

BEF Bulletin No 2 – Juni 2016

Wirebokse i elementsamlinger

Nærværende version erstatter fuldstændig Buletin No 2 – August 2013, som ikke længere må anvendes som beregningsgrundlag.

Udarbejdet af:

Henrik Brøner Jørgensen, Syddansk Universitet

Linh Cao Hoang, Danmarks Tekniske Universitet

Lars German Hagsten, Aarhus Universitet

Juni 2016

Forord

Formålet med nærværende Bulletin er at vise en forholdsvis simpel beregningsmetode til bestemmelse af wiresløjfesamlingers forskydningsbæreevne.

Dokumentet er hovedsageligt baseret på Henrik Brøner Jørgensens ph.d. afhandling. Ph.d.-projektet var delvis finansieret af Betonelement-Foreningen og blev gennemført under vejledning af Linh Cao Hoang og Lars German Hagsten. De udviklede beregningsmodeller er sammenholdt med forsøg udført ved danske universiteter de sidste 15 år.

Der er til dette dokument udarbejdet et baggrundsdokument, hvor den teoretiske baggrund samt sammenligninger med forsøg er vist. Derudover er der udarbejdet et baggrundsdokument, som redegør for de foreslåede partialkoefficienter. Nærværende Bulletin skal derfor ses som en praktisk guide til beregning af forskydningsbæreevnen af samlinger udført med wirebokse.

I forbindelse med udarbejdelse af dokumentet har der været tilknyttet en følgegruppe, engageret af Betonelement-Foreningen. Følgegruppen bestod af følgende personer; Thomas Markvardsen (CRH Concrete), Tim Gudmand-Høyer (Rambøll) og Bernt Suikkanen (COWI A/S).

Ansvar

Forfatterne og de øvrige ophavsmænd påtager sig intet ansvar for evt. fejl og mangler i nærværende dokument, misforståelser mv. som nærværende dokument kan give anledning til eller for valg af konstruktionsløsninger – eller tab som følge af konstruktioner designet/projekteret under anvendelse heraf.

1 Indledning

Wirebokse anvendes allerede i dag, men der har været tvivl om, hvorvidt anvendelsen af wirebokse er acceptabel. Anvendelsen har været problematisk da wirerne, som armeringsmateriale, ikke opfylder kravene til duktilitet, beskrevet i Eurocode 2, DS/EN 1992-1-1, Annex C.

Dette problem håndteres i det følgende ved at sikre, at wiresløjfesamlingens brudlast *ikke* skyldes brud i wirerne men derimod brud i sammenstøbningsmørtelen. Beregningsmodellen består derfor af to dele; i første del sikres det at der sker brud i sammenstøbningsmørtelen og i låsejernet, således at wirerne bliver samlingens stærkeste led. I anden del beregnes forskydningskapaciteten af wirebokssamlingen.

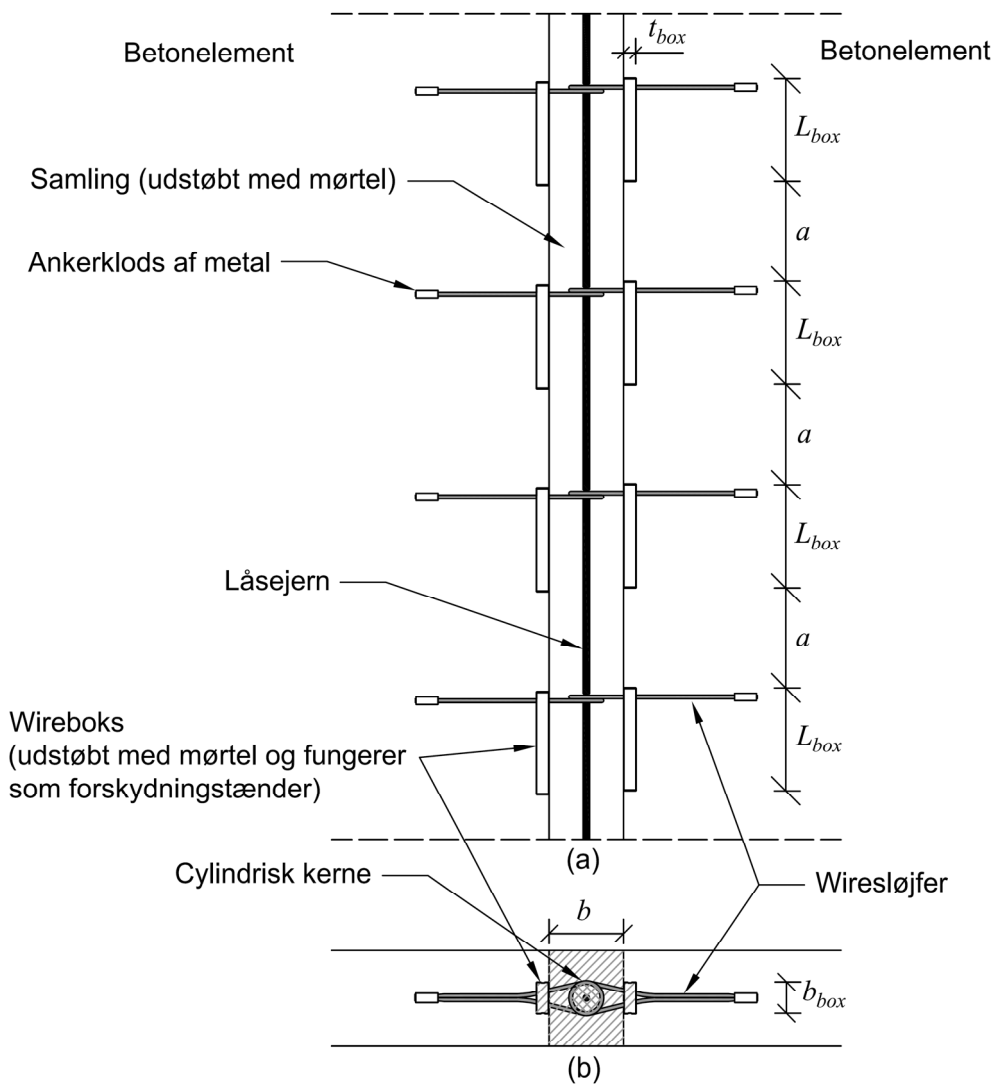
Der er både udført forsøg hvor wireboksene var placeret i fals og hvor de var placeret i et plant støbeskel (som vist i Figur 1). På baggrund af forsøgene vurderes det at falsen ikke vil forringe samlingens bæreevne. Samlinger med fals regnes derfor på samme måde som samlinger uden fals. Afstanden b på Figur 1 er altid afstanden mellem de modstående bokse (gælder også når boksene er placeret i en fals).

1.1 Wiresløjfer og wirebokse

Der findes generelt to typer af wirebokse, en med én wiresløjfe (kaldet enkeltwireboks) og en med to wiresløjfer (kaldet dobbeltwireboks). Wireboksene indstøbes i betonelementerne således at wiresløjferne fra hvert betonelement overlapper hinanden i samlingen (se Figur 1, hvor en samling med enkeltwirebokse er vist). Inden samlingen udstøbes med mørtel placeres et låsejern igennem de overlappende wiresløjfer. På den måde skabes en kerne af mørtel, som er omsluttet af wiresløjfer i samlingen.

Wireboksene har en åbning der vender mod samlingen, således at wireboksene, når de er udfyldt med mørtel, fungerer som forskydningslåse. Det bemærkes, at L_{box} og b_{box} på Figur 1 referer til henholdsvis højden og bredden af wireboksens åbning.

I nærværende dokument anvendes ordet "wire" som udtryk for det samlede bundt af tråde der er snoet og bruges i wirebokse. Det bemærkes, at ISO 10138 i stedet gør brug af udtrykket "liner".



Figur 1 Wiresløjjesamling, med enkeltwirebokse, mellem to betonelementer

2 Forudsætninger

Metoden i denne vejledning kan bruges til beregning af forskydningsbæreevnen, såfremt følgende forudsætninger er opfyldte:

1. Samlingen udstøbes med mørtel med maksimal tilslagsstørrelse, $d_{maks} \leq 2$ mm.
2. Samlingen er overarmeret med hensyn til wiresløjfer. Dvs. samlingens forskydningskapacitet *må ikke* skyldes brud i wiresløjferne. (se kapitel 3).
3. Wiresløjferne er tilstrækkeligt forankret i elementerne (se kapitel 5).
4. Forholdet mellem overlappingslængden, H , og sløjfediameteren, D , (se Figur 2) skal overholde:

$$0,8 \leq \frac{H}{D} \leq 1,2 \quad (1)$$

5. Den indbyrdes afstand, s , mellem to wiresløjfer, som overlapper hinanden er ikke større end 3 gange tværsnitsdiameteren af wireren.
6. Der skal minimum være 300 mm forankring af låsejernet til første boks i en samling.
7. Vinklen, α , (se Figur 2) for den udrettede wire skal overholde:

$$80^\circ \leq \alpha \leq 100^\circ \quad (2)$$

Det bemærkes, at modellen i denne vejledning har forsøgsmæssig dækning som beskrevet i Appendiks A. Anvendelse af denne rapport's beregningsmetode frarådes for geometriske og materialeparametre, som ikke ligger inden for området der er verificeret med eksperimentelle forsøg.

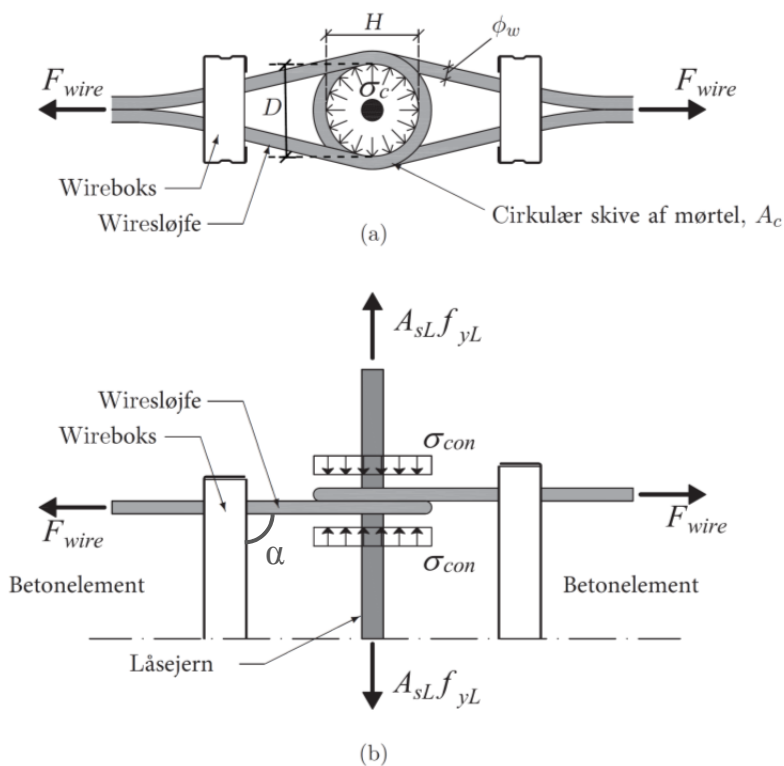
Beregningsmodellen i denne Bulletin er udviklet til wirebokse med præinstallerede wiresløjfer. Der er herudover lavet forsøg med samlinger udført med løse wiresløjfer og traditionelle forskydningslåse. Dette forsøgsgrundlag er også omfattet i Appendiks A.

Alle beton- og mørtelstyrker i denne anvisning baserer sig på cylinderstyrker med diameter x højde = $\varnothing 150 \times 300$ mm. For at regne om til en prismestyrke, som ofte bruges til bestemmelse af mørtelstyrke skal der derfor bruges en omregningsfaktor. Denne omregningsfaktor og generelle styrkeegenskaber for mørtel kan findes i BEF Bulletin No 5, som forventes publiceret i efteråret 2016.

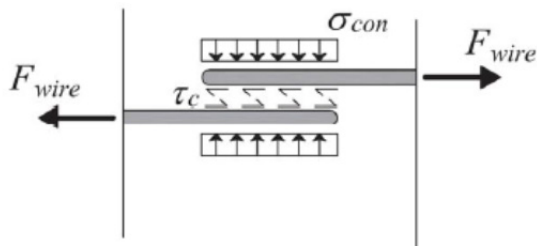
3 Kontrol af brudform ved trækoverførelse mellem overlappende wiresløjfer

Forudsætning nummer 2 (i det foregående afsnit) er afgørende for, om nærværende metode kan benyttes til bestemmelse af forskydningsbæreevnen af en wirebokssamling. Denne forudsætning skal derfor kontrolleres. Dvs., det skal kontrolleres, om trækkræften, som kan overføres mellem to overlappende wiresløjfer er begrænset af brud i fugemørtelen eller brud i selve wirene. Sidstnævnte brudform mangler duktilitet og må derfor ikke forekomme.

Figurerne 2 og 3 illustrerer en simpel model for, hvordan fugemørtlen lokalt bliver mobiliseret for at overføre en trækraft mellem to overlappende wiresløjfer (Der henvises til baggrundsdokumentet for yderligere forklaringer).



Figur 2 Idealiseret spændingstilstand i en cirkulær mørtelskive omsluttet af wiresløjferne; set oppe fra (a) og set fra siden (b)



Figur 3 Overførelse af forskydningspændinger, τ_c , mellem de overlappende wiresløjfer

Under forudsætning af brud i fugemørtelen, skal den trækraft, som et overlappende wiresløjfe-par forventes at kunne overføre, bestemmes ved:

$$F_{wire,max} = \min \begin{cases} (f_{ck,u} + k\sigma_{con})D\phi_w & \text{(a)} \\ (f_{cck,u} + \sigma_{con})D\phi_w & \text{(b)} \\ \left(\frac{1}{2\sqrt{k}} f_{ck,u} + \frac{k-1}{2\sqrt{k}} \sigma_{con} \right) A_c & \text{(c)} \\ \frac{1}{2} f_{cck,u} A_c & \text{(d)} \end{cases} \quad (3)$$

Hvor:

$f_{ck,u}$ er den øvre karakteristiske værdi af mørtelstyrken i langtidstilstanden, bestemt som en 95% fraktil eller som en deklareret maksimalværdi. Den øvre karakteristiske 28-døgns styrke (95% fraktil), $f_{ck,0,95}$, kan tilnærmet estimeres som 1,25 gange den nedre karakteristiske værdi, f_{ck} (Sørensen og Jørgensen 2015). Heraf kan den øvre karakteristiske værdi i langtidstilstanden, $f_{ck,u}$, estimeres som 1,15 gange $f_{ck,0,95}$. Det bemærkes at der her er tale om en maksimal styrke og at det derfor forudsættes at der ikke anvendes konservative styrkeparametre. Der henvises i øvrigt til Betonelement-Foreningens Bulletin nr. 5 – ”Sammenstøbning af betonelementer – Materiale, udførelse og kontrol”, som er under udarbejdelse. I denne Bulletin vil det være muligt at finde yderligere materiale om mørtelstyrker og styrkeudvikling.

Mørtelens styrke er baseret på en cylindertrykstyrke (højde x diameter = 300 x 150 mm).

$f_{cck,u}$ er den tilsyneladende enaksede trykstyrke i triaksial spændingstilstand - aflæses i Tabel 1 på baggrund af $f_{ck,u}$.

k er en faktor der tager hensyn til friktionsvinklen og regnes af:

$$k = \max \begin{cases} 4,2 - 0,0216 f_{ck,u} \\ 2,8 \end{cases} \quad (4)$$

ϕ_w er wiresløjfens tværsnitsdiameter.

D er bukningsradius af wiresløjfen (se Figur 2).

σ_{con} er fastholdelsen på tværs af mørtelskiven fra låsejernet og regnes af:

$$\sigma_{con} = \frac{A_{sL} f_{yLk,u}}{A_c} \quad (5)$$

Hvor:

A_{sL} er tværsnitsarealet af låsejernet.

$f_{yLk,u}$ er låsejernets øvre karakteristiske flydespænding, bestemt som en 95% fraktil. Denne værdi kan tilnærmet estimeres som 1,25 gange den nedre karakteristiske værdi, $f_{yL,k}$ (Sørensen og Jørgensen 2015). Det bemærkes at der her er tale om en maksimal styrke og at det derfor forudsættes at der ikke anvendes konservative styrkeparametre.

A_c er arealet af mørtelskiven:

$$A_c = \frac{\pi}{4} D^2 \quad (6)$$

Tabel 1 Bestemmelse af den tilsyneladende enaksede trykstyrke i indesluttet tilstand, $f_{cck,u}$, på baggrund af den virkelige enaksede trykstyrke, $f_{ck,u}$

$f_{ck,u}$ [MPa]	20	25	30	35	40	45	50	60	70	80	90
$f_{cck,u} / f_{ck,u}$	1,32	1,365	1,41	1,455	1,5	1,525	1,55	1,60	1,65	1,683	1,717
$f_{cck,u}$ [MPa]	26,4	34,1	42,3	50,9	60,0	68,6	77,5	96,0	115,5	134,7	154,5

For at sikre, at der ikke indtræffer brud i wirene, skal følgende kriterium være opfyldt:

$$F_{wire,max} < F_{wire,u} \sim f_{uw,d} A_{sw} \quad (7)$$

Hvor $F_{wire,u} \sim f_{uw,d} A_{sw}$ er wiresløjfernes regningsmæssige trækcapacitet, hvor

$f_{uw,d} = f_{uw,k} / \gamma_{s,w}$ er den regningsmæssige brudspænding

$f_{uw,k}$ er den karakteristiske brudspænding, bestemt som en 5 % fraktil

$\gamma_{s,w} = 1,2$ er partialkoefficienten for wiresløjfers brudspænding

A_{sw} er tværsnitsarealet af en wiresløjfe (to gange tværsnitsarealet af en wire).

Såfremt kriterium (7) er opfyldt, kan forskydningsbæreevnen beregnes som anvist i det efterfølgende.

På baggrund af formel (2) og (7) kan det sikres at der ikke forekommer wiresløjfebrud, ved fx at finde den maksimalt tilladte mørtelstyrke, hvis de andre parametre er foruddefinerede.

4 Beregning af forskydningsbæreevnen

Den samlede regningsmæssige forskydningsbæreevne af en wirebokssamling kan bestemmes ved:

$$P_{Rd} = \begin{cases} 0,70 \frac{P_u}{\gamma_{Rd}} & \text{For bokse med en wiresløjfe (enkeltbokse)} \\ 0,85 \frac{P_u}{\gamma_{Rd}} & \text{For bokse med to wiresløjfer (dobbeltbokse)} \end{cases} \quad (8)$$

Hvor

$\gamma_{Rd} = 1,3$ er partialkoefficienten for wiresløjfesamlinger og tager hensyn til modelusikkerheder for beregningsmodellen

P_u er brudbæreevnen af wiresløjfesamlinger, og bestemmes af:

$$P_u = \min \begin{cases} P_{u,0} & \text{formel (10)} & (a) \\ P_{u,1} & \text{formel (16)} & (b) \end{cases} \quad (9)$$

Faktorerne 0,70 og 0,85 skyldes forskellen i den opnåede duktilitet i de eksperimentelle arbejdskurver (Se baggrundsdokumentet) og $P_{u,0}$ og $P_{u,1}$ er plastiske øvreværdiløsninger knyttet til to forskellige brudformer.

$P_{u,0}$ er den maksimale regningsmæssige bæreevne for en brudmekanisme, hvor der kun dannes lodrette brudlinjer i støbeskellene (kaldet "mekanisme uden skrå brudlinjer") og $P_{u,1}$ er den maksimale regningsmæssige bæreevne for en mekanisme med både lodrette og skrå brudlinjer (kaldet "mekanisme med skrå brudlinjer"). Løsningerne er vist i de to følgende afsnit.

4.1 Mekanisme uden skrå brudlinje

Denne mekanisme består af brudlinjer i støbeskellet mellem samlingen og betonelementerne. Løsningen til denne mekanisme er:

$$\frac{P_{u,0}}{\nu f_{cd} n_{box} A_{box}} = \begin{cases} \sqrt{\frac{\Phi_T}{\nu} \left(1 - \frac{\Phi_T}{\nu}\right)} & \text{for } \frac{\Phi_T}{\nu} < \frac{1}{5} & (a) \\ \frac{1}{4} + \frac{3}{4} \frac{\Phi_T}{\nu} & \text{for } \frac{\Phi_T}{\nu} \geq \frac{1}{5} & (b) \end{cases} \quad (10)$$

Hvor

ν er effektivitetsfaktoren, som bestemmes af formel (11).

$f_{cd} = f_{ck} / \gamma_c$ er mørtelens regningsmæssige trykstyrke.

f_{ck} er mørtelens karakteristiske trykstyrke, som bestemmes af en 5% fraktil, baseret på en cylindertrykstyrke (højde x diameter = 300 x 150 mm).

- $\gamma_c = 1,45$ er partialkoefficienten for mørtel trykstyrken
- n_{box} er antallet af bokse i hvert støbekel.
- A_{box} er åbningsarealet af én boks.
- Φ_T er tværarmeringsgraden (wiresløjferne), som bestemmes af formel (12).

$$v = \frac{0,75}{\sqrt{f_{ck}}} \left(1 + \frac{1}{\sqrt{L_{box}}} \right) \quad (f_{ck} \text{ indsættes i MPa og } L_{box} \text{ indsættes i meter)} \quad (11)$$

$$\Phi_T = \frac{n_{wire} F_{wire,d}}{f_{cd} A_{box}} \quad (12)$$

Her er:

- n_{wire} antal wiresløjfer per boks (1 for enkeltwirebokse og 2 for dobbeltwirebokse).
- $F_{wire,d}$ den regningsmæssige kraft, som kan overføres mellem overlappende wiresløjfer, idet der her kan regnes med en triaxial spændingstilstand i den indesluttede fugemørtel.

$$F_{wire,d} = \min \begin{cases} (f_{cd} + k\sigma_{con,d}) D\phi_w & \text{(a)} \\ (f_{cc,d} + \sigma_{con,d}) D\phi_w & \text{(b)} \\ \left(\frac{1}{2\sqrt{k}} f_{cd} + \frac{k-1}{2\sqrt{k}} \sigma_{con,d} \right) A_c & \text{(c)} \\ \frac{1}{2} f_{cc,d} A_c & \text{(d)} \end{cases} \quad (13)$$

Hvor:

- $f_{cc,d}$ bestemmes af Tabel 2,
- k er en faktor der tager hensyn til friktionsvinklen og regnes af:

$$k = \max \begin{cases} 4,2 - 0,0216 f_{cd} \\ 2,8 \end{cases} \quad (14)$$

- $\sigma_{con,d}$ er det regningsmæssige tværtryk hidrørende fra flydning i låsejernet. Kan kun regnes at udvikles, såfremt afstanden mellem overlappende wiresløjfer er mindre end 3 gange wiresløjfernes diameter:

$$\sigma_{con,d} = \frac{A_{sL} f_{yL,d}}{A_c} \quad \text{for } s \leq 3\phi_w \quad (15)$$

- $f_{yL,d} = f_{yL,k} / \gamma_s$ er låsejernets regningsmæssige flydespænding.

$f_{yL,k}$ er låsejernets karakteristiske flydespænding, bestemt som en 5 % fraktil

$\gamma_s = 1,20$ er partialkoefficienten for armeringsstyrken.

Tabel 2 Bestemmelse af den regningsmæssige værdi af $f_{cc,d}$ på baggrund af den regningsmæssige enaksede trykstyrke, f_{cd}

f_{cd} [MPa]	20	25	30	35	40	45	50	60	70	80	90
$f_{cc,d}/f_{cd}$	1,32	1,365	1,41	1,455	1,5	1,525	1,55	1,60	1,65	1,683	1,717
$f_{cc,d}$ [MPa]	26,4	34,1	42,3	50,9	60,0	68,6	77,5	96,0	115,5	134,7	154,5

4.2 Mekanisme med skrå brudlinje

Denne mekanisme består af brudlinjer i støbeskellet mellem samlingen og betonelementerne samt skrå brudlinjer på tværs af samlingen. Løsningen til denne mekanisme er kompleks og kræver numerisk minimering. Derfor er indført følgende tilnærmet løsning:

$$\frac{P_{u,1}}{\nu f_{cd} n_{box} A_{box}} = \begin{cases} \sqrt{\left[\frac{1}{20} \frac{A_d}{A_{box}} + \frac{9}{20} \right]^2 - \left[\frac{1}{20} \frac{tL_{box}}{A_{box}} + \frac{9}{20} - \frac{\Phi_{T,0}}{\nu} \right]^2} + \frac{1}{10} \left(\frac{\Phi_L}{\nu} - \frac{9}{10} \right) \frac{bt}{A_{box}} + \frac{1}{25} \frac{A_d}{A_{box}} & \text{for } \frac{\Phi_{T,0}}{\nu} \leq \frac{18}{100} + \frac{1}{20} \frac{tL_{box}}{A_{box}} - \frac{3}{100} \frac{A_d}{A_{box}} \\ \frac{1}{16} \frac{A_d}{A_{box}} + \frac{18}{80} - \frac{3}{80} \frac{tL_{box}}{A_{box}} + \frac{3}{4} \frac{\Phi_{T,0}}{\nu} + \frac{1}{10} \left(\frac{\Phi_L}{\nu} - \frac{9}{10} \right) \frac{bt}{A_{box}} + \frac{1}{25} \frac{A_d}{A_{box}} & \text{for } \frac{\Phi_{T,0}}{\nu} \geq \frac{18}{100} + \frac{1}{20} \frac{tL_{box}}{A_{box}} - \frac{3}{100} \frac{A_d}{A_{box}} \end{cases} \quad (16)$$

Hvor

ν er effektivitetsfaktoren, som bestemmes af formel (11).

$f_{cd} = f_{ck} / \gamma_c$ er mørtelens regningsmæssige trykstyrke.

f_{ck} er mørtelens karakteristiske trykstyrke, som bestemmes af en 5% fraktil, baseret på en cylindertrykstyrke (højde x diameter = 300 x 150 mm).

n_{box} er antallet af bokse i hvert støbekel.

A_{box} er åbningsarealet af én boks.

L_{box} er højden af boksenes åbning ud mod samlingen.

b er samlingens bredde (svarende til afstanden mellem modstående bokse, se Figur 1).

t er tykkelsen af samlingen (svarende til tykkelsen af betonelementerne).

A_d er det skrå betonareal af brudlinjerne, og bestemmes af:

$$A_d = t\sqrt{b^2 + L_{box}^2} \quad (17)$$

Φ_L er armeringsgraden af låsejernet:

$$\Phi_L = \frac{f_{yL,d} A_{sL}}{f_{cd} b t} \quad (18)$$

$\Phi_{T,0}$ er tværarmeringsgraden af wiresløjferne og beregnes af:

$$\Phi_{T,0} = \frac{n_{wire} F_{w,0}}{f_{cd} A_{box}} \quad (19)$$

Her er:

n_{wire} antal wiresløjfer per boks (1 for enkeltwirebokse og 2 for dobbeltwirebokse).

$F_{w,0}$ den regningsmæssige trækraft, som kan overføres mellem overlappende wiresløjfer, idet der for denne mekanisme ikke kan regnes med en triaxial spændingstilstand i den indesluttede fugemørtel (Se baggrundsdokumentet):

$$F_{w,0} = \min \begin{cases} f_{cd} D \phi_w & \text{(a)} \\ \frac{1}{4} f_{cd} A_c & \text{(b)} \end{cases} \quad (20)$$

5 Forankring af wiresløjfer i elementet

Forskydningsbæreevnen bestemt som vist i afsnit 4 forudsætter, at wiresløjferne er tilstrækkeligt forankret i betonelementerne.

Der findes forskellige konstruktive løsninger for, hvordan wiresløjfer forankres i betonelementer. Derfor bør producenterens anvisninger altid følges, med mindre andet kan dokumenteres.

Herunder vises et eksempel på en beregning af forankringskapaciteten, når wiresløjferne er forsynet med en forankringsklods i enden. For at wiresløjfen kan forankres på denne måde kræves det, at forankringsklodsen er tilstrækkeligt fastgjort til wiresløjfen og at klodsen i sig selv har den fornødne styrke. Når disse krav er opfyldt, kan den regningsmæssige forankringskapacitet af en wiresløjfe teoretisk beregnes til (Se baggrundsdokumentet):

$$F_{w, \text{forankring}} = c f_{cd} A_0 = \min \begin{cases} c_{\text{spalte}} f_{cd} A_0 & ; \text{spaltebrud} & \text{(a)} \\ c_{\text{lokal}} f_{cd} A_0 & ; \text{lokalbrudbrud} & \text{(b)} \end{cases} \quad (21)$$

Hvor c_{spalte} og c_{lokal} angiver forøgelsesfaktoren for hhv. spaltebrud og lokalbrud.

Faktoren c_{lokal} bestemmes af:

$$c_{\text{lokal}} = 1 + 25 \left(\sqrt{\frac{A}{A_0}} - 1 \right) \frac{f_{ctd}}{f_{cd}} \quad ; \quad f_{ctd} = \frac{0,5 \sqrt{0,1 f_{ck}}}{\gamma_c} \quad (f_{ck} \text{ i MPa}) \quad (22)$$

Her er

f_{cd}	betonens regningsmæssige trykstyrke (betonelementet)
f_{ck}	betonens karakteristiske trykstyrke (betonelementet)
f_{ctd}	betonens regningsmæssige trækstyrke (iht. til beregningsmodellen)
γ_c	partialkoefficient for betonens trækstyrke
A_0	arealet der bliver belastet (svarende til arealet af forankringsklodsen):

$$A_0 = \frac{\pi}{4} d_f^2 \quad (23)$$

A det nyttige areal:

$$A = a_{\text{wire}} 2c \approx \begin{cases} (L_{\text{box}} + a) 2c & ; \text{enkeltbokse} \\ \min(L_{\text{box}}, a) 2c & ; \text{dobbeltbokse} \end{cases} \quad (24)$$

Hvor

d_f er diameteren af forankringsklodsen.

c er den mindste afstand fra center af forankring til kant af element. Ved centralt placeret wire bliver $2c$ lig tykkelsen af elementet, t .

a_{wire} er den mindste afstand mellem wiresløjferne.

L_{box} er højden af wireboksens åbning

a er afstanden mellem boksene

Faktoren c_{spalte} bestemmes af:

$$c_{spalte} = 1 + 2,8 \left(\frac{uL_w}{2A_0} - 1 \right) \frac{f_{ctd}}{f_{cd}} \quad ; \quad f_{ctd} = \frac{0,5\sqrt{0,1f_{ck}}}{\gamma_c} \quad (f_{ck} \text{ i MPa}) \quad (25)$$

Hvor

L_w er indstøbningslængden fra enden af elementet til forankringsklodsen.

u er omkredsen af det nyttige areal, A :

$$u = 2(t + a_{wire}) \approx \begin{cases} 2(t + L_{box} + a) & ; \text{ enkeltbokse} \\ 2(t + \min(L_{box}, a)) & ; \text{ dobbeltbokse} \end{cases} \quad (26)$$

6 Anvendelsesgrænsetilstand

På baggrund af forsøg med gentagne op- og aflastning er det fundet, at en forskydningskraft på maks. 7 kN per enkeltwireboks og en forskydningskraft på maks. 20 kN per dobbeltwireboks ikke giver anledning til blivende deformationer i samlingen. Der henvises til baggrundsdokumentet, for en uddybende forklaring. Det anbefales derfor, at den karakteristiske last per boks i anvendelsestilstanden ikke bør overstige følgende værdier:

$$\frac{P_{anvendelse}}{n_{box}} = \begin{cases} 7 \text{ kN} & \text{for enkeltwirebokse} \\ 20 \text{ kN} & \text{for dobbeltwirebokse} \end{cases} \quad (27)$$

7 Referencer

Jørgensen, H.B., Hoang, L.C. og Hagsten, L.G. (2016). Baggrundsdokument – Beregning af wiresløjfesamlingers forskydningsbæreevne. Notat.

Sørensen, J.D. og Jørgensen, H.B. (2016). Bæreevne af wirebokse i elementsamlinger. Notat.

Appendiks A – forsøgmæssigt grundlag

Dette appendiks viser en oversigt over variationen af de mekaniske og geometriske parametre, som der findes forsøgsresultater for. Da wiresløjfernes tværsnitsdiameter har stor betydning for grænsen mellem wirebrud og mørtelbrud i samlingen, skelnes der mellem forsøg med forskellige tværsnitsdiameter af wiren, når der ses på hvilke variationer af mørtelstyrker der er testet.

Der er både udført forsøg hvor wireboksene var placeret i fals og hvor de var placeret i et plant støbeskel.

Variationer af parametre i forsøgsserier med wiresløjfer med en diameter på 6 mm:

- Mørtelstyrken, f_c , varierer fra 18,3 – 88,3 MPa (middelstyrker)
- Låsejernsdiameter, ϕ_L , varierer fra 0 – 16 mm, med flydespænding op til 618 MPa
- Sløjfediameter, D , varierer fra 38 – 65 mm
- Bredde af wireboks, b_{boks} , varierer fra 35 – 80 mm
- Længde af wireboks, L_{boks} , varierer fra 160 – 220 mm
- Dybde af wireboks, t_{boks} , varierer fra 20 – 25 mm
- Indbyrdes afstand mellem bokse placeret i samme betonelement, a , variere fra 120 – 800 mm

Variationer af parametre i forsøgsserier med wiresløjfer med en diameter på 8 mm:

- Forsøg med wiresløjfer med diameter på 8 mm er kun lavet hvor wiresløjferne er placeret selvstændigt, med fortanding imellem.
- Mørtelstyrken, f_c , varierer fra 27 – 88 MPa
- Låsejernsdiameter, $\phi_L = 12$ mm, med flydespænding op til 606 MPa
- Sløjfediameter, $D = 53,5$ mm
- Bredde af fortanding, $b_{boks} = 85$ mm
- Længde af fortanding, $L_{boks} = 159$ mm
- Dybde af fortanding, $t_{boks} = 16$ mm

Appendiks B - Eksempel på design af samling mellem to vægelementer

I dette appendiks vises, hvorledes en plan vægsamling kan dimensioneres til at overføre en regningsmæssig forskydningslast på 50 kN/m.

Bredden, b , af samlingen er 80 mm (dvs. afstanden imellem modstående bokse med overlappende wiresløjfer).

Elementerne og dermed samlingen har en højde på 3,6 m og en tykkelse på 180 mm. Dette betyder at den samlede regningsmæssige last på samlingen bliver:

$$V_{Ed} = 50 \cdot 3,6 = 180 \text{ kN}$$

Fugemørtelens karakteristiske styrke er $f_{ck} = 45$ MPa. Det bemærkes, at der i beregningen findes en øvre grænse for den tilladelige karakteristiske mørteltrykstyrke.

Som partialkoefficienter for materialestyrker anvendes $\gamma_c = 1,45$ for mørtelen og $\gamma_s = 1,20$ for armeringen. Heraf regnes den regningsmæssige mørtelstyrke til $f_{cd} = 45 / 1,45 = 31,0$ MPa.

I eksemplet vises to forskellige bokstyper, en med én wiresløjfe og en med to wiresløjfer. Dimensionerne af de valgte wirebokse er vist i Tabel B.1.

Tabel B.1 Parametre for bokse og wiresløjfer brugt i eksempelberegningen

	b_{box}	L_{box}	ϕ_w	$f_{uw,k}$	D
Enkeltwireboks	35 mm	160 mm	6 mm	1000 MPa	38 mm
Dobbeltwireboks	35 mm	180 mm	6 mm	1000 MPa	38 mm

Dimensionering i brudgrænsetilstanden:

Kontrol af wirebrud

Ved lineær interpolation mellem værdierne i Tabel 1, ses at den maksimale tilsyneladende enaksede styrke af fugemørtelen er $f_{ck,u} = 105,0$ MPa ved en øvre karakteristisk mørtelstyrke på $f_{ck,u} = 45,0 \cdot 1,25 \cdot 1,15 = 64,7$ MPa. På samme måde findes den regningsmæssige værdi, $f_{cc,d} = 44,0$ MPa, ved en regningsmæssig trykstyrke på $f_{cd} = 31,0$ MPa.

Effektivitetsfaktoren for fugemørtelens trykstyrke regnes af formel (11):

$$\nu = \frac{0,75}{\sqrt{f_{ck}}} \left(1 + \frac{1}{\sqrt{L_{box}}} \right) = \begin{cases} \frac{0,75}{\sqrt{45}} \left(1 + \frac{1}{\sqrt{0,160}} \right) = 0,39 & \text{for enkeltboksen} \\ \frac{0,75}{\sqrt{45}} \left(1 + \frac{1}{\sqrt{0,180}} \right) = 0,38 & \text{for dobbeltboksen} \end{cases}$$

Der placeres en armeringsstang med en diameter på 12 mm, og en nedre karakteristisk flydespænding på $f_{yL,k} = 550$ MPa. Heraf findes den øvre karakteristiske styrke, $f_{yLk,u} = 550 \cdot 1,25 = 688$ MPa. σ_{con} kan nu bestemmes af formel (5):

$$\sigma_{con} = \frac{A_{sL} f_{yLk,u}}{A_c} = \frac{\frac{\pi}{4} \cdot 12^2 \cdot 688}{\frac{\pi}{4} \cdot 38^2} = 68,6 \text{ MPa}$$

og faktoren k regnes af formel (4):

$$k = \max \left\{ \begin{array}{l} 4,2 - 0,0216 f_{ck,u} = 4,2 - 0,0216 \cdot 64,7 = 2,8 \\ 2,8 \end{array} \right\} = 2,8$$

Det kontrolleres om der forekommer wirebrud i samlingen (bemærk at beregningen er identisk for enkelt og dobbeltboksene i dette tilfælde):

$$F_{wire,max} = \min \left\{ \begin{array}{l} (f_{ck,u} + k\sigma_{con}) D\phi_w \\ (f_{cck,u} + \sigma_{con}) D\phi_w \\ \left(\frac{1}{2\sqrt{k}} f_{ck,u} + \frac{k-1}{2\sqrt{k}} \sigma_{con} \right) A_c \\ \frac{1}{2} f_{cck,u} A_c \end{array} \right. = \min \left\{ \begin{array}{l} (64,7 + 2,8 \cdot 68,6) \cdot 38 \cdot 6 = 58560 \text{ N} \\ (105,0 + 68,6) \cdot 38 \cdot 6 = 39575 \text{ N} \\ \left(\frac{1}{2\sqrt{2,8}} \cdot 64,7 + \frac{2,8-1}{2\sqrt{2,8}} \cdot 68,6 \right) \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 38^2 = 63774 \text{ N} \\ \frac{1}{2} \cdot 105,0 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 38^2 = 59550 \text{ N} \end{array} \right.$$

$$F_{wire,max} = 39575 \text{ N} < F_{wire,u} \sim \frac{f_{uw,k}}{\gamma_{s,w}} A_{sw} = 2 \cdot \frac{1000}{1,20} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 6^2 = 47124 \text{ N} \Rightarrow \text{OK!}$$

Der sker altså ikke wirebrud ved en karakteristisk mørtelstyrke på $f_{ck} = 45$ MPa. Det kontrolleres hvad den maksimalt tilladelige karakteristiske mørtelstyrke er for at der ikke sker wirebrud. Alle andre parametre fastholdes. Da $F_{wire,max} = (f_{cck,u} + \sigma_{con}) D\phi_w$ er dimensionsgivende i ovenstående, findes $f_{cck,u}$ og dermed $f_{ck,u}$ heraf:

$$f_{cck,u} = \frac{F_{wire,max}}{D\phi_w} - \sigma_{con} = \frac{47124}{38 \cdot 6} - 68,6 = 138,1 \text{ MPa}$$

Ved interpolation mellem værdierne i Tabel 1 findes den øvre karakteristiske styrke (svarende til 95% fraktilen) til $f_{ck,u} = 81,8$ MPa. Ved brug af den simple relation på 1,25 mellem 95% fraktilen og 5% fraktilen, samt relation på 1,15 mellem 28 døgns styrken og langtidstilstanden, findes den maksimalt tilladelige karakteristiske mørteltrykstyrke til:

$$f_{ck} = \frac{f_{ck,u}}{1,25 \cdot 1,15} = \frac{81,8}{1,25 \cdot 1,15} = 56,8 \text{ MPa}$$

Faktoren k regnes af formel (4):

$$k = \max \left\{ \begin{array}{l} 4,2 - 0,0216 f_{ck,u} = 4,2 - 0,0216 \cdot 81,8 = 2,4 \\ 2,8 \end{array} \right\} = 2,8$$

Det kontrolleres, at $F_{wire,max}$ stadig er dimensioneret ved den samme underformel:

$$F_{wire,max} = \min \left\{ \begin{array}{l} (f_{ck,u} + k\sigma_{con}) D\phi_w \\ (f_{cck,u} + \sigma_{con}) D\phi_w \\ \left(\frac{1}{2\sqrt{k}} f_{ck,u} + \frac{k-1}{2\sqrt{k}} \sigma_{con} \right) A_c \\ \frac{1}{2} f_{cck,u} A_c \end{array} \right. = \min \left\{ \begin{array}{l} (81,8 + 2,8 \cdot 68,6) \cdot 38 \cdot 6 = 62404 \text{ N} \\ (138,1 + 68,6) \cdot 38 \cdot 6 = 47110 \text{ N} \\ \left(\frac{1}{2\sqrt{2,8}} \cdot 81,8 + \frac{2,8-1}{2\sqrt{2,8}} \cdot 68,6 \right) \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 38^2 = 69519 \text{ N} \\ \frac{1}{2} \cdot 138,1 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 38^2 = 78289 \text{ N} \end{array} \right.$$

$$F_{wire,max} = 47110 \text{ N} \sim F_{wire,u} = 47124 \text{ N} \quad \Rightarrow \quad \text{OK!}$$

Det skal altså sikres at den øvre karakteristiske mørteltrykstyrke i langtidstilstanden, $f_{ck,u}$, ikke overstiger 81 MPa, svarende til at den nedre karakteristiske styrke (5% fraktilen), f_{ck} , ikke overstiger 56 MPa. Der henvises til Betonelement-Foreningens Bulletin nr. 5 – ”Sammenstøbning af betonelementer – Materiale, udførelse og kontrol”, som er under udarbejdelse. I denne Bulletin vil det være muligt at finde yderligere materiale om sammenhæng mellem karakteristisk minimum styrke og den maksimale mørteltrykstyrke.

Brudmekanisme uden skrå brudlinjer

Herunder findes den maksimale forskydningsbæreevne for den første mekanisme (afsnit 4.1).

Først regnes spændingen $\sigma_{con,d}$ og trækstyrken af de overlappende wiresløjfer med regningsmæssige styrker (formel 13 til 15):

$$\sigma_{con,d} = \frac{A_{sL} f_{yL,d}}{A_c} = \frac{\frac{\pi}{4} \cdot 12^2 \cdot \frac{550}{1,2}}{\frac{\pi}{4} \cdot 38^2} = 45,7 \text{ MPa}$$

Og faktoren k bestemmes til:

$$k = \max \left\{ \begin{array}{l} 4,2 - 0,0216 f_{cd} = 4,2 - 0,0216 \cdot 31 = 3,53 \\ 2,8 \end{array} \right\} = 3,53$$

$$F_{wire,d} = \min \left\{ \begin{array}{l} (f_{cd} + k\sigma_{con,d}) D\phi_w \\ (f_{cc,d} + \sigma_{con,d}) D\phi_w \\ \left(\frac{1}{2\sqrt{k}} f_{cd} + \frac{k-1}{2\sqrt{k}} \sigma_{con,d} \right) A_c \\ \frac{1}{2} f_{cc,d} A_c \end{array} \right. = \min \left\{ \begin{array}{l} (31 + 3,53 \cdot 45,7) \cdot 38 \cdot 6 = 43859 \text{ N} \\ (44 + 45,7) \cdot 38 \cdot 6 = 20464 \text{ N} \\ \left(\frac{1}{2\sqrt{3,53}} \cdot 31 + \frac{3,53-1}{2\sqrt{3,53}} \cdot 45,7 \right) \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 38^2 = 44265 \text{ N} \\ \frac{1}{2} \cdot 44 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 38^2 = 24977 \text{ N} \end{array} \right.$$

$$F_{wire,d} = 20464 \text{ N}$$

Heraf kan tværarmeringsgraden findes af formel (12):

Enkeltboksen:

$$\Phi_T = \frac{n_{wire} F_{wire,d}}{f_{cd} A_{box}} = \frac{1 \cdot 20464}{31 \cdot 160 \cdot 35} = 0,118$$

Dobbeltboksen:

$$\Phi_T = \frac{n_{wire} F_{wire,d}}{f_{cd} A_{box}} = \frac{2 \cdot 20464}{31 \cdot 180 \cdot 35} = 0,209$$

Nu kan forskydningsbæreevnen findes for den første mekanisme, formel (10):

Enkeltboksen:

$$\frac{\Phi_T}{\nu} = \frac{0,118}{0,39} = 0,301 \geq \frac{1}{5} \Rightarrow \frac{P_{u,0}}{n_{box}} = \nu f_{cd} A_{box} \left(\frac{1}{4} + \frac{3}{4} \frac{\Phi_T}{\nu} \right)$$

$$= 0,39 \cdot 31 \cdot 160 \cdot 35 \left(\frac{1}{4} + \frac{3}{4} \cdot 0,301 \right) = 32350 \text{ N}$$

Dobbeltboksen:

$$\frac{\Phi_T}{\nu} = \frac{0,209}{0,37} = 0,558 \geq \frac{1}{5} \Rightarrow \frac{P_{u,0}}{n_{box}} = \nu f_{cd} A_{box} \left(\frac{1}{4} + \frac{3}{4} \frac{\Phi_T}{\nu} \right)$$

$$= 0,37 \cdot 31 \cdot 180 \cdot 35 \left(\frac{1}{4} + \frac{3}{4} \cdot 0,558 \right) = 49042 \text{ N}$$

Brudmekanisme med skrå brudlinjer

Herunder beregnes den maksimale forskydningsstyrke for den anden mekanisme.

Først regnes armeringsgraden for låsejernet og de diagonale brudlinjers areal. Regnes af formel (17) og (18):

$$\Phi_L = \frac{f_{yL,d} A_{sL}}{f_{cd} bt} = \frac{550 \cdot \pi \cdot 12^2}{1,2 \cdot 4 \cdot 31 \cdot 80 \cdot 180} = 0,116$$

$$A_d = t \sqrt{b^2 + L_{box}^2} = \begin{cases} 180 \cdot \sqrt{80^2 + 160^2} = 32199 \text{ mm}^2 & \text{for enkeltboksen} \\ 180 \cdot \sqrt{80^2 + 180^2} = 35456 \text{ mm}^2 & \text{for dobbeltboksen} \end{cases}$$

Herefter regnes den regningsmæssige trækstyrke af wiresløjferne for mørtelbrud, uden bidrag fra låsejernet og den tilsvarende tværrærmeringsgrad af wiresløjferne, som beskrevet i modellen (afsnit 4.2, formel (19) og (20)):

$$F_{w,0} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{cd} D \phi_w \\ \frac{1}{4} f_{cd} A_c \end{array} \right. = \min \left\{ \begin{array}{l} 31 \cdot 38 \cdot 6 = 7068 \text{ N} \\ \frac{1}{4} \cdot 31 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 38^2 = 8799 \text{ N} \end{array} \right\} = 7068 \text{ N}$$

Enkeltboksen:

$$\Phi_{T,0} = \frac{n_{wire} F_{w,0}}{f_{cd} A_{box}} = \frac{1 \cdot 7068}{31 \cdot 160 \cdot 35} = 0,041$$

Dobbeltboksen:

$$\Phi_{T,0} = \frac{n_{wire} F_{w,0}}{f_{cd} A_{box}} = \frac{2 \cdot 7068}{31 \cdot 180 \cdot 35} = 0,072$$

Heraf kan den maksimale forskydningsbæreevne for den anden mekanisme beregnes:

Enkeltboksen:

$$\frac{\Phi_{T,0}}{\nu} = \frac{0,041}{0,39} = 0,104 \leq \frac{18}{100} + \frac{1}{20} \frac{tL_{box}}{A_{box}} - \frac{3}{100} \frac{A_d}{A_{box}} = \frac{18}{100} + \frac{1}{20} \frac{180 \cdot 160}{35 \cdot 160} - \frac{3}{100} \frac{32199}{35 \cdot 160} = 0,265$$

Dvs. den første ligning i formel (16) bruges:

$$\begin{aligned} \frac{P_{u,1}}{n_{box}} &= \nu f_{cd} A_{box} \left[\sqrt{\left[\frac{1}{20} \frac{A_d}{A_{box}} + \frac{9}{20} \right]^2 - \left[\frac{1}{20} \frac{tL_{box}}{A_{box}} + \frac{9}{20} - \frac{\Phi_{T,0}}{\nu} \right]^2} + \frac{1}{10} \left(\frac{\Phi_L}{\nu} - \frac{9}{10} \right) \frac{bt}{A_{box}} + \frac{1}{25} \frac{A_d}{A_{box}} \right] \\ &= 0,39 \cdot 31 \cdot 35 \cdot 160 \cdot \left[\sqrt{\left[\frac{1}{20} \cdot \frac{32199}{35 \cdot 160} + \frac{9}{20} \right]^2 - \left[\frac{1}{20} \cdot \frac{180 \cdot 160}{35 \cdot 160} + \frac{9}{20} - 0,104 \right]^2} \right. \\ &\quad \left. + \frac{1}{10} \cdot \left(\frac{0,116}{0,39} - \frac{9}{10} \right) \cdot \frac{80 \cdot 180}{35 \cdot 160} + \frac{1}{25} \cdot \frac{32199}{35 \cdot 160} \right] = 33953 \text{ N} \end{aligned}$$

Dobbeltboksen:

$$\frac{\Phi_{T,0}}{\nu} = \frac{0,072}{0,37} = 0,193 \leq \frac{18}{100} + \frac{1}{20} \frac{tL_{box}}{A_{box}} - \frac{3}{100} \frac{A_d}{A_{box}} = \frac{18}{100} + \frac{1}{20} \frac{180 \cdot 180}{35 \cdot 180} - \frac{3}{100} \frac{35456}{35 \cdot 180} = 0,268$$

Dvs. den første ligning i formel (16) bruges igen:

$$\begin{aligned} \frac{P_{u,1}}{n_{box}} &= \nu f_{cd} A_{box} \left[\sqrt{\left[\frac{1}{20} \frac{A_d}{A_{box}} + \frac{9}{20} \right]^2 - \left[\frac{1}{20} \frac{tL_{box}}{A_{box}} + \frac{9}{20} - \frac{\Phi_{T,0}}{\nu} \right]^2} + \frac{1}{10} \left(\frac{\Phi_L}{\nu} - \frac{9}{10} \right) \frac{bt}{A_{box}} + \frac{1}{25} \frac{A_d}{A_{box}} \right] \\ &= 0,37 \cdot 31 \cdot 35 \cdot 180 \cdot \left[\sqrt{\left[\frac{1}{20} \cdot \frac{35456}{35 \cdot 180} + \frac{9}{20} \right]^2 - \left[\frac{1}{20} \cdot \frac{180 \cdot 180}{35 \cdot 180} + \frac{9}{20} - 0,193 \right]^2} \right. \\ &\quad \left. + \frac{1}{10} \cdot \left(\frac{0,116}{0,37} - \frac{9}{10} \right) \cdot \frac{80 \cdot 180}{35 \cdot 180} + \frac{1}{25} \cdot \frac{35456}{35 \cdot 180} \right] = 44769 \text{ N} \end{aligned}$$

Forskydningsstyrken per boks og samlet dimensionering

Ud fra bæreevnen beregnet for de to mekanismer, bestemmes P_u af formel (9):

Enkeltboksen:

$$\frac{P_u}{n_{box}} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{P_{u,0}}{n_{box}} = 32350 \text{ N} \\ \frac{P_{u,1}}{n_{box}} = 33953 \text{ N} \end{array} \right\} = 32,3 \text{ kN}$$

Dobbeltboksen:

$$\frac{P_u}{n_{box}} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{P_{u,0}}{n_{box}} = 49042 \text{ N} \\ \frac{P_{u,1}}{n_{box}} = 44769 \text{ N} \end{array} \right\} = 44,8 \text{ kN}$$

Heraf findes den regningsmæssige forskydningsbæreevne per boks af formel (8):

$$\frac{P_{Rd}}{n_{box}} = \begin{cases} 0,70 \frac{P_u / n_{box}}{\gamma_{Rd}} = 0,70 \cdot \frac{32,3}{1,3} \text{ kN} = 17,4 \text{ kN} & \text{For enkeltboksen} \\ 0,85 \frac{P_u / n_{box}}{\gamma_{Rd}} = 0,85 \cdot \frac{44,8}{1,3} \text{ kN} = 29,3 \text{ kN} & \text{For dobbeltboksen} \end{cases}$$

Hermed kan det nødvendige antal bokse bestemmes:

$$n_{box} = \frac{V_{Ed}}{\left(\frac{P_{Rd}}{n_{box}}\right)} = \begin{cases} \frac{180}{17,4} = 10,3 \text{ stk} & \text{Enkeltbokse} \\ \frac{180}{29,3} = 6,1 \text{ stk} & \text{Dobbeltbokse} \end{cases}$$

Det vil sige, at der skal enten bruges 11 stk. enkeltwirebokse, eller 7 stk. dobbeltwirebokse i hvert af de to elementer.

Kontrol af de konstruktive krav:

Den indbyrdes afstand mellem boksene i hvert betonelement skal kontrolleres. De yderste bokse placeres med en afstand på 300 mm fra enden af samlingen (svarende til krav i kapitel 2). Heraf bliver den indbyrdes afstand:

$$a = \begin{cases} \frac{3600 - 11 \cdot 160 - 2 \cdot 300}{11 - 1} = 124 \text{ mm} & ; \quad \text{For enkeltwirebokse} \\ \frac{3600 - 7 \cdot 180 - 2 \cdot 300}{7 - 1} = 290 \text{ mm} & ; \quad \text{For dobbeltwirebokse} \end{cases}$$

Kontrol af om afstande mellem boksene ligger indenfor forsøgsgrundlaget i Appendiks A:

For enkeltwireboksen:

$$L_{box} = 120 \text{ mm} \leq a = 124 \text{ mm} \leq 800 \text{ mm} \quad \Rightarrow \quad \text{OK!}$$

For dobbeltwireboksen:

$$L_{box} = 120 \text{ mm} \leq a = 290 \text{ mm} \leq 800 \text{ mm} \quad \Rightarrow \quad \text{OK!}$$

Dimensionering i anvendelsesgrænsetilstanden:

For anvendelsestilstanden skal det vurderes, om den karakteristiske forskydningspåvirkning overstiger de anbefalede værdier angivet i (27).