



Center for Grøn Beton

Bøjning af armerede bjælker Instabilitet af søjler

Udført af:

Claus Vestergaard Nielsen

Teknologisk Institut, Beton, december 2002

Titel: Bøjning af armerede bjælker
Instabilitet af søjler

Udført af: Claus Vestergaard Nielsen

Dato: December 2002

ISBN: 87-7756-680-7

Reproduktion af dele af rapporten er tilladt, hvis kilde angives.

Indholdsfortegnelse

0. INDLEDNING	4
1. PRØVNINGSOMFANG.....	5
2. BETONRECEPTER	6
3. ARBEJDSKURVER I REN BØJNING	7
3.1 FORMÅL	7
3.2 METODEBESKRIVELSE.....	7
3.3 MÅLTE MATERIALEEGENSKABER	10
3.4 RESULTATER AF BØJNINGSFORSØG	14
4. INSTABILITET AF BJÆLKESØJLER.....	16
4.1 FORMÅL	16
4.2 METODEBESKRIVELSE.....	16
4.3 RESULTATER AF SØJLEFORSØG.....	18
5. KONKLUSIONER.....	20
5.1 BØJNINGSFORSØG	20
5.2 SØJLEFORSØG.....	20
6. REFERENCER	21

Appendiks oversigt

APPENDIKS A TRYKARBEJDSLINIER FOR BETON A1

APPENDIKS B TRYKARBEJDSLINIER FOR BETON P7

APPENDIKS C PRØVNINGSRAPPORT FOR ANVENDT ARMERING

APPENDIKS D SØJLEBEREGNING MED FIRE-2D

0. Indledning

I centerkontrakten *Ressourcebesparende betonkonstruktioner* (kaldet "Grøn Beton") er der i projektfasen *udvidet pakke* gennemført fire faglige aktiviteter:

- BK1: Mekaniske egenskaber
- BK2: Brand
- BK3: Udførelse
- BK4: Holdbarhed

Denne rapport indeholder delresultater fra prøvning udført i den faglige aktivitet BK1: Mekaniske egenskaber.

I BK1 - *udvidet pakke* udføres følgende undersøgelser:

Materialeundersøgelser

- Trykarbejdskurver
- Spaltetrækstyrke
- Temperaturudvidelseskoefficient
- Fugtbevægelser/svind
- Udmattelsesstyrker
- Krybning ved moderat lastniveau

Konstruktionsundersøgelser

- Armerings forankringsevne
- Forskydningsbæreevne af bjælker
- Bøjningsbæreevne af bjælker
- Instabilitet af bjælkesøjler

For en given beton vil det være relevant at udføre alle ovennævnte prøvninger afhængigt af det tiltænkte anvendelsesområde. Det er imidlertid ikke muligt indenfor rammerne af Grøn beton at gennemføre samtlige prøvninger for alle betoner udvalgt til stor pakke. Det er derfor valgt at begrænse prøvningerne for de enkelte betoner.

Denne rapport beskriver resultater fra den udførte prøvning vedr. bjælkebøjning og søjleinstabilitet.

De øvrige forsøgsresultater fra BK1 er rapporteret i Grøn Beton fagrapporterne:

- "BK1 – Stor Pakke, Mekaniske Egenskaber", Februar 2001.
- "Arbejdskurver, spaltetræksstyrke og udmattelsesundersøgelse", December 2002.
- "Forskydningsbæreevne af bjælker. Forankring af gevindstænger", December 2002.
- "Fugttransport, svind- og temperaturdeformationer samt krybning", December 2002.

1. Prøvningsomfang

På baggrund af resultater opnået i centerkontraktens første faser (*grundpakken* og *stor pakke*), har centerkontraktledelsen udvalgt et antal aggressive og passive betoner til udvidet pakke (Tabel 1).

Beton	Cement	"Grønt" tiltag	Støbes hos
PR	NRC	-	Unicon, Horsens
P3	NRC	slamaske	Unicon, Horsens
P5	NRC	betonslam	Unicon, Horsens
P7	Bygg C	flyveaske fra bio.	Sydsten, Malmø
AR	SAC	-	Unicon, Horsens
A0	NRC	(cementen)	Unicon, Horsens
A1	NRC	højt flyveaskeindhold	Unicon, Horsens
A3	NRC	slamaske	Unicon, Horsens
A6	ANL	stenmel	Sydsten

Tabel 1: Betoner udvalgt til udvidet pakke generelt.

I BK1 - *udvidet pakke* er det valgt helt at udelade prøvning af betonerne A0 og A6 af økonomiske og tidsmæssige årsager. A0 er udeladt da denne umiddelbart er lovlig at anvende i henhold til gældende normer. A6 er udeladt da det er besluttet at denne ikke indgår i demobroen. Desuden er P3 udeladt af økonomiske og tidsmæssige årsager, da den ikke indgår i Demobroen.

Bjælkebøjning og søjleinstabilitet undersøges for de 2 betontyper A1 og P7 for at sammenligne 2 betontyper, der ligger langt fra hinanden mht. både sejhed og styrke.

2. Betonrecepter

Betonrecepterne for de betragtede betoner er angivet i Tabel 2. Alle prøveemner for en given beton er støbt med beton fra ét læs.

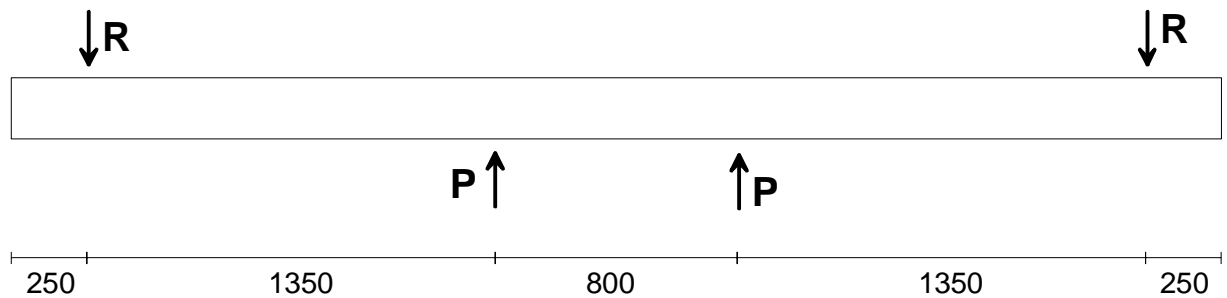
Materiale	Type	A1 kg/m ³	P7 kg/m ³
Cement	SAC	-	-
	NRC	206,9	-
	Bygg C	-	194,0
Mikrosilica	Pulver	17,2	-
Flyveaske	Danaske B1	137,3	-
Restprodukt	Slamaske Lynetten	-	-
	Betonslam (tørstof)	-	-
	Stenmel 0/2 Hardeberga	-	-
	Flyveaske fra bio.	-	79,0
Vand	Vandværksvand	132,0	166,6
Sand	0/2 A Vestbirk	662	-
	0/8 Östervang	-	1008
Sten 1	4/8 A Eikefet	230	-
	8/16 Dalby	-	227
Sten 2	8/16 A Eikefet	339	-
	16/25 Dalby	-	677
Sten 3	16/32 A Eikefet	577	-
Luftindbl.	Conplast AEA316 1:5	0,02	-
		-	-
Plast	Conplast 212	0,88	-
	Peramin V	-	0,45
Superplast	Strukturo BA1	0,81	-
	Peramin F	-	0,72
Målt luft		6,2 %	2,0 %
Ækv. v/c		0,426	0,713
Støbetidspunkt		06.06.01	05.11.01
		kl. 11.56	kl. 9.25

Tabel 2: Recepter for betoner afprøvet mht. bjælke- og søjleforsøg. De angivne værdier er de faktiske værdier (VOT). A1 er støbt hos Unicon i Horsens og P7 hos Sydsten i Malmø.

3. Arbejdskurver i ren bøjning

3.1 Formål

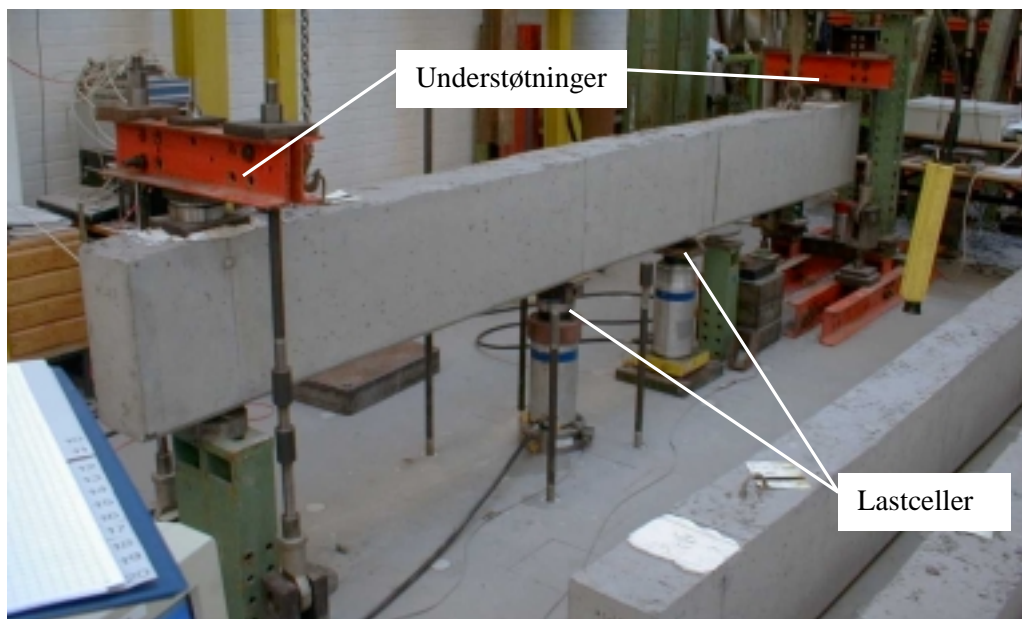
Det undersøges om beregningsmetoderne i DS 411:1999 giver overensstemmelse med udførte bøjningsforsøg mht. bæreevne og arbejdskurve.



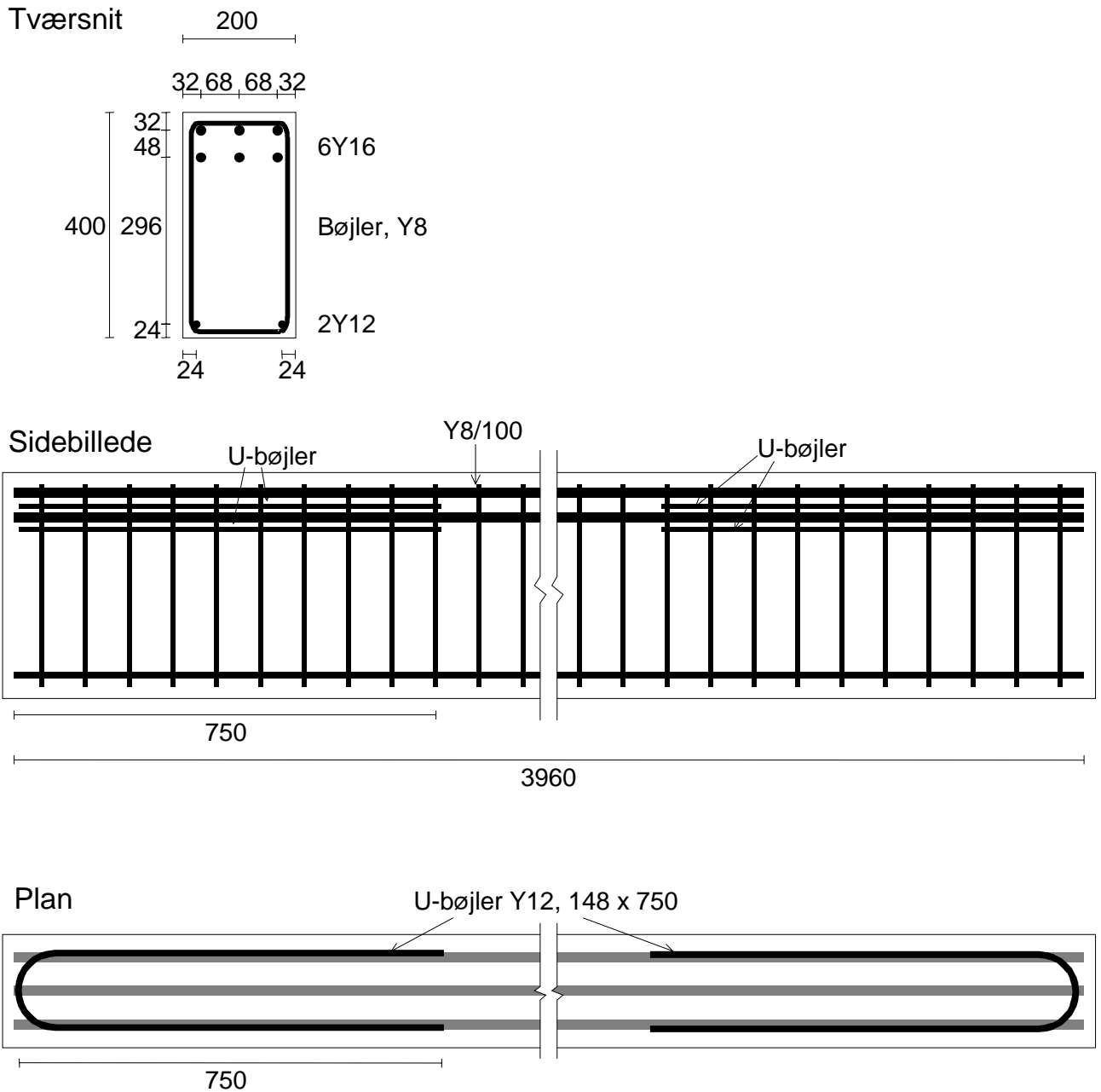
Figur 1: 4-punkts forsøgsopstilling. Alle mål i mm.

3.2 Metodebeskrivelse

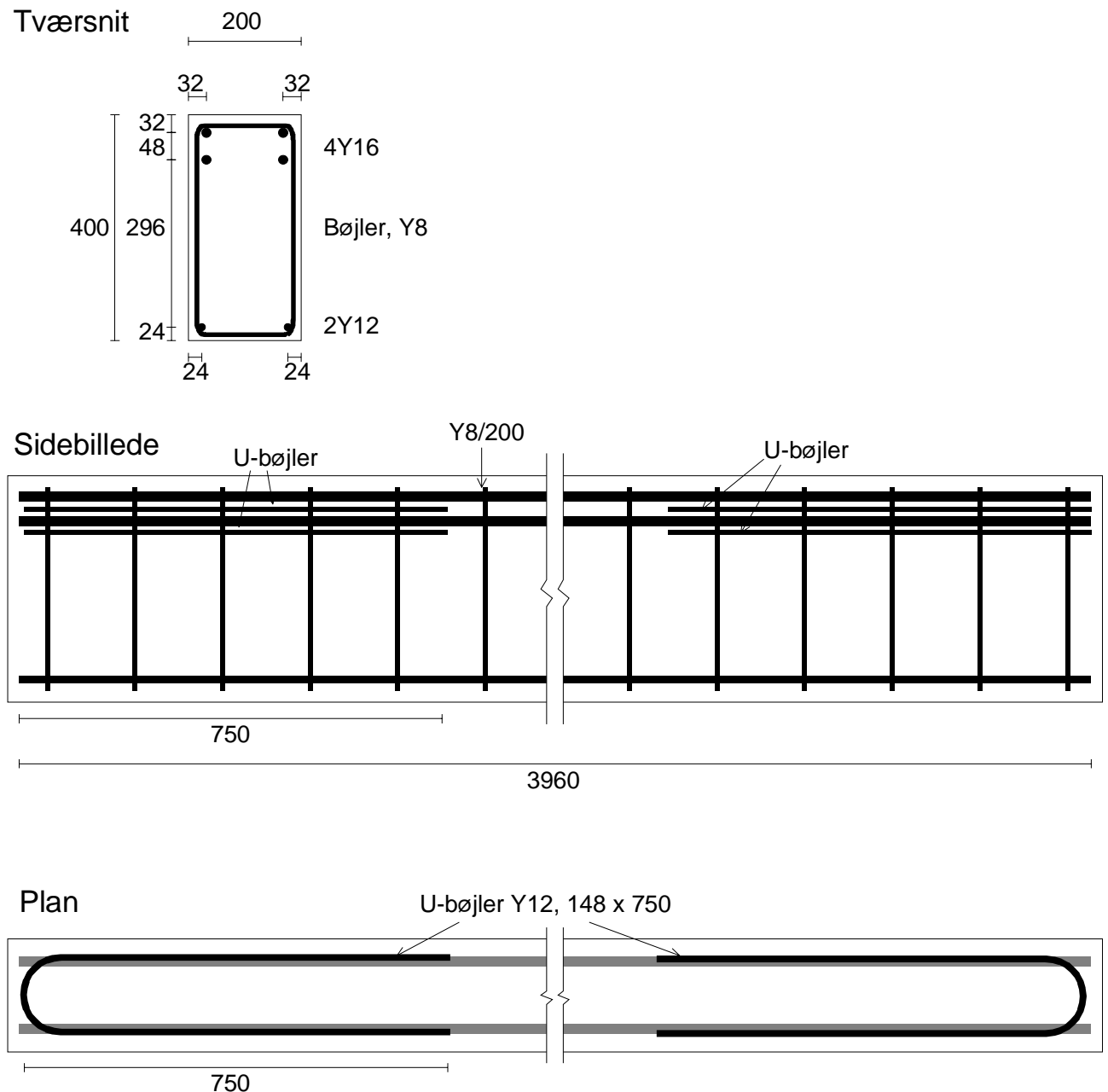
Forsøgene udføres som 4-punkts bøjning på armerede betonbjælker med dimensioner 200×400×4000 mm (Figur 1 og Figur 2). Tre bjælker er prøvet for hver betontype. Prøveemner er holdt forseglede fra afformnings- til prøvningsterminen, som er ved 40-44 døgn. For hver af de to betoner er trykarbejdskurven desuden bestemt på 3 standardcylindre Ø100×200 mm prøvet ved samme termin som bjælkerne.



Figur 2: 4-punkts forsøgsopstilling.



Figur 3: Armeringsarrangement i AI-bjælke. Alle mål i mm.



Figur 4: Armeringsarrangement i P7-bjælke. Alle mål i mm.

Den anvendte armering er leveret færdiglavet af FUNDIA i henhold til kravene i DS13080-1 og DS13080-2 (Figur 3 og Figur 4). Stålet tilhører gruppe B3 og har en karakteristisk flydespænding på mindst 550 MPa. Den jævnt fordelte brudforlængelse er på minimum 3 % og forholdet mellem brudspænding og flydespænding er mindst 1.08. Stikprøver af den anvendte armering er trækprøvet for at verificere flydespænding og E-modul (Appendiks C).

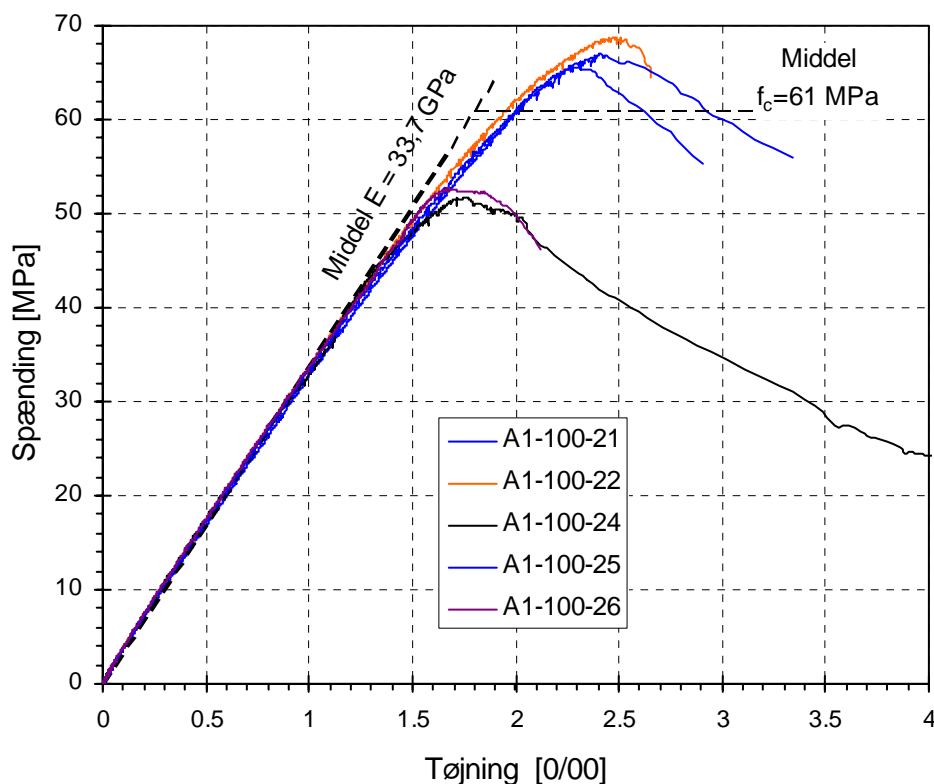
Lasten påføres i trin á ca. 10 kN indtil trækarmeringen flyder, hvorefter der aflastes. Bjælkens udbøjning (opadrettet) i midtvertsværsnittet registreres løbende vha. flytningstransducere.

3.3 Målte materialeegenskaber

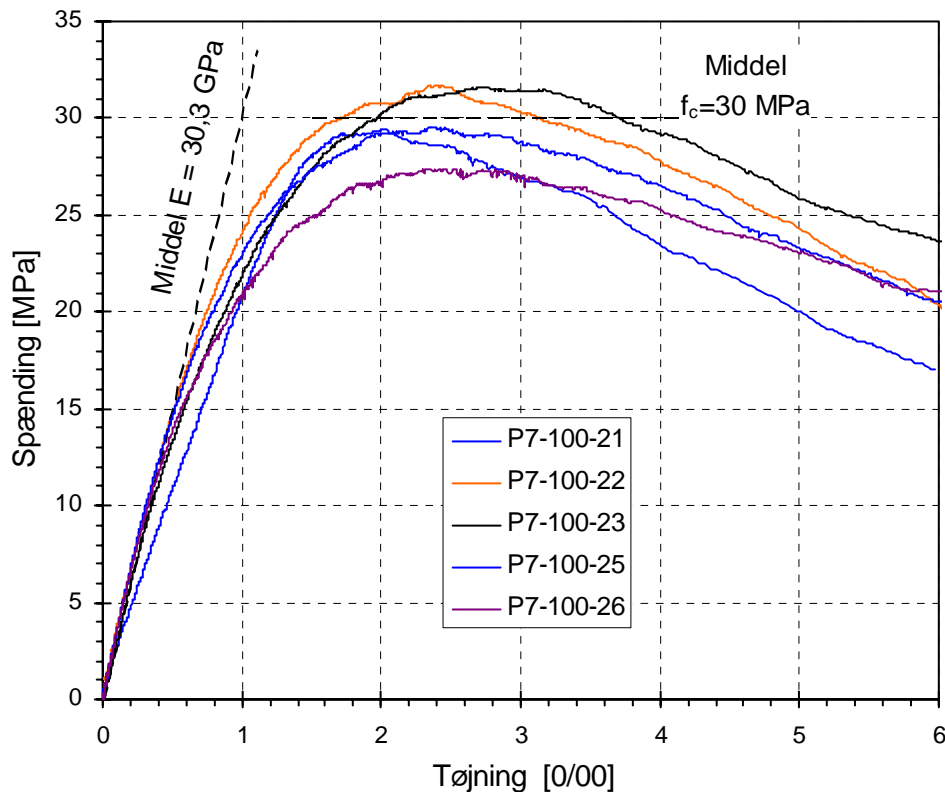
I dette afsnit behandles trykarbejdskurverne målt på Ø100×200 mm cylindre. Alle arbejdskurver svarende til 3 prøveemner per betontype for bøjningsforsøgene og 3 prøveemner per betontype for søjleforsøgene er præsenteret samlet i nærværende afsnit. Prøveemnerne svarende til bøjningsforsøg er benævnt med løbenumre 21-23 og løbenumre 24-26 svarende til søjleforsøgene.

I Figur 5 og Figur 6 ses de målte middelarbejdskurver for hhv. A1 og P7. Forsøgene med A1-100-23 og P7-100-24 er udeladt pga. uregelmæssigt forsøgsforløb (se Appendiks A og B). I Tabel 3 er hovedresultaterne af arbejdskurveforsøgene gengivet. Af Tabel 3 ses, at A1 udviste en høj variationskoefficient på trykstyrken (13,5 % mod kun 3,4 % i [2]).

Ved sammenligning med de mekaniske egenskaber rapporteret i [2] ses, at kurverne er i overensstemmelse med de arbejdskurver, som er målt ved 28 døgn. Bortset fra styrkeniveauet ligger den store forskel mellem A1 og P7 i at sidstnævnte udviser meget større sejhed efter toppunktet. Denne forskel er klart illustreret i, at der indtræder pludseligt brud for A1-betonerne kort efter toppunktspassagen. Dette skyldes trykmaskinens utilstrækkelige stivhed, hvorved det er umuligt at deformationsstyre forsøget yderligere. For P7 er der ikke sådanne forsøgstekniske instabiliteter og den nedadgående del af arbejdskurven kan følges uden problemer.



Figur 5: Trykarbejdskurver for A1. Se individuelle målinger i Appendiks A. Alle forsøg undtaget A1-100-24 udviste et pludseligt brud kort efter passagen af toppunktet.



Figur 6: Trykarbejdskurver for P7. Se individuelle målinger i Appendiks B.

I Figur 7 og Figur 8 er forskellen i sejhed mellem A1 og P7 yderligere illustreret ved at optegne arbejdskurverne i et dimensionsløst diagram. Spændinger og tøjninger er normaliseret mht. deres værdier i toppunktet. Desuden er optegnet et analytisk udtryk anbefalet af CEB-FIP Model Code 1990 [1].

$$\frac{\sigma}{f_c} = \frac{A \frac{\epsilon}{\epsilon_c} - \left(\frac{\epsilon}{\epsilon_c}\right)^2}{1 + (A-2) \frac{\epsilon}{\epsilon_c}}, \quad A = \frac{E_0}{f_c} \epsilon_c \geq 1 \quad (1)$$

hvor værdierne i toppunktet er benævnt (ϵ_c, f_c) og begyndelses E-modulet E_0 . Værdien af A er angivet i Figur 7 og Figur 8 til hhv. 1,2 og 3,0 for A1 og P7 for at opnå god overensstemmelse med de målte kurver. Bemærk at i grænsen $A=1$ fås lineær-elastisk opførsel indtil brud. Det ses endvidere, at CEB-FIP MC 1990 undervurderer sejheden af beton A1 for den nedadgående del af arbejdskurven.

Beton	EMNE	Termin [døgn]	E-modul [MPa]	Trykstyrke [MPa]
A1	A1-100-21	40	32700	65,6
	A1-100-22	40	33600	68,7
	A1-100-23 ^a	40	33200	-
	A1-100-24	44	34700	51,7
	A1-100-25	44	33700	66,9
	A1-100-26	44	34500	52,7
	Middel	-	33700	61,1
	Spredning	-	770	8,2
	Var.koeff. [%]	-	2,3	13,5
P7	P7-100-21 ^b	42	-	29,4
	P7-100-22	42	31000	31,7
	P7-100-23	42	28000	31,6
	P7-100-24 ^a	44	-	-
	P7-100-25	44	31700	29,6
	P7-100-26	44	30500	27,4
	Middel	-	30300	29,9
	Spredning	-	1610	1,8
	Var.koeff. [%]	-	5,3	6,0

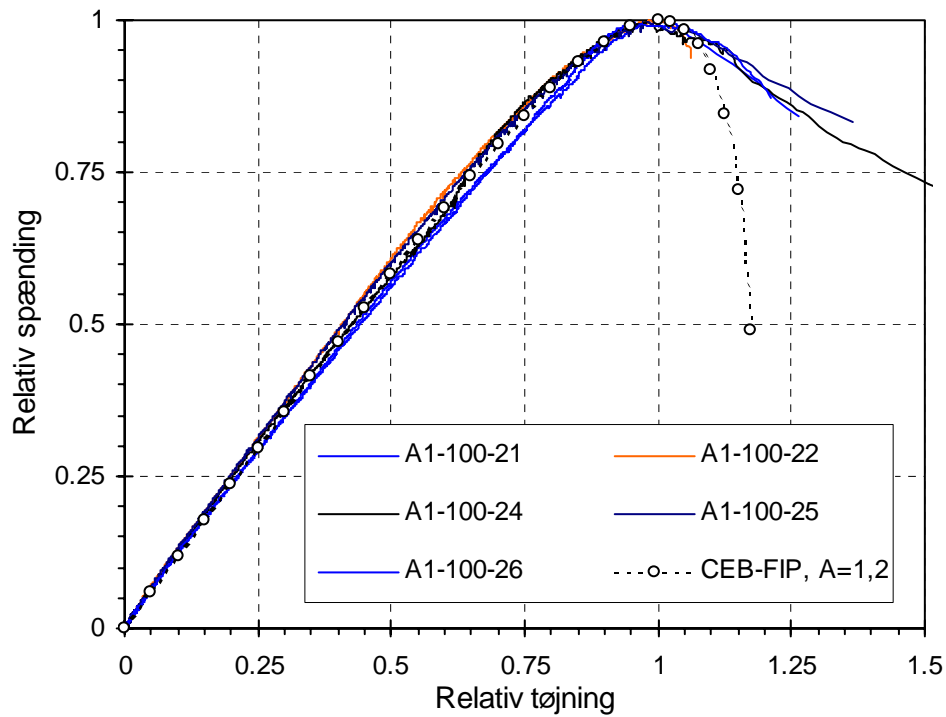
Tabel 3: Trykstyrke og E-modul bestemt ud fra arbejdskurver (se Appendiks A og B).

Noter: ^aArbejdskurverne for A1-100-23 og P7-100-24 var meget uregelmæssig. ^bUforklarligt lavt E-modul.

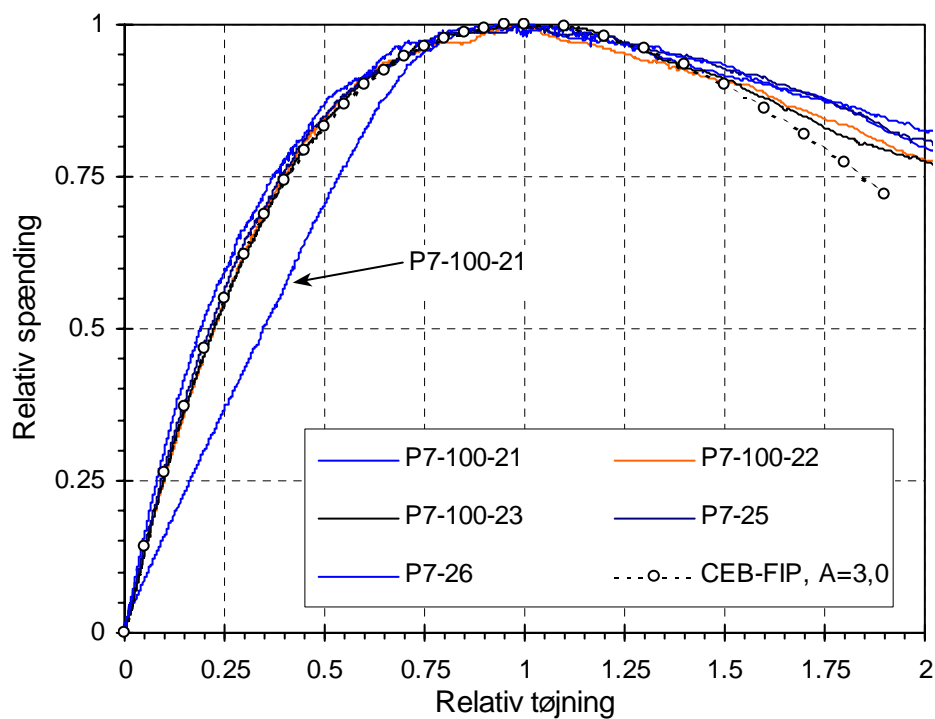
Armeringens trækegenskaber er dokumenteret i Appendiks C, hvor middelværdier for f_y og E_s er rapporteret (Tabel 4) sammen med de målte trækarbejdskurver. Som det ses er der forskel i styrke og stivhed på Y12 armeringen benyttet i hhv. A1 og P7, hvorimod Y16 armeringen udviser samme opførsel for de to betontyper. Det forudsættes at de målte egenskaber også er gældende i enakset tryk.

Beton	ARMERING*	FORSØGSTYPE	E-modul [MPa]	Flyde- spænding [MPa]
A1	33104-Y12	Bøjning og søjle	190000	641
	33104-Y16	Bøjning	208000	616
P7	34548-Y12	Bøjning og søjle	217000	629
	34548-Y16	Bøjning	208000	614

Tabel 4: Hovedarmeringens mekaniske egenskaber – middelværdier af 3 trækprøver (Appendiks C). *Armeringsidentifikation bestående af armeringsleverandørens ordre nr. efterfulgt af armeringens nominelle dimension.



Figur 7: Dimensionsløse trykarbejdskurver for A1.

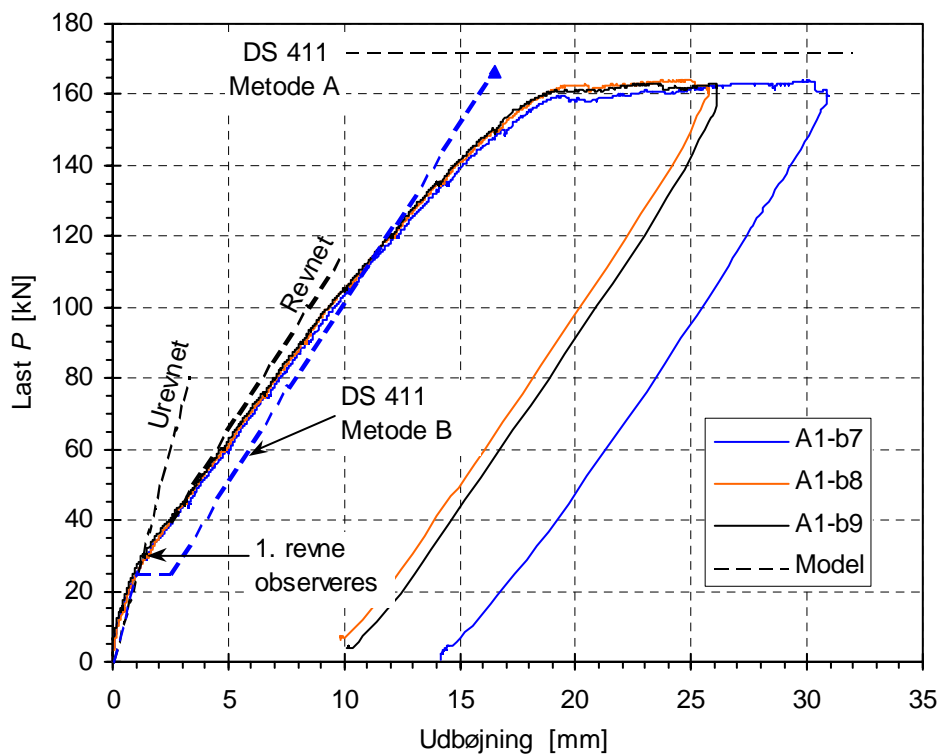


Figur 8: Dimensionsløse trykarbejdskurver for P7. Bemærk at, prøveemne P7-100-21 udviste et unormalt lavt E -modul (se Appendiks B).

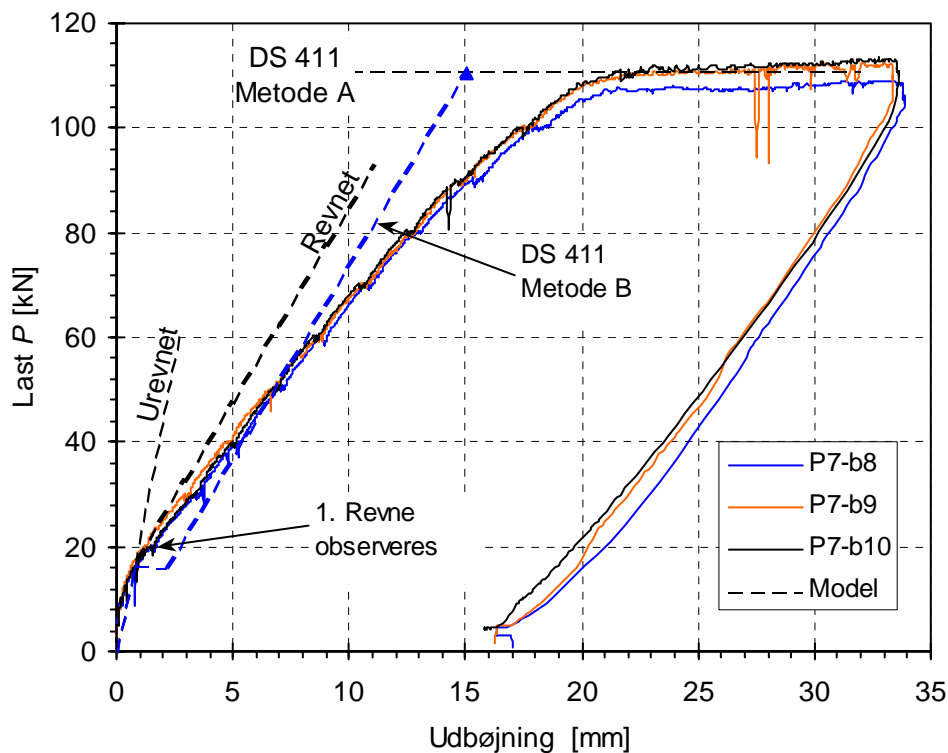
3.4 Resultater af bøjningsforsøg

I Figur 9 og Figur 10 ses lasten P optegnet som en funktion af udbøjningen for hhv. A1- og P7-bjælkerne. Bemærk hvor små variationer, der er målt mellem de tre bjælker for hver betontype. På diagrammerne er endvidere angivet de bøjningsstivheder, som opnås ved at beregne det transformerende tværsnit i hhv. den urevnede og revnede tilstand, hvor sidstnævnte kun medtager betonens trykzone og træk i armering ($\alpha\rho$ -metoden). Stivhederne er beregnet med middelværdier for begyndelses E -modulerne (Tabel 3). Det ses, at bjælkerne følger den revnede stivhed under aflastning. Det ses tydeligt hvordan de målte arbejdskurver afviger fra den revnede bøjningsstivhed, baseret på begyndelses E -modulet, hvilket er et resultat af betonens og armeringens ikke-lineære opførsel.

Sammenhæng mellem lasten P og udbøjningen Δ er beregnet ud fra $\Delta = \frac{1}{10} \frac{M}{EI} L^2$, hvor momentet er $M = Pa$, forskydningsspændvidden er $a = 1,35$ m og $L = 3,5$ m er spændvidden mellem understøtningerne. Bøjningsstivheden fås herved som $\frac{10EI}{aL^2}$, hvor inertimomentet beregnes under enten urevnede eller revnede forhold.



Figur 9: Bøjningsarbejdskurver målt på bjælker af beton A1. Den sidste del af kurverne svarer til aflastning.



Figur 10: Bøjningsarbejdskurver målt på bjælker af beton P7. Den sidste del af kurverne svarer til aflastning.

Bemærk den gode overensstemmelse mellem begyndende revnedannelse og reduktionen i bøjningsstivhed, hvor synlige revner er observeret ved ca. 30 kN for A1 og ca. 20 kN for P7.

Den vandrette stiplede linie angiver bæreevnen ud fra Metode A (DS 411:1999), hvor en rektangulær spændingsblok antages at virke over 80 % af trykzonen og betonens brudtøjning sættes til 0,0035. Brudberegningen er foretaget med middelstyrker indsat (Tabel 3 og Tabel 4) og uden at medtage trykarmeringens bidrag. Det ses at metode A giver bedst overensstemmelse for beton P7, hvilket kan skyldes at A1 er en højstyrkebeton, hvor antagelsen om den rektangulære spændingsblok ikke er opfyldt pga. den relativt stejle bagside af arbejdskurven. Det spiller også ind, at beton A1's trykstyrke er behæftet med nogen usikkerhed (Figur 5).

Figur 9 og Figur 10 indeholder endvidere en beregning iht. Metode B (DS 411:1999), hvor $\alpha\phi$ -metoden benyttes. Ved revnedannelsen forskydes arbejdskurven vandret svarende til at stivheden reduceres momentant fra urevnet til revnet tilstand. I virkeligheden sker der en gradvis reduktion svarende til "tension stiffening" effekten. Beregningen afsluttes når trækarmringsspændingen rammer flydegrænsen indikeret ved det trekantede symbol i Figur 9 og Figur 10. For beton A1 gælder, at armeringen flyder før betonens trykstyrke er opnået i tværsnittets trykkede kant. For beton P7 indtræffer armeringsflydning og betontrykstyrken ca. samtidigt.

4. Instabilitet af bjælkesøjler

4.1 Formål

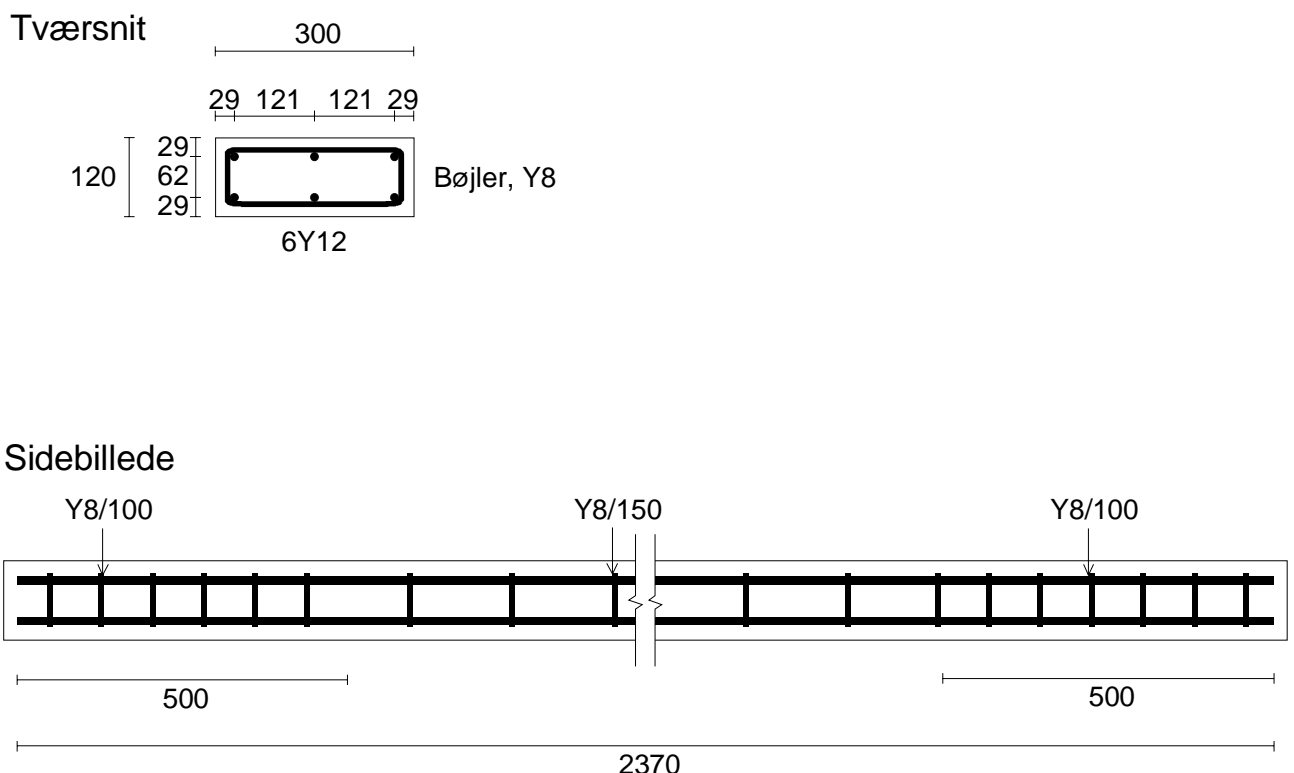
Det undersøges om responset fra en bjælkesøjle udsat for excentrisk søjlebelastning opfører sig i henhold til beregningsforudsætningerne i DS 411:1999.

4.2 Metodebeskrivelse

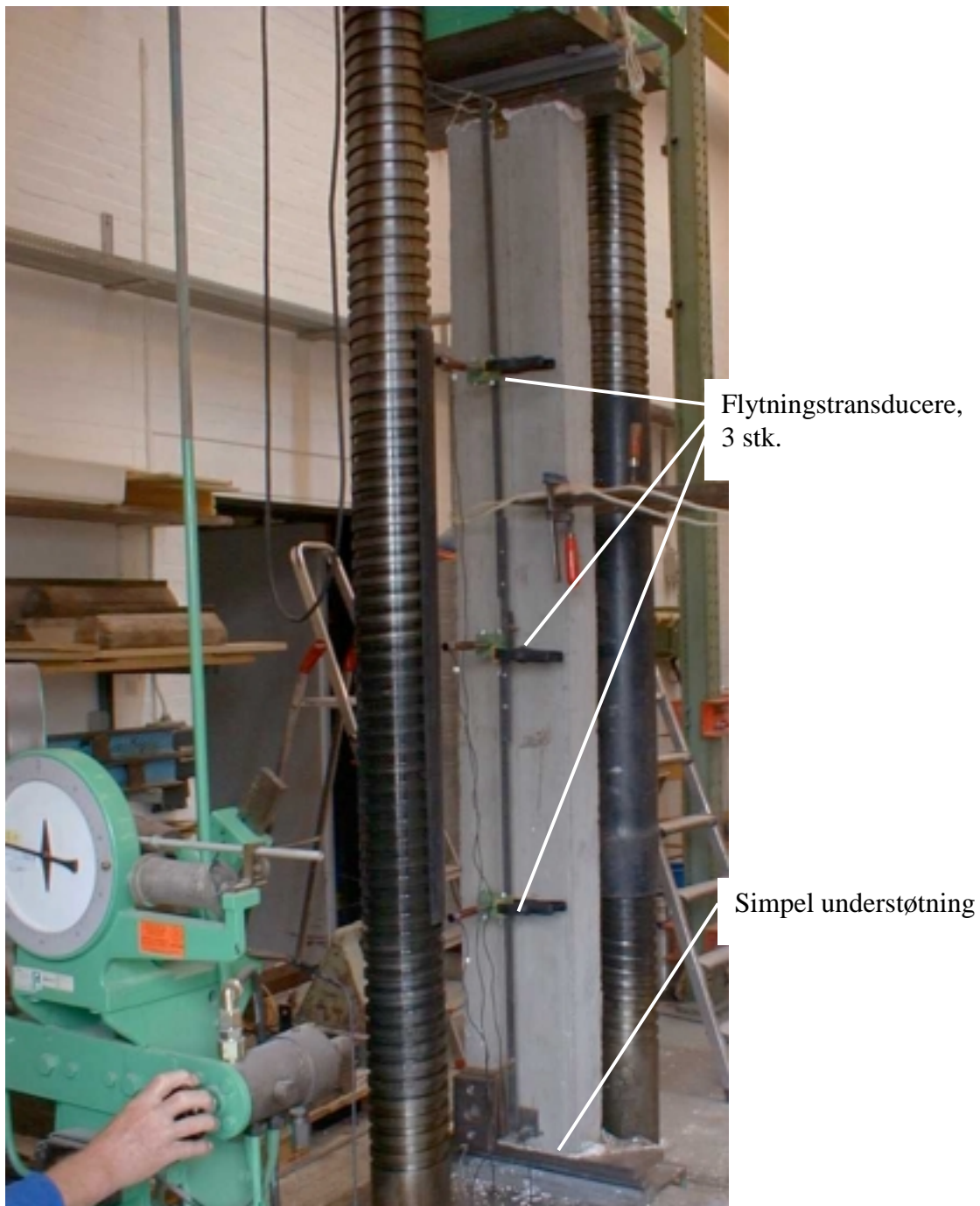
Forsøgene er udført på simpelt understøttede bjælkesøjler udsat for excentrisk trykpåvirkning indtil brud. Tre bjælkesøjler er prøvet for hver beton. Prøvningen er udført på armerede bjælker med længde 2400 mm og tværsnitsdimensioner 120×300 mm og 150×300 mm for hhv. A1 og P7 (Figur 11 og Figur 12).

Prøveemnerne er holdt forseglede fra afformnings- til prøvningsterminen, som er ved 40-44 døgn. Desuden er trykarbejdskurven bestemt på 3 stk. standardcylindre Ø100×200 mm (se resultater i Afsnit 3.3).

Under søjleforsøget belastes søjlen med en excentricitet på ca. 10 og 25 mm for hhv. A1 og P7. Udbøjningerne måles løbende i excentricitetens retning, dvs. vinkelret på tværsnittets svage akse.



Figur 11: Armeringsarrangement.

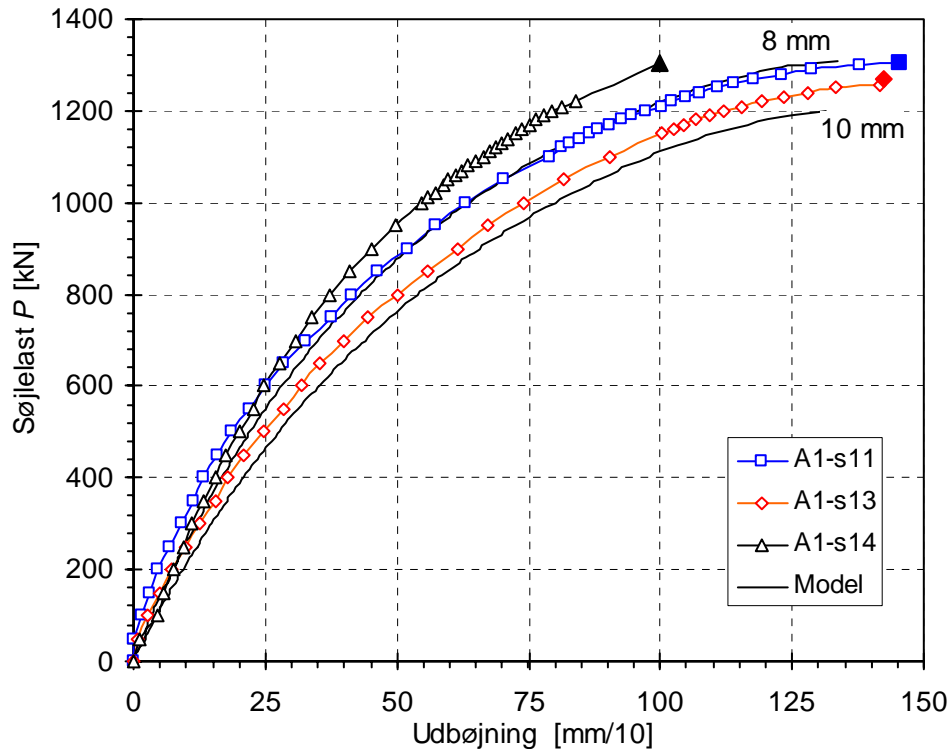


Figur 12: Foto af forsøgsopstilling. Bjælkesøjlen er indsat i trykprøvemaskinen. Flytningstransducerne er monteret på en stålstang. Spændvidden er 2400 mm.

I alt 3 flytningstransducere registrerer udbøjningen hhv. i bjælkesøjleens midtpunkt og 600 mm fra hver understøtningspunkt, dvs. i fjerdedelspunkterne. Belastningen foretages manuelt med ca. 1 kN per sekund. Når udbøjningshastigheden begynder at øges afmonteres transducerne for ikke at beskadige dem i brudsituationen.

4.3 Resultater af søjleforsøg

I Figur 13 og Figur 14 ses bjælkesøjlerens midterudbøjning som funktion af søjlelasten. I Tabel 5 er brudlasterne angivet sammen med de registrerede excentriciteter af søjlelasten.

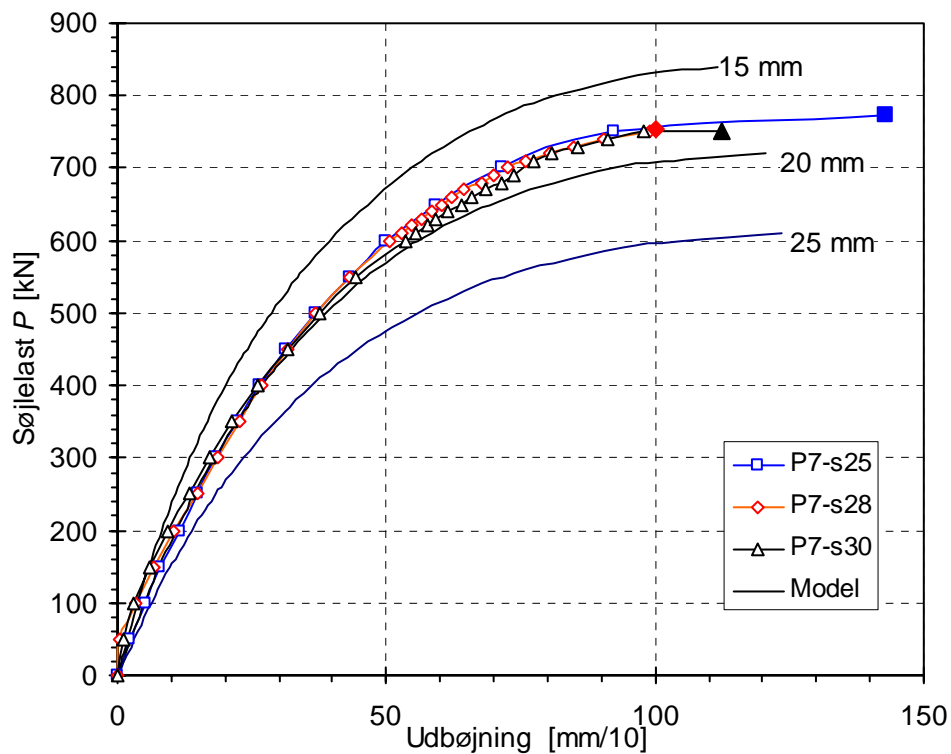


Figur 13: Excentrisk søjlelast som funktion af midterudbøjningen for beton A1. Udfyldte datapunkter angiver max. søjlelast iht. Tabel 5.

De 2 modelberegninger er udført med beregningsprogrammet FIRE-2D, hvor de målte arbejdskurver for beton P7 og armering Y12 er benyttet. Tallene angiver lastexcentriciteten benyttet i den numeriske beregning.

Beton	Emne	Max. søjlelast [kN]	Excentricitet [mm]
A1 ^a	A1-s11	1305	12,0
	A1-s13	1270	11,3
	A1-s14	1305	11,5
	Middel	1293	-
P7 ^b	P7-s25	772	27,8
	P7-s28	755	27,5
	P7-s30	750	28,4
	Middel	759	-

Tabel 5: Målte søjlestyrker og excentriciteter. Noter: ^aExcentriciteten skal ses ift. en bjælkedybde på 127 mm; ^bExcentriciteten skal ses ift. en bjælkedybde på 153 mm



Figur 14: Excentrisk søjlelast som funktion af midterudbøjningen for beton P7. Udfyldte datapunkter angiver max. søjlelast iht. Tabel 5.

De 3 modelberegninger er udført med beregningsprogrammet FIRE-2D, hvor de målte arbejdskurver for beton P7 og armering Y12 er benyttet. Tallene angiver lastexcentriciteten benyttet i den numeriske beregning.

I Figur 13 og Figur 14 er endvidere vist resultater af numeriske beregninger baseret på de målte arbejdskurvers forløb (linier uden symboler i Figur 5 - Figur 8), hvor liniernes slutpunkt svarer til et stabilitetssvigt i søjlen. I den numeriske beregning optræder svigtet ved at tværsnittet mister sin stivhed og udbøjningskurven får vandret tangent.

I Appendiks D er de numeriske beregningsforudsætninger vedlagt. Som det fremgår er der gennemregnet forskellige scenarier for A1 og P7, svarende til forskellige værdier af søjlelastens excentricitet. Søjlebæreevnen ses at være meget afhængig af excentricitetens størrelse, mens den tilsvarende udbøjning kun afhænger svagt heraf.

5. Konklusioner

Denne rapport beskriver to forskellige forsøgstyper udført som en del af BK1 – *udvidet pakke*. Det drejer sig om bøjningsforsøg, hvor en armeret bjælke udsættes for ren bøjning indtil brud/flydning, samt søjleforsøg hvor den excentriske normalkraft øges indtil stabilitetssvigt i søjlen.

Forsøgene er udført på 3 prøveemner for hver af de to betontyper A1 og P7 (se Afsnit 1 og 2) efter 40-44 døgn forseglet lagring. For at kende betonernes trykstyrke og stivhed er der desuden målt trykarbejdskurver for hver af de to betoner.

Beton A1 udmærker sig ved at være en højstyrkebeton med $f_c = 60$ MPa, mens P7 er en normalstyrkebeton med $f_c = 30$ MPa. Foruden styrkeforskellen er der også målt en betragtelig sejhedsforskel, hvor P7 bryder under stor energioptagelse modsat A1, som bryder mere pludseligt. Nærværende eksperimentelle undersøgelser skal bl.a. bruges til at fastslå hvorvidt denne markante forskel i materialeopførsel ændrer på opførslen af armerede bjælker og søjler, hvor beton og armering virker sammen.

5.1 Bøjningsforsøg

De målte bøjningsarbejdskurver er sammenlignet med beregninger udført iht. DS 411:1999, metode A og B. Der er fundet en udmærket overensstemmelse mellem beregning og forsøg, når den målte trykstyrke og stivhed benyttes i beregningerne.

Der er desuden registreret et markant flydeniveau i alle forsøg, hvilket ses som en indikation på, at bjælkerne opfører sig normalt armerede med en god sikkerhed imod uvarslet brud.

Alt i alt opfører bjælkerne sig som forudsat i DS 411 for konstruktionsbeton.

5.2 Søjleforsøg

Den målte sammenhæng mellem søjleudbøjning og søjlelast er sammenlignet med numeriske beregninger, hvor betonernes målte trykarbejdskurve benyttes. Den numeriske beregning medtager momentbidrag fra udbygningen ud over excentriciteten introduceret ved forsøgets start.

Det ses imidlertid at søjlens stabilitetsbæreevne er stærkt afhængig af størrelsen på begyndelsesexcentriciteten. Ved forsøgets start opstilles søjlen med en foruddefineret nominal last-excentricitet. Når den nominelle excentricitet indsættes i en numerisk beregning fås en beregnet stabilitetsbæreevne 10 til 20 % lavere end den eksperimentelt bestemte.

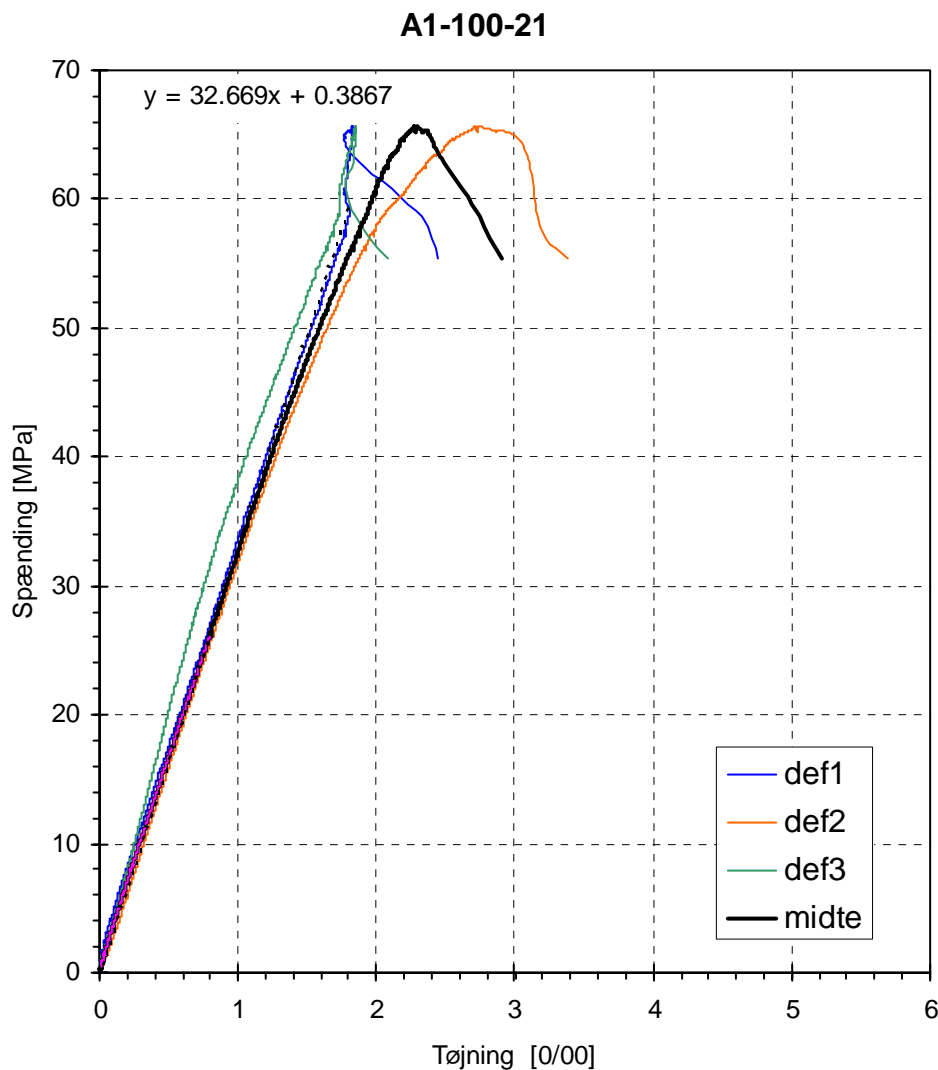
Det er vurderet at denne forskel primært bundes i, at den reelle begyndelsesexcentricitet er lavere end den nominelle pga. unøjagtigheder i forsøgsopstillingen (bjælkernes forhåndsudbøjning og opstillingens retlinethed).

Der er således ingen grund til at formode, at søjleberegningerne for betontype A1 og P7 er anderledes end for normale betontyper.

6. Referencer

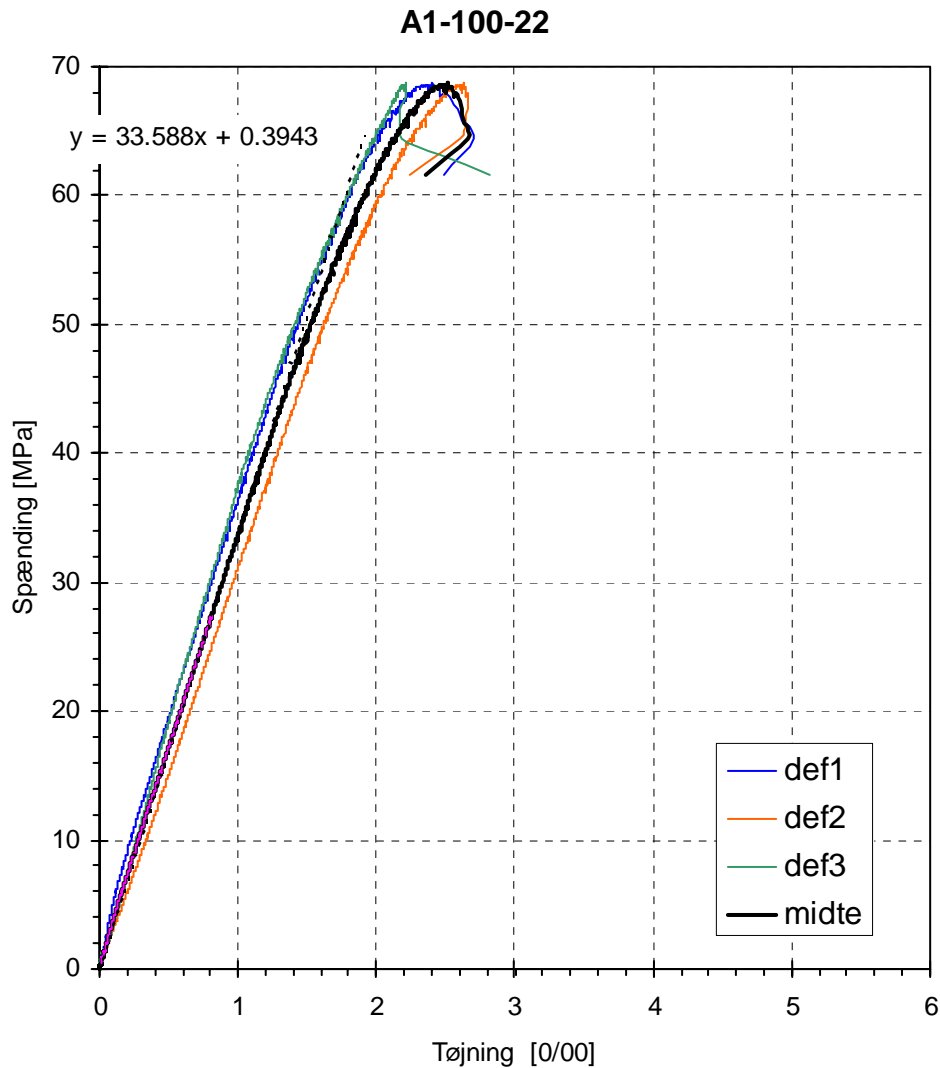
- [1] "CEB-FIP Model Code 1990", CEB-Bulletin No 213/214, Comite Euro-International du Beton, 1993.
- [2] "Arbejdskurver, spaltetrækstyrke og udmattelsesundersøgelser", Center for Grøn Beton, Teknologisk Institut, Beton, December 2002.

Appendiks A Trykarbejdslinier for beton A1



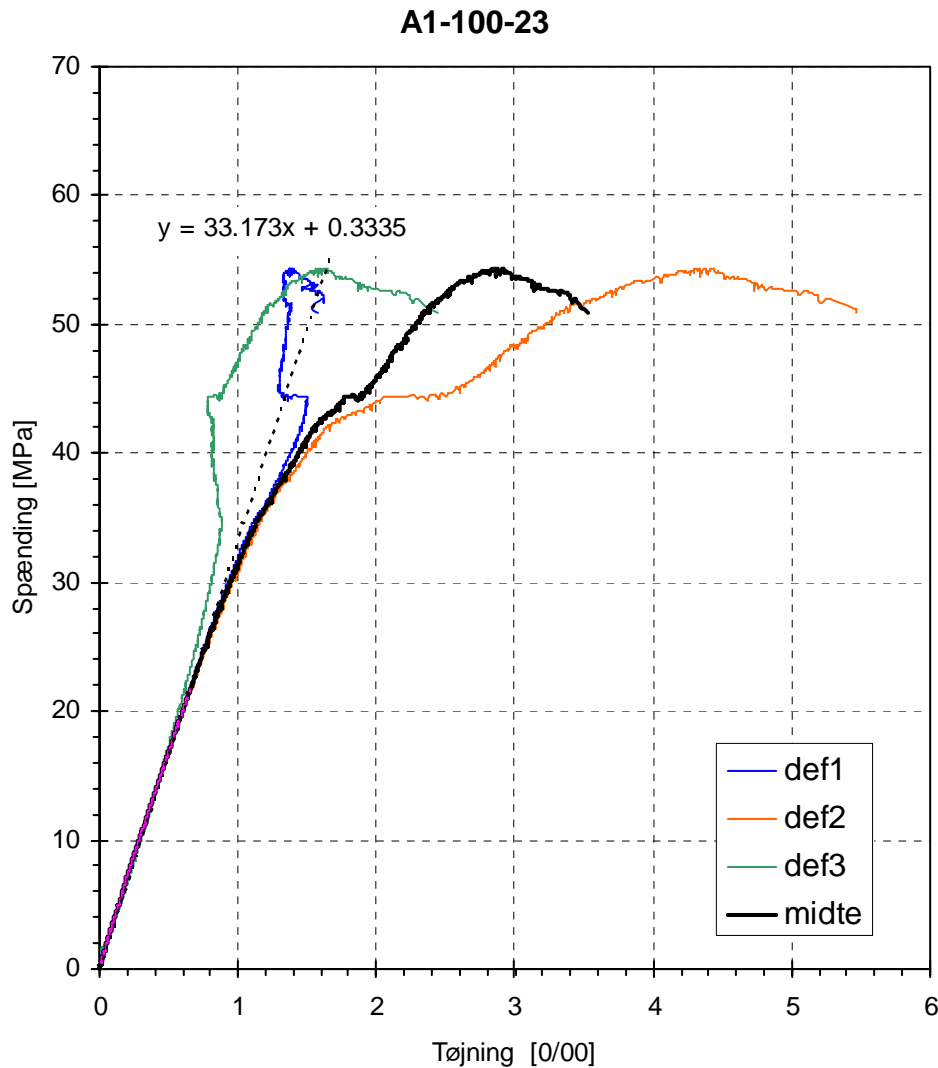
Noter:

- I alt 3 flytningstransducere måler cylinderens længdeændringer (100 mm målelængde).
- Transducerne "def1" og "def2" er monteret diametralt modsat på prøveemnet.
- Middelværdien af "def1" og "def2" er tøjningen af cylinderens midterakse (fed linie).
- Transducer "def3" er forskudt 90° ift. "def1" og "def2" og kan således bruges til at vurdere tøjningernes fordeling over cylindertværsnittet (jf. Figur 1).
- Regressionslinie angivet for målinger mellem ca. 0,5 MPa og 40 % af trykstyrken.
- Målingerne afsluttet ved indtrædelse af pludseligt brud kort efter passage af toppunktet.



Noter:

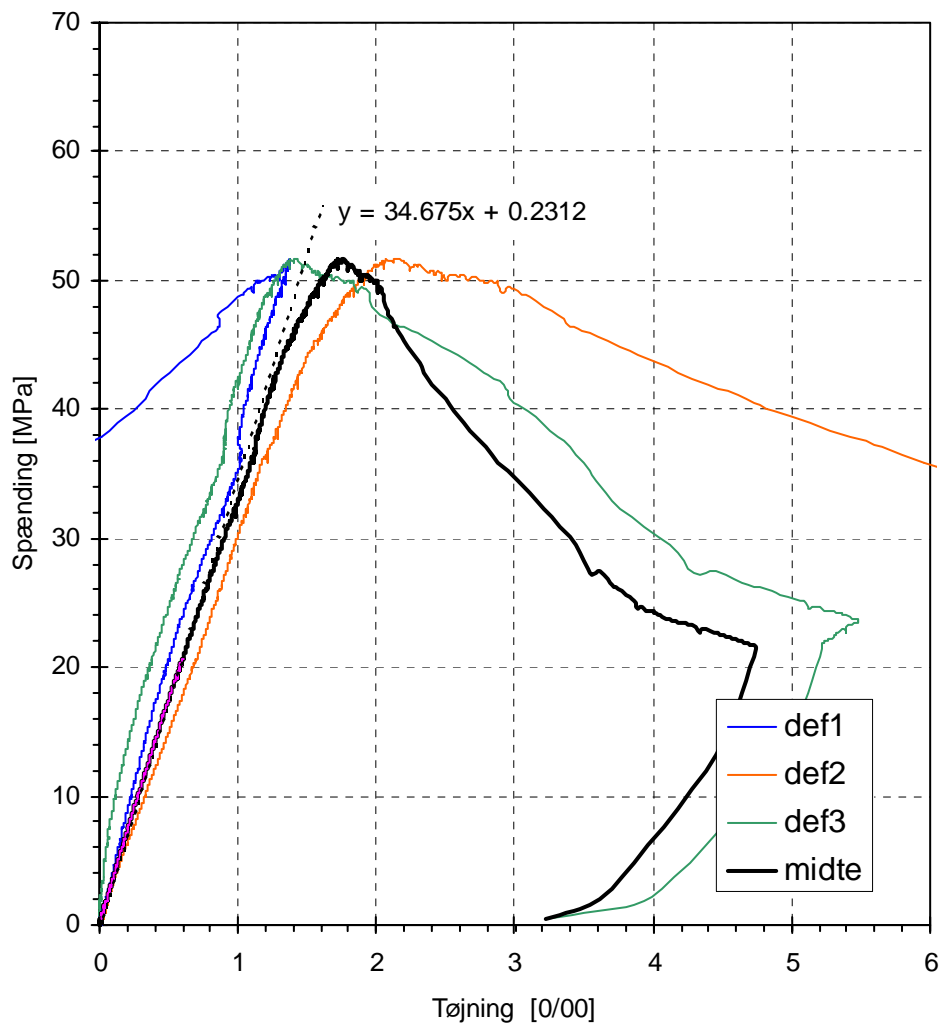
- I alt 3 flytningstransducere måler cylinderens længdeændringer (100 mm målelængde).
- Transducerne "def1" og "def2" er monteret diametralt modsat på prøveemnet.
- Middelværdien af "def1" og "def2" er tøjningen af cylinderens midterakse (fed linie).
- Transducer "def3" er forskudt 90° ift. "def1" og "def2" og kan således bruges til at vurdere tøjningernes fordeling over cylindertværsnittet (jf. Figur 1).
- Regressionslinie angivet for målinger mellem ca. 0,5 MPa og 40 % af trykstyrken.
- Målingerne afsluttet ved indtrædelse af pludseligt brud kort efter passage af toppunktet.



Noter:

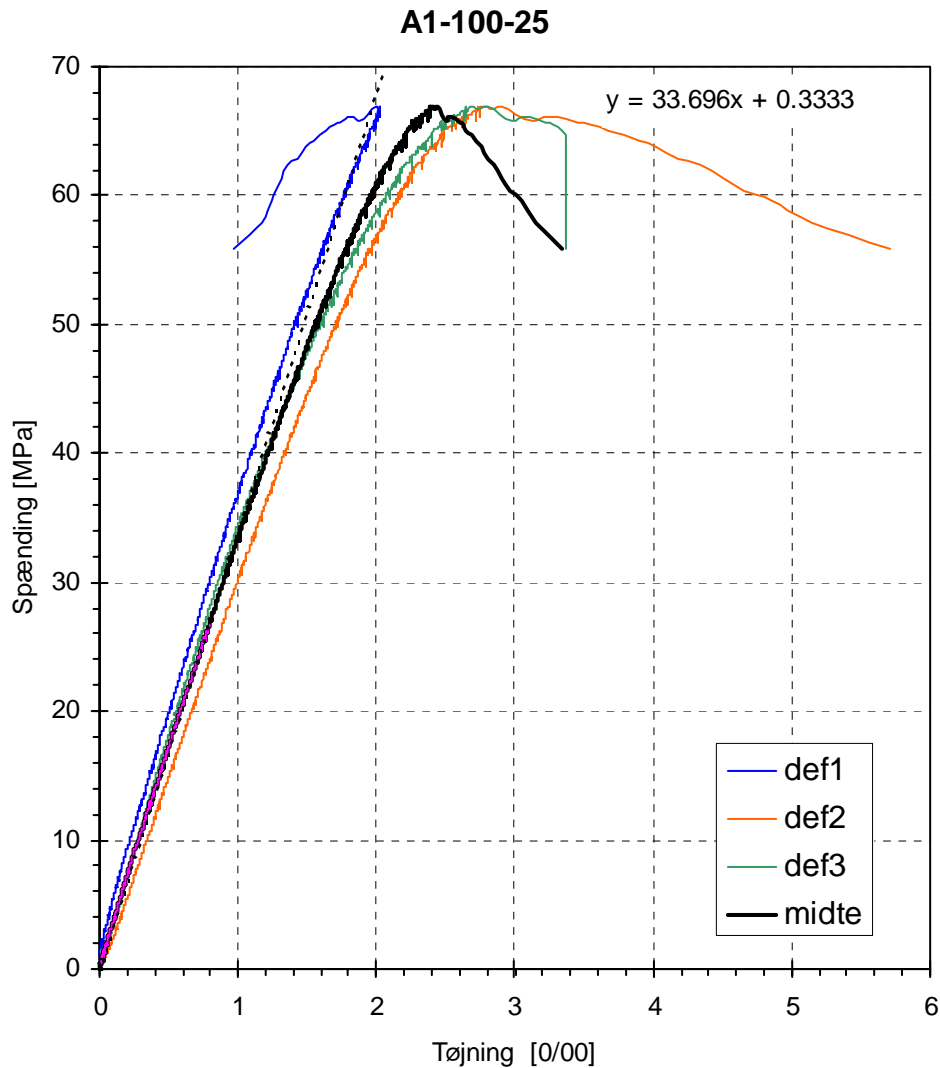
- I alt 3 flytningstransducere måler cylinderens længdeændringer (100 mm målelængde).
- Transducerne "def1" og "def2" er monteret diametralt modsat på prøveemnet.
- Middelværdien af "def1" og "def2" er tøjningen af cylinderens midterakse (fed linie).
- Transducer "def3" er forskudt 90° ift. "def1" og "def2" og kan således bruges til at vurdere tøjningernes fordeling over cylindertværsnittet (jf. Figur 1).
- Regressionslinie angivet for målinger mellem ca. 0,5 MPa og 40 % af trykstyrken.
- Målingerne afsluttet ved indtrædelse af pludseligt brud kort efter passage af toppunktet.
- Forsøget må betegnes som uregelmæssigt, idet der iagttages et "flydeniveau" ved ca. 45 MPa. Den målte styrke benyttes ikke i de videre analyser.

A1-100-24



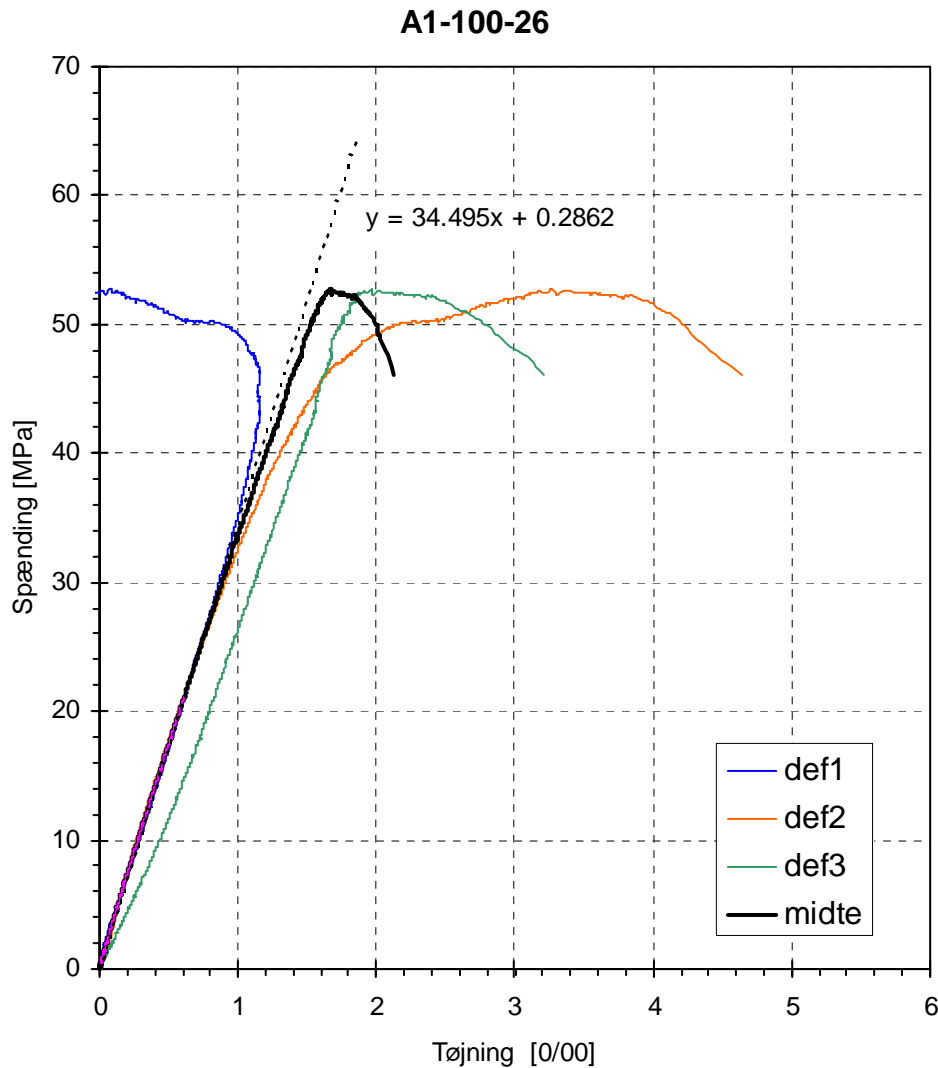
Noter:

- I alt 3 flytningstransducere måler cylinderens længdeændringer (100 mm målelængde).
- Transducerne "def1" og "def2" er monteret diametralt modsat på prøveemnet.
- Middelværdien af "def1" og "def2" er tøjningen af cylinderens midterakse (fed linie).
- Transducer "def3" er forskudt 90° ift. "def1" og "def2" og kan således bruges til at vurdere tøjningernes fordeling over cylindertværsnittet (jf. Figur 1).
- Regressionslinie angivet for målinger mellem ca. 0,5 MPa og 40 % af trykstyrken.
- Den sidste del af målingerne svarer til aflastning.



Noter:

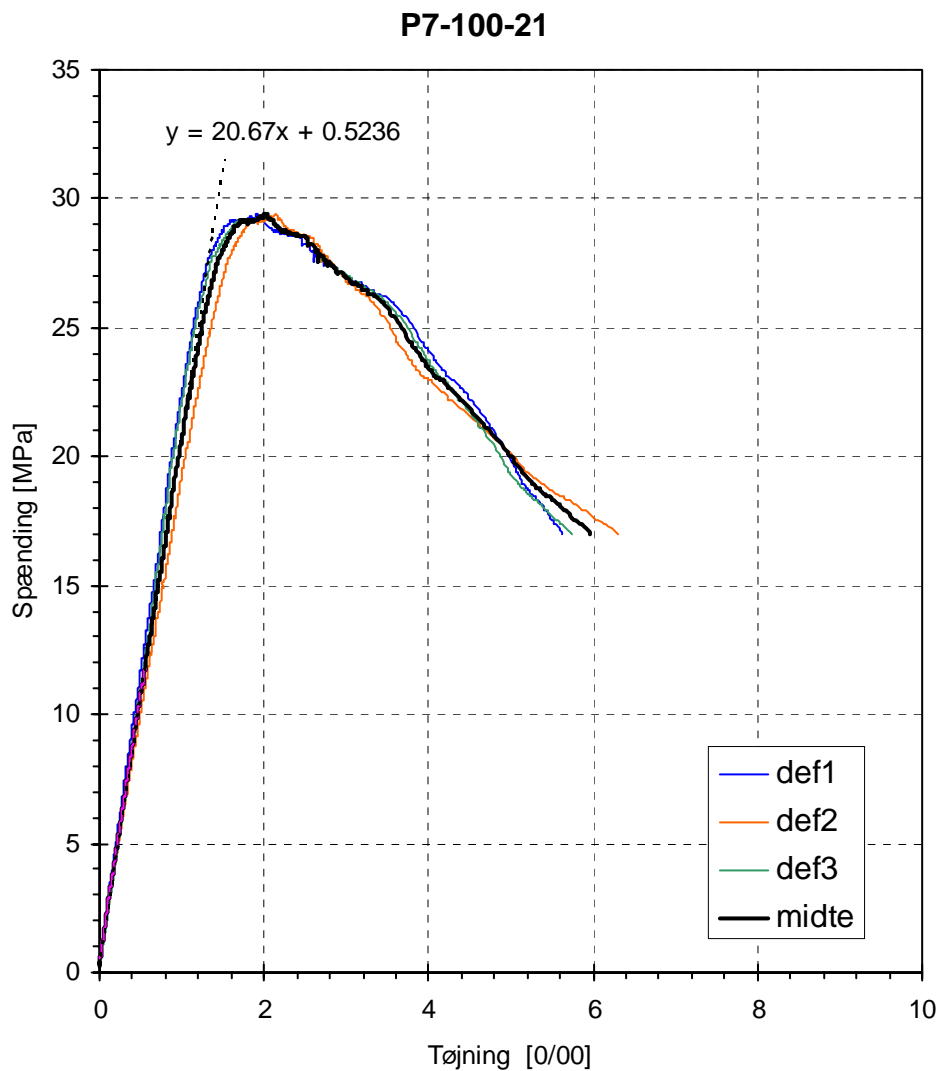
- I alt 3 flytningstransducere måler cylinderens længdeændringer (100 mm målelængde).
- Transducerne "def1" og "def2" er monteret diametralt modsat på prøveemnet.
- Middelværdien af "def1" og "def2" er tøjningen af cylinderens midterakse (fed linie).
- Transducer "def3" er forskudt 90° ift. "def1" og "def2" og kan således bruges til at vurdere tøjningernes fordeling over cylindertværsnittet (jf. Figur 1).
- Regressionslinie angivet for målinger mellem ca. 0,5 MPa og 40 % af trykstyrken.
- Målingerne afsluttet ved indtrædelse af pludseligt brud kort efter passage af toppunktet.



Noter:

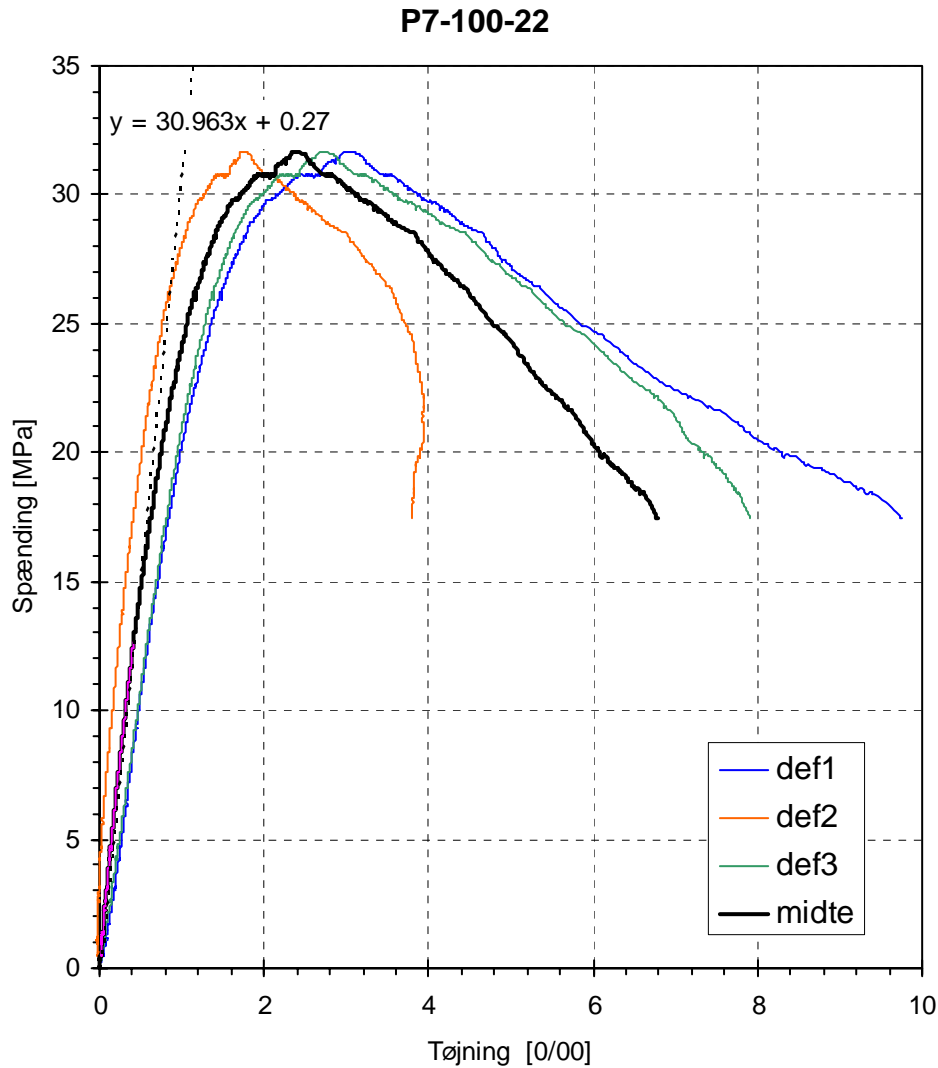
- I alt 3 flytningstransducere måler cylinderens længdeændringer (100 mm målelængde).
- Transducerne "def1" og "def2" er monteret diametralt modsat på prøveemnet.
- Middelværdien af "def1" og "def2" er tøjningen af cylinderens midterakse (fed linie).
- Transducer "def3" er forskudt 90° ift. "def1" og "def2" og kan således bruges til at vurdere tøjningernes fordeling over cylindertværsnittet (jf. Figur 1).
- Regressionslinie angivet for målinger mellem ca. 0,5 MPa og 40 % af trykstyrken.
- Målingerne afsluttet ved indtrædelse af pludseligt brud kort efter passage af toppunktet.

Appendiks B Trykarbejdslinier for beton P7



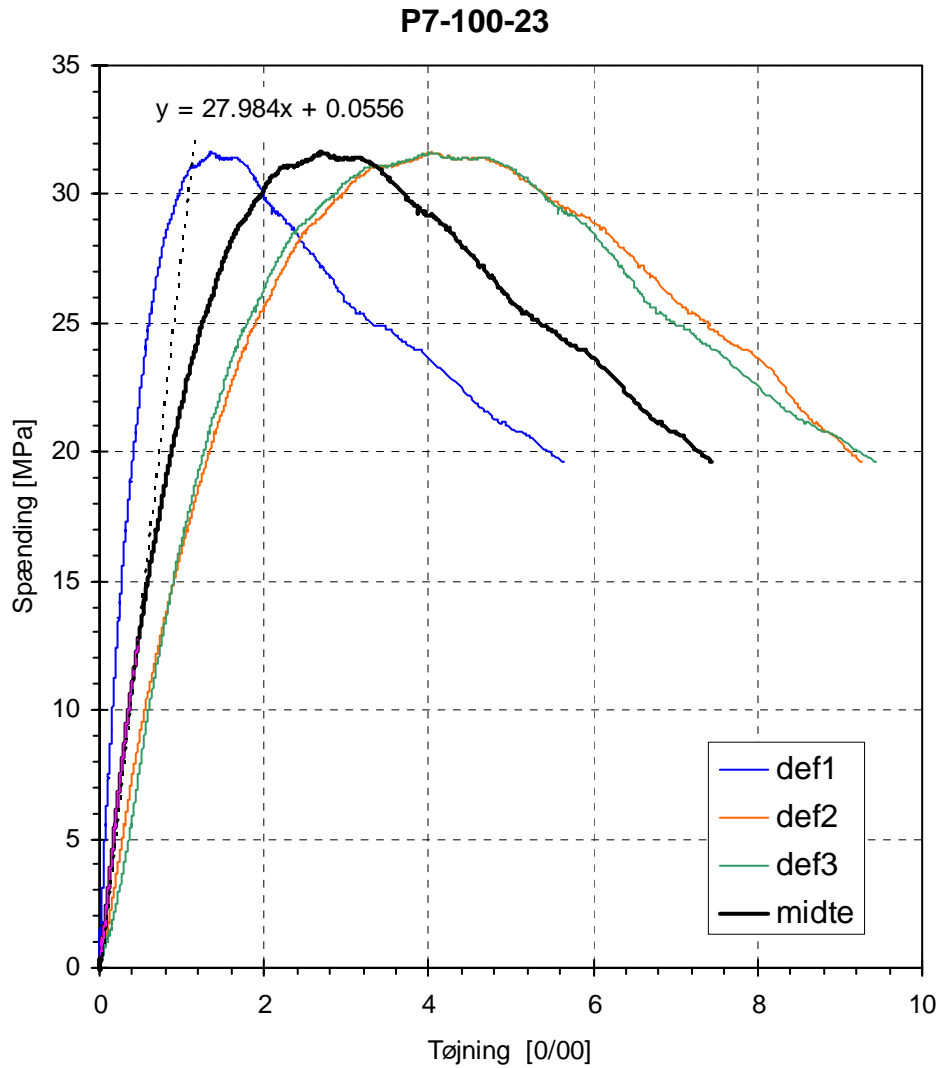
Noter:

- I alt 3 flytningstransducere måler cylinderens længdeændringer (100 mm målelængde).
- Transducerne "def1" og "def2" er monteret diametralt modsat på prøveemnet.
- Middelværdien af "def1" og "def2" er tøjningen af cylinderens midterakse (fed linie).
- Transducer "def3" er forskudt 90° ift. "def1" og "def2" og kan således bruges til at vurdere tøjningernes fordeling over cylindertværsnittet (jf. Figur 1).
- Regressionslinie angivet for målinger mellem ca. 0,5 MPa og 40 % af trykstyrken.
- Målingerne afsluttet ved kontrolleret aflastning (ikke vist i diagrammet).



Noter:

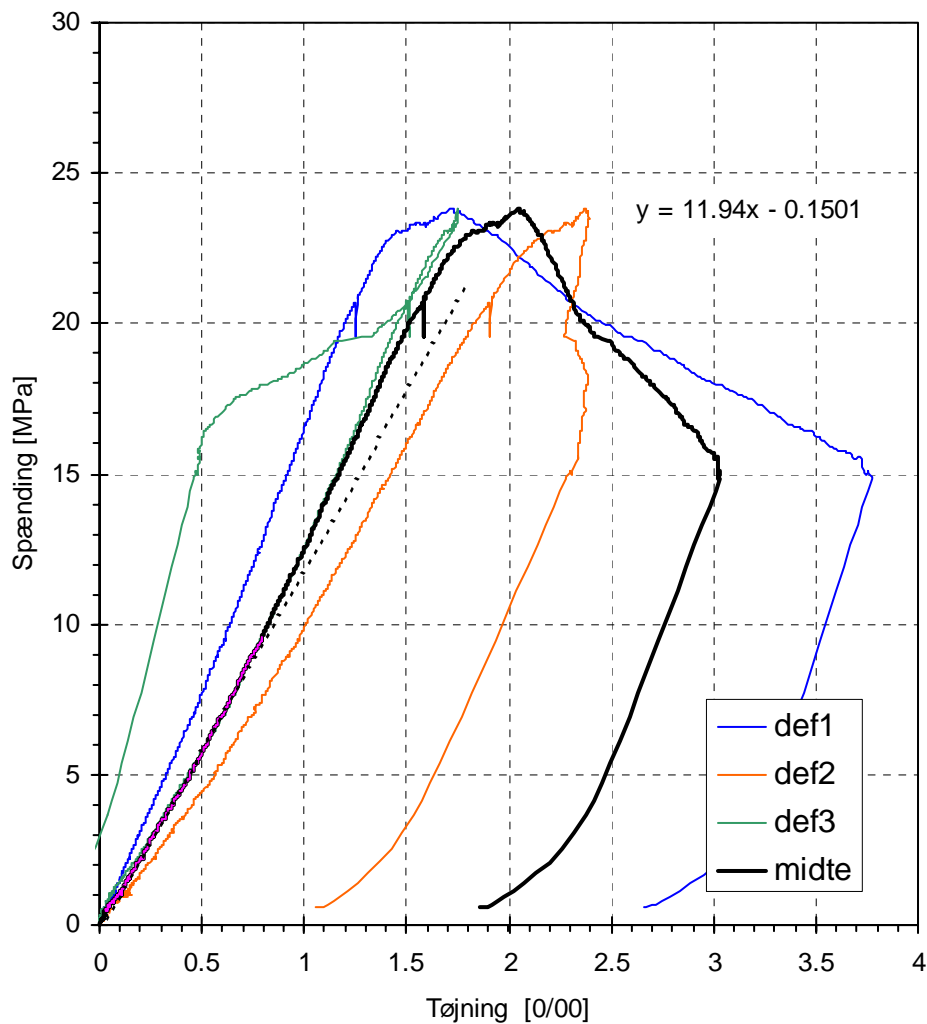
- I alt 3 flytningstransducere måler cylinderens længdeændringer (100 mm målelængde).
- Transducerne "def1" og "def2" er monteret diametralt modsat på prøveemnet.
- Middelværdien af "def1" og "def2" er tøjningen af cylinderens midterakse (fed linie).
- Transducer "def3" er forskudt 90° ift. "def1" og "def2" og kan således bruges til at vurdere tøjningernes fordeling over cylindertværsnittet (jf. Figur 1).
- Regressionslinie angivet for målinger mellem ca. 0,5 MPa og 40 % af trykstyrken.
- Målingerne afsluttet ved kontrolleret aflastning (ikke vist i diagrammet).



Noter:

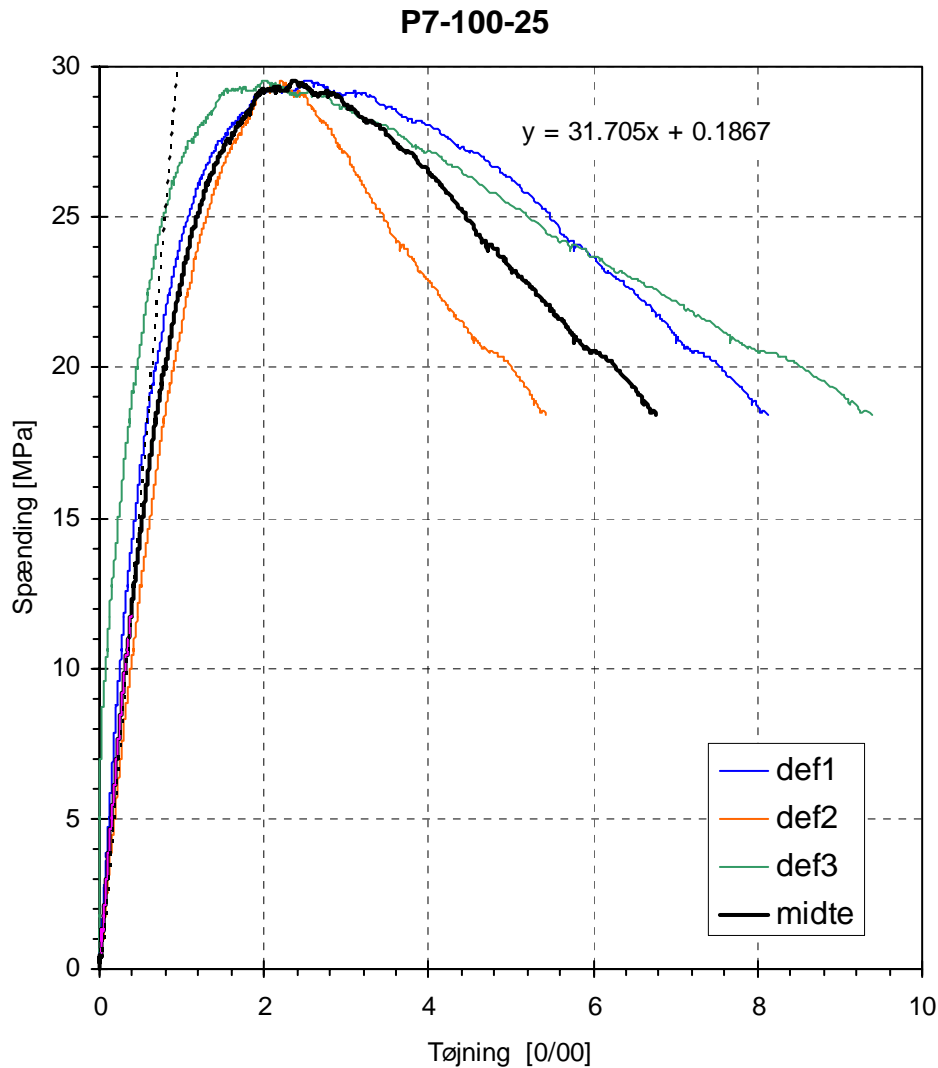
- I alt 3 flytningstransducere måler cylinderens længdeændringer (100 mm målelængde).
- Transducerne "def1" og "def2" er monteret diametralt modsat på prøveemnet.
- Middelværdien af "def1" og "def2" er tøjningen af cylinderens midterakse (fed linie).
- Transducer "def3" er forskudt 90° ift. "def1" og "def2" og kan således bruges til at vurdere tøjningernes fordeling over cylindertværsnittet (jf. Figur 1).
- Regressionslinie angivet for målinger mellem ca. 0,5 MPa og 40 % af trykstyrken.
- Målingerne afsluttet ved kontrolleret aflastning (ikke vist i diagrammet).

P7-100-24



Noter:

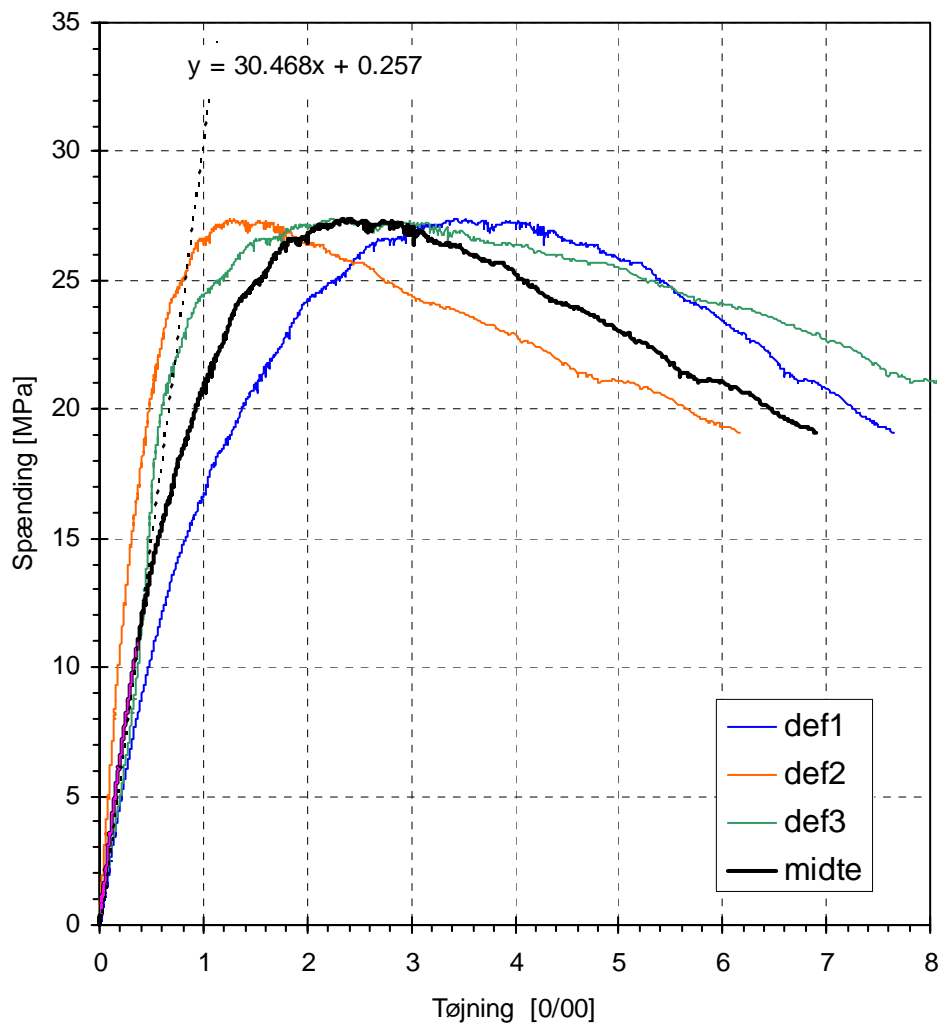
- I alt 3 flytningstransducere måler cylinderens længdeændringer (100 mm målelængde).
- Transducerne "def1" og "def2" er monteret diametralt modsat på prøveemnet.
- Middelværdien af "def1" og "def2" er tøjningen af cylinderens midterakse (fed linie).
- Transducer "def3" er forskudt 90° ift. "def1" og "def2" og kan således bruges til at vurdere tøjningernes fordeling over cylindertværsnittet (jf. Figur 1).
- Regressionslinie angivet for målinger mellem ca. 0,5 MPa og 40 % af trykstyrken.
- Den sidste del af målingerne svarer til aflastning.



Noter:

- I alt 3 flytningstransducere måler cylinderens længdeændringer (100 mm målelængde).
- Transducerne "def1" og "def2" er monteret diametralt modsat på prøveemnet.
- Middelværdien af "def1" og "def2" er tøjningen af cylinderens midterakse (fed linie).
- Transducer "def3" er forskudt 90° ift. "def1" og "def2" og kan således bruges til at vurdere tøjningernes fordeling over cylindertværsnittet (jf. Figur 1).
- Regressionslinie angivet for målinger mellem ca. 0,5 MPa og 40 % af trykstyrken.
- Målingerne afsluttet ved kontrolleret aflastning (ikke vist i diagrammet).

P7-100-26



Noter:

- I alt 3 flytningstransducere måler cylinderens længdeændringer (100 mm målelængde).
- Transducerne "def1" og "def2" er monteret diametralt modsat på prøveemnet.
- Middelværdien af "def1" og "def2" er tøjningen af cylinderens midterakse (fed linie).
- Transducer "def3" er forskudt 90° ift. "def1" og "def2" og kan således bruges til at vurdere tøjningernes fordeling over cylindertværsnittet (jf. Figur 1).
- Regressionslinie angivet for målinger mellem ca. 0,5 MPa og 40 % af trykstyrken.
- Målingerne afsluttet ved kontrolleret aflastning (ikke vist i diagrammet).

Appendiks C Prøvningsrapport for anvendt armering

Kan rekvireres ved henvendelse til Teknologisk Institut, Beton.

Appendiks D Søjleberegning med Fire-2D

Kan rekvireres ved henvendelse til Teknologisk Institut, Beton.