VEDLEGG A

Skrevet av: Ina Kjelland og Julie Andrea Tellefsen Waaler

Dimensjonering av bæresystem i betong

Figur 1: Illustrasjon av Privaten Sannan (privatensannan.no)

På toppen av Sannan i Steinkjer bygges det 30 leiligheter med flott beliggenhet. Privaten Sannan ligger på «beste tomta i byen» med gangavstand til sentrum og hyggelige fellesområder rundt. Prosjektet vil være ferdig høsten 2022. Leilighetskomplekset er prosjektert i betong. Bygningen skal bære mye vekt, og må ha tilstrekkelig stivhet og styrke. To studenter fra NTNU har fått i oppgave å dimensjonere de kritiske delene av bygget.

Bakgrunn

Privaten Sannan er prosjektert av Norsk Konstruksjonsrådgivning AS, og bygges av Grande Entreprenør. Oppgaven til studentene var å komme med sin egen løsning på prosjekteringen. Studentene har bakgrunn fra institutt for konstruksjonsteknikk ved NTNU, og ønsket ved oppgaven å fordype seg i dimensjonering av betong.

Eurokode 2

For å sikre at bæresystemet har tilstrekkelig kapasitet, er Norsk Standard brukt til å dimensjonere bygget. NS-EN 1992 – Eurokode 2: Prosjektering av betongkonstruksjoner er brukt til dimensjoneringen, mens NS-EN 1991 – Eurokode 1: Laster på konstruksjon er brukt til å bestemme lastene.

Laster

I et boligbygg som dette vil lastene bestå av nytte-, egen-, snø- og vindlaster. Nyttelastene i bygget vil følge Kategori A i Eurokode 1, som omfatter areal for inneaktiviteter og hjemmeaktiviteter. For arealer i sportsboder, trapper, balkonger og parkeringskjeller er det forventet høyere nyttelaster og det brukes derfor andre kategorier for disse områdene. Egenlastene er beregnet med utgangspunkt i tverrsnittene de ulike komponentene har.

Snø- og vindlast er regnet ut med lastberegningsprogrammet Ove Sletten fra Focus Software.

Dimensjonering

Selve dimensjoneringen er gjort i beregningsprogrammet Mathcad. Her kan variabler lett endres på underveis i dimensjoneringen.

Studentene har sett på ulike konstruksjonsdeler i bæresystemet. Herunder bjelke, vegg, dekke, søyle og fundament. Lastene går gjennom bygget og ned i grunnen, og derfor må de ulike delene tåle denne belastningen.

Det ble gjort kontroller i bruks- og bruddgrense for alle konstruksjonsdeler. For søyle, vegg, bjelke og fundament er brudd- og bruksgrense kontrollert til å være innenfor krav. For dekket var det litt mer komplikasjoner.

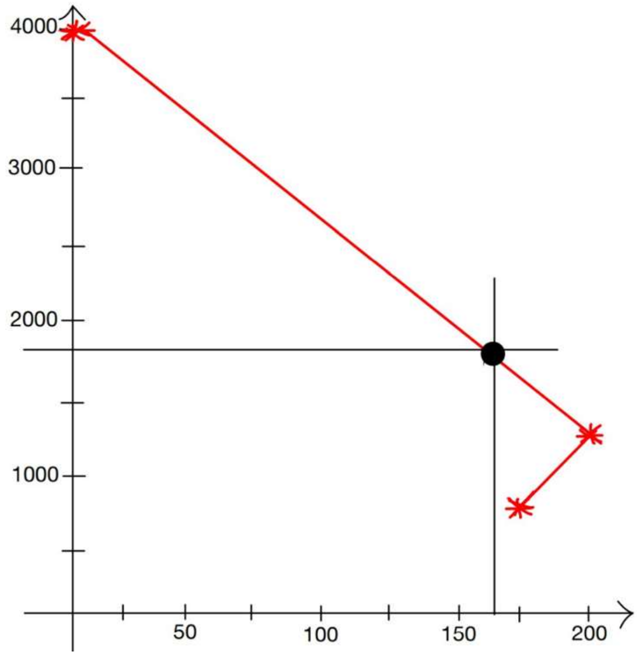
Dekke

Dekket er i motsetning til de andre konstruksjonsdelene ikke prosjektert med kun slakkarmering, men med spennarmering i tillegg. Spennarmering er armering som spennes opp før eller etter innsetting for å øke kapasiteten i betongen. Armeringsspenningen for dekket var noe større enn det som er tillatt, og risskontrollen var på grunn av dette ikke godkjent. Momentkapasiteten til dekket ble fullt utnyttet og det er noe studentene er stolt av å ha fått til. Dette betyr at det ikke er overdimensjonert eller overarmert, men at alt materiale er fullt og helt utnyttet.

På figur 2 er dette vist med at den sorte prikken akkurat ligger inne på kapasitetskurven i m-n diagrammet.

Materialbruk

Studentene skulle gjerne hatt mer tid til å se mer på materialbruken til de ulike konstruksjonsdelene. Det kunne vært mulig å optimalisere armeringsmengden mer enn studentene har fått til, og med det spare stålmateriale.



Figur 2: m-n diagram

VEDLEGG B

NTNU

NOKR Norsk Konstruksjonsrådgivning AS

Institutt for konstruksjonsteknikk

Prosjektnr. 2022-17

Intern veileder: Arne Mathias Selberg

Ekstern kontakt: Bjørnar Melby

Ina Kjelland, Julie Andrea Tellefsen Waaler

Dimensjonering av bæresystem i betong

Design of Load Bearing Structure in Concrete

Prosjektbeskrivelse

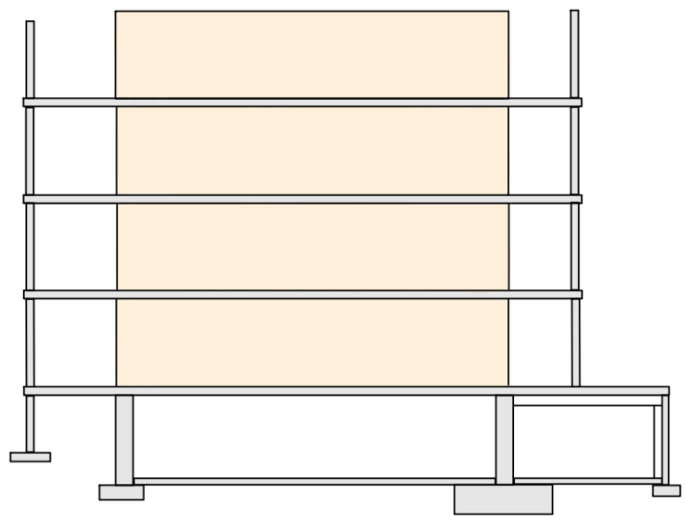
Hensikten med oppgaven er å dimensjonere et bæresystem av betong. Bæresystemet skal i sin helhet bestå av armert betong, hvor de kritiske bæreelementene dimensjoneres.

Arbeid

Kontroll av konstruksjonen ble gjennomført i brudd- og bruksgrensetilstand. Oppgaven viser utregning av konstruksjonsdelene;

- Dekke
- Vegg
- Søyle
- Bjelke
- Fundament

Kritisk snitt

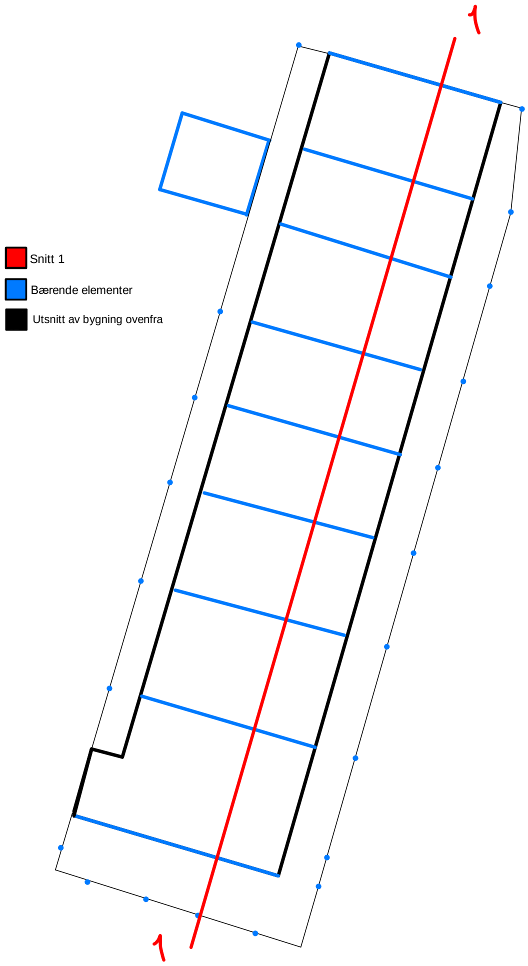


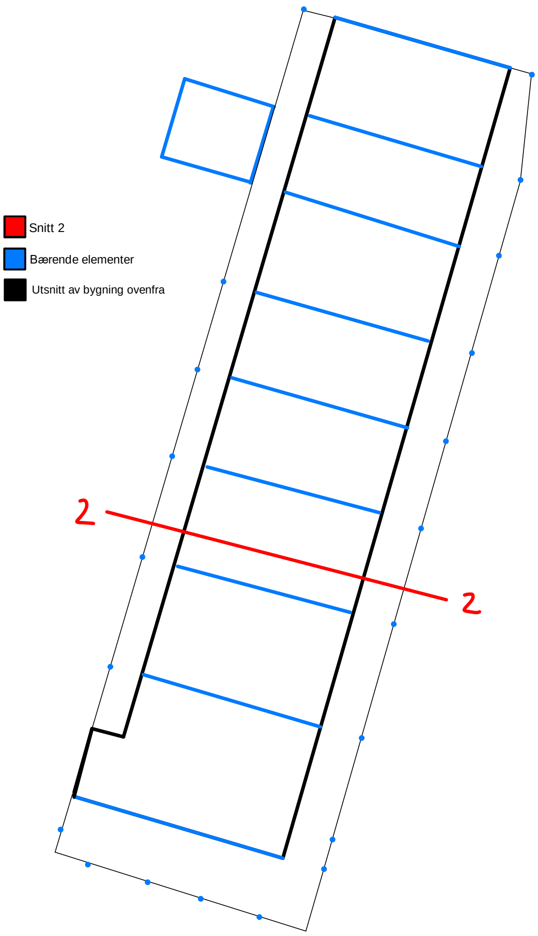
Løsning

Tverrsnittene i bæresystemet er tilstrekkelig store, og alle deler, med unntak av bjelken, får nok kapasitet ved bruk av minste armeringsmengde. Dekket er maksimalt utnyttet med tanke på momentkapasitet i oppspenningstilstanden.

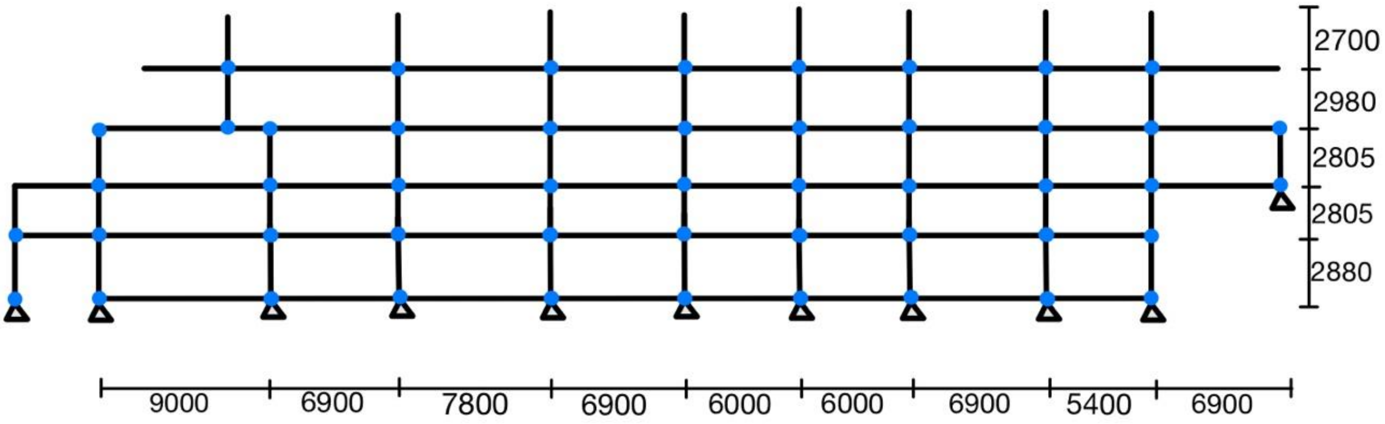
VEDLEGG C

Bygget sett ovenfra:

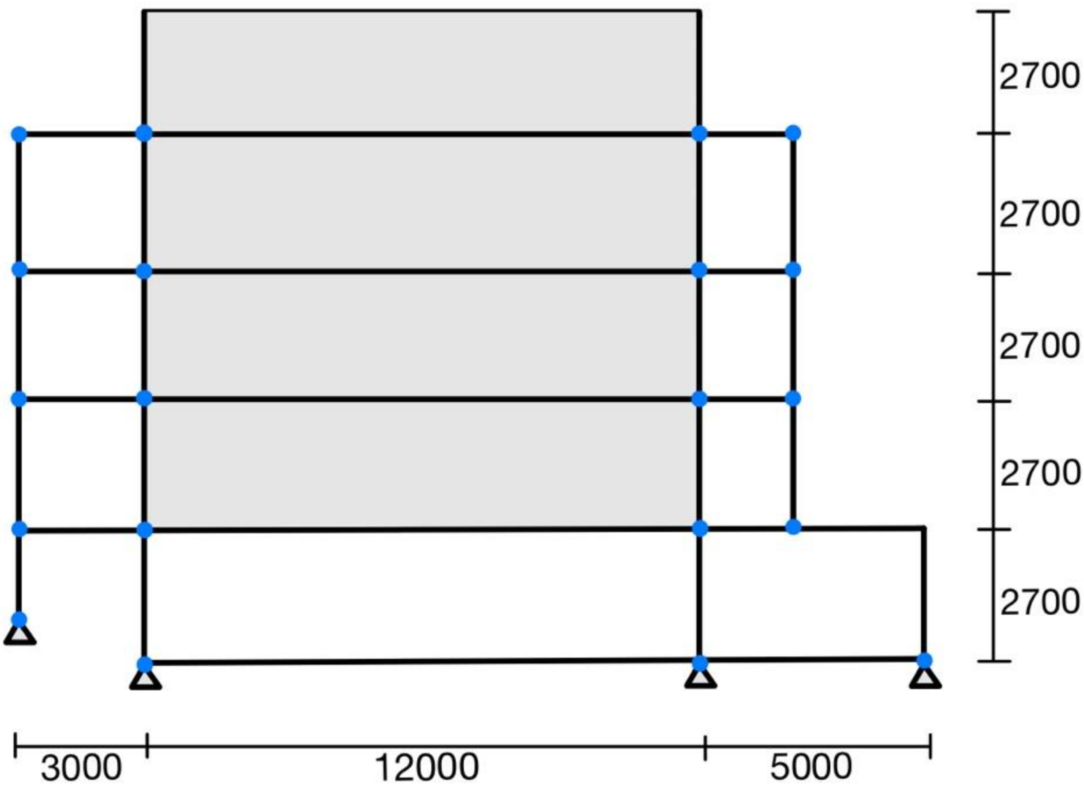




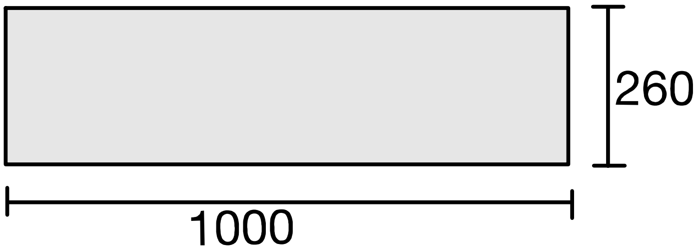
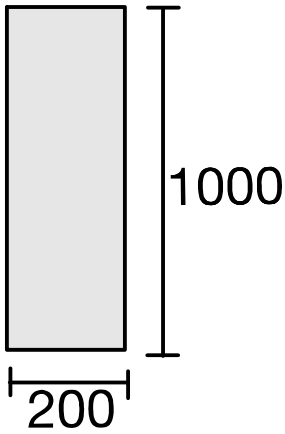
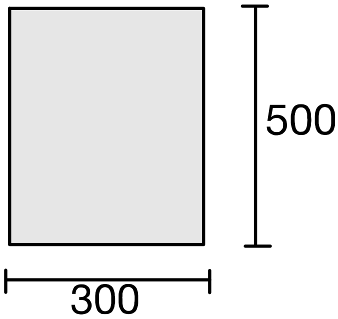
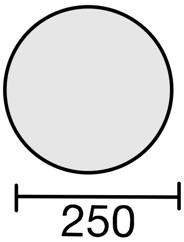
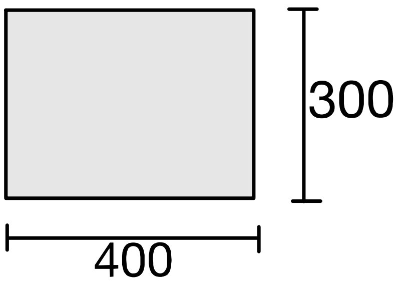
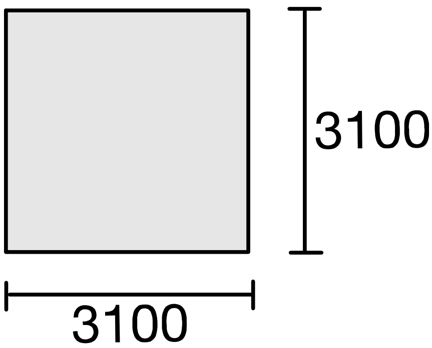
Statisk system snitt 1, langside:



Statisk system snitt 2, kortside:



VEDLEGG D

DEKKE	
VEGG	
FIRKANTET SØYLE	
RUND SØYLE	
BJELKE	
FUNDAMENT	

VEDLEGG E

Karakteristiske laster

Tyngdetetthet: $\gamma_b := 25\,\frac{kN}{m^3}$ Lengde på søyler: $L_s := 2700mm$

Dekke:

$b_{dekke} := 1000mm$

$h_{dekke} := 260mm$

$g_{k.dekke} := \gamma_b \cdot b_{dekke} \cdot h_{dekke} = 6.5 \cdot \frac{kN}{m}$

Rund søyle:

$d_{søyle} := 250mm$

$g_{k.rund.søyle} := \gamma_b \cdot \pi \cdot \left(\frac{d_{søyle}}{2}\right)^2 \cdot L_s = 3.313 \cdot kN$

Firkantet søyle:

$b_{søyle} := 300mm$

$h_{søyle} := 500mm$

$g_{k.firkantet.søyle} := \gamma_b \cdot b_{søyle} \cdot h_{søyle} \cdot L_s = 10.125\,kN$

Vegg:

$b_{vegg} := 200mm$

$h_{vegg} := 1000mm$

$g_{k.vegg} := \gamma_b \cdot b_{vegg} \cdot h_{vegg} = 5\,\frac{kN}{m}$

Bjelke:

$b_{bjelke} := 400mm$

$h_{bjelke} := 300mm$

$g_{k.bjelke} := \gamma_b \cdot b_{bjelke} \cdot h_{bjelke} = 3\,\frac{kN}{m}$

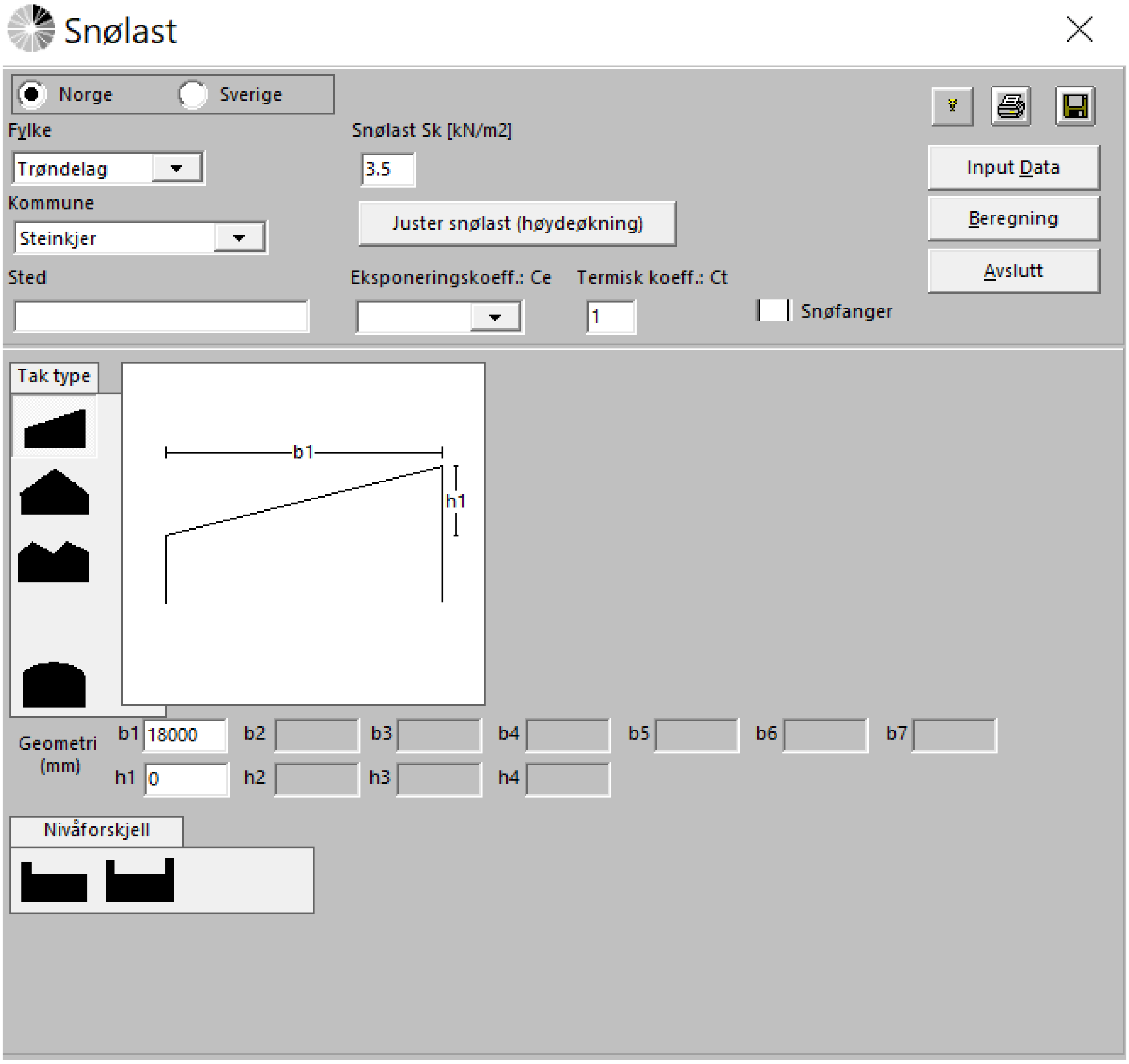
Fundament:

$b_{fundament} := 3100mm$

$g_{k.fundament} := \gamma_b \cdot b_{fundament} = 77.5\,\frac{kN}{m^2}$

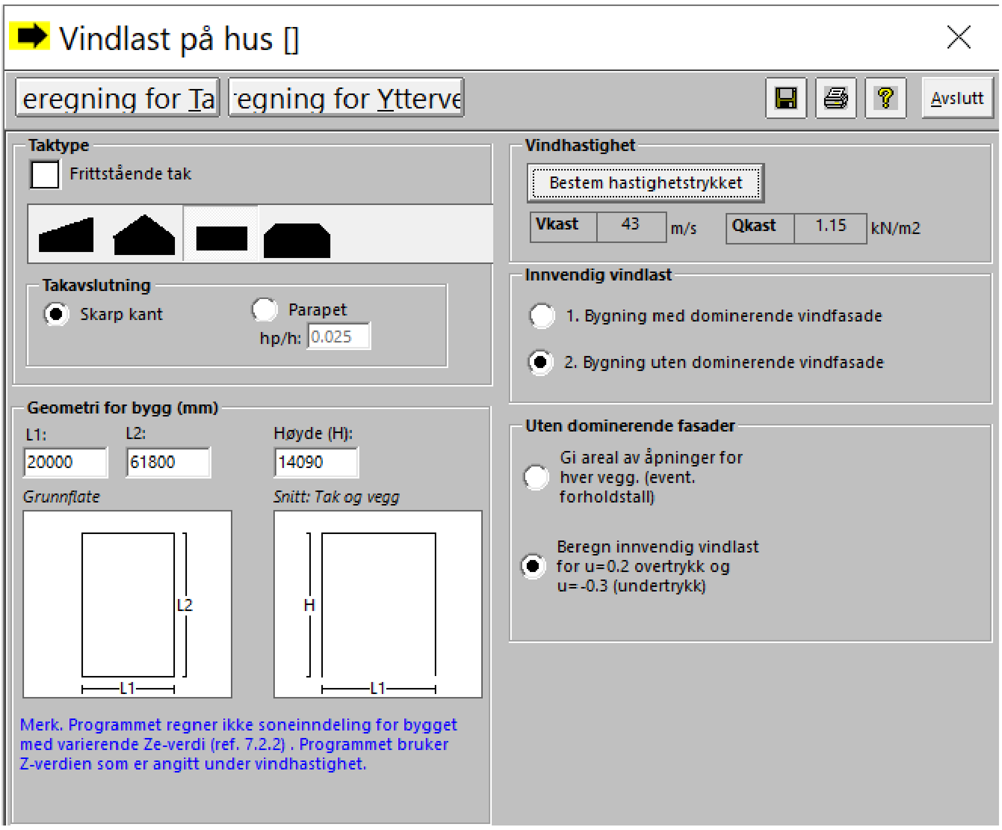
SNØLAST

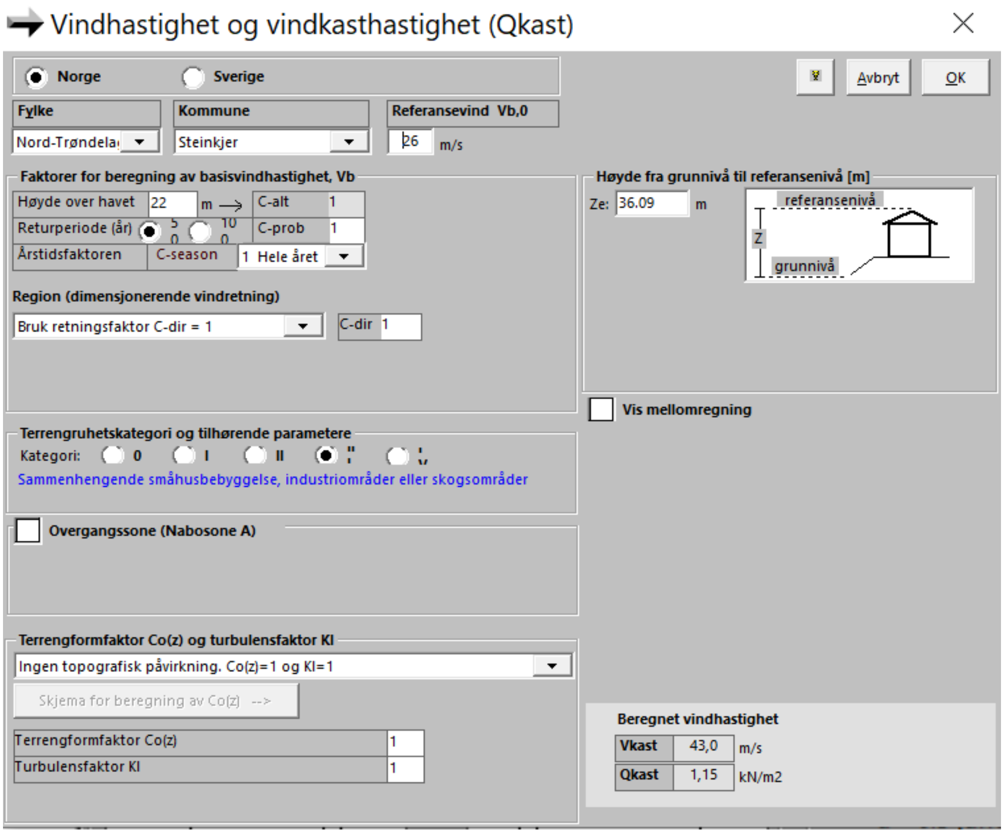
Beregnet i Ove Sletten Lastberegning



VINDLAST

Beregnet i Ove Sletten Lastberegning

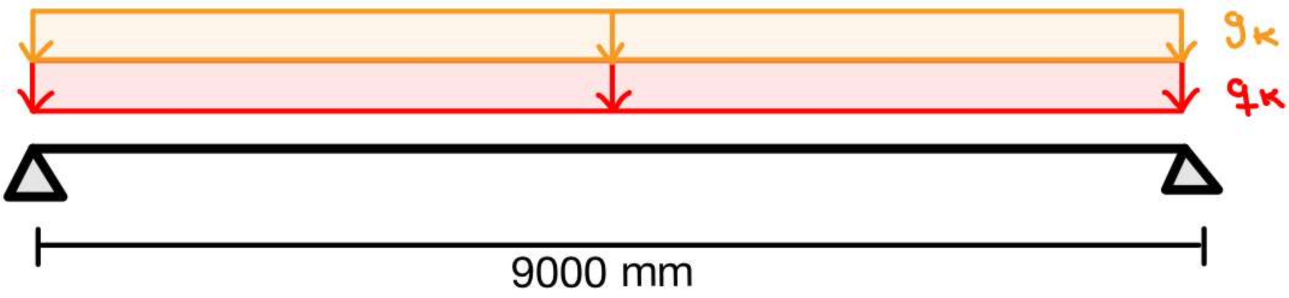




VEDLEGG F

VEDLEGG F.1

Statisk system dekket:



VEDLEGG F.2

Armeringsmengde dekke

$f_{yk} := 500 \frac{N}{mm^2}$ $f_{cd} := 17 \frac{N}{mm^2}$ $f_{yd} := 434 \frac{N}{mm^2}$

EC2 tab.3.1

$f_{ck} := 30 \frac{N}{mm^2}$ $f_{cm} := 38 \frac{N}{mm^2}$ $f_{ctm} := 2.9 \frac{N}{mm^2}$

$b := 1000mm$

$h := 260mm$

$Ø := 16mm$

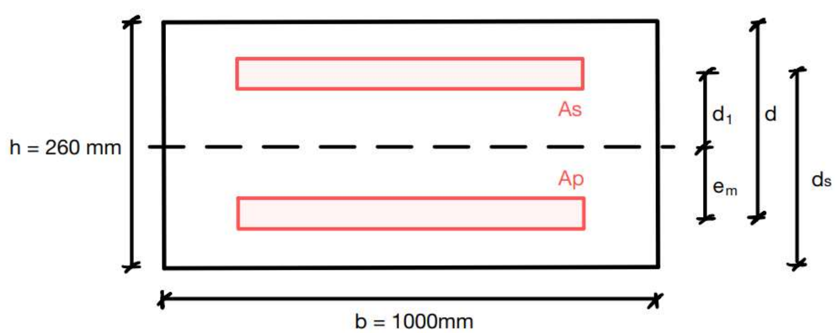
$e_m := 89.35mm$

$C_{nom} := 35mm$

$$d_1 := \frac{h}{2} - C_{nom} - \frac{Ø}{2} = 0.087\,m$$

$$d_s := h - C_{nom} - \frac{Ø}{2} = 0.217\,m$$

$$d := h - C_{nom} - \frac{11.3 \cdot mm}{2} = 0.219\,m$$



Minstearemering

$$A_{s.min} := 0.26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b \cdot d_s = 327.236 \cdot mm^2$$ min 0.0013*b*d EC2 9.2.1.1

Faktisk armering etter EC2:

$$A_s := \frac{109.35 \cdot 10^6 N \cdot mm}{0.835 \cdot d_s \cdot f_{yd}} = 1.391 \times 10^3 \cdot mm^2$$

$$n := \frac{A_s}{\left(\frac{Ø}{2}\right)^2 \cdot \pi} = 6.916$$ 7 jern

$$a_h := 2 \cdot Ø$$

$$a_{h.nødv} := 2 \cdot C_{nom} + 7 \cdot Ø + 6 \cdot a_h = 0.374\,m$$

Denne er <1000mm, dvs OK

$$A_s := 7 \cdot \pi \cdot \left(\frac{Ø}{2}\right)^2 = 1.407 \times 10^3 \cdot mm^2$$

Skjær og momentkapasitet dekke:

$b := 1000mm$

$h := 260mm$

$L := 9m$

$Ø_{skjær} := 8mm$

$Ø_p := 11.3mm$

$C_{nom} := 35mm$

$\gamma_s := 1.15$

$\gamma_c := 1.5$

$\alpha_c := 0.85$

$k_2 := 0.18$

$A_c := b \cdot h = 2.6 \times 10^5 \cdot mm^2$

$d := h - C_{nom} - \frac{Ø_p}{2} = 219.35 \cdot mm$

$q_d := 10.8 \frac{kN}{m}$

Spennarmering:

$A_{p.tau} := 100mm^2$

$A_p := A_{p.tau} \cdot 14 = 1.4 \times 10^3 \cdot mm^2$

$E_p := 1.95 \cdot 10^5 \frac{N}{mm^2}$

$f_{pk} := 1700 \frac{N}{mm^2}$

$f_{p01k} := 1550 \frac{N}{mm^2}$

$f_{pd} := \frac{f_{p01k}}{\gamma_s} = 1.348 \times 10^3 \cdot \frac{N}{mm^2}$

Betong:

$f_{ck} := 30 \frac{N}{mm^2}$

$f_{cd} := \alpha_c \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 17 \cdot \frac{N}{mm^2}$

Armering:

$f_{yk} := 500 \frac{N}{mm^2}$

$f_{yd} := 434 \frac{N}{mm^2}$

Tøyning:

$\varepsilon_{cu} := 3.5 \cdot 10^{-3}$

$\varepsilon_{p0} := 6.3 \cdot 10^{-3}$

Trykksonehøydefaktor for balansert spennarmering:

$$\alpha_b := \frac{\varepsilon_{cu}}{\frac{f_{pd}}{E_p} - \varepsilon_{p0} + \varepsilon_{cu}} = 0.851$$ Sørensen (7.7)

Balansert spennarmering:

$$A_{pb} := 0.8 \cdot \alpha_b \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{pd}} = 1.884 \times 10^3 \cdot mm^2$$ Sørensen (7.8)

Ap < Apb, dvs spennarmeringen flyter

Reell alfa:

$$\alpha := f_{pd} \cdot \frac{A_p}{0.8 \cdot f_{cd} \cdot b \cdot d} = 0.633$$ Sørensen (7.9)

Momentkapasitet:

$$M_{Rd} := 0.8 \cdot (1 - 0.4 \cdot \alpha) \alpha \cdot b \cdot d^2 f_{cd} = 309.18 \cdot kN \cdot m$$ Sørensen (7.5)

Opptredende moment:

$$M_{Ed} := \frac{q_d \cdot L^2}{8} = 109.35 \, kN \cdot m$$

MRd > MEd, kapasiteten er ok og det trengs ikke å trykkarmere

Skjærkapasitet:

Dimensjonerende skjær:

$$V_{Ed} := \frac{q_d \cdot L}{2} = 48.6 \cdot kN$$

Redusert dimensjonerende skjær: Forsp. virker positivt

$$V_{Ed.red} := V_{Ed} - q_d \cdot d = 46.231 \cdot kN$$

Ytre aksial lastpåvirkning:

$\gamma_{P.fav} := 0.9$ EC-NA-2.4.2.2(1)

$N_{Ed} := 120kN \cdot 14 \cdot \gamma_{P.fav} = 1.512 \times 10^{3} \cdot kN$

Skjærtrykkkapasitet:

$\sigma_{cp} := \frac{N_{Ed}}{A_c} = 5.815 \cdot \frac{N}{mm^2}$ $\sigma_{cp.maks} := 0.2 \cdot f_{cd} = 3.4 \cdot \frac{N}{mm^2}$

σ_{cp} er ikke OK, bruker $\sigma_{cp.maks}$ videre

EC2, 6.2.2(1) dimensjonerende skjærstrekkkapasitet
inkludert virkning av aksialkraft

$k := 1 + \sqrt{\frac{200mm}{d}} = 1.955$ bruker 1.955, siden den er mindre enn 2

$\rho_L := \frac{A_p}{b \cdot d} = 6.382 \times 10^{-3}$ bruker denne siden den er mindre enn 0.002

$C_{Rd.c} := \frac{k_2}{\gamma_c} = 0.12$

$k_1 := 0.15$

$V_{Rd.c} := \left[C_{Rd.c} \cdot k \cdot \left(100 \cdot \rho_L \cdot 30\right)^{\frac{1}{3}} + 0.15 \cdot 0.462\right] \frac{N}{mm^2} \cdot b \cdot d = 152.861 \cdot kN$ Sørensen (7.15)

$V_{Rd.c} = 152.861 \cdot kN$

med minsteverdi

$v_{min} := 0.035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot 30^{\frac{1}{2}} \frac{N}{mm^2} = 0.524 \cdot \frac{N}{mm^2}$

$V_{Rd.c.min} := \left(v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp.maks}\right) \cdot b \cdot d = 226.801 \cdot kN$

Bruker $V_{Rd.c.min}$ videre siden den er større enn $V_{Rd.c}$

$V_{Rd.c.min} = 226.801 \cdot kN$

$V_{Ed.red} = 46.231 \cdot kN$

$V_{Rd.c.min} > V_{Ed.red}$

Maks skjærkraftkapasitet

$f_{ck} := 30$ $f_{yk} := 500$

$v_1 := 0.6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right)$ $z := 0.835 \cdot d$ $\Theta := \frac{\pi}{8}$

$V_{Rd.max} := v_1 \cdot f_{cd} \cdot b \cdot z \cdot \frac{1}{\cot(\Theta) + \tan(\Theta)} = 581.249 \cdot kN$ > $V_{Ed} = 48.6 \cdot kN$

Kapasiteten er OK, og det er ikke behov for skjær armering

Minstekrav: NA 9.2.2 (5)

$\rho_{w.min} := 0.1 \cdot \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}}$

$p_w := \frac{A_{s.w}}{s_{L.max} \cdot b}$

$s_{L.max} := 0.6 \cdot h = 0.156 m$

$A_{s.w} := \rho_{w.min} \cdot s_{L.max} \cdot b = 170.889 \cdot mm^2$

$n := \frac{A_{s.w}}{\left(\frac{Ø_{skjær}}{2}\right)^2 \cdot \pi} = 3.4$ 4 jern

$A_{s.w.faktisk} := 4 \cdot \left(\frac{Ø_{skjær}}{2}\right)^2 \cdot \pi = 201.062 \cdot mm^2$

Kontroll av oppspenningstilstanden:

$f_{ck} := 30MPa$

$f_{cm} := 38MPa$

$f_{ctm} := 2.9MPa$

$f_{yk} := 500MPa$

$f_{p0.1k} := 1550MPa$

$\alpha_c := 0.85$

$\gamma_c := 1.5$

$\gamma_s := 1.15$

$\gamma_{p.fav} := 1.1$

$E_s := 210000MPa$

$E_p := 195000MPa$

$A_p := 1400mm^2$

Betongens trykkfasthet etter 5 dager:

$$\beta_{cc.t} := e^{s \cdot \left[1 - \left(\frac{28}{t}\right)^{0.5}\right]}$$

EC2 3.1.2(6)

$t := 5$

$s := 0.25$

Sementklasse N, EC2 3.1.2

$$\beta_{cc.3} := e^{s \cdot \left[1 - \left(\frac{28}{t}\right)^{0.5}\right]} = 0.711$$

$$f_{cm.t} := \beta_{cc.t} \cdot f_{cm}$$

$$f_{cm.3} := \beta_{cc.3} \cdot f_{cm} = 27.004 \cdot \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{ck.t} := f_{cm.t} - 8$$

$$f_{ck.3} := f_{cm.3} - 8 \frac{N}{mm^2} = 19.004 \cdot \frac{N}{mm^2}$$

Dimensjonerende verdier:

$$f_{cd} := \alpha_c \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 17 \cdot MPa$$

$$f_{cd.3} := \alpha_c \cdot \frac{f_{ck.3}}{\gamma_c} = 10.769 \cdot MPa$$

$$f_{yd} := \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = 434.783 \cdot MPa$$

$$f_{pd} := \frac{f_{p0.1k}}{\gamma_s} = 1.348 \times 10^3 \cdot MPa$$

Laster ved transport, etter 5 dager:

$P := 120 \cdot 14kN \quad e_m := 0.08935m$

$N_{Ed} := \gamma_{p.fav} \cdot P = 1.848 \times 10^3 \cdot kN$ EC2 NA 2.4.2.2

$M_{Ed} := N_{Ed} \cdot e_m = 165.119 \cdot kN \cdot m$

$C_{nom} := 35mm$

$Ø := 16mm$

$b := 1000mm$

$h := 260mm$

$$d_1 := \frac{h}{2} - C_{nom} - \frac{Ø}{2} = 0.087\,m$$

$$d_s := h - C_{nom} - \frac{Ø}{2} = 0.217\,m$$

$$d := h - C_{nom} - \frac{11.3mm}{2} = 0.219\,m$$

$A_s := 7 \cdot \pi \cdot \left(\frac{Ø}{2}\right)^2 = 1.407 \times 10^3 \cdot mm^2$ Fra vedlegg om armeringsmengde dekke

Kontroll av oppspenningstilstand

Ser på tre tøyningstilstander:

1) Rent trykk

$\varepsilon_s := 0.002$

$\varepsilon_p := 0.002$

$\varepsilon_c := 0.002$ EC2 tab.3.1

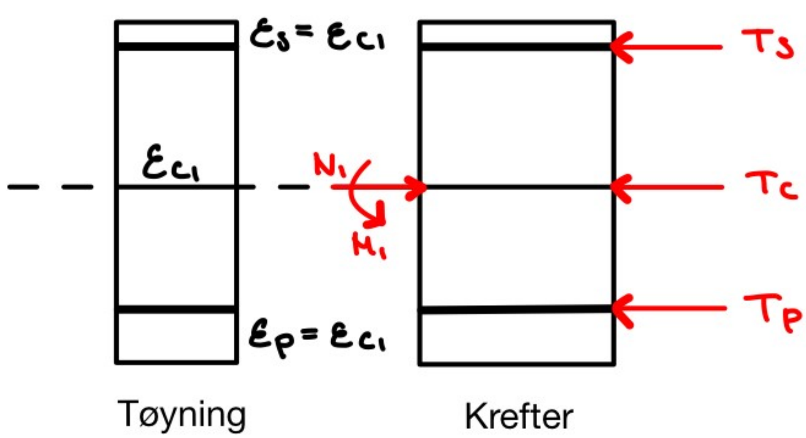
$T_c := f_{cd.3} \cdot b \cdot h = 2.8 \times 10^3 \cdot kN$

$T_s := A_s \cdot E_s \cdot \varepsilon_s = 591.122 \cdot kN$

$T_p := A_p \cdot E_p \cdot \varepsilon_p = 546 \cdot kN$

$N_1 := T_c + T_s + T_p = 3.937 \times 10^3 \cdot kN$

$M_1 := T_p \cdot e_m - T_s \cdot d_1 = -2.643 \cdot kN \cdot m$



2) Balansepunkt

$\varepsilon_c := 0.0035$ $\varepsilon_s := \frac{f_{yd}}{E_s} = 2.07 \times 10^{-3}$

$\varepsilon_{cu} := \varepsilon_c$

$\alpha := \frac{\varepsilon_{cu}}{\varepsilon_s + \varepsilon_{cu}} = 0.628$

$T_c := 0.8 \cdot \alpha \cdot d_s \cdot b \cdot f_{cd.3} = 1.175 \times 10^3 \cdot kN$

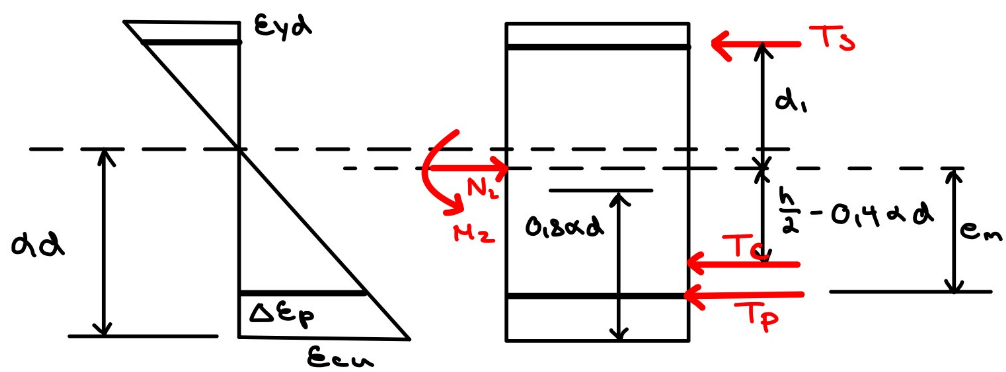
$T_s := f_{yd} \cdot A_s = 611.928 \cdot kN$

$\varepsilon_p := \frac{\varepsilon_{cu}}{\alpha \cdot d_s} \cdot \left[\alpha \cdot d_s - (h - d)\right] = 2.457 \times 10^{-3}$

$T_p := A_p \cdot E_p \cdot \varepsilon_p = 670.628 \cdot kN$

$N_2 := T_c + T_p - T_s = 1.233 \times 10^3 \cdot kN$

$M_2 := T_s \cdot d_1 + T_p \cdot e_m + T_c \cdot \left(\frac{h}{2} - 0.4 \cdot \alpha \cdot d_s\right) = 201.798 \cdot kN \cdot m$



Tøyning Krefter

3) $\varepsilon_c = \varepsilon_{cu}$ $\varepsilon_s = 2 \cdot \varepsilon_{yk}$

$\varepsilon_c = 3.5 \times 10^{-3}$

$\varepsilon_{cu} = 3.5 \times 10^{-3}$

$\varepsilon_{yk} := \frac{f_{yk}}{E_s} = 2.381 \times 10^{-3}$

$\varepsilon_s := 2 \cdot \varepsilon_{yk} = 4.762 \times 10^{-3}$

$\alpha := \frac{\varepsilon_{cu}}{\varepsilon_s + \varepsilon_{cu}} = 0.424$

$\varepsilon_p := \frac{\varepsilon_{cu}}{\alpha \cdot d_s} \cdot \left[\alpha \cdot d_s - (h - d)\right] = 1.952 \times 10^{-3}$

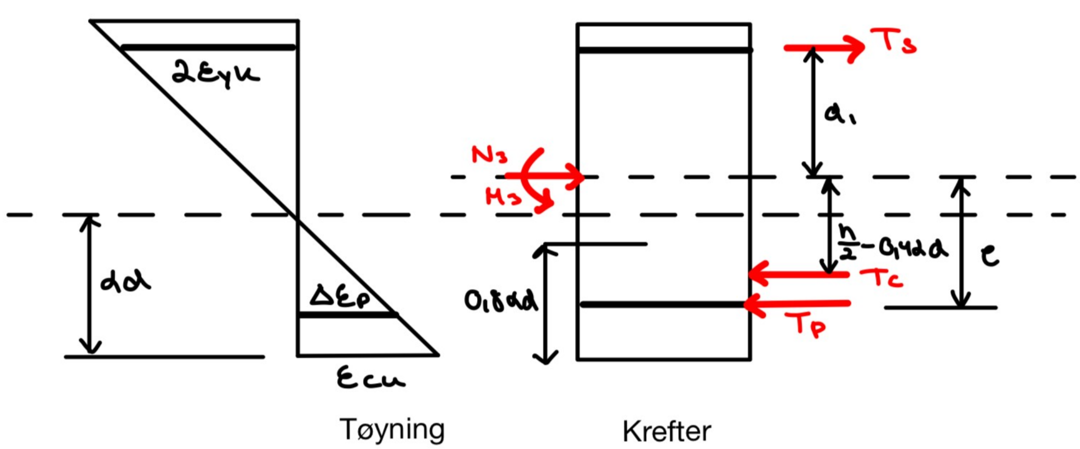
$T_p := A_p \cdot \varepsilon_p \cdot E_p = 532.984 \cdot kN$

$T_c := 0.8 \cdot \alpha \cdot d_s \cdot b \cdot f_{cd.3} = 791.965 \cdot kN$

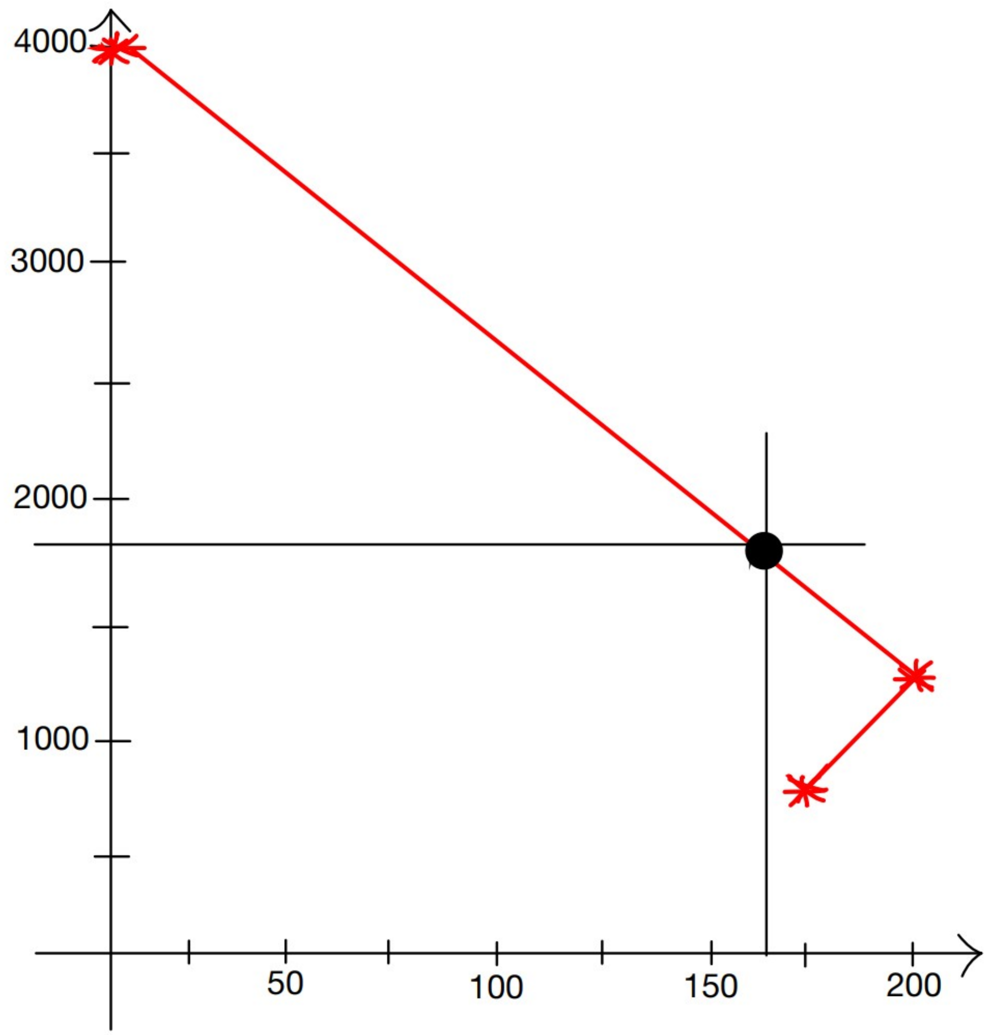
$T_s := A_s \cdot f_{yd} = 611.928 \cdot kN$

$N_3 := T_p + T_c - T_s = 713.021 \cdot kN$

$M_3 := T_p \cdot e_m + T_s \cdot d_1 + T_c \cdot \left(\frac{h}{2} - 0.4 \cdot \alpha \cdot d_s\right) = 174.694 \cdot (kN \cdot m)$



Tegnet opp M-N-diagram for de gitte verdier



Kontroll av heft og forankring - dekke EC2 8.4.2(2)

$V_{Ed} := 48.5kN \quad \gamma_c := 1.5 \quad \Theta := \frac{\pi}{8} \quad A_{s.faktisk} := 1407mm^2$

$f_{ctk.0.05} := 2\frac{N}{mm^2}$ tabell 3.1

$$f_{ctd} := 0.85\cdot\frac{f_{ctk.0.05}}{\gamma_c} = 1.133\cdot\frac{N}{mm^2}$$

$$f_{bd} := 2.25\cdot f_{ctd} = 2.55\cdot\frac{N}{mm^2}$$

$$\Delta F_{td} := 0.5\cdot V_{Ed}\cdot\cot(\Theta)$$

$$\sigma_{sd} := \frac{\Delta F_{td}}{A_{s.faktisk}} = 41.61\cdot\frac{N}{mm^2}$$

Beregningsmessig nødvendig forankringslengde

$Ø := 16mm$

$$L_{BD} := 0.25\cdot Ø\cdot\frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = 65.27\cdot mm$$

$L_{b.min} := 10\cdot Ø = 160\cdot mm$ Nødvendig forankringslengde

Tap av spennkraft:

Låsetap:

$\Delta L_{lås} := 5mm$ $\quad L_1 := 9000mm$ $\quad P_{jekk} := 120kN \cdot 14$

$E_s := 2.1 \cdot 10^5 \frac{N}{mm^2}$ $\quad A_p := 1400mm^2$

$$\Delta\varepsilon_{lås} := \frac{\Delta L_{lås}}{L_1} = 5.556 \times 10^{-4}$$ Sørensen (5.1)

$$\varepsilon_{p.jekk} := \frac{P_{jekk}}{E_s \cdot A_p} = 5.714 \times 10^{-3}$$ Sørensen (5.2)

Prosentvis låsetap:

$$Låsetap := \frac{\Delta\varepsilon_{lås} \cdot 100}{\varepsilon_{p.jekk}} = 9.722$$ Sørensen (5.3)

Spennkrafttap pga. låsning:

$$\Delta P_{lås} := \frac{\Delta\varepsilon_{lås} \cdot P_{jekk}}{\varepsilon_{p.jekk}} = 1.633 \times 10^5 N$$ Sørensen (5.4)

Friksjonstap:

Friksjonstap pga. tiltenkt krumning

$\mu := 0.2$ $\quad e_m := 89.35 \cdot mm$ $\quad K := 0.01 \cdot m^{-1}$ $\quad P_{max} := P_{jekk}$

Spennkablens hening ved endene i radianer:

$$\theta_A := \frac{(2 \cdot e_m)}{\frac{L_1}{2}} = 0.04$$

$\theta_B := \theta_A$

Spennkablens helning i midtsnittet i radianer:

$\theta_m := 0$

Spennkabelens vinkelendring:

I midtsnittet:

$x_1 := 4.4m$

$\theta_{midt} := \theta_A - \theta_m = 0.04$

Ved passiv forankring:

$\theta_{ende} := \theta_A + \theta_B = 0.079$

Kraft i spennarmeringen i avstand x fra enden med jekk:

$P_x := P_{max} \cdot [1 - \mu \cdot (\theta + K \cdot x)]$ Sørensen (5.12)

$P_{4.5} := P_{max} \cdot \left[1 - \mu \cdot \left(\theta_{midt} + K \cdot x_1\right)\right] = 1.652 \times 10^3 \cdot kN$

$Tap_{midt} := 1.7\%$

$P_9 := P_{max} \cdot \left[1 - \mu \cdot \left(\theta_{ende} + K \cdot x_1\right)\right] = 1.639 \times 10^6 N$

$Tap_{ende} := 2.5\%$

Geometri:

$b := 1000mm$ $\quad Ø_p := 11.3mm$

$h := 260mm$ $\quad C_{nom} := 35mm$

$d_s := 217mm$

$A_c := b \cdot h = 2.6 \times 10^5 \cdot mm^2$

Spennarmering:

$A_{p.tau} := 100mm^2$

$A_p := A_{p.tau} \cdot 14 = 1.4 \times 10^3 \cdot mm^2$

$E_p := 1.95 \cdot 10^5 MPa$ $\quad E_s := 2.1 \cdot 10^5 MPa$

Betong:

$f_{cm} := 38\ MPa$ $\quad f_{ck} := 30\ MPa$

EC2 B.1

$RH := 30$ Antagelse om at relativ luftfuktighet er ca 30 %

$$\alpha_1 := \left(\frac{35}{38}\right)^{0.7} = 0.944$$

$$\alpha_2 := \left(\frac{35}{38}\right)^{0.2} = 0.984$$

$$u := 2 \cdot 260 + 2 \cdot 1000 = 2.52 \times 10^3$$

$$h_0 := 2 \cdot \frac{260 \cdot 1000}{u} = 206.349$$

$$\varphi_{RH} := \left[1 + \frac{\left(1 - \frac{RH}{100}\right) \cdot \alpha_1}{0.1 \cdot h_0^{\frac{1}{3}}}\right] \cdot \alpha_2 = 2.084$$

$$\beta_{f.cm} := \frac{16.8}{\sqrt{f_{cm}}} = 2.725$$

$$\beta_{28} := \frac{1}{\left(0.1 + 28^{0.2}\right)} = 0.488$$

$$\beta_3 := \frac{1}{\left(0.1 + 3^{0.2}\right)} = 0.743$$

$\varphi_{28} := \varphi_{RH} \cdot \beta_{28} \cdot \beta_{f.cm} = 2.774$

$\varphi_3 := \varphi_{RH} \cdot \beta_3 \cdot \beta_{f.cm} = 4.22$

KRYP:

$E_{cm} := 33GPa$ Tab. 3.1

$E_{cL.28} := \dfrac{E_{cm}}{1 + \varphi_{28}} = 8.744 \times 10^3 \cdot MPa$ Sørensen del 2 (6.13)

$E_{cL.3} := \dfrac{E_{cm}}{1 + \varphi_3} = 6.322 \times 10^3 \cdot MPa$ Sørensen del 2 (6.13)

$g_d := 6.5 \dfrac{kN}{m} \cdot 1.2 = 7.8 \cdot \dfrac{kN}{m}$

$q_d := 2 \dfrac{kN}{m} \cdot 1.5 = 3 \cdot \dfrac{kN}{m}$

$M_g := \dfrac{\left[(9m)^2 g_d\right]}{8} = 78.975 \cdot kN \cdot m$

$M_q := \dfrac{\left[q_d \cdot (9m)^2\right]}{8} = 30.375 \cdot kN \cdot m$

Antar $\gamma_p := 1$

$P := 120 \cdot 14kN$

$e := 0.089m$

$M_p := -P \cdot \gamma_p \cdot e = -149.52 \cdot kN \cdot m$ Sørensen del 2 (6.9)

$M := M_g + M_q + \left|M_p\right| = 258.87 \cdot kN \cdot m$ Sørensen del 2, (6.14)

$a := \dfrac{M_g}{E_{cL.3}} + \dfrac{M_q}{E_{cL.28}} + \dfrac{\left|M_p\right|}{E_{cL.3}} = 0.04\,L$

$E_{middel} := \dfrac{M}{a} = 6.534 \times 10^3 \cdot MPa$

$\eta := \frac{E_p}{E_{middel}} = 29.842$ Sørensen del 2 (6.6)

$A_t := A_c + (\eta - 1) \cdot A_p = 3.004 \times 10^5 \cdot mm^2$

$y_t := (\eta - 1) \cdot A_p \cdot e \cdot \frac{1}{A_t} = 0.012\,m$ Sørensen del 2 (6.7)

$I_c := 1000mm \cdot (260mm)^3 \cdot \frac{1}{12} = 1.465 \times 10^{-3}\,m^4$

$I_t := I_c + A_c \cdot y_t^2 + (\eta - 1) \cdot A_p \cdot (e - y_t)^2 = 1.742 \times 10^9 \cdot mm^4$ Sørensen del 2 (6.8)

$\sigma_{c.y} := \frac{N}{A_t} + \frac{(M - N \cdot y_t)}{I_t} \cdot (y - y_t)$ Sørensen (6.11)

$N_1 := -120kN \cdot 14 = -1.68 \times 10^3 \cdot kN$

$M := (M_g + M_p + M_q) = -40.17 \cdot kN \cdot m$

Sørensen del 2 (6.10a + 6.10b)

Betongspenninger, Sørensen (6.12):

$\sigma_{c.topp} := \frac{N_1}{A_t} + \frac{(M - N_1 \cdot y_t)}{I_t} \cdot (-130mm - y_t) = -3.957 \cdot MPa$ Sørensen del 2 (6.11)

$\sigma_{c.bunn} := \frac{N_1}{A_t} + \frac{(M - N_1 \cdot y_t)}{I_t} \cdot (130mm - y_t) = -6.953 \cdot MPa$

$\sigma_{c.e} := \frac{N_1}{A_t} + \frac{(M - N_1 \cdot y_t)}{I_t} \cdot (89.35mm - y_t) = -6.485 \cdot MPa$

$f_{ctm} := 2.9MPa$ EC2 tab.3.1

σ.c > f.ctm --> opprisset

Korttid : $\Delta\varepsilon_{pk} := \frac{-14.617\text{MPa}}{33000\text{MPa}} = -4.429 \times 10^{-4}$

Sørensen del 2 (eks. 6.3)

Langtid : $\Delta\varepsilon_{pL} := \frac{\sigma_{c.e}}{6534\text{MPa}} = -9.925 \times 10^{-4}$

Spenningsendring i spennarmeringen (reduksjon):

$E_s = 2.1 \times 10^{11}\,\text{Pa}$

$\Delta\sigma_{pk} := \Delta\varepsilon_{pk} \cdot E_p = -86.373 \cdot \text{MPa}$

$\Delta\sigma_{pL} := \Delta\varepsilon_{pL} \cdot E_s = -208.418 \cdot \text{MPa}$

Spenningsndring pga. kryp (reduksjon):

$\Delta\sigma_{p.kryp} := \Delta\sigma_{pL} - \Delta\sigma_{pk} = -122.045 \cdot \text{MPa}$

prosentvis reduksjon av kraft i spennarmering:

$$\frac{\left|\Delta\sigma_{p.kryp}\right|}{1360\text{MPa}} \cdot 100 = 8.974$$

Spenning i betong:

$$E_p = 1.95 \times 10^{11}\,Pa$$

$$E_{cm} := 33GPa$$

$$\eta := \frac{E_p}{E_{cm}} = 5.909$$

$$A_t := A_c + (\eta - 1)\cdot A_p = 2.669 \times 10^{5}\cdot mm^{2}$$

$$y_t := \frac{(\eta - 1)\cdot A_p\cdot e}{A_t} = 2.292\cdot mm$$

$$I_t := \frac{b\cdot h^{3}}{12} + b\cdot h\cdot y_t^{2} + (\eta - 1)\cdot A_p\cdot\left(e - y_t\right)^{2} = 1.518 \times 10^{9}\cdot mm^{4}$$

$$P := 120\cdot 14kN$$

Betongsspenninger for korttid, Sørensen (6.12):

$$\sigma_{c.bunn.kort} := \frac{-P}{A_t} - \frac{P\cdot\left(e - y_t\right)\left(130mm - y_t\right)}{I_t} = -18.553\cdot MPa$$

$$\sigma_{c.topp.kort} := \frac{-P}{A_t} - \frac{P\cdot\left(e - y_t\right)\left(-130mm - y_t\right)}{I_t} = 6.402\cdot MPa$$

$$\sigma_{c.e.kort} := \frac{-P}{A_t} - \frac{P\cdot\left(e - y_t\right)\left(e - y_t\right)}{I_t} = -14.617\cdot MPa$$

SVINN:

$\varepsilon_{cs} := -0.5 \cdot 10^{-3}$

$N_s := -\varepsilon_{cs} \cdot E_p \cdot A_p = 136.5 \cdot kN$ Sørensen del 2 (6.3)

$e := 0.089m$

$M_s := N_s \cdot (e - y_t) = 11.836 \cdot kN \cdot m$

$\varepsilon_{c.s.y} := \varepsilon_{cs} + \frac{N_s}{E_{middel} \cdot A_t} + \frac{M_s}{E_{middel} \cdot I_t} \cdot (y - y_t)$ Sørensen del 2 (6.16)

$E_{middel} := 6.799 \cdot 10^3 \frac{N}{mm^2}$

$A_t = 2.669 \times 10^5 \cdot mm^2$ $y_t = 2.292 \cdot mm$ $I_t = 1.518 \times 10^9 \cdot mm^4$

$\varepsilon_{c.s.bunn} := \varepsilon_{cs} + \frac{N_s}{E_{middel} \cdot A_t} + \frac{N_s}{E_{middel} \cdot I_t} \cdot (130 \cdot mm - y_t)^2 = -2.09 \times 10^{-4}$

$\varepsilon_{c.s.topp} := \varepsilon_{cs} + \frac{N_s}{E_{middel} \cdot A_t} + \frac{M_s}{E_{middel} \cdot I_t} \cdot (-130mm - y_t) = -5.765 \times 10^{-4}$

$\varepsilon_{c.s.e} := \varepsilon_{cs} + \frac{N_s}{E_{middel} \cdot A_t} + \frac{M_s}{E_{middel} \cdot I_t} \cdot (89.35mm - y_t) = -3.249 \times 10^{-4}$

$\sigma_{c.s.bunn} := (\varepsilon_{c.s.bunn} - \varepsilon_{cs}) \cdot E_{middel} = 1.978 \cdot MPa$

$\sigma_{c.s.topp} := (\varepsilon_{c.s.topp} - \varepsilon_{cs}) \cdot E_{middel} = -0.52 \cdot MPa$ Sørensen del 2 (6.17)

$\sigma_{c.s.e} := (\varepsilon_{c.s.e} - \varepsilon_{cs}) \cdot E_{middel} = 1.19 \cdot MPa$

$\Delta\sigma_{P.s} := \varepsilon_{c.s.e} \cdot E_p = -63.359 \cdot MPa$ Sørensen del 2 (6.23)

Prosentvis tap pga svinn

$tap_{svinn} := \frac{63.359}{1360} \cdot 100 = 4.659$

RELAKSASJON

Antar lav relaksasjon, bruker relaksasjonsklasse 2 EC2 3.3.2(4)

$\rho_{1000} := 2.5$ EC2 3.3.2(6)

$t := 500000$

$\sigma_{pi} := 1360 \frac{N}{mm^2}$

$f_{pk} := 1700 \frac{N}{mm^2}$

$\mu := \frac{\sigma_{pi}}{f_{pk}} = 0.8$

$\Delta\sigma_{pr} := 0.66 \cdot \rho_{1000} \cdot 2.718^{9.1 \cdot \mu} \cdot \left(\frac{t}{1000}\right)^{0.75(1-\mu)} \cdot 10^{-5} \cdot \sigma_{pi} = 82.643 \cdot \frac{N}{mm^2}$ EC2 3.3.2(7)

Prosentvis tap av kraft i spennarmeringen pga. relaksasjon

$tap_{relaksasjon} := \frac{\Delta\sigma_{pr}}{\sigma_{pi}} \cdot 100 = 6.077$

Rissviddekontroll dekke:

$E_{c.middel} := 7.338 \times 10^{9}\ Pa$

$E_s := 2.1 \cdot 10^{11} Pa$

$d_s := 0.217m$

$\alpha := 0.451$

$C_{nom} := 35mm$

$L := 9m$

Forenklet rissviddekontroll:

$$M_k := \frac{8.5 \frac{kN}{m} \cdot L^2}{8} = 86.063 \cdot kN \cdot m$$

$EI := 1.46 \cdot 10^{9} mm^{4} \cdot E_{c.middel} = 1.071 \times 10^{13} \cdot N \cdot mm^{2}$

Armering 7Ø16

Senteravstand := 150

$C_{min.dur} := C_{nom}$ EC2 tabell NA.4.4N

$k_c := 1$

$w_{max} := 0.2mm$ Tabell 5.2 Sørensen

Beregner armeringsspenningen:

$$\sigma_s := E_s \cdot \frac{M_k \cdot (1 - \alpha) \cdot d_s}{EI} = 200.972 \cdot MPa$$

Fra tabell 5.3 i Sørensen gir armeringsdiameter 16: $\sigma_{s.tillatt} := 200MPa$

Fra tabell 5.4 i Sørensen gir senteravstant 150: $\sigma_{s.tillat.2} := 200MPa$

Nedbøying dekket:

Geometri

$b := 1000mm$

$h := 260mm$

$d_s := 217mm$

$Ø_p := 11.3mm$

$C_{nom} := 35mm$

$A_c := b \cdot h = 2.6 \times 10^5 \cdot mm^2$

$L := 9m$

Spennarmering

$A_{p.tau} := 100mm^2$

$A_p := A_{p.tau} \cdot 14 = 1.4 \times 10^3 \cdot mm^2$

$E_p := 1.95 \cdot 10^5 MPa$

$E_s := 2.1 \cdot 10^5 MPa$

$E_{cm} := 33GPa$

Bøyestivhet for opprisset tverrsnitt:

$A_s := 1.407 \times 10^3 mm^2$

$E_c := 33000MPa$

$q_{k.dekke} := 8.5 \frac{kN}{m}$

Materialstivhetsforhold: $\eta := \frac{E_s}{E_{cm}} = 6.364$

Armeringsforhold: $\rho := \frac{A_s}{b \cdot d_s} = 6.484 \times 10^{-3}$

Treykksoneandel av effektiv høyde: $\alpha := \sqrt{(\rho \cdot \eta)^2 + 2 \cdot \rho \cdot \eta} - \rho \cdot \eta = 0.249$ Sørensen (5.5)

Bøyestivhet, EI: $I_c := 0.5 \cdot \alpha^2 \cdot \left(1 - \frac{\alpha}{3}\right) \cdot b \cdot d_s^3 = 2.904 \times 10^8 \cdot mm^4$ Sørensen (5.9)

$EI := E_c \cdot I_c = 9.582 \times 10^{12} \cdot N \cdot mm^2$ Sørensen (5.19)

Nedbøying: $\delta_{II} := \frac{1}{384} \cdot \frac{q_{k.dekke} \cdot L^4}{EI} = 15.156 \cdot mm$ Profiler og formler tabell 3.2

Langtidsnedbøying pga. permanente laster:

Egenlast: $g_{k.dekke} := 6.5\frac{kN}{m}$

Nyttelast: $q_k := 2\frac{kN}{m}$

Antar følgende lasthistorie:

Egenlast påførtes ved $t_{0.egen} := 3$ døgn etter støp

Nyttelast påføres ved $t_{0.nytte} := 28$ døgn etter støp

Antar 40% av nyttelasten regnes
som permanent last, gir lasthistorie:

Langtidslast 1: $g_{k.dekke} = 6.5\cdot\frac{kN}{m}$ med E_{c1} for $\varphi(inf, 3)$

Langtidslast 2: $q_{k.lang} := 0.4\cdot q_k = 0.8\cdot\frac{kN}{m}$ med E_{c2} for $\varphi(inf, 28)$

$h_0 := 206.349$

$\varphi_3 := 4.22$ Fra vedlegg om kryp, svinn og relaksasjon

$\varphi_{28} := 2.774$

$$E_{c1} := \frac{E_{cm}}{1 + \varphi_3} = 6.322 \times 10^3\cdot MPa$$ Sørensen (5.24)

$$E_{c2} := \frac{E_{cm}}{1 + \varphi_{28}} = 8.744 \times 10^3\cdot MPa$$

Momenter fra hvert lastbidrag:

$$M_1 := \frac{q_{k.dekke}\cdot L^2}{8} = 86.063\cdot kN\cdot m$$

$M_2 := M_1$

$$E_{c.middel} := \frac{M_1 + M_1}{\frac{M_1}{E_{c1}} + \frac{M_2}{E_{c2}}} = 7.338 \times 10^3\cdot MPa$$ Sørensen (5.25)

$$\eta := \frac{E_s}{E_{c.middel}} = 28.617$$

$$\rho := \frac{A_s}{b \cdot d_s} = 6.484 \times 10^{-3}$$

$$\alpha := \sqrt{(\rho \cdot \eta)^2 + 2 \cdot \rho \cdot \eta} - \rho \cdot \eta = 0.451$$

Ekvivalent arealtreghetsmoment: $I_c := 0.5 \cdot \alpha^2 \cdot \left(1 - \frac{\alpha}{3}\right) \cdot b \cdot d_s^3 = 8.839 \times 10^8 \cdot mm^4$

Bøyestivhet: $EI := E_{c.middel} \cdot I_c = 6.486 \times 10^{12} \cdot N \cdot mm^2$

Nedbøying på midt etter lang tid: $\delta_{lang} := \frac{1}{384} \cdot \frac{(g_{k.dekke} + q_{k.lang}) \cdot L^4}{EI} = 19.229 \cdot mm$

Nedbøying pga. svinn:

$t_s := 7$ antar uttørking starter ved riving av forskaling, altså 7 dager

Uttørkingssvinn:

$\alpha_{ds1} := 4$ for sementklasse N

$\alpha_{ds2} := 0.12$

$e := 2.71828$

$f_{cm0} := 10$

$RH_0 := 100$

$RH := 30$ Antatt

$f_{cm} := 38$

$f_{ck} := 30$

$$\beta_{RH} := 1.55 \cdot \left[1 - \left(\frac{RH}{RH_0}\right)^3\right] = 1.508$$ Sørensen (5.28)

$$\varepsilon_{cd.0} := 0.85 \cdot \left[(220 + 110 \cdot \alpha_{ds1}) \cdot e^{\left(-\alpha_{ds2} \cdot \frac{f_{cm}}{f_{cm0}}\right)}\right] \cdot 10^{-6} \cdot \beta_{RH} = 5.363 \times 10^{-4}$$ Sørensen (5.27)

$h_0 = 206.349$ gir $k_h := 0.85$ EC2, tabell 3.3

Etter lang tid er $\beta_{ds} := 1$: $\varepsilon_{cd.inf} := \beta_{ds} \cdot k_h \cdot \varepsilon_{cd.0} = 4.558 \times 10^{-4}$ Sørensen (5.28)

Autogent svinn: $\varepsilon_{ca.inf} := 2.5 \cdot (f_{ck} - 10) \cdot 10^{-6} = 5 \times 10^{-5}$ Sørensen (5.31)

Fri svinntøying: $\varepsilon_{cs} := \varepsilon_{cd.0} + \varepsilon_{ca.inf} = 5.863 \times 10^{-4}$

Svinnkrumning:

$$a_s := \frac{A_c \cdot 0.5 \cdot h + \eta \cdot A_s \cdot d_s}{A_c + \eta \cdot A_s} = 141.666 \cdot mm$$

$$e_s := d_s - a_s = 75.334 \cdot mm$$ Side136 i Sørensen

$$I := \frac{b \cdot h^3}{12} + b \cdot h \cdot (a_s - e_s)^2 + \eta \cdot A_s \cdot e_s^2 = 2.837 \times 10^9 \cdot mm^4$$

$$\kappa_s := \frac{\varepsilon_{cs} \cdot E_s \cdot A_s \cdot e_s}{E_{c.middel} \cdot I} = 6.268 \times 10^{-7} \cdot mm^{-1}$$

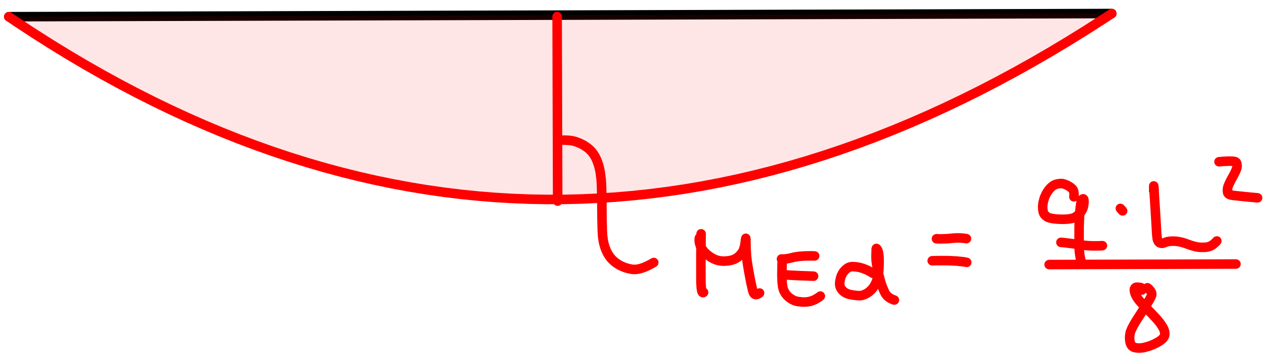
$$\delta_{svinn} := \frac{\kappa_s \cdot L^2}{8} = 6.346 \cdot mm$$

Total nedbøying over lang tid:

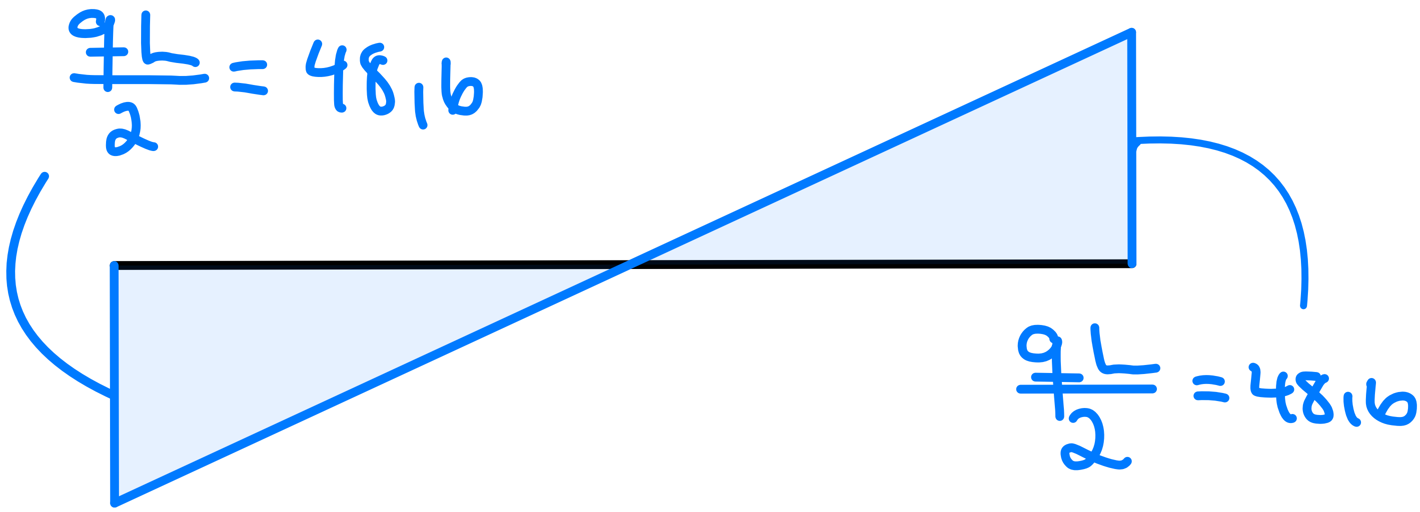
$$\delta_{total} := \delta_{lang} + \delta_{svinn} = 25.575 \cdot mm$$

VEDLEGG F.3

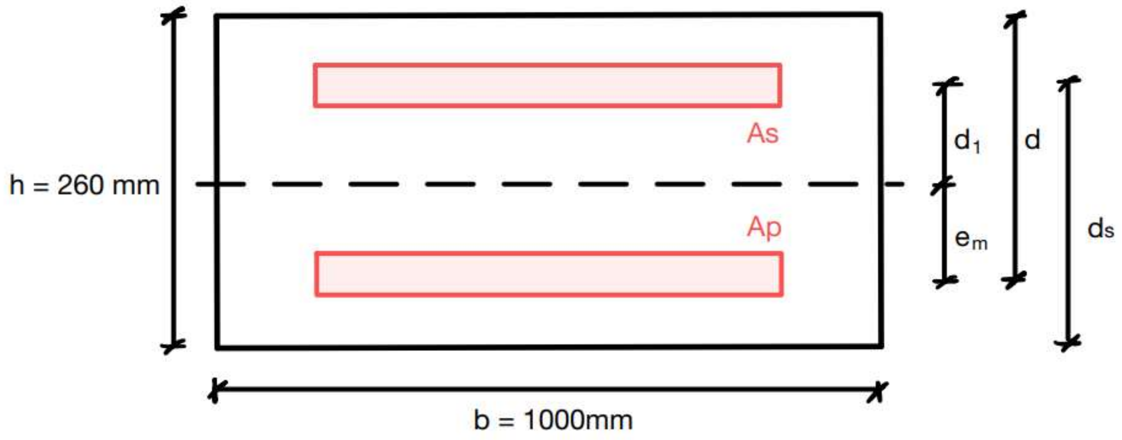
M-diagram



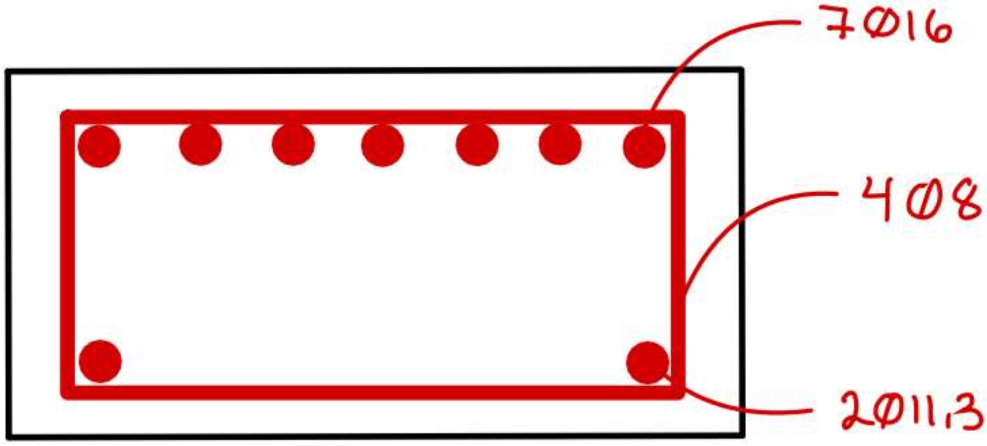
V-diagram



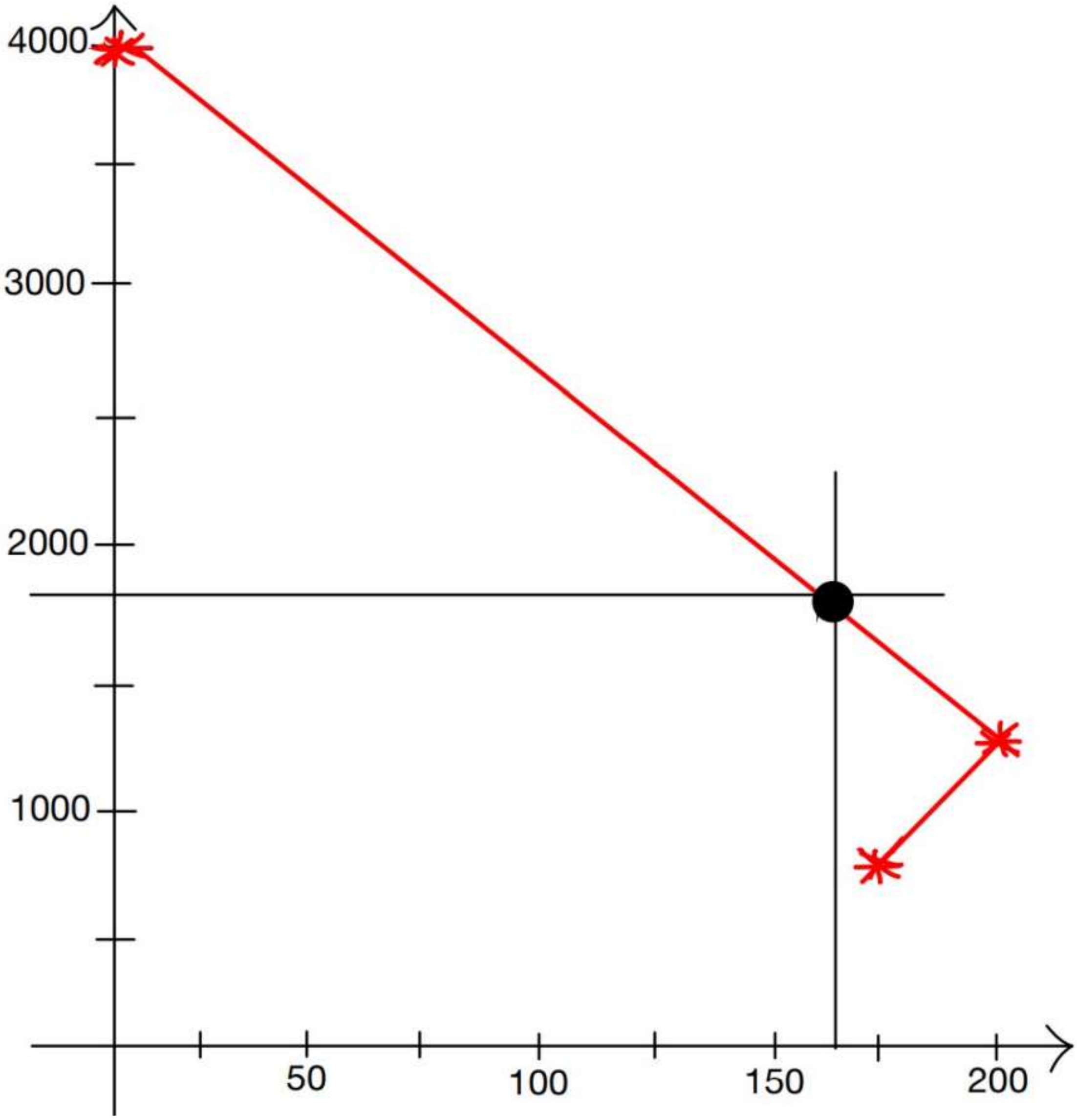
Oversiktsfigur dekket:



Armering i dekket:



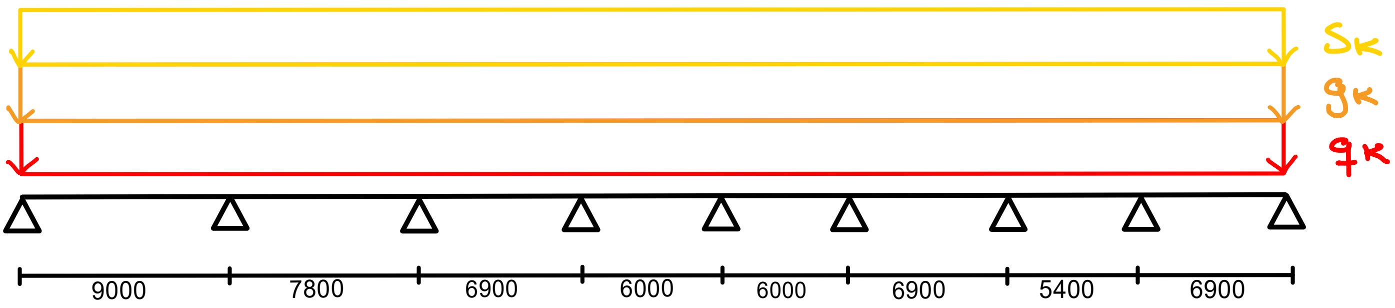
m-n-diagram for dekket:

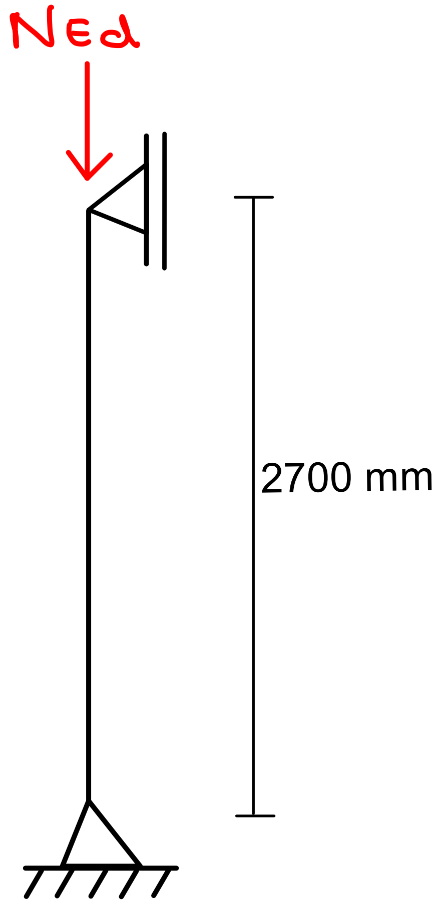


VEDLEGG G

VEDLEGG G.1

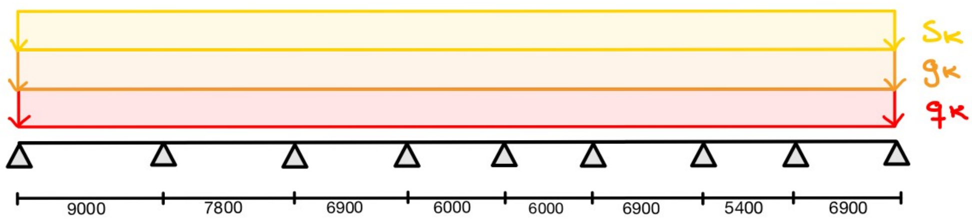
Statisk system vegg:





VEDLEGG G.2

Dimensjonering av vegg:



$L_1 := 9m \quad L_2 := 7.8m \quad L_3 := 6.9m \quad L_4 := 6m \quad L_5 := 6m \quad L_6 := 6.9m \quad L_7 := 5.4m \quad L_8 := 6.9m$

Ser på 4 etasjer over, må gange med 4

$g_k := 6.5 \cdot 3 \frac{kN}{m} \qquad q_k := 2 \cdot 3 \frac{kN}{m} \qquad s_k := 3.5 \frac{kN}{m}$

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

Dimensjonerende last

$q_d := g_k \cdot \gamma_g + q_k \cdot \gamma_q + s_k \cdot \gamma_s = 37.65 \cdot \frac{kN}{m}$

$h := 1000mm \quad b := 200mm \quad f_{ck} := 30 \frac{N}{mm^2} \qquad Ø := 16mm$

Opplagerkrefter

$A := \frac{3}{8} \cdot q_d \cdot L_1 = 1.271 \times 10^5 N$

$B := \frac{5}{8} \cdot q_d \cdot L_1 + 0.5 \cdot q_d \cdot L_2 = 3.586 \times 10^5 N$

$C := 0.5 \cdot q_d \cdot L_2 + 0.5 \cdot q_d \cdot L_3 = 2.767 \times 10^5 N$

$D := 0.5 \cdot q_d \cdot L_3 + 0.5 \cdot q_d \cdot L_4 = 2.428 \times 10^5 N$

$E := 0.5 \cdot q_d \cdot L_4 + 0.5 \cdot q_d \cdot L_5 = 2.259 \times 10^5 N$

$F := 0.5 \cdot q_d \cdot L_5 + 0.5 \cdot q_d \cdot L_6 = 2.428 \times 10^5 N$

$G := 0.5 \cdot q_d \cdot L_6 + 0.5 \cdot q_d \cdot L_7 = 2.315 \times 10^5 N$

$H := 0.5 \cdot q_d \cdot L_7 + \frac{5}{8} \cdot q_d \cdot L_8 = 2.64 \times 10^5 N$

$I := \frac{3}{8} \cdot q_d \cdot L_8 = 9.742 \times 10^4 N$

Kraft fra vegg:

$G_{k.vegg} := 0.2 \cdot 25 \cdot 2.7 \cdot 3kN = 40.5 \cdot kN$

$G_{d.vegg} := G_{k.vegg} \cdot \gamma_g = 48.6 \cdot kN$

Bruker største opplagerkraft + egenvekt fra veggen som dimensjonerende trykkraft

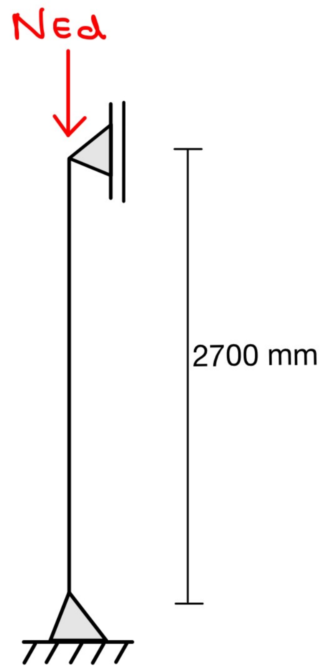
$N_{Ed} := G_{d.vegg} + B = 407.216 \cdot kN$

$f_{cd} := 17 \frac{N}{mm^2}$ $A_c := 2 \cdot 10^5 mm^2$ $f_{yd} := 434 \frac{N}{mm^2}$

$\sigma_N := \frac{N_{Ed}}{A_c} = 2.036 \cdot \frac{N}{mm^2}$ sigma mindre enn f.cd, OK

Armering EC2 NA 9.5.2

$A_{s.min} := \frac{0.2}{f_{yd}} \cdot A_c \cdot f_{cd} = 1.567 \times 10^3 \cdot mm^2 \quad < \quad 0.5 \cdot \frac{N_{Ed}}{f_{yd}} = 469.143 \cdot mm^2$ Ikke OK



$A_{s.min.krav} := 0.01 \cdot A_c = 2 \times 10^3 \cdot mm^2$

$A_{s.max.krav} := 0.08 \cdot A_c = 1.6 \times 10^4 \cdot mm^2$

Bruker $A_{s.min.krav}$ videre

$n_{arm} := \frac{A_{s.min.krav}}{\pi \cdot 8^2 mm^2} = 9.947$

$n_{arm} := 10$

$A_{s.faktisk} := n_{arm} \cdot 8^2 \cdot mm^2 \cdot \pi = 2.011 \times 10^3 \cdot mm^2$

Aksialkraftkapasitet

$N_{Rd} := f_{cd} \cdot (A_c - A_{s.faktisk}) + f_{yd} \cdot A_{s.faktisk} = 4.238 \times 10^3 \cdot kN$ EC2 5.8.9(4)

$N_{Rd} > N_{Ed}$ OK

n-m-diagram:

$e_1 := \frac{h}{30} = 33.333 \cdot mm$

$e_2 := 20mm$ EC2 6.1(4)

Bruker e1, siden den er størst

$M_{Ed} := N_{Ed} \cdot e_1 = 13.574 \cdot kN \cdot m$

$n_{diagram} := \frac{N_{Ed}}{f_{ck} \cdot b \cdot h} = 0.068$ Sørensen del 1 (4.92)

$m_{diagram} := \frac{M_{Ed}}{f_{ck} \cdot b \cdot h^2} = 2.262 \times 10^{-3}$ Sørensen del 1(4.93)

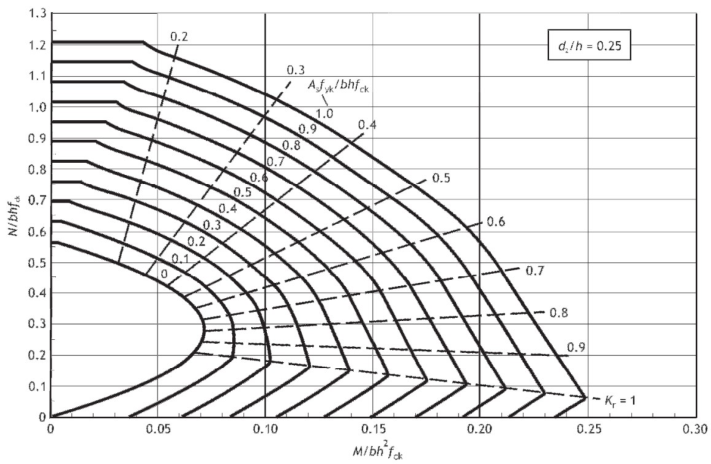
$C_{nom} := 25mm \quad a_v := 24mm \quad a_h := 32mm$

$d_2 := C_{nom} + 8mm + \frac{Ø}{2} = 41 \cdot mm$

$\frac{d_2}{b} = 0.205$

Leser fra m-n-diagram:

$w := 0$



Dvs. bruker minste armering i søylen.

$A_{s.faktisk} = 2.011 \times 10^3 \cdot mm^2$

Tverrarmering

$Ø_{min} := 6mm$ EC2 9.5.3(1)

$S_{cl.max} := 200$ EC2 9.5.3(3)

$L_s := 2700$

$n_{tverr} := \frac{L_s}{S_{cl.max}} = 13.5$

Hele søylen får 14 tverrbøyler

Plass til armering?

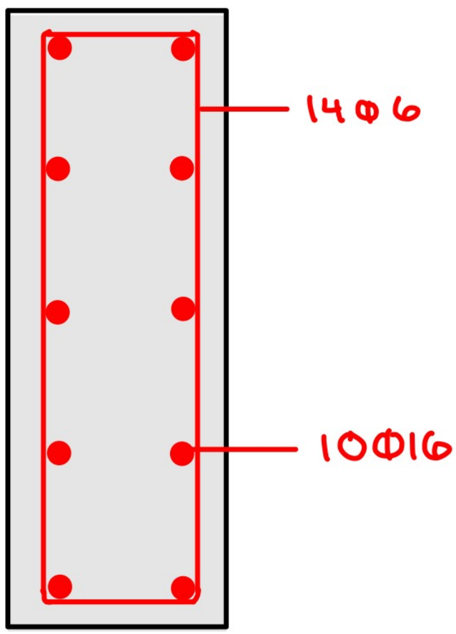
$a_h = 0.032\,m$

$a_v = 0.024\,m$

tatt utgangspunkt i 2 jern i fem lag for å regne d2, går videre med det.

$Nødv_{vert} := C_{nom} \cdot 2 + 5 \cdot Ø + 4 \cdot a_v = 0.226\,m$ OK!

$Nødv_{hor} := C_{nom} \cdot 2 + 2 \cdot Ø + a_h = 0.114\,m$



Kontroll av knekking:

$b := 1000mm$ $L_k := 2700mm$ $E_{cm} := 33000 \frac{N}{mm^2}$

$h := 200mm$

$$I := \frac{b \cdot h^3}{12} = 6.667 \times 10^8 \cdot mm^4$$

$$N_{kr} := \frac{\pi^2 \cdot E_{cm} \cdot I}{L_k^2} = 2.978 \times 10^4 \cdot kN \quad > \quad N_{Ed} := 503kN \quad \text{OK}$$

Heissjakt:

$N_{Ed} := 407kN$ $\quad q_{d.kast} := 1.15 \cdot \frac{kN}{m^2} \cdot 1.05 \cdot 1m = 1.208 \cdot \frac{kN}{m}$ $\quad L_s := 2700mm$

$M_{Ed.vind} := \frac{q_{d.kast} \cdot L_s^2}{8} = 1.1 \cdot kN \cdot m$

Aksialkraften er den samme som i veggen, og armeringen blir derfor lik.

EC2 NA 9.5.2 $\quad A_c := 200 \cdot 1000mm^2$ $\quad Ø := 16mm$

$A_{s.min} := 0.01 \cdot A_c = 2 \times 10^3 \cdot mm^2$

$n_1 := \frac{A_{s.min}}{\pi \cdot \left(\frac{Ø}{2}\right)^2} = 9.947$ Bruker n = 10

$A_{s.faktisk} := 10 \cdot \left(\frac{Ø}{2}\right)^2 \cdot \pi = 2.011 \times 10^3 \cdot mm^2$

Aksialkraftkapasitet

$f_{cd} := 17 \frac{N}{mm^2}$ $\quad f_{yd} := 434 \frac{N}{mm^2}$ $\quad f_{ck} := 30 \frac{N}{mm^2}$

$N_{Rd} := f_{cd} \cdot \left(A_c - A_{s.faktisk}\right) + f_{yd} \cdot A_{s.faktisk} = 4.238 \times 10^3 \cdot kN$ EC2 5.8.9(4)

N.Rd > N.Ed OK!

n-m-diagram:

$h := 1000mm$ $\quad b := 200mm$

$e_1 := \frac{h}{30} = 0.033\,m$ EC2 6.1(4)

$e_2 := 20mm$

Bruker e.1 siden den er størst

$M_{Ed} := M_{Ed.vind} + N_{Ed} \cdot e_1 = 14.667 \cdot kN \cdot m$

$n_{diagram} := \frac{N_{Ed}}{f_{ck} \cdot b \cdot h} = 0.068$ Sørensen del 1 (4.92)

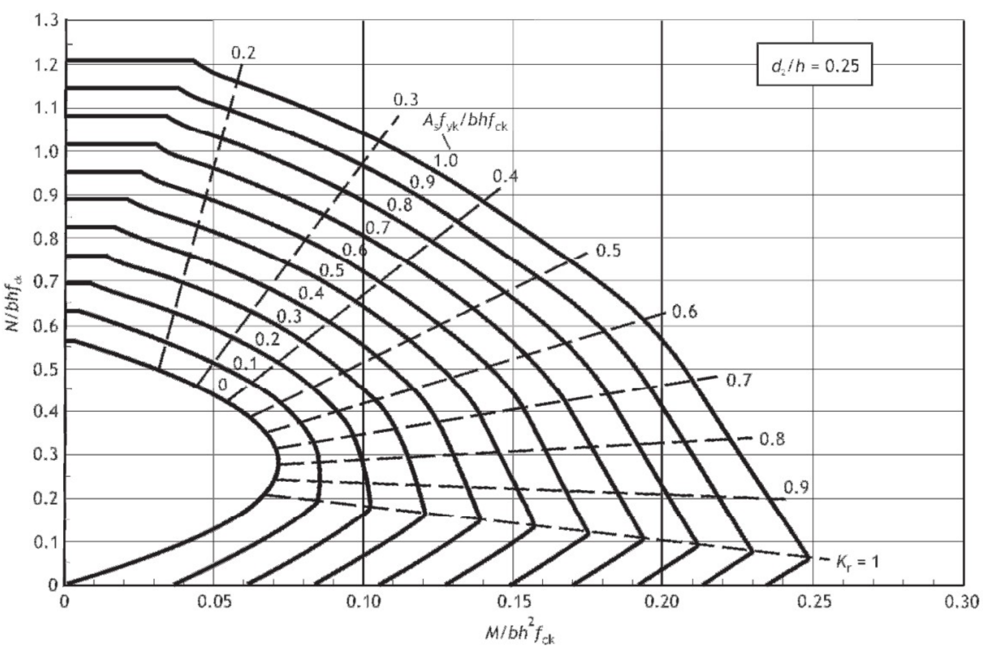
$m_{diagram} := \frac{M_{Ed}}{f_{ck} \cdot b \cdot h^2} = 2.445 \times 10^{-3}$ Sørensen del (4.93)

$c_{nom} := 35mm$ $a_v := 24mm$ $a_h := 32mm$

$d_2 := c_{nom} + 8mm + \frac{Ø}{2} = 0.051\,m$

$\frac{d_2}{b} = 0.255$

Fra m-n diagram: w=0



Det vil si at man bruker minste armering

$A_{s.faktisk} = 2.011 \times 10^3 \cdot mm^2$

Skjærvegger

$t := 0.2m \quad L_x := 61.8m \quad L_y := 20.6m$

$b_1 := 14.4m \quad b_2 := 9m \quad b_3 := 6.2m \quad b_4 := 5.4m$

$h := 4 \cdot 2.7m = 10.8\,m$

$E := 1.0 \frac{N}{m^2}$

$q_y := 1.15 \frac{kN}{m}$

$q_x := q_y$

$Q_x := q_x \cdot L_y = 23.69 \cdot kN$

$Q_y := -q_y \cdot L_x = -71.07 \cdot kN$

Referasnesystem: (0,0) i venstre hjørne

$X_1 := 0m \quad Y_1 := 7.2m$

$X_2 := 4.5m \quad Y_2 := 0m$

$X_3 := 54.9m \quad Y_3 := 17.5m$

$X_4 := 52.2m \quad Y_4 := 20.6m$

$I := \frac{t \cdot b^3}{12} \qquad \frac{1}{K} := \frac{1}{K_s} + \frac{1}{K_b}$

$A := t \cdot b$

1:

$I_1 := \frac{t \cdot b_1^{\,3}}{12} = 49.766\,m^4 \qquad A_1 := t \cdot b_1 = 2.88\,m^2$

$K_{b.1} := \frac{3 \cdot E \cdot I_1}{h^3} = 0.119 \cdot \frac{N}{m}$

$K_{s.1} := \frac{E \cdot A_1}{3 \cdot h} = 0.089 \cdot \frac{N}{m}$

$K_1 := \frac{1}{\left(\frac{1}{K_{s.1}} + \frac{1}{K_{b.1}}\right)} = 0.051 \cdot \frac{N}{m}$

2:

$$I_2 := \frac{t \cdot b_2^{\,3}}{12} = 12.15\,m^4 \qquad A_2 := t \cdot b_2 = 1.8\,m^2$$

$$K_{b.2} := \frac{3 \cdot E \cdot I_2}{h^3} = 0.029 \cdot \frac{N}{m}$$

$$K_{s.2} := \frac{E \cdot A_2}{3 \cdot h} = 0.056 \cdot \frac{N}{m}$$

$$K_2 := \frac{1}{\left(\frac{1}{K_{s.2}} + \frac{1}{K_{b.2}}\right)} = 0.019 \cdot \frac{N}{m}$$

3:

$$I_3 := \frac{t \cdot b_3^{\,3}}{12} = 3.972\,m^4 \qquad A_3 := t \cdot b_3 = 1.24\,m^2$$

$$K_{b.3} := \frac{3 \cdot E \cdot I_3}{h^3} = 9.46 \times 10^{-3} \cdot \frac{N}{m}$$

$$K_{s.3} := \frac{E \cdot A_3}{3 \cdot h} = 0.038 \cdot \frac{N}{m}$$

$$K_3 := \frac{1}{\left(\frac{1}{K_{s.3}} + \frac{1}{K_{b.3}}\right)} = 7.585 \times 10^{-3} \cdot \frac{N}{m}$$

4:

$$I_4 := \frac{t \cdot b_4^{\,3}}{12} = 2.624\,m^4 \qquad A_4 := t \cdot b_4 = 1.08\,m^2$$

$$K_{b.4} := \frac{3 \cdot E \cdot I_4}{h^3} = 6.25 \times 10^{-3} \cdot \frac{N}{m}$$

$$K_{s.4} := \frac{E \cdot A_4}{3 \cdot h} = 0.033 \cdot \frac{N}{m}$$

$$K_4 := \frac{1}{\left(\frac{1}{K_{s.4}} + \frac{1}{K_{b.4}}\right)} = 5.263 \times 10^{-3} \cdot \frac{N}{m}$$

Lokalt stivhetssenter:

$$X_{ss} := \frac{K_1 \cdot X_1 + K_3 \cdot X_3}{K_1 + K_3} = 7.133\,\text{m}$$

$$Y_{ss} := \frac{K_2 \cdot Y_2 + K_4 \cdot Y_4}{K_2 + K_4} = 4.464\,\text{m}$$

$$M_T := Q_y \cdot \left(\frac{L_x}{2} - X_{ss}\right) - Q_x \cdot \left(\frac{L_y}{2} - Y_{ss}\right) = -1.827 \times 10^3 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

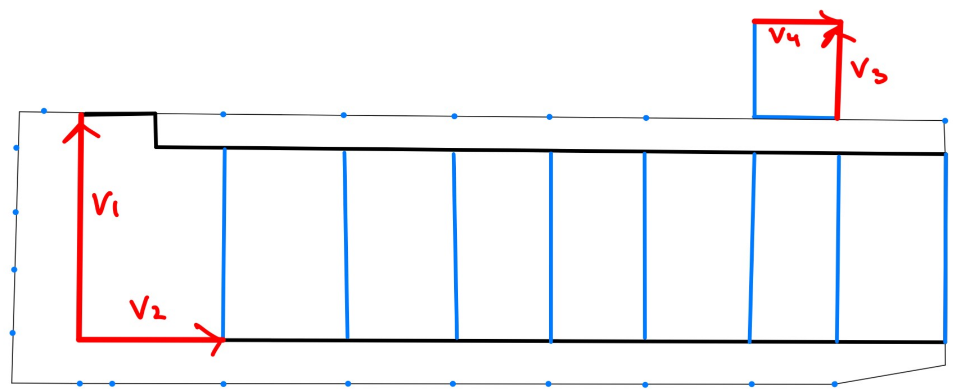
$$K_{rot} := K_2 \cdot (Y_2 - Y_{ss})^2 + K_4 \cdot (Y_4 - Y_{ss})^2 + K_1 \cdot (X_1 - X_{ss})^2 + K_3 \cdot (X_3 - X_{ss})^2 = 21.64 \cdot \text{N} \cdot \text{m}$$

$$V_{y1} := -Q_y \cdot \frac{K_1}{K_1 + K_3} - M_T \cdot \frac{K_1 \cdot (X_1 - X_{ss})}{K_{rot}} = 31.241 \cdot \text{kN}$$

$$V_{y3} := -Q_y \cdot \frac{K_3}{K_1 + K_3} - M_T \cdot K_3 \cdot \frac{(X_3 - X_{ss})}{K_{rot}} = 39.829 \cdot \text{kN}$$

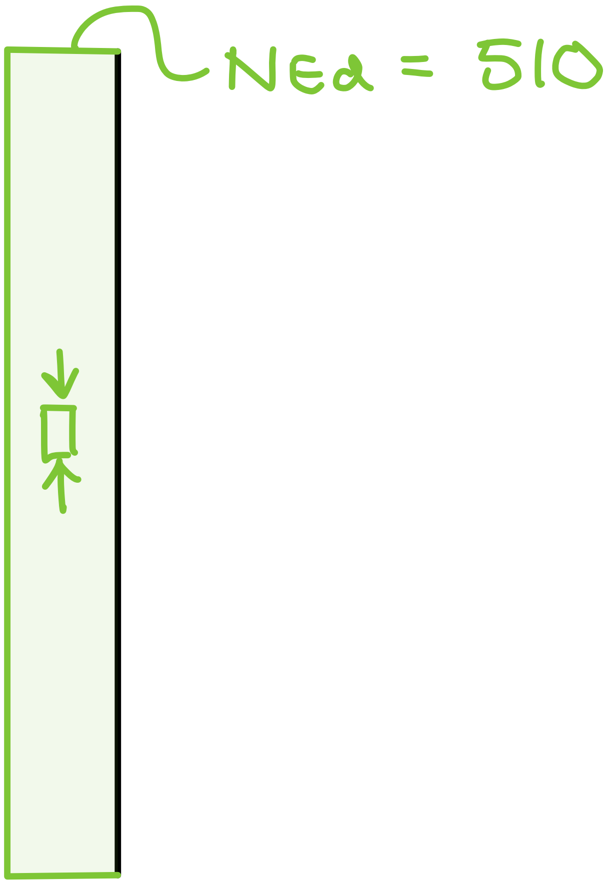
$$V_{x.2} := -Q_x \cdot \frac{K_2}{K_2 + K_4} + M_T \cdot K_2 \cdot \frac{(Y_2 - Y_{ss})}{K_{rot}} = -11.385 \cdot \text{kN}$$

$$V_{x.4} := -Q_x \cdot \frac{K_4}{K_2 + K_4} + M_T \cdot K_4 \cdot \frac{(Y_4 - Y_{ss})}{K_{rot}} = -12.305 \cdot \text{kN}$$

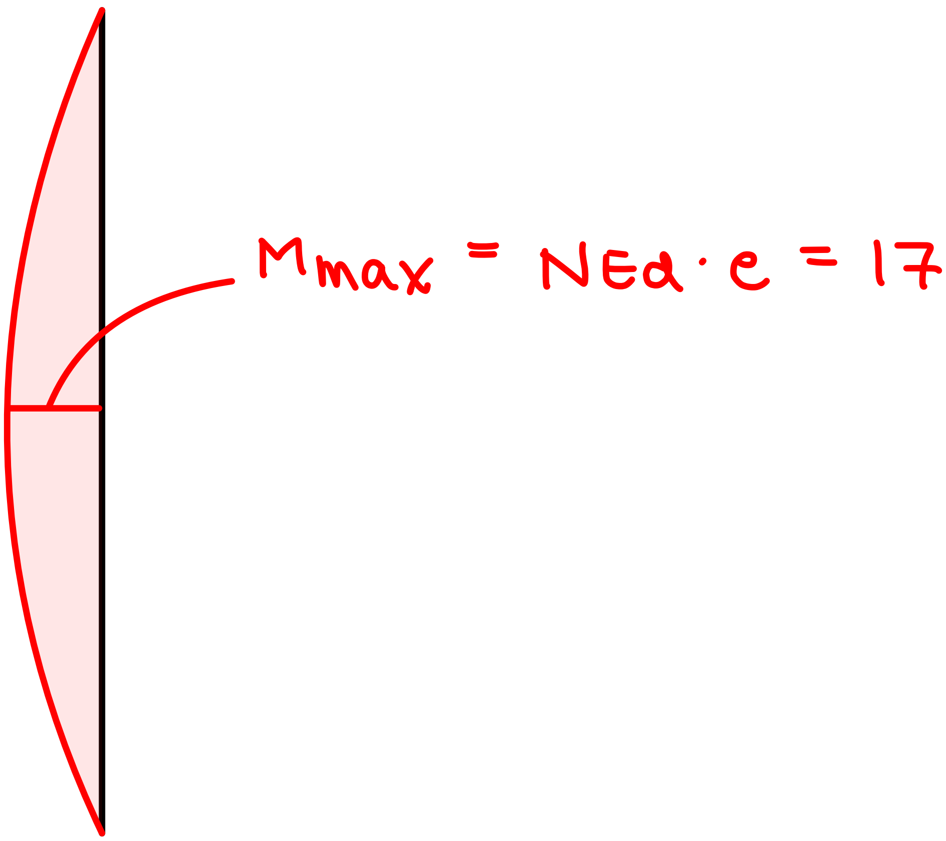


VEDLEGG G.3

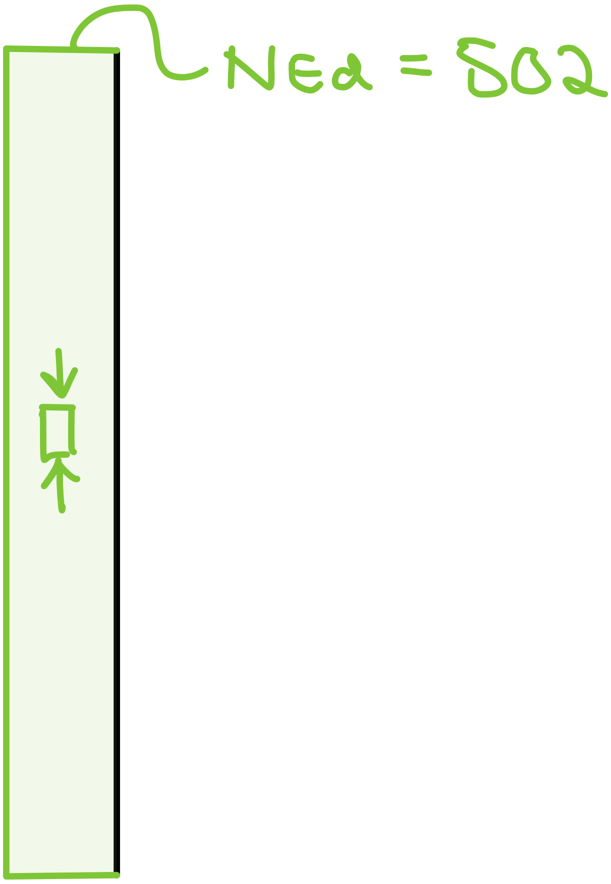
N-diagram



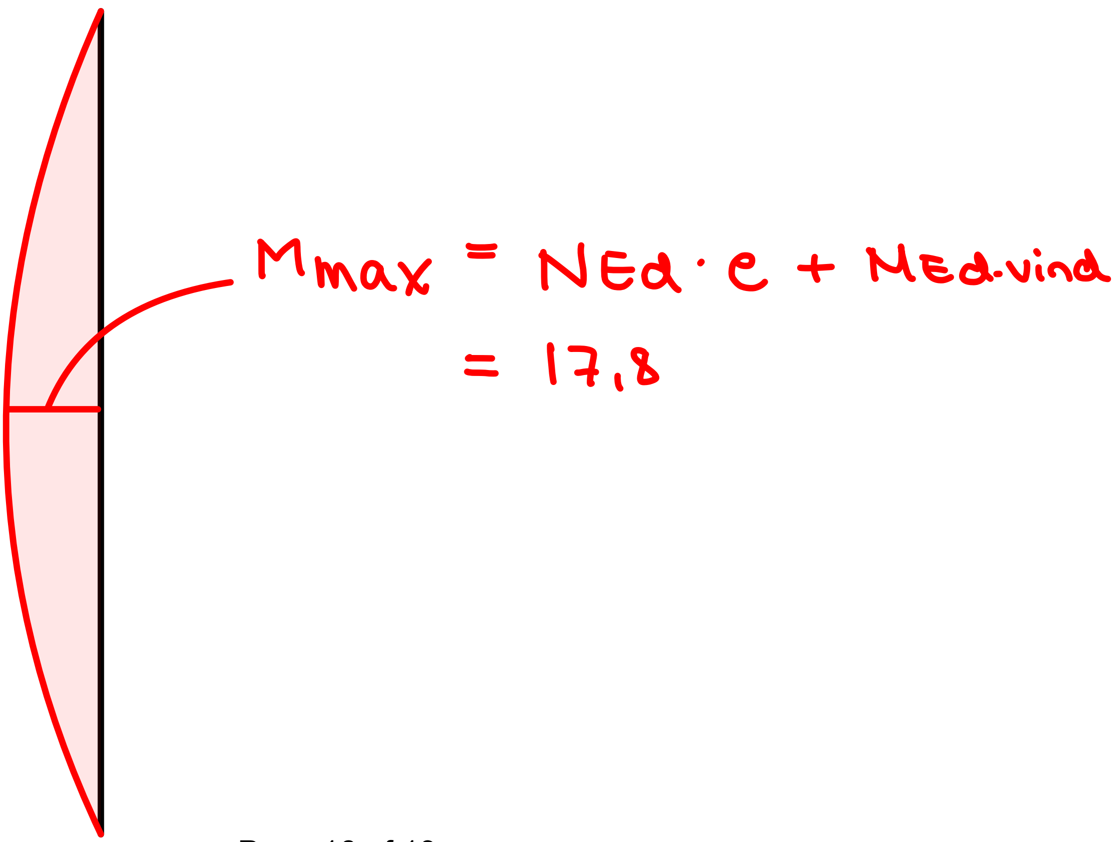
M-diagram



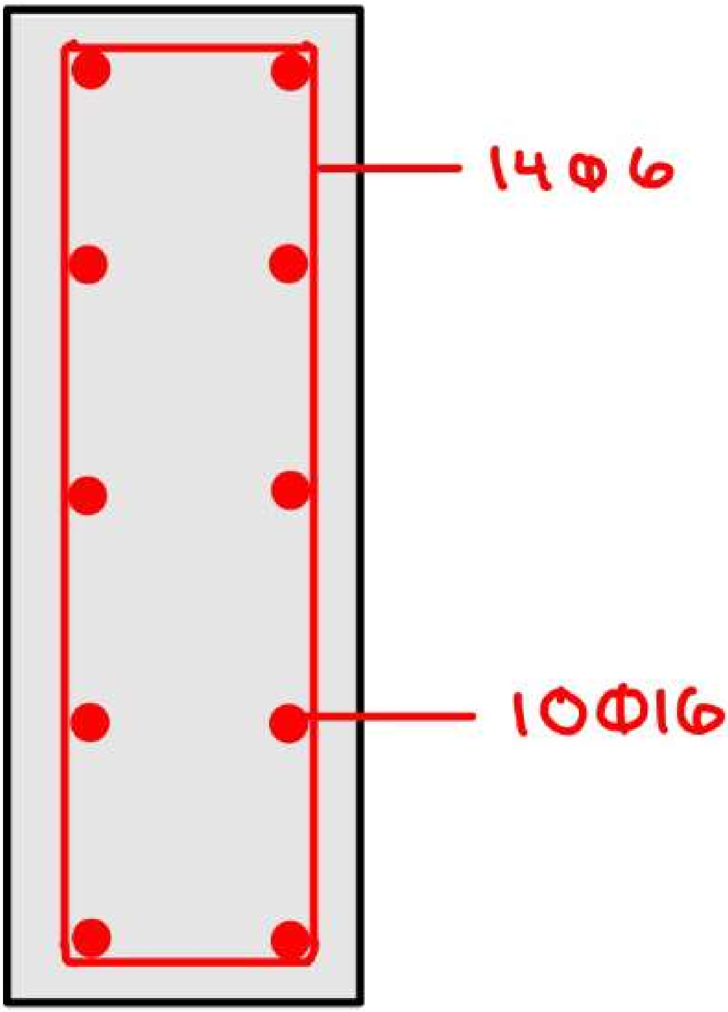
N-diagram



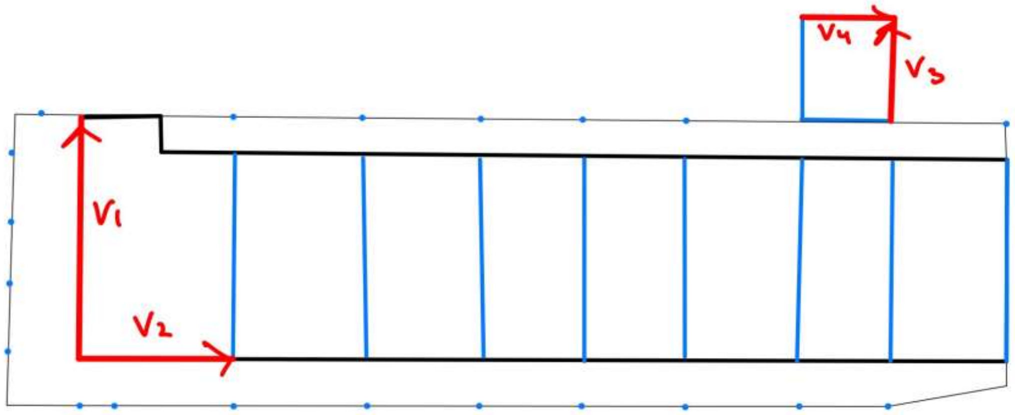
M-diagram

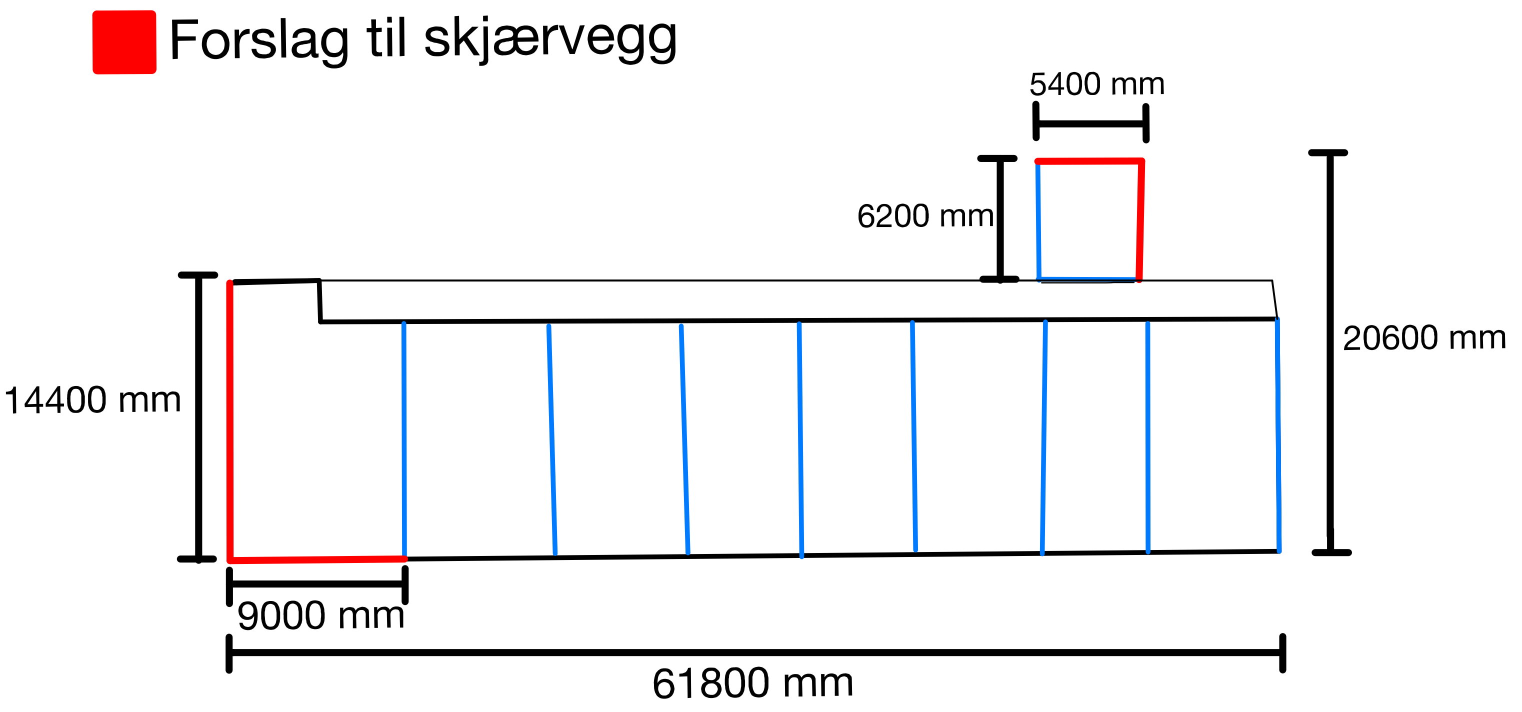


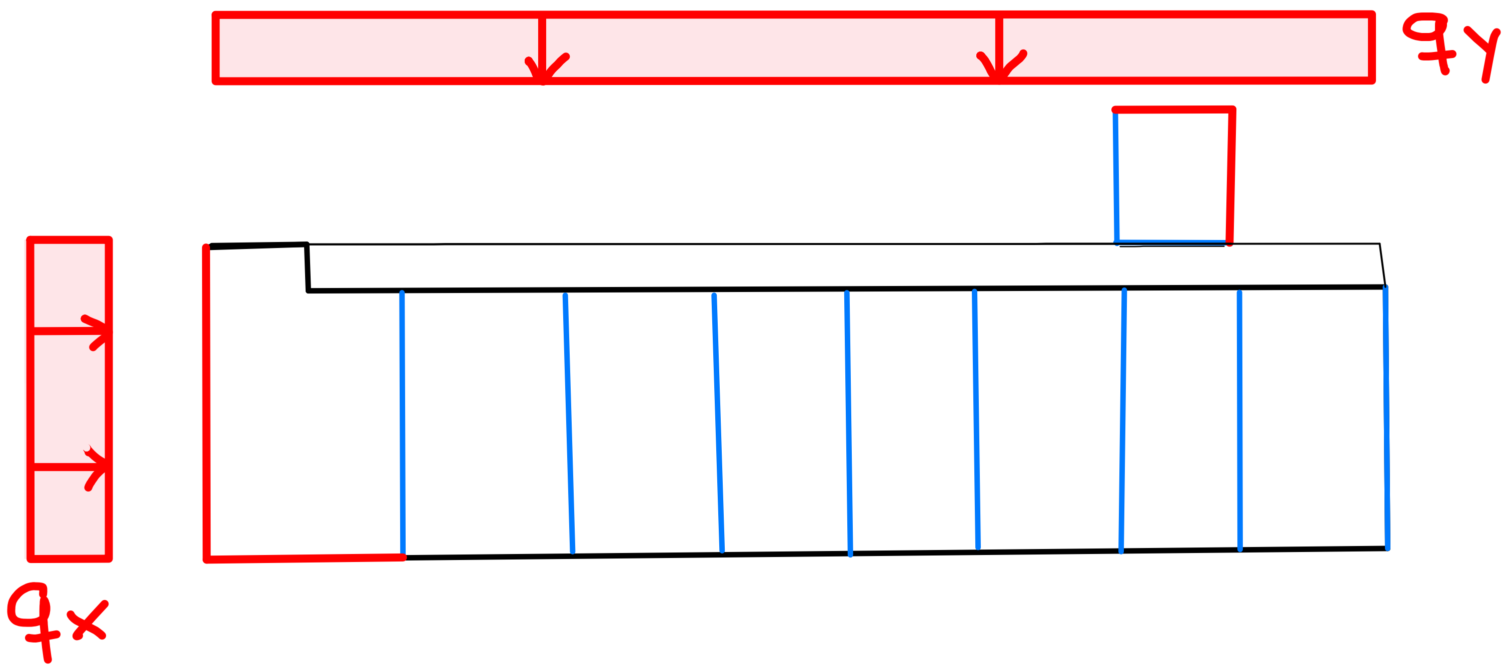
Armering i vegg:



Illustrasjon av skjærvegger:



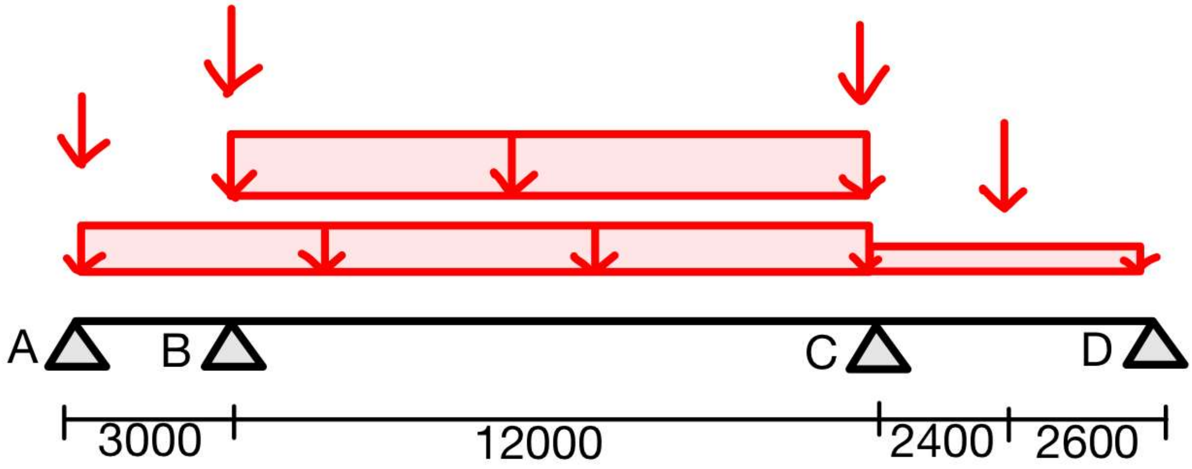

Forslag til skjærvegg
5400 mm
6200 mm
20600 mm
14400 mm
9000 mm
61800 mm


qy
qx

VEDLEGG H

VEDLEGG H.1

Statisk system søyle i parkeringskjeller:



VEDLEGG H.2

Dimensjonere søyle i P-kjeller:

Snølast:

$$s_k := 3.5\frac{kN}{m^2}$$

$$\gamma_q := 1.05$$

$$L_{snø.i.planet} := 3.9m + 3.45m = 7.35\,m$$

$$s_d := s_k \cdot \gamma_q \cdot L_{snø.i.planet} = 27.011 \cdot \frac{kN}{m}$$

$L_1 := 3m$ $L_2 := 12m$ $L_3 := 2.4m$ $L_4 := 2.6m$ $L_5 := L_3 + L_4$

Tabell 3.2 i stålprofiler

$$V_A := \frac{3}{8} \cdot s_d \cdot L_1 = 30.388 \cdot kN$$

$$V_B := \frac{5}{8} \cdot s_d \cdot L_1 + \frac{s_d \cdot L_2}{2} = 212.714 \cdot kN$$

$$V_C := \frac{s_d \cdot L_2}{2} + \frac{5}{8} \cdot s_d \cdot L_3 = 202.584 \cdot kN$$

$$V_{CD} := \frac{3}{8} s_d \cdot L_3 = 24.31 \cdot kN$$

Vekt av veggene per meter:

$$n_{vegg} := 4$$

$$h_{vegg} := 2700mm$$

$$t_{vegg} := 200mm$$

$$\rho_{betong} := 25\frac{kN}{m^3}$$

$$V_{vegg} := h_{vegg} \cdot t_{vegg} = 0.54 \cdot m^2$$

$$g_{k.vegg} := \rho_{betong} \cdot V_{vegg} \cdot n_{vegg} = 54 \cdot \frac{kN}{m}$$

$$g_{d.vegg} := g_{k.vegg} \cdot 1.2 = 64.8 \cdot \frac{kN}{m}$$

Vekt av dekket:

$n_{dekke} := 4$

$V_{Ed} := 48.6 \frac{kN}{m}$

$g_{d.dekke} := V_{Ed} \cdot n_{dekke} = 194.4 \cdot \frac{kN}{m}$

Vekt av sirkulære søyler:

$n_{søyler} := 4 \qquad h_{søyle} := 2700mm \qquad \gamma_g := 1.2$

$Ø_{søyle} := 250mm$

$A_{søyle} := \pi \cdot \left(\frac{Ø_{søyle}}{2}\right)^2 = 0.049 m^2$

$G_{d.søyle} := A_{søyle} \cdot h_{søyle} \cdot \rho_{betong} \cdot \gamma_g \cdot n_{søyler} = 15.904 \cdot kN$

Vekt av bjelke i p-kjeller:

$b_{bjelke} := 400mm$

$h_{bjelke} := 300mm$

$L_{bjelke} := 5m$

$G_{d.bjelke} := \frac{\rho_{betong} \cdot b_{bjelke} \cdot h_{bjelke} \cdot L_{bjelke} \cdot \gamma_g}{2} = 9 \cdot kN$

Punklaster:

$F_A := G_{d.søyle} + V_A = 46.292 \cdot kN$

$F_B := V_B = 212.714 \cdot kN$

$F_C := G_{d.bjelke} + V_C = 211.584 \cdot kN$

$F_{CD} := G_{d.søyle} + V_{CD} + 3 \cdot V_{Ed} \cdot L_3 = 390.134 \cdot kN$

$F_D := G_{d.bjelke} = 9 \cdot kN$

Tabell 3.2:

$$A := \frac{2}{3} \cdot g_{d.dekke} \cdot L_1 + F_A = 435.092 \cdot kN$$

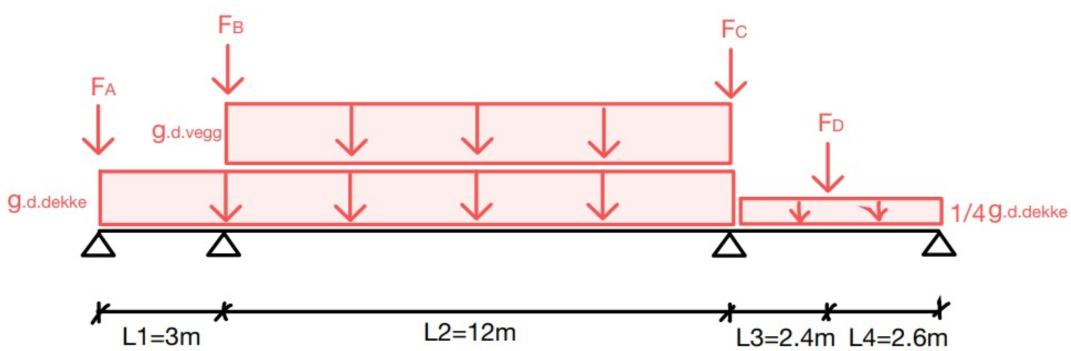
$$B := \frac{5}{8} g_{d.dekke} \cdot L_1 + F_B + \frac{\left(g_{d.vegg} + g_{d.dekke}\right) \cdot L_2}{2} = 2.132 \times 10^3 \cdot kN$$

$$g_{d.bc} := g_{d.vegg} + g_{d.dekke}$$

$$C := F_C + \frac{\left(g_{d.bc}\right) \cdot L_2}{2} + \left[F_{CD} - \left[\frac{F_{CD} \cdot L_3^{\,2}}{2 \cdot L_5^{\,3}} \cdot \left(L_4 + 2 \cdot L_5\right)\right]\right] + \frac{5}{8} \cdot \frac{1}{4} g_{d.dekke} \cdot L_5 = 2.196 \times 10^3 \cdot kN$$

$$D := \frac{3}{8} \cdot g_{d.dekke} \cdot L_5 + \frac{F_{CD} \cdot L_3^{\,2}}{2 \cdot L_5^{\,3}} \cdot \left(L_4 + 2 \cdot L_5\right) = 477.758 \cdot kN$$

$$N_{Ed} := C$$



Materialer:

$\alpha_{cc} := 0.85$

$\gamma_c := 1.5$

$f_{yd} := 434MPa$

$f_{ck} := 30MPa$

$f_{cd} := \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 17 \cdot MPa$

Geometri:

$b := 300mm$

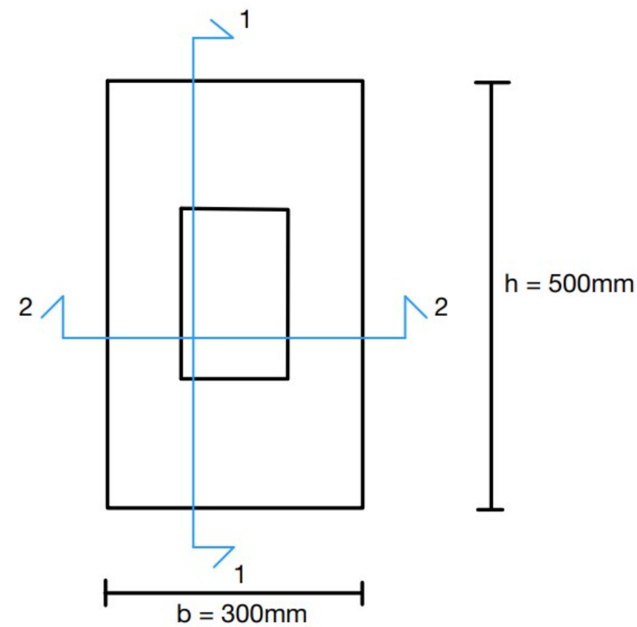
$h := 500mm$

$b_0 := 120mm$

$a_0 := 200mm$

$t_u := 8mm$

Søyletopp sett ovenfra

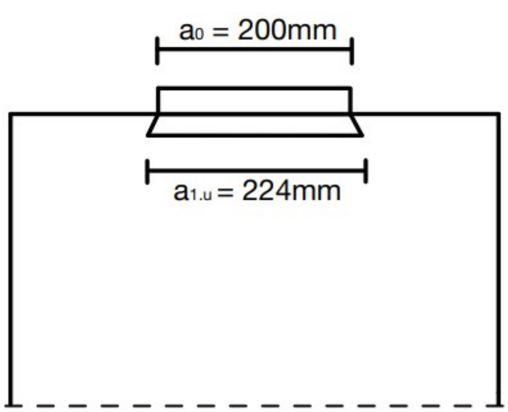


BEB, kap. 18.4:

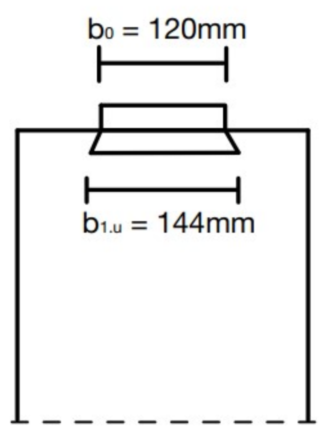
$a_{1.u} := a_0 + 3 \cdot t_u = 224 \cdot mm$

$b_{1.u} := b_0 + 3 \cdot t_u = 144 \cdot mm$

Snitt 1-1



Snitt 2-2



Partiet for belastede falter, EC2 6.7: $A_{c0} := a_{1.u} \cdot b_{1.u} = 3.226 \times 10^4 \cdot mm^2$

Minsteeksentrisitet EC2 6.1(4): $e_{0.b} := \dfrac{b}{30mm} = 10$ men ikke mindre enn $20mm$

$e_{0.h} := \dfrac{h}{30mm} = 16.667$ men ikke mindre enn $20mm$

$e_0 := 20mm$

Finner største beregningsmessige fordelingsflate:

I bredderetning: $x_b := \dfrac{b}{2} - \dfrac{b_{1.u}}{2} - e_0 = 58 \cdot mm$

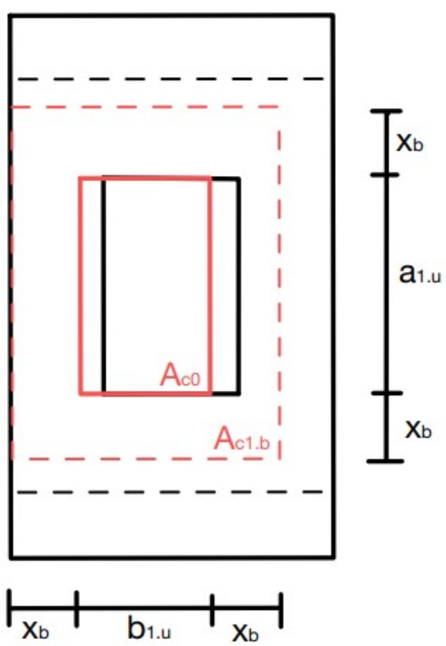
$A_{c1.b} := \left(b_{1.u} + 2x_b\right) \cdot \left(a_{1.u} + 2 \cdot x_b\right) = 8.84 \times 10^4 \cdot mm^2$

I lengderetning: $x_a := \dfrac{b}{2} - \dfrac{b_{1.u}}{2} = 78 \cdot mm$

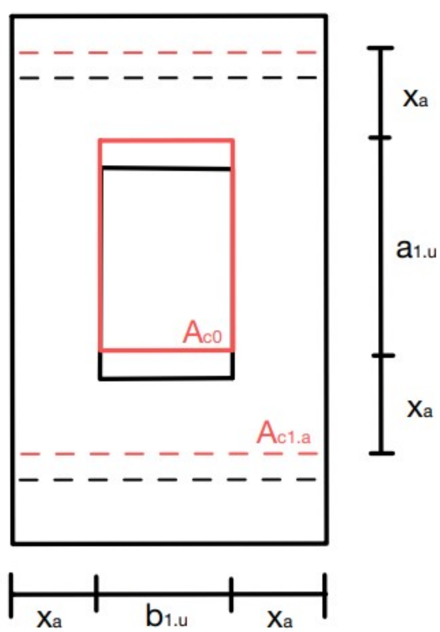
$A_{c1.a} := \left(b_{1.u} + 2 \cdot x_a\right) \cdot \left(a_{1.u} + 2 \cdot x_a\right) = 1.14 \times 10^5 \cdot mm^2$

Det mest konservative valget er det minste arealet, går videre med $A_{c1.b}$

Eksentrisitet i bredde retning



Eksentrisitet i lengderetning



Bestemmer kapasiteten:

$$F_{Rdu} := A_{c0} \cdot f_{cd} \cdot \sqrt{\frac{A_{c1.b}}{A_{c0}}} = 907.779 \cdot kN \quad < \quad 3.0 \cdot f_{cd} \cdot A_{c0} = 1.645 \times 10^3 \cdot kN$$ OK

Siden F.Rdu er strekk kakpasiteten til søyletoppen, og N.Ed går vertikalt ned i søylen, vil det ikke være naturlig å sammenlikne disse to. Antar at N.Ed har en skevstilling på 20 grader (pi/9 radianer). Sammenlikner den hotisontale komponenten av N.Ed med F.Rdu. Om denne verdien er innenfor vil det si at strekkkapasiteten er OK.

$$N_{Ed.horisontal} := N_{Ed} \cdot \tan\left(\frac{\pi}{9}\right) = 799.11 \cdot kN$$

$$F_{Rdu} > N_{Ed.horisontal}$$ OK

Finner armeringsmengden i søyletoppen:

$$T := \frac{1}{4} \cdot \frac{b - a}{b} \cdot F$$ EC2 6.5.3(3)

$$F := N_{Ed}$$

I snitt 1-1:

$$T_a := \frac{1}{4} \cdot \frac{\left(a_{1.u} + 2 \cdot x_a\right) - a_{1.u}}{\left(a_{1.u} + 2 \cdot x_a\right)} \cdot F = 225.331 \cdot kN$$

I snitt 2-2:

$$T_b := \frac{1}{4} \cdot \frac{\left(b_{1.u} + 2 \cdot x_b\right) - b_{1.u}}{\left(b_{1.u} + 2 \cdot x_b\right)} \cdot F = 244.887 \cdot kN$$

$$z_{S2} := \frac{0.015 \cdot F}{1 - \sqrt{2 \cdot \frac{e_0}{b}}} = 51.875 \cdot kN > \quad 0.02 \cdot F = 43.911 \cdot kN$$

$$H_{a.total} := T_a + z_{S2} = 277.207 \cdot kN$$

$$H_{b.total} := T_b + z_{S2} = 296.762 \cdot kN$$

$$H_{maks} := H_{b.total}$$ Bruker den største av disse for å regne ut armeringen

$$A_{s.min} := \frac{H_{maks}}{f_{yd}} = 683.783 \cdot mm^2$$

$$n := \frac{A_{s.min}}{2 \cdot \pi \cdot (4mm)^2} = 6.802$$

$$n := 7$$

Velger lukkede armeringsbøyler xØ8 som gir $A_s := 2 \cdot n \cdot \pi \cdot \left(\frac{8}{2}\right)^2 = 703.717$

Fordelt over en avtand: $a_2 := b_{1.u} + 2 \cdot x_b = 260 \cdot mm$

Lengdearmering i søylen, EC2 NA9.5.2:

$Ø_{lengde} := 16mm$ $A_c := 300mm \cdot 500mm$

$A_{s.min.lengde} := 0.2 \cdot A_c \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 1.175 \times 10^3 \cdot mm^2$ < $0.5 \frac{N_{Ed}}{f_{yd}} = 2.529 \times 10^3 \cdot mm^2$ OK

Men ikke mindre enn: $A_{s.min.krav} := 0.01 \cdot A_c = 1.5 \times 10^3 \cdot mm^2$

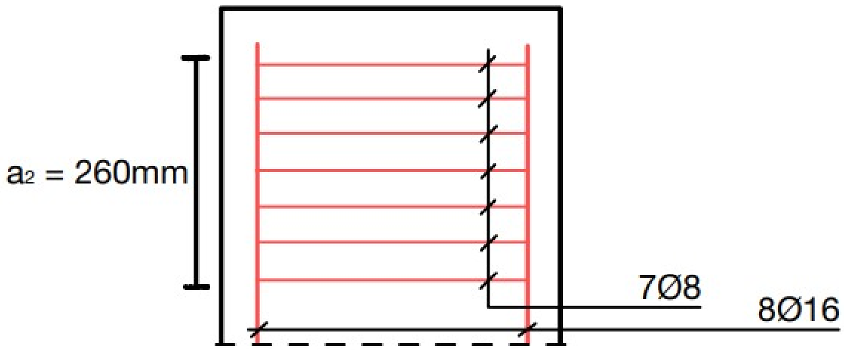
Makskrav: $A_{s.max} := 0.08 \cdot A_c = 1.2 \times 10^4 \cdot mm^2$

$$n_{nødv.lengde} := \frac{A_{s.min.krav}}{\pi \left(\frac{Ø_{lengde}}{2}\right)^2} = 7.46$$

$$n_{lengde} := 8$$

Bruker 8Ø16 og får en faktisk armeringsmengde på:

$A_{s.faktisk} := n_{lengde} \cdot \pi \cdot \left(\frac{Ø_{lengde}}{2}\right)^2 = 1.608 \times 10^3 \cdot mm^2$ OK, innenfor krav



Kontroll av knekking:

$b := 500mm$

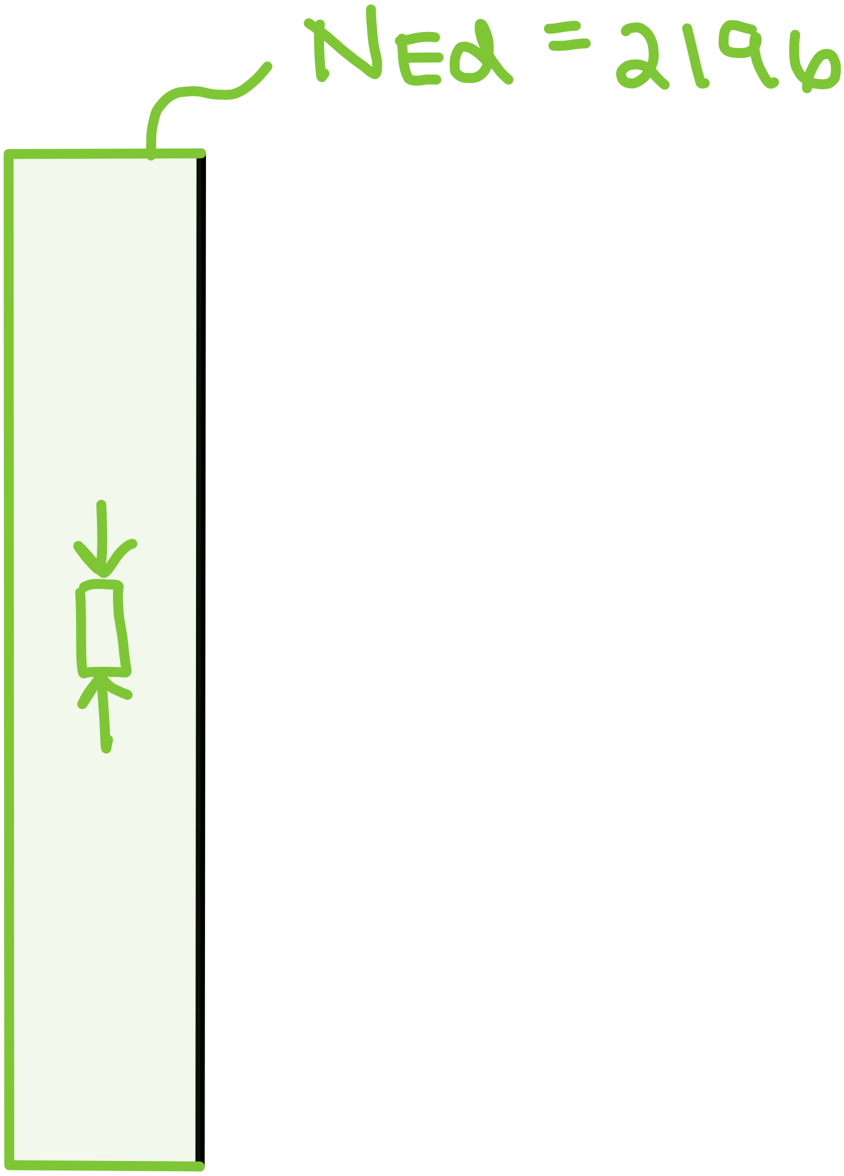
$h := 300mm$

$I := \frac{b \cdot h^3}{12} \qquad E_{cm} := 33000 \frac{N}{2} \qquad L_k := 2700mm$

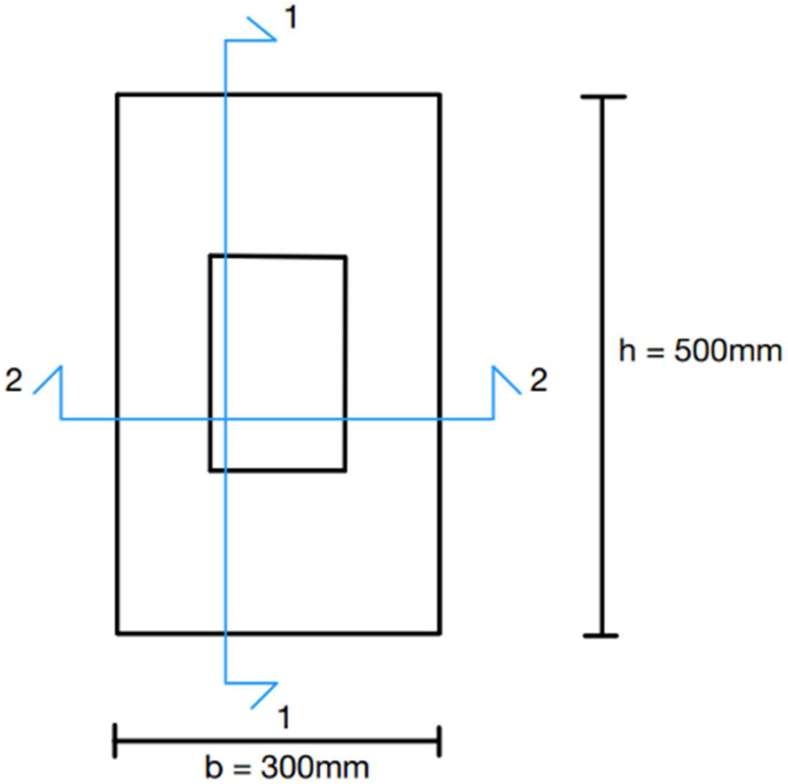
$N_{kr} := \frac{\pi^2 \cdot E_{cm} \cdot I}{L_k^2} = 5.026 \times 10^4 \cdot kN \qquad > \qquad N_{Ed} := 2196kN$

VEDLEGG H.3

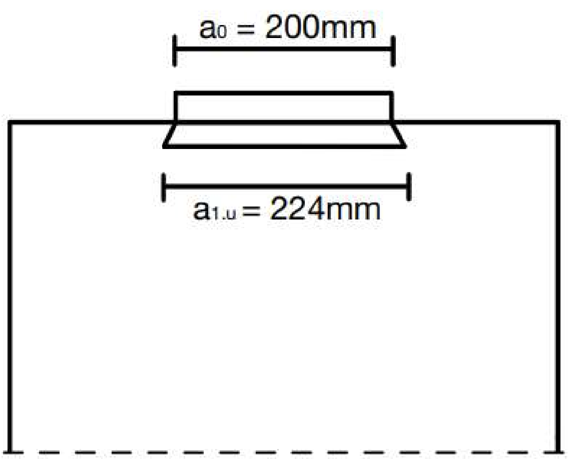
N-diagram



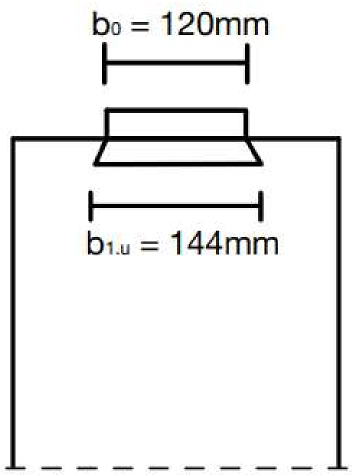
Søyletopp sett ovenfra



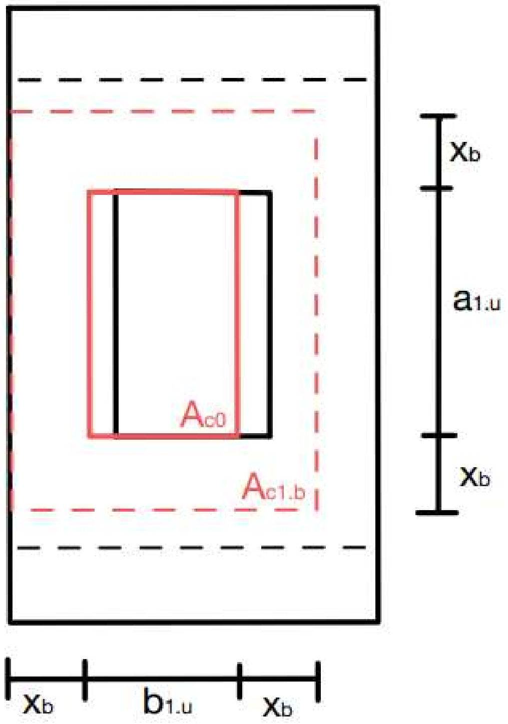
Snitt 1-1



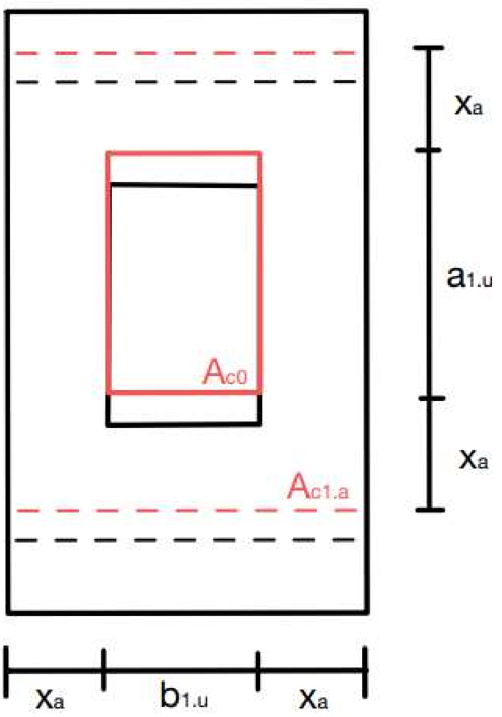
Snitt 2-2



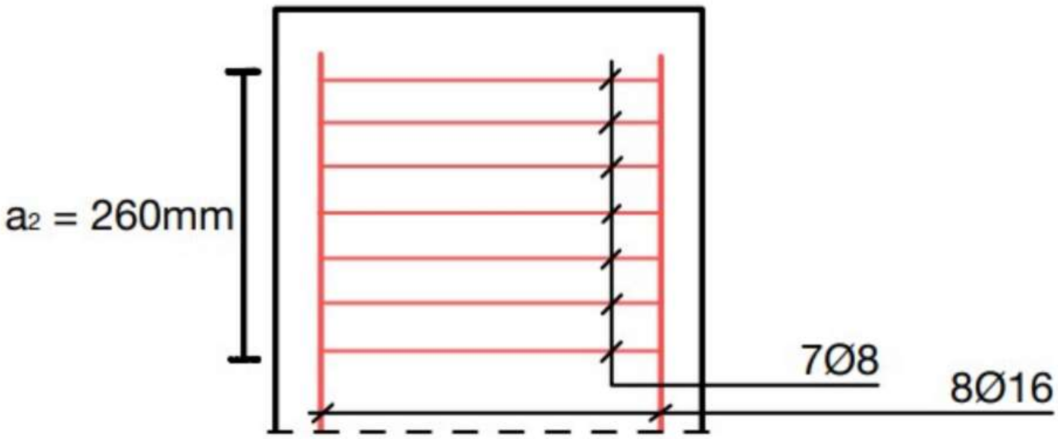
Eksentrisitet i bredde retning



Eksentrisitet i lengderetning

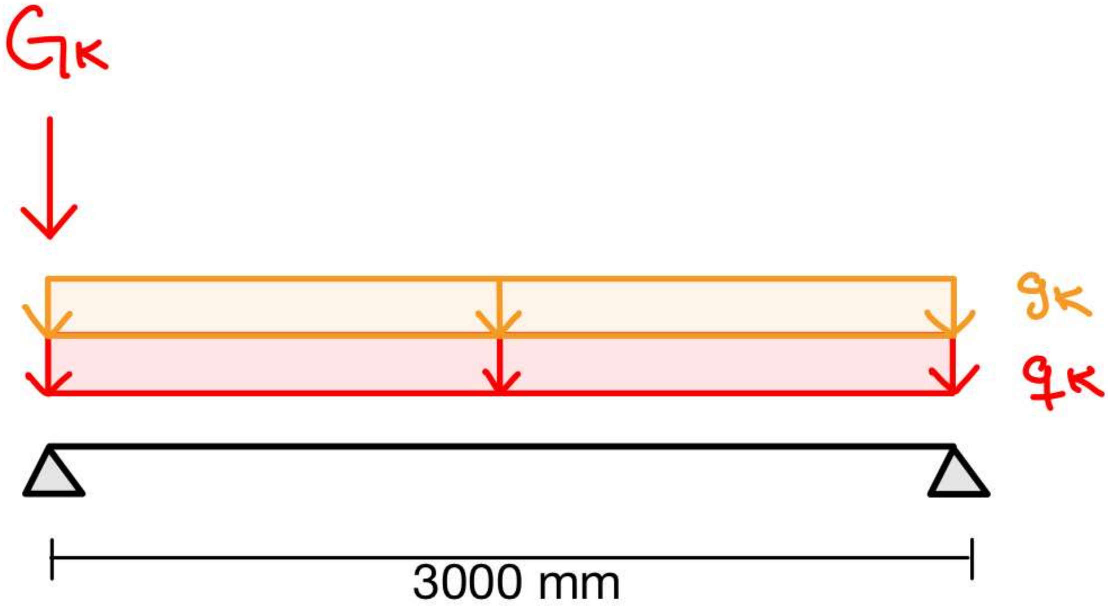


Armeringsmengde i søylen:



VEDLEGG H.4

Statisk system sirkulære søyler:



VEDLEGG H.5

Dimensjonering av rund søyle

$L_{svalgang} := 3m \quad \gamma_g := 1.2 \quad \gamma_q := 1.5 \quad h_s := 2.7m \quad A_c := \pi\cdot(125mm)^2$

$f_{cd} := 0.85\cdot\frac{35}{1.5}\frac{N}{mm^2} = 1.983\times 10^7 Pa \quad f_{yd} := 434\frac{N}{mm^2} \quad Ø := 16mm$

$G_{d.søyle} := 3.31\cdot\gamma_g\frac{kN}{m} \quad q_{d.svalgang} := 4\cdot\gamma_q\frac{kN}{m^2} \quad g_{d.svalgang} := \gamma_g\cdot 6.5\frac{kN}{m^2}$

Ser på last fra 4 etasjer, og ganger derfor med 4

Opptredende aksialkraft:

$N_{Ed} := 4\cdot G_{d.søyle}\cdot h_s + 4\cdot q_{d.svalgang}\cdot L_{svalgang}\cdot 1m + 4\cdot g_{d.svalgang}\cdot L_{svalgang}\cdot 1m = 208.498\cdot kN$

Spenning

$\sigma_N := \frac{N_{Ed}}{A_c} = 4.247\cdot\frac{N}{mm^2}$ < fcd=19.83 OK!

Armeringsmengde EC2 NA9.5.2

$A_s := \frac{(0.2\cdot A_c\cdot f_{cd})}{f_{yd}} = 448.648\cdot mm^2$ < $As_1 := \frac{0.5\cdot N_{Ed}}{f_{yd}} = 240.205\cdot mm^2$

Bruker minste armering:

$A_{s.min} := 0.01\cdot A_c = 490.874\cdot mm^2 \quad A_{s.max} := 0.08\cdot A_c = 3.927\times 10^3\cdot mm^2$

$n := \frac{A_{s.min}}{\pi\cdot\left(\frac{Ø}{2}\right)^2} = 2.441$ Bruker 4 jern for symmetri

$A_{s.faktisk} := 4\cdot\pi\cdot\left(\frac{Ø}{2}\right)^2 = 804.248\cdot mm^2$

$N_{Rd} := f_{cd}\cdot(A_c - A_{s.faktisk}) + f_{yd}\cdot A_{s.faktisk} = 1.307\times 10^3\cdot kN$ EC2 5.8.9(4)

$N_{RD} > N_{Ed}$ OK!

$h := 250mm \quad b := 250mm \quad f_{ck} := 35 \frac{N}{mm^2} \quad f_{yk} := 500 \frac{N}{mm^2} \quad c_{nom} := 35mm$

eksentrisitet

$$e_1 := \frac{h}{30} = 8.333 \times 10^{-3} m$$

$e_2 := 20mm$ Velger største, dvs e.2

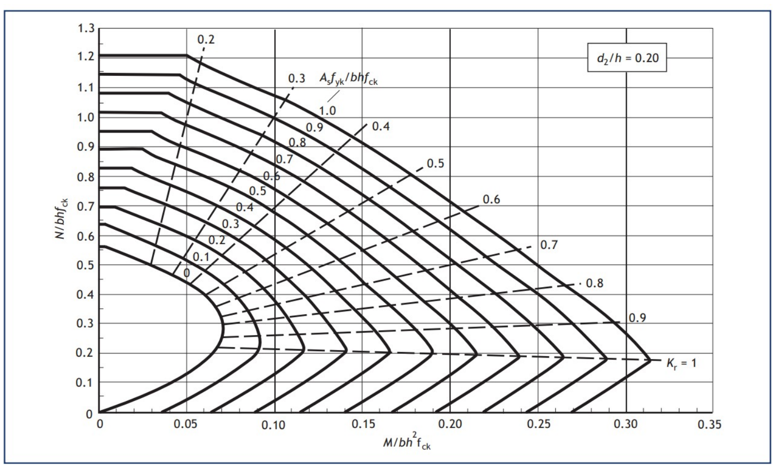
$$M_{Ed} := N_{Ed} \cdot e_2 = 4.17\, m \cdot kN$$

$$n_{diagram} := \frac{N_{Ed}}{f_{ck} \cdot b \cdot h} = 0.095$$

$$m_{diagram} := \frac{M_{Ed}}{f_{ck} \cdot b \cdot h^2} = 7.625 \times 10^{-3}$$

$$d_2 := c_{nom} + \frac{Ø}{2} = 0.043\, m$$

$$\frac{d_2}{h} = 0.172$$



$w := 0$ Leses av diagrammet

Bruker minste armering

$$A_{s.faktisk} = 804.248 \cdot mm^2$$

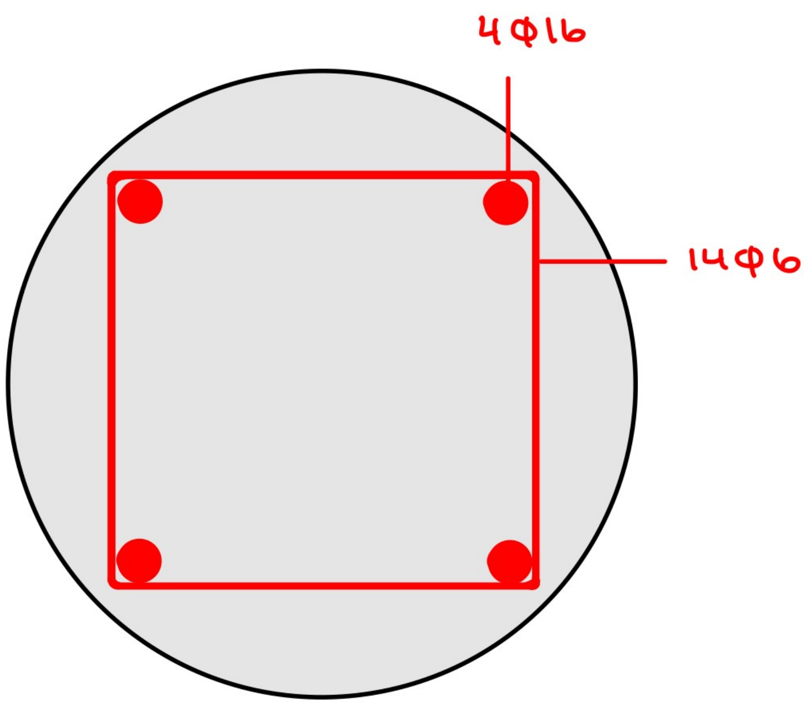
Tverrarmering / bøylearmering:

$Ø_{tverr} := 6mm$

$S_{cl.max} := 200mm$ EC2 NA9.5.3

$$\frac{h_s}{S_{cl.max}} = 13.5$$

$$A_{s.tverr} := 14 \cdot \pi \cdot \left(\frac{Ø_{tverr}}{2}\right)^2 = 395.841 \cdot mm^2$$



Kontroll av knekking:

$r := 125mm$

$L_k := 2700mm$

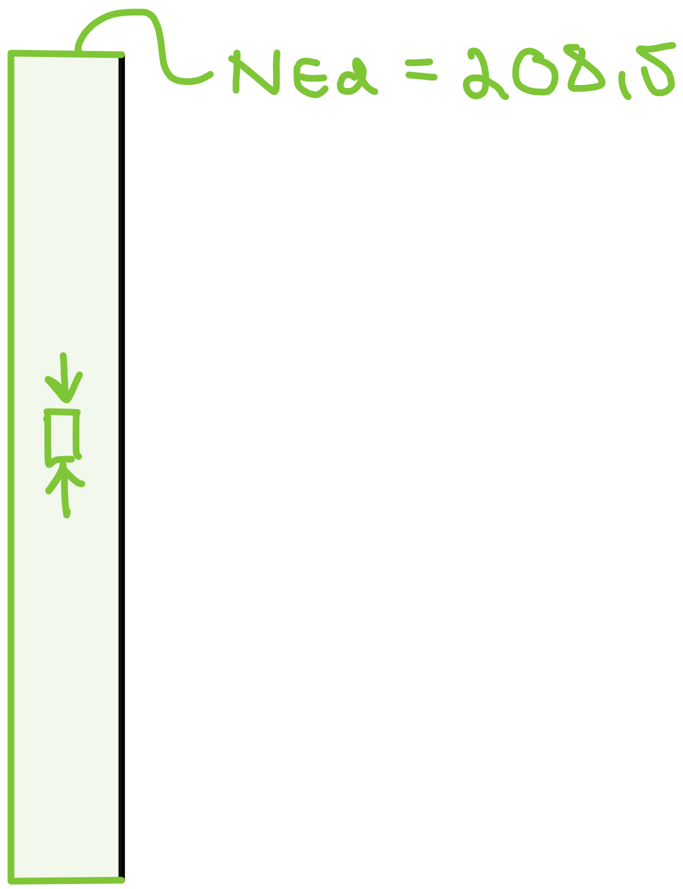
$E_{cm} := 34000 \frac{N}{mm^2}$

$I := \frac{\pi \cdot r^4}{4}$

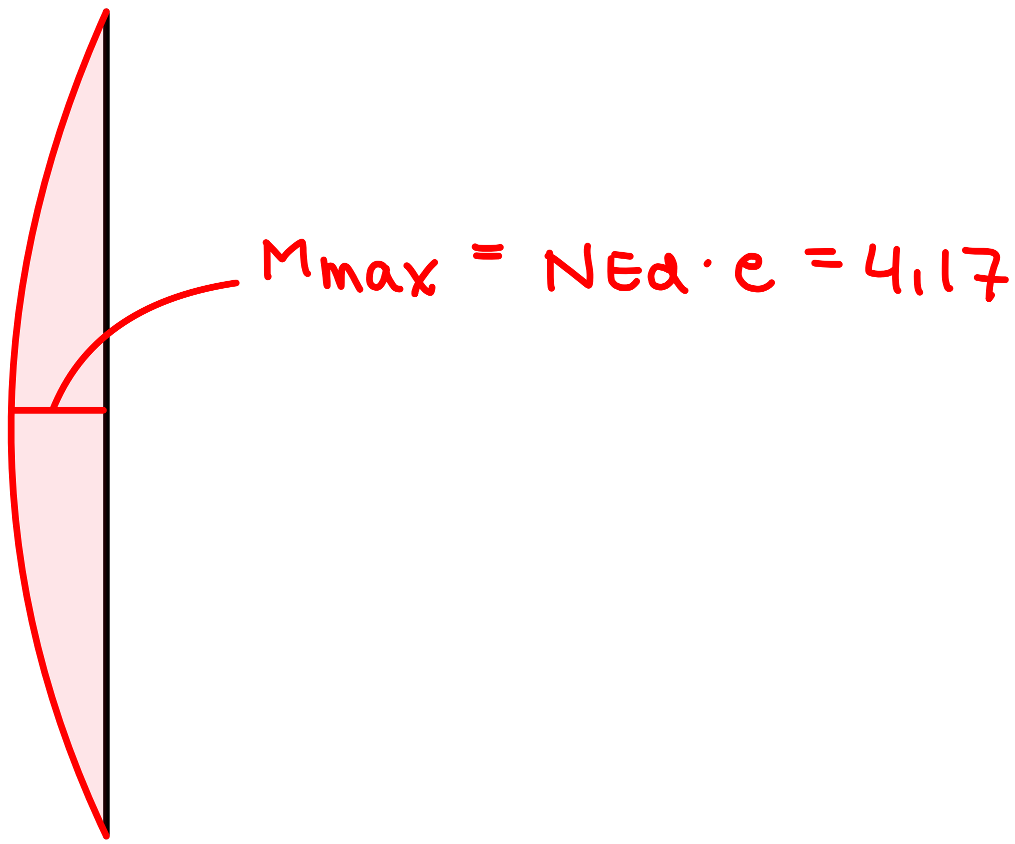
$N_{kr} := \frac{\pi^2 \cdot E_{cm} \cdot I}{L_k^2} = 8.826 \times 10^3 \cdot kN$ > $N_{Ed} := 208.5kN$ OK

VEDLEGG H.6

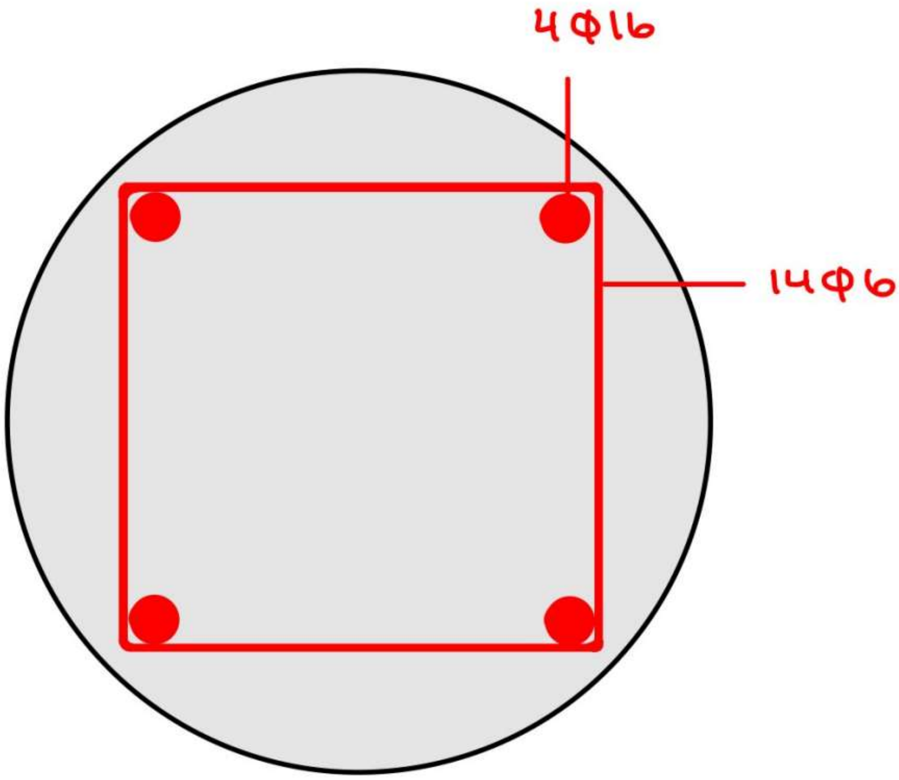
N-diagram



M-diagram



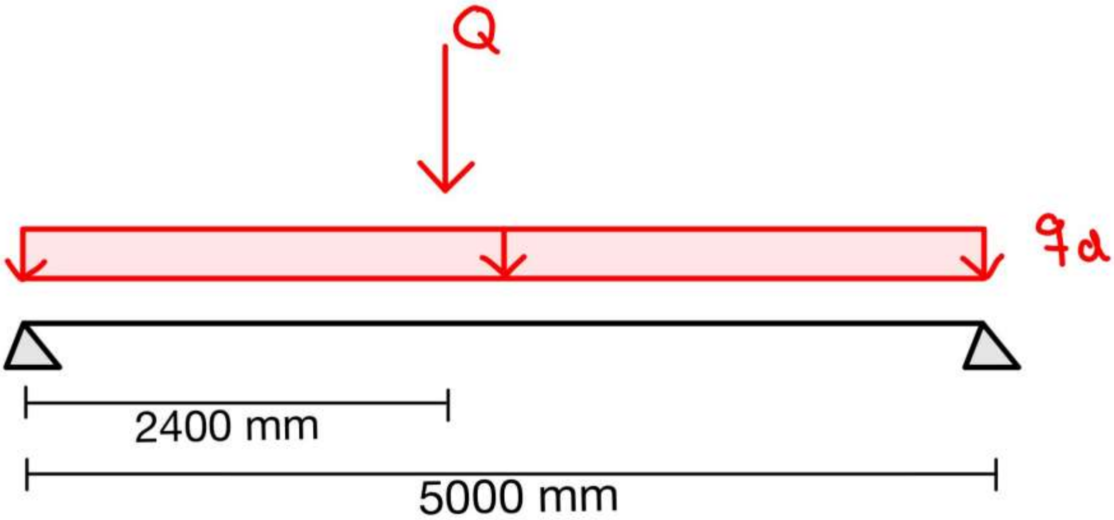
Armering sirkulær søyle:



VEDLEGG I

VEDLEGG I.1

Statisk system bjelke:



VEDLEGG I.2

Dimensjonering av bjelke:

Dimensjonerende laster

$L_s := 5m = 5\,m$

$a := 2.4m = 2.4\,m$

$b := 2.6m = 2.6\,m$

$g_{d.svalgang} := 6.5\frac{kN}{m}\cdot 1.2\cdot 2.4m = 18.72\cdot kN$

$q_{d.svalgang} := 1.5\cdot 4\frac{kN}{m}\cdot 2.4m = 14.4\cdot kN$

$G_{d.søyle} := 3.31\cdot 1.2kN$

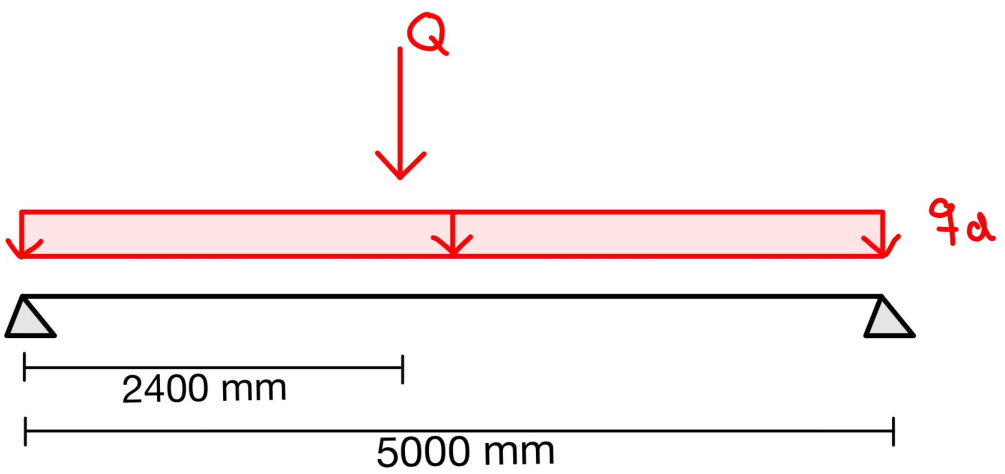
$Q := g_{d.svalgang}\cdot 3 + q_{d.svalgang}\cdot 3 + G_{d.søyle}\cdot 4 = 115.248\cdot kN$

$g_{d.dekke} := 6.5\frac{kN}{m}\cdot 1.2 = 7.8\cdot\frac{kN}{m}$

$g_{d.bjelke} := 3\frac{kN}{m}\cdot 1.2 = 3.6\cdot\frac{kN}{m}$

$q_d := g_{d.dekke} + g_{d.bjelke} = 11.4\cdot\frac{kN}{m}$

Statisk modell



Opplagerkrefter

$$F_A := \frac{q_d \cdot L_s}{2} + \frac{Q \cdot b}{L_s} = 88.429 \cdot kN$$

$$F_B := \frac{q_d \cdot L_s}{2} + \frac{Q \cdot a}{L_s} = 83.819 \cdot kN$$

Moment

$$M_1 := \frac{q_d \cdot L_s^2}{8} = 35.625 \cdot kN \cdot m \qquad M_{1.x} := -a \cdot q_d \cdot \frac{a}{2} + \frac{q_d \cdot L_s}{2} \cdot a = 35.568 \cdot kN \cdot m$$

$$M_2 := \frac{Q \cdot a \cdot b}{L_s} = 143.83 \cdot kN \cdot m \qquad M_{Ed} := M_{1.x} + M_2 = 179.398 \cdot kN \cdot m$$

Skjærkraft

$$x := \frac{q_d \cdot L_s}{2} \cdot \frac{1}{\frac{L_s}{2}} \cdot 0.1m = 1.14 \cdot kN \qquad V_{Ed} := F_A = 88.429 \cdot kN$$

Betongegenskaper, tøyning og dimensjoner

$$f_{cd} := 17 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{yd} := 434 \frac{N}{mm^2}$$

$$\varepsilon_{cu} := 0.0035$$

$$E_s := 2.1 \cdot 10^5 \frac{N}{mm^2}$$

$$\varepsilon_{yd} := \frac{f_{yd}}{E_s} = 2.067 \times 10^{-3}$$

$$h := 300mm$$

$$b_1 := 400mm$$

$$A_c := h \cdot b_1 = 0.12 m^2$$

$$c_{nom} := 25mm$$

$$Ø := 16mm$$

Dimensjonerer som normalarmert med fullt utnyttet trykksone

$$d := h - c_{nom} - \frac{Ø}{2}$$

$$z := 0.835 \cdot d$$

$$A_s := \frac{M_{Ed}}{f_{yd} \cdot z} = 1.854 \times 10^3 \cdot mm^2$$ Sørensen del 1 (4.26)

$$n_1 := \frac{A_s}{\left(\frac{Ø}{2}\right)^2 \cdot \pi} = 9.221$$ Trenger 10 jern

$$a_h := 32mm$$

$$a_v := 24mm$$

Legger armeringen i 2 lag

$$nødv_{plass} := 5 \cdot Ø + 4 \cdot a_h + 2 \cdot c_{nom} = 0.258\,m$$

$$d_{ny} := d - \frac{Ø}{2} - \frac{a_v}{2} = 0.247\,m$$

$$As_{ny} := \frac{M_{Ed}}{f_{yd} \cdot d_{ny} \cdot 0.835} = 2.004 \times 10^3 \cdot mm^2$$

$$A_{s.faktisk} := 10 \cdot \left(\frac{Ø}{2}\right)^2 \cdot \pi = 2.011 \times 10^3 \cdot mm^2$$

Momentkapasitet

$$\alpha_b := \frac{\varepsilon_{cu}}{\varepsilon_{cu} + \varepsilon_{yd}} = 0.629$$ Sørensen del 1 (4.20)

$$As_b := 0.8 \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \cdot b_1 \cdot d_{ny} \cdot \alpha_b = 1.947 \times 10^3 \cdot mm^2$$ Sørensen del 1 (4.21)

As > Asb --> Overarmert

Får en 2. gradslikning:

$$0.8 \cdot f_{cd} \cdot b \cdot d \cdot \alpha^2 + E_s \cdot A_s \cdot \varepsilon_{cu} \cdot \alpha - E_s \cdot A_s \cdot \varepsilon_{cu} = 0$$ Sørensen del 1 (4.18)

Til abc-formel:

$$a_1 := 0.8 f_{cd} \cdot b_1 \cdot d_{ny} = 1.344 \times 10^6 N$$

$$b_2 := E_s \cdot A_{s.faktisk} \cdot \varepsilon_{cu} = 1.478 \times 10^6 N$$

$$c_1 := -E_s \cdot A_{s.faktisk} \cdot \varepsilon_{cu} = -1.478 \times 10^6 N$$

$$\alpha_1 := \frac{-b_2 + \sqrt{b_2^2 - 4 \cdot a_1 \cdot c_1}}{2 \cdot a_1} = 0.634$$ Bruker denne!

$$\alpha_2 := \frac{-b_2 - \sqrt{b_2^2 - 4 \cdot a_1 \cdot c_1}}{2 \cdot a_1} = -1.734$$

$$M_{Rd} := 0.8 \cdot \alpha_1 \cdot (1 - 0.4 \cdot \alpha_1) \cdot f_{cd} \cdot b_1 \cdot d_{ny}^2 = 157.096 \cdot kN \cdot m$$ Sørensen del 1 (4.14)

Mrd < Med --> behov for trykkarmering

Trykkarmering

$\Delta M_{Ed} := M_{Ed} - M_{Rd} = 22.302 \cdot kN \cdot m$

$A_{s.trykk} := \frac{\Delta M_{Ed}}{f_{yd} \cdot z} = 230.491 \cdot mm^2$ Sørensen del 1 (4.30)

$n_{trykk} := \frac{A_{s.trykk}}{\left(\frac{Ø}{2}\right)^2 \cdot \pi} = 1.146$ --> n = 2

$A_{s.trykk.faktisk} := 2 \cdot \left(\frac{Ø}{2}\right)^2 \cdot \pi = 402.124 \cdot mm^2$

Kontroll av flyt i armeringen:

$x_1 := \alpha_1 \cdot d_{ny} = 0.157 m$

$\varepsilon_{s.trykk} := \frac{x_1 - c_{nom}}{x_1} \cdot \varepsilon_{cu} = 2.941 \times 10^{-3}$ > 0.00206 = ε_{yd} --> OK, armeringen flyter

Minstekrav til armering:

$f_{ctm} := 2.9 \frac{N}{mm^2}$ $f_{yk} := 500 \frac{N}{mm^2}$ NA 9.2.1.1

$A_{s.min} := 0.26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_1 \cdot d_{ny} = 148.99 \cdot mm^2$ > $0.0013 \cdot b_1 \cdot d_{ny} = 128.44 \cdot mm^2$

men ikke mindre enn $0.01 \cdot A_c = 1.2 \times 10^3 mm^2$

$A_{s.max} := 0.04 \cdot b_1 \cdot h = 4.8 \times 10^3 \cdot mm^2$

As er innenfor krav til minste og største armeringsmengde

Total strekkarmering: $A_{s.faktisk} = 2.011 \times 10^3 \cdot mm^2$

Total trykkarmering: $A_{s.trykk.faktisk} = 402.124 \cdot mm^2$

Skjærarmering EC2 6.2.2

$V_{Ed} = 88.429 \cdot kN$

$V_{Ed.red} := V_{Ed} - q_d \cdot d_{ny} = 85.613 \cdot kN$

$\gamma_c := 1.5$

$f_{ck} := 30$

$k_1 := 0$

$\sigma_{cp} := 0$

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

$k := 1 + \sqrt{\frac{200mm}{d_{ny}}} = 1.9$

$v := \left[0.6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right)\right]$

$\rho_l := \frac{A_{s.faktisk}}{b_1 \cdot d_{ny}} = 0.02$

$$V_{Rd.c} := \left[C_{Rd.c} \cdot k \cdot \left(100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck}\right)^{\frac{1}{3}} + k_1 \cdot \sigma_{cp}\right] \cdot b_1 \cdot d_{ny} \cdot \frac{N}{mm^2} = 88.693 \cdot kN$$

VRd.c må ennå være større enn:

$V_{Rd.c.1} := v \cdot b_1 \cdot d_{ny} \cdot \frac{N}{mm^2} = 52.166 \cdot kN$ OK!

$V_{Ed.red} = 85.613 \cdot kN$

Vrd.c > Ved.red --> Ikke behov for skjærarmering, men ennå et minstekrav

Minstekrav til skjærarmering, NA 9.2.2

$f_{yk} := 500$

$\rho_{w.min} := 0.1 \cdot \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = 1.095 \times 10^{-3}$

$s_{L.max} := 0.6 \cdot h$

$A_{s.w} := \rho_{w.min} \cdot s_{L.max} \cdot b_1 = 78.872 \cdot mm^2$

$Ø := 8mm$

$$n_{skjær} := \frac{A_{s.w}}{\left(\frac{Ø}{2}\right)^2 \cdot \pi} = 1.569$$ n = 2

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

Sjekker maks skjærkapasitet: EC2 6.2.3 (3)

$v = 0.528$ $\Theta := \frac{\pi}{8}$ Valgt vinkelen lik 22,5

$$V_{Rd.max} := v \cdot f_{cd} \cdot b_1 \cdot z \cdot \frac{1}{\cot(\Theta) + \tan(\Theta)} = 283.006 \cdot kN$$

$V_{Ed} = 88.429 \cdot kN$

V.Rd.max > V.Ed --> OK!

Kontroll av heft og forankring EC2 8.4.2(2)

$f_{ctk.0.05} := 2 \frac{N}{mm^2}$ tabell 3.1

$$f_{ctd} := 0.85 \cdot \frac{f_{ctk.0.05}}{\gamma_c} = 1.133 \cdot \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{bd} := 2.25 \cdot f_{ctd} = 2.55 \cdot \frac{N}{mm^2}$$

$$\Delta F_{td} := 0.5 \cdot V_{Ed} \cdot \cot(\Theta)$$

$$\sigma_{sd} := \frac{\Delta F_{td}}{A_{s.faktisk}} = 53.09 \cdot \frac{N}{mm^2}$$

Beregningsmessig nødvendig forankringslengde

$Ø := 16mm$

$$L_{BD} := 0.25 \cdot Ø \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = 83.278 \cdot mm$$

$L_{b.min} := 10 \cdot Ø = 160 \cdot mm$ Nødvendig forankringslengde

Nedbøyning

$E_c := 33000 \frac{N}{mm^2}$ tabell 3.1

Forenkler beregninger og sier at størst nedbøyning skjer i L/2 for både punktlast og jevnt fordelt last

$I := \frac{b_1 \cdot h^3}{12}$

Fra jevnt fordelt last

Fra stålkonstruksjoner: Profiler og formler

$w_1 := \frac{5}{384} \cdot \frac{q_d \cdot L_s^4}{E_c \cdot I} = 3.124 \cdot mm$

Fra punktlast

$w_2 := \frac{1}{48} \cdot \frac{Q \cdot L_s^3}{E_c \cdot I} \cdot \left[3 \cdot \frac{1}{2} - 4 \cdot \left(\frac{1}{2} \right)^3 \right] = 10.105 \cdot mm$

$w := w_1 + w_2 = 13.229 \cdot mm$

$w_{max} := \frac{L_s}{250} = 20 \cdot mm$ OK!

Risskontroll

Armeringspenning fra sørensen:

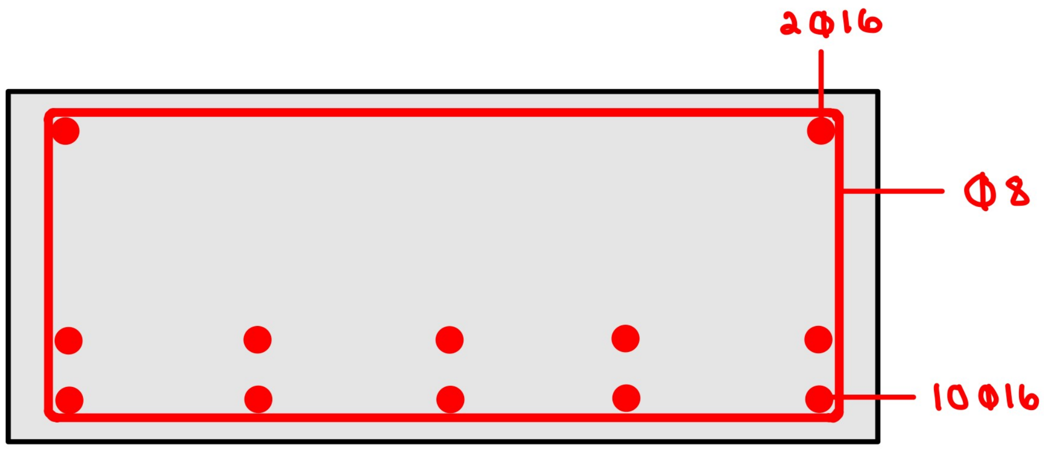
$\sigma_{s.tillatt} := 240MPa$

$\eta := \frac{E_s}{E_c}$ $p := \frac{A_{s.faktisk}}{b_1 \cdot d_{ny}}$

$\alpha := \sqrt{(\eta \cdot p)^2 + 2 \cdot \eta \cdot p} - \eta \cdot p = 0.396$

$\sigma_s := E_s \cdot \dfrac{M_{Ed} \cdot (1 - \alpha) \cdot d_{ny}}{E_c \cdot I} = 189.352 \cdot MPa$ > tilatt armeringspenning

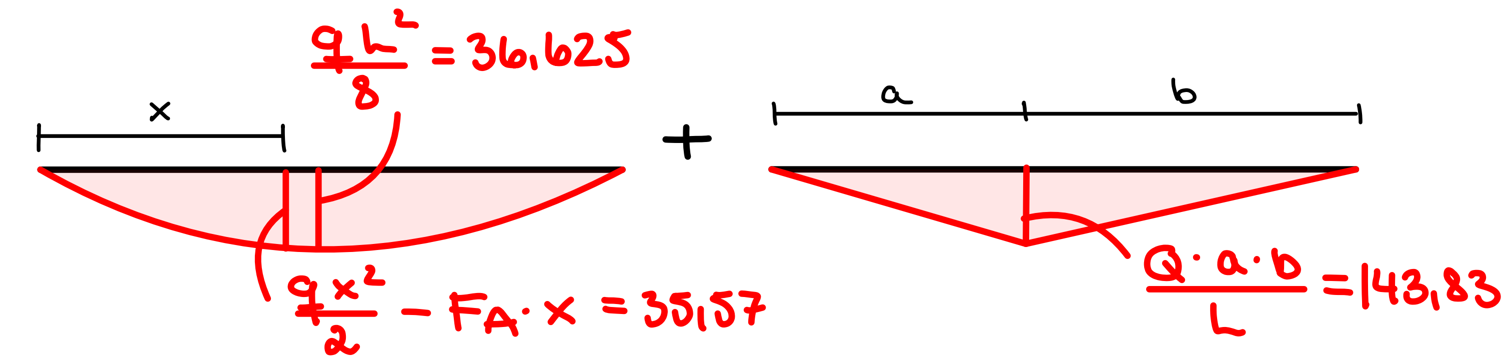
Tverrsnittet med skjær-, trykk- og strekkarmering

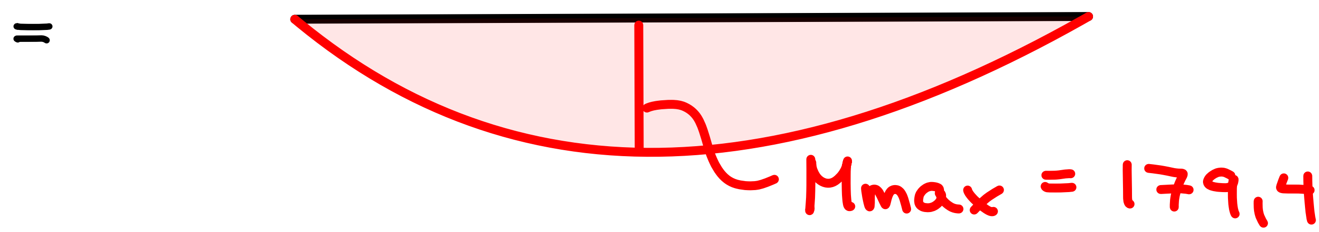


VEDLEGG I.3

M-diagram

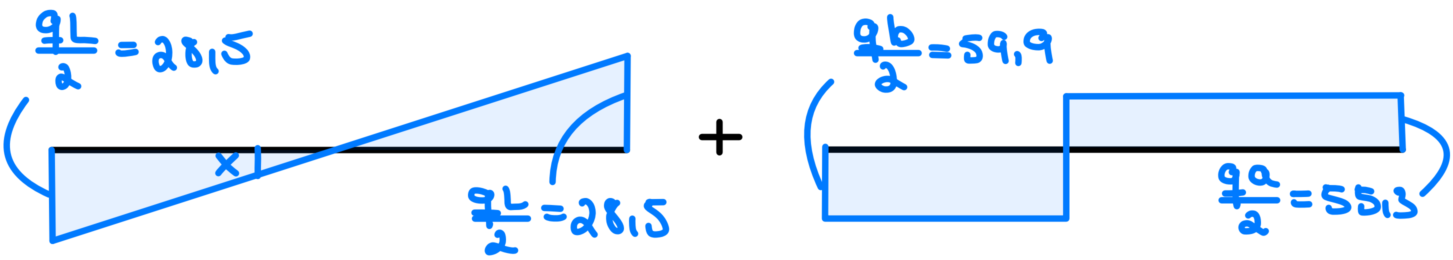
For jevnt fordelt last: For punktlast:

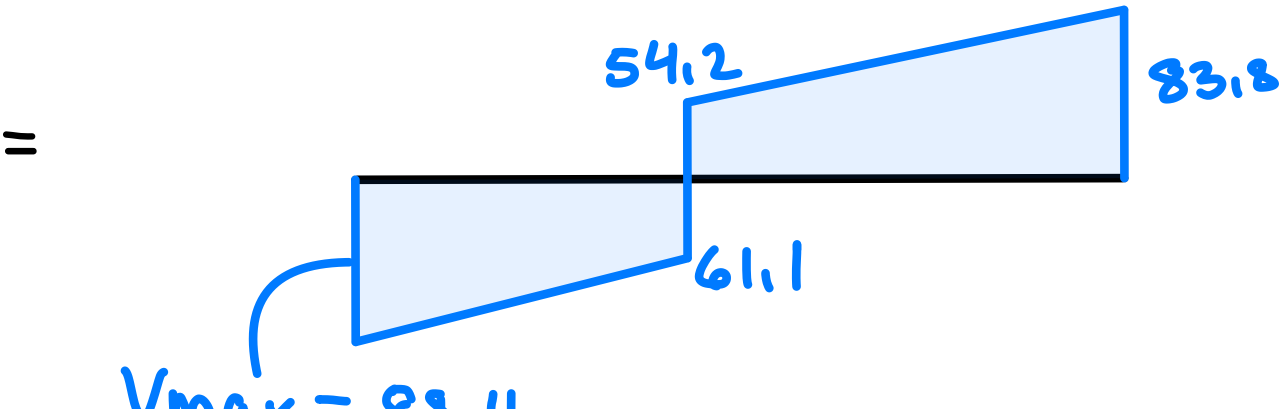




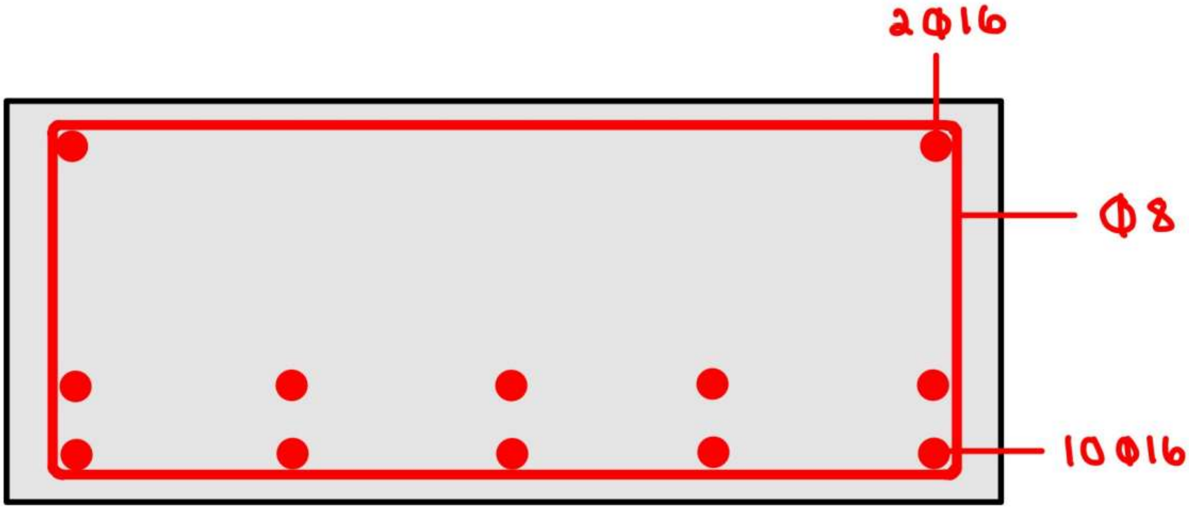
V-diagram

For jevnt fordelt last: For punktlast:





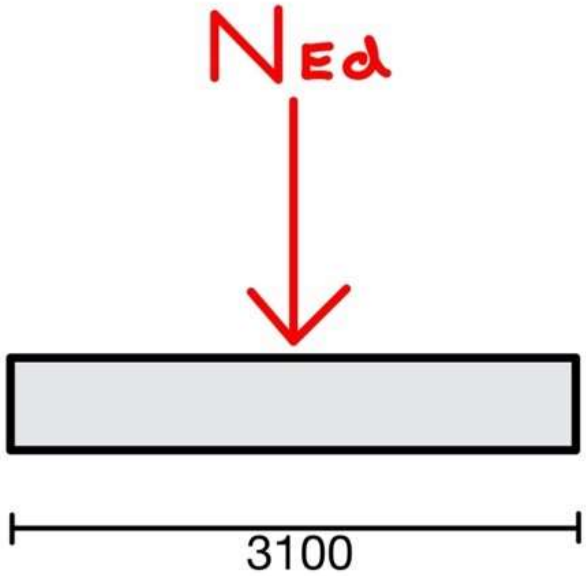
Bjelketverrsnitt med skjær- trykk og strekkarmering:



VEDLEGG J

VEDLEGG J.1

Statisk system fundament:



VEDLEGG J.2

$b_F := 3100mm$

$b_1 := 300mm$

$b_2 := 500mm$

$h_F := 700mm$

$N_{Ed} := 2196kN$

$f_{ck} := 35 \frac{N}{mm^2}$

$f_{cd} := 0.85 \cdot \frac{35}{1.5} \frac{N}{mm^2} = 19.833 \frac{N}{mm^2}$

$Ø := 16mm$

$f_{yd} := 434 \frac{N}{mm^2}$

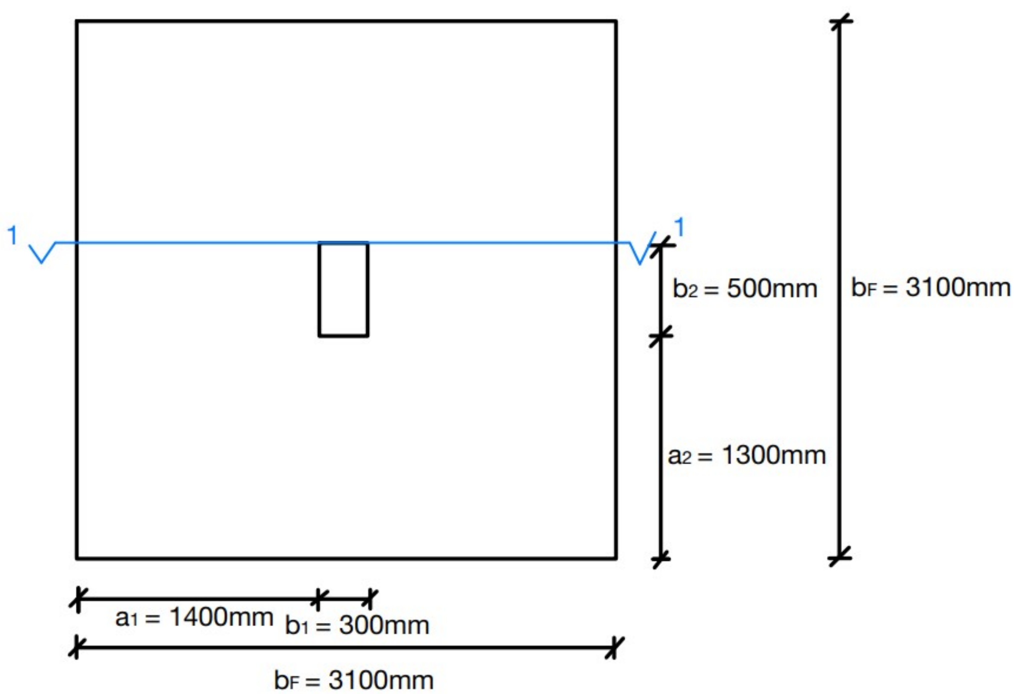
Grunnens bæreevne, grus/stein:

$\sigma_{gd} := 400 \frac{kN}{m^2}$

Sjekker krav for b.F

$b_{F.krav} := \sqrt{\frac{N_{Ed}}{\sigma_{gd}}} = 2.343 \times 10^3 mm$ OK

Søylefundament sett ovenfra:



Armert søylefundament:

EC2 tab 4.1: XC2

tabell NA 4.4N: $C_{min.dur} := 35mm$ (100 års brukstid)

$\Delta C_{dev} := 10mm$

EC2 NA 4.4.1.3(1)P: $C_{nom} := C_{min.dur} + \Delta C_{dev} = 45\,mm$

NA 4.4.1.3(4): $k_2 := 75mm$ For betong støpt rett på grunn (antagelse)

$C_{nom} := k_2 = 75\,mm$

Dimensjonering for bøyemoment, snitt 1

$$d := h_F - C_{nom} - \frac{Ø}{2} = 617\,mm$$

Ved normalarmert tverrsnitt:

$$M_{Rd} := 0.275 \cdot f_{cd} \cdot b_F \cdot d^2 = 6.437 \times 10^3\,kN \cdot m$$ Sørensen 4.3.4

$$q_{Ed} := 400\,\frac{kN}{m}$$

$$a_1 := \frac{b_F}{2} - \frac{b_1}{2} = 1.4\,m \qquad a_2 := \frac{b_F}{2} - \frac{b_2}{2} = 1.3\,m$$

Bruker den største verdien, altså den mest ugunstige

$$M_{Ed.1} := \frac{q_{Ed} \cdot a_1^2}{2} = 392\,kN \cdot m$$

MRd > MEd.1 --> OK

Nødvendig armering på grunn av moment

$$z := \left(1 - 0.17 \cdot \frac{M_{Ed.1}}{M_{Rd}}\right) \cdot d = 610.612\,mm$$

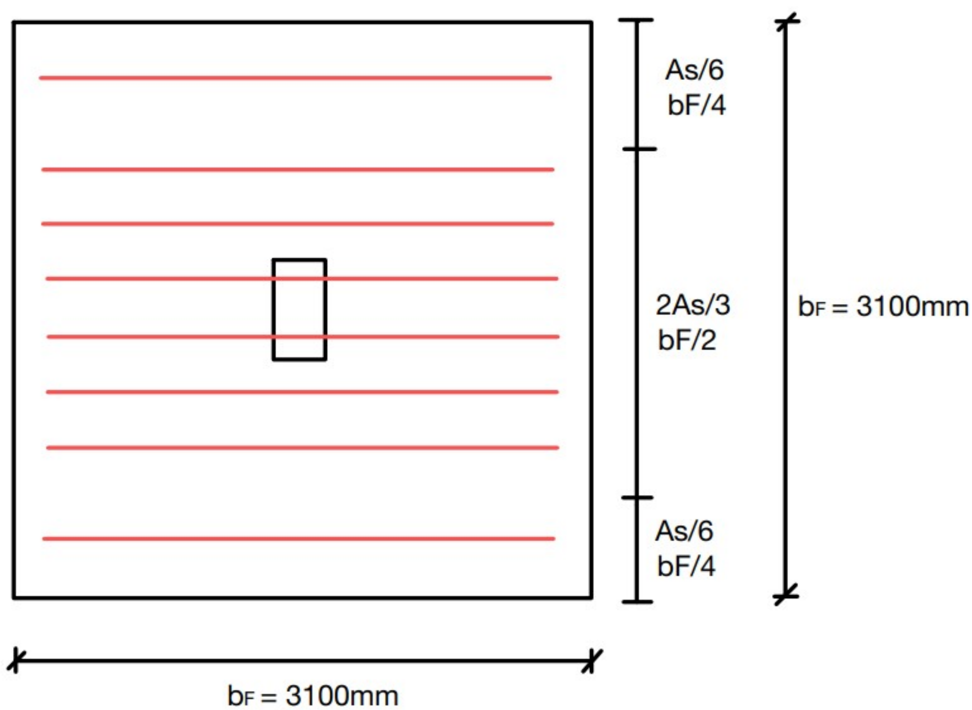
$$A_s := \frac{M_{Ed.1}}{z \cdot f_{yd}} = 1.479 \times 10^3\,mm^2$$

$$n := \frac{A_s}{\pi \cdot \left(\frac{Ø}{2}\right)^2} = 7.357 \qquad n := 8$$

$$A_{s.faktisk} := n \cdot \pi \cdot \left(\frac{Ø}{2}\right)^2 = 1.608 \times 10^3 \, mm^2$$

b_F er større enn 5b--> 2/3 av A.s.faktisk innenfor $\frac{b_F}{2}$

1/3 av A.s.faktisk utenfor



Dimensjonering for skjær:

$$q_{Ed} := 400 \frac{kN}{m^2}$$

$$V_{Ed.1} := q_{Ed} \cdot \frac{b_F + b_1}{2} \cdot a_1 = 952\,kN$$ Sørensen (4.3.11)

EC2 6.2.2(6):

$$f_{ck} := 35$$

$$f_{cd} := 19.83$$

$$v := 0.6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0.516$$

$$z := 611$$

$$\Theta := \frac{\pi}{8}$$

$$\alpha := \frac{\pi}{4}$$

$$V_{Rd.max} := v \cdot f_{cd} \cdot z \cdot \frac{\cot(\Theta) + \cot(\alpha)}{1 + \cot(\Theta) \cdot \cot(\Theta)} = 3.126 \times 10^3$$

$V_{Rd.max}$ >> $V_{Ed.1}$ har tilstrekkelig skjærtrykkkapasitet

Forankring av hovedarmering:

$$x_{min} := \frac{h_F}{2} = 350\,\text{mm}$$

$$x := x_{min}$$

$$f_{ctk.0.05} := 2.2\,\frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{ctd} := 0.85\cdot\frac{f_{ctk.0.05}}{1.5} = 1.247\,\frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{bd} := 2.25\cdot f_{ctd} = 2.805\,\frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$R := \sigma_{gd}\cdot x = 140\,\frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$z_e := a_1 - \frac{x}{2} = 1.225\,\text{m}$$

$$z_i := 0.9\cdot d = 0.555\,\text{m}$$

Armeringskraft i snitt x fra kant:

$$F_s := \frac{R\cdot z_e}{z_i} = 308.842\,\frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

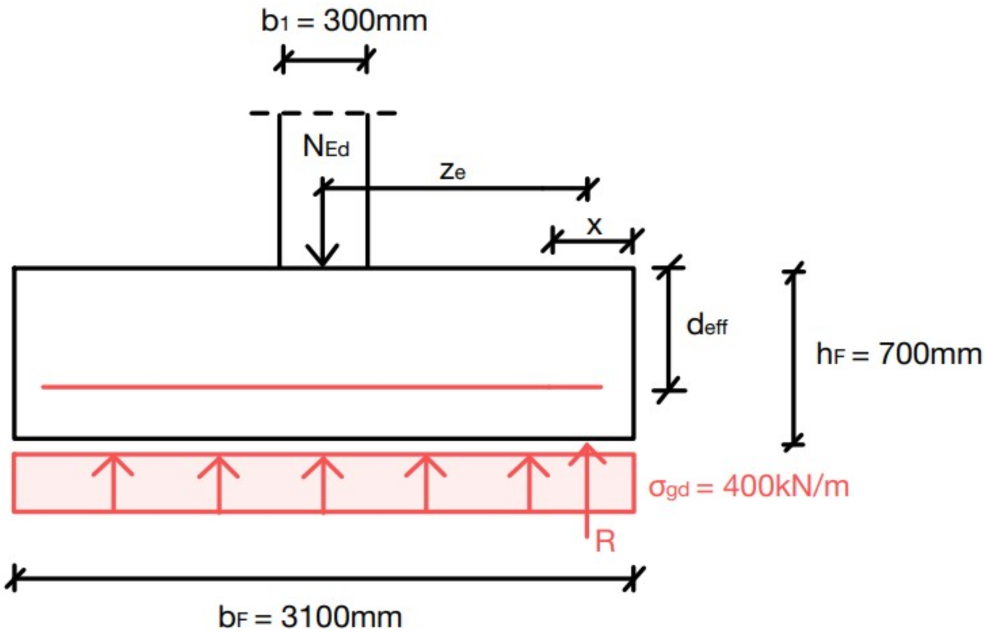
$$A_{s.faktisk} = 1.608\times 10^3\,\text{mm}^2$$

Armeringspenning:

$$\sigma_s := \frac{F_s}{A_{s.faktisk}}\cdot 1\text{m} = 192.007\,\frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$L_{bd.rqd} := \frac{0.25\cdot Ø\cdot\sigma_s}{f_{bd}} = 273.806\,\text{mm} \qquad x = 0.35\,\text{m}$$

Lbd < x, trenger ikke bøye opp armeringsstengene



b1 = 300mm
NEd
ze
x
deff
hF = 700mm
σgd = 400kN/m
R
bF = 3100mm

Gjennomlokkingskontroll:

$d_{eff} := h_F - C_{nom} - Ø = 609\,mm$

$V_{Ed} := N_{Ed}$

$\sigma_d := (400 - 1 \cdot 0.7 \cdot 25)\frac{kN}{m^2} = 382.5\frac{kN}{m^2}$

Kontrollsnitt 0.5d:

$u_{0.5d} := 2 \cdot (b_1 + b_2) + 2 \cdot \pi \cdot 0.5 \cdot d_{eff} = 3.513 \times 10^3\,mm$

$u_{1d} := 2 \cdot (b_1 + b_2) + 2 \cdot \pi \cdot d_{eff} = 5.426 \times 10^3\,mm$

$u_{1.5d} := 2 \cdot (b_1 + b_2) + 2 \cdot \pi \cdot 1.5 \cdot d_{eff} = 7.34 \times 10^3\,mm$

$u_{2d} := 2 \cdot (b_1 + b_2) + 2 \cdot \pi \cdot 2 \cdot d_{eff} = 9.253 \times 10^3\,mm$

$A_{0.5d} := b_1 \cdot b_2 + 2 \cdot b_1 \cdot 0.5 \cdot d_{eff} + 2 \cdot b_2 \cdot 0.5 \cdot d_{eff} + \pi \cdot (0.5 \cdot d_{eff})^2 = 0.928\,m^2$

$A_{1d} := b_1 \cdot b_2 + 2 \cdot b_1 \cdot d_{eff} + 2 \cdot b_2 \cdot d_{eff} + \pi \cdot (d_{eff})^2 = 2.29\,m^2$

$A_{1.5d} := b_1 \cdot b_2 + 2 \cdot b_1 \cdot 1.5 \cdot d_{eff} + 2 \cdot b_2 \cdot 1.5 \cdot d_{eff} + \pi \cdot (1.5 \cdot d_{eff})^2 = 4.233 \times 10^6\,mm^2$

$A_{2d} := b_1 \cdot b_2 + 2 \cdot b_1 \cdot 2 \cdot d_{eff} + 2 \cdot b_2 \cdot 2 \cdot d_{eff} + \pi \cdot (2 \cdot d_{eff})^2 = 6.759\,m^2$

$\sigma_d = 382.5 \frac{kN}{m^2}$

$k := 0.5$ Tal 6.1 EC2 6.4.3

$V_{Ed.red.0.5d} := V_{Ed} - A_{0.5d} \cdot \sigma_d = 1.841 \times 10^3 kN$

$V_{Ed.red.1d} := V_{Ed} - A_{1d} \cdot \sigma_d = 1.32 \times 10^3 kN$

$V_{Ed.red.1.5d} := V_{Ed} - A_{1.5d} \cdot \sigma_d = 576.8 kN$

$V_{Ed.red.2d} := V_{Ed} - A_{2d} \cdot \sigma_d = -389.481 kN$

$$W_{0.5d} := \frac{b_1^2}{2} + b_1 \cdot b_2 + 2 \cdot b_2 \cdot 0.5 \cdot d_{eff} + 4 \cdot \left(0.5d_{eff}\right)^2 + 0.5d_{eff} \cdot \pi \cdot b_1 = 1.157 m^2$$

$$W_{1d} := \frac{b_1^2}{2} + b_1 \cdot b_2 + 2 \cdot b_2 \cdot 1 \cdot d_{eff} + 4 \cdot \left(1d_{eff}\right)^2 + 1d_{eff} \cdot \pi \cdot b_1 = 2.861 m^2$$

$$W_{1.5d} := \frac{b_1^2}{2} + b_1 \cdot b_2 + 2 \cdot b_2 \cdot 1.5 \cdot d_{eff} + 4 \cdot \left(1.5d_{eff}\right)^2 + 1.5d_{eff} \cdot \pi \cdot b_1 = 5.307 m^2$$

$$W_{2d} := \frac{b_1^2}{2} + b_1 \cdot b_2 + 2 \cdot b_2 \cdot 2 \cdot d_{eff} + 4 \cdot \left(2d_{eff}\right)^2 + 2d_{eff} \cdot \pi \cdot b_1 = 8.495 m^2$$

$$\beta_{0.5d} := 1 + k \cdot \frac{M_{Ed.1}}{V_{Ed.red.0.5d}} \cdot \frac{u_{0.5d}}{W_{0.5d}} = 1.323$$

$$\beta_{1d} := 1 + k \cdot \frac{M_{Ed.1}}{V_{Ed.red.1d}} \cdot \frac{u_{1d}}{W_{1d}} = 1.282$$

$$\beta_{1.5d} := 1 + k \cdot \frac{M_{Ed.1}}{V_{Ed.red.1.5d}} \cdot \frac{u_{1.5d}}{W_{1.5d}} = 1.47$$

$$\beta_{2d} := 1 + k \cdot \frac{M_{Ed.1}}{V_{Ed.red.2d}} \cdot \frac{u_{2d}}{W_{2d}} = 0.452$$

$$V_{Ed.0.5d} := \frac{\beta_{0.5d} \cdot V_{Ed.red.0.5d}}{u_{0.5d} \cdot d_{eff}} = 1.138 \frac{N}{mm^2}$$

$$V_{Ed.1d} := \frac{\beta_{1d} \cdot V_{Ed.red.1d}}{u_{1d} \cdot d_{eff}} = 0.512 \frac{N}{mm^2}$$

$$V_{Ed.1.5d} := \frac{\beta_{1.5d} \cdot V_{Ed.red.1.5d}}{u_{1.5d} \cdot d_{eff}} = 0.19 \frac{N}{mm^2}$$

$$V_{Ed.2d} := \frac{\beta_{2d} \cdot V_{Ed.red.2d}}{u_{2d} \cdot d_{eff}} = -0.031 \frac{N}{mm^2}$$

Skjærspenningskapasitet ved kritisk kontrollsnitt:

$$k := 1 + \sqrt{\frac{200mm}{d_{eff}}} = 1.573$$

$\rho_l := 0.0035$ (antar)

$$V_{Rd.c} := \frac{0.18}{1.5} \cdot k \cdot \left(100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck}\right)^{\frac{1}{3}} = 0.435$$

$$v_{min} := 0.035 \cdot k^{1.5} \cdot \sqrt{f_{ck}} = 0.409$$

$$V_{Rd.c} > v_{min}$$

Skjærspenningskapasitet ved kontrollsnitt u.1:

$$V_{Rd.c.0.5d} := \frac{0.435 \cdot 2d_{eff}}{0.5 \cdot d_{eff}} \frac{N}{mm^2} = 1.74 \frac{N}{mm^2}$$

$$V_{Rd.c.1d} := \frac{0.435 \cdot 2d_{eff}}{1 \cdot d_{eff}} \cdot \frac{N}{mm^2} = 0.87 \frac{N}{mm^2}$$

$$V_{Rd.c.1.5d} := \frac{0.435 \cdot 2d_{eff}}{1.5 \cdot d_{eff}} \cdot \frac{N}{mm^2} = 0.58 \frac{N}{mm^2}$$

$$V_{Rd.c.2d} := \frac{0.435 \cdot 2d_{eff}}{2 \cdot d_{eff}} \cdot \frac{N}{mm^2} = 0.435 \frac{N}{mm^2}$$

Utnyttelsesfohold:

$$\frac{V_{Rd.c.0.5d}}{V_{Ed.0.5d}} = 1.528$$

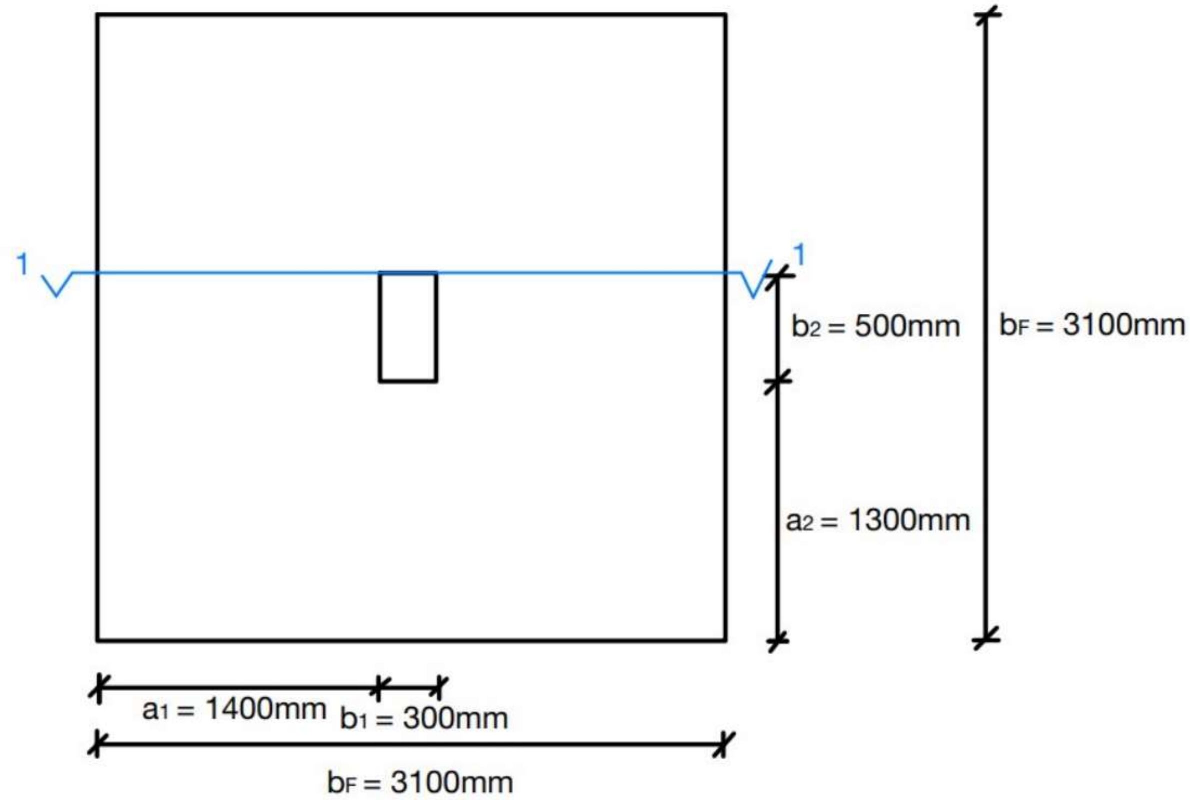
$$\frac{V_{Rd.c.1d}}{V_{Ed.1d}} = 1.699$$

$$\frac{V_{Rd.c.1.5d}}{V_{Ed.1.5d}} = 3.058$$

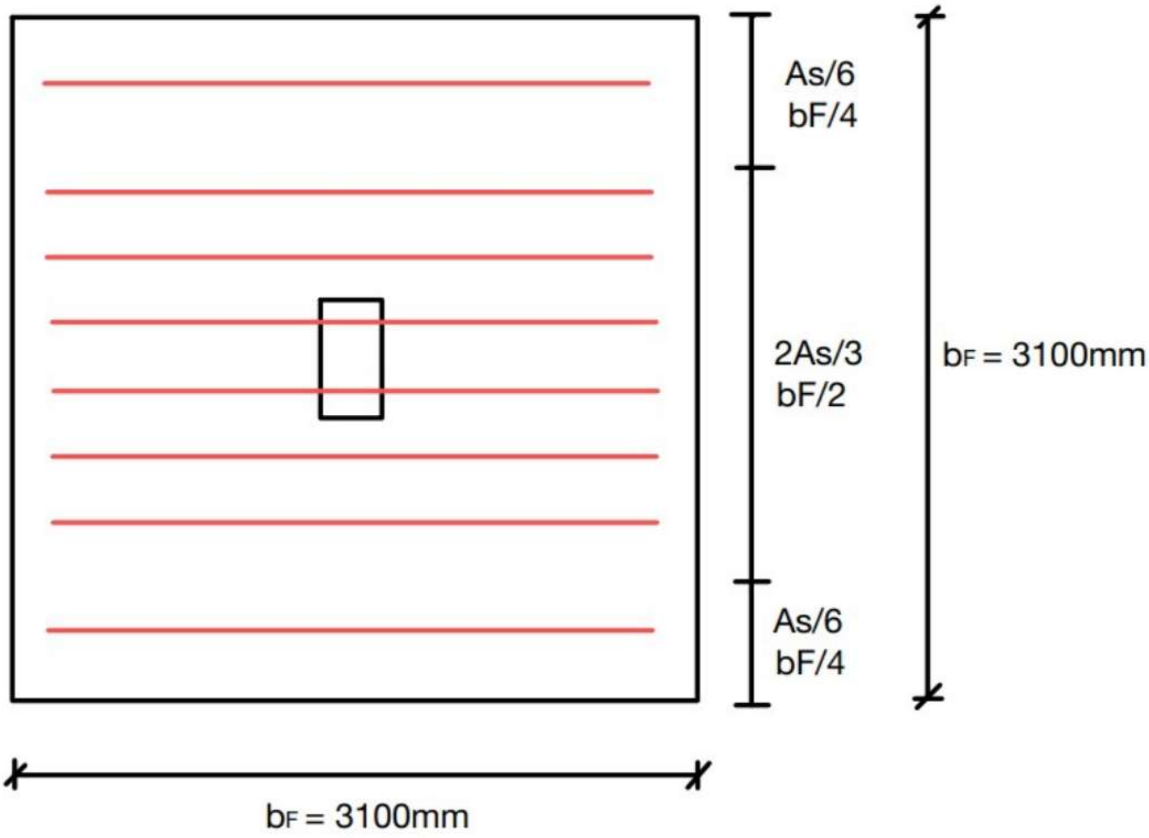
$$\frac{V_{Rd.c.2d}}{V_{Ed.2d}} = -13.928$$

VEDLEGG J.3

Søylefundament sett ovenfra:



Armering i søylefundament:



Fundamentet sett i snitt 1-1: