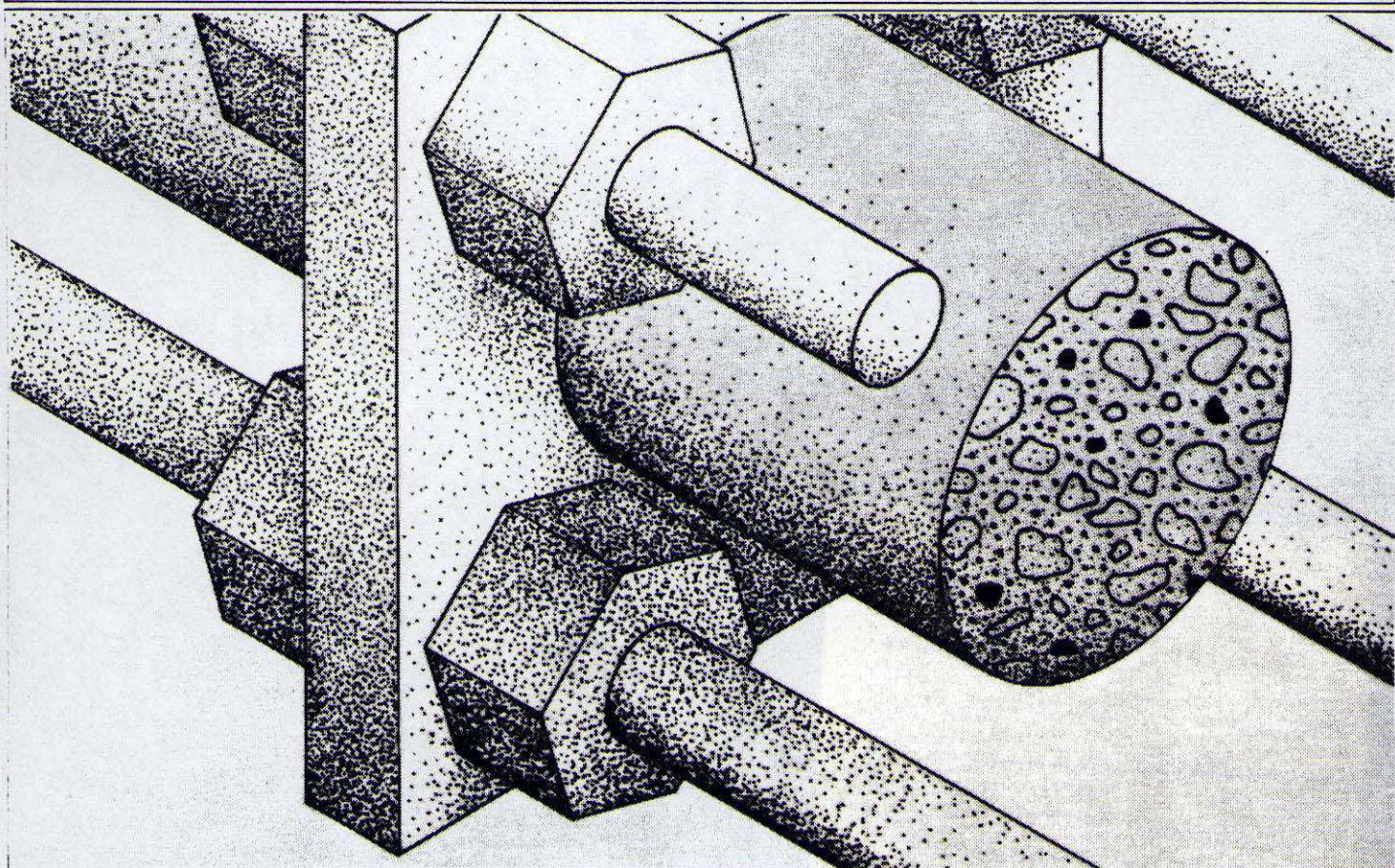


MILJØSTYRELSEN

STYRKEEGENSKABER FOR BETON MED GENANVENDELSESMATERIALER .

TRYK-, SPALTE-, TRÆK-, BØJETRÆK-, SVIND- OG KRYBEFORSØG



**DANSK BETON TEKNIK A/S
ANDERS HENRICHSEN**

**AXEL NIELSEN A/S RÅDGIVENDE INGENIØRER
BJARNE CHR. JENSEN**

**DANMARKS INGENIØRAKADEMI, BYGNINGSAFDELINGEN
SEKTIONEN FOR FYSIK OG MATERIALER
TORSTEN S. THORSEN**

**MILJØSTYRELSEN
BIBLIOTEKET
Strandgade 29
1401 København K**

MAJ 1989

RESUME

Denne rapport omfatter en serie forsøg der skal søge at fremskaffe data til styrke- og deformationsberegninger af beton med genanvendelsesmateriale. Forsøgene er finansieret af Miljøstyrelsen, Rådet vedrørende genanvendelse og mindre forurenende teknologi. Forsøgene er udført i tilknytning til et anvisningsarbejde for beton med genanvendelsesmaterialer til passiv miljøklasse. Anvisningen udarbejdes af en arbejdsgruppe, der er nedsat af Dansk Betonforening, og arbejdsgruppen har fungeret som følgegruppe ved forsøgsarbejdet.

Der er udført tryk-, spalte-, træk-, bøjetræk-, krybe- og svindforsøg for en referencebeton og for 3 typer beton med genanvendelsesmaterialer som fuldstændig erstatning af betonens stenfraktion.

På baggrund af forsøgene kan der konkluderes følgende for beton med genanvendelsesmaterialer i forhold til almindelig beton.

- Beton med genanvendelsesmaterialer er et plastisk materiale ligesom almindelig beton.
- Begyndelseselasticitetsmodulet (E_0) ved tryk for en beton med genanvendelsesmaterialer er mindre end E_0 for en almindelig beton med samme trykstyrke.
- Forholdet mellem sekantelasticitetsmodul ved 50% af brudlast (E_{sek}) og begyndelseselasticitetsmodulet (E_0) er ens for beton med genanvendelsesmaterialer og almindelig beton.
- Forholdet mellem den enaksede trækstyrke og trykstyrken er ens for beton med genanvendelsesmaterialer og almindelig beton.
- Forholdet mellem spaltetrækstyrke og enakset trækstyrke er ens for beton med genanvendelsesmaterialer og almindelig beton.
- Forholdet mellem bøjetræk og enakset trækstyrke er ens for beton med genanvendelsesmaterialer og almindelig beton.

- Krybeforsøgene er kun delvis lykkedes, og forsøgsresultaterne viser ikke entydigt om der er forskel på beton med genanvendelsesmaterialer som stentilslag og beton med almindeligt stentilslag.
- Svindforsøgenes resultater viser ikke entydigt, om der er forskel på beton med genanvendelsesmaterialer som stentilslag, og beton med almindelig stentilslag.

Generelt viser forsøgene at beton med genanvendelsesmaterialer kan projekteres efter betonnormen, DS 411, når der tages hensyn til den ændrede elasticitetskoefficient. Rapporten indeholder forslag til, hvorledes denne ændring tages i regning.

København den 29. maj 1989.

Anders Henrichsen
Dansk Beton Teknik A/S

Bjarne Chr. Jensen
Axel Nielsen A/S,
Rådgivende ingeniører, FRI

Torsten Thorsen
Danmarks Ingeniørakademi,
Bygningsafdelingen,
Fysik og Materialer.

INHOLDSFORTEGNELSE:

RESUME	1
INDHOLDSFORTEGNELSE	3
INDLEDNING	5
UNDERSØGELSEN	6
FORMÅL	6
FORSØG	7
1. MATERIALEBESKRIVELSE	9
BETONTYPER	9
CEMENT	9
TILSLAG	10
SAND	10
STEN	10
BETONPROPORTIONERING	12
2. FORSØGSBESKRIVELSE	14
GENERELT	14
TRYKFORSØG	15
TRÆKFORSØG (ENAKSET)	17
SPALTEFORSØG	20
BØJETRÆKFORSØG	20
KRYBEFORSØG	22
FORSØGSOPSTILLING	22
KLIMABETINGELSER	23
MÅLEUDSTYR	24
MÅLEPUNKTER	24
OPSPENDING	25
BEREGNINGSGRUNDLAG	26
SVINDFORSØG	31
3. FORSØGSRESULTATER	32
GENERELT	32
TRYKFORSØG, BØJETRÆKFORSØG	34
KRYBEFORSØG	45
SVINDFORSØG	58

4. GENEREL VURDERING	61
MATERIALER OG BETONTYPER	61
GENANVENDELSESMATERIALER	61
GENBRUGSBETONERNE	62
MATERIALERNES STRUKTUR OG ABSORPTION	62
MATERIALERNES KORNFØRM OG RUHED	62
FORSØGENES AFVIKLING	63
TRYKFORSØG	63
SPALTEFORSØG	63
BØJETRÆKFORSØG	63
TRÆKFORSØG	64
KRYBEFORSØG	64
FORSØGSRESULTATER	67
TRYKFORSØG	67
TRÆKFORSØG	72
KRYBEFORSØG	74
SVINDFORSØG	77
KONKLUSION	78
FORTSATTE UNDERSØGELSER	80
BILAG	
1. Kalibrering af vejlængdetransducere til trykarbejdslinier.	
2. Brugsanvisning for Plastic Padding "Super epoxy".	
3. Kalibrering af Plotter og Data for Strain-gauges.	
4. Kalibrering af Eilersen-trykcelle.	

INDLEDNING

I Danmark er genanvendelse af bygnings- og anlægsaffald væsentligt for at kunne nedbringe behovet for lossepladskapacitet; samtidig repræsenterer genanvendelse af denne affaldstype en ressource, som betyder, at der kan spares på vore primære råstoffer.

Beton, hvori der genanvendes tegl og beton, er herhjemme anvendt enkelte steder, ligesom det anvendes i f.eks. Holland og Japan. Anvendelsen har hidtil primært været til belægninger.

Ved nyttiggørelsen af genanvendelsesmaterialer, er det derfor vigtigt at få belyst mulighederne for genanvendelse af bygge- og anlægsaffald og få opstillet regler herfor.

Efter en opfordring fra det permanente normudvalg for betonkonstruktioner, PU5, nedsatte Dansk Betonforening i efteråret 1987 en arbejdsgruppe, der skulle udarbejde en anvisning for anvendelse af genbrugsmaterialer til beton i passiv miljøklasse i henhold til betonnormen DS411.

Når PU5 henvendte sig til Dansk Betonforening, skyldtes det bl.a., at PU5 var usikker på, om den eksisterende viden var tilstrækkelig til, at der kunne opstilles regler for beton med genanvendelsesmaterialer, anvendt som konstruktionsbeton.

Arbejdsgruppen fik følgende sammensætning:

- Civilingeniør Erik Såbye-Hansen,
4K Beton A/S. (formand)
- Professor Torben C. Hansen, Danmarks Tekniske
Højskole, Laboratoriet for Bygningsmaterialer
- Akademiingeniør Attila Hegyközy,
Sika-Beton A/S
- Civilingeniør Anders Henrichsen,
Dansk Beton Teknik A/S
- Lic.techn. Bjarne Chr. Jensen, Axel Nielsen A/S,
Rådgivende Ingeniører
- Fuldmægtig Lars Søborg,
Miljøstyrelsen
- Civilingeniør Niels Ørskov,
RN Sten og Grus A/S
- Akademiingeniør Torsten Thorsen, B.Højlund
Rasmussen Rådgivende Ingeniører A/S.
Danmarks Ingeniørakademi Bygningsafdelingen,
Fysik og Materialer. (sekretær)

Arbejdsgruppens kommissorium kan kort sammenfattes som følger:

Anvisningen skal alene tage sigte på beton i passiv miljøklasse. Som genanvendelsesmaterialer arbejdes med beton og tegl samt blandinger heraf. De deles i 2 klasser afhængigt af tørdensitet. Den ene klasse med densitet over 2000 kg/m^3 og den anden med tørdensitet over 1800 kg/m^3 . Derudover skal en række andre krav opfyldes, således at mængden af urenheder holdes under acceptable grænser.

Den væsentligste indsats med hensyn til forskning og udvikling af beton med genanvendelsesmaterialer har hidtil været koncentreret om materialeteknologi, nedbrydning, knusning og sortering. På disse områder baseres anvisningen på tilgængelig viden.

Med hensyn til beregninger baserer betonnormen, DS411, sig på en entydig sammenhæng mellem betonens trykstyrke og en lang række andre styrkeparametre. I hvilket omfang denne sammenhæng kan anvendes for beton med genanvendelsesmaterialer, vides ikke.

Noget kunne tyde på, at styrkeforholdene for sådanne betontyper er anderledes end for betontyper med traditionelt tilslag. Hvis det er tilfældet, kan det få indflydelse på beregnings- og konstruktionsregler.

UNDERSØGELSEN

FORMÅL

Det er undersøgelsens formål at fremskaffe data for styrker, elasticitetsmoduler for samt svind og krybning af forskellige betontyper med genanvendelsesmaterialer. Disse data sammenlignes med tilsvarende data for en referencebeton, for derved at kunne vurdere om der skal justeres på eksisterende beregningsmetoder for bjælker, søjler, forankringer mv.

Det er desuden undersøgelsens mål at fremskaffe data, der kan anvendes ved udarbejdelse af Dansk Betonforenings "Anvisning om genanvendelsesmaterialer i beton i passiv miljøklasse." Forsøgene udføres derfor med tilslagstyper foreslået af arbejdsgruppen for anvisningen.

FORSØG.

De forsøg der tænkes gennemført skal betragtes som pilotforsøg til eventuelle grundigere videnskabelige arbejder.

I arbejdsgruppen er det besluttet, at forsøgsserien skal omfatte 3 typer genanvendelsesmaterialer, og en referencebeton på 2 styrkeniveauer (15 og 25 [Mpa]).

- Godt genanvendelsesmateriale (nedknust beton).
- Dårligst i klasse 2000 (nedknust tegl af høj styrk).
- Dårligst i klasse 1800 (nedknust tegl af lav styrke).
- Referencebeton.

Forsøgsprogrammet kom derfor til at se ud som vist i tabel 1.

Tabel 1. Betontyper.

Betontyper	Tilstræbt styrke [MPa]	
Normal beton	15	25
Dårligst i klasse 1800	15	25
Dårligst i klasse 2000	15	25
Godt genbrugsmateriale	15	25
Følgende undersøges:		
Egenskab	Prøvelegeme	Antal pr. type
Trykstyrke incl. arbejdslinie	100 x 200 cyl.	5
Spaltetrækstyrke	100 x 200 cyl.	5
Bøjetrækstyrke	100 x 100 x 600 mm	5
Enakset trækstyrke	100 x 200 cyl.	5
Krybning ved lastniveau:		
30% af brudstyrke	100 x 200 cyl.	5
45% af brudstyrke*	100 x 200 cyl.	5
Svindforsøg:	100 x 200 cyl.	5
Ved alle 8 betontyper anvendes Portlandflyveaske-cement.		
* Oprindeligt var ønsket 60% af brudstyrken, men ved forsøgets start opstod der brud i en del prøveemner, hvorfor niveauet blev ændret til 45%.		

Projektet er udført som et samarbejde mellem

- Dansk Beton Teknik A/S
v/Anders Henrichsen
- Axel Nielsen A/S, Rådgivende Ingeniører FRI
v/Bjarne Chr. Jensen
- Danmarks Ingeniørakademi, Bygningsafdelingen
v/Torsten Thorsen

Arbejdet er fordelt således:

- Dansk Beton Teknik A/S, der har det nødvendige genbrugsma-
teriale, foretager udstøbninger incl. prøvestøbninger, lag-
ring og levering af prøvelegemer.
- Danmarks Ingeniørakademi, Bygningsafdelingen, udfører for-
søgene.
- Axel Nielsen A/S er projektleder og koordinerer rapporte-
ringen og tolkningen, hvortil alle parter medvirker. Des-
uden henfører de resultaterne fra beton med genanvendelses-
materialer til normalbeton og udarbejder de modifikatio-
ner, som skal indgå i statistiske beregninger for beton med
genanvendelsesmaterialer.

Udenfor det af miljøstyrelsen financerede projekt er der ud-
ført målinger med henblik på bestemmelse af Poissons forhold
samt svindforsøg. Sidstnævnte er gennemført ved Statens Vejlabo-
ratorium i samarbejde med Dansk Beton Teknik A/S. Forsøgsresul-
taterne indgår i denne rapport.

Projektet er afsluttet med denne rapport, som kun indeholder de
data der er nødvendige og forhåbenligt tilstrækkelige for rap-
portens læsning. Det samlede datamateriale forefindes hos ar-
bejdsgruppens forfattere.

1. MATERIALEBESKRIVELSE

BETONTYPER

De materialer, der indgår i bygningsaffald, viser store forskelle i styrkeegenskaber.

De bedste materialer må forventes at findes i nedbrydninger med stort indhold af beton og natursten, der ofte har trykstyrker omkring 50 [MPa].

Den styrkemæssigt svage del af bygningsaffaldet (f.eks. træsplinter og svag mørtel) forudsættes frasorteret, således at bygningsaffald til betontilslag kun indeholder urenheder i begrænset mængde.

I undersøgelsen indgår de i tabel 1.1 viste 8 tilslags- og betontyper:

Tabel 1.1 Tilslags- og betontyper.

Tilslagstyper	Betonkvalitet
1. Naturligt stentilslag (A)	lav trykstyrke
2. Naturligt stentilslag (A)	høj trykstyrke
3. Stærkest muligt genbrugstilslag (B)	lav trykstyrke
4. Stærkest muligt genbrugstilslag (B)	høj trykstyrke
5. Normalt bygningsgenbrug (C)	lav trykstyrke
6. Normalt bygningsgenbrug (C)	høj trykstyrke
7. Svagt bygningsaffald (D)	lav trykstyrke
8. Svagt bygningsaffald (D)	høj trykstyrke

CEMENT.

I alle betontyper er anvendt Portland Flyveaskecement, og for at kunne sammenligne af de efterfølgende prøvningsresultater, er det tilstræbt at cement pastavolumenet er af samme størrelsesorden.

TILSLAG.

Der anvendes følgende tilslagstyper.

Sand:

I alle prøver anvendes dansk søsand med middeltørdensitet $\rho_{tør}$ ~ 2610 kg/m³ og middelabsorption ~ 0.5%.

Sten:

Naturligt stentilslag. (Type A)

Det anvendte tilslag er søstens materiale sammensat af fraktionerne 4/8 mm og 8/32 mm. Kvaliteten er normal handelskvalitet med middeltørdensitet $\rho_{tør} = 2600$ kg/m³ og middelabsorption = 0,8 %.

Stærkest muligt genbrugstilslag. (Type B)

Det bedste genanvendelsesmateriale, der med den nuværende teknologi kan produceres, stammer fra betonbelægninger, der udskiftes pga. nedslidning eller skader.

Genanvendelsesmaterialer fra nedknusning af beton fra standpladser i Københavns Lufthavn, Kastrup er et eksempel på materialer af god kvalitet.

Til tilslagstype B er valgt nedknust beton fra en sådan belægningsreparation i 1988, og efter frasing af materiale < 4 mm., med middeltørdensitet $\rho_{tør} = 2310$ kg/m³ og middelabsorption = 1.4 %.

Normalt bygningsaffald. (Type C)

I sommeren 1988 er i Miljøstyrelsens regi gennemført en kontrolleret nedrivning af et fabrikskompleks i Aarhus samt en efterfølgende oparbejdning af bygningsmaterialerne til stabilgrus. Da dette byggeri synes at være gennemført af gode, solide materialer, må det antages at være et repræsentativt udtryk for den type nedrivninger, der fremover kunne tænkes anvendt som råstofkilde til produktion af tilslag til genanvendelse.

Teglsten, der overvejende er af typen hårdtbrændte sten, har en middeltørdensitet $\rho_{tør} = 1900$ [kg/m³] og middelabsorption = 12%.

Som tilslagstype C er derfor valgt det i Aarhus fremstillede materiale efter frasigtning af sandfraktionen.

Svagt bygningsaffald. (Type D)

Det materiale, der er anvendt til denne kategori er fremstillet ved nedknusning af fejlbrændte (for svagt brændte) teglsten fra Prøvelyst Teglværk ved Karlebo (Sjælland).

Det er skønnet, at stenene hører til den svageste tilslagstype, der vil blive forsøgt oparbejdet til fornyet anvendelse i byggeriet.

Stenenes middeltørdensitet $\rho_{tør} = 1600$ [kg/m³] middelabsorption = 24% og en trykstyrke på 14 MPa.

BETONPROPORTIONERING.

Før den endelige proportionering blev udarbejdet, er der gennemført en mindre indledende forsøgsserie til at undersøge tilslagsstyrkens indflydelse på betonstyrken.

Ved forsøget blev der kun fundet mindre afvigelser mellem betoner med forskellige tegltyper, hvorimod der blev registreret en klar forskel mellem anvendelse af tegltilslag og naturligt tilslag. Resultaterne af den indledende forsøgsserie er vist i tabel 1.2

Tabel 1.2. Indledende forsøg.

v/c-tal	TYPE A - Tilslag Trykstyrke, [MPa]	TYPE C - Tilslag Trykstyrke, [MPa]
0,4	43	31
0,5	39	27
0,6	30	18
*(0,7	22	17)
*) Med valgt v/c-tal og pastaandhold på 30% var udstøbning af forsøgsemner ikke muligt idet betonen var for blød.		

Det oprindelige mål var betontyper med en fast cementpastaprocent på ca. 30; men praktiske forhold førte til de i tabel 1.3 viste endelige sammensætninger for de 8 betontyper:

Tabel 1.3. Endelig sammensætning

SAMMEN- SÆTNING [kg/m ³]	BETONTYPE							
	A,15 1	A,25 2	B,15 3	B,25 4	C,15 5	C,25 6	D,15 7	D,25 8
Cement (PFC(A))	230	290	256	290	250	325	272	345
Vand	163	176	179	173	175	185	190	150
Søsand	850	826	850	825	830	795	730	800
<u>Natur:</u>								
5/8 mm	220	207	0	0	0	0	0	0
8/32 mm	930	895	0	0	0	0	0	0
<u>Genbrug:</u>								
5/8 mm	0	0	205	205	930	930	168	180
8/32 mm	0	0	750	755			701	680
Plast.	÷	÷	÷	÷	÷	÷	÷	2
EGEN- SKABER:	BEREGNET							
v/c-tal	0,71	0,61	0,70	0,60	0,70	0,57	0,70	0,43
Densitet [kg/m ³]	2393	2394	2240	2248	2185	2235	2060	2157
Pastaindh. [%]	23,8	26,8	26,0	26,5	25,4	28,8	27,6	26,0
Forventet trykstyrke [MPa]	22	30	19	27	15	22	15	30
	MÅLT PÅ FRISK BETON							
Densitet [kg/m ³]	2380	2400	2230	2250	2170	2220	2080	2150
Som plastificeringsmiddel er anvendt: Peramin 3189, 35%								

2. FORSØGSBESKRIVELSE

GENERELT

I tabel 2.1 er givet en oversigt over nummereringen og fordelingen af samtlige 240 prøvelegemer, hvoraf 40 stk. er fremstillet som betonprismer (100 x 150 x 600) [mm] og resten som (ø100 x 200) [mm] støbte cylindre.

De otte forskellige betontyper er karakteriseret ved en cifferbetegnelse (1-8 incl.), medens de efterfølgende decimaler angiver det enkelte prøveemnes nummer.

Tabel 2.1. Fordeling og nummering af prøveemner

Trykforsøg:								Udført:	
1.6	2.6	3.6	4.6	5.6	6.6	7.6	8.6	40	17.10.1988 Modenhed 37 døgn
1.7	2.7	3.7	4.7	5.7	6.7	7.7	8.7		
1.8	2.8	3.8	4.8	5.8	6.8	7.8	8.8		
1.9	2.9	3.9	4.9	5.9	6.9	7.9	8.9		
1.10	2.10	3.10	4.10	5.10	6.10	7.10	8.10		
Spalteforsøg:								40	07.10.1988 Modenhed 28 døgn
1.1	2.1	3.1	4.1	5.1	6.1	7.1	8.1		
1.2	2.2	3.2	4.2	5.2	6.2	7.2	8.2		
1.3	2.3	3.3	4.3	5.3	6.3	7.3	8.3		
1.4	2.4	3.4	4.4	5.4	6.4	7.4	8.4		
1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5		
Bøjetrækforsøg: Betonprismer								40	18.10.1988 Modenhed 38 døgn
1.11	2.11	3.11	4.11	5.11	6.11	7.11	8.11		
1.12	2.12	3.12	4.12	5.12	6.12	7.12	8.12		
1.13	2.13	3.13	4.13	5.13	6.13	7.13	8.13		
1.14	2.14	3.14	4.14	5.14	6.14	7.14	8.14		
1.15	2.15	3.15	4.15	5.15	6.15	7.15	8.15		
Trækforsøg (enakset):								40	11.10.-25.10.1988 Modenhed 31 - 45 døgn
1.16	2.16	3.16	4.16	5.16	6.16	7.16	8.16		
1.17	2.17	3.17	4.17	5.17	6.17	7.17	8.17		
1.18	2.18	3.18	4.18	5.18	6.18	7.18	8.18		
1.19	2.19	3.19	4.19	5.19	6.19	7.19	8.19		
1.20	2.20	3.20	4.20	5.20	6.20	7.20	8.20		
Krybeforsøg:								80	03.11.1988 Lastniveau 45% af brudlast
1.21	2.21	3.21	4.21	5.21	6.21	7.21	8.21		
1.22	2.22	3.22	4.22	5.22	6.22	7.22	8.22		
1.23	2.23	3.23	4.23	5.23	6.23	7.23	8.23		
1.24	2.24	3.24	4.24	5.24	6.24	7.24	8.24		
1.25	2.25	3.25	4.25	5.25	6.25	7.25	8.25		
1.26	2.26	3.26	4.26	5.26	6.26	7.26	8.26		
1.27	2.27	3.27	4.27	5.27	6.27	7.27	8.27		
1.28	2.28	3.28	4.28	5.28	6.28	7.28	8.28		
1.29	2.29	3.29	4.29	5.29	6.29	7.29	8.29		
1.30	2.30	3.30	4.30	5.30	6.30	7.30	8.30		
								240 prøvelegemer	

Ved hjælp af geometrisk opmåling (1 mm's nøjagtighed) og vejning (1 grams nøjagtighed) er densiteten bestemt for samtlige betoncylindre, før de forskellige forsøg er gennemført.

TRYKFORSØG

Trykforsøg med tilhørende trykarbejdslinier er gennemført ved en betonmodenhed på 37 døgn (lagring ved 20°C). Den anvendte trykprøvemaskine er en 1000 [kN] Mohr og Federhaff (kalibreret 2.8.88), og alle emner er belastet automatisk og kontinuerligt med en hastighed på 0.42 [MPa/s] (DS 423.23 forudsætter 0.7 ± 0.3 [MPa/s]).

Der er ikke udført en egentlig afretning af de støbte cylindres endeflader, men anvendt en 10 [mm] tyk cellotexplade som mellem-læg.

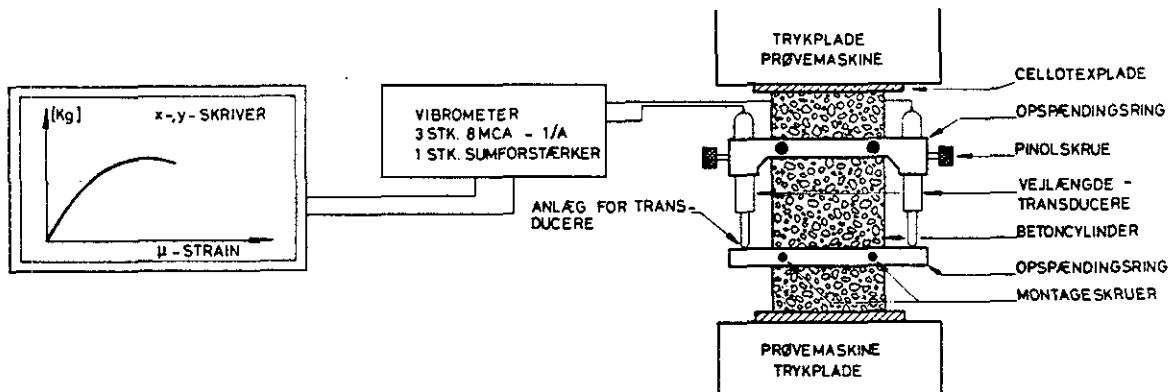


Fig. 2.1. Principskitse for trykprøvningsforsøg med tilhørende udtegnede arbejdslinier på x-y-plotter.

I fig. 2.1 er vist en principskitse af den anvendte forsøgsopstilling.

På de udtegnede plots er indført den brudlast, som er aflæst på trykprøvemaskinens skala (0-50.000 kg); denne værdi er i hvert enkelt tilfælde kontrolleret med den på x-y-plotteren udtegnede trykarbejdslinies maximale y-værdi [kg].

Kalibrering af de anvendte transducere og indretning af plotterens x-y-skalaer er givet i bilag 1 og 3.

For at kunne beregne begyndelseselasticitetsmodulet (E_0 [MPa]) og sekantelasticitetsmodulet (E-sek.) er samtlige trykarbejdslinier digitaliseret ved hjælp af et ved DIAB udviklet digitaliseringsprogram.

E_0 er beregnet ved hjælp af en lineær regressionsanalyse, der forudsætter, at linien går gennem (0.0). Ved hjælp af korrelationskoefficienten R, som skal være tæt på ± 1.000 , sikrer regressionsanalysen, at det beregnede E_0 -modul er det bedst muligt opnåelige med det aktuelle datasæt.

Ønskes f.eks. E-sek-50% beregnet sker dette ved, at der på den digitaliserede arbejdslinie opsøges det koordinatsæt, der repræsenterer 50% af brudlasten, og liniens hældning for koordinatsættene (0.0) og (x_{50} , y_{50}) bestemmes. Se fig. 2.2 og resultat-afsnit (Afsnit 3.).

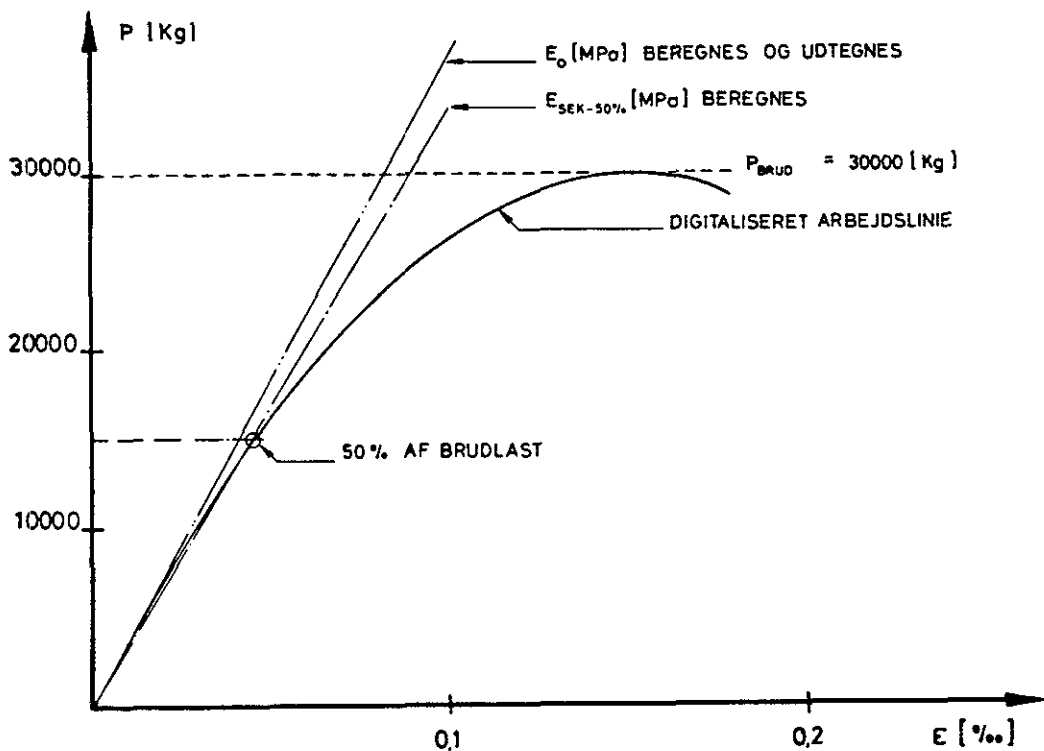


Fig. 2.2. Eksempel på bestemmelse af E_0 og E-sek-50%.

Ud fra brudlasten P [kg] er brudstyrken bestemt ved hjælp af:

$$f_c = \frac{P[\text{kg}] \cdot 9.80665[\text{m/s}^2]}{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2[\text{m}^2]} \quad [\text{MPa}],$$

hvor D er betoncylinderens diameter [m].

TRÆKFORSØG

Enaksede trækforsøg er gennemført ved en modenhed på 31-45 døgn. Den anvendte prøvemaskine er en 400 [kN] TREBEL med manuel styring af belastningshastighed. Prøvemaskinen er sidst kalibreret 3/8 - 1988.

For at kunne lime ståltrækhoveder på de støbte, våde betoncylindre er disse tørret ca. 2 uger ved 20°C og 20-30% RF. Til limningen er anvendt en hurtigt hærtnende epoxy lim (Plastic Padding - Superepoxy, se bilag 2.), som er påført den afrensede og affedtede stål- og betonflade. Ståltrækhovede og betoncylinder er under limens hærtning fastholdt i forhold til hinanden ved, at der rundt om forsøgsemnet er påsat en armeret VVS-tape. Tapen er fjernet, før forsøget er gennemført. Efter ca. 1 døgn hærtning er trækforsøget gennemført i den omtalte Trebel-prøvemaskine, se fig. 2.3.

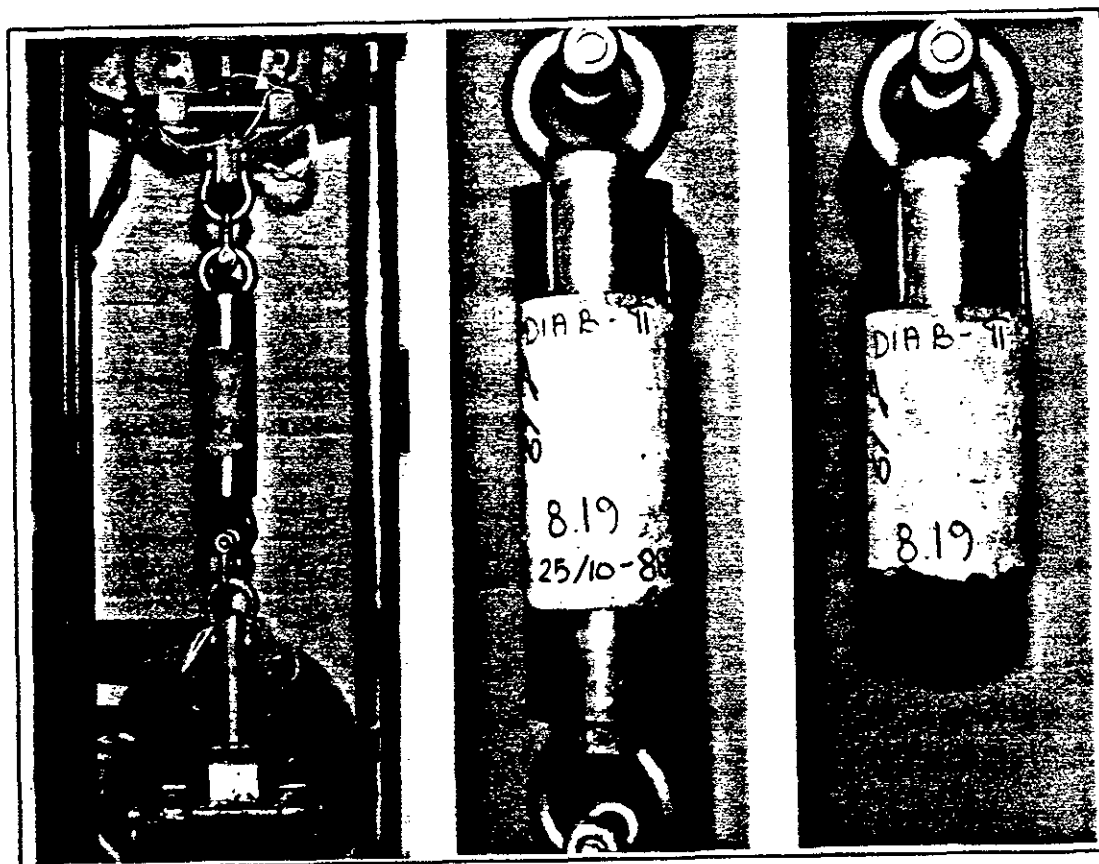


Fig. 2.3. Forsøgsopstilling til trækforsøg i TREBEL 40 t trækprøvemaskine. For at mindske excentriciteter i opstillingen anvendes de viste ø32 øjebolte og tilhørende sjækler.

Ved alle forsøgene er der tilstræbt en nøjagtig centrering af øverste og nederste trækplader, som fastholdes i trækmaskinens trækhoveder, og belastningen er derefter påført jævnt og ensartet indtil brud.

Ved enkelte emner (ialt 15 stk.) er der ved få hundrede kg last sket brud i limfugen, hvilket antagelig kan tilskrives fugt i prøvelegemet, som kan have svækket limfugen. De pågældende emner er derefter stillet til yderligere tørring efterfulgt af nyt trækforsøg m.v. Se fig. 2.4.

Trækstyrken (f_t) er beregnet af:

$$f_t = \frac{P \cdot 9.80665}{\frac{1}{4}\pi \cdot D^2 \cdot H} \text{ [MPa]}$$

D og H er cylinderdiameter og -højde [m].

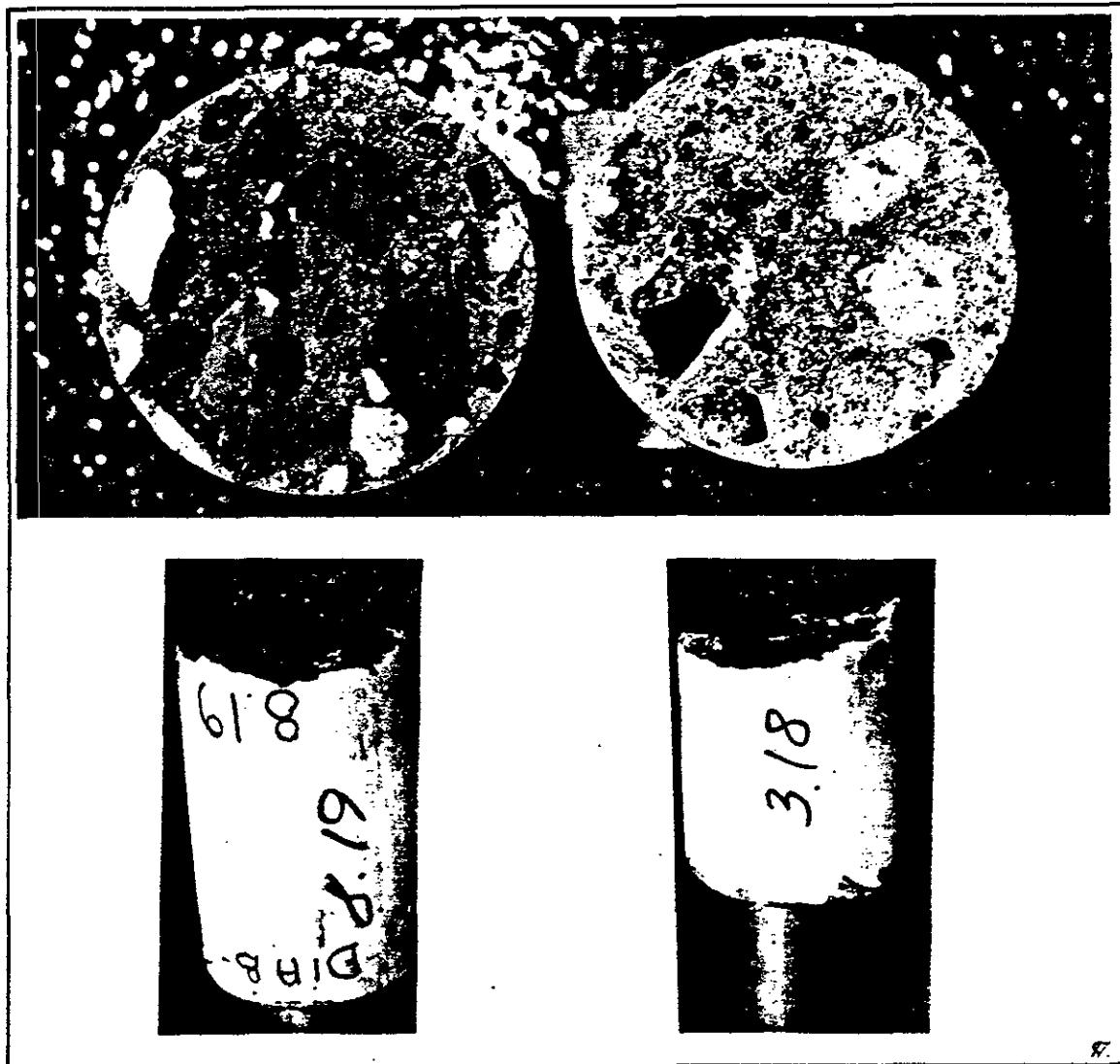


Fig. 2.4. Trækforsøg med 2 forskellige betontyper. Tv. type 8.19 og th. type 3.18. Ved begge forsøg er der tale om rene trækbrud vinkelret på cylinderfrembringerne og ca. midt på emnet. Type 3.18 er beton med genanvendt beton (brudstyrke 1.6 MPa). Type 8.19 er beton med genanvendt tegl (brudstyrke 1.8 MPa). Bemærk "stenstørrelsen" på op til ~30 mm.

SPALTEFORSØG

Spalteforsøg er gennemført ved en modenhed på 28 døgn (lagring ved 20°C). Den anvendte prøvemaskine er en 1000 [kN] (100t) Mohr og Federhaff, som er kalibreret 2.8.1988. Belastningen er påført automatisk og kontinuert med en hastighed på 0.42 [MPa/s], jfr. trykforsøg.

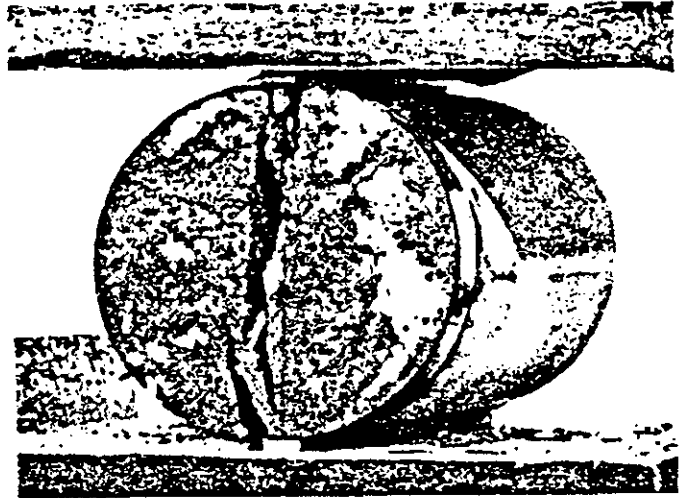


Fig. 2.5 /Beton-Bogen/.
Principskitse af forsøgs-
opstillingen til spalte-
forsøg.

Før forsøget blev gennemført monteredes to stykker hård masonit (15 x 200 x 3) [mm] diametralt langs cylinderens frembringere. Den opnåede brudlast er aflæst på prøvemaskinens viserinstruments skala. 1/50 af 100 t, svarende til et lastområde på 0-20 tons for fuldt udslag. På grundlag af den opnåede brudlast P [kg], prøvelegemets diameter D [m] og højde H [m] er spaltetrækstyrken (f_s) beregnet af

$$f_s = \frac{P \cdot 9.80665 \cdot 2}{\pi \cdot H \cdot D} \text{ [MPa]}$$

BØJETRÆKFORSØG

Bøjetrækforsøg er gennemført ved en betonmodenhed på ca. 40 døgn (38 døgn). Den anvendte prøvemaskine er en 1000 [kN] Mohr og Federhaff, som er kalibreret 2.8.1988. Belastningen er påført automatisk og kontinuerligt med en hastighed på 0.42 [MPa/s]. De prismatiske prøvelegemer (150 x 100 x 600) [mm] er belastet med to lige store kræfter placeret symmetrisk om midten.

I fig. 2.6 er vist en principskitse af den anvendte forsøgsopstilling.

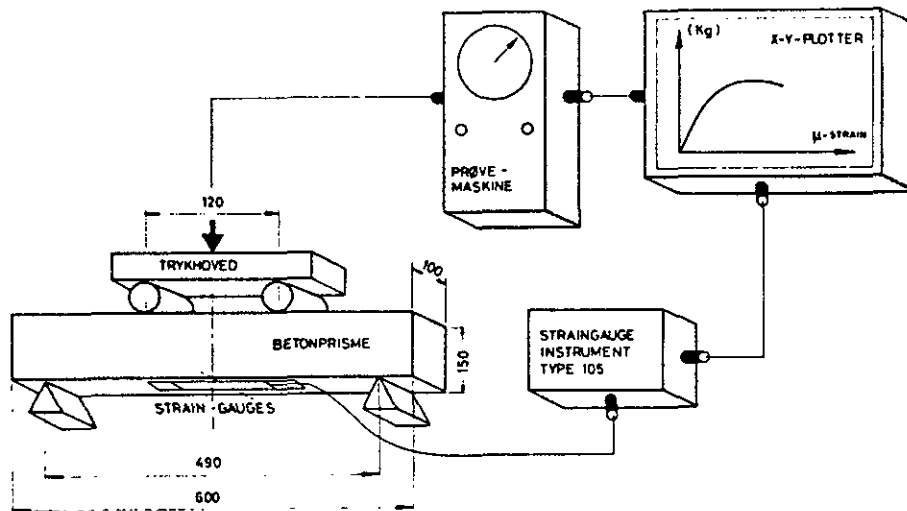


Fig. 2.6. Principskitse for bøjetrækforsøg med tilhørende udtegning af bøjetrækarbejdslinier på x-y-plotter.

På de udtegnede plots er indført den brudlast, som er aflæst på prøvemaskinens skala (0-20 t), og denne værdi er i hvert enkelt tilfælde kontrolleret med den på x-y-plotterens udtegnede bøjetrækarbejdslinies maksimale y-værdi [kg].

Kalibrering af plotterens x-y-skalaer og karakteristika for de pålmede strain-gauges er givet i bilag 3.

For at kunne beregne begyndelseselasticitetsmodulet (E_0 [MPa]) og sekant-E-modulet ved f.eks. 50% af brudlast ($E_{\text{sek-50\%}}$ [MPa]) er samtlige bøjetrækarbejdslinier (40 stk.) digitaliseret ved et ved DIAB udviklet digitaliseringsprogram, se fig. 2.2.

Beregningen af E_0 og $E_{\text{sek-...}}$ udfra de digitaliserede arbejdslinier er omtalt tidligere under afsnittet om trykforsøg, hvortil der henvises. På grundlag af den opnåede brudlast P [kg] er bøjetrækstyrken (f_{bt} [MPa]) beregnet ud fra det viste formeludtryk. Se iøvrigt fig. 2.6. a er afstand fra understøtning til kraftpunktet på prøveemnet, b er prismets bredde og h er prismets højde.

$$f_{bt} = \frac{3 \cdot P[\text{kg}] \cdot 9.80665[\text{m/s}^2] \cdot a[\text{m}]}{b[\text{m}] \cdot h^2[\text{m}^2]} \quad [\text{MPa}]$$

KRYBEFORSØG

Fra hver af de 8 betontyper er der på 10 stk. støbte betoncylindre ($\varnothing 100 \times 200$) [mm] gennemført krybeforsøg ved 2 forskellige trykniveauer. I det følgende beskrives kort de aktuelle forsøgsbetingelser.

Forsøgsopstilling

I fig. 2.7 er vist en principskitse af den anvendte forsøgsopstilling og målepunkter.

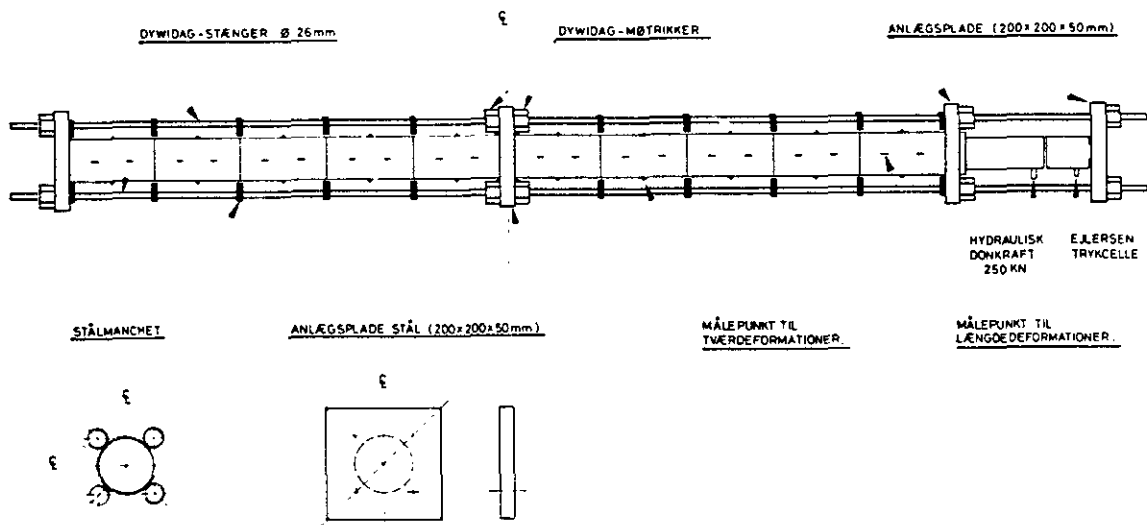


Fig. 2.7. Principskitse af forsøgsopstilling og placering af målepunkter. Den viste opstilling består af 2 delopstillinger som er adskilt ved hjælp af den midterste anlægsplade.

Ved fordeling af forsøgsemnerne og valg af belastningsniveauer er det tilstræbt, at DYWIDAG-møtrikkerne på hver side af forsøgsopstillingens midterplade påvirkes mindst muligt. I fig. 2.8 er vist fordelingen af prøveemner og det tilhørende lastniveau [kg].

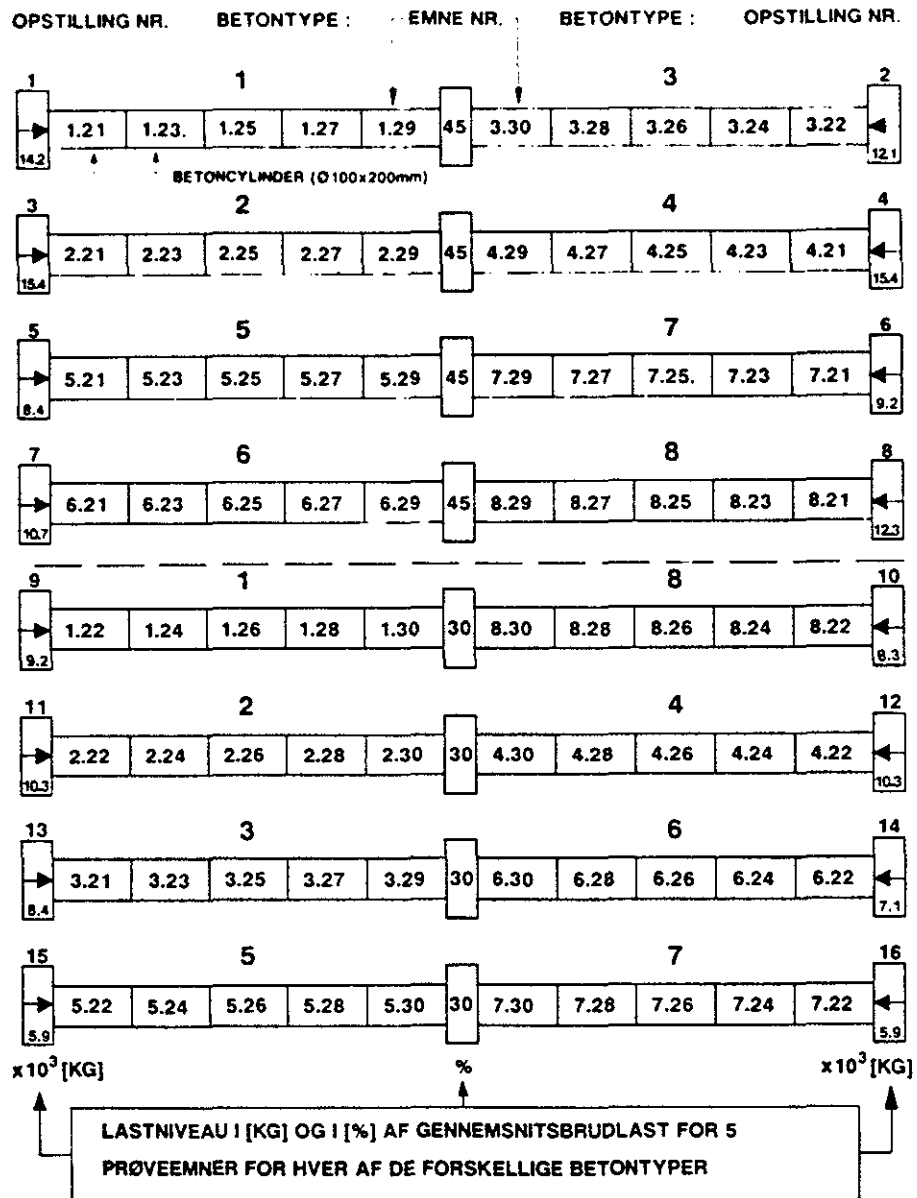


Fig. 2.8. Fordeling af prøveemner og lastniveauer for de 16 delopstillinger, som repræsenterer 2 lastniveauer for hver af de 8 betontyper.

Klimabetingelser

I hele forsøgsperioden 24. oktober 1988 - 6. februar 1989, i alt 14 uger er der målt lufttemperatur [°C] og relativ luftfugtighed i forbindelse med længde- og tværmålinger på de enkelte prøveemner og opspæding af de enkelte opstillinger. Temperatur og relativ luftfugtighed er målt ved hjælp af en Vaisalamåler.

I forsøgsperioden har den gennemsnitlige temperatur været 20.7°C og med en empirisk spredning på 1.7°C. Den gennemsnitlige relative luftfugtighed (RF) har været 30.0% og med en empirisk spredning på 5.8%.

Måleudstyr

Ved krybeforsøget er anvendt følgende måleudstyr:

- 1 stk. Vaisalamåler til registrering af temperatur og relativ luftfugtighed (RF). Instrumentet har en mindste måleværdi på 0.1°C og 0.1% RF (type HMI 32).
- 1 stk. Eilersen trykcelle (1286-1) med tilhørende omskifterbox og strømforsyning til registrering af hver enkelt opstillings lastniveau. Trykcellen er kalibreret før forsøgets igangsætning (bilag 4). Den nævnte kalibrering omfatter omsætningen mellem last i tons og udlæsning på voltmeter i mV.
- 1 stk. Mitutoyo-mikrometerskrue nr. 340-111 (621734) - 0-150 mm med digitaludlæsning. Instrumentet er anvendt til måling af prøveemnernes længde- og tværdeformation med en mindste måleværdi på 0.001 mm. For at imødegå aflæsningsfejl på mikrometerskruen er denne tilsluttet en printer Digimatic - Mini-processor (DP-1DX).

Målepunkter

I fig. 2.9 er vist en skitse af de målepunkter, ved hjælp af hvilke længde- og tværdeformationer er registreret.

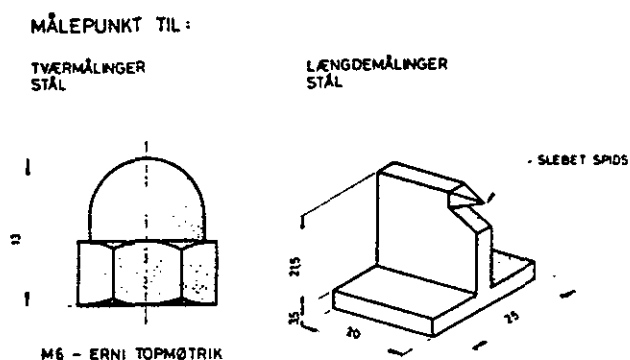


Fig. 2.9. Målepunkter til længde- og tværdeformationer.

Opspænding

Med undtagelse af lørdag-søndage er de 16 delopstillinger - se fig. 2.7 - opspændt til det fastlagte lastniveau hver dag i de første ~ 2 uger af forsøgsperioden og derefter hver anden dag (typisk mandag-onsdag-fredag).

Ved den geometriske opmåling (diameter og længde) af prøveemnerne er det konstateret, at endefladerne ikke var planparallele. For at forbedre dette blev der med vandkølet diamantsav afskåret ca. 10 mm af begge ender af alle prøveemner. - Det skal bemærkes, at målepunkter var pålimet på afskæringstidspunktet. - Herefter blev emnerne oplagt koncentrisk i forlængelse af hinanden og uden mellemlæg i de respektive opstillinger. Anlægspladen (1) ved den fri ende af opstillingen (se fig. 2.10) blev placeret, og de fire Dywidag-møtrikker er spændt med håndkraft.

For at imødegå excentriciteter i opstillingen ved opspændingen og den efterfølgende tilspænding af Dywidag-møtrikkerne, er denne foretaget diagonalt med fastnøgle og uden værktøj i øvrigt.

Den hydrauliske donkraft, Eilersen-trykcellen og den yderste anlægsplade (nr. 2 i fig. 2.10) blev derefter monteret og fastholdt centralt i forhold til prøveemnernes centerlinie ved hjælp af yderligere fire Dywidag-møtrikker.

Nulværdien på voltmeteret til trykcellen blev konstateret og delopstillingen blev derefter, ved hjælp af den hydrauliske donkraft, lastet op til den beregnede digitalvisning i [mV] på voltmeteret. Ved alle opspændinger er denne voltmetervisning nået $\sim \pm 1$ [mV] svarende til en påført last på $\sim \pm 60$ [kg] eller en trykspænding på ± 0.08 [MPa].

Ved hjælp af en fastnøgle (nr. 47) er de fire Dywidag-møtrikker umiddelbart bag ved anlægsplade 1 spændt diagonalt og netop så meget, at det kunne vurderes, at det samlede tryk på prøveemnerne fastholdes af disse fire møtrikker. Den diagonale tilspænding skal sikre en ensartet kraftoverføring (træk) i de fire Dywidagstænger.

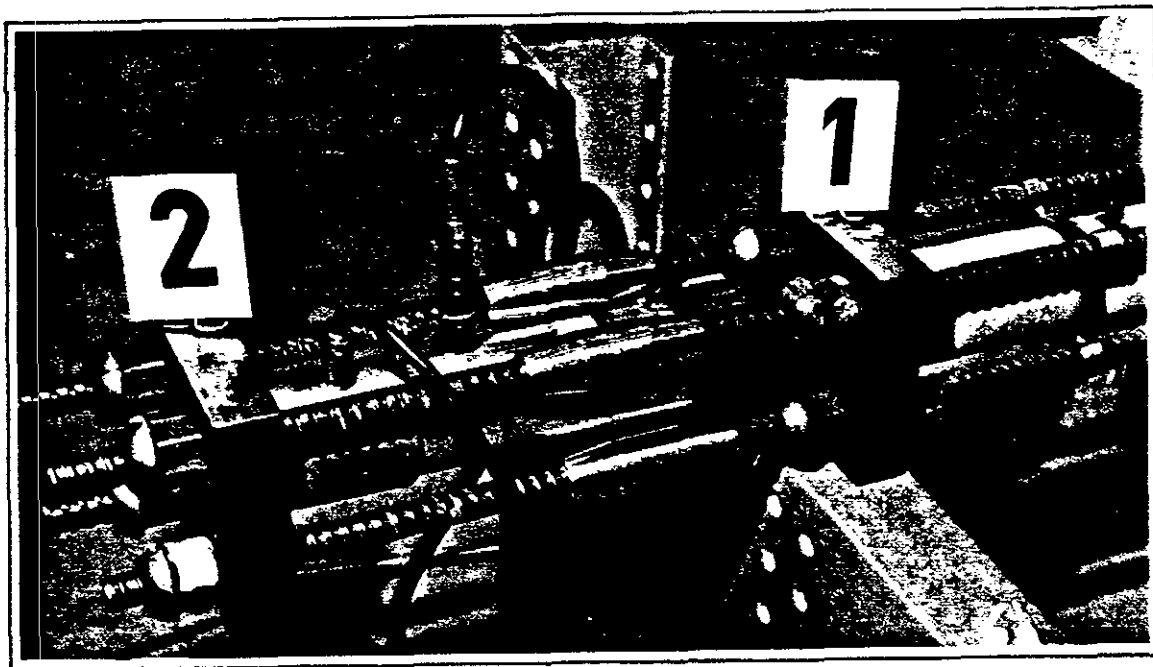


Fig. 2.10. Fotos af opspændingsdel.

Beregningsgrundlag

Ved hjælp af et ved FYM-sektionen udviklet edb-program er krybeforsøgets datagrundlag - længde- og tværmålinger - bearbejdet og udtegnet udfra følgende beregningsgrundlag, se fig. 1.11 og 2.12.

Ved hjælp af gennemsnittet for de digitaliserede trykarbejdslinier og det belastningsniveau, der er fastlagt for hver af de 12 delopstillinger, beregnes sekantelasticitetsmodulet E_{sek} [MPa] og den dertil hørende momentandeformation $\epsilon_{0,\text{sek}}$ [o/oo], se fig. 2.11.

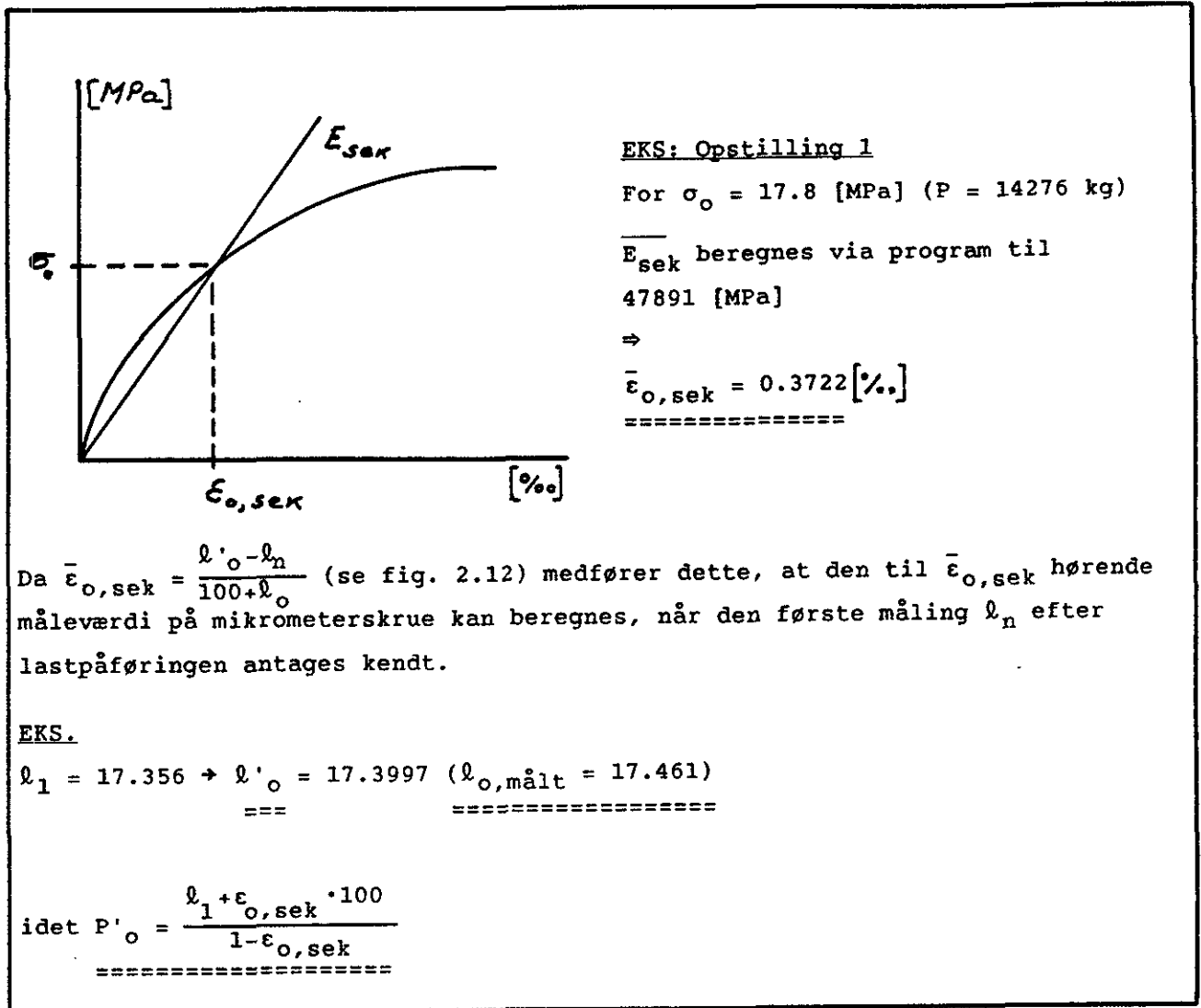


Fig. 2.11. Skitse og eksempel til beregning af momentandeformation $\epsilon_{0,sek}$ [‰] og målepunktsafstand l'_0 [mm] umiddelbart før lastpåføring.

Deformation på langs ad cylinder (længdetøjning ϵ_l [‰])

$$\epsilon_{l,n} = \frac{l_{0-n} - l_n}{L_0} \cdot 1000 [\text{‰}]; \text{ hvor}$$

l_0 er måleværdi på mikrometerskrue på den nul'te dag og umiddelbart før lastpåføring [mm]

l_n er måleværdi på mikrometerskruen på den n'te dag [mm]

$$L_0 = L_{Basis} + l_0 \quad (\text{se fig. 2.12})$$

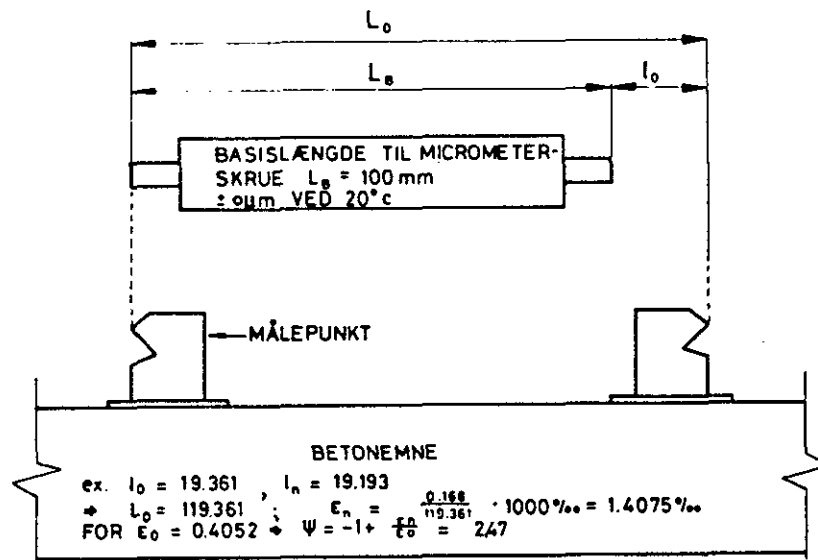


Fig. 2.12. Basislængde og måleværdi på mikrometerskrue.

Deformation på tværs af cylinder (tværtøjning ϵ_b [o/oo])

$$\epsilon_b = \frac{b_0 - b_n}{B_0} \cdot 1000 [\text{o/oo}]; \text{ hvor}$$

b_0 er måleværdi på mikrometerskrue på den nul'te dag og umiddelbart før lastpåføring [mm]

b_n er måleværdi på mikrometerskrue på den n'te dag [mm]

$$B_0 = L_{\text{Basis}} + b_0 \text{ (se fig. 2.12)}$$

Momentandeformation (momentantøjning $\epsilon_{0,\text{sek}}$ [o/oo]) er beregnet udfra tryksekantmodulet (E_{sek} [MPa]) og den dertil hørende begyndelsesspænding (σ_0 [MPa]). (Se tabel 2.2, som omtales nærmere i afsnit 3. forsøgsresultater.)

σ_0 er beregnet udfra det lastniveau [kg], som er lagt på beton-cylindrene i de enkelte krybeopstillinger ($\sigma_0 = \frac{P \cdot 9.80665}{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2}$ [MPa])

$$\epsilon_0 = \frac{\sigma_0}{E_0} \cdot 1000 [\text{o/oo}]$$

Krybetallet ψ er beregnet af: $\varepsilon_{l,n} = \varepsilon_0 + \varepsilon_0 \psi_n \Rightarrow$

$$\psi_n = \frac{\varepsilon_{l,n}}{\varepsilon_0} - 1, \text{ hvor}$$

$\varepsilon_{l,n}$ er deformationen på langs ad cylinderen (længdekrybetøjningen [o/oo] på den n'te dag).

Poissons forhold ν er beregnet som den numeriske værdi af forholdet mellem tværtøjningen og længdetøjningen.

$$\nu_n = \left| \frac{\varepsilon_{b,n}}{\varepsilon_{l,n}} \right|, \text{ hvor}$$

$\varepsilon_{b,n}$ er tværtøjningen [o/oo] den n'te dag

$\varepsilon_{l,n}$ er længdetøjningen [o/oo] den n'te dag.

Tabel 2.2 Beregnede momentandeformationer. $\epsilon_{0,sek}$ [o/oo]

Betontype Opst.	Lastniveau P[kg]	Ø-Cyl. [mm]	\overline{E}_{sek} -modul [MPa]	Beregnet ϵ_0 σ_0/E_0 [%]
1	1	100	47891	0.3722
3	2		37630	0.4107
2	3		46243	0.4809
4	4		39636	0.4809
5	5		22119	0.4747
7	6		19269	0.5932
6	7		24811	0.5397
8	8		23957	0.6493
1	9		49104	0.2328
8	10		23957	0.4297
2	11		47110	0.2733
4	12		41170	0.3127
3	13		39278	0.2647
6	14		26198	0.3339
5	15		23624	0.3084
7	16		20753	0.3569

Kalibreringslinie for Eilersen Trykcelle:
 $Y = 12.105 X + 60.193$, (X[kg],Y[mV]) (Se bilag 4.)
 \overline{E}_{sek} -modul er den beregnede gennemsnitværdi for 5 digitaliserede trykarbejdslinier for kendt lastniveau (P[kg]
 $\rightarrow \sigma$ [MPa])

SVINDFORSØG

Der er målt udtørringssvind på i alt 32 betonbjælker fordelt på 8 forskellige blandinger.

Bjælkerne dimension var (100 × 100 × 500) [mm], og bjælkerne blev efter udstøbningen opbevaret ved 20°C og 100% RF i 28 døgn. De er derefter anbragt i et rum ved 20°C og 50% RF og aklimatiseret i 1 døgn inden svindmålingerne er påbegyndt.

Bjælkerne har i hele måleperioden været anbragt ved 20°C (variation: -1, +2°C) og 50% RF (variation ±5% RF).

Ved udstøbningen af bjælkerne er istøbt en metaltop i hver ende, og svindmålingerne er foretaget med en målebro i stål påsat et måleur i den ene ende. Måleurets inddeling var 0.01 [mm], aflæsenøjagtighed 0.002 [mm]. Før og efter hver måleserie blev der foretaget en måling på en stålstang til kontrol af "nulpunkt".

Der er foretaget svindmålinger over 75 døgn med intervaller, som det fremgår af skema og figurer i afsnit 3 (Resultater).

3. FORSØGSRESULTATER

GENERELT

På de følgende sider præsenteres i bearbejdet form resultaterne fra de udførte forsøg. Præsentationen vil ske ved hjælp af oversigtsskemaer og diagrammer, som suppleres med en beskrivende kommentar. I øvrigt henvises til bilagsmaterialet, der af pladshensyn ikke i alle enkeltheder er vedlagt denne rapport.

Det gælder i øvrigt generelt, at de anførte densiteter er beregnet ud fra en geometrisk opmåling af emnediameter og -højde (skydelære 0.1 mm) samt emnets vægt [g].

Tabel 3.1. Resultatoversigt. Densiteter og styrker.

ALDER	28 døgn 7.10.88		37 døgn 17.10.88		30-45 døgn 11.-25.10		3.-7.12.88		38 døgn 18.10.88	
Beton type	Spaltetrækprøver		Trykprøver		Trækprøver		Krybeforsøg		Alle betoncyl.	Bøjetrækforsøg Betonprismer
Antal prøveemner	Beregnet f_s [MPa]	Beregnet spaltetræk styrke	Beregnet f_c [MPa]	Beregnet trykstyrke	Beregnet f_t [MPa]	Beregnet trækstyrke	Beregnet densitet	Beregnet densitet	Beregnet densitet	Beregnet bøjetrækstyrke
5	\bar{x}_5 s_5	\bar{x}_5 s_5	\bar{x}_5 s_5	\bar{x}_5 s_5	\bar{x}_5 s_5	\bar{x}_5 s_5	\bar{x}_5 s_5	\bar{x}_5 s_5	\bar{x}_{25} s_{25}	\bar{x}_5 s_5
1	2383.6 13.7	3.71 0.39	2375.0 19.9	39.72 2.18	2377.5 12.1	2.14 0.16	2383.1 22.3	2378.5 19.8	2379.5 17.6	3.31 0.35
2	2369.4 17.7	4.09 0.39	2403.3 46.6	43.47 2.02	2365.7 13.4	2.08 0.20	2361.1 13.9	2382.5 23.7	2376.4 17.6	3.50 0.58
3	2261.5 24.8	2.68 0.38	2269.1 34.1	33.55 2.11	2279.6 14.3	1.76 0.31	2303.1 24.1	2270.2 21.5	2276.7 23.8	2.92 0.24
4	2294.2 23.0	3.05 0.60	2267.5 9.4	42.40 1.83	2273.2 9.0	1.86 0.17	2286.2 20.7	2276.7 24.6	2279.6 17.3	3.25 0.30
5	2123.7 11.9	2.36 0.61	2128.9 13.1	23.37 1.85	2125.3 14.8	1.27 0.12	2120.1 31.4	2126.1 15.8	2126.4 17.4	2.30 0.14
6	2141.9 7.6	2.60 0.63	2143.3 13.4	30.00 1.92	2142.5 8.9	1.76 0.15	2137.9 17.2	2141.3 14.4	2141.4 12.3	2.82 0.22
7	2148.5 23.7	2.55 0.23	2129.1 40.9	25.32 1.21	2131.9 14.8	1.49 - *)	2136.4 48.4	2167.3 26.5	2142.6 30.9	2.62 0.20
8	2147.3 16.0	2.89 0.69	2148.5 14.0	34.54 3.10	2154.1 19.2	2.08 0.39**)	2169.9 10.1	2149.0 24.9	2153.8 16.8	3.52 0.30

Bemærkninger: *) 2 emner, **) 4 emner

$$f_s = \frac{2 \cdot P}{\pi \cdot h \cdot d} \text{ [MPa]; } \rho = \frac{M}{V}; V = \pi \cdot r \cdot d^2 \cdot h \quad f_c = \frac{P[\text{kg}] \cdot 9.80665[\text{m/s}^2]}{\pi \cdot r \cdot d^2[\text{m}^2] \cdot 1000} \text{ [MPa]} \quad f_{bt} = \frac{3 \cdot P[\text{kg}] \cdot 9.80665[\text{m/s}^2] \cdot a[\text{m}]}{b[\text{m}] \cdot h^2[\text{m}^2]}$$

Middelværdi: $\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$ Empirisk spredning $s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$

Til tabellen kan knyttes følgende bemærkninger:

Alder: Angiver betonens modenheden ved det aktuelle forsøg og tidspunktet for dets gennemførelse.

1.kolonne: Betontype 1-8 incl., som tidligere er specificeret i afsnittet Materialebeskrivelse. Antal prøveemner: Der er anvendt 5 stk. prøveemner, som er udstøbt af en og samme betonblanding.

- 2.kolonne: Spaltetrækprøver. I to underkolonner angives dels den beregnede middelværdi og empiriske spredning af de forskellige betontypers densitet, dels den beregnede middelværdi og empiriske spredning af de forskellige betontypers beregnede spaltetrækstyrke [MPa].
- 3.kolonne: Trykprøver. I to underkolonner er anført beregnede middelværdier og empiriske spredninger for hver betontypes densitet [kg/m^3] og beregnede trykstyrke [MPa].
- 4.kolonne: Trækprøver. I to underkolonner er anført beregnede middelværdier og empiriske spredninger for hver betontypes densitet [kg/m^3] og beregnede enaksede trækstyrke [MPa].
- 5.kolonne: Krybeforsøg. - Beregnede middelværdier og empiriske spredninger for hver betontypes densitet [kg/m^3]. Der er anvendt 10 betoncylindre af hver betontype, som derefter er opdelt i to grupper á 5, som indgår i krybeforsøgets to valgte belastningsniveauer. Oprindeligt er 60% og 30% af brudlasten valgt som belastningsniveau. Dette er i forbindelse med forsøgets iværksættelse ændret til ~45% og 30% af de respektive betontypers brudlast. Begrundelsen for denne ændring uddybes i rapportens afsnit 4 Generel vurdering.
- 6.kolonne: Beregnet middelværdi og spredning for samtlige betoncylindre inden for de forskellige betontyper.
- 7.kolonne: Beregnede middelværdier og empirisk spredning af hver betontypes bøjetrækstyrke [MPa].
Der er ikke gennemført beregning af disse prøveemners densitet. Disse prismatiske betonemner er alle udstøbt af samme betonblanding og under samme betingelser som de tidligere omtalte betoncylindre.
- I skemaets fodnote "Bemærkninger" er bl.a. vist det anvendte beregningsgrundlag.

Resultater fra de enaksede trækforsøg og spalteforsøg er præsenteret i tabel 3.1 og uddybes ikke yderligere.

TRYKFORSØG, BØJETRÆKFORSØG

I tabellerne 3.2 og 3.3 gives begyndelsestrykelasticitetsmoduler (E_0 [MPa]) og tryksekantelasticitetsmoduler ($E_{\text{sek-50\%}}$ [MPa]) for de digitaliserede tryk- og bøjetrækarbejdslinier. Tabelopbygningen i tabel 3.2 og 3.3 er ens. Elasticitetsmodulerne for de enkelte betonemner er givet, og gennemsnit samt empirisk spredning er beregnet for de enkelte betontyper.

Til * ved brudstyrke i tabel 3.2 kan tilføjes følgende: For ikke at beskadige de 2 vejlængdetransducere, der er monteret på trykprøveemnernes sider er trykket taget af prøveemnet, når det er skønnet, at arbejdslinien, som udtegnes på x-y-plotten (se fig. 2.1), er blevet vandret. Under bemærkninger er der givet en kortfattet specifikation af de enkelte betontyper.

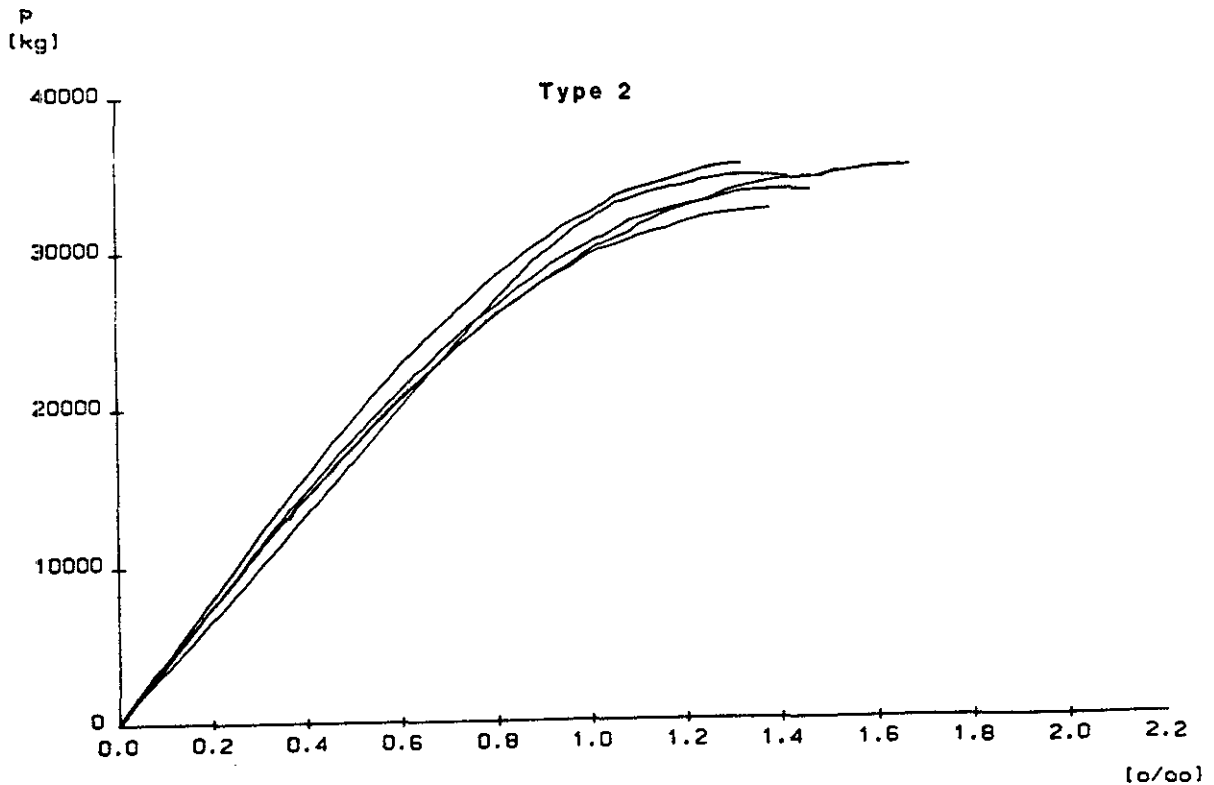
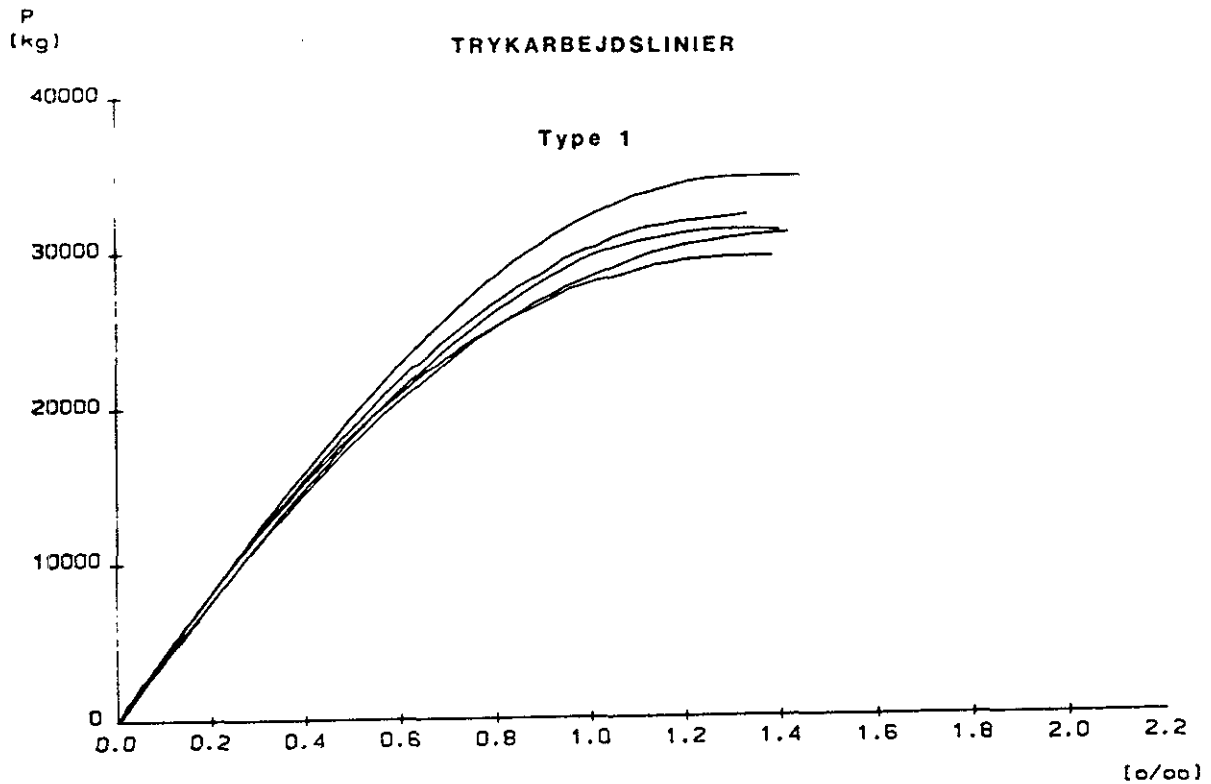
På 4 sider efter henholdsvis tabel 3.2 og tabel 3.3 præsenteres trykarbejds- og bøjetrækarbejdslinier for betontyperne 1 og 2, 3 og 4, 5 og 6 samt 7 og 8. Det skal understreges, at akseinddelingerne for de viste arbejdslinier er identiske på samme side, men kan variere fra side til side. Der henvises til bilagsmaterialet for detaljerede udtegninger og arbejdslinierne med præsentation af digitaliseringspunkter, E_0 -modulbestemmelse m.v.

Tabel 3.2. Beregnede elasticitetsmoduler (tryk)

Betontype	Middel- værdi	Trykarbejdselinier			E-sek-50% $\times 10^3$ [MPa]	Bemærkninger		
		Bedste rette linie gennem 0.0		*Brudstyrke [MPa]				
Emne nr.	og spredning	E_0 -modul $\times 10^3$ [MPa]						
1	6	50.2		43	49.0	Naturligt stentilslag Tilstræbt trykstyrke 15 MPa Densitet \bar{x} = 2380 kg/m ³ s = 18 -		
	7	47.2	49.1	39	39.8		45.1	47.3
	8	50.4		40			47.8	
	9	47.3	1.8	40	2.2		46.4	1.5
	10	50.6		37			48.0	
2	6	52.3		46	51.3	Tilstræbt trykstyrke 25 MPa Densitet \bar{x} = 2376 kg/m ³ s = 23 -		
	7	46.5	47.3	41	43.6		44.6	45.9
	8	43.4		45			43.3	
	9	47.3	3.2	42	2.1		46.1	3.2
	10	47.0		44			44.2	
3	6	38.3		34	36.4	Stentilslag genbrug bedst muligt. Tilstræbt trykstyrke 15 MPa Densitet \bar{x} = 2277 kg/m ³ s = 24 -		
	7	39.1	39.5	36	33.6		35.9	37.2
	8	40.9		31			38.8	
	9	41.2	1.5	35	2.1		38.8	1.5
	10	38.0		32			36.0	
4	6	42.0		44	39.5	Tilstræbt trykstyrke 25 MPa Densitet \bar{x} = 2280 kg/m ³ s = 17 -		
	7	41.2	41.1	41	42.4		39.2	39.1
	8	41.3		42			38.8	
	9	41.6	1.0	44	1.5		40.5	1.0
	10	39.4		41			37.7	
5	6	25.1		26	23.0	Stentilslag dårligst i gen- brugsklasse 2000 kg/m ³ , tegl Tilstræbt trykstyrke 15 MPa Densitet \bar{x} = 2126 kg/m ³ s = 17 -		
	7	26.2	24.6	22	22.8		20.7	21.5
	8	22.1		22			20.0	
	9	26.5	1.9	22	1.8		23.9	1.9
	10	23.1		22			20.0	
6	6	25.7		28	24.0	Tilstræbt trykstyrke 25 MPa Densitet \bar{x} = 2141 kg/m ³ s = 12 -		
	7	26.6	26.4	28	29.8		24.8	24.4
	8	26.6		29			24.5	
	9	25.6	0.7	32	2.0		23.5	0.7
	10	27.4		32			25.4	
7	6	25.3		27	20.3	Stentilslag dårligst i gen- brugsklasse 1800 kg/m ³ , tegl Tilstræbt trykstyrke 15 MPa Densitet \bar{x} = 2143 kg/m ³ s = 31 -		
	7	20.7	21.9	25	25.0		17.9	18.9
	8	21.4		25			18.0	
	9	23.4	2.5	25	1.4		21.1	1.8
	10	18.8		23			16.9	
8	6	22.4		30	20.3	Tilstræbt trykstyrke 25 MPa Densitet \bar{x} = 2154 kg/m ³ s = 17 -		
	7	25.4	24.9	35	34.6		22.9	23.1
	8	22.6		33			20.8	
	9	28.2	2.4	38	3.2		24.9	1.5
	10	25.9		37			23.8	

Hver betontype er repræsenteret ved 5 forsøgsemner ($\varnothing 100 \times 200$ mm betoncylindre), og der er anvendt samme belastningshastighed.
Densiteterne for de forskellige betontyper er bestemt ud fra de modtagne betoncylindres aktuelle masse, geometrisk målt højde og diameter.
Sekantmodulet er beregnet ud fra digitaliserede arbejdselinier og beregnet ud fra 50% af brudlasten.

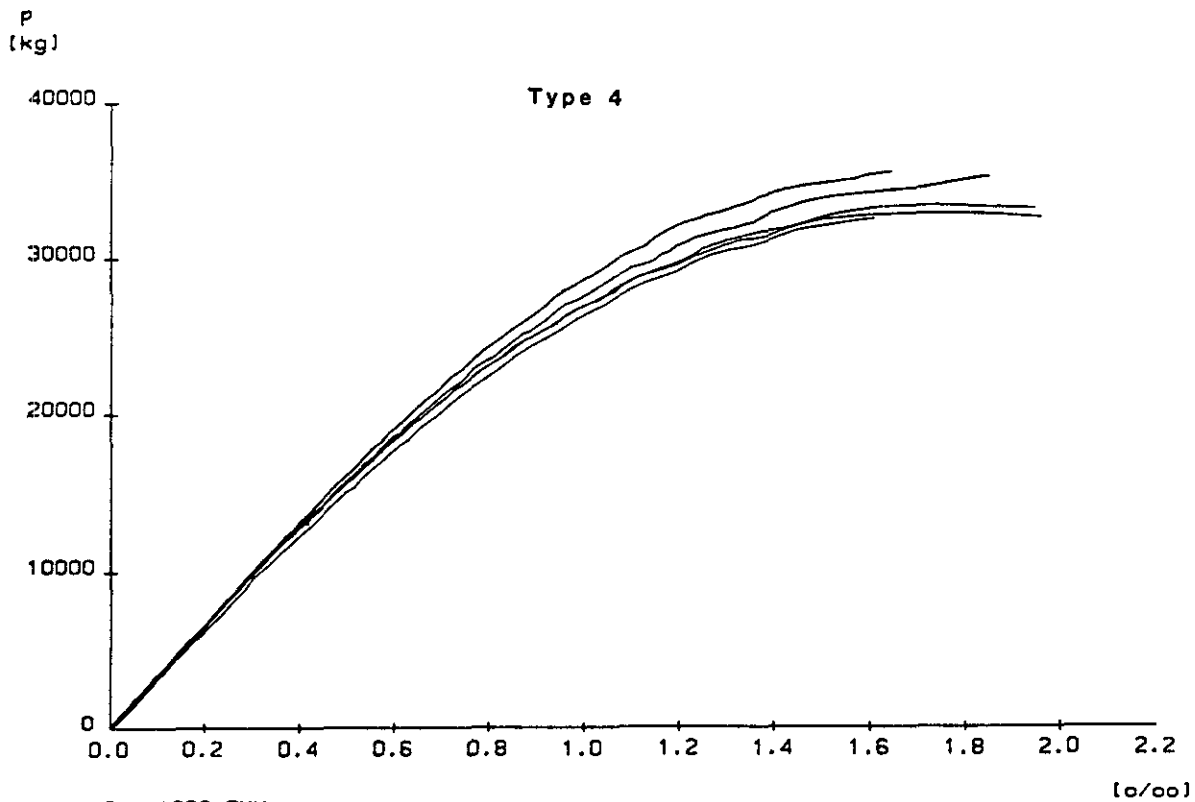
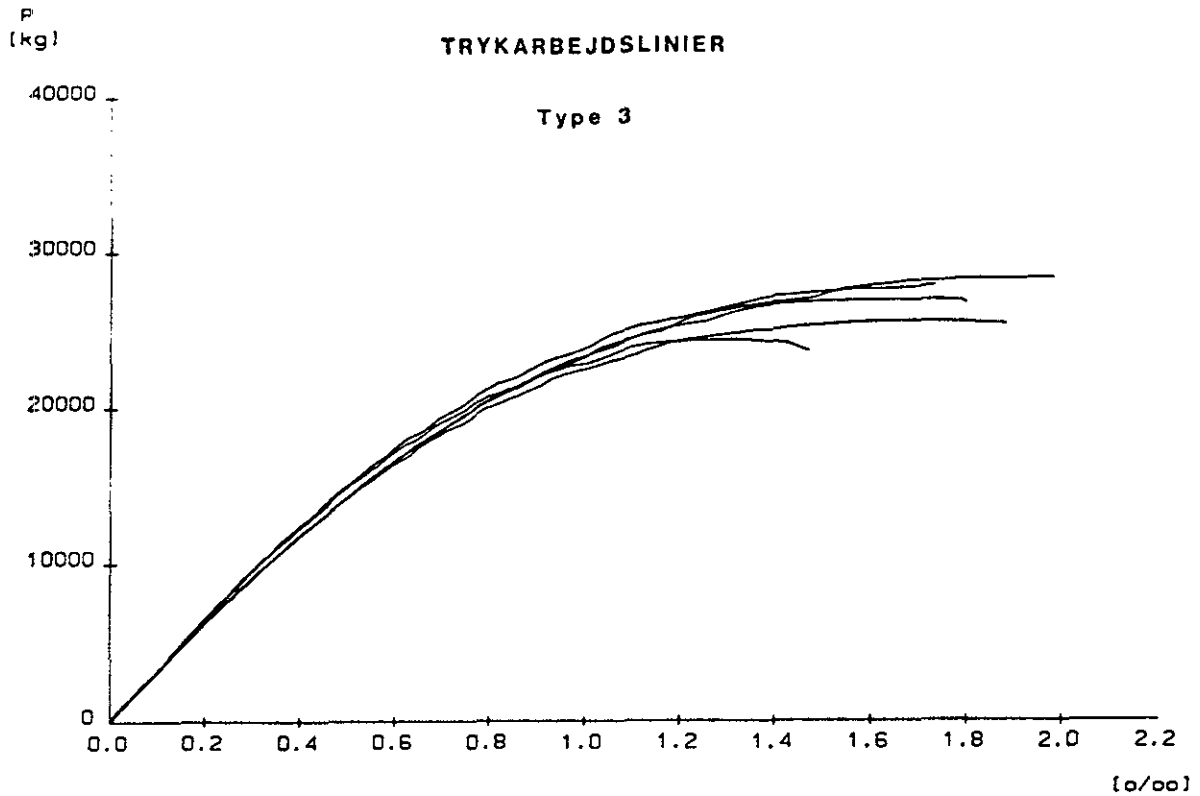
Digitaliserede arbejdslinier og beregnede E-moduler for betonen.



Udtegnet 9/1/1989 FYM

Fig. 3.1. Trykarbejdslinier for betontyperne 1 og 2 som består af søsand og søsten.
For de prøvede betonner er bestemt en gennemsnitsdensitet på 2375 [kg/m³] henholdsvis 2403 [kg/m³] med en empirisk spredning på 20 [kg/m³] henholdsvis 47 [kg/m³].

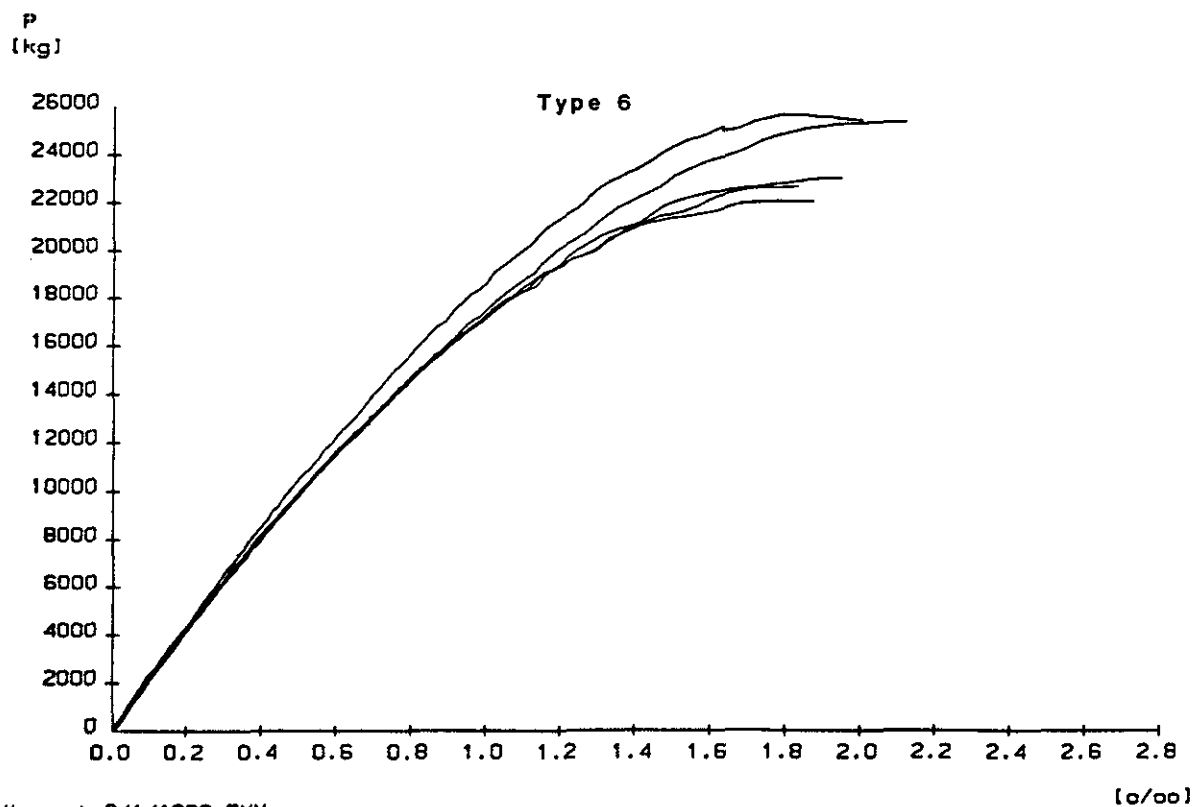
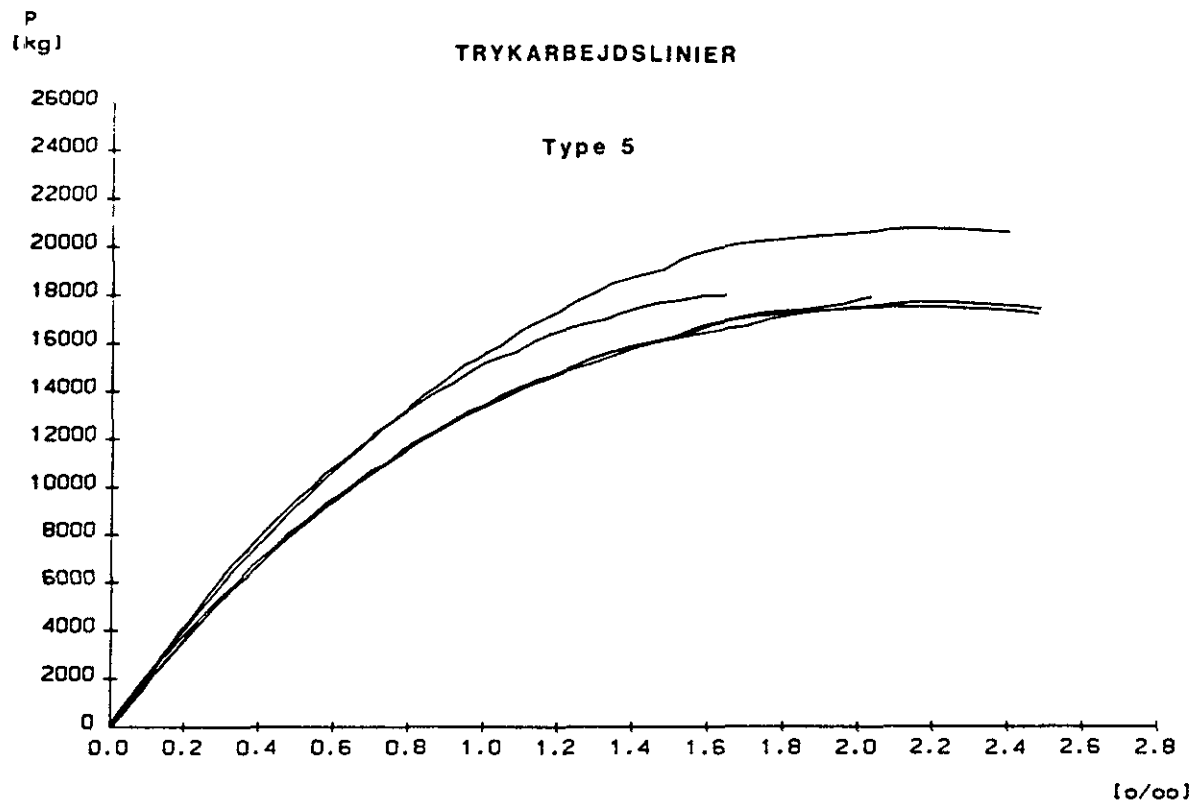
Digitaliserede arbejdslinier og beregnede E-moduler for betonen.



Udtæget 9/1/1989 FYM

Fig. 3.2. Trykarbejdslinier for betontyperne 3 og 4 som består af søsand og genanvendte betonrester som stentilslag. For de prøvede betonemner er bestemt en gennemsnitsdensitet på 2269 $[\text{kg}/\text{m}^3]$ henholdsvis 2268 $[\text{kg}/\text{m}^3]$ og med en empirisk spredning på 34 $[\text{kg}/\text{m}^3]$ henholdsvis 9 $[\text{kg}/\text{m}^3]$.

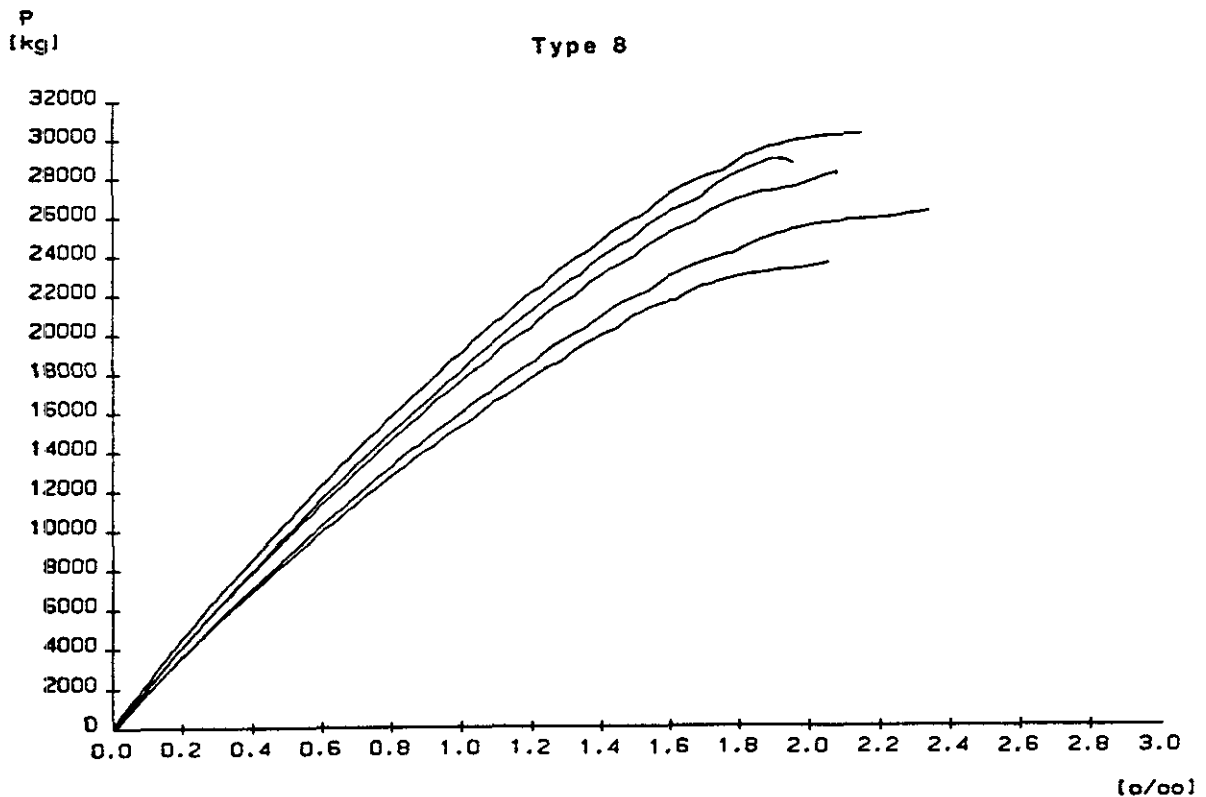
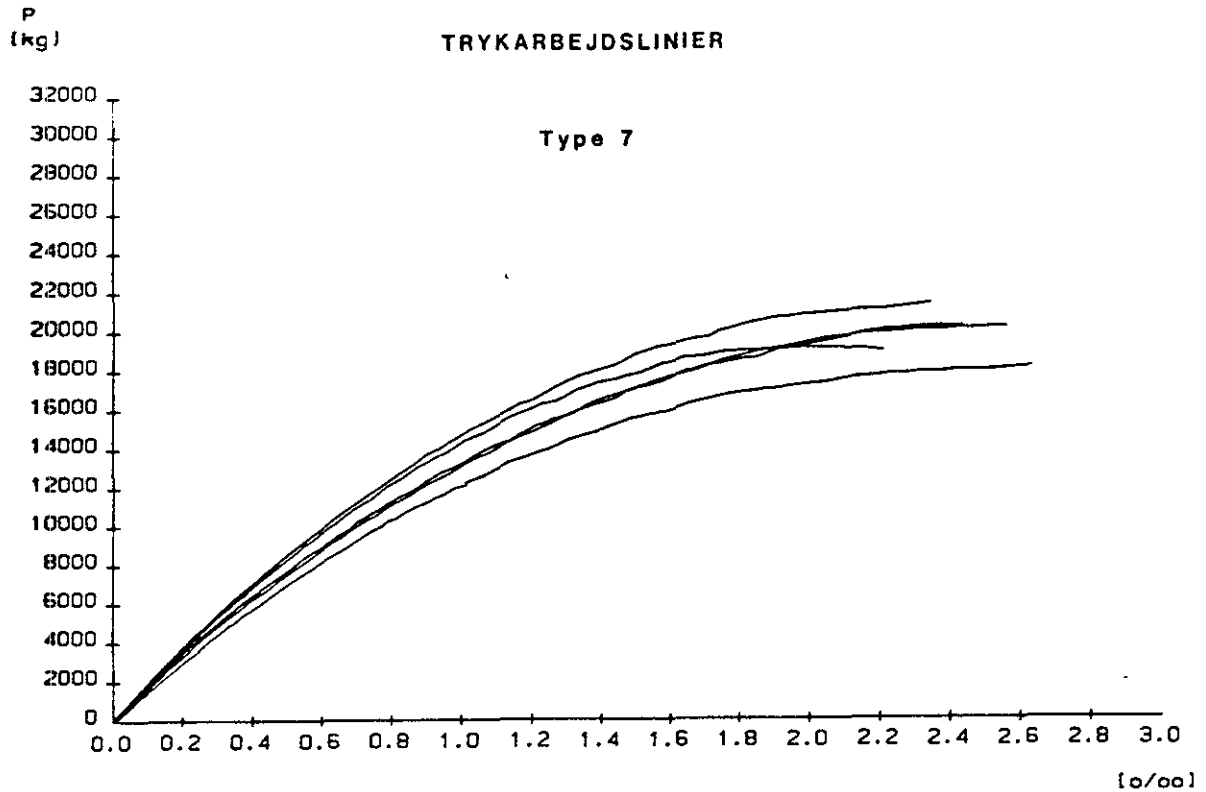
Digitaliserede arbejdslinier og beregnede E-moduler for betonen.



Udtegnet 9/1/1989 FYM

Fig. 3.3. Trykarbejdslinier for betontyperne 5 og 6 som består af søsand og bygningsaffald bestående overvejende af hårdt-brændte teglsten som stentilslag. For de prøvede betonemner er bestemt en gennemsnitsdensitet på 2129 [kg/m³] henholdsvis 2143 [kg/m³] og med en empirisk spredning på 13 [kg/m³] henholdsvis 13 [kg/m³].

Digitaliserede arbejdslinier og beregnede E-moduler for betonen.



Udtegnet 9/1/1989 FYM

Fig. 3.4. Trykarbejdslinier for betontyperne 7 og 8 som består af søsand og bygningsaffald bestående af svagtbrændte teglsten som stentilslag.
For de prøvede betonemner er bestemt en gennemsnitsdensitet på 2129 [kg/m³] henholdsvis 2149 [kg/m³] og med en empirisk spredning på 41 [kg/m³] henholdsvis 14 [kg/m³].

Tabel 3.3. Beregnede elasticitetsmoduler (bøjetræk).

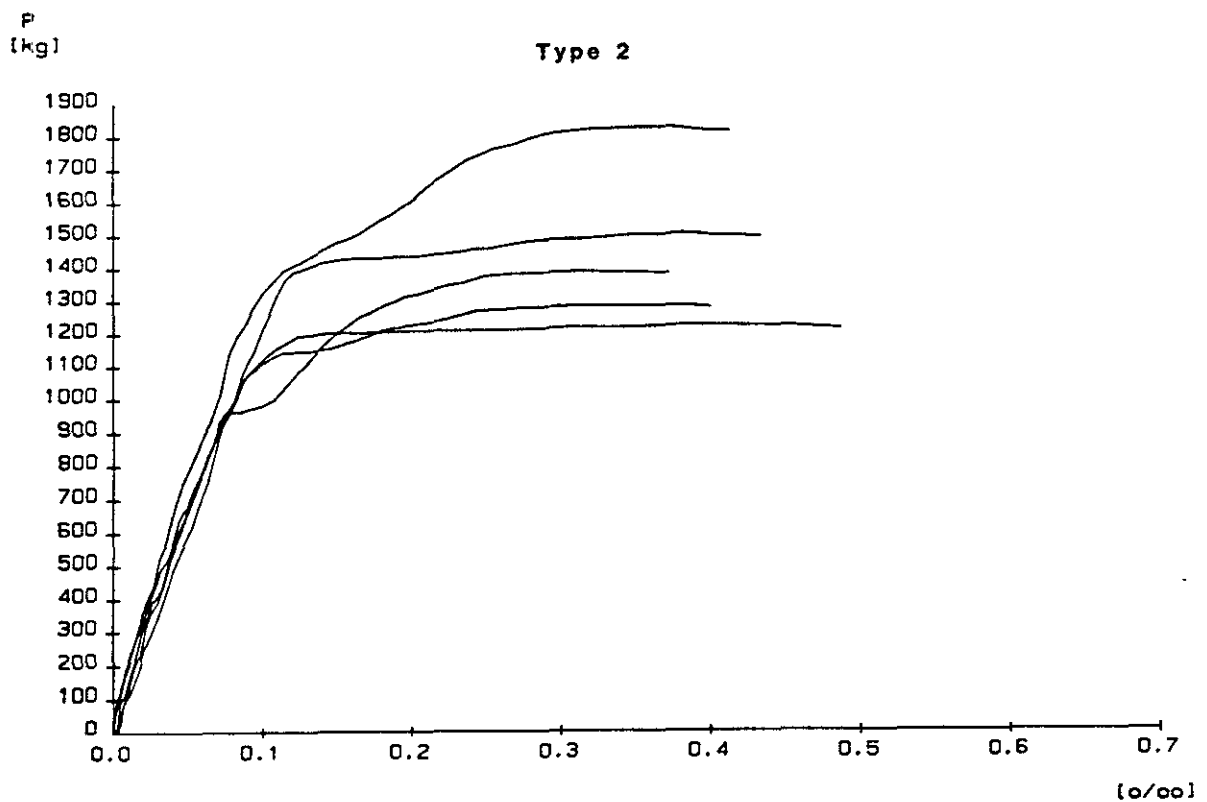
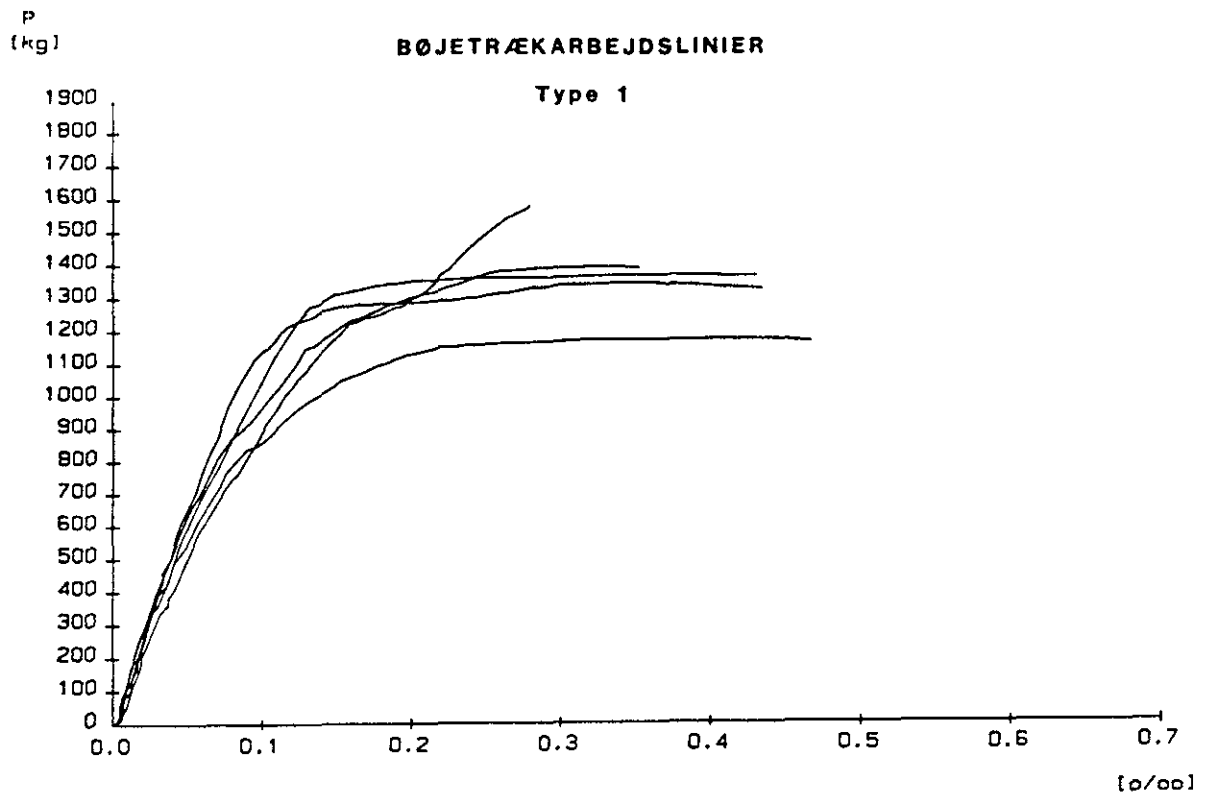
Betontype Emne nr.	Middel- værdi og spredning	Bøjetrækarbejdslinier 100 x 150 x 600 mm		Betonprismer		Bemærkninger
		Bedste linie gennem 0.0 E ₀ -modul x 10 ³ [MPa]	Brudlast [MPa]	Sekantmodul E-sek-50% x 10 ³ [MPa]		
1	\bar{x}_5	11	31.0	3.25	31.0	Naturligt stentilslag Tilstræbt trykstyrke 15 MPa Densitet \bar{x} = 2380 kg/m ³ s = 18 -
		12	27.0 27.8	2.83 3.31	26.0 27.2	
		13	23.6	3.82	21.9	
		14	26.4 3.1	3.31 0.35	28.1 3.5	
		15	30.8	3.37	28.9	
2	\bar{x}_5	11	30.6	3.64	31.8	Tilstræbt trykstyrke 25 MPa Densitet \bar{x} = 2376 kg/m ³ s = 23 -
		12	33.4 33.0	3.11 3.5	32.7 31.9	
		13	40.2	4.42	34.9	
		14	31.6 4.3	3.36 0.58	31.8 2.3	
		15	29.1	2.96	28.4	
3	\bar{x}_5	11	32.0	3.26	20.4	Stentilslag genbrug bedst muligt. Tilstræbt trykstyrke 15 MPa Densitet \bar{x} = 2277 kg/m ³ s = 24 -
		12	23.9 27.0	3.07 2.92	23.6 25.1	
		13	30.4	2.89	32.4	
		14	23.9 3.9	2.66 0.24	25.2 4.0	
		15	24.8	2.74	25.0	
4	\bar{x}_5	11	25.1	3.32	25.4	Tilstræbt trykstyrke 25 MPa Densitet \bar{x} = 2280 kg/m ³ s = 17 -
		12	28.3 25.8	2.92 3.25	24.5 22.9	
		13	22.5	3.67	20.9	
		14	25.1 2.4	3.35 0.30	22.5 2.0	
		15	28.0	2.99	21.1	
5	\bar{x}_5	11	15.2	2.29	13.3	Stentilslag dårligst i gen- brugsklasse 2000 kg/m ³ , tegl Tilstræbt trykstyrke 15 MPa Densitet \bar{x} = 2126 kg/m ³ s = 17 -
		12	13.9 15.2	2.08 8.30	12.9 14.4	
		13	14.4	2.45	14.8	
		14	19.2 2.3	2.30 0.14	18.6 2.5	
		15	13.5	2.40	12.5	
6	\bar{x}_5	11	22.6	2.45	14.3	Tilstræbt trykstyrke 25 MPa Densitet \bar{x} = 2141 kg/m ³ s = 12 -
		12	21.6 19.5	2.90 2.82	14.8 16.1	
		13	19.1	2.94	18.5	
		14	15.7 2.7	2.99 0.22	14.5 2.4	
		15	18.6	2.85	19.0	
7	\bar{x}_5	11	18.4	2.72	18.8	Stentilslag dårligst i gen- brugsklasse 1800 kg/m ³ , tegl Tilstræbt trykstyrke 15 MPa Densitet \bar{x} = 2143 kg/m ³ s = 31 -
		12	16.1 17.6	2.40 2.62	15.5 16.6	
		13	17.6	2.55	17.6	
		14	20.1 1.8	2.51 0.20	16.1 1.5	
		15	15.6	2.9	15.2	
8	\bar{x}_5	11	20.6	3.85	19.8	Tilstræbt trykstyrke 25 MPa Densitet \bar{x} = 2154 kg/m ³ s = 17 -
		12	16.7 19.1	3.35 3.52	15.6 17.9	
		13	21.2	3.43	18.9	
		14	18.1 1.8	3.15 0.30	17.5 1.6	
		15	18.7	3.81	17.6	

Hver betontype er repræsenteret ved 5 forsøgsemner, og der er anvendt samme belastningshastighed.

Densiteterne for de forskellige betontyper er bestemt ud fra de modtagne betoncylindres aktuelle masse, geometrisk målt højde og diameter.

Sekantmodulet er beregnet ud fra digitaliserede arbejdslinier og beregnet ud fra 50% af brudlasten.

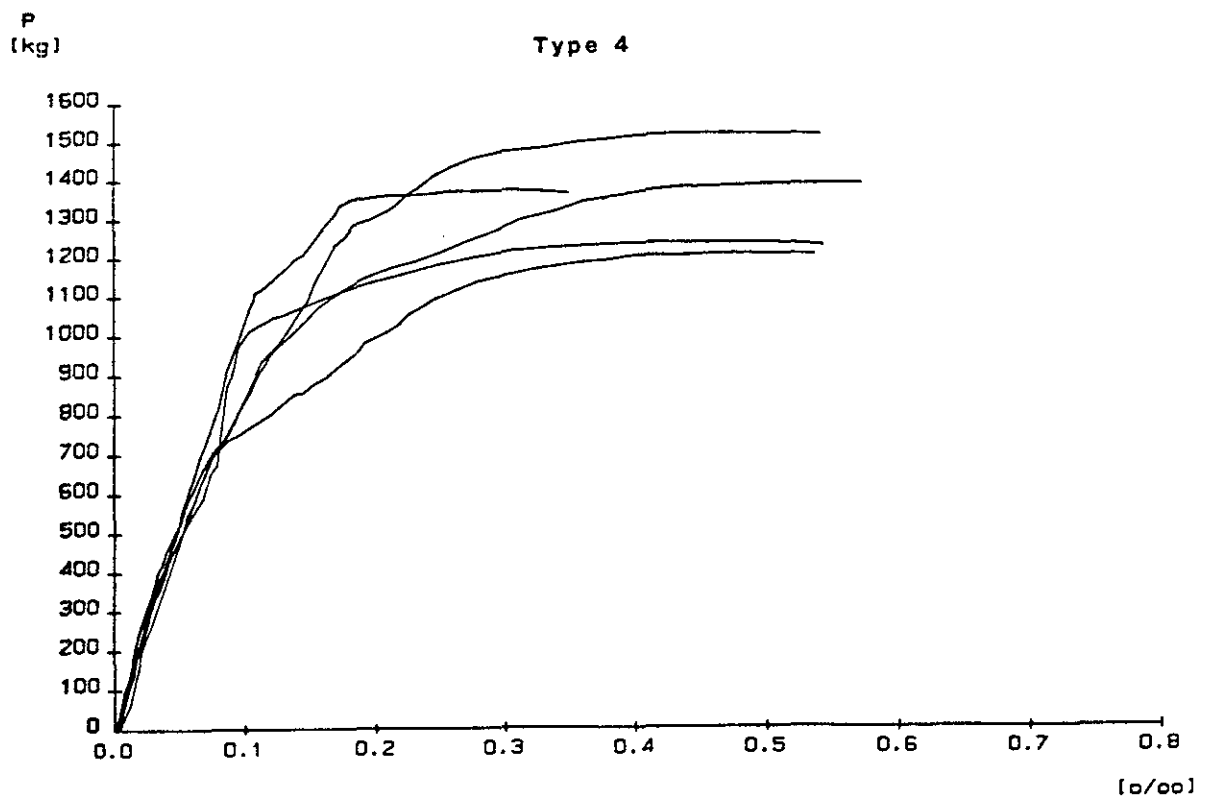
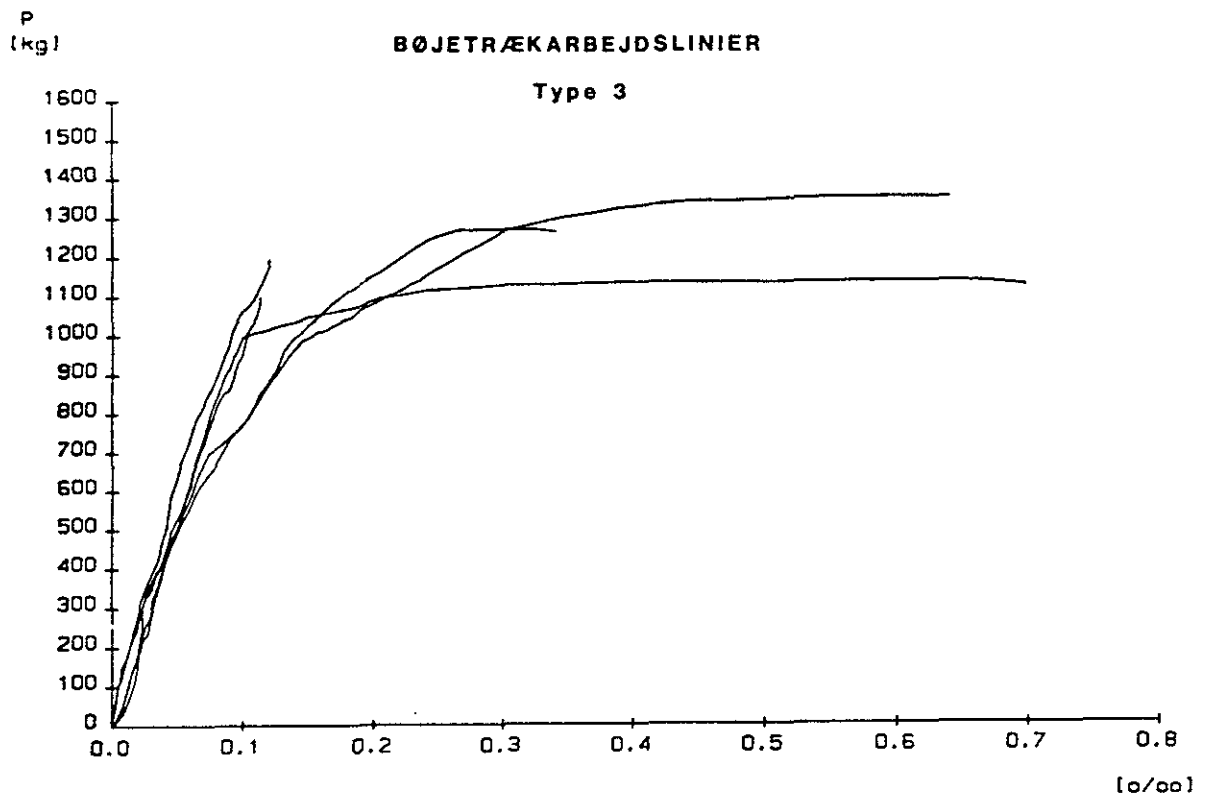
Digitaliserede arbejdslinier og beregnede E-moduler for betonen.



Udtegnet 9/1/1989 FYM

Fig. 3.5. Bøjetrækarbejdslinier for betontyperne 1 og 2, som består af søsand og søsten.

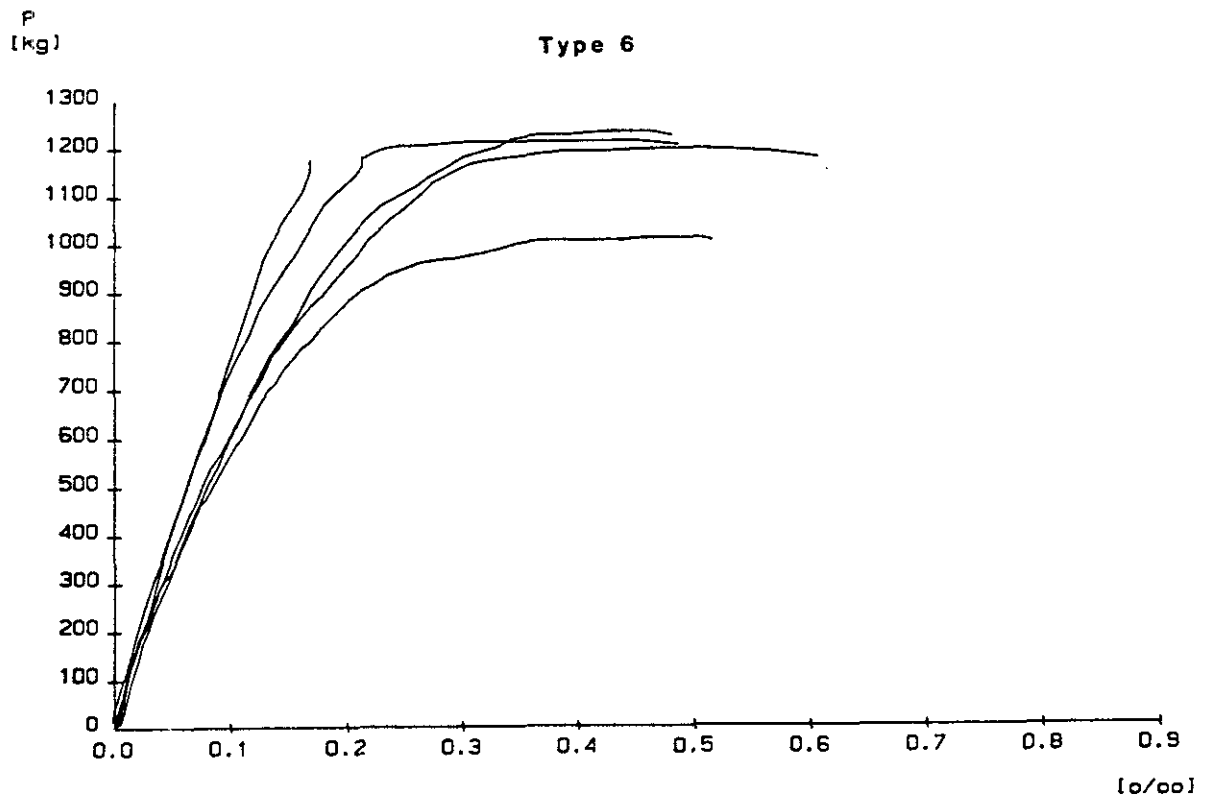
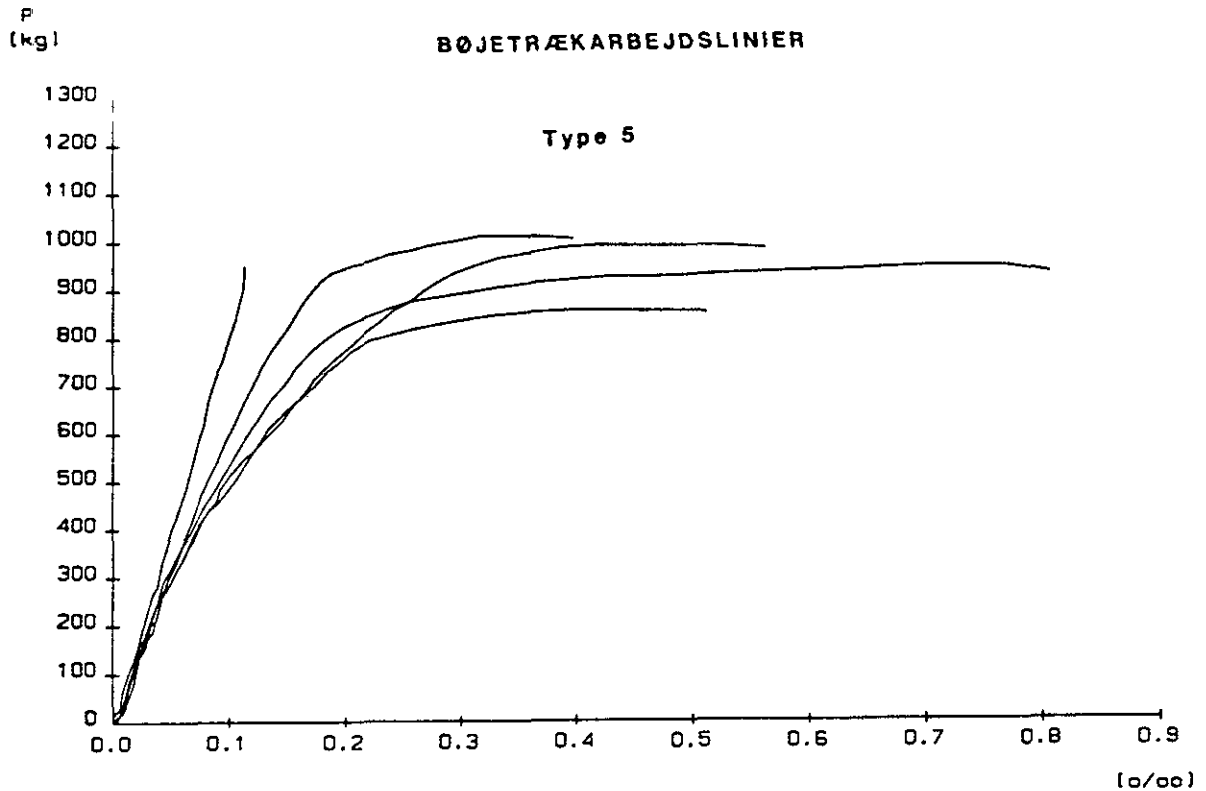
Digitaliserede arbejdslinier og beregnede E-moduler for betonen.



Udtegnet 9/1/1989 FYM

Fig. 3.6. Bøjetrækarbejdslinier for betontyperne 3 og 4, som består af søsand og genanvendte betonrester som stentilslag.

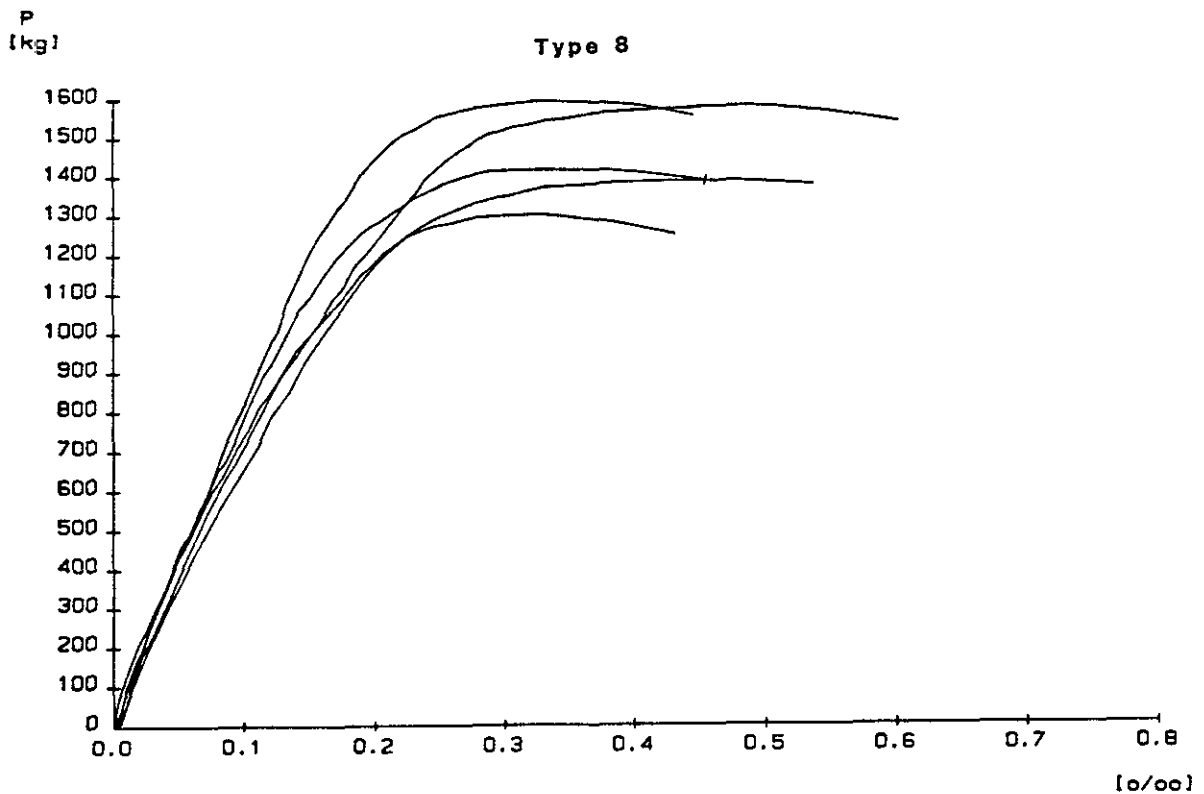
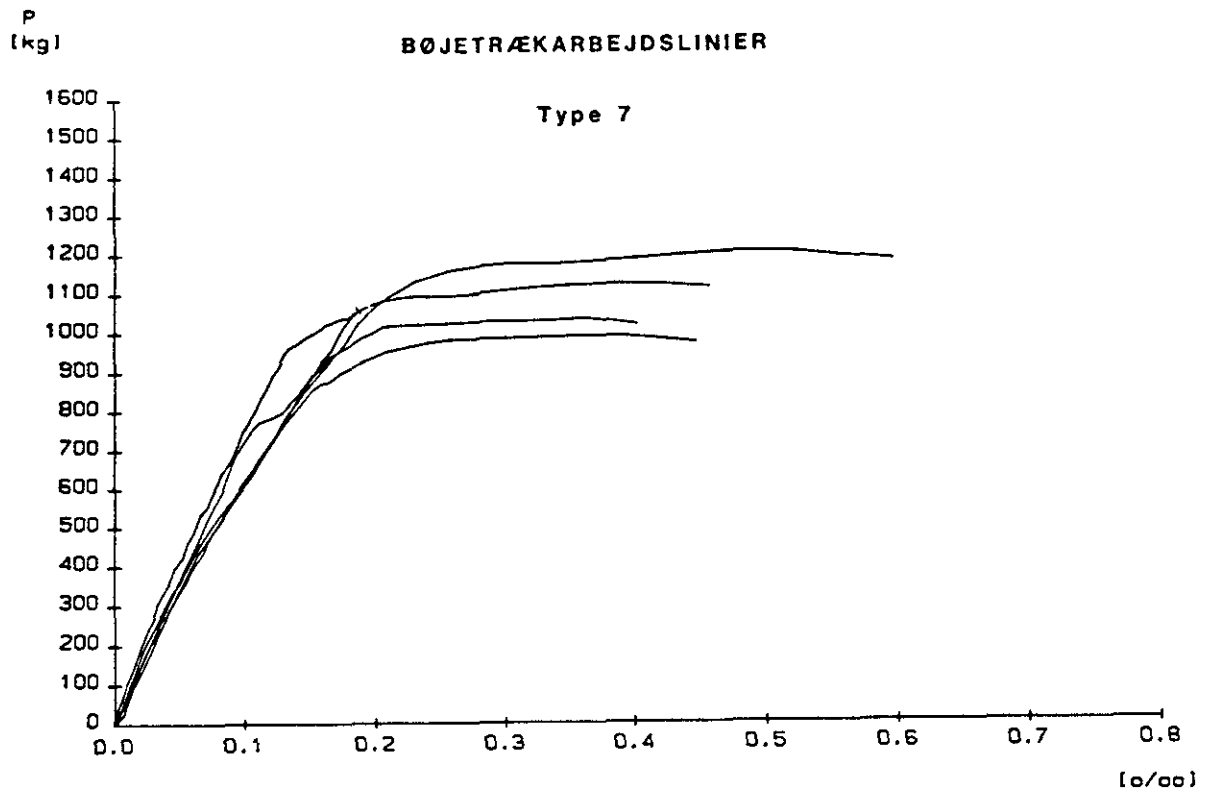
Digitaliserede arbejdslinier og beregnede E-moduler for betonen.



Udtegnat 9/1/1989 FYM

Fig. 3.7. Bøjetrækarbejdslinier for betontyperne 5 og 6, som består af søsand og bygningsaffald bestående af hårdtbrændte teglsten som stentilslag.

Digitaliserede arbejdslinier og beregnede E-moduler for betonen.



Udtegnat 9/1/1989 FYM

Fig. 3.8. Bøjetrækarbejdslinier for betontyperne 7 og 8 som består af søsand bestående af svagtbrændte teglsten som tilslag.

KRYBEFORSØG

I tabellerne 3.4 og 3.5, 3.6 og 3.7 gives krybetal og Poissons forhold til forskellig tid. Tabelopbygningen i de fire tabeller er ens, og til disse kan der knyttes følgende bemærkninger:

1. kolonne: Angivelse af opstillingens, betontypens og emnets nummer.
2. kolonne: Forsøgsperiodens varighed i døgn.
3. kolonne: Lastniveau (σ [MPa]) for den pågældende opstilling.
4. kolonne: Kolonnen er inddelt i 3, som giver de enkelte prøveemners krybetal ψ til 7, 28 og 90 døgn. Det skal bemærkes, at 7 og 14 døgn er faste beregningsterminer, medens den 3. termin kan vælges frit i forbindelse med EDB-beregningen af krybetallet.
5. kolonne: Kolonnen er inddelt i 3, som giver Poissons forhold for de enkelte emner $\nu = |\epsilon_b/\epsilon_d|$ til 7, 28 og 90 døgn. Den 3. termin vælges frit i forbindelse med EDB-beregningen af Poissons forhold

Ved deformationsmålinger på tværs af cylinderen vil målepunktsafstanden på den n'te dag (b_n) generelt være større end målepunktsafstanden på den 0'te dag, hvilket ud fra definitionen af ϵ_b bevirker et minus som fortegn.

For hver opstilling er derefter beregnet en simpel middelværdi og empirisk spredning for krybetal og Poissons forhold. I de tilfælde, hvor prøveemner er gået i stykker eller målepunkter er faldet af, er der på dette markeret med --- i tabellen.

Tabel 3.4. Krybetal og Poissons forhold (opstilling 1-5).

Middel temperatur : 21.4°C Middel relativ fugtighed : 30.1%

Emne nr.	Tid (Dgn)	Last niveau (MPa)	Krybetal:			Poissons forhold:			
			7	28	90	7	28	90	
			(Dgn)			(Dgn)			
1	1-21	92	17.8	1.900	3.913	---	0.284	0.079	---
	1-23	92	17.8	0.266	1.757	3.826	3.291	1.566	---
	1-25	92	17.8	---	---	---	---	---	---
	1-27	92	17.8	---	---	---	---	---	---
	1-29	92	17.8	---	---	---	---	---	---
Middelværdi			1.083	2.835	3.826	1.788	0.823	0.000	
Spredning			1.155	1.525	0.000	2.126	1.051	0.000	
2	3-22	92	15.5	2.306	---	---	0.048	---	---
	3-24	92	15.5	2.236	3.405	---	0.121	0.226	---
	3-26	92	15.5	2.590	4.357	---	0.208	0.311	---
	3-28	92	15.5	2.828	4.979	8.842	0.108	0.056	---
	3-30	92	15.5	2.334	4.505	8.829	0.012	0.022	0.008
Middelværdi			2.459	4.311	8.835	0.099	0.154	0.008	
Spredning			0.246	0.660	0.009	0.075	0.138	0.000	
3	2-21	92	19.2	1.639	2.144	3.561	0.347	0.371	0.312
	2-23	92	19.2	1.905	2.939	4.013	0.040	0.039	0.496
	2-25	92	19.2	2.354	3.553	6.053	0.040	0.064	0.046
	2-27	92	19.2	2.808	5.071	8.021	0.144	0.055	0.027
	2-29	92	19.2	3.236	3.775	6.306	0.084	0.313	0.053
Middelværdi			2.388	3.496	5.591	0.131	0.169	0.187	
Spredning			0.650	1.084	1.819	0.128	0.160	0.209	
4	4-21	92	19.1	---	---	---	---	---	---
	4-23	92	19.1	---	---	---	---	---	---
	4-25	92	19.1	---	---	---	---	---	---
	4-27	92	19.1	---	---	---	---	---	---
	4-29	92	19.1	0.912	3.593	7.547	0.000	0.113	---
Middelværdi			0.912	3.593	7.547	0.000	0.113	0.000	
Spredning			0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
5	5-21	77	10.5	---	---	---	---	---	---
	5-23	77	10.5	---	---	---	---	---	---
	5-25	77	10.5	---	---	---	---	---	---
	5-27	77	10.5	1.689	2.258	---	0.215	0.099	---
	5-29	77	10.5	1.624	3.265	---	0.084	0.044	---
Middelværdi			1.657	2.762	0.000	0.149	0.071	0.000	
Spredning			0.046	0.712	0.000	0.092	0.039	0.000	

Tabel 3.5. Krybetal og Poissons forhold (opstilling 6-10).

Emne nr.	Tid (Dgn)	Last niveau (MPa)	Krybetal:			Poissons forhold:			
			7	28 (Dgn)	90	7	28 (Dgn)	90	
6	7-21	85	11.4	---	---	---	---	---	
	7-23	85	11.4	---	---	---	---	---	
	7-25	85	11.4	---	---	---	---	---	
	7-27	85	11.4	1.626	3.989	---	---	---	
	7-29	85	11.4	1.211	2.270	---	---	---	
	Middelværdi			1.419	3.129	0.000	0.000	0.000	0.000
Spredning			0.294	1.215	0.000	0.000	0.000	0.000	
7	6-21	1	13.4	---	---	---	---	---	
	6-23	1	13.4	---	---	---	---	---	
	6-25	1	13.4	---	---	---	---	---	
	6-27	1	13.4	---	---	---	---	---	
	6-29	1	13.4	---	---	---	---	---	
	Middelværdi			0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Spredning			0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
8	8-21	92	15.6	---	---	---	---	---	
	8-23	92	15.6	---	---	---	---	---	
	8-25	92	15.6	---	---	---	---	---	
	8-27	92	15.6	1.196	2.030	3.737	0.142	0.317	0.275
	8-29	92	15.6	1.017	2.210	3.650	0.031	0.062	0.012
	Middelværdi			1.106	2.120	3.694	0.086	0.189	0.144
Spredning			0.126	0.127	0.061	0.079	0.180	0.186	
9	1-22	96	11.4	1.009	3.326	5.786	0.165	0.076	0.045
	1-24	96	11.4	1.777	2.607	5.115	0.175	0.132	0.131
	1-26	96	11.4	2.355	3.500	5.676	---	---	---
	1-28	96	11.4	0.706	1.956	3.357	0.368	0.119	0.156
	1-30	96	11.4	0.659	2.217	4.925	0.996	0.486	0.277
	Middelværdi			1.301	2.721	4.972	0.426	0.203	0.152
Spredning			0.740	0.676	0.973	0.391	0.190	0.096	
10	8-22	85	10.3	2.633	2.943	---	0.110	0.073	---
	8-24	85	10.3	1.566	2.589	---	0.099	0.142	---
	8-26	85	10.3	2.103	2.774	---	0.193	0.000	---
	8-28	85	10.3	1.633	1.949	---	0.277	0.120	---
	8-30	85	10.3	1.392	1.711	---	0.124	0.254	---
	Middelværdi			1.865	2.393	0.000	0.161	0.118	0.000
Spredning			0.503	0.536	0.000	0.075	0.093	0.000	

Tabel 3.6. Krybetal og Poissons forhold (opstilling 11-15).

Emne nr.	Tid (Dgn)	Last niveau (MPa)	Krybetal:			Poissons forhold:			
			7	28	90	7	28	90	
			(Dgn)			(Dgn)			
11	2-22	96	12.9	0.067	2.187	5.539	0.356	0.114	0.066
	2-24	96	12.9	1.006	3.189	7.598	---	---	---
	2-26	96	12.9	0.755	1.895	5.704	0.473	0.216	0.109
	2-28	96	12.9	1.618	2.966	5.198	0.308	0.080	0.016
	2-30	96	12.9	0.892	2.210	6.453	0.246	0.033	0.082
	Middelværdi			0.868	2.489	6.098	0.345	0.111	0.068
Spredning			0.556	0.557	0.956	0.096	0.078	0.039	
12	4-22	96	12.9	0.827	2.005	---	0.388	---	---
	4-24	96	12.9	2.748	4.238	7.854	0.200	0.019	0.033
	4-26	96	12.9	0.794	2.219	4.104	0.132	0.030	0.127
	4-28	96	12.9	2.034	3.735	---	0.004	0.032	---
	4-30	96	12.9	3.015	4.684	7.596	0.154	0.108	0.045
	Middelværdi			1.884	3.376	6.518	0.176	0.047	0.068
Spredning			1.043	1.204	2.094	0.139	0.041	0.051	
13	3-21	96	10.4	2.022	5.826	---	0.073	0.054	---
	3-23	96	10.4	1.167	---	---	0.005	---	---
	3-25	96	10.4	2.266	4.107	---	0.080	0.293	---
	3-27	96	10.4	4.321	6.695	10.262	0.013	0.011	0.027
	3-29	96	10.4	3.452	6.810	14.373	---	---	---
	Middelværdi			2.646	5.860	12.318	0.042	0.119	0.027
Spredning			1.243	1.248	2.906	0.039	0.152	0.000	
14	6-22	96	8.7	1.510	2.499	---	0.131	0.106	---
	6-24	96	8.7	1.670	3.441	7.182	0.189	0.012	0.029
	6-26	96	8.7	0.841	3.034	---	0.585	0.408	---
	6-28	96	8.7	2.276	4.091	6.827	0.173	0.179	0.098
	6-30	96	8.7	1.477	2.842	5.612	0.163	0.128	0.229
	Middelværdi			1.555	3.181	6.540	0.248	0.166	0.119
Spredning			0.513	0.612	0.823	0.190	0.148	0.102	
15	5-22	96	7.2	1.114	3.569	---	1.497	---	---
	5-24	96	7.2	1.058	3.681	6.877	0.147	0.049	0.050
	5-26	96	7.2	0.945	2.458	4.550	0.235	0.175	0.001
	5-28	96	7.2	0.841	2.331	---	0.665	0.319	---
	5-30	96	7.2	2.641	5.819	12.052	0.132	0.138	0.088
	Middelværdi			1.320	3.572	7.826	0.535	0.170	0.047
Spredning			0.746	1.400	3.840	0.580	0.112	0.044	

Tabel 3.7. Krybetal og Poissons forhold (opstilling 16).

Emne nr.	Tid (Dgn)	Last niveau (MPa)	Krybetal:			Poissons forhold:			
			7	28	90	7	28	90	
16	7-22	96	7.4	3.164	7.346	---	0.087	0.029	---
	7-24	96	7.4	3.212	---	---	0.166	---	---
	7-26	96	7.4	1.372	2.973	5.512	0.109	0.216	0.103
	7-28	96	7.4	3.664	7.495	---	0.071	0.004	---
	7-30	96	7.4	---	---	---	---	---	---
Middelværdi			2.853	5.938	5.512	0.108	0.083	0.103	
Spredning			1.012	2.569	0.000	0.042	0.116	0.000	

På de følgende sider præsenteres diagrammer, der viser gennemsnitsværdier for, krybetal og Poissons forhold som fkt. af tiden for 1 og 2, 3 og 4, 5 og 6 samt 7 og 8. For alle de viste diagrammer gælder, at middelkurverne er givet for sammenhørende betontyper ved højt og lavt lastniveau (45% og 30% af brudlast. De enkelte prøveemners detaljerede deformationsforhold i undersøgelsesperioden er givet i bilagsmaterialet.

I fig. 3.9 er vist eksempler på prøveemner, der er brudt i forbindelse med opspændingen.

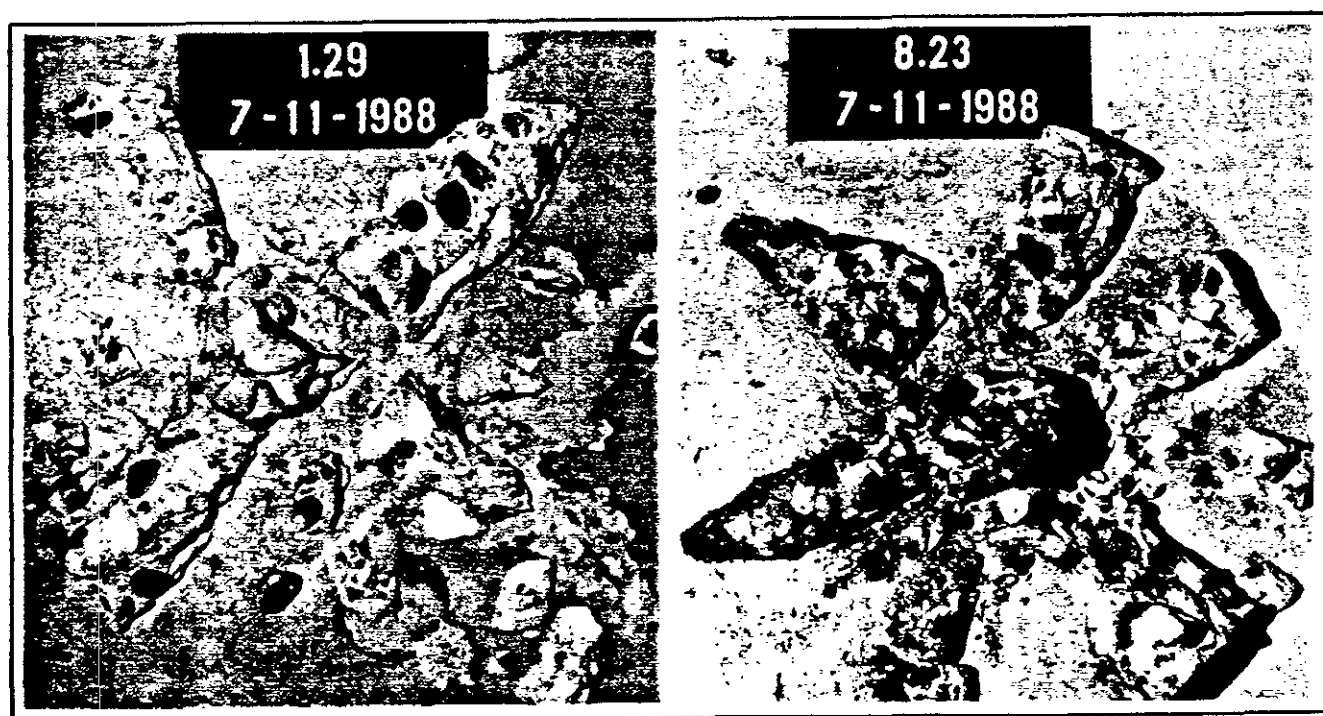


Fig. 3.9 Brud i type 1- og type 8-betonemner ved opspændingen, ved hvilken der er lastet op til 60% af den gennemsnitlige brudstyrke for den aktuelle betontype.

KRYBEFORSØG MED GENANVENDELSESBETON DBF-1988.

Middeltemperatur : 21.1°C; Middel rel.fugt : 29.6 %;

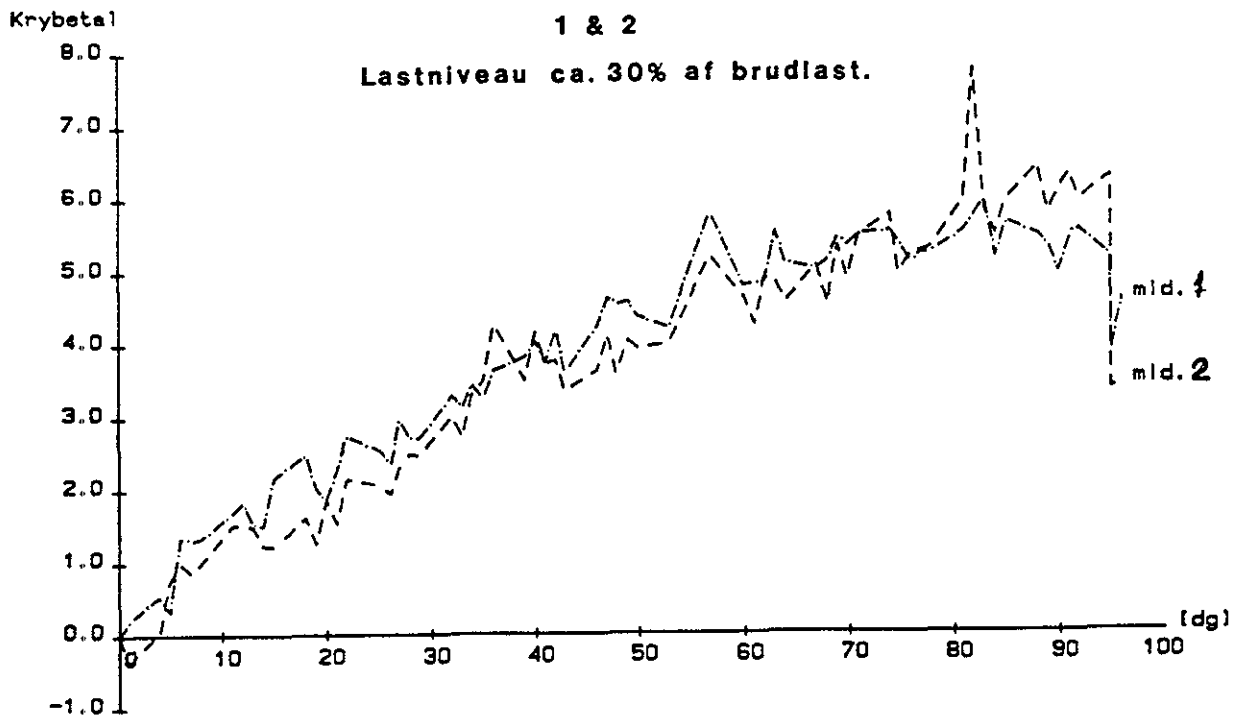
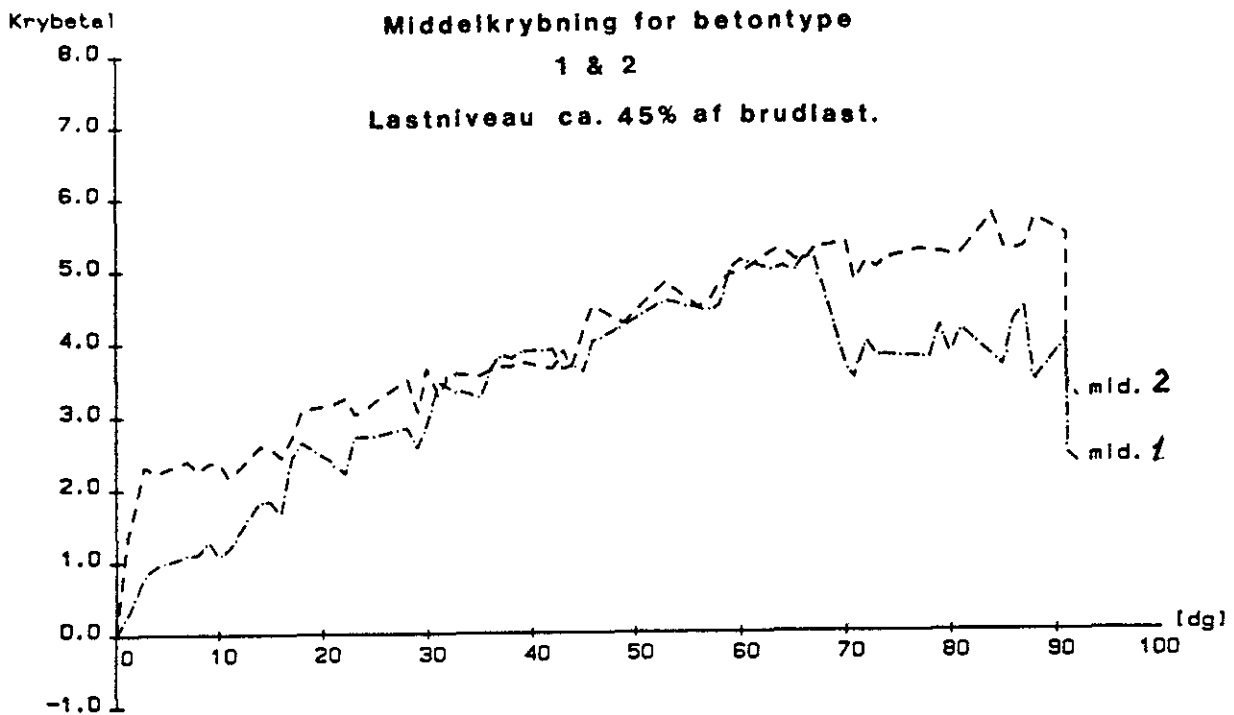


Fig. 3.10. Kurveforløbet ved højt og lavt lastniveau varierer en del fra måling til måling men den generelle tendens er nogenlunde ens. Springet på kurve 2 i øverste diagram er bestemt af middeltalsdannelsen, som beregnes ud fra de aktuelt virksomme emner. Det lodrette fald sidst på kurverne er deformationsmålinger, der er foretaget umiddelbart efter aflastning af delopstillingen.

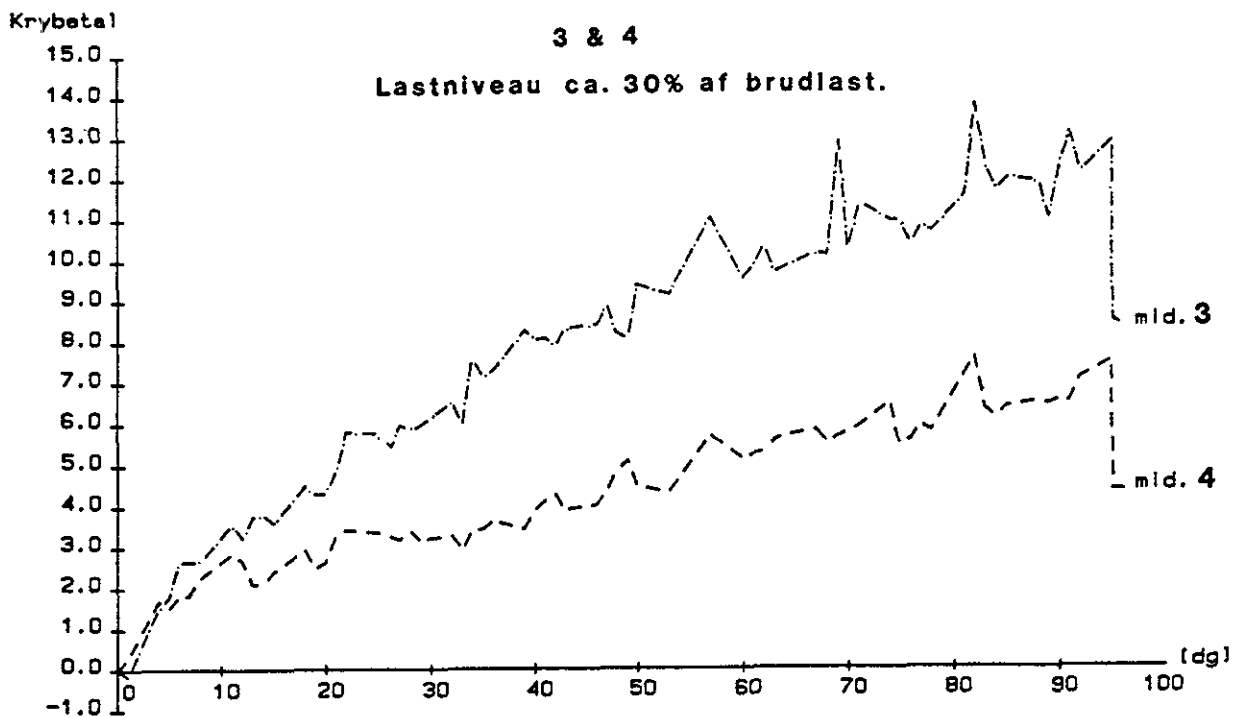
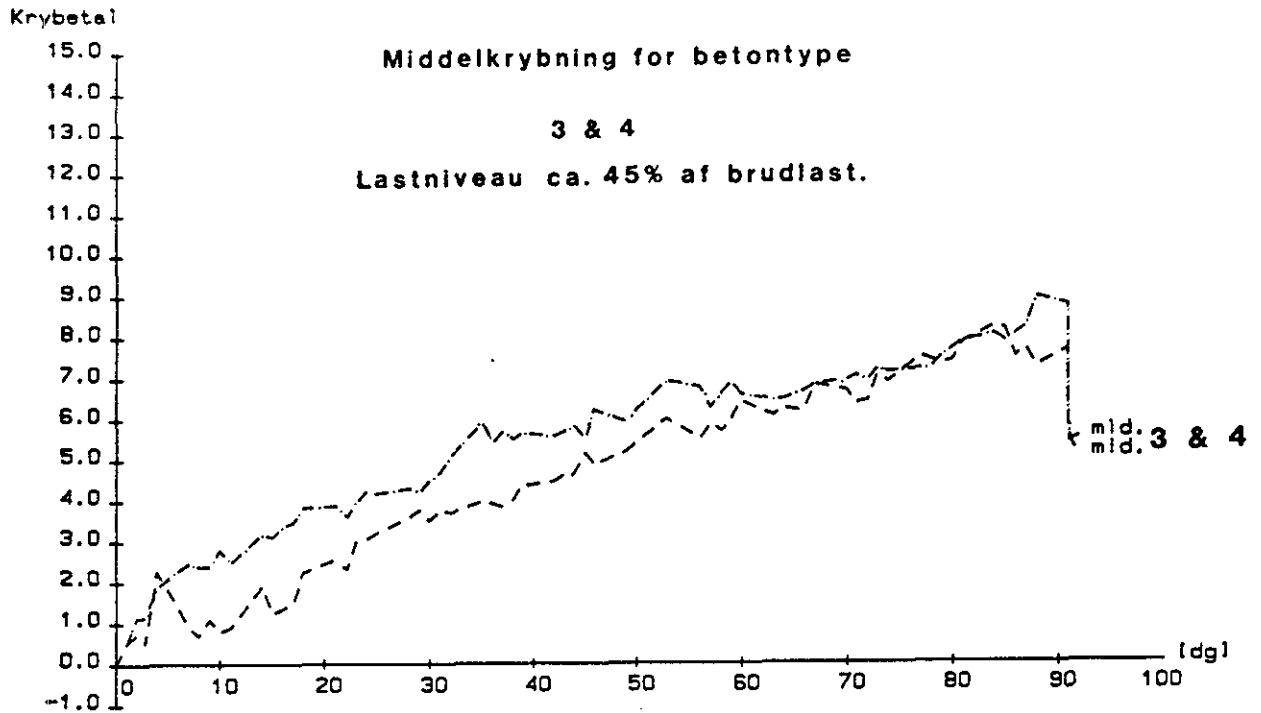


Fig. 3.11. Under hensyntagen til variationerne fra måling til måling nogen forskel på krybnings niveauet for de 2 betontyper, men forskellen er ikke stor og krybetallets slutværdi synes at nærme sig hinanden. Det lodrette fald sidst på kurverne er deformationsmålinger, der er foretaget umiddelbart efter aflastning af delopstillingen.

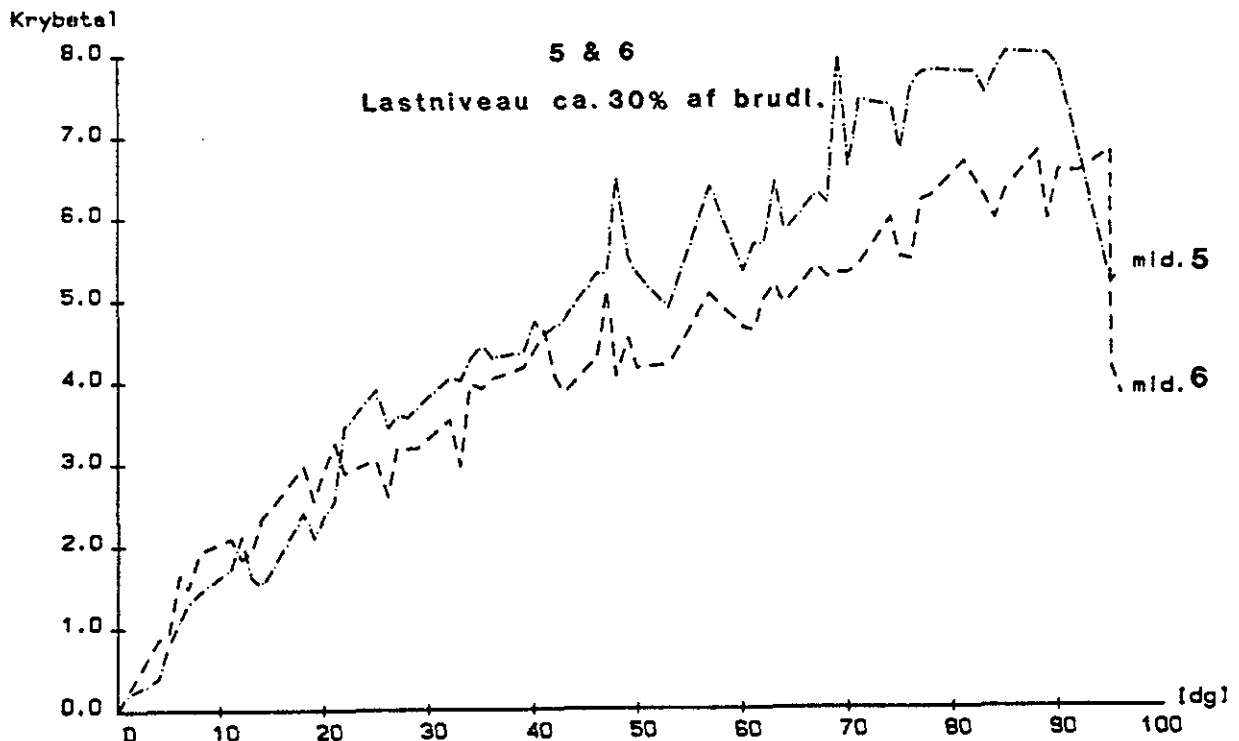
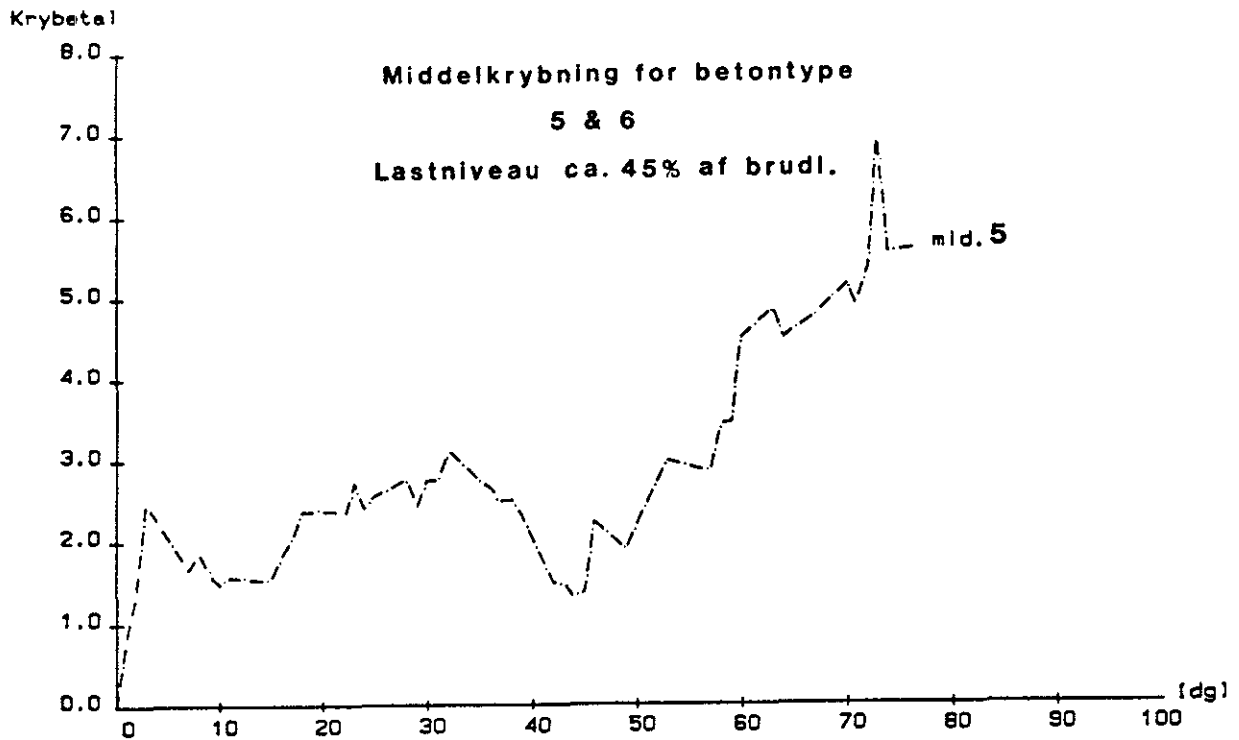


Fig. 3.12. Ved højt lastniveau brød samtlige betontype-6-emner ved det oprindeligt påtænkte lastniveau på 60% af brudlast. Ved det lave lastniveau følger de 2 betontyper hinanden i hele forløbet og krybetallets slutværdi vil blive på samme niveau. Det lodrette fald sidst på kurven er deformationsmålinger, der er foretaget umiddelbart efter aflastning af delopstillingen.

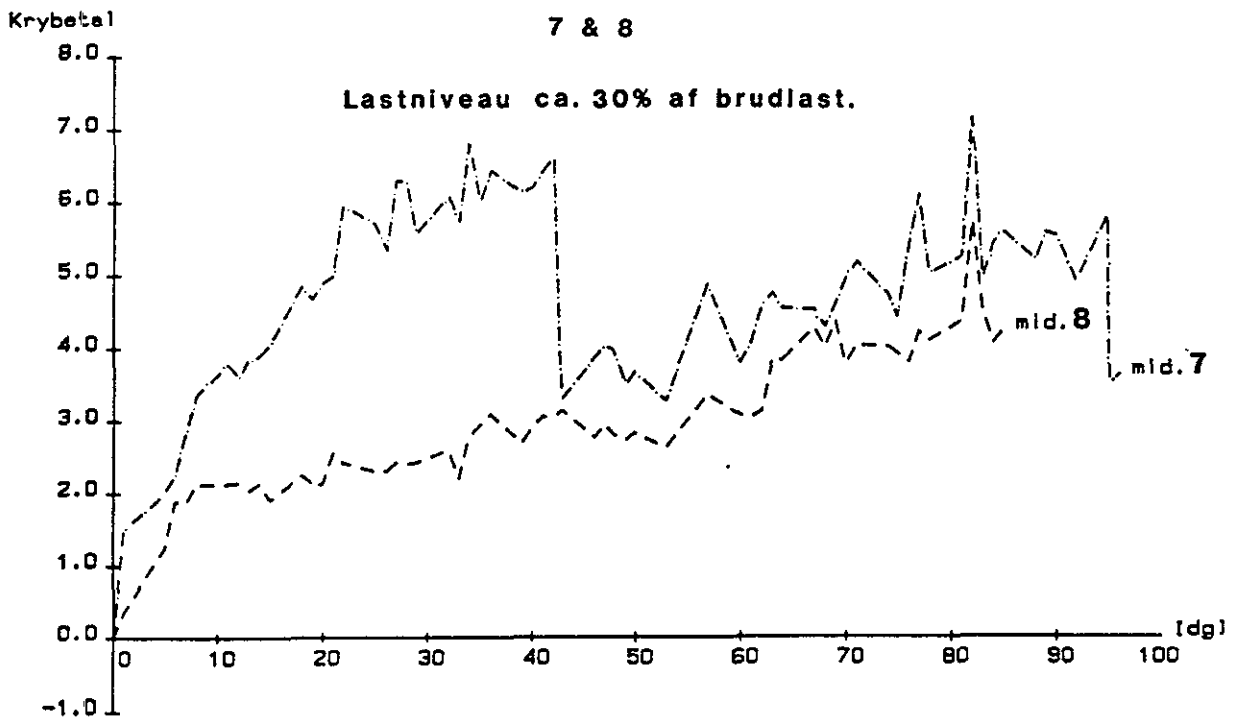
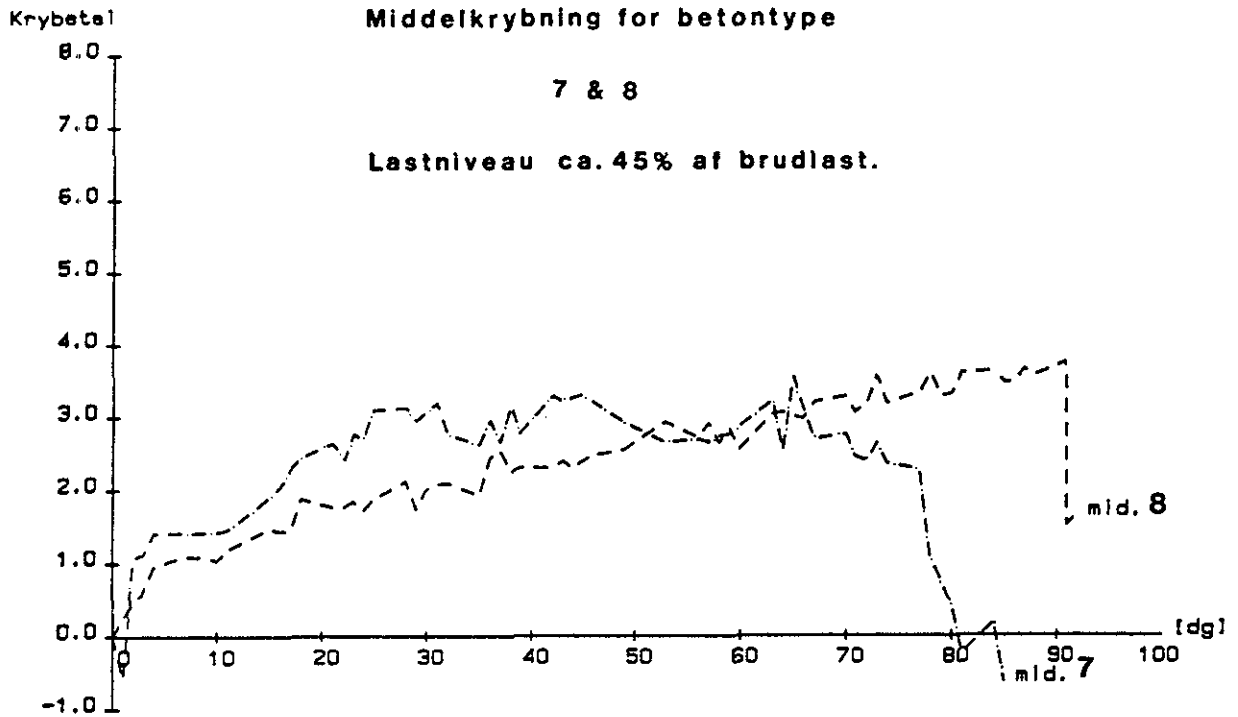
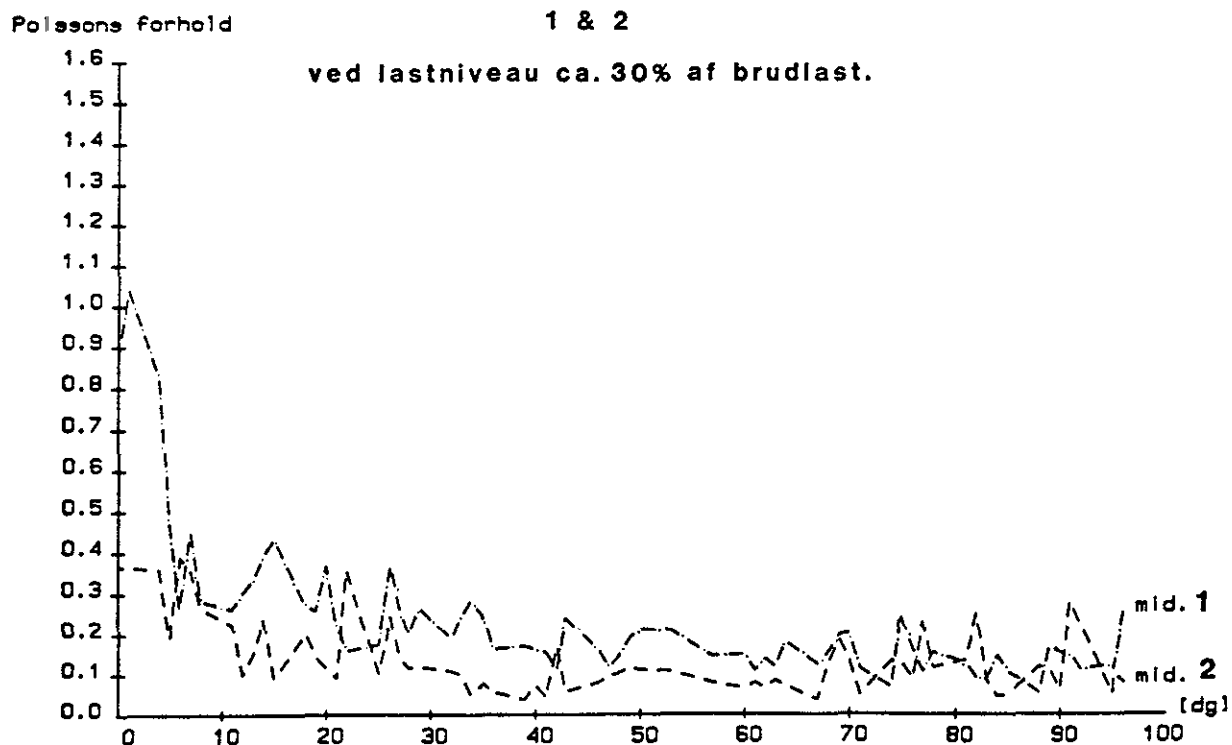
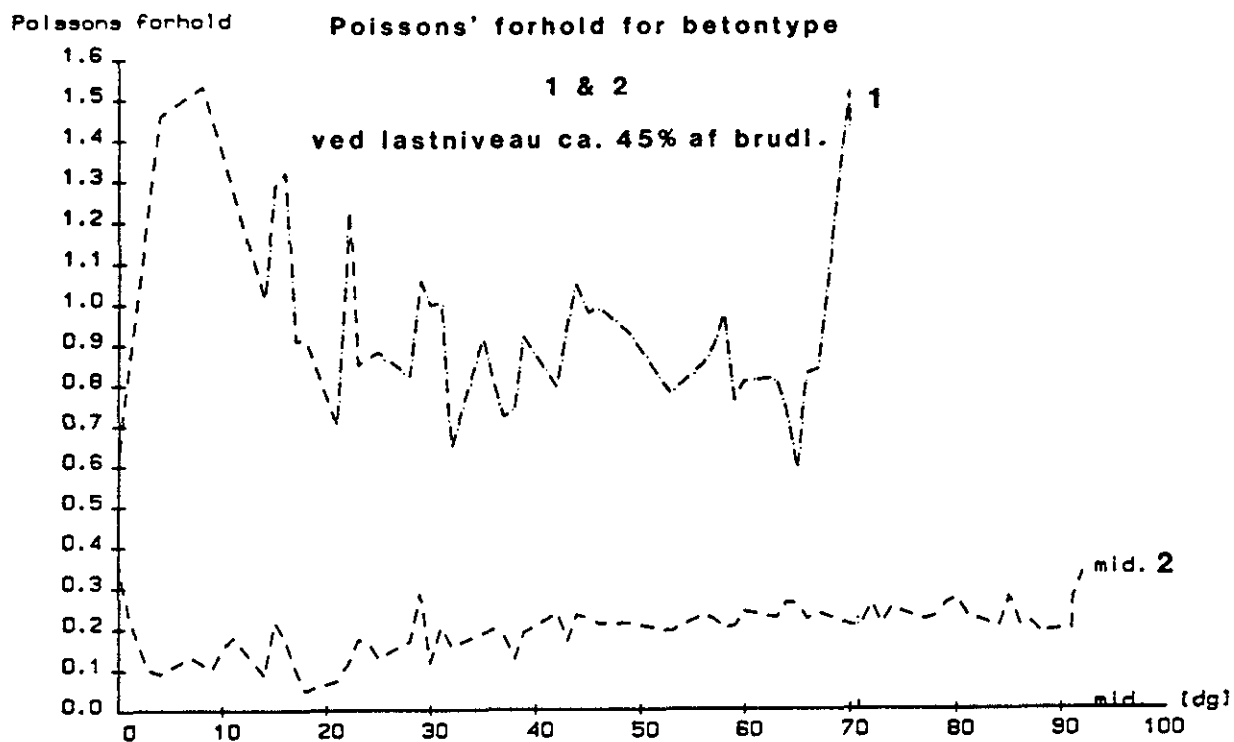


Fig. 3.13. Ved det høje lastniveau følger de to betontyper stort set hinanden; men ved det lave lastniveau er der observeret forskelle, som ikke umiddelbart kan forklares.

KRYBEFORSØG MED GENANVENDELSESBETON DBF-1988.

Middeltemperatur : 21.1°C; Middel rel.fugt : 29.6 %; Opstilling 1.



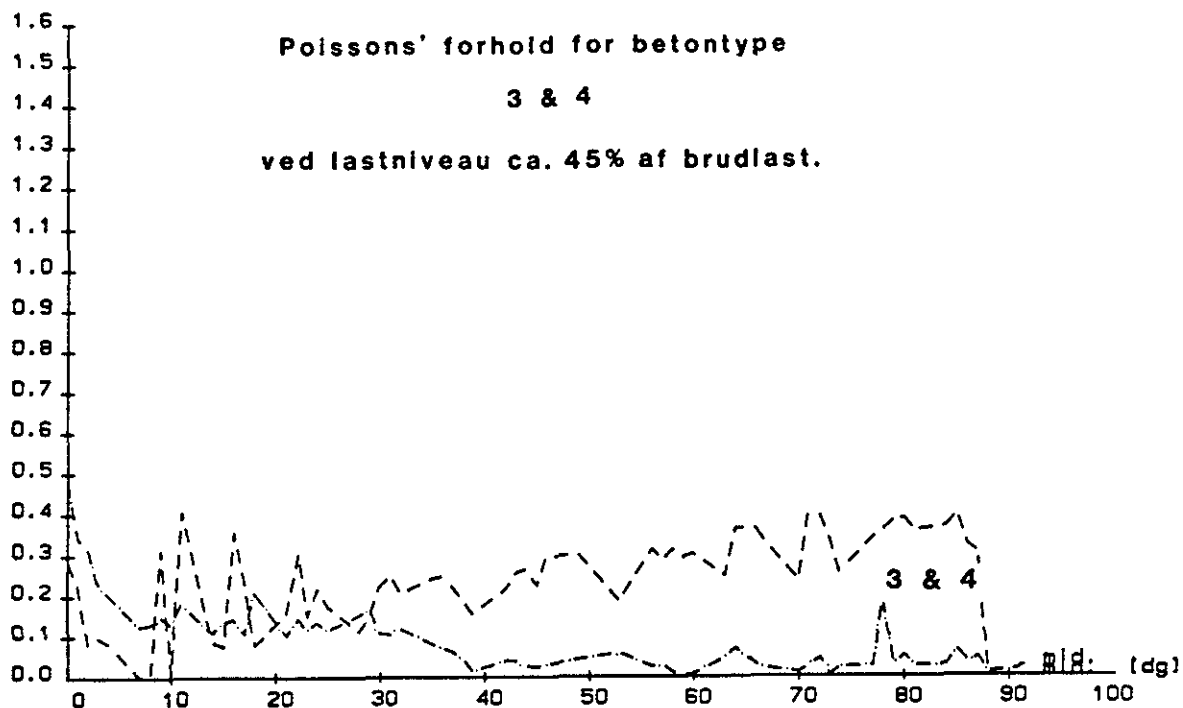
Udtegnet 25/5/1989 FYM-DIAB

Fig. 3.14. Målingerne er behæftet med store variationer; men det generelle niveau skønnes at ligge på ~ 0.1 til 0.2

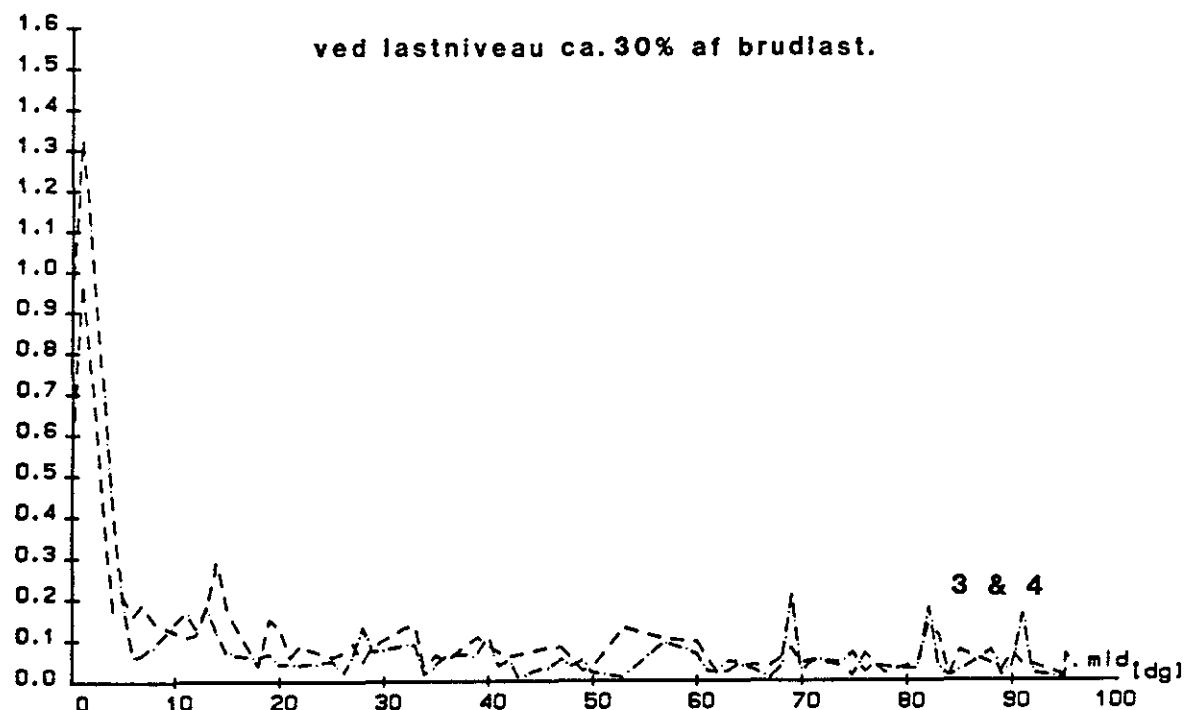
KRYBEFORSØG MED GENANVENDELSESBETON DBF-1988.

Middeltemperatur : 21.0°C; Middel rel.fugt : 29.7 %; Opstilling 2.

Poissons forhold



Poissons forhold



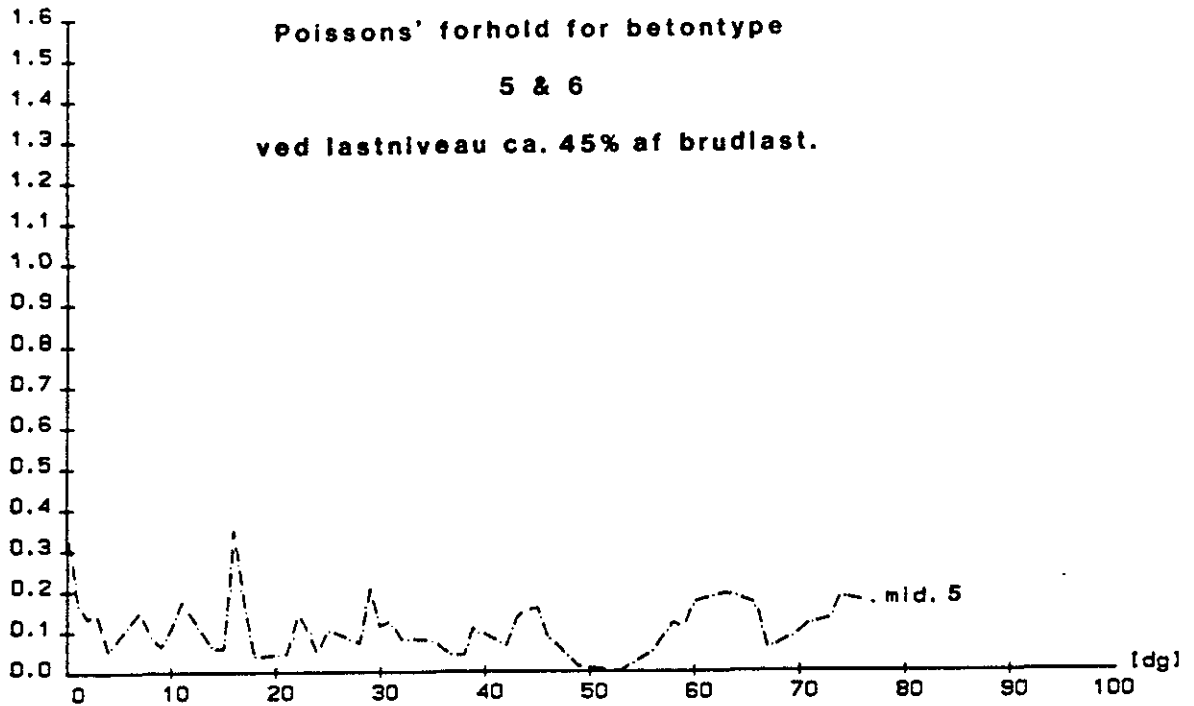
Udtegnet 25/5/1989 FYM-DIAB

Fig. 3.15. Store variationer og et generelt niveau på 0 til 0.2

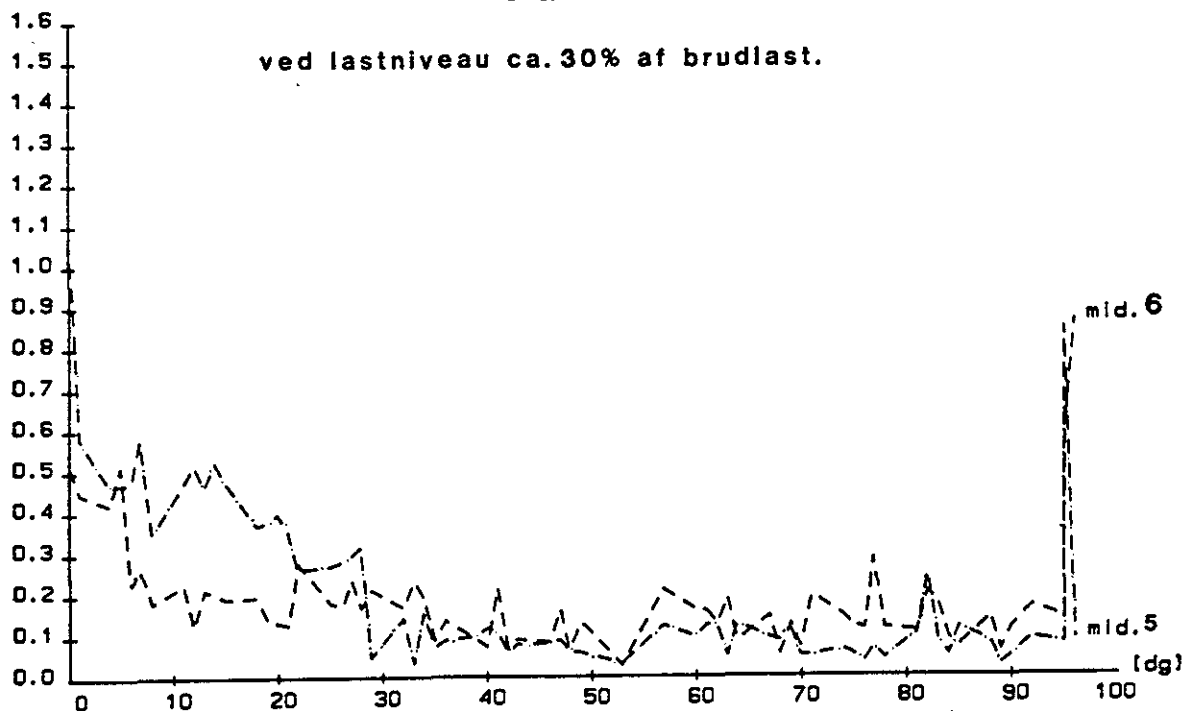
KRYBEFORSØG MED GENANVENDELSES BETON DBF-1988.

Middeltemperatur : 20.9°C; Middel rel.fugt : 29.2 %;

Poissons forhold



Poissons forhold



Udtegnet 25/5/1989 FYM-DIAB

Fig. 3.16. Store variationer og lavt niveau for Poissons forhold. Der kan ikke umiddelbart gives nogen forklaring på de til tider optrædende store kurvespring.

KRYBEFORSØG MED GENANVENDELSESBETON DBF-1988.

Middeltemperatur : 21,0°C; Middel rel.fugt : 29. %;

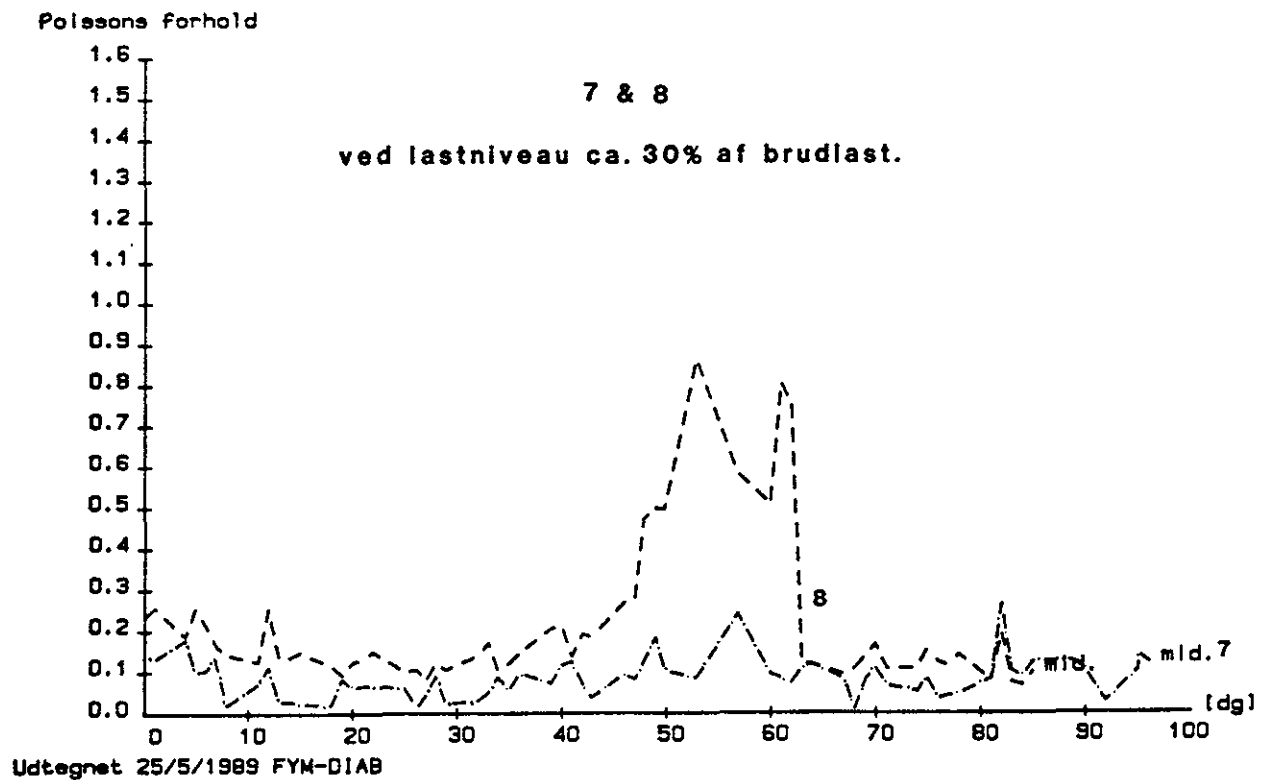
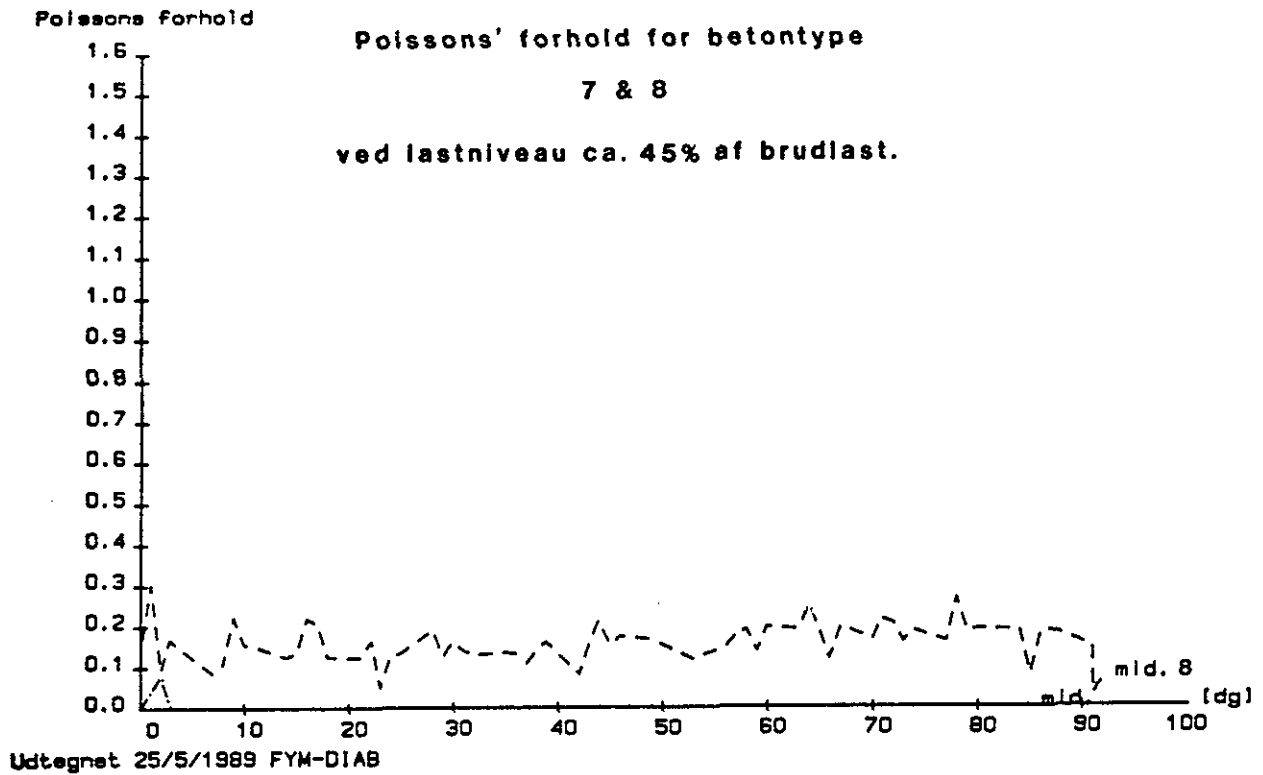


Fig. 3.17. Store variationer og generelt niveau på ~ 0 - 0.2.

SVINDFORSØG

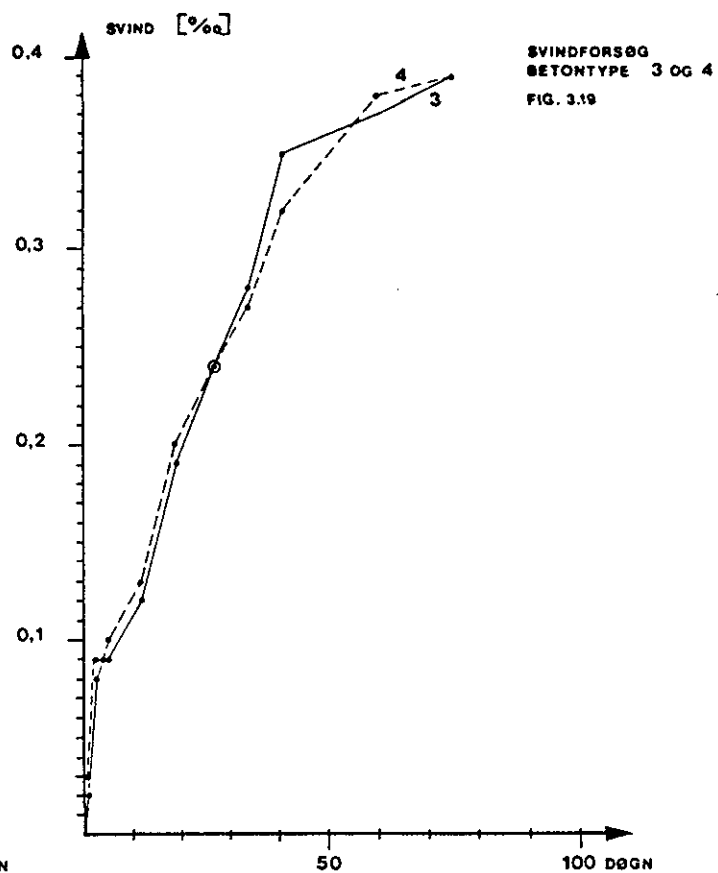
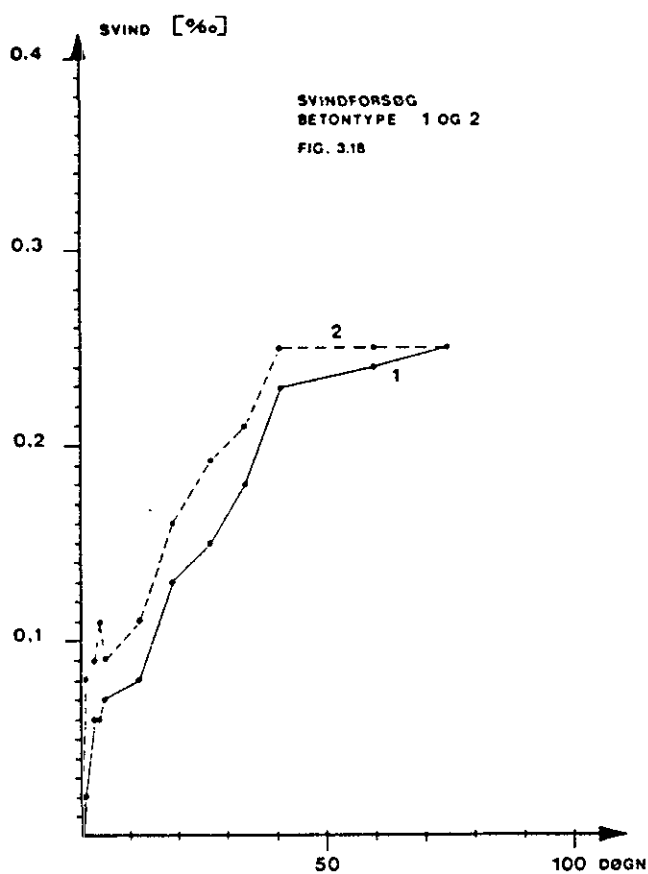
På de følgende sider præsenteres i tabel- og diagramform gennemsnitsværdier af svind som funktion af tiden.

Forsøgsperioden har været 75 døgn og gennemsnitstemperatur og relativ fugtighed har været 20°C og 50% RF.

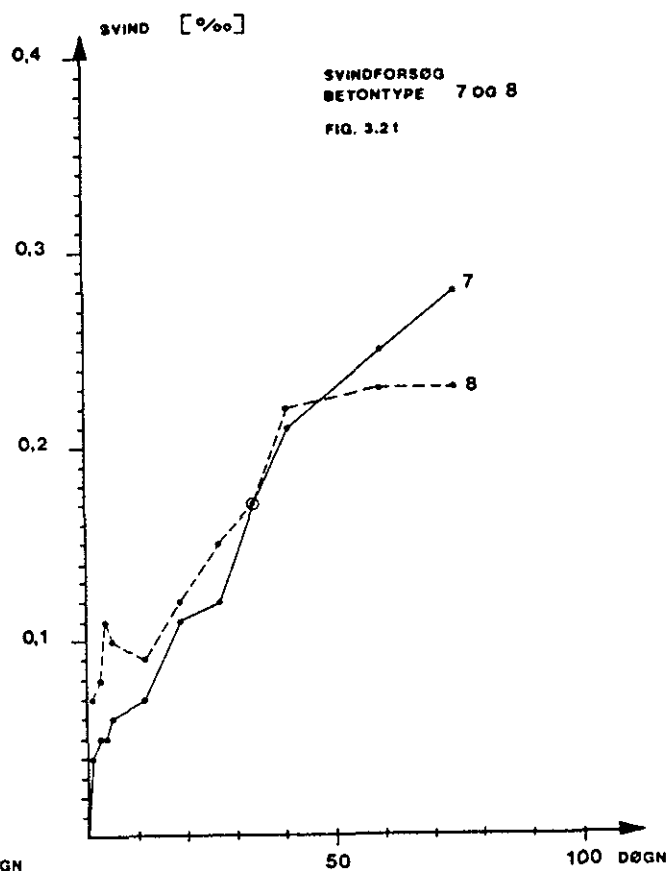
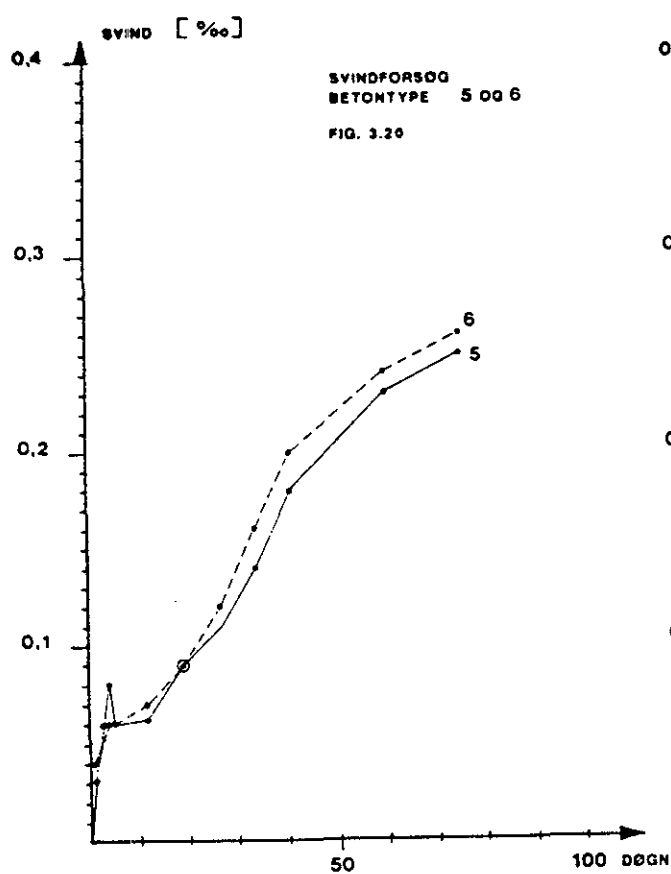
Tabel 3.8. Udtørringssvind.

DØGN											
BLAND.	1	3	4	5	12	19	27	34	41	60	75
1	0,02	0,06	0,06	0,07	0,08	0,13	0,15	0,18	0,23	0,24	0,25
2	0,08	0,09	0,11	0,09	0,11	0,16	0,19	0,21	0,25	0,25	0,25
3	0,02	0,08	0,09	0,09	0,12	0,19	0,24	0,28	0,35	0,37	0,39
4	0,03	0,09	0,09	0,10	0,13	0,20	0,24	0,27	0,32	0,38	0,39
5	0,03	0,06	0,08	0,06	0,06	0,09	0,11	0,14	0,18	0,23	0,25
6	0,04	0,06	0,06	0,06	0,07	0,09	0,12	0,16	0,20	0,24	0,26
7	0,04	0,05	0,05	0,06	0,07	0,11	0,12	0,17	0,21	0,25	0,28
8	0,07	0,08	0,11	0,10	0,09	0,12	0,15	0,17	0,22	0,23	0,23

Fortsatte målinger har vist, at svindet ikke er ophørt efter 75 døgn.



- Fig. 3.18. Type 1. Naturligt stentilslag. Lav betontrykstyrke.
 Type 2. Naturligt stentilslag. Høj betontrykstyrke.
- Fig. 3.19. Type 3. Stærkest muligt genbrugstilslag (nedknust beton), lav betontrykstyrke.
 Type 4. Stærkest muligt genbrugstilslag (nedknust beton), høj betontrykstyrke.



- Fig. 3.20. Type 5. Normalt genbrugsmateriale som stentilslag (tegl), lav betontrykstyrke.
 Type 6. Normalt genbrugsmateriale som stentilslag (tegl), høj betontrykstyrke.
- Fig. 3.21. Type 7. Svagt bygningsaffald som stentilslag (tegl), lav betontrykstyrke.
 Type 8. Svagt bygningsaffald som stentilslag (tegl), høj betontrykstyrke.

4. GENEREL VURDERING

Med udgangspunkt i rapportens hovedafsnit gives i det følgende en generel vurdering af:

1. Materialer og betontyper
2. Forsøgenes afvikling
3. Forsøgsresultater

MATERIALER OG BETONTYPER

Ifølge plan for projektarbejdets gennemførelse er der ved fremstilling af betoner med tilslag af genanvendelsesmaterialer anvendt 3 typer genbrug:

- 4/32 mm nedknust betonmateriale
- 4/32 mm nedknust tegl, bedst mulig
- 4/32 mm nedknust tegl, dårligst muligt.

Herudover er produceret prøveemner af en referencebeton med naturligt tilslag. I alle betoner er anvendt dansk Standardcement (Portlandflyveaskecement) og søsand.

Genanvendelsesmaterialer:

4/32 mm nedknust beton.

Materialet stammer fra opbrydning af standardbelægninger i Kastrup Lufthavn.

Nedknusning er foretaget i kæbnuser og kegleknuser. Materialets egenskaber med hensyn til kornform og styrke minder meget om nedknust klippegranit.

4/32 mm nedknust tegl, bedst muligt.

Materialet stammer fra nedrivning af et dampvaskeri i Aarhus. Bygningskomplekset var opført i røde, håndbrændte facadesten med gule fuldbændte bagsten. Ved almindelig forekommende nedrivninger vil det ikke være normalt at finde stærkere materiale.

4/32 mm nedknust tegl, dårligst muligt

Materialet er fremstillet ved nedknusning af et dansk teglmateriale, der er kasseret som følge af en for svag brænding. Teglet er meget porøst og styrkemæssigt i den laveste del af forekommende teglmaterialer. Det må generelt forventes, at kvaliteten af teglmaterialer fra styrede nedrivninger vil være højere end den, der er fremkommet ved nedknusning af de omtalte kasserede teglsten.

Genbrugsbetonerne:

Med de ovenfor beskrevne tilslagsmaterialer er fremstillet betoner i to styrkeniveauer.

Med hensyn til betonernes bearbejdelighed og øvrige støbeegenskaber kan det oplyses, at beton med tilslag af nedknust beton på dette område er stort set identisk med beton indeholdende naturligt tilslag. Betoner med tilslag af tegl adskiller sig på væsentlige punkter fra traditionel beton, men har indbyrdes samme egenskaber.

Specielt kan følgende fremhæves:

Materialernes struktur, og absorption.

Teglets struktur og dermed porøsitet og absorption adskiller sig væsentligt fra de anvendte naturmaterialer og den nedknuste beton. Det er vigtigt at sikre, at betonproduktionen gennemføres med korrekt V/C-tal samt at imødegå, at tilslaget efter udstøbning virker sugende. Det er derfor nødvendigt før blanding at bestemme absorption og fugtighed samt, at materialerne er i vandmættet tilstand.

Materialernes kornform og ruhed

De anvendte materialer havde - antageligt på grund af en uhen-sigtsmæssig kornform - et højere vandbehov end tilsvarende naturlige materialer. Dette kan beskrives ved materialernes hul-rumsprocent.

FORSØGENES AFVIKLING.

Trykforsøg.

Til de udførte trykforsøg - 40 stk.(\varnothing 100x200)[mm] cylindre - kan der knyttes følgende bemærkninger:

- Samme modenhed 37 døgn,
- Samme temperatur $\sim 20^{\circ}\text{C}$ og relativ luftfugtighed $\sim 30\%$ RF
- Samme prøvemaskine 1000[KN] Mohr og Federhaff sidst kalibreret 2/8-88.
- Samme belastningshastighed 0.4 [MPa/s].
- Ved opmåling af prøveemner er der konstanteret variation af cylinderdiametre og længder på henholdsvis ± 2 [mm] og $\pm 1-2$ [mm]. For at imødegå disse variationer er der anvendt mellemlæg bestående af 10 [mm] celloleplader. Det skal bemærkes at den empiriske spredning på trykstyrken for de forskellige betontyper har været 1-3 [MPa].

Spalteforsøg

Til de udførte spalteforsøg - 40 stk.(\varnothing 100x200)[mm] cylindre - kan der knyttes følgende bemærkninger:

- Samme modenhed 28 døgn.
- Samme temperatur $\sim 20^{\circ}\text{C}$ og relativ luftfugtighed $\sim 30\%$ RF.
- Samme prøvemaskine 1000[KN] Mohr og Federhaff sidst kalibreret 2/8-88.
- Samme belastningshastighed 0.4 [MPa/s]
- Den empiriske spredning på spaltetrækstyrken for de forskellige betontyper har været 0.25-0.7 [MPa].

Bøjetrækforsøg

Til de udførte bøjetrækforsøg - 40 stk.(150x100x600)[mm] betonprismer - kan der knyttes følgende bemærkninger:

- Samme modenhed 38 døgn.
- Samme temperatur $\sim 20^{\circ}\text{C}$ og relativ luftfugtighed $\sim 30\%$ RF.
- Samme prøvemaskine 1000[KN] Mohr og Federhaff sidst kalibreret 2/8-88.
- Samme belastningshastighed 0.4 [MPa/s]
- Den empiriske spredning på bøjetrækstyrken har for de forskellige betontyper været 0.15-0.6 [MPa].

Trækforsøg

Til de udførte enaksede trækforsøg - 40 stk.(\varnothing 100x200)[mm] - kan der knyttes følgende bemærkninger:

- Modenhed af prøveemnerne har varieret fra 31-45 døgn.
- Der er anvendt samme limtype - SUPER EPOXY Plastic Padding A/S - som generelt har haft tilstrækkelig vedhæftningsevne. Da det ikke er hensigtsmæssigt at udtørre prøveemnerne helt, har tilstedeværende fugtighed i materialestrukturen - 15 tilfælde - medført svigt i limfugen mellem prøvelegeme og ståltrækhoveder.
- Supplerende udtørring ved 20°C og 30% RF, limning og fornyet trækforsøg er herefter gennemført. Det skal bemærkes at brugsanvisningen til den anvendte lim er fulgt nøje.
- Det må forventes, at konditionering af prøveemner vil vare ca. 14 dage.
- Den empiriske spredning på de enaksede trækforsøg har været 0.15-0.40[MPa].

Krybeforsøg

Til de udførte - 80 stk.(\varnothing 100x200)[mm] cylindre - kan der knyttes følgende bemærkninger:

- I hele forsøgsperioden har der været anvendt samme opspændingsprocedure, - materiel, trykcelle og måleudstyr.
- Det er samme personer der har gennemført alle opspændinger samt deformationsmålinger.
- Temperaturen har i gennemsnit været 20°C og med en empirisk spredning på 1.7°C. Den relative fugtighed har i gennemsnit været 30.0% RF og med en empirisk spredning på 5.8% RF. De registrerede variationer af klimaparametrene er ialt væsentligt variationer fra døgn til døgn og disse kan derfor skønnes at være af sekundær betydning.
- Deformationsmålingerne - længde- og tværdeformationerne - har været behæftet med nogen usikkerhed, som kan henføres til:
 - a. Måleinstrument.
 - b. Målepunkters udformning og placering.
 - c. Skævheder i prøveemner.
 - d. Introducerede skævheder ved opspændingen.
 - e. Klimatiske forhold - krybning, svind -.

ad a) Måleinstrument.

Den anvendte Mitutoyo-mikrometerskrue med digitaludlæsning og tilsluttet printer har en mindste måleværdi på 0.001 mm; og er forud for alle deformationsmålinger kalibreret over en basislængde (100 [mm] \pm 0 [mikrometer] ved 20°C). Typiske variationer ved denne kalibrering har været \pm 0.003 [mm].

Under forudsætning af, at instrumentets batteritilstand og tilslutningen af ledninger til stadighed kontrolleres, er instrumentet driftsikkert og aflæsningsudskrift pålidelig.

ad b) Målepunkters udformning og placering

De slebne målepunkter (længdemålinger) har vist sig mere praktisk anvendelige end Erni-Topmøtrikkerne (tværmålinger). Udformning af målepunkter kan forfines yderligere.

Med undersøgelsens rammer og opstillingens udformning har det ikke været praktisk muligt at montere målepunkter diametralt på prøveemnerne.

Ved fremtidige undersøgelser bør middeldeformationen over tværsnittet måles. Det kan opnåes ved at opbygge opstilling og montere målepunkter således, at der kan foretages længdemålinger diametralt på prøveemnet. Den her omtalte ændring bør foretrækkes fremfor måling af både længde- og tværmåling. Til montage af målepunkter er anvendt en almindelig grå Plastic Padding; og vedhæftningen var ikke så pålidelig som forsøg af denne art forudsætter. Anvendelse af samme type lim som anvendt til trækforsøg bør overvejes.

ad c) Skævheder i prøveemner.

Ved den geometriske opmåling (diameter og længde) af prøveemnerne er det konstateret, at endefladerne ikke var planparallele. For at forbedre dette blev der med vandkølet diamantsav afskåret ca. 10 mm af begge ender på alle prøveemner, som blev fastspændt ens ved afskæringerne. Afskæringen gav i nogle tilfælde anledning til en lille kærve, idet den sidste del af betonen knækkede af.

I forsøgsperioden er der sket brud i nogle af prøveemnerne dels i tidsrummet mellem opspændingerne, dels i forbindelse med opspændingerne. Udfra de observerede brudformer var det ikke muligt entydigt at konstatere om bruddet skyldes et rent trykbrud eller var forårsaget af en kærveffekt. For at imødegå det omtalte problem ved fremtidige forsøg af denne art, foreslås det at anvende længere emner (f.eks. $\varnothing 100 \times 450$ [mm]) samt at disse anbringes med kugleskåle.

ad d) Introducerede skævheder ved opspænding.

Udover stor omhu for at placere prøveemnerne koncentrisk i opstillingen og at foretage opspænding så ensartet som muligt er der ikke iværksat yderligere foranstaltninger for at imødegå skævheder i systemet. I erkendelse af at skævheder øjensynligt har optrådt, må det anbefales f.eks. at indlægge kugleskåle mellem prøverne og trykvederlaget. (endevederlag nr. 1 på fig. 2.10)

ad e) Klimatiske forhold (krybning, svind).

Variationer i temperatur og relativ luftfugtighed har været forholdsvist beskeden, men det må anses for hensigtsmæssigt at krybe- og svindforsøg gennemføres sideløbende og på samme klimamæssige niveau således at det er muligt at justere krybetal for det tidsafhængige svindbidrag.

FORSØGSRESULTATER.

Trykforsøg.

Trykarbejdslinierne for beton med genanvendelsesmaterialer, fig. 3.2 - 3.4, adskiller sig ikke principielt fra trykarbejdslinierne for referencebetonen, fig. 3.1, bortset fra at begyndeshældningen tydeligvis er faldende med faldende kvalitet af tilslaget. Forsøgene er alle standset når den maksimale bæreevne er nået, men intet i forsøgene eller i den tilgængelige litteratur tyder på at beton med genanvendelsesmaterialer er mindre duktilt end beton med traditionelt tilslag, en konklusion der også bekræftes af arbejdslinierne for bøjetrækforsøgene, fig. 3.5 - fig. 3. I tabel 4.1 er givet en oversigt og undersøgelses gennemsnits forsøgsdata.

Tabel 4.1. GENNEMSNIIT STYRKEDATA.

TYPE/ SIGN.	T R Y K S T Y R K E [MPa]			TRÆKSTYRKE [MPa]			BEMÆRKNINGER.
	Brudlast	E-modul		Enak- set	Spal- te	Bøje- træk	
		E_0	E_{sek-50}				
1	39.8	49100	47300	2,14	3,71	3,31	Naturligt stentilslag. Tilstræbt trykstyrke 15/25 [MPa].
2	43.6	47300	45900	2,08	4,09	3,50	
3	33.6	39500	37900	1,76	2,68	2,92	Stentilslag genbrug bedst muligt. Tilstræbt trykstyrke 15/25 [MPa].
4	49.4	41100	39100	1,86	3,05	3,25	
5	22.8	24600	21500	1,27	2,36	2,30	Stentilslag dårligst i genbrugs- klasse 2000 kg/m ³ , tegl tilstræbt trykstyrke 15/25 [MPa].
6	29.8	26400	24400	1,76	2,60	2,82	
7	25.0	21900	18700	1,49	2,55	2,62	Stentilslag dårligst i genbrugs- klasse 1800 kg/m ³ , tegl tilstræbt trykstyrke 15/25 [MPa].
8	34.6	24900	23100	2,08	2,89	3,52	

Begyndelseselasticitetskoefficienten E_0 er vist på fig. 4.1 som funktion af trykstyrken.

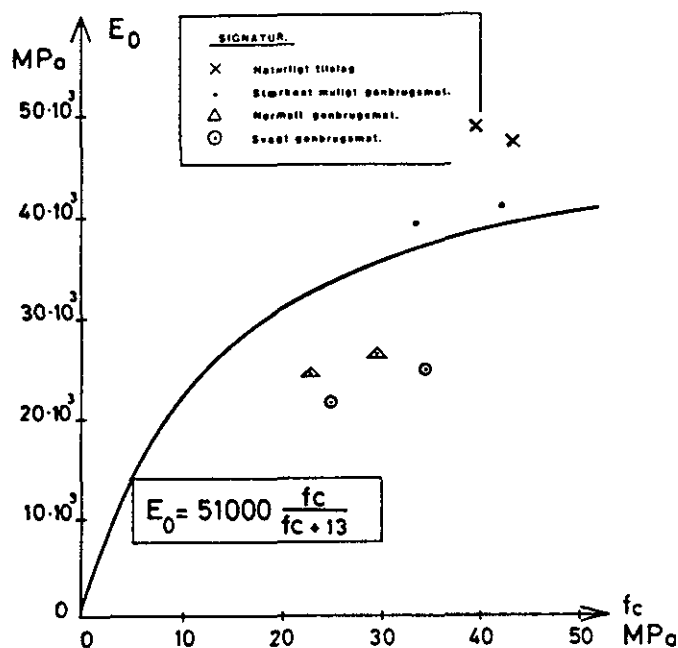


Fig. 4.1 Begyndelseselasticitetskoefficient og trykstyrke samt formel (3.2.4) fra DS 411.

På figuren er ligeledes indtegnet den sammenhæng mellem E_0 og f_c , der anvendes i betonnormen. Formlen skyldes oprindeligt Roš, men er ændret lidt i betonnormen, idet man fra normudvalgets side mente at den for dansk tilslag gav for høje værdier for E_0 ved høje værdier af f_c .

Det at ville beskrive E_0 alene som funktion af f_c , er en forenkling af forholdene. En lang række andre forhold spiller ind. I virkeligheden er E_0 næppe direkte afhængig af styrken, men styrken anvendes som vikarierende egenskab for de parametre, der er bestemmende for E_0 . Metoden har vist sig anvendelig ved statisk beregninger. Ved en sådan forenkling må der ved forsøg forventes stor spredning.

Accepteres en af de klassiske sammenhænge mellem E_0 og f_c kan de i princippet anvendes til at vurdere ændringerne i E_0 som funktion af tilslagsmaterialet.

Her anvendes 3 sammenhænge:

$$E_0 = 51000 \frac{f_c}{f_c+13} \text{ [MN/m}^2\text{]} \quad (1) \text{ (DS.411)}$$

$$E_0 = 55000 \frac{f_c}{f_c+15} \text{ [MN/m}^2\text{]} \quad (2) \text{ (Roš)}$$

$$E_0 = 21000 \cdot \sqrt{0,1 f_c} \text{ [MN/m}^2\text{]} \quad (3)$$

For hver betontype findes af forsøgsresultaterne middelværdien for E_0 og for f_c , og hver af formlerne ændres til at give denne sammenhæng ved at ændre den første faktor.

F.eks. er middelværdierne for referencebetonen $E_0 = 48200$ [MN/m²] og $f_c = 41,7$ [MN/m²], og anvendes formel (1) ændres denne til:

$$E_{0,1} = 63200 \frac{f_c}{f_c+13}$$

For beton med svagest tilslagsmateriale findes tilsvarende $E_0 = 23400$ [MN/m²] og $f_c = 29,8$ [MN/m²] og dermed

$$E_{0,4} = 33600 \frac{f_c}{f_c+13}$$

Herefter ses at E_0 for beton med det svageste tilslag udgør $(33600 : 63200) = 0,53$ eller 53% af E_0 for referencebetonen. Denne sammenligning er gjort med alle formler for alle 4 betontyper. Resultaterne er vist i tabel 4.2

Tabel 4.2. Formelsammenligninger.

Betontype	Middelværdi [MPa]		E_0 i forhold til referencebeton ved formel :		
	E_0	f_c	(1)	(2)	(3)
Reference	48200	41,7	1	1	1
Nedknust beton	40300	38,0	0,86	0,86	0,88
Klasse 2000	25500	26,3	0,60	0,61	0,67
Klasse 1800	23400	29,8	0,53	0,54	0,57

Den begrænsede forsøgsmængde tillader kun at udlede at E_0 mindskes jo svagere genanvendelsesmateriale der anvendes. På den sikre side foreslås at anvende følgende reduktioner, afhængig af tilslaget.

- $E_0' = 0,85 \cdot E_0$ Nedknust beton
- $E_0' = 0,60 \cdot E_0$ Klasse 2000
- $E_0' = 0,50 \cdot E_0$ Klasse 1800

hvor E_0 gælder for referencebeton og E_0' er for beton med genanvendelsesmateriale.

Sekantelasticitetsmodulet (E_{sek}) er vist på fig. 4.2. som funktion af E_0 . E_{sek} er beregnet for en spænding svarende til 50% af brudspændingen. E_{sek} anvendes ved en række beregninger og antages ofte at afhænge lineært af E_0 , hvilket ses at være tilfældet uanset tilslagstype.

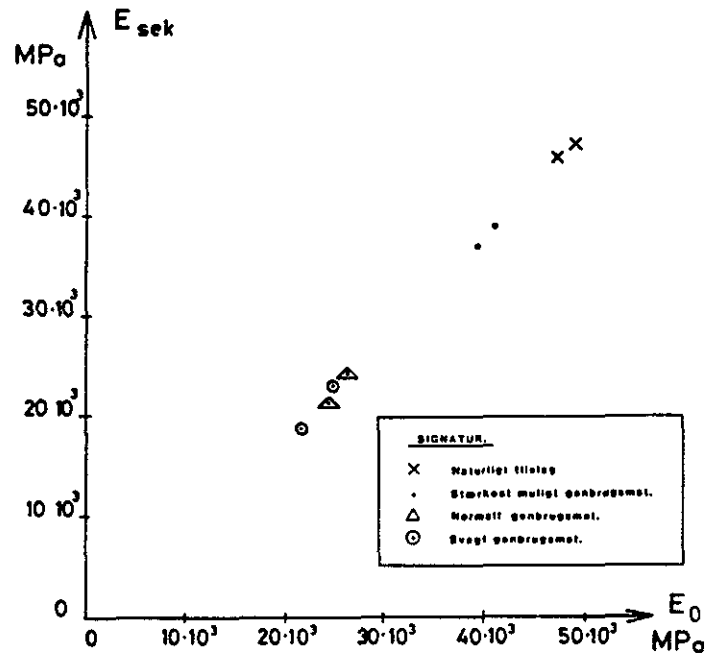


Fig. 4.2. E_{sek} som funktion af E_0 .

I betonnormen, DS 411, er antaget at E_{sek} er 70% af E_0 . For disse betontyper ses det at give en for lille værdi af E_{sek} , men figuren viser også, at der ikke er grund til at antage ændrede sammenhæng mellem E_{sek} og E_0 , når genanvendelsesmaterialer anvendes i beton.

Trækforsøg

På fig. 4.3. er den enaksede trækstyrke f_t optegnet som funktion af trykstyrken f_c .

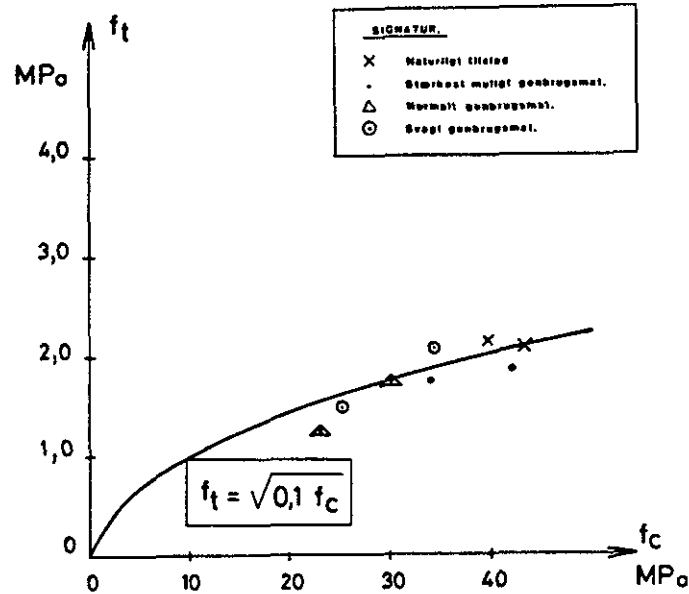


Fig. 4.3. Den enaksede trækstyrke, f_t som funktion af trykstyrken f_c .

På figuren er ligeledes indtegnet den sammenhæng mellem træk- og trykstyrke, der forudsættes i betonnormen. Umiddelbart viser figuren, at der ikke er grund til at antage ændret sammenhæng mellem f_t og f_c , når genanvendelsesmaterialer anvendes i beton.

På fig. 4.4. er den enaksede trækstyrke f_t optegnet som funktion af spaltetrækstyrke f_s .

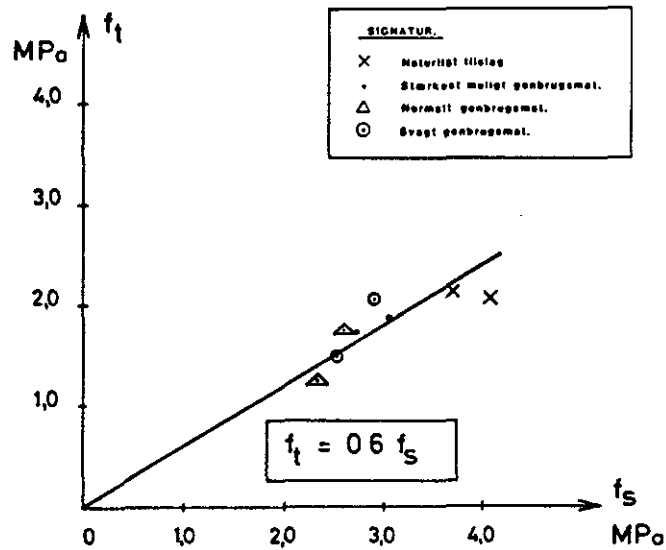


Fig. 4.4. Den enaksede trækstyrke f_t som funktion af spaltetrækstyrken f_s .

Den enaksede trækstyrke er normalt ca. 60% af spaltetrækstyrken og figuren viser at der ikke er grund til at antage ændret sammenhæng mellem f_t og f_s , når genanvendelsesmaterialer anvendes i beton.

På fig. 4.5. er bøjetrækstyrken f_{bt} optegnet som funktion af trykstyrken f_c .

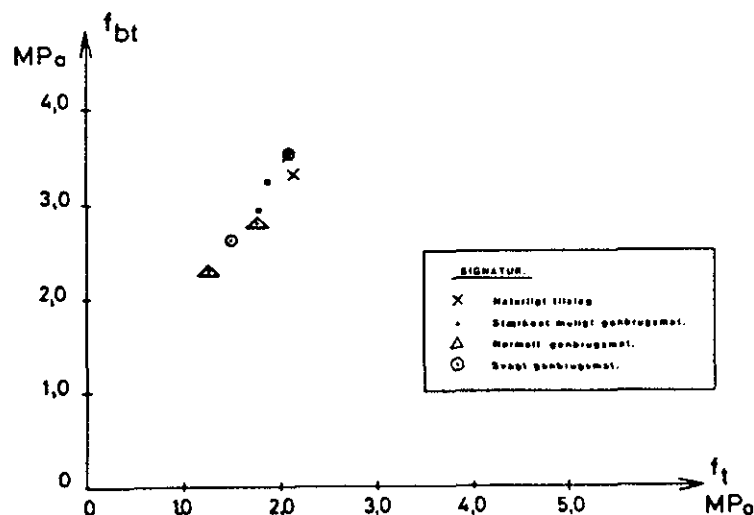


Fig. 4.5. Bøjetrækstyrken f_{bt} som funktion af trykstyrken f_c .

Normalt antages bøjetrækstyrken at være ligefrem proportional med den enaksede trækstyrke, hvilket bekræftes af figuren. Det vil sige, at der ikke er grund til at antage den ændrede sammenhæng mellem f_b og f_c , når genanvendelsesmaterialer anvendes i beton.

Det bemærkes i øvrigt at betonnormen DS 411's regel om at bøjetrækstyrken kan sættes til 2 x den enaksede trækstyrke i dette tilfælde ville give for stor bøjetrækstyrke.

Krybeforsøg.

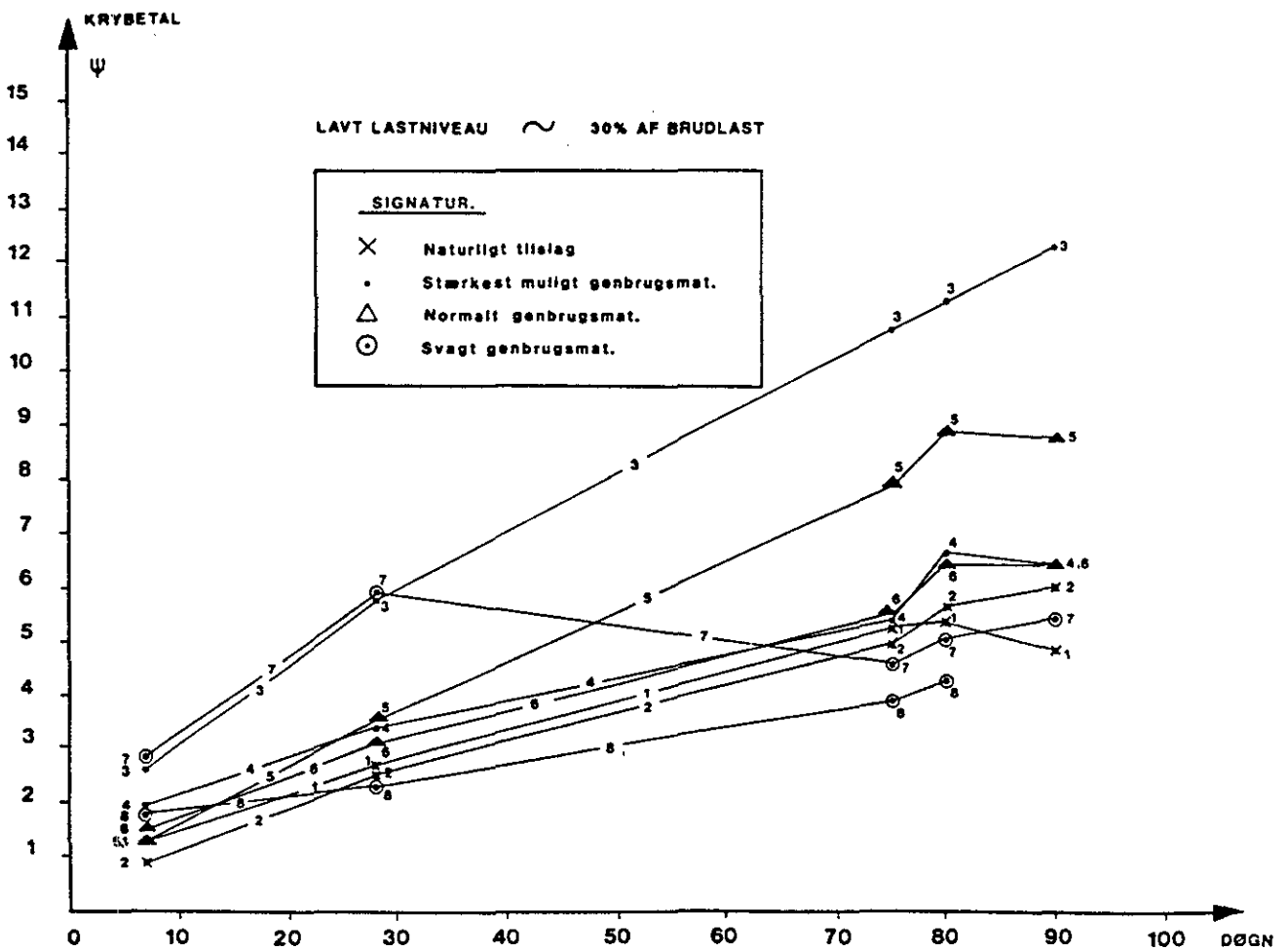
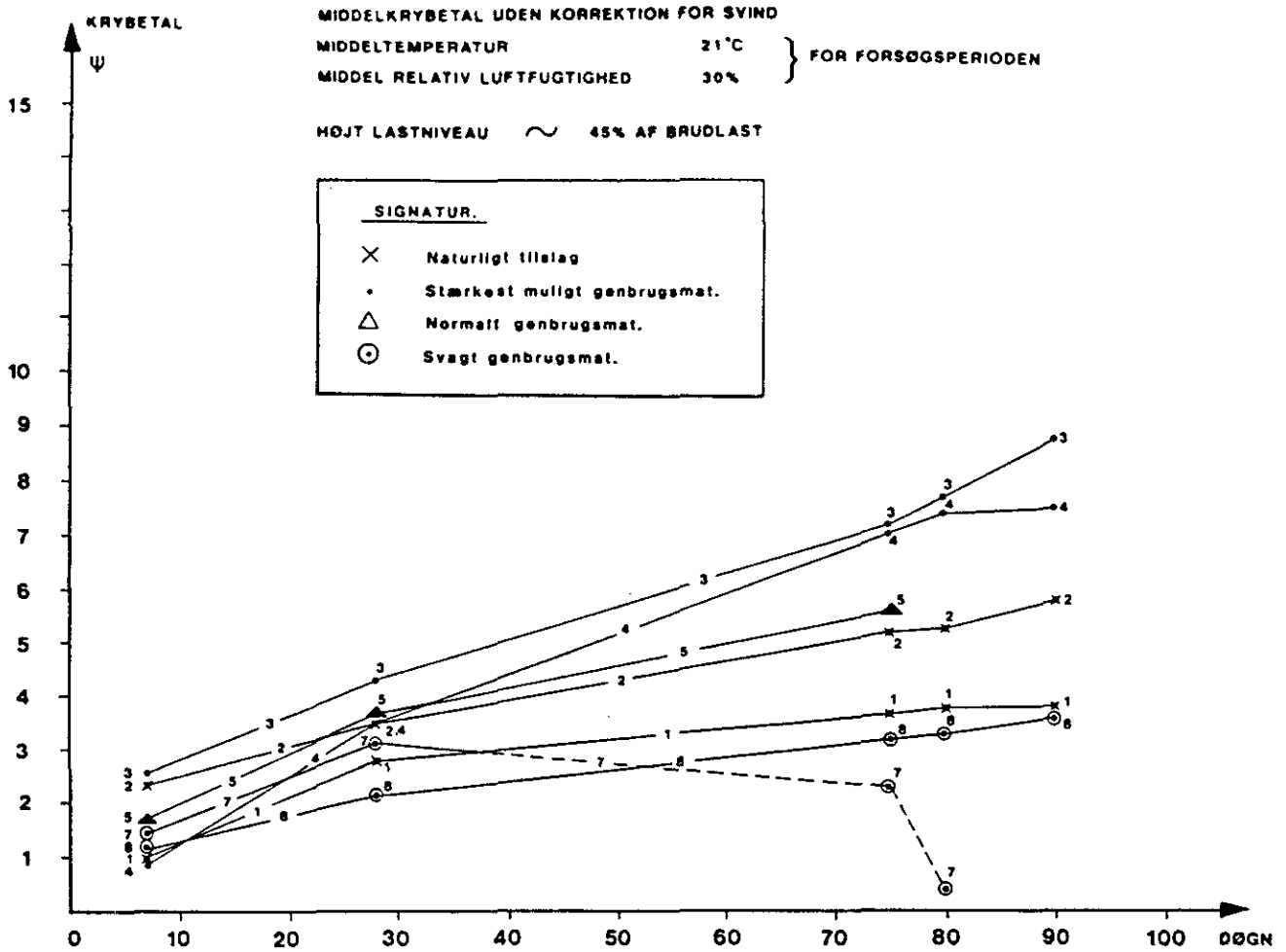
Til vurdering af krybetal og Poissons forhold er der i tabel 4.3 givet en oversigt over de middelværdier, der er opnået for de forskellige betontyper.

Generelt skal det bemærkes, at de viste resultater er behæftet med en skønsmæssig usikkerhed på 30-50%. Desuden er de aktuelt målte krybninger ikke justeret for det svind, der måtte forekomme under de for forsøget gældende klimabetingelser.

Tabel 4.3. Gennemsnitsværdier for krybetal og Poissons forhold.

Beton last	Last-niveau [MPa]	Krybetal			Poissons forhold			Bemærkninger
		7	28 [døgn]	90	7	28 [døgn]	90	
1 H	18	1.7	3.5	3.7	2.2	0.9	-	
	L 11	1.0	2.4	4.6	0.5	0.2	0.2	
2 H	19	2.9	4.0	6.1	0.1	0.2	0.2	
	L 13	0.6	2.3	6.0	0.5	0.1	0.1	
3 H	16	4.9	6.8	11.4	0.1	0.1	0.0	
	L 10	3.3	6.7	14.1	0.0	0.1	0.0	
4 H	19	0.2	2.9	7.0	0.0	0.1	-	
	L 13	2.5	4.0	7.0	0.1	0.0	0.1	
5 H	11	2.2	3.4	-	0.1	0.1	-	
	L 7	2.0	4.3	8.7	0.4	0.2	0.0	
6 H	13	-	-	-	-	-	-	Emner brudt ved 1. last-påføring
	L 9	1.9	3.6	7.2	0.3	0.2	0.1	
7 H	11	1.9	3.9	-	-	-	-	
	L 7	3.8	6.6	7.2	0.1	0.1	0.1	
8 H	16	1.2	2.3	3.9	0.1	0.2	0.1	
	L 10	1.3	1.9	-	0.3	0.2	-	

I fig. 4.6 og fig. 4.7 er vist middelkrybetallet uden svindkorrektion.



Det er forfatterens skøn, at resultaterne af krybeforsøgene er behæftet med så stor usikkerhed, at der ikke entydigt kan konstateres forskel på krybning for beton med naturlig stentilslag og beton med genanvendelsesmaterialer som stentilslag.

Svindforsøg

Udfra en forsøgsperiode på ca. 125 døgn, en gennemsnitstemperatur på 20°C og en gennemsnitlig relativ luftfugtighed på 50% RF er det muligt at give størrelsesorden for svindet af de undersøgte materialer efter uendelig lang tid (slutsvind).

Temperaturafhængigt svind til tiden $\rightarrow \infty$.

- Beton med naturligt tilslag: $\epsilon_{S\infty} \approx 0.3$ o/oo.
- Beton med stærkest muligt genbrugsmateriale (beton) : $\epsilon_{S\infty} \approx 0.5$ o/oo.
- Beton med normalt genbrugsmateriale (hovedsagelig god tegl) : $\epsilon_{S\infty} \approx 0.5$ o/oo.
- Beton med svagt genbrugsmateriale (svag tegl) : $\epsilon_{S\infty} \approx 0.5$ o/oo.

Generelt er svindmålingerne endnu ikke stabile, og specielt betontyperne med tegl som stentilslag svinder fortsat; og det er derfor hensigten at fortsætte svindmålingerne.

Såfremt de opnåede slutsvind skal kunne sammenlignes med et formodet svindbidrag ved krybeforsøget, så er det nødvendigt at justere til samme klimaparametre.

Dette vil bevirke, at svindforsøgenes resultater skal øges med 20-25% samtidig med, at det skal erindres, at den typiske metodeusikkerhed er af samme størrelsesorden.

KONKLUSION

De udførte forsøg giver grundlag for følgende bemærkninger og konklusioner for beton med genanvendelsesmaterialer som stentilslag i forhold til beton med traditionelt stentilslag.

- Gennemføres en hensigtsmæssig proportionering og tages der hensyn til de genanvendte materials struktur, densitet, absorption og egenskaber i øvrigt, kan det konkluderes, at genanvendelsesbeton brugsmæssigt ikke vil adskille sig væsentligt fra traditionel beton. I alt væsentligt er beton med genanvendelsesmaterialer et plastisk materiale ligesom almindelig beton.
- Trykforsøgene viser, at begyndelseselasticitetsmodulet (E_0) for en beton med genanvendelsesmaterialer er mindre end E_0 for en almindelig beton med samme trykstyrke.
- Spaltetrækstyrken for referencebetonerne er 3-4 [MPa], medens betonerne med genanvendelsesmaterialerne er 2-3 [MPa]. Den empiriske spredning for spaltetrækforsøgene er af samme størrelsesorden (0.25-0.7 [MPa]).
- Den enaksede trækstyrke for referencebetonerne er 2.0-2.5 [MPa], medens betonerne med genanvendelsesmaterialerne er 1.3-2.1 [MPa]. Den empiriske spredning for de enaksede trækforsøg er af samme størrelsesorden (0.2-0.4 [MPa]).
- Bøjetrækstyrken for referencebetonerne er 3.0-3.5 [MPa], medens betonerne med genanvendelsesmaterialer er 2.6-3.5 [MPa]. Den empiriske spredning for bøjetrækforsøgene varierer fra 0.1-0.5 [MPa].
- Forholdet mellem sekantelasticitetsmodul (E_{sek}) og begyndelseselasticitetsmodulet (E_0) er ens for beton med genanvendelsesmaterialer og almindelig beton.
- Forholdet mellem den enaksede trækstyrke og trykstyrken er ens for beton med genanvendelsesmaterialer og almindelig beton.
- Forholdet mellem spaltetrækstyrken og enaksede trækstyrker er ens for beton med genanvendelsesmaterialer og almindelig beton.
- Forholdet mellem bøjetræk og enaksede trækstyrker er ens for beton med genanvendelsesmaterialer og almindelig beton.

- Krybeforsøget er som det er gennemført behæftet med en usikkerhed på skønsmæssigt 30-50%, og slutkrybetallet for de undersøgte betontyper kan ud fra en forsøgsperiode på ~ 100 døgn og uden korrektion for svind skønnes til:

- Beton med naturligt tilslag: $\psi_{\infty} \sim 3-6$.
- Beton med stærkest muligt genbrugsmateriale (beton) : $\psi_{\infty} \sim 3-8$.
- Beton med normalt genbrugsmateriale (hovedsagelig god tegl) : $\psi_{\infty} \sim 6-9$.
- Beton med svagt genbrugsmateriale (svag tegl) : $\psi_{\infty} \sim 3-8$.

Det skal bemærkes, at hver af betontyperne ved krybeforsøget er belastet med henholdsvis 30% og 45% af den enkelte betontypes middelbrudlast.

- Krybeforsøgene er kun delvis lykkedes, og forsøgsresultaterne viser ikke entydigt om der er forskel på betoner med genanvendelsesmaterialer som stentilslag og beton med almindeligt stentilslag.
- Foreløbige værdier for svindet for de undersøgte betontyper kan ud fra en forsøgsperiode på ca. 125 døgn ved en temperatur på 20°C og en relativ luftfugtighed på ca. 50% skønnes til:

- Beton med naturligt tilslag: $\epsilon_{S\infty} \approx 0.3$ o/oo.
- Beton med stærkest muligt genbrugsmateriale (beton) : $\epsilon_{S\infty} \approx 0.5$ o/oo.
- Beton med normalt genbrugsmateriale (hovedsagelig god tegl) : $\epsilon_{S\infty} \approx 0.5$ o/oo.
- Beton med svagt genbrugsmateriale (svag tegl) : $\epsilon_{S\infty} \approx 0.5$ o/oo.

Svindforsøgenes resultater viser ikke entydigt, om der er forskel på beton med genanvendelsesmaterialer som stentilslog og beton med almindelig stentilslog.

FORTSATTE UNDERSØGELSER

De udførte tryk-, træk-, spalte- og bøjetrækforsøg er alle væsentlige for at beskrive et materiales egenskaber, og da de nævnte forsøg stort set er standardforsøg, er det ikke nødvendigt at specificere disse forsøgstyper yderligere.

Svind- og krybningsforsøg er tidkrævende at gennemføre, og resultaterne er som oftest behæftet med betydelige usikkerheder. De svind- og krybeforsøg, der er beskrevet i denne rapport bekræfter i vid udstrækning det nævnte udsagn. Den anvendte forsøgsopstilling har vist sig hensigtsmæssig, men følgende forbedringer kan medvirke til at nedbringe de mest iøjenfaldende usikkerheder:

- Opbygge opstilling og montere målepunkter, således at der kan foretages længdemålinger diametralt på prøveemnet. Dette bør foretrækkes fremfor måling af både længde- og tværdeformationer.
- Finde en limtype, der er mindre følsom overfor fugt og udforme målepunkter med sleben spids eller kugleflader.
- Anvende prøveemner af passende længde og med endeflader, der er planparallelle, og for at sikre mod skævheder ved opspændingen indbygges kugleskåle.
- Med henblik på at kontrollere og justere den påførte belastning skal der i hver opstilling indbygges en trykcelle og trykniveauet udskrives over f.eks. en datalogger.
- Svind- og krybningsforsøg udføres ved samme klimatiske betingelser.

De udførte svind og krybeforsøg må betragtes som pilotforsøg og det anbefales, at der udføres egentlige svind- og krybeforsøg, således at svind- og krybeforholdene kan klarlægges for beton med genanvendelsesmaterialer.

- Kalibrering af vejlængdetransducere til trykarbejdslinier.

DANMARKS INGENIØRAKADEMI Bygningsafdelingen	Forsøg nr: 1	Initialer: N/GM	Dato: 13/10-88	Side:
Målingernes art: TRYKFORSGG AFPROVNING AF TRANSDUCERE				

Indsat i	opstilling nr	Mikrometer skrue		Transducer med Rødt Mærke	
Flytning [mm]	Volt	[mV]		Volt	[mV]
0.0		1			1
0.5		1005			1003
0.1		199			201
0.2		401			401
0.3		602			602
0.4		804			804
0.5		1005			1004
0.4		805			804
0.3		605			602
0.2		403			401
0.1		201			200
0.0		000			1
0.1		199			200
0.2		401			398
0.3		602			601
0.4		805			802
0.5		1006			1003
0.4		806			801
0.3		605			601
0.2		403			399
0.1		201			200
0.0		1			1

Bemærkninger:

13/10-88
 G. Gaion.
 Forsøg 1

Transducer U. Märke

	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	[mm]
1	199	401	602	804	1005		
0	201	403	605	805	1005		
	199	401	602	805	1006		[mv]
1	201	403	605	806			
\bar{x}	0.09	200	402	603.5	805	1005.3	

Transducer M. Rød. Märke

1	201	401	602	804	1003		
1	200	401	602	804	1004		[mv]
	200	398	601	802	1003		
1	200	399	601	801			
\bar{x}	1	200.25	399.75	601.5	802.75	1003.3	

- Brugsanvisning for Plastic Padding "Super Epoxy".

Super epoxy

Limer træ, metaller, sten, beton, glas, porcelæn, Eternit, læder, hård gummi, hård plast. Sammenlimede dele kan belastes allerede efter 15 minutter!

Super Epoxy hærdet (stivner) gennem en kemisk reaktion (samtidig, helt igennem) i stuetemperatur på 5–10 min, alt efter lagtykkelsen. I tynde lag øger hærdningen langsommere og i tykke lag hurtigere. Pakningen indeholder to tuber. Man blander omhyggeligt indholdet fra begge tuber – lige meget fra hver tube og ikke i større mængde end der kan anvendes indenfor 5 min. Når du anvender Super Epoxy limer du med en lim som er:

stærk
200 kg/cm² trækstyrke

hurtig

farveløs

udfylder

Ved limning med Super Epoxy er limflader bestandig mod vand (selv saltvand) olie, benzol, fortyndede syrer og svage basiske kemikalier. Den elektriske isolationsevne er meget stor.

Super Epoxy tåler varme op til 180°C i kortere perioder, men bør ikke anvendes på overflader, som kontinuerligt udsættes for højere varme end 100°C.

TUB 1

Indeholder: løvmedikler epoxyharpiks. Irriterer øjnene og huden. Kan forårsage overfølsomhed ved berøring med huden. Opbevares utillægligt for børn. I tilfælde af stof i øjnene skyl straks grundigt med vand og søg læge. Straks efter brugen/kontakt med stoffet afvask med rigelig flydende sæbe og vand. Under arbejdet bæres beskyttelsesbriller/ansigtskærm. Opbevares utillægligt for børn. Sikkerhedsforskrifterne i Arbejdstilsynets publikation nr. 85/1978 om epoxyprodukter skal følges. Supplerende oplysninger er angivet i medfølgende datablad. Produktet er anmeldt til og advarslet til og brugsanvisning godkendt af Arbejdstilsynet under lb.nr. AT 1296 G.

TUB 2

Indeholder: Aminhærdet. Irriterer øjnene, åndedrætsorganerne og huden. Kan forårsage overfølsomhed ved berøring med huden. I tilfælde af stof i øjnene skyl straks grundigt med vand og søg læge. Straks efter brugen/kontakt med stoffet afvask med rigelig flydende sæbe og vand. Under arbejdet bæres beskyttelsesbriller/ansigtskærm. Opbevares utillægligt for børn. Sikkerhedsforskrifterne i Arbejdstilsynets publikation nr. 85/1978 om epoxyprodukter skal følges. Supplerende oplysninger er angivet i medfølgende datablad. Produktet er anmeldt til og advarslet til og brugsanvisning godkendt af Arbejdstilsynet under lb.nr. 1295 G.

X Sundhedsskadelig



Lim som løfter en bil efter 15 minutter

Obs!

Løfteprøve med bil som beviser Super Epoxy's hurtighed og styrke. En rund stålblade (10 cm i diameter) blev limet direkte på biltaget og bilen løftedes efter 15 min. Løfteprøven vist i engelsk TV.

Allerede efter 15 minutter kan du belaste, sæve, høvle og file på den limede genstand.

Sammenføj gerne lamelltræ, spånplader ved at lime endetræ mod endetræ eller side mod side.

Fasthold altid limningen i den rigtige stilling under hærdningen. Limen er stærk! Du kan ikke justere stillingen når limen er hærdet.

Lim metaller. Du kan f.eks. låse en motor med Super Epoxy

Limens styrke fremgår af billedstillingen som illustreres på pakningen.

Du kan lime forskellige materialer mod hinanden i alle kombinationer og overfladerne behøver ikke være jævne – Super Epoxy udfylder ujævnhederne.

Farveløs – udmærket til f.eks. glas og porcelæn.

Lim sten eller beton. Reparationen tåler både væjr og vind, kulde og varme. Du bør altid have Super Epoxy hjemme. Med Super Epoxy kan du fastgøre værktøjs- og redskabsskaffer, reparere møbelben, legetøj og andre genstande i hjemmet og huset.

Super Epoxy er den perfekte hobbylim. Du kan lime de fleste materialer og samlinger – næsten usynlige.

BRUGSANVISNING

FORUDSÆTNING

Bedste resultat opnås, hvis limfladerne, hvor Super Epoxy skal påføres, er absolut rene – ingen snavs, fugtighed, olie, rust, gammel farve el. lign. Gør rent ved at slibe med sandpapir eller smærgellærred. Olie og fedt fjernes lettest med acetone.

SAMMENBLANDNING

Stik hul på membranen på begge tuber med bagsiden af tubehætterne. Tryk lige lange strege ud fra begge tuber. Anvend gerne et plant, hårdt underlag. Bland ikke mere sammen, end der kan anvendes indenfor 5 min.

OBS! Sæt de rigtige tubehætter på de respektive tuber ellers klæber hæterne fast.

APPLICERING

Super Epoxy påføres begge flader, som skal limes. Derefter presses limfladerne sammen og holdes på plads med tape el. lign.

HÆRDNING

Super Epoxy hærdet (stivner) gennem en kemisk reaktion (samtidigt, helt igennem) i stuetemperatur på 5–10 min, alt efter lagtykkelsen. I tynde lag sker hærdningen langsommere og i tykke lag hurtigere. Ved lavere temperatur bliver hærdningstiden længere. I modsætning til hidtil kendte epoxy-lim hærdet Super Epoxy selv ved en temperatur ned til +5C.

RENGØRING

OBS! Eventuelt spild af sammenblandet lim bør omgående fjernes med opløsningsmiddel eller varmt sæbevand. Hærdet lim kan ikke opløses eller afvaskes. Hudirritation kan opstå hos personer med særligt hud. Hænderne bør derfor vaskes efter arbejdet med sæbe og vand.

A/S PLASTIC PADDING Fjeldhammervæj 4, 2610 RØDOVRE
Tlf (01) 708855

- Kalibrering af plotter og data for strain-gauges.

Udstyr for udskrift af arbejdslinier
for 15⁰ x 30 cm betoncylindre

1. Apparatur

Prøvemaskine 300 tons: EPP 300.

Tryktransducer. Hottinger. 200 bar. G233.04-2002.

Vibrometer forstærkerapparat med 3 stk. forstærkerenheder 8-MCA-1/A og en sumforstærker.

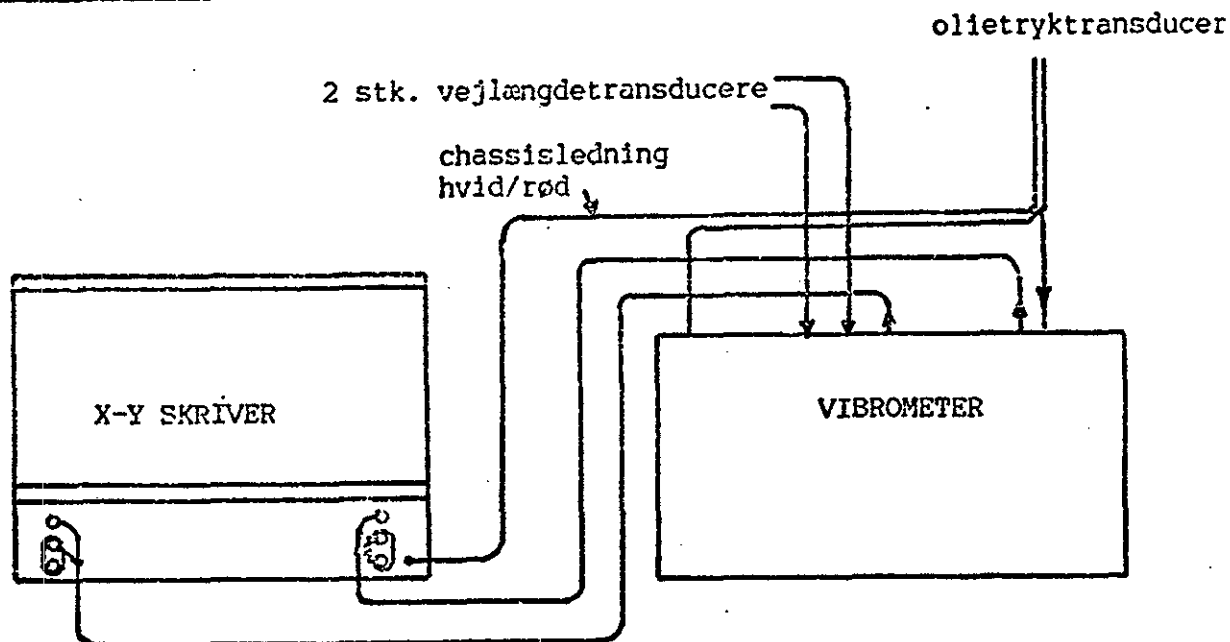
2 stk. vejlængdetransducere. \pm 1 mm målelængde.

Opspændingsværktøj til placering afstandsringe og vejlængdetransducere på betoncylinderen.

X-Y skriver. A3 format. ALLEN DATA.

Kalibreringsstander med mikrometerskrue.

2. Opstilling af apparatur



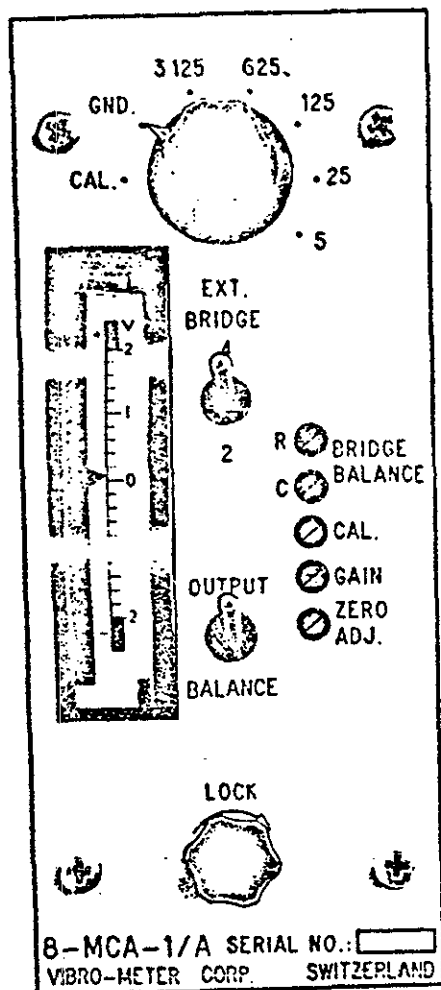
Der tændes for udstyret i god tid, ca. 1 time før det skal anvendes. Det skyldes, at Vibrometerforstærkerens forstærkning driver lidt, indtil udstyret er driftsvarmt.

Prøvemaskinen har også godt af at stå og pumpe olie gennem systemet, så også olien bliver varm og dermed har den rette viskositet. Det gøres ved at åbne for aflastningsventilen på maskinens højre side og åbne for drøvleventilen til højre på maskinens forside.

Tryktransduceren skal være tilsluttet med hydraulik-lynkoblingen til røret mrk. TRYKMALING bag på maskinen.

VIBROMETER Strain Gauge forstærker. Type 8-MCA-1/A.

Betjeningsknapper



Øverst på forpladen er anbragt en input-attenuator med spring på 5 gange mellem stillingerne.

Stillingen mrk. 5 har størst følsomhed.

I stilling GND er indgangsforstærkeren kortsluttet.

I stilling CAL tilføres en spænding til indgangsforstærkeren i stedet for målesignalet. Denne spænding kan ændres med potmeteret mrk. CAL. NB. Alle potmetrene på forpladen har ca. 20 omdr. fra stop til stop.

Sammen med inputattenuatoren hører potmeteret GAIN, som kan ændre forstærkningen med en faktor på ca. 5,5. Så alle forstærkninger kan indstilles med en kombination af omskifterstilling og GAIN.

2 stillingsomskifteren EXT. BRIDGE anvendes til at indstille brokredsløbet til helbro med 4 brogrene eller til halvbro, hvor de resterende 2 brogrene tilsluttes internt i forstærkeren.

2 stillingsomskifteren OUTPUT/BALANCE bestemmer, om viserinstrumentet er tilsluttet forstærkerens outputfatning eller det kredsløb, der anvendes, når en strain-gaugebro skal afbalanceres.

Til afbalancering af straingaugebroer er der anbragt 2 potmetre mrk. BRIDGE BALANCE, R & C.

Potmeteret ZERO ADJ. anvendes til at balancere demodulatorkredsløbet. Inputattenuatoren stilles i pos. GND, hvorefter ZERO ADJ. drejes indtil viserinstrumentet viser ca. 0.

ZERO ADJ. kan også anvendes, hvis man ønsker at ændre outputspændingen lidt væk fra det egentlige "elektriske" nulpunkt.

KRAFTMÅLING

Trykkraften måles indirekte som olietrykket fra oliepumpen. Der anvendes en tryktransducer (Hottinger type G 233.04-2002), der giver 1.002 mV/V output ved et tryk på 200 bar.

Kalibrering af forstærkerenhed

Hvis det ikke allerede er foretaget, så:

Tilslut transducer til forstærkerenheden mrk. Olietryk. Krafttransducer.

Tilslut evt. skriverens Y kanal til forstærkerens output.

Brobalance

1. Ext. Bridge i pos. 4. OUTPUT/BALANCE i pos. OUTPUT.
2. Omsk. i GND.
Just. potmeter ZERO ADJ. til visning ca. 0.
3. OUTPUT/BALANCE omskifter i pos. BALANCE.
Drej attenuater gennem alle stillinger fra den mindste følsomhed (3125) til den højeste følsomhed. Juster samtidig de 2 potetre mrk. BRIDGE BALANCE R & C, indtil viseren står så tæt ved 0 som muligt.
4. OUTPUT/BALANCE omskifter tilbage i pos. OUTPUT.
5. Attenuator i pos. 25 eller pos. 5.

Kalibrering

Anbring en passende ståklods i prøvemaskinen.
Check område kontravægten bag på betjeningskonsollen.

Tilslut skriverens Y akse til output fra forstærkeren. Skriverfølsomhed skal være 50 mV/cm eller 0,5 V/cm afhængig af prøvemaskineområdet. 50 mV/cm passer til 50 t prøvemaskineområde.

Kør prøvemaskinen op, så vognen svæver. Nulstil viseren på selve prøvemaskinen med den lille fingerskrue øverst oppe til venstre.

Nu er det praktisk at justere lidt på forstærkerens ZERO ADJ., så der kommer 0 V ud til skriveren. Det gøres ved at dreje ZERO ADJ., indtil skrivepennen ikke flytter sig, når der trykkes på den lille røde knap på skriverens attenuator. Pos. pennen på en linie.

Kør nu prøvemaskinen op til kontakt med emnet og videre til fuld skala, f.eks. 50 t.

Se efter, at viserinstrumentet på forstærkeren ikke er kommet op i det røde område. Hvis det er tilfældet, er følsomheden for stor. Juster evt. GAIN eller skift område.

Hvis der er ændret på forstærkerens følsomhed skal den ovenstående manøvre med nulpunktet foretages igen. Dvs. af med lasten, svævende vogn, juster ZERO ADJ.

I 50 tons området kan man praktisk benytte en skala på papiret med 2 t/cm.

I 100 tons området 5 t/cm.

NB. Normalt mm papir kan ikke udnyttes helt ud til kanten foroven og forneden.

NB. Hvis der er brug for justering.

Sæt skriverens omskifter VAR./CALIB. i stilling VAR. (det betyder variabel følsomhed). Juster ved hjælp af knappen VAR. SCALE pennen, til udslaget passer med den ønskede max. værdi på papiret. Ved tryk på den lille røde knap kontrolleres nulpunkt, hvis det ønskes.

Aflast prøvemaskinen langsomt og marker nogle skalapunkter på vejen ned til 0. Påfør last igen og marker de samme punkter på vej op.

Der skulle gerne være overensstemmelse, og så giver det desuden lidt øvelse i at betjene maskinen.

VEJLÆNGDEMÅLING

Der benyttes 2 stk. såkaldte differentialtransformatortransducere. De er tilsluttet hver sin forstærkerenhed, og outputspændingen fra disse 2 forstærkere går videre til en summationsforstærker, hvorfra sumspændingen føres til X-Y skriverens X kanal.

Til kalibrering benyttes en kalibreringsstand med en micrometerskrue med en opløsning på 2/1000 mm. Bemærk, 1 omdr. af micrometeren svarer til 0.5 mm.

Vejlængdetransducerne vil normalt være forsynet med stopmøtrikker, som indikerer måleområdet, som er ± 1 mm.

Kalibrering

Omsk. EXT. BRIDGE altid i pos. 4.

Omsk. OUTPUT/BALANCE altid i pos. OUTPUT.

De 2 potmetre for BRIDGE BALANCE skal ikke anvendes.

Stil drejeomsk. i begge vejlængdeforstærkere i pos. GND.

Juster ZERO ADJ. til viserinstrumenterne står på ca. 0.

Anbring en af transducerne i kalibreringsstanden. Slå et tøj om en af stængerne, så kernen forhindres i at dreje rundt. Kan ellers bevirke besynderlige ulineariteter.

Micrometeren stilles på en "pæn" værdi, f.eks. 25.000 mm.

Drejeomsk. i pos. 625.

Flyt transducerknappen med håndkraft, til viserinstrumentet viser ca. 0 igen.

X-Y skriverens X input skal stå i 50 mV/cm. CALIB.

Med micrometeren flyttes nu f.eks. $\pm 0,3$ mm og med GAIN potmeteret justeres til den ønskede følsomhed. Normal følsomhed er 50 mm på papiret for 0,1 mm vejlængde.

Når GAIN ændres, flytter nulpunktet sig som regel også lidt; så kontroller altid udgangspunkt på skriveren, og flyt det med knappen \leftrightarrow ZERO på skriveren.

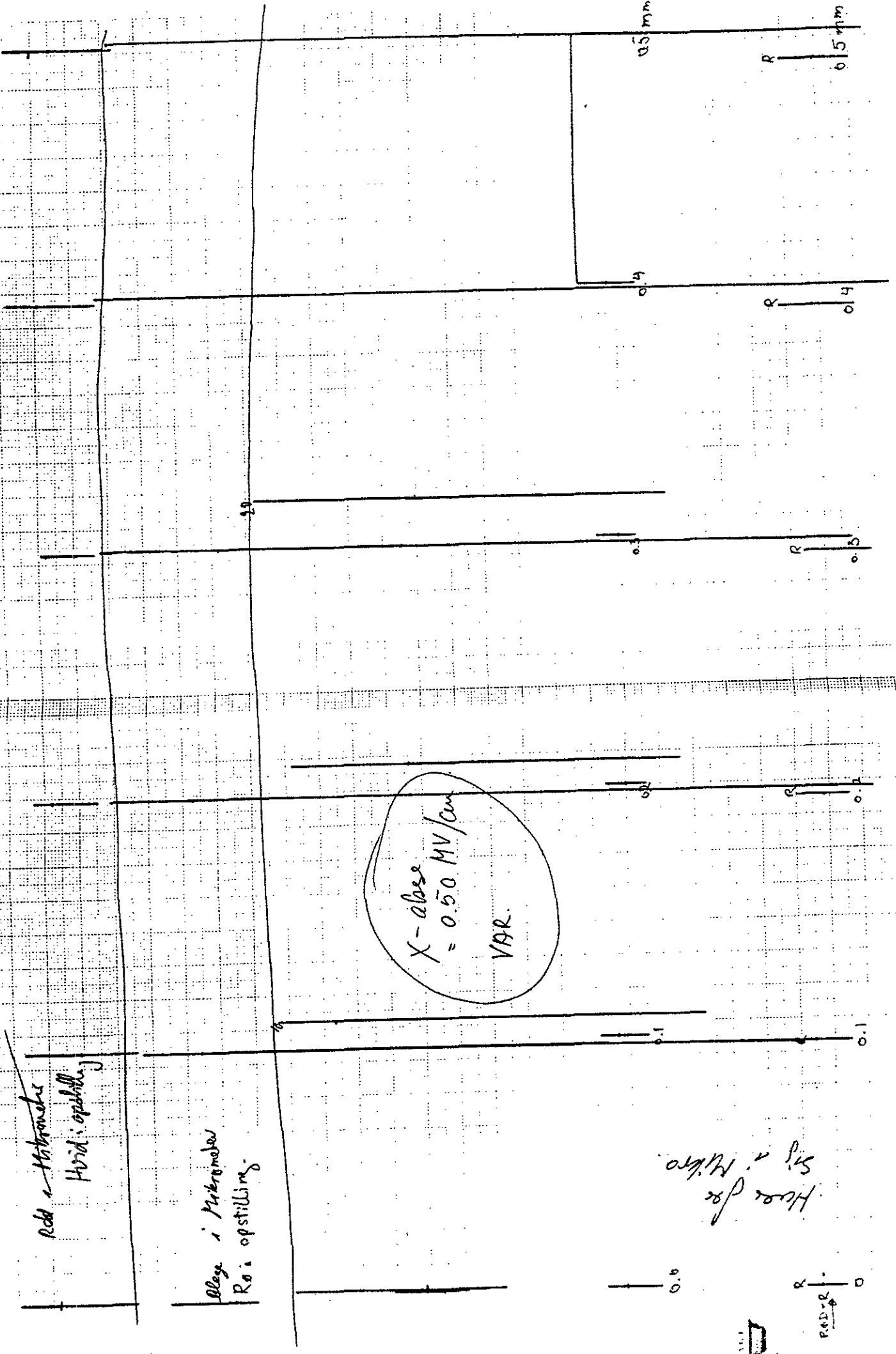
Sæt drejeomskifteren tilbage i GND.

Gentag kalibreringen for nr. 2 vejlængdetransducer.

Sæt drejeomskifteren på den først kalibrerede forstærker til 625.

Med begge vejlængdetransducere i brug bliver skalaen på papiret nu 100 mm \sim 0,1 mm.

19/10-88.



Red i Mikrometer
Hvid i opstilling

Blå i Mikrometer
Rø i opstilling

X-akse
= 0.50 MV/cm
VAR.

Hvor for
sig i Mikro.

0.1

0.1

0.4

0.4

0.3

0.3

0.2

0.2

0.1

0.1

0.0

0.0

0.5 mm

0.5 mm

- Kalibrering af Eilersen-trykcelle.

DANMARKS INGENIØRAKADEMI Bygningsafdelingen	Forsøg nr: DBF	Initialer: TI/BJ	Dato: 21/9-88	Side: 1
--	-------------------	---------------------	------------------	------------

Målingens art:

Genanvendelsesmateriale, KALIBRERING AF TRYKCELLE

Voltmeter	12.0 Volt.			
0-væning	på Voltmeter v. last.	0.062 Volt.		

	1'	2'	3'
0			
2.5			91
5	121	121	121
7.5			151
10.0	181	181	181
12.5			211
15.0	241	241	241
17.5			272
20.0	303	303	303
	[mV]	[mV]	[mV]

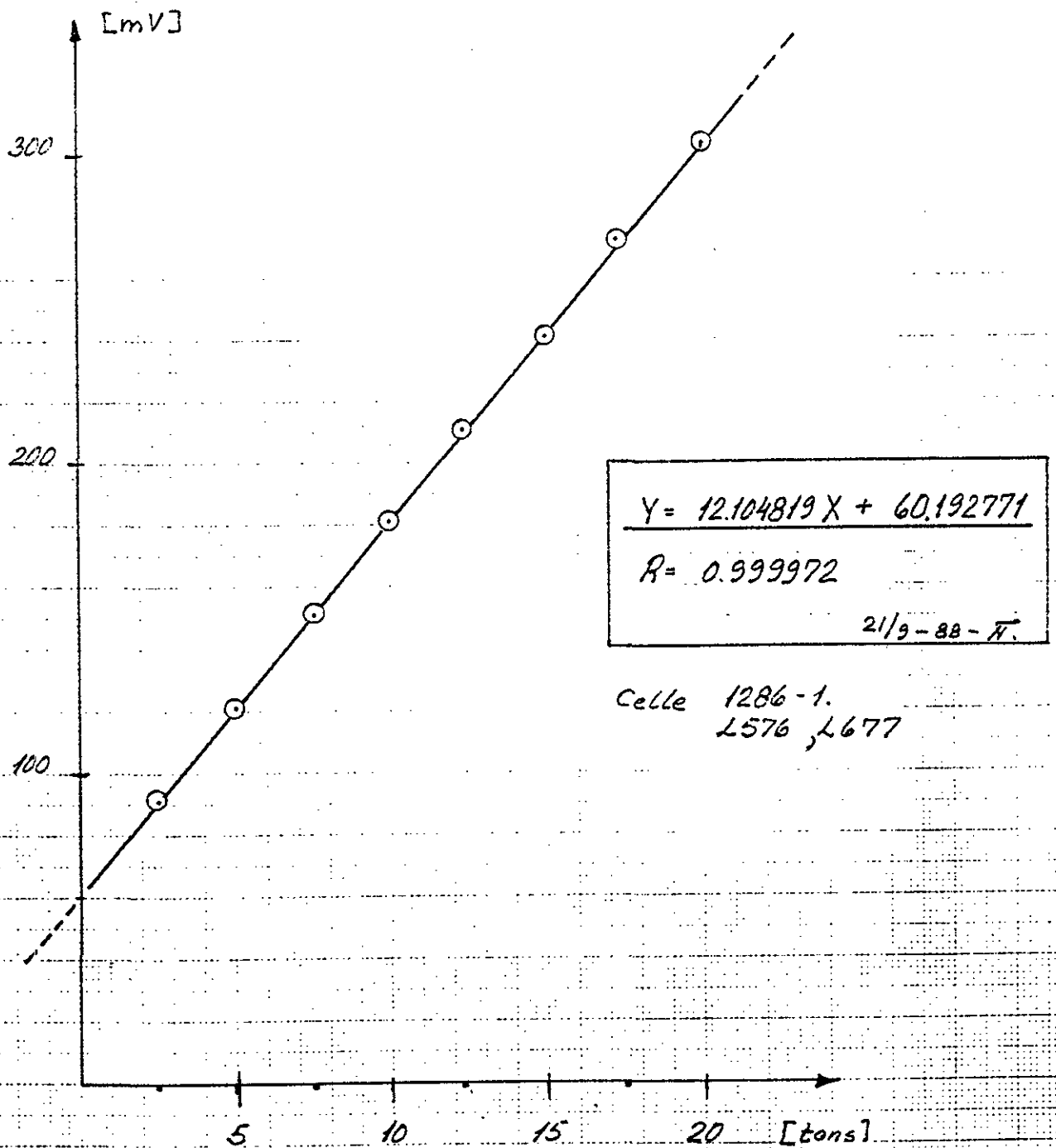
X = 2.50
Y = 91.00
X = 5.00
Y = 121.00
X = 5.00
Y = 121.00
X = 5.00
Y = 121.00
X = 7.50
Y = 151.00
X = 10.00
Y = 181.00
X = 10.00
Y = 181.00
X = 10.00
Y = 181.00
X = 10.00
Y = 181.00
X = 12.50
Y = 211.00
X = 15.00
Y = 241.00
X = 15.00
Y = 241.00
X = 15.00
Y = 241.00
X = 15.00
Y = 241.00
X = 17.50
Y = 272.00
X = 20.00
Y = 303.00
X = 20.00
Y = 303.00
X = 20.00
Y = 303.00
X = 20.00
Y = 303.00

$Y = BX + A$

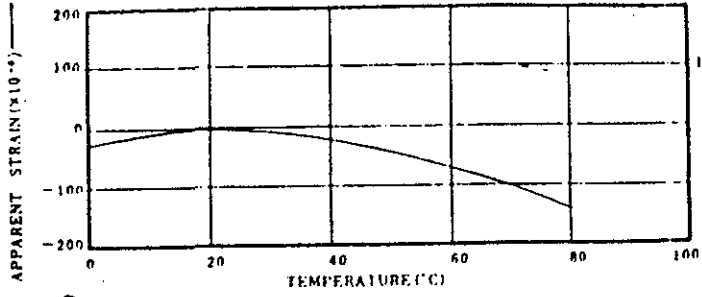
REGRES. ANALYSE
EMNE NR. = 1286.100000
HAELDN. B = 12.104819
A VAERDI = 60.192771
R2 = 0.999944
K. KOEFF. R = 0.999972
RESID. SPR = 0.550202
ANT T. PAR = 16.000000

Instrumenter :	Prøvemaskine TRIEBEL 0-20 ts.		
	L576 L677 - Omskifterbox til E-celle.		
	Celle 1286-1 Ejlersen - Trykcelle - Kort.		

Bemærkninger:

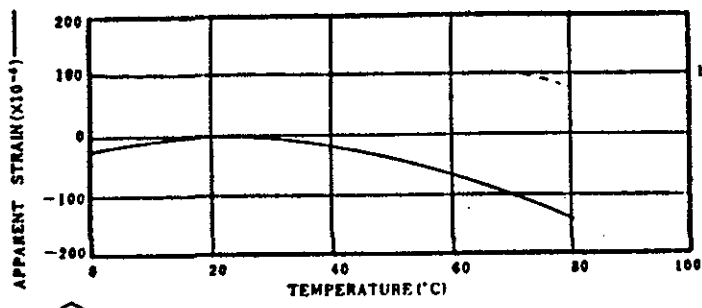


TYPE PL-120-11
 LOT NO. B223911
 ADHESIVE: P - 2.4A
 TEST OBJECT: Mild Steel
Aluminum



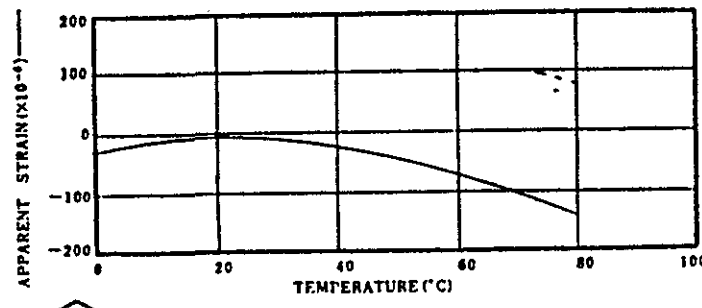
TML Tokyo Sokki Kenkyujo Co., Ltd.

TYPE: PL-120-11
 LOT NO.: B223911
 ADHESIVE: P - 2.4A
 TEST OBJECT: Mild Steel
Aluminum



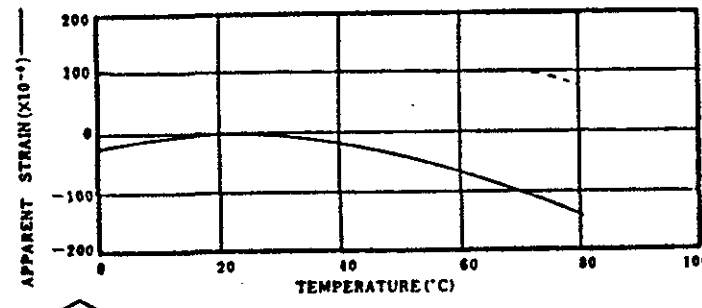
TML Tokyo Sokki Kenkyujo Co., Ltd.

TYPE: PL-120-11
 LOT NO.: B223911
 ADHESIVE: P - 2.4A
 TEST OBJECT: Mild Steel
Aluminum



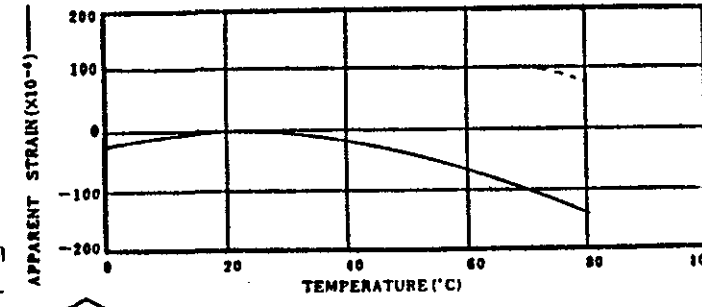
TML Tokyo Sokki Kenkyujo Co., Ltd.

TYPE: PL-120-11
 LOT NO.: B223911
 ADHESIVE: P - 2.4A
 TEST OBJECT: Mild Steel
Aluminum



TML Tokyo Sokki Kenkyujo Co., Ltd.

TYPE: PL-120-11
 LOT NO.: B223911
 ADHESIVE: P - 2.4A
 TEST OBJECT: Mild Steel
Aluminum

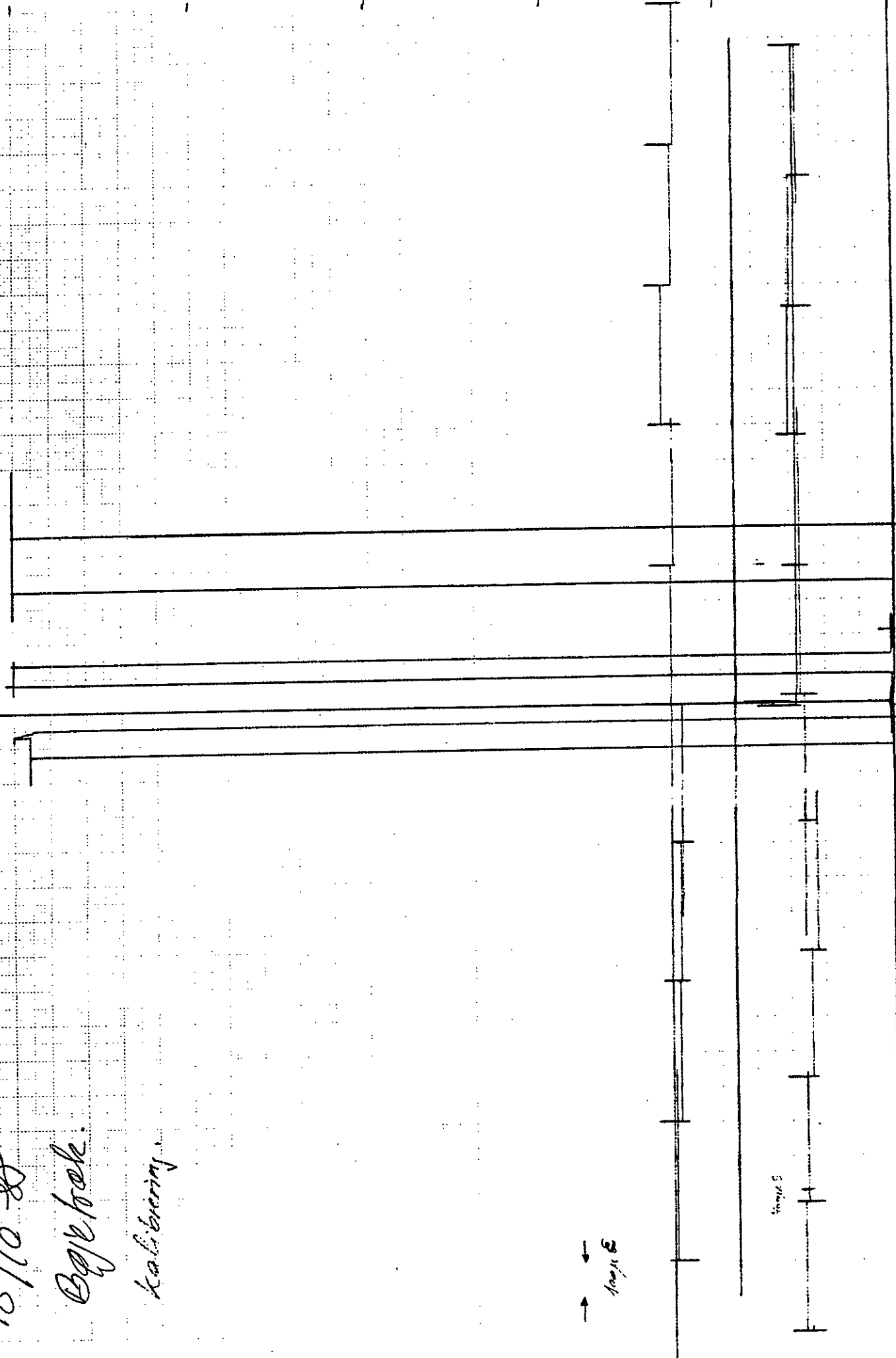


TML Tokyo Sokki Kenkyujo Co., Ltd.

18/10 20

Bajr bak.

Kalibering.



→
→
Kamp E

Kamp S



17/11/10

50

40

30

20

10

$\Sigma = 150$

