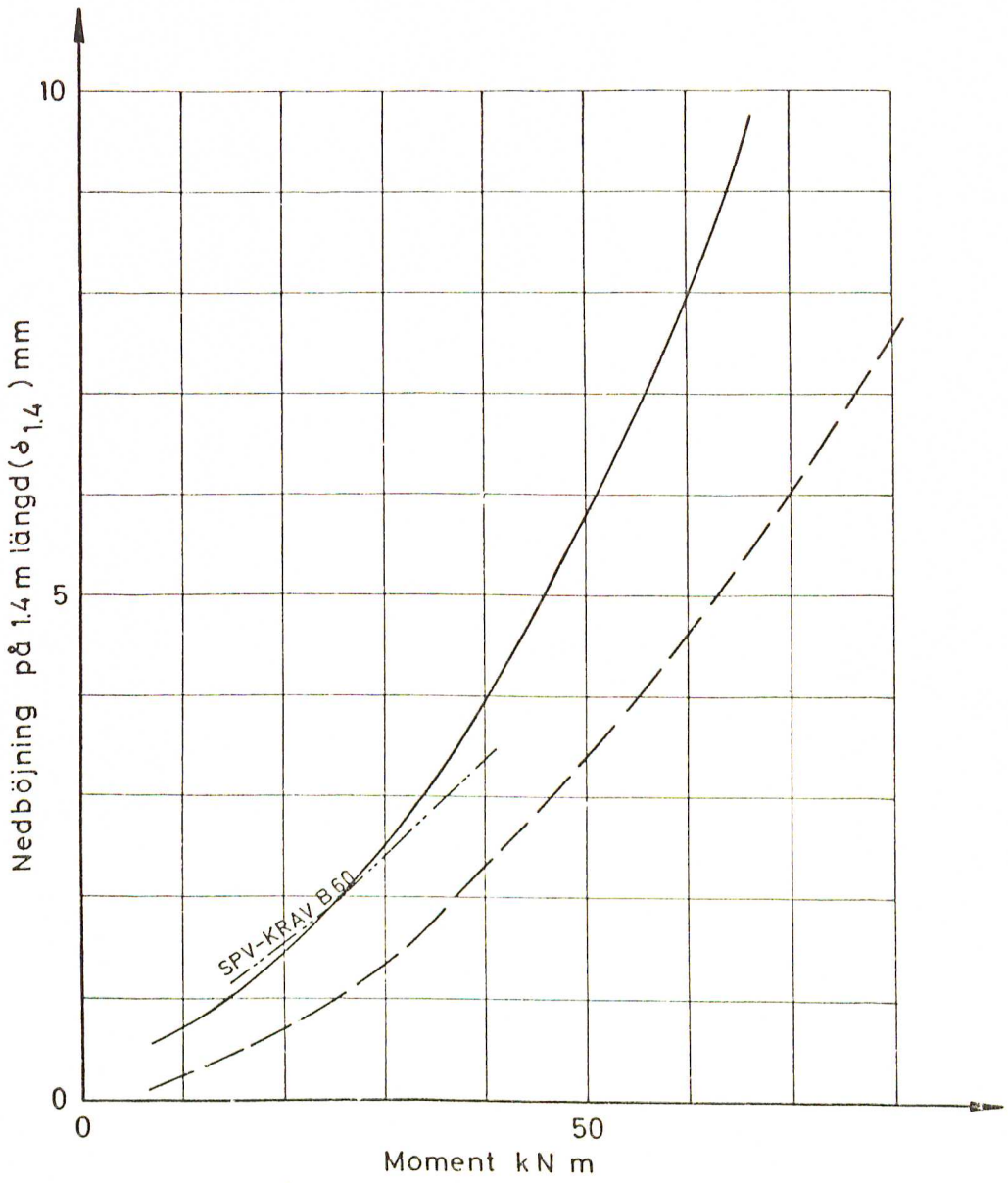
Medianvärdet V_0	=	$0{,}31 \cdot 10^{-3}$	rad
skarvtyp A (25 st)	=	$0{,}13 \cdot 10^{-3}$	rad
skarvtyp B (18 st)	=	$0{,}25 \cdot 10^{-3}$	rad
skarvtyp C (12 st)	=	$0{,}64 \cdot 10^{-3}$	rad
skarvtyp D (6 st)	=	$0{,}35 \cdot 10^{-3}$	rad
max. värde	=	$6{,}50 \cdot 10^{-3}$	rad

5.7 Förankringsarmeringens betydelse

För en skarvad påle inverkar många fler faktorer på pålens böjstyvhet än vad som tidigare framhållits. Exempel på sådana faktorer är förankringsarmeringens längd, dimension och kvalitet. Då det sällan förekommer att dessa faktorer varierar i jämförbara provningar, har det varit svårt att belysa dessa faktorers inverkan. Som exempel på vad som händer när antalet förankringsstänger minskas till hälften visas Figur 5:71.

Betydelsen av förankringsstängernas dimension framgår av Figur 5:72, som visar inverkan av ändring i dimension från Ø 20 till Ø 16. Det bör dock framhållas att även förankringslängden minskats från 70 cm till 56 cm. Av dessa figurer framgår att nedböjningen ökar kraftigt, dvs böjstyvheten minskar kraftigt, då antalet förankringsstänger minskas respektive arean hos förankringsarmeringen minskas.

Något bra exempel på inverkan av förankringsstängernas längd har inte kunnat uppbringas, men mycket tyder på att en längd större än 60 á 70 cm är nödvändig för att skarven skall bli någorlunda böjstyv. De flesta skarvtyperna har dessa förankringslängder. Förankringsstängernas kvalitet har förmodligen betydelse i brottstadiet och de bör därför vara av minst samma kvalitet som huvudarmeringen. Inverkan av variationen av armeringskvaliteten kan för övrigt studeras genom jämförelse av Figurerna 5:301 och 5:302 som visar nedböjningen på 1,4 m längd för oskarvade element som funktion av böjmomentet. Pålelementen har varit armerade med 4 Ø 16 Ks 40 respektive 4 Ø 16 Ks 60. Figurerna visar tydligt att nedböjningskurvan är oberoende av armeringskvaliteten, men att brottmomentet är avsevärt större för pålar med högre armeringskvalitet.



FIGUR 5:71

Förankringsarmeringens inverkan på nedböjningen som funktion av böjmomentet.

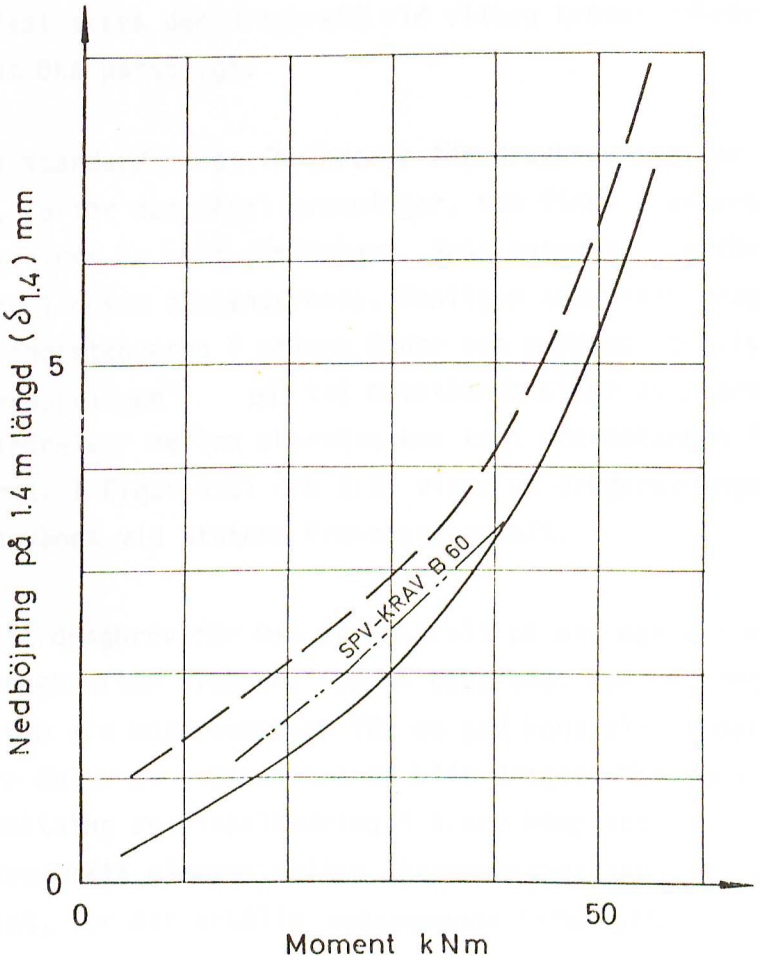
Påldimension Ø 335, B 60

Spännarmerad 7 Ø 9,5

Beteckningar:

—————— förankringsarmering 3 Ø 16 Ks 60, - 60 cm M_{br} = 79 kNm

— — — förankringsarmering 6 Ø 16 Ks 60, - 60 cm M_{br} = 105 kNm



FIGUR 5:72

Inverkan av förankringsarmeringens dimension
Nedböjningen ($\delta_{1,4}$) som funktion av böjmomentet

Påldimension: 270 x 270 mm, B60

——————— förankringsarm. 4 Ø 20 Ks 40 - 70 cm

— — — — förankringsarm. 4 Ø 16 Ks 60 - 56 cm

5.8 Dragprovning av skarv

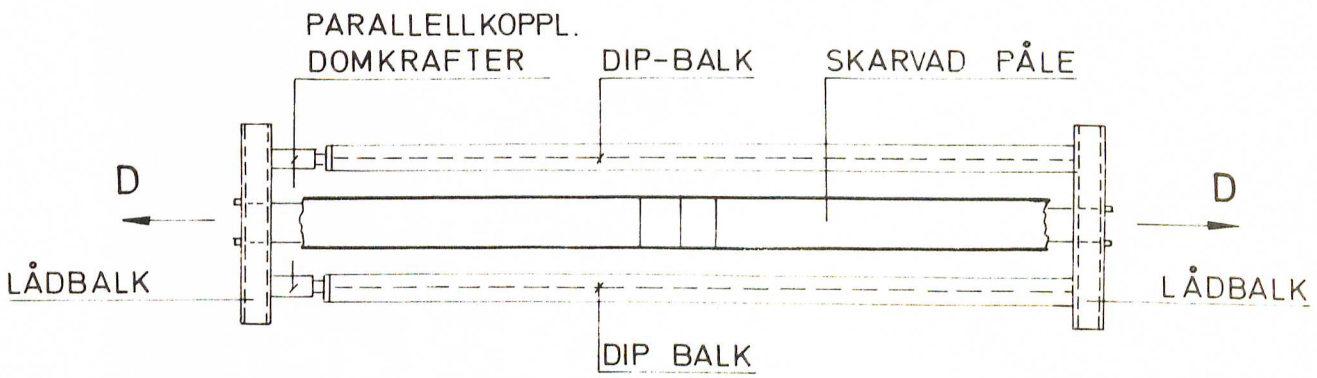
Enligt Pålnormerna :62233 skall en skarv kunna uppta en viss dragkraft utan att dess flytlast överskrids. Påle i klass B60 med 270x 270 mm tvärsnitt skall exempelvis klara en dragkraft av 365 kN. Med flytlast avses den dragkraft vid vilken kvoten Δrörelse/Δdragkraft börjat öka påtagligt.

Något standardiserat förfarande för dragprovning har inte utarbetats, varför det fåtal provningar, som finns i undersökningsmaterialet icke är helt jämförbara. Resultaten har därför inte bearbetats i detta examensarbete. Vanligen anbringas dragkraften på armeringsstängerna i pålens ändar och påföres stegvis. Normalt mäts "skarvöppningen" på två motstående sidor av skarven samt glidningsrörelser mellan skarvkragens kant och betongen för båda påldelarna. I Figur 5:81 och 5:82 visas en dragprovningsanordning, som används vid Statens Provningsanstalt.

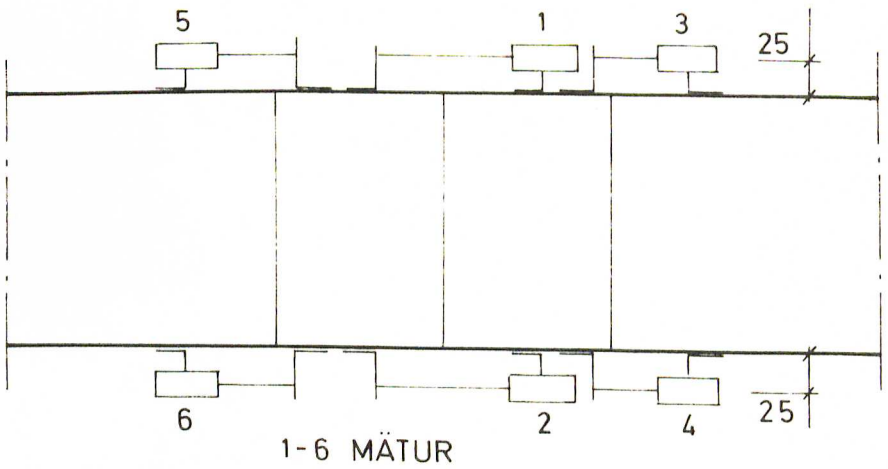
Vid ett dragprov får man en kontroll på att den skarvade pålen klarar dragkrafter lika bra som en oskarvad. Man kan dock invända att man även vid böjprovningen får en god kontroll på detta, p g a att större delen av tvärsnittet då blir draget. Möjligen skulle man förutom mätning av vinkeländring i skarv komplettera böjprovningen med att även mäta glappet mellan skarvmanschetterna och betongen i underkant, för att erhålla motsvarande information som vid dragprovning.

Vid dragprovningar uppkommer svårighet att anbringa dragkraften centriskt vilket är nödvändigt för att inte moment skall införas i skarven.

Det är förmodligen p g a det ovan sagda, som dragprovningar endast utförts i undantagsfall och ej heller generellt krävs för typgodkännande av skarvar. Man kan således ifrågasätta nyttan av att dragprova skarvade betongpålar.



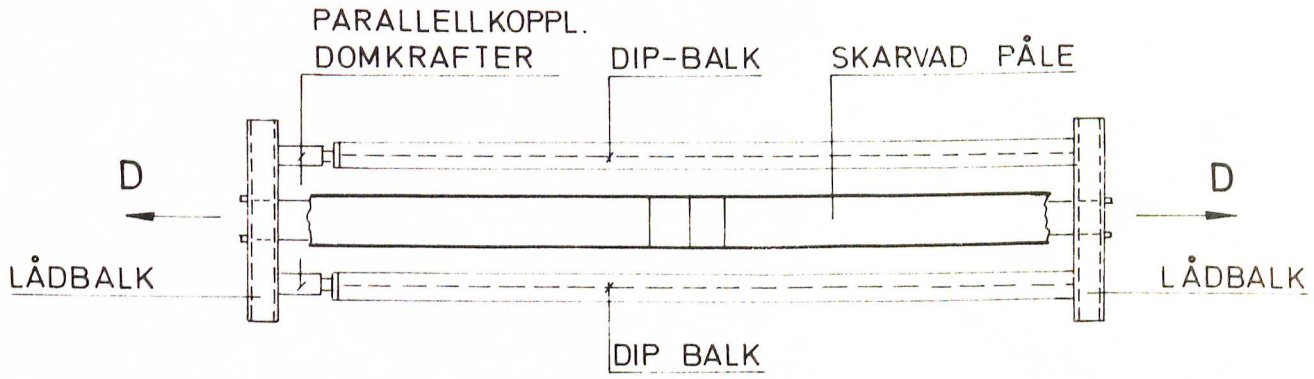
PLAN



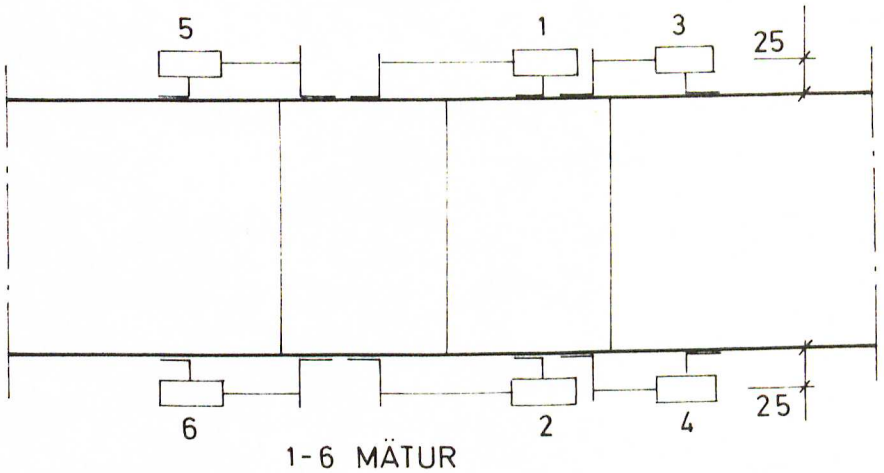
DETALJ

FIGUR 5:81

Anordning för dragprovning av skarvad påle
samt mäturens placering



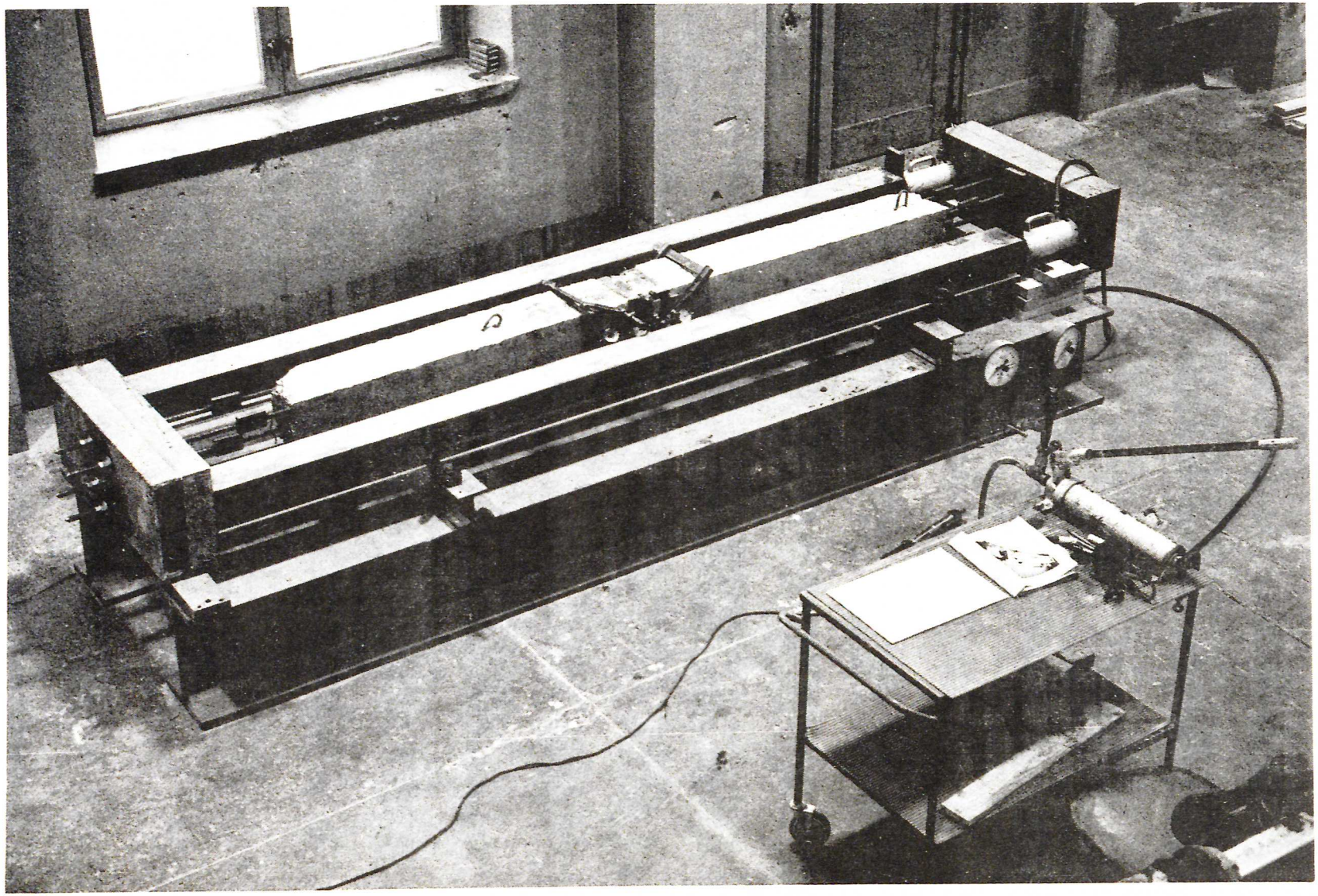
PLAN



DETALJ

FIGUR 5:81

Anordning för dragprovning av skarvad påle
samt mäturens placering



FIGUR 5:82

Anordning för dragprovning av pålar

6. SYNPUNKTER PÅ PROVNINGSFÖRFARANDE OCH RESULTATREDOVISNING

Provningsförfarandet har efter ca 15 år kommit att bli mer och mer enhetligt vid de olika provningsanstalterna. Det förekommer dock ännu en del olikheter i resultatredovisningen, vilket försvårar jämförande studier av resultaten.

Det viktigaste kravet man måste ställa på en provningsrapport är, att alla data redovisas i digital form och att det klart framgår hur provningen tillgått. Man kan sedan naturligtvis gärna även redovisa medelvärden och kurvor av intresse.

Efter genomgång av ett stort antal provningsprotokoll från olika provningsanstalter, kan följande punkter ställas upp. Dessa punkter bör följas vid utförande och redovisning av en böjprovning.

1. Initialvinkeländringen bör mätas genom uppläggning på alla fyra sidor och redovisning av alla mätvärden. Därefter bör medelvärdet för dessa mätningar uträknas i radianer. Vinkeln V_0 bör anges.

2. Nedböjningen bör mätas som $\delta_{1,4}$ och $\delta_{3,0}$, den senare för jämförelser med äldre provningar. Värdena på $\delta_{1,4}$ och $\delta_{3,0}$ bör redovisas för varje provad påle. Angivande av medelvärden för flera provningar bör inte förekomma annat än om även de enskilda värdena redovisas. EI bör även uträknas ur $\delta_{1,4}$.

3. Nedböjningsdiagram, med nedböjningen $\delta_{1,4}$ som funktion av böjmomentet, bör uppritas för varje påle.

4. Tryckprovning av samtidigt gjutna och objektlagrade betongkuber bör alltid förekomma.

5. Kontroll av armering i påle och jämförelse med ritningar bör alltid ske. Vidare bör skarvtyp, skarvarmering och förankringslängd anges. Täckande betongskikt bör uppmätas.

6. Brottorsak och brottmoment bör anges.

7. Om vinkeländring i skarv skall mätas bör, utöver de mätningar som görs idag, även rörelsen mellan påle och skarvmanschett mätas.

   Resultatet redovisas i form av nedböjningskurvor tillsammans med totalnedböjningen för respektive påle.

8. Om dragprov skall utföras bör dessa ske enligt något standardiserat provningsförfarande.

7. FÖRSLAG TILL FORTSATTA UNDERSÖKNINGAR

Då det i denna undersökning inte funnits underlag för mer detaljerade jämförelser, föreslås om intresse finns, fortsatta undersökningar där provningarna utförs under likartade omständigheter. En sådan undersökning kan t ex bestå i böjprovningar av en serie på 5 slagna och 5 oslagna skarvade pålelement. Härigenom skulle man kunna erhålla underlag för att eventuellt minska kravet på provslagning.

Det vore även intressant att göra böjprovningar sedan en skarvtyp varit i produktion en tid och då välja pålar slumpvis ur lager, för att se om skarven håller samma kvalitet som vid ansökan om typgodkännande.

8. LITTERATURREFERENSER

1 IVA:s Pålkommission, Meddelande nr 8

2 Statens Planverk, Pålnormer SBN-S 23:6

3 Statens Planverk, Riktlinjer för provning och bedömning av skarv för slakarmerad betongpåle

4 Statens Planverk, Spännbetongnormer SBN-S 25:21

5 Lorentsen M, Spännbetongbalkars utböjningsegenskaper, Byggmästaren 11/1969

6 Svensk Standard (Byggstandardiseringen) SIS 81 11 01, 81 11 02

7 Statens Planverk, Godkännandelista 1973, SBN 11:114 avsnitt 23:62

8 IVA:s Pålkommission, Särtryck och preliminära rapporter nr 37

SAMMANSTÄLLNING AV PROVNINGSPROTOKOLL

Provningsförrättare	Rapport nr	Rapportdatum
Statens Provningsanstalt	41.036	1958-07-21
Chalmers Provningsanstalt	82599	1959-01-27
Cahlmers Tekniska Högskola Byggnadsteknik	-	1961-06-07
Statens Provningsanstalt	U62-739	1962-05-26
Chalmers Provningsanstalt	98713	1963-01-31
Chalmers Tekniska Högskola Byggnadsteknik	-	1963-02-13
Stockholms Hamnförvaltning, Sthlm	4063	1963-03-06
Statens Provningsanstalt	U63-880	1963-04-03
Statens Provningsanstalt	U63-2203	1963-10-04
Statens Provningsanstalt	U63-3458	1963-10-25
Statens Provningsanstalt	U63-4411	1964-02-28
Statens Provningsanstalt	5011, 1281	1965-11-23
IVA:s Pålkommission	Meddelande nr 8	1965-12-21
Chalmers Provningsanstalt	113722	1966-05-31
Statens Provningsanstalt	6011, 187	1966-06-20
Chalmers Provningsanstalt	116668	1966-11-30
Chalmers Provningsanstalt	116666	1966-11-30
Chalmers Provningsanstalt	116667	1966-11-30
Chalmers Provningsanstalt	122783	1968-01-31
Statens Provningsanstalt	8011, 937	1968-08-22
Statens Provningsanstalt	9011, 92	1969-04-17
Chalmers Provningsanstalt	130380	1969-07-17
Statens Provningsanstalt	9011, 1731	1970-01-19
Chalmers Tekniska Högskola Betongbyggnad	70:1	1970-01-21

Provningsförrättare	Rapport nr	Rapportdatum
Chalmers Tekniska Högskola Betongbyggnad	70:2	1970-04-14
Statens Provningsanstalt	0011, 82	1970-05-12
Chalmers Provningsanstalt	135709	1970-06-26
Statens Provningsanstalt	0011, 555	1970-10-26
Centrala Verkstadskolan, Uppsala	57.1431-01	1971-03-04
Statens Provningsanstalt	0011, 944	1971-04-07
Statens Provningsanstalt	0011, 914	1971-05-12
Chalmers Provningsanstalt	140965	1971-06-22
Chalmers Provningsanstalt	140966	1971-06-22
Chalmers Provningsanstalt	140967	1971-06-22
Chalmers Provningsanstalt	140968	1971-06-22
Chalmers Provningsanstalt	140969	1971-06-22
Chalmers Provningsanstalt	142716	1971-11-05
Chalmers Provningsanstalt	142717	1971-11-05
Orrje & Co AB, Stockholm	57.1431-02	1971-11-26
Chalmers Provningsanstalt	143130	1971-12-03
Chalmers Provningsanstalt	143131	1971-12-03
Chalmers Provningsanstalt	143314	1971-12-20
Chalmers Provningsanstalt	143316	1971-12-20
Chalmers Provningsanstalt	143488	1971-12-29
Chalmers Provningsanstalt	144033	1972-02-14
Statens Provningsanstalt	2011, 178	1972-05-24
Statens Provningsanstalt	2011, 178 b	1972-05-24
Chalmers Provningsanstalt	145513	1972-05-25
Chalmers Provningsanstalt	145514	1972-05-25
Chalmers Provningsanstalt	145898	1972-06-21
Chalmers Provningsanstalt	146865	1972-09-12
Chalmers Provningsanstalt	146866	1972-09-12
Chalmers Provningsanstalt	146869	1972-09-13