Reference:E:\IPHA\NationaleBijlage.mcd(R)

Reference:E:\IPHA\LijnPuntlasten.mcd(R)

Reference:E:\IPHA\Plaatdoorsneden.mcd(R)

Schematisering

Schema: Ligger op twee steunpunten, scharnierend opgelegd.

Overspanning: $L := 11.50 \quad m$

Opleglengte: $a := 0.10 \quad m$

Belastingen

Belasting factoren

Incidentele combintie: $\gamma_{inc} := (1.0 \quad 1.0)^T$

Fundamentele combinatie 1: $\gamma_{fc1} := (1.2 \quad 1.5)^T$

Fundamentele combinatie 2: $\gamma_{fc2} := (1.35 \quad 0.0)^T$

Gelijkmatig verdeelde belastingen

Permanente belastingen: $p_{k.G2} := 3.0 \quad kN/m^2$

Veranderlijke belastingen: $p_{k.Q} := 5.0 \quad kN/m^2$

Categorie A: Woongebouwen:

combinatie waarde: $\psi_0 := 0.4$

frequente waarde: $\psi_1 := 0.7$

quasi permanente waarde: $\psi_2 := 0.6$

Lijn- en puntlasten

$$LijnPuntLasten := \begin{pmatrix} Permanent & 0 & kNm & 1.25 & 1.50 \\ Veranderlijk & 0 & kN & 1.10 & 0 \end{pmatrix}$$

Milieuklasse

$Milieuklasse := XC1$

Doorsnedegegevens

Doorsnedeprofiel: $P := A400$

Strookbreedte: $StrookBreedte := 1.20 \quad m$

Beton

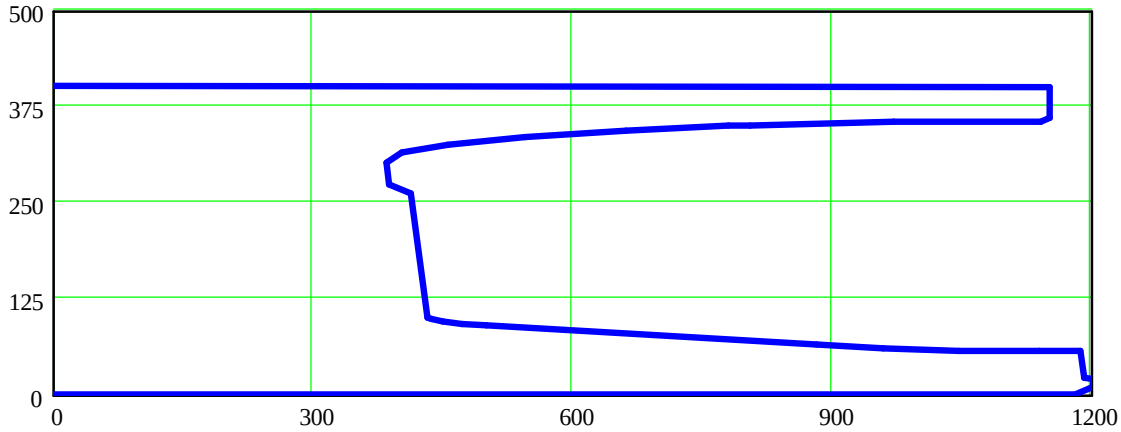
Soortelijke massa beton: $\gamma_{beton} := 24 \quad kN/m^3$

Betondoorsnede: Beton C45/55: $f_{ck} := 45 \quad f_{ctm} := 3.8 \quad N/mm^2$

$f_{ctk0.05} := 0.7 \cdot f_{ctm} \quad f_{ctk0.05} = 2.7 \quad N/mm^2$

Gesommeerde breedte b op hoogte x:

$$b(x) := \text{linterp}\left(P^{\langle 0 \rangle}, P^{\langle 1 \rangle}, x\right)$$



Hoogte van de betondoorsnede:

$$h_c := \max\left(P^{\langle 0 \rangle}\right) \qquad h_c = 400 \quad \text{mm}$$

Oppervlakte van de betondoorsnede:

$$A := \int_0^{h_c} b(y)\, dy \qquad A = 261137 \quad \text{mm}^2$$

Eigengewicht:

$$p_{k.G1} := A \cdot \gamma_{beton} \cdot 10^{-6} \qquad p_{k.G1} = 6.27 \quad \text{kN/m}^2$$

Zwaartepunt van de betondoorsnede:

$$Y := \frac{\int_0^{h_c} b(y)\, y\, dy}{A} \qquad Y = 191.49 \quad \text{mm}$$

Kwadratisch oppervlaktemoment van de betondoorsnede:

$$I := \int_0^{h_c} b(y)\, (Y - y)^2\, dy \qquad I = 4884732646 \quad \text{mm}^4$$

Voorspanstaal

Voorspanwapening:

indexering: soort: element := 0 Draad := 21

aantal: $n_p := 1$ Streng := 22

diameter: $\phi_p := 2$

doorsnede: $A_p := 3$

zwaartepunt: $y_p := 4$

voorspanning: $\sigma_{pt} := 5$

$$WAP := \begin{pmatrix} \text{Streng} & 8 & 12.5 & 93 & 34 & 1100 \\ \text{Streng} & 0 & 9.3 & 52 & 32 & 1100 \\ \text{Draad} & 2 & 5.0 & 19.6 & 360 & 1100 \end{pmatrix}$$

Ontspansterkte:

$f_{cm.p} := 28 \quad N/mm^2$

$f_{ctm.p} := 0.30 \cdot \left(f_{cm.p} - 8\right)^{\frac{2}{3}} \qquad f_{ctm.p} = 2.21 \quad N/mm^2$

Hoofdstuk 3 Materialen

3.1 Beton

3.1.3 Elastische vervorming

Elasticiteitsmodulus van het beton:

$$E_{cm} := 0.9 \cdot 22000 \left[\frac{\left(f_{ck} + 8\right)}{10}\right]^{0.3} \qquad E_{cm} = 32655$$

N.B. Reductie 10% bij kalksteentoeslag

3.1.6 Rekenwaarde van de druk- en treksterkte

$$f_{cd} := \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \qquad f_{cd} = 30$$

$$f_{ctk.005} := 0.7 \cdot f_{ctm} \qquad f_{ctk.005} = 2.66$$

$$f_{ctd} := \frac{\alpha_{ct} \cdot f_{ctk.005}}{\gamma_c} \qquad f_{ctd} = 1.77$$

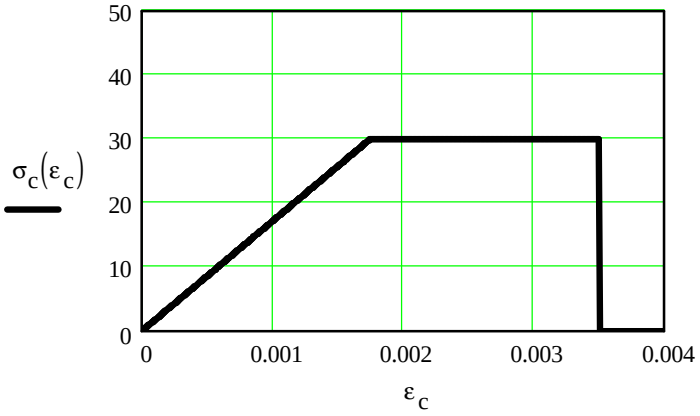
3.1.7 Spanning-rekrelaties voor het berekenen van doorsneden

Spanning-rekrelatie volgens figuur 3.4

$\varepsilon_{c3} := 0.00175$ $\varepsilon_{c3u} := 0.0035$

Betonspanning σ_c als functie van de stuik ε in het beton:

$$\sigma_c(\varepsilon) := \begin{cases} f_{cd} \cdot \dfrac{\varepsilon}{\varepsilon_{c3}} & \text{if } 0 \le \varepsilon < \varepsilon_{c3} \\ f_{cd} & \text{if } \varepsilon_{c3} \le \varepsilon \le \varepsilon_{c3u} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$



3.3 Voorspanstaal

3.3.6 Aannamen voor de berekening

$f_{p0.1k} := 1600$ $f_{pk} := 1860$ $\varepsilon_{uk} := 0.035$ $E_p := 195000$

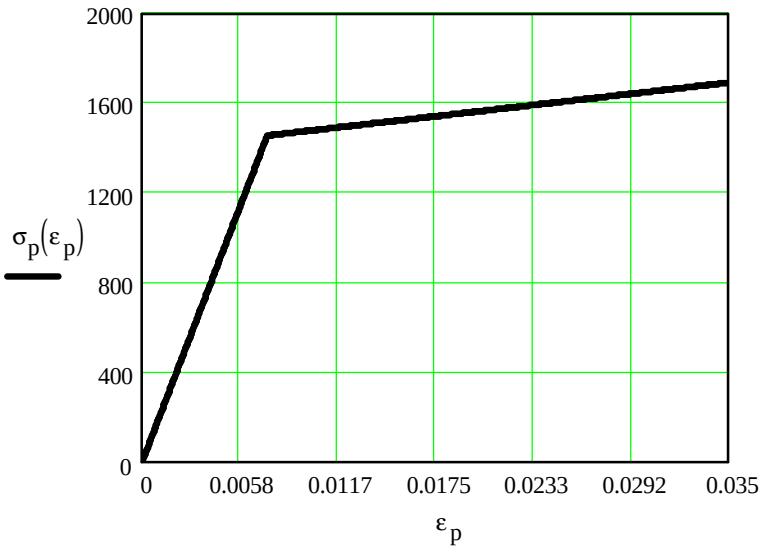
Spanning-rekrelatie volgens figuur 3.10

$\varepsilon_{ud} := \alpha_{\varepsilon ud} \cdot \varepsilon_{uk}$ $\varepsilon_{ud} = 0.03500$

$$\sigma_{p.310} := \begin{pmatrix} 0.0 \\ \dfrac{f_{p0.1k}}{\gamma_s} \\ \dfrac{f_{pk}}{\gamma_s} \end{pmatrix} \qquad \varepsilon_{p.310} := \begin{pmatrix} 0.0 \\ \dfrac{f_{p0.1k}}{\gamma_s \cdot E_p} \\ \varepsilon_{ud} \end{pmatrix}$$

Staalspanning σ_p als functie van de rek ε in het voorspanstaal:

$$\sigma_p(\varepsilon) := \begin{cases} \text{linterp}(\varepsilon_{p.310}, \sigma_{p.310}, \varepsilon) & \text{if } \varepsilon > 0 \wedge \varepsilon \le \varepsilon_{ud} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$



Hoofdstuk 4 Duurzaamheid en dekking op de wapening

4.4.1 Betondekking

Constructieklasse: S2 of S3: $c_{min.dur} := 15$ mm

Aanhechting: $c_{min.b} := 1.5 \cdot \max\left(\text{WAP}^{\langle \phi_p \rangle}\right)$ $c_{min.b} = 19$ mm

$c_{nom} := \max(10, c_{min.dur}, c_{min.b})$ $c_{nom} = 19$ mm

5.10 Voorgespannen elementen en constructies

5.10.4 Direct optredende voorspanverliezen bij voorgerekt staal

Wordt in dit rekenvoorbeeld aangenomen op 6%:

$$\sigma_{pm0} := (1 - 6\%)\left(\text{WAP}^{\langle \sigma_{pt} \rangle}\right) \qquad \sigma_{pm0} = \begin{pmatrix} 1034 \\ 1034 \\ 1034 \end{pmatrix} \text{ N/mm}^2$$

5.10.6 Tijdsafhankelijke voorspanverliezen bij voorgerekt en nagerekt staal

Wordt in dit rekenvoorbeeld aangenomen op 10%:

$$\sigma_{pmt} := (1 - 10\%)\cdot\sigma_{pm0} \qquad \sigma_{pmt} = \begin{pmatrix} 931 \\ 931 \\ 931 \end{pmatrix} \quad N/mm^2$$

Voorspankracht na alle verliezen:

$$F_{pmt} := \sum\overrightarrow{\left(WAP^{\langle A_p \rangle}\cdot WAP^{\langle n_p \rangle}\cdot\sigma_{pmt}\right)} \qquad F_{pmt} = 728846 \quad N$$

6.1 Buiging met of zonder normaalkracht

Nuttige hoogte:

$$d := h_c - \min\left(WAP^{\langle y_p \rangle}\right) \qquad d = 368.0$$

Indexen: $c := 0$ $p := 1$

Rek op hoogte y:

$$\varepsilon_y(\varepsilon, y) := \varepsilon_p - \frac{\varepsilon_p + \varepsilon_c}{d}\cdot\left(y - h_c + d\right)$$

Hoogte van de drukzône bij rek ε:

$$x(\varepsilon) := \frac{d\cdot\varepsilon_c}{\varepsilon_p + \varepsilon_c}$$

Maximale staalrek op referentiehoogte:

$$\varepsilon_{ud.max} := \min\left(\overrightarrow{\left(\frac{\varepsilon_{ud} - \frac{\sigma_{pmt}}{E_p} + \varepsilon_{c3u}}{h_c - WAP^{\langle y_p \rangle}}\cdot d - \varepsilon_{c3u}\right)}\right)$$

$$\varepsilon_{ud.max} = 0.03023$$

Betondrukkracht bij rek ε:

$$N_c(\varepsilon) := \int_{h_c - d}^{h_c} \sigma_c\left(-\varepsilon_y(\varepsilon, y)\right)\cdot b(y)\, dy$$

Betondrukmoment bij rek ε:

$$M_c(\varepsilon) := \int_{h_c - d}^{h_c} \sigma_c\left(-\varepsilon_y(\varepsilon, y)\right)\cdot b(y)\cdot\left(h_c - y\right) dy$$

Staaltrekkracht met index n bij rek ε:

$$N_p(\varepsilon, n) := \left(WAP^{\langle A_p \rangle}\right)_n\cdot\left(WAP^{\langle n_p \rangle}\right)_n\cdot\sigma_p\left[\varepsilon_y\left[\varepsilon, \left(WAP^{\langle y_p \rangle}\right)_n\right] + \frac{\sigma_{pmt_n}}{E_p}\right]$$

Een programmaatje om het breukmoment te bepalen.... $y_u := 1$ $Np := 0$

E :=
- $\varepsilon_c \leftarrow \varepsilon_{c3u}$
- $\varepsilon_p \leftarrow \varepsilon_{ud.max}$
- $Beton \leftarrow N_c(\varepsilon)$
- $Staal \leftarrow \sum_{n=0}^{length(WAP^{\langle y_p \rangle})-1} N_p(\varepsilon, n)$
- $isStaal \leftarrow Beton < Staal$
- $d\varepsilon \leftarrow 0.5 \cdot \varepsilon_{ud}$ if isStaal
- $d\varepsilon \leftarrow 0.5 \cdot \varepsilon_{c3u}$ otherwise
- while $|Staal - Beton| > 40$
  - $\varepsilon_p \leftarrow \varepsilon_p - sign(Staal - Beton) \cdot d\varepsilon$ if isStaal
  - $\varepsilon_c \leftarrow \varepsilon_c - sign(Beton - Staal) \cdot d\varepsilon$ otherwise
  - $d\varepsilon \leftarrow 0.5 \cdot d\varepsilon$
  - $Beton \leftarrow N_c(\varepsilon)$
  - $BetonM \leftarrow M_c(\varepsilon)$
  - $Staal \leftarrow \sum_{n=0}^{length(WAP^{\langle y_p \rangle})-1} N_p(\varepsilon, n)$
- $Y_x \leftarrow \frac{BetonM}{Beton}$
- $Result_{y_u} \leftarrow Y_x$
- for $i \in 0..length(WAP^{\langle y_p \rangle}) - 1$
  - $Kracht_i \leftarrow N_p(\varepsilon, i)$
- $Result_{Np} \leftarrow Kracht$
- $Result_2 \leftarrow \varepsilon_c$
- $Result_3 \leftarrow \varepsilon_p$
- Result

$$M_{Rd} := \sum \overrightarrow{\left[\left(h_c - WAP^{\langle y_p \rangle} - E_{y_u}\right) \cdot E_{Np}\right]} \cdot 10^{-6} \qquad M_{Rd} = 421.82 \quad kNm$$

Hoofdstuk 8 Detailleren van de (voorspan) wapening

8.10 Voorspanelementen

8.10.2.2 Overdracht van de voorspankracht

Rekenwaarde van de treksterkte op het tijdstip van aflaten:

$$f_{ctd.t} := \alpha_{ct} \cdot \frac{0.7 \cdot f_{ctm.p}}{\gamma_c} \qquad f_{ctd.t} = 1.03 \quad N/mm^2$$

Factor afhankelijk van het type voorspanelement:

$$\eta_{p1}(element) := \begin{cases} 2.7 & \text{if element = Draad} \\ 3.2 & \text{otherwise} \end{cases}$$

Goede aanhechtomstandigheden:

$$\eta_1 := 1.0$$

Aanhechtspanning:

$$f_{bpt} := \overrightarrow{\left(\eta_{p1}\left(WAP^{\langle element \rangle}\right) \cdot \eta_1 \cdot f_{ctd.t}\right)} \qquad f_{bpt} = \begin{pmatrix} 3.30 \\ 3.30 \\ 2.79 \end{pmatrix} \quad N/mm^2$$

Geleidelijke aflaten (zagen) $\alpha_1 := 1.0$

Factor afhankelijk van de doorsnede van het voorspanelement:

$$\alpha_2(element) := \begin{cases} 0.25 & \text{if element = Draad} \\ 0.19 & \text{otherwise} \end{cases}$$

Basiswaarde van de overdrachtslengte:

$$l_{pt} := \frac{\overrightarrow{\alpha_1 \cdot \alpha_2\left(WAP^{\langle element \rangle}\right) \cdot WAP^{\langle \phi_p \rangle} \cdot \sigma_{pm0}}}{f_{bpt}} \qquad l_{pt} = \begin{pmatrix} 744 \\ 554 \\ 464 \end{pmatrix} \quad mm$$

Bovengrenswaarde van de overdrachtslengte:

$$l_{pt2} := 1.2 \cdot l_{pt} \qquad l_{pt2} = \begin{pmatrix} 893 \\ 664 \\ 557 \end{pmatrix} \quad mm$$

Afstand naar het plaateinde in mm:

$$Afstand(x) := 1000(\min(L - x, x) + 0.5 \cdot a)$$

Voorspankracht in element n op afstand x:

$$F_{pt2}(x,n) := \begin{cases} F \leftarrow \frac{x}{l_{pt2_n}} \cdot \sigma_{pmt_n} & \text{if } x < l_{pt2_n} \\ F \leftarrow \sigma_{pmt_n} & \text{otherwise} \\ F \cdot \left(WAP^{\langle n_p \rangle}\right)_n \cdot \left(WAP^{\langle A_p \rangle}\right)_n \end{cases}$$

De gemiddelde betonspanning t.g.v. de voorspanning op afstand x:

$$\sigma_c(x) := \sum_{i=0}^{\text{length}\left(WAP^{\langle A_p \rangle}\right)-1} \frac{F_{pt2}(\text{Afstand}(x), i)}{A}$$

Het moment t.g.v. de voorspanning op afstand x:

$$M_{pt2}(x) := \sum_{i=0}^{\text{length}\left(WAP^{\langle A_p \rangle}\right)-1} \left[F_{pt2}(\text{Afstand}(x), i)\cdot\left[Y - \left(WAP^{\langle y_p \rangle}\right)_i\right]\right]$$

8.10.2.3 Verankering van de trekkracht in de uiterste grenstoestand

Factor afhankelijk van het type voorspanelement:

$$\eta_{p2}(\text{element}) := \begin{cases} 1.4 & \text{if element} = \text{Draad} \\ 1.2 & \text{otherwise} \end{cases}$$

De aanhechtssterkte voor verankering in de uiterste grenstoestand:

$$f_{bpd} := \overrightarrow{\left(\eta_{p2}\left(WAP^{\langle \text{element} \rangle}\right)\cdot\eta_1\cdot f_{ctd}\right)} \qquad f_{bpd} = \begin{pmatrix} 2.13 \\ 2.13 \\ 2.48 \end{pmatrix} \text{ N/mm}^2$$

Opneembare kracht per element op afstand x mm vanuit plaateinde:

$$F_{pu}(x, n) := \begin{cases} \sigma_p \leftarrow x\dfrac{\sigma_{pmt_n}}{l_{pt2_n}} & \text{if } x \le l_{pt2_n} \\ \sigma_p \leftarrow \sigma_{pmt_n} + \dfrac{\left(x - l_{pt2_n}\right)\cdot f_{bpd_n}}{\alpha_2\left[\left(WAP^{\langle \text{element} \rangle}\right)_n\right]\cdot\left(WAP^{\langle \phi_p \rangle}\right)_n} & \text{otherwise} \\ F_p \leftarrow \sigma_p\cdot\left(WAP^{\langle n_p \rangle}\right)_n\cdot\left(WAP^{\langle A_p \rangle}\right)_n \\ \min\left[F_p, \left(E_{Np}\right)_n\right] \end{cases}$$

Opneembaar moment op afstand x in mm vanuit plaateinde:

$$M_{Rbpd}(x) := 10^{-6}\left[\sum_{i=0}^{\text{length}\left(WAP^{\langle y_p \rangle}\right)-1} \left[\left[h_c - \left(WAP^{\langle y_p \rangle}\right)_i - E_{y_u}\right]\cdot F_{pu}(\text{Afstand}(x), i)\right]\right]$$

Hoofdstuk 9 Detailleren van de elementen

9.2 Balken

9.2.1.3 Inkorting van op trek belaste langswapening

De belastingscombinaties:

$$FC1 := Lasttabel\left(L, StrookBreedte, p_{k.G1} + p_{k.G2}, p_{k.Q}, LijnPuntLasten, \gamma_{fc1}, 1.0\right)$$

$$FC2 := Lasttabel\left(L, StrookBreedte, p_{k.G1} + p_{k.G2}, p_{k.Q}, LijnPuntLasten, \gamma_{fc2}, 1.0\right)$$

Maatgevend moment op afstand x:

$$M_{Ed}(x) := \max\left(\int_0^x Dwarskracht(L, FC1, z)\, dz, \int_0^x Dwarskracht(L, FC2, z)\, dz\right)$$

Positie van het maximum moment: $\Delta L := 0.05$

$pos := 0.5 \cdot L$

Given

$$\left(M_{Ed}(pos) - M_{Ed}(pos - \Delta L)\right) \cdot \left(M_{Ed}(pos) - M_{Ed}(pos + \Delta L)\right) > 0$$

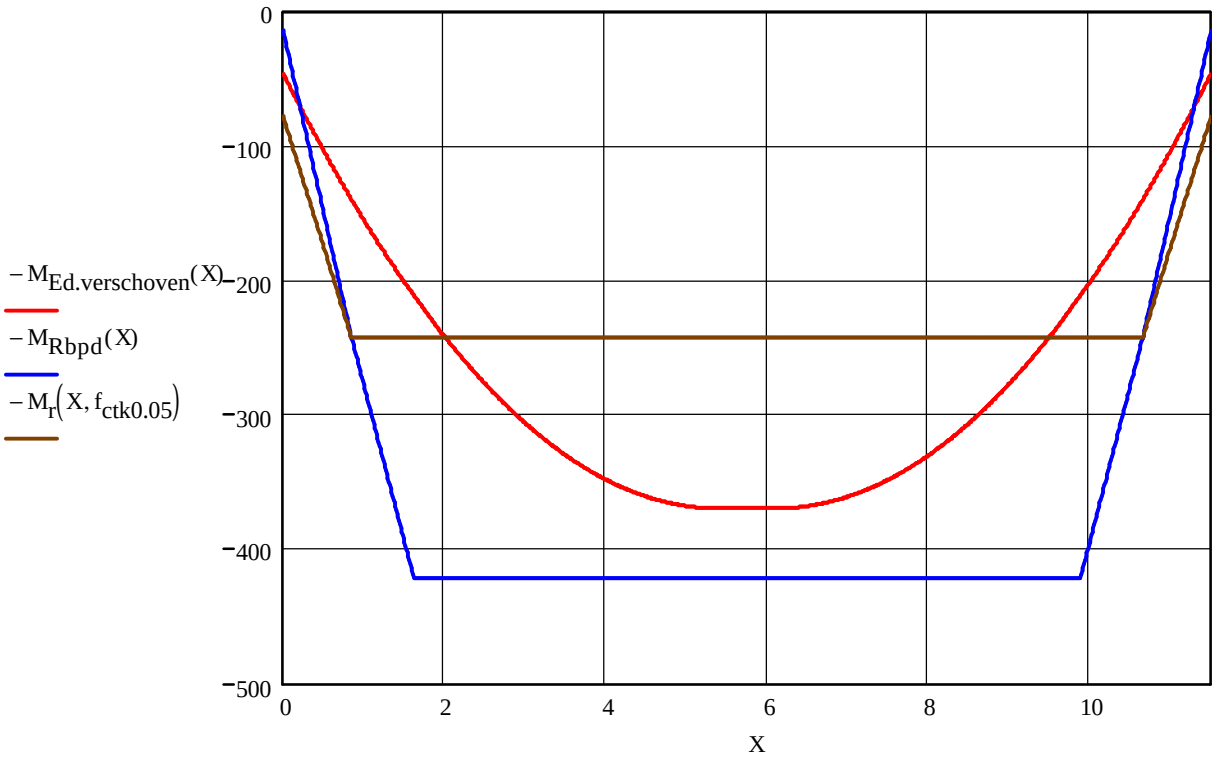
$x_{max} := Find(pos)$ $\quad x_{max} = 5.750$ m

Voor elementen zonder dwarskrachtwapening wordt het door buiging gescheurde deel de M_{Ed}-lijn over een afstand a_1 = d in de ongunstige richting worden verschoven: $a_1 := \frac{d}{1000}$

$$M_{Ed.verschoven}(x) := \begin{cases} M_{Ed}(x + a_1) & \text{if } x < x_{max} - a_1 \\ M_{Ed}(x - a_1) & \text{if } x > x_{max} + a_1 \\ M_{Ed}(x_{max}) & \text{otherwise} \end{cases}$$

De verankering van de voorspanelementen moet worden getoetst in gebieden waarin de betontrekspanning $f_{ctk0.05}$ overschrijdt.

Scheurmoment op afstand x is: $M_r(x, f_{ct}) := \left[\left(f_{ct} + \sigma_c(x)\right) \cdot \frac{I}{Y} + M_{pt2}(x)\right] \cdot 10^{-6}$



Hoofdstuk 7 Bruikbaarheidsgrenstoestanden (BGT)

7.3 Scheurbeheersing

7.3.2 Minimum wapening

Tabel 7.1N: $w_{max} := 0.2$ mm bij frequente belastingscombinatie

7.3.2 Minimum wapening

l(4) In voorgespannen elementen is geen minimumwapening vereist in een doorsnede indien, onder de karakteristieke belastingscombinatie en bij de karakteristieke waarde van de voorspanning, het beton onder druk staat of de absolute waarde van de betontrekspanning kleiner is dan $\sigma_{ct.p}$.

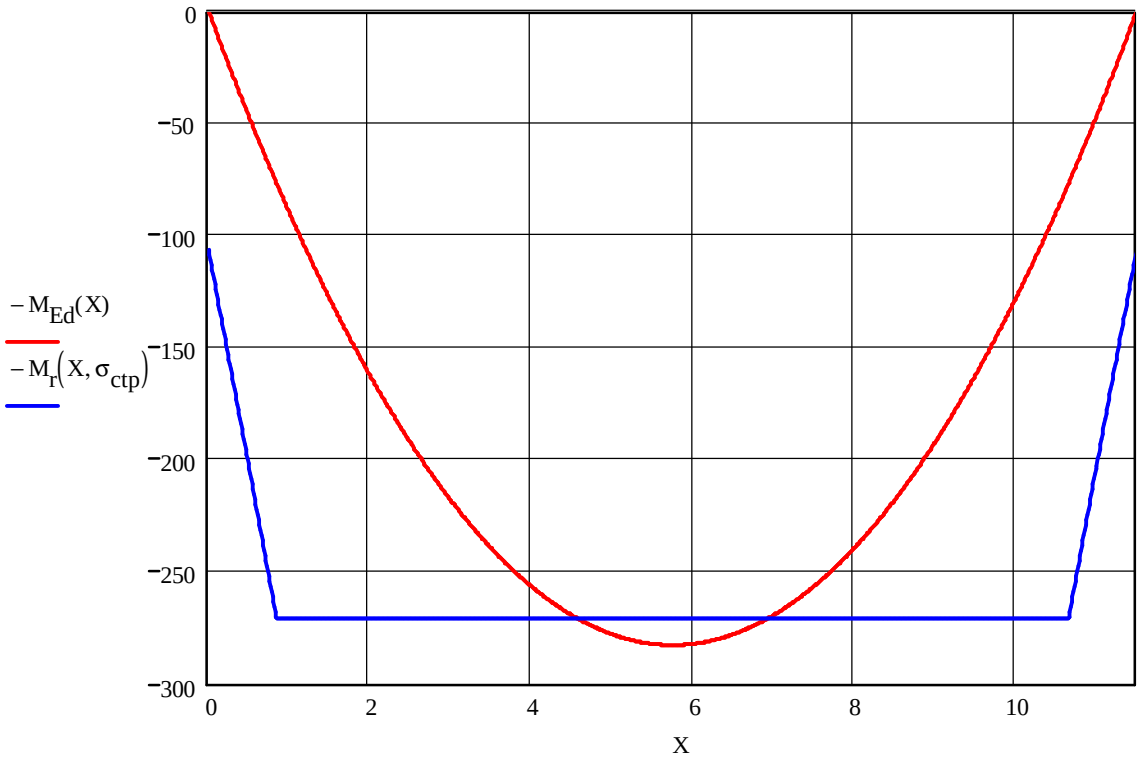
Kararteristieke belastingscombinatie:

$INC := Lasttabel(L, StrookBreedte, p_{k.G1} + p_{k.G2}, p_{k.Q}, LijnPuntLasten, \gamma_{inc}, 1.0)$

Maatgevend moment op afstand x:

$$M_{Ed}(x) := \int_0^x Dwarskracht(L, INC, z)\, dz$$

$\sigma_{ctp} := \alpha_{\sigma ctp} \cdot f_{ctm}$ $\sigma_{ctp} = 3.80$ N/mm²



Positie van het maximum moment: $\Delta L := 0.05$

$pos := 0.5 \cdot L$

Given

$$(M_{Ed}(pos) - M_{Ed}(pos - \Delta L)) \cdot (M_{Ed}(pos) - M_{Ed}(pos + \Delta L)) > 0$$

$x_{max} := \text{Find}(pos)$ $\quad x_{max} = 5.750 \quad m$

Minimum wapening benodigd voor scheurbeheersing volgens formule 7.1. Er is alleen voorspanwapening aanwezig; de formule wordt overeenkomstig (3) aangepast:

Hoogte x_{druk} van het drukspanningsgebied zoals aangegeven in figuur 7.1:

$M_{ct.eff} := M_r(x_{max}, \sigma_{ctp})$ $\quad M_{ct.eff} = 271.0 \quad kNm$

$\sigma_{boven} := \left(M_{pt2}(x_{max}) - M_{ct.eff} \cdot 10^6\right) \cdot \frac{(Y - h_c)}{I} + \sigma_c(x_{max})$ $\quad \sigma_{boven} = 9.97 \quad N/mm^2$

$\sigma_{onder} := \left(M_{pt2}(x_{max}) - M_{ct.eff} \cdot 10^6\right) \cdot \frac{Y}{I} + \sigma_c(x_{max})$ $\quad \sigma_{onder} = -3.80 \quad N/mm^2$

$x_{druk} := \frac{\sigma_{boven}}{\sigma_{boven} - \sigma_{onder}} \cdot h_c$ $\quad x_{druk} = 289.6 \quad mm$

Kleinste waarde van:

$2.5(h_c - d) = 80$

$\frac{(h_c - x_{druk})}{3} = 36.801$

$\frac{h_c}{2} = 200$

$\xi_1 := \sqrt{0.6}$ $\quad E_{cm} = 32655$

$\sigma_{c.p} := \left(M_{pt2}(x_{max}) - M_{ct.eff} \cdot 10^6\right) \cdot \frac{Y - (h_c - d)}{I} + \sigma_c(x_{max})$ $\quad \sigma_{c.p} = -2.70 \quad N/mm^2$

$\Delta\sigma_p := \frac{-E_p}{E_{cm}} \cdot \sigma_{c.p}$ $\quad \Delta\sigma_p = 16 \quad N/mm^2$

$\left(WAP^{\langle n_p \rangle}\right)_0 \cdot \left(WAP^{\langle A_p \rangle}\right)_0 + \left(WAP^{\langle n_p \rangle}\right)_1 \cdot \left(WAP^{\langle A_p \rangle}\right)_1 = 744$

$A_{ct} := \int_0^{h_c - x_{druk}} b(y)\, dy$ $\quad A_{ct} = 100943$

$k_c := 1.0 \qquad k := 1.0 \qquad f_{ct.eff} := f_{ctm}$

$\frac{k_c \cdot k \cdot f_{ct.eff} \cdot A_{ct}}{\Delta\sigma_p} = 23803$

7.3.1(5) Decompressie-eis

De decompressiegrens vereist dat alle delen van de spanelementen met aanhechting of kanalen tenminste 25 mm binnen onder druk staand beton liggen.

$\Delta a_p := 25 \quad mm$

De ligging van de laagst gelegen wapening:

$a_{p.min} := \min\left(WAP^{\langle y_p \rangle}\right)$ $\quad a_{p.min} = 32 \quad mm$

Het decompressiemoment op afstand x is:

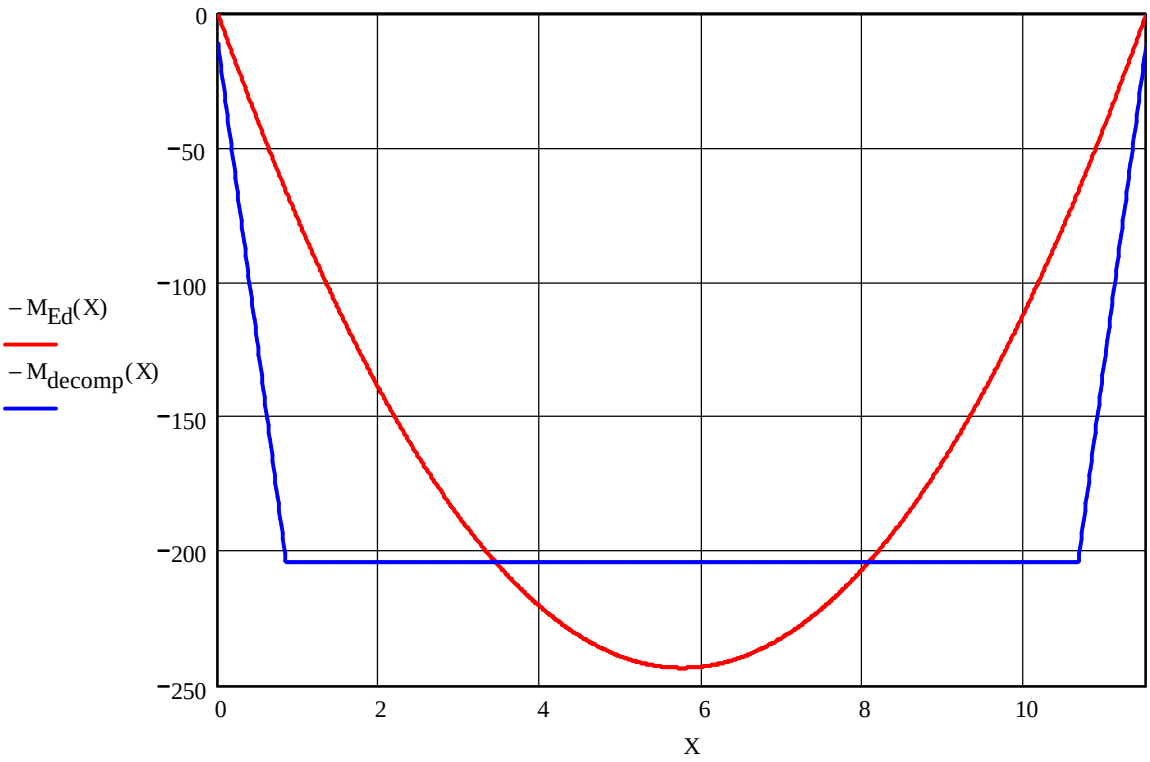
$$M_{decomp}(x) := \left[\sigma_c(x) \cdot \frac{I}{\left(Y - a_{p.min} - \Delta a_p\right)} + M_{pt2}(x)\right] \cdot 10^{-6}$$

Quasi-blijvende belastingcombinatie:

$QUASI := Lasttabel\left(L, StrookBreedte, p_{k.G1} + p_{k.G2}, p_{k.Q}, LijnPuntLasten, \gamma_{inc}, \psi_2\right)$

Maatgevend moment op afstand x:

$$M_{Ed}(x) := \int_0^x Dwarskracht(L, QUASI, z)\, dz$$



Positie van het maximum moment: $\Delta L := 0.05$

$pos := 0.5 \cdot L$

Given

$$\left(M_{Ed}(pos) - M_{Ed}(pos - \Delta L)\right) \cdot \left(M_{Ed}(pos) - M_{Ed}(pos + \Delta L)\right) > 0$$

$x_{max} := Find(pos)$ $\quad x_{max} = 5.750 \quad m$

7.3.4 Berekening van scheurwijdtes

Frequente belastingscombinatie:

$$FREQ := Lasttabel\left(L, StrookBreedte, p_{k.G1} + p_{k.G2}, p_{k.Q}, LijnPuntLasten, \gamma_{inc}, \psi_1\right)$$

Maatgevend moment op afstand x:

$$M_{Ed}(x) := \int_0^x Dwarskracht(L, FREQ, z)\, dz$$

Positie van het maximum moment: $\Delta L := 0.05$

$pos := 0.5 \cdot L$

Given

$$\left(M_{Ed}(pos) - M_{Ed}(pos - \Delta L)\right) \cdot \left(M_{Ed}(pos) - M_{Ed}(pos + \Delta L)\right) > 0$$

$x_{max} := Find(pos)$ $\quad x_{max} = 5.750$ m

Maximum moment frequent lastcombinatie:

$M_{Ed.max} := M_{Ed}(x_{max})$ $\quad M_{Ed.max} = 253.27$ kNm

Bepaling van de staalspanning uitgaande van een gescheurde doorsnede:

Aangenomen wordt dat ξ_1 gelijk is aan ξ volgens 6.8.2: $\xi_1 := 0.6$

Betondrukkracht bij betonstuik ε_c:

$$N_c(x, \varepsilon_c) := \int_0^x \varepsilon_c \cdot \frac{y}{x} \cdot E_{cm} \cdot b(h_c - x + y)\, dy$$

Betondrukmoment t.o.v. neutrale lijn bij betonstuik ε_c:

$$M_c(x, \varepsilon_c) := \int_0^x \varepsilon_c \cdot \frac{y}{x} \cdot E_{cm} \cdot b(h_c - x + y) \cdot y\, dy$$

Toename staalspanning bij betonstuik ε_c:

$$\Delta\sigma_p(x, \varepsilon_c) := \frac{\varepsilon_c}{x} \cdot \left(h_c - x - WAP^{\langle y_p \rangle}\right) \cdot E_p \cdot \xi_1$$

Staalspanning bij betonstuik ε_c:

$$\sigma_p(x, \varepsilon_c) := \sigma_{pmt} + \Delta\sigma_p(x, \varepsilon_c)$$

Staaltrekkracht bij betonstuik ε_c:

$$N_p(x, \varepsilon_c) := \sum \overrightarrow{\left(WAP^{\langle A_p \rangle} \cdot WAP^{\langle n_p \rangle} \cdot \sigma_p(x, \varepsilon_c)\right)}$$

Moment door het voorspanstaal t.o.v. neutrale lijn bij betonstuik ε_c:

$$M_p(x, \varepsilon_c) := \sum \overrightarrow{\left[WAP^{\langle A_p \rangle} \cdot WAP^{\langle n_p \rangle} \cdot \sigma_p(x, \varepsilon_c) \cdot \left(h_c - x - WAP^{\langle y_p \rangle}\right)\right]}$$

start waarden: $x := 0.5 \cdot h_c$ $\varepsilon := 0.00050$

Given

$$\left| N_p(x,\varepsilon) - N_c(x,\varepsilon) \right| < 10$$

$$\left| M_p(x,\varepsilon) + M_c(x,\varepsilon) - M_{Ed.max} \cdot 10^6 \right| < 500$$

$$\begin{pmatrix} x \\ \varepsilon \end{pmatrix} := \text{Find}(x,\varepsilon)$$

Resultaat: $x = 128.5$ $\varepsilon = 0.000421$

Spanningsverandering in het voorspanstaal:

$$\Delta\sigma_p(x,\varepsilon) = \begin{pmatrix} 91.1 \\ 91.8 \\ -33.9 \end{pmatrix}$$

Bepaling ε_{sm} - ε_{cm} volgens formule 7.9:

$$\alpha_e := \frac{E_p}{E_{cm}} \qquad \alpha_e = 5.97$$

$k_t := 0.4$ voor langdurende belasting

$f_{ct.eff} := f_{ctm}$ $f_{ct.eff} = 3.80$

$$h_{c.eff} := \min\left[2.5 \cdot \left(h_c - \min\left(WAP^{\langle y_p \rangle}\right)\right), \frac{h_c - x}{3}, \frac{h_c}{2}\right] \qquad h_{c.eff} = 90.5$$

Wapening in het effectieve oppervlak van het beton onder trek:

$WAP_{eff} :=$
- $r \leftarrow 0$
- for $t \in 0..\text{length}\left(WAP^{\langle A_p \rangle}\right) - 1$
  - if $\left(WAP^{\langle y_p \rangle}\right)_t \le h_{c.eff}$
    - $R^{\langle r \rangle} \leftarrow \left(WAP^T\right)^{\langle t \rangle}$
    - $r \leftarrow r + 1$
- R^T

$$WAP_{eff} = \begin{pmatrix} 22 & 8 & 12.5 & 93 & 34 & 1100 \\ 22 & 0 & 9.3 & 52 & 32 & 1100 \end{pmatrix}$$

Zwaartepunt van de wapening in het effectieve oppervlak van het beton onder trek:

$$y_{p.eff} := \frac{\overrightarrow{\sum\left(WAP_{eff}^{\langle n_p \rangle} \cdot WAP_{eff}^{\langle A_p \rangle} \cdot WAP_{eff}^{\langle y_p \rangle}\right)}}{\overrightarrow{\sum\left(WAP_{eff}^{\langle n_p \rangle} \cdot WAP_{eff}^{\langle A_p \rangle}\right)}} \qquad y_{p.eff} = 34$$

Effectieve oppervlakte van het beton onder trek:

$$A_{c.eff} := \int_0^{h_{c.eff}} b(y)\, dy \qquad A_{c.eff} = 92198$$

$$\rho_{p.eff} := \frac{\sum\overrightarrow{\left(WAP_{eff}^{\langle n_p \rangle} \cdot WAP_{eff}^{\langle A_p \rangle}\right)}}{A_{c.eff}} \qquad \rho_{p.eff} = 0.00807$$

Formule 7.9:

$$\Delta\varepsilon_m := \max\left[0.6\frac{\max\left(\Delta\sigma_p(x,\varepsilon)\right)}{E_p}, \frac{\max\left(\Delta\sigma_p(x,\varepsilon)\right) - k_t \cdot \frac{f_{ct.eff}}{\rho_{p.eff}} \cdot \left(1 + \alpha_e \cdot \rho_{p.eff}\right)}{E_p}\right] \qquad \Delta\varepsilon_m = 0.00028$$

Bepaling van de scheurafstand:

Aanhechteigenschappen van de hechtende wapening:

$k_1 := 1.6$	staven met een feitelijk glad oppervlak (bijv. voorspanelementen)
$k_2 := 0.5$	buiging
$k_3 = 3.4$	NDP
$k_4 = 0.425$	NDP

Dekking op de onderwapening:

$$c_{applied} := \min\left(WAP_{eff}^{\langle y_p \rangle} - 0.5 \cdot WAP_{eff}^{\langle \phi_p \rangle}\right) \qquad c_{applied} = 27.4 \text{ mm}$$

Gelijkwaardige staafdiameter:

$$\phi_{eq} := \frac{\sum\overrightarrow{\left[WAP_{eff}^{\langle n_p \rangle} \cdot \left(WAP_{eff}^{\langle \phi_p \rangle}\right)^2\right]}}{\sum\overrightarrow{\left(WAP_{eff}^{\langle n_p \rangle} \cdot WAP_{eff}^{\langle \phi_p \rangle}\right)}} \qquad \phi_{eq} = 12.5 \text{ mm}$$

Scheurafstand volgens formule 7.11:

$$s_{r.max.11} := k_3 \cdot c_{applied} + \frac{k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \phi_{eq}}{\rho_{p.eff}} \qquad s_{r.max.11} = 619.7 \text{ mm}$$

Scheurafstand volgens formule 7.14:

$$s_{r.max.14} := 1.3 \cdot \left(h_c - x\right) \qquad s_{r.max.14} = 353.0 \text{ mm}$$

Maximum staafafstand voor toepassing formule 7.11:

$$Spacing_{max} := 5 \cdot \left(c_{applied} + \frac{\phi_{eq}}{2}\right) \qquad Spacing_{max} = 168.0 \text{ mm}$$

Toegepaste staafafstand:

$$Spacing_{applied} := \frac{1000\,StrookBreedte}{\sum WAP_{eff}^{\langle n_p \rangle}} \qquad Spacing_{applied} = 150.0 \text{ mm}$$

Scheurafstand:

$s_{r.max} := \text{if}\left(\text{Spacing}_{applied} \le \text{Spacing}_{max}, s_{r.max.11}, s_{r.max.14}\right)$ $s_{r.max} = 619.7$ mm

Scheurwijdte:

$w_k := s_{r.max} \cdot \Delta\varepsilon_m$ $w_k = 0.18$ mm

Toelaatbare scheurwijdte:

$w_{max} := w_{max} \cdot k_x\left(c_{applied}, c_{nom}\right)$ $w_{max} = 0.29$ mm

$\text{Toets}\left(\text{"Scheurwijdte"}, w_k, w_{max}\right) = \text{"Voldoet"}$