

M. P. Nielsen
Thomas Hansen
Lars Z. Hansen

Elementsamlinger med Pfeifer-boxe Beregningseksempler

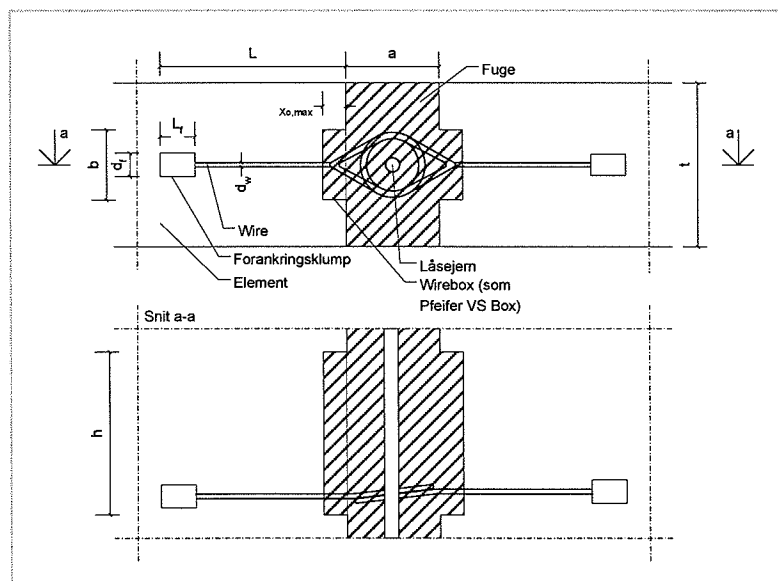
Rapport
BYG·DTU
R-113
2005

ISSN 1601-2917
ISBN 87-7877-180-3

Elementsamlinger med Pfeifer-boxe

Beregningseksempler

M. P. Nielsen
Thomas Hansen
Lars Z. Hansen



Department of Civil Engineering
DTU-bygning 118
2800 Kgs. Lyngby
<http://www.byg.dtu.dk>

2005

Forord

Nærværende rapport omhandler beregningseksempler for elementsamlinger, hvor der som fugearmering anvendes Pfeifer-boxe. Der er beskrevet eksempler på fire typisk anvendte elementsamlinger, en standardsamling, en hjørnesamling og to T-samlinger.

Forud for rapporten er der i forbindelse med et eksamensprojekt, [4] og [5], udført en række af forsøg med elementsamlinger, hvor Pfeifer-boxe anvendtes som fugearmering. Desuden er der udarbejdet en rapport [6], der beskriver de udførte forsøg samt beregningsmetoder.

Formålet med rapporten er, sammen med rapporten [6], at vise, at Pfeifer-boxene kan anvendes til beregning af de fire nævnte typiske elementsamlinger.

Nærværende rapport er kvalitetssikret af Tim Gudmand-Høyer, RAMBØLL.

For støtte til forsøg og udvikling af teorier for elementsamlinger med Pfeifer-boxe takkes Betonelement A/S.

Forfatterne
Lyngby 2005

Indholdsfortegnelse

SYMBOLLISTE	5
1 INDLEDNING	6
2 MATERIALEPARAMETRE.....	7
3 EKSEMPEL PÅ EN STANDARDSAMLING	9
3.1 FORSKYDNINGSSTYRKEN	9
3.2 FORANKRING AF WIREN	12
3.3 LÅSEJERN	14
4 EKSEMPEL PÅ EN T-SAMLING (B).....	16
4.1 FORSKYDNINGSSTYRKEN	16
4.2 LÅSEJERN	18
5 EKSEMPEL PÅ EN T-SAMLING (A) OG HJØRNESAMLING	19
5.1 SPALTESPÆNDINGER.....	19
6 KONKLUSION	22
REFERENCER	23

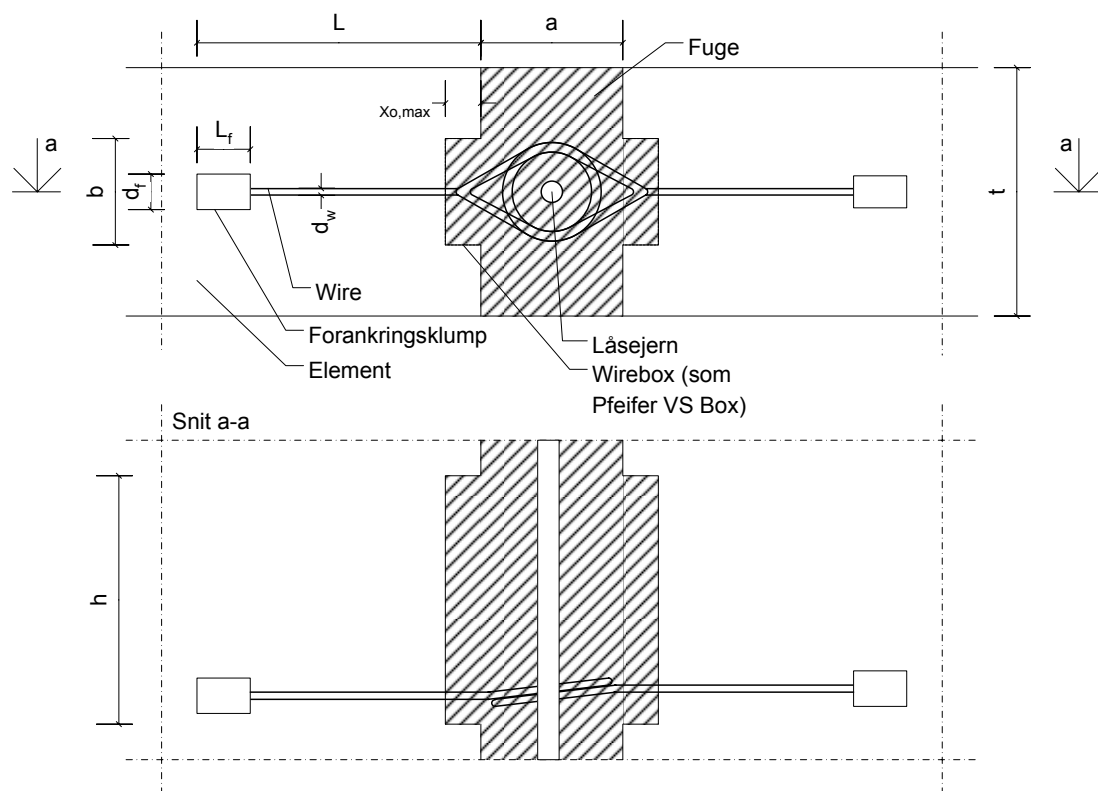
Symbolliste

A	nyttigt areal
A_0	lastareal
A_s	armeringsareal
B	krumningsdiameter for wire
L	længde af wire regnet fra modsat boksside (se fig. 3); fugelængde
L_f	længde af forankringsklump
L_{ind}	indstøbningslængde
P	forskydningsbæreevne (kraft)
P_v	vandret forankringskraft
P_{lokal}	bæreevne ved lokalbrud (kraft)
P_{spalte}	bæreevne ved spaltebrud (kraft)
R	bukkeradius
S	antal af trykstænger
a	fugetykkelse
b	boksbredde
b_l	buelængde
c	spændingskoncentrationsfaktor
c_{kon}	spændingskoncentrationsfaktor for koncentreret last
c_{lokal}	spændingskoncentrationsfaktor for lokalbrud
c_{spalte}	spændingskoncentrationsfaktor for spaltebrud
d_f	diameter af forankringsklump
d_w	ydre wirediameter
f_c	betontrykstyrke
f_{cd}	regningsmæssig betontrykstyrke
f_{cef}	effektiv betontrykstyrke
f_{ck}	karakteristisk betontrykstyrke
f_{ctd}	regningsmæssig betontrækstyrke
f_y	flydespænding
f_{yd}	regningsmæssig flydespænding
f_{yk}	karakteristik flydespænding
h	bokslængde; lodret højde af trykstang; højde af udsparring i element
h_w	boksafstand
k	kordelængde; faktor i betons brudbetingelse
t	vægtykkelse
u	omkreds af det nyttige areal
x_0	trykzonebredde
$x_{0,max}$	maksimal trykzonebredde; bokstykkelse
y_0	trykzonehøjde
ψ	armeringsgrad
γ_c, γ_s	partialkoefficienter for henholdsvis beton og armering
σ_{lokal}	bæreevne ved lokalbrud (spænding)
σ_{spalte}	bæreevne ved spaltebrud (spænding)
τ	forskydningsbæreevne (spænding)

1 Indledning

I elementsamlinger har det vist sig, at anvendelse af Pfeifer-boxe giver en lettere arbejdsgang på en elementfabrik end andre løsninger. Desuden er løsningen mere udførelsesvenlig på byggepladsen. Dette skyldes, at formens sider ikke skal gennemhulles af armering samt wirens bøjelighed. Pfeifer-boxene monteres på formens inderside.

Princippet for en Pfeifer-box i en fuge er vist i figur 1.

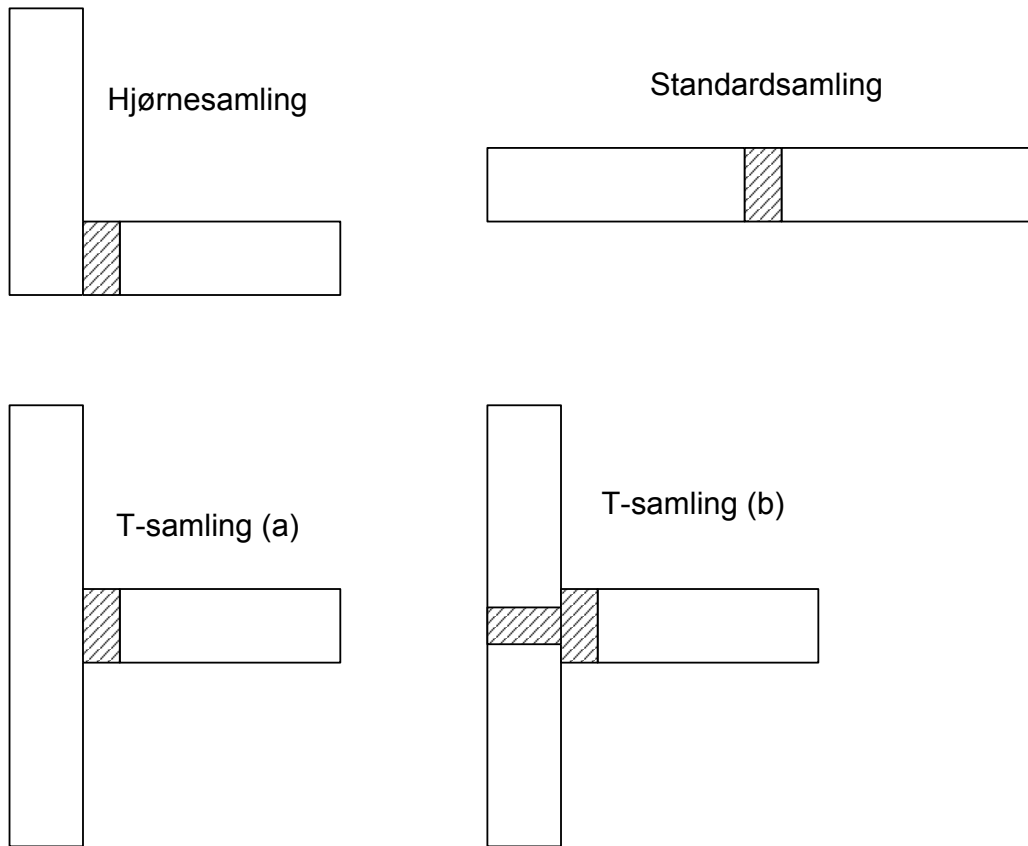


Figur 1 Pfeifer-box

Trækbruddet for wiren er skørt. Wiren opfylder derfor ikke de sædvanlige sejhedskrav til armering. Sikres det imidlertid, at det ikke er wirerne, der er det svage led, vil der opstå et trykbrud i betonen, hvilket traditionelt regnes som et sejt brud. Denne filosofi er eftervist ved forsøg, se [4] og [5].

Beregning af forskydningsstyrken af en Pfeifer-box afhænger af samlingens geometri.

I figur 2 er vist fire forskellige samlinger: Standardsamlingen, T-samling (a), T-samling (b) og hjørnesamlingen.



Figur 2 Hjørnesamling, standardsamling, T-Samling (a) og T-Samling (b)

Ved beregning af de forskellige samlinger undersøges følgende forhold:

1. Forskydningsstyrken
2. Forankringsforhold for wiren
3. Spaltespændinger ved bøjning af wiren

Ved standardsamlingen og T-samling (b) er der ingen wirer, der er bøjet, hvorfor punkt 3 falder bort. Beregning af T-samling (a) og hjørnesamlingen er beregningsteknisk identiske.

2 Materialeparametre

Følgende data antages at være gældende for samlingen:

Element

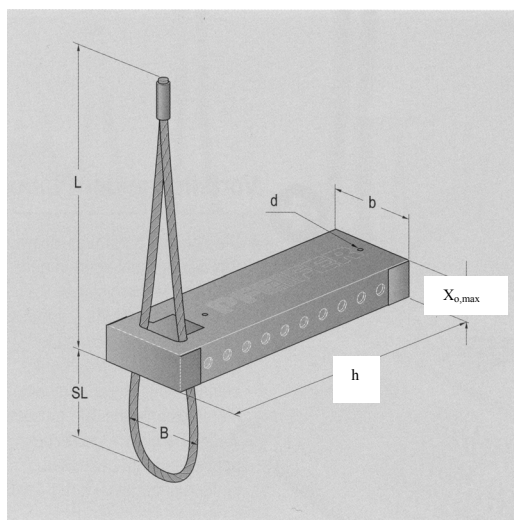
$f_{ck} = 35 \text{ MPa}$

$t = 150 \text{ mm}$ (bredde af elementet, jf. figur 1)

$h = 160 \text{ mm}$ (højde af udsparring i element/længde af Pfeifer-box, jf. figur 1)

Boksgeometri

Boksgeometrien fremgår af figur 3.



Mål	[mm]
b	35
h	160
$x_{0,max}$	20
L	212
SL	80
B	60

Figur 3 Boksgeometri

Det bemærkes, at boksbredden er 50 mm, men der regnes kun med $b = 35$ mm, idet der findes indbukninger på sammenlagt 15 mm plade, således at boksåbningen kun bliver 35 mm.

Wirer

$$f_{yk} = 1500 \text{ MPa}^1$$

$$d_f = 14 \text{ mm (forankringsklumpens diameter)}$$

$$L_f = 30 \text{ mm (forankringsklumpens længde)}$$

$$d_w = 6 \text{ mm (wirens ydre diameter)}$$

$$A_s f_{yk} = 44,7 \text{ kN (for én wire)}$$

Fuge

$$f_{ck} = 25 \text{ MPa}$$

$$a = 100 \text{ mm (fugetykkelse)}$$

$$h_w = 320 \text{ mm (min. lodret afstand mellem Pfeifer-boxe)}$$

Der regnes med normal sikkerhedsklasse og normal kontrolklasse, hvorfor følgende partialkoefficienter gælder, jf. DS411:1999,

$$\gamma_c = 1,65 \text{ og } \gamma_s = 1,3$$

dvs.

$$f_{cd} = 21,2 \text{ MPa for elementbeton}$$

$$f_{cd} = 15,2 \text{ MPa for fugebeton}$$

$$f_{yd} = 1154 \text{ MPa}$$

$$A_s f_{yd} = 34,4 \text{ kN (for én wire)}$$

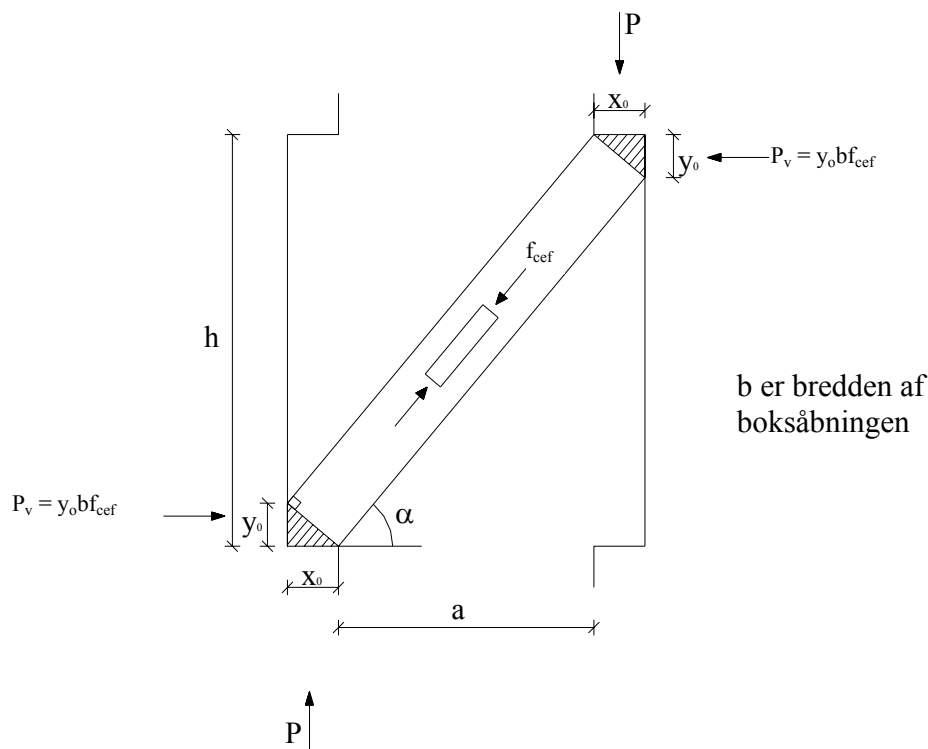
¹ I hele rapporten anvendes f_y som betegnelse for en wires flydespænding, selvom der er tale om en 0,2%-spænding.

3 Eksempel på en standardsamling

Dette eksempel omhandler beregning af en standardsamling, jf. figur 2. For denne type samling er det kun relevant at undersøge to af de tre punkter nævnt i indledningen, nemlig 1. Forskydningsstyrken og 2. Forankringsforhold for wiren.

3.1 Forskydningsstyrken

Forskydningsstyrken bestemmes ved hjælp af trykstangsanalogien [1], som er skitseret i figur 4. Trykstangen går her mellem fortandinger i samme niveau. Dette svarer til beregningsmetode 1 beskrevet i [6].



Figur 4 Trykstangsanalogien

Længden x_0 kan udtrykkes ved hjælp af y_0 . Dette gøres ved at forlange momentligevægt af det viste kraftsystem

$$\begin{aligned} x_0 b f_{cef} (a + x_0) &= y_0 b f_{cef} (h - y_0) \Leftrightarrow \\ x_0^2 + a x_0 - y_0 (h - y_0) &= 0 \end{aligned}$$

Andengradsligningen har følgende brugbare løsning

$$x_0 = \frac{1}{2} \left(\sqrt{4 y_0 (h - y_0) + a^2} - a \right)$$

Herefter er forskydningsbæreevnen, P , for én trykstang givet ved

$$P = x_0 b f_{cef}$$

hvor b er bredden af boksåbningen, og f_{cef} er den effektive betontrykstyrke under hensyntagen til koncentreret last.

Den effektive trykstyrke er $f_{cef} = c_{kon} f_{cd}$. Parameteren c_{kon} er ved forsøg, [6], bestemt til

$$c_{kon} = 2,0 \quad (\text{ved maksimal last})$$

$$c_{kon} = 1,0 \quad (\text{ved revnedannelse})$$

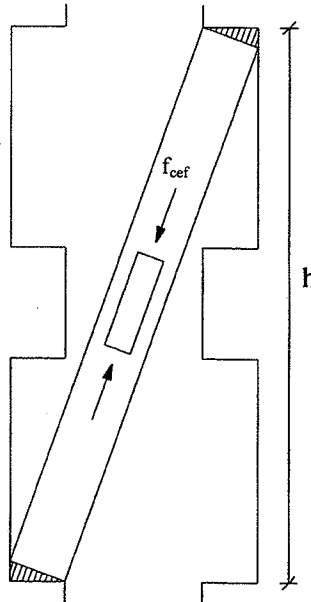
Effekten af den koncentrerede last afhænger af geometrien, og den må således ikke afvige væsentligt fra den her forudsatte.

Det forudsættes, at bagsiden af boksen er glat, således at der ikke kan overføres forskydning langs denne, hvorfor x_0 ikke må være større end $x_{0,max}$, jf. figur 3.

For $x_0 = x_{0,max}$ findes den tilsvarende værdi af y_0 til

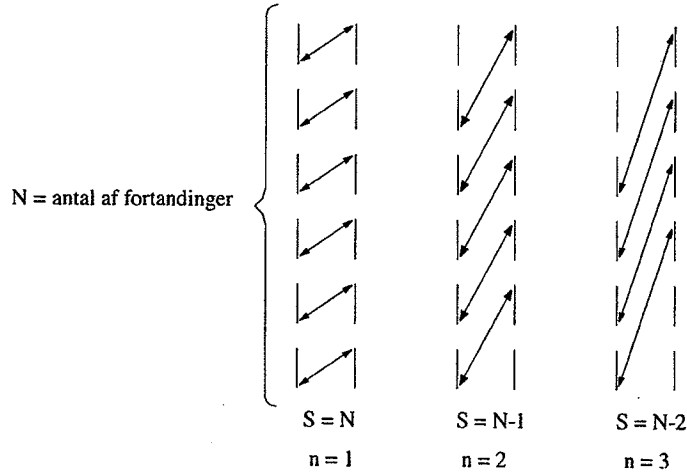
$$y_0 = \frac{1}{2} \left(-\sqrt{h^2 - 4 x_{0,max} (x_{0,max} + a)} + h \right)$$

En trykstang kan også dannes mellem to (eller flere) fortandinger placeret i hvert sit niveau som illustreret i figur 5. Beregningsmetoden er den samme, når blot den i figur 5 viste højde h benyttes.



Figur 5 Trykstang mellem fortandinger i hver sit niveau

Den største bæreevne bestemmes ved at beregne styrken svarende til de forskellige mulige spændingstilstande, se figur 6, og anvende det resultat, der giver den største værdi, idet der er tale om en nedreværdiløsning.



Figur 6 Notation for forskellige spændingstilstande

Trykzonehøjden y_0 bestemmes ud fra armeringen som

$$y_0 = \frac{A_s f_y}{S b f_{cef}}$$

hvor A_s er det totale armeringsareal til rådighed for samlingen, S er antallet af trykstænger og de øvrige betegnelser er som før.

I [6] er der optegnet kurver for bæreevnen τ/f_{cef} af en hel samling som funktion af armeringsgraden ψ . Her

$$\frac{\tau}{f_{cef}} = \frac{\sum P}{b L f_{cef}} \quad \psi = \frac{A_s f_y}{b L f_{cef}}$$

hvor $\sum P$ den totale forskydningskraft, bL er det totale fugeareal og A_s er det totale armeringsareal til rådighed for samlingen.

Det er i [6] vist, at tilfældet $n = 1$ er gældende bortset fra tilfælde med små armeringsgrader ($\psi < 0,05$). En fuge med Pfeifer-boxe vil normalt have en armeringsgrad i intervallet $0,1 - 0,15$. Det antages derfor, at fugen i dette eksempel har en armeringsgrad større end $0,05$, hvorfor bæreevnen svarer til tilfældet $n = 1$ ($S = N$).

For $x_0 = x_{0,max}$ bliver

$$y_0 = \frac{1}{2} \left(-\sqrt{160^2 - 4 \cdot 20(20+100)} + 160 \right) = 16,8 \text{ mm}$$

For $c_{kon} = 2,0$ fås

$$P = x_{0,max} b f_{cefd} = 20 \cdot 35 \cdot 2,0 \cdot 15,2 \cdot 10^{-3} = 21,3 \text{ kN}$$

Den vandrette kraft bliver dermed

$$P_v = P \cdot \frac{y_0}{x_0} = 21,3 \cdot \frac{16,8}{20,0} = 17,9 \text{ kN}$$

Det ses, at denne kraft er mindre end den kraft, wiren kan optage ($2 \cdot 34,4 = 68,8 \text{ kN}$). Det er således eftervist, at der ikke vil opstå et skørt wirebrud.

Bestemmes forskydningsstyrken for forskellige trykstyrker, fås bæreevnerne angivet i tabel 1.

For alle beregninger gælder, at $x_0 = x_{0,max}$. $c_{kon} = 1,0$ svarer til lasten ved revnedannelse, og $c_{kon} = 2,0$ svarer til maksimal last, se [6] afsnit 10.

	$c_{kon} = 1,0$		$c_{kon} = 2,0$	
f_{ck}	f_{cefd}	P	f_{cefd}	P
[MPa]	[MPa]	[kN]	[MPa]	[kN]
15	9,1	6,4	18,2	12,7
25	15,2	10,6	30,4	21,3
30	18,2	12,7	36,4	25,5
35	21,2	14,8	42,4	29,7
40	24,2	16,9	48,5	34,0
45	27,3	19,1	54,5	38,2

Tabel 1

I de følgende beregninger regnes der med $c_{kon} = 2,0$, dvs. $P = 21,3 \text{ kN}$ og $P_v = 17,9 \text{ kN}$ med mindre andet er nævnt.

3.2 Forankring af wiren

Forankring af wiren beregnes ud fra formlerne for koncentreret last, se [2] afsnit 3.9.5. Ved beregning af forankringsstyrken skal to brudformer undersøges, nemlig lokalbrud og spaltebrud. Bæreevnen er således givet ved den af de to brudformer, der giver den mindste bæreevne.

Lokalbrud

Bæreevnen for lokalbrud bestemmes af

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

Her er A_0 lastarealet givet ved

$$A_0 = \frac{\pi}{4} d_f^2$$

hvor d_f er diameteren af forankringsklumpen.

Det nyttige areal A er givet ved

$$A = t h_w$$

hvor t er bredden af elementet og h_w er den lodrette afstand mellem to Pfeifer-boxe.

Indsættes A , A_0 og f_{ctd} i bæreevneudtrykket fås

$$c_{\text{lokal}} = \frac{\sigma_{\text{lokal}}}{f_{cd}} = 1 + 25 \left(\sqrt{\frac{4 t h_w}{\pi d_f^2}} - 1 \right) \frac{0,5 \sqrt{0,1 f_{ck}}}{f_{cd} \gamma_c}$$

$$c_{\text{lokal}} = 1 + 25 \left(\sqrt{\frac{4 \cdot 150 \cdot 320}{\pi \cdot 14^2}} - 1 \right) \frac{0,5 \sqrt{0,1 \cdot 35}}{21,2 \cdot 1,65} = 12,1$$

Bæreevnen for lokalbrud, udtrykt som en kraft, findes til

$$P_{\text{lokal}} = c_{\text{lokal}} f_{cd} A_0 = c_{\text{lokal}} f_{cd} \frac{\pi}{4} d_f^2$$

$$P_{\text{lokal}} = 12,1 \cdot 21,2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 14^2 \cdot 10^{-3} = 39,5 \text{ kN}$$

Spaltebrud

Bæreevnen for spaltebrud bestemmes af

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

hvor u er omkredsen af det nyttige areal A givet ved

$$u = 2(t + h_w)$$

L_{ind} er indstøbningslængden

$$L_{\text{ind}} = L - x_{0,\text{max}} - L_f = 212 - 20 - 30 = 162 \text{ mm}$$

Indsættes u og A_0 i bæreevneudtrykket fås

$$c_{\text{spalte}} = \frac{\sigma_{\text{spalte}}}{f_{\text{cd}}} = 1 + 2,8 \left(\frac{4(t + h_w)L_{\text{ind}}}{\pi d_f^2} - 1 \right) \frac{0,5\sqrt{0,1f_{\text{ck}}}}{f_{\text{cd}} \gamma_c}$$

$$c_{\text{spalte}} = 1 + 2,8 \left(\frac{4 \cdot (150 + 320) \cdot 162}{\pi \cdot 14^2} - 1 \right) \frac{0,5\sqrt{0,1 \cdot 35}}{21,2 \cdot 1,65} = 38,0$$

Der er en øvre grænse for, hvor stor spændingskoncentrationsfaktoren for koncentreret last kan blive. I [1] er den øvre grænse angivet til

$$c = c_{\text{spalte}} = c_{\text{lokal}} = 17$$

Bæreevnen for spaltebrud bliver dermed, udtrykt ved en kraft,

$$P_{\text{spalte}} = c_{\text{spalte}} f_{\text{cd}} A_0 = c_{\text{spalte}} f_{\text{cd}} \frac{\pi}{4} d_f^2$$

$$P_{\text{spalte}} = 17 \cdot 21,2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 14^2 \cdot 10^{-3} = 55,5 \text{ kN}$$

Forankringsstyrken er således $39,5 \text{ kN} > P_v = 17,9 \text{ kN}$.

For den vandrette kraft P_v fås en spændingskoncentrationsfaktor på

$$c = \frac{P_v}{f_{\text{cd}} A_0} = \frac{4 \cdot 17,9}{21,2 \cdot \pi \cdot 14^2} \cdot 10^3 = 5,5$$

3.3 Låsejern

Det skal sikres, at wiren ikke skærer sig ind i betonen. I forsøgene, som omhandler standardsamlingen, beskrevet i [4] og [5], er der anvendt låsejern. En beregning herfor vises følgende.

Beregningsprincippet er illustreret i figur 7.

I figuren er σ_1 den spænding, som låsejernet skal levere, for at randtrykket i wirebøjningen er tilladeligt. Følgende sammenhæng mellem σ og σ_1 er gældende (betons brudbetingelse):

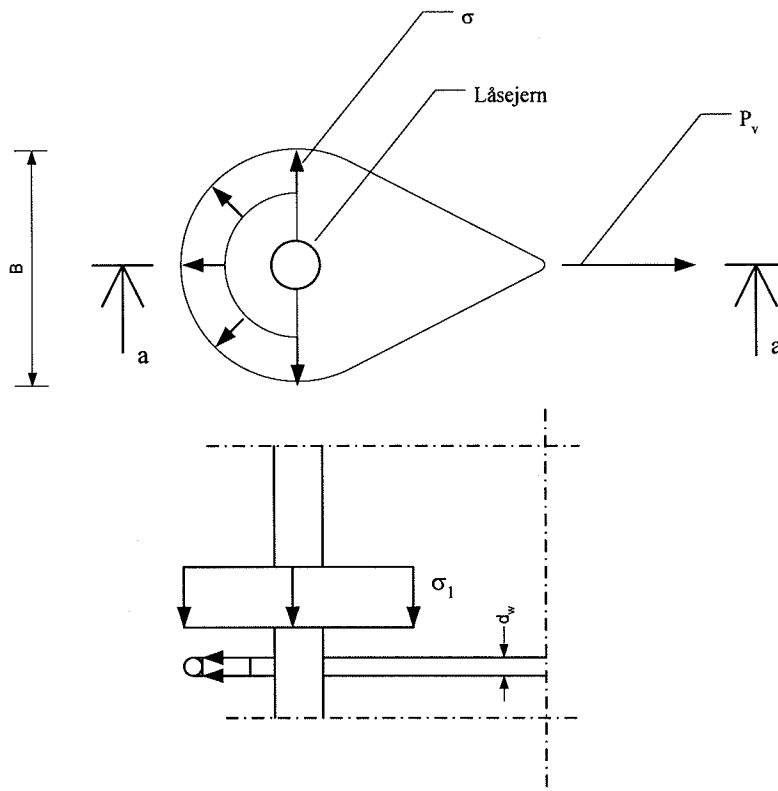
$$\sigma = f_{\text{cd}} + k \sigma_1 \quad \text{hvor } k = 4.$$

Ved anvendelse af ringspændingsformlen fås

$$\sigma = \frac{P_v}{B d_w} = \frac{17,9}{60 \cdot 6} \cdot 10^3 = 49,7 \text{ MPa}$$

Herefter kan σ_1 bestemmes til

$$\sigma_1 = \frac{\sigma - f_{cd}}{k} = \frac{49,7 - 15,2}{4} = 8,6 \text{ MPa}$$



Figur 7 Beregning af låsejern

Låsejernet dimensioneres således, at det kan opbygge det nødvendige tryk svarende til σ_1 .
Anvendes $f_{yk} = 550 \text{ MPa}$, $f_{yd} = 423 \text{ MPa}$ for låsejernet, fås

$$\frac{\pi}{4} d_{\text{låsejern}}^2 f_{yd} = \frac{\pi}{4} B^2 \sigma_1 \Rightarrow d_{\text{låsejern}} = \sqrt{\frac{B^2 \sigma_1}{f_{yd}}}$$

$$d_{\text{låsejern}} = \sqrt{\frac{60^2 \cdot 8,6}{423}} = 8,6 \text{ mm}$$

Y10 er tilstrækkeligt.

4 Eksempel på en T-samling (b)

Dette eksempel omhandler en T-samling (b), jf. figur 2. Som i eksemplet med standardsamlingen, jf. afsnit 3, er der ingen bøjede wirer, hvorfor punkt 3 i indledningen ikke undersøges. Beregningen af forankringsstyrken er identisk med beregningen for standardsamlingen. Det er således kun beregningen af forskydningsstyrken og låsejernene, der kræver yderligere omtale.

4.1 Forskydningsstyrken

Forskydningsstyrken må i dette tilfælde beregnes ved en konsolberegning, da boksene i elementerne ikke er placeret overfor hinanden, se figur 8. Derfor skal trykstangen optages ved en boks og i fugen ved en sløjfe. Beregningen bliver derfor principielt som for standardsamlingen, jf. afsnit 3.1.

Det skal desuden undersøges om trykstangen dannes mellem to (eller flere) bokse. Det antages igen, at armeringsgraden er stor nok til, at trykstangen dannes mellem to bokse tættest på hinanden. Dette svarer her til spændingstilstanden $n = 2$ ($S = N - 1$), jf. figur 6.

Beregningen foretages for $a = 165 \text{ mm}$ og $2h = h_w = 320 \text{ mm}$.

Det viser sig, at $x_0 = x_{0,\max} = 20 \text{ mm}$, hvorfor bæreevnen bliver den samme som for standardsamlingen, jf. afsnit 3.1.

$$P = x_{0,\max} b f_{\text{cef}} = 20 \cdot 35 \cdot 2,0 \cdot 15,2 \cdot 10^{-3} = 21,3 \text{ kN}$$

Anvendes der i samlingen en større boksafstand h_w end den mindste tilladte ($h_w = 320 \text{ mm}$), vil forskydningsbæreevnen stadig blive $P = 21,3 \text{ kN}$, da x_0 ikke tillades større end $x_{0,\max}$.

På grund af den større hældning af trykstangen bliver trykzonehøjden y_0 mindre end i standardsamlingen, hvorfor den vandrette kraft, der skal forankres for, også bliver mindre. Trykzonehøjden bliver

$$y_0 = \frac{1}{2} \left(-\sqrt{320^2 - 4 \cdot 20(20 + 165)} + 320 \right) = 12,0 \text{ mm}$$

Den vandrette kraft bliver

$$P_v = P \cdot \frac{y_0}{x_0} = 21,3 \cdot \frac{12,0}{20,0} = 12,8 \text{ kN}$$

Skifter den udvendige forskydningskraft retning, vil en trykstang med en lavere hældning (antydet stiplede i figur 8) give den største bæreevne. Da denne ligeledes vil blive bestemt af $x_{0,\max}$, vil bæreevnen imidlertid være den samme, $P = 21,3 \text{ kN}$. Trykzonehøjden y_0 bliver større på grund af den lavere hældning. Dermed bliver den vandrette kraft, som der skal forankres for, også større.

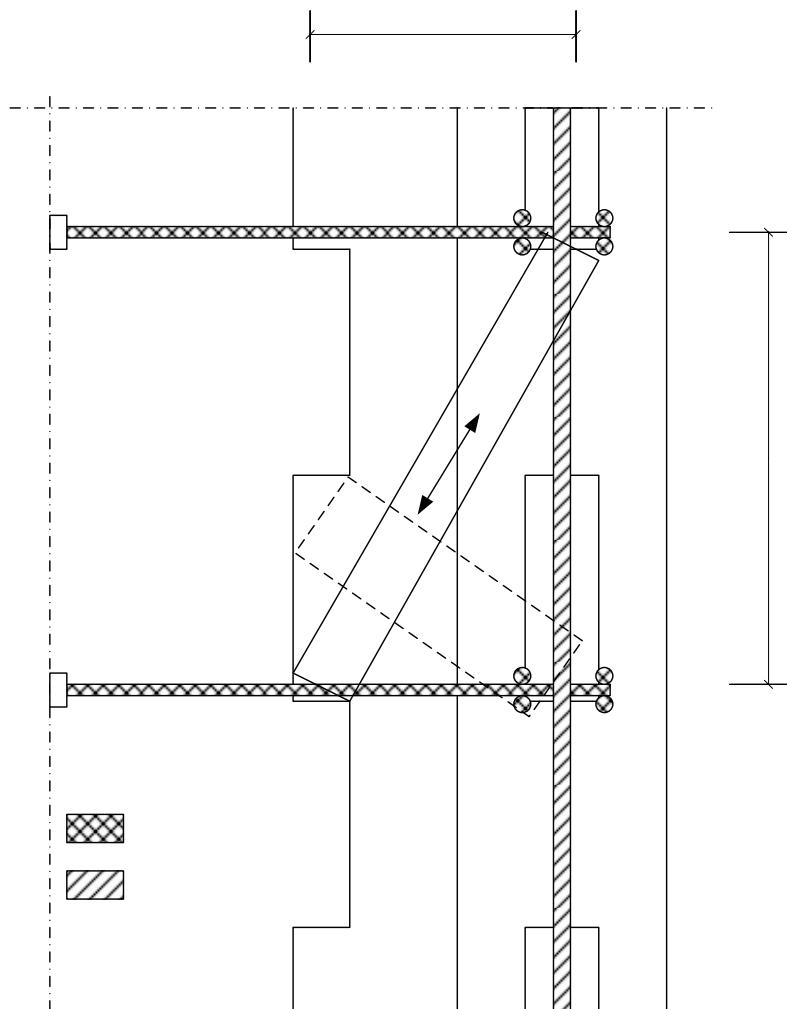
Trykzonehøjden bliver

$$y_0 = \frac{1}{2} \left(-\sqrt{160^2 - 4 \cdot 20(20 + 165)} + 160 \right) = 28,0 \text{ mm}$$

Den vandrette kraft bliver

$$P_v = P \cdot \frac{y_0}{x_0} = 21,3 \cdot \frac{28,0}{20,0} = \underline{\underline{29,8 \text{ kN}}}$$

Den vandrette kraft er mindre end $2 A_s f_{yd} = 68,8 \text{ kN}$ og forankringsstyrken $P_{\text{lokal}} = 39,5 \text{ kN}$, jf. afsnit 3.2. Det er således eftervist, at der ikke sker et skørt wirebrud eller et forankringsbrud.



Figur 8 Lodret snit i en T-samling (b)

4.2 Låsejern

I [4] og [5] er der kun udført forsøg med standardsamlingen. For at trækket i wiren kan etableres, skal der derfor sikres, at wiren ikke skærer sig ind i betonen.

Beregningen forløber som for standardsamlingen, jf. afsnit 3.3.

σ_1 er den spænding, som låsejernet skal levere, for at randtrykket i wirebøjningen er tilladeligt. Følgende sammenhæng mellem σ og σ_1 er gældende (betons brudbetingelse):

$$\sigma = f_{cd} + k \sigma_1 \quad \text{hvor } k = 4.$$

Ved anvendelse af ringspændingsformlen fås

$$\sigma = \frac{P_v}{B d_w} = \frac{29,8}{60 \cdot 6} \cdot 10^3 = 82,8 \text{ MPa}$$

Herefter kan σ_1 bestemmes til

$$\sigma_1 = \frac{\sigma - f_{cd}}{k} = \frac{82,8 - 15,2}{4} = 16,9 \text{ MPa}$$

Låsejernet dimensioneres således, at det kan opbygge det nødvendige tryk svarende til σ_1 . Anvendes $f_{yk} = 550 \text{ MPa}$, $f_{yd} = 423 \text{ MPa}$ for låsejernet, fås

$$\frac{\pi}{4} d_{\text{låsejern}}^2 f_{yd} = \frac{\pi}{4} B^2 \sigma_1 \Rightarrow d_{\text{låsejern}} = \sqrt{\frac{B^2 \sigma_1}{f_{yd}}}$$

$$d_{\text{låsejern}} = \sqrt{\frac{60^2 \cdot 16,9}{423}} = 12,0 \text{ mm}$$

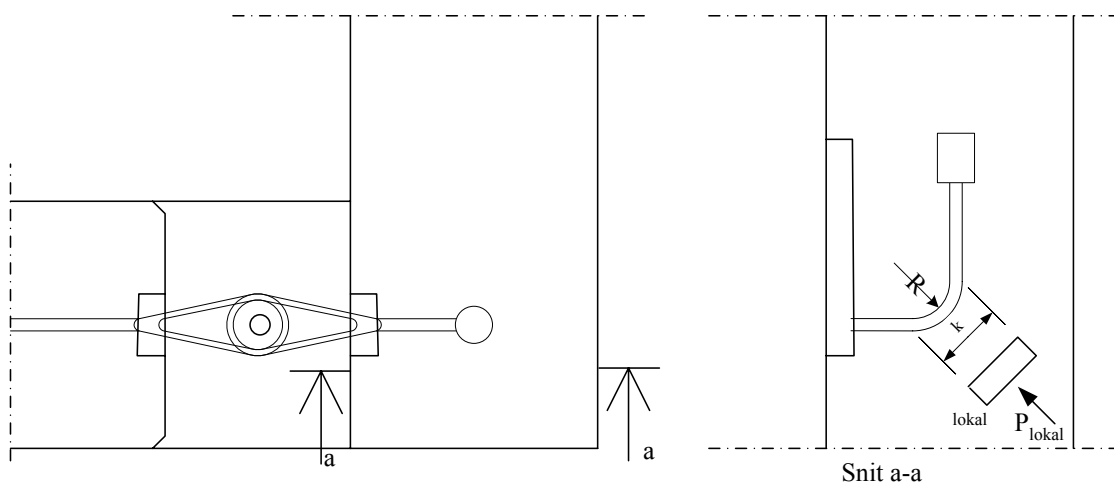
Y12 er tilstrækkeligt.

5 Eksempel på en T-samling (a) og hjørnesamling

Nærværende eksempel omhandler en hjørnesamling. Beregningen af en T-samling (a) vil være identisk med beregningen af en hjørnesamling.

Forskydningsstyrken og forankringsstyrken beregnes som for standardsamlingen, jf. afsnit 3.1 og 3.2. Desuden er det ved forsøgene, beskrevet i [4] og [5], vist at wjerne ikke skærer sig ind i betonen, hvorfor låsejernene ikke behøver nogen yderligere undersøgelse. En eventuel beregning vil være identisk med beregningen for standardsamlingen, jf. afsnit 3.3.

Det er således blot forankring af wren og spaltespændinger på grund af den bukkede wire, se figur 9, som skal undersøges.



Figur 9 Snit af en hjørnesamling

5.1 Spaltespændinger

Styrken er bestemt af en kombination af koncentreret last ved forankringsklumpen og koncentreret last ved wirebøjningen. Bæreevnen bestemmes ved interaktionsformlen

$$\frac{P_v}{P_f} + \frac{P_v}{P_b} \leq 1$$

hvor P_v er den maksimale kraft i wren, P_f er bæreevnen for koncentreret last ved forankringsklumpen og P_b er bæreevnen for koncentreret last ved wirebøjningen.

Bukkeradius er i dette eksempel $R = 8 \cdot d_w = 8 \cdot 6 \text{ mm} = 48 \text{ mm}$.

Med denne bukkeradius fås:

Kordelængden $k = 2 \cdot R \cdot \sin(45^\circ) = 2 \cdot 48 \cdot \sin(45^\circ) = 68 \text{ mm}$

Buelængden $b_l = 75 \text{ mm}$.

Koncentreret last ved forankringsklumpen

Beregningen forløber som for en standardsamling, jf. afsnit 3.2. Den eneste forskel er, at indstøbningslængden her er reduceret. Indstøbningslængden bestemmes til

$$L_{\text{ind}} = 212 - 20 - (75 - 20 - 48) - 75 - 30 = 80 \text{ mm}$$

Da bæreevnen for lokalbrud er uafhængig af indstøbningslængden fås den samme bæreevne som i eksemplet på en standardsamling, nemlig

$$c_{\text{lokal}} = 12,1 \quad \text{og} \quad P_{\text{lokal}} = 39,5 \text{ kN}$$

Bæreevnen for spaltebrud reduceres i dette eksempel, fordi indstøbningslængden er reduceret. Beregninger viser dog, at spændingskoncentrationsfaktoren ikke kommer under den øvre grænse på $c_{\text{spalte}} = 17$, hvorfor bæreevnen ved spaltebrud bliver $P_{\text{spalte}} = 55,5 \text{ kN}$. Derfor er lokalbruddet stadig det mest kritiske, hvorfor bæreevnen for koncentreret last ved forankringsklumpen er

$$P_f = 39,5 \text{ kN} > P_v = 17,9 \text{ kN}$$

Koncentreret last ved wirebøjningen

Bæreevnen for koncentreret last ved wirebøjningen bestemmes ud fra de samme formler, som er anvendt til beregningen af koncentreret last ved forankringsklumpen. Det er dog i dette tilfælde kun relevant at undersøge for lokalbrud.

Bæreevnen for lokalbrud bestemmes af

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

Her er lastarealet A_0 er givet ved

$$A_0 = 2 d_w k$$

hvor k er kordelængden.

Det nyttige areal A er givet ved

$$A = t k$$

Som det ses, regnes der på den sikre side kun med udbredelse af nyttearealet i den ene retning.

Indsættes A , A_0 og f_{ctd} i bæreevneudtrykket fås

$$c_{\text{lokal}} = \frac{\sigma_{\text{lokal}}}{f_{\text{cd}}} = 1 + 25 \left(\sqrt{\frac{t}{2 d_w}} - 1 \right) \frac{0,5\sqrt{0,1f_{\text{ck}}}}{f_{\text{cd}} \gamma_c}$$

$$c_{\text{lokal}} = 1 + 25 \left(\sqrt{\frac{150}{2 \cdot 6}} - 1 \right) \frac{0,5 \sqrt{0,1 \cdot 35}}{21,2 \cdot 1,65} = 2,7$$

Bæreevnen for lokalbrud, udtrykt som en kraft, findes til

$$P_{\text{lokal}} = c_{\text{lokal}} f_{\text{cd}} A_0 = 2 c_{\text{lokal}} f_{\text{cd}} d_w k$$

$$P_{\text{lokal}} = 2 \cdot 2,7 \cdot 21,2 \cdot 6 \cdot 68 \cdot 10^{-3} = 46,7 \text{ kN}$$

Dette svarer til en kraft i wiren på

$$P_b = \frac{\sqrt{2}}{2} P_{\text{lokal}} = \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot 46,7 = 33,0 \text{ kN} > P_v = 17,9 \text{ kN}$$

For den vandrette kraft P_v fås en spændingskoncentrationsfaktor på

$$c = \frac{\sqrt{2} P_v}{f_{\text{cd}} A_0} = \frac{\sqrt{2} \cdot 17,9}{21,2 \cdot 2 \cdot 6 \cdot 68} \cdot 10^3 = 1,5$$

Interaktion

Interaktionsformlen giver

$$\frac{P_v}{P_f} + \frac{P_v}{P_b} = \frac{17,9}{39,5} + \frac{17,9}{33,0} = 0,996 < 1$$

Bæreevnen er således tilstrækkelig.

6 Konklusion

Fire eksempler på typisk forekommende elementsamlinger med Pfeifer-boxe er gennemregnet. Eksemplerne omfatter fire forskellige typer af samlinger, nemlig en standardsamling, en hjørnesamling og to T-samlinger.

Det kan ud fra de foreliggende beregningseksempler, sammenholdt med resultaterne beskrevet i [6], konkluderes, at Pfeifer-boxe kan anvendes til alle fire typer af elementsamlinger. Hvis forholdene er som i de gennemregnede eksempler, er en beregning således ikke nødvendig.

I standardsamlingen er forskydningsstyrken undersøgt ved hjælp af trykstangsanalogien. Desuden er forankring af wiren eftervist. Der er udført et tilstrækkeligt antal forsøg, der viser, at wiren ikke skærer sig ind i betonen. For fuldstændighedens skyld er en beregning alligevel gennemført.

I T-samling (b) er forskydningsstyrken også bestemt ud fra trykstangsanalogien, idet trykstængerne dannes mellem en boks og en sløjfe i fugen.

Forankring af wiren er undersøgt som for standardsamlingen.

Endvidere er låsejernet dimensioneret på samme måde som i standardsamlingen. Der kræves større dimension af låsejernet i forhold til i standardsamlingen, da den vandrette kraft, der skal forankres for, bliver større på grund af en lavere hældning af trykstangen.

Beregningerne af hjørnesamlingen og T-samling (a) er identiske. Forskydningsstyrken er bestemt som for standardsamlingen. Der er udført en beregning, som efterviser, at wiren ikke skærer sig ind i betonen.

Desuden er forankringsforholdene for wiren her eftervist ved hjælp af en simpel interaktionsformel.

Alle beregningseksemplerne er gennemregnet med en boksafstand svarende til den mindste tilladte ($h_w = 320 \text{ mm}$). Hvis en større boksafstand anvendes, vil forskydningsstyrken ikke ændres, idet x_0 er begrænset til $x_{0,\max} = 20 \text{ mm}$. En større hældning af trykstangen vil således ikke give anledning til en større lodret kraft. Ved en øget hældning vil y_0 derimod reduceres, hvorved den vandrette kraft også reduceres.

Ved en øget boksafstand vil bæreevnen for lokal- og spaltebrud blive øget. Der er således på den sikre side regnet med den mindste tilladte bokstand.

Referencer

- [1] NIELSEN, M. P.: Limit Analysis and Concrete Plasticity. *Second Edition, CRC Press*, 1998.
- [2] NIELSEN, M. P.: Beton 2 Del 2 - Plasticitetsteori for beton. Lyngby 2001.
- [3] NIELSEN, M. P.: Beton 2 Del 3 – Plader, Gennemlokning. Lyngby 2002.
- [4] ANDERSEN, H. B. & POULSEN, D. G.: Liner anvendt i præfabrikerede betonelementer - Hovedrapport. *Eksamensprojekt, BYG-DTU*, Lyngby, 2002.
- [5] ANDERSEN, H. B. & POULSEN, D. G.: Liner anvendt i præfabrikerede betonelementer - Forsøgsrapport. *Eksamensprojekt, BYG-DTU*, Lyngby, 2002.
- [6] NIELSEN, M. P. & HANSEN, L. Z.: Wiresløjfer i dansk elementbyggeri., *BYG-DTU*, 2003.