

Böjningsförsök med trästolpar

Försöken har anordnats av Vattenfallsstyrelsen vid transformatorstationen i Häggvik. Försöksanordningen framgår i huvudsak av fig. 1 a-d. Dragkraften har åstadkommit med ett traktorspel och mätningen av kraften har gjorts med en i draglinan inkopplad dynamometer. Utböjningen har uppmätts vid olika värden på kraften P tills slutligt brott uppstått.

I första hand har avsetts att bestämma böjpåkänningar vid brott av trästolpar, som varit impregnerade med olika träkonserveringsmedel för att få en uppfattning om, huruvida något av dessa medel möjligen kunde ha någon menlig inverkan på virkets hållfasthetsegenskaper. Ur försöksmaterialet har även beräknats elasticitetsmodulen för de olika slagen av stolpar, men dessa värden äro icke helt tillförlitliga på grund av försöksmetodens bristande reproducerbarhet.

Som utgångspunkt för beräkningarna har gjorts det förenklade antagandet, att en trästolpe har formen av en stympad kon med toppdiametern D_1 och jordbandsdiametern D_2 . Vidare har antagits att träet är homogent i längdriktningen och över tvärsnitt vinkelrätt mot stammens längdaxel. Beteckningarna i följande ekvationer framgår av fig. 1 a.

Beräkningar rörande brottets läge samt böjpåkänning vid inspänningsstället vid brott.

1) $D_x = D_1 + \frac{x}{l} (D_2 - D_1)$; (av geometriska skäl)

2) $M_x = P \cdot x$ (M_x = kraftmomentet på avståndet x från stolptoppen; P = dragkraften)

3) $W_x = \frac{\pi \cdot D_x^3}{32}$ (W_x = motståndsmomentet)

4) $\sigma_x = \frac{M_x}{W_x}$ (σ_x = böjpåkänningen på avståndet x från toppen)

Härav erhålles

$$5) \sigma_x = \text{konstant} \cdot \frac{x}{\left[x + \frac{D_1 l}{D_2 - D_1} \right]^3}$$

Om derivatan av σ_x med avseende på x sättes = 0 erhålles

$$6) x = l \cdot \frac{D_1}{2(D_2 - D_1)} \quad (x\text{-värde för maximum av } \sigma_x)$$

Kombineras 6) med 1) erhålles

$$7) \boxed{D_x = 1,5 \cdot D_1}$$

Detta innebär att brottet under ovan angivna betingelser skall inträffa, där stolpens diameter är en och en halv gånger toppdiametern, om detta inträffar över inspänningspunkten (jordbandet).

I fig. 2 har framställts brottets läge som funktion av förhållandet mellan jordbands- och toppdiameter. Brottet ligger i försöken högre än som framgår av ovanstående beräkningar. Kurvans lutning visar att brottet ligger högre, då diameterförhållandet är högre. Avvikelserna från ekv. 7 beror sannolikt till största delen på kvistar, sprickor och andra störningar i trästrukturen, samt avvikelser från cirkelform hos tvärsnitt.

$$8) \boxed{\sigma_i = \frac{M_2}{W_2}}$$

σ_i = böjpåkänning i inspänningsstället (jordbandet) vid brott

M_2 = kraftmoment - " -

W_2 = motståndsmoment - " -

σ_{Br} = böjpåkänning i brottstället vid brott; beräknas på analogt sätt.

Vid beräkning av motståndsmomentet har hänsyn tagits till olikhet i tvärsnittsdiаметer längs och tvärs dragriktningen.

I tabell 1 upptages medelvärde (m) och standardavvikelse (s) av beräknade böjpåkänningar vid brott.

Om z betecknar de enskilda värdena på σ_i resp. σ_{Br} är

$$9) \quad s^2 = \frac{\sum (z-m)^2}{n-1}$$

där n är antalet provstolpar i gruppen.

I fig. 4 och 5 framställs resultaten grafiskt. Kryssen betecknar gruppmedeltal och de vertikala linjernas längd betecknar medeltalets 95-procentiga konfidensintervall (det område inom vilket gruppens verkliga medeltal med 95-procentig sannolikhet ligger). Detta intervall erhålles ur formeln

$$10) \quad \frac{ts}{\sqrt{n}} ;$$

där t är en funktion av n och den önskade sannolikheten. Värdet av denna funktion erhålles enklast ur statistiska tabeller.

I fig. 4 framställs böjpåkänningen i inspänningssnittet vid brott och i fig. 5 böjpåkänningen i brottstället vid brott. Vid böjning av 3-meterslängder har brottet i allmänhet ägt rum i inspänningssnittet, varför ingen särskild beräkning där gjorts för böjpåkänningen i brottstället utan endast i inspänningssnittet.

Stolparna i gruppen BIS har haft den största fukthalten och stolparna i gruppen kreosot, gamla har haft den lägsta. Om man korrigerar för olika fukthalt, vilket är svårt att utföra kvantitativt i detta försök, blir resultaten mer utjämnade än de i försöken bestämda.

En annan sak som kan ha samband med skillnaden i fukthalt, framgår av fig. 3. Här framställs två olika kurvor över sambandet mellan böjpåkänning och utböjning. I fall 1) ökar böjpåkänningen i stort sett linjärt med utböjningen, tills stolpen brytes. I fall 2) sker vid ökad utböjning en serie små bristningar inuti stolpen, innan den slutligen går av. Det första fallet representeras av de gamla kreosotstolparna, vilka i stort sett haft en fukthalt, som ligger under den s.k. fibermättnadspunkten (c:a 27 % fukt räknat på absolut torrt trä). Det andra fallet återger beteendet hos samtliga övriga grupper av

stolpar. Dessa har haft en fukthalt i närheten av eller högre än fibermättnadspunkten. Högst i fukthalt ligger BIS-gruppen.

Beräkningar rörande E-modulen.

Se fig. 1b!

Tröghetsmomentet I_x på avståndet x från stolpens topp är

$$11) I_x = \frac{\pi}{64} \cdot \left[D_1 + \frac{x}{l} \cdot (D_2 - D_1) \right]^4$$

Införes följande beteckningar

$$a = \frac{D_1 l}{D_2 - D_1}; \quad b = \frac{64 P l^4}{\pi (D_2 - D_1)^4}$$

erhålles för elastiska linjen följande ekvation:

$$12) E \cdot \frac{d^2 y}{dx^2} = - \frac{bx}{(a+x)^4} \quad (E = \text{elasticitetsmodulen})$$

Löses denna ekvation och insättes värdena på a och b erhålles den totala utböjningen

$$13) y_1 = \frac{P \cdot l^3}{3E \cdot \frac{\pi D_1 D_2^3}{64}}$$

Om det effektiva tröghetsmomentet beräknas enligt formeln

$$14) I = \frac{\pi D_1 D_2^3}{64}$$

erhålles för E-modulen

$$15) E = \frac{P l^3}{3I \cdot y_1}$$

E-modulen framställes i fig. 6 och tabell 1. Värdena är beräknade enligt ovannämnda formler samt korrigerade för den aktuella avvikelser mellan de använda inspänningsanordningarna och den i formlerna förutsedda fasta inspänningen. Vidare har i möjligaste mån korrigerats för variationer i inspänningsanordningen hos den del av försöksmaterialet, för vilken böjlängden

är 3 meter. Värdena på E-modulen måste av olika anledningar tagas med en viss reservation. Separata bestämningar av E-modulen kan emellertid göras på annat stolpmaterial utan att försöksstolparna skadas, varigenom ett sådant försök blir väsentligt billigare än bestämningar av brottpåkänningarna.

Sammanfattning.

Vid varje försök att prova egenskaper hos trä uppträder alltid svårigheter att bedöma värdet av de utförda mätningarna, därför att mätvärdena oftast har en stor statistisk spridning även vid ett omsorgsfullt val av försöksmaterial. För att få en uppfattning om säkerheten i de ur dessa försök beräknade storheterna, böjpkänning och elasticitetsmodul, har i fig. 4-6 införts icke endast dessa storhetens ur försöksresultaten beräknade medelvärden, utan även för varje sådant medelvärde ett s.k. konfidensintervall, inom vilket det verkliga medelvärdet med 95-procentig sannolikhet bör återfinnas, förutsatt att försöksmaterial utvalts slumpvis ur de grupper, som här bedöms.

Om man bortser från de störningar, som kan ha uppstått i stolparnas egenskaper, genom att dessa under en tid före försöken förvarats liggande i stället för i sitt normala stående tillstånd, och man vid bedömningen endast håller sig till resultaten av försöken, sådana de framställas i fig. 4-6 kan man som allmänt omdöme säga:

- 1) Stolpgruppen BIS är sannolikt svagare än de övriga;
- 2) Stolpgruppen Kreosot (gamla) är möjligen starkare än de övriga;
- 3) Övriga grupper [kreosot (nya), K33, KP och oimpregnerade] skiljer sig icke signifikant från varandra eller från samfällda medeltal.
- 4) Resultaten visar mindre spridning och även mindre skillnader mellan olika stolpgrupper, då försöken utförts i toppdelen av stolpen än då försöken innefattat hela stolplängden.

Stockholm den 8 maj 1958

A. Holmberg

Tabell 1

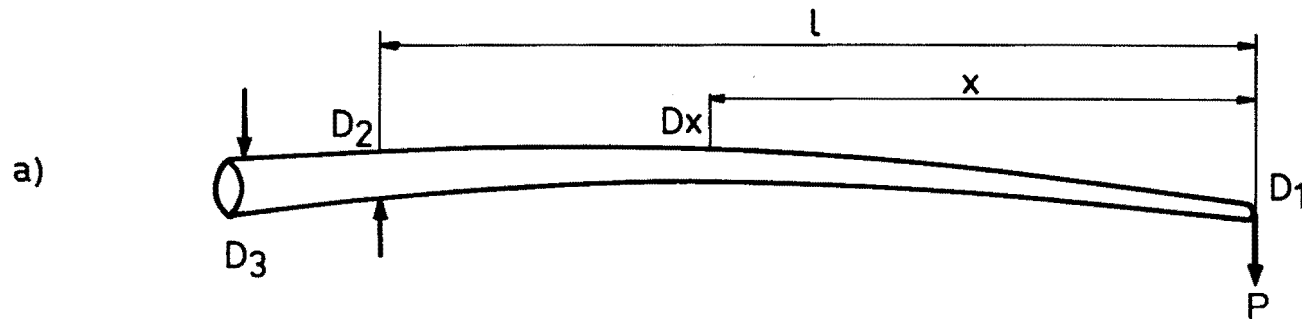
Medeltal av böjpåkänning och E-modul samt standardavvikelse och antal provstolpar per grupp.

Korrigerade värden.

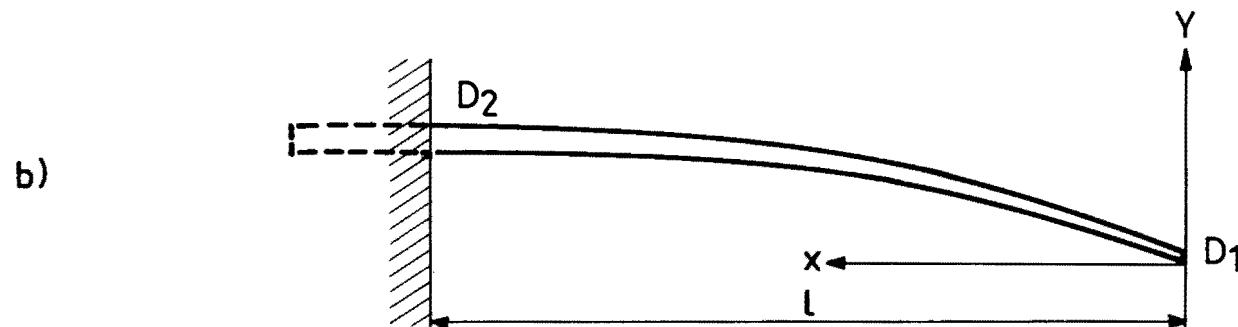
Stolpslag	Inspänt i jordbandet						Antal stolpar n
	$\sigma_i, \text{kp/cm}^2$		$\sigma_{Br}, \text{kp/cm}^2$		E, kp/cm^2		
	m	s	m	s	m	s	
Kreosot, gamla	712	150	651	148	$128 \cdot 10^3$	$24 \cdot 10^3$	17
" , nya	626	148	593	141	120 "	26 "	12
BIS	524	83	458	68	108 "	25 "	16
K33	584	65	542	93	96 "	16 "	8
KP	686	94	610	103	106 "	29 "	4
Oimpregnerade	654	150	631	124	96 "	28 "	4

Stolpslag	Inspänt 3 m från toppen				
	$\sigma_i, \text{kp/cm}^2$		E, kp/cm^2		Antal stolpar n
	m	s	m	s	
Kreosot, gamla	558	77	$89 \cdot 10^3$	$24 \cdot 10^3$	17
" , nya	571	120	79 "	18 "	12
BIS	430	75	73 "	16 "	16
K33	549	44	88 "	24 "	8
KP	552	57	78 "	13 "	4
Oimpregnerade	568	60	88 "	14 "	4

Provböjning av trästolpar.



Vid D_2 och D_3 äro två markfasta inspänningsstöd. Vid D_1 anbringas dragkraften. Avståndet l har i hälften av försöken varit ca 10 m, i övrigt 3 m. Vid försöken med 3 m böjlängd har även inspanning med lina vid D_2 förekommit. Avståndet $D_2 - D_3 = 2$ m.





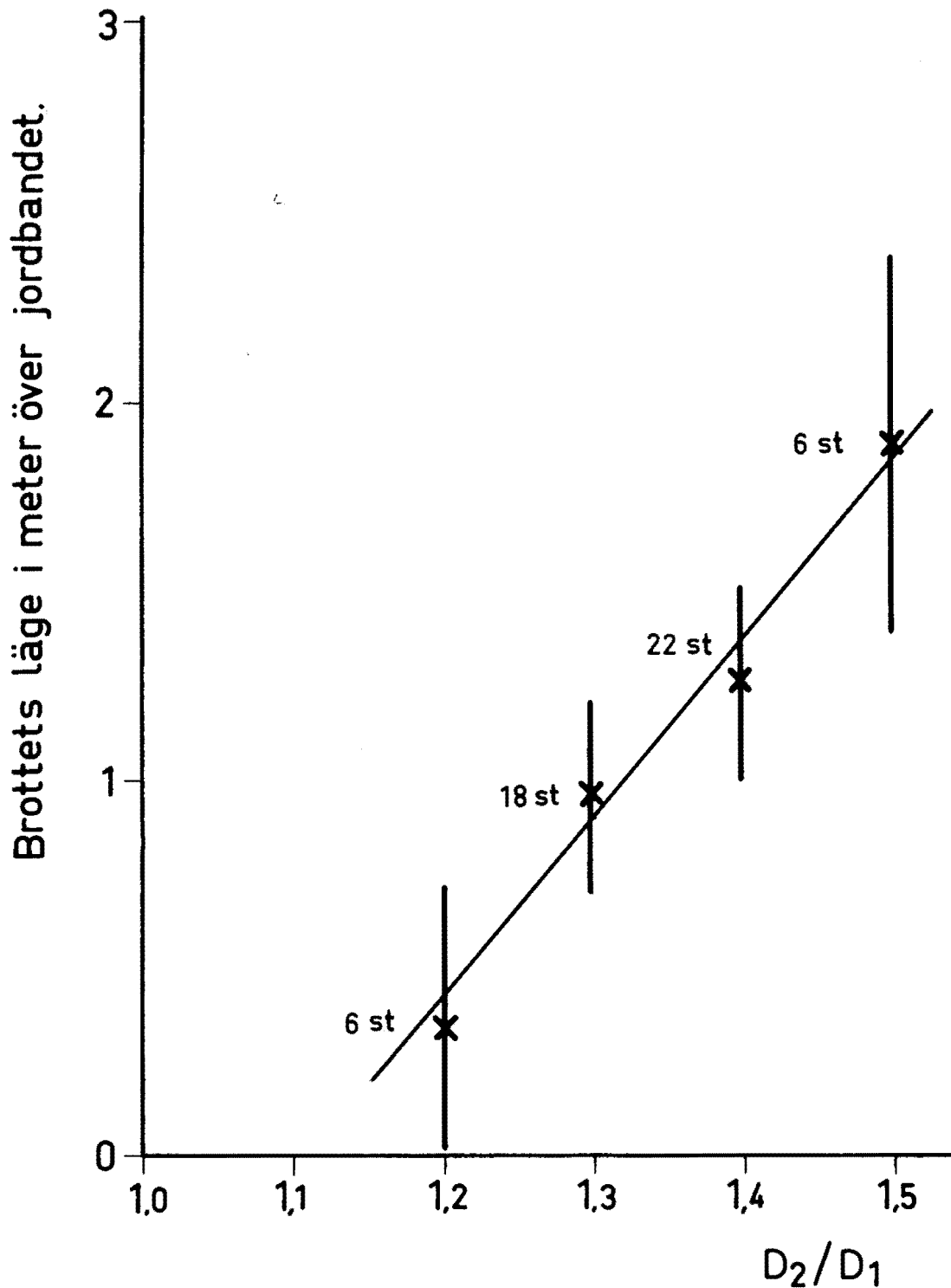
1 c



1 d

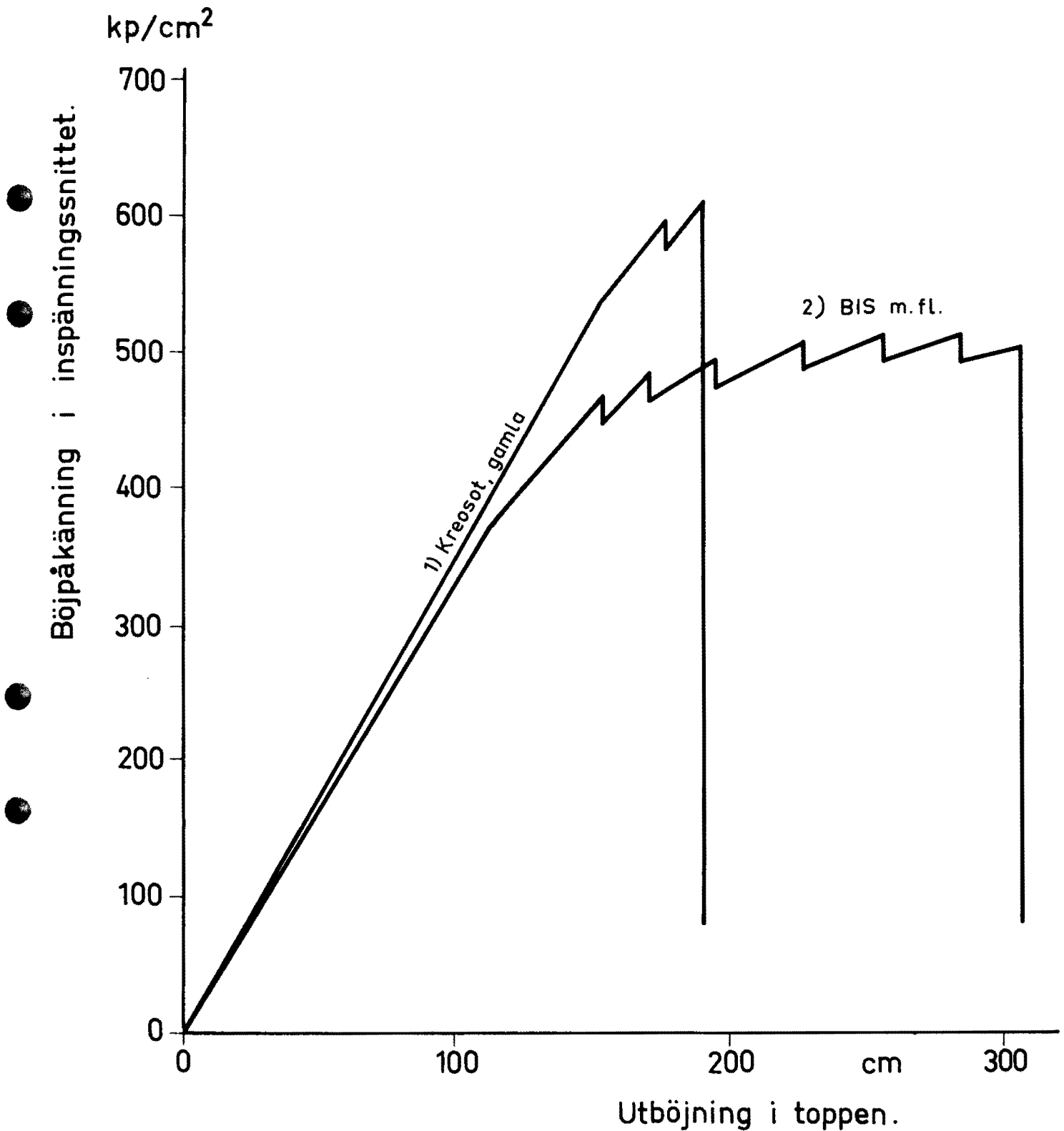
Brottställets läge som funktion av förhållandet mellan jordbands-och toppdiameter.

De enskilda värdenas standardavvikelse från medeltalspunkterna $\approx 0,6\text{m}$. De vertikala linjerna representera medeltalens 95-procentiga konfidensintervall.



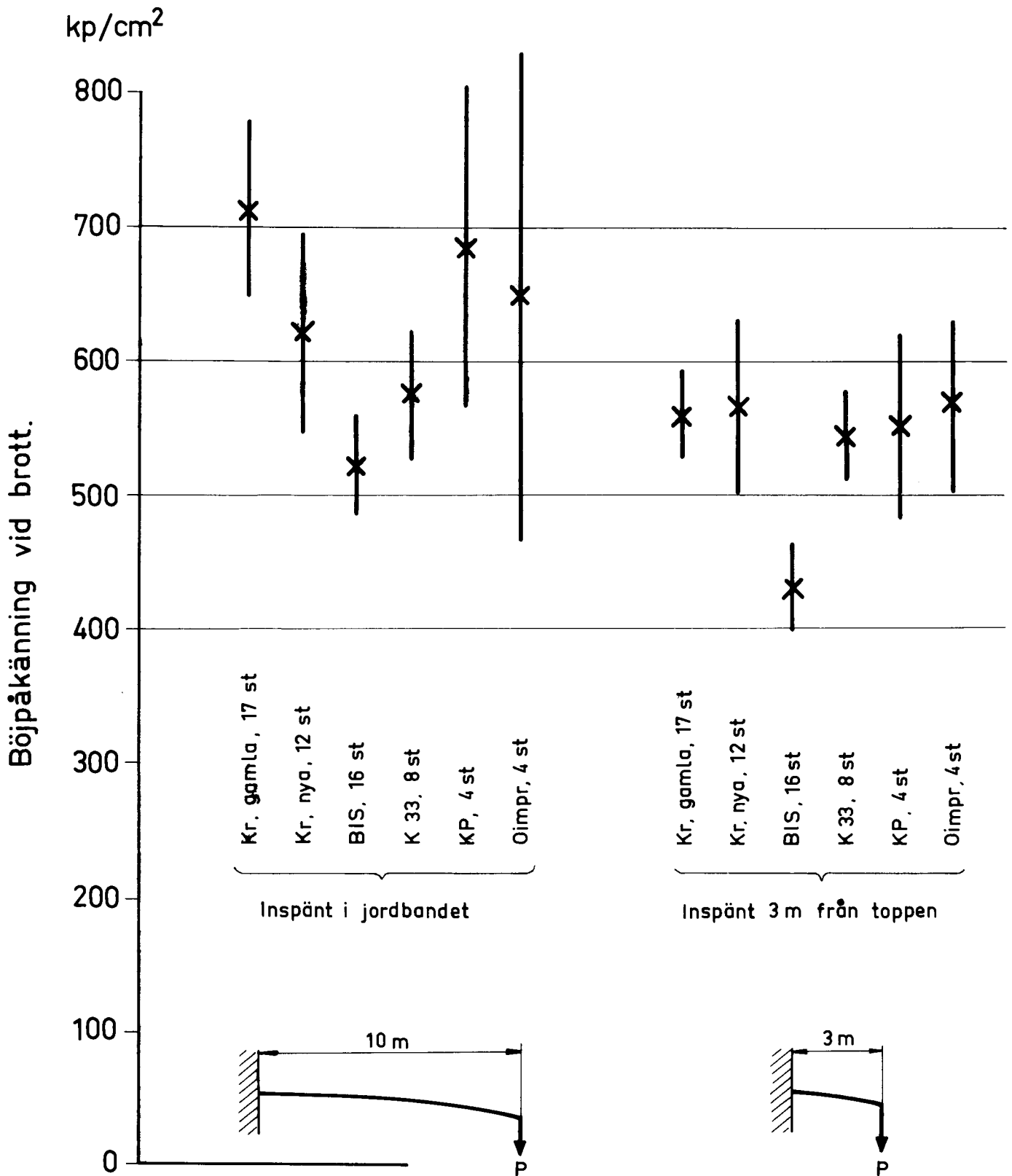
Principiella olikheter i deformationsförloppet vid böj-
påkänning hos de två grupper av stolpar, som bl.a.
representera ytterligheter betr. fukthalt.

Nr 1 är torrast, nr 2 fuktigast. Böjlängd c:a 10 m.



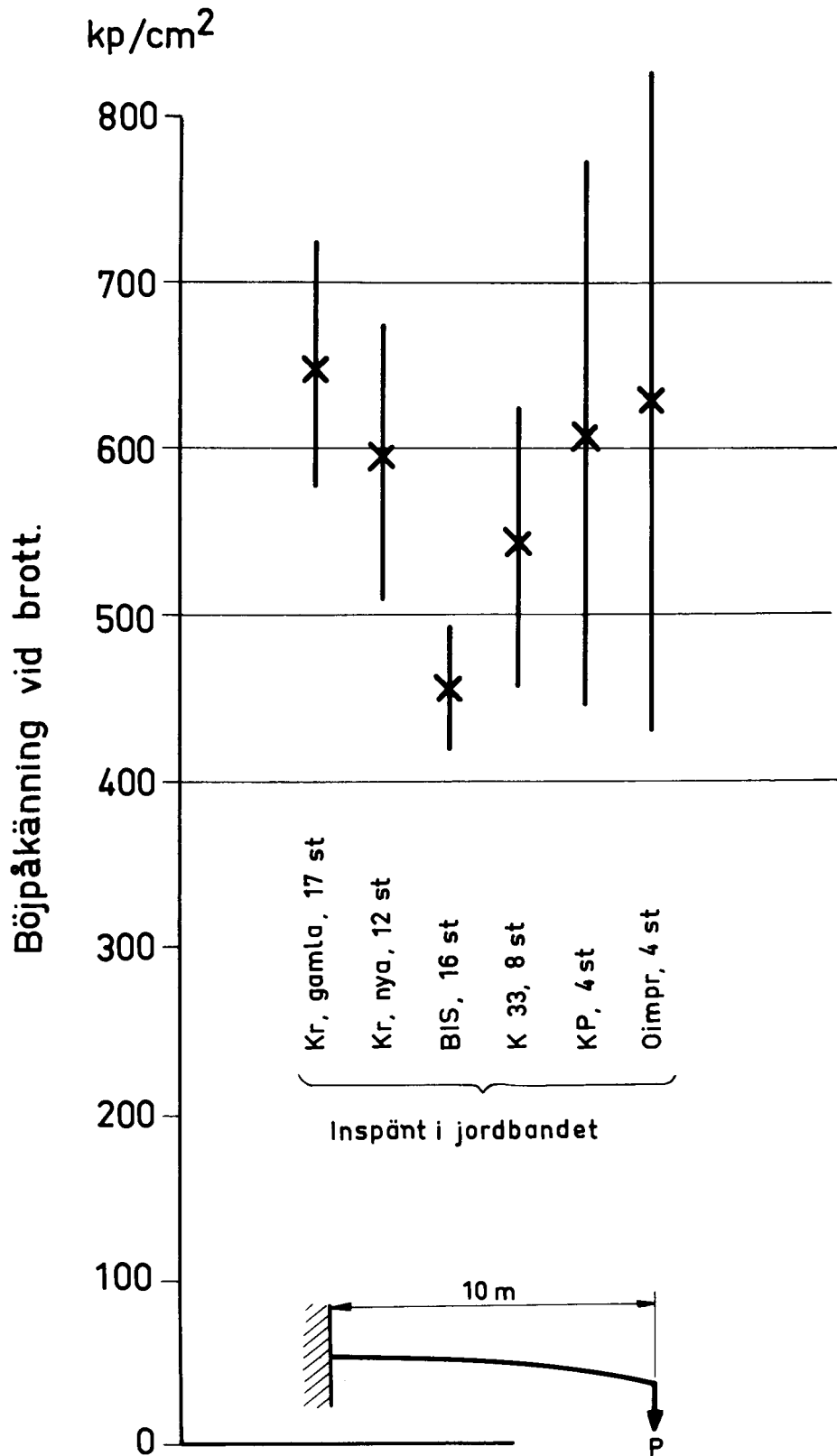
Böjpåkänning i inspänningssnittet vid brott.

Kryssen beteckna medeltal och de vertikala linjerna beteckna det 95-procentiga konfidensintervallet för medeltalen.



Böjpåkänning i brottstället vid brott.

Kryssen beteckna medeltal och de vertikala linjerna beteckna det 95-procentiga konfidensintervallet för medeltalen.



Elasticitetsmodul hos de provade stolpgrupperna.

Kryssen beteckna medeltal och de vertikala linjerna beteckna det 95-procentiga konfidensintervallet för medeltalen.

