

Dansk Beton, Letbetongruppen - BIH

Notat om udtræksstyrker og beregning af samlinger imellem
vægelementer

Sag BIH, Samlinger
J.nr. GC2007_BIH_R_002B
Udg. B
Dato 25 oktober 2008

Indholdsfortegnelse

1.	Introduktion	1
2.	Forsøgsplan og forsøgstyper	2
3.	Deklarationer og simple beregningsmodeller.	3
3.1	Principper for fastlæggelse af deklarerationer og modeller	3
3.2	Forankringsstyrker, vurderinger og deklarerationer	4
3.2.1	Deklarationer i serie 1, Hilti H.7.5 mm og 12.5 mm	5
3.2.2	Deklarationer i serie 2. Bolteesamling	6
3.2.3	Deklarationer i serie 3. SE-hjørnesamling	6
3.2.4	Deklarationer i serie 5. Glat støbesamling, skive	7
3.2.5	Deklarationer i serie 5a. Glat støbesamling, hjørne	7
3.2.6	Deklarationer i serie 7. Strittersamling	8
3.2.7	Deklarationer i serie 8. Dornsamling	9
3.3	Fugestykker, vurderinger og deklarerationer	10
4.	Beregning af samlinger imellem vægelementer	11
5.	Konklusioner og anbefalinger	12
6.	Referencer	13
7.	Hovedresultater fra forsøg	14

Bilagsrapport

Bilag FP. "BIH. Prøvning af samlinger, Prøvningsprogram",.

Bilag 1. "Prøvning af samlinger. Afsnit 1. Skruesamling. Testrapport".

Bilag 2. "Prøvning af samlinger. Afsnit 2. Boltesamling. Testrapport".

Bilag 3. "Prøvning af samlinger. Afsnit 3. SE-samling, hjørne. Testrapport".

Bilag 4. "Prøvning af samlinger. Afsnit 4. SE-samling, stød. Testrapport".

Bilag 5. "Prøvning af samlinger. Afsnit 5. Støbesamling, glat. Testrapport".

Bilag 5a. "Prøvning af samlinger. Afsnit 5a. Støbesamling, glat, hjørne. Testrapport".

Bilag 6. "Prøvning af samlinger. Afsnit 6. Støbesamling, forandret. Testrapport".

Bilag 7. "Prøvning af samlinger. Afsnit 7 Strittersamling. Testrapport".

Bilag 8. "Prøvning af samlinger. Afsnit 8. Dornsamling. Testrapport".

1. Introduktion

I forbindelse med BIH's ønske om forbedrede samlingsmetoder i det præfabrikerede byggeri har BIH opstillet og gennemført et prøvningsprogram med testning af en række almindeligt forekommende samlinger imellem vægelementer.

I den forbindelse har Per Goltermann, docent på BYG•DTU foretaget en vurdering af forsøgsrapporter, resultater og tilsendte foto fra forsøgene med det formål at opstille deklARATIONER og simple beregningsregler for forankringsmidler og samlinger imellem vægelementerne.

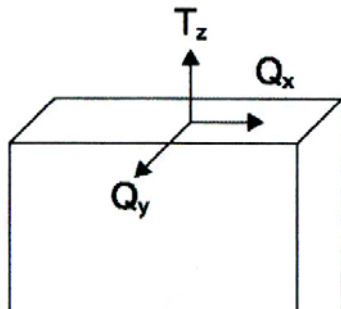
2. Forsøgsplan og forsøgstyper

Der gennemføres en række forsøg for

1. Skruesamlinger
2. Boltesamlinger
3. Se-samlinger i et hjørne
4. SE-samling ved et stød
5. Glat støbesamling og hjørnesamling
6. Fortandet støbesamling
7. Strittersamling
8. Dornsamling

I serierne 5 og 6 udføres der direkte samlinger imellem elementerne, hvorefter der udføres testning. I de øvrige serier gennemføres der forsøg med udtrækning af forankringsmidlet i det enkelte element i forskellige retninger, dog trækkes Q_y altid mod formsiden, da denne anses for den svageste.

- T_z : Træk af anker i endeflade
- Q_x : Forskydning af anker i endeflade parallelt med væg
- Q_y : Forskydning af anker i endeflade vinkelret på væg



Figur 2.1. Benævnelse af belastningsretningerne.

Der stiles mod at gennemføre mindst 10 forsøg for hver samling og lastretning.

Ved prøvningen registreres last og deformation for optegning af arbejdskurverne hvor den største last angives som brudstyrke. Der gennemføres bestemmelse af trykstyrker og densiteter i hver serie.

3. Deklarationer og simple beregningsmodeller.

Der er foretaget en række tests af forankringsstyrker ved udtrækning af forankringsmidler (SE-samling, dorn, strittere, skruer), hvor der er målt brudstyrker, arbejdskurver og brudformer. Disse forsøgsresultater kombineres med enkle formler for at opstille deklarerationer.

Der er desuden foretaget en række fuldskalaskiveforsøg med det formål at måle fugernes styrke. Disse forsøg vil blive suppleret med formler for beregning af forskydningsstyrker i skivesamlinger.

3.1 Principper for fastlæggelse af deklarerationer og modeller

V ed bestemmelse af de karakteristiske styrke (f_k) vil beregningsreglerne i EN 1520, afsnit 4.2.2 blive anvendt, dvs. reglerne i tabellen nedenfor skal anvendes

Antal i stikprøven n	n<6	6≤n≤9	n>10
$f_k \leq$	0,8 f_m	$f_m - k_n * s_n$	
$f_{min} \geq$	0,9 f_k	0,75 f_k	0,67 f_k

Der er indført

f_k er den karakteristiske styrke

f_{min} er det mindste af forsøgsresultaterne

f_m er middelværdien af forsøgsresultaterne og

s_n er standardafvigelsen på forsøgsresultaterne.

Faktoren k_n findes af EN 1520 som

Antal i stikprøven n	k_n
6	1,87
7	1,77
8	1,72
9	1,67
10	1,62
11	1,58
≥12	1,55

3.2 Forankringsstyrker, vurderinger og deklARATIONER

Der beregnes middelværdi og spredning af forsøgsresultaterne som forklaret ovenover. De anvendte forsøgsresultater er angivet i kapitel 7, idet forsøg med manglende brud, brud i forankringsstålet (overrivning) eller anden afvigelse er udeladt. En detaljeret forsøgsgennemgang findes i bilagene 1 til 8.

Det er klart at forankringstyrkerne afhænger af trykstyrken eller kvadratroden af trykstyrken i vægelementerne og styrken regnes derfor afhængigt af trykstyrken i letbetonen, dvs. forankringsstyrkerne ganges med forholdet eller kvadratroden af forholdet imellem f_{ck} (deklareret, karakteristisk trykstyrke i elementerne) og f_{cm} (middelværdi af de testede elementers styrker). Valget imellem de to korrektioner afhænger af bruddet, som beskrevet i kapitel 7 for de forskellige forsøgsserier.

Da der normalt kun er foretaget lidt få målinger af trykstyrkerne i de testede elementer eller i evt. slaveelementer i den enkelte serie reduceres den fundne værdi med 0,9 af hensyn til denne begrænsning i dokumentationen. Da elementerne stammer fra en eller to produktioner, multipliceres den fundne værdi med 0,9 af hensyn til denne begrænsning i bredden af dokumentationen. Dette betyder at der samlet multipliceres med en faktor $0,9 \cdot 0,9 = 0,8$ for at korrigere for disse usikkerheder. (I kapitel 7 er den første deklARATION beregnet detaljeret for at illustrere fremgangsmåden).

Bæreevnen af forankringsmidlerne vil ofte afhænge af dæklag eller afstand til nærmeste kant. I den enkelte testretning i den enkelte serie foretages der en vurdering af brudformen, som beskrevet i kapitel 7, således at der kan kompenseres for effekten af geometrien.

Ved forsøgene er der anvendt betoner med tørdensiteter fra 1800 til 2000 kg/m³ og varierende trykstyrker, som kan repræsentere styrkeklasser imellem 8 og 20 MPa.

De udarbejdede forslag til deklarerede, karakteristiske værdier gælder derfor for betoner af tilsvarende typer, dvs. styrkeklasser imellem $f_{ck}=8\text{MPa}$ og $f_{ck}=20\text{MPa}$, som har middeltørdensiteter over 1800 kg/m³. Brug af deklARATIONERNE udenfor disse grænser bør kun foretages efter nøjere overvejelser og/eller testninger.

3.2.1 Deklarationer i serie 1, HiltiHus H.7.5 mm og 12.5 mm

Der skal sikres en afstand på mindst 45 mm fra centrum af hul til nærmeste kant og en afstand på mindst 300 mm imellem skrueerne.

HiltiHus H.7.5mm

De deklarerede, karakteristiske bæreevner bliver

$$Q_y = 4,5kN \cdot \sqrt{f_{ck} / 20MPa}$$

$$Q_x = 2,1kN \cdot f_{ck} / 20MPa$$

$$T_z = 7,5kN \cdot f_{ck} / 20MPa$$

eller for styrkeklasserne 10 og 15 MPa

Karakteristisk styrke (kN)	Qy	Qx	Tz
$f_{ck}=15 \text{ Mpa}$	3,9	1,6	5,6
$f_{ck}=10MPa$	3,2	1,1	3,8

HiltiHus H.12.5 mm

De deklarerede, karakteristiske bæreevner bliver

$$Q_y = 3,6kN \cdot \sqrt{f_{ck} / 20MPa}$$

$$Q_x = 2,3kN \cdot f_{ck} / 20MPa$$

$$T_z = 5,4kN \cdot f_{ck} / 20MPa$$

eller for styrkeklasserne 10 og 15 MPa

Karakteristisk styrke (kN)	Qy	Qx	Tz
$f_{ck}=15 \text{ Mpa}$	3,1	1,7	4,1
$f_{ck}=10MPa$	2,5	1,2	2,7

3.2.2 Deklarationer i serie 2. Bolteesamling

Der anvendes M12 inserts med C-krog og bolt med mindste indbyrdes afstand imellem boltene på 500 mm og med mindst 35 mm dæklag.

De deklarerede, karakteristiske bæreevner bliver

$$Q_y = 3,2kN \cdot \sqrt{f_{ck} / 20MPa}$$

$$Q_x = 7,5kN \cdot f_{ck} / 20MPa$$

$$T_z = 8,0kN \cdot f_{ck} / 20MPa$$

eller for styrkeklasserne 10 og 15 MPa

Karakteristisk styrke (kN)	Qy	Qx	Tz
$f_{ck}=15$ Mpa	2,8	5,7	6,0
$f_{ck}=10$ MPa	2,3	3,8	4,0

3.2.3 Deklarationer i serie 3. SE-hjørnesamling

SE-bøjlen er Ø10mm, KS550 og placeres med en afstand på mindst 350 mm imellem centrum i SE-samlingerne. Der stilles ikke krav til styrken af den mørtel der anvendes, da der ikke anvendes mørtel i testemnerne.

De deklarerede, karakteristiske bæreevner bliver

$$Q_y = 6,0kN \cdot \sqrt{f_{ck} / 20MPa}$$

$$T_z = 10,3kN \cdot f_{ck} / 20MPa$$

eller for styrkeklasserne 10 og 15 MPa

Karakteristisk styrke (kN)	Qy	Tz
$f_{ck}=15$ Mpa	5,2	7,7
$f_{ck}=10$ MPa	4,3	5,1

3.2.4 Deklarationer i serie 5. Glat støbesamling, skive

Der anvendes Ø6mm bøjle, S235 med design som angivet i Bilag FP. Der kræves en afstand på mindst 50 mm centrum bøjle til nærmeste kant.

Den deklarerede, karakteristiske bæreevne for den urevnede fuger bliver

$$Q_y = 60kN / m$$

for en glat, urevnet fuger imellem letklinkerbetonelementer med karakteristiske styrker på mindst 10 MPa, fugemørtel med karakteristiske styrke på mindst 6,4 MPa og med U-bøjler Ø6mm med en maksimalafstand på 1,1m og et Ø8mm låsejern.

Den revnede fuges styrke beregnes iflg. reglerne i kapitel 4.

3.2.5 Deklarationer i serie 5a. Glat støbesamling, hjørne

Der anvendes Ø6mm bøjle, S235 med design som angivet i Bilag FP. Der kræves en afstand på mindst 50 mm centrum bøjle til nærmeste kant.

De deklarerede, karakteristiske bæreevner bliver

$$Q_y = 9,2kN \cdot \sqrt{f_{ck} / 20MPa}$$

eller for styrkeklasserne 10 og 15 MPa

Karakteristisk styrke (kN)	Q _y
f _{ck} =15 Mpa	8,0
f _{ck} =10MPa	6,5

3.2.6 Deklarationer i serie 7. Strittersamling

Der anvendes Ø8, S235 stritter med 400 mm længde og krog. Der kræves mindst 40 mm dæklag.

100 mm vægge

De deklarerede, karakteristiske bæreevner bliver

$$Q_y = 4,6kN \cdot f_{ck} / 20MPa$$

$$Q_x = 13,3kN \cdot f_{ck} / 20MPa$$

$$T_z = 5,0kN \cdot \sqrt{f_{ck} / 20MPa}$$

eller for styrkeklasserne 10 og 15 MPa

Karakteristisk styrke (kN)	Qy	Qx	Tz
$f_{ck}=15$ Mpa	(3,8)	10,0	5,3
$f_{ck}=10$ MPa	(2,5)	6,7	3,6

120 mm vægge

De deklarerede, karakteristiske bæreevner bliver

$$Q_y = 4,6kN \cdot f_{ck} / 20MPa$$

$$Q_x = 14,9kN \cdot f_{ck} / 20MPa$$

$$T_z = 7,0kN \cdot \sqrt{f_{ck} / 20MPa}$$

eller for styrkeklasserne 10 og 15 MPa

Karakteristisk styrke (kN)	Qy	Qx	Tz
$f_{ck}=15$ Mpa	(3,5)	11,2	7,4
$f_{ck}=10$ MPa	(2,3)	7,4	5,0

3.2.7 Deklarationer i serie 8. Dornsamling

Der anvendes Ø12 mm dorne i KS550 med 150 mm længde og en forankringslængde på mindst 100 mm iflg. forsøgsplanen. Der stilles ikke krav til limens kvalitet, da der ikke blev anvendt limning i forsøgsemnerne Der kræves mindst 50 mm fra centrum af dornhul til nærmeste kant.

De deklarerede, karakteristiske bæreevner bliver

$$Q_y = 3,6kN \cdot \sqrt{f_{ck} / 20MPa}$$

$$Q_x = 10,2kN \cdot \sqrt{f_{ck} / 20MPa}$$

eller for styrkeklasserne 10 og 15 MPa

Karakteristisk styrke (kN)	Qy	Qx
$f_{ck}=15$ Mpa	3,1	7,6
$f_{ck}=10$ MPa	2,1	5,1

3.3 Fugestyrker, vurderinger og deklARATIONER

De gennemførte testserier 4 og 6 er alle udført med en stærk mørtel eller limning i fugen. Der har således ikke været muligt at fremkalde fugebrud i de serier, da der enten ikke fremkom brud eller bruddene muligvis starter som et knusningsbrud ved selve forsøgsopstillingens fastholdelse af elementerne. I testserie 5 med en glat fuge blev der gennemført en fase 2 testning med en svagere mørtel, hvorved det lykkedes at skabe brud i fugemørtelen.

Forsøgsmaterialet kan derfor ikke bruges til at fastlægge en deklARATION af de karakteristiske fugestyrker for alle typer fuger. I det efterfølgende kapitel angives der derfor beregningsregler for fuger med armering eller mekaniske forbindelser på tværs af samlingen.

Forsøgsmaterialet viser dog at de sammensatte fuger og elementerne har haft en meget stor forskydningsstyrke i den urevnede tilstand.

4. Beregning af samlinger imellem vægelementer

Beregningen af fugernes styrke kan baseres på klassiske beregningsregler for fuger, kendt fra DS 411 og DS 420. I disse beregninger anvendes stålet i forankringsmidlet som fugearmering, som har en styrke på

$$N_d = \text{minimum} (f_{yk} \cdot A_s / \gamma_s, N_k / \gamma_F)$$

hvor

f_{yk} er metallets karakteristiske flydestyrke,

A_s er metallets tværsnitsareal

N_d er den regningsmæssige styrke af forankringen

N_k er den karakteristiske forankrings eller udtræksstyrke af forankringsmidlet.

Styrken skal svare til retningen vinkelret på fugens plan.

γ_s er partialkoefficienten på stålets flydestyrke

γ_F er partialkoefficienten på forankringsmidlets styrke

Ved at udvide formlerne i DS 420, svarende til de traditionelle regler angivet i DS 411 kan styrken af en fuge pr. længdeenhed v_{ld} beregnes som

$$v_{ld} = k_1 \cdot \Phi_d \cdot t_{ef} \cdot f_{cd} \text{ for } \Phi \geq \Phi_{\min}, \text{ dog } \max k_2 \cdot t_{ef} \cdot f_{cd}$$

hvor værdien af Φ_d fastlægges som

$$\Phi_d = N_d / (1 \cdot t_{ef} \cdot f_{cd})$$

og hvor k_1 , k_2 og Φ_{\min} kan findes af DS420, tabel V.6.5.5.3 for ru og fortandede støbeskel som angivet nedenfor

Letklinkerbeton	k_1	k_2	Φ_{\min}
Ru overflade	0,5	0,15	0,05
Fortandet overflade	0,8	0,2	0,10

Der er dog ikke mulighed for at gennemføre en tilsvarende beregning af glatte fuger, da der ikke er fastlagt nogen værdier af k_1 , k_2 og Φ_{\min} for denne type fuge.

Det skal dog nævnes, at det er muligt at udnytte dornvirkningen i forankringsmidlerne til overføring af mindre skivekræfter. Forankringsmidlernes styrke parallelt med skiveforskydningskræfterne kan anvendes uanset om fugen er glat, ru eller fortandet.

5. Konklusioner og anbefalinger

Konklusioner

Der er udarbejdet oplæg til deklarerede styrker for forankringsmidler i elementer, hvori der er taget hensyn til trykstyrker og dæklag.

Forsøgene med sammensatte vægskiver blev gennemført med en stærk mørtel eller lim, hvorved der ikke kunne etableres en deklARATION for fugestyrkerne, da der ikke kunne skabes forskydningsbrud i fugerne. Forsøgene viste dog en meget stor styrke i de urevnede fuger.

Der er også opstillet en række simple beregningsformler for forskydningsstyren i fuger imellem vægskiver.

Anbefalinger for videre arbejde

Det anbefales at gennemføre de planlagte forsøg med sammensatte vægskiver igen, men denne gang anvende en svagere mørtel i fugen, således at der reelt kan skabes et brud i fugen.

Det anbefales også at teste glatte fuger, således at der kan etableres det samme beregningsgrundlag som DS 420 angiver for ru og fortandede samlinger.

6. Referencer

Bilag FP: "BIH: Prøvning af samlinger, Prøvningsprogram", Udarbejdet af EXPAN for BIH, 5. Udgave, november 2007.

Bilag 1: "Prøvning af samlinger. Afsnit 1. Skruesamling. Testrapport", Udarbejdet af EXPAN for BIH, februar 2008.

Bilag 2: "Prøvning af samlinger. Afsnit 2. Boltensamling. Testrapport", Udarbejdet af EXPAN for BIH, februar 2008.

Bilag 3: "Prøvning af samlinger. Afsnit 3. SE-samling, hjørne. Testrapport", Udarbejdet af EXPAN for BIH, februar 2008.

Bilag 4: "Prøvning af samlinger. Afsnit 4. SE-samling, stød. Testrapport", Udarbejdet af EXPAN for BIH, februar 2008.

Bilag 5: "Prøvning af samlinger. Afsnit 5. Støbesamling, glat. Testrapport", Udarbejdet af EXPAN for BIH, februar 2008.

"Prøvning af samlinger. Afsnit 5. Støbesamling, glat, fase 2. Testrapport", Udarbejdet af EXPAN for BIH, oktober 2008.

Bilag 5a: "Prøvning af samlinger. Afsnit 5. Støbesamling, glat, hjørne. Testrapport", Udarbejdet af EXPAN for BIH, Februar 2008.

Bilag 6: "Prøvning af samlinger. Afsnit 6. Støbesamling, forandret. Testrapport", Udarbejdet af EXPAN for BIH, februar 2008.

Bilag 7: "Prøvning af samlinger. Afsnit 7 Strittersamling. Testrapport", Udarbejdet af EXPAN for BIH, februar 2008.

Bilag 8: "Prøvning af samlinger. Afsnit 8. Dornsamling. Testrapport", Udarbejdet af EXPAN for BIH, februar 2008.

7. Hovedresultater fra forsøg

Serie 1. Hilti HUS H 7.5mm

Uddrag af data fra bilag 1.

Skrue	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Trækretning	Qy	Qy	Qy	Qy	Qy	Qy	Qy	Qy	Qy	Qy
Forankring - mm	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68
Maks. Last - KN	6,46	5,87	6,22	7,02	8,36	6,82	7,97	7,64	6,71	7,22
Element nr.	BV 398	BV 398	BV 398	BV 398	BV 398	BV 398	BV 398	BV 398	BV 398	BV 398
Trykstyrke - Mpa	20,8	20,8	20,8	20,8	20,8	20,8	20,8	20,8	20,8	20,8

Skrue	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Trækretning	Qx	Qx	Qx	Qx	Qx	Qx	Qx	Qx	Qx	Qx
Forankring - mm	68	65	68	68	68	68	68	68	68	68
Maks. Last - KN	6,44	7,02	4,8	5,66	5,98	4,58	5,64	5,15	5,58	4,01
Element nr.	LI 609	LI 609	LI 609	LI 609	LI 609	LI 609	LI 609	LI 609	LI 609	LI 609
Trykstyrke - Mpa	30,6	30,6	30,6	30,6	30,6	30,6	30,6	30,6	30,6	30,6

Skrue	1	2	4	5	6	7	8	9	10	11
Trækretning	Tz	Tz	Tz	Tz	Tz	Tz	Tz	Tz	Tz	Tz
Forankring - mm	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68
Maks. Last - KN	12,01	11,11	11,87	11,75	11,28	11,9	12,92	6,94	11,33	10,75
Element nr.	BV 395	BV 395	BV 395	BV 395	BV 395	BV 395	BV 395	BV 398	BV 398	BV 398
Trykstyrke - Mpa	17,1	17,1	17,1	17,1	17,1	17,1	17,1	20,8	20,8	20,8

Forsøgene med skrue 3 udgår pga bemærkninger.

Brudform for Qy: Dette er et afskalningsbrud som skyldes tværtrykket. Dette kan derfor minde om forskydning eller gennemlokning. For både forskydning og gennemlokning afhænger bæreevnen af kvadratroden af trykstyrken iflg. DS411.

Brudform for Qx: Her rykkes der ofte et helt hjørne eller en del af kanten af. Det er usikkert hvordan udtræksstyrken afhænger af trykstyrken. Det vælges derfor på den sikre side at regne udtræksstyrken proportionalt med trykstyrken.

Brudform for Tz: Her minder det mest om manglende vedhæftning eller der rykkes et helt hjørne eller en del af kanten af. Det er usikkert hvordan udtræksstyrken afhænger af trykstyrken. Det vælges derfor på den sikre side at regne udtræksstyrken proportionalt med trykstyrken.

Der er ikke målt dæklag, men skrue er monteret i et hul midt i elementet, som er 100 mm tykt. I praksis kan denne placering måske være lidt svær at overholde, men der skal kræves mindst 45 mm fra centrum af hul til nærmeste kant.

Der skal sikres en afstand på mindst 300 mm imellem skrueerne.

Vi finder nu

Kraft	Qy	Qx	Tz
Antal forsøg	10	10	10
Snit (kN)	7,03	5,49	11,19
Standardafvigelse (kN)	0,78	0,89	1,61
$f_{c,middel}$ (MPa)	20,8	30,6	18,2

De deklarerede værdier bliver derfor

$$Q_y = 4,5kN \cdot \sqrt{f_{ck} / 20MPa}$$

$$Q_x = 2,1kN \cdot f_{ck} / 20MPa$$

$$T_z = 7,5kN \cdot f_{ck} / 20MPa$$

eller

Karakteristisk styrke (kN)	Qy	Qx	Tz
$f_{ck}=15$ Mpa	3,9	1,6	5,6
$f_{ck}=10$ MPa	3,2	1,1	3,8

Serie 1. Hilti HUS H 12.5mm

Uddrag af data fra bilag 1.

Skrue	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Trækretning	Qy	Qy	Qy	Qy	Qy	Qy	Qy	Qy	Qy	Qy
Forankring - mm	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
Maks. Last - KN	5,54	6,08	5,51	6,44	6,37	7,98	8,9	6,47	7,03	7,55
Element nr.	FI 166	FI 166	FI 166	FI 166	FI 166	FI 166	FI 166	FI 166	FI 166	FI 166
Trykstyrke - Mpa	24,8	24,8	24,8	24,8	24,8	24,8	24,8	24,8	24,8	24,8

Skrue	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Trækretning	Qx	Qx	Qx	Qx	Qx	Qx	Qx	Qx	Qx	Qx
Forankring - mm	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
Maks. Last - KN	5,71	3,37	5,53	5	3,96	3,88	4	3,18	3,9	4,01
Element nr.	FI 166	FI 166	FI 166	FI 166	BRV 456	BRV 456	BRV 456	BRV 456	BRV 456	BRV 456
Trykstyrke - Mpa	24,8	24,8	24,8	24,8	16,3	16,3	16,3	16,3	16,3	16,3

Skrue	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Trækretning	Tz	Tz	Tz	Tz	Tz	Tz	Tz	Tz	Tz	Tz	Tz
Forankring - mm	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
Maks. Last - KN	10,7	10,92	12,52	8,2	7,18	9,6	10,78	12,6	7,61	11,52	12,38
Element nr.	FI 166	B3	B3	B3	B3	B3	B2	B2	B2	B2	B2
Trykstyrke - Mpa	24,8	20,1	20,1	20,1	20,1	20,1	20,1	20,1	20,1	20,1	20,1

Brudformerne er de samme som for 100 mm væggene.

Der er ikke målt dæklag, men skrue er monteret i et hul midt i elementet, som er 100 mm tykt. I praksis kan denne placering måske være lidt svær at overholde, men der skal kræves mindst 45 mm fra centrum af hul til nærmeste kant.

Der skal sikres en afstand på mindst 300 mm imellem skrueerne.

Vi finder nu

Kraft	Q _y	Q _x	T _z
Antal forsøg	10	10	11
Snit (kN)	6,79	4,25	10,16
Standardafvigelse (kN)	1,09	0,86	1,95
f _{c,middel} (MPa)	24,8	19,7	20,6

De deklarerede værdier bliver derfor

$$Q_y = 3,6kN \cdot \sqrt{f_{ck} / 20MPa}$$

$$Q_x = 2,3kN \cdot f_{ck} / 20MPa$$

$$T_z = 5,4kN \cdot f_{ck} / 20MPa$$

eller

Karakteristisk styrke (kN)	Q _y	Q _x	T _z
f _{ck} =15 Mpa	3,1	1,7	4,1
f _{ck} =10MPa	2,5	1,2	2,7

Eksempel på beregning af den deklarerede værdi

I disse forsøg for Q_y finder man

Gennemsnit af Q _y :	Q _{y,m}	=	6,79 kN
Standardafvigelse for Q _y :	s _{Q_y}	=	1,09 kN
Antal forsøg	n	=	10 =>
	k _n	=	1,62 iflg EN 1520 som refereret i afsnit 3.1

hvoraf den karakteristiske værdi ville blive

$$Q_{y,k} = 0,8(Q_{y,m} - k_n s_{Q_y}) = 0,8(6,79 - 1,62 \cdot 1,09) = 4,01kN$$

for en beton med trykstyrke på 24,8 MPa, hvilket var middeltrykstyrken i de testede elementer. Med den observerede brudtype anses brudstyrken for at være proportional med den enaksede trækstyrke, som er proportional med kvadratroden af trykstyrken f_{ck}, dvs.

$$Q_y = 3,6kN \cdot \sqrt{f_{ck} / 20MPa}$$

svarende til en styrke på 4,01 kN for en karakteristiske trykstyrke på 24,9 MPa.

Serie 2. Boltesamling

Uddrag af data fra bilag 2.

Bolt	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Trækretning	Qy	Qy	Qy	Qy	Qy	Qy	Qy	Qy	Qy	Qy
Forankring - mm	215	215	215	215	215	215	215	215	215	215
Maks. Last - KN	4,48	6,58	6,43	6,22	5,44	6,04	5,12	5,11	6,61	6,1
Element nr.	B8	B8	B8	B8	B8	B7	B7	B7	B7	B7
Trykstyrke - Mpa	23,2	23,2	23,2	23,2	23,2	23,2	23,2	23,2	23,2	23,2
Dæklag - mm	35	35	45	42	40	34	34	36	37	38

Bolt	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Trækretning	Qx	Qx	Qx	Qx	Qx	Qx	Qx	Qx	Qx	Qx
Forankring - mm	215	215	215	215	215	215	215	215	215	215
Maks. Last - KN	14,74	16,92	20,29	16,37	14,78	18,83	19,32	16,33	21,59	15,08
Element nr.	B6	B6	B6	B6	B6	B5	B5	B5	B5	B5
Trykstyrke - Mpa	26,4	26,4	26,4	26,4	26,4	26,4	26,4	26,4	26,4	26,4
Dæklag - mm	35	37	38	38	38	39	42	39	40	40

Bolt	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Trækretning	Tz	Tz	Tz	Tz	Tz	Tz	Tz	Tz	Tz	Tz
Forankring - mm	215	215	215	215	215	215	215	215	215	215
Maks. Last - KN	15,16	16,27	16,75	15,67	18,3	17,4	17,94	20,06	16,7	19,19
Element nr.	B1	B1	B1	B1	B4	B4	B4	B4	B8	B8
Trykstyrke - Mpa	26,4	26,4	26,4	26,4	26,4	26,4	26,4	26,4	26,4	26,4
Dæklag - mm	35	41	37	Ej målt	38	40	39	42	39	40

Brudform for Qy: Dette er et afskalmingsbrud som skyldes tværtrykket. Dette kan derfor minde om forskydning eller gennemlokning. For både forskydning og gennemlokning afhænger bæreevnen af kvadratroden af trykstyrken iflg. DS411.

Brudform for Qx: Her sker der normalt en skæv afskalning, dvs betonelementet flækkes og der sker en afskalning til den ene side af boltten. Flækningen kan bedst vurderes ud fra reglerne om koncentreret last på et betonareal, hvor bæreevnen er proportional med trykstyrken.

Brudform for Tz: Her sker der flækning og derefter afskalning på den ene side af boltten. Bæreevnen er derfor proportional med trykstyrken.

I praksis skal der forlanges mindst 35 mm dæklag, da reduceret dæklag vil reducere bæreevnen.

Der anvendes M12 inserts med C-krog og bolt med mindste indbyrdes afstand imellem boltene på 500 mm.

Vi finder nu

Kraft	Qy	Qx	Tz
Antal forsøg	10	10	10
Snit (kN)	17,43	5,81	17,34
Standardafvigelse (kN)	2,44	0,73	1,55
$f_{c,middel}$ (MPa)	26,4	23,2	26,4
Dæklag (mm)	39	38	39

De deklarerede værdier bliver derfor

$$Q_y = 3,2kN \cdot \sqrt{f_{ck} / 20MPa}$$

$$Q_x = 7,5kN \cdot f_{ck} / 20MPa$$

$$T_z = 8,0kN \cdot f_{ck} / 20MPa$$

eller

Karakteristisk styrke (kN)	Qy	Qx	Tz
$f_{ck}=15$ Mpa	2,8	5,7	6,0
$f_{ck}=10$ MPa	2,3	3,8	4,0

Serie 3. SE-hjørnesamling

Uddrag af data fra bilag 3.

	81-1	81-2	82-1	82-2	83-1	83-2	84-1	84-2	85-1	85-2
Trækretning	Qy	Qy	Qy	Qy	Qy	Qy	Qy	Qy	Qy	Qy
Dæklag S6 - mm	28	30	28	36	35	35	30	32	31	30
Maks. Last - KN	9,43	10,21	8,65	9,6	10,6	8,88	9,28	8,2	10,86	8,77
Element nr.	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86
Trykstyrke - Mpa	22,7	22,7	22,7	22,7	22,7	22,7	22,7	22,7	22,7	22,7

	86-1	86-2	87-1	87-2	88-1	88-2	89-1	89-2	90-1	90-2
Trækretning	Tz	Tz	Tz	Tz	Tz	Tz	Tz	Tz	Tz	Tz
Kantafstand - mm	67	72	89	71	67	70	71	68	76	72
Maks. Last - KN	23,29	26,03	23,28	29,36	23,82	25,79	15,73	24,49	12,58	28,63
Element nr.	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86
Trykstyrke - Mpa	22,7	22,7	22,7	22,7	22,7	22,7	22,7	22,7	22,7	22,7

Brudform for Qy: Dette er et afskalningsbrud som skyldes tværtrykket. Dette kan derfor minde om forskydning hvor bæreevnen er proportional med kvadratroden af trykstyrken. Denne afhængighed svarer også til Qy's afhængighed ved skrue- og boltesamlinger.

Brudform for Tz: Her sker der flækning og derefter afskalning. Bæreevnen er derfor proportional med trykstyrken.

Der er ikke målt dæklag på SE-bøjlen, men den anses for at være standardiseret placeret ud fra selve udformningen. SE-bøjlen er Ø10mm, KS550 og placeres med en afstand på mindst 350 mm imellem centrum i SE-samlingerne. Der er ikke udstøbt mørtel i SE-udsparringen og man behøves derfor ikke at stille krav til den mørtel der anvendes i praksis.

Vi finder nu

Kraft	Qy	Tz
Antal forsøg	10	10
Snit (kN)	9,45	23,30
Standardafvigelse (kN)	0,88	5,30
$f_{c,middel}$ (MPa)	22,7	22,7

De deklarerede værdier bliver derfor

$$Q_y = 6,0kN \cdot \sqrt{f_{ck} / 20MPa}$$

$$T_z = 10,3kN \cdot f_{ck} / 20MPa$$

eller

Karakteristisk styrke (kN)	Qy	Tz
$f_{ck}=15$ Mpa	5,2	7,7
$f_{ck}=10$ MPa	4,3	5,1

Serie 4. SE-samling i stød

Baseret på informationer fra bilag 4.

Der opnås ikke brud i fugerne i forsøgene, da der er anvendt en så stærk udstøbningsmørtel at der ikke kan skabes brud i selve fugen.

Serie 5. Glat støbesamling

Baseret på informationer fra bilag 5.

Der opnås ikke brud i fugerne i forsøgene i første fase, da der er anvendt en så stærk udstøbningsmørtel at der ikke kan skabes brud i selve fugen. Der opnås til gengæld brug i fugerne i fase 2, hvor testningen sker ca. 1 døgn efter udstøbningen af mørtelen.

Uddrag af data fra bilag 5, fase 2.

	43	44	45	46	64	65	66	67
Trækretning	Qx	Qx	Qx	Qx	Qx	Qx	Qx	Qx
Maks. Last - KN	147,24	161,82	139,95	212,65	195,13	214,16	181,58	185,49
Mørtelstyrke - Mpa	5,0	6,4	6,6	7,1	5,5	6,8	7,3	6,5

Brudform for Qx: Der sker sprødt brud i fugen, hvorefter deformationerne vokser kraftigt. De listede bæreevner er revnelastene og der var ikke tegn på reserve i bruddet.

Der er ikke målt dæklag på bøjlerne (2 stk pr samling), men de anses for at være standardiseret placeret ud fra selve udformningen. Bøjlen er Ø6mm, S235 og placeres med en afstand på mindst 350 mm imellem centrum i samlingerne.

Vi finder nu

Kraft	Q _y
Antal forsøg	8
Snit (kN)	179,7
Standardafvigelse (kN)	28,0
f _{cmørtel,middel} (MPa)	6,4

Den deklarerede værdi for den urevnede fuge bliver derfor

$$Q_y = 133kN \text{ for en } 2,2 \text{ m lang fuge}$$

for en glat, urevnet fuge med 2 Ø6 mm bøjler, fugemørtel med karakteristiske trykstyrker på over 6,4 MPa og vægelementer med karakteristiske trykstyrker over 10 MPa.

Dette svarer til en styrke på

$$Q_y = 60kN / m$$

for en glat, urevnet fuge imellem letklinkerbetonelementer med karakteristiske styrker på mindst 10 MPa, fugemørtel med karakteristiske styrke på mindst 6,4 MPa og med U-bøjler Ø6mm med en maksimalafstand på 1,1m.

Serie 5a. Bøjle i hjørne til glat støbesamling

Uddrag af data fra bilag 5a.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Trækretning	Qy	Qy	Qy	Qy	Qy	Qy	Qy	Qy	Qy	Qy
Maks. Last - KN	15,25	13,39	13,7	15,83	11,99	11,89	9,95	12,86	14,08	13,96
Element nr.	127	127	127	127	128	128	128	128	129	129
Trykstyrke - Mpa	25,8	25,8	25,8	25,8	25,8	25,8	25,8	25,8	25,8	25,8
Dæklag mod kant (mm)	28	30	31	27	22	25	26	27	35	29

Brudformen for Qy: Bruddene ses at være afskalmingsbrud, svarende til gennemlokning. Bæreevnen er derfor proportional med kvadratroden af trykstyrken.

Vi finder nu

Kraft	Qy
Antal forsøg	10
Snit (kN)	13,29
Standardafvigelse (kN)	1,72
$f_{c,middel}$ (MPa)	25,8
Dæklag mod kant (mm)	28

I praksis skal der forlanges mindst 50 mm fra centrum bøjle til nærmeste kant. Som bøjle er anvendt Ø6mm bøjle, S235 med design som angivet i Bilag FP.

De deklarerede værdier bliver derfor

$$Q_y = 9,2kN \cdot \sqrt{f_{ck} / 20MPa}$$

eller

Karakteristisk styrke (kN)	Qy
$f_{ck}=15$ Mpa	8,0
$f_{ck}=10$ MPa	6,5

Serie 6. Fortandet støbesamling

Baseret på informationer fra bilag 6.

Der opnås ikke brud i fugerne i forsøgene, da der er anvendt en så stærk udstøbningsmørtel at der ikke kan skabes brud i selve fugen.

Serie 7. Stritter lavet som J-bøjle

Uddrag af data fra bilag 7.

Resultater for 100 mm vægge

Emne	54-1	54-2	55-1	56-1	56-2
Trækretning	Qx	Qx	Qx	Qx	Qx
Forankring - mm	400	400	400	400	400
Maks. Last - KN	14,568	14,292	16,644	14,544	15,372
Element nr.	54	54	55	56	56
Trykstyrke - Mpa	12	12	12	12	12
Dæklag -mm	44	46	49	52	50

Emne	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Trækretning	Qy	Qy	Qy	Qy	Qy	Qy	Qy	Qy	Qy	Qy
Forankring - mm	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400
Maks. Last - KN	13,776	14,772	13,86	13,512	12,192	11,052	10,92	7,368	11,964	11,892
Element nr.	40	40	40	40	40	41	41	41	41	41
Trykstyrke - Mpa	23,3	23,3	23,3	23,3	23,3	18,6	18,6	18,6	18,6	18,6
Dæklag -mm	55	55	55	60	45	49	48	54	56	49

Emne	1-39	2-39	3-39	4-39	1-43	2-43	3-43	4-43
Trækretning	Tz	Tz	Tz	Tz	Tz	Tz	Tz	Tz
Forankring - mm	400	400	400	400	400	400	400	400
Maks. Last - KN	29,208	25,98	24,6	15,432	20,568	27,888	25,656	17,676
Element nr.	39	39	39	39	43	43	43	43
Trykstyrke - Mpa	26,8	26,8	26,8	26,8	23	23	23	23
Dæklag -mm	46	48	43	44	45	48	46	43

Brudform for Qy: Bruddene er en blanding af spaltning og afskalning. Bæreevnen afhænger nok af en kombination af træk og trykstyrke, dvs. på den sikre side siges afhængighed af trykstyrken.

Brudform for Qx: Bruddene er nok først en flækning, efterfulgt af en afskalning. Bæreevnen er derfor proportional med trykstyrken.

Brudform for Tz: Bruddet er typisk et "pop-out". Dette brud sker reelt ved at den knuste beton i bunden af J-bøjlen kommer under et hydrostatisk tryk som først frigøres når der sker et "pop-out" brud. Dette brud er reelt en gennemløkning, hvilket medfører at bæreevnen afhænger af kvadratroden af trykstyrken.

Resultater for 120 mm vægge

Emne	21	22	23	24	25	26	27	29	30
Trækretning	Qx	Qx	Qx	Qx	Qx	Qx	Qx	Qx	Qx
Forankring - mm	250	250	250	250	250	250	250	250	250
Maks. Last - KN	23,484	16,524	25,8	22,308	20,364	21,564	21,6	22,992	24,036
Element nr.	101	101	97	98	98	98	98	99	99
Trykstyrke - Mpa	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5
Dæklag -mm	45	50 og 10	45	45	48	35	39	40	39

Emne	11	12	14	15	16	17	18	19	20
Trækretning	Qy	Qy	Qy	Qy	Qy	Qy	Qy	Qy	Qy
Forankring - mm	250	250	250	250	250	250	250	250	250
Maks. Last - KN	5,664	7,62	8,772	7,308	5,376	6,348	6,588	7,44	8,244
Element nr.	102	102	102	102	102	97	97	97	97
Trykstyrke - Mpa	17,2	17,2	17,2	17,2	17,2	17,2	17,2	17,2	17,2
Dæklag -mm	35	46	38	43	42	38	42	36	50

Emne	1	2	5	6	7	8	9
Trækretning	Tz	Tz	Tz	Tz	Tz	Tz	Tz
Forankring - mm	250	250	250	250	250	250	250
Maks. Last - KN	16,296	23,088	25,44	20,556	11,1	19,872	15,816
Element nr.	100	100	100	100	101	101	101
Trykstyrke - Mpa	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5
Dæklag -mm	31	40	41	40	18	26	17

Brudformerne svarer til væggene med 100 mm tykkelse.

Der beregnes for 100 mm vægge

Kraft	Qy	Qx	Tz
Antal forsøg	5	10	8
Snit (kN)	12,13	15,08	23,38
Standardafvigelse (kN)	2,11	0,96	4,95
$f_{c,middel}$ (MPa)	21,0	12	24,90
Dæklag (mm)	53	48	45

og tilsvarende for 120 mm vægge

Kraft	Qy	Qx	Tz
Antal forsøg	9	9	7
Snit (kN)	7,04	22,07	18,88
Standardafvigelse (kN)	1,14	2,62	4,85
$f_{c,middel}$ (MPa)	17,2	18,5	18,50
Dæklag (mm)	41	42	30

Der er anvendt Ø8, S235 stritter med 400 mm længde og krog.

I praksis skal der forlanges mindst 40 mm dæklag, da reduceret dæklag vil reducere bæreevnen. De deklarerede værdier bliver derfor beregnede for et dæklag på mindst 40 mm.

For 100 mm vægge bestemmes deklARATIONERNE for Qx og Tz til

$$Q_x = 13,3kN \cdot f_{ck} / 20MPa$$

$$T_z = 5,0kN \cdot \sqrt{f_{ck} / 20MPa}$$

eller

Karakteristisk styrke (kN)	Qy	Qx	Tz
$f_{ck}=15$ Mpa	(3,8)	10,0	5,3
$f_{ck}=10$ MPa	(2,5)	6,7	3,6

For 120 mm vægge bestemmes tilsvarende

$$Q_y = 4,6kN \cdot f_{ck} / 20MPa$$

$$Q_x = 14,9kN \cdot f_{ck} / 20MPa$$

$$T_z = 7,0kN \cdot \sqrt{f_{ck} / 20MPa}$$

samt

Karakteristisk styrke (kN)	Qy	Qx	Tz
$f_{ck}=15$ Mpa	(3,5)	11,2	7,4
$f_{ck}=10$ MPa	(2,3)	7,4	5,0

Det vælges her at sætte Qy til samme værdi for både 100 mm og 120 mm vægge, da styrken kun bør afhænge af dæklaget og trykstyrken, men ikke af væggenes tykkelse.

Det er derimod rimeligt at forvente at vægtykkelsen kan påvirke Qx og Tz og der kan derfor opretholdes forskellige deklARATIONER for de to forskellige vægtykkelser.

Serie 8. Dornsamling

Uddrag af data fra bilag 8.

Dorn	1	2	3	4	5	6
Trækretning	Qy	Qy	Qy	Qy	Qy	Qy
Forankring - mm	100	110	150	140	145	145
Maks. Last - KN	7,296	8,712	8,868	5,112	8,16	8,844
Element nr.	FI 35	FI 35	FI 43	FI 43	FI 43	FI 43
Trykstyrke - Mpa	26	26	26	26	26	26

Dorn	7	8	9	10	11	12
Trækretning	Qx	Qx	Qx	Qx	Qx	Qx
Maks. Last - KN	26,136	24,672	20,148	21,804	22,872	22,548
Element nr.	BRV 107	BRV 107	BRV 107	BRV 107	BRV 107	BRV 107

Brudformen for Qx, Qy og Tz er ikke registrerede i denne serie, men forventes at være afslag eller afskalning ligesom for skruer og bolte.

Der er ikke målt dæklag, men dornen er monteret i et hul midt i elementet, som er 100 mm tykt. I praksis kan denne placering måske være lidt svær at overholde, men der skal kræves mindst 50 mm fra centrum af hul til nærmeste kant.

Vi finder nu

Kraft	Q _y	Q _x
Antal forsøg	6	6
Snit (kN)	7,83	0,00
Standardafvigelse (kN)	1,46	23,03
f _{c,middel} (MPa)	26,0	-

Trykstyrken er ikke oplyst for Q_x forsøgene, men det skønnes konservativt at denne ikke kan have oversteget 30 MPa i prøvelementerne.

De deklarerede værdier bliver derfor bestemt som

$$Q_y = 3,6kN \cdot \sqrt{f_{ck} / 20MPa}$$
$$Q_x = 10,2kN \cdot \sqrt{f_{ck} / 20MPa}$$

eller

Karakteristisk styrke (kN)	Q _y	Q _x
f _{ck} =15 Mpa	3,1	7,6
f _{ck} =10MPa	2,1	5,1

Der er her anvendt Ø12 mm dorne i KS550 med 150 mm længde og en forankringslængde på mindst 100 mm iflg. forsøgsplanen. Dornene er ikke limede i hullet og der skal derfor ikke stilles krav til en sådan lim.