

U D V I K L I N G K O N S T R U K T I O N E R

BEF-PCSTATIK

PC-Statik

Søjle- og vægberegning efter EC2

Dokumentationsrapport

2008-12-08

2008-12-18 Rev A. Tilføjelser i indledning og afsnit 6.5

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

UDVIKLING KONSTRUKTIONER

BEF-PCSTATIK

PC-Statik

Søjle- og vægberegning efter EC2

Dokumentationsrapport

2008-12-08

2008-12-18 Rev A. Tilføjelser i indledning og afsnit 6.5

Version : 1/EC
Versionsdato : 2008-12-08
Sagsnr. : 17681
Projektleder : JFJ
Udarbejdet af : LZH
Godkendt af : JFJ

Indholdsfortegnelse

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Indledning | 3 |
| 2 | Kort beskrivelse af programmet..... | 4 |
| 3 | Fortolkning af EC2 | 5 |
| 4 | Fastlæggelse af søjle- og væglaste | 6 |
| 4.1 | Tværlast hidrørende vinden på søjler og vægge..... | 6 |
| 4.2 | Normalkraft fra lastnedføring | 6 |
| 4.2.1 | Søjler..... | 7 |
| 4.2.2 | Vægge | 8 |
| 4.3 | Lasttilfælde..... | 8 |
| 5 | Teoretisk baggrund for beregning af søjler og vægge | 11 |
| 5.1 | Kold tilstand | 11 |
| 5.1.1 | Betons karakteristiske arbejdskurve..... | 11 |
| 5.1.2 | Armeringens arbejdskurve..... | 14 |
| 5.1.3 | Tværsnitsanalyse..... | 15 |
| 5.1.4 | Anvendelsesstadiet for betonsøjler og vægge..... | 19 |
| 5.2 | Varm tilstand | 23 |
| 5.2.1 | Betonens arbejdskurve..... | 23 |
| 5.2.2 | Tværsnitsanalyse..... | 26 |
| 6 | Sammenligning med beregning efter DS411 og forsøg..... | 31 |
| 6.1 | Kortidsforsøg med søjler - kold tilstand | 31 |
| 6.2 | Langtidsforsøg med søjler - kold tilstand | 32 |
| 6.3 | Korttidsforsøg med søjler - varm tilstand | 34 |
| 6.4 | Korttidsforsøg med vægge - Kold tilstand | 35 |
| 6.5 | Brandberegninger | 35 |
| 6.6 | Overarmeret tværsnit | 37 |
| 7 | Sammenligning med metode a Nominel stivhed | 39 |
| 8 | Beregningseksempel..... | 43 |
| 8.1 | Styrke eftervisning i Kold tilstand | 44 |
| 8.1.1 | Bestemmelse af krybetal og stivhed..... | 44 |

| | | |
|-------|--|----|
| 8.1.2 | Formler anvendt i de egentlige beregninger | 44 |
| 8.1.3 | Beregningsresultater - iterationer | 47 |
| 8.1.4 | Anvendelsesstadiet | 48 |
| 8.2 | Styrkeeftervisning i varm tilstand | 52 |
| 8.2.1 | Beregningsresultater - iterationsproces | 58 |

1 Indledning

Nærværende rapport er KS dokumentationen, som er udført i forbindelse med udvikling af beregningsprogram for søjler og vægge efter EC2. Rapporten er opdelt således, at der efter 2 afsnit, som beskriver programmet og de antagelser der er gjort ved implementeringen af EC2, er et afsnit, der beskriver de teoretiske overvejelser gjort i forbindelse med udviklingen af programmet. Dernæst kommer der en sammenligning mellem beregningsprogrammet og DS411. Sammenligning holdes ligeledes op imod forsøg fundet i litteraturen. Sidst i rapporten er der en sammenligning med den tilnærmet metode som er gjort gyldig i forbindelse med det nationale anneks. Til sidst er der lavet et gennemregnet eksempel, der viser de enkelte beregninger i beregningsprogrammet i detaljer.

Beregningerne i beregningsprogrammet for søjler og vægge udføres på baggrund af EC2's afsnit 5.8.6: Generel metode. Formålet med dette valg, er at arbejde ud fra en konsistent matematisk-fysisk model med et minimum af tilnærmelser. Når der i nærværende rapport refereres alene til EC2 beregninger er det beregningsmetoden som er anvendt i udarbejdelsen af det pågældende beregningsprogram.

I forbindelse med håndteringen af brand og krybning, er der foretaget nogle ændringer af programmet i den version det foreligger, som endnu ikke er indarbejdet i nærværende dokument. Dette vil ske i starten af det nye år og der vil udkomme en revideret dokumentationsrapport.

Bilagsoversigt

Til nærværende rapport er der nedenstående bilag.

Bilag 1 Forsøgssammenligninger

Bilag 2 Eksempel

Ansvarsforhold

NB: Resultaterne af beregningsmodulerne skal ALTID efterkontrolleres af køber/bruger! Betonelement-Foreningen og de øvrige ophavsmænd påtager sig INTET ANSVAR for fejl og mangler ved beregningsmodulernes informationsindhold mv. eller for svigt ved - eller tab som følge af - produkter fremstillet under anvendelse heraf.

2 Kort beskrivelse af programmet

I forbindelse med anvendelsen af programmet fungerer dette således at man først foretager en beregning af søjlen i kold tilstand. Ved beregning af søjlen i kold tilstand angiver man søjlens/væggens karakteristika dvs. geometri, materiale parametre, belastninger osv.

Ved et tryk på en knap kommer man over i et tilsvarende regneark, hvor det ikke længere er muligt at ændre på geometri og materialeparametre. I dette regneark foretages den egentlige branddimensionering. Det er muligt i arket at indtaste brand tiden samt at tage stilling til hvilken type armering man har med at gøre.

Det er muligt at regulere sikkerheden, der som default er sat til 1,0 på beton og armering.

Det er kun muligt at have en tykkelse af dæklaget. Har man en søjle med forskelligt dæklag skal man derfor indtaste det mindste. Ved angivelse af antallet af armeringsstænger placeres de første to i hjørnerne og resten fordeles jævnt mellem de to yderste jern.

Der i regnearket plads til ni lasttilfælde. Dette skyldes at det tilhørende regneark søjlelaste / væglaste er inddelt i ni lasttilfælde inden for hver udknækningsretning. Det anbefales at fastlægge belastningen på søjlen ud fra regnearket søjlelaste / væglaste. Det er vigtigt at være opmærksom på at udknækningsretningen kan styres af andet end belastningen og dennes excentricitet. Har man fx med en kældervæg at gøre som er uens armeret for at optage jordtrykket kan udknækningsretningen ændres i det øjeblik den frigaves. Dette kan håndteres vha. søjlelaste / væglaste regnearket.

Ved brand beregningerne er det muligt, at hente belastningerne fra kold tilstand. Man skal være opmærksom på, at man fra arket søjlelaste, skal tjekke alle lasttilfælde, da excentriciteten fra svækket tværsnit, samt de termiske udbøjninger kan bevirke, at et andet lasttilfælde bliver dimensionsgivende. I forbindelse hermed er det vigtigt, at tænke over excentriciteterne.

I forbindelse med asymmetrisk brandpåvirkning dvs. 1 sided eller tresidet brandpåvirkning kan man også være udsat for at de termiske udbøjninger bevirker at det ikke er muligt på forhånd at fastlægge udknækningsretningen. Derfor skal man her altid tjekke udknækning i alle retninger for at være sikker på at have afdækket det kritiske lasttilfælde.

3 Fortolkning af EC2

I forbindelse med udvikling af programmet har det været nødvendigt, at fortolke EC2, således at en konsistens løsning kan tilvejebringes. I nærværende afsnit beskrives de fortolkninger, der er foretaget i forhold til EC2.

Kold beregning

- Afsnit 3.1.5's formel (3.1.4) bestemmer spændingsblokken i beto- nens trykzone.
- Iht. afsnit 3.2.7 (4) sættes armeringens regningsmæssige elasticitets modul lig 200 GPa, som er lig det karakteristiske elasticitets modul for armeringen.
- Iht. afsnit 5.8.6 (3) kan formel (3.1.4) anvendes hvis E_{cm} ændres til E_{cd} , hvor E_{cd} findes ved at reducerer E_{cm} med $\gamma_c = 1,4$ iht. det natio- nale anneks. I Eurocode anbefales en reduktion på 1,2. Dette er ikke en traditionel måde at indføre en sikkerhed på. Da partialkoefficien- ten påsættes en middel stivhed.
- Iht. 5.8.6 (4) indføres krybning ved, at ændre alle tøjningsværdierne. Dette betyder at overarmerede søjler med en lille normalkraft vil få en øget momentkapacitet, når man påsætter krybning. Dette kan re- guleres ved at den maksimale momentkapacitet programmet kan an- give er den der svarer til det balancerede moment.
- Der er ikke medtaget bidrag fra tension stiffening, som der ellers åb- nes mulighed for iht. afsnit 5.8.6 (5).
- For at opfylde ligevægt og tøjningskompatibilitet i 5.8.6 (6) beregnes et udbøjningstillæg som $1/10\kappa L_s^2$

Brandberegning.

- Spændingsblokken i betonen fastlægges på baggrund af EC2 del 1-2 afsnit 3.2.2.1 Figur 3.1.
- Temperatur fordelingen er ikke angivet i EC2, men angivet i det nati- onale anneks, hvorfor dette anvendes.
- I det nationale anneks skal man anvende anneks B2 til beregning, men da anneks B2 henviser til en beregning i anneks B1, har (9) i anneks B2 givet anledning til den fortolkning, at man på baggrund af de i anneks B2 fundne reducerede materiale parametre skal foretage en kold beregning, som det er kendt efter DS411.

4 Fastlæggelse af søjle- og væglaste

Til beregningsprogrammet for søjler og vægge hører der, som omtalt, to regneark der ordner belastningen, således at alle relevante lasttilfælde beregnes. Der er i alt 9 lasttilfælde for en udknækningsretning. For søjler er der i alt 2 hovedtilfælde med to undertilfælde som bestemmes af om der medtages maksimal vindlast eller sædvanlig vindlast. For vægge er der et hovedtilfælde med to undertilfælde som bestemmes af om der medtages maksimal vindlast eller sædvanlig vindlast. Regnearkene for lastspecifikation koncentrerer sig alene om belastninger fra tværlast og normalkræfter. I de enkelt tilfælde skal man så ved beregningen specificere normalkræfternes excentriciteter.

Belastningen på vægge og søjler beregnes ud fra lastkombination STR.

4.1 Tværlast hidrørende vinden på søjler og vægge

Som input til beregningerne er der den maksimale vindlast og den sædvanlige vindlast i to hovedtilfælde, I og II (Kun et hovedtilfælde for vægge). Pga. at både maksimal og sædvanlig last indtastes bliver der to under tilfælde af hvert hovedtilfælde, nemlig a og b.

Det maksimale vindlasttilfælde for konsekvensklasse CC2 beregnes ud fra STR formel 6.10b

$$w_d = K_{FI} \gamma_{Q,1} w_k = 1,0 \cdot 1,5 \cdot w_k = 1,5 \cdot w_k$$

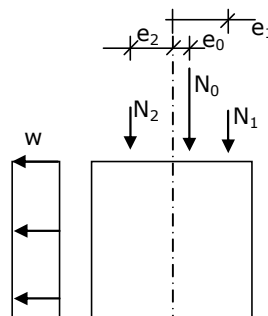
medens der sædvanlige vindlasttilfælde for konsekvensklasse CC2 bestemmes som

$$w_d = K_{FI} \gamma_{Q,1} \psi_{0,i} w_k = 1,0 \cdot 1,5 \cdot 0,5 \cdot w_k = 0,75 \cdot w_k$$

Vindlasten angives som en jævn fordelt last langs søjlen eller væggen.

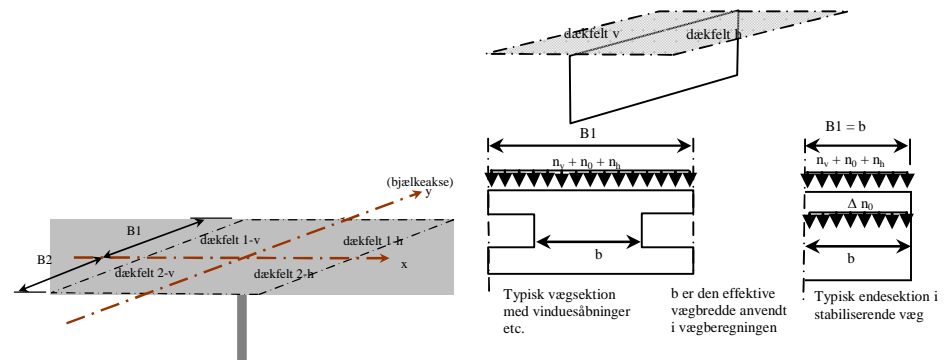
4.2 Normalkraft fra lastnedføring

I beregningerne belastning på søjlen er det altid sådan at N_1 og N_0 bidrager med moment i forhold til vindlasten, mens N_2 virker stabiliserende.



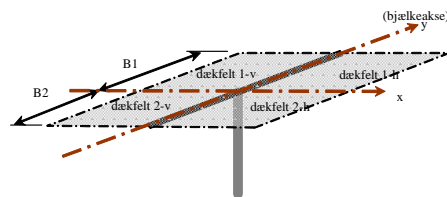
Figur 1 Definition af vindlast i forhold til normalkræfter på søjle og væg

Værdierne, N_1 , N_2 og N_0 kommer fra lastnedføringen som vist på nedenstående skitse, der også er vist i programmet.



Figur 2 Lastnedføring omkring en søjle er vist tv. og lastnedføring ved en væg er vist th.

4.2.1 Søjler



På strækningen $B1$ tages input fra et lastnedføringskema. På strækningen $B2$ indtastes input fra et andet lastnedføringskema. Længderne $B1$ og $B2$ er den halve

afstande mellem søjlerne i søjlerækken.

Som input fra lastnedføringskemaerne uddrages den maksimale sædvanlige værdi af n_v , n_h og n_0 , den maksimale værdi af n_v , n_h og n_0 og den mindste minimale værdi af n_v , n_h og n_0 .

Dette bevirker at søjleberegningen laves som det værste tilfælde da værdierne af n_v , n_h og n_0 ikke nødvendigvis behøver at hører sammen.

Afhængig af vindens retning bestemmes N_1 , N_2 , N_0 efter følgende formler i hovedtilfælde I-a:

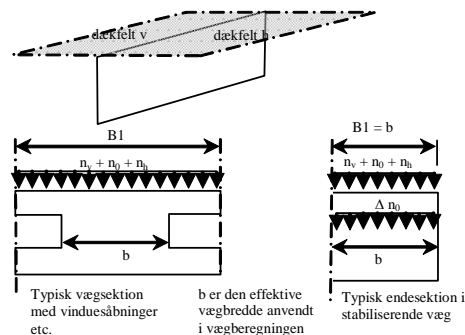
$$N_1 = n_{h,dækfelt2}B1 + n_{h,dækfelt2}B2$$

$$N_0 = n_{0,dækfelt2}B1 + n_{0,dækfelt2}B2$$

$$N_2 = n_{v,dækfelt2}B1 + n_{v,dækfelt2}B2$$

Tilsvarende formler kan opstilles for hovedtilfælde I-b, II-a og II-b.

4.2.2 Vægge



På strækningen B1 tages input fra et lastnedføringssskema. I beregningsmodulet mangler der en mulighed for at indtaste b, som er den effektive bredde af væggen og netop er den bredde der skal indgå i væg beregningen.

Som input fra

lastnedføringssskemaerne uddrages den maksimale sædvanlige værdi af n_v , n_h og n_0 , den maksimale værdi af n_v , n_h og n_0 og den mindste minimale værdi af n_v , n_h og n_0 .

Dette bevirker at vægberegningen laves som det værste tilfælde da værdierne af n_v , n_h og n_0 ikke nødvendigvis behøver at hører sammen.

Afhængig af vindens retning bestemmes N_1 , N_2 , N_0 efter følgende formler i hovedtilfælde I-a:

$$N_1 = n_{h,dækfelt} B1$$

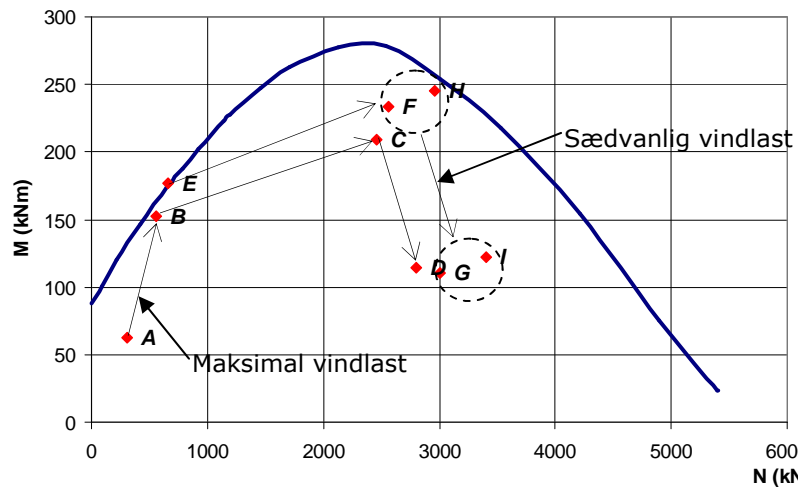
$$N_0 = n_{0,dækfelt} B1$$

$$N_2 = n_{v,dækfelt} B1$$

Tilsvarende formler kan opstilles for hovedtilfælde I-b.

4.3 Lasttilfælde

I programmet er der defineret 9 lasttilfælde ud fra de påsatte belastninger og vindens retning. Hvert lasttilfælde er benævnt med et bogstav fra A til I. Alle lasttilfælde er indeholdt i STR bestemt ud fra formel 6.10a eller 6.10b i EC0. Lasttilfældene for en søjle og en væg er bestemt ud fra samme filosofi. Filosofien er først at bestemme det punkt der ligger tættest på ordinataksen. Dette gøres ved at påsætte maksimal vindlast på søjlen samtidig med at der påsættes minimale værdier af normalkræfterne. Herefter øges normalkraften ved at påsætte sædvanlig værdi af N_1 kombineret med minimal værdi af N_0 og N_2 . Herefter øges normalkraften endnu mere ved at medtage sædvanlig værdi af N_1 og N_0 . Sluttelig påsættes sædvanligværdi af N_0 , N_1 og N_2 sammen med maksimalværdi af vinden herved falder momentet mens normalkraften stiger. Dette giver i alt fire punkter A, B, C og D, som angivet i Figur 3.



Figur 3 Konstruktion af lasttilfælde

Efterfølgende arbejdes der med sædvanlige værdier af vindlasten, som først kombineres med maksimal værdi af N_1 og minimale værdier af N_0 og N_2 . Dette beskriver det punkt der ligger tættest ordinataksen for sædvanlig vindlast. Herefter øges normalkraften ved i kombination af maksimal N_1 at have sædvanlig værdi af N_0 og minimal værdi af N_2 . I tilfældet af at der er flere overliggende etager kan tilfældet hvor man har maksimal værdi af N_0 kombineret med sædvanlig værdi af N_1 og minimal værdi af N_2 give et punkt der er mere kritisk. Den maksimale normalkraft påvirkning findes i et af to lasttilfælde, nemlig maksimal værdi af N_1 og N_2 kombineret med sædvanlig værdi af N_0 eller maksimalværdi af N_0 kombineret med sædvanlig værdi af N_1 og N_2 . Ovenstående er det der kendetegner lasttilfældene E, F, G, H og I.

De enkelte lasttilfælde kan i kort form skrives som:

- | | | |
|--|---|------------------------|
| A. Min N_1 +min N_0 + min N_2 | } | Med maksimal vindlast |
| B. Sædv N_1 +min N_0 + min N_2 | | |
| C. Sædv N_1 +sædv N_0 +min N_2 | | |
| D. Sædv N_1 +sædv N_0 +sædv N_2 | | |
| E. Max N_1 + min N_0 + min N_2 | } | Med sædvanlig vindlast |
| F. Max N_1 + sædv N_0 + min N_2 | | |
| G. Max N_1 + sædv N_0 + max N_2 | | |
| H. Sædv N_1 + max N_0 + min N_2 | | |
| I. Sædv N_1 + max N_0 + sædv N_2 | | |

Det er vigtigt i analysen af søjler og vægge, at N_1 er den normalkraft, der er drivende i forhold til udbøjningsretningen. I flere tilfælde fx brand på trækssi-

den kan det være farligere at antage værdien, som angivet for N_2 , er den drivende normalkraft. Dette betyder, at man er nød til at undersøge alle lasttilfælde, som angivet i lastspecifikationerne for søjler og vægge for at være sikker på at man har dækket det kritiske lasttilfælde, da speciel de termiske udbøjninger fra brand kan ændre udbøjningsretningen.

5 Teoretisk baggrund for beregning af søjler og vægge

5.1 Kold tilstand

I forbindelse med styrkeeftervisning af armerede betonsøjler og vægge anvendes den generelle metode i EC2's afsnit 5.8.6. Den generelle metode baserer sig på en ikke lineær arbejdskurve af betonen og en lineær elastisk ideal plastisk arbejdskurve af armeringen.

5.1.1 Betons karakteristiske arbejdskurve

Betonen arbejdskurve bestemmes iht. formel (3.14) i EC2's afsnit 3.1.5 ved

$$\frac{\sigma_c}{f_{cm}} = \frac{k\eta - \eta^2}{1 + (k-2)\eta}$$

hvor

$$k = 1,05 \frac{E_{cm}\varepsilon_{c1}}{f_{cm}}, \text{ hvor } E_{cm}, f_{cm} \text{ og } \varepsilon_{c1} \text{ fastlægges iht. EC2's tabel 3.1}$$

$$\eta = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{c1}}$$

I afsnit 5.8.6 (3) skal f_{cm} erstattes med f_{cd} og E_{cm} erstattes med $E_{cd} = \frac{E_{cm}}{\gamma_c}$.

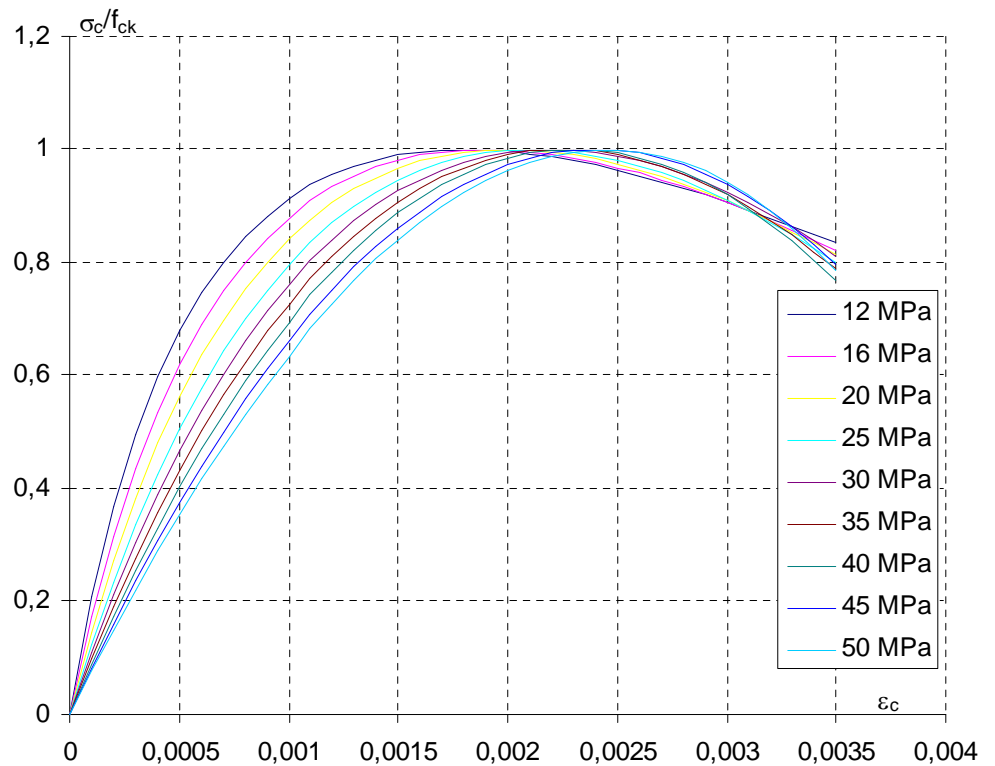
Dette betyder at den karakteristiske arbejdskurve for betonen bliver

$$\frac{\sigma_c}{f_{ck}} = \frac{k\eta - \eta^2}{1 + (k-2)\eta}$$

hvor

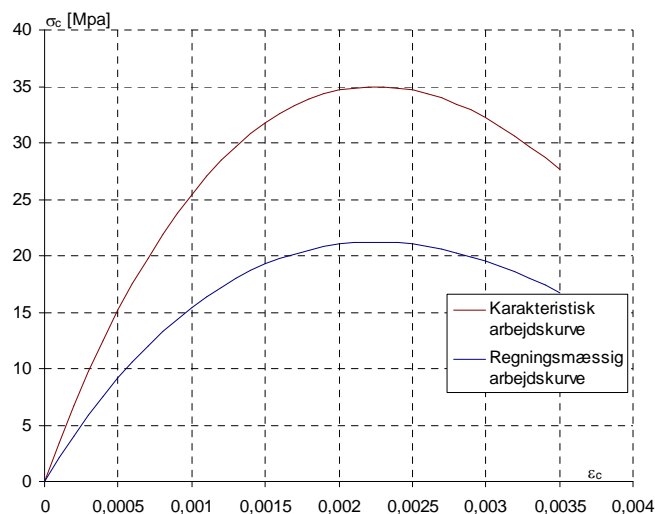
$$k = 1,05 \frac{E_{cm}\varepsilon_{c1}}{f_{ck}}$$

Denne funktion er plottet nedenfor i Figur 1. Det interessante ved arbejdskurven er at der indgår middel elasticitetsmodulet i stedet for det karakteristiske, som det ellers er anvendt igennem en årrække i DS-sammenhæng. Det ses af Figur 1 at der for hver enkelt betontype er en specifikt bestemt arbejdskurve.



Figur 4 Arbejdskurve for beton ved forskellige betontrykstyrker.

I Figur 2 er arbejdskurven for en beton med en karakteristisk trykstyrke på 35 MPa plottet i anvendelsesstadiet og i brudstadiet. Kurverne er benævnt henholdsvis den karakteristiske arbejdskurve og den regningsmæssige arbejdskurve.



Figur 5 Karakteristisk og regningsmæssige arbejdskurve for en beton 35

Kurverne viser at arbejdskurven nedskaleres med partialkoefficienten, når man går fra den karakteristiske arbejdskurve til den regningsmæssige arbejdskurve.

Af Figur 1 ses det hvorledes stivheden af de svage betontyper er stivere relativt til styrken end de stærkere betoner.

Sammenligner man stivheden af betonen med udtrykket fra DS411, der er givet ved

$$E_0 = 51000 \frac{f_{ck}}{13 + f_{ck}} \quad \text{DS411 3.2.5 (4)P}$$

For søjleberegning anvendes

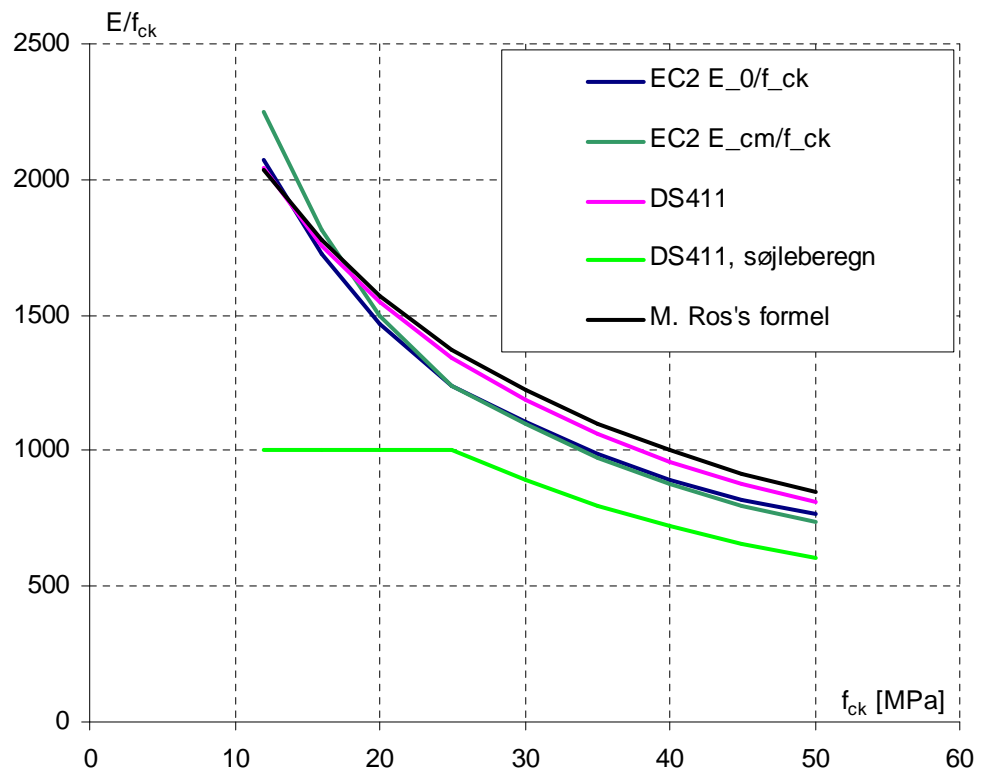
$$E_0 = \min \left\{ \begin{array}{l} 1000f_{ck} \\ 0,75 \cdot 51000 \frac{f_{ck}}{13 + f_{ck}} \end{array} \right. \quad \text{DS411 6.2.5 (1)P}$$

fås en sammenhæng som vist i Figur 3.

I Figur 3 er der ligeledes medtaget en sammenligning af betons elasticitetsmodul, beregnet efter formlen foreslået af M. Ros¹.

$$E_0 = 55000 \frac{f_{ck}}{15 + f_{ck}}$$

¹ Sammenligningen med forsøg fremgår af Beton 1 del 1, M. P. Nielsen, Lyngby 1999

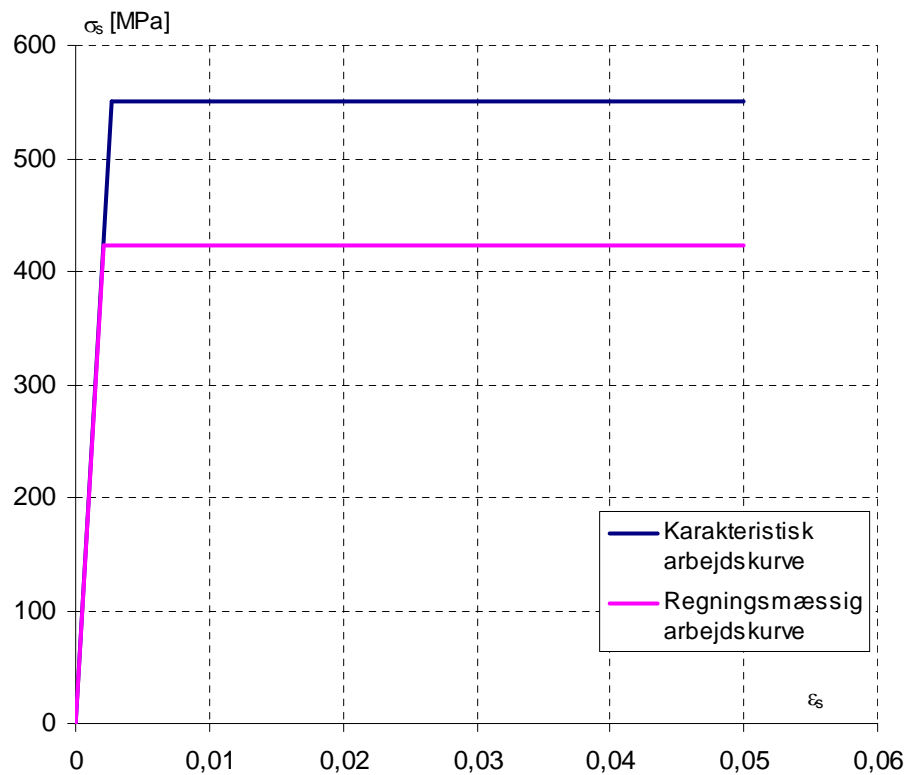


Figur 6 Betonens stivhed og dens afhængighed af trykstyrken sammenlignet med DS411.

Det ses at elasticitetsmodulet i EC2 stemmer rimeligt overens med Ros's formel, men langt fra stemmer overens med stivhederne fra DS411, som man i Danmark har lagt til grund for en søjle beregning.

5.1.2 Armeringens arbejdskurve

Armeringen opfattes som værende lineær elastisk ideal plastisk, som vist i Figur 4. I modsætning til i DS411 er stålets elasticitetsmodul det samme i anvendelsesgrænsetilstanden og i brudstadiet. Det antager værdien 200000 MPa.



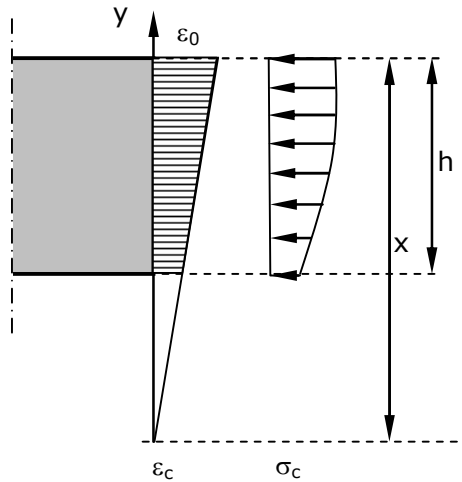
Figur 7 Stålets arbejdskurve med en karakteristisk flydeapænding på 550 MPa.

5.1.3 Tværsnitsanalyse

I nærværende afsnit beskrives, hvorledes et søjletværsnits bæreevne bestemmes på baggrund af den generelle metode i EC2.

Først beregnes bidraget fra betonen i tryk. Det antages at betonens trækstyrke er nul. Herefter beregnes bidrag fra armeringen og sluttelig kobles alle bidrag i ligningerne for den statiske ækvivalens.

5.1.3.1 Betonbidraget



Figur 8 Definitioner, som anvendes ved tværsnitsanalyse

Trykspændingerne i betonen bestemmes ud fra den

$$\sigma_c = \frac{k\varepsilon_c \varepsilon_{c1} - \varepsilon_c^2}{\varepsilon_{c1}^2 + (k-2)\varepsilon_c \varepsilon_{c1}} f_{cd}$$

Variationen af spændingen over tværsnittet findes ved at indføre tøjningen ε

som $\varepsilon_c = \frac{y}{x} \varepsilon_0 = t\varepsilon_0$, hvorved σ_c kan omskrives til

$$\sigma_c = \frac{\varepsilon_{c1} k t \varepsilon_0 - t^2 \varepsilon_0^2}{\varepsilon_{c1}^2 + (k-2)\varepsilon_{c1} t \varepsilon_0} f_{cd} = \dots = \frac{1 - \frac{\varepsilon_0}{k\varepsilon_{c1}} t}{1 + (k-2) \frac{t\varepsilon_0}{\varepsilon_{c1}}} t k \frac{\varepsilon_0}{\varepsilon_{c1}} f_{cd}$$

For overskuelighedens skyld indføres følgende konstanter

$$A = \frac{\varepsilon_0}{k\varepsilon_{c1}}, \quad B = (2-k) \frac{\varepsilon_0}{\varepsilon_{c1}}, \quad D = k \frac{\varepsilon_0}{\varepsilon_{c1}} f_{cd}$$

Herved reduceres udtrykket for betonspændingen til

$$\sigma_c = Dt \frac{1 - At}{1 - Bt} = D \left\{ t - (a-b) \frac{t^2}{1 - bt} \right\}$$

Ud fra ovenstående udtryk er det muligt at bestemme resultanten af betonspændingerne i trykzonen, ved integration

$$N_c = bx \int_{\zeta}^1 \sigma_c dt$$

hvor

$$\zeta = \begin{cases} 0 & \text{for } x \leq h \\ \frac{x-h}{x} & \text{for } x > h \end{cases}$$

Indsættes udtrykket for σ_c fås, når b er bredden af tværsnittet

$$N_c = bx D \int_{\zeta}^1 \left\{ t - (A-B) \frac{t^2}{1-Bt} \right\} dt \Leftrightarrow$$

$$N_c = bx D \left[\frac{1}{2} t^2 + (A-B) \left\{ \frac{(1-Bt)^2}{2B^3} - \frac{2(1-Bt)}{B^3} + \frac{1}{B^3} \ln(1-Bt) \right\} \right]_{\zeta}^1 \Leftrightarrow$$

$$N_c = bx D \left(\frac{1}{2} + \frac{(A-B)}{2B^3} \{1-B\}^2 - 4(1-B) + 2 \ln(1-B) \right) - \dots \Leftrightarrow$$

$$N_c = bx D \left(\frac{1}{2} \zeta^2 - \frac{(A-B)}{2B^3} \{1-B\zeta\}^2 - 4(1-B\zeta) + 2 \ln(1-B\zeta) \right) \Leftrightarrow$$

$$N_c = \frac{1}{2} bx D \left(1 - \zeta^2 + \frac{(A-B)}{B^3} \left\{ B^2(1-\zeta^2) + 2B(1-\zeta) + 2 \ln \frac{1-B}{1-B\zeta} \right\} \right)$$

Integralet kontrolleres ved differentiation

$$\frac{dN_c}{dt} = bx D \left[t + \frac{A-B}{B^3} \left\{ -B(1-Bt) + 2B - \frac{B}{1-Bt} \right\} \right] \Leftrightarrow$$

$$\frac{dN_c}{dt} = bx D \left[t + \frac{A-B}{B^3} \left\{ \frac{-B(1-Bt)^2 + 2B(1-Bt) - B}{1-Bt} \right\} \right] \Leftrightarrow$$

$$\frac{dN_c}{dt} = bx D \left[t + \frac{A-B}{B^3} \left\{ \frac{-B(1+B^2t^2-2Bt) + 2B - 2B^2t - B}{1-Bt} \right\} \right] = bx D \left[t + \frac{A-B}{B^3} \left\{ \frac{-B^3t^2}{1-Bt} \right\} \right] \Leftrightarrow$$

$$\frac{dN_c}{dt} = bx D \left[t - (A-B) \left\{ \frac{t^2}{1-Bt} \right\} \right] = bx \sigma_c$$

Det ses at integralet er i orden.

Herefter kan afstanden y' fra resultantens placering til nullinien bestemmes.

Dette gøres ved at bestemme resultantens moment omkring nullinien.

$$y' N_c = bx^2 \int_{\zeta}^1 t \sigma_c dt \Leftrightarrow$$

$$y' N_c = bx^2 D \int_{\zeta}^1 \left\{ t^2 - (A-B) \frac{t^3}{1-Bt} \right\} dt \Leftrightarrow$$

$$y' N_c = bx^2 D \left[\frac{1}{3} t^3 - (A-B) \left\{ \frac{(1-Bt)^3}{3B^4} - \frac{3(1-Bt)^2}{2B^4} + \frac{3(1-Bt)}{B^4} - \frac{1}{B^4} \ln(1-Bt) \right\} \right]_{\zeta}^1 \Leftrightarrow$$

$$y' N_c = bx^2 D \left(\frac{1}{3} - \frac{(A-B)}{6B^4} \{2(1-B)^3 - 9(1-B)^2 + 18(1-B) - 6 \ln(1-B)\} - \dots \right) \Leftrightarrow \dots$$

$$y' N_c = bx^2 D \left(\frac{1}{3} \zeta^3 + \frac{(A-B)}{6B^4} \{2(1-B\zeta)^3 - 9(1-B\zeta)^2 + 18(1-B\zeta) - 6 \ln(1-B\zeta)\} \right) \Leftrightarrow \dots$$

$$y' N_c = \frac{1}{3} bx^2 D \left(1 - \zeta^3 - \frac{(A-B)}{2B^4} \left\{ -2B^3(1-\zeta^3) - 3B^2(1-\zeta^2) - 6B(1-\zeta) - 6 \ln \frac{1-B}{1-B\zeta} \right\} \right)$$

Integraler kontrolleres ved differentiation.

$$\begin{aligned} \frac{dy' N_c}{dt} &= bx^2 D \left[t^2 - \frac{A-B}{B^4} \left\{ -B(1-Bt)^2 + 3B(1-Bt) - 3B + \frac{B}{1-Bt} \right\} \right] \Leftrightarrow \\ \frac{dy' N_c}{dt} &= bx^2 D \left[t^2 - \frac{a-b}{B^4} \left\{ \frac{-B(1-Bt)^3 + 3B(1-Bt)^2 - 3B(1-Bt) + B}{1-Bt} \right\} \right] \Leftrightarrow \\ \frac{dy' N_c}{dt} &= bx^2 D \left[t^2 - \frac{A-B}{B^4} \left\{ \frac{-B + 3B^2t - 3B^3t^2 - B^4t^3 + 3B + 3B^3t^2 - 6B^2t - 3B + 3B^2t + B}{1-Bt} \right\} \right] \Leftrightarrow \\ \frac{dy' N_c}{dt} &= bx^2 D \left[t^2 - (A-B) \left\{ \frac{t^3}{1-Bt} \right\} \right] = bx^2 t \sigma_c \end{aligned}$$

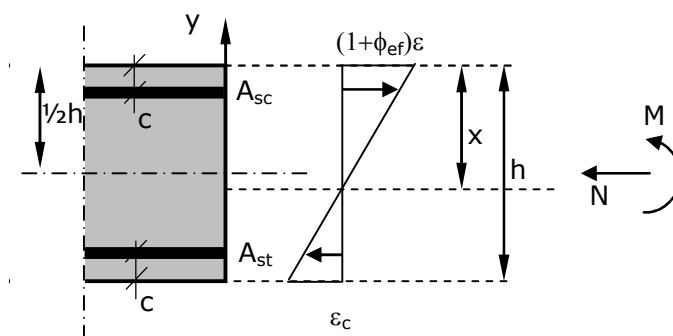
Det ses at integralet er i orden.

Resultantens placering målt fra nullinien kan herved bestemmes som

$$\begin{aligned} y' = \frac{y' N_c}{N_c} &= \frac{2}{3} \frac{x \left(1 - \zeta^3 - \frac{(A-B)}{2B^4} \left\{ -2B^3(1-\zeta^3) - 3B^2(1-\zeta^2) - 6B(1-\zeta) - 6 \ln \frac{1-B}{1-B\zeta} \right\} \right)}{\left(1 - \zeta^2 + \frac{(A-B)}{B^3} \left\{ B^2(1-\zeta^2) + 2B(1-\zeta) + 2 \ln \frac{1-B}{1-\zeta B} \right\} \right)} \Leftrightarrow \\ \frac{y'}{x} &= \frac{2}{3} \frac{\left(1 - \zeta^3 - \frac{(A-B)}{2B^4} \left\{ -2B^3(1-\zeta^3) - 3B^2(1-\zeta^2) - 6B(1-\zeta) - 6 \ln \frac{1-B}{1-B\zeta} \right\} \right)}{\left(1 - \zeta^2 + \frac{(A-B)}{B^3} \left\{ B^2(1-\zeta^2) + 2B(1-\zeta) + 2 \ln \frac{1-B}{1-\zeta B} \right\} \right)} \end{aligned}$$

På baggrund af krybning skal betontøjningerne øges med faktoren $1 + \phi_{ef}$, når de samlede snitkræfter (N og N_{tot}) bestemmes. Dette ændrer ikke i sig selv størrelsen af N_c og y' , men det har betydning for de samhörrende armeringstøjninger og udbøjninger.

5.1.3.2 Armeringsbidrag



Figur 9 Bestemmelse af armeringens bidrag til den statiske ækvivalens

For en given værdi af h_c og ε_0 bliver normalkræfterne i armeringen givet ved Trykarmeringen

$$N_{ac} = \min \left\{ \frac{x-c}{x} (1 + \phi_{ef}) \varepsilon_0 A_{sc} E_s, A_{sc} f_{yd} \right\}$$

Trækarmeringen

$$N_{at} = \min \left\{ \frac{h-x-c}{x} (1 + \phi_{ef}) \varepsilon_0 A_{st} E_s, A_{st} f_{yd} \right\}$$

5.1.3.3 Statiske ækvivalens

Det er nu muligt at opstille ligningerne for den statiske ækvivalens, som vil bestemme tværsnittets bæreevne.

Projektionsækvivalens

$$N_{Rd} = N_c + N_{ac} - N_{at}$$

Momentækvivalens

$$M_{Rd} = \left(\frac{1}{2} h - x + y' \right) N_c + \left(\frac{1}{2} h - c \right) N_{ac} + \left(\frac{1}{2} h - c \right) N_{at}$$

Det er efterfølgende muligt at bestemme det lastfremkaldte moment (M_0) som søjlen kan belastes med. Dette gøres ud fra søjlens ligevægtsligning.

$$M_{Rd} = M_{0Rd} + N_{Rd} u \Leftrightarrow M_{0Rd} = M_{Rd} - N_{Rd} \frac{1}{10} \frac{(1 + \phi_{ef}) \varepsilon_0}{x} L_s^2$$

5.1.4 Anvendelsesstadiet for betonsøjler og vægge

I forbindelse med undersøgelsen af betonsøjler og vægge i anvendelsesstadiet anvendes EC2's afsnit 7.4.3 for beregning af nedbøjninger og afsnit 7.3.4 for bestemmelse af revnevidder. Her beskrives hvorledes der i forbindelse med en anvendelses betragtning skal medtages bidrag fra krybning, tension stiffening og svind, dette ses af pkt. (3) til (6) i afsnit 7.4.3 i EC2. I forbindelse med anvendelsesstadiet er det udbøjningen og de lastfremkaldte revnevidder der har interesse.

Udbøjninger og revnevidder bestemmes ud fra en antagelse om at betonen i anvendelsesstadiet opfører sig lineærelastisk.

5.1.4.1 Beregninger af udbøjning

Bidrag fra krybning

I forbindelse med den lineærelastiske model medtages krybning ved at brugeren af programmet antager en værdi af α , som er forholdet mellem armeringens elasticitetsmodul og betonens elasticitetsmodul. Grunden til at dette er den mest rationelle måde at behandle anvendelsesstadiet er at den last man ofte ønsker at beregne anvendelsesstadiet for er en kombination af korttids og langtidslast, hvorfor kun dele af lasten vil give anledning til krybning. Men da det vil være et større regnskab, at skulle skelne skarpt imellem last, der giver anledning til krybning i anvendelsesstadiet og last der ikke giver

anledning til krybning, er det valgt at håndtere dette med et α der skal tage i regning at dele af lasten er bunden og derfor giver anledning til krybning.

Bidrag fra tension stiffening

Tensionstiffning er beskrevet i EC2 afsnit 7.4.2 pkt (3), hvor der står at for konstruktioner hvor spændingstilstanden bevirker at konstruktionselementet er et sted mellem fuldt revnet og urevnet, da kan udbøjningen bestemmes ud fra formel 7.18

$$u = \zeta u_{\text{revnet}} + (1 - \zeta) u_{\text{urevnet}}$$

ζ er fordelingskoefficient, der tager hensyn til tension stiffening og den bestemmes ved

$$\zeta = 1 - \beta \left(\frac{\sigma_{sr}}{\sigma_s} \right)^2$$

For urevnet tværsnit er $\zeta = 0$

For tværsnit der er urevnet sættes $\zeta = 0$, hvilket vil sige at der ikke er en kontinuert overgang mellem revnet og urevnet for $\beta = 0,5$.

β er en koefficient der tager hensyn til lastvarigheden. For vægge og søjler, hvor en stor andel af lasten som regel er egenvægt skal β sættes til 0,5.

σ_s er spændingen i trækarmringen beregnet ud fra en antagelse om at tværsnittet er fuldt revnet.

σ_{sr} er spændingen i trækarmringen beregnet ud fra en antagelse af revnet tværsnit, men påvirket af den last der netop forårsager den første revne. Dette betyder at σ_{sr} bestemmes ved at bestemme det moment der skal til at fremkalde spændingen f_{ctm} i den nederste betonfiber når tværsnittet er påvirket af den normalkraft der er antaget i anvendelsesstadiet.

u_{revnet} er udbøjningen bestemt ud fra en antagelse om at tværsnittet er fuldt revnet, dvs. trækstyrken af betonen ikke længere har nogen betydning.

u_{urevnet} er udbøjningen bestemt ud fra en antagelse om at tværsnittet er u_{revnet} . Den urevnet udbøjning bestemmes ved:

$$u_{\text{urevnet}} = \frac{1}{10} \frac{M_{E0d} + N_{Ed} u_{\text{urevnet}}}{\frac{E_s I_T}{\alpha}} L_s^2 \Leftrightarrow u_{\text{urevnet}} = \frac{M_{0Ed}}{\alpha L_s^2 - N_{Ed}}$$

I ovenstående beregninger sættes poissons forhold til 0, selvom der i afsnit 3.1.3 (4) er beskrevet at det kan variere mellem 0,2 og 0 for henholdsvis urevnet og revnet tværsnit.

Det er vigtigt at gøre sig klart, at ved at medtage tension stiffening i beregning af udbøjning, da vil den beregnede udbøjninger og spændinger ikke angive en statisk ækvivalent løsning.

Bidrag fra svind

I EC2 afsnit 7.4.3 (6) beskrives hvorledes svind bidrager til udbøjningen. Måden hvorved svind medtages er ved at søjlen eller vægge får et udbøjningstillæg for svind, som beregnes ved

$$u_s = \frac{1}{10} \varepsilon_{cs} \alpha \frac{S_a}{I_T} L_s^2$$

u_s er udbøjningstillægget fra svind

ε_{cs} er den frie svindtøjning, der bestemmes iht. afsnit 3.1.4 i EC2

S er det statiske moment af armeringen om tværsnittets tyngdepunkt

I_T er tværsnittets transformerede tværsnit for revnet og urevnet stadiet

α er forholdet mellem armeringens elasticitetsmodul og betonens elasticitetsmodul, som er antaget for at kunne medtaget krybning i beregningerne

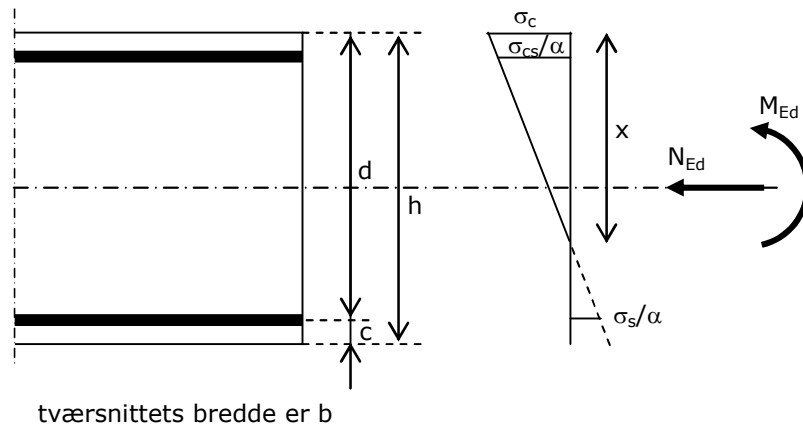
I tilfælde af at der er tale om et assymetrisk armeret tværsnit, hvor spændingstilstanden i tværsnittet bevirker at tværsnittet er et sted mellem urevnet og fuldt revnet bestemmes u_s som

$$u_s = \frac{1}{10} \varepsilon_{sc} \alpha \left(\zeta \frac{S_{a,revnet}}{I_{T,revnet}} + (1 - \zeta) \frac{S_{a,urevnet}}{I_{T,urevnet}} \right) L_s^2$$

Det er interessant at være opmærksom på, at formlerne for en søjle og/eller væg, der er urevnet og armeret med symmetrisk armering, ikke udsættes for svinddeformationer, da det statiske moment af armeringen om tyngdepunktet er nul.

Udbøjninger i fuldt revnet tværsnit

Nedenfor opstilles den statiske ækvivalens for et betontværsnit med trykarmering påvirket af moment og normalkraft.



Geometriske betingelser

$$\sigma_{sc} = \alpha \sigma_c \frac{x - c}{x}$$

$$\sigma_s = \alpha \sigma_c \frac{d - x}{x}$$

Ækvivalensligninger

Projektionsligning $N_{Ed} = \frac{1}{2} b x \sigma_c + \sigma_{sc} A_{sc} - \sigma_s A_{st}$

Momentligning $M_{Ed} = \frac{1}{2} b x \sigma_c \left(\frac{h}{2} - \frac{x}{3} \right) + (\sigma_{sc} A_{sc} + \sigma_s A_{st}) \left(\frac{h}{2} - c \right)$

σ_s kan bestemmes ved at indsætte de geometriske betingelser i moment- og projektligning og løse disse to ligninger mht. x og σ_c , hvorefter σ_s kan bestemmes af den geometriske betingelse og ved søjlen/væggens ligevægtsligning: $M_{Ed} = M_{0Ed} + N_{Ed} u_{revnet}$. Det ses at processen er iterativ indtil tilfredsstillende overensstemmelse mellem det påsatte moment og det påsatte moment bestemt ud fra søjlen/væggens ligevægtsligning.

Moment der netop revner tværsnittet

Momentet der netop skal til at revne tværsnittet bestemmes ud fra den tekniske elasticitetsteori, hvor der netop kræves at der er spændingen f_{ctm} i den yderste betonfiber. Dvs.

$$f_{ctm} = \frac{N_{Ed}}{A_T} - \frac{M_r}{I_T} \eta \Leftrightarrow M_r = \left(f_{ctm} + \frac{N_{Ed}}{A_T} \right) \frac{I_T}{\eta}$$

Hvor η er afstanden fra tværsnittets tyngdepunkt til den nederste betonfiber med spændingen f_{ctm} .

Revnevidder

Revnevidder bestemmes iht. afsnit 7.3.4. Revnevidderne bestemmes ud fra en antagelse om at tværsnittet er fuldt revnet. Dette betyder at de beregnede udbøjninger og revnevidder ikke svarer til den samme spændingstilstand. Den maksimale revnevidde bestemmes ud fra EC2's formel (7.8):

$$w_k = s_{r,maks}(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$$

- $s_{r,maks}$ er den maksimale revneafstand
- ε_{sm} er middeltøjningen i armeringen under den relevante lastkombination, inklusiv virkningen af tvangsdeformationer og under hensyntagen til virkningen fra tension stiffening.
- ε_{cm} er middeltøjningen i betonen mellem revnerne

forskellen mellem ε_{sm} og ε_{cm} kan beregnes som

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ctm}}{\rho} (1 + \alpha\rho)}{E_s} \geq 0,6 \frac{\sigma_s}{E_s}$$

- σ_s er spændingen i trækarmeringen under antagelse af at tværsnittet er revnet
- α E_s/E_{cm}
- ρ er armeringsforholdet bestemt som $\min(A_{st}/2,5c; 3 \cdot A_{st}/(h-x); 2A_{st}/h)$
- k_t 0,4

Den maksimale revneafstand beregnes som

$$s_{r,maks} = k_3 \left(c - \frac{d_a}{2} \right) + k_1 k_2 k_4 \frac{d_a}{\rho} = 3,4 \left(c - \frac{d_a}{2} \right) + 0,8 \cdot 0,5 \cdot 0,425 \cdot \frac{d_a}{\rho}$$

5.2 Varm tilstand

I dette afsnit beskrives hvorledes styrken af en betonsøjle under brand bestemmes. Fremgangsmåden er i princip den samme som for styrkeeftervisning af en betonsøjle i varm tilstand. Men da arbejdskurven for beton er anderledes i EC2 del 1-2 end den er i EC2 del 1-1 foretages der en analyse af arbejdskurven for beton, samt en udregning af betonbidraget til anvendelse i den statiske ækvivalens.

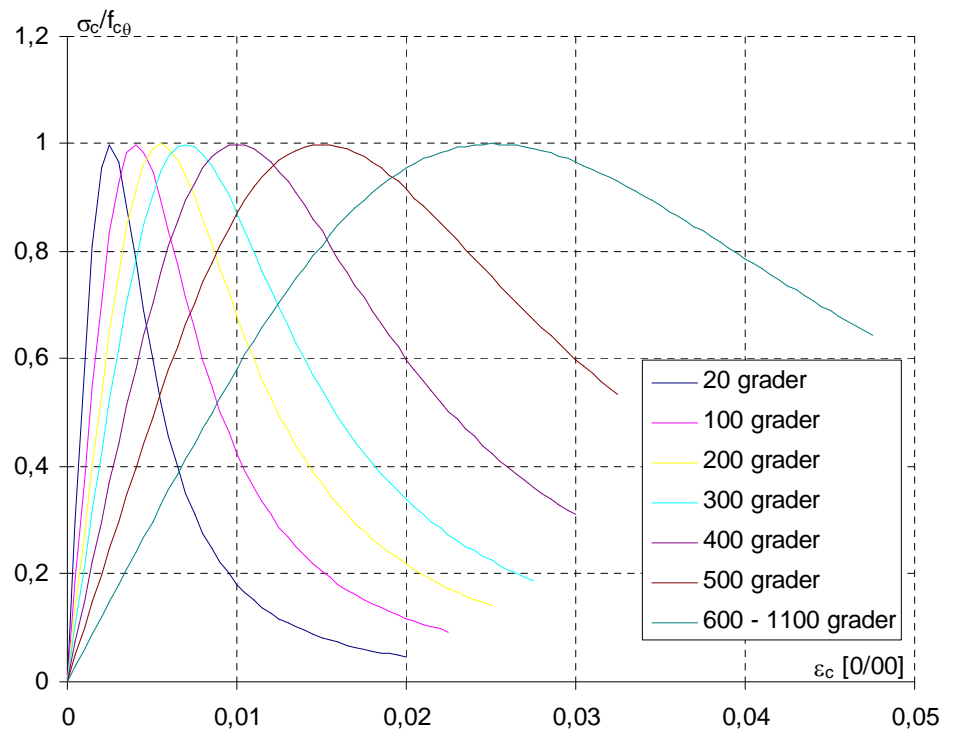
5.2.1 Betonens arbejdskurve

I EC2 del 1-2 afsnit 3.2.2.1 bestemmes betonens trykarbejdskurve under brand som:

$$\frac{\sigma_c}{f_{c\theta}} = \frac{3\varepsilon}{\varepsilon_{c1,\theta} \left(2 + \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_{c1,\theta}} \right)^3 \right)}$$

hvor

$\varepsilon_{c1,\theta}$ er tøjningen ved maksimal spænding. Denne findes i EC2 del 1-2 i tabel 3.1. Arbejdskurven er gældende for $\varepsilon_{c1,\theta} < \varepsilon_{cu1,\theta}$. $\varepsilon_{cu1,\theta}$ fremgår ligeledes af tabel 3.1.

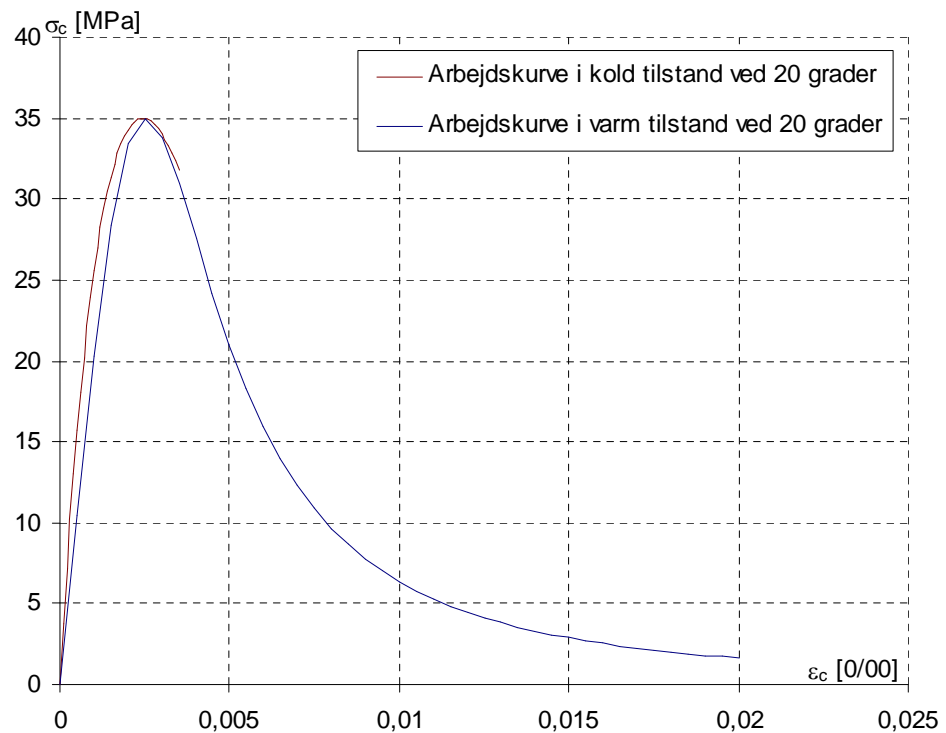


Figur 10 Betonens arbejdskurves afhængighed med temperaturen

I Figur 7 er arbejdskurven for beton plottet ved forskellige temperaturniveauer.

I EC2 er der angivet en ret linie for den nedadgående gren på arbejdskurven. Den anvendes ikke i beregningerne.

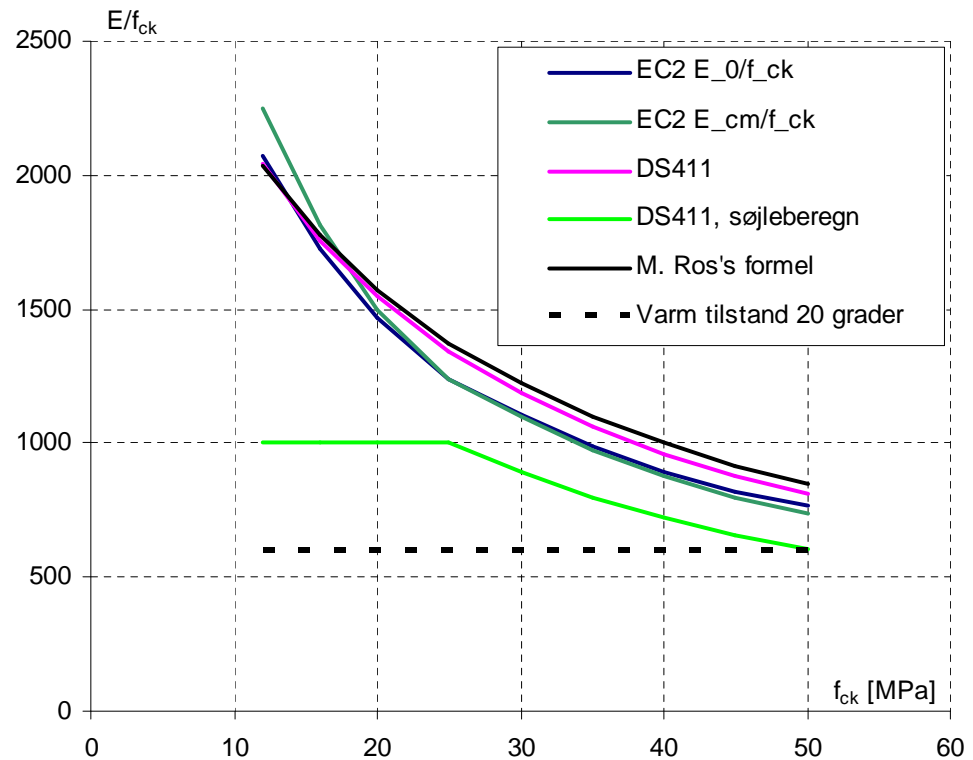
Sammenligner man arbejdskurven angivet i EC2 del 1-2 med arbejdskurven angivet i EC2 del 1-1 får man for en beton 35 sammenligningen vist i Figur 8. Det ses af figuren at arbejdskurven for den kolde beregning er væsentlig stejlere end arbejdskurven som anvendes til brandberegning.



Figur 11 Sammenligning af arbejdskurven for brandberegning med arbejdskurven for kold beregning for en beton 35.

Den anden hældning på arbejdskurven har meget at sige hvad angår betonens stivhed. Plottes begyndelsesstivheden af arbejdskurven i EC2 del 1-2 sammen med graferne afbilledet i Figur 3, får man afbildning som vist i Figur 9.

Det fremgår af Figur 9 at stivheden af betonen ved en brandberegning er væsentlig reduceret.



Figur 12 Stivheden af beton i hhv. kold og varm tilstand

5.2.2 Tværsnitsanalyse

5.2.2.1 Betonbidrag

Trykspændingen i betonen kan, med samme notation som anvendt ved den kolde beregning, skrives som:

$$\sigma_c = 3 \frac{\frac{\varepsilon_0}{\varepsilon_{c1\beta}} t}{2 + \left(\frac{\varepsilon_0}{\varepsilon_{c1\beta}}\right)^3 t^3} f_{cd} = 3 \left(\frac{\varepsilon_{c1\beta}}{\varepsilon_0}\right)^2 \frac{t}{2 \left(\frac{\varepsilon_{c1\beta}}{\varepsilon_0}\right)^3 + t^3} f_{cd}$$

Følgende konstanter indføres

$$A = \sqrt[3]{2} \frac{\varepsilon_{c1\beta}}{\varepsilon_0}, \quad B = 3 \left(\frac{\varepsilon_{c1\beta}}{\varepsilon_0}\right)^2$$

$$\sigma_c = B \frac{t}{A^3 + t^3} f_{cd}$$

Hermed kan resultatanten af spændingsblokken fra betonen i trykzonen bestemmes.

$$N_c = b' x \int_{\zeta}^1 \sigma_c dt = b' x f_{cd} B \int_{\zeta}^1 \frac{t}{A^3 + t^3} dt \Leftrightarrow$$

$$N_c = b' x f_{cd} B \left[\frac{1}{6A} \ln \frac{t^2 - At + A^2}{(t + A)^2} + \frac{1}{A\sqrt{3}} \arctan \frac{2t - A}{A\sqrt{3}} \right]_{\zeta}^1 \Leftrightarrow$$

$$N_c = b' x f_{cd} B \left(\frac{1}{6A} \ln \frac{1 - A + A^2}{(1 + A)^2} + \frac{1}{A\sqrt{3}} \arctan \frac{2 - A}{A\sqrt{3}} - \dots \right) \Leftrightarrow$$

$$N_c = b' x f_{cd} B \left(\frac{1}{6A} \ln \frac{\zeta^2 - A\zeta + A^2}{(\zeta + A)^2} - \frac{1}{A\sqrt{3}} \arctan \frac{2\zeta - A}{A\sqrt{3}} \right) \Leftrightarrow$$

Herefter kan afstanden y' fra resultantens placering til nullinien bestemmes. Dette gøres ved at bestemme resultantens moment omkring nullinien.

$$y' N_c = b B f_{cd} x^2 \int_{\zeta}^1 \frac{t^2}{A^3 + t^3} dt \Leftrightarrow$$

$$y' N_c = b B f_{cd} x^2 \left[\frac{1}{3} \ln(A^3 + t^3) \right]_{\zeta}^1 \Leftrightarrow$$

$$y' N_c = \frac{1}{3} b B f_{cd} x^2 \ln \frac{A^3 + 1}{A^3 + \zeta^3}$$

5.2.2.2 Armeringsbidrag

For en given værdi af x og ε_0 bliver normalkræfterne i armeringen givet ved Trykarmeringen

$$N_{ac} = \min \left\{ \frac{x - c}{x} (1 + \phi_{ef}) \varepsilon_0 A_{sc} E_s, A_{sc} f_{yd} \right\}$$

Trækarmringen

$$N_{at} = \min \left\{ \frac{h - x - c}{x} (1 + \phi_{ef}) \varepsilon_0 A_{st} E_s, A_{st} f_{yd} \right\}$$

5.2.2.3 Bestemmelse af temperaturen for brandpåvirkningen.

Programmet beregner temperaturforløbet ud fra en standard brandkurve, som den er angivet i det nationale annekst til EC2. Beregninger følger generelt annekst A i det nationale annekst. Her er temperaturen for en ensidig påvirkning som funktion af dybde x inde i materialet givet ved:

$$\theta(x, t) = 312 \log_{10}(8 \cdot t + 1) \cdot \exp(-1,9 \cdot k(t) \cdot x) \sin\left(\frac{\pi}{2} - k(t)x\right)$$

hvor

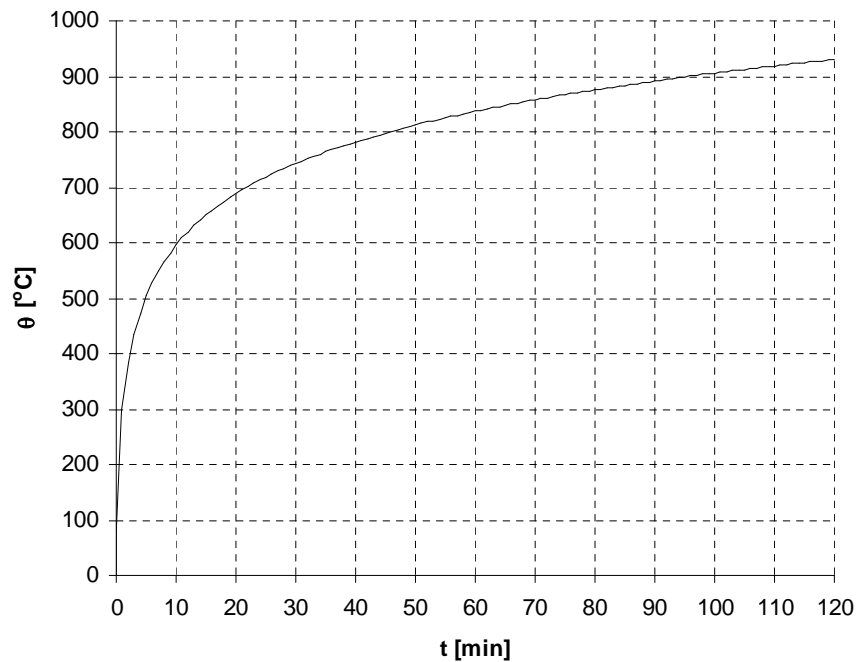
$$k(t) = \sqrt{\frac{\pi \cdot \rho \cdot c_p}{750 \cdot \lambda \cdot t}}$$

ρ er massefylden som sættes til 2300 kg/m³

c_p er den specifikke varmekapacitet som sættes til 1000 J/kg°C

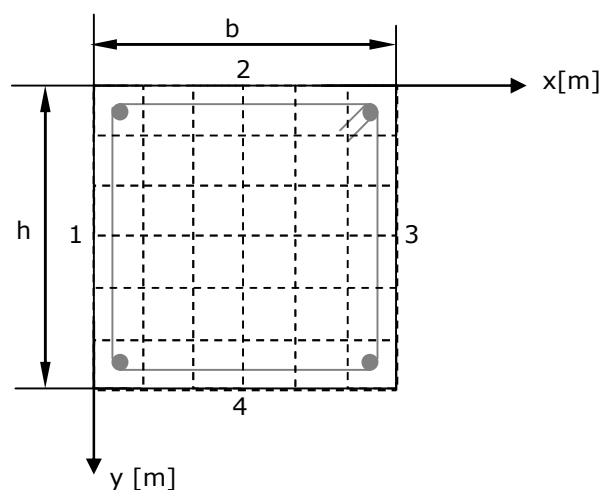
λ er varmeledningsevnen som sættes til 0,75 W/m°C, svarende til 500°C.

For $x = 0$ kan temperaturen i rummet bestemmes og derved standard brandkurven som funktion af t . Dette er gjort i Figur 1, hvor brandtiden er gående fra 0 min og op til 120 min



Figur 13 Standard brandkurven

Ved bestemmelse af temperaturforløbet igennem tværsnittet, inddeles tværsnittet i 36 deltværnsnit for en søjle og 6 skiver for en væg. Temperaturen bestemmes i centrum af hvert deltværnsnit ud fra formelen ovenfor.



Figur 14 Inddeling af tværsnittet til bestemmelse af temperaturfordelingen.

Ved bestemmelse af temperaturforløbet for brandpåvirkning fra to-, tre- eller firesidet påvirkning anvendes formlerne i det nationale anneks.

Nedenfor er angivet hvorledes temperaturen i et punkt i tværsnittet beregnes afhængig af brandpåvirkningen.

Tosidet brandpåvirkning

$$\theta(x, t) = (\theta_1(x, t) + \theta_3(b - x, t)) \frac{\theta_1(0, t)}{\theta_1(0, t) + \theta_1(b, t)} = \theta_1(x, t) + \theta_3(b - x, t)$$

$\theta_1(b, t)$ er altid nul, da minimum tykkelse af vægge og søjler er 120 mm.

Tresidet brandpåvirkning

$$\theta(x, y, t) = \theta(x, t) + \theta_2(y, t) - \frac{\theta(x, t)\theta_2(y, t)}{\theta_1(0, t)}$$

$$\theta(x, y, t) = \theta_1(x, t) + \theta_3(b - x, t) + \theta_2(y, t) - \frac{(\theta_1(x, t) + \theta_3(b - x, t))\theta_2(y, t)}{\theta_1(0, t)}$$

Firsidet brandpåvirket tværsnit

$$\theta(x, y, t) = (\theta_2(y, t) + \theta_4(h - y, t)) \left(1 - \frac{\theta_1(x, t) + \theta_3(b - x, t)}{\theta_1(0, t)} \right) + \theta_1(x, t) + \theta_3(b - x, t)$$

I beregning af temperaturerne kan temperaturen i tværsnittet ikke blive mindre end 20°C.

5.2.2.4 Svækkede materiale parametre

I det nationale anneks til EC2 er der angivet tabeller og grafer for styrkereduktionen af beton og armering som funktion af temperaturen. Det er på baggrund af disse at programmet finder styrkeparametre og reduceret tværsnit for søjlen under brand.

I forbindelse med bestemmelse af den svækkede randzone for betonen skal man anvende nedenstående formel.

$$a = w \left(1 - \left(\frac{\xi_{c, middel}}{\xi_c(\theta_M)} \right)^{1,3} \right) = \frac{b}{2} \left(1 - \left(\frac{\xi_{c, middel}}{\xi_c(\theta_M)} \right)^{1,3} \right)$$

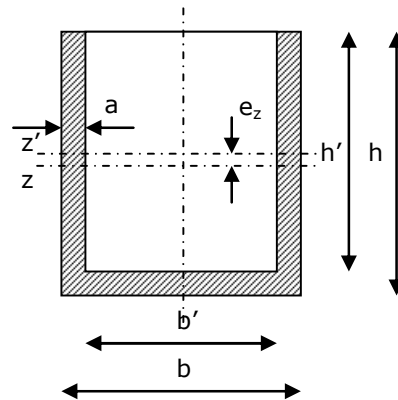
Her er $\xi_{c, middel}$ bestemt ved

$$\xi_{c, middel} = \frac{1 - 0,2}{(2n)^2} \sum_{i=1}^{36} \xi_c(\theta(x, y)), n = 3$$

hvor x og y maksimalt kan antage værdierne 1/2b og 1/2h henholdsvis. Grunden til at der midles over det halve tværsnit og ikke hele tværsnittet er at den svækkede randzone ellers ville blive forskellig fra tre og firesidet brandpåvirkning, hvilket ikke kan være rimeligt.

5.2.2.5 Bidrag fra tillægsexcentricitet fra svækket randzone

I beregningerne tages der hensyn til den ekstra excentricitet, som introduceres for et tværsnit, der har svækkelse på et ulige antal sider således at svækkelsen bliver asymmetrisk, som vist nedenfor.



Den numeriske værdi af tillægsexcentriciteten fra den svækkede randzone bestemmes ved.

$$e_z = \frac{1}{2} a$$

5.2.2.6 Termisk udbøjning

Den termiske udbøjning bestemmes iht. det nationale annek. s.

$$e_{termisk} = \frac{1}{8} \frac{1,1 \cdot 10^{-5} [\theta_s - \theta_{r,kant1} K_{r,kant1}]}{d_r} L_s^2$$

$$e_{termisk} = \frac{1}{8} \frac{1,1 \cdot 10^{-5} [\theta_{r,kant2} K_{r,kant2} - \theta_{r,kant1} K_{r,kant1}]}{h_r} L_s^2$$

I beregningsudtrykkene er det sidste led ($\theta_{r,kant1} K_{r,kant1}$) et udtryk for de transiente tøjninger. De transiente tøjninger kommer kun ifølge formlerne i spil når spændingen i den hårdest påvirkede betonfiber er mindre end $1/2,35 \cdot f_{ck} = 0,425 \cdot f_{ck}$. Ved dannelse af bæreevnekurven vil man i langt de fleste tilfælde have spændinger der er større en 42 % af den enaksede trykstyrke i den maksimalt belastet fiber i betonen. I beregningerne ses der derfor bort fra bidraget fra de transiente tøjninger. De transiente tøjninger udgør en labil tilstand for søjlernes bæreevne, hvilket er uhensigtsmæssigt og ikke ønskes medtaget i beregning af bæreevnen.

5.2.2.7 Statiske ækvivalens

Det er nu muligt at opstille ligningerne for den statiske ækvivalens, som vil bestemme tværsnittets bæreevne, når der regnes på det reducerede tværsnit givet ved $h' = h - 2a$ og $b' = b - 2a$ i tilfældet af et firesidet brandpåvirket tværsnit.

Projektionsækvivalens

$$N_{Rd} = N_c + N_{ac} - N_{at}$$

Momentækvivalens

$$M_{Rd} = \left(\frac{1}{2} h' - x + y'\right) N_c + \left(\frac{1}{2} h' - c\right) N_{ac} + \left(\frac{1}{2} h' - c\right) N_{tc}$$

Det er efterfølgende muligt at bestemme det lastfremkaldte moment (M_{0Rd}) som søjlen kan belastes med. Dette gøres ud fra søjlens ligevægtsligning.

$$M_{Rd} = M_{0Rd} + N_{Rd}u \Leftrightarrow$$

$$M_{0Rd} = M_{Rd} - N_{Rd} \left(\frac{1}{10} \frac{(1 + \phi) \epsilon_0}{h_c} L_s^2 + \frac{1}{8} \frac{1,1 \cdot 10^{-5} \theta_s}{d} L_s^2 \right)$$

6 Sammenligning med beregning efter DS411 og forsøg

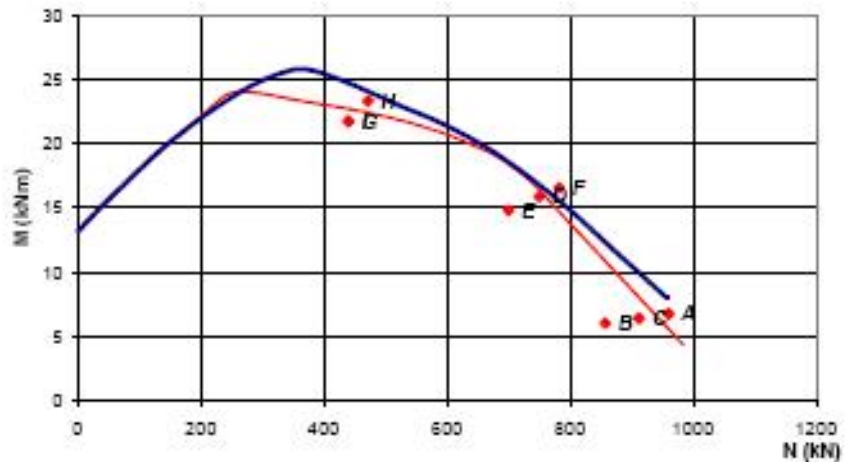
6.1 Kortidsforsøg med søjler - kold tilstand

I nærværende afsnit sammenlignes beregningsmetoden efter EC2 og DS411 med kortidsforsøg. Dvs. at der ikke er krybning. Forsøgene der sammenlignes med er udført af S. Foster i 1997 og udgivet i ACI V94, No. 3 under titlen: "Experimental Tests on Eccentrically loaded High-Strength Concrete Columns."

I denne sammenligning er anvendt forsøg med en trykstyrke på 43 MPa. Der er anvendt følgende midlet materialeleværdier til sammenligningen.

| | | |
|-------------|------------|---------|
| Materialer | f_{ck} | 43 MPa |
| | f_{yk} | 480 MPa |
| | γ_c | 1,00 |
| | γ_s | 1,00 |
| Søjlelængde | L_s | 1455 mm |
| Tværsnit | h | 150 mm |
| | b | 150 mm |
| | c | 15 mm |
| Trykarm. | d_s | 12 mm |
| | Antal | 2 stk |
| Trækarm. | d_s | 12 mm |
| | Antal | 2 stk |

Plotter man forsøgsresultaterne sammen med bærevnekurven bestemt efter DS411 og EC2 får man et plot som vist nedenfor, hvor den røde kurve angiver beregninger efter DS411 og den blå kurve angiver beregninger efter EC2.



Figur 15 Beregninger sammenlignet med korttidsforsøg

Det ses at begge beregningsmetoder giver en god overensstemmelse med forsøg.

6.2 Langtidsforsøg med søjler - kold tilstand

I nærværende afsnit sammenlignes med forsøg og samtidig med beregninger efter DS411. Sammenligningen er foretaget i kold tilstand, hvor søjler er belastet igennem længere tid.

De forsøg der er sammenlignet med er udført af Robert F. Warner og Karl Kordina i 1975 med titlen Langzeitversuche an Stahlbetonsützen, udgivet i Deutscher Ausschuss für Stahlbeton Heft 250.

Søjlerne var alle ca. 5100 mm lange med et tværsnit på 265 x 173 mm. Armeringen består af 4 jern et i hvert hjørne med omsluttende bøjler. Der er i forsøgsserien varieret på armeringen.

Forsøgene er belastet med en excentrisk normalkraft i begge ender af søjlen. Normalkraften er overført til søjlen vha. en knivsæg.

Forsøgene blev foretaget i laboratorium ved en antaget luftfugtighed på 50%. Forsøgene blev efter 28 dage belastet med en langtidslast N_t , hvis varighed var mellem 400 og 600 dage. Herefter blev søjlen belastet til brud.

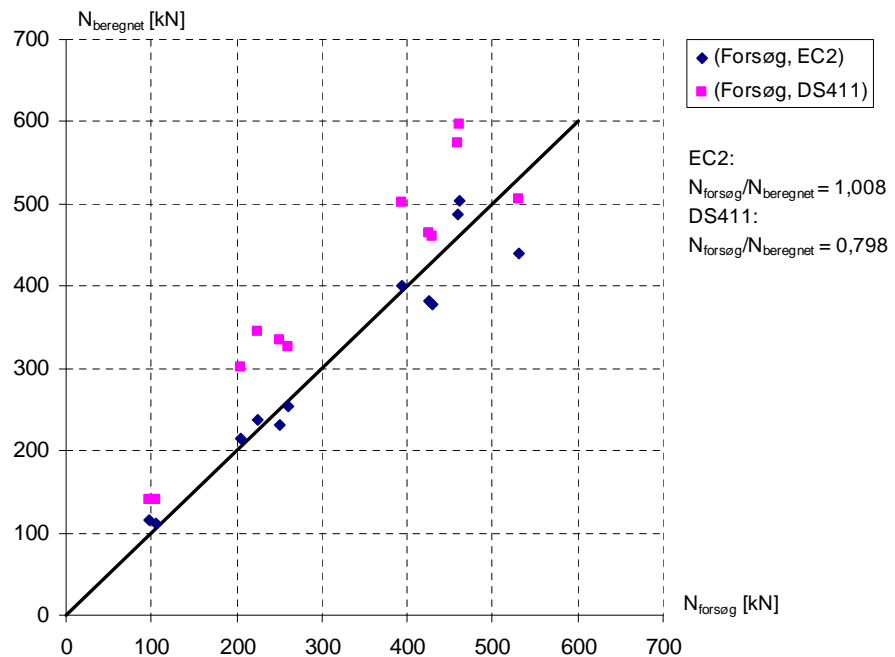
Beregningerne af de enkelte forsøg er vedlagt som bilag. Der er til beregningerne anvendt nedenstående inddata.

Tabel 1 Forsøgsdata anvendt til sammenligning

| No. | b | h | e | L | f _{ck} | f _{yk} | n | d _a | N _t /N _{Forsøg} | N _{Forsøg} | N _{EC2} | N _{DS411} | N _{Forsøg} /N _{EC2} | N _{Forsøg} /N _{DS411} |
|------|------|------|------|--------|-----------------|-----------------|---|----------------|-------------------------------------|---------------------|------------------|--------------------|---------------------------------------|---|
| | [mm] | [mm] | [mm] | [mm] | [MPa] | [MPa] | | [mm] | | [kN] | [kN] | [kN] | | |
| I | 265 | 172 | 85,5 | 5142,8 | 26,72 | 266,5 | 2 | 12 | 0,51 | 105 | 111,5 | 140 | 0,94 | 0,75 |
| II | 266 | 172 | 85,5 | 5142,8 | 26,96 | 266,5 | 2 | 12 | 0,39 | 98 | 115 | 141 | 0,85 | 0,70 |
| III | 265 | 173 | 34,2 | 5138,1 | 28,96 | 266,5 | 2 | 12 | 0,41 | 260 | 253,5 | 326 | 1,03 | 0,80 |
| IV | 264 | 171 | 34,2 | 5130 | 23,68 | 266,5 | 2 | 12 | 0,54 | 205 | 215 | 301 | 0,95 | 0,68 |
| V | 269 | 172 | 24,9 | 5125,6 | 42,4 | 458,1 | 2 | 12 | 0,25 | 530 | 439 | 505 | 1,21 | 1,05 |
| VI | 269 | 174 | 34,4 | 5133 | 31,2 | 462,1 | 2 | 18 | 0,55 | 394 | 401,5 | 501 | 0,98 | 0,79 |
| VII | 272 | 174 | 35 | 5133 | 28,88 | 266,8 | 2 | 12 | 0,57 | 224 | 238 | 345 | 0,94 | 0,65 |
| VIII | 269 | 173 | 34,4 | 5138,1 | 29,6 | 422,5 | 2 | 22 | 0,58 | 462 | 504 | 596 | 0,92 | 0,78 |
| IX | 265 | 172 | 24,9 | 5125,6 | 34,72 | 460 | 2 | 12 | 0,29 | 430 | 377 | 461 | 1,14 | 0,93 |
| X | 265 | 175 | 34,5 | 5197,5 | 26,24 | 462 | 2 | 18 | 0,56 | 425 | 382 | 465 | 1,11 | 0,91 |
| XI | 264 | 175 | 35 | 5127,5 | 25,76 | 267 | 2 | 12 | 0,58 | 250 | 231 | 334 | 1,08 | 0,75 |
| XII | 265 | 174 | 34,4 | 5133 | 26,16 | 423 | 2 | 22 | 0,62 | 460 | 487 | 575 | 0,94 | 0,80 |

Det ses af ovenstående tabel at forholdet mellem N_t og N_{Forsøg} varierer mellem 0,25 til 0,62. Dette forhold kan direkte anvendes som forholdet mellem det påsatte moment og brudmomentet som anvendes i EC2.

Plotter man resultaterne beregnet efter EC2 programmet og de beregnet resultater efter DS411 mod de målte forsøg, får man en afbildning som vist i Figur 11. Det ses at beregningerne efter DS411 giver anledning til bæreevner, der er ca. 20% højere end beregninger efter EC2. Dette forhold skyldes alene, at der i DS411 ikke er taget højde for krybning. Det ses ligeledes at langtidsforsøgene stemmer godt overens med beregningerne efter EC2, mens DS411 sammenlignet med forsøgene overvurderer bæreevnen.



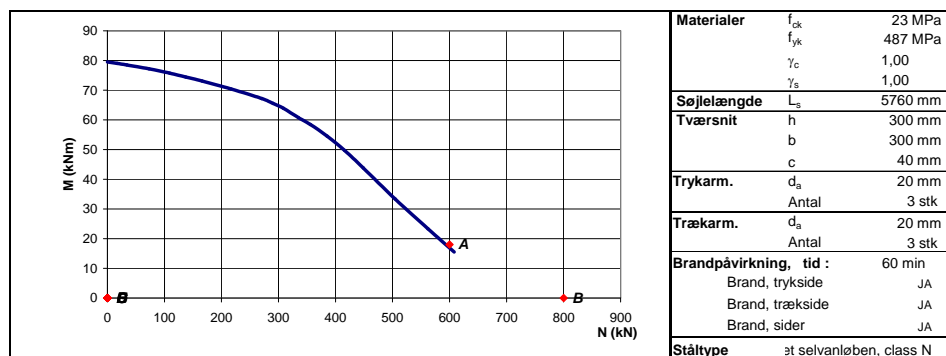
Figur 16 Forsøg sammenlignet med beregningsmetoden efter EC2 og DS411

6.3 Korttidsforsøg med søjler - varm tilstand

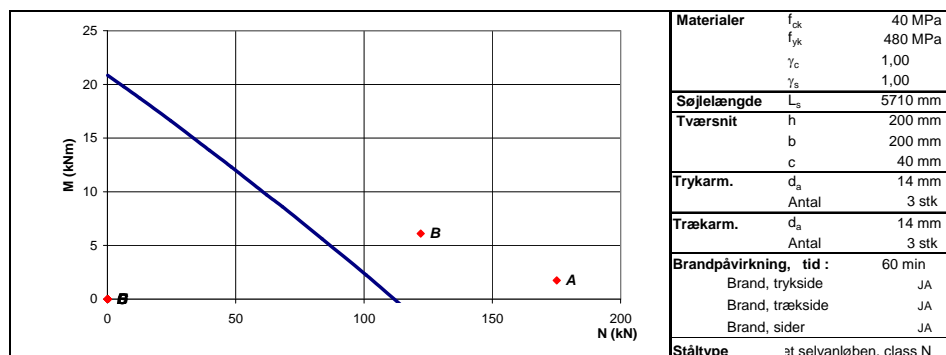
I forbindelse med udarbejdelsen af EC2's del 2 vedrørende brand har Kristian Hertz udarbejdet en kommentar til den metode der anvendes i forbindelse med EC2's del 2, hvor det fremgår at metoden, hvor man blot ud fra dæklaget fastlægger brandmodstandsevnen er på den usikre side, hvilket vil sige at dæklaget angivet i EC2 er for lille. Skrivelsen udarbejdet af Kristian Hertz kan findes på <http://forskningsdatabasen.dk/rec.external?id=dtu170531>. I forbindelse med skrivelsen er der samlet en række forsøg.

Nedenfor er beregninger udført ved hjælp af programmet sammenlignet med et par tilfældigt udvalgte forsøg, hvor der ikke har været afskalling af dæklaget. Grunden til at der ikke er sammenlignet med forsøg med dæklagsafskalling, er at det er et krav at betonen er designet således at dette ikke finder sted, iht. ENV1992-1-2 afsnit 4.1 (2)P.

Nedenfor er angivet sammenligningen med forsøg, der ligeledes er vedlagt som bilag. Her angiver punkt A og B forsøgs værdierne og G og H angiver bæreevnen fundet vha. programmet.



Figur 17 Forsøg 6 og 7

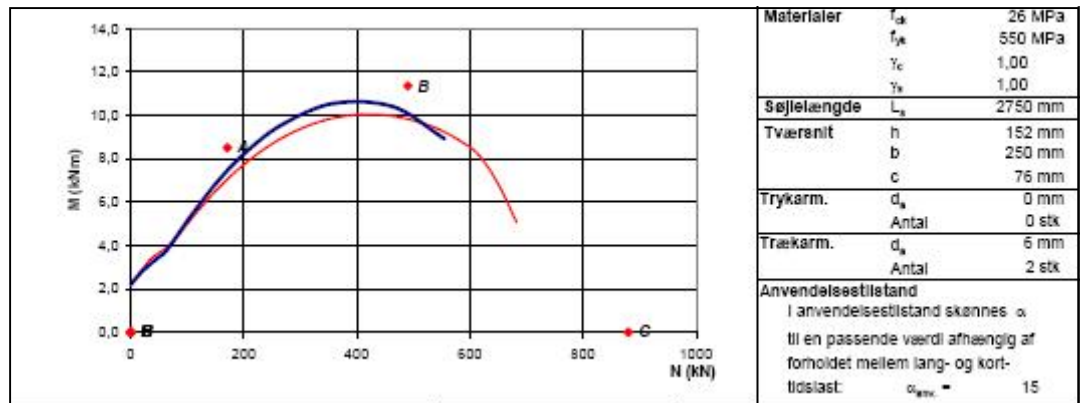


Figur 18 Forsøg 45 og 46

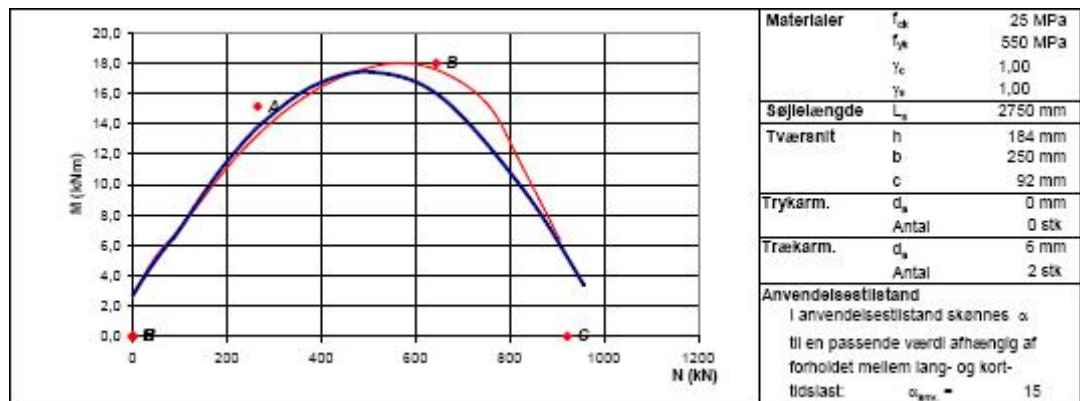
6.4 Korttidsforsøg med vægge - Kold tilstand

På laboratoriet for Bærende konstruktioner ved Aalborg Universitets institut for Byggeri og Anlæg er der i November 2006 udgivet en forsøgsrapport omhandlende 37 betonelementer. Vægelementerne var armeret med transport armering, dvs. en meget svar armering, der egentlig er lagt i for at sikre en revnefri transport. I nærværende sammenligning anvendes denne armering konstruktivt, da transportarmering i forsøgsserien blot tolkes som en minimumsarmering i væggene. Ved beregningerne på udvalgte tilfældige vægelementer fås en sammenligning som vist nedenfor.

I figurerne nedenfor angiver den røde kurve beregning efter DS411 og den blå kurve angiver beregning efter EC2. Punkterne som er plottet er de middelværdierne af forsøgsresultaterne.



Figur 19 V2E16 til V2E17 samt V6C13 til V6C16



Figur 20 V6C5 til V7C8 samt V10E12 til V10E15

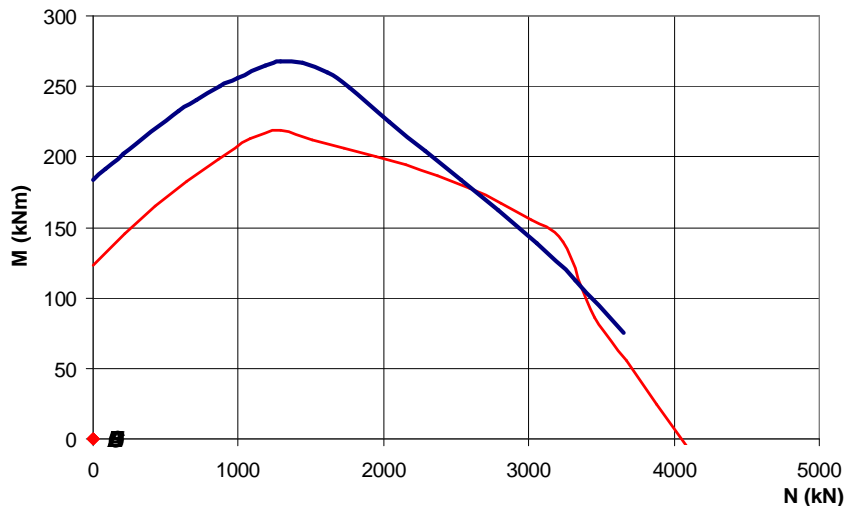
6.5 Brandberegninger

I nærværende afsnit sammenlignes brandberegninger efter EC2 programmet med brandberegningerne efter DS411. Der er ved beregningerne anvendt

nedenstående inddata. I beregningerne for EC2-programmet medtages fuldt bidrag fra krybning.

Tabel 2 Inddata til brandberegning

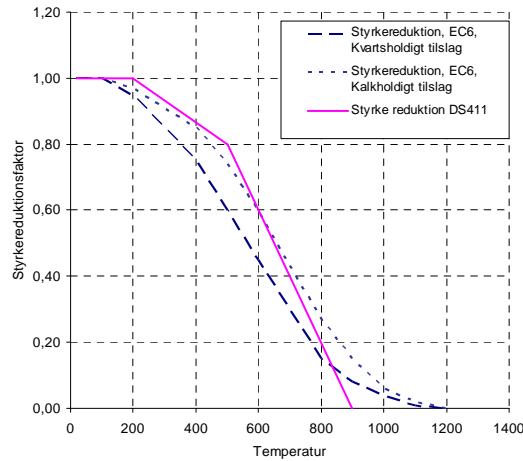
| | | | | | |
|--------------------------------------|-------------------------|---------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------|
| Materialer | f_{ck} | 40 MPa | Regningsmæssige parametre | f_{cd} | 40,0 MPa |
| | f_{yk} | 550 MPa | | $f_{yd,tryk}$ | 511 MPa |
| | γ_c | 1,00 | | $f_{yd,træk}$ | 511 MPa |
| | γ_s | 1,00 | | | |
| Søjlelængde | L_s | 4000 mm | Krybetal | RH | 80% |
| Tværsnit | h | 400 mm | | t_o | 28 døgn |
| | b | 400 mm | | ϕ_o | 1,42 |
| | c | 50 mm | | M_{0Eqp}/M_{0Ed} | 0,00 |
| Trykarm. | d_a | 20 mm | ϕ_{ef} | 0,00 | |
| | Antal | 4 stk | | | |
| Trækarm. | d_a | 20 mm | Reduktionsparametre | Randzone: a | 42 mm |
| | Antal | 4 stk | | Beton: $k_{c,M}$ | 1,00 |
| Brandpåvirkning, tid : 60 min | | | | Trykarm: $f_{sy,\theta} / f_{yk}$ | 0,93 |
| | Brand, trykside | JA | | $E_{s,\theta} / E_s$ | 1,00 |
| | Brand, trækside | JA | Trækarm: $f_{sy,\theta} / f_{yk}$ | 0,93 | |
| | Brand, sider | JA | $E_{s,\theta} / E_s$ | 1,00 | |
| Ståltipe | æt selvanløben, class N | | | | |



Figur 21 Sammenligning mellem EC2 beregninger og DS411 beregninger for en brand i 60 min.

Det ses af Figur 12 at beregningerne efter EC2 og DS411 ikke giver samme resultat. I grafen angiver den blå kurve beregninger efter EC2 og den røde kurve angiver beregninger efter DS411. For et stort interval giver EC2 anledning til en bedre bæreevne end DS411. Dette skyldes at der i EC2 er ændrede værdier af styrkereduktionsfaktorerne for armering. For høje normalkræfter giver DS411 bedre resultater. Dette skyldes at man med EC6 har ændret

betonens styrkereduktionsfaktor, når man må antage at beton i Danmark er støbt med kvartsholdigt tilslag.

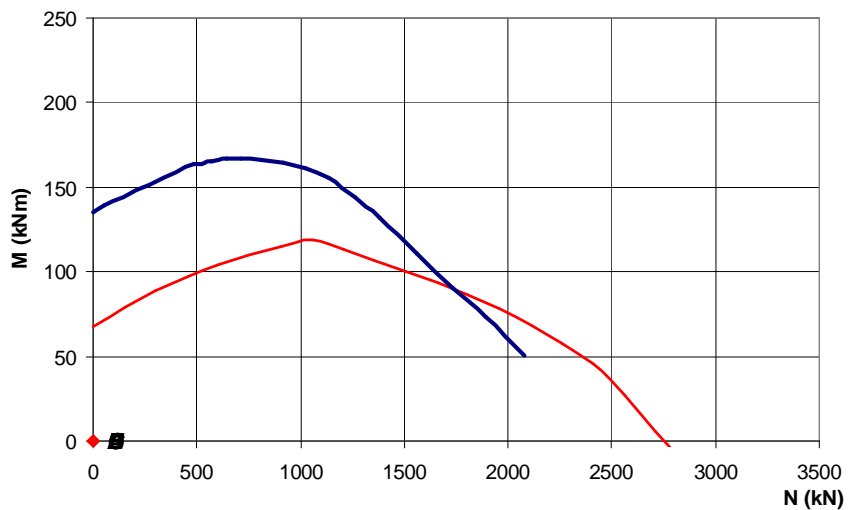


tilslag.

Det ses af figuren til venstre hvorledes DS kurven i det kritiske område omkring 500 °C, giver markant mindre reduktion af betonens trykstyrke. Denne forskel vil bevirke at værdien af den reducerede randzone vil stige iht. beregningerne efter EC6, hvorfor man vil

opleve markant lavere bæreevne for høje normalkræfter, samt i områder, hvor bæreevnen bestemmes af betonen. Fx i tilfældet af slanke søjler.

Øges brandtiden for den samme søjle til 120 min får man resultatet vist i nedenstående figur.



Figur 22 Sammenligning mellem EC2 beregninger og DS411 beregninger for en brand i 120 min

Der ses at gælde det samme billede som for en 60 min brand.

6.6 Overarmeret tværsnit

I DS411 har man ikke haft en øvre grænse for den armeringsmængde man måtte putte i søjler og vægge. Dette skyldes formentlig at man ikke har medtaget krybning i forbindelse med beregning af søjler og vægge.

I og med at det nu iht. EC2 er blevet et krav at man skal medtage bidraget fra krybning er der kommet et krav til hvor meget armering man kan tillade i en søjle. Dette armeringskrav er

$$A_s < A_{s,max} = \begin{cases} 0,04A_c & \text{Uden for stød i armeringen} \\ 0,08A_c & \text{Ved stød i armeringen} \end{cases}$$

I programmet er denne begrænsning taget så alvorligt at der ikke kan beregnes en bæreevne hvis ikke dette krav er overholdt. Dette skyldes at man ved overarmerede tværsnit kan forvente at momentkapaciteten stiger ved indregning af krybning i forhold til tilfældet hvor krybning ikke er medtaget.

7 Sammenligning med metode a Nominel stivhed

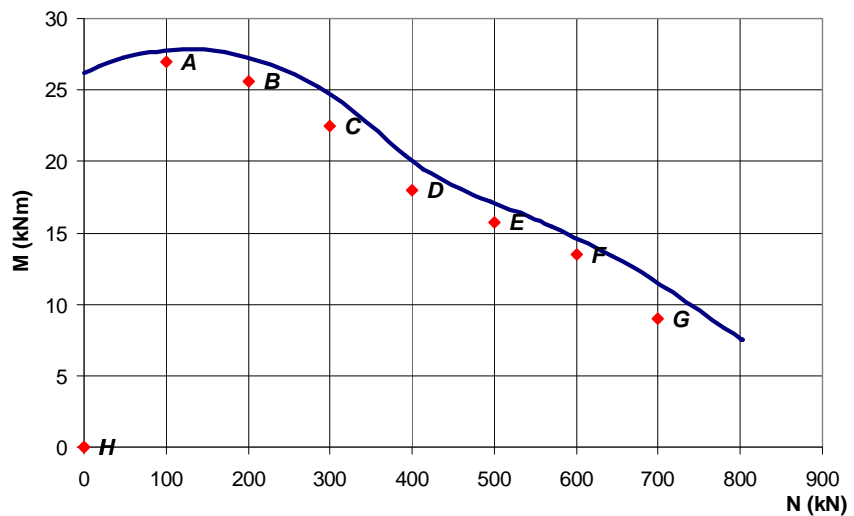
I nærværende afsnit sammenlignes den tilnærmede beregningsmetode fra EC2 og det nationale anneks (Nominel stivhedsmetoden) med beregningsmetoden som er anvendt i beregningsmetoden. Der er i første omgang ved sammenligningen beregnet på en søjle med nedenstående inddata. Det ses at der er tale om en relativ slank søjle

Tabel 3 Inddata anvendt til sammenligning af søjleberegningemetoder

| | | | | | |
|--------------------|------------|---------|----------------------------------|--------------------------------|-----------|
| Materialer | f_{ck} | 40 MPa | Regningsmæssige parametre | f_{cd} | 28,6 MPa |
| | f_{yk} | 550 MPa | | f_{yd} | 458 MPa |
| | γ_c | 1,40 | | E_{cd} | 25157 MPa |
| | γ_s | 1,20 | | | |
| Søjlelængde | L_s | 6000 mm | Krybetal | RH | 80% |
| Tværsnit | h | 250 mm | | t_o | 28 døgn |
| | b | 250 mm | | ϕ_o | 1,47 |
| | c | 40 mm | | M_{0Eqp}/M_{0Ed} | 0,50 |
| Trykarm. | d_a | 10 mm | ϕ_{ef} | 0,73 | |
| | Antal | 4 stk | Bøjler | Generelt: ϕ 6 / 200 mm | |
| Trækarm. | d_a | 10 mm | | Top og bund: ϕ 6 / 120 mm | |
| | Antal | 4 stk | | | |

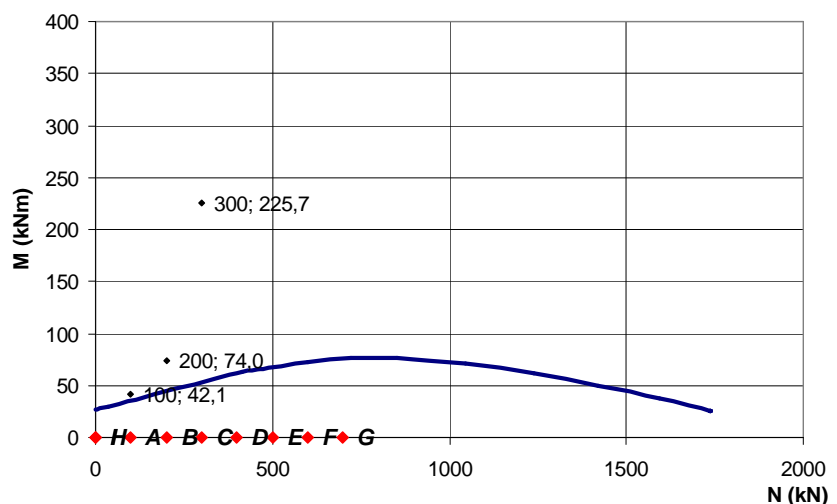
| | |
|------|----------|
| N | M_{0d} |
| [kN] | [kNm] |
| 100 | 27 |
| 200 | 26 |
| 300 | 23 |
| 400 | 18 |
| 500 | 16 |
| 600 | 14 |
| 700 | 9 |

Sammenligner man ovenstående data med beregningerne anvendt i programmet får man resultatet plottet i nedenstående figur.



Figur 23 Beregninger efter EC2 programmet

Fortager man beregningerne efter EC2's metode a nominel stivhed får man at søjlen kun kan dimensioneres for de tre første moment og normalkraft kombinationer. De resterende kombinationer giver anledning til negative momenter da momentforøgelses faktorens singularitet bevirker disse negative værdier. I nedenstående figur er vist de momenter som tværsnittet skal kunne modstå. I samme graf er det pågældende tværsnittets momentkapacitet tegnet med den blå kurve. De røde prikker angiver de niveauer af normalkraft der er angivet i tabel 2.



Figur 24 Beregninger efter nominel stivheds metoden

Det ses at ingen af lastkombinationerne kan bringes til at holde for det pågældende tværsnit.

Det må derfor konkluderes, at beregninger efter den simplificerede metode er stærkt konservative.

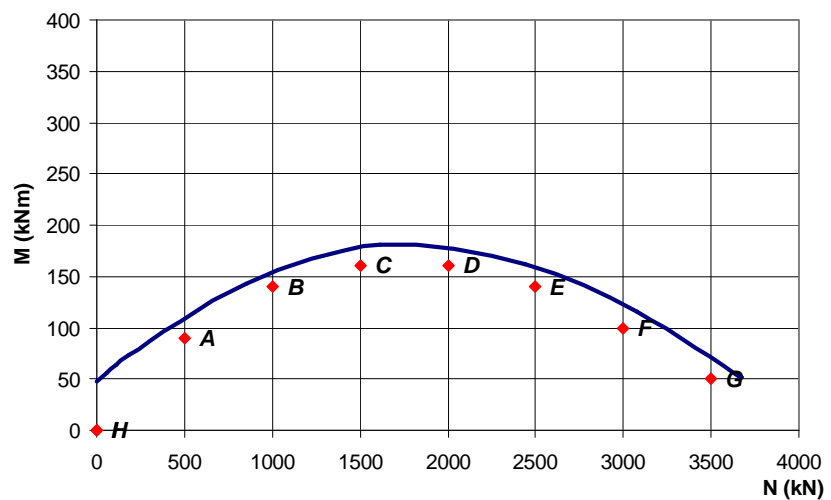
Betragtes dernæst en kortere og mere traditionel søjle med inddata som angivet i Tabel 3.

Tabel 4 Inddata anvendt til sammenligning af søjleberegningmetoder

| | | | | | |
|--------------------|------------------|---------|----------------------------------|-----------|-----------|
| Materialer | f_{ck} | 40 MPa | Regningsmæssige parametre | f_{cd} | 40,0 MPa |
| | f_{yk} | 550 MPa | | f_{yd} | 550 MPa |
| | γ_{beton} | 1,00 | | E_{ocr} | 28868 MPa |
| | γ_{arm} | 1,00 | | α | 10,00 |
| Søjlelængde | L_s | 4000 mm | k | 0,25 | |
| Tværsnit | h | 400 mm | ξ | 0,727 | |
| | b | 400 mm | σ_1 | 10,4 MPa | |
| | a | 40 mm | σ_2 | 26,0 MPa | |
| Trykarm. | d_a | 10 mm | ϕ_c | 0,20% | |
| | Antal | 4 stk | ϕ_t | 0,20% | |
| Trækarm. | d_a | 10 mm | | | |
| | Antal | 4 stk | | | |

| | |
|------|----------|
| N | M_{0d} |
| [kN] | [kNm] |
| 500 | 90 |
| 1000 | 140 |
| 1500 | 160 |
| 2000 | 160 |
| 2500 | 140 |
| 3000 | 100 |
| 3500 | 50 |

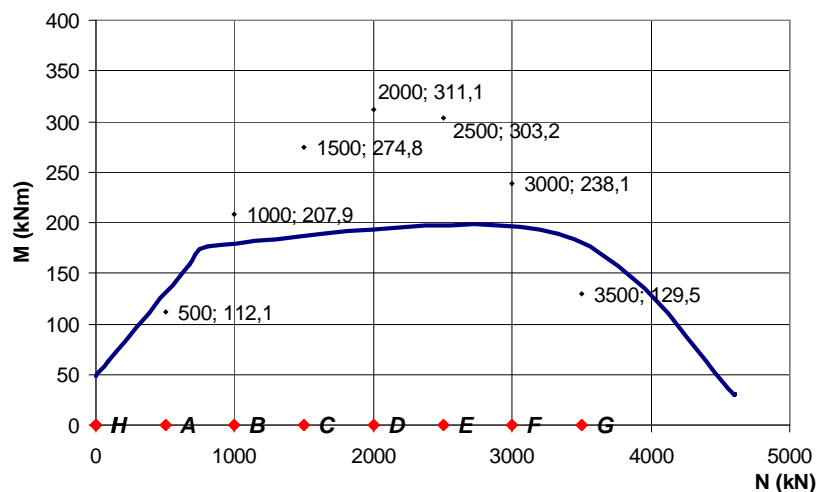
Beregningerne efter EC2 programmet viser at alle lasttilfælde kan bringes til at holde.



Figur 25 Beregninger efter EC2 programmet

Fortager man beregningerne efter EC2's metode a nominel stivhed får man at søjlen skal dimensioneres for en (N, M) kombination angivet i nedenstående graf. I samme graf er tværsnittets momentkapacitet tegnet med den blå kurve. De røde prikker angiver de niveauer af normalkraft der er angivet i tabel 3.

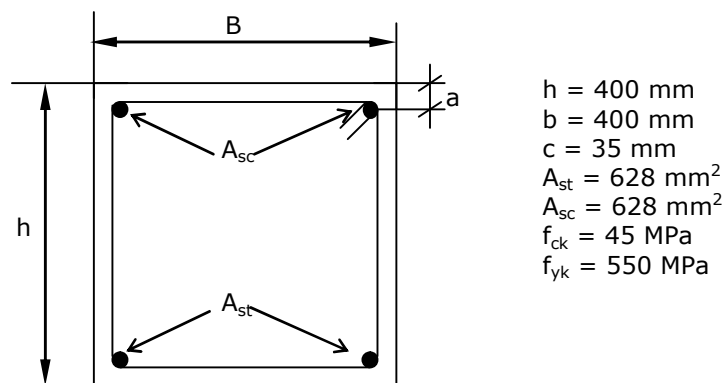
Det ses at kun i to tilfælde kan den valgte armering bringes til at holde ved anvendelse af nominel stivheds metoden. Det viser igen at metoden er stærk konservativ og vil øge materialeforbruget.



Figur 26 Beregninger efter nominel stivheds metoden

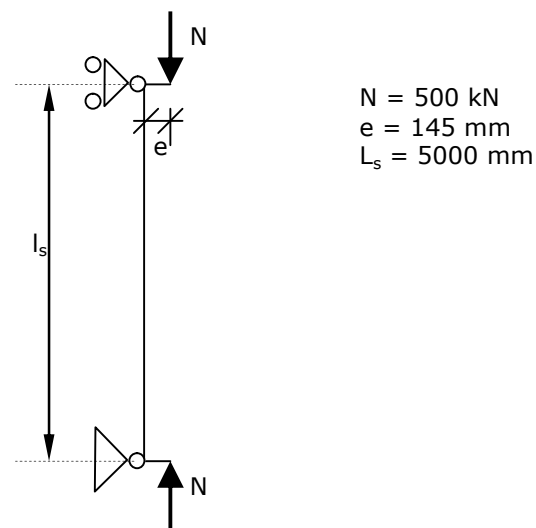
8 Beregningseksempel

I nærværende eksempel foretages en beregning af en betonsøjle i kold tilstand og påvirket af en firesidet brandpåvirkning, når brandtiden er 60 min og temperaturudviklingen i forbindelse med branden følger en standard brand. Søjleens tværsnit og geometri er vist nedenfor. Som armering anvendes armering der er varmvalset.



Figur 27 Søjletværsnit og dimension

Statiske system og belastning



Figur 28 Statisk system, samt belastning

Eksemplet svarer til det der er lavet i udviklingen af DS411 beregningsprogrammerne.

8.1 Styrke eftervisning i Kold tilstand

8.1.1 Bestemmelse af krybetal og stivhed

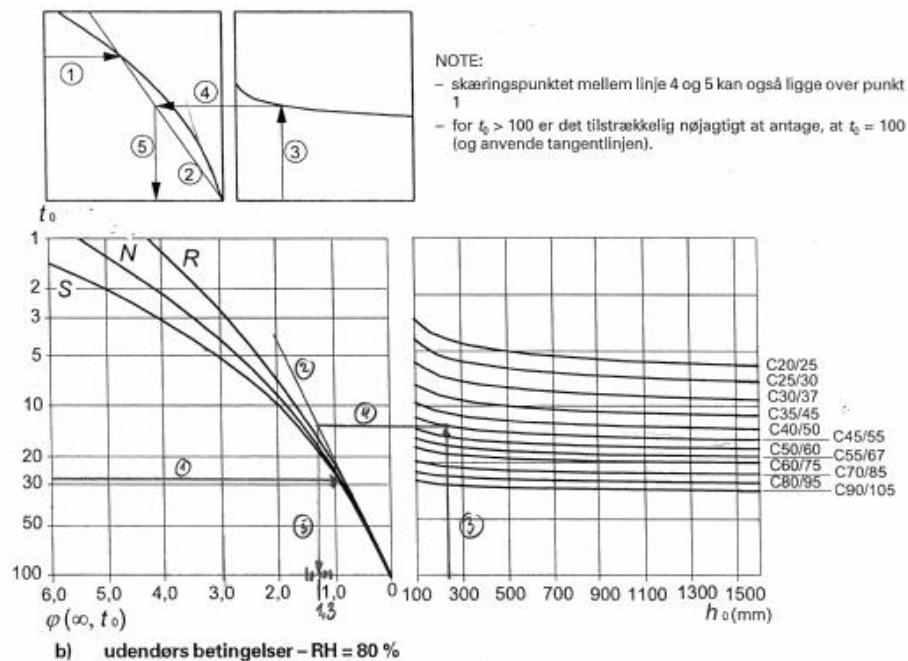
Det antages at søjlen før den monteres i byggeriet og dermed belastes har hærdet i 28 døgn under en relativ luftfugtighed på 80%. Iht. afsnit 3.1.4 i EC2 bestemmes krybetallet φ_0 ud fra nedenstående princip.

Inddata til grafen er

$$t_0 = 28 \text{ døgn}$$

$$h_0 = 2A_c/U = 2 \cdot 400^2 / (4 \cdot 400) = 200 \text{ mm}$$

Af Figur 3.1 i EC2 bestemmes $\varphi_0 = \varphi(\infty, t_0) = 1,3$.



Figur 3.1 – Metode til bestemmelse af krybetallet $\varphi(\infty, t_0)$ for beton under normale omgivende betingelser

Alternativt kan Annex B anvendes til bestemmelse af krybetallet.

Elasticitetsmodulet beregnes som

$$E_{cm} = 22 \left(\frac{f_{cm}}{10} \right)^{0,3} 10^3$$

8.1.2 Formler anvendt i de egentlige beregninger

I de efterfølgende beregninger er følgende formler anvendt. Det antages at der er trækflydning i armeringen og at $h_c < h$, dvs. $\zeta=0$.

Tøjningen i den yderste fiber af betonen skønnes til

$$\varepsilon_0 = 0,0008$$

Første bestemmes konstanterne

$$k = 1,05 \frac{E_{cm} \varepsilon_{c1}}{f_{ck}} = 1,05 \frac{36283,2 \cdot 0,0024}{45} = 2,03$$

$$A = \frac{\varepsilon_0}{k \varepsilon_{c1}} = \frac{0,0008}{2,03 \cdot 0,0024} = 0,16$$

$$B = (2 - k) \frac{\varepsilon_0}{\varepsilon_{c1}} = (2 - 2,03) \frac{0,0008}{0,0024} = -0,01$$

$$D = k \frac{\varepsilon_0}{\varepsilon_{c1}} f_{cd} = 2,03 \frac{0,0008}{0,0024} 32,1 = 21,77$$

Herefter antages trykzonens dybde $x = 130$ mm

Den resulterende kraft fra betonen i tryk bestemmes

$$N_c = \frac{1}{2} B x D \left(1 + \frac{(A - B)}{B^3} (B^2 + 2B + 2 \ln(1 - B)) \right) \Rightarrow$$

$$N_c = \frac{1}{2} 400 \cdot 138 \cdot 21,77 \left(1 + \frac{0,16 + 0,01}{(-0,01)^3} (0,01^2 - 2 \cdot 0,01 + 2 \ln(1 + 0,01)) \right) = 531434 \text{ N}$$

Det resulterende tryk i trykarmeringen bestemmes

$$N_{ac} = \frac{x - c}{x} (1 + \phi_{ef}) \varepsilon_0 A_{sc} E_{sc} = \frac{138 - 35}{138} (1 + 0,65) 0,0008 \cdot 628 \cdot 200000 = 123743 \text{ N}$$

Det resulterende træk i trækarmingen bestemmes under antagelse af at der er flydning i armeringen

$$N_{at} = A_{st} f_{yd} = 628 \cdot 458,3 = 287833 \text{ N}$$

Projektionsligningen PL:

$$N = N_c + N_{ac} - N_{at} = 531434 + 123743 - 287833 = 367,3 \text{ kN} < 500 \text{ kN}$$

Det ses at den valgte værdi af ε_0 ikke opfylder projektligningen for den valgte værdi af x . Derfor ændres værdien af ε_0 indtil projektligningen er opfyldt for den valgte værdi af x . Dette ses i Tabel 5 at ske for $\varepsilon_0 = 0,00099$. Beregninger ovenfor gentages for den nye værdi af tøjningen.

$$k = 1,05 \frac{E_{cm} \varepsilon_{c1}}{f_{ck}} = 1,05 \frac{36283,2 \cdot 0,0024}{45} = 2,03$$

$$A = \frac{\varepsilon_0}{k \varepsilon_{c1}} = \frac{0,00099}{2,03 \cdot 0,0024} = 0,20$$

$$B = (2 - k) \frac{\varepsilon_0}{\varepsilon_{c1}} = (2 - 2,03) \frac{0,00099}{0,0024} = -0,01$$

$$D = k \frac{\varepsilon_0}{\varepsilon_{c1}} f_{cd} = 2,03 \frac{0,00099}{0,0024} 32,1 = 26,83$$

$x = 138$ mm

Den resulterende kraft fra betonen i tryk bestemmes

$$N_c = \frac{1}{2} b x D \left(1 + \frac{(A-B)}{B^3} (B^2 + 2B + 2 \ln(1-B)) \right) \Rightarrow$$

$$N_c = \frac{1}{2} 400 \cdot 138 \cdot 26,83 \left(1 + \frac{0,20 + 0,01}{(-0,01)^3} (0,01^2 - 2 \cdot 0,01 + 2 \ln(1 + 0,01)) \right) = 635314 \text{ N}$$

Det resulterende tryk i trykarmeringen bestemmes

$$N_{ac} = \frac{x-a}{x} (1 + \phi_{ef}) \varepsilon_0 A_{sc} E_{sc} = \frac{138-35}{138} (1 + 0,65) 0,00099 \cdot 628 \cdot 200000 = 152519 \text{ N}$$

Det resulterende træk i trækarmeringen bestemmes under antagelse af at der er flydning i armeringen

$$N_{at} = A_{st} f_{yd} = 628 \cdot 458,3 = 287833 \text{ N}$$

Projektionsligningen PL:

$$N_{Rd} = N_c + N_{ac} - N_{at} = 635314 + 152519 - 287833 = 500 \text{ kN} = N_{Ed} = 500 \text{ kN OK!}$$

Betonens trykresultants moment om nullinien

$$y' N_c = \frac{1}{3} b x^2 D \left(1 - \frac{(A-B)}{2B^4} (2B^3 - 3B^2 - 6B - 6 \ln(1-B)) \right)$$

$$y' N_c = \frac{1}{3} 400 \cdot 138^2 \cdot 26,83 \left(1 - \frac{(0,2 + 0,01)}{20,01^4} (2 \cdot 0,01^3 - 3 \cdot 0,01^2 + 6 \cdot 0,01 - 6 \ln(1 + 0,01)) \right)$$

$$y' N_c = 57245466 \text{ Nmm}$$

Afstanden fra betonens trykresultant til nullinien bestemmes

$$y' = \frac{y' N_c}{N_c} = \frac{57245466}{635314} = 90,11$$

Momentligningen, ML, bestemmer tværsnittets momentkapacitet:

$$M_{Rd} = \left(\frac{1}{2} h - x + y' \right) N_c + \left(\frac{1}{2} h - c \right) N_{ac} + \left(\frac{1}{2} h - c \right) N_{at} \Rightarrow$$

$$M_{Rd} = \left(\frac{1}{2} 400 - 138 + 90,11 \right) 635314 + \left(\frac{1}{2} 400 - 35 \right) (152519 + 287833) \Leftrightarrow$$

$$M_{Rd} = 169,3 \text{ kNm}$$

Trykspændingerne i betonen bestemmes ud fra den

$$\sigma_c = \frac{k \varepsilon_0 \varepsilon_{c1} - \varepsilon_0^2}{\varepsilon_{c1}^2 + (k-2) \varepsilon_0} f_{cd} = \frac{2,03 \cdot 0,99 \cdot 2,4 - 0,99^2}{2,4^2 + (2,03-2) 0,99 \cdot 2,4} 32,1 = 22,1 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{sc} = \frac{x-c}{x} (1 + \phi_{ef}) \varepsilon_0 E_s = \frac{138-35}{138} (1 + 0,65) \cdot 0,00099 \cdot 200000 = 242,9 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{st} = \frac{h-x-c}{x} (1 + \phi_{ef}) \varepsilon_0 E_s = \frac{400-138-35}{138} (1 + 0,65) \cdot 0,00099 \cdot 200000 \Leftrightarrow$$

$$\sigma_{st} = 535,2 > f_{yd} \text{ OK!}$$

Udbøjningen bestemmes

$$u = \frac{1}{10} \frac{(1 + \phi_{ef}) \varepsilon_0 L_s^2}{x} = \frac{1}{10} \frac{(1 + 0,65) 0,00099}{138} 5000^2 = 29,5 \text{ mm}$$

Herved kan det maksimale moment, der kan påsættes tværsnittet bestemmes ud fra søjlens ligevægtsligning.

$$M_{Rd} = M_{0Rd} + N_{Ed}U \Leftrightarrow$$

$$M_{0Rd} = M_{Rd} - N_{Ed}U = 169,3 - 500 \cdot 0,0295 = 154,6 \text{ kNm} > 500 \cdot 0,145 = 73 \text{ kNm}$$

Forklaring og udledning af de anvendte formler kan ses i afsnit 4.1.3 i nærværende rapport. De egentlige iterationer fremgår af næste afsnits Tabel 5.

8.1.3 Beregningsresultater - iterationer

Beregninger foretages ud fra at x er givet lig 130mm. Herefter antages tøjning ved kanten af betonen under tryk. Denne varieres indtil projektligningen giver den påsatte normalkraft.

Resultater af beregningerne ses af næste side, hvor også de data, der er anvendt til beregningerne er vist.

Tabel 5 Beregningsresultater for kold tilstand

| | |
|-------------------|---------------------|
| b = | 400 mm |
| h = | 400 mm |
| c = | 35 mm |
| A _{st} = | 628 mm ² |
| A _{sc} = | 628 mm ² |
| f _{cm} = | 53 MPa |
| f _{ck} = | 45 MPa |
| f _{cd} = | 32,1429 MPa |
| f _{yd} = | 458,333 MPa |
| E _s = | 200000 MPa |
| ε _{c1} = | 0,0024 |
| E _{cm} = | 36283,2 MPa |
| E _{cd} = | 25916,6 MPa |
| φ ₀ = | 1,3 |
| φ _{ef} = | 0,65 |
| N _{Ed} = | 500 kN |

| X [mm] | Beregningskonstanter | | | | PL | | | | ML | | | | Spændinger | | | | |
|-----------|----------------------|------|------|-------|-------|-----------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|--------------------------|------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|-----------|---------------------------|
| | ε ₀ | k | A | B | D | N _c [N] | N _{ac} [N] | N _{at} [N] | N _{Rd} [kN] | y _{Nc} [Nmm] | y' [mm] | M _{Rd} [kNm] | σ _c [MPa] | σ _{st} [MPa] | σ _{sc} [MPa] | u [mm] | M _{0Rd} [kNm] |
| 138,0 | 0,00080 | 2,03 | 0,16 | -0,01 | 21,77 | 531434 | 123743 | 287833 | 367,3 | 48097447 | 90,51 | 149 | 18,0 | 434,3 | 197 | 23,9 | 137,0 |
| 138,0 | 0,00090 | 2,03 | 0,18 | -0,01 | 24,49 | 588188 | 139211 | 287833 | 439,6 | 53109393 | 90,29 | 160 | 19,7 | 488,5 | 221,7 | 26,9 | 146,6 |
| 138,0 | 0,00095 | 2,03 | 0,19 | -0,01 | 25,85 | 615767 | 146945 | 287833 | 474,9 | 55532844 | 90,18 | 165,4 | 20,6 | 515,7 | 234 | 28,4 | 151,3 |
| 138,0 | 0,00099 | 2,03 | 0,20 | -0,01 | 26,83 | 635314 | 152519 | 287833 | 500,0 | 57245466 | 90,11 | 169,3 | 21,1 | 535,2 | 242,9 | 29,5 | 154,6 |
| 138,0 | 0,00108 | 2,03 | 0,22 | -0,01 | 29,39 | 684986 | 167053 | 287833 | 564,2 | 61577106 | 89,9 | 179,1 | 22,6 | 586,3 | 266 | 32,3 | 163,0 |

8.1.4 Anvendelsesstadiet

I dette afsnit gennemregnes søjlen i anvendelsesstadiet, for en normalkraft på 300 kN som er placeret med samme excentricitet altså 145 mm. Det antages at α = 15 for at tage hensyn til krybning.

Beregningerne er foretaget således at først bestemmes spændingen i armeringen ud fra den aktuelle belastning ved nedenstående ligninger

Ækvivalensligninger

$$\text{Projektionsligning } N_{Ed} = \frac{1}{2} b x \sigma_c + \sigma_{sc} A_{sc} - \sigma_s A_{st}$$

$$\text{Momentligning } M_{Ed} = \frac{1}{2} b x \sigma_c \left(\frac{h}{2} - \frac{x}{3} \right) + (\sigma_{sc} A_{sc} + \sigma_s A_{st}) \left(\frac{h}{2} - c \right)$$

Geometriske betingelser

$$\sigma_{sc} = \alpha \sigma_c \frac{x - c}{x}$$

$$\sigma_s = \alpha \sigma_c \frac{d - x}{x}$$

σ_s kan bestemmes ved at indsætte de geometriske betingelser i moment- og projektligning og løse disse to ligninger mht. x og σ_c , hvorefter σ_s kan bestemmes af den geometriske betingelse og ved søjlen/væggens ligevægtsligning: $M_{Ed} = M_{0Ed} + N_{Ed} u_{revnet}$.

Herefter bestemmes det moment der netop skal til at revne tværsnittet

$$f_{ctm} = \frac{N_{Ed}}{A_T} - \frac{M_r}{I_T} \eta \Leftrightarrow M_r = \left(f_{ctm} + \frac{N_{Ed}}{A_T} \right) \frac{I_T}{\eta}$$

Dette moment påsættes det revnede tværsnit, hvorved spændingen σ_r i trækarmeringen bestemmes.

Herefter kan effekten af tension stiffening bestemmes

$$\zeta = 1 - \beta \left(\frac{\sigma_{sr}}{\sigma_s} \right)^2$$

Den elastiske udbøjning bestemmes

$$u_{urevnet} = \frac{1}{10} \frac{M_{0Ed} + N_{Ed} u_{urevnet}}{\frac{E_s}{\alpha} I_T} L_s^2 \Leftrightarrow u_{urevnet} = \frac{M_{0Ed}}{\frac{10 E_s I_T}{\alpha L_s^2} - N_{Ed}}$$

Udbøjningen fra svind bestemmes

$$u_s = \frac{1}{10} \varepsilon_{cs} \alpha \frac{S_a}{I_T} L_s^2$$

som i tilfældet af at $0 < \zeta < 1$ bestemmes ved:

$$u_s = \frac{1}{10} \varepsilon_{cs} \alpha \left(\zeta \frac{S_{a,revnet}}{I_{T,revnet}} + (1 - \zeta) \frac{S_{a,urevnet}}{I_{T,urevnet}} \right) L_s^2$$

Herefter kan udbøjningen bestemmes

$$u = \zeta u_{revnet} + (1 - \zeta) u_{urevnet} + u_s$$

Revnevidder bestemmes ud fra det revnede tværsnit efter nedenstående formler

$$W_k = S_{r,maks}(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$$

forskellen mellem ε_{sm} og ε_{cm} kan beregnes som

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ctm}}{\rho} (1 + \alpha\rho)}{E_s} \geq 0,6 \frac{\sigma_s}{E_s}$$

σ_s σ_{st} fra den revnede tværsnitsanalyse

α 15

ρ = $1,12 \cdot 10^{-2}$

k_t 0,4

Den maksimale revneafstand beregnes som

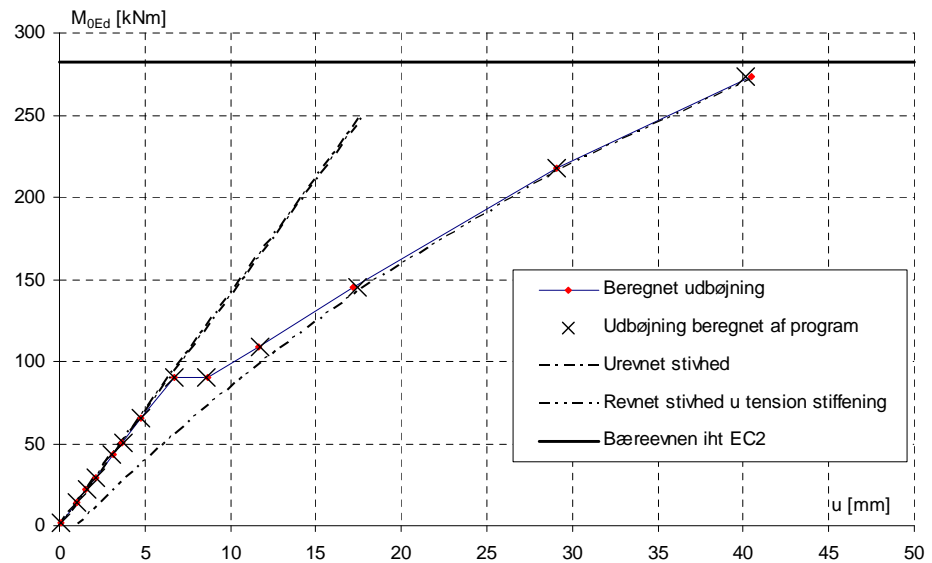
$$s_{r,maks} = k_3 \left(c - \frac{d_a}{2} \right) + k_1 k_2 k_4 \frac{d_a}{\rho} = 3,4 \left(35 - \frac{20}{2} \right) + 0,8 \cdot 0,5 \cdot 0,425 \cdot \frac{20}{1,12 \cdot 10^{-2}} = 214,97 \text{ mm}$$

Den maksimale grænse afhænger af spændingstilstanden, så den beregnes ikke på forhånd.

Beregningerne følger afsnit 5.1.4. Resultaterne af beregningerne er vist nedenfor.

| | | | | | | | | |
|----------------------------|---------------------------|-----------------|---|-------|--------------------------|-----------------|------------------|--|
| b = | 400 mm | | | | | | | |
| h = | 400 mm | | | | | | | |
| c = | 35 mm | | | | | | | |
| A _{st} = | 628 mm ² | | | | | | | |
| A _{sc} = | 628 mm ² | | | | | | | |
| f _{ctm} | 3,795447 MPa | | | | | | | |
| f _{cm} = | 53 MPa | | | | | | | |
| f _{ck} = | 45 MPa | | | | | | | |
| f _{cd} = | 45 MPa | | | | | | | |
| f _{yd} = | 550 MPa | | | | | | | |
| E _s = | 200000 MPa | | | | | | | |
| ε _{cs} = | 0,000278 | | | | | | | |
| E _{cm} = | 13333,33 MPa | | | | | | | |
| E _{cd} = | 13333,33 MPa | | | | | | | |
| N = | 300 kN | | | | | | | |
| e | 145 mm | | | | | | | |
| α | 15 | | | | | | | |
| Fuldt revnet stadiet | | | | | | | | |
| x | σ _c | σ _{st} | σ _{sc} | N | u | M _{Rd} | M _{0Rd} | |
| [mm] | [MPa] | [MPa] | [MPa] | [kN] | [mm] | [kN] | [mm] | |
| 246,4 | 5,7 | 41,0 | 73,1 | 300,0 | 4,32 | 44,8 | 43,5 | |
| Netop revnet stadiet | | | | | | | | |
| x | σ _c | σ _{st} | σ _{sc} | N | u | M _{Rd} | M _{0Rd} | |
| [mm] | [MPa] | [MPa] | [MPa] | [kN] | [mm] | [MPa] | [MPa] | |
| 176,2 | 9,2 | 147,6 | 110,336 | 300,0 | 3,15 | 72,4 | 71,5 | |
| Urevnet stivhed | | | | | | | | |
| I _T = | 2,65E+09 mm ⁴ | | | | | | | |
| EI _T = | 3,53E+13 Nmm ² | | u=1/10*M _{0Rd} /EI _T *L _s ² | = | | | 3,1 | |
| Revnet tværsnitskonstanter | | | | | | | | |
| A _T = | 117418,8 mm ² | | Transformeret revnet tværsnitsareal | | | | | |
| S _T = | 15915226 mm ³ | | Transformeret revnet statisk moment | | | | | |
| z | 135,5424 mm | | Afstanden fra overkant til tyngdepunkt | | | | | |
| I _T = | 1,11E+09 mm ⁴ | | Transformeret revnet inertimoment | | | | | |
| S _s = | 80958,75 | | Statiske moment af armeringen i fuldt revnet stadiet | | | | | |
| Tensionstifning | | | | | | | | |
| β = | 0,5 | | AT | | 117418,8 mm ² | | | |
| ζ = | 0 | | ST | | 15915226 mm ³ | | | |
| | | | z | | 135,5424 mm | | | |
| u = | 3,1 | | I | | 1,11E+09 mm ⁴ | | | |
| wk = | 0 | | Ss | | 80958,75 | | | |
| Svind | | | | | | | | |
| us = | 0,0 | | Er nul da tværsnittet er urevnet og armeringen er sym. | | | | | |

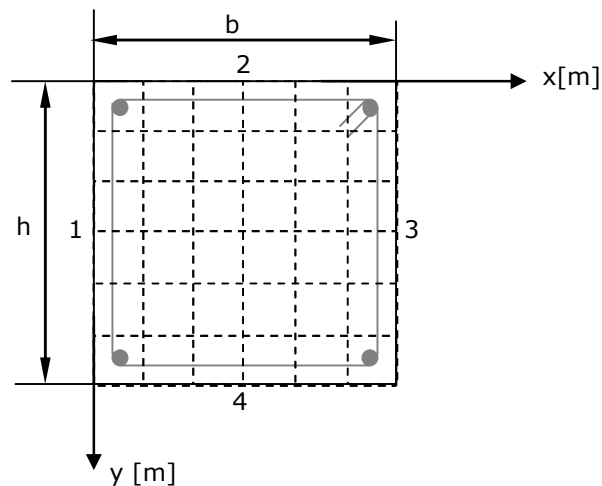
Tænker man sig vilkårlige normalkraftpåvirkninger i anvendelsesstadiet for den samme excentricitet e, kan man danne arbejdskurven. Dette er gjort nedenfor og resultaterne sammenholdt med beregninger fra programmet.



8.2 Styrkeeftersvisning i varm tilstand

I nærværende afsnit undersøges søjlen i brand. Der regnes med en firesidet brandpåvirkning i 60 min.

Temperaturen i betontværsnittet bestemmes ved at inddele tværsnittet i 36 rektangulære deltværsnit, som vist nedenfor.



Figur 29 Opdeling i 36 deltværsnit

Temperaturen bestemmes i midterpunktet af de enkelte deltværsnit ved superponering af temperaturtilvæksterne regnet fra 20 grader.

I punktet (x_1, y_1) bliver temperaturtilvæksten til temperaturen t :

$$\theta(x_1, y_1, t) = (\theta_2(y_1, t) + \theta_4(h - y_1, t)) \left(1 - \frac{\theta_1(x_1, t) + \theta_3(b - x_1, t)}{\theta_1(0, t)} \right) + \theta_1(x_1, t) + \theta_3(b - x_1, t)$$

Hvor

$$\theta_1(x_1, t) = 312 \log_{10}(8 \cdot t + 1) \cdot \exp(-1,9 \cdot k(t) \cdot x_1) \sin\left(\frac{\pi}{2} - k(t)x_1\right)$$

$$\theta_2(y_1, t) = 312 \log_{10}(8 \cdot t + 1) \cdot \exp(-1,9 \cdot k(t) \cdot y_1) \sin\left(\frac{\pi}{2} - k(t)y_1\right)$$

$$\theta_3(b - x_1, t) = 312 \log_{10}(8 \cdot t + 1) \cdot \exp(-1,9 \cdot k(t) \cdot (b - x_1)) \sin\left(\frac{\pi}{2} - k(t)(b - x_1)\right)$$

$$\theta_4(h - y_1, t) = 312 \log_{10}(8 \cdot t + 1) \cdot \exp(-1,9 \cdot k(t) \cdot (h - y_1)) \sin\left(\frac{\pi}{2} - k(t)(h - y_1)\right)$$

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

For $t = 60$ min og $(x_1, y_1) = (0,033\text{m}, 0,1\text{m})$ bliver

$$k(t) = \sqrt{\frac{\pi \cdot \rho \cdot c_p}{750 \cdot \lambda \cdot t}} = \sqrt{\frac{\pi \cdot 2300 \cdot 1000}{750 \cdot 0,75 \cdot 60}} = 14,63$$

$$\theta_1(0,033,60) = 312 \log_{10}(8 \cdot 60 + 1) \cdot \exp(-1,9 \cdot 14,63 \cdot 0,033) \cdot \dots$$

$$\sin\left(\frac{\pi}{2} - 14,63 \cdot 0,033\right) = 292,64^\circ\text{C}$$

$$\theta_2(0,1,60) = 312 \log_{10}(8 \cdot 60 + 1) \cdot \exp(-1,9 \cdot 14,63 \cdot 0,1) \sin\left(\frac{\pi}{2} - 14,63 \cdot 0,1\right) \dots$$

$$= 5,57^\circ\text{C} = 0^\circ\text{C}$$

$$\theta_3(0,367,60) = 312 \log_{10}(8 \cdot 60 + 1) \cdot \exp(-1,9 \cdot 14,63 \cdot 0,367) \cdot \dots$$

$$\sin\left(\frac{\pi}{2} - 14,63 \cdot 0,367\right) = 0^\circ\text{C}$$

$$\theta_4(0,3,60) = 312 \log_{10}(8 \cdot 60 + 1) \cdot \exp(-1,9 \cdot 14,63 \cdot 0,3) \sin\left(\frac{\pi}{2} - 14,63 \cdot 0,3\right) \dots$$

$$= 0^\circ\text{C}$$

Dvs. at

$$\theta(0,033,0,1,60) = (5,57 + 0) \left(1 - \frac{292,64 + 0}{837} \right) + 292,64 + 0 = 296^\circ\text{C}$$

Ud fra ovenstående fremgangsmåde er det muligt at beregne temperaturen i alle centerpunkterne af de enkelte deltværnsnit.

| | 0,033 | 0,100 | 0,167 | 0,233 | 0,300 | 0,367 | x [m] |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0,033 | 483 | 296 | 293 | 293 | 296 | 483 | |
| 0,100 | 296 | 20 | 20 | 20 | 20 | 296 | |
| 0,167 | 293 | 20 | 20 | 20 | 20 | 293 | |
| 0,233 | 293 | 20 | 20 | 20 | 20 | 293 | |
| 0,300 | 296 | 20 | 20 | 20 | 20 | 296 | |
| 0,367 | 483 | 296 | 293 | 293 | 296 | 483 | |

y [m]

Figur 30 Temperaturerne i centrum af de enkelte deltværsnit

Ud fra temperaturen er det muligt at bestemme styrkereduktionen af betonen under opvarmning iht. Tabel 3.1 i EN1992-1-2. For punktet $(x_1, y_1) = (0,033, 0,1)$ skal styrkereduktionen bestemmes ud fra en temperatur på 296 °C. Dette bliver:

$$k_c = 0,95 - \frac{\theta - 200}{100} \cdot 0,1 = 0,95 - \frac{296 - 200}{100} \cdot 0,1 = 0,85$$

Ved dette princip kan man bestemme styrkereduktionen i center af de enkelte deltværsnit vha. Tabel 3.1 i EN1992-1-2. I nedenstående figur er resultatet af disse beregninger vist.

| | 0,033 | 0,100 | 0,166 | 0,233 | 0,300 | 0,366 | x [m] |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0,033 | 0,63 | 0,85 | 0,86 | 0,85 | 0,85 | 0,63 | |
| 0,100 | 0,85 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 0,85 | |
| 0,166 | 0,86 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 0,86 | |
| 0,233 | 0,86 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 0,86 | |
| 0,300 | 0,85 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 0,85 | |
| 0,366 | 0,63 | 0,85 | 0,86 | 0,85 | 0,85 | 0,62 | |

y [m]

Figur 31 Styrkereduktionen i betontværsnittet.

På baggrund af styrkereduktionen over tværsnittet er det muligt at bestemme reduktionen af betontværsnittet.

Middel reduktionen bestemmes ved

$$k_{c,middel} = \frac{1 - \frac{0,2}{n}}{(2n)^2} \sum_{i=1}^{36} k_c(\theta(x, y)) = \frac{1 - \frac{0,2}{3}}{6^2} \cdot 32,16 = 0,834$$

Det ses at styrkereduktionen i midten af tværsnittet i dette eksempel er lig med 1,0.

Reduktionen af tværsnittet bestemmes iht. 9.4.2.3 (3)

$$a = w \cdot \left(1 - \left(\frac{k_{c,middel}}{k_{c,\theta_M}} \right)^{1,3} \right) = 200 \cdot \left(1 - \left(\frac{0,834}{1,0} \right)^{1,3} \right) = 41,9 \text{ mm}$$

Dvs. at søjlen tværsnit reduceres med 42,09 mm langs alle brandpåvirkede sider. Dette betyder at det effektive tværsnit bliver $(h', b') = (315,8 \text{ mm}, 315,8 \text{ mm})$ og afstanden til center af armering bliver $35 - 42,09 = -7,09 \text{ mm}$. Dvs. at armeringen er placeret uden for det reducerede betontværsnit. For det reducerede betontværsnit regnes der med materialeparametrene for kold tilstand.

Da søjlen er armeret skal temperaturen i de enkelte armeringsjern bestemmes. I dette eksempel, vil dette svare til at bestemme temperaturen i $(x, y) = (0,035 \text{ m}, 0,035 \text{ m})$.

$$\theta_1(0,035,60) = \theta_2(0,035,60) = 312 \log_{10}(8 \cdot 60 + 1) \cdot \exp(-1,9 \cdot 14,63 \cdot 0,035) \cdot \dots$$

$$\sin\left(\frac{\pi}{2} - 14,63 \cdot 0,035\right) = 275,69^\circ\text{C}$$

$$\theta_3(0,365,60) = \theta_4(0,365,60) = 312 \log_{10}(8 \cdot 60 + 1) \cdot \exp(-1,9 \cdot 14,63 \cdot 0,365) \cdot \dots$$

$$\sin\left(\frac{\pi}{2} - 14,63 \cdot 0,365\right) = 0^\circ\text{C}$$

Dvs. at

$$\theta(0,035,0,035,60) = (275,69 + 0) \left(1 - \frac{275,69 + 0}{837}\right) + 275,69 + 0 + 20 = 461^\circ\text{C}$$

Armeringen som anvendes er fremstillet ved varmvalsning. Herved kan styrkereduktionen af armeringen bestemmes ud fra tabel V 9.2.2a.

$$\xi_{s0.2} = 0,65 - \frac{(0,65 - 0,47)}{100} (461 - 400) = 0,540$$

$$\frac{E_{spk,\beta}}{E_{sk}} = 0,7 - \frac{0,7 - 0,6}{100} (441 - 400) = 0,639$$

Dette betyder at styrken og stivheden af armeringen kan bestemmes som

$$f_{yk,\beta_s} = f_{yk} \xi_{s0.2} = 0,54 \cdot 550 = 297,1 \text{ MPa}$$

$$E_{sk,\beta_s} = \frac{E_{spk,\beta}}{E_{sk}} \cdot E_{sk} = 0,639 \cdot 200000 = 127800 \text{ MPa}$$

Tøjningen i den yderste fiber af betonen skønnes til

$$\varepsilon_0 = 0,00149$$

Følgende konstanter indføres

$$A = \sqrt[3]{2} \frac{\varepsilon_{c1}}{\varepsilon_0} = \sqrt[3]{2} \frac{0,0025}{0,00149} = 2,12$$

$$B = 3 \left(\frac{\varepsilon_{c1}}{\varepsilon_0}\right)^2 = 3 \left(\frac{0,0025}{0,00149}\right)^2 = 8,5$$

$$x = 125,5 \text{ mm}$$

Den resulterende kraft fra betonen i tryk bestemmes

$$N_c = b' x f_{cd} B \left(\frac{1}{6A} \ln \frac{1-A+A^2}{(1+A)^2} + \frac{1}{A\sqrt{3}} \arctan \frac{2-A}{A\sqrt{3}} - \frac{1}{6A} \ln(1) - \frac{1}{A\sqrt{3}} \arctan \frac{-1}{\sqrt{3}} \right) \Rightarrow$$

$$N_c = 316,2 \cdot 125,5 \cdot 45 \cdot 8,5 \left(\frac{1}{6 \cdot 2,12} \ln \frac{1-2,12+2,12^2}{(1+2,12)^2} + \frac{1}{2,12\sqrt{3}} \arctan \frac{2-2,12}{2,12\sqrt{3}} - \dots \right) \Leftrightarrow$$

$$\left(\frac{1}{62,12} \ln(1) - \frac{1}{2,12\sqrt{3}} \arctan \frac{-1}{\sqrt{3}} \right)$$

$$N_c = 764047,6 \text{ N}$$

Det resulterende tryk i trykarmeringen bestemmes

$$N_{ac} = \frac{x-a}{x} (1 + \phi_{ef}) \varepsilon_0 A_{sc} E_{sc} = \frac{125,5 - (35 - 41,9)}{125,5} (1 + 0,65) 0,00149 \cdot 628 \cdot 127800 \Leftrightarrow$$

$$N_{ac} = 142018 \text{ N}$$

Det resulterende træk i trækarmringen bestemmes under antagelse af at der er flydning i armeringen

$$N_{at} = A_{st} f_{yd} = 628 \cdot 297 = 186516 \text{ N}$$

Projektionsligningen PL:

$$N_{Rd} = N_c + N_{ac} - N_{at} = 764047,6 + 142018 - 186516 = 719,6 \text{ kN} > N_{Ed} = 500 \text{ kN}$$

Det ses at den valgte værdi af ε_0 ikke opfylder projektligningen for den valgte værdi af x . Derfor ændres værdien af ε_0 indtil projektligningen er opfyldt for den valgte værdi af x . Dette ses i Tabel 6 at ske for $\varepsilon_0 = 0,00103$. Beregninger ovenfor gentages for den nye værdi af tøjningen.

$$A = \sqrt[3]{2} \frac{\varepsilon_{c1}}{\varepsilon_0} = \sqrt[3]{2} \frac{0,0025}{0,00103} = 3,07$$

$$B = 3 \left(\frac{\varepsilon_{c1}}{\varepsilon_0} \right)^2 = 3 \left(\frac{0,0025}{0,00103} \right)^2 = 17,8$$

$$x = 125,5 \text{ mm}$$

Den resulterende kraft fra betonen i tryk bestemmes

$$N_c = b' x f_{cd} B \left(\frac{1}{6A} \ln \frac{1-A+A^2}{(1+A)^2} + \frac{1}{A\sqrt{3}} \arctan \frac{2-A}{A\sqrt{3}} - \frac{1}{6A} \ln(1) - \frac{1}{A\sqrt{3}} \arctan \frac{-1}{\sqrt{3}} \right) \Rightarrow$$

$$N_c = 316,2 \cdot 125,5 \cdot 45 \cdot 17,8 \left(\frac{1}{6 \cdot 3,07} \ln \frac{1-3,07+3,07^2}{(1+3,07)^2} + \frac{1}{3,07\sqrt{3}} \arctan \frac{2-3,07}{3,07\sqrt{3}} - \dots \right) \Leftrightarrow$$

$$\left(\frac{1}{6 \cdot 3,07} \ln(1) - \frac{1}{3,07\sqrt{3}} \arctan \frac{-1}{\sqrt{3}} \right)$$

$$N_c = 542761,9 \text{ N}$$

Det resulterende tryk i trykarmeringen bestemmes

$$N_{ac} = \frac{x-a}{x} (1 + \phi_{ef}) \varepsilon_0 A_{sc} E_{sc} = \frac{125,5 - (35 - 41,9)}{125,5} (1 + 0,65) 0,00103 \cdot 628 \cdot 128000 \Leftrightarrow$$

$$N_{ac} = 143753 \text{ N}$$

Det resulterende træk i trækarmeringen bestemmes under antagelse af at der er flydning i armeringen

$$N_{at} = A_{st} f_{yd} = 628 \cdot 297 = 186516 \text{ N}$$

Projektionsligningen PL:

$$N_{Rd} = N_c + N_{ac} - N_{at} = 542761,9 + 143753 - 186516 = 500 \text{ kN} = N_{Ed} = 500 \text{ kN OK!}$$

Betonens trykresultants moment om nullinien

$$y' N_c = \frac{1}{3} b' B f_{cd} x^2 \ln \frac{A^3 + 1}{A^3} = \frac{1}{3} 316,2 \cdot 16,9 \cdot 45 \cdot 125,5^2 \ln \frac{3,07^3 + 1}{3,07^3} = 45245023 \text{ Nmm}$$

Afstanden fra betonens trykresultant til nullinien bestemmes

$$y' = \frac{y' N_c}{N_c} = \frac{45245023}{542761,9} = 83,36 \text{ mm}$$

Momentligningen ML, bestemmer tværsnittets momentkapacitet:

$$M_{Rd} = \left(\frac{1}{2} h - x + y' \right) N_c + \left(\frac{1}{2} h - c \right) N_{ac} + \left(\frac{1}{2} h - c \right) N_{at} \Rightarrow$$

$$M_{Rd} = \left(\frac{1}{2} 316,2 - 125,5 + 83,99 \right) 542761,9 + \left(\frac{1}{2} 330,56 - (35 - 41,9) \right) (143753 + 186516) \Leftrightarrow$$

$$M_{Rd} = 117,4 \text{ kNm}$$

Trykspændingerne i betonen bestemmes ud fra den

$$\sigma_c = \frac{3 \cdot \varepsilon_0}{\varepsilon_{c1\beta} \left(2 + \left(\frac{\varepsilon_0}{\varepsilon_{c1\beta}} \right)^3 \right)} 45 = \frac{3 \cdot 1,03}{2,5 \left(2 + \left(\frac{1,03}{2,5} \right)^3 \right)} 45 = 26,8 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{sc} = \frac{x-c}{x} (1 + \phi_{ef}) \varepsilon_0 E_s = \frac{125,5 - (35 - 41,9)}{125,5} (1 + 0,65) \cdot 0,00103 \cdot 128000 = 228,9 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{st} = \frac{h-x-c}{x} (1 + \phi_{ef}) \varepsilon_0 E_s = \frac{316,2 - 125,5 - (35 - 41,9)}{125,5} (1 + 0,65) 0,00103 \cdot 128000 \Leftrightarrow$$

$$\sigma_{st} = 341,8 > f_{yd} \text{ OK!}$$

Udbøjningen bestemmes inkl. den termiske udbøjning som

$$u = \frac{1}{10} \frac{(1 + \phi_{ef}) \varepsilon_0}{h_c} L_s^2 + \frac{1}{8} \frac{1,1 \cdot 10^{-5} \theta_s}{h-a} L_s^2 \Leftrightarrow$$

$$u = \frac{1}{10} \frac{(1 + 0,65) 0,00103}{126,5} 5000^2 + \frac{1}{8} \frac{1,1 \cdot 10^{-5} 441}{316,2 - (35 - 41,9)} 5000^2 = 80,7 \text{ mm}$$

Herved kan det maksimale moment, der kan påsættes tværsnittet bestemmes ud fra søjlens ligevægtsligning.

$$M_{Rd} = M_{0Rd} + N_{Rd}u \Leftrightarrow$$

$$M_{0Rd} = M_{Rd} - N_{Rd}u = 117,4 - 500 \cdot 0,0807 = 77,1 \text{ kNm} > 500 \cdot 0,145 = 73 \text{ kNm}$$

Det ses at søjlen kan holde i brand.

Forklaring og udledning af de anvendte formler kan ses i afsnit 4.1.3 i nærværende rapport. De egentlige iterationer fremgår af næste afsnits Tabel 5.

8.2.1 Beregningsresultater - iterationsproces

Beregninger foretages ud fra at x er givet lig 125,5 mm. Herefter antages tøjning ved kanten af betonen under tryk. Denne varieres indtil projektionsligningen giver den påsatte normalkraft.

Resultater af beregningerne ses af næste side, hvor også de data, der er anvendt til beregningerne er vist.

Tabel 6 Beregningsresultater for søjlen under brand

| | |
|------------------------|---------------------|
| $a =$ | 41,9 mm |
| $b' =$ | 316,2 mm |
| $h' =$ | 316,2 mm |
| $c =$ | 35 mm |
| $A_{st} =$ | 628 mm ² |
| $A_{sc} =$ | 628 mm ² |
| $f_{cm} =$ | 53 MPa |
| $f_{ck} =$ | 45 MPa |
| $f_{cd} =$ | 45 MPa |
| $f_{sy,\theta}/f_{yk}$ | 0,54 |
| $\theta_s =$ | 441 °C |
| $f_{sy,\theta} =$ | 297 MPa |
| $E_{s,\theta} =$ | 128000 MPa |
| $\varepsilon_{c1} =$ | 0,0025 |
| $E_{cm} =$ | 36283,2 MPa |
| $E_{cd} =$ | 36283,2 MPa |
| $\varphi_0 =$ | 1,3 |
| $\varphi_{ef} =$ | 0,65 |
| $N_{Ed} =$ | 500 kN |

| x | Beregn. Konst. | | PL | | ML | | Spændinger | | | | | | | | |
|-------|-----------------|------|------|--------------|-----------------|-----------------|------------------|----------------|------------------------|------------------------|------|--------------------|-------|------|------|
| | ε_0 | A | B | N_c [N] | N_{ac} [N] | N_{at} [N] | N_{rd} [kN] | N_c [MPa] | σ_{st} [MPa] | σ_{sc} [MPa] | u | M_{0rd} [kNm] | | | |
| 125,5 | 0,00149 | 2,12 | 8,5 | 764047,6 | 142018 | 186516 | 719,6 | 63268947 | 82,81 | 136,5 | 36,3 | 389,3 | 226,1 | 95,7 | 67,6 |
| 125,5 | 0,00130 | 2,42 | 11,1 | 677510,3 | 181906 | 186516 | 672,9 | 56284708 | 83,08 | 131,6 | 32,8 | 340,8 | 289,7 | 89,7 | 71,2 |
| 125,5 | 0,00110 | 2,86 | 15,5 | 579375,1 | 153920 | 186516 | 546,8 | 48260096 | 83,3 | 116,9 | 28,5 | 288,3 | 245,1 | 83,1 | 71,5 |
| 125,5 | 0,00095 | 3,32 | 20,8 | 503324,1 | 132931 | 186516 | 449,7 | 41987221 | 83,42 | 105,5 | 25,0 | 249 | 211,7 | 78,2 | 70,4 |
| 125,5 | 0,00103 | 3,07 | 17,8 | 542761,9 | 143753 | 186516 | 500,0 | 45245023 | 83,36 | 117,4 | 26,8 | 341,8 | 228,9 | 80,7 | 77,1 |

Bilag 1

Forsøgssammenligninger



| Sagsnavn: Robert F. Warner & Karl Kordina Bygningsdel: Søjleforsøg II Emne: Normale lastkombinationer | | Sag nr.: 17681 Dato: 2008-12-08 Init: LZH | | SØJLE, version 1 / EC2 Betonelement-Foreningen dec. 2008 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|------------------|--|----------------------------------|--|-------------------|-------------------|-----------------|--------|----------------------------------|----------|----------|----------|---------------|----------|---------|------------|------|-----------------|-----------|------------|------|-----|-----------------|----|--------------------|-------|---------|-----------------|------|------|-----------------|-----|------------|-------|---------|---|---------|-------------------------------|------|-----------------|-------|-------|---------------------|------|------|-------|-------|---------------------|------|-----------------|-------|-------|---------------------|-----------|-------------------|-----|-------|--------|--------------|-------------------|----------------------------|---|--|-------------------------------|------------|------------|--|----------|----------------------|----------------|--|--|-----------------------------------|---|--|-----------|--|--|---------------------------------|--|-----|----------|--|------------------|-----------|--|--|-------|---|--|-------------------|--|--|----------|--|--|----|--|---|-------|--|--|--|---|--|----------|--|--|---|--|--|--------|--|-----------------------------|--|--|--|--|------------------------|------|----|--|--|
| | | | | <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td rowspan="3">Materialer</td> <td>f_{ck}</td> <td>27 MPa</td> <td rowspan="3">Regningsmæssige parametre</td> <td>f_{cd}</td> <td>27,0 MPa</td> </tr> <tr> <td>f_{yk}</td> <td>267 MPa</td> <td>f_{yd}</td> <td>267 MPa</td> </tr> <tr> <td>γ_c</td> <td>1,00</td> <td>E_{cd}</td> <td>32036 MPa</td> </tr> <tr> <td>γ_s</td> <td>1,00</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Søjlelængde</td> <td>L_s</td> <td>5143 mm</td> <td rowspan="3">Krybetal</td> <td>RH</td> <td>50%</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Tværsnit</td> <td>h</td> <td>172 mm</td> <td>t_o</td> <td>28 døgn</td> </tr> <tr> <td>b</td> <td>266 mm</td> <td>ϕ_o</td> <td>2,86</td> </tr> <tr> <td>Trykarm.</td> <td>d_a</td> <td>12 mm</td> <td>M_{0Eqp}/M_{0Ed}</td> <td>0,39</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Antal</td> <td>2 stk</td> <td>ϕ_{ef}</td> <td>1,12</td> </tr> <tr> <td>Trækarm.</td> <td>d_a</td> <td>12 mm</td> <td rowspan="2">Bøjler</td> <td>Generelt:</td> <td>ϕ 6 / 172 mm</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Antal</td> <td>2 stk</td> <td>Top og bund:</td> <td>ϕ 6 / 104 mm</td> </tr> <tr> <td colspan="3">Anvendelsestilstand</td> <td colspan="3">Kritisk last (central)</td> </tr> <tr> <td colspan="3">I anvendelsestilstand skønnes α</td> <td colspan="3">σ_{crd}</td> </tr> <tr> <td colspan="3">til en passende værdi afhængig af</td> <td colspan="3">14,09 MPa</td> </tr> <tr> <td colspan="3">forholdet mellem lang- og kort-</td> <td colspan="3">ϕ_c</td> </tr> <tr> <td colspan="3">tidslast:</td> <td colspan="3">0,49%</td> </tr> <tr> <td colspan="3">$\alpha_{anv.} =$</td> <td colspan="3">ϕ_t</td> </tr> <tr> <td colspan="3">15</td> <td colspan="3">0,49%</td> </tr> <tr> <td colspan="3"></td> <td colspan="3">N_{cr}</td> </tr> <tr> <td colspan="3"></td> <td colspan="3">684 kN</td> </tr> </table> | | Materialer | f_{ck} | 27 MPa | Regningsmæssige parametre | f_{cd} | 27,0 MPa | f_{yk} | 267 MPa | f_{yd} | 267 MPa | γ_c | 1,00 | E_{cd} | 32036 MPa | γ_s | 1,00 | | | | Søjlelængde | L_s | 5143 mm | Krybetal | RH | 50% | Tværsnit | h | 172 mm | t_o | 28 døgn | b | 266 mm | ϕ_o | 2,86 | Trykarm. | d_a | 12 mm | M_{0Eqp}/M_{0Ed} | 0,39 | | Antal | 2 stk | ϕ_{ef} | 1,12 | Trækarm. | d_a | 12 mm | Bøjler | Generelt: | ϕ 6 / 172 mm | | Antal | 2 stk | Top og bund: | ϕ 6 / 104 mm | Anvendelsestilstand | | | Kritisk last (central) | | | I anvendelsestilstand skønnes α | | | σ_{crd} | | | til en passende værdi afhængig af | | | 14,09 MPa | | | forholdet mellem lang- og kort- | | | ϕ_c | | | tidslast: | | | 0,49% | | | $\alpha_{anv.} =$ | | | ϕ_t | | | 15 | | | 0,49% | | | | | | N_{cr} | | | | | | 684 kN | | | | | | | | | | | |
| Materialer | f_{ck} | 27 MPa | Regningsmæssige parametre | f_{cd} | 27,0 MPa | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | f_{yk} | 267 MPa | | f_{yd} | 267 MPa | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | γ_c | 1,00 | | E_{cd} | 32036 MPa | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| γ_s | 1,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Søjlelængde | L_s | 5143 mm | Krybetal | RH | 50% | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tværsnit | h | 172 mm | | t_o | 28 døgn | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | b | 266 mm | | ϕ_o | 2,86 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Trykarm. | d_a | 12 mm | M_{0Eqp}/M_{0Ed} | 0,39 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Antal | 2 stk | ϕ_{ef} | 1,12 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Trækarm. | d_a | 12 mm | Bøjler | Generelt: | ϕ 6 / 172 mm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Antal | 2 stk | | Top og bund: | ϕ 6 / 104 mm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Anvendelsestilstand | | | Kritisk last (central) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| I anvendelsestilstand skønnes α | | | σ_{crd} | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| til en passende værdi afhængig af | | | 14,09 MPa | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| forholdet mellem lang- og kort- | | | ϕ_c | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| tidslast: | | | 0,49% | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| $\alpha_{anv.} =$ | | | ϕ_t | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 15 | | | 0,49% | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | N_{cr} | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | 684 kN | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Kontrolparametre</th> <th colspan="3">Brudlasttilfælde</th> <th>Anv. - tilfælde</th> </tr> <tr> <th></th> <th>A</th> <th>B</th> <th>C</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>N_{Ed} (kN)</td> <td>98</td> <td>113</td> <td>140</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>M_{0Ed} (kNm)</td> <td>8</td> <td>10</td> <td>12</td> <td>0,0</td> </tr> <tr> <td>M_{0Rd} (kNm)</td> <td>10</td> <td>10</td> <td>10</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>u (mm)</td> <td>43,4</td> <td>44,7</td> <td>47,5</td> <td>0,0</td> </tr> <tr> <td>w_k (mm)</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>urevnet</td> </tr> <tr> <td>$\epsilon_0 / (1+\phi)$ (o/o)</td> <td>0,51</td> <td>0,54</td> <td>0,61</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>σ_{c0} (Mpa)</td> <td>13,4</td> <td>14,1</td> <td>15,4</td> <td>0,0</td> </tr> <tr> <td>σ_{st} (Mpa)</td> <td>267</td> <td>267</td> <td>267</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>σ_{sc} (Mpa)</td> <td>142</td> <td>154</td> <td>177</td> <td>25</td> </tr> <tr> <td>x (mm)</td> <td>65</td> <td>68</td> <td>71</td> <td>-</td> </tr> </tbody> </table> | Kontrolparametre | Brudlasttilfælde | | | Anv. - tilfælde | | A | B | C | | N_{Ed} (kN) | 98 | 113 | 140 | 0 | M_{0Ed} (kNm) | 8 | 10 | 12 | 0,0 | M_{0Rd} (kNm) | 10 | 10 | 10 | - | u (mm) | 43,4 | 44,7 | 47,5 | 0,0 | w_k (mm) | - | - | - | urevnet | $\epsilon_0 / (1+\phi)$ (o/o) | 0,51 | 0,54 | 0,61 | - | σ_{c0} (Mpa) | 13,4 | 14,1 | 15,4 | 0,0 | σ_{st} (Mpa) | 267 | 267 | 267 | 0 | σ_{sc} (Mpa) | 142 | 154 | 177 | 25 | x (mm) | 65 | 68 | 71 | - | <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Brudlasttilfælde</th> <th>N_1 (kN)</th> <th>N_0 (kN)</th> <th>N_2 (kN)</th> <th>w (kN/m)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A Forsøgsresultat II</td> <td>98</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>B</td> <td></td> <td>113</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>C Bæreevne EC2</td> <td></td> <td>140</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>D Bæreevne DS411</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>E</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>F</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>G</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>H</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>I</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Anvendelsestilfælde:</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Excentriciteter (mm) :</td> <td>85,5</td> <td>86</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> | Brudlasttilfælde | N_1 (kN) | N_0 (kN) | N_2 (kN) | w (kN/m) | A Forsøgsresultat II | 98 | | | | B | | 113 | | | C Bæreevne EC2 | | 140 | | | D Bæreevne DS411 | | | | | E | | | | | F | | | | | G | | | | | H | | | | | I | | | | | Anvendelsestilfælde: | | | | | Excentriciteter (mm) : | 85,5 | 86 | | |
| Kontrolparametre | Brudlasttilfælde | | | Anv. - tilfælde | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | A | B | C | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| N_{Ed} (kN) | 98 | 113 | 140 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| M_{0Ed} (kNm) | 8 | 10 | 12 | 0,0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| M_{0Rd} (kNm) | 10 | 10 | 10 | - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| u (mm) | 43,4 | 44,7 | 47,5 | 0,0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| w_k (mm) | - | - | - | urevnet | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| $\epsilon_0 / (1+\phi)$ (o/o) | 0,51 | 0,54 | 0,61 | - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| σ_{c0} (Mpa) | 13,4 | 14,1 | 15,4 | 0,0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| σ_{st} (Mpa) | 267 | 267 | 267 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| σ_{sc} (Mpa) | 142 | 154 | 177 | 25 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| x (mm) | 65 | 68 | 71 | - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Brudlasttilfælde | N_1 (kN) | N_0 (kN) | N_2 (kN) | w (kN/m) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| A Forsøgsresultat II | 98 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| B | | 113 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| C Bæreevne EC2 | | 140 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| D Bæreevne DS411 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| E | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| F | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| G | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| H | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| I | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Anvendelsestilfælde: | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Excentriciteter (mm) : | 85,5 | 86 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Vejledning: PC-statik: Søjle- og vægberegning efter EC2 | | Udgivet på www.bef.dk december 2008 | | NB: Resultaterne skal altid kontrolleres af ansvarlig statiker | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |



| | | | | | | | |
|---|--|--|--|--|--|---|--|
| Sagsnavn: Robert F. Warner & Karl Kordina Bygningsdel: Søjleforsøg IV Emne: Normale lastkombinationer | | Sag nr.: 17681 Dato: 2008-12-08 Init: LZH | | SØJLE, version 1 / EC2 | | Betonelement-Foreningen dec. 2008 | |
| | | | | Materialer f_{ck} 24 MPa f_{yk} 267 MPa γ_c 1,00 γ_s 1,00 | | Regningsmæssige parametre f_{cd} 24,0 MPa f_{yd} 267 MPa E_{cd} 31187 MPa | |
| | | | | Søjlelængde L_s 5143 mm | | Krybetal RH 50% t_o 28 døg ϕ_o 2,99 M_{0Eqp}/M_{0Ed} 0,54 ϕ_{ef} 1,62 | |
| Tværsnit h 171 mm b 266 mm c 21 mm | | Trykarm. d_a 12 mm Antal 2 stk | | Trækarm. d_a 12 mm Antal 2 stk | | Bøjler Generelt: ϕ 6 / 171 mm Top og bund: ϕ 6 / 103 mm | |
| Anvendelsestilstand I anvendelsestilstand skønnes α til en passende værdi afhængig af forholdet mellem lang- og kort-tidslast: $\alpha_{anv.} = 15$ | | | | Kritisk last (central) σ_{crd} 13,00 MPa ϕ_c 0,50% ϕ_t 0,50% N_{cr} 629 kN | | | |
| | | Kontrolparametre | | Brudlasttilfælde | | Anv. - tilfælde | |
| N_{Ed} (kN) M_{0Ed} (kNm) M_{0Rd} (kNm) u (mm) w_k (mm) $\epsilon_0 / (1+\phi)$ (o/o) σ_{c0} (Mpa) σ_{st} (Mpa) σ_{sc} (Mpa) x (mm) | | A 205 7 8 53,8 - 0,68 15,5 256 267 87 | | B 214 7 7 53,0 - 0,68 15,6 244 267 89 | | C 304 10 6 33,1 - 0,59 14,2 65 258 124 | |
| Brudlasttilfælde | | N₁ (kN) | | N₀ (kN) | | N₂ (kN) | |
| A Forsøgsresultat IV B C Bæreevne EC2 D Bæreevne DS411 E F G H I | | 205 | | 214 304 | | | |
| Anvendelsestilfælde: | | | | | | | |
| Excentriciteter (mm) : | | 34,2 | | 34 | | | |
| Vejledning: | | PC-statik: Søjle- og vægberegning efter EC2 | | Udgivet på www.bef.dk december 2008 | | NB: Resultaterne skal altid kontrolleres af ansvarlig statiker | |



| Sagsnavn: Robert F. Warner & Karl Kordina Bygningsdel: Søjleforsøg V Emne: Normale lastkombinationer | | Sag nr.: 17681 Dato: 2008-12-08 Init: LZH | | SØJLE, version 1 / EC2 Betonelement-Foreningen dec. 2008 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|------------------|--|----------------------------------|---|-------------------|-------------------|----------|-----------------|----------------------------------|----------|----------|---------------|---------|----------|---------|------------|-----------------|----------|-----------|--------------------|-------|-----------------|-----------------|----|-----|-----|----------|-------|--------|------|--------|------------|------|-----------------|-----|---------|-------------------------------|------|-------|-------|-------------|---------------------|-----------------|-------|-------|---------------|---------------------|-------------------|-------|-------|--------------|---------------------|-----------------|-------|-------|-------------------------------|----------------|-----------|-------|-------|----------|--|----------------------------|------------------|------------|------------|------------|---|---------------------|-----|----------|--------|--|---|--|-------------------|----|--|----------------|--|-----|--|--|------------------|--|-----|--|--|---|--|--|--|--|---|--|--|--|--|---|--|--|--|--|---|--|--|--|--|---|--|--|--|--|-----------------------------|--|--|--|--|------------------------|------|----|--|--|
| | | | | <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td rowspan="3">Materialer</td> <td>f_{ck}</td> <td>42 MPa</td> <td rowspan="3">Regningsmæssige parametre</td> <td>f_{cd}</td> <td>42,0 MPa</td> </tr> <tr> <td>f_{yk}</td> <td>458 MPa</td> <td>f_{yd}</td> <td>458 MPa</td> </tr> <tr> <td>γ_c</td> <td>1,00</td> <td>E_{cd}</td> <td>35654 MPa</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">Søjlelængde</td> <td>L_s</td> <td>5126 mm</td> <td rowspan="3">Krybetal</td> <td>RH</td> <td>50%</td> </tr> <tr> <td>h</td> <td>172 mm</td> <td>t_o</td> <td>28 døg</td> </tr> <tr> <td>b</td> <td>269 mm</td> <td>ϕ_o</td> <td>1,97</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Tværsnit</td> <td>c</td> <td>22 mm</td> <td>M_{0Eqp}/M_{0Ed}</td> <td>0,25</td> </tr> <tr> <td>d_a</td> <td>12 mm</td> <td>ϕ_{ef}</td> <td>0,49</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Trykarm.</td> <td>Antal</td> <td>2 stk</td> <td rowspan="2">Bøjler</td> <td>Generelt:</td> <td>ϕ 6 / 172 mm</td> </tr> <tr> <td>d_a</td> <td>12 mm</td> <td>Top og bund:</td> <td>ϕ 6 / 104 mm</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Trækarm.</td> <td>Antal</td> <td>2 stk</td> <td rowspan="3">Kritisk last (central)</td> <td>σ_{crd}</td> <td>18,49 MPa</td> </tr> <tr> <td>d_a</td> <td>12 mm</td> <td>ϕ_c</td> <td>0,49%</td> </tr> <tr> <td colspan="3">Anvendelsestilstand</td> <td>ϕ_t</td> <td>0,49%</td> </tr> <tr> <td colspan="3">I anvendelsestilstand skønnes α til en passende værdi afhængig af forholdet mellem lang- og kort-tidslast:</td> <td>N_{cr}</td> <td>902 kN</td> </tr> <tr> <td colspan="3"></td> <td>$\alpha_{anv.} =$</td> <td>15</td> </tr> </table> | | Materialer | f_{ck} | 42 MPa | Regningsmæssige parametre | f_{cd} | 42,0 MPa | f_{yk} | 458 MPa | f_{yd} | 458 MPa | γ_c | 1,00 | E_{cd} | 35654 MPa | Søjlelængde | L_s | 5126 mm | Krybetal | RH | 50% | h | 172 mm | t_o | 28 døg | b | 269 mm | ϕ_o | 1,97 | Tværsnit | c | 22 mm | M_{0Eqp}/M_{0Ed} | 0,25 | d_a | 12 mm | ϕ_{ef} | 0,49 | Trykarm. | Antal | 2 stk | Bøjler | Generelt: | ϕ 6 / 172 mm | d_a | 12 mm | Top og bund: | ϕ 6 / 104 mm | Trækarm. | Antal | 2 stk | Kritisk last (central) | σ_{crd} | 18,49 MPa | d_a | 12 mm | ϕ_c | 0,49% | Anvendelsestilstand | | | ϕ_t | 0,49% | I anvendelsestilstand skønnes α til en passende værdi afhængig af forholdet mellem lang- og kort-tidslast: | | | N_{cr} | 902 kN | | | | $\alpha_{anv.} =$ | 15 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Materialer | f_{ck} | 42 MPa | Regningsmæssige parametre | f_{cd} | 42,0 MPa | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | f_{yk} | 458 MPa | | f_{yd} | 458 MPa | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | γ_c | 1,00 | | E_{cd} | 35654 MPa | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Søjlelængde | L_s | 5126 mm | Krybetal | RH | 50% | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | h | 172 mm | | t_o | 28 døg | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | b | 269 mm | | ϕ_o | 1,97 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tværsnit | c | 22 mm | M_{0Eqp}/M_{0Ed} | 0,25 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | d_a | 12 mm | ϕ_{ef} | 0,49 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Trykarm. | Antal | 2 stk | Bøjler | Generelt: | ϕ 6 / 172 mm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | d_a | 12 mm | | Top og bund: | ϕ 6 / 104 mm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Trækarm. | Antal | 2 stk | Kritisk last (central) | σ_{crd} | 18,49 MPa | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | d_a | 12 mm | | ϕ_c | 0,49% | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Anvendelsestilstand | | | | ϕ_t | 0,49% | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| I anvendelsestilstand skønnes α til en passende værdi afhængig af forholdet mellem lang- og kort-tidslast: | | | N_{cr} | 902 kN | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | $\alpha_{anv.} =$ | 15 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Kontrolparametre</th> <th colspan="3">Brudlasttilfælde</th> <th rowspan="2">Anv. - tilfælde</th> </tr> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th>C</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>N_{Ed} (kN)</td> <td>530</td> <td>432</td> <td>503</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>M_{0Ed} (kNm)</td> <td>13</td> <td>11</td> <td>13</td> <td>0,0</td> </tr> <tr> <td>M_{0Rd} (kNm)</td> <td>10</td> <td>11</td> <td>10</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>u (mm)</td> <td>24,0</td> <td>25,4</td> <td>24,3</td> <td>0,0</td> </tr> <tr> <td>w_k (mm)</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>urevnet</td> </tr> <tr> <td>$\epsilon_0 / (1+\phi)$ (o/o)</td> <td>0,83</td> <td>0,77</td> <td>0,81</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>σ_{c0} (Mpa)</td> <td>24,9</td> <td>23,5</td> <td>24,5</td> <td>0,0</td> </tr> <tr> <td>σ_{st} (Mpa)</td> <td>27</td> <td>60</td> <td>35</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>σ_{sc} (Mpa)</td> <td>207</td> <td>187</td> <td>201</td> <td>25</td> </tr> <tr> <td>x (mm)</td> <td>135</td> <td>119</td> <td>131</td> <td>-</td> </tr> </tbody> </table> | | Kontrolparametre | Brudlasttilfælde | | | Anv. - tilfælde | A | B | C | N_{Ed} (kN) | 530 | 432 | 503 | 0 | M_{0Ed} (kNm) | 13 | 11 | 13 | 0,0 | M_{0Rd} (kNm) | 10 | 11 | 10 | - | u (mm) | 24,0 | 25,4 | 24,3 | 0,0 | w_k (mm) | - | - | - | urevnet | $\epsilon_0 / (1+\phi)$ (o/o) | 0,83 | 0,77 | 0,81 | - | σ_{c0} (Mpa) | 24,9 | 23,5 | 24,5 | 0,0 | σ_{st} (Mpa) | 27 | 60 | 35 | 0 | σ_{sc} (Mpa) | 207 | 187 | 201 | 25 | x (mm) | 135 | 119 | 131 | - | <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Brudlasttilfælde</th> <th>N_1 (kN)</th> <th>N_0 (kN)</th> <th>N_2 (kN)</th> <th>w (kN/m)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A Forsøgsresultat V</td> <td>530</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>B</td> <td></td> <td>432</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>C Bæreevne EC2</td> <td></td> <td>432</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>D Bæreevne DS411</td> <td></td> <td>503</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>E</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>F</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>G</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>H</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>I</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Anvendelsestilfælde:</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Excentriciteter (mm) :</td> <td>24,9</td> <td>25</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> | | Brudlasttilfælde | N_1 (kN) | N_0 (kN) | N_2 (kN) | w (kN/m) | A Forsøgsresultat V | 530 | | | | B | | 432 | | | C Bæreevne EC2 | | 432 | | | D Bæreevne DS411 | | 503 | | | E | | | | | F | | | | | G | | | | | H | | | | | I | | | | | Anvendelsestilfælde: | | | | | Excentriciteter (mm) : | 24,9 | 25 | | |
| Kontrolparametre | Brudlasttilfælde | | | | Anv. - tilfælde | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | A | B | C | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| N_{Ed} (kN) | 530 | 432 | 503 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| M_{0Ed} (kNm) | 13 | 11 | 13 | 0,0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| M_{0Rd} (kNm) | 10 | 11 | 10 | - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| u (mm) | 24,0 | 25,4 | 24,3 | 0,0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| w_k (mm) | - | - | - | urevnet | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| $\epsilon_0 / (1+\phi)$ (o/o) | 0,83 | 0,77 | 0,81 | - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| σ_{c0} (Mpa) | 24,9 | 23,5 | 24,5 | 0,0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| σ_{st} (Mpa) | 27 | 60 | 35 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| σ_{sc} (Mpa) | 207 | 187 | 201 | 25 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| x (mm) | 135 | 119 | 131 | - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Brudlasttilfælde | N_1 (kN) | N_0 (kN) | N_2 (kN) | w (kN/m) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| A Forsøgsresultat V | 530 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| B | | 432 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| C Bæreevne EC2 | | 432 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| D Bæreevne DS411 | | 503 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| E | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| F | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| G | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| H | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| I | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Anvendelsestilfælde: | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Excentriciteter (mm) : | 24,9 | 25 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Vejledning: PC-statik: Søjle- og vægberegning efter EC2 | | Udgivet på www.bef.dk december 2008 | | NB: Resultaterne skal altid kontrolleres af ansvarlig statiker | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |



| | | | | | | | |
|---|--|---|--|---|--|--|--|
| Sagsnavn: Robert F. Warner & Karl Kordina Bygningsdel: Søjleforsøg VII Emne: Normale lastkombinationer | | Sag nr.: 17681 Dato: 2008-12-08 Init: LZH | | SØJLE, version 1 / EC2 | | Betonelement-Foreningen dec. 2008 | |
| | | | | Materialer f_{ck} 29 MPa f_{yk} 267 MPa γ_c 1,00 γ_s 1,00 | | Regningsmæssige parametre f_{cd} 29,0 MPa f_{yd} 267 MPa E_{cd} 32575 MPa | |
| | | | | Søjlelængde L_s 5133 mm | | Krybetal RH 50% t_o 28 døg ϕ_o 2,69 M_{0Eqp}/M_{0Ed} 0,57 ϕ_{ef} 1,53 | |
| Tværsnit h 174 mm b 272 mm c 22 mm | | Trykarm. d_a 12 mm Antal 2 stk | | Trækarm. d_a 12 mm Antal 2 stk | | Bøjler Generelt: ϕ 6 / 174 mm Top og bund: ϕ 6 / 105 mm | |
| Anvendelsestilstand I anvendelsestilstand skønnes α til en passende værdi afhængig af forholdet mellem lang- og kort-tidslast: $\alpha_{anv.} = 15$ | | | | Kritisk last (central) σ_{crd} 14,93 MPa ϕ_c 0,48% ϕ_t 0,48% N_{cr} 748 kN | | | |
| | | Kontrolparametre | | Brudlasttilfælde | | Anv. - tilfælde | |
| | | N_{Ed} (kN) M_{0Ed} (kNm) M_{0Rd} (kNm) u (mm) w_k (mm) $\epsilon_0 / (1+\phi)$ (o/o) σ_{c0} (Mpa) σ_{st} (Mpa) σ_{sc} (Mpa) x (mm) | | A B C 224 238 344 8 8 12 9 8 7 54,0 51,6 32,0 - - - 0,69 0,69 0,61 17,6 17,6 16,0 267 247 62 260 262 254 85 89 126 | | 0 0,0 - 0,0 urevnet - 0 25 - | |
| | | | | Brudlasttilfælde A Forsøgsresultat VII B C Bæreevne EC2 D Bæreevne DS411 E F G H I Anvendelsestilfælde: Excentriciteter (mm) : | | N_1 (kN) 224 N_0 (kN) 238 344 N_2 (kN) w (kN/m) | |
| Vejedning: PC-statik: Søjle- og vægberegning efter EC2 | | Udgivet på www.bef.dk december 2008 | | NB: Resultaterne skal altid kontrolleres af ansvarlig statiker | | | |



| Sagsnavn: Robert F. Warner & Karl Kordina Bygningsdel: Søjleforsøg VIII Emne: Normale lastkombinationer | | Sag nr.: 17681 Dato: 2008-12-08 Init: LZH | | SØJLE, version 1 / EC2 Betonelement-Foreningen dec. 2008 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|------------------|--|----------------------------------|--|-------------------|-------------------|-----------------|--------|----------------------------------|----------|---------------|----------|---------|----------|---------|-----------------|------|----------|-----------|--------------------|-----------------|---------|-----------------|----|-----|-----------------|------|--------|-------|---------|------------|--------|----------|------|-----------------|-------------------------------|-------|--------------------|------|---|---------------------|-------|-------------|------|-----------------|---------------------|-------|---------------|-----------|-------------------|---------------------|-------|--------------|-------------------|----------------------------|--------|----|-------------------------------|-----|---|---|------------------|------------|----------------------|------------|----------|------------------------|-----|--|--------------------------|--|---|--|--|--|----------------|----------------|--|-----|--|--|------------------|--|-----|--|--|---|-----------------|--|--|--|---|--|--|--|--|---|--|--|--|--|---|--|--|--|--|---|--|--|--|--|-----------------------------|--|--|--|--|------------------------|------|----|--|--|
| | | | | <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td rowspan="3">Materialer</td> <td>f_{ck}</td> <td>30 MPa</td> <td rowspan="3">Regningsmæssige parametre</td> <td>f_{cd}</td> <td>30,0 MPa</td> </tr> <tr> <td>f_{yk}</td> <td>423 MPa</td> <td>f_{yd}</td> <td>423 MPa</td> </tr> <tr> <td>γ_c</td> <td>1,00</td> <td>E_{cd}</td> <td>32837 MPa</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">Søjlelængde</td> <td>L_s</td> <td>5138 mm</td> <td rowspan="4">Krybetal</td> <td>RH</td> <td>50%</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Tværsnit</td> <td>h</td> <td>173 mm</td> <td>t_o</td> <td>28 døgn</td> </tr> <tr> <td>b</td> <td>269 mm</td> <td>ϕ_o</td> <td>2,62</td> </tr> <tr> <td>Trykarm.</td> <td>d_a</td> <td>22 mm</td> <td>M_{0Eqp}/M_{0Ed}</td> <td>0,58</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Antal</td> <td>2 stk</td> <td>ϕ_{ef}</td> <td>1,52</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Trækarm.</td> <td>d_a</td> <td>22 mm</td> <td rowspan="2">Bøjler</td> <td>Generelt:</td> <td>ϕ 6 / 173 mm</td> </tr> <tr> <td>Antal</td> <td>2 stk</td> <td>Top og bund:</td> <td>ϕ 6 / 104 mm</td> </tr> <tr> <td colspan="3">Anvendelsestilstand</td> <td colspan="3">Kritisk last (central)</td> </tr> <tr> <td colspan="3">I anvendelsestilstand skønnes α til en passende værdi afhængig af forholdet mellem lang- og kort-tidslast:</td> <td colspan="3">$\alpha_{anv.} = 15$</td> </tr> <tr> <td colspan="3"></td> <td colspan="3">σ_{crd} 15,15 MPa</td> </tr> <tr> <td colspan="3"></td> <td colspan="3">ϕ_c 1,63%</td> </tr> <tr> <td colspan="3"></td> <td colspan="3">ϕ_t 1,63%</td> </tr> <tr> <td colspan="3"></td> <td colspan="3">N_{cr} 846 kN</td> </tr> </table> | | Materialer | f_{ck} | 30 MPa | Regningsmæssige parametre | f_{cd} | 30,0 MPa | f_{yk} | 423 MPa | f_{yd} | 423 MPa | γ_c | 1,00 | E_{cd} | 32837 MPa | Søjlelængde | L_s | 5138 mm | Krybetal | RH | 50% | Tværsnit | h | 173 mm | t_o | 28 døgn | b | 269 mm | ϕ_o | 2,62 | Trykarm. | d_a | 22 mm | M_{0Eqp}/M_{0Ed} | 0,58 | | Antal | 2 stk | ϕ_{ef} | 1,52 | Trækarm. | d_a | 22 mm | Bøjler | Generelt: | ϕ 6 / 173 mm | Antal | 2 stk | Top og bund: | ϕ 6 / 104 mm | Anvendelsestilstand | | | Kritisk last (central) | | | I anvendelsestilstand skønnes α til en passende værdi afhængig af forholdet mellem lang- og kort-tidslast: | | | $\alpha_{anv.} = 15$ | | | | | | σ_{crd} 15,15 MPa | | | | | | ϕ_c 1,63% | | | | | | ϕ_t 1,63% | | | | | | N_{cr} 846 kN | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Materialer | f_{ck} | 30 MPa | Regningsmæssige parametre | f_{cd} | 30,0 MPa | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | f_{yk} | 423 MPa | | f_{yd} | 423 MPa | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | γ_c | 1,00 | | E_{cd} | 32837 MPa | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Søjlelængde | L_s | 5138 mm | Krybetal | RH | 50% | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Tværsnit | h | | 173 mm | t_o | 28 døgn | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | b | | 269 mm | ϕ_o | 2,62 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Trykarm. | d_a | 22 mm | | M_{0Eqp}/M_{0Ed} | 0,58 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Antal | 2 stk | ϕ_{ef} | 1,52 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Trækarm. | d_a | 22 mm | Bøjler | Generelt: | ϕ 6 / 173 mm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Antal | 2 stk | | Top og bund: | ϕ 6 / 104 mm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Anvendelsestilstand | | | Kritisk last (central) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| I anvendelsestilstand skønnes α til en passende værdi afhængig af forholdet mellem lang- og kort-tidslast: | | | $\alpha_{anv.} = 15$ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | σ_{crd} 15,15 MPa | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | ϕ_c 1,63% | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | ϕ_t 1,63% | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | N_{cr} 846 kN | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Kontrolparametre</th> <th colspan="3">Brudlasttilfælde</th> <th rowspan="2">Anv. - tilfælde</th> </tr> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th>C</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>N_{Ed} (kN)</td> <td>462</td> <td>499</td> <td>589</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>M_{0Ed} (kNm)</td> <td>16</td> <td>17</td> <td>20</td> <td>0,0</td> </tr> <tr> <td>M_{0Rd} (kNm)</td> <td>20</td> <td>17</td> <td>12</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>u (mm)</td> <td>77,7</td> <td>73,7</td> <td>52,9</td> <td>0,0</td> </tr> <tr> <td>w_k (mm)</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>urevnet</td> </tr> <tr> <td>$\epsilon_0 / (1+\phi)$ (o/o)</td> <td>1,14</td> <td>1,12</td> <td>0,94</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>σ_{c0} (Mpa)</td> <td>24,6</td> <td>24,4</td> <td>22,0</td> <td>0,0</td> </tr> <tr> <td>σ_{st} (Mpa)</td> <td>315</td> <td>279</td> <td>133</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>σ_{sc} (Mpa)</td> <td>423</td> <td>423</td> <td>384</td> <td>25</td> </tr> <tr> <td>x (mm)</td> <td>97</td> <td>101</td> <td>118</td> <td>-</td> </tr> </tbody> </table> | Kontrolparametre | Brudlasttilfælde | | | Anv. - tilfælde | A | B | C | N_{Ed} (kN) | 462 | 499 | 589 | 0 | M_{0Ed} (kNm) | 16 | 17 | 20 | 0,0 | M_{0Rd} (kNm) | 20 | 17 | 12 | - | u (mm) | 77,7 | 73,7 | 52,9 | 0,0 | w_k (mm) | - | - | - | urevnet | $\epsilon_0 / (1+\phi)$ (o/o) | 1,14 | 1,12 | 0,94 | - | σ_{c0} (Mpa) | 24,6 | 24,4 | 22,0 | 0,0 | σ_{st} (Mpa) | 315 | 279 | 133 | 0 | σ_{sc} (Mpa) | 423 | 423 | 384 | 25 | x (mm) | 97 | 101 | 118 | - | <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Brudlasttilfælde</th> <th>N_1 (kN)</th> <th>N_0 (kN)</th> <th>N_2 (kN)</th> <th>w (kN/m)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A Forsøgsresultat VIII</td> <td>462</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>B</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>C Bæreevne EC2</td> <td></td> <td>499</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>D Bæreevne DS411</td> <td></td> <td>589</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>E</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>F</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>G</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>H</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>I</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Anvendelsestilfælde:</td> <td colspan="4"></td> </tr> <tr> <td>Excentriciteter (mm) :</td> <td>34,4</td> <td>34</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> | Brudlasttilfælde | N_1 (kN) | N_0 (kN) | N_2 (kN) | w (kN/m) | A Forsøgsresultat VIII | 462 | | | | B | | | | | C Bæreevne EC2 | | 499 | | | D Bæreevne DS411 | | 589 | | | E | | | | | F | | | | | G | | | | | H | | | | | I | | | | | Anvendelsestilfælde: | | | | | Excentriciteter (mm) : | 34,4 | 34 | | |
| Kontrolparametre | Brudlasttilfælde | | | Anv. - tilfælde | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | A | B | C | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| N_{Ed} (kN) | 462 | 499 | 589 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| M_{0Ed} (kNm) | 16 | 17 | 20 | 0,0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| M_{0Rd} (kNm) | 20 | 17 | 12 | - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| u (mm) | 77,7 | 73,7 | 52,9 | 0,0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| w_k (mm) | - | - | - | urevnet | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| $\epsilon_0 / (1+\phi)$ (o/o) | 1,14 | 1,12 | 0,94 | - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| σ_{c0} (Mpa) | 24,6 | 24,4 | 22,0 | 0,0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| σ_{st} (Mpa) | 315 | 279 | 133 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| σ_{sc} (Mpa) | 423 | 423 | 384 | 25 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| x (mm) | 97 | 101 | 118 | - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Brudlasttilfælde | N_1 (kN) | N_0 (kN) | N_2 (kN) | w (kN/m) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| A Forsøgsresultat VIII | 462 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| B | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| C Bæreevne EC2 | | 499 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| D Bæreevne DS411 | | 589 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| E | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| F | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| G | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| H | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| I | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Anvendelsestilfælde: | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Excentriciteter (mm) : | 34,4 | 34 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Vejedning: PC-statik: Søjle- og vægberegning efter EC2 | | Udgivet på www.bef.dk december 2008 | | NB: Resultaterne skal altid kontrolleres af ansvarlig statiker | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |



| Sagsnavn: Robert F. Warner & Karl Kordina Bygningsdel: Søjleforsøg IX Emne: Normale lastkombinationer | | Sag nr.: 17681 Dato: 2008-12-08 Init: LZH | | SØJLE, version 1 / EC2 Betonelement-Foreningen dec. 2008 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|------------------|--|----------------------------------|---|-------------------|-------------------|----------|-----------------|----------------------------------|----------|----------|---------------|---------|----------|---------|------------|-----------------|----------|-----------|------------|------|-----------------|---|--------------------|-------|---------|-----------------|------|------|-----------------|-----|------------|-------|--------|---|---------|-------------------------------|------|------|-------|--------------------|---------------------|-----------------|-------|-------|---------------|---------------------|-------------------|-------|-------|--------------|---------------------|-----------------|-------|-------|-------------------------------|----------------|-----------|-------|-------|----------|---|---|------------------|------------|------------|------------|----------|----------------------|-----|--|--|--|---|--|-----|--|--|----------------|--|-----|--|--|------------------|--|--|--|--|---|--|--|--|--|---|--|--|--|--|---|--|--|--|--|---|--|--|--|--|---|--|--|--|--|-----------------------------|--|--|--|--|------------------------|------|----|--|--|
| | | | | <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td rowspan="4">Materialer</td> <td>f_{ck}</td> <td>35 MPa</td> <td rowspan="4">Regningsmæssige parametre</td> <td>f_{cd}</td> <td>35,0 MPa</td> </tr> <tr> <td>f_{yk}</td> <td>423 MPa</td> <td>f_{yd}</td> <td>423 MPa</td> </tr> <tr> <td>γ_c</td> <td>1,00</td> <td>E_{cd}</td> <td>34077 MPa</td> </tr> <tr> <td>γ_s</td> <td>1,00</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td rowspan="3">Søjlelængde</td> <td>L_s</td> <td>5126 mm</td> <td rowspan="4">Krybetal</td> <td>RH</td> <td>50%</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Tværsnit</td> <td>h</td> <td>172 mm</td> <td>t_o</td> <td>28 døg</td> </tr> <tr> <td>b</td> <td>265 mm</td> <td>ϕ_o</td> <td>2,31</td> </tr> <tr> <td>c</td> <td>22 mm</td> <td>M_{0Eqp}/M_{0Ed}</td> <td>0,29</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Trykarm.</td> <td>d_a</td> <td>12 mm</td> <td rowspan="2">Bøjler</td> <td>Generelt:</td> <td>ϕ 6 / 172 mm</td> </tr> <tr> <td>Antal</td> <td>2 stk</td> <td>Top og bund:</td> <td>ϕ 6 / 104 mm</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Trækarm.</td> <td>d_a</td> <td>12 mm</td> <td rowspan="4">Kritisk last (central)</td> <td>σ_{crd}</td> <td>16,59 MPa</td> </tr> <tr> <td>Antal</td> <td>2 stk</td> <td>ϕ_c</td> <td>0,50%</td> </tr> <tr> <td colspan="3" rowspan="2">Anvendelsestilstand I anvendelsestilstand skønnes α til en passende værdi afhængig af forholdet mellem lang- og kort-tidslast: $\alpha_{anv.} = 15$</td> <td>ϕ_t</td> <td>0,50%</td> </tr> <tr> <td>N_{cr}</td> <td>800 kN</td> </tr> </table> | | Materialer | f_{ck} | 35 MPa | Regningsmæssige parametre | f_{cd} | 35,0 MPa | f_{yk} | 423 MPa | f_{yd} | 423 MPa | γ_c | 1,00 | E_{cd} | 34077 MPa | γ_s | 1,00 | | | Søjlelængde | L_s | 5126 mm | Krybetal | RH | 50% | Tværsnit | h | 172 mm | t_o | 28 døg | b | 265 mm | ϕ_o | 2,31 | c | 22 mm | M_{0Eqp}/M_{0Ed} | 0,29 | Trykarm. | d_a | 12 mm | Bøjler | Generelt: | ϕ 6 / 172 mm | Antal | 2 stk | Top og bund: | ϕ 6 / 104 mm | Trækarm. | d_a | 12 mm | Kritisk last (central) | σ_{crd} | 16,59 MPa | Antal | 2 stk | ϕ_c | 0,50% | Anvendelsestilstand I anvendelsestilstand skønnes α til en passende værdi afhængig af forholdet mellem lang- og kort-tidslast: $\alpha_{anv.} = 15$ | | | ϕ_t | 0,50% | N_{cr} | 800 kN | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Materialer | f_{ck} | 35 MPa | Regningsmæssige parametre | f_{cd} | 35,0 MPa | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | f_{yk} | 423 MPa | | f_{yd} | 423 MPa | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | γ_c | 1,00 | | E_{cd} | 34077 MPa | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | γ_s | 1,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Søjlelængde | L_s | 5126 mm | Krybetal | RH | 50% | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Tværsnit | h | | 172 mm | t_o | 28 døg | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | b | | 265 mm | ϕ_o | 2,31 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| c | 22 mm | M_{0Eqp}/M_{0Ed} | | 0,29 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Trykarm. | d_a | 12 mm | Bøjler | Generelt: | ϕ 6 / 172 mm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Antal | 2 stk | | Top og bund: | ϕ 6 / 104 mm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Trækarm. | d_a | 12 mm | Kritisk last (central) | σ_{crd} | 16,59 MPa | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Antal | 2 stk | | ϕ_c | 0,50% | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Anvendelsestilstand I anvendelsestilstand skønnes α til en passende værdi afhængig af forholdet mellem lang- og kort-tidslast: $\alpha_{anv.} = 15$ | | | | ϕ_t | 0,50% | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | N_{cr} | 800 kN | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Kontrolparametre</th> <th colspan="3">Brudlasttilfælde</th> <th rowspan="2">Anv. - tilfælde</th> </tr> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th>C</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>N_{Ed} (kN)</td> <td>430</td> <td>372</td> <td>460</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>M_{0Ed} (kNm)</td> <td>11</td> <td>9</td> <td>11</td> <td>0,0</td> </tr> <tr> <td>M_{0Rd} (kNm)</td> <td>9</td> <td>9</td> <td>8</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>u (mm)</td> <td>25,8</td> <td>27,2</td> <td>25,5</td> <td>0,0</td> </tr> <tr> <td>w_k (mm)</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>urevnet</td> </tr> <tr> <td>$\epsilon_0 / (1+\phi)$ (o/o)</td> <td>0,76</td> <td>0,73</td> <td>0,78</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>σ_{c0} (Mpa)</td> <td>21,0</td> <td>20,4</td> <td>21,5</td> <td>0,0</td> </tr> <tr> <td>σ_{st} (Mpa)</td> <td>42</td> <td>68</td> <td>31</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>σ_{sc} (Mpa)</td> <td>210</td> <td>196</td> <td>218</td> <td>25</td> </tr> <tr> <td>x (mm)</td> <td>129</td> <td>117</td> <td>134</td> <td>-</td> </tr> </tbody> </table> | | Kontrolparametre | Brudlasttilfælde | | | Anv. - tilfælde | A | B | C | N_{Ed} (kN) | 430 | 372 | 460 | 0 | M_{0Ed} (kNm) | 11 | 9 | 11 | 0,0 | M_{0Rd} (kNm) | 9 | 9 | 8 | - | u (mm) | 25,8 | 27,2 | 25,5 | 0,0 | w_k (mm) | - | - | - | urevnet | $\epsilon_0 / (1+\phi)$ (o/o) | 0,76 | 0,73 | 0,78 | - | σ_{c0} (Mpa) | 21,0 | 20,4 | 21,5 | 0,0 | σ_{st} (Mpa) | 42 | 68 | 31 | 0 | σ_{sc} (Mpa) | 210 | 196 | 218 | 25 | x (mm) | 129 | 117 | 134 | - | <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Brudlasttilfælde</th> <th>N_1 (kN)</th> <th>N_0 (kN)</th> <th>N_2 (kN)</th> <th>w (kN/m)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A Forsøgsresultat IX</td> <td>430</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>B</td> <td></td> <td>372</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>C Bæreevne EC2</td> <td></td> <td>460</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>D Bæreevne DS411</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>E</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>F</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>G</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>H</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>I</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Anvendelsestilfælde:</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Excentriciteter (mm) :</td> <td>24,9</td> <td>25</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> | | Brudlasttilfælde | N_1 (kN) | N_0 (kN) | N_2 (kN) | w (kN/m) | A Forsøgsresultat IX | 430 | | | | B | | 372 | | | C Bæreevne EC2 | | 460 | | | D Bæreevne DS411 | | | | | E | | | | | F | | | | | G | | | | | H | | | | | I | | | | | Anvendelsestilfælde: | | | | | Excentriciteter (mm) : | 24,9 | 25 | | |
| Kontrolparametre | Brudlasttilfælde | | | | Anv. - tilfælde | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | A | B | C | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| N_{Ed} (kN) | 430 | 372 | 460 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| M_{0Ed} (kNm) | 11 | 9 | 11 | 0,0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| M_{0Rd} (kNm) | 9 | 9 | 8 | - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| u (mm) | 25,8 | 27,2 | 25,5 | 0,0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| w_k (mm) | - | - | - | urevnet | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| $\epsilon_0 / (1+\phi)$ (o/o) | 0,76 | 0,73 | 0,78 | - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| σ_{c0} (Mpa) | 21,0 | 20,4 | 21,5 | 0,0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| σ_{st} (Mpa) | 42 | 68 | 31 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| σ_{sc} (Mpa) | 210 | 196 | 218 | 25 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| x (mm) | 129 | 117 | 134 | - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Brudlasttilfælde | N_1 (kN) | N_0 (kN) | N_2 (kN) | w (kN/m) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| A Forsøgsresultat IX | 430 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| B | | 372 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| C Bæreevne EC2 | | 460 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| D Bæreevne DS411 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| E | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| F | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| G | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| H | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| I | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Anvendelsestilfælde: | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Excentriciteter (mm) : | 24,9 | 25 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Veiledning: PC-statik: Søjle- og vægberegning efter EC2 | | Udgivet på www.bef.dk december 2008 | | NB: Resultaterne skal altid kontrolleres af ansvarlig statiker | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |



| Sagsnavn: Robert F. Warner & Karl Kordina Bygningsdel: Søjleforsøg X Emne: Normale lastkombinationer | | Sag nr.: 17681 Dato: 2008-12-08 Init: LZH | | SØJLE, version 1 / EC2 | | Betonelement-Foreningen dec. 2008 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|------------|--|------------|--|---|---|---|---------------|-----|-----|-----|-----------------|----|----|----|-----------------|---|----|---|----------|------|------|------|------------|---|---|---|-------------------------------|------|------|------|---------------------|------|------|------|---------------------|-----|-----|-----|---------------------|-----|-----|-----|----------|-----|----|-----|---|--|--|------------|------------|------------|------------|---------------------|-----|--|--|--|---|--|--|--|--|----------------|--|-----|--|--|------------------|--|-----|--|--|---|--|--|--|--|---|--|--|--|--|---|--|--|--|--|---|--|--|--|--|---|--|--|--|--|----------------------|--|--|--|--|------------------------|------|----|--|--|
| | | | | Materialer f_{ck} 26 MPa f_{yk} 462 MPa γ_c 1,00 γ_s 1,00 | | Regningsmæssige parametre f_{cd} 26,0 MPa f_{yd} 462 MPa E_{cd} 31759 MPa | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | Søjlelængde L_s 5198 mm | | Krybetal RH 50% t_o 28 døg ϕ_o 2,90 M_{0Eqp}/M_{0Ed} 0,56 ϕ_{ef} 1,63 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tværsnit h 172 mm b 265 mm c 22 mm | | Trykarm. d_a 18 mm Antal 2 stk | | Trækarm. d_a 18 mm Antal 2 stk | | Bøjler Generelt: ϕ 6 / 172 mm Top og bund: ϕ 6 / 104 mm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Anvendelsestilstand I anvendelsestilstand skønnes α til en passende værdi afhængig af forholdet mellem lang- og kort-tidslast: $\alpha_{anv.} = 15$ | | | | Kritisk last (central) σ_{crd} 13,62 MPa ϕ_c 1,12% ϕ_t 1,12% N_{cr} 708 kN | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Kontrolparametre | | Brudlasttilfælde | | Anv. - tilfælde | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| N_{Ed} (kN) M_{0Ed} (kNm) M_{ORd} (kNm) u (mm) w_k (mm) $\epsilon_0 / (1+\phi)$ (o/o) σ_{c0} (Mpa) σ_{st} (Mpa) σ_{sc} (Mpa) x (mm) | | <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>A</th> <th>B</th> <th>C</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>N_{Ed} (kN)</td> <td>425</td> <td>356</td> <td>441</td> </tr> <tr> <td>M_{0Ed} (kNm)</td> <td>15</td> <td>12</td> <td>15</td> </tr> <tr> <td>M_{ORd} (kNm)</td> <td>8</td> <td>12</td> <td>8</td> </tr> <tr> <td>u (mm)</td> <td>55,8</td> <td>95,0</td> <td>48,2</td> </tr> <tr> <td>w_k (mm)</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>$\epsilon_0 / (1+\phi)$ (o/o)</td> <td>0,87</td> <td>1,21</td> <td>0,80</td> </tr> <tr> <td>σ_{c0} (Mpa)</td> <td>19,1</td> <td>22,7</td> <td>18,2</td> </tr> <tr> <td>σ_{st} (Mpa)</td> <td>163</td> <td>417</td> <td>114</td> </tr> <tr> <td>σ_{sc} (Mpa)</td> <td>366</td> <td>462</td> <td>343</td> </tr> <tr> <td>x (mm)</td> <td>110</td> <td>91</td> <td>118</td> </tr> </tbody> </table> | | | A | B | C | N_{Ed} (kN) | 425 | 356 | 441 | M_{0Ed} (kNm) | 15 | 12 | 15 | M_{ORd} (kNm) | 8 | 12 | 8 | u (mm) | 55,8 | 95,0 | 48,2 | w_k (mm) | - | - | - | $\epsilon_0 / (1+\phi)$ (o/o) | 0,87 | 1,21 | 0,80 | σ_{c0} (Mpa) | 19,1 | 22,7 | 18,2 | σ_{st} (Mpa) | 163 | 417 | 114 | σ_{sc} (Mpa) | 366 | 462 | 343 | x (mm) | 110 | 91 | 118 | <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>N_1 (kN)</th> <th>N_0 (kN)</th> <th>N_2 (kN)</th> <th>w (kN/m)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A Forsøgsresultat X</td> <td>425</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>B</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>C Bæreevne EC2</td> <td></td> <td>356</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>D Bæreevne DS411</td> <td></td> <td>441</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>E</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>F</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>G</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>H</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>I</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Anvendelsestilfælde:</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Excentriciteter (mm) :</td> <td>34,5</td> <td>35</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> | | | N_1 (kN) | N_0 (kN) | N_2 (kN) | w (kN/m) | A Forsøgsresultat X | 425 | | | | B | | | | | C Bæreevne EC2 | | 356 | | | D Bæreevne DS411 | | 441 | | | E | | | | | F | | | | | G | | | | | H | | | | | I | | | | | Anvendelsestilfælde: | | | | | Excentriciteter (mm) : | 34,5 | 35 | | |
| | A | B | C | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| N_{Ed} (kN) | 425 | 356 | 441 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| M_{0Ed} (kNm) | 15 | 12 | 15 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| M_{ORd} (kNm) | 8 | 12 | 8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| u (mm) | 55,8 | 95,0 | 48,2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| w_k (mm) | - | - | - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| $\epsilon_0 / (1+\phi)$ (o/o) | 0,87 | 1,21 | 0,80 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| σ_{c0} (Mpa) | 19,1 | 22,7 | 18,2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| σ_{st} (Mpa) | 163 | 417 | 114 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| σ_{sc} (Mpa) | 366 | 462 | 343 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| x (mm) | 110 | 91 | 118 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | N_1 (kN) | N_0 (kN) | N_2 (kN) | w (kN/m) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| A Forsøgsresultat X | 425 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| B | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| C Bæreevne EC2 | | 356 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| D Bæreevne DS411 | | 441 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| E | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| F | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| G | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| H | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| I | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Anvendelsestilfælde: | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Excentriciteter (mm) : | 34,5 | 35 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Vejledning: PC-statik: Søjle- og vægberegning efter EC2 | | Udgivet på www.bef.dk december 2008 | | NB: Resultaterne skal altid kontrolleres af ansvarlig statiker | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |



| | | | | | | | |
|---|--|---|--|--|--|---|--|
| Sagsnavn: Robert F. Warner & Karl Kordina Bygningsdel: Søjleforsøg XI Emne: Normale lastkombinationer | | Sag nr.: 17681 Dato: 2008-12-08 Init: LZH | | SØJLE, version 1 / EC2 | | Betonelement-Foreningen dec. 2008 | |
| | | | | Materialer f_{ck} 26 MPa f_{yk} 267 MPa γ_c 1,00 γ_s 1,00 | | Regningsmæssige parametre f_{cd} 26,0 MPa f_{yd} 267 MPa E_{cd} 31759 MPa | |
| | | | | Søjlelængde L_s 5128 mm | | Krybetal RH 50% t_o 28 døg ϕ_o 2,90 M_{0Eqp}/M_{0Ed} 0,58 ϕ_{ef} 1,68 | |
| Tværsnit h 172 mm b 265 mm c 22 mm | | Trykarm. d_a 12 mm Antal 2 stk | | Trækarm. d_a 12 mm Antal 2 stk | | Bøjler Generelt: ϕ 6 / 172 mm Top og bund: ϕ 6 / 104 mm | |
| Anvendelsestilstand I anvendelsestilstand skønnes α til en passende værdi afhængig af forholdet mellem lang- og kort-tidslast: $\alpha_{anv.} = 15$ | | | | Kritisk last (central) σ_{crd} 13,79 MPa ϕ_c 0,50% ϕ_t 0,50% N_{cr} 668 kN | | | |
| | | Kontrolparametre | | Brudlasttilfælde | | Anv. - tilfælde | |
| N_{Ed} (kN) M_{0Ed} (kNm) M_{0Rd} (kNm) u (mm) w_k (mm) $\epsilon_0 / (1+\phi)$ (o/o) σ_{c0} (Mpa) σ_{st} (Mpa) σ_{sc} (Mpa) x (mm) | | A 250 9 7 42,4 - 0,61 15,2 155 258 102 | | B 217 7 8 53,8 - 0,68 16,2 251 267 89 | | C 317 11 6 32,4 - 0,58 14,6 56 259 127 | |
| Brudlasttilfælde A Forsøgsresultat XI B C Bæreevne EC2 D Bæreevne DS411 E F G H I Anvendelsestilfælde: Excentriciteter (mm) : | | N_1 (kN) 250 | | N_0 (kN) 217 317 | | N_2 (kN) 250 | |
| w (kN/m) 34,5 35 | | | | | | | |
| Vejledning: PC-statik: Søjle- og vægberegning efter EC2 | | Udgivet på www.bef.dk december 2008 | | NB: Resultaterne skal altid kontrolleres af ansvarlig statiker | | | |



| Sagsnavn: Robert F. Warner & Karl Kordina Bygningsdel: Søjleforsøg XII Emne: Normale lastkombinationer | | Sag nr.: 17681 Dato: 2008-12-08 Init: LZH | | SØJLE, version 1 / EC2 Betonelement-Foreningen dec. 2008 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|------------------|---|----------------------------------|--|----------------|-------------------|-----------------|--------|----------------------------------|----------|---------------|----------|---------|----------|---------|-----------------|------|----------|-----------|--------------------|-----------------|---------|-----------------|----|-----|----------|--------|-------|--------|-----|------------|----------|------|-----------------|---------|-------------------------------|--------------------|------|------|-------|---------------------|-------------|------|------|-----------------|---------------------|-------|---------------|-----------------------------|---|---------------------|-------|--------------------------------|-----|-----------------|----------|-------|----------------------------|--|---|---|------------------|--|------------|------------|------------|-----------------------|-----|-------------------|----|--|---|--|--|-------------------------------|----------------|----------------|--|-----|--|--|------------------|----------|-------|--|--|---|--|--|----------|-------|---|--|--|--|--|----------|--------|--|--|--|---|--|--|--|--|---|--|--|--|--|-----------------------------|--|--|--|--|------------------------|------|----|--|--|
| | | | | <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td rowspan="3">Materialer</td> <td>f_{ck}</td> <td>26 MPa</td> <td rowspan="3">Regningsmæssige parametre</td> <td>f_{cd}</td> <td>26,0 MPa</td> </tr> <tr> <td>f_{yk}</td> <td>423 MPa</td> <td>f_{yd}</td> <td>423 MPa</td> </tr> <tr> <td>γ_c</td> <td>1,00</td> <td>E_{cd}</td> <td>31759 MPa</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">Søjlelængde</td> <td>L_s</td> <td>5133 mm</td> <td rowspan="3">Krybetal</td> <td>RH</td> <td>50%</td> </tr> <tr> <td>h</td> <td>174 mm</td> <td>t_o</td> <td>28 døg</td> </tr> <tr> <td>b</td> <td>265 mm</td> <td>ϕ_o</td> <td>2,90</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Tværsnit</td> <td>c</td> <td>22 mm</td> <td rowspan="2">M_{0Eqp}/M_{0Ed}</td> <td colspan="2">0,62</td> </tr> <tr> <td>d_a</td> <td>22 mm</td> <td>ϕ_{ef}</td> <td colspan="2">1,80</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Trykarm.</td> <td>d_a</td> <td>22 mm</td> <td rowspan="2">Bøjler</td> <td colspan="2">Generelt: ϕ 6 / 174 mm</td> </tr> <tr> <td>Antal</td> <td>2 stk</td> <td colspan="2">Top og bund: ϕ 6 / 105 mm</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Trækarm.</td> <td>d_a</td> <td>22 mm</td> <td rowspan="2">Anvendelsestilstand</td> <td colspan="2">I anvendelsestilstand skønnes α</td> </tr> <tr> <td>Antal</td> <td>2 stk</td> <td colspan="2">til en passende værdi afhængig af forholdet mellem lang- og kort-tidslast:</td> </tr> <tr> <td colspan="4"></td> <td>$\alpha_{anv.} =$</td> <td>15</td> </tr> <tr> <td colspan="4"></td> <td>Kritisk last (central)</td> <td>σ_{crd}</td> <td>13,93 MPa</td> </tr> <tr> <td colspan="4"></td> <td></td> <td>ϕ_c</td> <td>1,65%</td> </tr> <tr> <td colspan="4"></td> <td></td> <td>ϕ_t</td> <td>1,65%</td> </tr> <tr> <td colspan="4"></td> <td></td> <td>N_{cr}</td> <td>776 kN</td> </tr> </table> | | Materialer | f_{ck} | 26 MPa | Regningsmæssige parametre | f_{cd} | 26,0 MPa | f_{yk} | 423 MPa | f_{yd} | 423 MPa | γ_c | 1,00 | E_{cd} | 31759 MPa | Søjlelængde | L_s | 5133 mm | Krybetal | RH | 50% | h | 174 mm | t_o | 28 døg | b | 265 mm | ϕ_o | 2,90 | Tværsnit | c | 22 mm | M_{0Eqp}/M_{0Ed} | 0,62 | | d_a | 22 mm | ϕ_{ef} | 1,80 | | Trykarm. | d_a | 22 mm | Bøjler | Generelt: ϕ 6 / 174 mm | | Antal | 2 stk | Top og bund: ϕ 6 / 105 mm | | Trækarm. | d_a | 22 mm | Anvendelsestilstand | I anvendelsestilstand skønnes α | | Antal | 2 stk | til en passende værdi afhængig af forholdet mellem lang- og kort-tidslast: | | | | | | $\alpha_{anv.} =$ | 15 | | | | | Kritisk last (central) | σ_{crd} | 13,93 MPa | | | | | | ϕ_c | 1,65% | | | | | | ϕ_t | 1,65% | | | | | | N_{cr} | 776 kN | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Materialer | f_{ck} | 26 MPa | Regningsmæssige parametre | f_{cd} | 26,0 MPa | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | f_{yk} | 423 MPa | | f_{yd} | 423 MPa | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | γ_c | 1,00 | | E_{cd} | 31759 MPa | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Søjlelængde | L_s | 5133 mm | Krybetal | RH | 50% | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | h | 174 mm | | t_o | 28 døg | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | b | 265 mm | | ϕ_o | 2,90 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tværsnit | c | 22 mm | M_{0Eqp}/M_{0Ed} | 0,62 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | d_a | 22 mm | | ϕ_{ef} | 1,80 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Trykarm. | d_a | 22 mm | Bøjler | Generelt: ϕ 6 / 174 mm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Antal | 2 stk | | Top og bund: ϕ 6 / 105 mm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Trækarm. | d_a | 22 mm | Anvendelsestilstand | I anvendelsestilstand skønnes α | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Antal | 2 stk | | til en passende værdi afhængig af forholdet mellem lang- og kort-tidslast: | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | $\alpha_{anv.} =$ | 15 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | Kritisk last (central) | σ_{crd} | 13,93 MPa | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | ϕ_c | 1,65% | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | ϕ_t | 1,65% | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | N_{cr} | 776 kN | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Kontrolparametre</th> <th colspan="3">Brudlasttilfælde</th> <th rowspan="2">Anv. - tilfælde</th> </tr> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th>C</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>N_{Ed} (kN)</td> <td>460</td> <td>479</td> <td>571</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>M_{0Ed} (kNm)</td> <td>16</td> <td>16</td> <td>20</td> <td>0,0</td> </tr> <tr> <td>M_{0Rd} (kNm)</td> <td>18</td> <td>17</td> <td>11</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>u (mm)</td> <td>70,0</td> <td>67,8</td> <td>60,1</td> <td>0,0</td> </tr> <tr> <td>w_k (mm)</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>urevnet</td> </tr> <tr> <td>$\epsilon_0 / (1+\phi)$ (o/o)</td> <td>0,99</td> <td>0,98</td> <td>0,96</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>σ_{c0} (Mpa)</td> <td>20,5</td> <td>20,4</td> <td>20,2</td> <td>0,0</td> </tr> <tr> <td>σ_{st} (Mpa)</td> <td>255</td> <td>236</td> <td>156</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>σ_{sc} (Mpa)</td> <td>423</td> <td>423</td> <td>423</td> <td>25</td> </tr> <tr> <td>x (mm)</td> <td>104</td> <td>106</td> <td>118</td> <td>-</td> </tr> </tbody> </table> | Kontrolparametre | Brudlasttilfælde | | | Anv. - tilfælde | A | B | C | N_{Ed} (kN) | 460 | 479 | 571 | 0 | M_{0Ed} (kNm) | 16 | 16 | 20 | 0,0 | M_{0Rd} (kNm) | 18 | 17 | 11 | - | u (mm) | 70,0 | 67,8 | 60,1 | 0,0 | w_k (mm) | - | - | - | urevnet | $\epsilon_0 / (1+\phi)$ (o/o) | 0,99 | 0,98 | 0,96 | - | σ_{c0} (Mpa) | 20,5 | 20,4 | 20,2 | 0,0 | σ_{st} (Mpa) | 255 | 236 | 156 | 0 | σ_{sc} (Mpa) | 423 | 423 | 423 | 25 | x (mm) | 104 | 106 | 118 | - | <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Brudlasttilfælde</th> <th>N_1 (kN)</th> <th>N_0 (kN)</th> <th>N_2 (kN)</th> <th>w (kN/m)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A Forsøgsresultat XII</td> <td>460</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>B</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>C Bæreevne EC2</td> <td></td> <td>479</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>D Bæreevne DS411</td> <td></td> <td>571</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>E</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>F</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>G</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>H</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>I</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Anvendelsestilfælde:</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Excentriciteter (mm) :</td> <td>34,4</td> <td>34</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> | Brudlasttilfælde | N_1 (kN) | N_0 (kN) | N_2 (kN) | w (kN/m) | A Forsøgsresultat XII | 460 | | | | B | | | | | C Bæreevne EC2 | | 479 | | | D Bæreevne DS411 | | 571 | | | E | | | | | F | | | | | G | | | | | H | | | | | I | | | | | Anvendelsestilfælde: | | | | | Excentriciteter (mm) : | 34,4 | 34 | | |
| Kontrolparametre | Brudlasttilfælde | | | Anv. - tilfælde | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | A | B | C | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| N_{Ed} (kN) | 460 | 479 | 571 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| M_{0Ed} (kNm) | 16 | 16 | 20 | 0,0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| M_{0Rd} (kNm) | 18 | 17 | 11 | - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| u (mm) | 70,0 | 67,8 | 60,1 | 0,0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| w_k (mm) | - | - | - | urevnet | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| $\epsilon_0 / (1+\phi)$ (o/o) | 0,99 | 0,98 | 0,96 | - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| σ_{c0} (Mpa) | 20,5 | 20,4 | 20,2 | 0,0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| σ_{st} (Mpa) | 255 | 236 | 156 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| σ_{sc} (Mpa) | 423 | 423 | 423 | 25 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| x (mm) | 104 | 106 | 118 | - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Brudlasttilfælde | N_1 (kN) | N_0 (kN) | N_2 (kN) | w (kN/m) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| A Forsøgsresultat XII | 460 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| B | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| C Bæreevne EC2 | | 479 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| D Bæreevne DS411 | | 571 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| E | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| F | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| G | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| H | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| I | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Anvendelsestilfælde: | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Excentriciteter (mm) : | 34,4 | 34 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Vejledning: PC-statik: Søjle- og vægberegning efter EC2 | | Udgivet på www.bef.dk december 2008 | | NB: Resultaterne skal altid kontrolleres af ansvarlig statiker | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |



| Sagsnavn: Brandforsøg Bygningsdel: Søjle 6 og 7 Emne: Brandlastkombinationer | | Sag nr.: 17681 Dato: 2008-12-08 Init: LZH | | SØJLE, version 1 / EC2 | | Betonelement-Foreningen dec. 2008 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|------------|---|------------|--|--|--|--|-------------------|------------|------------|------------|------------|---------------|-------|-------|-------|-------|-----------------|---|-----|---|------|--------------------------------|------|------|------|------|---------------------|------|------|------|------|---------------------|-----|-----|-----|------|---------------------|-----|-----|-----|------|----------|----|----|----|------|---|---|---|---|------|---|---|---|---|------|
| | | | | Materialer f_{ck} 23 MPa f_{yk} 487 MPa γ_c 1,00 γ_s 1,00 | | Regningsmæssige parametre f_{cd} 23,0 MPa $f_{yd,tryk}$ 405 MPa $f_{yd,træk}$ 405 MPa | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | Søjlelængde L_s 5760 mm Tværsnit h 300 mm b 300 mm c 40 mm | | Krybetal RH 55% t_o 28 døgn ϕ_o 2,72 M_{0Eqp}/M_{0Ed} 0,00 ϕ_{ef} 0,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | Trykarm. d_a 20 mm Antal 3 stk | | Reduktionsparametre Randzone: a 43 mm Beton: $k_{c,M}$ 1,00 Trykarm: $f_{sy,\theta} / f_{yk}$ 0,83 $E_{s,\theta} / E_s$ 0,97 Trækarm: $f_{sy,\theta} / f_{yk}$ 0,83 $E_{s,\theta} / E_s$ 0,97 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | Trækarm. d_a 20 mm Antal 3 stk | | Brandpåvirkning, tid : 60 min Brand, trykside JA Brand, trækside JA Brand, sider JA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | Ståltipe \varnothing selvanløben, class N | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Kontrolparametre | | Brandlasttilfælde | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | N_{Ed} (kN) M_{0Ed} (kNm) M_{0Rd} (kNm) | | <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>A</th> <th>B</th> <th>C</th> <th>D</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>N_{Ed} (kN)</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>M_{0Ed} (kNm)</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>M_{0Rd} (kNm)</td> <td>80</td> <td>80</td> <td>80</td> <td>80</td> </tr> </tbody> </table> | | | | | A | B | C | D | N_{Ed} (kN) | 0 | 0 | 0 | 0 | M_{0Ed} (kNm) | 0 | 0 | 0 | 0 | M_{0Rd} (kNm) | 80 | 80 | 80 | 80 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | A | B | C | D | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| N_{Ed} (kN) | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| M_{0Ed} (kNm) | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| M_{0Rd} (kNm) | 80 | 80 | 80 | 80 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | u (mm) w_k (mm) $\epsilon_0 / (1+\phi)$ (o/oo) σ_{c0} (Mpa) σ_{st} (Mpa) σ_{sc} (Mpa) x (mm) | | <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>A</th> <th>B</th> <th>C</th> <th>D</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>u (mm)</td> <td>118,3</td> <td>118,3</td> <td>118,3</td> <td>118,3</td> </tr> <tr> <td>w_k (mm)</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>$\epsilon_0 / (1+\phi)$ (o/oo)</td> <td>1,24</td> <td>1,24</td> <td>1,24</td> <td>1,24</td> </tr> <tr> <td>σ_{c0} (Mpa)</td> <td>16,2</td> <td>16,2</td> <td>16,2</td> <td>16,2</td> </tr> <tr> <td>σ_{st} (Mpa)</td> <td>405</td> <td>405</td> <td>405</td> <td>405</td> </tr> <tr> <td>σ_{sc} (Mpa)</td> <td>251</td> <td>251</td> <td>251</td> <td>251</td> </tr> <tr> <td>x (mm)</td> <td>81</td> <td>81</td> <td>81</td> <td>81</td> </tr> </tbody> </table> | | | | | A | B | C | D | u (mm) | 118,3 | 118,3 | 118,3 | 118,3 | w_k (mm) | - | - | - | - | $\epsilon_0 / (1+\phi)$ (o/oo) | 1,24 | 1,24 | 1,24 | 1,24 | σ_{c0} (Mpa) | 16,2 | 16,2 | 16,2 | 16,2 | σ_{st} (Mpa) | 405 | 405 | 405 | 405 | σ_{sc} (Mpa) | 251 | 251 | 251 | 251 | x (mm) | 81 | 81 | 81 | 81 | | | | | | | | | | |
| | A | B | C | D | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| u (mm) | 118,3 | 118,3 | 118,3 | 118,3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| w_k (mm) | - | - | - | - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| $\epsilon_0 / (1+\phi)$ (o/oo) | 1,24 | 1,24 | 1,24 | 1,24 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| σ_{c0} (Mpa) | 16,2 | 16,2 | 16,2 | 16,2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| σ_{st} (Mpa) | 405 | 405 | 405 | 405 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| σ_{sc} (Mpa) | 251 | 251 | 251 | 251 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| x (mm) | 81 | 81 | 81 | 81 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | <table border="1"> <thead> <tr> <th>Brandlasttilfælde</th> <th>N_1 (kN)</th> <th>N_0 (kN)</th> <th>N_2 (kN)</th> <th>w (kN/m)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A 6</td> <td>600</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td>B 7</td> <td>0</td> <td>800</td> <td>0</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td>E</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td>F</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td>G</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td>H</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td>I</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0,00</td> </tr> </tbody> </table> | | | | Brandlasttilfælde | N_1 (kN) | N_0 (kN) | N_2 (kN) | w (kN/m) | A 6 | 600 | 0 | 0 | 0,00 | B 7 | 0 | 800 | 0 | 0,00 | C | 0 | 0 | 0 | 0,00 | D | 0 | 0 | 0 | 0,00 | E | 0 | 0 | 0 | 0,00 | F | 0 | 0 | 0 | 0,00 | G | 0 | 0 | 0 | 0,00 | H | 0 | 0 | 0 | 0,00 | I | 0 | 0 | 0 | 0,00 |
| Brandlasttilfælde | N_1 (kN) | N_0 (kN) | N_2 (kN) | w (kN/m) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| A 6 | 600 | 0 | 0 | 0,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| B 7 | 0 | 800 | 0 | 0,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| C | 0 | 0 | 0 | 0,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| D | 0 | 0 | 0 | 0,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| E | 0 | 0 | 0 | 0,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| F | 0 | 0 | 0 | 0,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| G | 0 | 0 | 0 | 0,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| H | 0 | 0 | 0 | 0,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| I | 0 | 0 | 0 | 0,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | Excentriciteter (mm) : N_1 30, N_0 0, N_2 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Vejledning: PC-statik: Søjle- og vægberegning efter EC2 | | Udgivet på www.bef.dk december 2008 | | NB: Resultaterne skal altid kontrolleres af ansvarlig statiker | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |



| Sagsnavn: Brandforsøg Bygningsdel: Søjle 45 og 46 Emne: Brandlastkombinationer | | Sag nr.: 17681 Dato: 2008-12-08 Init: LZH | | SØJLE, version 1 / EC2 | | Betonelement-Foreningen dec. 2008 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|------------|---|------------|--|--|--|--|-------------------|------------|------------|------------|------------|---------------|-----|---|---|------|-----------------|---|-----|---|------|-----------------|----|----|----|------|----------|-------|-------|-------|-------|------------|---|---|---|------|--------------------------------|------|------|------|------|---------------------|------|------|------|------|---------------------|-----|-----|-----|------|---------------------|-----|-----|-----|------|----------|----|----|----|----|
| | | | | Materialer f_{ck} 40 MPa f_{yk} 480 MPa γ_c 1,00 γ_s 1,00 | | Regningsmæssige parametre f_{cd} 40,0 MPa $f_{yd,tryk}$ 398 MPa $f_{yd,træk}$ 398 MPa | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | Søjlelængde L_s 5710 mm | | Krybetal RH 55% t_o 28 døgn ϕ_o 1,98 M_{0Eqp}/M_{0Ed} 0,00 ϕ_{ef} 0,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | Tværsnit h 200 mm b 200 mm c 40 mm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | Trykarm. d_a 14 mm Antal 3 stk | | Reduktionsparametre Randzone: a 44 mm Beton: $k_{c,M}$ 1,00 Trykarm: $f_{sy,\theta} / f_{yk}$ 0,83 $E_{s,\theta} / E_s$ 0,97 Trækarm: $f_{sy,\theta} / f_{yk}$ 0,83 $E_{s,\theta} / E_s$ 0,97 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | Trækarm. d_a 14 mm Antal 3 stk | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | Brandpåvirkning, tid : 60 min | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | Brand, trykside JA Brand, trækside JA Brand, sider JA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | Ståltype \varnothing selvanløben, class N | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Kontrolparametre | | Brandlasttilfælde | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>A</th> <th>B</th> <th>C</th> <th>D</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>N_{Ed} (kN)</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>M_{0Ed} (kNm)</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>M_{0Rd} (kNm)</td> <td>21</td> <td>21</td> <td>21</td> <td>21</td> </tr> <tr> <td>u (mm)</td> <td>215,6</td> <td>215,6</td> <td>215,6</td> <td>215,6</td> </tr> <tr> <td>w_k (mm)</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>$\epsilon_0 / (1+\phi)$ (o/oo)</td> <td>1,20</td> <td>1,20</td> <td>1,20</td> <td>1,20</td> </tr> <tr> <td>σ_{c0} (Mpa)</td> <td>26,9</td> <td>26,9</td> <td>26,9</td> <td>26,9</td> </tr> <tr> <td>σ_{st} (Mpa)</td> <td>398</td> <td>398</td> <td>398</td> <td>398</td> </tr> <tr> <td>σ_{sc} (Mpa)</td> <td>254</td> <td>254</td> <td>254</td> <td>254</td> </tr> <tr> <td>x (mm)</td> <td>43</td> <td>43</td> <td>43</td> <td>43</td> </tr> </tbody> </table> | | | | | A | B | C | D | N_{Ed} (kN) | 0 | 0 | 0 | 0 | M_{0Ed} (kNm) | 0 | 0 | 0 | 0 | M_{0Rd} (kNm) | 21 | 21 | 21 | 21 | u (mm) | 215,6 | 215,6 | 215,6 | 215,6 | w_k (mm) | - | - | - | - | $\epsilon_0 / (1+\phi)$ (o/oo) | 1,20 | 1,20 | 1,20 | 1,20 | σ_{c0} (Mpa) | 26,9 | 26,9 | 26,9 | 26,9 | σ_{st} (Mpa) | 398 | 398 | 398 | 398 | σ_{sc} (Mpa) | 254 | 254 | 254 | 254 | x (mm) | 43 | 43 | 43 | 43 |
| | A | B | C | D | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| N_{Ed} (kN) | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| M_{0Ed} (kNm) | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| M_{0Rd} (kNm) | 21 | 21 | 21 | 21 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| u (mm) | 215,6 | 215,6 | 215,6 | 215,6 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| w_k (mm) | - | - | - | - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| $\epsilon_0 / (1+\phi)$ (o/oo) | 1,20 | 1,20 | 1,20 | 1,20 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| σ_{c0} (Mpa) | 26,9 | 26,9 | 26,9 | 26,9 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| σ_{st} (Mpa) | 398 | 398 | 398 | 398 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| σ_{sc} (Mpa) | 254 | 254 | 254 | 254 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| x (mm) | 43 | 43 | 43 | 43 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | <table border="1"> <thead> <tr> <th>Brandlasttilfælde</th> <th>N_1 (kN)</th> <th>N_0 (kN)</th> <th>N_2 (kN)</th> <th>w (kN/m)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A 45</td> <td>175</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td>B 46</td> <td>0</td> <td>122</td> <td>0</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td>E</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td>F</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td>G</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td>H</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td>I</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0,00</td> </tr> </tbody> </table> | | | | Brandlasttilfælde | N_1 (kN) | N_0 (kN) | N_2 (kN) | w (kN/m) | A 45 | 175 | 0 | 0 | 0,00 | B 46 | 0 | 122 | 0 | 0,00 | C | 0 | 0 | 0 | 0,00 | D | 0 | 0 | 0 | 0,00 | E | 0 | 0 | 0 | 0,00 | F | 0 | 0 | 0 | 0,00 | G | 0 | 0 | 0 | 0,00 | H | 0 | 0 | 0 | 0,00 | I | 0 | 0 | 0 | 0,00 | | | | | |
| Brandlasttilfælde | N_1 (kN) | N_0 (kN) | N_2 (kN) | w (kN/m) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| A 45 | 175 | 0 | 0 | 0,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| B 46 | 0 | 122 | 0 | 0,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| C | 0 | 0 | 0 | 0,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| D | 0 | 0 | 0 | 0,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| E | 0 | 0 | 0 | 0,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| F | 0 | 0 | 0 | 0,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| G | 0 | 0 | 0 | 0,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| H | 0 | 0 | 0 | 0,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| I | 0 | 0 | 0 | 0,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | Excentriciteter (mm) : N_1 10, N_0 50, N_2 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Vejledning: PC-statik: Søjle- og vægberegning efter EC2 | | Udgivet på www.bef.dk december 2008 | | NB: Resultaterne skal altid kontrolleres af ansvarlig statiker | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |



| | | | | | | | |
|---|--|---|--|--|--|---|--|
| Sagsnavn: Transportarmerede vægge Bygningsdel: V2E16 til V2E17 samt V6C13 til V6C16 Emne: Normale lastkombinationer | | Sag nr.: 17681 Dato: 2008-12-08 Init: LZH | | SØJLE, version 1 / EC2 | | Betonelement-Foreningen dec. 2008 | |
| | | | | Materialer f_{ck} 26 MPa f_{yk} 550 MPa γ_c 1,00 γ_s 1,00 | | Regningsmæssige parametre f_{cd} 26,0 MPa f_{yd} 550 MPa E_{cd} 31759 MPa | |
| | | | | Søjlelængde L_s 2750 mm | | Krybetal RH 50% t_o 28 døg ϕ_o 2,95 M_{0Eqp}/M_{0Ed} 0,00 ϕ_{ef} 0,00 | |
| Tværsnit h 152 mm b 250 mm c 76 mm | | Trykarm. d_a 0 mm Antal 0 stk | | Trækarm. d_a 6 mm Antal 2 stk | | Bøjler Generelt: \emptyset 6 / 0 mm Top og bund: \emptyset 6 / 0 mm | |
| Anvendelsestilstand I anvendelsestilstand skønnes α til en passende værdi afhængig af forholdet mellem lang- og kort-tidslast: $\alpha_{anv.} = 15$ | | | | Kritisk last (central) σ_{crd} 19,61 MPa ϕ_c 0,00% ϕ_t 0,15% N_{cr} 745 kN | | | |
| | | Kontrolparametre | | Brudlasttilfælde | | Anv. - tilfælde | |
| | | N_{Ed} (kN) M_{0Ed} (kNm) M_{0Rd} (kNm) u (mm) w_k (mm) $\epsilon_0 / (1+\phi)$ (o/o) σ_{c0} (Mpa) σ_{st} (Mpa) σ_{sc} (Mpa) x (mm) | | A B C 171 490 0 9 11 0 7 10 2 8,7 9,8 33,7 - - - 0,78 1,56 0,64 17,9 24,9 15,6 19 -115 550 -19 115 -550 68 120 14 | | 0 0,0 - 0,0 0,00 - - 0 25 - | |
| | | | | Brudlasttilfælde A B C D E F G H I | | N_1 (kN) 171 490 880 | |
| | | | | | | N_0 (kN) - - - | |
| | | | | | | N_2 (kN) - - - | |
| | | | | | | w (kN/m) 9,00 12,00 - | |
| Vejledning: PC-statik: Søjle- og vægberegning efter EC2 | | Udgivet på www.bef.dk december 2008 | | NB: Resultaterne skal altid kontrolleres af ansvarlig statiker | | | |



| | | | | | | | |
|--|--|--|--|---|--|---|--|
| Sagsnavn: Transportarmerede vægge Bygningsdel: V6C5 til V7C8 samt V10E12 til V10E15 Emne: Normale lastkombinationer | | Sag nr.: 17681 Dato: 2008-12-08 Init: LZH | | SØJLE, version 1 / EC2 | | Betonelement-Foreningen dec. 2008 | |
| | | | | Materialer f_{ck} 25 MPa f_{yk} 550 MPa γ_c 1,00 γ_s 1,00 | | Regningsmæssige parametre f_{cd} 25,0 MPa f_{yd} 550 MPa E_{cd} 31476 MPa | |
| | | | | Søjlelængde L_s 2750 mm Tværsnit h 184 mm b 250 mm c 92 mm | | Krybetal RH 50% t_o 28 døgn ϕ_o 2,94 M_{0Eqp}/M_{0Ed} 0,00 ϕ_{ef} 0,00 | |
| | | | | Trykarm. d_a 0 mm Antal 0 stk | | Trækarm. d_a 6 mm Antal 2 stk | |
| | | | | Anvendelsestilstand I anvendelsestilstand skønnes α til en passende værdi afhængig af forholdet mellem lang- og kort-tidslast: $\alpha_{anv.} = 15$ | | Bøjler Generelt: ϕ 6 / 0 mm Top og bund: ϕ 6 / 0 mm | |
| | | | | Anvendelsestilstand I anvendelsestilstand skønnes α til en passende værdi afhængig af forholdet mellem lang- og kort-tidslast: $\alpha_{anv.} = 15$ | | Kritisk last (central) σ_{crd} 20,56 MPa ϕ_c 0,00% ϕ_t 0,12% N_{cr} 946 kN | |
| | | Kontrolparametre | | Brudlasttilfælde | | Anv. - tilfælde | |
| | | N_{Ed} (kN) M_{0Ed} (kNm) M_{0Rd} (kNm) | | A B C | | A B C D E F G H I | |
| | | u (mm) w_k (mm) $\epsilon_0 / (1+\phi)$ (o/o) σ_{c0} (Mpa) σ_{st} (Mpa) σ_{sc} (Mpa) x (mm) | | 265 922 0 15 0 0 14 5 3 10,3 8,4 27,3 - - - 1,13 2,22 0,58 21,3 24,9 14,2 25 -241 550 -25 241 -550 83 201 16 | | 0 0,0 - - 0,0 0,00 0 25 - - | |
| | | | | | | Brudlasttilfælde N_1 (kN) N_0 (kN) N_2 (kN) w (kN/m) | |
| | | | | | | A 265 B 644 C 922 D E F G H I | |
| | | | | | | Anvendelsestilfælde: Excentriciteter (mm) : | |
| Vejledning: PC-statik: Søjle- og vægberegning efter EC2 | | Udgivet på www.bef.dk december 2008 | | NB: Resultaterne skal altid kontrolleres af ansvarlig statiker | | | |

Bilag 2

Eksempel



| | | | | | | | | | | | | | |
|---|--|---|--|---|--|---|--|-------------------------|--|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Sagsnavn: BEF-statik Bygningsdel: Eksempel Emne: Normale lastkombinationer | | Sag nr.: 17681 Dato: 2008-12-08 Init: LZH | | SØJLE, version 1 / EC2 | | Betonelement-Foreningen dec. 2008 | | | | | | | |
| | | | | Materialer f_{ck} 45 MPa f_{yk} 550 MPa γ_c 1,40 γ_s 1,20 | | Regningsmæssige parametre f_{cd} 32,1 MPa f_{yd} 458 MPa E_{cd} 25917 MPa | | | | | | | |
| | | | | Søjlelængde L_s 5000 mm | | Krybetal RH 80% t_o 28 døg ϕ_o 1,30 M_{0Eqp}/M_{0Ed} 0,50 ϕ_{ef} 0,65 | | | | | | | |
| | | | | Tværsnit h 400 mm b 400 mm c 35 mm | | | | | | | | | |
| | | | | Trykarm. d_a 20 mm Antal 2 stk | | | | | | | | | |
| | | | | Trækarm. d_a 20 mm Antal 2 stk | | Bøjler Generelt: ϕ 6 / 400 mm Top og bund: ϕ 6 / 240 mm | | | | | | | |
| | | | | Anvendelsestilstand I anvendelsestilstand skønnes α til en passende værdi afhængig af forholdet mellem lang- og kort-tidslast: $\alpha_{anv.} = 15$ | | Kritisk last (central) σ_{crd} 26,01 MPa ϕ_c 0,39% ϕ_t 0,39% N_{cr} 4414 kN | | | | | | | |
| | | Kontrolparametre | | Brudlasttilfælde | | Anv. - tilfælde | | Brudlasttilfælde | | N_1 (kN) | N_0 (kN) | N_2 (kN) | w (kN/m) |
| | | N_{Ed} (kN) | | A | | B | | C | | | | | |
| | | M_{0Ed} (kNm) | | 500 | | 1592 | | 0 | | 300 | | 500 | |
| | | M_{0Rd} (kNm) | | 73 | | 231 | | 0 | | 43,5 | | 1592 | |
| | | u (mm) | | 155 | | 231 | | 96 | | - | | - | |
| | | w_k (mm) | | 29,4 | | 38,9 | | 21,1 | | 3,1 | | urevnet | |
| | | $\epsilon_0 / (1+\phi)$ (o/o) | | - | | - | | - | | - | | - | |
| | | σ_{c0} (Mpa) | | 0,98 | | 1,95 | | 0,48 | | - | | - | |
| | | σ_{st} (Mpa) | | 21,1 | | 31,1 | | 11,7 | | 5,0 | | 16 | |
| | | σ_{sc} (Mpa) | | 458 | | 458 | | 458 | | 16 | | 25 | |
| | | x (mm) | | 243 | | 458 | | 99 | | 25 | | 25 | |
| | | | | 138 | | 207 | | 93 | | urevnet | | urevnet | |
| Vejledning: | | PC-statik: Søjle- og vægberegning efter EC2 | | Udgivet på www.bef.dk december 2008 | | NB: Resultaterne skal altid kontrolleres af ansvarlig statiker | | | | | | | |



| Sagsnavn: BEF-statik Bygningsdel: Eksempel Emne: Brandlastkombinationer | | Sag nr.: 17681 Dato: 2008-12-08 Init: LZH | | SØJLE, version 1 / EC2 | | Betonelement-Foreningen dec. 2008 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|------------|---|------------|---|--|--|--|--|------------|------------|------------|------------|---------------|-----|-----|---|------|-----------------|-----|----|---|------|-----------------|----|----|----|------|----------|------|------|------|------|------------|---|---|---|------|--------------------------------|------|------|------|------|---------------------|------|------|------|------|---------------------|-----|-----|-----|------|---------------------|-----|-----|----|------|----------|-----|-----|----|----|
| | | | | Materialer f_{ck} 45 MPa f_{yk} 550 MPa γ_c 1,00 γ_s 1,00 | | Regningsmæssige parametre f_{cd} 45,0 MPa $f_{yd,tryk}$ 298 MPa $f_{yd,træk}$ 298 MPa | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | Søjlelængde L_s 5000 mm | | Krybetal RH 80% t_o 28 døgn ϕ_o 1,30 M_{0Eqp}/M_{0Ed} 0,50 ϕ_{ef} 0,65 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | Tværsnit h 400 mm b 400 mm c 35 mm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | Trykarm. d_a 20 mm Antal 2 stk | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | Trækarm. d_a 20 mm Antal 2 stk | | Reduktionsparametre Randzone: a 42 mm Beton: $k_{c,M}$ 1,00 Trykarm: $f_{sy,\theta} / f_{yk}$ 0,54 $E_{s,\theta} / E_s$ 0,64 Trækarm: $f_{sy,\theta} / f_{yk}$ 0,54 $E_{s,\theta} / E_s$ 0,64 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | Brandpåvirkning, tid : 60 min Brand, trykside JA Brand, trækside JA Brand, sider JA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | Stålttype Varmtvalset, class N | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Kontrolparametre N_{Ed} (kN) M_{0Ed} (kNm) M_{0Rd} (kNm) u (mm) w_k (mm) $\epsilon_0 / (1+\phi)$ (o/oo) σ_{c0} (Mpa) σ_{st} (Mpa) σ_{sc} (Mpa) x (mm) | | Brandlasttilfælde <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>A</th> <th>B</th> <th>C</th> <th>D</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>N_{Ed} (kN)</td> <td>500</td> <td>537</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>M_{0Ed} (kNm)</td> <td>73</td> <td>78</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>M_{0Rd} (kNm)</td> <td>77</td> <td>78</td> <td>58</td> <td>58</td> </tr> <tr> <td>u (mm)</td> <td>80,6</td> <td>80,9</td> <td>70,1</td> <td>70,1</td> </tr> <tr> <td>w_k (mm)</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>$\epsilon_0 / (1+\phi)$ (o/oo)</td> <td>1,03</td> <td>1,06</td> <td>0,41</td> <td>0,41</td> </tr> <tr> <td>σ_{c0} (Mpa)</td> <td>26,8</td> <td>27,6</td> <td>11,1</td> <td>11,1</td> </tr> <tr> <td>σ_{st} (Mpa)</td> <td>298</td> <td>298</td> <td>298</td> <td>298</td> </tr> <tr> <td>σ_{sc} (Mpa)</td> <td>229</td> <td>236</td> <td>95</td> <td>95</td> </tr> <tr> <td>x (mm)</td> <td>126</td> <td>129</td> <td>73</td> <td>73</td> </tr> </tbody> </table> | | | | | A | B | C | D | N_{Ed} (kN) | 500 | 537 | 0 | 0 | M_{0Ed} (kNm) | 73 | 78 | 0 | 0 | M_{0Rd} (kNm) | 77 | 78 | 58 | 58 | u (mm) | 80,6 | 80,9 | 70,1 | 70,1 | w_k (mm) | - | - | - | - | $\epsilon_0 / (1+\phi)$ (o/oo) | 1,03 | 1,06 | 0,41 | 0,41 | σ_{c0} (Mpa) | 26,8 | 27,6 | 11,1 | 11,1 | σ_{st} (Mpa) | 298 | 298 | 298 | 298 | σ_{sc} (Mpa) | 229 | 236 | 95 | 95 | x (mm) | 126 | 129 | 73 | 73 |
| | A | B | C | D | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| N_{Ed} (kN) | 500 | 537 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| M_{0Ed} (kNm) | 73 | 78 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| M_{0Rd} (kNm) | 77 | 78 | 58 | 58 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| u (mm) | 80,6 | 80,9 | 70,1 | 70,1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| w_k (mm) | - | - | - | - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| $\epsilon_0 / (1+\phi)$ (o/oo) | 1,03 | 1,06 | 0,41 | 0,41 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| σ_{c0} (Mpa) | 26,8 | 27,6 | 11,1 | 11,1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| σ_{st} (Mpa) | 298 | 298 | 298 | 298 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| σ_{sc} (Mpa) | 229 | 236 | 95 | 95 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| x (mm) | 126 | 129 | 73 | 73 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | Brandlasttilfælde <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>N_1 (kN)</th> <th>N_0 (kN)</th> <th>N_2 (kN)</th> <th>w (kN/m)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A Eksempel</td> <td>500</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td>B Bæreevne</td> <td>537</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td>E</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td>F</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td>G</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td>H</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td>I</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0,00</td> </tr> </tbody> </table> | | | | | N_1 (kN) | N_0 (kN) | N_2 (kN) | w (kN/m) | A Eksempel | 500 | 0 | 0 | 0,00 | B Bæreevne | 537 | 0 | 0 | 0,00 | C | 0 | 0 | 0 | 0,00 | D | 0 | 0 | 0 | 0,00 | E | 0 | 0 | 0 | 0,00 | F | 0 | 0 | 0 | 0,00 | G | 0 | 0 | 0 | 0,00 | H | 0 | 0 | 0 | 0,00 | I | 0 | 0 | 0 | 0,00 | | | | | |
| | N_1 (kN) | N_0 (kN) | N_2 (kN) | w (kN/m) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| A Eksempel | 500 | 0 | 0 | 0,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| B Bæreevne | 537 | 0 | 0 | 0,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| C | 0 | 0 | 0 | 0,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| D | 0 | 0 | 0 | 0,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| E | 0 | 0 | 0 | 0,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| F | 0 | 0 | 0 | 0,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| G | 0 | 0 | 0 | 0,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| H | 0 | 0 | 0 | 0,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| I | 0 | 0 | 0 | 0,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | Excentriciteter (mm) : N_1 145, N_0 0, N_2 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Vejledning: PC-statik: Søjle- og vægberegning efter EC2 | | Udgivet på www.bef.dk december 2008 | | NB: Resultaterne skal altid kontrolleres af ansvarlig statiker | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |