

**B E T O N E L E M E N T F O R E N I N G E N**

## **Transportarmerede betonelementvægge**

### **Deformationsforhold og svigttype**

13. marts 2012

**ALECTIA A/S**

Teknikerbyen 34  
2830 Virum  
Denmark  
Tlf.: +45 88 19 10 00  
Fax: +45 88 19 10 01

CVR nr. 22 27 89 16

[www.alectia.com](http://www.alectia.com)

BETONELEMENTFORENINGEN

## **Transportarmerede betonelementvægge**

### **Deformationsforhold og svigttype**

Revision :  
Revisionsdato :  
Sagsnr. : 017681  
Projektleder : JFJ  
Udarbejdet af : JFJ  
Godkendt af : JFJ

## Indholdsfortegnelse

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>Indledning .....</b>                          | <b>2</b>  |
| <b>2</b> | <b>Sammendrag af forsøgsresultater .....</b>     | <b>3</b>  |
| <b>3</b> | <b>Sammenligning med bæreevneberegning .....</b> | <b>6</b>  |
| <b>4</b> | <b>Analyse af deformationer.....</b>             | <b>9</b>  |
| <b>5</b> | <b>Konklusion .....</b>                          | <b>11</b> |

## 1 Indledning

I 2006 blev der ved Laboratoriet for Byggeri og Anlæg på Ålborg Universitet gennemført en række fuldskalaforsøg med transportarmerede betonelementvægge. Se rapporten:

[1] *Forsøg med 37 betonelementer, november 2006*

på <http://www.bef.dk/teknik+og+design> under menupunktet "Fuldskalaafprøvning af vægelementer".

En analyse af forsøgsresultaterne viste, at det vil være sikkert at dimensionere denne type vægge ved anvendelse af EC2's generelle regler for dimensionering af søjler og vægge også selv om den lodrette vægarmering er mindre end minimumsarmeringen, ned til ca. 65% af hvad der anføres i EC2. Denne grænse svarer til et armeringstværsnit på 0,13% af betontværsnittet.

I nærværende rapport behandles vægelementernes deformationsforhold og det demonstreres, at deformationer og svigtttype ikke ændres, når armeringen inden for ovennævnte grænse reduceres i forhold til minimumsarmeringen. Dermed opfyldes betingelsen i det nationale annekst til EC2, punkt 2.4.2.4(1) note 3 for reduktion af armeringen i forhold til minimumsarmeringen uden ændring af partialkoefficienterne på materialerne.

Det bemærkes, at muligheden for reduktion i forhold til minimumsarmeringskravet iht. EC2 kun gælder den lodrette armering i vægelementet. Minimumskravet til vandret armering er iht. EC2 et armeringstværsnit på 0,1% af betontværsnittet for vægelementer, hvor den lodrette armerings tværsnitsareal udgør op til 0,4% af betontværsnittet.

## 2 Sammendrag af forsøgsresultater

Af forsøgene rapporteret i [1] er det forsøgene med excentrisk last der har interesse for praksis. Rapportens forsøg med rent centralt belastede vægelementer og centralt belastede vægelementer med beskeden tværkraft ligger uden for hvad der forekommer ved dimensionering i praksis.

Af hensyn til den videre analyse henføres forsøgene med excentrisk belastede vægelementer til 5 puljer, hvor geometri- og materialevariationer inden for hver pulje er meget beskedne. Dermed kan der for materialestyrkerne i hver pulje med god nøjagtighed regnes med middelværdien inden for puljen.

I alle elementerne er den lodrette armering tilstræbt placeret i symmetriplanet vinkelret på udbøjningsretningen.

Forsøgene kan herefter resumeres som følger, idet det bemærkes at minimumsarmeringen for vægge iht EC2 svarer til  $A_s/A_c = 0,20\%$ :

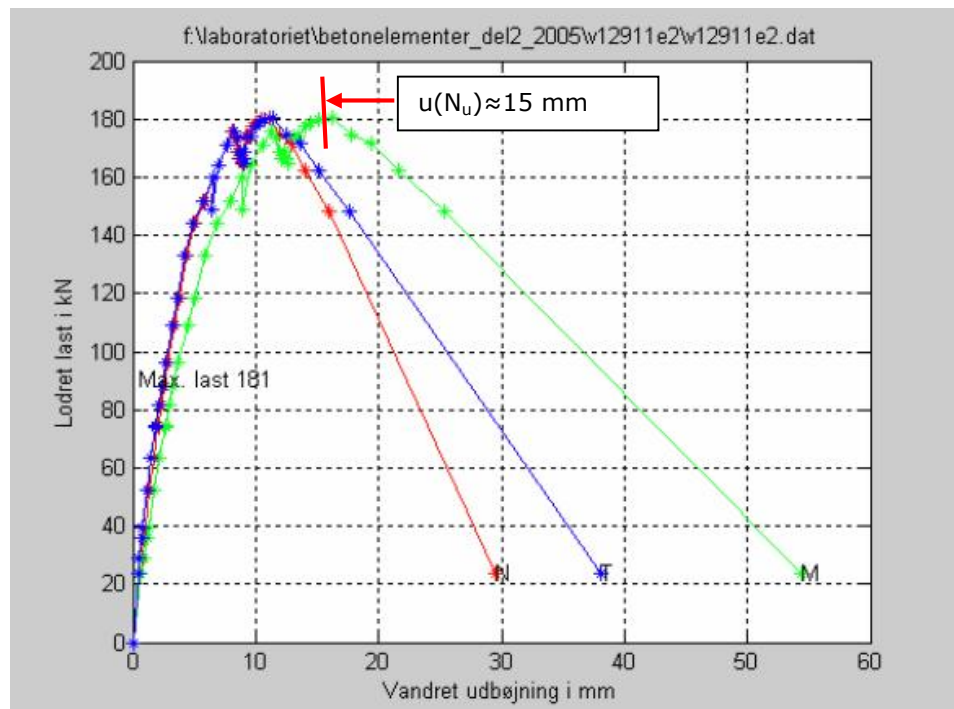
| Forsøg | L<br>(m) | h<br>(mm) | b<br>(mm) | Armering | $A_s/A_c$<br>(%) | $f_y$<br>(MPa) | $f_c$<br>(MPa) | e<br>(mm) | $N_u$<br>(kN) | $u(N_u)$<br>(mm) |
|--------|----------|-----------|-----------|----------|------------------|----------------|----------------|-----------|---------------|------------------|
| E1     | 2,6      | 101       | 250       | 2ø6      | 0,224            | 550            | 25,0           | 12,5      | 380           | ≈ 12             |
| E2     |          |           |           |          |                  |                |                | 25,0      | 181           | ≈ 15             |
| E4     |          |           |           |          |                  |                |                | 25,0      | 174           | ≈ 12             |
| E5     |          |           |           |          |                  |                |                | 12,5      | 325           | ≈ 15             |
| E6     | 2,6      | 123       | 250       | 2ø6      | 0,182            | 550            | 25,1           | 20,0      | 374           | ≈ 13             |
| E7     |          |           |           |          |                  |                |                | 20,0      | 369           | ≈ 13             |
| E10    |          |           |           |          |                  |                |                | 40,0      | 161           | ≈ 10             |
| E11    |          |           |           |          |                  |                |                | 40,0      | 129           | ≈ 10             |
| E8     | 2,6      | 124       | 250       | 2ø6      | 0,182            | 550            | 49,5           | 20,0      | 473           | ≈ 14             |
| E9     |          |           |           |          |                  |                |                | 40,0      | 194           | ≈ 10             |
| E16    | 2,6      | 150       | 250       | 2ø6      | 0,151            | 550            | 26,9           | 25,0      | 490           | ≈ 10             |
| E17    |          |           |           |          |                  |                |                | 50,0      | 171           | ≈ 10             |
| E12    | 2,6      | 184       | 250       | 2ø6      | 0,123            | 550            | 25,1           | 60,0      | 249           | ≈ 10             |
| E13    |          |           |           |          |                  |                |                | 60,0      | 281           | ≈ 11             |
| E14    |          |           |           |          |                  |                |                | 30,0      | 660           | ≈ 10             |
| E15    |          |           |           |          |                  |                |                | 30,0      | 628           | ≈ 12             |

Figur 1: Sammenfatning af forsøg.

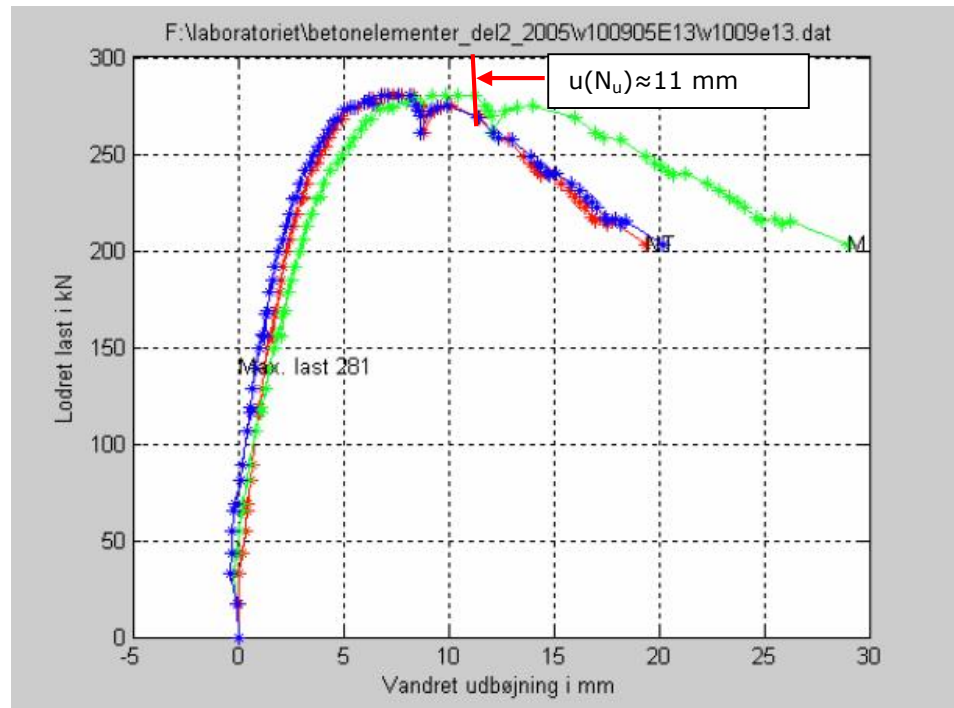
I tabellen anvendes følgende symboler:

- L Vægelementets længde
- h Vægelementets tykkelse (parallelt med udbøjningsretning)
- b Vægelementets bredde
- $A_s$  Den lodrette armerings tværsnitsareal
- $A_c$  Betontværsnittes areal
- $f_y$  Armerings flydespænding
- $f_c$  Betonens cylindertrykstyrke
- e Lastens excentricitet i forhold til vægelementets symmetriplan
- $N_u$  Observeret brudlast (målt maksimallast)
- $u(N_u)$  Vægelementets udbøjning målt på midte ved lasten  $N_u$

I forsøgsrapporten er gengivet grafer med sammenhængen mellem vægelementets udbøjning og belastningen under forsøget. Som tabellens værdier for  $u(N_u)$  også indikerer er der ikke væsentlig forskelle i deformationsforløbene op til brudlasten,  $N_u$ . Nedenfor er vist to af forsøgsrapportens grafer, én for et tyndt element, hvor minimumsarmeringskravet iht. EC2 er opfyldt, og én for et af de elementer i forsøgsserien, der har den mindste armeringsgrad.



Figur 2: Deformationsforløb for forsøg E2.



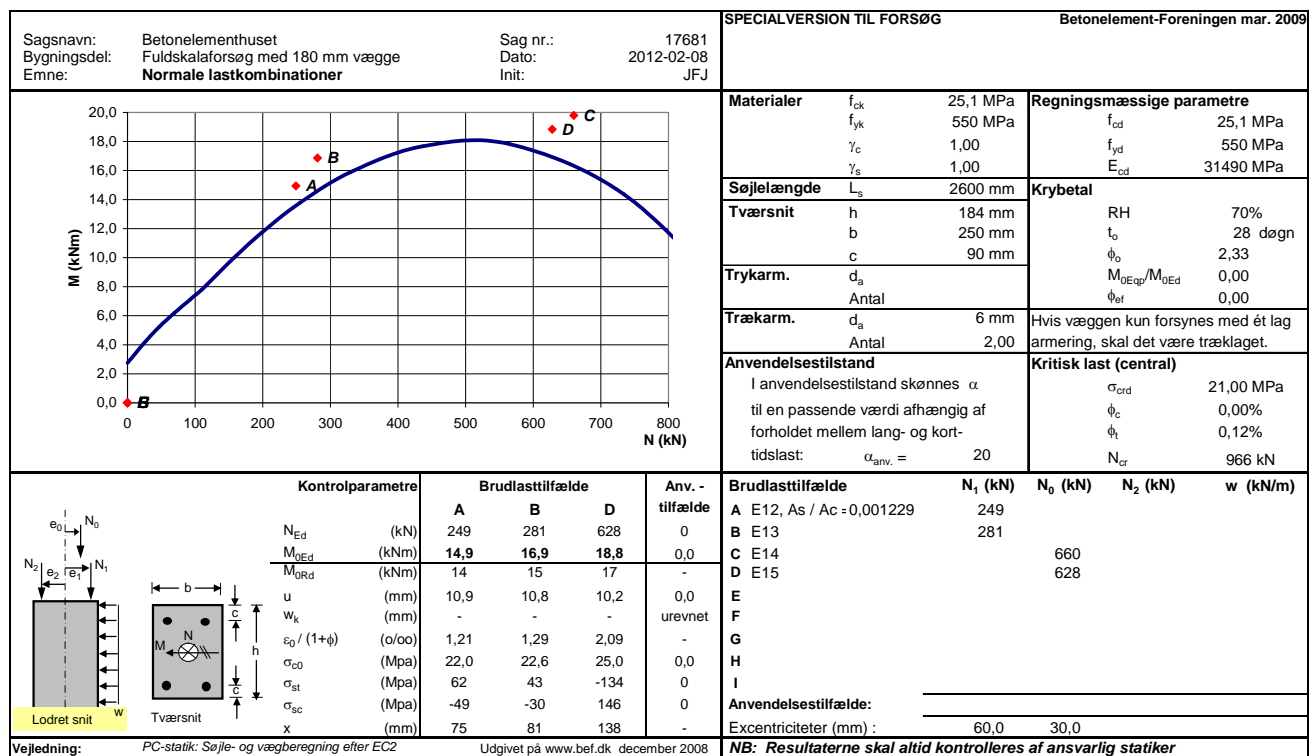
Figur 3: Deformationsforløb for forsøg E13.

### 3 Sammenligning med bæreevneberegning

Den generelle metode til dimensionering af vægge iht. EC2 foreligger omsat til et beregningsmodul på <http://www.bef.dk/teknik+og+design/statik> under menupunktet "Beregningsprogrammer efter Eurocodes".

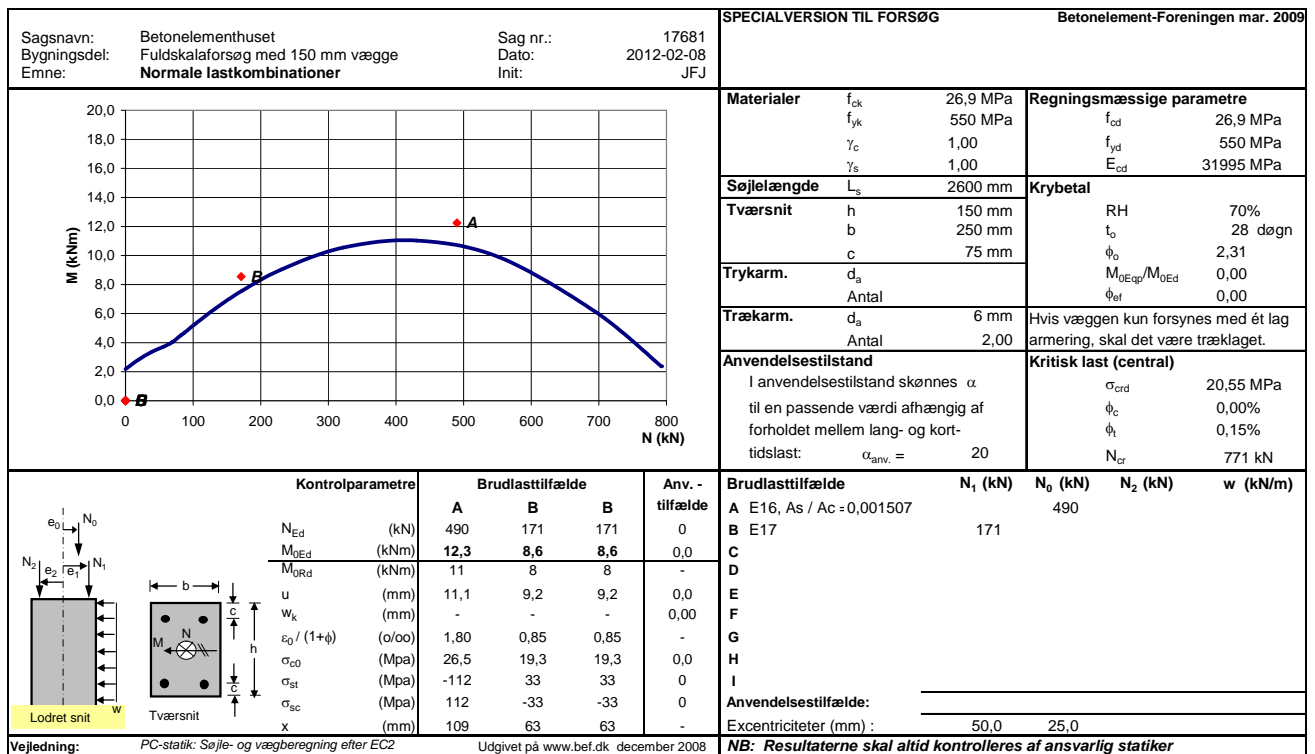
På de følgende programudskrifter er forsøgsresultaterne sammenlignet med bæreevnekurverne svarende til de 5 puljer, som forsøgene blev opdelt i, se afsnit 2. Materialedata anvendt i beregningerne svarer til middelstyrkerne for de forskellige puljer. Det fremgår af programudskrifterne, at der er god overensstemmelse mellem forsøgsresultater og beregnede bæreevner.

På udskrifterne er anført den beregnede udbøjning,  $u$ , ved den aktuelle normalkraft,  $N$ , i elementet netop ved den værdi af førsteordensmomentet,  $M_0$ , der ligger på den beregnede bæreevnekurve. Denne beregnede udbøjning ligger for alle forsøgselementerne i størrelsesordenen 10 mm, hvilket stemmer godt med observationerne fra forsøgene.

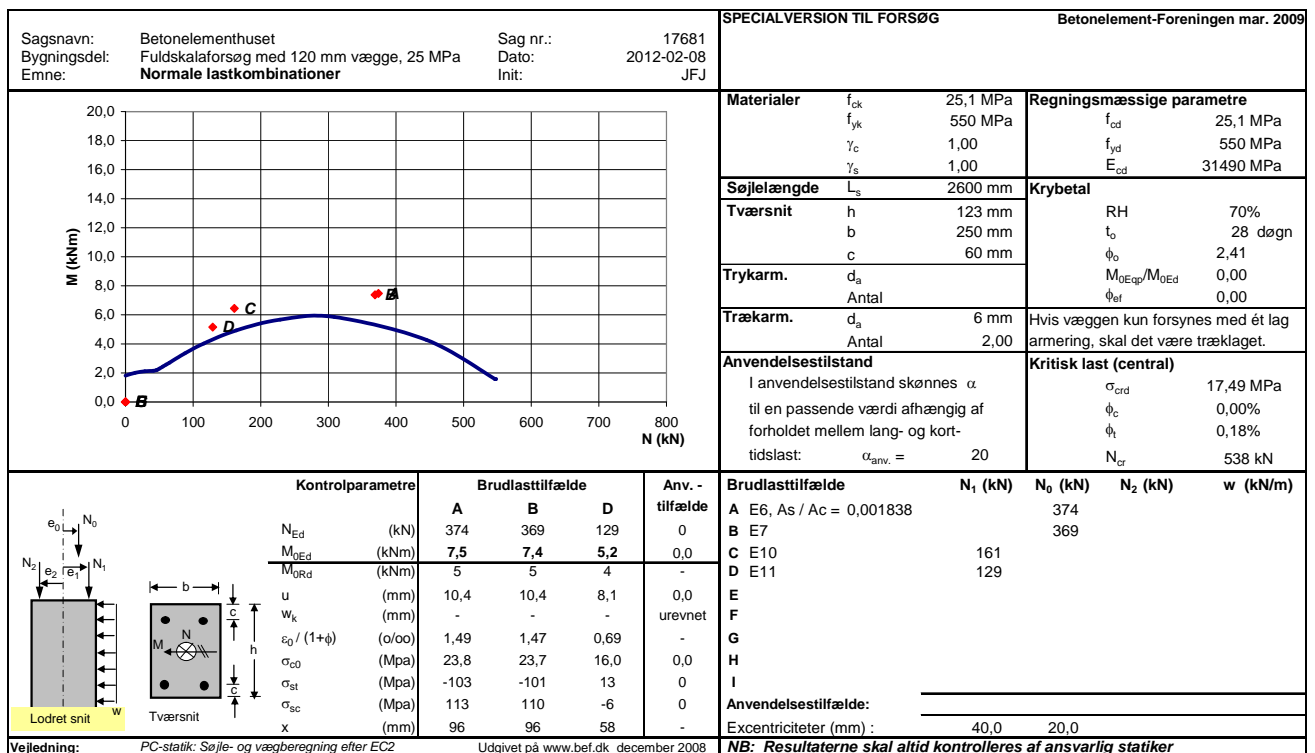


Figur 4: Sammenligning af forsøgsresultater og beregningsmodel iht. EC2 for excentrisk påvirkede 180 mm tykke vægelementer med  $f_c \approx 25$  MPa.

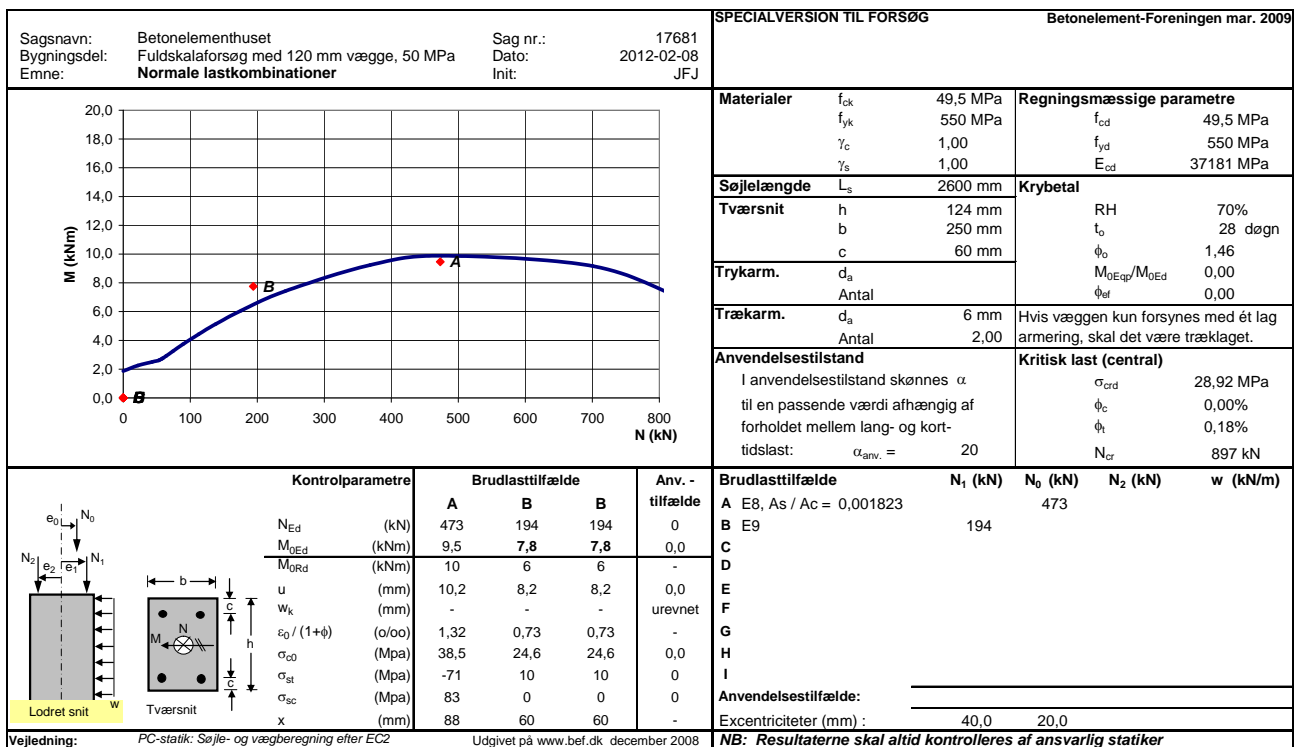




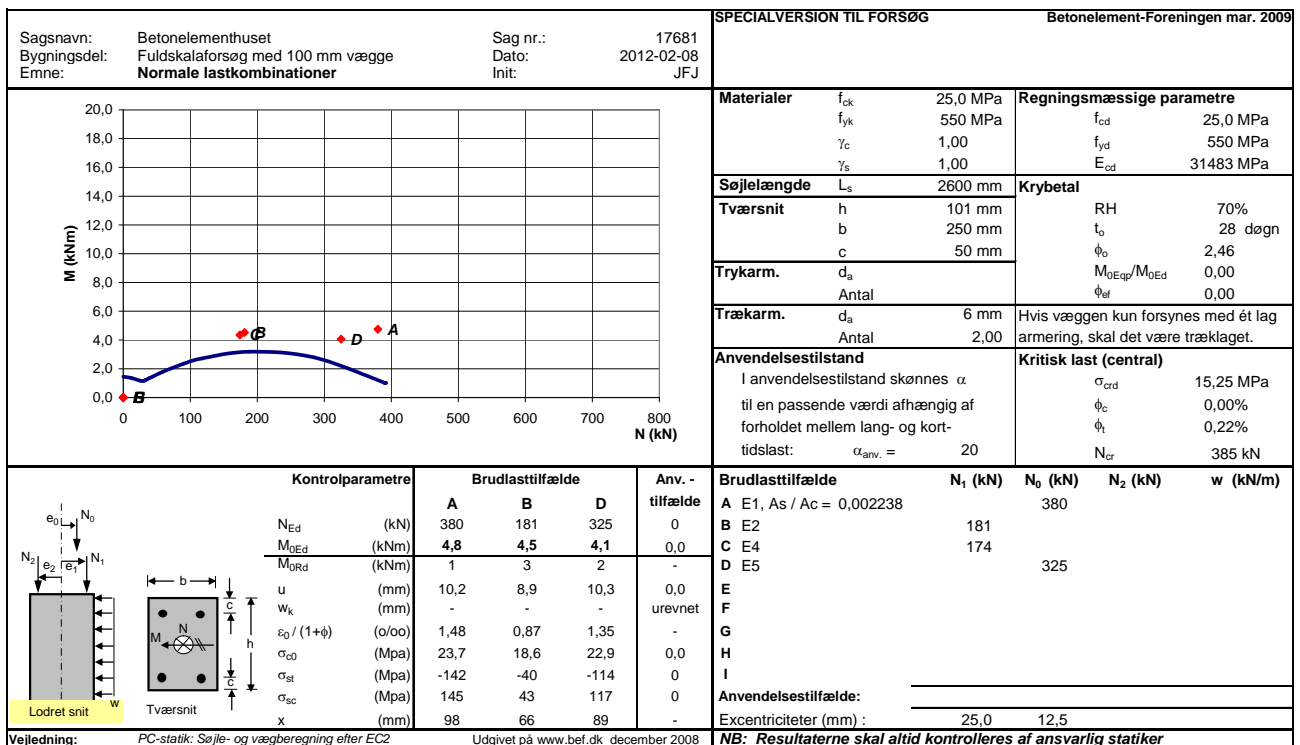
Figur 5: Sammenligning af forsøgsresultater og beregningsmodel iht. EC2 for excentrisk påvirkede 150 mm tykke vægelementer med  $f_c \approx 25$  MPa.



Figur 5: Sammenligning af forsøgsresultater og beregningsmodel iht. EC2 for excentrisk påvirkede 120 mm tykke vægelementer med  $f_c \approx 25$  MPa.



Figur 6: Sammenligning af forsøgsresultater og beregningsmodel iht. EC2 for excentrisk påvirkede 120 mm tykke vægelementer med  $f_c \approx 50$  MPa



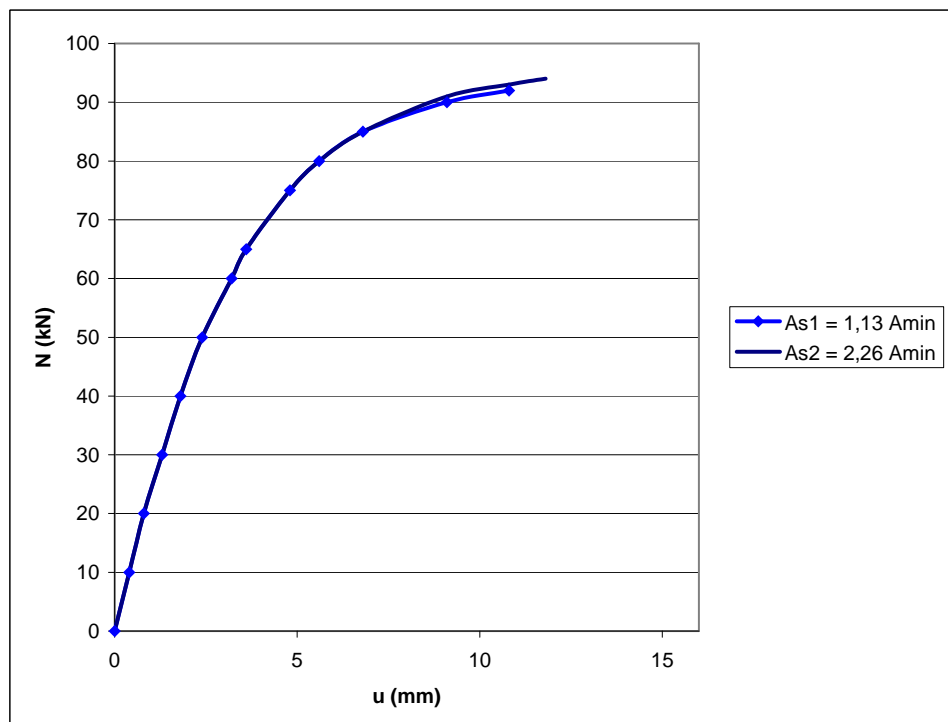
Figur 7: Sammenligning af forsøgsresultater og beregningsmodel iht. EC2 for excentrisk påvirkede 100 mm tykke vægelementer med  $f_c \approx 25$  MPa

#### 4 Analyse af deformationer

Metoderne anvendt til beregningerne refereret i kapitel 3 kan også anvendes til at beregne udbøjningen af excentrisk påvirkede vægelementer som funktion af normalkraften op til det niveau, hvor linien  $(N, M) = (N, e \cdot N)$  krydser bæreevnekurven i kapitel 3's diagrammer.

Beregningerne er dels gennemført med samme armeringsmængde ( $A_{s1}$ ) som ilagt de respektive forsøgselementer, dels svarende til fordoblet armeringsmængde ( $A_{s2}$ ) i forhold til det ved forsøgene anvendte. På figurerne betegner  $A_{min}$  minimumsarmeringen iht. EC2 for det pågældende vægelement.

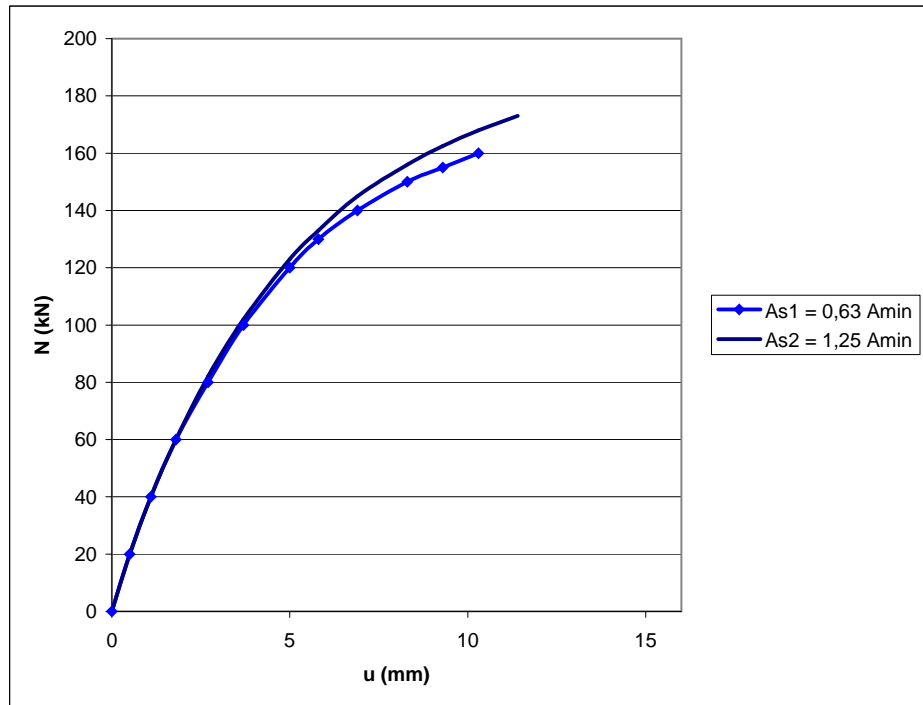
Det ses ved sammenligning med figur 2 og 3, at de beregnede deformationsforløb stemmer godt overens med deformationerne konstateret ved forsøgene. Ved forsøgene opnåedes generelt højere bæreevner for de tyndere vægelementer end forventet efter beregningerne; men dette afspejles ikke udover i lastniveauet ved de målte deformationsforløb.



Figur 8: Beregnet deformationsforløb svarende til forsøg E2 og E4.

$A_{s1} = 1,13 A_{min}$  svarer til faktisk forsøg.

$A_{s2} = 2,26 A_{min}$  svarer til fordoblet armeringsmængde

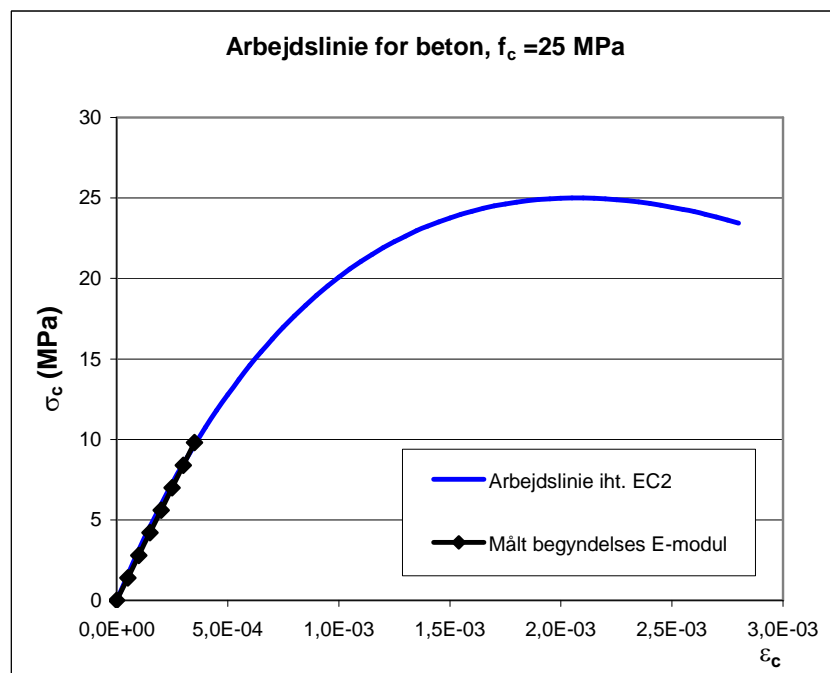


Figur 9: Beregnet deformationsforløb svarende til forsøg E12 og E13.

$A_{s1} = 0,63 A_{min}$  svarer til faktisk forsøg.

$A_{s2} = 1,25 A_{min}$  svarer til fordoblet armeringsmængde

I forbindelse med deformationerne noteres endvidere, at der tilsvarende er god overensstemmelse mellem begyndelses E-modulerne for betonen målt ved forsøgene og arbejdslinien iht. EC2, der er anvendt i den teoretiske beregning af udbøjningerne. Se figur 10.



Figur 10: Sammenligning af arbejdslinier for beton.

## 5 Konklusion

Gennemgangen i kapitel 3 og 4 viser, at der er god overensstemmelse mellem forsøg og teoretisk beregning iht. til den generelle metode efter EC2, både hvad angår vægelementernes bæreevne og deres deformationsforløb op til brudlasten.

Dette gælder både for elementer der opfylder EC2's generelle minimumskrav til lodret armering, og for de elementer hvor den lodrette armering er reduceret ned til ca. 65% af dette minimumskrav.

Som vist i figur 8 og 9 er der ved beregninger iht. til den generelle metode i EC2 heller ingen forventning om mærkbare forskelle i deformationsforløbene ved denne type vægelementer, når den lodrette armering ligger i området mellem 65% og 200% af EC2's generelle minimumskrav til lodret armering.

På den baggrund konkluderes, at transportarmerede vægelementer med armering ned til omkring 65% af EC2's generelle minimumskrav til lodret armering i vægge har samme svigttype som vægelementer, der opfylder minimumskravet. Dermed opfyldes betingelsen det nationale annekst til EC2, punkt 2.4.2.4(1) note 3 for reduktion af armeringen i forhold til minimumsarmeringen uden ændring af partialkoefficienterne på materialerne, når dimensioneringen udføres efter samme principper som gældende for vægelementer, der opfylder EC2's generelle minimumskrav til lodret armering.