

Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen

Nr. 37 1990

Genbrug af friske betonrester
ved betonfremstilling

Miljøministeriet **Miljøstyrelsen**

Strandgade 29, 1401 København K, tlf. 31 57 83 10

628.4.036 : 628.477

B19

ex. 2

Genbrug af friske betonrester
ved betonfremstilling
Data for styrkeberegning

Steen Jessen, Nordsjællands Færdigbeton A/S
Bjarne Christian Jensen,
Axel Nielsen A/S Rådgivende Ingeniører
Torsten S. Thorsen, Danmarks Ingeniørakademi
Søren T. Skovsende,
Teknologisk Institut. Byggeteknik

MILJØSTYRELSEN
BIBLIOTEKET
STRANDGADE 29
1401 KØBENHAVN K

Rapporten er udarbejdet med tilskud fra Rådet vedr. genanvendelse og mindre forurenende teknologi.

Det skal bemærkes, at de fremsatte synspunkter ikke nødvendigvis dækkes af Rådet eller Miljøstyrelsen.

0. FORORD

Denne rapport beskriver resultaterne af projektet, der bærer titlen "Genbrug af friske betonrester ved betonfremstilling. Data for styrkeberegning". Projektet er finansieret af Rådet vedrørende genanvendelse og mindre forurenende teknologi.

Formål

Formålet med dette projekt har været at fremskaffe data for styrke, elasticitetsmodul og krybeforhold for beton med genbrug af friske betonrester, det vil sige beton, hvori der er anvendt støbevand indeholdende opslemmede bestanddele fra udvasket restbeton.

Disse data sammenlignes med tilsvarende data for referencebetoner uden genbrugsmateriale for derved at kunne vurdere, om der er behov for justeringer af betonnormens (DS 411) beregningsmetoder for bjælker, søjler, forankring mv., i tilfælde, hvor der anvendes beton med genbrug af friske betonrester.

Forsøgene, der indledningsvis blev betragtet som pilotforsøg, har vist, at der ikke er behov for grundigere, videnskabelige arbejder.

Projektet er gennemført i et samarbejde mellem Nordsjællands Færdigbeton A/S, Helsingør, Axel Nielsen as Rådgivende Ingeniører FRI, Danmarks Ingeniørakademi, Bygningsafdelingen og Dansk Teknologisk Institut, Byggeteknik. DTI/Byggeteknik har været projektleder.

Betonstøbningerne og prøvningen af den friske beton er foregået på Nordsjællands Færdigbeton A/S, Helsingør. Støbning og prøvning er foretaget af fabrikkens eget personale ved Palle Nielsen.

Prøvningen af den hærdede beton er blevet foretaget på Danmarks Ingeniørakademi, Bygningsafdelingen, Sektionen for Fysik og Materialer ved Torsten Thorsen.

Vurderinger af forsøgsresultaterne er primært foretaget af Axel Nielsen as Rådgivende Ingeniører FRI ved Bjarne Chr. Jensen.

Projektrapporten er i samarbejde med projektgruppen udarbejdet af Dansk Teknologisk Institut, Byggeteknik ved Søren Skovsende.

Projektet er gennemført i perioden oktober 1989 - juni 1990.

Projektet har været fulgt af en følgegruppe med nedenstående deltagere:

- Jette Skaarup og Lars Søborg
Miljøstyrelsen, Genanvendelseskontoret
- Steen Jessen
Nordsjællands Færdigbeton A/S
- Bjarne Chr. Jensen
Axel Nielsen as Rådgivende Ingeniører FRI
- Torsten S. Thorsen
Danmarks Ingeniørakademi, Bygningsafdelingen,
Sektionen for Fysik og Materialer
- Søren T. Skovsende
Dansk Teknologisk Institut, Byggeteknik

INDHOLDSFORTEGNELSE

	Side
0. Forord	1
1. Konklusion	4
2. Indledning	5
2.1 Baggrund for projektet	5
3. Undersøgelser og forudsætninger	6
3.1 Indledning	6
3.2 Forudsætninger	6
3.3 Anvendte betontyper	7
3.4 Oversigt over laboratorieforsøg	7
4. Undersøgelser af den friske betons egenskaber	9
4.1 Faststofkoncentration i støbevandet	9
4.2 Konsistens, luftindhold og densitet	9
5. Støbning af prøveemner	11
5.1 Støbning, hærkning og tildannelse	11
6. Styrkeprøvning af den hærdede beton	12
6.1 Trykstyrke	12
6.2 En-akset trækstyrke	16
6.3 Spaltettrækstyrke	18
6.4 Bøjningstrækstyrke	20
6.5 Elasticitetsmodul	22
6.6 Krybning	26
7. Sammenfatning og diskussion	32
8. Litteratur	33

Bilag

1. KONKLUSION

Projektets formål har været at undersøge, hvilken betydning genbrug af friske betonrester (støbevand med opslemmede bestanddele) har for hærdet betons styrkeegenskaber.

Forsøgene har omfattet to principielt ens betoner med en karakteristisk trykstyrke på henholdsvis ca. 20 og ca. 40 MPa.

Betonerne er fremstillet med tre forskellige koncentrationer af opslemmede bestanddele i støbevandet, nemlig 0 % (referencebeton), ca. 7% og ca. 15% (vægt-% af støbevand).

Der er udført bestemmelse af alle seks betonvarianters trykstyrke, en-aksede trækstyrke, spaltetrækstyrke, bøjningstrækstyrke, elasticitetsmoduler og evt. tidsafhængige deformationer (krybning; der er ikke udført svindmålinger).

På baggrund af forsøgene kan der konkluderes følgende for beton med op til 15% opslemmede bestanddele i støbevandet i forhold til beton uden genbrug af friske betonrester:

- Beton med genbrug af friske betonrester er et plastisk materiale ligesom almindelig beton.
- Trykstyrken påvirkes ikke ved genbrug af friske betonrester.
- Forholdet mellem den en-aksede trækstyrke og trykstyrken ændres ikke ved genbrug af friske betonrester.
- Forholdet mellem den en-aksede trækstyrke og spaltetrækstyrken ændres ikke ved genbrug af friske betonrester.
- Forholdet mellem bøjningstrækstyrken og den en-aksede trækstyrke ændres ikke ved genbrug af friske betonrester.
- Forholdet mellem begyndelseselasticitetsmodulet og trykstyrken ændres ikke ved genbrug af friske betonrester.
- Forholdet mellem sekantelasticitetsmodulet ved 50% af brudlasten og begyndelseselasticitetsmodulet ændres ikke ved genbrug af friske betonrester.
- Krybetallet påvirkes ikke ved genbrug af friske betonrester.

Generelt viser forsøgene, at beton med genbrug af friske betonrester med hensyn til styrke- og deformationsforhold kan projekteres efter betonnormen, DS 411.

2. INDLEDNING

2.1 baggrund for projektet

Omkring 2-3 % af betonproduktionen på danske færdigbeton-fabrikker ender som rest- eller returbeton (spildbeton), hvoraf hovedparten i dag bliver deponeret på kontrollerede lossepladser.

Projektet "Genbrug af frisk betonspild, arbejdsrapport nr. 16/1990 fra Miljøstyrelsen" (/1/), udført af Teknologisk Institut i samarbejde med NF/Beton, viste klart, at det er muligt at fremstille god og holdbar beton med genbrug af friske betonrester, det vil sige støbevand, som kan indeholde indtil ca. 15 vægt-% faststof bestående af cementpartikler, puzzolaner og finsand.

Betonnormen, DS 411, angiver i pkt. 3.1.2.3, at støbevandet "må ikke indholde stoffer, der kan skade betonen eller forringe betonens holdbarhed". Dette krav blev i /1/ bevist opfyldt for støbevand indeholdende opslemmede bestanddele fra restbeton fra fabriksbetonproduktion.

Med hensyn til beregninger baserer betonnormen sig på en entydig sammenhæng mellem betonens trykstyrke og en lang række andre parametre. I hvilket omfang denne sammenhæng også er gældende for beton med genbrug af friske betonrester, vides ikke.

En række af disse sammenhænge er undersøgt for beton med nedknust, hærdet genanvendelsesmateriale i projektet "Styrkeegenskaber for beton med genanvendelsesmaterialer, Miljøstyrelsen 1990" (/2/), som blev udført i et samarbejde mellem Dansk Beton Teknik A/S, Axel Nielsen as Rådgivende Ingeniører og Danmarks Ingeniørakademi, Bygningsafdelingen.

Dette projekt er en direkte fortsættelse af /1/ men med en forsøgsrække svarende til forsøgsrækken i /2/. Der henvises i øvrigt til disse rapporter, med hensyn til en mere generel information.

3. UNDERSØGELSER OG FORUDSÆTNINGER

3.1 Indledning

Undersøgelsernes mål har været at undersøge, hvilken indflydelse støbevand, som indeholder indtil ca. 15 vægt-% opslemmede bestanddele i form af cementpartikler, puzzolaner og finsand, har på sammenhængen mellem betonens trykstyrke og en række andre styrkeparametre.

Betonstøbningerne er foretaget på Nordsjællands Færdigbeton A/S i Helsingør under normale produktionsbetingelser og på et eksisterende genbrugsanlæg, der indgår i den daglige drift. Anlægget er beskrevet i /1/.

Forsøgene er udført på Danmarks Ingeniørakademi, Bygningsafdelingen, Sektionen for Fysik og Materialer og baseret på erfaringer fra en tilsvarende forsøgsrække i forbindelse med /2/.

3.2 Forudsætninger

Som udgangspunkt for forsøgene blev valgt en beton fra /1/ med vandcement forhold på 0.55 og en forventet styrke på 35 MPa.

Der blev ud fra ovennævnte proportioneret en principielt tilsvarende beton med en forventet styrke på 15 MPa (v/c = 0.93).

De to betontyper adskiller sig kun ved cementmængden. Mængden af sten, sand og vand er fastholdt.

Sætmålet blev tilstræbt til 80 mm.

De to betontyper blev udstøbt med tre forskellige koncentrationer af opslemmede bestanddele i støbevandet, tilstræbt 0% (reference), 7.3 % og 14.5 %. Støbningerne blev foretaget over en periode på 6 dage. Variationer i sammensætningen af det opslemmede materiale fra støbning til støbning kan negligeres ifølge /1/.

Det opslemmede materiale i genbrugsanlægget indeholder ikke bestanddele, der kan skade betonen, når dette anvendes i støbevand til ny beton. Dette gælder for såvel den friske som den hærdede betons egenskaber. Bestanddelene består af hydratiserede cementpartikler, flyveaske, mikrosilica og finsand. /1/.

Genbrug af friske betonrester betyder kun indvirkning på den friske betons sætmål (som mindskes) og afbindingstid (som forkortes). Der er endvidere observeret en tendens til øget langtidsstyrke. /1/.

3.3 Anvendte betontyper

De to betontyper var sammensat således:

Vand-cement forhold	0.93	0.55
-----	-----	-----
Rapidcement (kg/m ³)	178	304
Vand (kg/m ³)	165	168
Søsand 0-4 (kg/m ³)	875	875
Søsten, Gravilit 8-16 (kg/m ³)	1000	1000
-----	-----	-----

Ved tilsætning af støbevand med opslemmede bestanddele blev der korrigeret i vandtilsætningen for den aktuelle faststofprocent, således at mængden af vand er fastholdt i de forskellige blandinger.

3.4 Oversigt over laboratorieforsøg

Forsøgsprogrammet så således ud:

Støbevand:

- faststofkoncentration

Frisk beton:

- sammensætning
- sætmål
- luftindhold
- densitet
- temperatur

Hærdet beton:

- trykstyrke incl. arbejdslinie
- en-akset trækstyrke
- spaltettrækstyrke
- bøjningstrækstyrke
- krybning v. lastniveauer 25% og 50% af brudstyrke.

Grundlaget for alle forsøgene af den hærdede beton, var 5 stk. prøveemner, dog kun 2 ved krybeforsøgene (én til hvert lastniveau).

Bøjningstrækstyrkerne blev bestemt på 100 x 100 x 600 mm
prismer, krybningen på \varnothing 103 x 900 mm cylindre. De øvrige
styrker blev bestemt på \varnothing 100 x 200 mm cylindre.

4. UNDERSØGELSER AF DEN FRISKE BETONS EGENSKABER

4.1 Faststofkoncentration

Mængden af opslemmede bestanddele i vægt-% (faststofkoncentration) i støbevandet blev bestemt ved udtørring af støbevandet. Faststofkoncentration i % er vægten af tørt slam sat i forhold til vægten af vand og slam.

Faststofkoncentrationen i referencebetonerne (tilstræbt 0%) er nul, idet der blev anvendt rent vandværksvand til disse betoner.

Til betonerne med tilstræbt 7.3 og 14.5% faststofkoncentration blev der anvendt støbevand fra genbrugsanlægget suppleret med 2 kg rent vandværksvand.

Ved blandingen af betonerne blev der opnået følgende faststofkoncentrationer:

tilstræbt	betontype	
	v/c=0.93	v/c=0.55
	opnået	
0.0 %	0.0 %	0.0 %
7.3 %	6.4 %	7.3 %
14.5 %	14.6 %	15.2 %

Genbrugsanlægget opererer normalt med en faststofkoncentration på 5-7%. De øgede koncentrationer blev opnået ved at bortlede overfladevand efter stop i omrøringen.

4.2 Konsistens, luftindhold og densitet

Prøvning i henhold til prøvningsmetoderne:

- DS 423.12 Betonprøvning. Frisk beton. Konsistens. Sæt mål, 2. udg.
- DS 423.15 Betonprøvning. Frisk beton. Luftindhold, 1. udg.
- DS 423.16 Betonprøvning. Frisk beton. Densitet, 1. udg.

Opnået vand-cement forhold blev beregnet af blandecomputeren ud fra indvejede mængder cement og vand, samt fugtindholdet i tilslagsmaterialerne målt med fugtfølere i siloerne. Fugtfølere blev kalibreret mellem blanding 1 og 2.

	Blan- ding	v/c	fast- stof %	sætmål mm	luft %	densitet kg/m ³	temp. °C
Tilstræbt	1	0.55	0.0	80	-	-	-
Opnået	1	0.55	0.0	80	2.4	2369	15
Tilstræbt	2	0.55	7.3	80	-	-	-
Opnået	2	0.54	7.3	80	1.8	2375	15
Tilstræbt	3	0.93	7.3	80	-	-	-
Opnået	3	0.93	6.4	80	2.2	2367	14
Tilstræbt	4	0.93	0.0	80	-	-	-
Opnået	4	0.92	0.0	80	2.2	2338	13
Tilstræbt	5	0.93	14.5	80	-	-	-
Opnået	5	0.92	14.6	50	2.6	2341	13
Tilstræbt	6	0.55	14.5	80	-	-	-
Opnået	6	0.55	15.2	60	3.0	2358	16

Alle betoner viste god konsistens, dog med svag tendens til afblanding i blanding 3 og med tydelig mere kohæsiv konsistens i blanding 6.

5. STØBNING AF PRØVEEMNER

5.1 Støbning, hældning og tildannelse

Alle betoner blev produceret i en mængde på 1.5 m³. Blandetiden i tvangsblenderen var 60 sek. for betonerne med v/c=0.93 og 90 sek. for betonerne med v/c=0.55. Betonerne opholdt sig 3 minutter i roteretromle før udstøbning.

For at tilstræbe en ens behandling af betonerne blev blanding, udstøbning og prøvning af den friske beton til standighed udført af de samme personer i de samme arbejdsprocesser.

Procedurer for blanding, prøveudtagning, prøvning, udstøbning og hældning fulgte de normale procedurer for kontrol af færdigbeton.

Cylindrene (stålform, ø 100 x 200 mm) og prismerne (træform, 100 x 100 x 600 mm) blev vibreret på vibrationsbord. Cylindrene blev lagret vandret og prismernes ikke-formdækkede side overdækket med plast ved 20°C indtil afformning efter ca. 20 timer.

De "lange" cylindre (ø 103 x 900 mm) til krybeforsøgede blev udstøbt i tilskårede PVC-rør fastholdt vinkelret mod en stålbund i et stålstativ og lukket med et stållåg fra en traditionel cylinderform. Komprimeringen blev foretaget med en ø 25 mm stavvibrator. Disse cylindre blev lagret lodret ved 20°C indtil placering i vandbad efter ca. 20 timer. Afformning efter ca. 7 dage.

Alle prøvelegemer blev efter afformning lagret i 27 døgn i vandbad ved 20°C. I perioden fra udstøbning til endt vandlagring blev alle prøvelegemer opbevaret sammen (indtil 28 døgnns modenhed), således at ens lagringsbetingelser kunne opnås.

Efter endt lagringsperiode (28 døgn) blev prøveemnerne transporteret fra NF/Beton til Danmarks Ingeniørakademi. De "lange" cylindre til krybeforsøgene blev dog først afrettet til planparallelle endeflader ved påstøbning af svovlbeton.

Alle prøveemner blev leveret nummereret men uden specifikationer til Danmarks Ingeniørakademi - den aktuelle betontype blev først oplyst efter styrkeprøvningerne.

6. STYRKEPRØVNING AF DEN HÆRDEDE BETON

Generel bemærkning:

Forsøgsrækken er tidligere gennemført i projektet "Styrkeegenskaber for beton med genanvendelsesmaterialer" /2/.

Dimensionerne på prismerne til bestemmelse af bøjningstrækstyrke er dog ændret i nærværende projekt, ligesom forsøgsopstillingen til bestemmelse af krybningen er fundamentalt ændret og derfor beskrives nærmere i afsnittet "6.6 Krybning".

De enkelte forsøgsopstillinger og resultater fremgår af datarapporten "Genbrug af friske betonrester ved betonfremstilling. Forsøgsbeskrivelse og resultater". Datarapporten forefindes hos DIA-B.

6.1 Trykstyrke

Beskrivelse

Trykforsøg med tilhørende arbejdslinier er udført på 5 cylindre af hver beton ved en modenhed på 29-32 døgn.

Prøvningsmetode: DS 423.23 Betonprøvning. Hærdnet beton. Trykstyrke, 2. udg.

Resultater

Blanding nr.	Beton		Trykstyrke (MPa)		(emp spr.)
	v/c	fast- stof-%	forventet	opnået middelv.	
1	0.55	0.0	35	43.7	(3.2)
2	0.54	7.3	35	40.0	(3.5)
3	0.93	6.4	15	18.4	(1.3)
4	0.92	0.0	15	20.1	(0.8)
5	0.92	14.6	15	23.0	(1.2)
6	0.55	15.2	35	43.7	(2.6)

På de følgende tre sider vises trykarbejdslinierne for de 6 betoner. For ikke at ødelægge udstyret til deformationsmåling er cylindrene ikke belastet til brud, men belastningen er ophørt efter at arbejdslinien er blevet vandret.

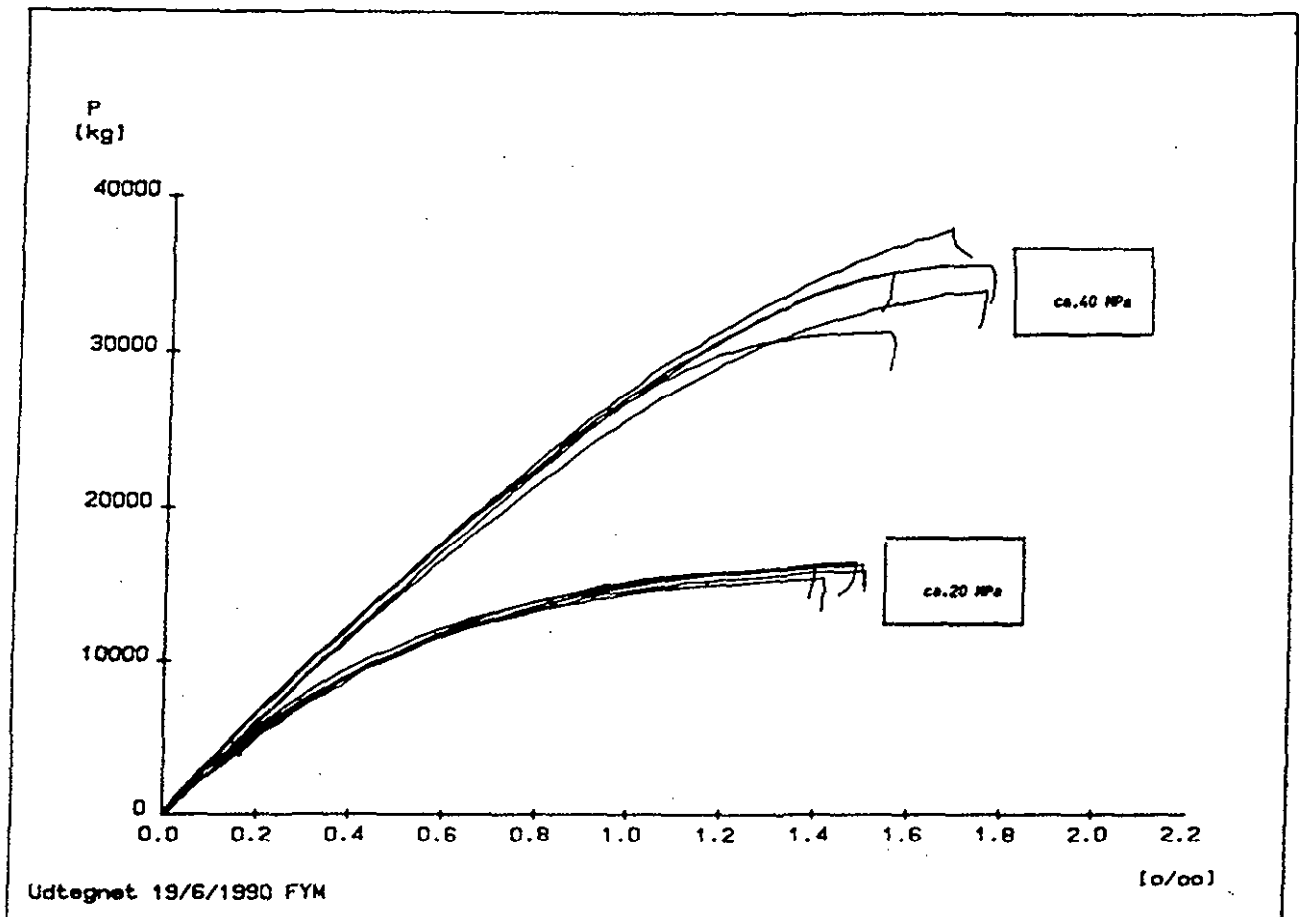


Fig. 1. Trykarbejdslinier for beton uden opslemmede bestanddele i støbevandet. Beton med begge styrkeniveauer (ca. 20 og ca. 40 MPa) er afbildet i figuren.

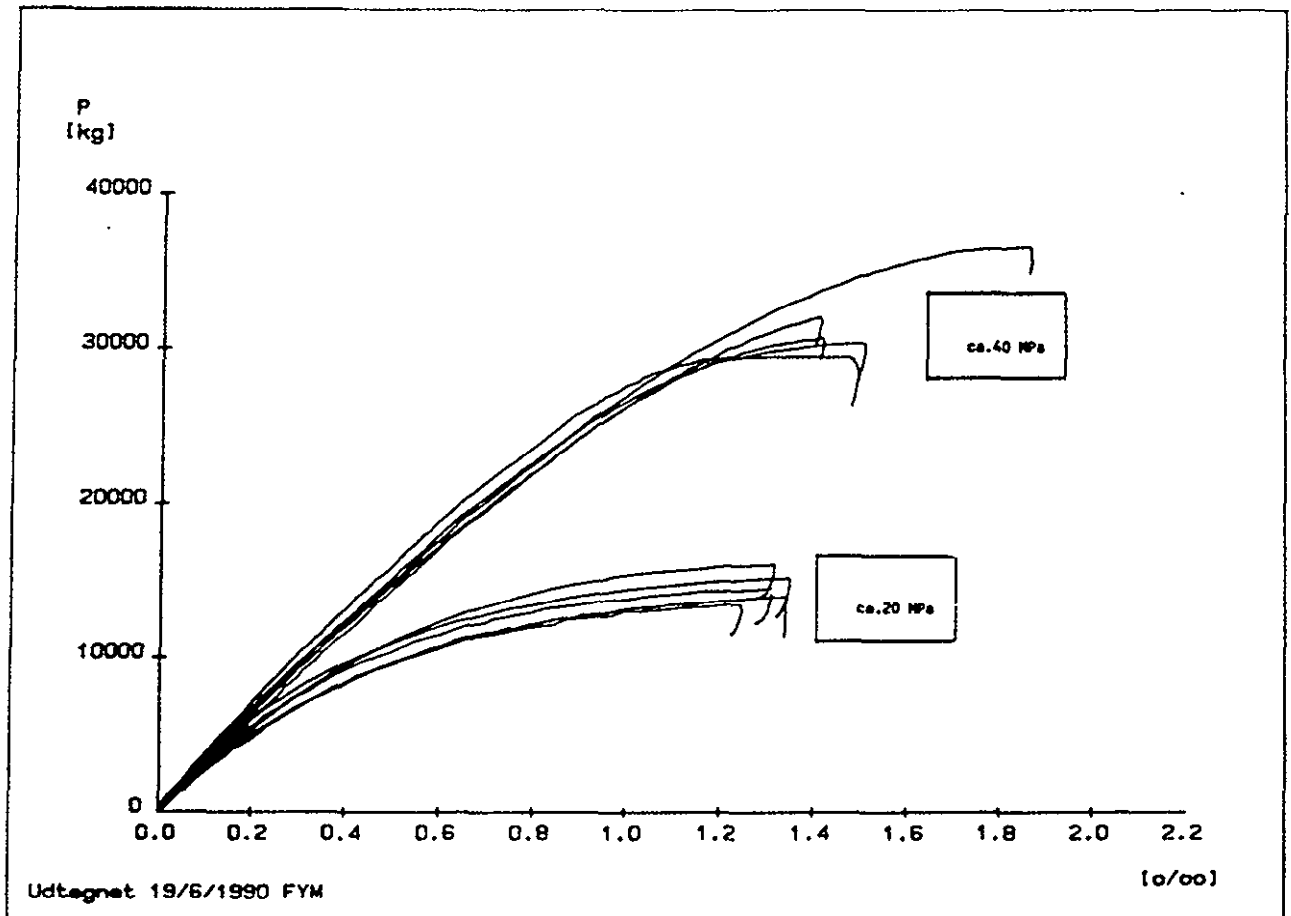


Fig. 2. Trykarbejdslinier for beton med ca. 7% opslemmede bestanddele i støbevandet. Beton med begge styrkeniveauer (ca. 20 og ca. 40 MPa) er afbildet i figuren.

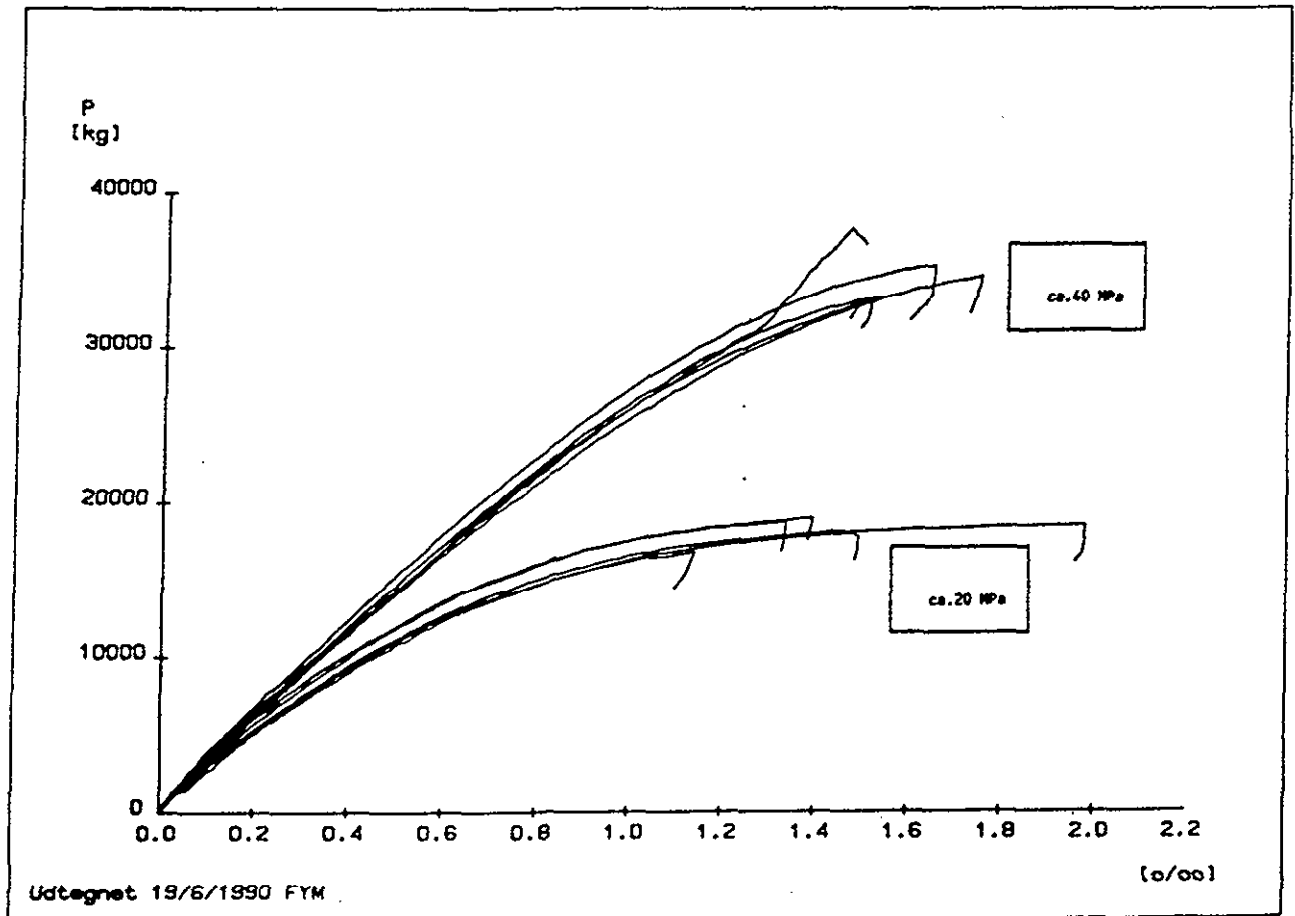


Fig. 3. Trykarbejdslinier for beton med ca. 15% opslemmede bestanddele i støbevandet. Beton med begge styrkeniveauer (ca. 20 og ca. 40 MPa) er afbildet i figuren.

Vurdering

Trykarbejdslinien for beton med friske betonrester (fig. 2 og 3) adskiller sig ikke principielt fra trykarbejdslinien for referencebetonerne (fig. 1).

Genbrug af friske betonrester har ikke signifikant indvirkning på betonens trykstyrke.

6.2 En-akset trækstyrke

Beskrivelse

En-aksede trækforsøg er udført på 5 cylindre af hver beton ved en modenhed på 47-50 døgn.

Prøvningsmetode: DS 423.24. Betonprøvning. Hærdnet beton.
Trækstyrke, 2. udg.

Resultater

På figur 4 er den en-aksede trækstyrke f_t optegnet som funktion af trykstyrken f_c . På figuren er ligeledes optegnet den sammenhæng mellem træk- og trykstyrke, der forudsættes i betonnormen DS 411.

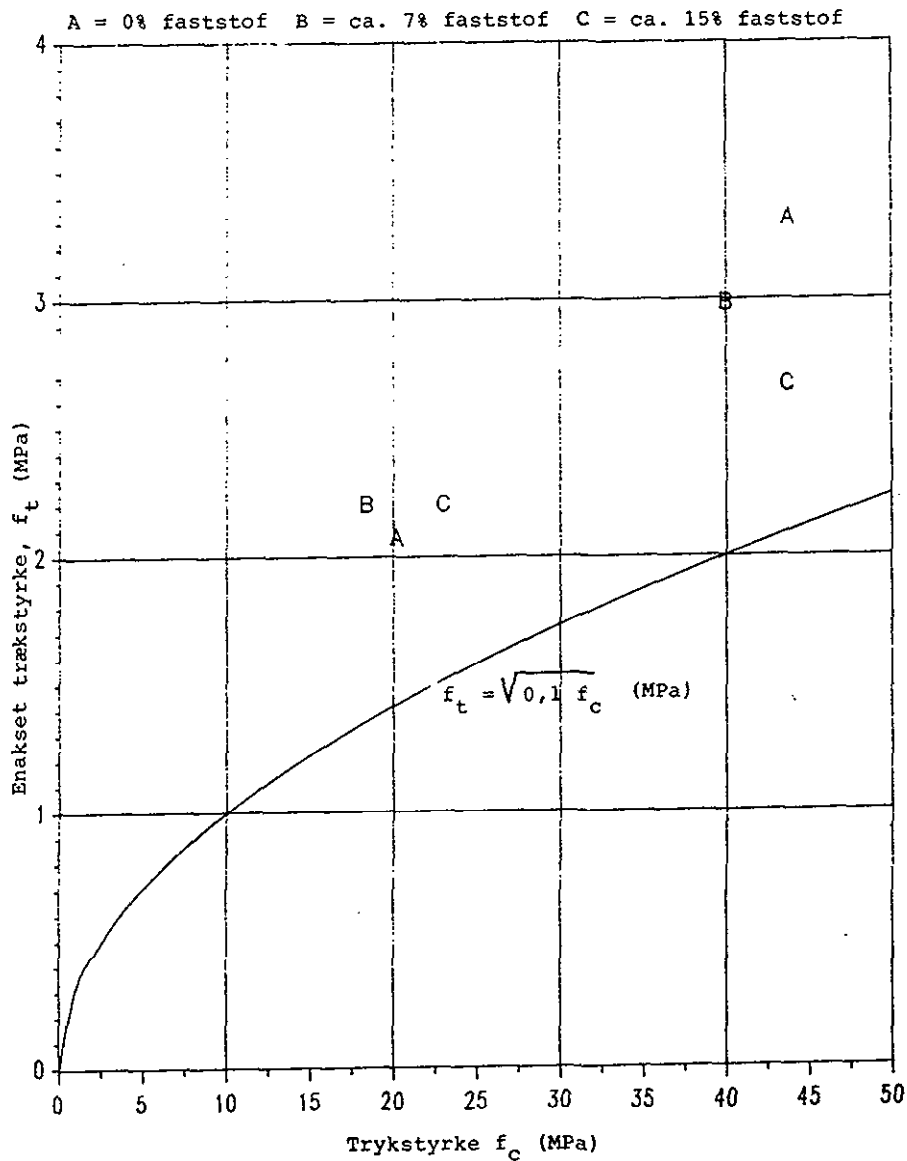


Fig. 4. En-akset trækstyrke f_t , som funktion af trykstyrke f_c , (middeltal).

Vurdering

Af figur 4 ses, at der ikke er signifikante forskelle i trækstyrkens afhængighed af trykstyrken forårsaget af faststofandele i støbeandet.

Det ses endvidere, at betonnormen DS 411 i dette tilfælde giver lavere trækstyrker som funktion af trykstyrken, uanset betontype.

6.3 Spaltetrækstyrke

Beskrivelse

Spaltetrækforsøg er udført på 5 cylindre af hver beton ved en modenhed på 29-35 døgn.

Prøvningsmetode: DS 423.34 Betonkonstruktioner. Prøvningsmetoder. Betons spaltetrækstyrke, 1. udg.

Resultater

På figur 5 er den en-aksede trækstyrke f_t optegnet som funktion af spaltetrækstyrken f_s . Den en-aksede trækstyrke antages ofte af være ca. 60% af spaltetrækstyrken - denne sammenhæng er også indtegnet på figuren.

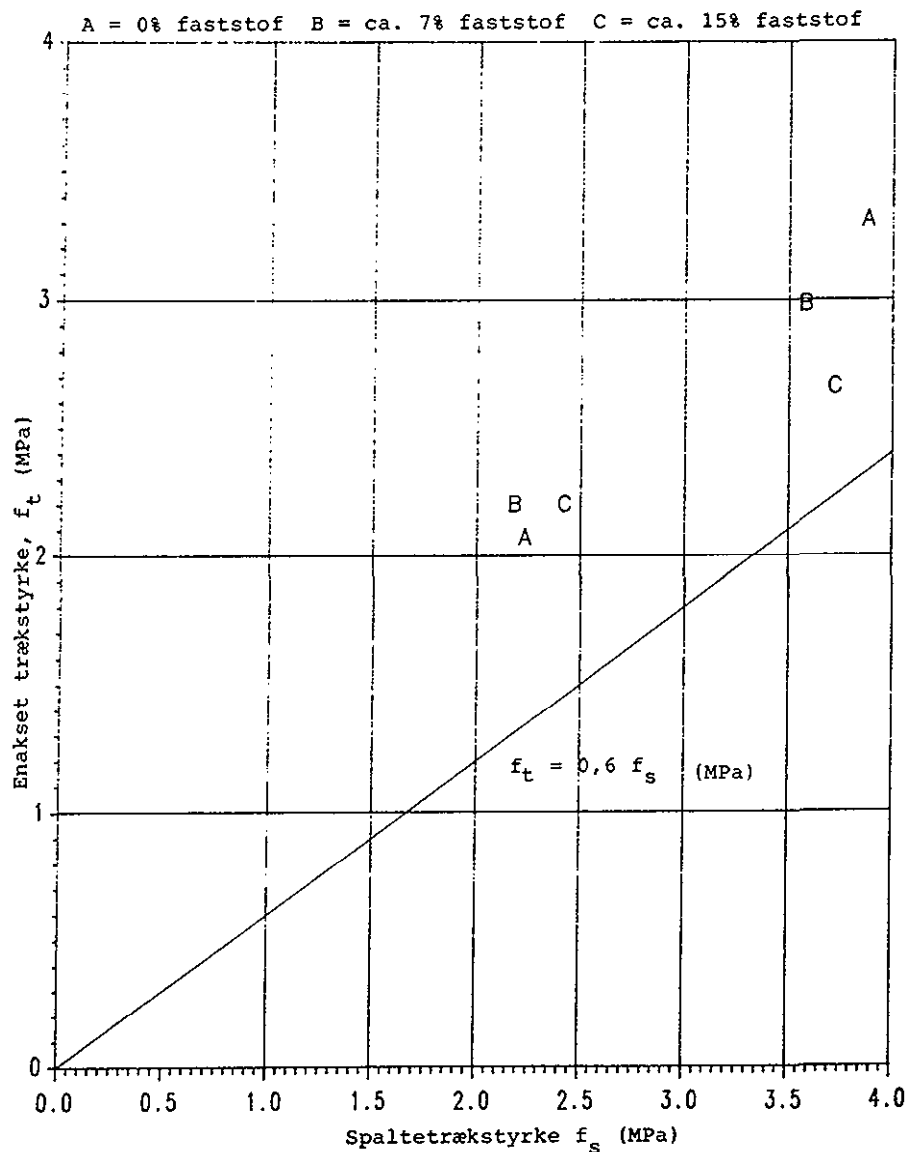


Fig. 5. En-aksede trækstyrke f_t som funktion af spalte-trækstyrken f_s (middeltal).

Vurdering

Af figur 5 ses, at der ikke er signifikante forskelle i sammenhængen mellem en-akset og spalte-trækstyrke forårsaget af faststofandele i støbeandet.

Det ses i dette tilfælde, at antagelsen om, at den en-aksede trækstyrke er ca. 60% af spaltetrækstyrken, giver lavere en-aksede trækstyrker som funktion af spaltetrækstyrken, uanset betontype.

6.4 Bøjningstrækstyrke

Beskrivelse

Der er udført bøjningstrækforsøg på 5-6 prizmer af hver beton ved en modenhed på 35-36 døgn.

Prøvningsmetode: De prismatiske prøvelegemer (100 x 100 x 600 mm) er belastet med to lige store kræfter placeret symmetrisk om midten med en indbyrdes afstand på 120 mm. Afstanden mellem understøtninger er 490 mm.

Resultater

På figur 6 er bøjningstrækstyrken f_{bt} optegnet som funktion af den en-aksede trækstyrke f_t .

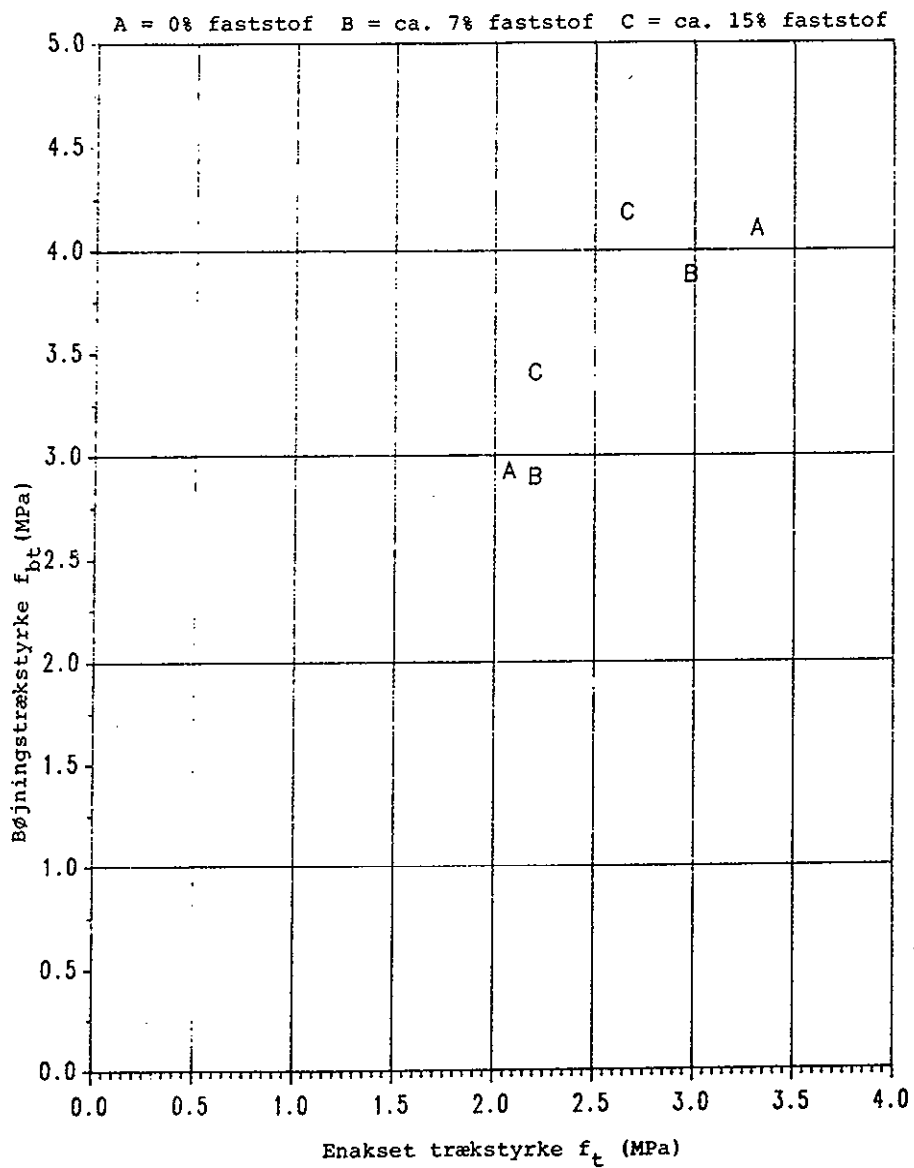


Fig. 6. Bøjningstrækstyrken f_{bt} som funktion af den en-aksede trækstyrke f_t (middeltal).

Vurdering

Figur 6 kunne antyde en lidt forøget bøjningstrækstyrke for beton med høj faststofkoncentration, men forskellene er ikke signifikante.

Normalt antages bøjningstrækstyrken at være ligefrem proportional med den en-aksede trækstyrke, hvilket ikke modsiges af figuren.

Betonnormen DS 411 antager, at bøjningstrækstyrken f_{bt} kan sættes til 2 x den en-aksede trækstyrke f_t , hvilket i dette tilfælde ses at give højere bøjningstrækstyrker, uanset betontype.

6.5 Elasticitetsmodul

Beskrivelse

For at kunne beregne begyndelseselasticitetsmodulet E_0 og sekantelasticitetsmodulet E_{sek} er samtlige trykarbejdslinier blevet digitaliseret ved hjælp af et ved Danmarks Ingeniørakademi udviklet digitaliseringsprogram. E_0 beregnes ved hjælp af en lineær regressionsanalyse, der forudsætter at linien går gennem $(\sigma, \epsilon) = (0,0)$. Ud fra korrelationskoefficienter sikrer regressionsanalysen, at det beregnede elasticitetsmodul er det bedst muligt opnåelige med det aktuelle datasæt.

Beregningen af sekantelasticitetsmodulet $E_{sek-50\%}$ sker ved, at der på den digitaliserede arbejdslinie opsøges det koordinatsæt, der repræsenterer 50% af brudlasten, og hældningen for linien gennem $(0,0)$ og $(\frac{1}{2} f_c, \epsilon)$ bestemmes.

Nedenstående figur 7 viser, hvorledes E_0 og $E_{sek-50\%}$ bestemmes ud fra en digitaliseret arbejdslinie.

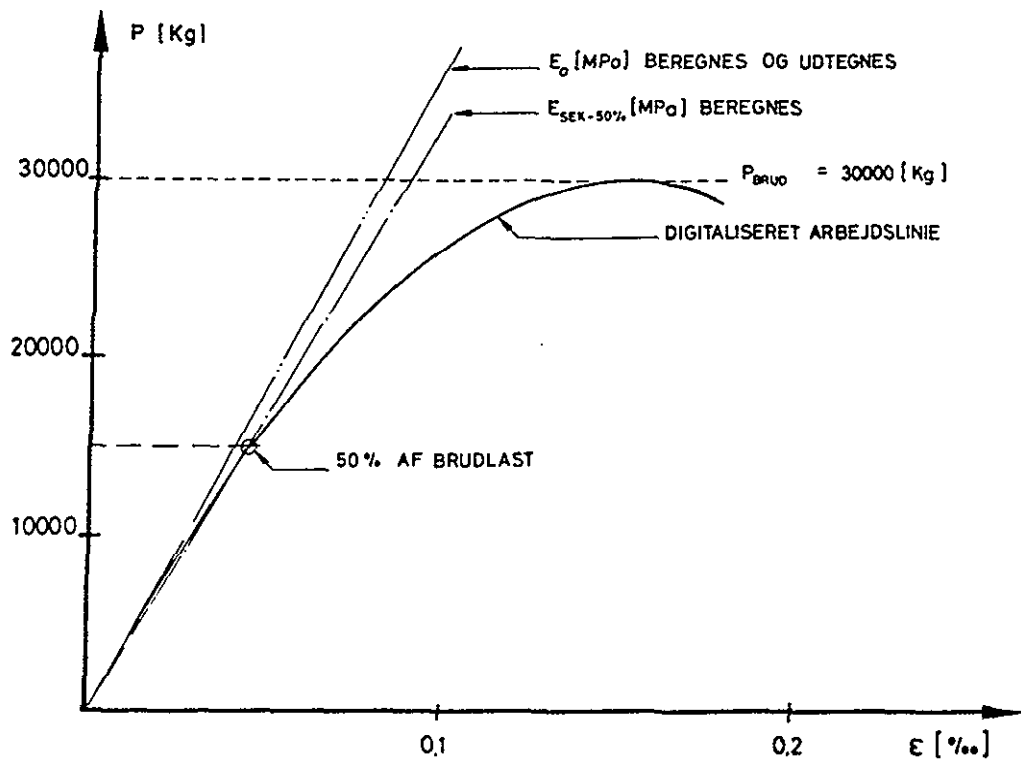


Fig. 7. Eksempel på bestemmelse af E_0 og $E_{\text{sek-50\%}}$.

Resultater

På figur 8 er begyndelseselasticitetskoefficienten E_0 vist som funktion af trykstyrken f_c . På figuren er ligeledes indtegnet den sammenhæng mellem E_0 og f_c , der anvendes i betonnormen DS 411.

På figur 9 er sekantelasticitetsmodulet E_{sek} vist som funktion af begyndelseselasticitetsmodulet E_0 . E_{sek} er beregnet svarende til 50% af brudspændingen. E_{sek} anvendes ved en række statiske beregninger og antages ofte at afhænge lineært af E_0 .

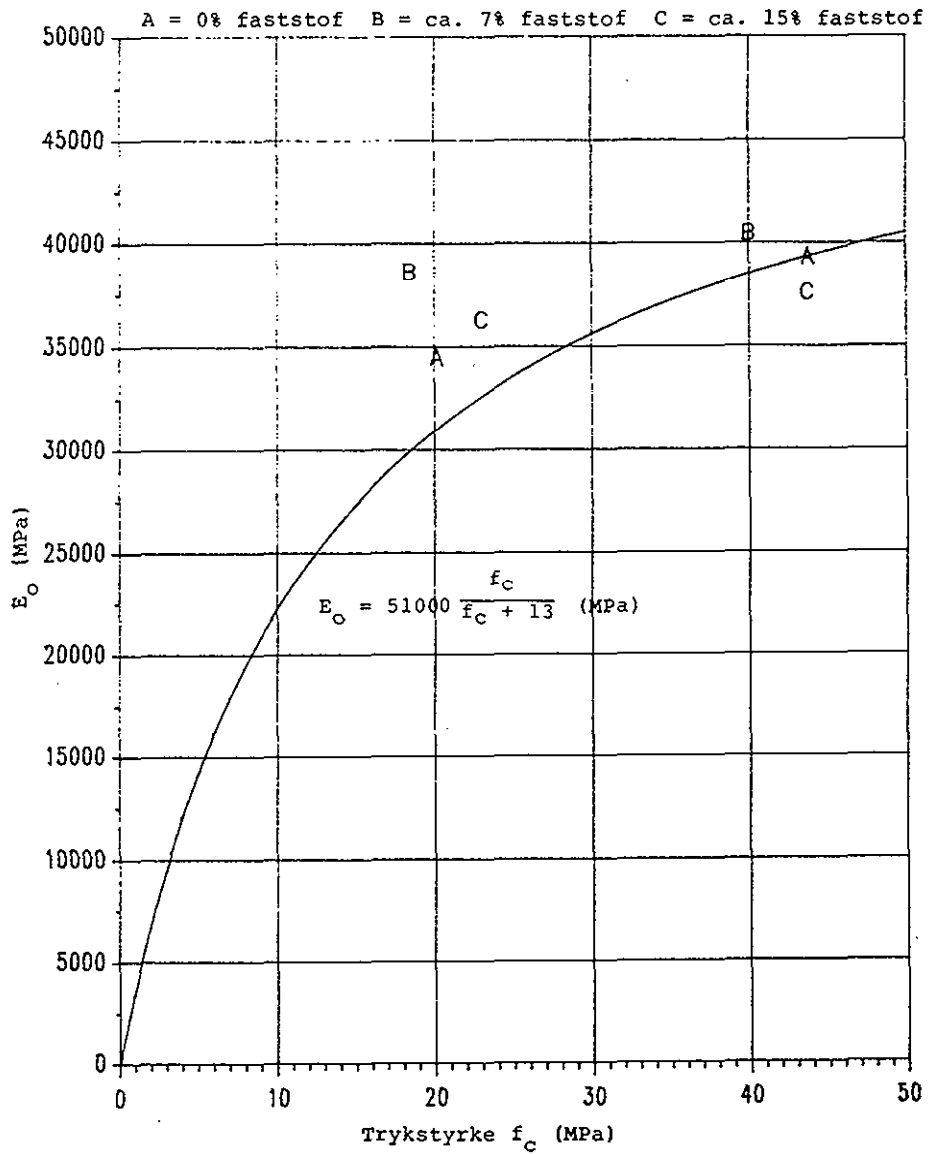


Fig. 8. Begyndelseselasticitetsmodul E_0 som funktion af trykstyrken f_c (middeltal).

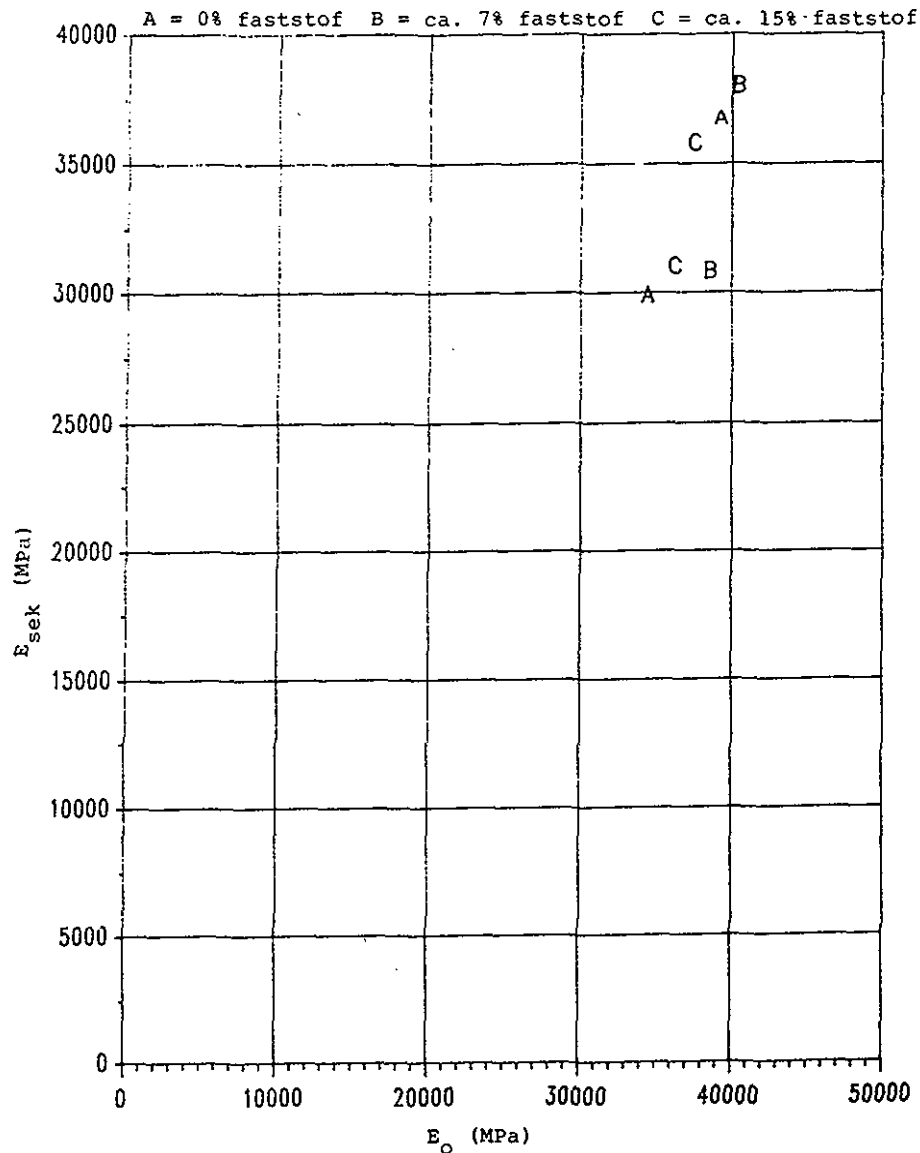


Fig. 9. Sekantelasticitetsmodulet E_{sek} svarende til 50% brudlast som funktion af begyndelseselasticitetsmodulet E_0 .

Vurdering

Af figur 8 ses, at der ikke er forskelle i sammenhængen mellem begyndelseselasticitetsmodulet og trykstyrken forårsaget af faststofandele i støbevandet. Det ses ligeledes, at betonnormen i dette tilfælde giver lidt lavere værdier af E_0 ved betonstyrker omkring 20 MPa, uanset faststofkon-

centration.

Af figur 9 ses, at der ikke er forskelle i sammenhængen mellem sekant- og begyndelseselasticitetsmodulet forårsaget af faststofandele i støbebandet. Forsøgsresultaterne ligger iøvrigt så tæt på hinanden, at forudsætningen om, at E_{sek} afhænger lineært af E_0 , ikke kan vurderes ud fra disse forsøg.

6.6 Krybning

Beskrivelse

Der er udført krybeforsøg på 2 betonsøjler af hver beton. Forsøgene er indledt ved en betonmodenhed på 64-69 døgn.

Prøvningsmetode: De to betonsøjler (Ø 103 x 900 mm) er placeret i en forsøgsopstilling som vist i figur 10 og belastet med henholdsvis 25% og 50% af betontypens brudlast fundet ved trykprøvningerne.

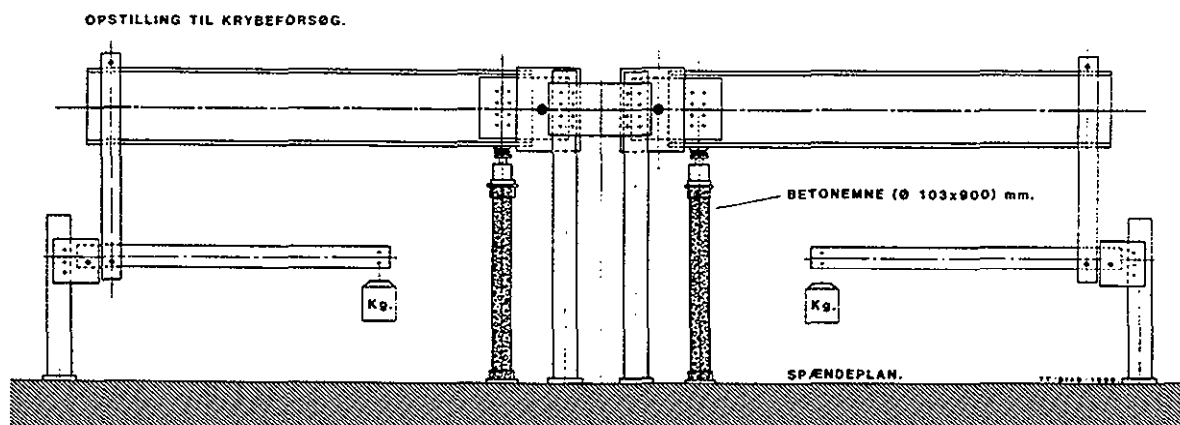


Fig. 10. Forsøgsopstilling og placering af prøveemner i hver sin delopstilling.

Belastningen af prøveemnerne er kontrolleret via trykceller, og prøveemnernes længdedeformation er målt med mikrometerskrue med en mindste måleværdi på 0,001 mm. Længdemålingerne er foretaget over prøveemnernes diametralplan og

i samme niveau, se figur 11. Der er således målt på begge sider af søjlen over fire længder på hver 120 mm.

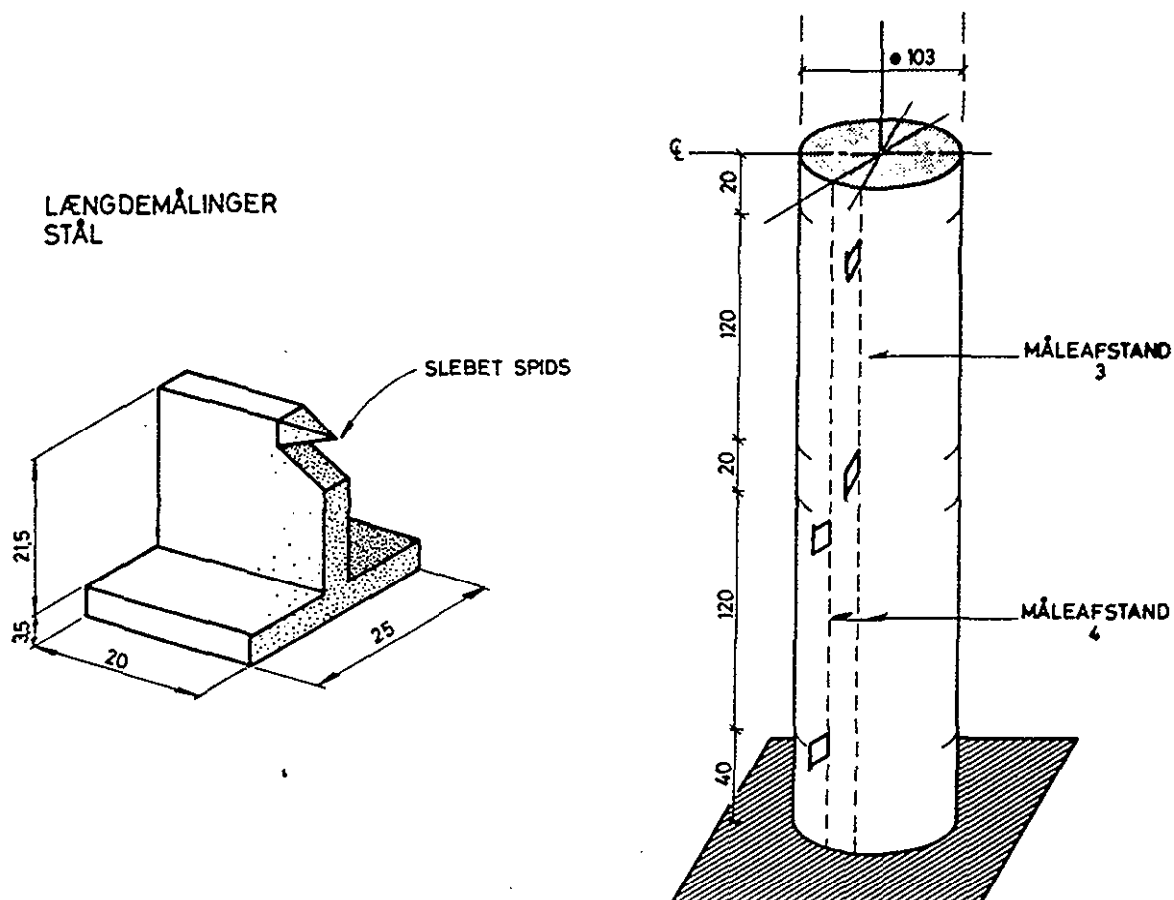


Fig. 11. Udformning af målepunkter og placering på prøveemner.

De sidste måleresultater i denne rapport er fra 153 døgn efter etablering af belastning.

Resultater

I figur 12 ses de gennemsnitlige, målte totaltøjninger med tilhørende empirisk spredning ved terminerne 0, 7, 130 og 153 dage efter etablering af belastning. I figur 13 og 14 er de totale længdetøjninger vist som funktion af tiden for henholdsvis betontype ca. 20 MPa og betontype ca. 40 MPa.

Betontype Tørstofindhold		GENNEMSNIIT TOTALTØJNING [o/oo] 0 dage			
		Styrkeklasse 20 [MPa] Lastniveau		Styrkeklasse 40 [MPa] Lastniveau	
		25%	50%	25%	50%
0%	\bar{x}	0.4005	0.9813	0.3825	0.9888
	s	0.1212	0.3180	0.1595	0.2929
7%	\bar{x}	0.2997	0.0865	0.6100	0.9518
	s	0.0223	0.1968	0.2249	0.1138
15%	\bar{x}	0.4780	0.9740	0.4205	1.1803
	s	0.1932	0.0562	0.2241	0.5237
GENNEMSNIIT TOTALTØJNING [o/oo] 7 dage					
0%	\bar{x}	0.5848	0.7825	0.6040	1.0235
	s	0.2515	0.3736	0.0683	0.3858
7%	\bar{x}	0.5128	0.8404	0.5600	0.8618
	s	0.1128	0.1376	0.1087	0.0977
15%	\bar{x}	0.9530	0.8915	0.4913	1.2130
	s	0.4352	0.0952	0.2760	0.302
GENNEMSNIIT TOTALTØJNING [o/oo] 130 dage					
0%	\bar{x}	1.2393	1.5058	1.2445	2.0353
	s	0.3177	0.1703	0.2034	0.5886
7%	\bar{x}	1.1308	1.7083	1.1748	1.8933
	s	0.1314	0.1826	0.1072	0.2527
15%	\bar{x}	1.7468	2.0118	1.1490	2.3338
	s	0.4809	0.0682	0.4526	0.1760
GENNEMSNIIT TOTALTØJNING [o/oo] 153 dage					
0%	\bar{x}	1.2093	1.4813	1.2833	2.0240
	s	0.2745	0.2086	0.2210	0.5803
7%	\bar{x}	1.2050	1.7035	1.1825	1.9085
	s	0.2069	0.1924	0.0766	0.2198
15%	\bar{x}	1.7340	2.0210	1.3377	2.3435
	s	0.5133	0.0739	0.4143	0.2181

Fig. 12. Gennemsnit for målte totaltøjninger som funktion af tiden.

Længdetøjning (o/oo)

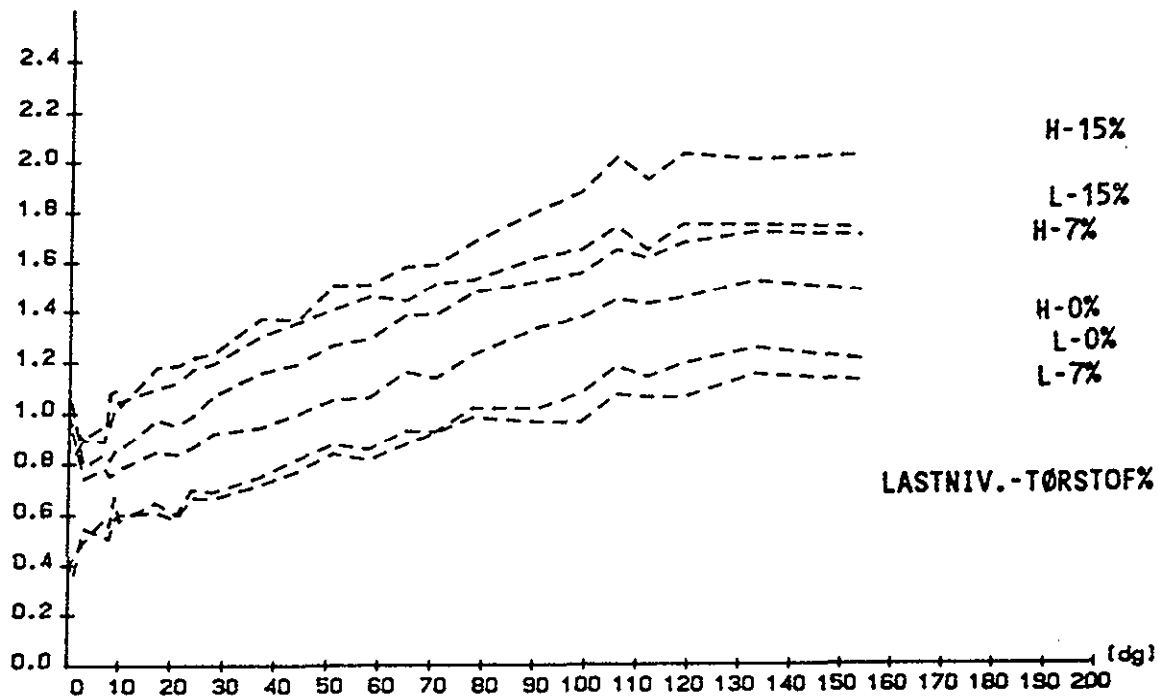


Fig. 13. Målte, totale længdetøjninger for betontype ca. 20 MPa som funktion af tiden. L og H angiver henholdsvis lavt (25%) og højt (50%) lastniveau. 0%, 7% og 15% angiver andelen af opslemmede bestanddele i støbevandet (vægt-%).

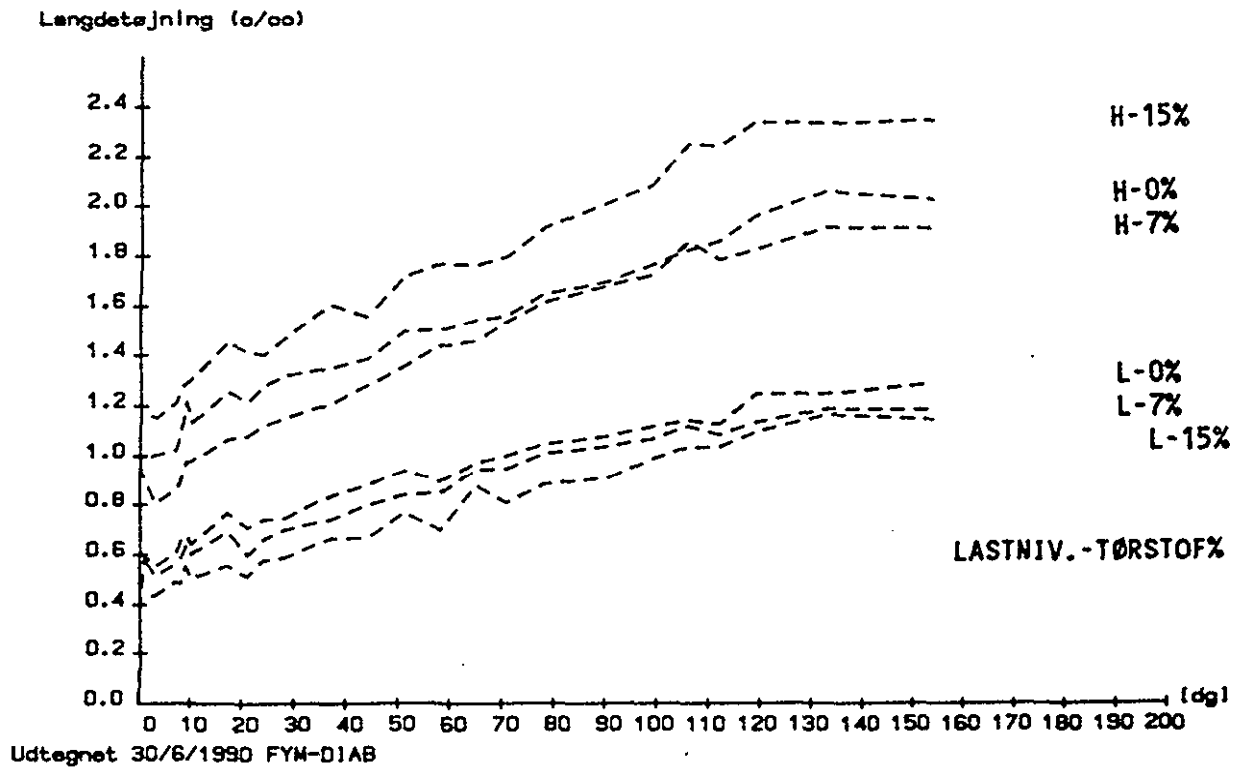


Fig. 14. Målte, totale længdetøjninger for betontype ca. 40 MPa som funktion af tiden. L og H angiver henholdsvis lavt (25%) og højt (50%) lastniveau. 0%, 7% og 15% angiver andelen af opslemmede bestanddele i støbevandet (vægt-%).

På basis af de målte længdeændringer er krybetallet Ψ beregnet. Til tiden u beregnes krybetallet Ψ_u af

$$\Psi_u = \frac{\epsilon_u}{\epsilon_0} - 1$$

hvor ϵ_u er tøjningen til tiden u

ϵ_0 er begyndelsestøjningen.

De fundne krybetal er vist i figur 15 og 16.

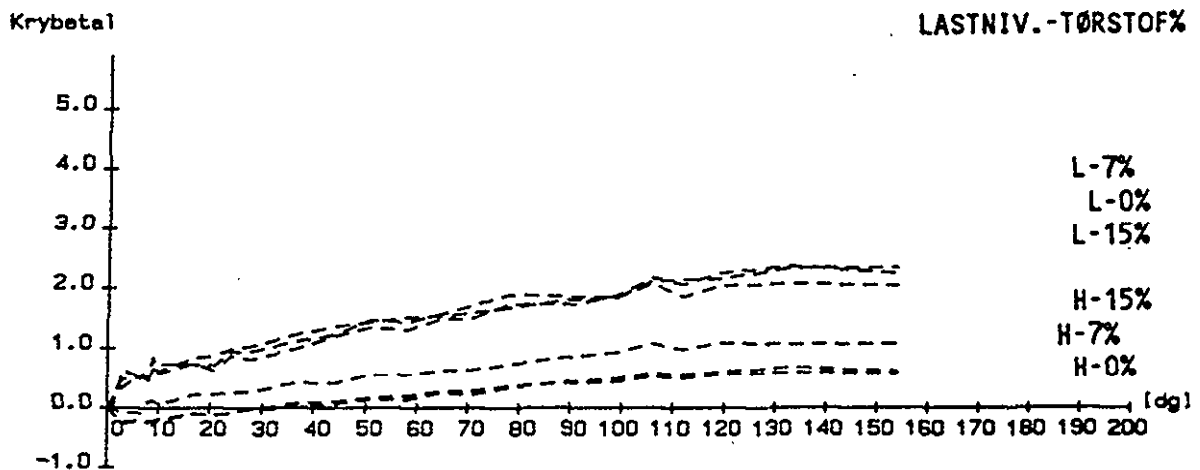
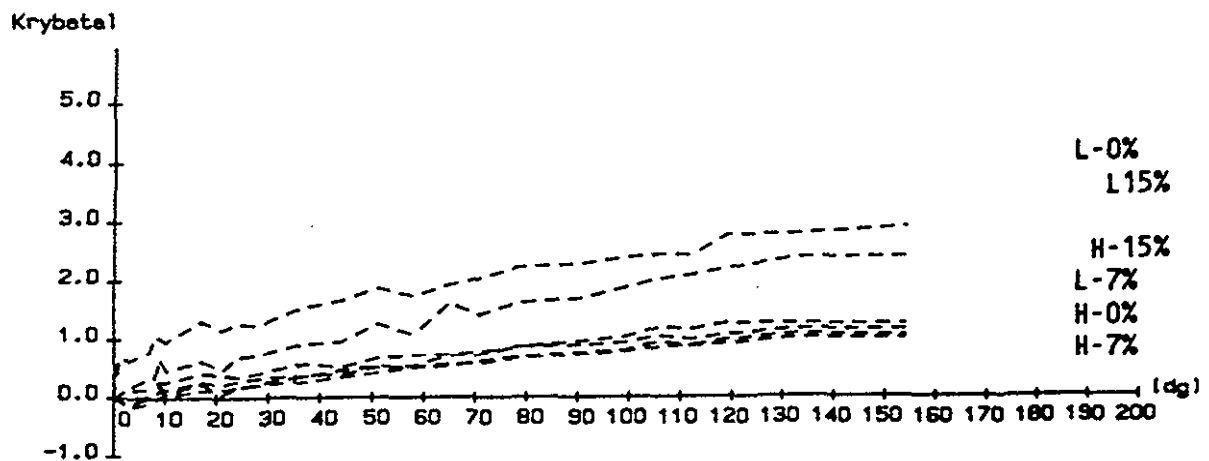


Fig. 15. Krybetal for betontype ca. 20 MPa. L og H angiver henholdsvis lavt (25%) og højt (50%) lastniveau.



Udtegnet 1/7/1990 FYM-DIAB

Fig. 16. Krybetal for betontype ca. 40 MPa. L og H angiver henholdsvis lavt (25%) og højt (50%) lastniveau.

Vurdering

Af figurene 15 og 16 ses, at der ikke er forskelle i krybetallet forårsaget af faststofandele i støbevandet.

Ved beregning af langtidsdeformationer forudsætter betonnormen, DS 411, et slutkrybetal på omkring 3. De fundne krybetal ses at være mindre.

7. SAMMENFATNING OG DISKUSSION

Undersøgelsen over hvilken betydning, anvendelse af støbevand med op til 15 vægt% opslemmede bestanddele har på den hærdede betons styrkeegenskaber har omfattet bestemmelser af betonernes trykstyrke, en-aksede trækstyrke, spaltetrækstyrke, bøjningstrækstyrke, elasticitetsmodul og krybning. (Der er ikke foretaget svindforsøg).

Der er under normale produktionsforhold gennemført prøveserier med to principielt ens betoner med hver sit styrkeniveau (ca. 20 og ca. 40 MPa) med og uden genbrug af friske betonrester. Genbruget har bestået i en faststofkoncentration på ca. 7 og ca. 15 vægt-% i støbevandet (vandmængden fastholdt).

Ud fra den gennemførte forsøgsrække er der opnået et godt vurderingsgrundlag for de undersøgte styrkeegenskaber.

I modsætning til de tidligere gennemførte undersøgelser af styrkeegenskaber for beton med genanvendelsesmaterialer /2/ (knust beton og tegl), hvor der blev konstateret lavere begyndelseselasticitetsmodul for beton med genanvendelsesmaterialer, er der i undersøgelserne foretaget i forbindelse med dette projekt ikke fundet nogen indvirkning fra faststofandele i støbevandet på betonernes styrkeegenskaber.

Beton med genbrug af friske betonrester kan således beregnes i henhold til de gældende regler i betonnormen DS 411, hvad angår styrke- og deformationsforhold.

I projektet er der generelt fundet værdier af den en-aksede trækstyrke, der ligger over den af betonnormen DS 411 forudsatte afhængighed af trykstyrken. Dette stemmer ikke overens med erfaringerne fra /2/.

Derimod er der overensstemmelse mellem resultaterne fra nærværende projekt og /2/ hvad angår bøjningstrækstyrkens sammenhæng med den en-aksede trækstyrke. Ifølge projekter vil betonnormens DS 411 forudsætning om, at bøjningstrækstyrken er ca. 2 gange den en-aksede trækstyrke, give for høje værdier for bøjningstrækstyrken.

8. LITTERATUR

Nærmere beskrivelse af forsøgsopstillingerne og -resultaterne fremgår af datarapporten:

"Genbrug af friske betonrester ved betonfremstilling. Forsøgsbeskrivelse og resultater".

Datarapporten opbevares hos DIA-B.

/1/ Preben Jensen og Bent Grell: Genbrug af frisk betonspild. Teknologisk Institut 1988. Arbejdsrapport nr. 16/1990 fra Miljøstyrelsen.

/2/ Anders Henrichsen, Bjarne Chr. Jensen og Torsten S. Thorsen:
Styrkeegenskaber for beton med genanvendelsesmaterialer.
Dansk Beton Teknik A/S, Axel Nielsen as Rådgivende Ingeniører og Danmarks Ingeniørakademi, Bygningsafdelingen 1989. Udført for Miljøstyrelsen.

/3/ Søren T. Skovsende: Genbrug af frisk betonspild i betonelementer og betonvarer. Dansk Teknologisk Institut 1990.
Arbejdsrapport nr 17/1990 fra Miljøstyrelsen.

Der henvises i øvrigt til litteraturlisten i /1/.

