

INSTITUTTET FOR HUSBYGNING

Rapport nr. **102**

BJARNE CHR. JENSEN

12 FORSØG MED MOMENTPÅVIRKET BØJLESAMLING I BJÆLKER

Den polytekniske Lærestalt, Danmarks tekniske Højskole

Lyngby 1973

12 forsøg med momentpåvirket bøjlesamling i bjælker.

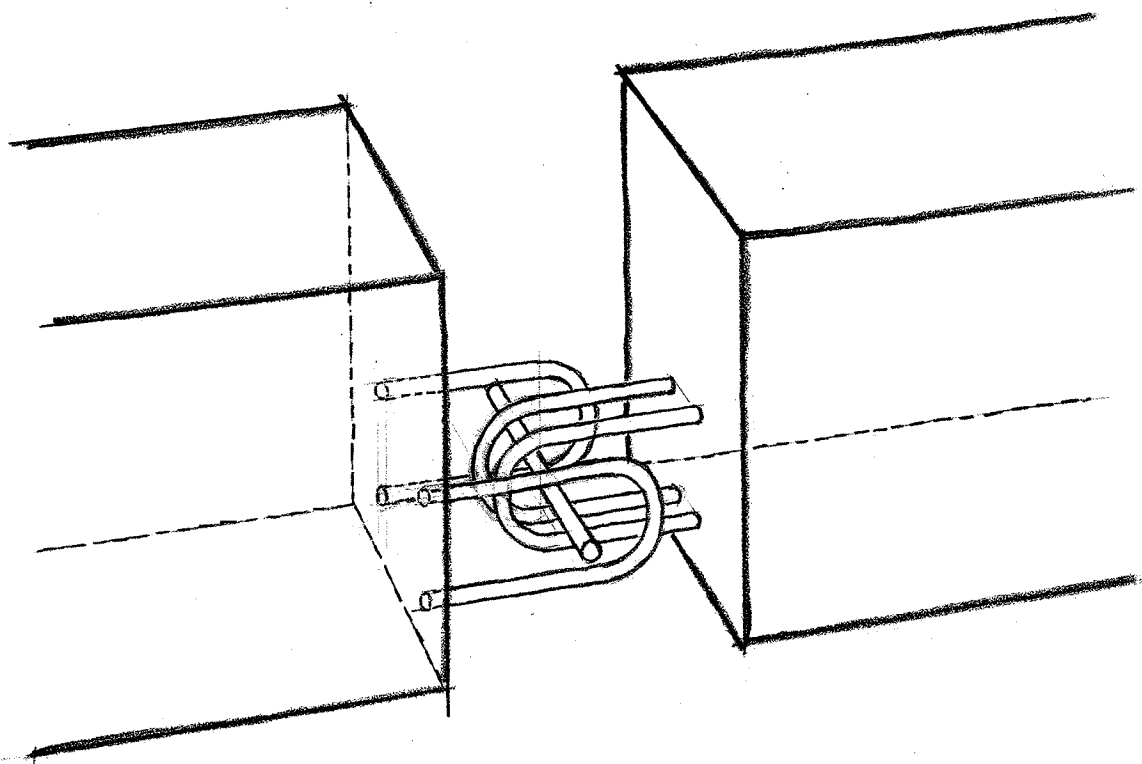
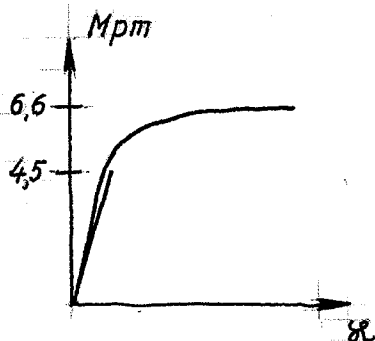
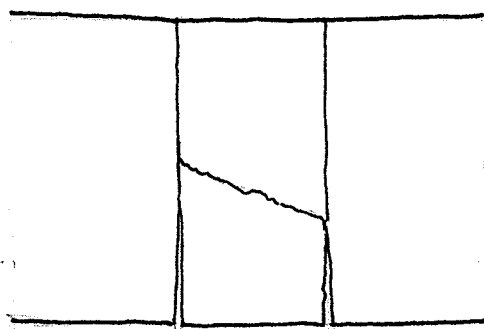
Bjarne Chr. Jensen.

Resumé.

Rapporten beskriver 12 forsøg med betonbjælkeelementer, der er støbt sammen parvis. I samlingernes trækzone var indlagt bøjler med et låsejern. Som referencebjælke udførtes to forsøg med bjælker, hvor armeringen (R16) var gennemgående, således at nyttehøjden var den samme som i samlingerne.

Prøvningen blev foretaget, således at der kun var momentpåvirkning over samlingerne. Brud i bjælkerne med samlinger var i alle tilfælde pludseligt brud i samlingen. Brud forekom i alle tilfælde for en belastning på ca. 70% af bæreevnen for referencebjælkerne. Den elastiske bøjningsstivhed var lidt mindre for bjælker med samlinger end for referencebjælkerne.

De i forsøgene anvendte parametre (symmetri og asymmetri om bjælketværsnittets lodrette midterlinie og bøjlernes overlappingslængde (80, 110 og 140 cm), hvor den mindste svarer til en cirkel mellem bøjlerne), havde øjensynligt ingen betydning.



INDHOLDSFORTEGNELSE

	Side
Indledning	2
Forsøgsprogram	3
Resultater	4
Vurdering	6
Konklusion	8
Forsøgsspecifikationer	9
Tabeller	12
Figurer	

INDLEDNING

De heri beskrevne forsøg blev udført som en delopgave i forbindelse med et licentiatforstudium ved Instituttet for Husbygning, Danmarks tekniske Højskole.

Forsøgene havde til formål at vise, om bøjlesamlinger ville være en farbar vej til etablering af forbindelser med bøjningsstivhed mellem præfabrikerede betonbjælker.

FORSØGSPROGRAM

Forsøgene bestod i en bøjningsprøvning af nogle 310 cm lange prøvelegemer.

Prøvelegemerne blev afprøvet i en forsøgsopstilling, der over de midterste 80 cm gav et konstant moment (se figur 6 og 7).

De 310 cm lange prøvelegemer var sammensat af bjælker på 145 cm, sammenstøbt parvis med en fuge på 20 cm. Prøvelegemernes tværsnit var overalt 20·40 cm.

I bjælkens trækzone var der i samlingen bøjler af R16. Der blev udført to typer samlinger, idet den indbyrdes placering af bøjlerne ved type I var asymmetrisk og ved type II symmetrisk, således som det fremgår af figur 8. Som låsejern anvendtes et stykke T16. Ved hver type indførtes forsøg med 3 overlappingslængder, hvor den mindste svarer til en cirkel mellem bøjlerne. Overlappingslængden er kaldt b på figur 8.

Som referenceprøvelegeme valgtes en 310 cm lang bjælke, bestående af 2 delbjælker på 145 cm anbragt efter hinanden med et mellemrum på 20 cm. De to delbjælker var forbundet af en kontinuert armering bestående af 4 R16, der var anbragt således, at nyttehøjden var den samme som ved samlingerne (se figur 9). Mellemrummet blev senere udstøbt med en beton svarende til bøjlesamlingernes.

Af hver variant blev der udført 2 forsøg. Forsøgsprogrammet fremgår i øvrigt af tabel 1.

RESULTATER

Bjælkerne leveredes fra fabrik, hvorfra betonens 14 døgns styrker blev opgivet. Bjælkerne sammenstøbtes i instituttets laboratorium. Styrken på såvel bjælkebeton som samlingsbeton er angivet i tabel 2. I tabellen er ligeledes angivet bøjlearmeringens flyde- og brudspænding.

Ved forsøgene belastedes prøvelegemerne trinvis til brud. Efter hver belastning aflæstes de påmonterede måleure.

Nedbøjningen på prøvelegemets midte og over understøtningerne målt, og differensnedbøjningen ved lasttrinnet umiddelbart før brud er medtaget i tabel 2.

Til bestemmelse af krumningen over samlingen målt over en længde på 26 cm sammentrykningen i afstanden 35 mm fra legemets overkant og udvidelsen i afstanden 35 mm fra underkanten. Sammenhængen mellem prøvelegemernes moment og krumning (og dermed mellem moment og vinkeldrejning) er vist på figur 3, 4 og 5. På grundlag af disse kurver er den elastiske bøjningsstivhed $B = E \cdot J = M : K$ udregnet. Denne såvel som brudmomentet er medtaget i tabel 2.

Forsøg 01 og 02. Referencebjælker.

Ved forsøgene fremkom et almindeligt bøjningsbrud for underarmerede betontværsnit, idet der forekom flydning i fugens armering, før der indtraf trykbrud i fugebetonen og den tilstødende bjælkebeton. Bruddets plastiske karakter fremgår af figur 3.

De første revner, der kunne ses, var en udvidelse af de eksisterende svindrevner mellem fugebeton og bjælkebeton. Ved forsøg 01 observeredes de ved

3,1 Mpm og ved 02 ved 1,2 Mpm. Disse revner var betydeligt større end nogle af de andre, der observeredes.

Forsøg 03-14. Samlinger.

Ved begge samlingstyper kom bruddet pludseligt, idet betonen omkring tråksamlingen svigtede. Samlingerne havde ikke plastiske egenskaber, hvilket fremgår af figur 4 og 5.

Som ved referencebjælkerne fremkom de først observerede revner, ved at svindrevnerne mellem fugebeton og bjælkebeton udvidede sig. Det skete ved alle forsøgene for belastninger på 0,4 - 0,8 Mpm. Af revner i øvrigt observeredes de første ved belastninger på 2,5 - 3,0 Mpm; men ved alle forsøgene var de udvidede svindrevner betydeligt større end de øvrige revner.

På figur 10 er der fotografier, der viser det optegnede revnebillede, umiddelbart efter at brud er indtrådt i samlingen. De påskrevne tal refererer til de lasttrinsrummer, ved hvilket revnen er nået så langt, som angivet med tværstregen. Hvert lasttrin svarer til en påvirkning på 0,4 Mpm.

VURDERING

På figur 1 er der givet en oversigt over prøvelegemernes brudmomenter, og det ses heraf, at samlingernes brudmoment i alle tilfælde havde en værdi på ca. 70% af referencebjælkernes brudmoment. Samlingernes brudmoment ses således at være uafhængig af, om samlingen var symmetrisk eller asymmetrisk og uafhængig af de anvendte overlappingslængder (80, 110 og 140 cm).

Det pludselige brud, der indtraf i samlingerne, er vanskeligt at tolke; men bl.a. det, at bruddene indtraf for en trækraft i bøjlerne, der stort set var ens ved alle samlingerne, kan tydes derhen, at bruddet skyldes en spaltning af betonen som følge af den koncentrerede belastning fra bøjlerne. En beregning, hvor forholdet mellem elasticitetsmodulerne for armering og beton er sat til 15, giver et samlet træk i hver bøjle på ca. 8,4 Mp. Dette sammenholdt med figur 4 og 5 viser, at der ikke har været flydning i bøjlerne.

De elastiske bøjningsstivheder, der er fundet på grundlag af moment-krumningskurverne, er gengivet på figur 2. Det ses af figuren, at bøjningsstivheden er uafhængig af, om samlingen er symmetrisk eller asymmetrisk, og at den er uafhængig af de anvendte overlappingslængder.

For de to anvendte referencebjælker er der stor forskel på bøjningsstivhederne. Denne forskel har det ikke været muligt at påvise årsagen til. På trods af den store forskel tyder resultaterne på figur 2 på, at samlingerne har lidt mindre bøjningsstivhed end referencebjælkerne.

Ved samlingerne såvel som ved referencebjælkerne var revnefordelingen speciel i forhold til kontinuerte bjælker, derved at revnerne mellem fuger og bjælkebeton blev meget store, og for samlin-

gernes vedkommende kom disse revner ved meget små belastninger. Denne revnefordeling var ventet, og selv om den er uacceptabel i et færdigt byggeri, har løsningen af problemet, i dette tilfælde, været underordnet løsningen af styrke-deformationsproblemet.

KONKLUSION

Af denne gennemførte forsøgsserie kan drages følgende konklusion:

1. Den elastiske bøjningsstivhed er uafhængig af de anvendte overlappingslængder (80, 110 og 140 cm), og den er ens for den symmetriske og den asymmetriske samling. Bøjningsstivheden for bøjlesamlingerne er lidt mindre end for referencebjælkerne.
2. Momentbæreevnen for samlingerne er uafhængig af de anvendte overlappingslængder (80, 110 og 140 cm), og den er uafhængig af, om samlingen er symmetrisk eller asymmetrisk. Bæreevnen er ca. 70% af referencebjælkernes bæreevne.
3. Ingen af samlingerne havde nogen flydeevne.

FORSØGSSPECIFIKATIONER

Til forsøgene anvendtes 145 cm lange bjælker med 2 udragende bøjler af R16 i begge ender, således at to bjælker kunne sammenstøbes med en asymmetrisk samling, og efter afprøvning af denne samling blev bjælkerne vendt, og de andre ender sammenstøbtes med en symmetrisk samling.

Referencebjælkerne bestod begge af to 145 cm lange bjælker, der lå i hinandens forlængelse med 20 cm imellem. Bjælkerne var forbundet med 4 stk. R16, der var anbragt i samme højde som bøjlerne.

Bjælkernes armering bestod i øvrigt af 2 T16 i undersiden og 2 T10 i oversiden. Bøjlearmeringen var R07 pr. 150 mm (se figur 9).

Bjælkerne leveredes fra fabrik, hvorfra betonstyrkerne (tabel 2) blev opgivet.

Armeringen til bøjlerne afprøvedes i Laboratoriet for Bygningsmaterialers 50 t Amsler trækprøvemaskine. Middeltallet af to prøvninger står i tabel 2.

Fugerne blev udstøbt i instituttets forsøgshal med en beton sammensat af

51 kg finharpet grus

60 kg ærtesøsten

21 kg rapid cement.

Hertil sattes vand, således at betonen fik et sætmål på ca. 12, og vebe blev 1-2 sek.

Fugerne afdækkedes efter udstøbningen med plastfolie, og et døgn efter udstøbningen afforskalledes fugerne, og prøvelegemerne henstod herefter i forsøgshallen til afprøvningen. Prøvningen fandt sted 14 døgn efter udstøbningen, bortset fra forsøg 04 og 08 der fandt sted 15 døgn efter.

Af hver blanding udstøbtes 3 stk. prøvecylindre med diameter 10 cm og højde 20 cm. Et døgn efter udstøbningen afformedes cylindrene og anbragtes i et termostattyret vådlager ($t = 20^{\circ}\text{C}$). Prøvnin-gen foregik samme dag, som de tilsvarende bøjnings-forsøg udførtes, d.v.s. 14 døgn efter udstøbningen. Forsøg 04 og 08 udførtes dog først eet døgn efter cylindrenes prøvning. Cylindrene til forsøg 11 og 12 blev først afformet og anbragt i vådlager 4 døgn efter udstøbningen.

Cylindrene blev prøvet i Laboratoriet for Bygnings-materialers 60 t M.A.N.-presse med en belastnings-hastighed på 10 t/min. Styrkerne fremgår af tabel 2.

Prøvelegemerne blev afprøvet i en forsøgsopstil-ling opbygget af et rammesystem (figur 6 og 7). Belastningen påførtes ved hjælp af 2 stk. 200 kN Lucas-presser. Til etablering af olietrykket til presserne anvendtes en håndbetjent olietrykspumpe. Olietrykket målttes ved hjælp af en elektronisk trykmålecelle af fabrikat Höttinger. Ved forsøgene 01 og 02 anvendtes lasttrin på 15 kp/cm^2 , d.v.s. et moment på 620 kpm. Ved forsøg 03 anvendtes lasttrin på skiftevis 8 og 7 kp/cm^2 , og ved de øvrige anvendtes lasttrin på 10 kp/cm^2 .

På prøvelegemerne var der på oversiden anbragt måleure på midten og over understøtningerne, så-ledes at man med disse målinger kunne finde midt-punktets nedbøjning i forhold til understøtnings-punkterne.

På begge sider af bjælken var der monteret spær-mål over fugen (se figur 10), således at man 3,5 cm fra oversiden målte sammentrykningen, og 3,5 cm fra undersiden målte udvidelsen. Afstanden hvori-mellem sammentrykning og udvidelse målttes var 26 cm, således at man af målingerne kunne finde den gensidige vinkeldrejning af de to tværsnit,

der ligger 3 cm fra fugekanten. Denne vinkeldrejning er omsat til en jævn krumning over hele stykket, d.v.s. fugen + 6 cm af bjælken.

På tabel 2 er gengivet den sidst målte nedbøjning før brud, og på figur 3,4 og 5 er optegnet sammenhængen mellem moment og henholdsvis vinkeldrejning og krumning.

Tabel 1.

FORSØGSPROGRAM

FORSØG	01**	02**	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14
Ø mm *		156	156	156	171	171	186	186	156	156	171	171	186	186
a mm *		112	112	112	142	142	172	172	112	112	142	142	172	172
b mm *		80	80	80	110	110	140	140	80	80	110	110	140	140
Type *	I	I	I	I	I	I	I	I	II	II	II	II	II	II

* Betydningen af Ø, a, b og Type fremgår af figur 8.

** Forsøg 01 og 02 blev foretaget med gennemgående armering.

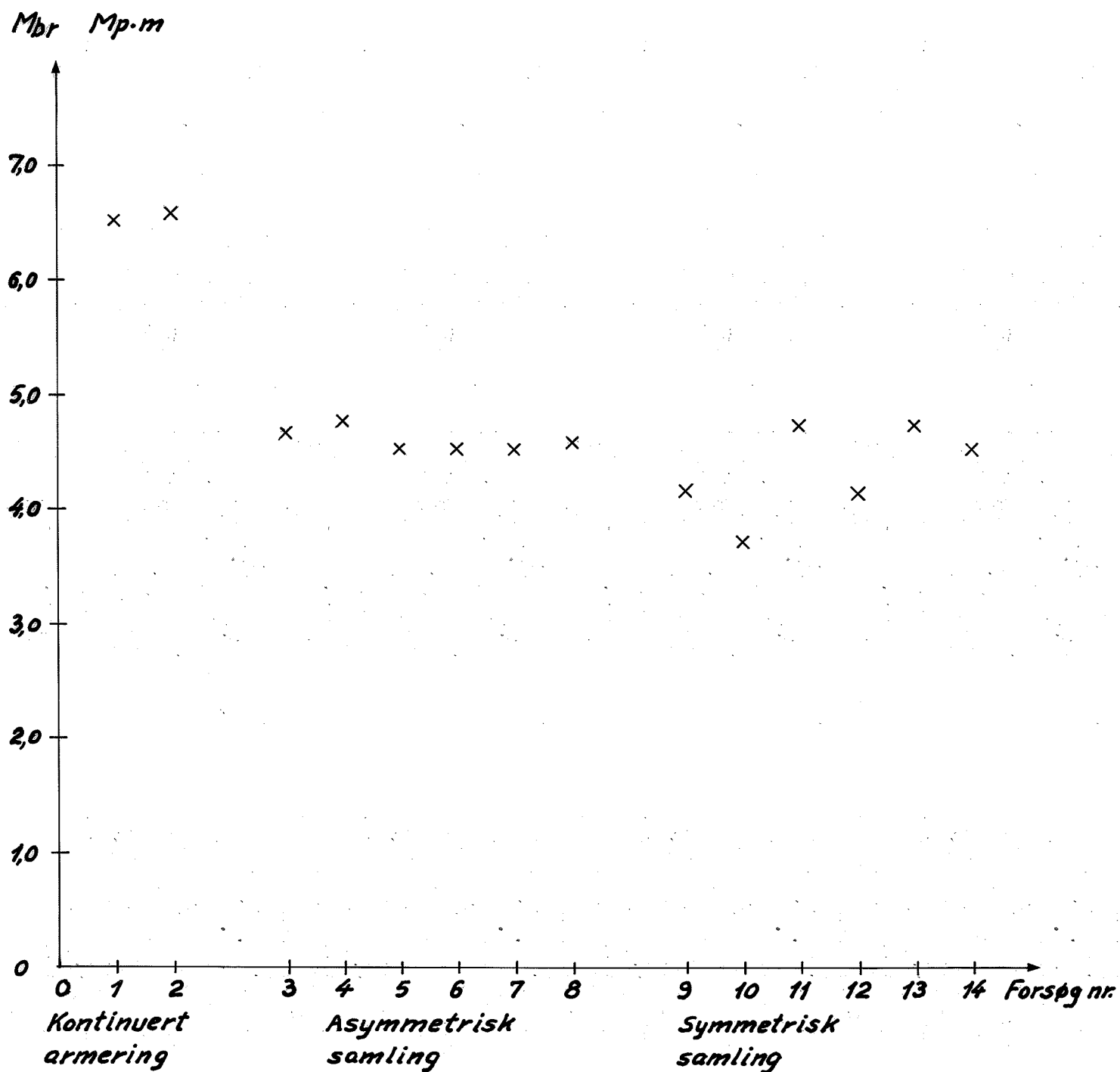
FORSØGSRESULTATER

FORSØG	0101	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14
Overlappingslængde b mm 1)			80	80	110	110	140	140	80	80	110	110	140	140
Type 1)			I	I	I	I	I	I	II	II	II	II	II	II
Bjælkebeton $\sigma_{C,15}$ kp/cm ²	392	373	403	417	407	383	397	383	403	417	407	383	397	383
Samlingsbeton $\sigma_{C,10}$ kp/cm ² 2)	289	289	311	311	311	337	337	337	349	349	315	315	322	322
Brudmoment M _{br} kpm	6520	6600	4660	4790	4540	4540	4540	4580	4170	3710	4750	4130	4750	4540
Nedbøjning 3) mm	20,0	10,6		4,3	4,0	3,8	4,1	4,2	3,3	2,9	4,6	3,3	4,4	4,1
Elastisk stivhed B kp/cm ²	3,59 x10 ⁹	22779 x10 ⁹	2,20 x10 ⁹	2,66 x10 ⁹	2,60 x10 ⁹	2,57 x10 ⁹	2,42 x10 ⁹	2,42 x10 ⁹	2,56 x10 ⁹	2,79 x10 ⁹	2,63 x10 ⁹	2,88 x10 ⁹	2,79 x10 ⁹	2,68 x10 ⁹

1) Betydningen fremgår af figur 8.

2) Prøvecylindre afforskallet og afprøvet 4 døgn efter udstøbningen.

3) Sidst foretagne aflæsning før brud. Ved forsøg 03 ingen måling.



Overlappingslængde:

Forsøg 3-4 og 9-10

— 5-6 og 11-12

— 7-8 og 13-14

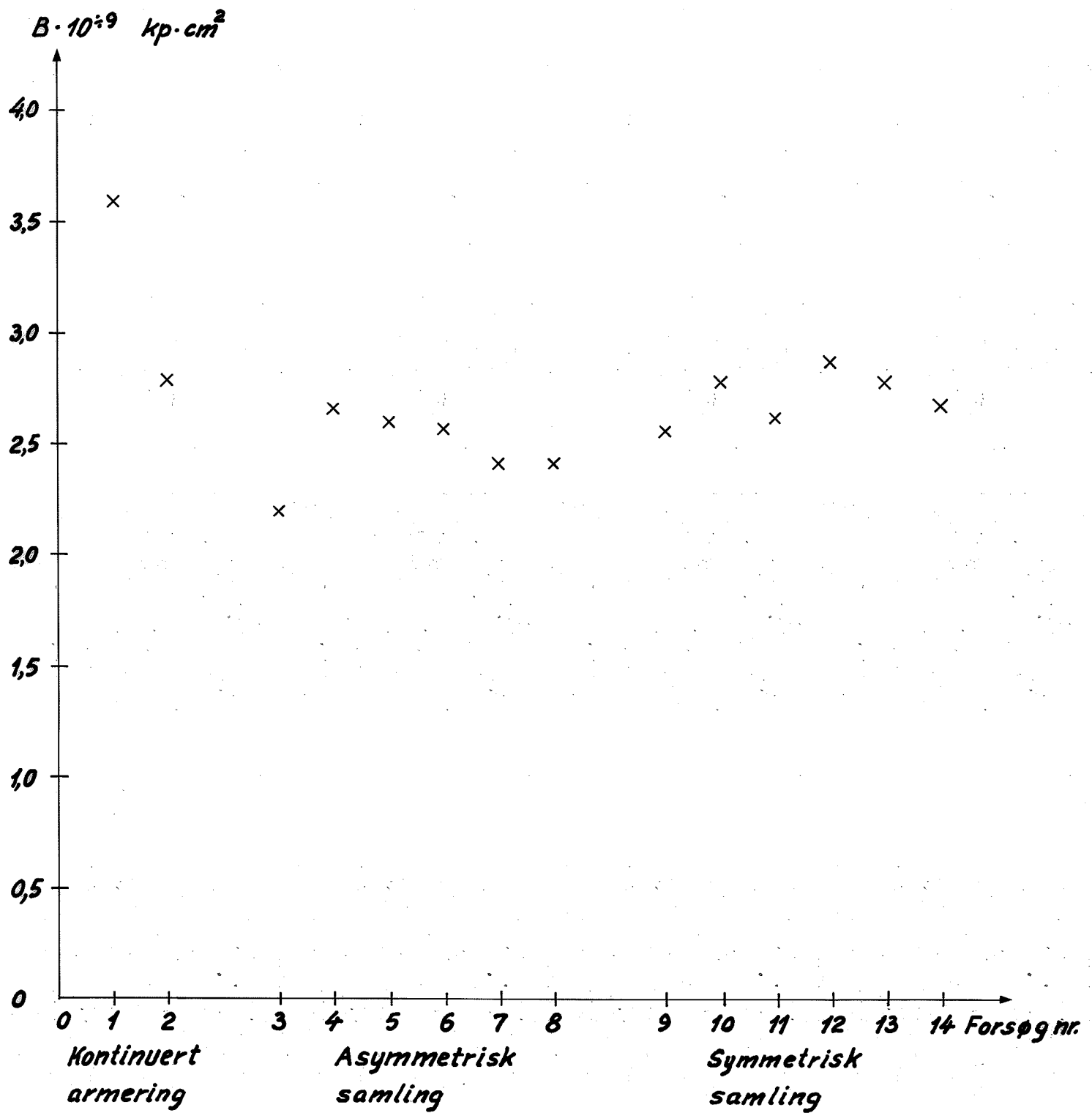


80 cm.

110 —

140 —

Figur 1: Brudmoment.



Overlappingslængde:

Forsøg 3-4 og 9-10

80 cm.

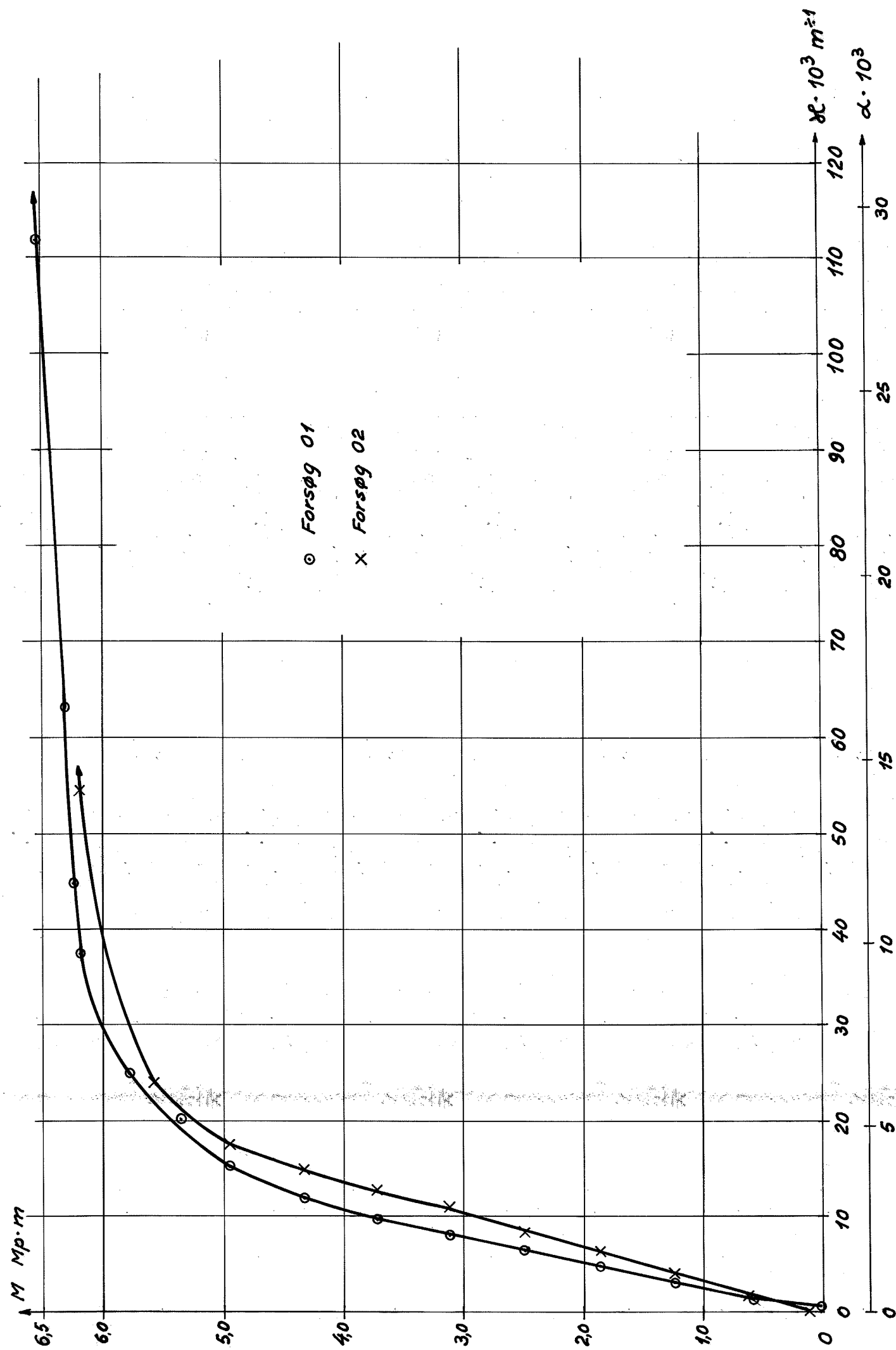
— 5-6 og 11-12

110 cm.

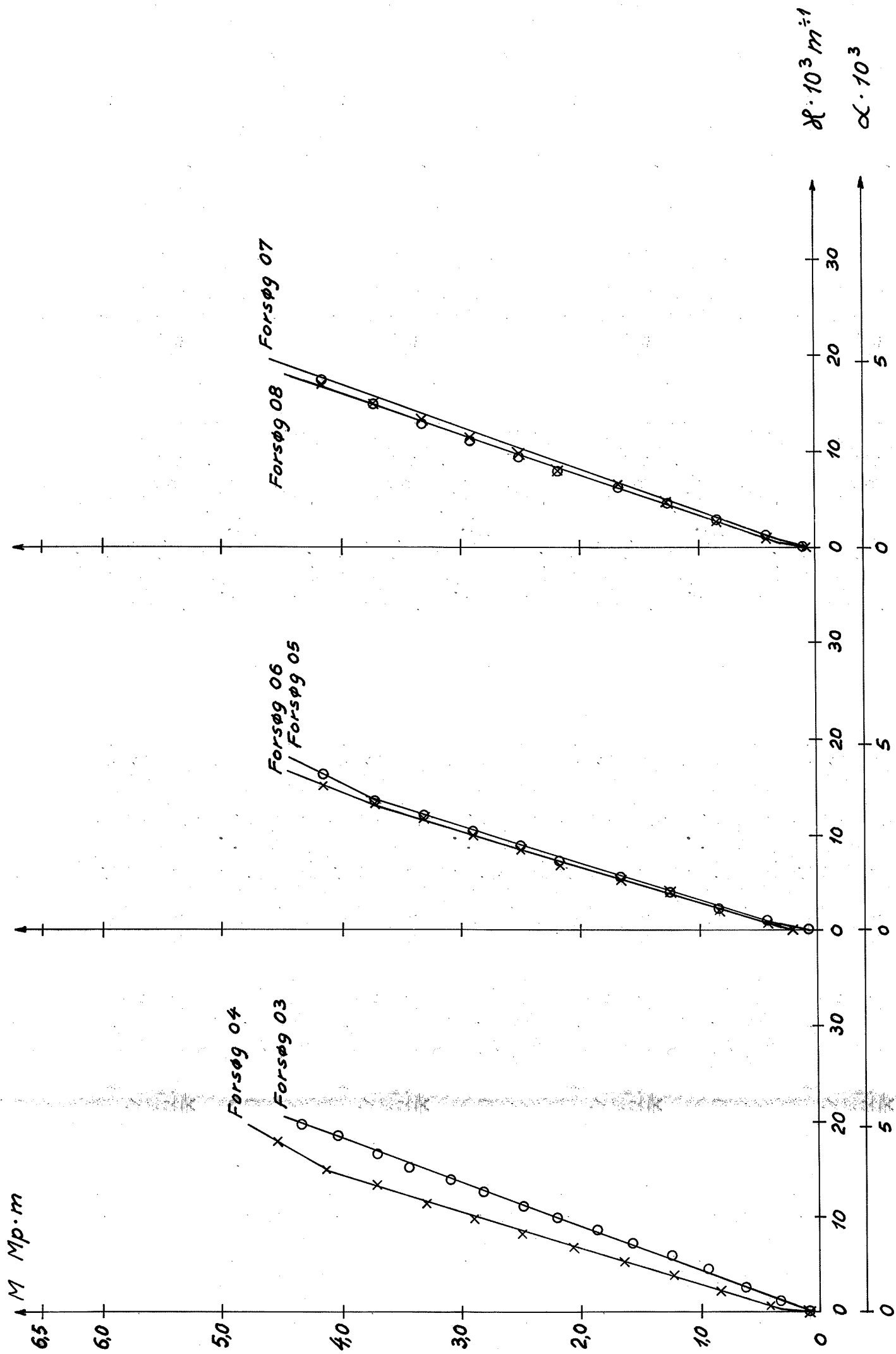
— 7-8 og 13-14

140 cm.

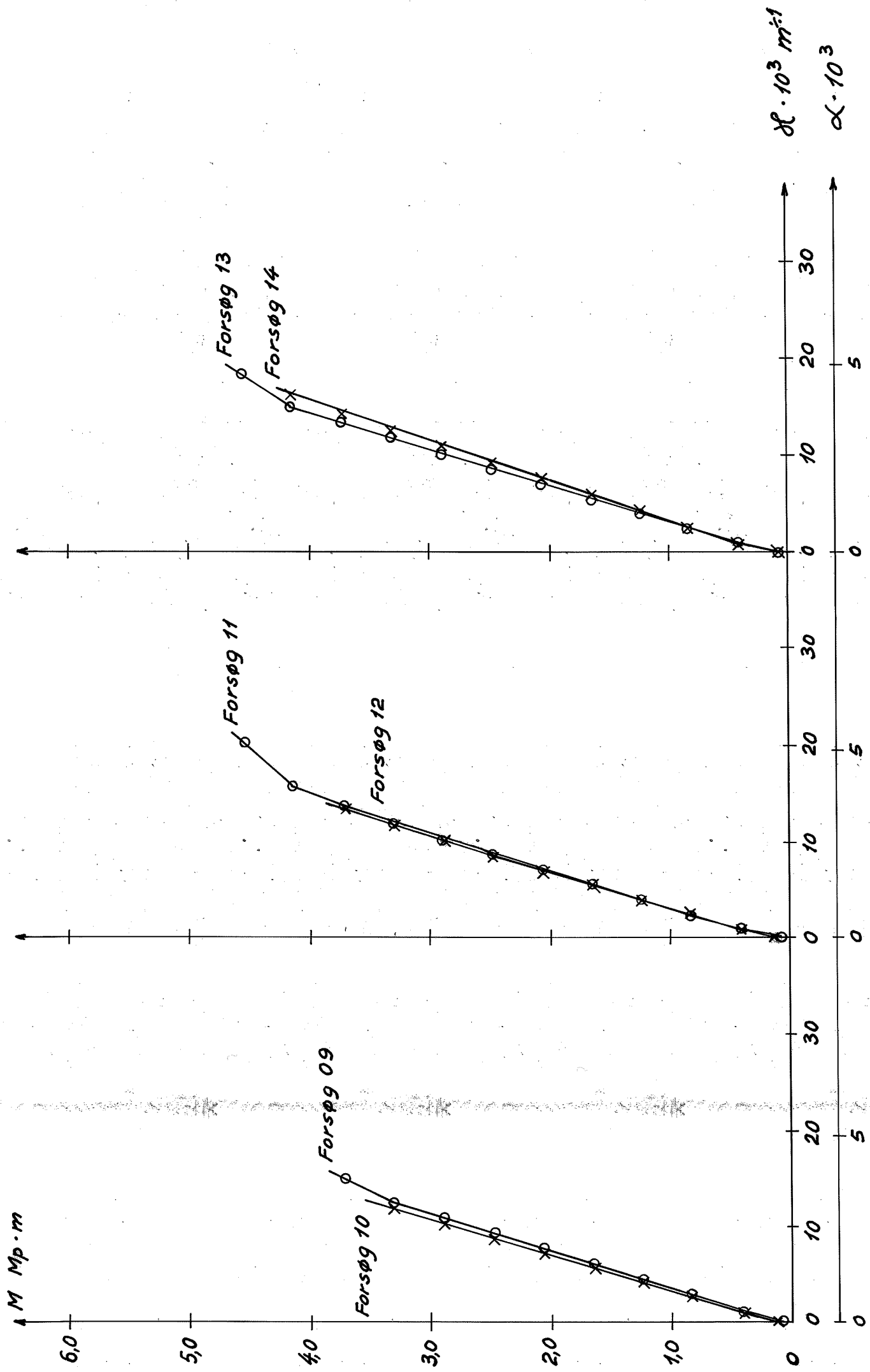
Figur 2: Bøjningsstivhed.



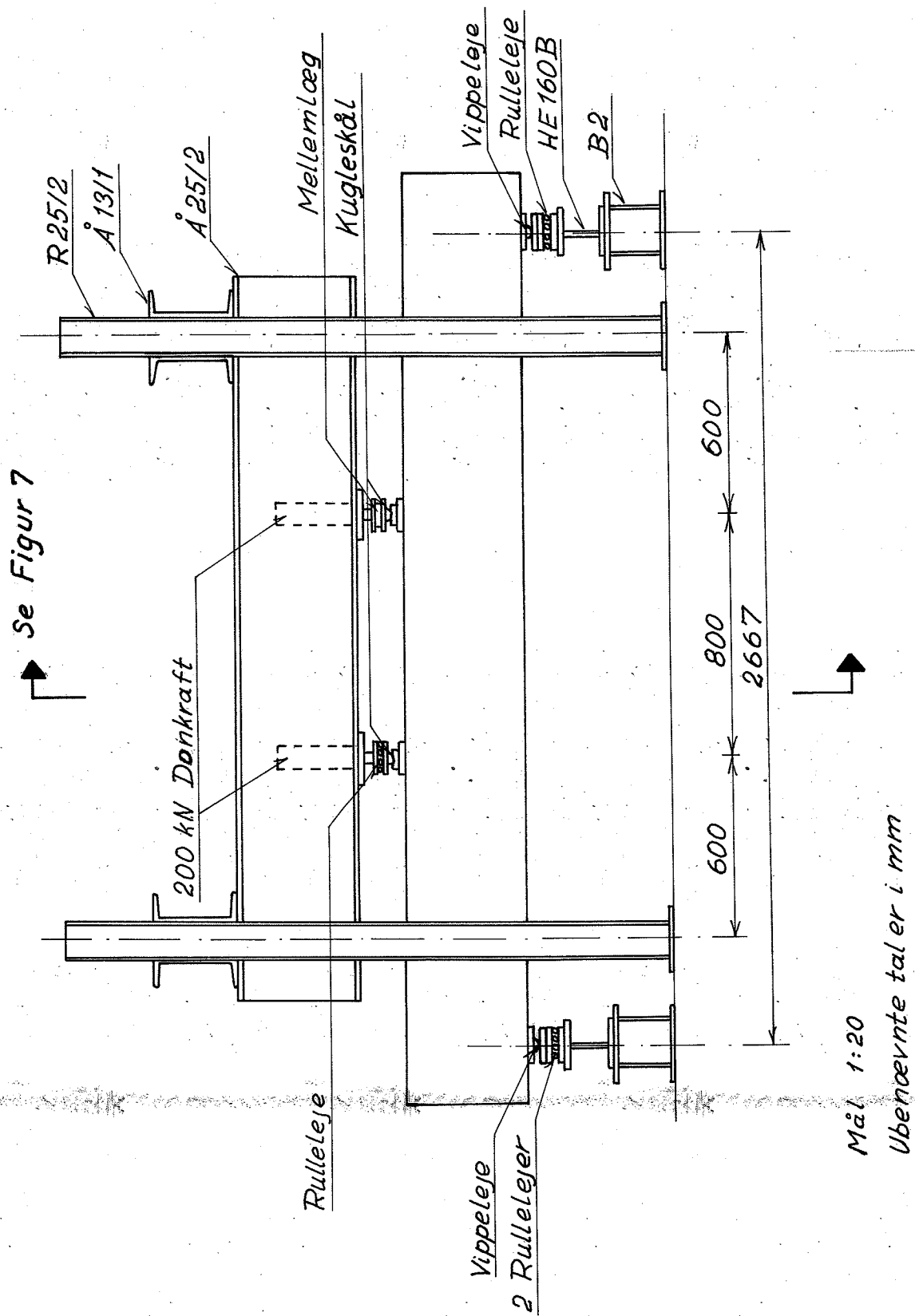
Figur 3: Moment-krumningskurve.



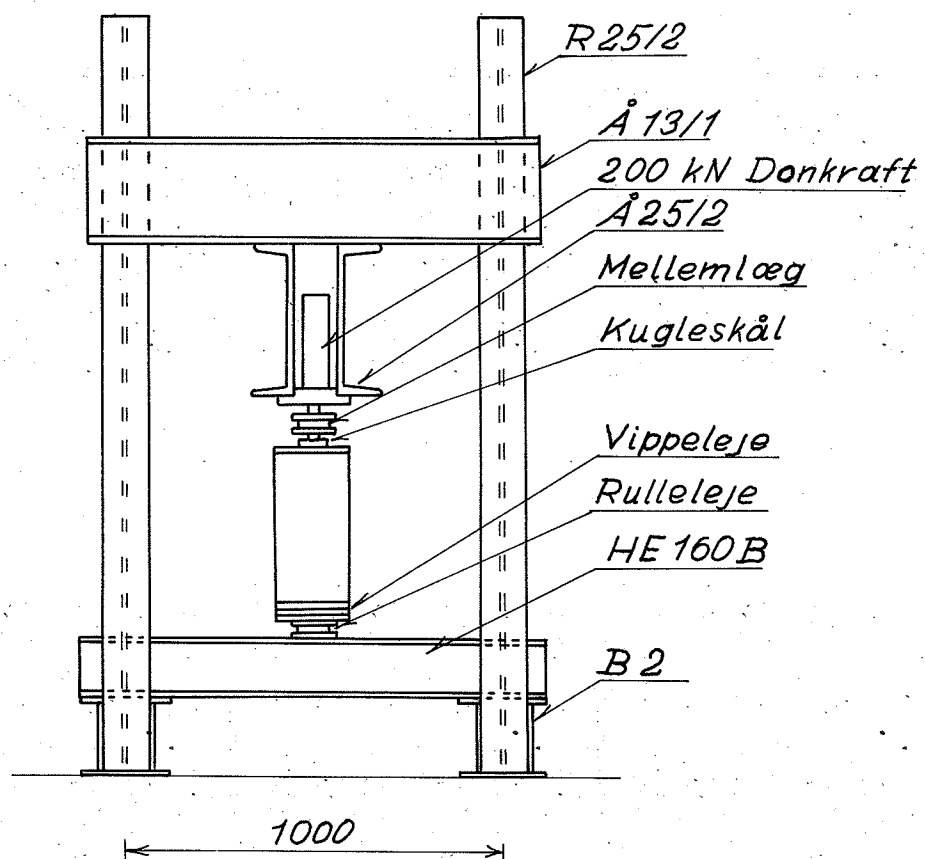
Figur 4: Moment-krumningskurve.



Figur 5: Moment-krumningskurve.



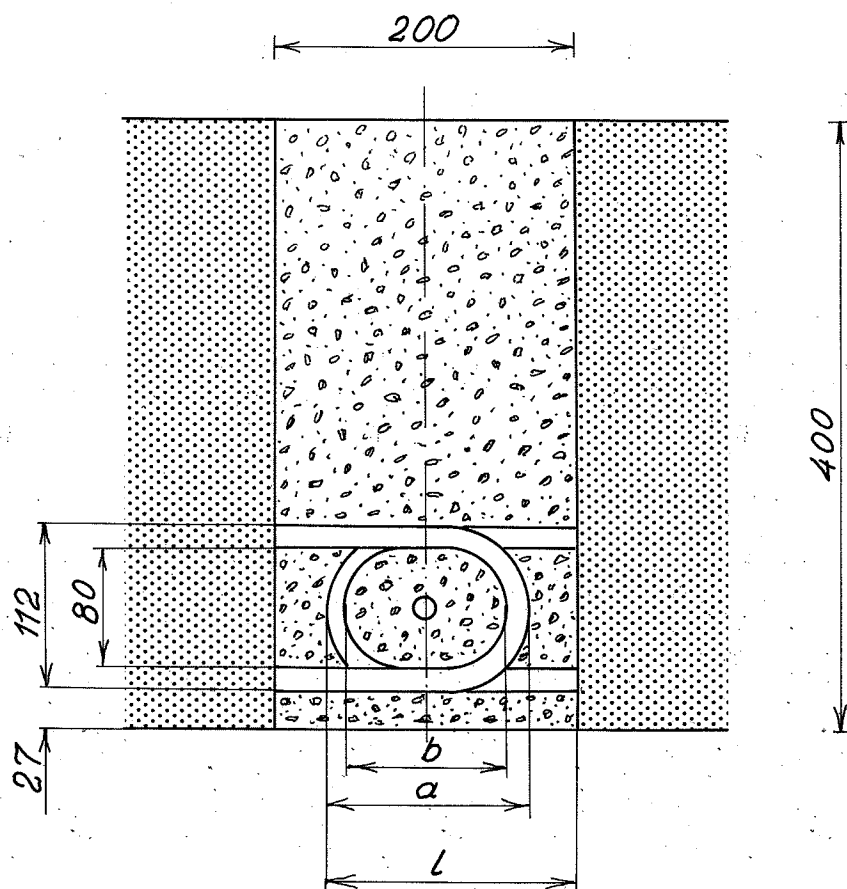
Figur 6: Belastningsopstilling. Opstalt.



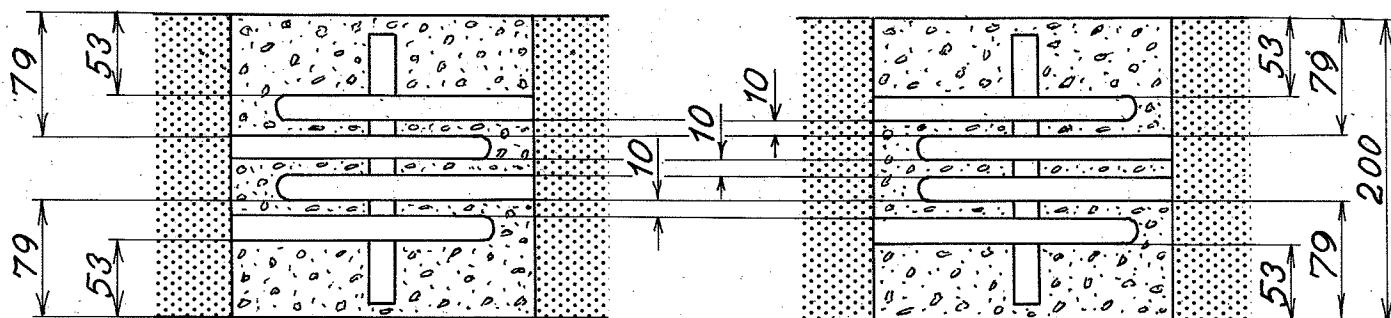
Mål 1:20

Ubemærkede tal er mm

Figur 7: Belastningsopstilling. Snit.



Snit i samling



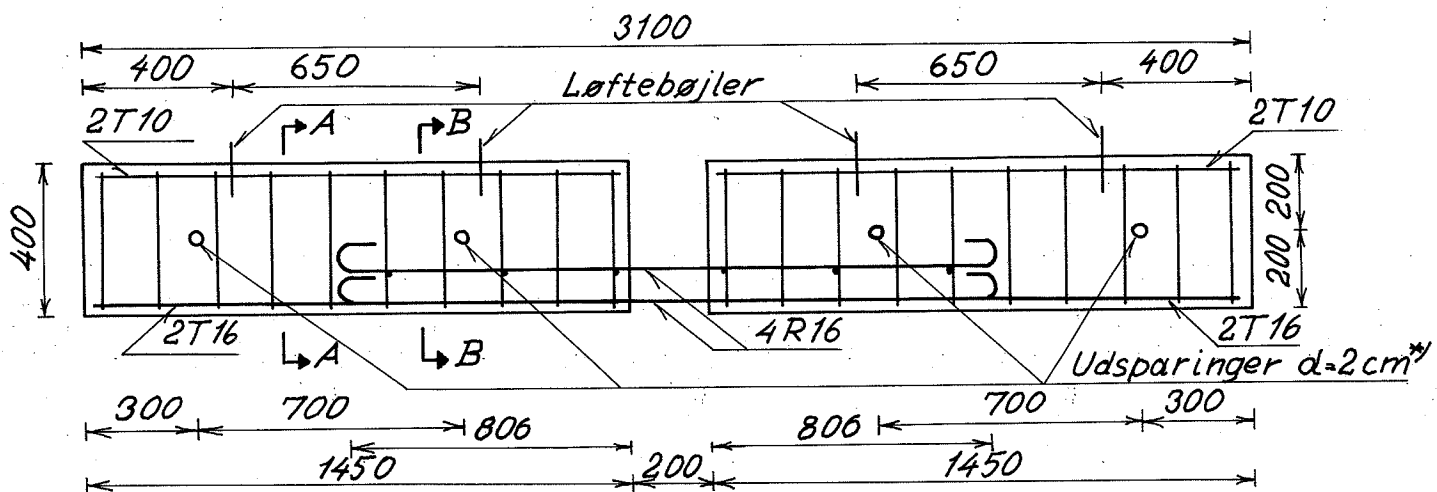
Plan af type I

Plan af type II

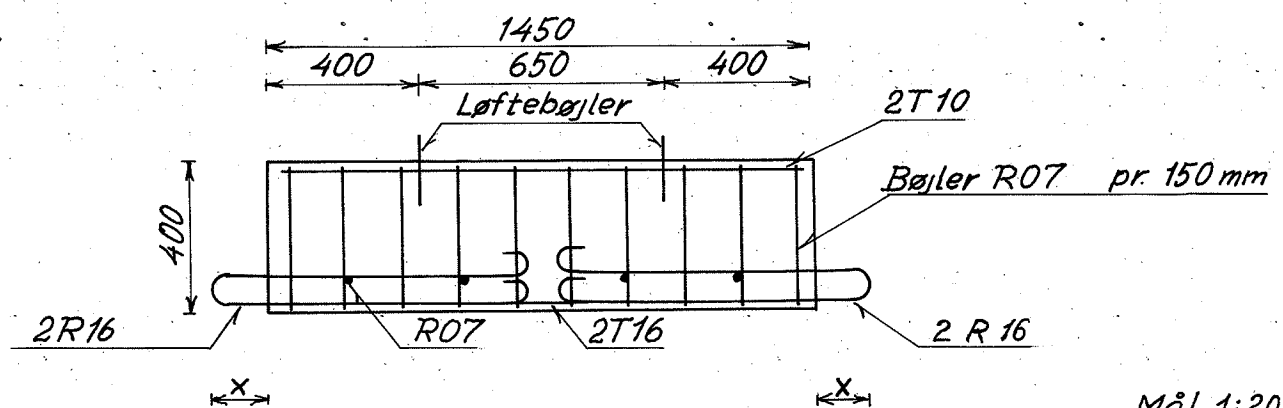
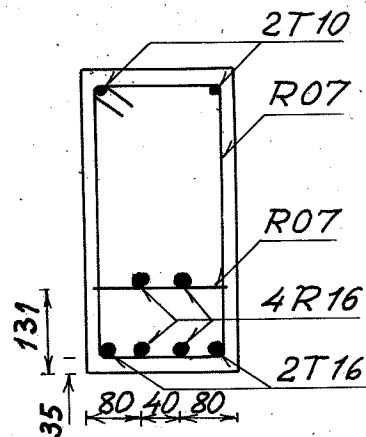
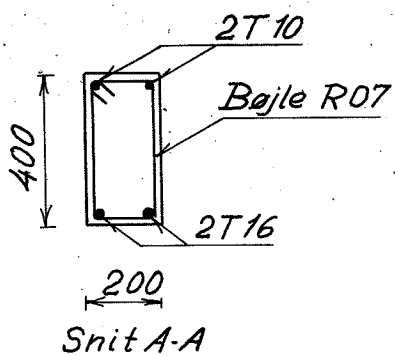
Mål 1:5

Ubenevnte tal er mm

Figur 8: Samlinger.



Mål 1:20



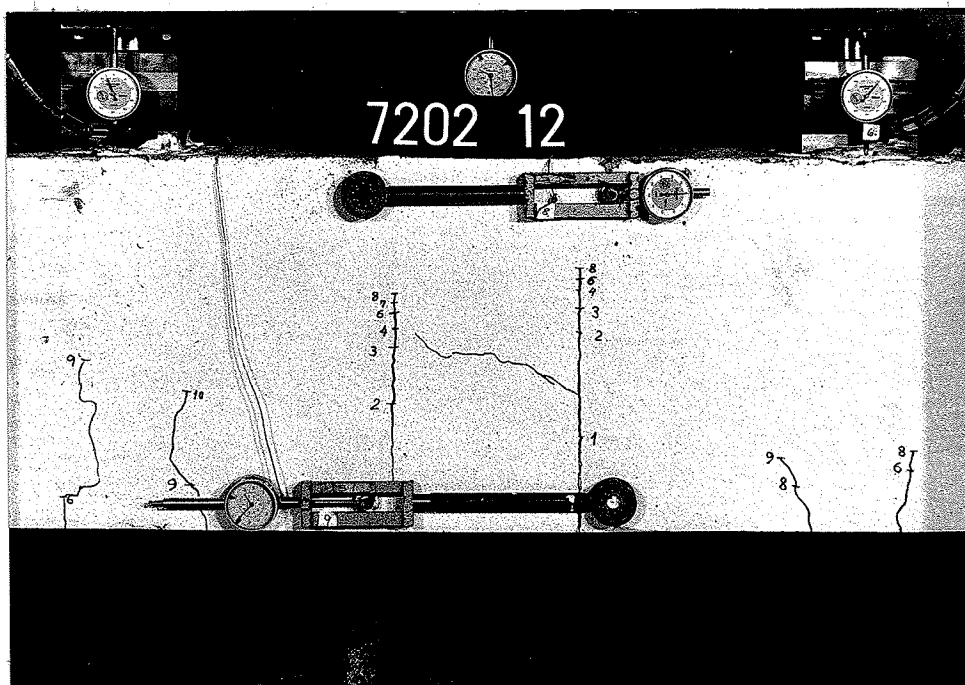
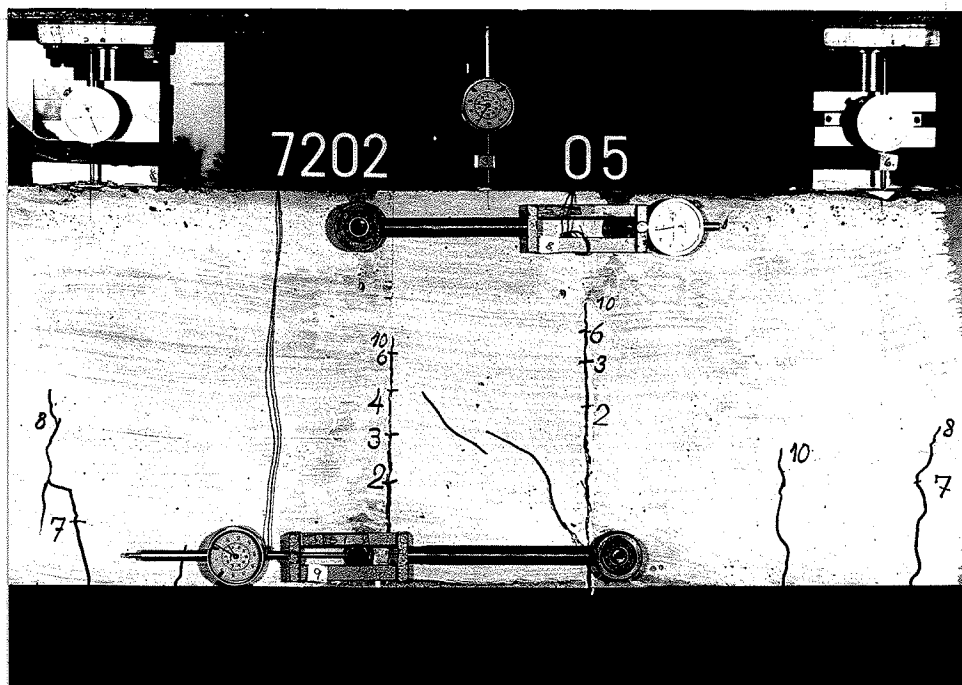
Note:

Dæklag 20 mm.

x variabel iflg. bilag 1

Ubemærkede tal er mm.

Figur 9: Armering.



Figur 10: Revnebillede.