



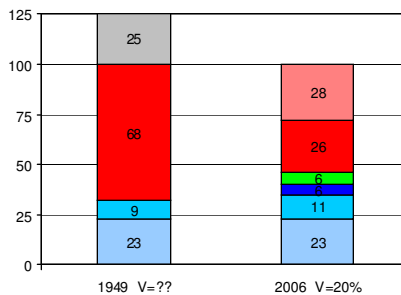
# Om sikkerheden af højhuse i Rødovre

Jørgen Munch-Andersen og Jørgen Nielsen  
SBI, Aalborg Universitet



## Sammenfatning 1

- Revurdering af tidligere prøvning af betonstyrken i de primære konstruktioner viser at styrken kan antages at være som forudsat i projektet
- De dagældende normer stiller samlet lidt større krav end 2006-normerne.



## Sammenfatning 2



- Bygningerne er tunge nok til ikke at kunne vælte
- Hovedkonstruktionerne er beskyttede og derfor ikke nedbrudt af fx vejrlig og salt. Nedbrydning af altangange og facader giver derfor ikke grund til at tro at hovedkonstruktionen skulle være utilstrækkelig



## Sammenfatning 3



- Projekt materialet er fyldestgørende og detaljeret
- Beregninger med programmet SHEWALL ændre ikke lastfordelingen nævneværdigt, i værste fald øges spændingerne med op til 5% ift. håndberegning.
- Muligheder for spændingsomlejring er ikke udnyttede



*Der er ingen grund til at opretholde evakueringsplanen, uanset om bygningerne nedrives eller ej*



## Krav til beton i projekt

- Der er i de hårdest påvirkede vægge forudsat en middeltrykstyrke af udstøbte terninger med sidelængde 200 mm på  
 $\sigma_T = 270 \text{ kg/m}^2 = 26,5 \text{ MPa}$
- Omregnet til nutidens cylinderstyrke ( $\emptyset 150 \times 300 \text{ mm}$ ) svarer det til  
 $f_c = 0,8 \sigma_T = 0,8 \cdot 26,5 = 21,2 \text{ MPa}$



## Målte betonstyrker

- Der er i 2000 udboret 6 cylindre ca  $\emptyset 70 \times 140 \text{ mm}$  i hovedkonstruktionerne på steder hvor styrkekravet var  $\sigma_T = 270 \text{ kg/m}^2$
- Omregnet til standardcylinderstyrke er fundet følgende værdier (MPa)

25,1	16,9	14,6	20,1	25,3	18,5
------	------	------	------	------	------

- Middelværdi: 20,1 MPa, variationskoefficient  $V=22\%$
- Den målte værdi er 5% under den krævede. Med det lille antal prøver og den fundne variation er der *intet belæg for at antage at middelstyrken er mindre end krævet*



## Sammenligning af normkrav til høje betonbygninger 1949 og 2006

Jørgen Munch-Andersen og Jørgen Nielsen  
SBI, Aalborg Universitet



## Grundlag

1949:

- DS 411:1949 Beton- og jernbetonkonstruktioner
- DS 410:1945 Belastningsforskrifter

2006:

- DS 411:1998 med kapitel 5 tillæg, 2006
- DS 410:1998 med tillæg 1, 2006
- DS 409:2006



## Elementer i sammenligning

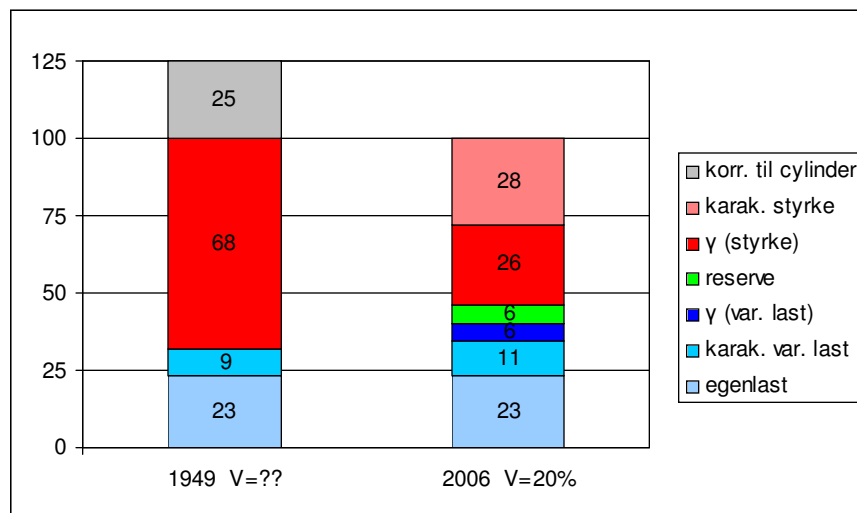
### Styrkesiden

- materialestyrke
- beregningsmodel for bæreevne
- sikkerhed

### Lastsiden

- lastværdier
- lastkombination
- sikkerhed

## Sammenfatning: fordeling af "forbrug" af middelcylinderstyrken $f_c$





## Sikkerhedsmetode

1949: Tilladelige spændinger

- Sikkerheden placeret kun på styrkesiden
- Laster ~ karakteristiske laster

2006: Partialkoefficientmetoden

- Sikkerheden placeres på både last og styrke ved karakteristiske værdier og partialkoefficienter
- Afhænger af variationskoefficient for last og styrke mv.



## Betonstyrke

1949:

Betonstyrken blev beskrevet ved middelværdien  $\sigma_T$  bestemt som trykstyrken af udstøbte terninger med sidelængde 200 mm. (eller middelværdien  $\sigma_B$  af bøjningstrykstyrken af en armeret bjælke, 2 m lang, 65 mm høj og 90 mm bred.  $\sigma_T = 0,8 \sigma_B$ )

2006:

Betonstyrken beskrives ved en karakteristisk værdi  $f_{ck}$  (5%-fraktil) på basis af forsøg med  $\varnothing 150 \times 300$  mm cylindre. Middelværdi betegnes  $f_c$

Omregning:  $f_c = 0,8 \sigma_T$

1949:

Tilladelig spænding  $r_0$  for centralt tryk



Normal kontrol

- armeret beton:  $r_0 = 0,25 \sigma_T$ , dog højst  $60 \text{ kg/cm}^2$  (6 MPa)  
(svarer til  $r_0 = 0,25/0,8 f_c = 0,31 f_c$ )
- uarmeret beton:  $r_0 = 0,143 \sigma_T$ , dog højst  $30 \text{ kg/cm}^2$

Skærpet kontrol

- armeret beton:  $r_0 = 0,26 \sigma_T$ ,  $\sigma_T \leq 240 \text{ kg/cm}^2$   
 $0,26$  reduceres mod  $0,25$  for  $240 < \sigma_T \leq 290 \text{ kg/cm}^2$   
 $\sigma_T = 290 \text{ kg/cm}^2 \Rightarrow r_0 = 72 \text{ kg/cm}^2$
- uarmeret beton:  $r_0 = 0,167 \sigma_T$ , dog højst  $45 \text{ kg/cm}^2$

2006:

Regningsmæssig trykstyrke  $f_{cd}$



Middelværdi og variationskoefficient af  $f_c$  beregnes.

Karakteristisk værdi  $f_{ck}$  : 5%-fraktil i LogN-fordeling.

Regningsmæssig værdi  $f_{c,d} = f_{c,k}/\gamma_M$

2006:

## Partialkoefficient $\gamma_M$



Bestemmes som produkt af delpartialkoefficienter

Statistiske ( $V$  = variationskoefficient)

- $\gamma_4$  betonstyrkens variationskoefficient ( $1,1+V_{\text{beton}}$ )
- $\gamma_2$  beregningsmodellens variationskoefficient ( $1+V_{\text{model}}$ )

Vurdering

- $\gamma_0$  sikkerhedsklassen (0,9 for lav, 1,0 for normal, 1,1 for høj)
- $\gamma_1$  svigtform (1,1 for uvarslet, 1,0 uden reserve, 0,9 med reserve)
- $\gamma_3$  kontrol under udførelsen (1,0 for normal, 0,95 for skærpet)

## 2006: Regningsmæssig bæreevne i forhold til middelstyrken som funktion af variationskoefficient på betonstyrken



Variations- koefficient på betonstyrken	Karakteristisk betonstyrke i forhold til middelværdi	Delpartial- koefficient for betonstyrke, $\gamma_4$	Delpartial- koefficient for beregnings- model, $\gamma_2$	Regnings- mæssig bæreevne i forhold til middelværdi
10%	85%	1,20	1,15	61%
15% (2006)	78%	1,25	1,15	54%
20% (1949?)	72%	1,30	1,15	48%
25%	66%	1,35	1,15	43%
30%	61%	1,40	1,15	38%

Værdierne gælder normal sikkerhedsklasse, normal kontrol og varslet brud uden reserve (armeret beton).

I høj sikkerhedsklasse divideres sidste kolonne med 1,1

Ved skærpet kontrol divideres sidste kolonne med 0,95

For uarmeret beton er bruddet uvarslet og sidste kolonne skal divideres med 1,1



## Beregningsmodel for lodret belastet væg



### Armeret beton

- Reduktionsfaktoren for søjlevirkning er ens i 1949 og 2006 norm

### Uarmeret beton

- 1949-normen har en mere forsigtig formel. For en typisk væg er bæreevnen reduceret med yderligere knap 10%

## Tilladelige spænding / regningsmæssige styrke i forhold til middelcylinderstyrken $f_c$ .



	1949	2006	
Sikkerhedsklasse	-	normal	høj
Armeret beton			
Normal kontrol	31%	48%	44%
Skærpet kontrol	32 – 31%	51%	46%
Uarmeret beton			
Normal kontrol	18%*	44%	40%
Skærpet kontrol	21%*	46%	42%

Tallene for 2006 gælder for  $V = 20\%$

\* Dertil kommer mere forsigtig beregningsmodel for vægge

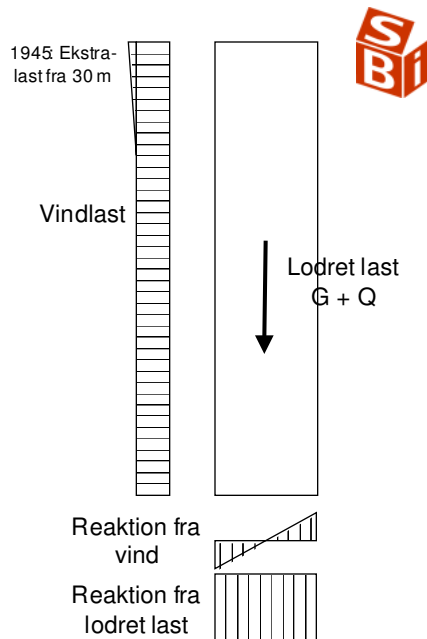
## Laster

Lodrette:

- Egenlast G
- Nyttelast Q
- Optages ved jævnt fordelt reaktion

Vandret:

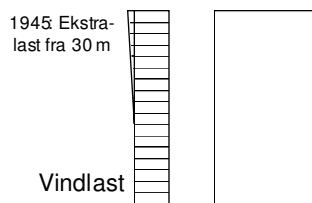
- Vindlast V
- Optages ved trekantfordelt reaktion



## Vindlast

1949

- 80 kg/m<sup>2</sup> (0,78 kN/m<sup>2</sup>) op til 30 m, ekstra trekant derover.
- Formfaktor  $1,0 + 0,2 = 1,2$
- Middellast for 40 m der giver samme reaktion er 0,98 kN/m<sup>2</sup>



2006

- last øges med højden, last ved kip påføres hele højden.
- last afhænger af terræncategori (og afstand til Vesterhavet)
- I terræncategori II (land) er hastighedstrykket ved 40 m 1,19 kN/m<sup>2</sup>.
- Formfaktor  $0,7 + 0,3 = 1,0$
- Konstruktionsfaktor 0,92
- Karakteristisk last 1,09 kN/m<sup>2</sup>

## Lodret last



1945

Egenlast

- 14 etager: 150 kN/m<sup>2</sup>

Nyttelast

- 200 kg/m<sup>2</sup> = 1,96 kN/m<sup>2</sup>
- Etagereduktionsfaktor
  - 7 etager: 0,75, i alt 10,3 kN/m<sup>2</sup>
  - 16 etager: 0,75, i alt 20,6 kN/m<sup>2</sup>

2006

Egenlast

- 14 etager: 150 kN/m<sup>2</sup>

Nyttelast

- 1,5 kN/m<sup>2</sup>
- Etagereduktionsfaktor
  - 7 etager: 0,571, i alt 5,75 kN/m<sup>2</sup>
  - 16 etager: 0,536, i alt 11,25 kN/m<sup>2</sup>

## Øvrige laster



- Snelast: Forsvindende i forhold til både nyttelast og egenlast
- Vandret masselast: Afgørende på langs, er i 2006 ændret til ulykkeslast og giver derfor noget mindre krav end tidligere.

## Lastkombinationer



DS 411: 1949

$$a1: G + Q_{nytte} + Q_{sne} < R$$

$$a2: G + Q_{vind} < R$$

$$a2^*: G + 1,5 Q_{vind} < 1,8 R$$

$$(b: G + Q_{nytte} + Q_{sne} + Q_{vind} < 1,25 R)$$

DS 409: 2006

$$2.A1: G + 1,5(Q_{nytte} + 0,3 Q_{sne} + 0,3 Q_{vind}) < R$$

$$2.A2: G + 1,5(Q_{vind} + 0,5 Q_{nytte}) < R$$

$$2.A4: 0,82 G + 1,5 Q_{vind} < R$$

$$2.B: 1,2 G < R$$

## Eksempel på lastkombinationer for 14 etagers højhus i beton



1949

$$a1: G + Q_{nytte} + Q_{sne} = 150 + 21 + 0 = 171 \text{ kN/m}^2$$

$$a2: G + Q_{vind} = 150 + 58 = 208 \text{ kN/m}^2$$

$$a2^*: G + 1,5 Q_{vind} = 150 - 1,5 \cdot 58 = 63 \text{ kN/m}^2 > 0$$

2006

$$2.A1: G + 1,5(Q_{nytte} + 0,3 Q_{sne} + 0,3 Q_{vind}) = 150 + 1,5(11 + 0 + 19) = 196 \text{ kN/m}^2$$

$$2.A2: G + 1,5(Q_{vind} + 0,5 Q_{nytte}) = 150 + 1,5(65 + 11) = 263 \text{ kN/m}^2$$

$$2.A4: 0,82 G + 1,5 Q_{vind} = 0,82 \cdot 50 - 1,5 \cdot 65 = 26 \text{ kN/m}^2 > 0$$

$$2.B: 1,2 G = 1,2 \cdot 150 = 180 \text{ kN/m}^2$$



## Sammenligning

"2006" / "1949":

Last:  $263/208 = 1,26$

Bæreevne:  $46/32 = 1,44$  ved  $V=20\%$   
(armeret beton, skærpet kontrol for høje styrker og høj sikkerhedsklasse)

Reserve:  $1,44/1,26 = 1,14$

Ved  $V=25\%$  bliver reserven 1,02

For uarmeret beton er bæreevnen ca fordoblet, så reserven bliver over 1,5

Tilladelige spænding / regningsmæssige styrke i forhold til middelcylinderstyrken  $f_c$ .



	1949	2006	
Sikkerhedsklasse	-	normal	høj
Armeret beton			
Normal kontrol	31%	48%	44%
Skærpet kontrol	$\boxed{32}$ - 31%	51%	$\boxed{46\%}$
Uarmeret beton			
Normal kontrol	18%*	44%	40%
Skærpet kontrol	21%*	46%	42%

Tallene for 2006 gælder for  $V = 20\%$

\* Dertil kommer mere forsigtig beregningsmodel for vægge

# Sammenligning ved "Forbrug" af middelcylinderstyrken $f_c$

