E Betongbjelke, L = 8.68 m

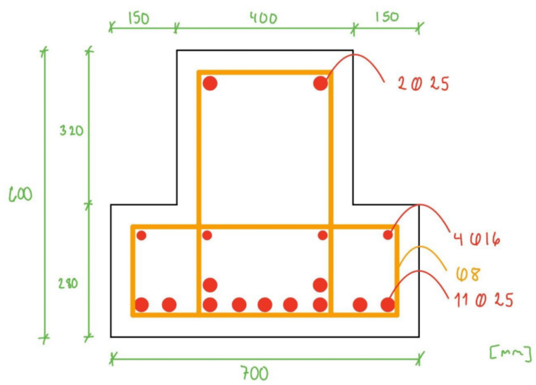
E.1 Betongbjelke - Utregning av kapasitet

Dimensjoner:

$b_{bjelke} := 400\ mm$ $b_{utstikk} := 150\ mm$

$h_{bjelke} := 600\ mm$ $h_{utstikk} := 280\ mm$

$L_{bjelke} := 8680\ mm$



Laster:

Fordelte laster er hentet fra PDF filer tilsendt fra COWI

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

Egenlast til dekke: $g_{k.dekke} := 4\ \frac{kN}{m^2} \cdot 2 \cdot b_{utstikk} = 1.2\ \frac{kN}{m}$ Hulldekke ligger kun på utstikkene

Egenlast fra PDF: $g_{k.PDF} := 1\ \frac{kN}{m^2} \cdot b_{bjelke} = 0.4\ \frac{kN}{m}$

Egenlast bjelke: $g_{k.bjelke} := b_{bjelke} \cdot h_{bjelke} \cdot \gamma_b + b_{utstikk} \cdot h_{utstikk} \cdot \gamma_b = 7.05\ \frac{kN}{m}$

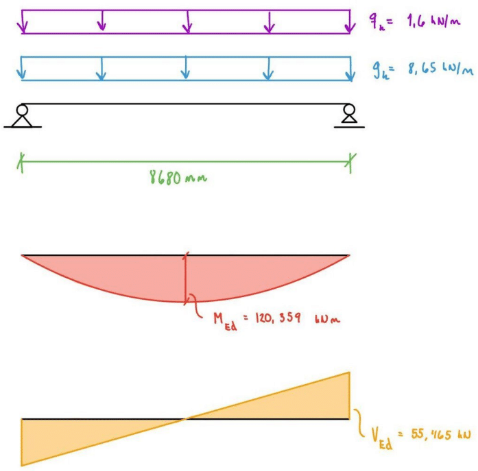
Total egenlast: $g_k := g_{k.dekke} + g_{k.PDF} + g_{k.bjelke} = 8.65\ \frac{kN}{m}$

Nyttelast: $q_k := 4\ \frac{kN}{m^2} \cdot b_{bjelke} = 1.6\ \frac{kN}{m}$

Bruddlast: $p_{Ed} := 1.2 \cdot g_k + 1.5 \cdot q_k = 12.78\ \frac{kN}{m}$ (EC0, Tabell NA.A1.2(A))

Dimensjonerende moment: $M_{Ed} := \frac{p_{Ed} \cdot {L_{bjelke}}^2}{8} = 120.359\ kN \cdot m$

Dimensjonerende skjærkraft: $V_{Ed} := \frac{p_{Ed} \cdot L_{bjelke}}{2} = 55.465\ kN$



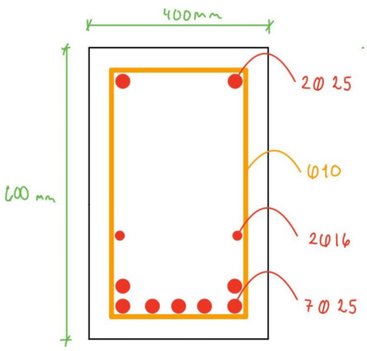
Betongegenskaper, dimensjoner og tøyning:

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

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

$A_c := h_{bjelke} \cdot b_{bjelke} = \left(2.4 \cdot 10^5\right)\ mm^2$ $E_s := 200000\ \frac{N}{mm^2}$ $\varepsilon_{yd} := \frac{f_{yd}}{E_s} = 0.00217$

Beregner med et forenklet tverrsnitt:



$\varnothing_1 := 25\ mm$ $\qquad n_{stenger.1} := 7$

$\varnothing_2 := 16\ mm$ $\qquad n_{stenger.2} := 2$

$\varnothing_3 := 25\ mm$ $\qquad n_{stenger.3} := 2$

$\varnothing_{bøyle} := 10\ mm$

Beregning av momentkapasitet Hentet ut av detalj-tegning

Bestandighet av betong:

Ekposneringklasse: XC3

Bestandinghetklasse: M45

$c_{nom} := 35\ mm$

Avstand mellom armeringsstenger i forskjellige lag:

$d_g := 20\ mm$ (betongboka, s.42)

$a_{v.krav} := \max\left(1.5 \cdot \varnothing_1, d_g + 5\ mm, 20\ mm\right) \le 32\ mm$

$a_{v.krav.} := \max\left(37.5\ mm, 25\ mm, 20\ mm\right) \le 32\ mm$

$a_v := 32\ mm$

Finner d:

$$d := h_{bjelke} - c_{nom} - \varnothing_{bøyle} - \varnothing_1 - \frac{a_v}{2} = 514\ mm$$

Balansert armering:

$$\alpha_b := \frac{\varepsilon_{cu}}{\varepsilon_{cu} + \varepsilon_{yd}} = 0.617$$

$$A_{s.bal} := 0.8 \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \cdot b_{bjelke} \cdot d \cdot \alpha_b = 4632\ mm^2$$

$$n_{stenger.strekk} := 7$$

Armeringsmengde:

$$A_s := n_{stenger.1} \cdot \left(\frac{\varnothing_1}{2}\right)^2 \cdot \pi + n_{stenger.2} \cdot \left(\frac{\varnothing_2}{2}\right)^2 \cdot \pi + n_{stenger.3} \cdot \left(\frac{\varnothing_3}{2}\right)^2 \cdot \pi = \left(4.82 \cdot 10^3\right)\ mm^2$$

$A_s > A_{s.bal}$ overarmert

$$0.8 \cdot f_{cd} \cdot b_{bjelke} \cdot d \cdot \alpha^2 + E_s \cdot A_s \cdot \varepsilon_{cu} \cdot \alpha - E_s \cdot A_s \cdot \varepsilon_{cu} = 0$$

abc-formelen:

$0.8 \cdot f_{cd} \cdot b_{bjelke} \cdot d \cdot \alpha^2$ = 3269376 α^2

$E_s \cdot A_s \cdot \varepsilon_{cu} \cdot \alpha$ = 3374000 α

$E_s \cdot A_s \cdot \varepsilon_{cu}$ = 3374000

$$\alpha := 0.875$$

$$M_{Rd} := 0.8 \cdot \alpha \cdot (1 - 0.4 \cdot \alpha) \cdot f_{cd} \cdot b_{bjelke} \cdot d^2 = 952.057\ kN \cdot m$$

$M_{Rd} > M_{Ed}$ *OK*

E.2 Dimensjonering av ny betongbjelke

Dimensjoner:

$b_{bjelke} := 300\ mm$

$h_{bjelke} := 400\ mm$

$L_{bjelke} := 8680\ mm$

$A_c := h_{bjelke} \cdot b_{bjelke} = \left(1.2 \cdot 10^5\right)\ mm^2 \qquad u := 2\ h_{bjelke} + 2 \cdot b_{bjelke} = \left(1.4 \cdot 10^3\right)\ mm$

Dimensjonerende laster:

$g_k := 8.65\ \frac{kN}{m} \qquad q_k := 1.6\ \frac{kN}{m}$

Bruker samme laster til beregning som den eksisterende bjelken

Betongegenskaper, dimensjoner og tøyning:

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

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

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

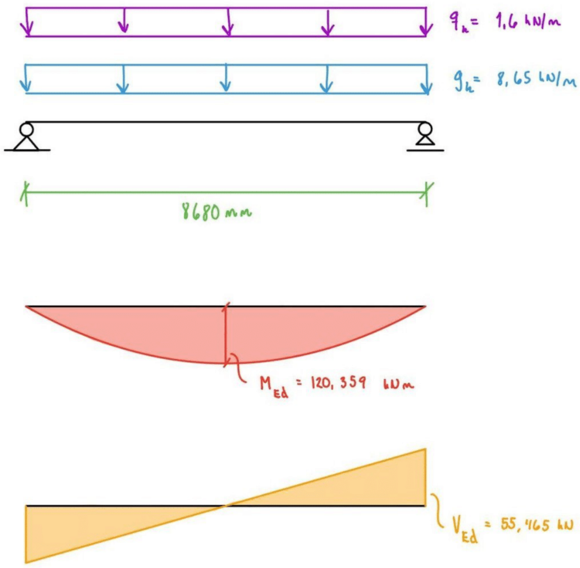
$E_{cm} := 34000\ MPa \qquad I_c := \frac{1}{12} \cdot b_{bjelke} \cdot h_{bjelke}^{\ 3} = \left(1.6 \cdot 10^9\right)\ mm^4$

Bruddgrensetilstand:

$$p_{Ed} := 1.2 \cdot g_k + 1.5 \cdot q_k = 12.78\ \frac{kN}{m}$$ (EC0, Tabell NA.A1.2(A))

$$M_{Ed} := \frac{p_{Ed} \cdot {L_{bjelke}}^2}{8} = 120.359\ kN \cdot m$$

$$V_{Ed} := \frac{p_{Ed} \cdot L_{bjelke}}{2} = 55.465\ kN$$



Dimensjonerer som normalarmert tverrsnitt:

effektiv høyde:

$$d := \sqrt{\frac{M_{Ed}}{0.275 \cdot f_{cd} \cdot b_{bjelke}}} = 271.444\ mm$$ Sørensen del 1 lign. (4.25)

Indre momentarm:

$$z := 0.835 \cdot d = 226.656\ mm$$ Sørensen del 1 tabell 4.4

Nødvendig Armeringsmengde:

$$A_{s.normalarmert} := \frac{M_{Ed}}{f_{yd} \cdot z} = \left(1.224 \cdot 10^3\right)\ mm^2$$ Sørensen del 1 lign. (4.26)

Valg av armering:

$Ø := 25\ mm$ $\qquad n := 3$

$$A_{s.faktisk} := n \cdot \left(\frac{Ø}{2}\right)^2 \cdot \pi = \left(1.473 \cdot 10^3\right)\ mm^2$$

Velger: $Ø_{bøyle} := 8\ mm$

Velger overdekning:

Minste overdekning

$c_{min} = \max\{c_{min,b};\ c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add};\ 10\ mm\}$ (EC2 - Del 1-1, 4.4.1.2(2))

$C_{min.b} := 25\ mm$ (EC2 - Del 1-1, 4.4.1.2(2))

$C_{min.dur} := 25\ mm$ I detaljtegningene står det at eksponeringsklassen til denne bjelken er XC3

(EC2 - Del 1-1, 4.4.1.2(5))

$\Delta C_{dur.\gamma} := 0\ mm$ (EC2 - Del 1-1, 4.4.1.2(6))

$\Delta C_{dur.st} := 0\ mm$ (EC2 - Del 1-1, 4.4.1.2(7))

$\Delta C_{dur.add} := 0\ mm$ (EC2 - Del 1-1, 4.4.1.2(8))

$C_{min} := C_{min.dur} = 25\ mm$

Avvik

$\Delta C_{dev} := 10\ mm$ (EC2 - Del 1-1, 4.4.1.3(1))

Nominell overdekning

$C_{nom} := C_{min} + \Delta C_{dev} = 35\ mm$

Momentkapasitet beregning:

$$d_{ny} := h_{bjelke} - C_{nom} - Ø_{bøyle} - \frac{Ø}{2} = 344.5\ mm$$

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

$$A_{s.bal.} := \frac{0.8 \cdot \alpha_{bal} \cdot f_{cd} \cdot b_{bjelke} \cdot d_{ny}}{f_{yd}} = \left(2.328 \cdot 10^{3}\right)\ mm^{2}$$ Sørensen del 1 lign. (4.21)

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

Regner ut α for underarmert tverrsnitt:

$$\alpha_{underarmert} := \frac{f_{yd} \cdot A_{s.faktisk}}{0.8 \cdot f_{cd} \cdot b_{bjelke} \cdot d_{ny}} = 0.39$$ Sørensen del 1 lign. (4.19)

$$M_{Rd} := 0.8 \cdot \alpha_{underarmert} \cdot \left(1 - 0.4 \cdot \alpha_{underarmert}\right) \cdot f_{cd} \cdot b_{bjelke} \cdot d_{ny}^{2} = 185.793\ kN \cdot m$$

Sørensen del 1 lign. (4.14)

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

Minimumsarmering:

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

$$A_{s.min.krav} := \max\left(171.97\ mm^2, 134.36\ mm^2\right)$$

$$A_{s.min} := 171.97\ mm^2$$

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

Trykkarmering:

Velger 2Ø25 som trykkarmering

$$Ø_{trykk} := 25\ mm$$

Avstand mellom lengdearmeringen: (EC2 - Del 1-1, 8.2(2))

a_h = max ($k_1 \cdot Ø$, $d_g + k_2$ mm, 20 mm), men mindre enn 32 mm

$k_1 := 1.5$

(EC2 -Del 1-1, NA 8.(2))

$k_2 := 5$

d_g er største tilslagsstørrelsen, velger 20 mm

a_h = max ($37.5\ mm$, $25\ mm$, $20\ mm$) men mindre enn 32 mm

$$a_h := 32\ mm$$

Skjærkapasitet

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

$C_{Rd.c} := \frac{0.18}{1.5} = 0.12$

$k := 1 + \sqrt{\frac{200\ mm}{d_{ny}}} = 1.762$ $k < 2.0$:) OK

$\rho_L := \frac{A_{s.faktisk}}{b_{bjelke} \cdot d_{ny}} = 0.014$ $\rho_L \leq 0.02$ OK

$V_{Rd.c} := C_{Rd.c} \cdot k \cdot \left(100 \cdot \rho_L \cdot 35\right)^{\frac{1}{3}} \cdot b_{bjelke} \cdot d_{ny} \cdot \frac{N}{mm^2} = 80.433\ kN$

$V_{Ed.red} := V_{Ed} - p_{Ed} \cdot d_{ny} = 51.062\ kN$

$V_{Rd.c} > V_{Ed.red}$ Trenger ikke skjærarmering, kun minimum skjærarmering

Skjærtrykkapasitet:

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

$V_{Rd.max} := 0.5 \cdot b_{bjelke} \cdot d_{ny} \cdot \nu \cdot f_{cd} = 527.953\ kN$ (EC2 - Del 1-1 6.2.2(6))

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

Minimum skjærarmering:

Valgt tidligere diameter på bøyle:

$Ø_{bøyle} = 8\ mm$

$A_{s.w} := \pi \cdot \left(\frac{Ø_{bøyle}}{2}\right)^2 \cdot 2 = 100.531\ mm^2$

$f_{ck.1} := 35$

$f_{yk.1} := 500$

$S := \frac{A_{s.w}}{0.08 \cdot \left(\frac{\sqrt[2]{f_{ck.1}}}{f_{yk.1}}\right) \cdot b_{bjelke}} = 354.017\ mm$ (EC2 - Del 1-1 9.2.2(5))

Krav til maks senteravstand:

$h' := h_{bjelke} - 2 \cdot C_{nom} - 2 \cdot Ø_{bøyle} - \frac{Ø}{2} - \frac{Ø_{trykk}}{2} = 289\ mm$

$S_{max} := 0.6 \cdot h' = 173.4\ mm$ (EC2 - Del 1-1 9.2.2(7))

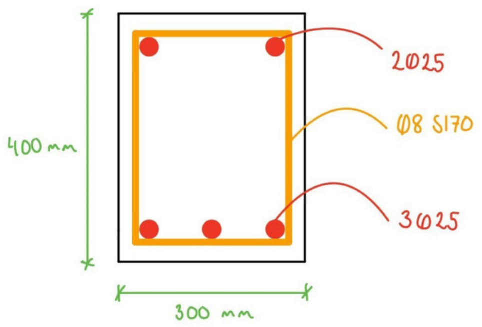
$S_{valg} := 170\ mm$

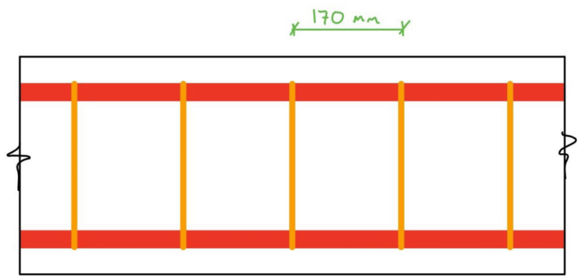
Antall:

$n_{stenger.skjær} := \frac{L_{bjelke}}{S_{valg}} = 51$

Er det plass til armeringen?

$$b_{nødv.} := 2 \cdot C_{nom} + 2 \cdot Ø_{bøyle} + n \cdot Ø + 2 \cdot a_h = 225\ mm \qquad OK$$





Bruksgrensetilstand

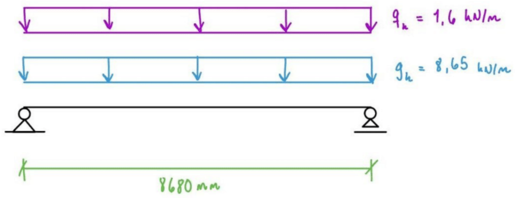
$$p_{Ed.bruks} := 1.0 \cdot g_k + 1.0 \cdot q_k = 10.25 \ \frac{kN}{m}$$ (EC0, A1.4.1(1))

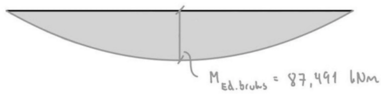
$$M_g := \frac{g_k \cdot L_{bjelke}^{\ 2}}{8} = 81.464 \ kN \cdot m$$

$$M_q := \frac{0.4 \cdot q_k \cdot L_{bjelke}^{\ 2}}{8} = 6.027 \ kN \cdot m$$

$$p_{Ed.bruks.langtids} := g_k + 0.4 \cdot q_k = 9.29 \ \frac{kN}{m}$$

$$M_{Ed.bruks} := \frac{p_{Ed.bruks.langtids} \cdot L_{bjelke}^{\ 2}}{8} = 87.491 \ kN \cdot m$$





Nedbøyning

$$\delta := \frac{5}{384} \cdot \frac{p_{Ed.bruks} \cdot L_{bjelke}^{\ 4}}{E_{cm} \cdot I_c} = 13.927 \ mm$$

$$\delta_{krav} := \frac{L_{bjelke}}{250} = 34.72 \ mm$$ (EC2 - Del 1-1 7.4.1(4))

$\delta < \delta_{krav}$ $\qquad$ *OK*

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: $g_k = 8.65\ \dfrac{kN}{m}$

Langstidslast 2: $q_{lang} := 0.4 \cdot q_k = 0.64\ \dfrac{kN}{m}$

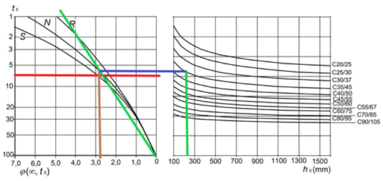
Kryptall under forutsetning av innendørs forhold:

$h_0 := 2 \cdot \dfrac{A_c}{u} = 171.429\ mm$ Standard sement klasse N

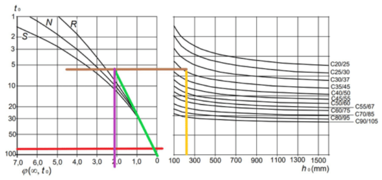
t_0 = 7 døgn: $\varphi(\infty, 7)$ = 2.8

(EC2 - Del 1-1 Figur 3.1)

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



7 døgn



90 døgn

Effektiv (langstids) elastisitetsmodul:

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

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

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

$$E_{c.middel} := \frac{M_g + M_q}{\dfrac{M_g}{E_{c.1}} + \dfrac{M_q}{E_{c.2}}} = \left(9.079 \cdot 10^3\right)\ MPa$$ Sørensen del 1 lign. (5.25)

Ekvivalent treghetsmoment:

Materialstivhetsforhold: $\eta := \frac{E_s}{E_{c.middel}} = 22.029$

Armeringsforhold: $\rho := \frac{A_{s.faktisk}}{b_{bjelke} \cdot d_{ny}} = 0.014$

$\eta \cdot \rho = 0.314$

$\alpha_{langtids} := \sqrt{(\eta \cdot \rho)^2 + 2 \cdot \eta \cdot \rho} - \eta \cdot \rho = 0.538$ Sørensen del 1 lign. (5.5)

$I_{c.langtids} := 0.5 \cdot \alpha_{langtids}{}^2 \left(1 - \frac{\alpha_{langtids}}{3}\right) \cdot b_{bjelke} \cdot d_{ny}{}^3 = \left(1.458 \cdot 10^9\right) \ mm^4$

Sørensen del 1 lign. (5.9)

Nedbøyning etter lang tid

$\delta_{langtids} := \frac{5 \left(g_k + q_{lang}\right) \cdot L_{bjelke}{}^4}{384 \cdot E_{c.middel} \cdot I_{c.langtids}} = 51.857 \ mm$

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)

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

$h_0 = 171\ mm$ -> $k_h := 0.85$ (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: $\varepsilon_{ca.inf} := 2.5\ (f_{ck.} - f_{cm0}) \cdot 10^{-6} = 6.25 \cdot 10^{-5}$

(Sørensen, s.135)

Fri svinntøyning: $\varepsilon_{cs} := \varepsilon_{cd.inf} + \varepsilon_{ca.inf} = 4.485 \cdot 10^{-4}$

Svinnkrumning:

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

$d_s := 344.5\ mm$ (Sørensen, s. 136)

$\eta = 22.029$

$E_s = \left(2 \cdot 10^5\right)\ MPa$ $E_{c.middel} = \left(9.079 \cdot 10^3\right)\ MPa$

$$a_s := \frac{A_c \cdot 0.5 \cdot h_{bjelke} + \eta \cdot A_{s.faktisk} \cdot d_s}{A_c + \eta \cdot A_{s.faktisk}} = 230.75\ mm$$

$e_s := d_s - a_s = 113.75\ mm$

$$I := \frac{b_{bjelke} \cdot h_{bjelke}^{\ 3}}{12} + b_{bjelke} \cdot h_{bjelke} \cdot \left(a_s - e_s\right)^2 + \eta \cdot A_{s.faktisk} \cdot e_s^{\ 2} = \left(3.662 \cdot 10^9\right)\ mm^4$$

$$\kappa_s := \frac{\varepsilon_{cs} \cdot E_s \cdot A_{s.faktisk} \cdot e_s}{E_{c.middel} \cdot I} = \left(4.519 \cdot 10^{-7}\right)\ mm^{-1}$$ (EC2 - Del 1-1, 7.4.3(6))

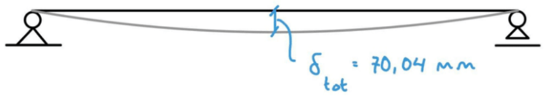
Enhetlastmetoden gir nedbøyning midt på bjelken:

$$\delta_{svinn} := \frac{\kappa_s \cdot L^2}{8} = 4.256\ mm$$

Total nedbøyning:

$\delta_{tot} := \delta + \delta_{svinn} + \delta_{langtids} = 70.04\ mm$

$\delta_{tot} > \delta_{krav}$ Dette er i praksis en stor nedbøyning som ikke vil være tillatt etter EC2, 7.4.1(4). Bygget i praksis en forskaling med overhøyde slik at man kan styre den resulterende nedbøyningen til å bli tilnærmet lik 0.



Risskontroll

Forenklet rissviddekontroll

Beregning av armeringsspenning:

$$E_{c.middel} \cdot I_{c.langtids} = \left(1.324 \cdot 10^{13}\right) N \cdot mm^2$$

$$\sigma_s := E_s \cdot \frac{M_{Ed.bruks}}{\left(E_{c.middel} \cdot I_{c.langtids}\right)} \cdot \left(1 - \alpha_{langtids}\right) \cdot d_{ny} = 210.174\ MPa$$

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 armeringsdiamter 25 mm gir: $\sigma_{s.tillat.1} := 200\ MPa$

Tabell 7.3N med senteravstand 200 mm gir: $\sigma_{s.tillat.2} := 240\ MPa$

$\sigma_{s.tillat.1} > \sigma_s$ 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))

$k_{1.lang} := 0.4$ Langvarig last (EC2 - Del 1-1 7.3.4(2))

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

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

$$h_{c.eff} = \ min\left(138.75\ mm, 88.55\ mm, 200\ mm\right)$$

$h_{c.eff} := 88.55\ mm$

$A_{c.eff} := b_{bjelke} \cdot h_{c.eff} = \left(2.657 \cdot 10^{4}\right)\ mm^{2}$

$$\rho_{p.eff} := \frac{A_{s.faktisk}}{A_{c.eff}} = 0.055$$ (EC2 - Del 1-1 7.3.4(2))

$$\alpha_e := \frac{E_s}{E_{cm}} = 5.882 \qquad \sigma_s = 210.174\ MPa$$

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

$$Tøy.diff := \frac{\sigma_s - k_{1.lang} \cdot \frac{f_{ct.eff}}{\rho_{p.eff}} \cdot \left(1 + \alpha_e \cdot \rho_{p.eff}\right)}{E_s} = 8.978 \cdot 10^{-4} \quad > \quad 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 6.305 \cdot 10^{-4}$$

$$5 \cdot \left(C_{nom} + \frac{Ø}{2}\right) = 237.5\ mm \qquad 237.5 > S_{valg} \qquad S_{valg} = 170\ mm$$

$k_{1.} := 0.8$ $k_{2.} := 0.5$ $k_{3.} := 3.4$ $k_{4.} := 0.425$ (EC2 - Del 1-1 7.3.4(3))

$$S_{r.max} := k_{3.} \cdot C_{nom} + k_{1.} \cdot k_{2.} \cdot k_{4.} \cdot \frac{Ø}{\rho_{p.eff}} = 195.667\ mm$$

$w_k := S_{r.max} \cdot Tøy.diff = 0.176\ mm$ (EC2 - Del 1-1 7.3.4(1))

$w_k < w_{max}$ OK