

MEMO 702a
 BWC 55-740 – SØYLER I FRONT –
 INNFESTING I PLASSTØPT DEKKE
 BEREGNING AV DEKKE OG
 BALKONGARMERING

Dato: 15.05.2012
 Siste rev.: 22.09.2016
 Dok. nr.: K5-10/3a

Sign.: sss
 Sign.: sss
 Kontr.: ps

INNHold

GRUNNLEGGENDE FORUTSETNINGER OG ANTAGELSER.....	2
GENERELT	2
STANDARDER.....	2
KVALITETER.....	3
DIMENSJONER OG TVERRSNITTSVERDIER.....	3
LIKEVEKT - KOMPLETT ENHET	4
LASTER	4
FORUTSETNINGER	4
LIKEVEKT AV INNERRØR	5
LIKEVEKT AV YTTERRØR.....	7
LIKEVEKT – UTSPARINGSKASSE I BALKONG.....	9
LIKEVEKT – STANDARD YTTERRØR + TSS I BALKONG.....	10
LASTER	10
FORUTSETNINGER	10
LIKEVEKT AV YTTERRØR.....	10
LIKEVEKT – ENHET BRUKT MED INNERRØRET UTTREKT 370MM.....	13
LASTER	13
FORUTSETNINGER	13
LIKEVEKT AV YTTERRØR.....	13
LIKEVEKT – STANDARD YTTERRØR + INNERRØR MED STÅLVINKEL	14
LASTER	14
FORUTSETNINGER	14
LIKEVEKT AV INNERRØR M/STÅLVINKEL	14
LIKEVEKT AV YTTERRØR.....	14

GRUNNLEGGENDE FORUTSETNINGER OG ANTAGELSER

GENERELT

De følgende beregninger av forankring av enhetene og den tilhørende armering er å betrakte som et eksempel som illustrerer dimensjoneringsmodellen. Endelig armeringsføring i og omkring enheten skal i alle tilfeller utføres av ansvarlig konstruktør med nødvendig kompetanse på betong og stålberegninger.

STANDARDS

Beregningene er utført i henhold til:

- Eurocode 2: Prosjektering av betongkonstruksjoner. Del 1-1: Allmenne regler og regler for bygninger.
- Eurocode 3: Prosjektering av stålkonstruksjoner. Del 1-1: Allmenne regler og regler for bygninger.
- EN 10080: Steel for the reinforcement of concrete. Weldable reinforcing steel. General.

For alle NDP-er (Nationally Determined Parameter) i Eurocodene er Norske verdier benyttet. NDP-ene er som følger:

Parameter	γ_c	γ_s	α_{cc}	α_{ct}
Anbefalt verdi	1.5	1.15	1.0	1.0
NDP Norge	1.5	1.15	0.85	0.85
Benyttet	1.5	1.15	0.85	0.85

Tabell 1: NDP-er i EC-2.

Parameter	γ_{M0}	γ_{M1}	γ_{M2}
Anbefalt verdi	1.0	1.0	1.25
NDP Norge	1.05	1.05	1.25
Benyttet	1.05	1.05	1.25

Tabell 2: NDP-er i EC-3.

KVALITETER

Betong B30:	$f_{ck} = 30,0 \text{ MPa}$	EC2, Tabell 3.1
	$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c = 0,85 \cdot 30 / 1,5 = 17,0 \text{ MPa}$	EC2, Pkt.3.15
	$f_{ctd} = \alpha_{ct} \cdot f_{ctk,0,05} / \gamma_c = 0,85 \cdot 2,00 / 1,5 = 1,13 \text{ MPa}$	EC2, Pkt.3.16
	$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 0,7 \cdot 1,0 \cdot 1,13 = 1,78 \text{ MPa}$	EC2, Pkt.8.4.2

Armering 500C (EN 1992-1-1, App. C):

$$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 500 / 1,15 = 435 \text{ MPa} \quad \text{EC2, Pkt 3.2.7}$$

Merk: Armering av annen duktilitetsklasse kan benyttes såfremt bøybarheten er slik at armeringen kan tilpasses rundt halvrundstålene fremme på enheten.

Stål S355:	Strekk: $f_{yd} = f_y / \gamma_{M0} = 355 / 1,05 = 338 \text{ MPa}$
	Trykk: $f_{yd} = f_y / \gamma_{M0} = 355 / 1,05 = 338 \text{ MPa}$
	Skjær: $f_{sd} = f_y / (\gamma_{M0} \cdot \sqrt{3}) = 355 / (1,05 \cdot \sqrt{3}) = 195 \text{ MPa}$

$$\text{Sveis: } f_{vw,d} = \frac{f_u / \sqrt{3}}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} \quad \text{EC3-Del 1-8, pkt 4.5.3.3}$$

$$f_u = 510 \quad \text{EC3-Del 1-1, Tabell 3.1}$$

$$\beta_w = 0.90 \quad \text{EC3-Del 1-8, Tabell 4.1}$$

$$\gamma_{M2} = 1.25 \quad \text{EC3-Del 1-1, pkt 6.1}$$

$$\Rightarrow f_{vw,d} = \frac{510 / \sqrt{3}}{0.9 \cdot 1.25} = 262 \text{ MPa}$$

DIMENSJONER OG TVERRSNITTSVERDIER

Standard ytterrør: HUP 120x80x5xL=590mm, Kaldformet, S355

Standard innerrør: HUP 100x50x6xL=740mm, Kaldformet, S355

Innerrør m/stålvinkel: HUP 100x50x6, L=445mm Kaldformet, S355

LIKEVEKT - KOMPLETT ENHET

LASTER

Bruddgrenselast vertikalt: $F_V = 55\text{kN}$.

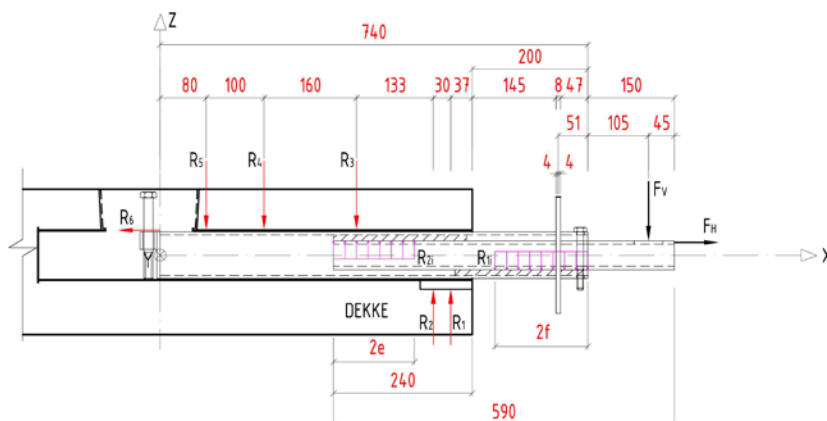
Bruddgrenselast horisontalt: $F_H = 20\text{kN}$.

FORUTSETNINGER

Se også illustrasjoner i memo 701a. Last fra balkong påføres ved innerrørets ende og overføres fra innerrøret til yterrøret via gummimellomlegg pålimt innerrøret. Dette er illustrert i Figur 1 som kreftene R_{1i} og R_{2i} . Forankringsarmering forsettes plassert som vist. To alternative forankringer av horisontalkraften er aktuelle. Ved bruk av utsparingsboks i dekket sveises et kamstål til yterrøret i front (ved R_6). Når det ikke benyttes utsparingsboks forankres enheten horisontalt ved å tre en armeringsbøyle gjennom et påsveist rør i bakkant av yterrøret.

På grunn av relativt tynnveggede tverrsnitt vil tykket fra gummimellomlegget kunne medføre hhv. en lokal utbøying av yterrørets flens og en innbøying av innerrørets flens. Siden vektarmene endres med lengdene e og f , vil samtidig de indre resultantkreftene R_{1i} og R_{2i} 's størrelse være avhengig av hvor stort dette kontaktrykket kan tillates å være. Den indre kontaktsonens utbredelse, og dermed de indre kreftenes størrelse, baseres i det videre på at største tillatte kontaktspenning mellom inner og yterrør er 5.6MPa.

Enhets likevekt baseres på følgende geometri:



Figur 1: Krefter på enhet.

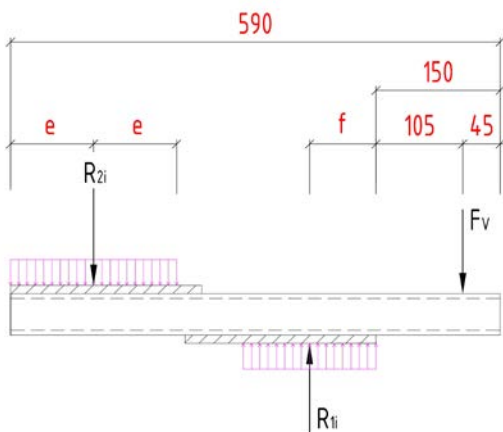
$F_V =$ Ytre vertikal last på innerrør

F_H = Ytre horisontal last på innerrør

R_{1i} , R_{2i} = Indre krefter fra innerrør på yterrør.

R_1 , R_2 , R_3 , R_4 , R_5 , R_6 = Ytre reaksjonskrefter mot yterrør. (Ved plassering av forankringsbøyler).

LIKEVEKT AV INNERRØR



Figur 2: Likevekt av innerrør.

Setter opp likevektsligningene for innerrøret (vertikalt):

$$1): \sum M=0: \quad R_{2i} \cdot (590 - 150 - f - e) = F_v \cdot (105 + f)$$

$$2): \sum F_y=0: \quad R_{2i} + F_v = R_{1i}$$

$$3): e = \frac{R_{2i}}{2 \cdot \sigma_{2i} \cdot b_{i,eff}}$$

$$4): f = \frac{R_{1i}}{2 \cdot \sigma_{1i} \cdot b_{i,eff}}$$

($b_{i,eff}$ = effektiv bredde i kontaktflaten = 82mm)

Løser ut parameter R_{2i} :

$$R_{2i} \cdot \left(590 - 150 - \frac{R_{1i}}{2 \cdot \sigma_{1i} \cdot b_{i,eff}} - \frac{R_{2i}}{2 \cdot \sigma_{2i} \cdot b_{i,eff}} \right) = F_v \cdot \left(105 + \frac{R_{1i}}{2 \cdot \sigma_{1i} \cdot b_{i,eff}} \right)$$

$$\Rightarrow R_{2i} \cdot 590 - R_{2i} \cdot 150 - \frac{R_{2i} \cdot (R_{2i} + F_v)}{2 \cdot \sigma_{1i} \cdot b_{i,eff}} - \frac{R_{2i}^2}{2 \cdot \sigma_{2i} \cdot b_{i,eff}} = F_v \cdot \left(105 + \frac{(R_{2i} + F_v)}{2 \cdot \sigma_{1i} \cdot b_{i,eff}} \right)$$

$$\Rightarrow R_{2i} \cdot 590 - R_{2i} \cdot 150 - \frac{R_{2i}^2}{2 \cdot \sigma_{1i} \cdot b_{i,eff}} - \frac{R_{2i} \cdot F_v}{2 \cdot \sigma_{1i} \cdot b_{i,eff}} - \frac{R_{2i}^2}{2 \cdot \sigma_{2i} \cdot b_{i,eff}} = F_v \cdot 105 + \frac{F_v \cdot R_{2i}}{2 \cdot \sigma_{1i} \cdot b_{i,eff}} + \frac{F_v^2}{2 \cdot \sigma_{1i} \cdot b_{i,eff}}$$

$$\Rightarrow -\left(\frac{1}{2 \cdot \sigma_{1i} \cdot b_{i,eff}} + \frac{1}{2 \cdot \sigma_{2i} \cdot b_{i,eff}}\right) \cdot R_{2i}^2 + \left(590 - 150 - \frac{F_v}{\sigma_{1i} \cdot b_{i,eff}}\right) \cdot R_{2i} - \left[105 \cdot F_v + \frac{F_v^2}{2 \cdot \sigma_{1i} \cdot b_{i,eff}}\right] = 0$$

Dette er en andregradslikning av type $ax^2+bx+c=0$, med løsning:

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

Hvor:

$$a = -\left(\frac{1}{2 \cdot \sigma_{1i} \cdot b_{i,eff}} + \frac{1}{2 \cdot \sigma_{2i} \cdot b_{i,eff}}\right) = -\left(\frac{1}{2 \cdot 5.6 \cdot 82} + \frac{1}{2 \cdot 5.6 \cdot 82}\right) = -0.0021777$$

$$b = \left(590 - 150 - \frac{F_v}{\sigma_{1i} \cdot b_{i,eff}}\right) = 590 - 150 - \frac{55000}{5.6 \cdot 82} = 320.23$$

$$c = -\left[105 \cdot F_v + \frac{F_v^2}{2 \cdot \sigma_{1i} \cdot b_{i,eff}}\right] = -\left[105 \cdot 55000 + \frac{55000^2}{2 \cdot 5.6 \cdot 82}\right] = -9.069 \cdot 10^6$$

Dette gir:

$$\Rightarrow R_{2i} = \frac{-320.23 \pm \sqrt{320.23^2 - 4 \cdot 0.0021777 \cdot 9.069 \cdot 10^6}}{-2 \cdot 0.0021777} = \frac{-320.23 \pm 153.5}{-0.0043554} = 38.3 \text{ kN}$$

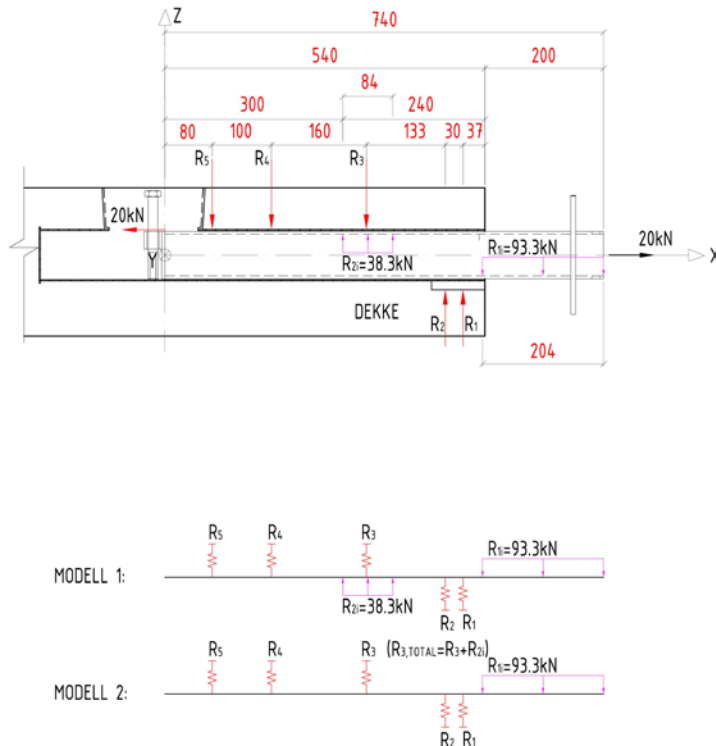
Når R_{2i} er kjent finnes øvrige parametere:

$$\Rightarrow R_{1i} = F_v + R_{2i} = 55 \text{ kN} + 38.3 \text{ kN} = 93.3 \text{ kN}$$

$$\Rightarrow e = \frac{R_{2i}}{2 \cdot \sigma_{2i} \cdot b_{i,eff}} = \frac{38300}{2 \cdot 5.6 \cdot 82} = 41.7 \text{ mm} \approx 42 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f = \frac{R_{1i}}{2 \cdot \sigma_{1i} \cdot b_{i,eff}} = \frac{93300}{2 \cdot 5.6 \cdot 82} = 101.6 \text{ mm} \approx 102 \text{ mm}$$

LIKEVEKT AV YTERRØR



Figur 3: Likevekt av yterrør.

Horisontalkraft forankres med M16 bolt gjennom rør sveist til bakplate på yterrør.

Hvordan reaksjonskreftene R_1, R_2, R_3, R_4 og R_5 fordeles er avhenging av yterrøret stivhet for bøyning både på langs og på tvers, lokalt i tverrsnittet. For å redusere faren for riss pga bøyning av yterrøret brukes flere bøyler langs enheten. Hver av bøylene regnes som opplegg for enheten. Fem oppleggspunkt gjør likevekten statisk ubestemt. For å finne krefter i armeringen og foreta tverrsnittskontroll lages en modell i FOKUS hvor bøylene modelleres som fjærer. Fjærstivhet for en enkeltbøyle $\varnothing 12$ (2 snitt, antar en lengde på vertikaldelen av bøylene $L=175\text{mm}$):

$$k = \frac{EA}{L} = \frac{210000 \frac{N}{\text{mm}^2} \cdot \pi \cdot 6^2 \cdot 2\text{mm}^2}{175\text{mm}} = 271\text{kN} / \text{mm}$$

To ytterpunkter vurderes:

Modell 1: Utbøyning av yterrørets overflens neglisjeres ved punktet for kraften R_{2i} . Dvs. hele kraften R_{2i} tenkes å bli overført fra innerrør til yterrøret.

Modell 2: Kraften R_{2i} går rett i betongen (myk overflens yterrør) og til $\varnothing 12$ bøylene. $\varnothing 12$ bøylene må i tillegg ta lasten forårsaket av yterrørets øvrige bøyning.

Resultater modell 1 fra FOKUS:

$$R_1 = 88,5\text{kN}.$$

$$R_2 = 44,2\text{kN.}$$

$$R_3 = 39,1\text{kN.}$$

$$R_4 = 31\text{kN.}$$

$$R_5 = 7,7\text{kN.}$$

Resultater modell 2 fra FOKUS:

$$R_1 = 92,2\text{kN.}$$

$$R_2 = 51\text{kN.}$$

$$R_3 = 20,2\text{kN. } R_{3,TOTAL} = 20,2\text{kN}+38,3\text{kN}=58,5\text{kN.}$$

$$R_4 = 21,9\text{kN.}$$

$$R_5=7,8\text{kN.}$$

Nødvendig armering for R₁, R₂, R₃, R₄ og R₅

Armerer i hvert punkt for den største kraften fra modell 1 eller 2.

Armering for opplagerkraften R₁:

$$A_s = R_1 / f_{sd} = 92200 / 435 = 211\text{mm}^2$$

$$\text{Bruker } 1\emptyset 12 = 2 \cdot 113\text{mm}^2 = 226\text{mm}^2$$

Armering for opplagerkraften R₂:

$$A_s = R_2 / f_{sd} = 51000 / 435 = 117\text{mm}^2$$

$$\text{Bruker } 1\emptyset 12 = 2 \cdot 113\text{mm}^2 = 226\text{mm}^2$$

Armering for opplagerkraften R₃:

$$A_s = R_3 / f_{sd} = 58500 / 435 = 135\text{mm}^2$$

$$\text{Bruker } 1\emptyset 12 = 2 \cdot 113\text{mm}^2 = 226\text{mm}^2$$

Armering for opplagerkraften R₄:

$$A_s = R_4 / f_{sd} = 31000 / 435 = 71\text{mm}^2$$

$$\text{Bruker } 1\emptyset 12 = 2 \cdot 113\text{mm}^2 = 226\text{mm}^2$$

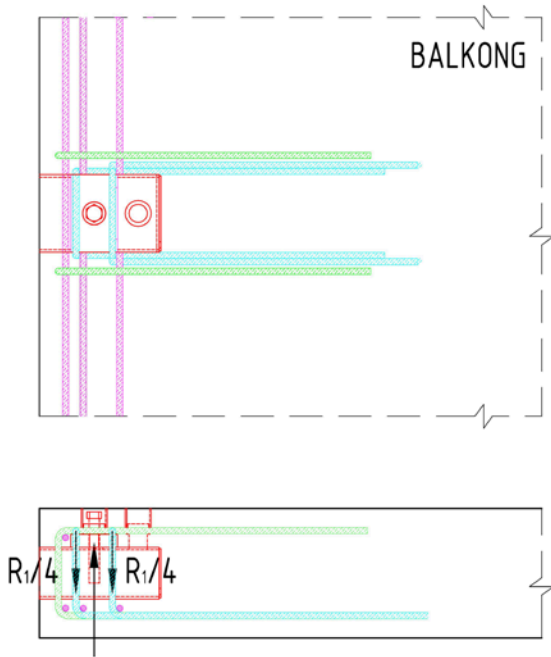
Armering for opplagerkraften R₅:

$$A_s = R_5 / f_{sd} = 7800 / 435 = 18\text{mm}^2$$

$$\text{Bruker } 1\emptyset 12 = 2 \cdot 113\text{mm}^2 = 226\text{mm}^2$$

Konklusjon armering: $\emptyset 12$ bøyler i alle posisjoner er tilstrekkelig.

LIKEVEKT – UTSPARINGSKASSE I BALKONG



Figur 4: Krefter på balkongenhet

Reaksjonskraft i armering:

$$\Rightarrow R_1 = F_v = 55kN$$

Nødvendig armeringsareal:

$$A_s = R_1 / f_{sd} = 55000N / 435MPa = 126mm^2$$

Bruker 2Ø10bøylar = 2 · 2 · 78mm² = 312mm²

LIKEVEKT – STANDARD YTERRØR + TSS I BALKONG

LASTER

Bruddgrenselast vertikalt: $F_V = 75-100\text{kN}$, med TSS101 og 102. (Forutsetninger, se Memo 701a)

Bruddgrenselast vertikalt: $F_V = 40\text{kN}$, med TSS41.

Bruddgrenselast horisontalt: $F_H=0-20\text{kN}$.

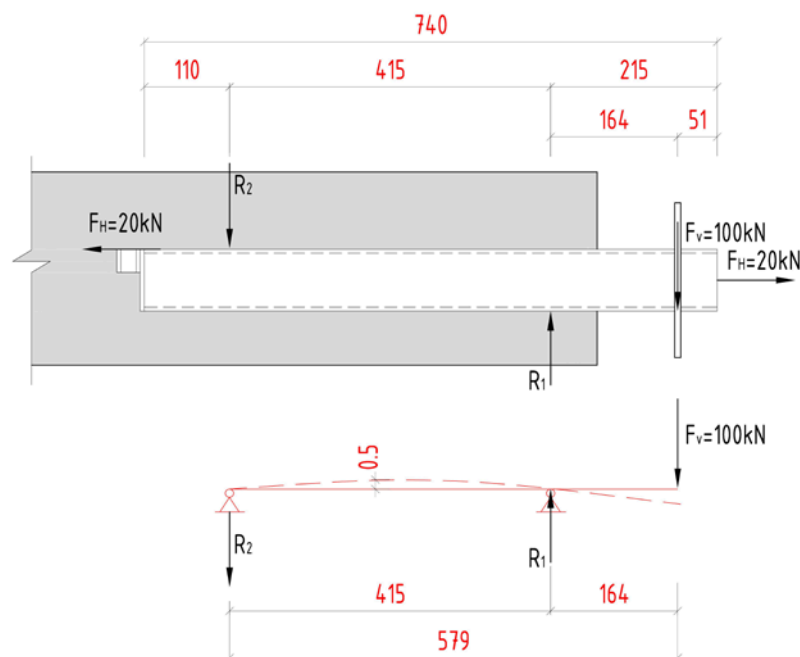
Kapasitet for horisontallast vil være avhengig av valgt løsning for overføring av kraften fra TSS til BWC. Ved behov for å overføre horisontalkraft må denne detalj utarbeides i hvert enkelt tilfelle, avhengig av tilkomstmulighet.

FORUTSETNINGER

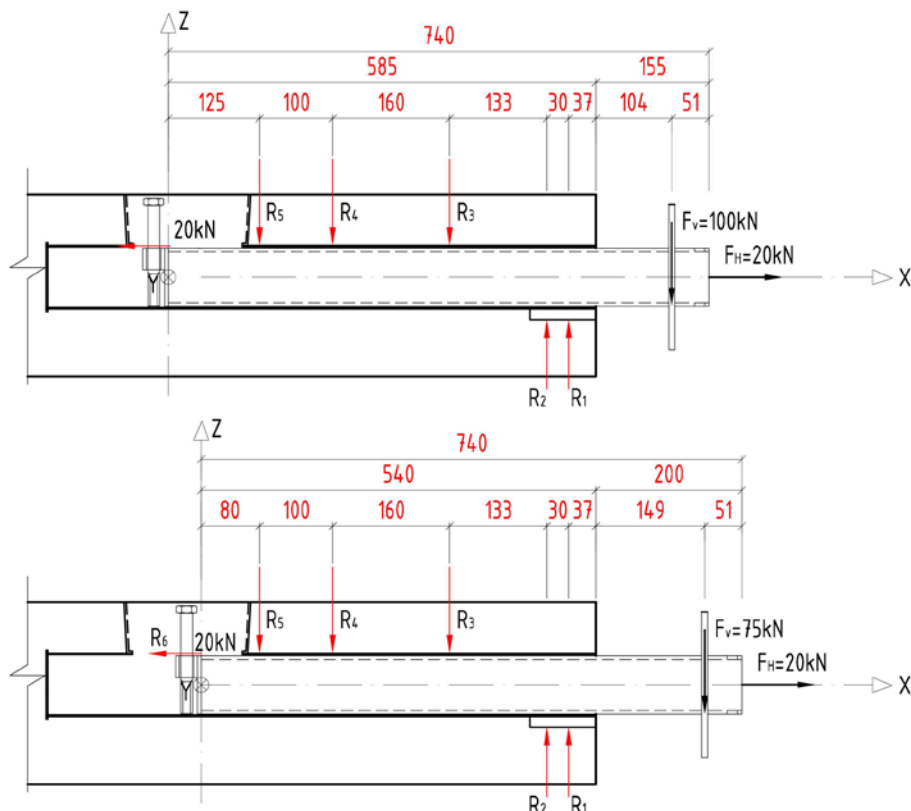
Last fra TSS i balkong påføres ved ytterrørets flens. Se også illustrasjoner i memo 701a.

LIKEVEKT AV YTERRØR

Siden ytterrøret ikke har uendelig bøyestivet bør det ikke være for lang avstand mellom forankringsarmeringen i fremkant og bakkant. Dersom røret regnes opplagret som vist i Figur 5 er beregningsmessig deformasjon ca 0.5mm. Siden røret er innstøpt er denne deformasjonen forhindret så lenge betongen ikke risser opp. Dermed er røret mer innspent i betongen enn denne modellen tilsier. Det anbefales derfor å bruke samme armeringsmønster som ved bruk av komplett enhet, se Figur 6.



Figur 5: Krefter på enhet - modell 1. Ikke anbefalt (fare for riss).



Figur 6: Krefter på enhet - modell 2

$F_v = 100\text{kN}$: Resultater fra FOKUS:

- $R_1 = 100,6\text{kN}$. (ca 2kN overskridelse kapasitet $\varnothing 12$ bøyle. Vurderes ok, da bøyle 2 har mer kapasitet.)
- $R_2 = 55,3\text{kN}$.
- $R_3 = 21,9\text{kN}$.
- $R_4 = 21,7\text{kN}$.
- $R_5 = 12,2\text{kN}$.

$F_v = 75\text{kN}$: Resultater fra FOKUS:

- $R_1 = 86,0\text{kN}$.
- $R_2 = 44,8\text{kN}$.
- $R_3 = 23,8\text{kN}$.
- $R_4 = 21,0\text{kN}$.
- $R_5 = 11,0\text{kN}$.

Konklusjon armering: $\varnothing 12$ bøyle i alle posisjoner er tilstrekkelig. (Identisk armering som for komplett enhet)

Spenning i frontarmering:

$$\Rightarrow \sigma = \frac{98000\text{N}}{226\text{mm}^2} = 435\text{MPa}$$

Tøyning:

$$\Rightarrow \varepsilon = \frac{\sigma}{E} = \frac{435MPa}{210000MPa} = 0.0021mm/mm$$

Forlengelse av armering i front for bruddlast, antar bøylehøyde 175mm:

$$\Rightarrow \Delta L = \varepsilon \cdot L = 0.0021 \cdot 175mm = 0.38mm$$

LIKEVEKT – ENHET BRUKT MED INNERRØRET UTTREKT 370MM

LASTER

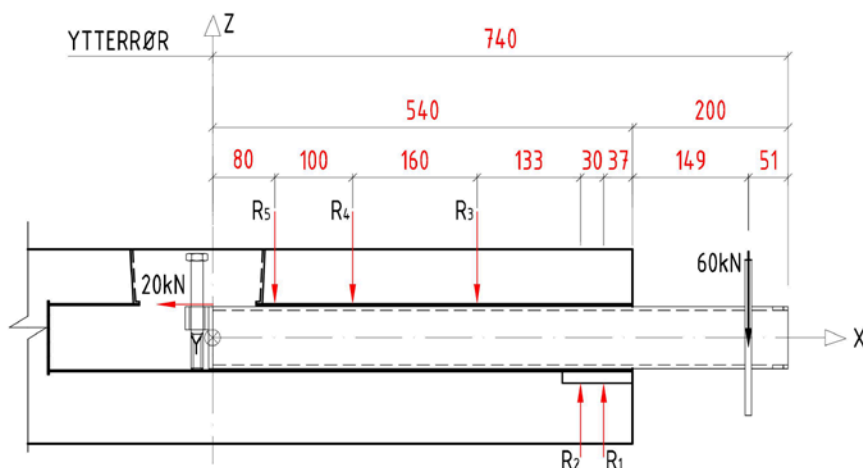
Bruddgrenselast vertikalt: $F_V = 60\text{kN}$.

Bruddgrenselast horisontalt: $F_H = 20\text{kN}$.

FORUTSETNINGER

Se illustrasjoner i memo 701a.

LIKEVEKT AV YTERRØR



Figur 7: Likevekt av ytterrør.

Ytterrøret vil i denne situasjonen ha mindre belastning enn ved bruk av TSS eller balkongkasse. Det gjøres ingen nærmere beregning på krefter i de ulike armeringsposisjoner.

Konklusjon armering: $\varnothing 12$ bøyler i alle posisjoner er tilstrekkelig. (Identisk armering som for komplett enhet)

LIKEVEKT – STANDARD YTERRØR + INNERRØR MED STÅLVINKEL

LASTER

Innerrør med stålvinkel rett veg:

Bruddgrenselast vertikalt = $F_V = 60\text{kN}$.

Bruddgrenselast horisontalt = $F_H = 20\text{kN}$.

Innerrør med stålvinkel opp-ned:

Bruddgrenselast vertikalt = $F_V = 45\text{kN}$ med to avstivere på vinkel.

Bruddgrenselast vertikalt = $F_V = 20\text{kN}$ uten avstivere på vinkel.

Bruddgrenselast horisontalt = $F_H = 20\text{kN}$. Både med og uten avstivere

FORUTSETNINGER

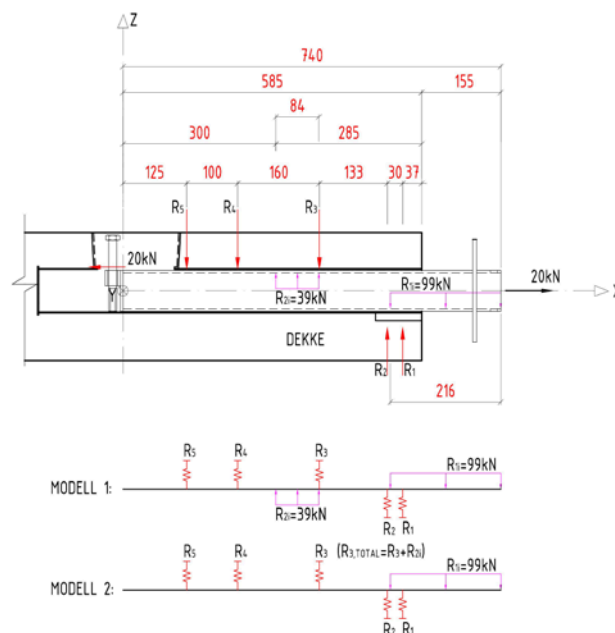
Se illustrasjoner i memo 701a.

LIKEVEKT AV INNERRØR M/STÅLVINKEL

Likevekt av innerrøret er beregnet etter samme prinsipp som vist for komplett enhet, men denne beregning gjengis ikke her.

LIKEVEKT AV YTERRØR

Figur 8 viser største laster på ytterrør fra innerrør m/stålvinkel.



Figur 8: Likevekt av ytterrør.

Beregning i FOKUS med samme forutsetninger på armering som for komplett enhet. Kreftene blir:

Resultater modell 1 fra FOKUS:

$$R_1 = 81,0\text{kN.}$$

$$R_2 = 45,9\text{kN.}$$

$$R_3 = 27,2\text{kN.}$$

$$R_4 = 25,4\text{kN.}$$

$$R_5 = 11,7\text{kN.}$$

Resultater modell 2 fra FOKUS:

$$R_1 = 82,7\text{kN.}$$

$$R_2 = 50,5\text{kN.}$$

$$R_3 = 8,9\text{kN. } R_{3,\text{TOTAL}} = 8,9\text{kN} + 39\text{kN} = 47,9\text{kN.}$$

$$R_4 = 13,7\text{kN.}$$

$$R_5 = 9,2\text{kN.}$$

Krefter i alle armeringsposisjoner er mindre enn for bruk av komplett enhet.

Konklusjon armering: $\varnothing 12$ bøyler i alle posisjoner er tilstrekkelig. (Identisk armering som for komplett enhet)

REVISJON	
Dato:	Beskrivelse:
15.05.2012	Første utgave.
09.07.2014	Inkludert løsning med stålinkel på innerrør. Justert lengde på limt gummi alle enheter.
12.02.2015	Forbedret oppløsning på figurer.
08.01.2016	Inkludert merknad om duktilitetsklasse armering. Endret tabell 1.
19.01.2016	Nytt alternativ for horisontalforankring med M16 bolt og utsparing til ok dekke. Medfører flytting av bakerste forankringsbøyle med 60mm fremover.
18.05.2016	Ny mal.
22.09.2016	Korrigert tittelfelt