Created using a free version of SMath Studio

Karbonfiberforsterkning - Rektangulært tverrsnitt

Beregning: DO5 NORDBYGGET - FELTMOMENT YTTERFELT - t = 200, ø12c140

$M_0 := 18.8\ kN\ m$ moment ved installasjon

$M_{Ed} := 90\ kN\ m$ moment i ULS

$M_1 := M_{Ed} - M_0 = 71.2\ kN\ m$

Betongtverrsnitt

$b := 1000\ mm$ bredde rektangulært tverrsnitt

$h := 200\ mm$ høyde rektangulært tverrsnitt

$A_c := b \cdot h$ brutto betongareal

Betongparametere

$f_{ck} := 35\ MPa$ $\gamma_c := 1.5$ $\alpha_{cc} := 0.85$

$\varphi := 2.07$ kryptall Link: https://eurocodeapplied.com/design/en1992/creep-shrinkage

Input Stålarmering

$\varphi_1 := 12\ mm$ diameter lengdearmering

$c := 15\ mm$ overdekkning

$cc_1 := 140\ mm$

$n_{As1} := \frac{1000\ mm}{cc_1} = 7.1429$

$f_{yk} := 500\ MPa$ $E_s := 200\ GPa$ $\gamma_s := 1.25$

$f_{yd} := \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = 400\ MPa$

$A_s := n_{As1} \cdot \frac{\varphi_1^2}{4} \cdot \pi = 807.8381\ mm^2$

$d := h - c - \frac{\varphi_1}{2} = 179\ mm$

Input Karbonfiberforsterkning

$n := 1$ antall lag karbonfiberbånd

$n_{perlag} := 3$ antall karbonfiberbånd per lag

StoFRP S150C

$t_f := 1.4\ mm$ $b_{frp} := 150\ mm$

$A_f := t_f \cdot b_{frp} \cdot n \cdot n_{perlag} = 630\ mm^2$

$\varepsilon_{fk} := 0.016$ $E_{fk} := 163\ GPa$ $\gamma_{frp} := 1.2$

Not for commercial use

Created using a free version of SMath Studio

Kalkulering av materialparametere betong

$$f_{cm} := f_{ck} + 8\ \text{MPa}$$

$$f_{ctm} := \text{if}\ \ f_{ck} \le 50\ \text{MPa} \qquad = 3.21\ \text{MPa}$$
$$\quad 0.3 \cdot \left(\frac{f_{ck}}{\text{MPa}} \right)^{\frac{2}{3}}\ \text{MPa}$$
$$\text{else}$$
$$\quad 2.12 \cdot \ln\left(1 + \frac{f_{cm}}{10\ \text{MPa}} \right)\ \text{MPa}$$

$$E_{cm} := 22000 \cdot \left(\frac{f_{cm}}{10\ \text{MPa}} \right)^{0.3}\ \text{MPa} = 34077.1462\ \text{MPa}$$

Andel av trykksone høyde med bruddspenning i betongen

$$\lambda := \text{if}\ \ f_{ck} \le 50\ \text{MPa} \qquad = 0.8$$
$$\quad 0.8$$
$$\text{else}$$
$$\quad \text{if}\ \ \left(f_{ck} > 50\ \text{MPa} \right) \wedge \left(f_{ck} \le 90\ \text{MPa} \right)$$
$$\quad\quad 0.8 - \frac{\left(\frac{f_{ck}}{\text{MPa}} - 50 \right)}{400}$$
$$\quad \text{else}$$
$$\quad\quad 0$$

$$f_{ctm} = 3.21\ \text{MPa}$$

$$f_{ctm.fl} := \max\left(\begin{bmatrix} \left(1.6 - \frac{h}{1000\ \text{mm}} \right) \cdot f_{ctm} \\ f_{ctm} \end{bmatrix} \right) = 4.4939\ \text{MPa}$$

$$f_{cd} := \frac{\alpha_{cc} \cdot f_{ck}}{\gamma_c} = 19.8333\ \text{MPa}$$

$$E_{cm} = 34077.1462\ \text{MPa}$$

$$E_{c.eff} := \frac{E_{cm}}{1 + \varphi} = 11.1\ \text{GPa}$$

$$\alpha_s := \frac{E_s}{E_{c.eff}} = 18.0179$$

Not for commercial use

Created using a free version of SMath Studio

Kalkulasjon materialparametere karbonfiberforsterkning

Oppsummerer parametere gitt ovenfor:

$\varepsilon_{fk} = 0.016$ $\quad E_{fk} = 163\ \text{GPa}$ $\quad \gamma_{frp} = 1.2$

$n = 1$ antall lag karbonfiberbånd

$n_{perlag} = 3$ antall karbonfiberbånd per lag (bånd side om side)

$t_f = 1.4\ \text{mm}$ $\quad b_{frp} = 150\ \text{mm}$

$\varepsilon_{fd} := \frac{\varepsilon_{fk}}{\gamma_{frp}} = 0.0133$ $\quad E_{fd} := \frac{E_{fk}}{\gamma_{frp}} = 135.8333\ \text{GPa}$

$\varepsilon_{fd.ic} := 0.41 \cdot \sqrt{\frac{\frac{f_{cd}}{\text{MPa}}}{n \cdot \frac{E_{fd}}{\text{MPa}} \cdot \frac{t_f}{\text{mm}}}} = 0.004187$ tøyningsbegrensning for indermediære riss langs karbonfiberbånd

$\varepsilon_{f.max} := \min\left(\begin{bmatrix} \varepsilon_{fd} \\ \varepsilon_{fd.ic} \end{bmatrix}\right) = 0.004187$ maksimal tillatt tøyning i karbonfiberbånd

Momentkapasitet før fiberinstallasjon

$x_s := \frac{A_s \cdot f_{yd}}{\lambda \cdot f_{cd} \cdot b} = 20.3657\ \text{mm}$ Trykksonehøyde ved aksiallikevekt

$M_{Rd.s} := A_s \cdot f_{yd} \cdot \left(d - \frac{\lambda}{2} \cdot x_s\right) = 55.2089\ \text{kN m}$ Momentkapastet uten karbonfiberforsterkning

Momentkapasitet etter fiberinstallasjon

$x_{sf} := \frac{A_s \cdot f_{yd} + \varepsilon_{f.max} \cdot E_{fd} \cdot A_f}{\lambda \cdot f_{cd} \cdot b} = 42.9484\ \text{mm}$ Trykksonehøyde ved aksiallikevekt

$M_{Rd.sf} := A_s \cdot f_{yd} \cdot \left(d - \frac{\lambda}{2} \cdot x_{sf}\right) + \varepsilon_{f.max} \cdot E_{fd} \cdot A_f \cdot \left(h - \frac{\lambda}{2} \cdot x_{sf}\right) = 117.7968\ \text{kN m}$ Momentkapasitet med karbonfiberforsterkning

$\frac{M_{Ed}}{M_{Rd.sf}} = 0.764$ OK

Not for commercial use

Created using a free version of SMath Studio

Kontroller om tverrsnittet fortsatt er underarmert

For at beregningen skal være gjeldene må tverrsnittet fortsatt være underarmert (armering ryker før betong knuses). Følger metodikk iht. Täljsten "Kompositförstärkning av betong"

Finner aktuell tøyning i tverrsnittet ved fiberinstallasjon:

$\sigma_c(M, I, y) := \frac{M}{I} \cdot y$ funksjon for spenning ved koordinat y i tverrsnitt

Finner rissmomentet

$$\alpha d_I := \frac{A_c \cdot 0.5 \cdot h + \alpha_s \cdot A_s \cdot d}{A_c + \alpha_s \cdot A_s} = 0.1054\ \text{m}$$

$$I_I := \frac{b \cdot h^3}{12} + b \cdot h \cdot \left(\alpha d_I - \frac{h}{2}\right)^2 = 6.7241 \cdot 10^8\ \text{mm}^4$$

$$M_{crack} := f_{ctm} \cdot \frac{I_I}{0.5 \cdot h} = 21.5842\ \text{kN m}$$

$$STADIUM := \text{if } M_0 \geq M_{crack} = 1 \quad 2 \quad \text{else} \quad 1$$

$$\rho := \frac{A_s}{b \cdot d} = 0.0045$$

$\alpha_{II} := \sqrt{(\alpha_s \cdot \rho)^2 + 2 \cdot \alpha_s \cdot \rho} - \alpha_s \cdot \rho = 0.3301$ faktor trykksonehøyde STADIUM 2

$$I_{II} := \frac{1}{2} \cdot \alpha_{II}^2 \cdot \left(1 - \frac{\alpha_{II}}{3}\right) \cdot b \cdot d^3 = 2.7806 \cdot 10^8\ \text{mm}^4$$

$$\varepsilon_{c.uk} := \text{if } STADIUM = 1 \quad \frac{\sigma_c(M_0, I_I, h - \alpha d_I)}{E_{c.eff}} \quad \text{else} \quad \frac{\sigma_c(M_0, I_{II}, h - \alpha_{II} \cdot d)}{E_{c.eff}} = 0.000238$$

$$\frac{\sigma_c(M_0, I_I, h - \alpha d_I)}{E_{c.eff}} = 0.000238 \qquad \frac{\sigma_c(M_0, I_{II}, h - \alpha_{II} \cdot d)}{E_{c.eff}} = 0.000858$$

$\varepsilon_{cu0} := \varepsilon_{c.uk} = 0.000238$ tøyning UK tverrsnitt ved fiberinstallasjon

Not for commercial use

Created using a free version of SMath Studio

$\varepsilon_{c2} := 0.0035$ gjelder for betongkvaliteter med fck <= 50 MPa

$$\omega_{bal} := \frac{\lambda}{1 + \frac{\varepsilon_{f.max} + \varepsilon_{cu0}}{\varepsilon_{c2}}} = 0.3533$$

ε.cu0 er aktuell tøyning UK bjelke ved forsterkning

$$\omega := \frac{A_s \cdot f_{yd} + A_f \cdot \varepsilon_{f.max} \cdot E_{fd}}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = 0.1718$$

Normalarmert når betong knuses samtidig som strekkbrudd i armering

```
if  ω_bal ≥ ω                    = "OK, underarmert"
  "OK, underarmert"
else
  "Beregning ikke gyldig!"
```

$$\frac{\omega}{\omega_{bal}} = 0.4863$$

Not for commercial use