

Rekenvoorbeeld van een kanaalplaatvloer met een geïntegreerde ligger van beton

Inleiding

In dit rekenvoorbeeld wordt de invloed van een niet-starre oplegging op het draagvermogen van een voorgespannen kanaalplaat uitgewerkt.

Te dimensioneren is een kanaalplaatvloer met een geïntegreerde ligger, toegepast in een kantoorgebouw. Overige gegevens en eisen zijn:

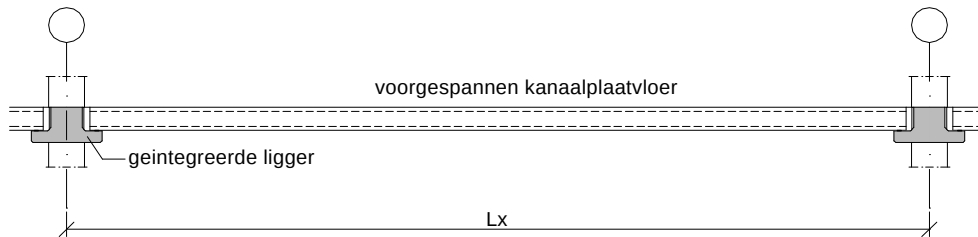
- Referentie periode 50 jaar.
- Milieuklasse XC1.
- Eis m.b.t. brandwerendheid is 90 minuten.
- Tijdens het vullen van de voegen is de geïntegreerde ligger niet onderstempeld.

Gegevens

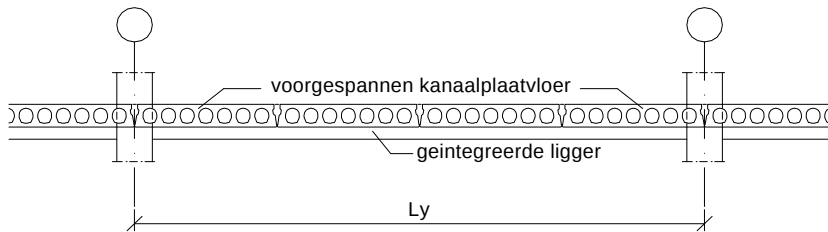
Veiligheidsklasse 3:

$$\gamma_g = 1.2 \quad \gamma_q = 1.5$$

Langsdoorsnede:



Dwarsdoorsnede: betonligger uitgevoerd als doorgaande ligger



Stramienmaten:

$$L_x = 8.40 \text{ m} \quad L_y = 7.60 \text{ m}$$

Kolomafmeting:

$$b_y = 0.30 \text{ m}$$

Belastingen

Het eigengewicht van de kanaalplaatvloer staat vermeld onder eigenschappen kanaalplaatvloer.

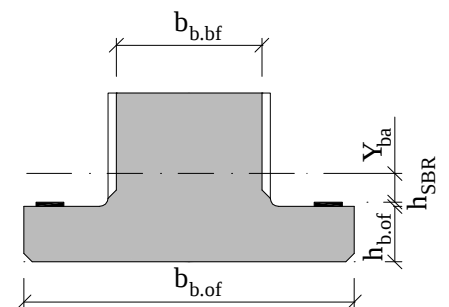
De toegevoegde belastingen zijn:

Afwerking:	$p_{g2} = 1.00$	kN/m^2	
Veranderlijke belasting:	$p_q = 4.00$	kN/m^2	$\Psi = 0.40$

Eigenschappen van de geïntegreerde ligger

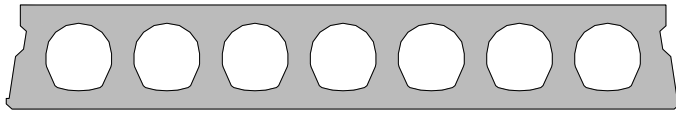
Eigen gewicht:	$q_{g1.b} = 4.01$	kN/m
Hoogte onderflens (=oplegflens):	$h_{b.of} = 200$	mm
Breedte onderflens (=oplegflens):	$b_{b.of} = 550$	mm
Breedte bovenflens:	$b_{b.bf} = 280$	mm
Dikte SBR oplegstrip:	$h_{SBR} = 5$	mm
Oppervlakte:	$A_{ba} = 167175$	mm^2
Zwaartepuntsafstand:	$Y_{ba} = -35.3$	mm
Traagheidsmoment:	$I_{ba} = 2.108 \times 10^9$	mm^4
Elasticiteitsmodulus:	$E_{ba} = 36000$	N/mm^2
Aantal kanaalplaten in de doorsnede:	$n_{pl} = 2$	(middenligger)

Betonnen voorgespannen balk



Eigenschappen van de kanaalplaatvloer

De fabrikant heeft de volgende eigenschappen van de kanaalplaat aangegeven:



Eigengewicht incl. voegvulling:	$p_{g1} = 3.04$	kN/m ²
Hoogte:	$h_{pl} = 200$	mm
Breedte:	$b_{pl} = 1200$	mm
Som van de lijfbreedten:	$\Sigma b_w = 348$	mm
Hoogte van het lijf met constante dikte:	$h_{pl.c} = 20$	mm
Dikte boven het kanaal:	$h_{bf} = 35$	mm
Dikte onder het kanaal:	$h_{of} = 35$	mm
Kar. kubusdruksterkte van het beton:	$f'_{ck.pl} = 55$	N/mm ²
Kwadratisch oppervlaktemoment:	$I_{pl} = 681347049$	mm ⁴
Statisch moment van het afgeschoven deel:	$S_{pl} = 4586807$	mm ³
Aanvangsspanning in het voorspanstaal:	$\sigma_{pi} = 1040$	N/mm ²
Diameter van de 7-draadsstrengen:	$\phi_k = 12.5$	mm
Aantal strengen in het vloerelement:	$n_p = 8$	
Aantal strengen per lijf:	$n_w = 1$	
Gem. betondrukspanning t.g.v. voorspanning:	$\sigma'_{bmd.lo} = 5.1$	N/mm ²
Kar. ontspansterkte:	$f'_{ckt} = 30$	N/mm ²

Gewapende constructieve druklaag

Dikte van de gewapende druklaag:	$h_{dr} = 0$	mm
Karakteristieke kubusdruksterkte van het beton:	$f'_{ck.dr} = 25$	N/mm ²
Eigengewicht van de druklaag:	$p_{g.dr} = 0.00$	kN/m ²
Kwadratisch oppervlaktemoment:	$I_{pl.dr} = 681347049$	mm ⁴
Statisch moment van het afgeschoven deel:	$S_{pl.dr} = 4586807$	mm ³

Eigenschappen van de voeg en/of betonvulling

Karakteristieke kubusdruksterkte van het beton:	$f'_{ck.voeg} := 25$	N/mm ²
Hoogte van de voeg:	$h_{voeg} := h_{pl} + h_{SBR}$	$h_{voeg} = 205$ mm
Breedte van de voeg	$b_{voeg} := \frac{b_{b.of} - b_{b.bf}}{2} - a_{pl}$	$b_{voeg} = 35$ mm
Eigengewicht van de voeg:	$q_{g1.v} := n_{pl} h_{voeg} b_{voeg} \cdot \gamma_{beton}$	$q_{g1.v} = 0.34$ kN/m

Statische grootheden van de voeg t.o.v. onderzijde kanaalplaat:

$$\begin{aligned} A_{\text{voeg}} &:= n_{\text{pl}} \cdot b_{\text{voeg}} \cdot h_{\text{voeg}} & A_{\text{voeg}} &= 14350 \text{ mm}^2 \\ Y_{\text{voeg}} &:= 0.5 \cdot (h_{\text{pl}} - h_{\text{SBR}}) & Y_{\text{voeg}} &= 97.5 \text{ mm} \\ I_{\text{voeg}} &:= \frac{n_{\text{pl}}}{12} \cdot b_{\text{voeg}} \cdot h_{\text{voeg}}^3 & I_{\text{voeg}} &= 50.3 \times 10^6 \text{ mm}^4 \\ E_{\text{voeg}} &:= E_b(f'_{\text{ck,voeg}}) & E_{\text{voeg}} &= 28500 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Schematisatie

$$\begin{aligned} \text{Lengte van de kanaalplaat:} & L_{\text{pl}} := L_x - \frac{b_{\text{b.of}} - 2 \cdot a_{\text{pl}}}{1000} & L_{\text{pl}} &= 8.05 \text{ m} \\ \text{Overspanning van de kanaalplaatvloer:} & l_{\text{pl}} := L_{\text{pl}} - 0.001 a_{\text{pl}} & l_{\text{pl}} &= 7.95 \text{ m} \\ \text{Overspanning van de balk:} & l_b := L_y - b_y & l_b &= 7.30 \text{ m} \end{aligned}$$

Dwarskrachten in de kanaalplaatvloer in de uiterste grenstoestand

$$\begin{aligned} \text{Belasting door eigengewicht:} & p_{\text{d.g1}} := \gamma_g(p_{\text{g1}} + p_{\text{g.dr}}) & p_{\text{d.g1}} &= 3.6 \text{ kN/m}^2 \\ \text{Toegevoegde belasting:} & p_{\text{d.toe}} := \gamma_g p_{\text{g2}} + \gamma_q p_q & p_{\text{d.toe}} &= 7.2 \text{ kN/m}^2 \\ \text{Dwarskracht t.g.v. eigen gewicht:} & V_{\text{d.g}} := 0.5 \cdot p_{\text{d.g1}} \cdot l_{\text{pl}} & V_{\text{d.g}} &= 14.5 \text{ kN} \\ \text{Dwarskracht t.g.v. de toegevoegde belastingen:} & V_{\text{d.toe}} := 0.5 \cdot p_{\text{d.toe}} \cdot l_{\text{pl}} & V_{\text{d.toe}} &= 28.6 \text{ kN} \end{aligned}$$

Belastingen op de balk

$$\begin{aligned} \text{Eigengewicht (representatief):} & q_{\text{g1}} := L_{\text{pl}} \cdot p_{\text{g1}} + q_{\text{g1.b}} + q_{\text{g1.v}} & q_{\text{g1}} &= 28.8 \text{ kN/m} \\ \text{Constructieve druklaag (representatief):} & q_{\text{g.dr}} := p_{\text{g.dr}} \cdot L_x & q_{\text{g.dr}} &= 0.0 \text{ kN/m} \\ \text{Afwerking (representatief):} & q_{\text{g2}} := p_{\text{g2}} \cdot L_x & q_{\text{g2}} &= 8.4 \text{ kN/m} \\ \text{Veranderlijke belasting (representatief):} & q_q := p_q \cdot L_x & q_q &= 33.6 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Belastingen op de balk (uiterste grenstoestand)

$$\begin{aligned} \text{Eigengewicht:} & q_{\text{d.g1}} := \gamma_g q_{\text{g1}} & q_{\text{d.g1}} &= 34.6 \text{ kN/m} \\ \text{Gewapende constructieve druklaag:} & q_{\text{d.gdr}} := \gamma_g q_{\text{g.dr}} & q_{\text{d.gdr}} &= 0.0 \text{ kN/m} \\ \text{Rekenwaarde van de toegevoegde belasting:} & q_{\text{d.toe}} := \gamma_g q_{\text{g2}} + \gamma_q q_q & q_{\text{d.toe}} &= 60.5 \text{ kN/m} \\ \text{Steunpuntsmomenten:} & C_{\text{toe}} := 0.8 \quad C_{\text{dr}} := 0.8 \end{aligned}$$

Momenten in de balk (uiterste grenstoestand)

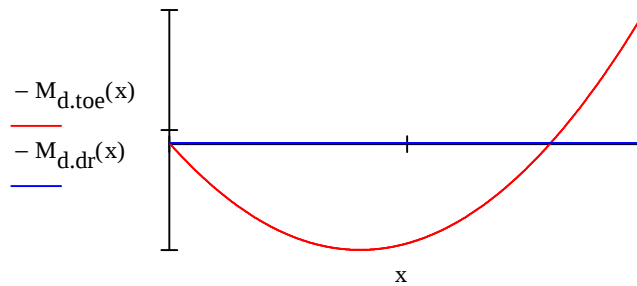
Moment t.g.v. de gewapende constructieve druklaag op afstand x:

$$M_{\text{d.dr}}(x) := \frac{q_{\text{d.gdr}} \cdot l_b}{2} \cdot \left[\left(x - \frac{x^2}{l_b} \right) - \frac{C_{\text{dr}}}{4} \cdot x \right]$$

Rekenwaarde van het moment t.g.v. de toegevoegde belasting op afstand x:

$$M_{\text{d.toe}}(x) := \frac{q_{\text{d.toe}} \cdot l_b}{2} \cdot \left[\left(x - \frac{x^2}{l_b} \right) - \frac{C_{\text{toe}}}{4} \cdot x \right]$$

Momenten in de ligger:



Moment t.g.v. de druklaag en de toegevoegde belasting op afstand x:

$$M_d(x) := M_{d.dr}(x) + M_{d.toe}(x)$$

Afstand tussen de momentennulpunten: $x := l_b \quad L := \text{root}(M_d(x), x) \quad L = 5.84 \quad \text{m}$

Rekenwaarde van het maximum buigend moment t.g.v. de constructieve druklaag:

$$M_{d.dr} := M_{d.dr}(0.5 \cdot L) \quad M_{d.dr} = 0 \quad \text{kNm}$$

Rekenwaarde van het maximum buigend moment t.g.v. de toegevoegde belasting:

$$M_{d.toe} := M_{d.toe}(0.5 \cdot L) \quad M_{d.toe} = 258 \quad \text{kNm}$$

Dwarskrachten in het momentennulpunt van de balk (uiterste grenstoestand)

Rekenwaarde van de dwarskracht in het momentnulpunt t.g.v. de toegevoegde belasting:

$$V_{d.toe.b} := 0.5 \cdot L \cdot q_{d.toe} \quad V_{d.toe.b} = 176.6 \quad \text{kN}$$

Rekenwaarde van de dwarskracht in het momentnulpunt t.g.v. het verwijderen van tijdelijke ondersteuning:

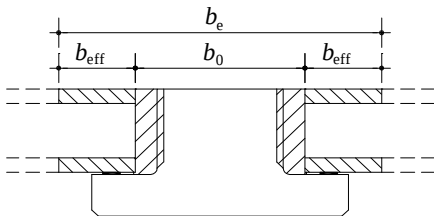
$$V_{d.st.b} := 0 \quad \text{kN}$$

Rekenwaarde van de dwarskracht in het momentnulpunt t.g.v. de gewapende constructieve druklaag:

$$V_{d.g.b} := 0.5 \cdot L \cdot q_{d.gdr} \quad V_{d.g.b} = 0.0 \quad \text{kN}$$

$$V_{d.b} := \max(V_{d.g.b} - V_{d.st.b}, 0) \quad V_{d.b} = 0.0 \quad \text{kN}$$

Constructieve doorsnede



Medewerkende breedte van de kanaalplaat:

Effectieve breedte $b_{eff,0}$ volgens tabel 1:

$$b_{eff,0} = 150 \quad \text{mm (bij } L_0 = 5 \text{ m)}$$

Effectieve breedte van de kanaalplaat:

$$b_{eff} := \frac{L}{L_0} \cdot b_{eff,0} \quad b_{eff} = 175 \quad \text{mm}$$

Statische grootheden van de onder- en bovenflens van de kanaalplaat en de eventuele constructieve druklaag:

Onderflens:

$$A_{of} := n_{pl} \cdot b_{eff} \cdot h_{of}$$

$$Y_{of} := 0.5 \cdot h_{of}$$

$$I_{of} := n_{pl} \cdot \frac{b_{eff}^3}{12} \cdot h_{of}$$

$$E_{of} := E_b(f'_{ck,pl})$$

Bovenflens:

$$A_{bf} := n_{pl} \cdot b_{eff} \cdot h_{bf}$$

$$Y_{bf} := h_{pl} - 0.5 \cdot h_{bf}$$

$$I_{bf} := n_{pl} \cdot \frac{b_{eff}^3}{12} \cdot h_{bf}$$

$$E_{bf} := E_b(f'_{ck,pl})$$

Druklaag:

$$A_{dr} := n_{pl} \cdot b_{eff} \cdot h_{dr}$$

$$Y_{dr} := h_{pl} + 0.5 \cdot h_{dr}$$

$$I_{dr} := n_{pl} \cdot \frac{b_{eff}^3}{12} \cdot h_{dr}$$

$$E_{dr} := E_b(f'_{ck,dr})$$

Samengestelde doorsnede uitgezonderd de eventuele aanwezige druklaag:

$$EA_{0,pl} := \sum_{i=ba}^{bf} (A_i \cdot E_i) \quad ES_{0,pl} := \sum_{i=ba}^{bf} (A_i \cdot Y_i \cdot E_i) \quad Y_{0,pl} := \frac{ES_{0,pl}}{EA_{0,pl}}$$

$$Y_{0,pl} = 17.5 \quad \text{mm}$$

$$EI_{0,pl} := \sum_{i=ba}^{bf} \left[\left[I_i + A_i \cdot (Y_i - Y_{0,pl})^2 \right] \cdot E_i \right]$$

$$EI_{0,pl} = 93.900 \times 10^{12}$$

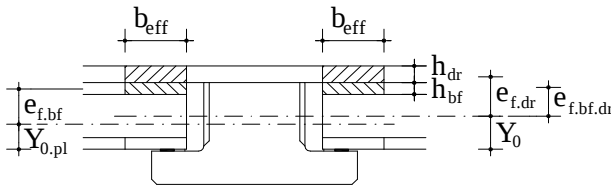
Samengestelde doorsnede inclusief de eventuele aanwezige druklaag:

$$EA_0 := \sum_{i=ba}^{dr} (A_i \cdot E_i) \quad ES_0 := \sum_{i=ba}^{dr} (A_i \cdot Y_i \cdot E_i) \quad Y_0 := \frac{ES_0}{EA_0}$$

$$Y_0 = 17.5$$

$$EI_0 := \sum_{i=ba}^{dr} \left[\left[I_i + A_i \cdot (Y_i - Y_0)^2 \right] \cdot E_i \right]$$

$$EI_0 = 93.900 \times 10^{12}$$



Excentriciteit van de bovenschil van de kanaalplaat bij doorsnede zonder druklaag:

$$e_{f,bf} := h_{pl} - 0.5 \cdot h_{bf} - Y_{0,pl}$$

$$e_{f,bf} = 165.0 \quad \text{mm}$$

Excentriciteit van de bovenflens bij doorsnede met eventuele constructieve druklaag:

$$e_{f,bf,dr} := h_{pl} - 0.5 \cdot h_{bf} - Y_0$$

$$e_{f,bf,dr} = 165.0 \quad \text{mm}$$

$$e_{f,dr} := h_{pl} + 0.5 \cdot h_{dr} - Y_0$$

$$e_{f,dr} = 182.5 \quad \text{mm}$$

Statisch moment stijfheid van de bovenschil van de kanaalplaat:

$$ES_{pl,t} := n_{pl} \cdot b_{eff} \cdot E_b(f'_{ck,pl}) \cdot h_{bf} \cdot e_{f,bf}$$

$$ES_{pl,t} = 72.833 \times 10^9$$

Statisch moment stijfheid van de bovenschil van de kanaalplaat met eventueel aanwezige druklaag:

$$ES_f := n_{pl} \cdot b_{eff} \cdot (E_b(f'_{ck,pl}) \cdot h_{bf} \cdot e_{f,bf,dr} + E_b(f'_{ck,dr}) \cdot h_{dr} \cdot e_{f,dr})$$

$$ES_f = 72.833 \times 10^9$$

Geïntegreerde betonnen ligger

De controle van de dimensionering van de betonnen ligger wordt in dit rekenvoorbeeld niet meegenomen.

Toetsing van de hoofdtrekspanning in de kritische doorsnede van de kanaalplaat

Er worden standaard afsluitdoppen in de kanaalplaatendein gebruikt:

$$\beta_f := 1.0$$

Kritische breedte:

$$b_{kr} := h_{pl} - h_{pl,c}$$

$$b_{kr} = 180 \quad \text{mm}$$

Reductiefactor voor de aanwezigheid van de gewapende constructieve druklaag:

$$F_{dr} := 0.2 \cdot f_{ck,dr} \cdot h_{dr} \cdot b_{pl}$$

$$F_{dr} = 0 \quad \text{N}$$

$$F_{lijf} := \frac{4}{3} \cdot \Sigma b_w \cdot b_{kr} \cdot \sqrt{2} \cdot \frac{f_{bm}(f_{ck,pl})}{\beta_f}$$

$$F_{lijf} = 440297 \quad \text{N}$$

$$\beta_{dr} := \frac{F_{lijf}}{F_{dr} + F_{lijf}}$$

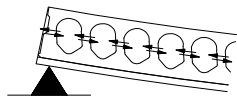
$$\beta_{dr} = 1.00$$

Rekenwaarde van de horizontale schuifstroom:

$$v_{yd} := V_{d,b} \cdot 10^3 \cdot \frac{ES_{pl,t}}{EI_{0,pl}} + (V_{d,toe,b} + V_{d,st,b}) \cdot 10^3 \cdot \frac{ES_f}{EI_0} \cdot \beta_{dr}$$

$$v_{yd} = 137 \quad \text{N/mm}$$

Rekenwaarde van de schuifspanning in het lijf van de kanaalplaat evenwijdig aan de balk:



$$\tau_{vyd} := \frac{3 \cdot v_{yd} \cdot b_{pl}}{2 \cdot b_{kr} \cdot \Sigma b_w \cdot n_{pl}} \cdot \beta_f$$

$$\tau_{vyd} = 2.0 \quad \text{N/mm}^2$$

Rekenwaarde van de dwarskracht in de kanaalplaat t.g.v. het verwijderen van montageondersteuning:

$$V_{d,st} := 0 \quad \text{N}$$

Rekenwaarde van de schuifspanning in het lijf van de kanaalplaat t.g.v. de verticale belasting:

$$\tau_d := (V_{d,g} - V_{d,st}) \cdot b_{pl} \cdot \frac{S_{pl}}{I_{pl} \cdot \Sigma b_w} + (V_{d,toe} + V_{d,st}) \cdot b_{pl} \cdot \frac{S_{pl,dr}}{I_{pl,dr} \cdot \Sigma b_w}$$

$$\tau_d = 1.00 \quad \text{N/mm}^2$$

Afstand van de beschouwde doorsnede van de kanaalplaat vanuit het plaaende:

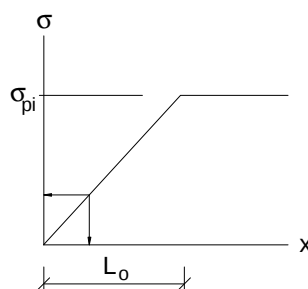
$$l_x := a_{pl} + 0.5 \cdot b_{kr}$$

$$l_x = 190 \quad \text{mm}$$

Overdrachtslengte van de voorspanstrengen:

$$\alpha_1 := 0.5 \quad \beta := 1$$

$$l_o := 0.5 \cdot \phi_k \cdot \alpha_1 \cdot \beta \cdot \frac{\sigma_{pi}}{\sqrt{0.6 \cdot f_{ckt}}}$$



$$l_o = 766 \quad \text{mm}$$

Gemiddelde voorspanning in de beschouwde doorsnede:

$$\sigma'_{bmd} := \min \left(1, \frac{l_x}{l_o} \right) \cdot \sigma'_{bmd,lo}$$

$$\sigma'_{bmd} = 1.26 \quad \text{N/mm}^2$$

Hoofdtrekspanning in het lijf van een star ondersteunde kanaalplaat:

$$\sigma_{1,s} := -\frac{\sigma'_{bmd}}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma'_{bmd}}{2} \right)^2 + \tau_d^2}$$

$$\sigma_{1,s} = 0.55 \quad \text{N/mm}^2$$

Hoofdtrekspanning in het lijf van de kanaalplaat nabij het momentnulpunt in de balk:

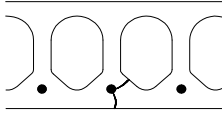
$$\sigma_{1,ns,a} := -\frac{\sigma'_{bmd}}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma'_{bmd}}{2}\right)^2 + \tau_d^2 + \tau_{vyd}^2} \quad \sigma_{1,ns,a} = 1.66 \quad \text{N/mm}^2$$

Reductie van de voorspanning ten gevolge van verankeringsverlies door mogelijke langscheuren in het midden van de balk.

Aantal te rekenen onthechte strengen volgens tabel 4:

$$n_{onthecht} := \text{Tabel4}(n_w, n_p)$$

$$n_{onthecht} = 1$$



Reductiefactor verminderde voorspanning:

$$\beta_p := 1 - \frac{n_{onthecht}}{n_p}$$

$$\beta_p = 0.9$$

Rekenwaarde van de buigtrekspanning in dwarsrichting in de onderzijde van de kanaalplaat:

$$\sigma_{b2} := \frac{E_b(f'_{ck,pl}) \cdot M_{d,dr} \cdot 10^6 \cdot Y_{0,pl}}{EI_{0,pl}} + \frac{E_b(f'_{ck,pl}) \cdot M_{d,toe} \cdot 10^6 \cdot Y_0}{EI_0} \quad \sigma_{b2} = 1.7 \quad \text{N/mm}^2$$

Indien $\sigma_{b2} \leq f_b$ dan is $\beta_p = 1$:

$$\beta_p := \text{if}(\sigma_{b2} > f_b(f'_{ck,pl}), \beta_p, 1) \quad \beta_p = 1.0$$

Gemiddelde betondrukspanning in de beschouwde doorsnede t.g.v. de voorspanning met onthechte strengen:

$$\sigma'_{bmd,r} := \beta_p \cdot \sigma'_{bmd} \quad \sigma'_{bmd,r} = 1.26 \quad \text{N/mm}^2$$

Hoofdtrekspanning in het lijf van de kanaalplaat nabij het maximum moment in de balk:

$$\sigma_{1,ns,b} := -\frac{\sigma'_{bmd,r}}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma'_{bmd,r}}{2}\right)^2 + \tau_d^2} \quad \sigma_{1,ns,b} = 0.55$$

Hoofdtrekspanning in de kritische doorsnede van de kanaalplaat:

$$\sigma_{1,ns} := \max(\sigma_{1,ns,a}, \sigma_{1,ns,b}) \quad \sigma_{1,ns} = 1.66 \quad \text{N/mm}^2$$

Opneembare dwarskracht (schuifspanning) van de star ondersteunde kanaalplaat:

$$\tau_{u,s} := \sqrt{f_b(f'_{ck,pl})^2 + \sigma'_{bmd} \cdot f_b(f'_{ck,pl})} \quad \tau_{u,s} = 2.45 \quad \text{N/mm}^2$$

Indien $\tau_d \leq 0.35 \tau_{u,s}$ wordt de hoofdtrekspanning van een star ondersteunde kanaalplaat aangehouden:

$$\frac{\tau_d}{\tau_{u,s}} = 0.41$$

$$\sigma_1 := \text{if}(\tau_d \leq 0.35 \cdot \tau_{u,s}, \sigma_{1,s}, \sigma_{1,ns})$$

$$\sigma_1 = 1.66 \quad \text{N/mm}^2$$

Rekenwaarde van de treksterkte van het beton van de kanaalplaat:

$$f_b(f'_{ck,pl}) = 1.90 \text{ N/mm}^2$$

Voorwaarde($\sigma_1 \leq f_b(f'_{ck,pl})$) = "Voldoet"

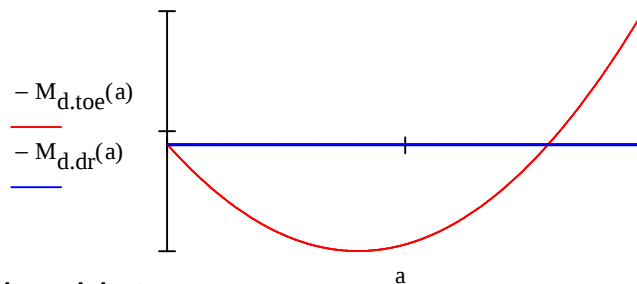
Momenten in de balk (bruikbaarheidsgrenstoestand)

Belasting door constructieve druklaag:	$q_{d.dr} := q_{g.dr}$	$q_{d.dr} = 0.0$	kN/m
Toegevoegde belasting:	$q_{d.toe} := q_{g2} + q_q$	$q_{d.toe} = 42.0$	kN/m

Rekenwaarde van de momenten op afstand x:

$$\text{t.g.v. constructieve druklaag:} \quad M_{d.dr}(x) := \frac{q_{d.dr} \cdot l_b}{2} \cdot \left[\left(x - \frac{x^2}{l_b} \right) - \frac{C_{dr}}{4} \cdot x \right]$$

$$\text{t.g.v. toegevoegde belasting:} \quad M_{d.toe}(x) := \frac{q_{d.toe} \cdot l_b}{2} \cdot \left[\left(x - \frac{x^2}{l_b} \right) - \frac{C_{toe}}{4} \cdot x \right]$$



Toetsing van de langscheurvorming in de kanaalplaat

Fictieve rek in dwarsrichting, in de onderzijde van de kanaalplaat:

$$\varepsilon_2(x) := \frac{M_{d.toe}(x) \cdot 10^6 \cdot Y_0}{EI_0} + \frac{M_{d.dr}(x) \cdot 10^6 \cdot Y_{0.pl}}{EI_{0.pl}}$$

Positie waar fictieve rek maximaal is:

$$x_{\max} := \text{Maximize}(\varepsilon_2, x) \quad x_{\max} = 2.92$$

$$\text{Fictieve rek:} \quad \varepsilon_2(x_{\max}) = 33.4 \times 10^{-6}$$

De kritische rek voor milieuklasse XC1 volgens tabel 5:

$$\varepsilon_{kr} := 1.0 \cdot 10^{-3}$$

$$\text{Voorwaarde}(\varepsilon_2(x_{\max}) \leq \varepsilon_{kr}) = \text{"Voldoet"}$$

Detailtering m.b.t. brandwerendheid

Voor de eis van brandwerendheid m.b.t. bezwijken van 90 minuten geldt: wanneer de belastinggraad m.b.t. de dwarskracht groter is dan η_{kr} , dan dient er aanvullende koppelwapening (in de gevulde kopsleuven) aangebracht te worden.

$$\eta_{kr} := 0.2$$

De rekenwaarde van de dwarskracht in de kanaalplaat bij de bijzondere belastingcombinatie:

$$V_{\Theta.d.pl} := 0.5 \cdot (p_{g1} + p_{g.dr}) \cdot l_{pl} \quad V_{\Theta.d.pl} = 12.1 \quad \text{kN/m}$$

$$V_{\Theta.d} := 0.5 \cdot (p_{g2} + \Psi \cdot p_q) \cdot l_{pl} \quad V_{\Theta.d} = 10.3 \quad \text{kN/m}$$

Rekenwaarde van de schuifspanning in het lijf van de kanaalplaat t.g.v. deze verticale belasting:

$$\tau_{\Theta.d} := V_{\Theta.d.pl} \cdot b_{pl} \cdot \frac{S_{pl}}{I_{pl} \cdot \Sigma b_w} + V_{\Theta.d} \cdot b_{pl} \cdot \frac{S_{pl.dr}}{I_{pl.dr} \cdot \Sigma b_w} \quad \tau_{\Theta.d} = 0.52 \quad \text{N/mm}^2$$

De belastinggraad:

$$\eta := \frac{\tau_{\Theta.d}}{\tau_{u.s}} \quad \eta = 0.212$$

$$\text{Koppelwapening}(\eta > \eta_{kr}) = \text{"BENODIGD!"}$$

