

# Helvægge og dæk af letklinkerbeton

Brandmodstandsevne for vægge og dæk af  
letklinkerbeton



Væg- og dæk-  
elementer

Hæfte 9



# Forord / Indholdsfortegnelse

Denne anvisning er udgivet af:

## **DANSK BETON INDUSTRIFORENINGS ELEMENTFRAKTION, BIH.**

Dansk Beton Industriforening  
Dansk Byggeri  
Kejsergade 2  
P.B.2125  
1015 København K  
Tlf.: 72 16 00 00

Vejledningen er udarbejdet af:

## **INGHOLT CONSULT RÅDGIVENDE INGENIØRFIRMA ApS**

Beregningsprogrammerne er udviklet af

**KRISTIAN HERTZ**  
Lektor, civilingeniør, Lic. Techn.  
Institut for Bygninger og Energi,  
Danmarks Tekniske Universitet

Brandforsøgene er udført på:

**Dansk Brand- og Sikringsteknisk Institut,  
Hvidovre**

## **Forord**

Dansk Betonindustriforenings Elementfraktion har igennem en række år deltaget i et udviklingsarbejde sammen med afdelingen BYG-DTU på Danmarks Tekniske Universitet med det formål at opstille en beregningsmetode til bestemmelse af brandmodstandsevnen for vægge og dæk af letklinkerbeton.

Arbejdet er en del i et større udviklingsarbejde for letklinkerbeton, som også har omfattet letklinkerblokke.

Det opstillede beregningsgrundlag er blevet verificeret ved udførelse af fuldskalaforsøg på Dansk Brand- og Sikringsteknisk Institut.

Nærværende publikation angiver direkte brandmodstandsevnen for de mest almindelige væg- og dæktyper.

For andre væg- og dæktyper henvises der til et beregningsprogram, som kan hentes over internettet på elementfraktionens hjemmeside: [www.bih.dk](http://www.bih.dk).

## **Anvisningens anvendelse**

De forskellige anvisninger i hæftet er primært udarbejdet som vejledende information til arkitekter og ingeniører i forbindelse med projektering af byggeri, hvor der anvendes dækelementer og helvægge af letklinkerbeton, og hvor der stilles brandkrav.

*Ansvar for den korrekte projektering ligger hos den projekterende. BIH og medlemsvirksomhederne påtager sig således ikke noget juridisk ansvar i forbindelse med denne anvisnings information.*

## **Indholdsfortegnelse**

	Side
1. Indledning.....	3
2. Produktprogram .....	3
3. Beregningsmetode for vægge.....	4
4. Beregningsmetode for dæk.....	7
5. Brandforsøg.....	8
6. Materialeparametre .....	9
7. Brandkrav .....	9
8. Anvendelse af vægdiagrammerne .....	10
9. Dæktabeller .....	11
10. Øvrige konstruktionselementer .....	11
11. Beregningseksempler.....	12
12. Beregningsprogram.....	13
Diagram 1. BS 60, 100 mm, 1200 kg/m <sup>3</sup> .....	14
Diagram 2. BS 60, 120 mm, 1200 kg/m <sup>3</sup> .....	14
Diagram 3. BS 60, 150 mm, 1200 kg/m <sup>3</sup> .....	15
Diagram 4. BS 60, 200 mm, 1200 kg/m <sup>3</sup> .....	15

## 1. Indledning

Formålet med udviklingsprojektet har været at finde beregningsmetoder, hvorefter man vil kunne foretage en eftervisning af brandmodstandsevnen for vægge og dæk af letklinkerbeton.

Beregningsmetoderne tager udgangspunkt i metoderne, som anvendes for normal beton som nærmere angivet i betonnorm DS 411 og i CEN-normen DS/EN 1992. Beregningerne er endvidere i overensstemmelse med letbetonnormen DS 420 : 2003

Materialeparametrene er tilpasset egenskaberne for letklinkerbeton.

For at verificere beregningsformlerne er der udført forsøg dels med små prøveemner til bestemmelse af temperaturgradienten og dels fuldskalaforsøg med hele vægge og dæk.

Brandforsøgene er udført på Dansk Brand- og Sikrings-teknisk Institut. Brandforsøgene viste, at de udviklede beregningsformler var i god overensstemmelse med forsøgsresultaterne.

Ved udvikling af beregningsmetoderne er anvendt middelværdier for materialeegenskaberne for at kunne sammenligne direkte med resultaterne fra fuldskalaforsøgene. Ved dimensionering mod brand skal anvendes karakteristiske materialeleværdier.

For nærmere dokumentation henvises til følgende rapporter:

- Kristian Hertz: Beregningsmetode til brandteknisk dimensionering af konstruktioner i letklinkerbeton, rapport R-017, DTU, 1997.
- Kristian Hertz og Ernst Jan de Place Hansen: Brandteknisk dimensionering af letklinkerbeton. Beregning af brandmodstand, sagsrapport. BYG-DTU, SR-01-10, 2001.
- Kristian Hertz: Documentation for calculations of Standard Fire Resistance of Slabs and Walls of Concrete with expanded clay aggregates. Report R-048 BYG-DTU, december 2002.

## 2. Produktprogram

Fabrikkerne tilsluttet Dansk Beton Industriforenings Elementfraktion BIH har et stort produktprogram af bærende og ikke bærende vægge og dæk af letklinkerbeton og kan levere vægge og dæk til alle typer byggeri.

Elementerne udføres i h.t. Norm for letbetonkonstruktioner af letbetonelementer, DS 420 : 2003.

### Vægge

For vægge omfatter produktprogrammet følgende:

Vægtykkelser: 100 mm, 120 mm, 150 mm, 175 mm, 200 mm og 240 mm.

Vægformater: Op til 3,0 m · 6,0 m.

Densiteter: 950 kg/m<sup>3</sup> - 1950 kg/m<sup>3</sup>.

Styrker: 6 MPa, 7,5 MPa, 10 MPa, 15 MPa.

Brandforhold:

Væggene vil normalt kunne opfylde kravene til BS 60 og vil også kunne dimensioneres til at opfylde BS 120.

### Dæk

For dæk omfatter produktprogrammet følgende:

#### Massive dæk:

Dæktykkelse: 140 mm - 260 mm

Dækbredder: 600 mm og 1200 mm

Dæklængder: Op til 7,20 m

Dækkene udføres i letklinkerbeton med densitet ca. 1800 kg/m<sup>3</sup>.

#### Sandwichdæk:

Dæktykkelse: 120 - 280 mm

Dækbredder: 600 mm og 1200 mm

Dæklængder: Op til 7,20 m.

Dækkene udføres med et top- og bundlag i densitet ca. 1500 kg/m<sup>3</sup> og et mellemlag i densitet ca. 600 kg/m<sup>3</sup>.

Begge dæktyper vil normalt kunne opfylde kravene til BS 60.

# Beregningsmetode for vægge

## 3. Beregningsmetode for vægge

Temperaturen (T) i væggen til tiden t (min.) i dybden x(m) fra den brandpåvirkede side bestemmes som for beton i h.t. DS 411.

$$T(x,t) =$$

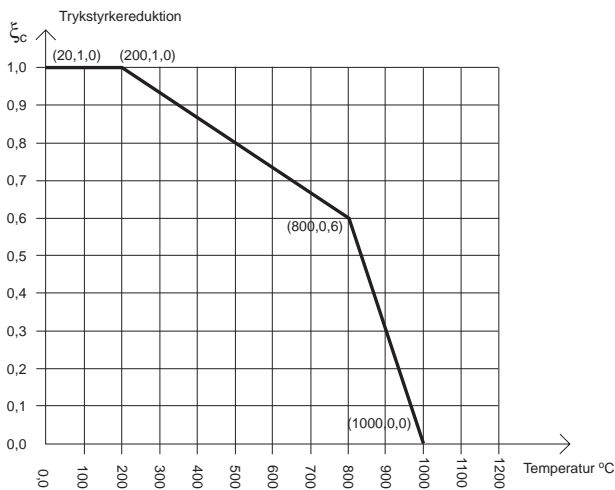
$$312 \cdot \log(8t + 1) \cdot e^{-1,9 \cdot K(t) \cdot x} \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2} - K(t) \cdot x\right)$$

$$\text{hvor } K(t) = \sqrt{\frac{\pi \cdot \rho \cdot c_p}{750 \cdot \lambda \cdot t}}$$

For densiteten  $\rho$  (kg/m<sup>3</sup>) og varmeledningsevnen  $\lambda$  (W/m°C) indsættes de aktuelle værdier for letklinkerbetonen.

Den specifikke varmekapacitet  $c_p$  (kJ/kg°C) sættes som for beton.

Letklinkerbetonens trykstyrke og bøjningstrækstyrke reduceres som for beton med en temperaturafhængig reduktionsfaktor på  $\xi_c$ . Letklinkerbetonens elasticitetskoefficient reduceres med faktoren  $(\xi_c)^2$ . Reduktionsfaktoren, der afviger lidt fra betons, er angivet i diagrammet nedenfor.



Reduktionsfaktor for trykstyrke

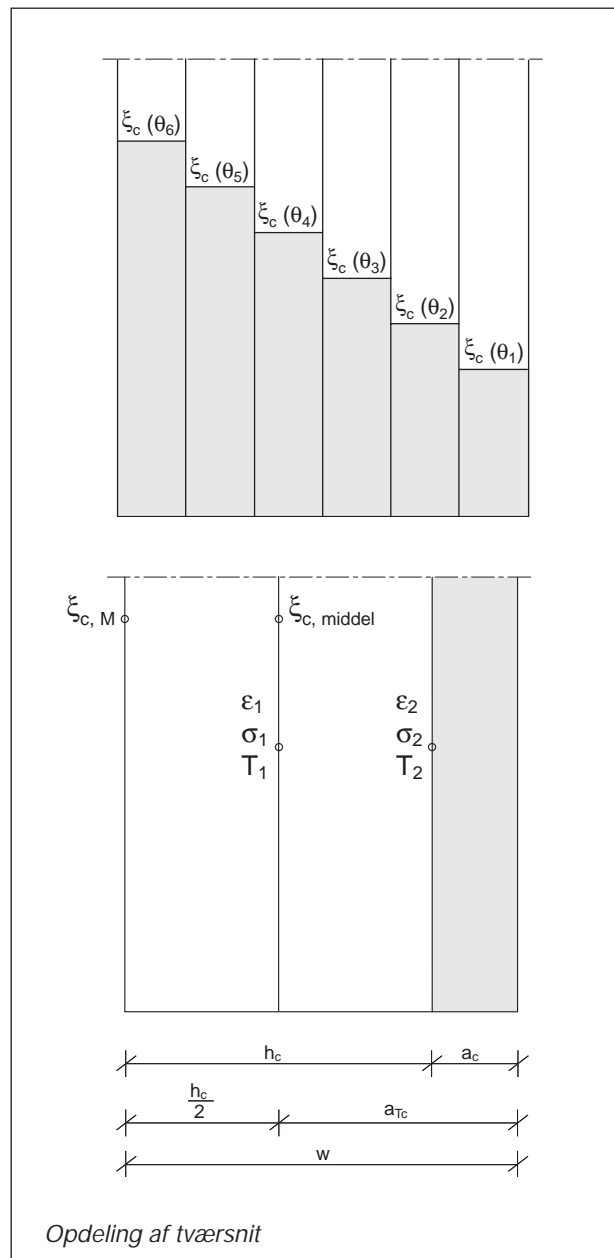
Hensyntagen til reduktionen i tværsnittets styrkeegenskaber under branden udføres ved at arbejde med et reduceret tværsnit med konstante parametre og en skadet randzone, som ikke tages i regning.

$$\xi_{c, \text{middel}} = \frac{1}{w} \cdot \int_0^w \xi_c \cdot (T(x)) dx$$

hvor w er vægtykkelsen.

$\xi_{c, \text{middel}}$  kan f.eks. bestemmes ved at opdele væggen i n lige tykke lag.

$$\xi_{c, \text{middel}} = \frac{(1-0,2/n)}{n} \sum_{i=1}^n \xi_c(\theta_i)$$



Da udbøjning og stabilitet er afgørende, sættes tykkelsen af den beskadigede randzone til

$$a_c = w \cdot \left( 1 - \left( \frac{\xi_{c,middel}}{\xi_{c,M}} \right)^{1,3} \right)$$

Hvor  $\xi_{c,M}$  svarer til temperaturen på bagsiden af væggen.

Trykstyrke, bøjningstrækstyrke og elasticitetsmodul sættes til 0 i den beskadigede randzone og i det reducerede tværsnit til:

$$f_{cd}(T) = \xi_{c,M}(T) \cdot f_{cd}(20^\circ)$$

$$f_{ctd}(T) = \xi_{c,M}(T) \cdot f_{ctd}(20^\circ)$$

$$E_{cd}(T) = (\xi_{c,M}(T))^2 \cdot E_{cd}(20^\circ)$$

Materialeparametre indsættes med de regningsmæssige værdier, der svarer til det pågældende lasttilfælde, d.v.s. i lasttilfælde 3.3, brand, skal anvendes karakteristiske værdier.

Bidraget til ekscentriciteten fra den termiske udbøjning bestemmes af følgende:

$$e_{termisk} = \frac{1}{8} \cdot \frac{2 \cdot (\varepsilon_2 \cdot k_2 - \varepsilon_1 \cdot k_1) \cdot a_{Tc}}{h_c^2} \cdot l_s^2$$

$$\varepsilon_1 = \beta \cdot \frac{T_1^2}{1000}$$

$$\varepsilon_2 = \beta \cdot \frac{T_2^2}{1000}$$

$$k_1 = \left( 1 - 2,35 \cdot \frac{\sigma_1}{f_{cd}} \right) \text{ dog mindst } 0$$

$$k_2 = \left( 1 - 2,35 \cdot \frac{\sigma_2}{f_{cd}} \right) \text{ dog mindst } 0$$

$\varepsilon_1, \sigma_1, T_1$ : Den termiske tøjning, trykspænding og temperatur i midten af det reducerede tværsnit.

$\varepsilon_2, \sigma_2, T_2$ : Den termiske tøjning, trykspænding og temperatur ved kanten af den beskadigede randzone.

$h_c$ : Tykkelsen af det reducerede tværsnit.

$a_{Tc}$ : Afstanden fra midten af det reducerede tværsnit til vægsiden mod branden.

$\beta$ : Temperaturudvidelseskoefficienten.

$k_1, k_2$ : Faktor, der tager hensyn til den transiente tøjning, d.v.s. den del af den termiske udvidelse, som ikke finder sted p.g.a. trykspændingerne i væggen.

$l_s$ : Søjlelængden

Bidraget til ekscentriciteten fra lasten og understøtningsforholdene bestemmes af følgende:

$$e_{last} = \frac{1}{16} \cdot \frac{(\chi_t + \chi_b)}{l_s^2}$$

Da  $e_{termisk}$  er den dominerende udbøjning, er  $e_{last}$  bestemt som udbøjningen midt på væggen.

$$\chi_t = \frac{M_{top}}{E_{cd}(T) \cdot I_c}, \text{ krumning i top af væg}$$

$$\chi_b = \frac{M_{bund}}{E_{cd}(T) \cdot I_c}, \text{ krumning i bund af væg}$$

$$M_{top} = P \cdot e_{top}$$

$$M_{bund} = P \cdot e_{bund}$$

$e_{top}$ : Ekscentriciteten på den påførte last

$e_{bund}$ : Afhænger af understøtningsforholdene forned, se næste side.

$P$ : Den lodrette belastning på væggen inkl. halvdelen af væggens egenlast.

# Beregningsmetode for vægge

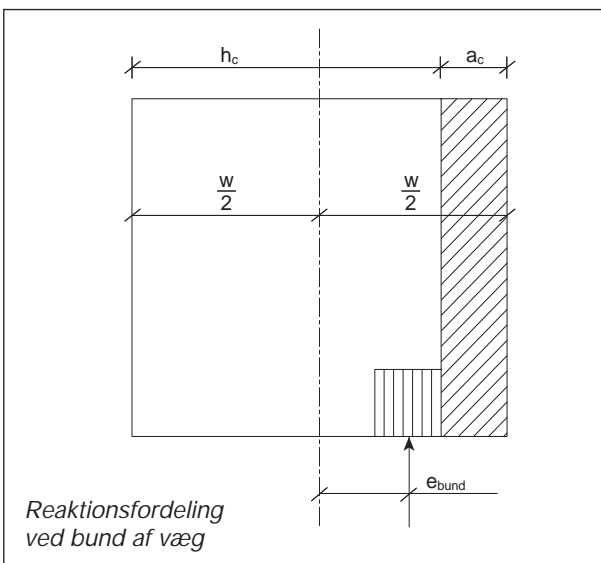
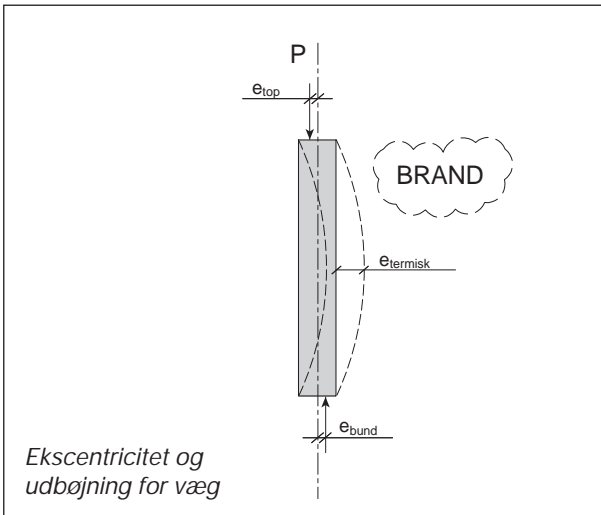
$$I_c = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h_c^3$$

b: Vægbredde

Væggene er regnet simpelt understøttet foroven og understøttet på et plant underlag forned. Når væggen krummer ind mod branden, vil undersiden vippe, således at lasten står ude på kanten. Efterhånden som kanten knuses, vil reaktionen rykke indad mod midten.

Reaktionen regnes at virke i centerlinien af trykzonen, der begynder ved kanten af den skadede zone.

$$e_{\text{bund}} = \frac{w}{2} - a_c - \frac{1}{2} \cdot \frac{P}{b \cdot f_{cd}}$$



Da lasten skal henføres til centerlinien for det reducerede tværsnit, skal endvidere tillægges  $\frac{1}{2} \cdot a_c$  til ekscentriciteten.

Herefter fås den samlede ekscentricitet

$$e_{\text{total}} = e_{\text{termisk}} + e_{\text{last}} + \frac{1}{2} a_c$$

Væggens brandmodstandsevne/bæreevne bestemmes herefter ved Navier's spændingsformler og Euler og Rankines søjleformler.

Tværsnittets trykbæreevne:

$$F_U = h_c \cdot b \cdot f_{cd}(T)$$

Tværsnittets søjlebæreevne efter Eulerformlen:

$$F_E = \pi^2 \cdot \frac{E_{cd}(T) \cdot I_c}{l_s^2}$$

Tværsnittets Rankine bæreevne:

$$F_R = \frac{1}{\left(\frac{1}{F_U} + \frac{1}{F_E}\right)}$$

Hensyntagen til søjlebæreevnen efter Rankine formelen kan fås ved at bestemme den regningsmæssige ekscentricitet i henhold til følgende:

$$e_d = (e_{\text{termisk}} + e_{\text{last}} + \frac{1}{2} \cdot a_c) \cdot \frac{\left(1 - \frac{P}{F_U}\right)}{\left(1 - \frac{P}{F_R}\right)}$$

Herefter fås Navierbæreevnen for henholdsvis maksimal trykspænding  $F_c$  og minimal trækspænding  $F_{ct}$ .

$$F_c = \frac{f_{cd}(T)}{\left(\frac{e_d \cdot h_c}{2 \cdot I_c} + \frac{1}{h_c \cdot b}\right)}$$

$$F_{ct} = \frac{f_{cdt}(T)}{\left(\frac{e_d \cdot h_c}{2 \cdot I_c} - \frac{1}{h_c \cdot b}\right)}$$

Væggens lodrette bæreevne fås herefter som den mindste af  $F_c$  og  $F_{ct}$ .

Beregningerne udføres i passende tidsstep. For hvert tidsinterval bestemmes udbøjningstillægget ud fra den bestemte spændingsfordeling.

Det er fundet, at et tidsstep på 10 min. giver tilstrækkelig nøjagtige resultater.



## 4. Beregningsmetode for dæk

Temperaturfordelingen i dækket bestemmes som angivet for vægge.

Reduktionsfaktoren af letklinkerbetonens trykstyrke, bøjningstrækstyrke og elasticitetsmodul bestemmes ligeledes som for vægge som  $\xi_c$  og  $(\xi_c)^2$ .

Reduktionsfaktoren på armeringens flydespænding  $\xi_s$  bestemmes i h.t. DS 411 og diagrammet nedenfor.

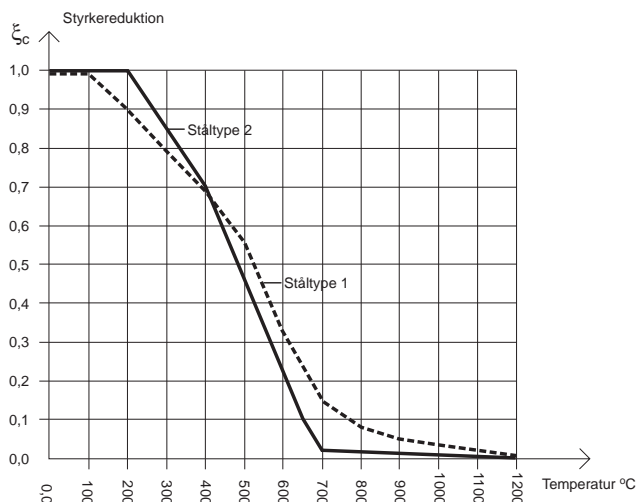
$$f_{sd} = \xi_s(T) \cdot f_{sd}(20^\circ)$$

I diagrammet er anført reduktionskurver for 3 typer stål:

**Ståltipe 1:** Kamstål KS 550 S, varmvalset, fri køling. (Betegnelse i h.t. DS 13080: B550 BR+Q). Stålet må svejdes. Stålet svarer til tabel V9.2.2a i DS 411; værdierne er taget fra CEN/TC 250

**Ståltipe 2:** Kamstål K 550 TS, varmvalset, bratkølet, selvanløben. (Betegnelse i h.t. DS 13080: B550 BR+AC). Stålet må ikke svejdes. Værdierne er fundet ved forsøg, jf. afsnit 5.

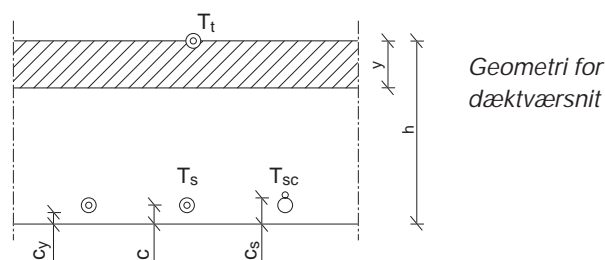
I letklinkerdækkene anvendes ståltipe 2.



Reduktionsfaktor for armering

Beregningerne af dækkenes bæreevne omfatter bøjning, forskydning og forankring. Forankringen opdeles i flækning og vedhæftningsbrud.

Beregningerne udføres ved at indsætte de temperaturafhængige materialeparametre i bæreevneformlerne.



- h: Dæktykkelse
- y: Højde af trykzone
- b: Dækbredde
- D: Armeringsdiameter
- n: Antal armeringsstænger
- c<sub>y</sub>: Dæklag
- c: Dæklag til midte armering
- c<sub>s</sub>: Dæklag til o.s. armering

$$\text{Armeringsareal: } A_s = n \cdot \pi \cdot \frac{D^2}{4}$$

$T_t(t)$ : Temperatur i top af dæk

$T_{sc}(t)$ : Temperatur ved o.s. armering

$T_s(t)$ : Temperatur ved midte af armeringen

Flydespænding af armering:  $\xi_s(T_s(t)) \cdot f_{sd}(20^\circ)$

Trykspænding af beton:  $\xi_c(T_t(t)) \cdot f_{cd}(20^\circ)$

Bøjningstrækstyrke:  $\xi_c(T_{sc}(t)) \cdot f_{ctd}(20^\circ)$

Forskydningsspænding ved o.s. armering:

$$\tau_{cs} = \frac{1}{2} \cdot \xi_c(T_{sc}(t)) \cdot f_{ctd}(20^\circ)$$

$$\text{Trykzonehøjde: } y = \frac{A_s \cdot \xi_s \cdot f_{sd}(20^\circ)}{b \cdot \xi_c \cdot f_{cd}(20^\circ)}$$

$$\text{Momentbæreevne: } M_u = A_s \cdot \xi_s \cdot f_{sd}(20^\circ) \cdot \left( h - c - \frac{y}{2} \right)$$

$$\text{Forskydningsbæreevne: } Q_u = \tau_{cs} \cdot b \cdot \left( h - c - \frac{y}{2} \right)$$

$$\text{Flækkningsbrud: } Q_{uf} = 2\pi \cdot (\xi_c(T_1) + \xi_c(T_2) + \xi_c(T_3)) \cdot \frac{c_y}{3} \cdot f_{ctd} \cdot l_a \cdot n$$

$l_a$ : Armeringens forankringslængde over vederlaget.

$T_1, T_2$  og  $T_3$ : Temperaturen i midten af hvert af de lag, der fås når dæklaget opdeles i 3 lag.

$$\text{Vedhæftningsbrud: } Q_{uv} = 0,65 \cdot \pi \cdot D \cdot \xi_c(T_s) \cdot f_{cd} \cdot l_a \cdot n$$

Forskydningsbæreevnen bestemmes som den mindste af  $Q_u, Q_{uf}$  og  $Q_{uv}$ .

For massive dæk anvendes de samme materialeparametre for hele tværsnittet.

For sandwichdæk anvendes toplagets materialeparametre for bøjning og mellemlagets materialeparametre for forskydning, og bundlagets materialeparametre for forankringsstyrke.

## 5. Brandforsøg

Brandforsøgene blev udført på Dansk Brand- og Sikrings-teknisk Institut.

Der udførtes først en række indledende forsøg med temperaturmålinger i 60 punkter af vægge i forskellige tykkelser for at bestemme temperaturfordelingen gennem væggen.

Forsøgene udførtes herefter i 2 faser.

Ved forsøgene varieredes på følgende parametre: Densitet, last, ekscentricitet og understøtningsforhold (plan understøtning og charnier).

Fase	Densitet kg/m <sup>3</sup>	Last kN/m	Ekscentricitet mm	Brandmodstandstid min.
1	1200	35	+20	154
1	1800	70	+20	78
2	1200	25	-20	96
2	1800	40	-20	85

### Resultaterne af vægforsøgene

Ved brud havde væggene udbøjninger fra 130 - 170 mm.

Alle væggene havde en tykkelse på 100 mm og en højde på 3,00 m. Ekscentriciteten regnes positiv mod branden. I alle tilfælde stoppedes forsøgene inden brud i væg.

Fase	Dæktype	Dækykkelse mm	Længde (lysvide) m	Last min. kN/m <sup>2</sup>	Brandmodstandstid min.
1	Sandwich	240	5,50	2,5	60
1	Massiv	200	5,50	4,0	61
2	Sandwich	240	5,63	2,4	70
2	Massiv	200	5,63	2,4	80

### Resultaterne af dækforsøgene

Ved alle forsøgene var dæklaget 15 mm. Armeringen i sandwichdæk var 8Y8 og i massive dæk 8Y10. Armeringskvaliteten var B550 BR+AC (varmvalset, bratkølet, selvanløben, tidligere handelsbetegnelse K 550 TS). Da der ikke er anført materialeparametre for denne ståltype i DS 411 blev der udført forsøg til bestemmelse af  $\xi_s$ , jf. diagram i afsnit 4.

Forsøgene viste at for temperaturer op til ca. 400 °C ligger værdierne over det almindelige varmvalsedede fritkølede kamstål, for temperaturer op til ca. 600 °C er værdierne ens, og for temperaturer over 600 °C ligger værdierne under.

Dette betyder at for brandtider op til ca. 60 min. vil bæreevnerne være de samme, og ved brandtider over ca. 60 min. vil bæreevnerne være mindre.

Der blev også udført trækforsøg med den anvendte armering både før og efter forsøgene. Trækforsøgene viste ingen betydende svækkelse af armeringen efter brandpåvirkningen.

I fase 1 var vederlaget 200 mm, i fase 2 var vederlaget 70 mm.

Under alle forsøgene udførtes temperatur- og udbøjningsmålinger i en række punkter.

Ved forsøgenes afslutning havde dækkene betragtelige nedbøjninger.

Forsøgene viste god overensstemmelse med de beregnede resultater og har dermed bekræftet det opstillede beregningsgrundlag.

Da forankrings- og vederlagsproblematikken er væsentlig for dækkenes bæreevne under en brand, er der udført 2-dimensionelle temperaturberegninger omkring vederlaget, og temperaturerne er kontrolleret ved målinger under forsøgene.



## 6. Materialeparametre

Materialeparametrene ved forsøgsselementerne var følgende:

Helvægge	Helvæg 1200	Helvæg 1800
Densitet, $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	1200	1800
Trykstyrke, middel, $f_{cm}$ (MPa)	10,50	20,0
Trykstyrke karak., $f_{ck}$ (MPa)	7,50	15,00
E-modul middel, $E_{cm}$ (GPa)	8,00	18,00
E-modul karak., $E_{ck}$ (GPa)	7,00	16,50
Bøjningstrækstyrke, middel, $f_{ctm}$ (MPa)	2,20	3,20
Bøjningstrækstyrke, karak., $f_{ctk}$ (MPa)	1,80	2,50
Varmeledningsevne, $\lambda$ (W/m°C)	0,45	0,90
Specifik varmekapac., $c_p$ (kJ/kg°C)	1,00	1,00
Temperaturudvidelseskoefficient, $\beta \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$	1,10	1,20

Sandwichdæk		
Densitet, $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	bund	1500
Densitet, $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	mellem	625
Densitet, $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	top	1560
Trykstyrke middel, $f_{cm}$ (MPa)	top	17,00
Trykstyrke karak., $f_{ck}$ (MPa)	top	15,25
Bøjningstrækstyrke, middel, $f_{ctm}$ (MPa)	bund	3,00
Bøjningstrækstyrke, karak., $f_{ctk}$ (MPa)	bund	2,70
Bøjningstrækstyrke, middel, $f_{ctm}$ (MPa)	mellem	0,30
Bøjningstrækstyrke, karak., $f_{ctk}$ (MPa)	mellem	0,30
Varmeledningsevne, $\lambda$ (W/m°C)	bund	0,60
Specifik varmekapac., $c_p$ (kJ/kg°C)	bund	1,00
Flydespænding af armering, $f_{yk}$ (MPa)		550
Armeringstype: B550 BR+AC (Varmvalset, bratkølet, selvanløben)		

Massive dæk	
Densitet, $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	1775
Trykstyrke middel, $f_{cm}$ (MPa)	20,00
Trykstyrke karak., $f_{ck}$ (MPa)	15,00
Bøjningstrækstyrke, middel, $f_{ctm}$ (MPa)	3,20
Bøjningstrækstyrke, karak., $f_{ctk}$ (MPa)	2,70
Varmeledningsevne, $\lambda$ (W/m°C)	0,60
Specifik varmekapac., $c_p$ (kJ/kg°C)	1,00
Flydespænding af armering, $f_{yk}$ (MPa)	550
Armeringstype: B550 BR+AC (Varmvalset, bratkølet, selvanløben)	

## 7. Brandkrav

I henhold til Bygningsreglementet fra 1995 inkl. tillæg 1-4 stilles følgende brandkrav til vægge:

Bærende konstruktioner i bygninger med 1 etage med etageareal under 1000 m<sup>2</sup> og bærende vægge i bygningers øverste etage skal udføres mindst som BD 30.

Øvrige konstruktioner samt brandadskillende vægge skal udføres mindst som BS 60.

### Ny europæisk brandklassifikation:

Bærende, ikke adskillende bygningsdele:

BD 30: R 30

BS 30: R 30 A2-s1,d0

BS 60: R 60 A2-s1,d0

Bærende, adskillende bygningsdele:

BD 30: REI 30

BS 30: REI 30 A2-s1,d0

BS 60: REI 60 A2-s1,d0

Ikke bærende, adskillende bygningsdele:

BD 30: EI 30

BS 30: EI 30 A2-s1,d0

BS 60: EI 60 A2-s1,d0

R: bæreevne

E: integritet

I: isolation

s1: Meget begrænset mængde af røgdudvikling

d0: Ingen brændende dråber eller partikler

A2: Klasseinddeling

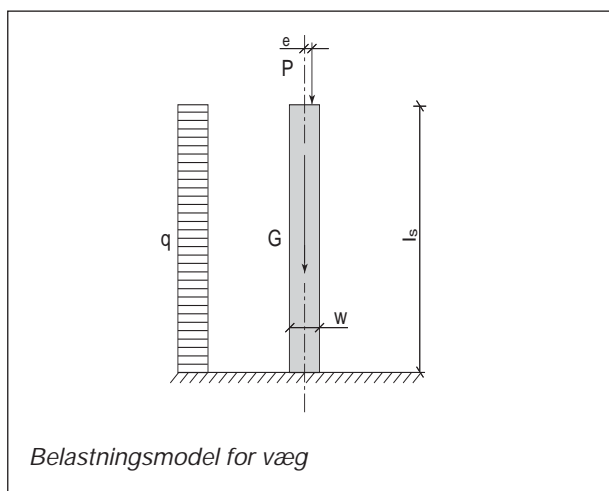
Vægge og dæk betegnet BS 60 opfylder kravene til: REI 60 A2-s1,d0.

# Anvendelse af vægdiagrammer

## 8. Anvendelse af vægdiagrammerne

Bæreevnen i brandtilfældet er bestemt som den karakteristiske bæreevne og skal sammenlignes med lasten i lastkombination 3.3, ulykkeslast - brand (jf. Norm for sikkerhed DS 409).

Diagrammerne må ikke anvendes til normal bæreevnebestemmelse.



- P: Lodret last i lastkombination 3.3 (kN/m) (inkl. halvdelen af væggenes egenlast)
- e: Ekscentricitet. Regnet positiv mod brand og negativ væk fra brand (m)
- e<sub>1</sub>: Størst mulig ekscentricitet regnet med fortegn (positiv mod brand) (m)
- e<sub>2</sub>: Mindst mulig ekscentricitet regnet med fortegn (negativ væk fra brand) (m)
- q: Vandret last i lastkombination 3.3 (kN/m<sup>2</sup>)
- q<sub>1</sub>: Vandret last væk fra brand (kN/m<sup>2</sup>)
- q<sub>2</sub>: Vandret last mod brand (kN/m<sup>2</sup>)
- w: Vægtykkelse (m)
- l<sub>s</sub>: Væghøjde/søjlelængde (m)

Herefter bestemmes den maksimale og minimale ekscentricitet.

$$e_{\max} = e_1 + \frac{q_1 \cdot l_s^2}{8 \cdot P}$$

$$e_{\min} = e_2 - \frac{q_2 \cdot l_s^2}{8 \cdot P}$$

Den karakteristiske bæreevne for den pågældende brandmodstandsevne aflæses herefter af diagrammerne som den mindste af bæreevnerne for henholdsvis e<sub>max</sub> og e<sub>min</sub>.

Der er udarbejdet diagrammer for BS 60 vægge i tykkelserne 100 mm - 200 mm.

Diagrammerne er udarbejdet for vægge med densitet 1200 kg/m<sup>3</sup>. For vægge med større densitet end 1200 kg/m<sup>3</sup> er bæreevnerne større og diagrammerne på den sikre side. For vægge med densitet mindre end 1200 kg/m<sup>3</sup> er bæreevnerne mindre, og diagrammerne kan ikke anvendes.

For vægge, som er 3- eller 4-sidig understøttet kan søjlelængden/væghøjden reduceres efter følgende formel fra DS 414, Norm for murværkskonstruktioner:

For et vægfelt understøttet på 4 sider:

$$l_s = \frac{H}{1 + \left(\frac{H}{B}\right)^2} \text{ for } B \geq H$$

$$l_s = \frac{B}{2} \text{ for } B < H$$

B = Afstand mellem tværunderstøtninger

H = væghøjde (m)

l<sub>s</sub> = søjlelængde (m)

For et vægfelt understøttet på 3 sider:

$$l_s = \frac{H}{1 + \left(\frac{H}{3B}\right)^2} \text{ for } B \geq \frac{H}{3}$$

$$l_s = \frac{3}{2} \cdot B \text{ for } B < \frac{H}{3}$$

## 9. Dæktabeller

Dæk i efterfølgende tabeller opfylder alle kravene til BS 60.

<b>Sandwichdæk</b> Karakteristisk bæreevne i brandtilfældet (kN/m <sup>2</sup> ) (ekskl. egenlast af dæk)									
Spændvidde, m	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0
Tykkelse, mm									
120	4,2	2,7	1,8						
140	5,2	3,4	2,3	1,5					
160	6,2	4,1	2,8	1,9					
180	7,1	4,8	3,3	2,2	1,5				
200	14,5	10,3	7,5	5,5	4,1	3,1			
220	16,1	11,6	8,4	6,2	4,7	3,5	2,6		
240	18,0	12,8	9,3	6,4	5,2	4,0	3,0	2,2	
260	19,8	14,1	10,2	7,6	5,8	4,4	3,3	2,5	1,9
280	21,2	17,8	15,3	13,3	10,8	8,5	6,8	5,5	4,4

Bæreevne for sandwichdæk, BS 60

Tabellen gælder under følgende forudsætninger:

Armeringsbetegnelse: Y-stål. K 550 TS  
Type i h.t. DS 13080: B550 BR+AC  
(Varmvalset, bratkølet, selvanløben).

120 - 180 mm: 6Y8 pr. 1,20 m  
200 - 260 mm: 6Y10 pr. 1,20 m  
280 mm: 6Y12 pr. 1,20 m  
Dæklag: 15 mm  
Vederlag: 70 mm

<b>Massive dæk</b> Karakteristisk bæreevne i brandtilfældet (kN/m <sup>2</sup> ) (ekskl. egenlast af dæk)									
Spændvidde, m	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0
Tykkelse, mm									
140	13,5	9,2	6,5	4,6	3,2				
160	15,9	10,9	7,7	5,5	3,9	2,7			
180	18,3	12,6	8,9	6,4	4,5	3,2			
200	32,9	23,2	17,0	12,6	9,6	7,3	5,5	4,2	3,1
220	36,8	26,0	19,0	14,2	10,7	8,2	6,2	4,7	3,5
240	40,7	28,8	21,1	15,7	11,9	9,1	7,0	5,3	4,0
260	44,7	31,6	23,1	17,2	13,1	10,0	7,7	5,8	4,4

Bæreevne for massive dæk, BS 60

Tabellen gælder under følgende forudsætninger:

Armeringsbetegnelse: Y-stål. K 550 TS  
Type i h.t. DS 13080: B550 BR+AC  
(Varmvalset, bratkølet, selvanløben).

120 - 180 mm: 8Y10 pr. 1,20 m  
200 - 260 mm: 8Y12 pr. 1,20 m  
Dæklag: 15 mm  
Vederlag: 70 mm

## 10. Øvrige konstruktionselementer

### Armerede vægsøjler

Disse beregnes ved hjælp af eksisterende søjleprogrammer for beton, hvor der anvendes letbetonens materialeparametre.

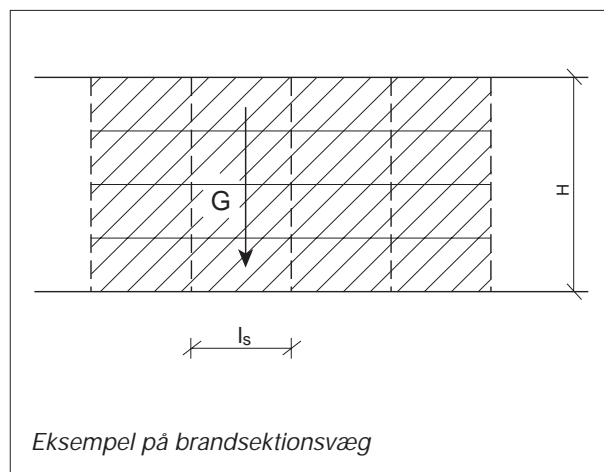
### Armerede bjælker

Disse beregnes i princippet som for letbetondæk eller som betonbjælker med letbetonens parametre.

### Brandsektionsvægge

Brandsektionsvægge der opføres af vandretliggende elementer lagt ovenpå hinanden og understøttet af søjler foreslås beregnet på følgende måde:

Søjlelængden fastsættes til væglængden. Væggen beregnes for indvendig vindlast i brandtilfældet og en lodret last på halvdelen af væggenes egenlast påført med en ekscentricitet svarende til 1/500 af væghøjden.



# Beregningseksempler

## 11. Beregningseksempler

### Eksempel 1

Indervæg med dæklast fra 2 sider.

Brandkrav, BS 60.

Vægtykkelse:  $w = 0,20$  m

Densitet:  $1200 \text{ kg/m}^3$

Væghøjde:  $l_s = 3,50$  m

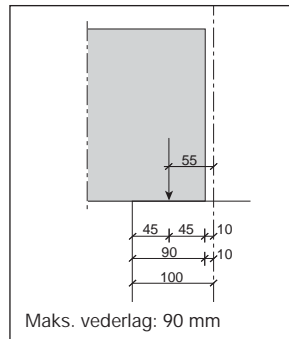
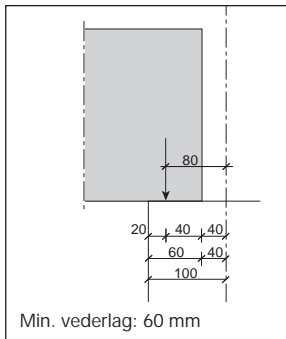
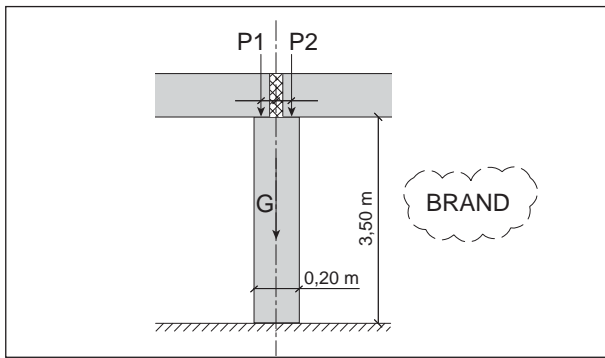
Karakteristiske laste i brandtilfældet, lasttilfælde 3.3:

Ingen vandret last

Laste:  $P_1 = 20 \text{ kN/m}$

$P_2 = 35 \text{ kN/m}$

$P = P_1 + P_2 = 55 \text{ kN/m}$



Belastningsmodel

$$e_{1,1} = -55 \text{ mm}$$

$$e_{1,2} = -80 \text{ mm}$$

$$e_{2,1} = 80 \text{ mm}$$

$$e_{2,2} = 55 \text{ mm}$$

$$e_{\max} = e_1 = \frac{20 \cdot (-55) + 35 \cdot 80}{55} = 31 \text{ mm}$$

$$e_{\min} = e_2 = \frac{20 \cdot (-80) + 35 \cdot 55}{55} = 6 \text{ mm}$$

Bæreevne aflæses af diagram 4.

$$R_1 = 340 \text{ kN/m}$$

$$R_2 = 530 \text{ kN/m}$$

Bæreevnen i brandtilfældet er den mindste af  $R_1$  og  $R_2$ .

$$R_{d,\text{brand}} = 340 \text{ kN/m} > P = 55 \text{ kN/m}$$

### Eksempel 2

Ydervæg

Brandkrav BS 60

Vægtykkelse:  $w = 0,10$  m

Densitet:  $1800 \text{ kg/m}^3$

Væghøjde:  $H = 2,60$  m

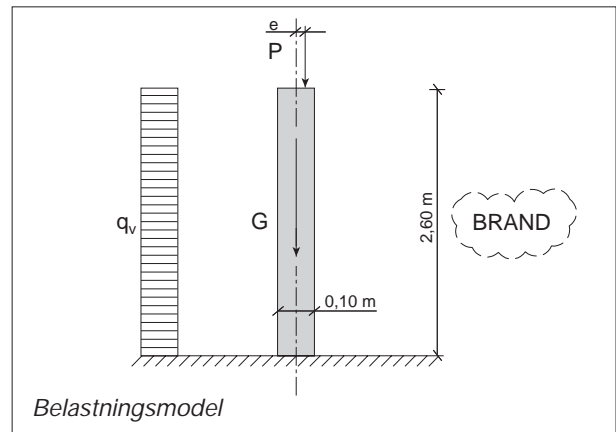
Max last:  $P_{\max} = 20 \text{ kN/m}$

Min last:  $P_{\min} = 5 \text{ kN/m}$

Ekscentricitet:  $e_1 = 25 \text{ mm}$

Ekscentricitet:  $e_2 = -10 \text{ mm}$

Karakteristisk vindlast:  $q_k = 0,75 \text{ kN/m}^2$



Vindlast:

$$q_{\text{vind}} = \gamma_{\text{brand}} \cdot c \cdot q_k$$

$$\gamma_{\text{brand}} = 0,25$$

$$q_1 = 0,25 \cdot 1,1 \cdot 0,75 = 0,21 \text{ kN/m}^2$$

$$q_2 = 0,25 \cdot 1,0 \cdot 0,75 = 0,19 \text{ kN/m}^2$$

$\gamma_{\text{brand}}$  = partialkoefficient i brandtilfældet

$c$  = formfaktor

Tilfælde 1,  $P_{\min} + \text{vind}$ :

$$e_{\max} = 25 + \frac{0,21 \cdot 2,60^2}{8 \cdot 5,0} \cdot 10^3 = 25 + 35 = 60 \text{ mm}$$

$$e_{\min} = -10 - \frac{0,19 \cdot 2,60^2}{8 \cdot 5,0} \cdot 10^3 = -10 - 32 = -42 \text{ mm}$$

Af diagram 1 fås:

$$R_1 = 77 \text{ kN/m}$$

$$R_2 = 41 \text{ kN/m}$$

$$R_{d,\text{brand}} = 41 \text{ kN/m} > P_{\min} = 5 \text{ kN/m}$$

Tilfælde 2,  $P_{\max} + \text{vind}$ :

$$e_{\max} = 25 + \frac{0,21 \cdot 2,60^2}{8 \cdot 20} \cdot 10^3 = 25 + 9 = 34 \text{ mm}$$

$$e_{\min} = -10 - \frac{0,19 \cdot 2,60^2}{8 \cdot 20} \cdot 10^3 = -10 - 8 = -18 \text{ mm}$$

Af diagram 1 fås:

$$R_1 = 108 \text{ kN/m}$$

$$R_2 = 51 \text{ kN/m}$$

$$R_{d,\text{brand}} = 51 \text{ kN/m} > P_{\max} = 20 \text{ kN/m}$$

## 12. Beregningsprogram

For de tilfælde, som ikke er dækket af diagrammerne, er det muligt selv at foretage en beregning af brandmodstandstiden på et beregningsprogram for henholdsvis vægge og dæk.

Beregningsprogrammerne er nemme at bruge og kan hentes ned fra nettet fra BIH's hjemmeside: [www.bih.dk](http://www.bih.dk).

*Anvendelse af programmerne er helt på eget ansvar, og hverken programmør eller distributør kan drages til ansvar i forbindelse med brug eller installation deraf.*

### Programbeskrivelse

Programmerne beregner bæreevnen af en væg eller dæk af letklinkerbeton påvirket af en standardbrand efter ISO 834.

I programmet kan væggens tykkelse, højde, densitet og styrkeparametre varieres. Man kan vælge mellem beregning med middelværdier og karakteristiske værdier, og man kan påføre en linielast og en ekscentricitet for denne på væggens overside. Ved dimensionering skal anvendes karakteristiske værdier.

Linielastens ekscentricitet regnes negativ hvis den giver det største tryk på den side af væggen, der vender bort fra branden og positiv mod branden.

Beregningen giver brandmodstandstiden for den påførte linielast og samtidig oplyses bæreevnen og udbøjningen for hver 10. minut inden for fire timer af en standardbrand ved påvirkning af denne linielast, så man kan afgøre, hvor tæt man er på brud.

Linielasten, der står på væggen under branden, er bestemmende for udbøjningen og dermed for bæreevnen i udbøjet tilstand. Derfor er bæreevnen til den faste tid afhængig af, hvilken linielast, der har stået på væggen under opvarmningen. Ønsker man at bestemme den last, som væggen kan bære frem til et givet tidspunkt, må man iterere ved at variere lasten indtil brandmodstandstiden svarer til tidspunktet.

Programmet skriver endvidere filer med sit primære resultat og filer med tabeller over udviklingen i den beregnede bæreevne, udbøjning og indre ekscentricitet gennem fire timer af en standardbrand.

Beregningen udføres i tidsstep á 10 minutter, og i hvert tidsstep beregnes den akkumulerede udbøjning under hensyn til svækkelsen af tværsnittet og de transiente tøjningsforhold, og der udføres en stabilitetsundersøgelse for denne tilstand.

I dækprogrammet kan man vælge mellem sandwichdæk eller massive dæk. Herefter kan man vælge dæktykkelse, bredde, længde og armering.

Armeringen kan i programmet vælges enten som varmvalset, fritkølet Kamstål, B 550 BR+Q (tidligere handelsbetegnelse KS 550 S), eller som varmvalset, bratkølet, selvanløben Kamstål, B 550 BR+AC (tidligere handelsbetegnelse K 550TS).

Herefter påføres en fladelast, hvorpå programmet beregner maksimal moment og forskydningskraft og sammenholder dem med bæreevnen til en valgt brandmodstandstid.

Programmet tillægger selv dækkenes egenvægt til lasten.

Programmet skriver endvidere filer over resultatet samt tabeller over moment- og forskydningsbæreevners udvikling gennem 4 timer af en standardbrand.

Beregningerne udføres som for vægge i tidsstep af 10 min.

### Installation af programmet

Programmerne hentes ned fra nettet på BIH's hjemmeside, [www.bih.dk](http://www.bih.dk). Samme sted kan hentes en detaljeret vejledning om installation og brug af programmerne. Beregningsprogrammet for vægge hedder LKVAEG.exe. Udover beregningsprogrammet findes en række resultatfiler:

LKVAEG.RES: Der gemmer resultatet, som står på skærmen.

LKVAFULL.RES: Med en tabel over bæreevners udvikling fra 0 til 240 min.

LKVAUM.RES: Med en tabel over udbøjningen fra 0 til 240 min.

LKVAEUNA.RES: Med en tabel over den indre ekscentricitet fra 0 til 240 min.

Beregningsprogrammet for dæk hedder: LKDAEK.exe. Udover beregningsprogrammet findes en række resultatfiler:

LKDAEK.RES: Der gemmer resultatet, som står på skærmen.

LKDAMULT.RES: Med en tabel over momentbæreevnen fra 0 til 240 min.

LKDAVULT.RES: Med en tabel over forskydningsbæreevnen fra 0 til 240 min.

# Diagrammer

## Brandmodstandsevne af Helvægge med densitet mindst 1200 kg/m<sup>3</sup> - BS 60

Diagram 1

Karakteristisk bæreevne  
kN/m

100 mm Helvæg 1200, BS 60

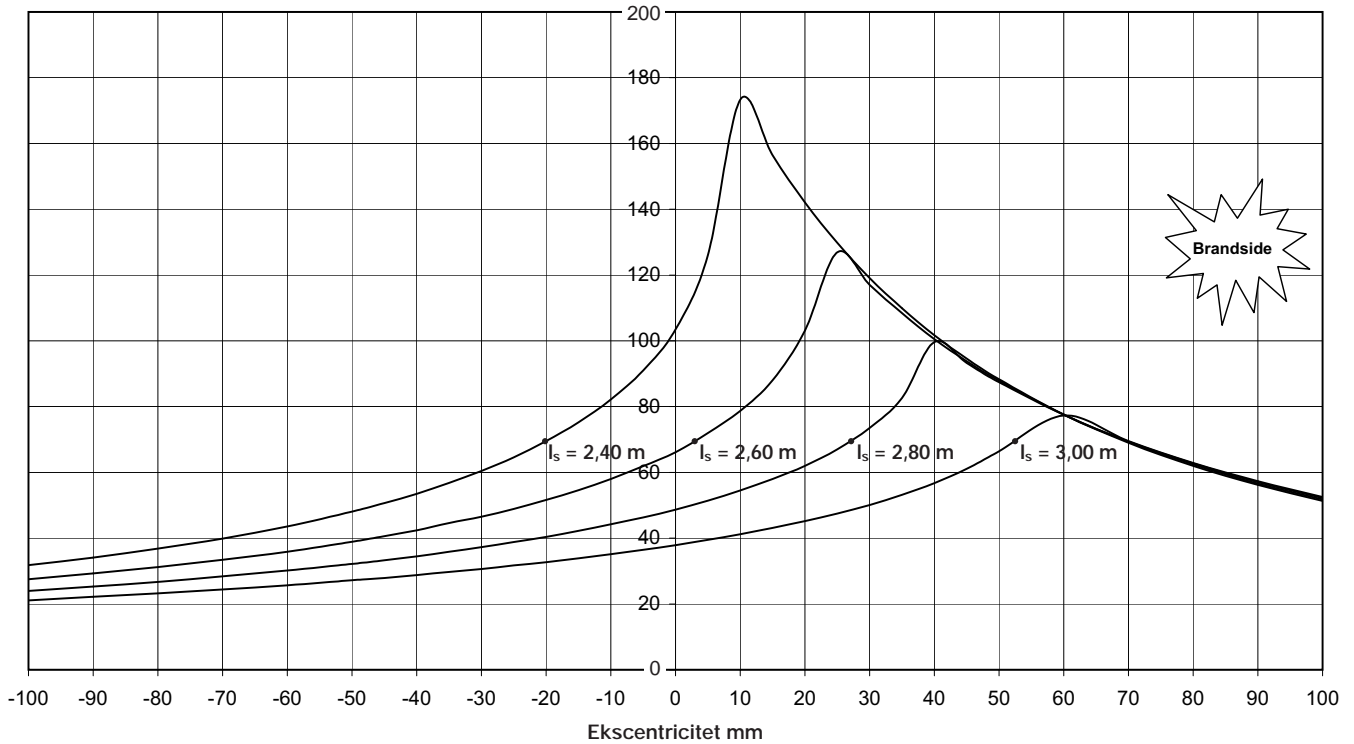
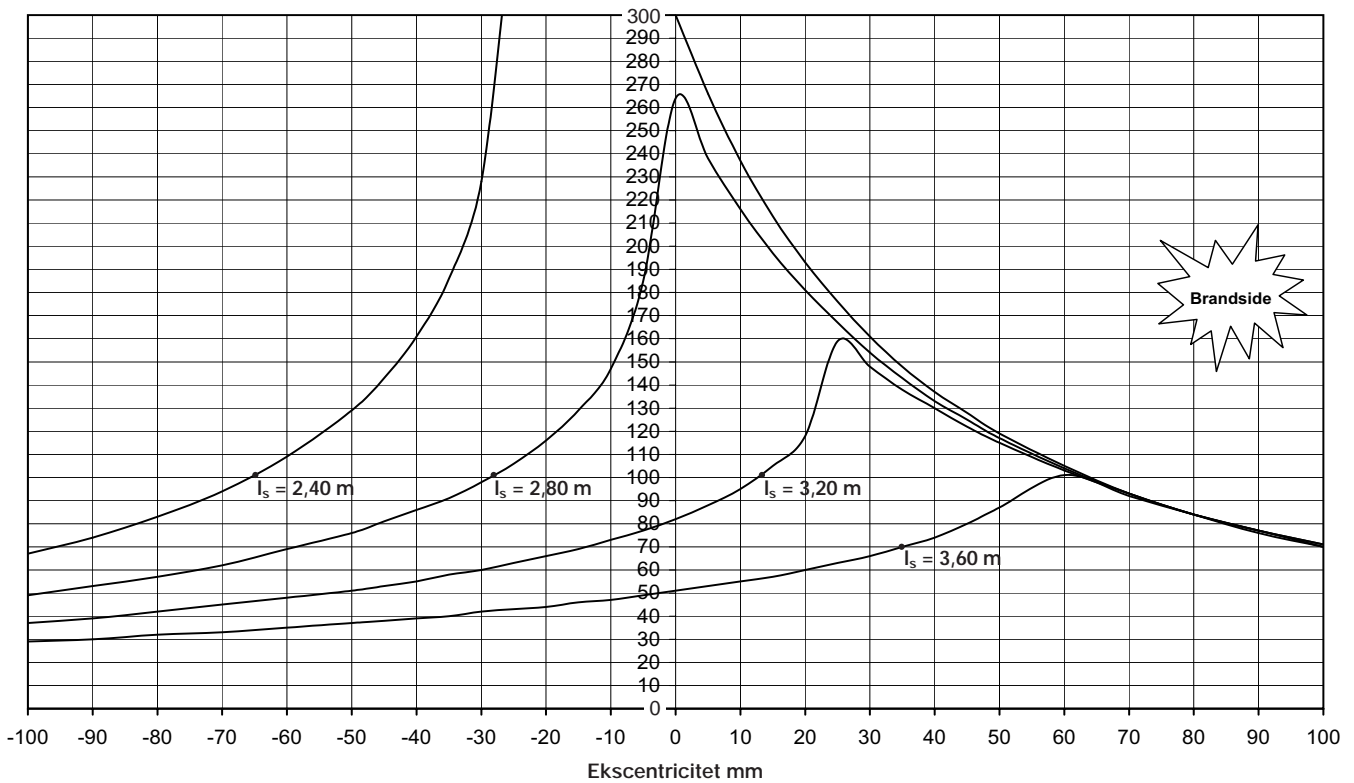


Diagram 2

Karakteristisk bæreevne  
kN/m

120 mm Helvæg 1200, BS 60

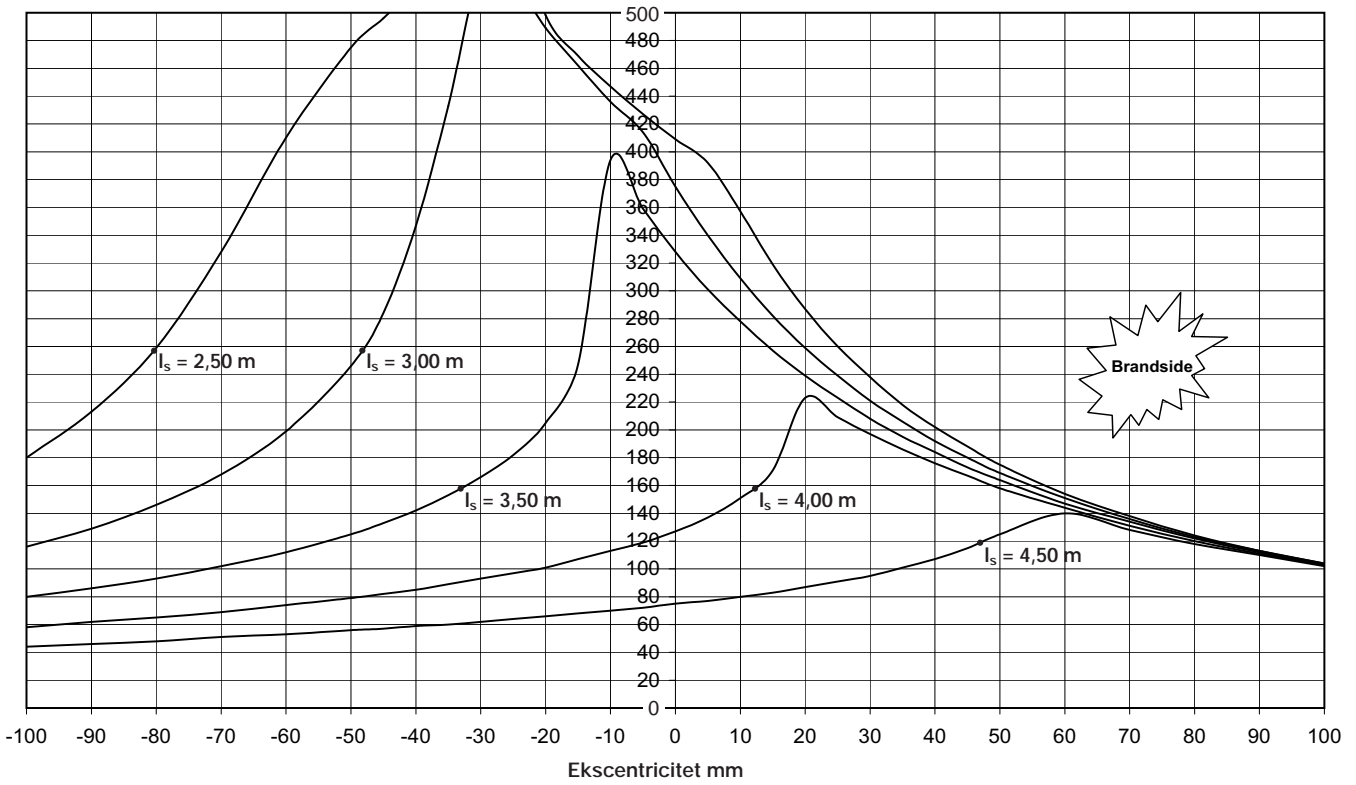




**Diagram 3**

Karakteristisk bæreevne  
kN/m

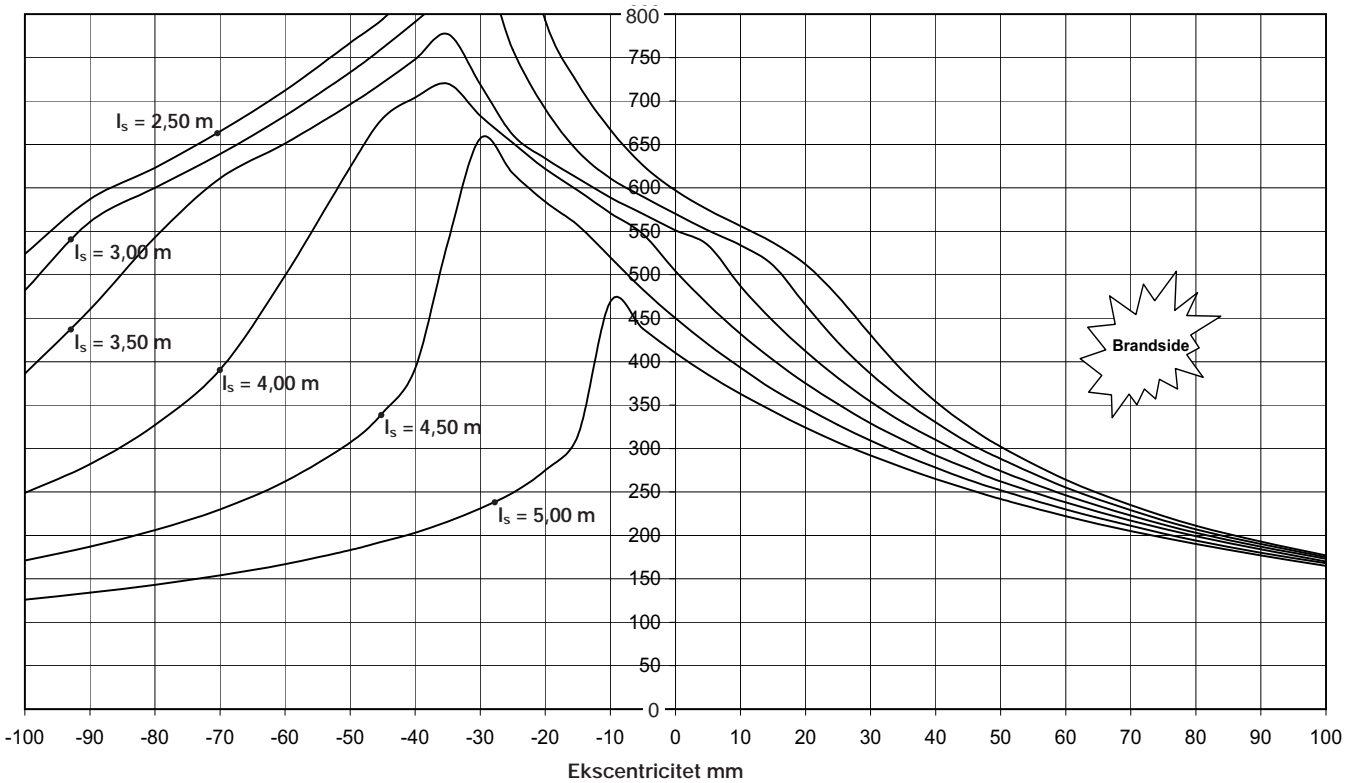
**150 mm Helvæg 1200, BS 60**



**Diagram 4**

Karakteristisk bæreevne  
kN/m

**200 mm Helvæg 1200, BS 60**



# Virksomhederne bag BIH

---

## BIH - SEKRETARIATET

**Dansk Beton Industriforening**  
Elementfraktionen  
Dansk Byggeri  
Kejsergade 2, Box 2125  
1015 København K  
Telefon: 72 16 00 00  
Telefax: 72 16 00 38  
sekretariatet@bih.dk  
www.bih.dk

Info om BIH - se side 2.

## ELEMENTPRODUCENTER

**Betonelement A/S**  
Fredensvej 36, Postboks 236  
4100 Ringsted  
Telefon: 7010 3510  
Telefax: 5768 3398  
betonelement@betonelement.dk  
www.betonelement.dk

**EXPAN A/S**  
Tilbud, salg og produktion:  
Ribevej 45  
6650 Brørup  
Telefon: 7637 7000  
Telefax: 7637 7301  
post@expan.dk  
www.expan.dk

**EXPAN A/S**  
Produktion:  
Askhøjvej 6, Linå  
8600 Silkeborg  
Telefon: 7637 7000  
Telefax: 7637 7201  
post@expan.dk  
www.expan.dk

**EXPAN A/S**  
Produktion:  
Fiskbækvej 1, Fiskbæk,  
6920 Videbæk  
Telefon: 7637 7000  
Telefax: 7637 7101  
post@expan.dk  
www.expan.dk

**EXPAN A/S**  
Produktion:  
Snavevej 23  
5471 Sønderød  
Telefon: 7637 7000  
Telefax: 7637 7501  
post@expan.dk  
www.expan.dk

## EXPAN A/S

Produktion:  
H.J. Henriksensvej 26  
3310 Ølsted  
Telefon: 7637 7000  
Telefax: 7637 7401  
post@expan.dk  
www.expan.dk

## Fårup Betonindustri A/S

Kærvej 1  
8990 Fårup  
Telefon: 8645 2088  
Telefax: 8645 2004  
info@faarup-beton.dk  
www.faarup-beton.dk

## Gandrup Elementfabrik A/S

Teglværksvej 35  
9362 Gandrup  
Telefon: 9654 3800  
Telefax: 9654 3810  
ge@gandrup-element.dk  
www.gandrup-element.dk

## Gandrup Elementfabrik A/S

Kærmindevej 3-5  
6580 Vamdrup  
Telefon: 7693 9000  
Telefax: 7693 9019  
ge@gandrup-element.dk  
www.gandrup-element.dk

## Give Elementfabrik A/S

Hjortsvangen 19  
7323 Give  
Telefon: 7670 1540  
Telefax: 7573 2503  
give@elementer.dk  
www.elementer.dk

## Leth Beton A/S

Rishøjvej 26  
7755 Bedsted Thy  
Telefon: 9794 5511  
Telefax: 9794 5757  
post@lethbeton.dk

## Præfa-Byg

v/O.J. Beton A/S  
Høngårdsvej 30  
9750 Østervrå  
Telefon: 9895 1300  
Telefax: 9895 1725  
praefa@praefa.dk  
www.praefa.dk

## Niss Sørensen & Søn A/S

Drosselvej 9, Postboks 19  
7860 Spøttrup  
Telefon: 9756 4222  
Telefax: 9756 4614  
nsa@nssas.dk  
www.nssas.dk

## Tinglev Elementfabrik A/S

Mads Clausensvej 58  
6360 Tinglev  
Telefon: 7217 1000  
Telefax: 7217 1001  
tinglev@te.dk  
www.te.dk

## SAMARBEJDSPARTNERE

### Dansk Leca A/S

Postboks 187  
8900 Randers  
Telefon: 8761 0201  
Telefax: 8761 0205  
leca@leca.dk  
www.leca.dk

### maxit a.s.

Børglumvej 13  
8240 Risskov  
Telefon: 7010 1025  
Telefax: 8742 7205  
maxit@maxit.dk  
www.maxit.dk

### Aalborg Portland

Rørdalsvej 44, Postboks 165  
9100 Aalborg  
Telefon: 9816 7777  
Telefax: 9810 1186  
sales@aalborg-portland.dk  
www.aalborg-portland.dk

## INTERESSEMEDLEMMER

### fibomaskiner A/S

Herningvej 4  
6920 Videbæk  
Telefon: 9717 1666  
Telefax: 9717 1175  
info@fibomaskiner.com  
www.fibomaskiner.dk

### Aalborg Portland

Rørdalsvej 44, Postboks 165  
9100 Aalborg  
Telefon: 9816 7777  
Telefax: 9810 1186  
sales@aalborg-portland.dk  
www.aalborg-portland.dk

### Mørch Scandinavia A/S

Jellingvej 1B  
Postboks 90  
9230 Svenstrup J.  
Telefon: 9838 9400  
Telefax: 9838 3360  
cem@moerch-tranders.dk  
www.moerchscan.dk

---

Leverandør: