H Betongbjelke m/ riss - Utregning av kapasitet

Dimensjoner:

$b_{bjelke} := 200 \; mm$

$h_{bjelke} := 1300 \; mm$

$L_{bjelke} := 3465 \; mm$

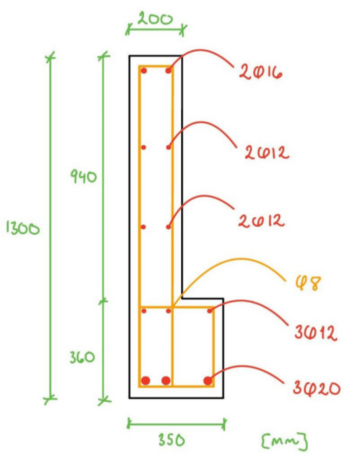
$A_c := h_{bjelke} \cdot b_{bjelke} = \left(2.6 \cdot 10^5\right) \; mm^2$

$u := 2 \; h_{bjelke} + 2 \cdot b_{bjelke} = \left(3 \cdot 10^3\right) \; mm$

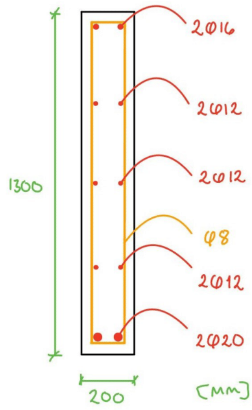
$b_{utstikk} := 150 \; mm$

$h_{utstikk} := 360 \; mm$

Faktisk tverrsnitt:



Forenklet tverrsnitt:



Regner kapasiteten med et forenklet tverrsnitt

Laster:

Se Vedlegg C for laster

Egenlast til betong: $\gamma_b := 25 \ \frac{kN}{m^3}$

Egenlast bjelke: $g_{k.bjelke} := b_{bjelke} \cdot h_{bjelke} \cdot \gamma_b + b_{utstikk} \cdot h_{utstikk} \cdot \gamma_b = 7.85 \ \frac{kN}{m}$

Egenlast dekke på utsiden: $g_{k.dekke} := \left(4 \ \frac{kN}{m^2} \cdot b_{utstikk}\right) = 0.6 \ \frac{kN}{m}$

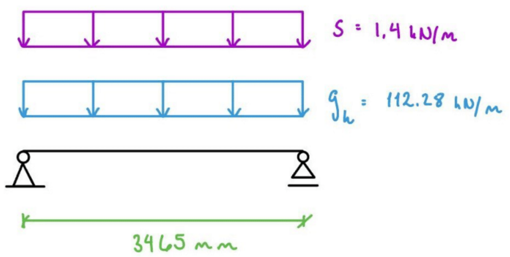
Egenlast materiale på oversiden: $g_{k.overside} := 103.83 \ \frac{kN}{m}$

Snølast på overside: $s_{overside} := 4 \ \frac{kN}{m^2} \cdot b_{bjelke} = 0.8 \ \frac{kN}{m}$

Snølast på dekke: $s_{dekke} := 4 \ \frac{kN}{m^2} \cdot b_{utstikk} = 0.6 \ \frac{kN}{m}$

Total egenlast: $g_k := g_{k.bjelke} + g_{k.dekke} + g_{k.overside} = 112.28 \ \frac{kN}{m}$

Total snølast: $s := s_{overside} + s_{dekke} = 1.4 \ \frac{kN}{m}$



Betongegenskaper, dimensjoner og tøyning:

$f_{yk} := 500 \ \frac{N}{mm^2}$ $f_{cd} := 19.8 \ \frac{N}{mm^2}$ $f_{yd} := 434 \ \frac{N}{mm^2}$

$f_{ck} := 35 \ \frac{N}{mm^2}$ $f_{cm} := 43 \ \frac{N}{mm^2}$ $\varepsilon_{cu} := 0.0035$ EC2 tabell 3.1

$f_{ctm} := 3.2 \ \frac{N}{mm^2}$ $E_s := 200000 \ \frac{N}{mm^2}$ $\varepsilon_{yd} := \frac{f_{yd}}{E_s} = 0.00217$

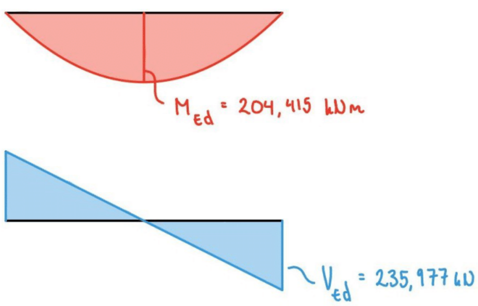
$E_{cm} := 34000 \ MPa$ $I_c := \frac{1}{12} \cdot b_{bjelke} \cdot {h_{bjelke}}^3 = \left(3.662 \cdot 10^{10}\right) \ mm^4$

Bruddgrensetilstand

$p_{Ed} := 1.2 \cdot g_k + 1.05 \cdot s = 136.206 \ \frac{kN}{m}$ (Byggforsk 471.041)

$$M_{Ed} := \frac{p_{Ed} \cdot {L_{bjelke}}^2}{8} = 204.415 \ kN \cdot m$$

$$V_{Ed} := \frac{p_{Ed} \cdot L_{bjelke}}{2} = 235.977 \ kN$$



3

Armering i bjelken:

$Ø_1 := 20\ mm$ $\quad n_{stenger.1} := 2$

$Ø_2 := 12\ mm$ $\quad n_{stenger.2} := 6$

$Ø_3 := 16\ mm$ $\quad n_{stenger.3} := 2$

$Ø_{bøyle} := 8\ mm$ $\quad n_{bøyle} := 21$

$c_{nom} := 35\ mm$

Armering i strekksonen:

$$A_{s.faktisk} := n_{stenger.1} \cdot \left(\frac{Ø_1}{2}\right)^2 \cdot \pi = 628.319\ mm^2$$

$$d := h_{bjelke} - c_{nom} - Ø_{bøyle} - \frac{Ø_1}{2} = \left(1.247 \cdot 10^3\right)\ mm$$

Er det nok armering:

$$\alpha_{bal} := \frac{\varepsilon_{cu}}{\varepsilon_{cu} + \varepsilon_{yd}} = 0.617$$ Sørensen del 1 lign. (4.20)

$$A_{s.bal.} := \frac{0.8 \cdot \alpha_{bal} \cdot f_{cd} \cdot b_{bjelke} \cdot d}{f_{yd}} = \left(5.619 \cdot 10^3\right)\ mm^2$$ Sørensen del 1 lign. (4.21)

$$A_{s.bal} > A_{s.faktisk}$$

Regner ut α for underarmert tverrsnitt:

$$\alpha_{underarmert} := \frac{f_{yd} \cdot A_{s.faktisk}}{0.8 \cdot f_{cd} \cdot b_{bjelke} \cdot d} = 0.069$$ Sørensen del 1 lign. (4.19)

$$M_{Rd} := 0.8 \cdot \alpha_{underarmert} \cdot \left(1 - 0.4 \cdot \alpha_{underarmert}\right) \cdot f_{cd} \cdot b_{bjelke} \cdot d^2 = 330.656\ kN \cdot m$$

Sørensen del 1 lign. (4.14)

$M_{Rd} > M_{Ed}$ $\quad OK$

Minimumsarmering:

$$A_{s.min.krav} := \max\left(0.26\ \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_{bjelke} \cdot d\ ,0.0013 \cdot b_{bjelke} \cdot d\right)$$ (EC2 - Del 1-1, 9.2.1.1(1))

$$A_{s.min.} := \max\left(415\ mm^2\ ,324.22\ mm^2\right)$$

$$A_{s.min} := 415\ mm^2$$

$A_{s.faktisk} \geq A_{s.min}$ $\qquad OK$

5

Skjærkapasitet

Skjærstrekkapasitet: (EC2 - Del 1-1, 6.2.2(1))

$$A_{sw.faktisk} := n_{bøyle} \cdot \left(\frac{Ø_{bøyle}}{2}\right)^2 \cdot \pi = \left(1.056 \cdot 10^3\right)\ mm^2$$

$$s_{skjær} := 175\ mm$$

$$z := 0.9 \cdot d = \left(1.122 \cdot 10^3\right)\ mm$$

$cot\theta := 2.5$ Antar denne verdien

$$V_{Rd.s} := \frac{f_{yd} \cdot A_{sw.faktisk}}{s_{skjær}} \cdot z \cdot cot\theta = \left(7.345 \cdot 10^3\right)\ kN$$

$$V_{Ed.red} := V_{Ed} - p_{Ed} \cdot d = 66.128\ kN$$

$$V_{Rd.s} \geq V_{Ed.red}$$

Skjærtrykkapasitet:

$$\nu := 0.6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250\ MPa}\right) = 0.516$$ (EC2 - Del 1-1 NA.6.2.2(6))

$$V_{Rd.max} := \nu \cdot f_{cd} \cdot z \cdot b_{bjelke} \cdot \frac{1}{cot\theta + \frac{1}{cot\theta}} = 790.78\ kN$$ (EC2 - Del 1-1 6.2.2(6))

$V_{Rd.max} > V_{Ed}$ OK

Minimumskrav skjærarmering:

$$\frac{A_{sw.faktisk}}{s_{skjær}} = 6.032\ mm$$

$$\frac{A_{sw.min}}{s_{skjær}} = \frac{V_{Ed.red}}{z \cdot cot\theta \cdot f_{yd}} = 0.054\ mm$$ Sørensen del 1 lign. (4.65)

$\frac{A_{sw.faktisk}}{s_{skjær}} > \frac{A_{sw.min}}{s_{skjær}}$ OK

Krav til maks senteravstand:

$$h' := h_{bjelke} - 2 \cdot c_{nom} - 2 \cdot Ø_{bøyle} - \frac{Ø_1}{2} - \frac{Ø_3}{2} = \left(1.196 \cdot 10^3\right)\ mm$$

$$s_{max} := 0.6 \cdot h' = 717.6\ mm$$ (EC2 - Del 1-1 9.2.2(7))

$$s_{skjær} < s_{max} \quad OK$$

Bruksgrensetilstand

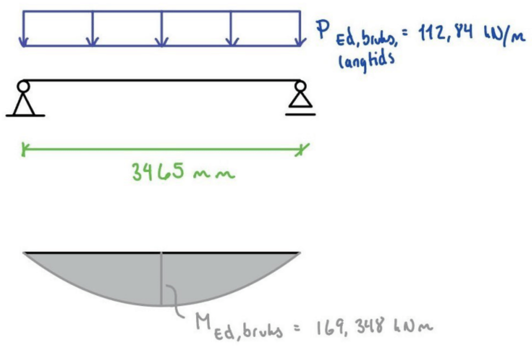
$$p_{Ed.bruks} := 1.0 \cdot g_k + 1.0 \cdot s = 113.68 \ \frac{kN}{m}$$ (Byggforsk 471.041)

$$M_g := \frac{g_k \cdot L_{bjelke}^{\ 2}}{8} = 168.507 \ kN \cdot m$$

$$M_s := \frac{0.4 \cdot s \cdot L_{bjelke}^{\ 2}}{8} = 0.84 \ kN \cdot m$$

$$p_{Ed.bruks.langtids} := g_k + 0.4 \cdot s = 112.84 \ \frac{kN}{m}$$

$$M_{Ed.bruks} := \frac{p_{Ed.bruks.langtids} \cdot L_{bjelke}^{\ 2}}{8} = 169.348 \ kN \cdot m$$



8

Nedbøyning

Teoretisk nedbøyning:

$$\delta := \frac{5}{384} \cdot \frac{p_{Ed.bruks} \cdot L_{bjelke}{}^{4}}{E_{cm} \cdot I_c} = 0.171\ mm$$

Maksimal tillatt nedbøyning

$$\delta_{krav} := \frac{L_{bjelke}}{250} = 13.86\ mm$$ (EC2 - Del 1-1 7.4.1(4))

$\delta < \delta_{krav}$ $\quad OK$

Sjekker også langtidsnedbøyning pga. svinn og kryp

Beregning av midlere bøyestivhet

Egenlasten påføres ved t_0 = 7 døgn etter støping
Nyttelasten påføres ved t_0 = 90 døgn

Antar 40% av nyttelasten regnes som permanent last

Langtidslast 1: $g_k = 112.28\ \frac{kN}{m}$

Langstidslast 2: $s_{lang} := 0.4 \cdot s = 0.56\ \frac{kN}{m}$

Kryptall under forutsetning av innendørs forhold:

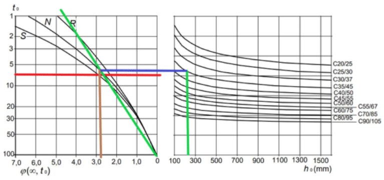
$h_0 := 2 \cdot \frac{A_c}{u} = 173.333\ mm$ Standard sement klasse N

t_0 = 7 døgn: $\varphi(\infty, 7)$ = 2.8

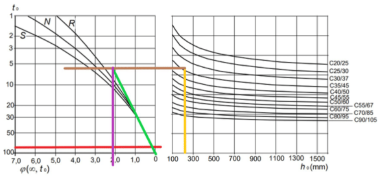
t_0 = 90 døgn: $\varphi(\infty, 90)$ = 2.0

(EC2 - Del 1-1 Figur 3.1)

9



7 døgn



90 døgn

Effektiv (langstids) elastisitetsmodul:

$$E_{c.eff} = \frac{E_{cm}}{1+\varphi(\propto, t_0)}$$ (EC2 - Del 1-1 7.4.3(5))

$$E_{c.1} := \frac{E_{cm}}{1+2.8} = \left(8.947 \cdot 10^3\right)\ MPa$$

$$E_{c.2} := \frac{E_{cm}}{1+2.0} = \left(1.133 \cdot 10^4\right)\ MPa$$

$$E_{c.middel} := \frac{M_g + M_s}{\frac{M_g}{E_{c.1}} + \frac{M_s}{E_{c.2}}} = \left(8.957 \cdot 10^3\right)\ MPa$$ Sørensen del 1 lign. (5.25)

Ekvivalent treghetsmoment:

$$\eta := \frac{E_s}{E_{c.middel}} = 22.33$$

$$\rho := \frac{A_{s.faktisk}}{b_{bjelke} \cdot d} = 0.003$$

$$\eta \cdot \rho = 0.056$$

$$\alpha := \sqrt{(\eta \cdot \rho)^2 + 2 \cdot \eta \cdot \rho} - \eta \cdot \rho = 0.284$$ Sørensen del 1 lign. (5.5)

$$I_{c.langtids} := 0.5 \cdot \alpha^2 \left(1 - \frac{\alpha}{3}\right) \cdot b_{bjelke} \cdot d^3 = \left(1.415 \cdot 10^{10}\right)\ mm^4$$

Sørensen del 1 lign. (5.9)

Nedbøyning etter lang tid

$$\delta_{langtids} := \frac{5\ \left(g_k + s_{lang}\right) \cdot L_{bjelke}^{\ 4}}{384 \cdot E_{c.middel} \cdot I_{c.langtids}} = 1.672\ mm$$

10

Nedbøyning pga svinn: $L := 8.68\ m$

Antar at uttørkning starter ved riving av forskaling, $t_s := 7$ døgn

Beregner fri svinntøyning:

Uttørkningssvinn:

$\alpha_{ds1} := 4$ for sementklasse N $f_{ck.} := 35$

$\alpha_{ds2} := 0.12$ $f_{cm.} := 43$

$RH_0 := 100\%$ $f_{cm0} := 10$

Antar RH for innendørsforhold: $RH := 50\%$

Sørensen del 1 lign. (5.28)

$$\beta_{RH} := 1.55 \cdot \left[1 - \left(\frac{RH}{RH_0} \right)^3 \right] = [1.356]$$

Sørsensen del 1 lign. (5.27)

$$\varepsilon_{cd.0} := 0.85 \cdot \left[(220 + 110 \cdot \alpha_{ds1}) \cdot e^{\left(-\alpha_{ds2} \cdot \frac{f_{cm.}}{f_{cm0}} \right)} \right] \cdot 10^{-6}\ \beta_{RH} = 4.542 \cdot 10^{-4}$$

$h_0 = 173.333\ mm$ -> $k_h := 0.85$ (EC2 - Del 1-1, tabell 3.3)

Etter lang tid er $\beta_{ds} := 1$

Sørensen del 1 lign. (5.29)

dette gir: $\varepsilon_{cd.inf} := \beta_{ds} \cdot k_h \cdot \varepsilon_{cd.0} = 3.86 \cdot 10^{-4}$

Sørensen del 1 lign. (5.31)

Autogents svinn: $\varepsilon_{ca.inf} := 2.5\ (f_{ck.} - f_{cm0}) \cdot 10^{-6} = 6.25 \cdot 10^{-5}$

Fri svinntøyning: $\varepsilon_{cs} := \varepsilon_{cd.inf} + \varepsilon_{ca.inf} = 4.485 \cdot 10^{-4}$ (Sørensen, s.135)

11

Svinnkrumning:

må beregne e og I (om tyngdepkt.aksen):

$d = 1.247\ m$ (Sørensen, s.136)

$\eta = 22.33$

$E_s = (2 \cdot 10^5)\ MPa$ $E_{c.middel} = (8.957 \cdot 10^3)\ MPa$

$$a_s := \frac{A_c \cdot 0.5 \cdot h_{bjelke} + \eta \cdot A_{s.faktisk} \cdot d}{A_c + \eta \cdot A_{s.faktisk}} = 680.566\ mm$$

$$e_s := d - a_s = 566.434\ mm$$

$$I := \frac{b_{bjelke} \cdot h_{bjelke}^{\ 3}}{12} + b_{bjelke} \cdot h_{bjelke} \cdot (a_s - e_s)^2 + \eta \cdot A_{s.faktisk} \cdot e_s^{\ 2} = (4.45 \cdot 10^{10})\ mm^4$$

$$\kappa_s := \frac{\varepsilon_{cs} \cdot E_s \cdot A_{s.faktisk} \cdot e_s}{E_{c.middel} \cdot I} = (8.009 \cdot 10^{-8})\ mm^{-1}$$ (EC2 - Del 1-1, 7.4.3(6))

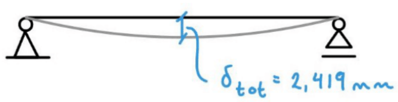
Enhetlastmetoden gir nedbøyning midt på bjelken:

$$\delta_{svinn} := \frac{\kappa_s \cdot L^2}{8} = 0.754\ mm$$

Total nedbøyning:

$$\delta_{tot} := \delta + \delta_{svinn} + \delta_{langtids} = 2.597\ mm$$

$\delta_{krav} > \delta_{tot}$ OK



Risskontroll

Forenklet rissviddekontroll

Beregning av armeringsspenning:

$$E_{c.middel} \cdot I_c = \left(3.28 \cdot 10^{14}\right)\ N \cdot mm^2$$

$$\sigma_s := E_s \cdot \frac{M_{Ed.bruks}}{\left(E_{c.middel} \cdot I_c\right)} \cdot (1-\alpha) \cdot d = 92.225\ MPa$$

Antar overdekning: $C_{nom} = C_{min.dur}$ gir $k_c = 1$

Tabell NA.7.1N gir tillatte rissvidde: $w_{max} := 0.3\ mm$

Tabell 7.2N med armeringsdiameter 20 mm gir ved bruk av interpolasjon: $\sigma_{s.tillat.1} := 222.22\ MPa$

Tabell 7.3N med senteravstand 175 mm gir: $\sigma_{s.tillat.2} := 260\ MPa$

$\sigma_{s.tillat.1} > \sigma_s$ Rissviddekrav er tilfredsstilt

$\sigma_{s.tillat.2} > \sigma_s$ Rissviddekrav er tilfredsstilt

Spenningsbegrensning:

$\sigma_s \le 0.8 \cdot f_{yk}$ OK

Risskontroll ved beregning av rissvidde

$w_{max} = 0.3\ mm$ (EC2 - Del 1-1, 7.3.1(5))

$k_1 := 0.4$ Langvarig last (EC2 - Del 1-1 7.3.4(2))

$f_{ct.eff} := f_{ctm} = 3.2\ MPa$

$$h_{c.eff} = min\left(2.5 \cdot \left(h_{bjelke} - d\right), \frac{\left(h_{bjelke} - \alpha d\right)}{3}, \frac{h_{bjelke}}{2}\right)$$ (EC2 - Del 1-1 7.3.2(3))

$$h_{c.eff} = min\left(132.5\ mm, 258.4\ mm, 650\ mm\right)$$

$h_{c.eff} := 132.5\ mm$

$A_{c.eff} := b_{bjelke} \cdot h_{c.eff} = \left(2.65 \cdot 10^4\right)\ mm^2$

$$\rho_{p.eff} := \frac{A_{s.faktisk}}{A_{c.eff}} = 0.024$$ (EC2 - Del 1-1 7.3.4(2))

$$\eta_1 := \frac{E_s}{E_{cm}} = 5.882 \qquad \sigma_s = 92.225\ MPa$$

Tøyningsdifferens: Tøy.diff = $\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}$

$$Tøy.diff := \frac{\sigma_s - k_1 \cdot \frac{f_{ct.eff}}{\rho_{p.eff}} \cdot \left(1 + \eta_1 \cdot \rho_{p.eff}\right)}{E_s} = 1.536 \cdot 10^{-4} > 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 2.767 \cdot 10^{-4}$$

$$5 \cdot \left(c_{nom} + \frac{Ø_1}{2}\right) = 225\ mm \qquad 225 > s \qquad s = \left(1.4 \cdot 10^6\right)\ Pa \cdot mm$$

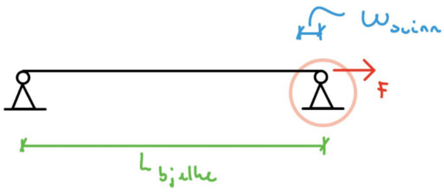
$k_{1.1} := 0.8 \quad k_2 := 0.5 \quad k_3 := 3.4 \quad k_4 := 0.425$ (EC2 - Del 1-1 7.3.4(3))

$$S_{r.max} := k_3 \cdot c_{nom} + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{Ø_1}{\rho_{p.eff}} = 190.699\ mm$$ (EC2 - Del 1-1 7.3.4(1))

$w_k := S_{r.max} \cdot Tøy.diff = 0.029\ mm \qquad w_k < w_{max} \qquad OK$

14

Tilleggs-rissvidde fra svinn forårsaket av fastholdte ender:



$$w_{svinn} := \varepsilon_{cs} \cdot L_{bjelke} = 1.554 \ mm$$

15