

Henning Larsen.

Forsøg med letbeton-dækelementer, 1990.
Momentbæreevne.

1993

[daek1990.HL2]

1. INDLEDNING

Bæreevnen af letbeton-dækelementer skal - i henhold til "Dansk Ingeniørforenings norm for konstruktioner af letbeton-elementer", DS420 - bestemmes på grundlag af prøvning af hele elementer.

Denne rapport omhandler bæreevneprov og sammenligner med bæreevneformler, indeholdende materialeparametre og tværsnits-parametre, for momentbæreevnen for armerede dækelementer af letklinkerbeton.

Elementerne er lagdelte elementer ("sandwich-elementer") med et midterlag med lavere densitet end de to yderlag.

De to yderlag er af letbeton med densitet omkring 1500 kg/m^3 .

Midterlaget er af letbeton med densitet omkring $500 \text{ á } 600 \text{ kg/m}^3$.

Letbetonen er af typen: letbeton med porøse tilslag ("letklinker"). Letbetonen har "åben struktur", idet mellemrummene mellem tilslagskornene kun er delvis udfyldt med cementpasta.

Bæreevneformlerne er de samme som benyttes til beregning af momentbæreevnen af armerede betonelementer.

2. BEREGNINGSFORMEL FOR MOMENTBÆREEVNEN

Formlen, der bruges til beregning af moment-bæreevnen, er

$$M = (1 - \frac{1}{2} \Phi) A_s f_y d$$

hvor

$$\Phi = A_s f_y / (b d f_c)$$

A_s = armeringens tværsnitsareal

b = tværsnitsbredden (i trykzonen)

d = tværsnittes effektive højde (afstanden fra den trykkede kant til armeringens midte)

f_y = armeringsstyrken

f_c = letbeton trykstyrken

Som letbeton trykstyrke regnes med trykstyrken af yderlaget i tryksiden ("toplaget"). Det skal kontrolleres, at trykzonen ikke går ned i midterlaget, der har mindre styrke.

Armeringsstyrken er flyde spændingen eller 0,2 % spændingen.

Idet formelen for momentbæreevnen forudsætter, at tværsnittet er "normaltarmeret", kræves

$$\Phi_{\min} \leq \Phi \leq \Phi_{\text{bal}}$$

Idet trykzonen forudsættes ikke at gå ned i mellemlaget, kræves

$$d_1 \geq \Phi d$$

hvor d_1 er tykkelsen af toplaget.

Grænsen til overarmeret tilstand Φ_{bal} bestemmes af

$$\Phi_{\text{bal}} = \frac{4}{5} \cdot \frac{\epsilon_{\text{cu}}}{\epsilon_{\text{cu}} + \epsilon_{\text{sy}}}$$

hvor

$$\epsilon_{\text{sy}} = \frac{f_y}{E_s}$$

f_y = armeringens trækflydespænding

E_s = armeringens elasticitetsmodul, som regnes = $2 \cdot 10^5 \text{ MN/m}^2$

ϵ_{cu} = letbetonens brudtøjning, som regnes = 2‰

Grænsen Φ_{bal} sikrer, at tøjningen i armeringen er større end tøjningen ved begyndende flydning (ϵ_{sy}).

Grænsen Φ_{min} til underarmeret tilstand bestemmes af to værdier:

Φ_{min1} der kontrollerer, at letbetontværsnittets bæreevne med udnyttelse af letbetonens bøjningstrækstyrke ikke er større end det armerede og revnede tværsnits bæreevne, og

Φ_{min2} der kontrollerer, at tøjningen i armeringen ikke kan regnes større end brudtøjningen.

Grænsen Φ_{min1} bestemmes af

$$\Phi_{\text{min1}} = k_w \cdot 0,45 \cdot \frac{f_{\text{ct}}}{f_c}$$

hvor

f_c = letbetonens trykbrudspænding

f_{ct} = letbetonens trækbrudspænding

Faktoren k_w hidrører fra, at der ses bort fra trækstyrken i midterlaget.

k_w regnes til 0,8 med de aktuelle lagtykkelser.

Grænsen $\Phi_{\min 2}$ bestemmes af

$$\Phi_{\min 2} = \frac{4}{5} \cdot \frac{\epsilon_{cu}}{\epsilon_{cu} + \epsilon_{su}}$$

hvor

$$\epsilon_{su} = \epsilon_e + \frac{f_u}{E_s}$$

ϵ_e = armeringens garanterede jævnt fordelte forlængelse efter brud

f_u = armeringens brudspænding

E_s = armeringens elasticitetsmodul = $2 \cdot 10^5 \text{ MN/m}^2$

ϵ_{cu} = letbetonens brudtøjning, som regnes = 2‰

Bæreevneformlen er udledt for armeret, revnet tværsnit på grundlag af de forudsætninger, betonnormens metode A bygger på, se [1], nemlig:

1. Tøjningerne i armeringen og i letbetonens trykzone vinkelret på tværsnittet er proportionale med afstanden fra nullinien.
2. Letbetonspændingerne afledes af letbetonens regningsmæssige trykarbejdsline, idet der dog ikke må regnes med en tøjning større end 2‰. Trækspændinger tages ikke i regning.
Spændingerne i betonens trykzone kan regnes at være ækvivalente med en konstant spænding lig med den regningsmæssige trykstyrke virkende på et areal, hvis udstrækning, regnet fra kanten med den maksimale tøjning til en linie parallel med nullinien, er lig med 4/5 af trykzonens højde.
3. Trækarmeringens spænding afledes af armeringens regningsmæssige trækarbejdslinie. Tøjningen må ikke regnes større end brudtøjningen.

3. FORSØG

Der er udført forsøg til bestemmelse af moment-bæreevnen af nogle typiske elementstørrelser.

Elementerne var simpelt understøttede ved enderne og belastet med to enkeltkræfter i fjerdedelspunkter af spændvidden.

Elementerne

Tabel I viser de anvendte elementer.

Tabel I

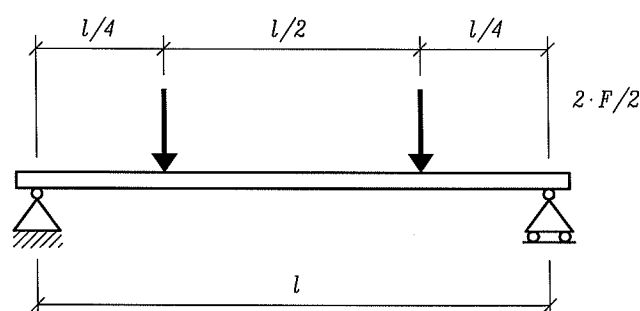
Elementdimensioner			Armering		Element fabrikat	Antal elementer
højde m	bredde m	længde m	areal mm ²			
0,18	0,6	2,7	107	2ø6 + 1ø8	Leca	3
0,16	1,2	3,0	214	4ø6 + 2ø8	Fibo	8

Som armering blev benyttet kamstål.

Forsøg med elementer til bestemmelse af momentbæreevnen.

Forsøgene er udført efter en foreløbig revideret udgave af DS 434-11 "Bærende elementer af letbeton med porøse tilslag. Funktionsprøvning af bjælke- og plade-elementer", nemlig Forslag til standard DSF 10945 (udsendt til kritik 1989-05-15). Væsentlige afvigelser fra den endelige 2. udgave [2] er omtalt nedenfor.

Princippet i prøvningsopstillingen fremgår af figur 1.



Figur 1.

Kontrol af materiale-parametre

Armeringsstålet

For armeringsstålets vedkommende er flydestyrken fundet. Prøvningen er foretaget på prøvestænger, udtaget så de er repræsentative for de armeringer, der er indstøbt i prøveelementerne.

For armeringsstålet i Leca-elementerne med betegnelsen 90DTH11- ..13 er fundet en styrke på 540 N/mm^2 .

For armeringsstålet i Fibo-elementerne med betegnelserne 90Linå1- ..10 og 90DTH23- ..26 er fundet en styrke på 480 N/mm^2 .

Letbetonen

For letbetonens vedkommende er bestemt trykstyrke, densitet og fugtindhold.

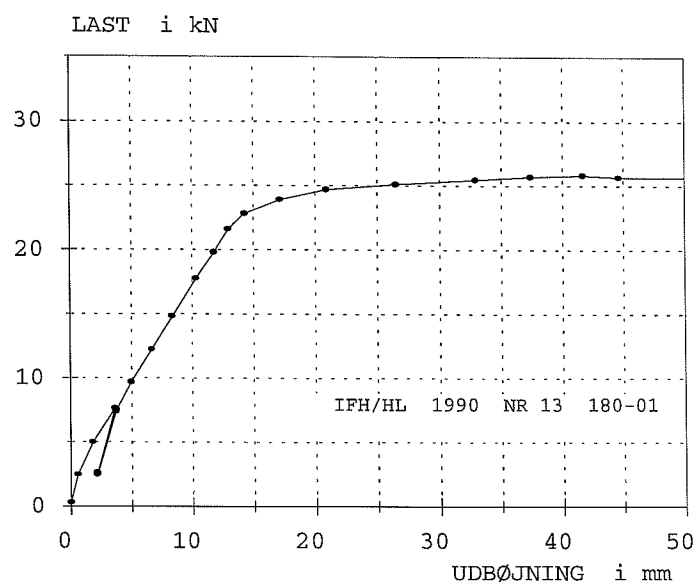
For Leca-elementerne med betegnelsen 90DTH11- ..13 er trykstyrken af toplaget bestemt på specielle prøvelegemer, der er 20 mm tykke, på grund af toplagets ringe tykkelse. I bilag 1 er der redegjort for den specielle prøvning. Toplagets trykstyrke er fundet til $18,0 \text{ N/mm}^2$.

For Fibo-elementerne med betegnelserne 90Linå1- ..10 og 90DTH23- ..26 er trykstyrken af toplaget bestemt til 18 N/mm^2 på grundlag af densiteten, der er målt til 1550 kg/m^3 , og formlen: trykstyrke (i N/mm^2) = $0,011 \cdot$ densitet (i kg/m^3). Som densitet benyttes tør-densiteten.

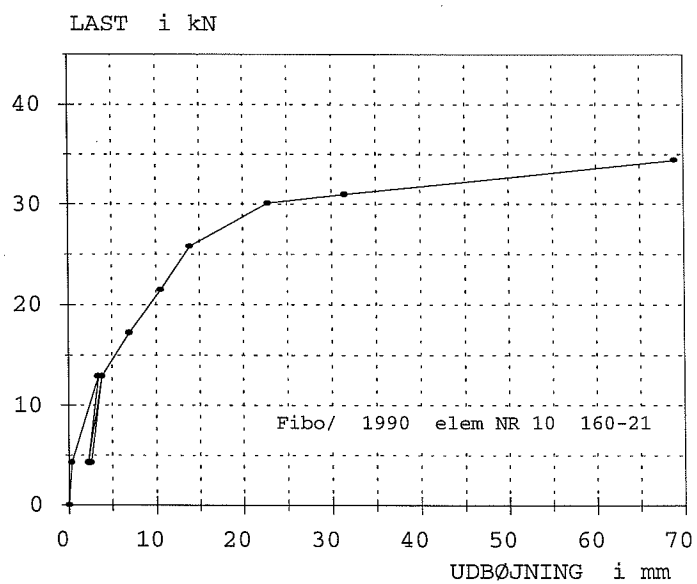
Tabel II

forsøg nr.	elementhøjde h		bredde b i tryksiden	armering areal A_s	effektiv højde d	teoretisk spænd l_d	bæreevne P_y (incl.elem.)	max. last P_u (incl. elem.)
	nom.	målt						
	mm	mm	mm	mm ²	mm	mm	kN	kN
90DTH11	180	179	570	107	160	2630	29,6	29,6
90DTH12	180	178	570	107	160	2630	30,0	30,0
90DTH13	180	179	570	107	160	2630	28,6	28,7
90Linå1	160	160	1180	214	124	2950	40,5	40,5
90Linå4	160	160	1180	214	130	2950	40,0	40,0
90Linå7	160	159	1180	214	130	2950	40,9	44,4
90Linå10	160	159	1180	214	129	2950	40,8	42,7
90DTH23	160	164	1170	214	142	2920	38,5	38,7
90DTH24	160	166	1160	214	143	2920	38,8	39,7
90DTH25	160	165	1180	214	139	2920	39,7	40,0
90DTH26	160	162	1170	214	135	2920	38,2	39,0

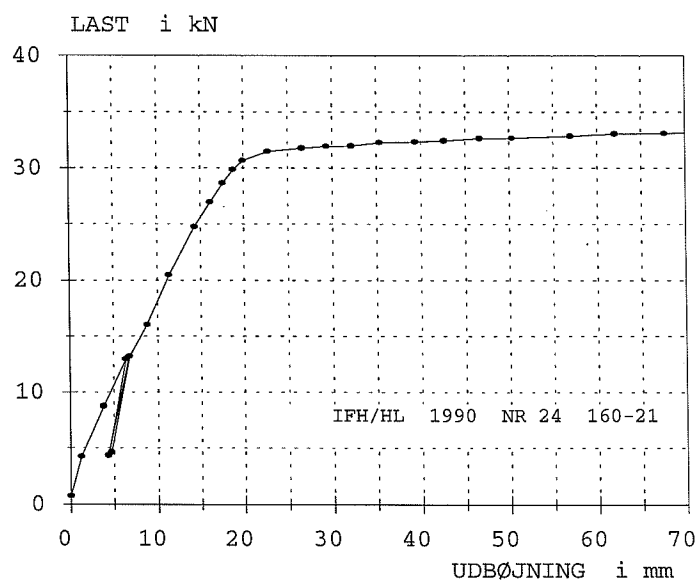
90DTH13



90Linå10



90DTH24



Figur 3 Arbejdslinier, eksempler.
Den afbildede last er excl. egenlast element.

4. RESULTATER. OBSERVEREDE OG BEREGNEDE BÆREEVNER

Tabel III viser momentbæreevner M_{cal} , beregnet med bæreevneformlen, og med de bestemte parametre indsat.

Tabellen viser - til sammenligning - M_{obs} , der er den observerede bæreevne P_y (incl. element) omregnet til moment.

Tabel III.

Forsøg	Momentbæreevne i kNm	
	observeret	beregnet
nr.	M_{obs}	M_{cal}
90DTH11	9,75	9,1
90DTH12	9,85	9,1
90DTH13	9,5	9,1
90Linå1	14,95	12,5
90Linå4	14,75	13,1
90Linå7	15,1	13,1
90Linå10	15,05	13,0
90DTH23	14,05	14,35
90DTH24	14,15	14,45
90DTH25	14,5	14,05
90DTH26	13,95	13,6

Resultaterne er også vist i figur 4.

Diagrammet har akserne M_{obs} og M_{cal} .

I diagrammet er også tegnet den linie (med hældning 1), som angiver fuldstændig overensstemmelse mellem observerede og beregnede værdier.

Som det ses, er der god overensstemmelse mellem observeret og beregnet momentbæreevne.

Kontrol af $\Phi_{min} \leq \Phi \leq \Phi_{bal}$:

Φ_{bal} bliver 0,340 for Leca-elementerne med armeringsstål med $f_y = 540 \text{ N/mm}^2$; for Fibo-elementerne med armeringsstål med $f_y = 480 \text{ N/mm}^2$ fås 0,364.

Φ_{min1} bliver 0,036 med f_{ct} sat til $0,1 \cdot f_c$.

$\Phi_{\min 2}$ bliver 0,03 med $\varepsilon_e = 5\%$ og $f_u = 620 \text{ N/mm}^2$ (for armeringsstålet i både Fibo- og Leca-elementerne).

Som det fremgår af tabel IV ligger Φ nede omkring $\Phi_{\min 1}$.

Det skal her bemærkes, at elementerne er revnede i undersiden ved lasten P_y ; det er således armeringen og ikke betonens trækstyrke, der giver bæreevnen.

Kontrol af $d_1 \geq \Phi$ d:

d_1 er 30-40 mm i de anvendte elementer.

d_1/d bliver 0,18-0,22.

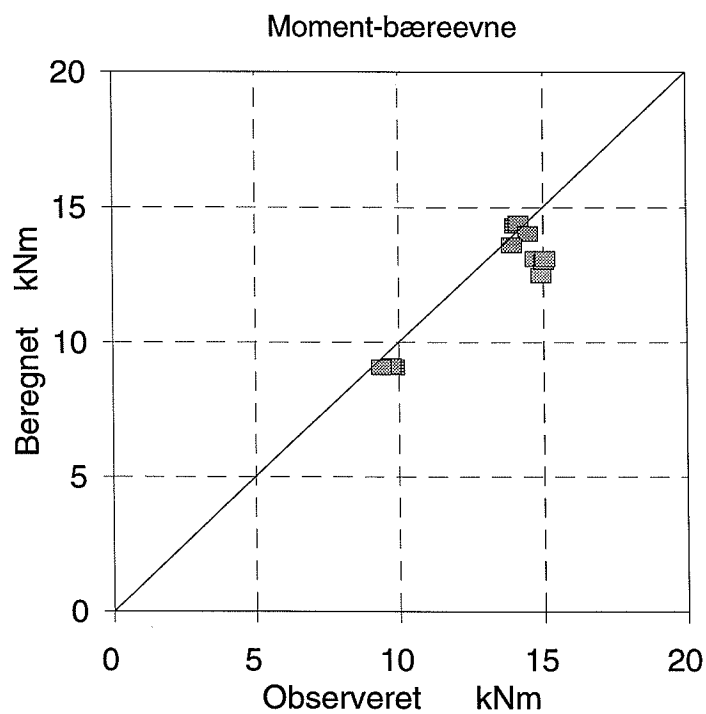
Det ses at $\Phi \ll d_1/d$.

Tabel IV

Forsøg nr.	Mekanisk armeringsgrad Φ
90DTH11	0,035
90DTH12	0,035
90DTH13	0,035
90Linå1	0,039
90Linå4	0,037
90Linå7	0,037
90Linå10	0,037
90DTH23	0,034
90DTH24	0,034
90DTH25	0,035
90DTH26	0,036

5. KONKLUSION

For de undersøgte armerede dækelementer i letklinkerbeton kan momentbæreevnen beregnes af bæreevneformlen anført i kapitel 2. Men det må bemærkes, at de anvendte elementer næsten alle er ens.



Figur 4.

6. LITTERATURLISTE

- [1] Dansk Ingeniørforenings norm for betonkonstruktioner. 3. udgave 1984.
Dansk Standard DS 411.

- [2] DS 434-11:
Bærende elementer af letbeton med porøse tilslag. Funktionsprøvning af
bjælke- og pladeelementer. 2. udgave 1993.
Dansk Standard.

- [3] O. Berge:
Armerede konstruktioner i lättballastbetong.
Chalmers Tekniska Högskola
Göteborg 1981.

Prøvningsmetode***for trykstyrke af letbetonen i toplaget i sandwichelementer.***

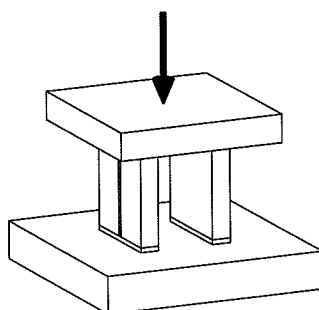
Trykstyrken bestemmes i princippet i henhold til DS 434.3 "Bærende elementer med porøse tilslag. Trykstyrke".

Som følge af lagets ringe tykkelse er prøvelegemets dimensioner specielle, og som følge heraf er opstillingen i trykprøvemaskinen speciel.

Prøvelegemer.

Prøvelegemerne er prismar 60 mm x 80 mm x 20 mm, udsavet af toplaget, således at den ene flade 60 mm x 80 mm er sandwichelementoverflade.

Sandwichelementets længderetning markeres med en streg på prøvelegemet (denne retning skal være trykretning under prøvningen).

Opstilling i prøvemaskinen.

Til hver trykstyrkebestemmelse benyttes 2 prøvelegemer.

De to prøvelegemer placeres i prøvemaskinen, sådan at de vender siden, der er elementoverflade, væk fra opstillingens midte, og placeret i en indbyrdes afstand på 80 mm regnet imellem ydersiderne (elementoverfladerne).

Denne opstilling placeres centralt i maskinen.

Prøvelegemerne skal placeres sådan, at trykretningen under prøvningen svarer til længderetningen i det sandwichelement, det er udtaget af.

Mellem prøvelegemerne og maskinens trykflader anbringes mellemlæg af 12 mm porøse træfiberplade.