

Betonelement-Foreningen

Beregning af wiresløjfesamlingers forskydningsbæreevne – Beregningsprogram

Brugervejledning til beregningsprogram

Indholdsfortegnelse

1	Indledning	1
1.1	Baggrund	1
1.2	Formål	2
2	Beregningsark - vejledning	2
3	Afgrænsning	10
4	Referencer	10

1 Indledning

Programmet er en applikation til Microsoft Office Excel til brug for vurdering af forskydningskapacitet kapacitet af wirebokssamling mellem to vægelementer.

VIGTIGT: Resultaterne af nærværende beregninger skal **altid** efterkontrolleres af køber/bruger! Betonelement-Foreningen og de øvrige ophavsmænd påtager sig **intet ansvar** for fejl og mangler ved systemets informationsindhold mv. eller for svigt ved - eller tab som følge af - produkter fremstillet under anvendelse heraf.
Der gøres særligt opmærksom på at nærværende regneark er en betaudgave der undergår kvalitetssikring og modifikationer pt.

Beregningen følger: ” BEF Bulletin No 2 – Juni 2016 - Wirebokse i elementsamlinger” (herefter omtalt som anvisningen)

udarbejdet af Henrik Brøner Jørgensen, Syddansk Universitet,
Linh Cao Hoang, Danmarks Tekniske Universitet,
Lars German Hagsten, Aarhus Universitet.

Det forudsættes at bruger af beregningsprogram har læst denne anvisning inden brug af beregningsprogram.

1.1 Baggrund

Teori, verifikation af beregningsmodel, dokumentation mv. fremgår af : Anvisning samt tilhørende baggrundsdokumenter hvortil der henvises.

1.2 Formål

Nærværende vejledning er skrevet med henblik på at vejlede i brugen af beregningsprogrammet.

2 Beregningsark - vejledning

Nedenfor er givet vejledning til de enkelte punkter i beregningsarket samt en forklaring på beregningsudtryk.

2.1.1 Inddata

Generelt gælder det for inddata vedr. geometri at disse skal fastlægges under hensyntagen til den faktiske udførelse og tolerancer, såfremt dette har markant betydning for bæreevner mv. Beregningsprogrammet tager ikke hensyn til dette og der skal derfor evt. tages hensyn til dette ved indtastning af data.

Elementgeometri

Elementtykkelse, t - svarende til tykkelsen af betonelementerne, se nedenfor

Samlingens bredde (afstanden mellem modstående bokse), b – svarende til afstanden mellem modstående bokse, se nedenfor.

Låsejernets diameter, ϕ_L – definition af låsejern er vist nedenfor.

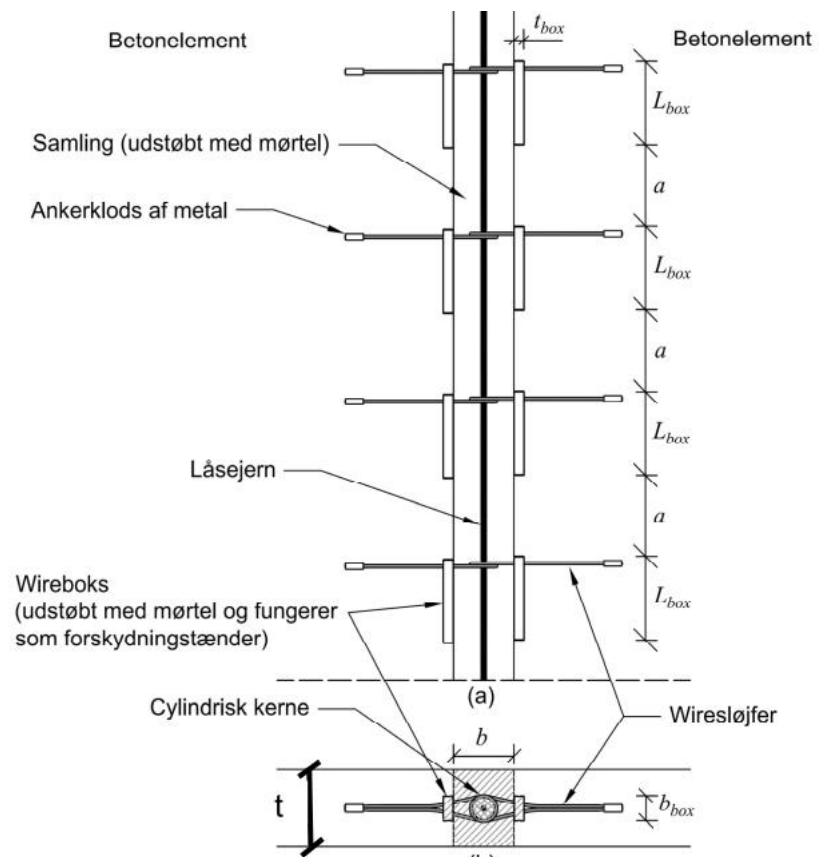
Boksgeometri

Bokstype - der kan her vælges mellem 1 og 2 for hhv. enkelt og dobbeltwire-bokse.

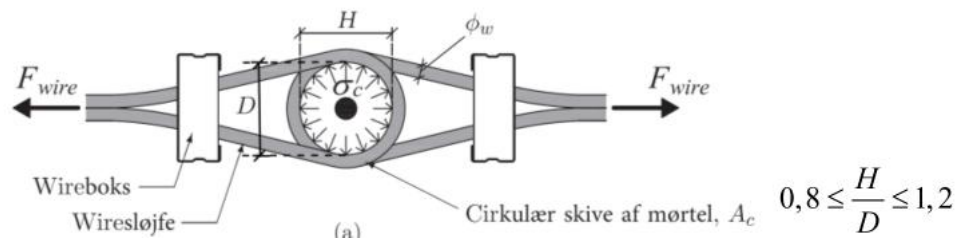
Bredden af wireboksens åbning, b_{box} - definition er vist nedenfor.

Højden af wireboksens åbning, l_{box} - definition er vist nedenfor (betegnes også længde af åbning).

Wiresløjfens tværsnitsdiameter, ϕ_w - Den udvendige diameter af wiren.



Sløjfediameter (Bukningsdiameter af wiresløjfen), D – definition er vist nedenfor. Det bemærkes at regnearket er baseret på at $D=H$. Jf. anvisningen tillades der en vis variation jf. kriterier nedenfor.



Sikkerhed

Partialkoefficient for mørtel, γ_c – skal fastlægges i overensstemmelse med DS/EN 1992-1-1 samt nationalt tillæg.

Partialkoefficient for armeringsstyrken og wirestyrken, γ_s – skal fastlægges i overensstemmelse med DS/EN 1992-1-1 samt nationalt tillæg. Det bemærkes at der i beregningsarket forudsættes samme partialkoefficient for wire og armering.

Partialkoefficient for wiresløjfesamling, γ_{Rd} – skal grundlæggende fastlægges i overensstemmelse med DS/EN 1990 hvilket er gjort i ”Søren-

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

Materialer

Fugemørtelens karakteristiske styrke (5% fraktil), f_{ck} – Der skal her indsættes mørtelens mindste styrke svarende til cylindertrykstyrken bestemt i overensstemmelse med betonnormen DS/EN 1992-1-1. Opmærksomheden henledes her på, at denne styrke godt kan afvige fra ”typiske styrke”, mørtelstyrker fundet ud fra prismeforsøg og tilsvarende.

Der henvises i øvrigt til Betonelement-Foreningens Bulletin nr. 5 – ”Sammenstøbning af betonelementer – Materiale, udførelse og kontrol”, som er under udarbejdelse.

Fugemørtelens maksimale karakteristiske styrke (5% fraktil), $f_{ck,max}$ - Der skal her indsættes mørtelens maksimale styrke svarende til cylindertrykstyrken bestemt i overensstemmelse med betonnormen DS/EN 1992-1-1. Opmærksomheden henledes her på at denne styrke godt kan afvige fra ”typiske styrke”, mørtelstyrker fundet ud fra prismeforsøg og tilsvarende. Derudover henledes opmærksomheden på at styrkeudviklingen af mørtlen over tid kan være betydelig (faktor 1,15 er ikke unormalt) og dette skal tages i betragtning.

Ligeledes skal muligheden for anvendelse af sommer/vintermørtler tages i betragtning såfremt styrker ikke er ens for disse mørtler.

Der henvises i øvrigt til Betonelement-Foreningens Bulletin nr. 5 – ”Sammenstøbning af betonelementer – Materiale, udførelse og kontrol”, som er under udarbejdelse.

Effektivitetsfaktor for fugemørtel, v – med mindre andet indtastes udregnes denne som:

$$v = \frac{0,75}{\sqrt{f_{ck}}} \left(1 + \frac{1}{\sqrt{L_{max}}} \right)$$

Wiresløjfens karakteristiske brudspænding, $f_{uw,k}$ – Brudspændingen er defineret ud fra wirens kapacitet og tværsnitsarealet således at følgende er gældende.

$$F_{wire,u} \sim f_{uw,d} A_{sw}$$

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

Låsejernets karakteristiske flydespænding, $f_{ul,k}$ – Fastlægges på sædvanligvis i overensstemmelse med DS/EN 1992-1-1.

2.1.2 Beregning

Generelt gælder det at beregninger følger anvisningens principper. Afvigelser herfra er listet nedenfor ligesom formler fra anvisning er gengivet således at det fremgår hvilke formler der anvendes.

Kontrol af wirebrud (duktilitet)

Anvisningen forholder sig i sine beregningseksempler ikke til at f_{ck} i praksis ikke er entydigt defineret idet forskelle mellem prøvningsmetoder, styrkeforøgelse med tiden og tilsvarende. I beregningsarket foretages kontrollen af duktilitet på baggrund af $f_{ck,max}$ hvor denne styrke fastlægges således, at der tages hensyn til hvilken maksimal styrke der er/foreskrives i det enkelte projekt.

Wiresløjfernes regningsmæssige trækcapacitet, $F_{wire,u,d}$ – defineres som

$$F_{wire,u} \sim f_{uw,d} A_{sw}$$

A_{sw} er tværsnitsarealet af en wiresløjfe (to gange tværsnitsarealet af en wire). Det bemærkes, at der i anvisningen anvendes betegnelsen $F_{wire,u}$ men i beregningsark anvendes $F_{wire,u,d}$ der er i overensstemmelse med sædvanlig normbetegnelser.

Tilsyneladende enakset mørtelstyrke i triaxial spændingstilstand, $f_{cc,k}$

Øvre karakteristisk mørtelstyrke (95% fraktil i langtidstilstand), $f_{ck,u}$ – beregnes som:

$$f_{ck,u} = f_{ck,max} 1,25$$

Det bemærkes at faktor 1,25 er den tilnærmet omregning mellem 5% og 95% fraktilen. Det forudsættes at inddragelse af øvrige effekter er medregnet i $f_{ck,max}$.

Tilsyneladende enakset mørtelstyrke i triaxial spændingstilstand (karakteristisk værdi, langtidstilstand), $f_{cck,u}$ – beregnes ud fra forholdet f_{cc}/f_c (her $f_{cck,u}/f_{ck,u}$) samt $f_{ck,u}$. Forholdet er givet i tabel 1 i anvisningen men i beregningsprogrammet anvendes der formler der ligger til grund for tabel 1 som fremgår af ”Baggrundsdokument – beregning af wiresløjfesamlingers forskydningsbæreevne”.

$$\frac{f_{cc}}{f_c} = \begin{cases} \frac{1,5-1,32}{40-20}(f_c-20)+1,32 & \text{for } 20 \text{ MPa} \leq f_c < 40 \text{ MPa} \\ \frac{1,65-1,5}{70-40}(f_c-40)+1,5 & \text{for } 40 \text{ MPa} \leq f_c < 70 \text{ MPa} \\ \frac{1,75-1,65}{100-70}(f_c-70)+1,65 & \text{for } 70 \text{ MPa} \leq f_c < 100 \text{ MPa} \end{cases}$$

Øvre karakteristisk flydespænding for låsejern (95% fraktil), $f_{vLk,u}$ - udregnet som:

$$f_{yLk,u} = 1,25 f_{yL,k}$$

Tværtryk på mørtelskive hidrørende fra flydning i låsejernet, σ_{con} – beregnes som:

$$\sigma_{con} = \frac{A_{sL} f_{yLk,u}}{A_c}$$

Faktor der tager hensyn til friktionsvinklen, k – beregnes som:

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

Trykbrud i indesluttet mørtelskive (betonkriterie) – beregnes som (a) nedenfor.

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

Trykbrud i indesluttet mørtelskive (cementkriterie) – beregnes som (b) ovenfor.

Forskydningsbrud i indesluttet mørtelskive (betonkriterie) – beregnes som (b) ovenfor.

Forskydningsbrud i indesluttet mørtelskive (cementkriterie) – beregnes som (b) ovenfor.

Wirekraft svarende til brud i, $F_{wire,max}$ – beregnes som minimum af ovenstående 4 kriterier. ”OK” angives hvis nedenstående er overholt:

$$F_{wire,u,d} > F_{wire,max}$$

Styrke af wireboks

Fugemørtelens regningsmæssige styrke, $f_{c,d}$ – beregnes som:

$$f_{cd} = f_{ck} / \gamma_c$$

Brudmekanisme uden skrå brudlinier

Tilsyneladende enakset mørtelstyrke i triaxial spændingstilstand (regningsmæssig), $f_{cc,d}$ – beregnes ud fra forholdet f_{cc}/f_c (her f_{ccd}/f_{cd}) samt f_{cd} . Forholdet er givet i tabel 1 i anvisningen men i beregningsprogrammet anvendes der formler der ligger til grund for tabel 1 som fremgår af ”Baggrundsdokument – beregning af wiresløjjesamlingers forskydningsbæreevne”.

$$\frac{f_{cc}}{f_c} = \begin{cases} \frac{1,5-1,32}{40-20}(f_c - 20) + 1,32 & \text{for } 20 \text{ MPa} \leq f_c < 40 \text{ MPa} \\ \frac{1,65-1,5}{70-40}(f_c - 40) + 1,5 & \text{for } 40 \text{ MPa} \leq f_c < 70 \text{ MPa} \\ \frac{1,75-1,65}{100-70}(f_c - 70) + 1,65 & \text{for } 70 \text{ MPa} \leq f_c < 100 \text{ MPa} \end{cases}$$

Tværtryk på mørtelskive hidrørende fra flydning i låsejernet, σ_{con} – beregnes som:

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

Faktor der tager hensyn til friktionsvinklen, k – beregnes som:

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

Trykbrud i indesluttet mørtelskive (betonkriterie) – beregnes som (a) nedenfor.

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

Trykbrud i indesluttet mørtelskive (cementkriterie) – beregnes som (b) ovenfor.

Forskydningsbrud i indesluttet mørtelskive (betonkriterie) – beregnes som (b) ovenfor.

Forskydningsbrud i indesluttet mørtelskive (cementkriterie) – beregnes som (b) ovenfor.

Wirekraft svarende til brud i, $F_{wire,d}$ – beregnes som minimum af ovenstående 4 kriterier.

Tværarmeringsgrad, $\Phi_{T,0}$ - regnes som:

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

Forskydningsstyrke, peakværdi, $P_{u,0}$ – beregnes ud fra nedenstående:

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

Brudmekanisme med skrå brudlinier

Armeringsgrad for låsejern, Φ_{TL} – beregnes som:

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

Areal af diagonal brudlinie, A_d – beregnes som:

$$A_d = t \sqrt{b^2 + L_{box}^2}$$

Regningsmæssig wirestyrke (mørteltrykbrud) – beregnes som øverste linie i udtryk nedenfor:

$$F_{w,0} = \min \begin{cases} f_{cd} D \phi_w \\ \frac{1}{4} f_{cd} A_c \end{cases}$$

Regningsmæssig wirestyrke (mørtelforskydningsbrud)– beregnes som nederste linie i udtryk ovenfor.

Regningsmæssig wirestyrke, $F_{w,0}$ – beregnes som mindste af de to kriterier og angivet i formel ovenfor.

Tværarmeringsgrad, $\Phi_{T,0}$ – beregnes som:

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

Forskydningsstyrke, peakværdi, $P_{u,1}$ – beregnes ud fra nedenstående:

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

Forskydningsstyrke, peakværdi, P_u – beregnes ud fra nedenstående:

$$\frac{P_u}{n_{box}} = \min \begin{cases} \frac{P_{u,0}}{n_{box}} \\ \frac{P_{u,1}}{n_{box}} \end{cases}$$

2.1.3 Konklusion

Brudgrænsetilstand, ULS

Regningsmæssig forskydningsstyrke pr. boks, P_{Rd} – beregnes som:

$$\frac{P_{Rd}}{n_{box}} = \begin{cases} 0,70 \frac{P_u / n_{box}}{\gamma_{Rd}} & \text{For enkeltboksen} \\ 0,85 \frac{P_u / n_{box}}{\gamma_{Rd}} & \text{For dobbeltboksen} \end{cases}$$

Anvendelsesgrænsetilstand, SLS

Max. Karakteristisk last i anvendelsestilstand, P_{anv} – bestemmes som

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

Konstruktive forudsætninger

Dette afsnit indeholder en opstilling af de konstruktive forudsætninger, der er angivet i anvisningen.

Jf anvisningen gælder det ;

”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.”

Til hjælp til denne vurdering er der i beregningsarket indarbejdet advarsler der viser, at der afviges fra forsøg og angiver inden for hvilke interval der er lavet forsøg. Eksempel ses nedenfor.

b_{box}	100 mm	Afviger fra forsøg 35-80
------------------	--------	--------------------------

Beregningsarket tager ikke stilling til, hvorvidt denne afvigelse er acceptabel.

3 Afgrænsning

Beregningsarket foretager udelukkende beregninger som beskrevet ovenfor.

Der foretages således ikke vurderinger af, om der er forhold der kan have betydning for boksens virkemåde i konstruktionen i øvrigt og dette skal altid vurderes i det enkelte tilfælde. Forhold som trækspændinger over samlingen, revneviddekrav, deformationskrav og tilsvarende er ikke undersøgt eller taget stilling til.

4 Referencer

1. Henrik Brøner Jørgensen, Syddansk Universitet, Linh Cao Hoang, Danmarks Tekniske Universitet, Lars German Hagsten, Aarhus Universitet . BEF Bulletin No 2 – Juni 2016 - Wirebokse i elementsamlinger (omtalt som anvisningen).
2. Henrik Brøner Jørgensen, Syddansk Universitet, Linh Cao Hoang, Danmarks Tekniske Universitet, Lars German Hagsten, Aarhus Universitet . Baggrundsdokument – beregning af wiresløjfsamlingers forskydningsbæreevne.
3. Sørensen, J.D. og Jørgensen, H.B. (2016). Bæreevne af wirebokse i elementsamlinger. Notat.