

MEMO 830	Dato: 19.09.2013	Sign.: sss
DTF/DTS EKSEMPELBEREGNINGER	Siste rev.: 13.05.2016	Sign.: sss
DIMENSJONERING	Dok. nr.: K6-10-30	Kontr.: ps

BEREGNING AV ARMERING DTF150/DTS150

INNHold

BEREGNING AV ARMERING DTF150/DTS150	1
DEL 1 DTF120 BRUKT I SPENNCON BREDSTEGET DT450.....	2
1.1 GENERELT	2
1.1.1 KVALITETER.....	2
1.1.2 LAST	2
1.1.3 GEOMETRI.....	3
1.2 BEREGNINGER.....	3
DTF200 BRUKT I EN HØY DT.....	12
1.3 GENERELT	12
1.3.1 KVALITETER.....	12
1.3.2 LAST	12
1.3.3 GEOMETRI.....	13
1.4 BEREGNINGER.....	14

DEL 1 DTF120 BRUKT I SPENNCON BREDSTEGET DT450

1.1 GENERELT

1.1.1 KVALITETER

Betong B45: $f_{ck} = 45,0 \text{ MPa}$ EC2, Tabell 3.1
 $f_{cd} = \alpha_{cc} \times f_{ck} / \gamma_c = 0,85 \times 45 / 1,5 = 25,5 \text{ MPa}$ EC2, Pkt.3.15
 $f_{ctd} = \alpha_{ct} \times f_{ctk,0,05} / \gamma_c = 0,85 \times 2,70 / 1,5 = 1,53 \text{ MPa}$ EC2, Pkt.3.16
 $f_{bd} = 2,25 \times \eta_1 \times \eta_2 \times f_{ctd} = 2,25 \times 0,7 \times 1,0 \times 1,53 = 2,41 \text{ MPa}$ EC2, Pkt.8.4.2

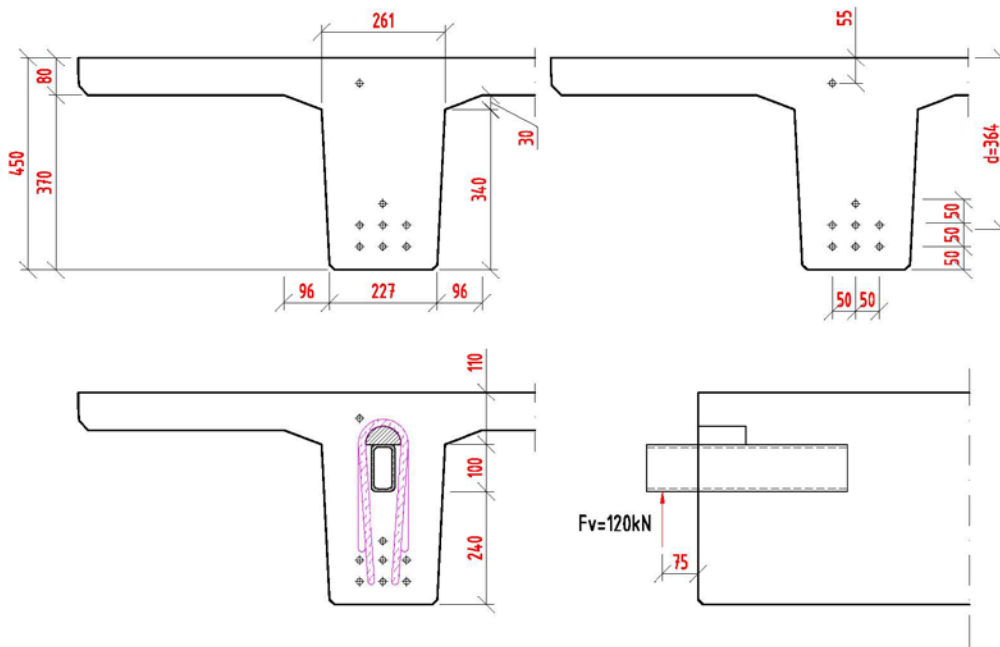
Armering 500C:
 $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 500 / 1,15 = 435 \text{ MPa}$ EC2, Pkt.3.2.7

Spennarmering:
Diameter: $\varnothing = 12,7 \text{ mm}$. (Nominell diameter. Reell diameter = 11.3mm)
Oppspenningskraft etter elastisk tap: $P = 120 \text{ kN}$.

1.1.2 LAST

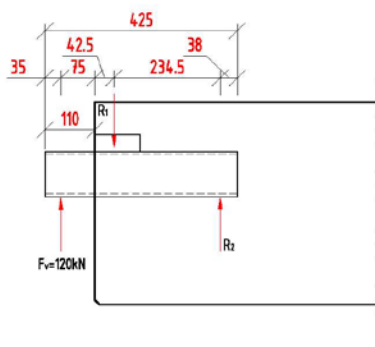
Bruddlast $F_v = 120 \text{ kN}$

1.1.3 GEOMETRI



1.2 BEREGNINGER

1) Likevekt:



$$R_2 = \frac{F_v \times (75\text{mm} + 42,5\text{mm})}{234,5\text{mm}} = \frac{120\text{kN} \times (75\text{mm} + 42,5\text{mm})}{234,5\text{mm}} \approx 61\text{kN}$$

$$R_1 = F_v + R_2 = 120\text{kN} + 61\text{kN} = 181\text{kN}$$

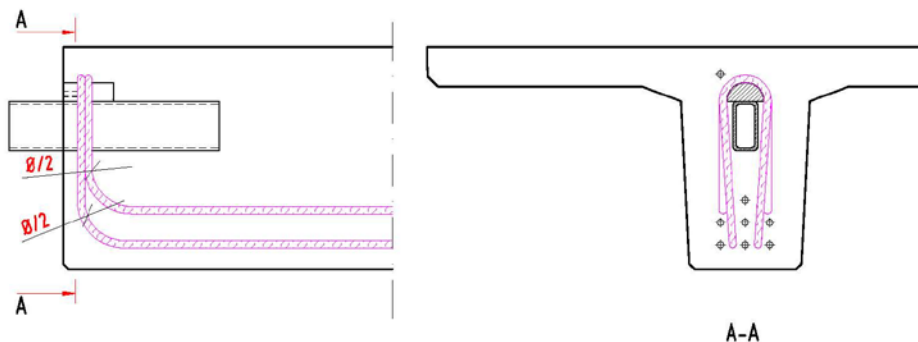
2) Armeringsbehov:

$$A_{R1} = \frac{181kN}{435MPa} = 416mm^2 \rightarrow 2\phi 12b\phi yler = 452mm^2$$

$$A_{R2} = \frac{61kN}{435mm} \approx 140mm^2$$

3) Bøying av frontarmering:

Minimum dordiameter, $\phi_{m,min}$:



Tillatt betongspenning i node, EC2, pkt 6.5.2:

$$\begin{aligned} f_{cd2} &= 0,6 \times \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) \times f_{cd} \\ &= 0,6 \times \left(1 - \frac{45}{250}\right) \times 25,5 \\ &= 12,5MPa \end{aligned}$$

Opptredende betongspenning i node:

$$\sigma_c = \frac{R_1}{b \times \phi_m \times \sin \theta \times \cos \theta}$$

$$b=227mm$$

ϕ_m =Dordiameter forankringsarmering

θ =antar trykkdiagonal i 45grade

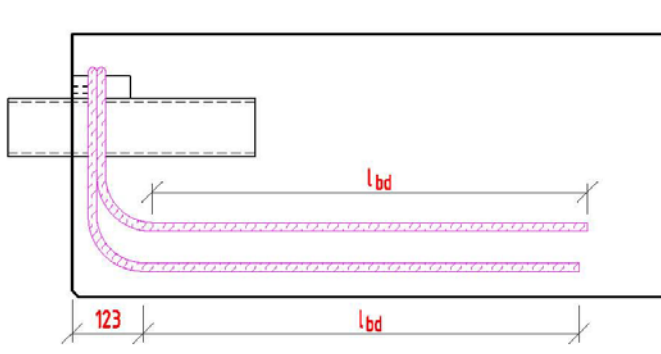
Løser ut for ϕ_m :

$$\phi_m = \frac{R_1}{b \times \sigma_c \times \sin \theta \times \cos \theta}$$

$$\Rightarrow \phi_{m,min} = \frac{181000N}{227mm \times 12,5MPa \times \sin(45) \times \cos(45)} = 128mm$$

\Rightarrow Velger dordiameter: $\phi_m=160mm$

4) Nødvendig forankringslengde for Ø12 bøyer i front, EC2 pkt 8.4.3 og 8.4.4:



$$l_{bd} = \alpha_1 \times \alpha_2 \times \alpha_3 \times \alpha_4 \times \alpha_5 \times l_{b,reqd} \geq l_{b,min}$$

$$l_{b,reqd} = \frac{\sigma_{sd}}{4} \times \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}}$$

$$\text{Spenning i frontarmering: } \sigma_{sd} = \frac{181000 / 4}{\pi \times 6^2} = 400 \text{ MPa}$$

$$l_{b,reqd} = \frac{12}{4} \times \frac{400}{2,41} = 497 \text{ mm}$$

$$l_{b,min} = \text{maks}(0,3 \times l_{b,reqd}; 10 \times \varnothing; 100 \text{ mm}) = 150 \text{ mm}$$

Tabell 8.2: Rett jern:

$$\alpha_1 = 1,0$$

Tabell 8.2: Effekt av betongoverdekning:

$$\alpha_2 = 1 - 0,15 \times (c_d - 3 \times \varnothing) / \varnothing$$

Pga kort avstand til overflate velges konservativt å sette $\alpha_2 = 1,0$

Tabell 8.2: Effekt av tverrarmering som ikke er sveist til hovedarmering:

$$\alpha_3 = 1 - K \times \lambda$$

Neglisjerer eventuell effekt av skjærbøyer.

$$\Rightarrow \alpha_3 = 1,0$$

Tabell 8.2: Effekt av sveist tverrarmering:

$$\alpha_4 = 1,0$$

Ikke relevant.

Tabell 8.2: Effekt av tverrtrykk:

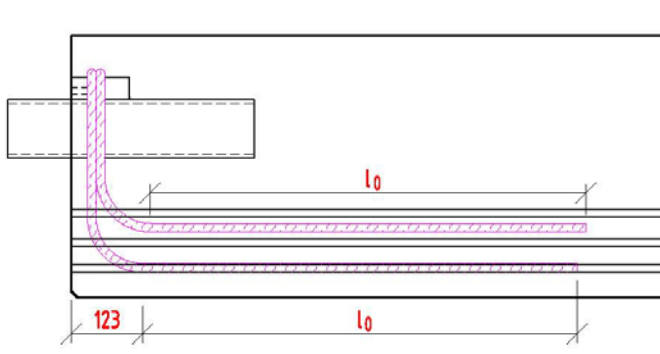
$$\alpha_5 = 1,0$$

Ikke relevant.

$$\alpha_2 \times \alpha_3 \times \alpha_5 = 1,0 \times 1,0 \times 1,0 = 1,0 > 0,7 - \text{OK}$$

$$l_{bd} = 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 497 \text{ mm} = 497 \text{ mm}$$

5) Omfaringslengde Ø12 bøyer mot spenntau EC2 pkt 8.7.3:



$$l_0 = \alpha_1 \times \alpha_2 \times \alpha_3 \times \alpha_5 \times \alpha_6 \times l_{b, reqd} \geq l_{0, min}$$

Nødvendig omfaringslengde beregnet for Ø12:

$$l_{b, reqd} = \frac{\varnothing}{4} \times \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = \frac{12}{4} \times \frac{400}{2,41} = 497 \text{ mm}$$

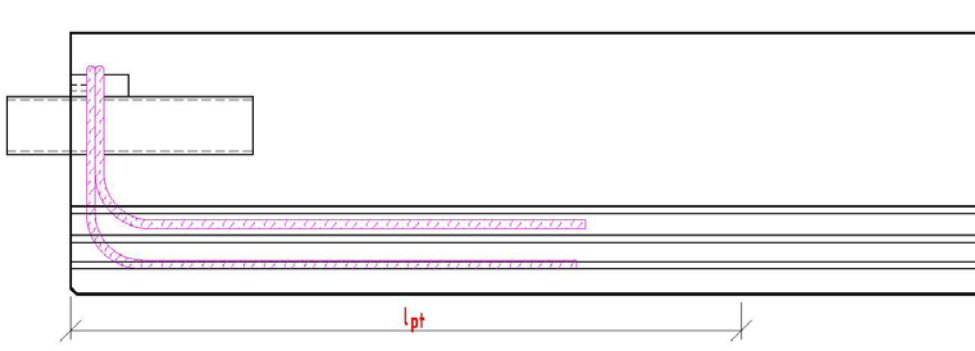
$$l_{0, min} = \text{maks}(0,3 \times \alpha_6 \times l_{b, reqd}; 15 \times \varnothing; 200 \text{ mm}) = 224 \text{ mm}$$

Tabell 8.2: $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$, og $\alpha_5 = 1,0$ som beregnet i punkt 2).

Tabell 8.3: $\alpha_6 = 1.5$ (All armering skjøtes)

$$\Rightarrow l_0 = 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,5 \times 497 \text{ mm} = 746 \text{ mm} \Rightarrow \approx 750 \text{ mm}$$

6) Overføring av forspenningskraft EC2 pkt 8.10.2.2:



Heftspenning for forankring ved avspenning:

$$f_{bpt} = \eta_{p1} \times \eta_1 \times f_{ctd}(t)$$

$$\eta_{p1} = 3,2 \text{ (antar tau med 3\&7 tr\ddot{a}der)}$$

$$\eta_1 = 1,0 \text{ (antar "gode heftforhold")}$$

$$f_{ctd}(t) = \alpha_{ct} \times 0,7 \times f_{ctm}(t) / \gamma_c$$

$$\alpha_{ct} = 0,85$$

$$f_{ctm}(t) = (\beta_{cc}(t))^\alpha \times f_{ctm}$$

$$\beta_{cc}(t) = \exp(s(1-28/t)^{1/2})$$

Antar: avspenning etter t= 1d\ddot{a}gn

Antar: s=0,2 (s=avhengig av sementklasse.)

$$\Rightarrow \beta_{cc}(t) = \exp[0,2 \times \{1 - (28/1)^{1/2}\}] = 0,423$$

$$\alpha = 1 \text{ (t < 28dg)}$$

$$f_{ctm} = 3,8 \text{MPa}$$

$$\Rightarrow f_{ctm}(t) = 0,423^1 \times 3,8 \text{MPa} = 1,60 \text{MPa}$$

$$f_{ctd}(t) = 0,85 \times 0,7 \times 1,60 \text{MPa} / 1,5 = 0,635 \text{MPa}$$

$$\Rightarrow f_{bpt} = 3,2 \times 1,0 \times 0,635 \text{MPa} = 2,03 \text{MPa}$$

Grunnverdi overføringslengde for oppspenningskraft:

$$l_{pt} = \alpha_1 \times \alpha_2 \times \varnothing \times \sigma_{pmo} / f_{bpt}$$

$$\alpha_1 = 1,0 \text{ (antar gradvis avspenning)}$$

$$\alpha_2 = 0,19 \text{ (antar tau med 3 og 7 tr\ddot{a}der)}$$

$$\varnothing = 12,7 \text{mm (Nominell diameter spennkabel. Reell diameter=11,3mm)}$$

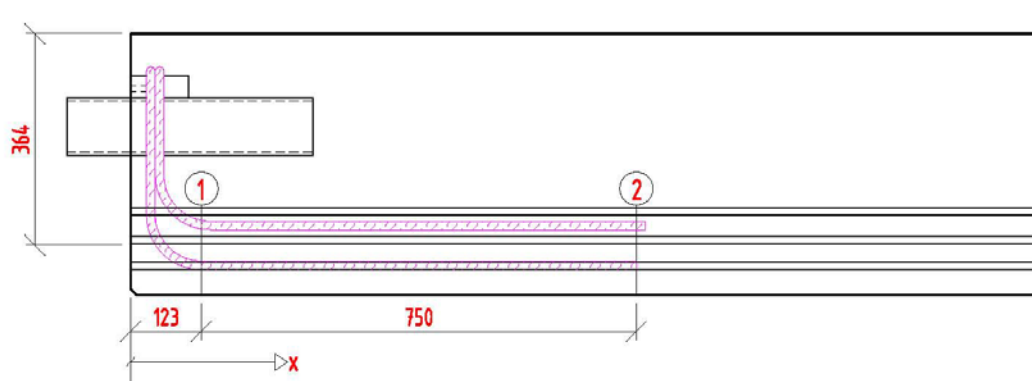
$$\sigma_{pmo} = 1200 \text{MPa (Antar P=120kN kraft i hvert spenntau etter elastisk tap)}$$

$$\Rightarrow l_{pt} = 1,0 \times 0,19 \times 12,7 \text{mm} \times 1200 \text{MPa} / 2,03 \text{MPa} = 1426 \text{mm}$$

$$\Rightarrow l_{pt1} = 0,8 \times l_{pt} = 0,8 \times 1426 \text{mm} = 1141 \text{mm (Brukes ved vurdering av lokale spenninger)}$$

$$\Rightarrow l_{pt2} = 1,2 \times l_{pt} = 1,2 \times 1426 \text{mm} = 1711 \text{mm (Brukes i bruddgrense ved vurdering av forankring. Spenning etter lang tid ved } l_{pt2} \text{ antas } 0,9\sigma_{pmo}. \text{ Tilsvarende } 10\% \text{ tap.)}$$

7) Kontroll av forankring:



Antar at frontbøyler har horisontalt parti på 750mm (\approx minimum beregnet omfaringslengde for $\varnothing 12$). Dvs. horisontalt parti på forankringsbøyler avsluttes ved $x=123+750=873\text{mm}$.

Snitt 1:

Kraft forankret i spenntau (7stk) ved $x=123\text{mm}$:

Antar 10% tap i spennkraft:

$$F_{sp1} = 7 \times P \times 0,9 \times 123\text{mm} / 1711\text{mm} = 7 \times 120\text{kN} \times 0,9 \times 123\text{mm} / 1711\text{mm} = 54\text{kN}$$

Kraft forankret i $\varnothing 12$:

$$F_{\varnothing 12} = 181\text{kN}$$

Sum forankret kraft:

$$F = F_{sp1} + F_{\varnothing 12} = 54\text{kN} + 181\text{kN} = 235\text{kN}$$

Strekkraft i armering ved $x=123\text{mm}$: (pkt6.2.3(7))

$$S(x) = M(x) / z + 0,5 V_{Ed} x (\cot(\theta) - \cot(\alpha))$$

$$= M(x) / z + 0,5 \times V_{Ed} x (\cot(45) - \cot(90)) \quad (\text{antar } 45\text{grader trykkdiagonal og vertikale skjærbøyler})$$

$$= M(x) / z + 0,5 \times V_{Ed} x (1 - 0)$$

$$= M(x) / z + 0,5 \times V_{Ed} x$$

Moment ved $x=123$:

$$M(x=123) = 120\text{kN} \times (123 + 75)\text{mm} = 23,8\text{kNm}$$

Antar $z = 0,9d = 0,9 \times 364\text{mm} = 328\text{mm}$ (tilnærmet)

$$S(x=123) = 23,8\text{kNm} / 0,328\text{m} + 181\text{kN} / 2 = 163\text{kN}$$

\Rightarrow Ved $x=123\text{mm}$ vil $\varnothing 12$ forankringsbøylene ha tilstrekkelig kapasitet til å ta strekkrefter fra moment + bidrag fra skjærkraft alene.

Snitt 2:

Kraft forankret i spenntau (7stk) ved $x=873\text{mm}$:

Antar 10% tap i spennkraft:

$$F_{sp1} = 7 \times P \times 0,9 \times 873\text{mm} / 1711\text{mm} = 7 \times 120\text{kN} \times 0,9 \times 873\text{mm} / 1711\text{mm} = 386\text{kN}$$

Kraft forankret i $\varnothing 12$:

$$F_{\varnothing 12} = 0\text{kN}$$

Sum forankret kraft:

$$F = F_{sp1} + F_{\varnothing 12} = 386\text{kN} + 0\text{kN} = 386\text{kN}$$

Strekkraft i armering ved $x=873\text{mm}$: (pkt6.2.3(7))

$$S(x) = M(x) / z + 0,5 V_{Ed} x (\cot(\theta) - \cot(\alpha))$$

$$\begin{aligned}
 &= M(x)/z + 0,5 \times V_{Ed} \times (\cot(45) - \cot(90)) \quad (\text{antar } 45\text{grader trykkdiagonal og vertikale skjærbøyler}) \\
 &= M(x)/z + 0,5 \times V_{Ed} \times (1 - 0) \\
 &= M(x)/z + 0,5 \times V_{Ed}
 \end{aligned}$$

Moment ved $x=873$:

$$M(x=873) = 120\text{kN} \times (873 + 75)\text{mm} = 113,8\text{kNm}$$

Antar $z=0,9d=0,9 \times 364\text{mm} = 328\text{mm}$

$$S(x=873) = 113,8\text{kNm} / 0,328\text{m} + 120\text{kN} / 2 = 407\text{kN}$$

⇒ Ved $x=873\text{mm}$ er **ikke** spenntauene tilstrekkelig forankret til å ta strekkraften fra moment + bidrag fra skjærkraft.

Finner minste avstand fra bjelkeenden hvor spenntau vil være tilstrekkelig forankret til å ta momentstrekk (+ bidrag fra skjærkraft) alene.

Strekk i armering ved x : $S(x) = 120\text{kN} \times (x + 75\text{mm}) / 328\text{mm} + 120\text{kN} / 2$

Kraft forankret i spenntau ved x (for $x < 1711\text{m}$): $F(x) = 7 \times 120\text{kN} \times 0,9 \times x / 1711\text{mm}$

Dette gir:

$$120\text{kN} \times (x + 75\text{mm}) / 328\text{mm} + 120\text{kN} / 2 = 756\text{kN} \times x / 1711$$

$$0,366x + 87,4 = 0,442x$$

$$0,076x = 87,4$$

$$x = 87,4 / 0,076$$

$$x = 1150\text{mm}$$

⇒ Ø12 forankringsbøyler forlenges forbi $x=1150$

8) Spaltestrekkarmering:

$$A_s = 0,22 \times P_{u1} / f_s$$

$$\Rightarrow A_s = 0,22 \times 7 \times 120000\text{N} / 300\text{MPa}$$

$$= 616\text{mm}^2$$

Plasseres innenfor en lengde på $0,5 \times (l_{p1} + h_1) = 0,5 \times (1141\text{mm} + 450\text{mm}) = 796\text{mm} \leq h_1 = 450\text{mm}$

⇒ 450mm

$$\text{Tilsvarende } 616\text{mm}^2 / 0,450\text{m} = 1369\text{mm}^2/\text{m}$$

9) Bøylearmering:

a) Nødvendig skjærearmering $x < 277$:

$$\frac{A_s}{s} = \frac{V_{Ed}}{z \times f_{ywd} \times \cot \theta} = \frac{R_1}{z \times f_{ywd} \times \cot \theta} = \frac{181000\text{N}}{0,328\text{m} \times 435\text{MPa} \times \cot(45)} = 1269\text{mm}^2 / \text{m}$$

Kontroll av skjærtrykk:

$$V_{Rd} = \frac{\alpha_{cw} \times b_w \times z \times v_1 \times f_{cd}}{(\cot \theta + \tan \theta)}$$

$\alpha_{cw}=1,0$ (neglisjerer positiv effekt av forspenning)

$b_w=227\text{mm}-50\text{mm}=177\text{mm}$

$z=328\text{mm}$

$v_1=0,6 \times (1-f_{ck}/250) = 0,6 \times (1-45/250) = 0,492$

$\theta = \text{antar } 45\text{grader}$

$$V_{Rd} = \frac{1,0 \times 177\text{mm} \times 328\text{mm} \times 0,492 \times 25,5\text{MPa}}{1+1} = 364,2\text{kN} > R_1 \rightarrow OK$$

b) Nødvendig skjærarmering $277 < x < 606$:

$$\frac{A_s}{s} = \frac{V_{Ed}}{z \times f_{ywd} \times \cot \theta} = \frac{F_v}{z \times f_{ywd} \times \cot \theta} = \frac{120000\text{N}}{0,328\text{m} \times 435\text{MPa} \times \cot(45)} = 841\text{mm}^2 / \text{m}$$

Kontroll av skjærtrykk:

$$V_{Rd} = \frac{\alpha_{cw} \times b_w \times z \times v_1 \times f_{cd}}{(\cot \theta + \tan \theta)}$$

$\alpha_{cw}=1,0$ (neglisjerer positiv effekt av forspenning)

$b_w=227\text{mm}$

$z=328\text{mm}$

$v_1=0,6 \times (1-f_{ck}/250) = 0,6 \times (1-45/250) = 0,492$

$\theta = \text{antar } 45\text{grader}$

$$V_{Rd} = \frac{1,0 \times 227\text{mm} \times 328\text{mm} \times 0,492 \times 25,5\text{MPa}}{1+1} = 467\text{kN} > F_v \rightarrow OK$$

Oppsummering beregninger av bøylearmeringer:

$X \leq 450\text{mm}$: Bøylearmerer for spaltstrekk (8)

$$\frac{A_s}{s} = 1369\text{mm}^2 / m$$

Velger $\varnothing 8$ bøyer c/c70 (forankres/lukkes i ok med bøyle $\varnothing 12$)

$$\frac{A_s}{s} = \frac{\pi \times (4\text{mm})^2 \times 2}{0,07\text{m}} = 1436\text{mm}^2 / m$$

$\approx 450 < X \leq 606\text{mm}$: Bøylearmerer for skjærkraft (9).

$$\frac{A_s}{s} = 841\text{mm}^2 / m$$

Velger $\varnothing 8$ bøyer c/c100

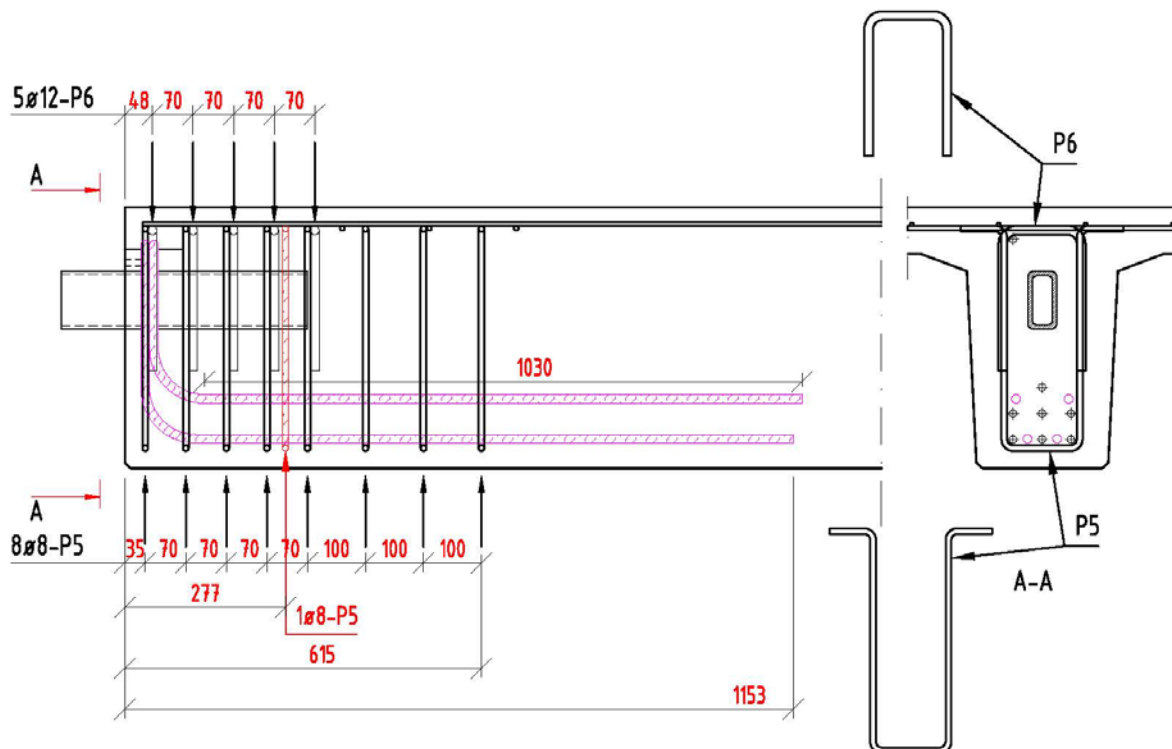
$$\frac{A_s}{s} = \frac{\pi \times (4\text{mm})^2 \times 2}{0,1\text{m}} = 1005\text{mm}^2 / m$$

$606 < X$: Skjærarmeringsbehov beregnes iht. skjærkraftfordeling i DT-en.

Ved $x=277\text{mm}$:

Trenger 140mm^2 for innføring av R_2 . Bruker en ekstra bøyle $\varnothing 8$ (100mm^2) i dette punktet. Valgt skjærarmering har overkapasitet til å ta resterende 40mm^2

Forslag til armeringsføring:



DTF200 BRUKT I EN HØY DT

1.3 GENERELT

1.3.1 KVALITETER

Betong B45: $f_{ck} = 45,0 \text{ MPa}$ EC2, Tabell 3.1
 $f_{cd} = \alpha_{cc} \times f_{ck} / \gamma_c = 0,85 \times 45 / 1,5 = 25,5 \text{ MPa}$ EC2, Pkt.3.15
 $f_{ctd} = \alpha_{ct} \times f_{ctk,0,05} / \gamma_c = 0,85 \times 2,70 / 1,5 = 1,53 \text{ MPa}$ EC2, Pkt.3.16
 $f_{bd} = 2,25 \times \eta_1 \times \eta_2 \times f_{ctd} = 2,25 \times 0,7 \times 1,0 \times 1,53 = 2,41 \text{ MPa}$ EC2, Pkt.8.4.2

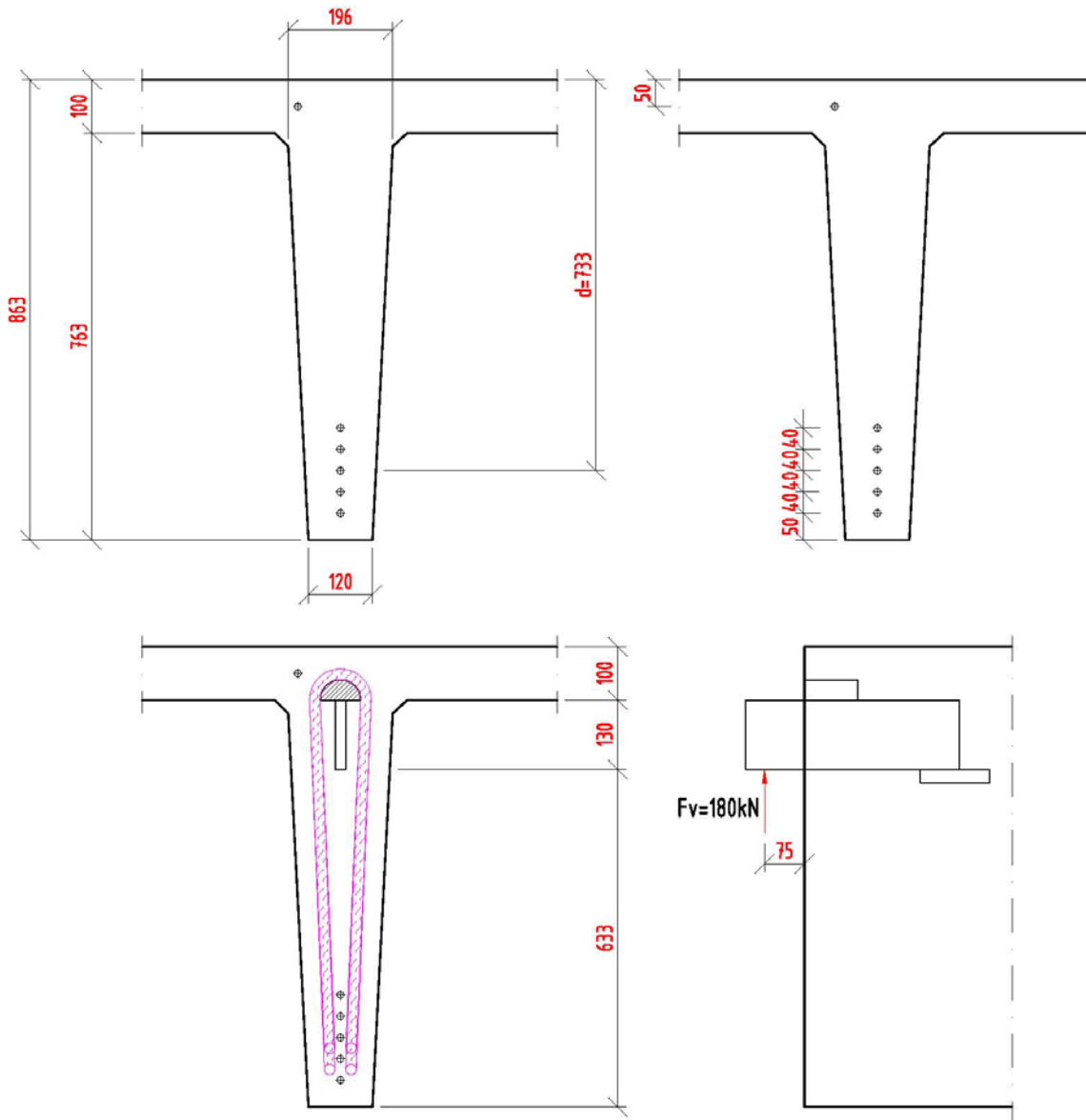
Armering B500C:
 $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 500 / 1,15 = 435 \text{ MPa}$ EC2, Pkt.3.2.7

Spennarmering:
Diameter: $\varnothing = 12,7 \text{ mm}$. (Nominell diameter. Reell diameter = 11,3 mm)
Oppspenningskraft etter elastisk tap: $P = 120 \text{ kN}$.

1.3.2 LAST

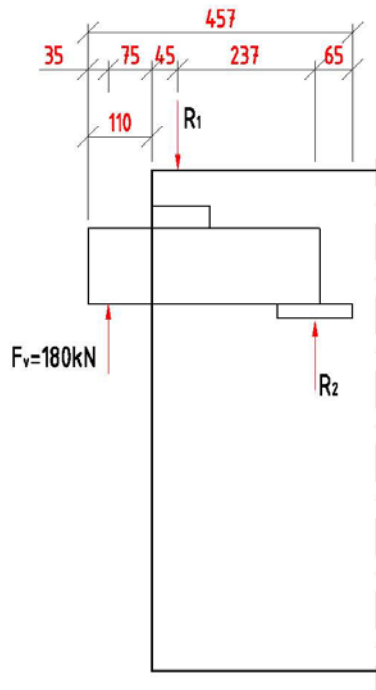
Bruddlast $F_v = 180 \text{ kN}$
(NB. Eksempelet er beregnet for lavere belastning enn enhetens kapasitet.)

1.3.3 GEOMETRI



1.4 BEREGNINGER

1) Likevekt:



$$R_2 = \frac{F_v \times (75\text{mm} + 45\text{mm})}{237\text{mm}} = \frac{180\text{kN} \times (75\text{mm} + 45\text{mm})}{237\text{mm}} \approx 91\text{kN}$$

$$R_1 = F_v + R_2 = 180\text{kN} + 91\text{kN} = 271\text{kN}$$

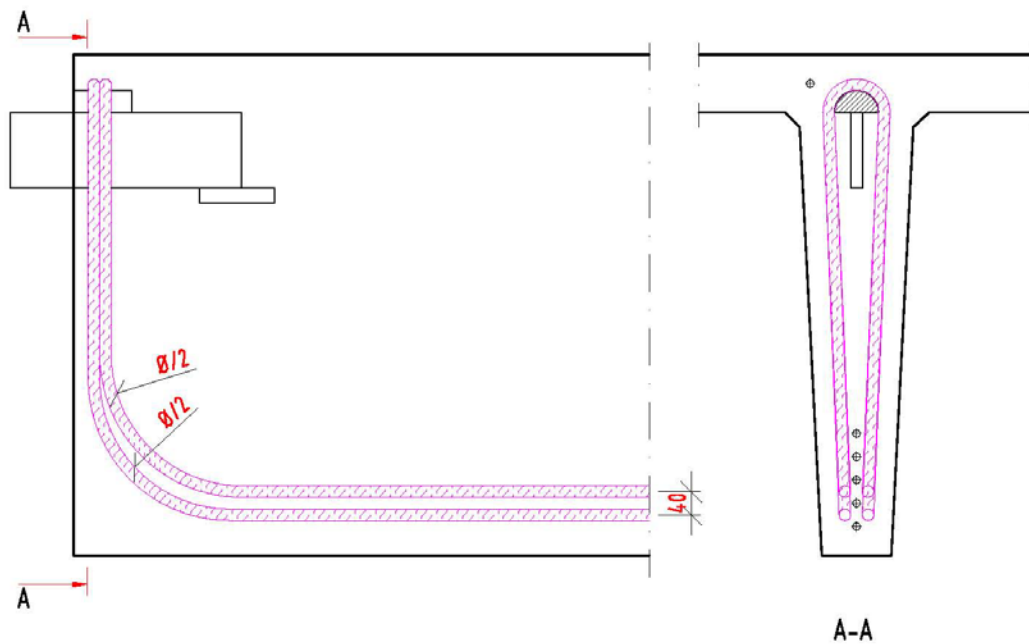
2) Armeringsbehov:

$$A_{R1} = \frac{271\text{kN}}{435\text{MPa}} = 623\text{mm}^2 \rightarrow 2\phi 16\text{b\oylet} = 804\text{mm}^2$$

$$A_{R2} = \frac{91\text{kN}}{435\text{MPa}} \approx 210\text{mm}^2$$

3) Bøying av frontarmering:

Minimum dordiameter, $\varnothing_{m,min}$:



Tillatt betongspenning i node, EC2, pkt 6.5.2:

$$f_{cd2} = 0,6 \times \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) \times f_{cd}$$

$$= 0,6 \times \left(1 - \frac{45}{250}\right) \times 25,5$$

$$= 12,5 \text{ MPa}$$

Opptredende betongspenning i node:

$$\sigma_c = \frac{R_1}{b \times \varnothing_m \times \sin \theta \times \cos \theta}$$

$$b = 120 \text{ mm}$$

\varnothing_m = Dordiameter forankringsarmering

θ = antar trykkdiagonal i 45grader

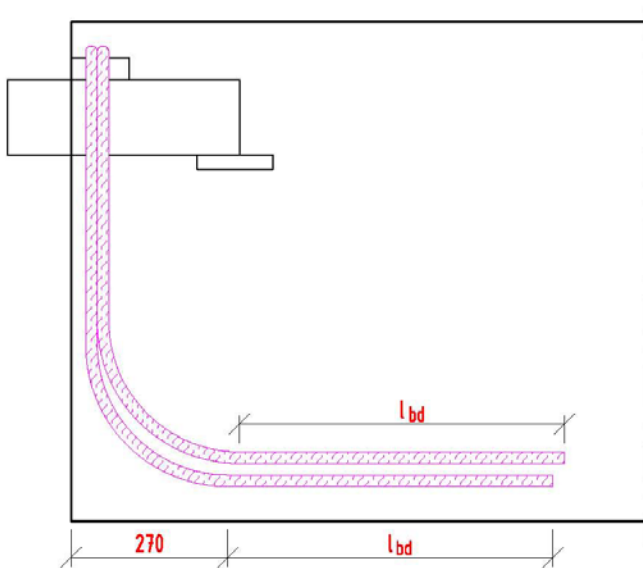
Løser ut for \varnothing_m :

$$\varnothing_m = \frac{R_1}{b \times \sigma_c \times \sin \theta \times \cos \theta}$$

$$\Rightarrow \varnothing_{m,\min} = \frac{271000N}{120mm \times 12,5MPa \times \sin(45) \times \cos(45)} = 361mm$$

⇒ Velger dordiameter: $\varnothing_m=450mm$

4) Nødvendig forankringslengde for Ø16 bøyer i front, EC2 pkt 8.4.3 og 8.4.4:



$$l_{bd} = \alpha_1 \times \alpha_2 \times \alpha_3 \times \alpha_4 \times \alpha_5 \times l_{b,reqd} \geq l_{b,\min}$$

$$l_{b,reqd} = \frac{\varnothing}{4} \times \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}}$$

$$\text{Spenning i frontarmering: } \sigma_{sd} = \frac{271000 / 4}{\pi \times 8^2} = 337MPa$$

$$l_{b,reqd} = \frac{16}{4} \times \frac{337}{2,41} = 560mm$$

$$l_{b,\min} = \text{maks}(0,3 \times l_{b,reqd}; 10 \times \varnothing; 100mm) = 168 \text{ mm}$$

Tabell 8.2: Rett jern:

$$\alpha_1 = 1,0$$

Tabell 8.2: Effekt av betongoverdekning:

$$\alpha_2 = 1 - 0,15 \times (c_d - 3 \times \varnothing) / \varnothing$$

Pga kort avstand til overflate velges konservativt å sette $\alpha_2 = 1,0$

Tabell 8.2: Effekt av tverrarmering som ikke er sveist til hovedarmering:

$$\alpha_3 = 1 - K \times \lambda$$

Neglisjerer eventuell effekt av skjærbøyer

$$\Rightarrow \alpha_3 = 1,0$$

Tabell 8.2: Effekt av sveist tverrarmring:

$$\alpha_4 = 1,0$$

Ikke relevant.

Tabell 8.2: Effekt av tverrtrykk:

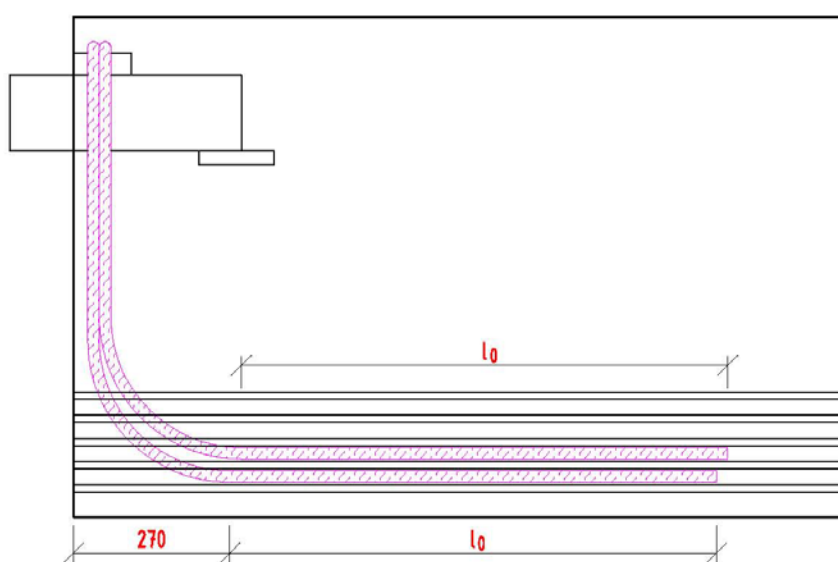
$$\alpha_5 = 1,0$$

Ikke relevant.

$$\alpha_2 \times \alpha_3 \times \alpha_5 = 1,0 \times 1,0 \times 1,0 = 1,0 > 0,7 - \text{OK}$$

$$l_{bd} = 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 560 \text{mm} = 560 \text{mm}$$

5) Omfaringslengde Ø16 bøyer mot spenntau EC2 pkt 8.7.3:



$$l_0 = \alpha_1 \times \alpha_2 \times \alpha_3 \times \alpha_5 \times \alpha_6 \times l_{b, \text{reqd}} \geq l_{0, \text{min}}$$

Nødvendig omfaringslengde beregnet for Ø16:

$$l_{b, \text{reqd}} = \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} \times \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = \frac{16}{4} \times \frac{337}{2,41} = 560 \text{mm}$$

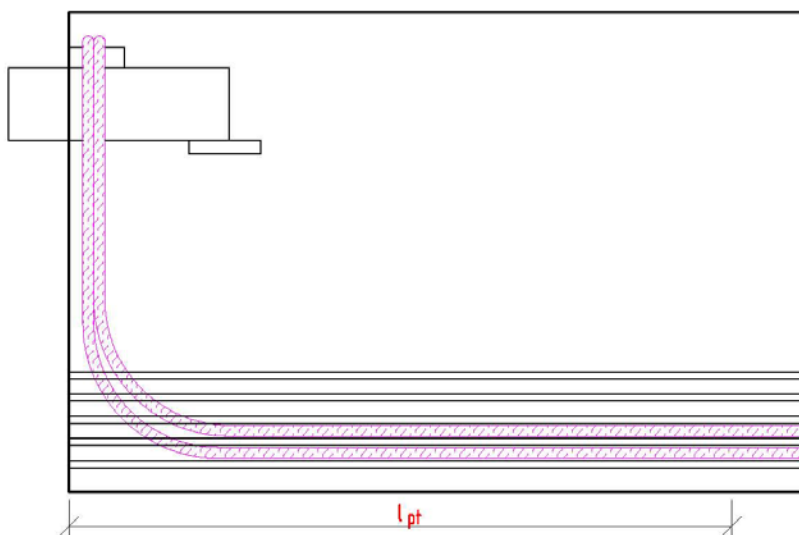
$$l_{0, \text{min}} = \text{maks}(0,3 \times \alpha_6 \times l_{b, \text{reqd}}; 15 \times \varnothing; 200 \text{mm}) = 251 \text{mm}$$

Tabell 8.2: $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3,$ og $\alpha_5 = 1,0$ som beregnet i punkt 2).

Tabell 8.3: $\alpha_6 = 1.5$ (All armering skjøtes)

$$\Rightarrow l_0 = 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,5 \times 560 \text{mm} = 840 \text{mm}$$

6) Overføring av forspenningskraft EC2 pkt 8.10.2.2:



Heftspenning for forankring ved avspenning:

$$f_{bpt} = \eta_{p1} \times \eta_1 \times f_{ctd}(t)$$

$$\eta_{p1} = 3,2 \text{ (antar tau med 3\&7 tr\aa}der)$$

$$\eta_1 = 1,0 \text{ (antar "gode heftforhold")}$$

$$f_{ctd}(t) = \alpha_{ct} \times 0,7 \times f_{ctm}(t) / \gamma_c$$

$$\alpha_{ct} = 0,85$$

$$f_{ctm}(t) = (\beta_{cc}(t))^{\alpha} \times f_{ctm}$$

$$\beta_{cc}(t) = \exp(s(1-28/t)^{1/2})$$

Antar: avspenning etter t= 1d\o{g}n
Antar: s=0,2 (s=avhengig av sementklasse.)

$$\Rightarrow \beta_{cc}(t) = \exp[0,2 \times \{1 - (28/1)^{1/2}\}] = 0,423$$

$$\alpha = 1 \text{ (t < 28dg)}$$

$$f_{ctm} = 3,8 \text{MPa}$$

$$\Rightarrow f_{ctm}(t) = 0,423^1 \times 3,8 \text{MPa} = 1,60 \text{MPa}$$

$$f_{ctd}(t) = 0,85 \times 0,7 \times 1,60 \text{MPa} / 1,5 = 0,635 \text{MPa}$$

$$\Rightarrow f_{bpt} = 3,2 \times 1,0 \times 0,635 \text{MPa} = 2,03 \text{MPa}$$

Grunnverdi overføringslengde for oppspenningskraft:

$$l_{pt} = \alpha_1 \times \alpha_2 \times \varnothing \times \sigma_{pmo} / f_{bpt}$$

$$\alpha_1 = 1,0 \text{ (antar gradvis avspenning)}$$

$$\alpha_2 = 0,19 \text{ (antar tau med 3 og 7 tr\aa}der)$$

$$\varnothing = 12,7 \text{mm (Nominell diameter spennkabel. Reell diameter=11,3mm)}$$

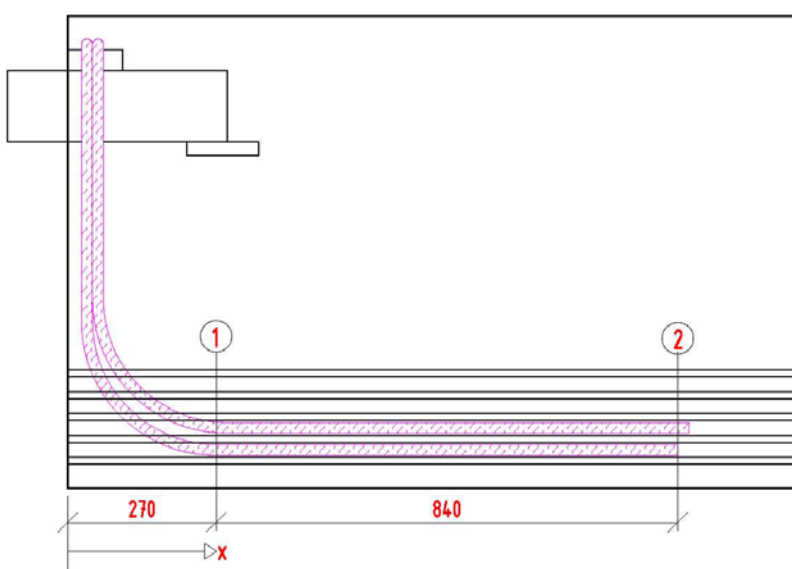
$$\sigma_{pmo} = 1200 \text{MPa (Antar P=120kN kraft i hvert spenntau etter elastisk tap)}$$

$$\Rightarrow l_{pt} = 1,0 \times 0,19 \times 12,7 \text{mm} \times 1200 \text{MPa} / 2,03 \text{MPa} = 1426 \text{mm}$$

$$\Rightarrow l_{pt1} = 0,8 \times l_{pt} = 0,8 \times 1426 \text{mm} = 1141 \text{mm (Brukes ved vurdering av lokale spenninger)}$$

$$\Rightarrow l_{pt2} = 1,2 \times l_{pt} = 1,2 \times 1426 \text{mm} = 1711 \text{mm (Brukes i bruddgrense ved vurdering av forankring. Spenning etter lang tid ved } l_{pt2} \text{ antas } 0,9 \sigma_{pmo}. \text{ Tilsvarende } 10\% \text{ tap.)}$$

7) Kontroll av forankring:



Antar at frontbøyler har horisontalt parti på 840mm (\approx minimum beregnet omfaringslengde for Ø16). Dvs. horisontalt parti på forankringsbøyler avsluttes ved $x=270+840=1110\text{mm}$.

Snitt 1:

Kraft forankret i spenntau (5stk) ved $x=270\text{mm}$:

$$F_{sp1} = 5 \times P \times 0,9 \times 270\text{mm} / 1711\text{mm} = 5 \times 120\text{kN} \times 0,9 \times 270\text{mm} / 1711\text{mm} = 85\text{kN}$$

Kraft forankret i Ø16:

$$F_{\text{Ø16}} = 271\text{kN}$$

Sum forankret kraft:

$$F = F_{sp1} + F_{\text{Ø16}} = 85\text{kN} + 271 = 356\text{kN}$$

Strekraft i armering ved $x=270\text{mm}$: (pkt6.2.3(7))

$$S(x) = M(x)/z + 0,5V_{Ed}x (\cot(\theta) - \cot(\alpha))$$

$$= M(x)/z + 0,5 \times V_{Ed}x (\cot(45) - \cot(90)) \text{ (antar 45grader trykkdiagonal og vertikale skjærbøyler)}$$

$$= M(x)/z + 0,5 \times V_{Ed}x (1 - 0)$$

$$= M(x)/z + 0,5 \times V_{Ed}x$$

Moment ved $x=270$:

$$M(x=270) = 180\text{kN} \times (270 + 75)\text{mm} = 62,1\text{kNm}$$

Antar $z=0,9d=0,9 \times 733\text{mm} = 660\text{mm}$ (tilnærmet)

$$S(x=270) = 62,1\text{kNm} / 0,660\text{m} + 271\text{kN} / 2 = 230\text{kN}$$

\Rightarrow Ved $x=270\text{mm}$ er forankring ok.

Snitt 2:

Kraft forankret i spenntau (5stk) ved $x=1110\text{mm}$:

$$F_{sp1} = 5 \times P \times 0,9 \times 1205\text{mm} / 1711\text{mm} = 5 \times 120\text{kN} \times 0,9 \times 1110\text{mm} / 1711\text{mm} = 350\text{kN}$$

Kraft forankret i Ø16:

$$F_{\text{Ø16}} = 0\text{kN}$$

Sum forankret kraft:

$$F = F_{sp1} + F_{\emptyset 16} = 350 \text{ kN} + 0 \text{ kN} = 350 \text{ kN}$$

Strekraft i armering ved $x = 1110 \text{ mm}$: (pkt 6.2.3(7))

$$S(x) = M(x)/z + 0,5 V_{Ed} \times (\cot(\theta) - \cot(\alpha))$$

$$= M(x)/z + 0,5 \times V_{Ed} \times (\cot(45) - \cot(90)) \text{ (antar 45grader trykkdiagonal og vertikale skjærbøyler)}$$

$$= M(x)/z + 0,5 \times V_{Ed} \times (1 - 0)$$

$$= M(x)/z + 0,5 \times V_{Ed}$$

Moment ved $x = 1110$:

$$M(x = 1110) = 180 \text{ kN} \times (1110 + 75) \text{ mm} = 213,3 \text{ kNm}$$

Antar $z = 0,9d = 0,9 \times 733 \text{ mm} = 660 \text{ mm}$ (tilnærmet)

$$S(x = 1110) = 213,3 \text{ kNm} / 0,660 \text{ m} + 180 \text{ kN} / 2 = 413 \text{ kN}$$

⇒ Ved $x = 1110 \text{ mm}$ vil ikke spenntauene være tilstrekkelig forankret til å ta strekkraften fra moment + bidrag fra skjærkraft.

Finner minste avstand fra bjelkeenden hvor spenntau vil være tilstrekkelig forankret til å ta momentstrekk (+ bidrag fra skjærkraft) alene.

Strekk i armering ved x : $S(x) = 180 \text{ kN} \times (x + 75 \text{ mm}) / 660 \text{ mm} + 180 \text{ kN} / 2$

Kraft forankret i spenntau (5stk) ved x :

$$\text{Hvis } x < 1711 \text{ m: } F(x) = 5 \times 120 \text{ kN} \times 0,9 \times x / 1711 \text{ mm}$$

$$\text{Hvis } x > 1711 \text{ m: } F(x) = 5 \times 120 \text{ kN} \times 0,9 + \Delta \sigma_{sp}(x) \times A_{sp} \times 5$$

$$\Delta \sigma_{sp}(x) = f_{bpd} / (\alpha_2 \times \emptyset) \times (x - 1711) \times 10^{-3}$$

$$\Rightarrow F(x) = 5 \times 120 \text{ kN} \times 0,9 + f_{bpd} / (\alpha_2 \times \emptyset) \times (x - 1711) \times 10^{-3} \times A_{sp} \times 5$$

$$\Rightarrow F(x) = 540 \text{ kN} + 2,03 \text{ MPa} / (0,19 \times 12,7) \times (x - 1711) \times 10^{-3} \times 100 \text{ mm}^2 \times 5$$

$$\Rightarrow F(x) = 540 + 0,420x - 720 = 0,420x - 180$$

Prøver om $x < 1711$:

$$180 \text{ kN} \times (x + 75 \text{ mm}) / 660 \text{ mm} + 180 \text{ kN} / 2 = 540 \text{ kN} \times x / 1711$$

$$0,273x + 110,5 = 0,316x$$

$$0,043x = 110,5$$

$$x = 110,5 / 0,043$$

$$x = 2570 \text{ mm}$$

Beregnet $x > 1711$ ⇒ utrykk 2 for kraft i spenntau skal benyttes:

$$180 \text{ kN} \times (x + 75 \text{ mm}) / 660 \text{ mm} + 180 \text{ kN} / 2 = 0,420x - 180$$

$$0,273x + 110,5 = 0,420x - 180$$

$$0,147x = 290,5$$

$$x = 290,5 / 0,147$$

$$x = 1976 \text{ mm}$$

⇒ $\emptyset 16$ forankringsbøyler forlenges forbi $x = 1976 \text{ mm}$.

8) Spaltestrekkarmering:

$$A_s = 0,22 \times P_{u1} / f_s$$

$$\Rightarrow A_s = 0,22 \times 5 \times 120000 \text{ N} / 300 \text{ MPa} = 440 \text{ mm}^2$$

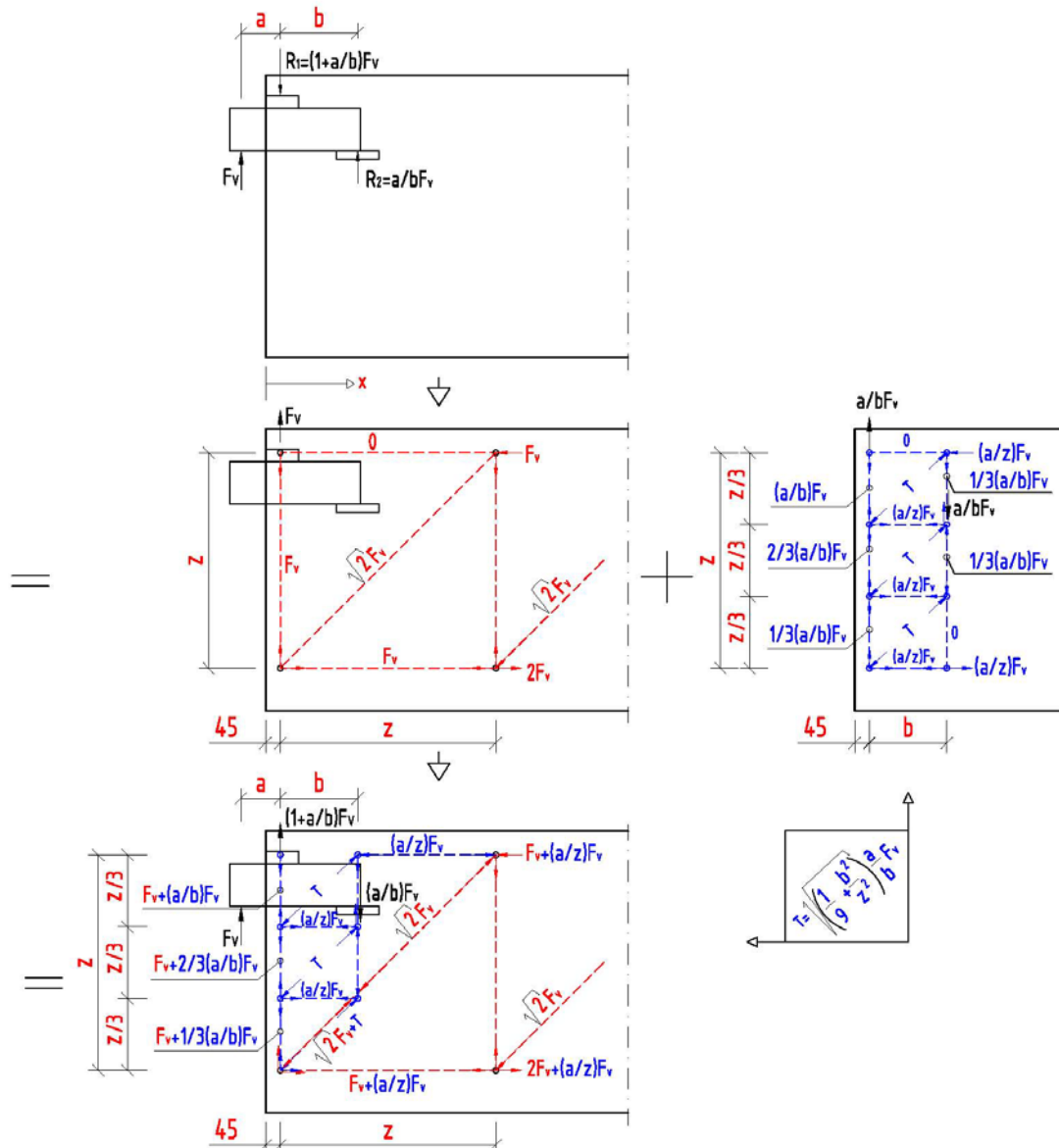
$$\text{Plasseres innenfor en lengde p\aa } 0,5 \times (l_{p1} + h_1) = 0,5 \times (1141 \text{ mm} + 863 \text{ mm}) = 1002 \text{ mm}$$

$$\leq h_1 = 863 \text{ mm} \Rightarrow 863 \text{ mm}$$

$$\text{Tilsvare } 440 \text{ mm}^2 / 0,863 \text{ m} = 510 \text{ mm}^2 / \text{m}$$

9) B\oylearmering/lokal fagverksmodell:

Indre momentarm (z) for denne DT er tiln\oermet 3xb. Momentet fra utkragingen kan dermed tenkes innf\oert via et lokalt fagverk i tre h\oyder. Dette er vist i som et bl\aa fagverk i figur under. Trykkdiagonaler i dette fagverket blir tiln\oermet 45 grader. Skj\oerkraften/opplagerkraften kan f\oeres inn i et fagverk i full h\oyde som vist (r\oedt fagverk). De to fagverkene er hver for seg i likevekt og kreftene kan summeres.



Vurderinger lokal fagverksmodell:

- Modellen tilsi at kun 1/3 av kraften R_2 trengs å løftes opp med armering. Det velges konservativt likevel å armere for opphenging av hele kraften R_2 .
- Trykkdiagonalene i den viste fagverksmodellen vil gå mot fronten av elementet med en intensitet $(a/z) \times F_v / (z/3)$. $z/3 \approx b$ slik at denne intensiteten tilsvarer: $(a/z) \times F_v / b = (a/b) \times F_v / z = R_2 / z$. Her armeres med innstikksbøyler for å ivareta disse kreftene.

a) Nødvendig skjærarmering $x < 45 + b$:

$$\frac{A_s}{s} = \frac{V_{Ed}}{z \times f_{ywd} \times \cot \theta} = \frac{R_1}{z \times f_{ywd} \times \cot \theta} = \frac{271000N}{0,660m \times 435MPa \times \cot(45)} = 944mm^2 / m$$

Kontroll av skjærtrykk:

$$V_{Rd} = \frac{\alpha_{cw} \times b_w \times z \times v_1 \times f_{cd}}{(\cot \theta + \tan \theta)}$$

$\alpha_{cw} = 1,0$ (neglisjerer positiv effekt av forspenning)

$b_w = 120mm$ (kniven vil i dette tilfellet ikke redusere tverrsnittet)

$z = 660mm$

$v_1 = 0,6 \times (1 - f_{ck} / 250) = 0,6 \times (1 - 45 / 250) = 0,492$

$\theta = \text{antar } 45 \text{ grader}$

$$V_{Rd} = \frac{1,0 \times 120mm \times 660mm \times 0,492 \times 25,5MPa}{1 + 1} = 497kN > R_1 \rightarrow OK$$

b) Nødvendig skjærarmering $45 + b < x < 45 + z$:

$$\frac{A_s}{s} = \frac{V_{Ed}}{z \times f_{ywd} \times \cot \theta} = \frac{F_v}{z \times f_{ywd} \times \cot \theta} = \frac{180000N}{0,660m \times 435MPa \times \cot(45)} = 627mm^2 / m$$

Kontroll av skjærtrykk:

$$V_{Rd} = \frac{\alpha_{cw} \times b_w \times z \times v_1 \times f_{cd}}{(\cot \theta + \tan \theta)}$$

$\alpha_{cw} = 1,0$ (neglisjerer positiv effekt av forspenning)

$b_w = 120mm$

$z = 660mm$

$v_1 = 0,6 \times (1 - f_{ck} / 250) = 0,6 \times (1 - 45 / 250) = 0,492$

$\theta = \text{antar } 45 \text{ grader}$

$$V_{Rd} = \frac{1,0 \times 120mm \times 660mm \times 0,492 \times 25,5MPa}{1 + 1} = 497kN > F_v \rightarrow OK$$

c) Horisontale bøyer for strekkrefter i enden av DT:

$$\frac{A_s}{s} = \frac{R_2}{z \times f_{ywd}} = \frac{91000N}{0,660m \times 435MPa} = 317mm^2 / m$$

Totalt armeringsbehov under enheten

$$A_s = 317mm^2 / m \times 2 / 3z = 317mm^2 / m \times 2 / 3 \times 0,66m = 140mm^2$$

⇒ 2Ø8 bøyer ($A_s=200mm^2$).

Oppsummering armering:

Behov for spaltestrekkarmering (pkt 8) er mindre enn beregnet skjærarmeringsbehov i pkt 9a og 9b.

⇒ $X < \approx 282mm$: Bøylearmerer for skjærkraft (9a)

$$\frac{A_s}{s} = 944mm^2 / m$$

Velger Ø8 bøyer c/c75 (forankres/lukkes i ok med bøyle Ø12)

$$\frac{A_s}{s} = \frac{\pi \times (4mm)^2 \times 2}{0,075m} = 1340mm^2 / m$$

⇒ $282 < X < \approx 705mm$: Bøylearmerer for skjærkraft (9b)

$$\frac{A_s}{s} = 627mm^2 / m$$

Velger Ø8 bøyer c/c150 (forankres/lukkes i ok med bøyle Ø12)

$$\frac{A_s}{s} = \frac{\pi \times (4mm)^2 \times 2}{0,150m} = 670mm^2 / m$$

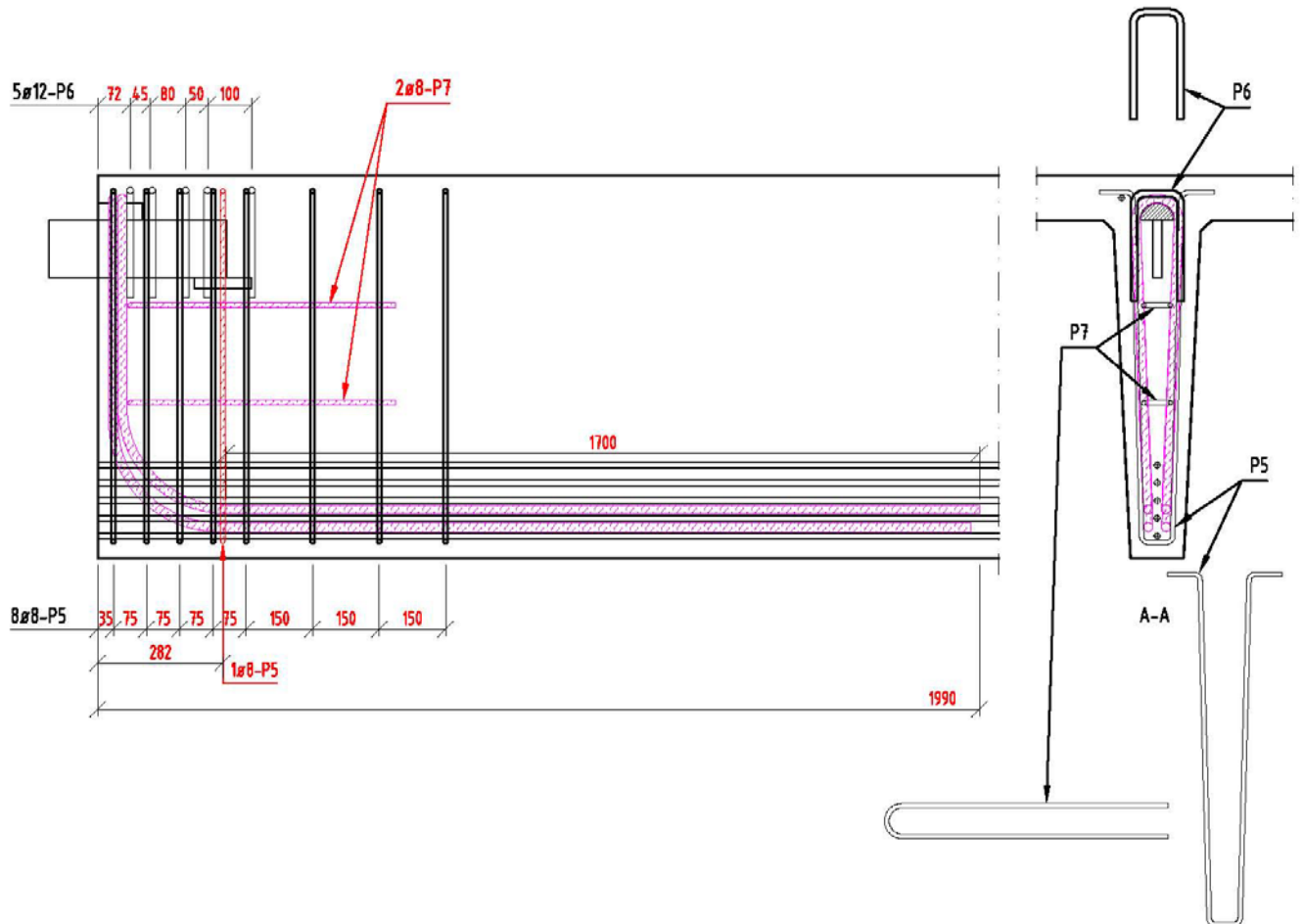
Ved $X=282$:

Trenger $210mm^2$ for innføring av R_2 . Bruker en ekstra bøyle ø8 ($100mm^2$) i dette punktet. Valgt skjærarmering har overkapasitet til å ta resterende $110mm^2$

Forankring av spenntau (7):

⇒ Horisontaldel av frontbøyer Ø16 = 1700mm. (Avsluttes ved $x > 1976mm$)

Forslag til armering:



REVISJON	
Dato:	Beskrivelse:
19.09.2013	Første utgave.
11.01.2016	Inkludert revisjonstabell. Endret angivelse av armeringskvalitet
13.05.2016	Ny mal