

DIMENSJONERING AV STØTTEBJELKE - BRUDDGRENSETILSTAND (ULS)

Egenskaper:

Betongens karakteristiske sylindetrykkfasthet	$f_{ck} := 45 \text{ N} \div \text{mm}^2$
Armeringens karakteristiske flytegrense	$f_{yk} := 500 \text{ MPa}$
Middelverdi av betongens aksialtrekkfasthet	$f_{ctm} := 3.8 \text{ MPa}$
K-verdi	$k := 0.275$
Materialfaktor betong:	$\gamma_b := 1.20 \quad (\text{EC 2, 2.1N})$
Materialfaktor armering:	$\gamma_a := 1.0 \quad (\text{EC 2, 2.1N})$
Dimensjonerende stålfasthet:	$f_{yd} := f_{yk} \div \gamma_a = 500 \text{ MPa}$
Dimensjonerende betongtrykkfasthet:	$f_{cd} := 0.85 \cdot f_{ck} \div \gamma_b = 31.9 \text{ N} \div \text{mm}^2$

Dimensjoner

Lengde	$l := 3.15 \text{ m}$
Bredde	$b := 550 \text{ mm}$
Høyde	$h := 500 \text{ mm}$
Betongtverrsnitt	$A_c := b \cdot h = 275000 \text{ mm}^2$

Overdekning

$c_{min.b} := 25 \text{ mm}$	EC 2, NA.4.2
$c_{min.dur} := 60 \text{ mm}$	EC 2, NA.4.4N
$\Delta c_{dur.\gamma} := 0 \text{ mm}$	EC 2, NA.4.4.1.2(6)
$\Delta c_{dur.st} := 0 \text{ mm}$	EC 2, NA.4.4.1.2(7)
$\Delta c_{dur.add} := 0 \text{ mm}$	EC 2, NA.4.4.1.2(8)
$\Delta c_{dev} := 10 \text{ mm}$	EC 2, NA.4.4.1.3(1)

EC 2, 4.4.1.2

$$c_{min} := \max(c_{min.b}, c_{min.dur} + \Delta c_{dur.\gamma} - \Delta c_{dur.st} - \Delta c_{dur.add}, 10 \text{ mm}) = 60 \text{ mm}$$

$$c_{nom} := c_{min} + \Delta c_{dev} = 70 \text{ mm}$$

EC 2, 4.4.1.3

DIMENSJONERING AV UNDERBJELKE:

Laster

Lastifelle 1:

Største moment MY: $M_{Ed.MY1} := 0 \text{ kN} \cdot \text{m}$ (fra Autodesk Robot)

Største moment MZ: $M_{Ed.MZ1} := 0 \text{ kN} \cdot \text{m}$ (fra Autodesk Robot)

Største aksialkraft FX: $N_{Ed.FX1} := 3301.45 \text{ kN}$ (fra Autodesk Robot)

Lastifelle 2:

Største moment MY: $M_{Ed.MY2} := 376.48 \text{ kN} \cdot \text{m}$ (fra Autodesk Robot)

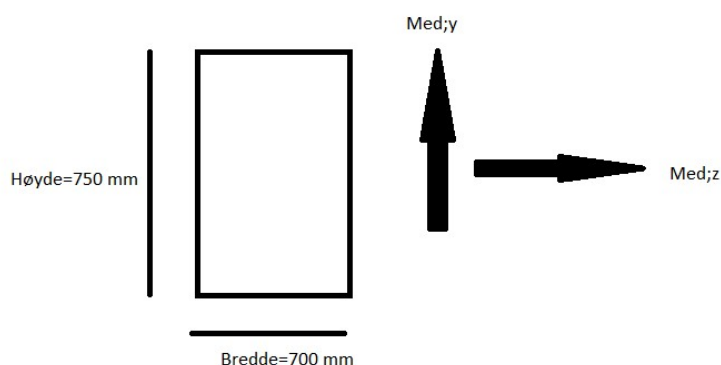
Største moment MZ: $M_{Ed.MZ2} := 709.24 \text{ kN} \cdot \text{m}$ (fra Autodesk Robot)

Største aksialkraft FX: $N_{Ed.FX2} := 2512.74 \text{ kN}$ (fra Autodesk Robot)

Skjærkrefter:

Største skjærkraft FY: $V_{Ed.FY} := 205.58 \text{ kN}$ (fra Autodesk Robot)

Største skjærkraft FZ: $V_{Ed.FZ} := 135.78 \text{ kN}$ (fra Autodesk Robot)



Armering

Prøver lengdearmering ϕ :	$\phi := 40 \text{ mm}$
Prøver bøylearmering ϕ_b :	$\phi_b := 12 \text{ mm}$
Effektiv høyde i z-retning :	$d_2 := h - c_{nom} - \phi_b - \frac{\phi}{2} = 398 \text{ mm}$
	$d_z := d_2 = 398 \text{ mm}$
Effektiv høyde i y-retning :	$d_y := b - c_{nom} - \phi_b - \phi = 428 \text{ mm}$
Valg av diagram :	$d_1 := c_{nom} + \frac{\phi}{2} = 90 \text{ mm}$
	$d_1 \div h = 0.18$

Beregning med aksialkraft og moment om én akse

Lastvirkninger

Lastkombinasjon 1:

$$n_{Ed1} := \frac{N_{Ed.FX1}}{f_{ck} \cdot b \cdot h} = 0.267$$

$$m_{Ed1} := \frac{M_{Ed.MY1}}{f_{ck} \cdot b \cdot h^2} = 0$$

Lastkombinasjon 2:

$$\boxed{n_{Ed1}} := \frac{N_{Ed.FX2}}{f_{ck} \cdot b \cdot h} = 0.203$$

$$\boxed{m_{Ed1}} := \frac{M_{Ed.MY2}}{f_{ck} \cdot b \cdot h^2} = 0.061$$

Leser av verdien for w fra diagram

Lastkombinasjon 1: $w_{diag.1} := 0$

Lastkombinasjon 2: $w_{diag.2} := 0$

Kravet til armeringsmengde blir størst for tilfelle 2

Finner nødvendig armering

$$A_{s.b} := \frac{(b \cdot h \cdot f_{ck})}{f_{yk}} \cdot w_{diag.2} = 0 \text{ mm}^2$$

Finner minimumsarmering

$$A_{s.min.1} := 0.26 \cdot b \cdot h \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} = 543 \text{ mm}^2 \quad \text{EC 2, 9.2.1.1(1)}$$

$$A_{s.min.2} := 0.013 \cdot b \cdot h = 3575 \text{ mm}^2 \quad \text{EC 2, 9.2.1.1(1)}$$

Velger største armering av minimum og nødvendig armering

$$A_{s.min} := \max(A_{s.min.1}, A_{s.min.2}, A_{s.b}) = 3575 \text{ mm}^2 \quad \text{EC 2, 9.2.1.1(1)}$$

Eurokodens krav om strekkarmering baserer seg på strekk i en side. Dermed viser $A_{s.min}$ armeringstverrsnitt for kun en av sidene. Korrekt armeringstverrsnitt for hele betongtverrsnittet blir da $A_s := 2 \cdot A_{s.min}$

Nødvendig armering på hver side

$$A_{s1} := A_{s.min} = 3575 \text{ mm}^2$$

$$A_{s2} := A_{s1} = 3575 \text{ mm}^2$$

Nødvendig armering

$$A_{s.b} := 2 \cdot A_{s.min} = 7150 \text{ mm}^2$$

Maks armeringstverrsnitt

$$A_{s.max} := 0.04 \cdot A_c = 11000 \text{ mm}^2$$

Nødvendig antall stenger

$$n_{\phi 1} := \frac{A_{s.b}}{\left(\pi \cdot \frac{\phi^2}{4} \right)} = 5.69$$

$$n_{\phi} := \text{ceil}(n_{\phi 1}) = 6 \quad (3 \text{ stenger på hver side}).$$

Beregningsmessig armering

$$A_s := n_{\phi} \cdot \pi \cdot \frac{\phi^2}{4} = 7540 \text{ mm}^2$$

Senteravstand

$$d_g := 16 \text{ mm}$$

$$k_1 := 2 \quad \text{EC 2, NA.8.2(2)}$$

$$k_2 := 5 \text{ mm} \quad \text{EC 2, NA.8.2(2)}$$

Vedlegg 8: Dimensjonering av støttebjelke - Bruddgrensetilstand (ULS)

$$n_{bunt} := 2$$

$$\phi \sqrt{n_{bunt}} \leq 55 \text{ mm} \quad \text{EC 2, 8.9.1(2)}$$

$$\phi_n := \phi \sqrt{n_{bunt}} = 57 \text{ mm} \quad \text{Ikke ok!}$$

Kan se bort i fra kravet om å behandle slike stenger som en bunt, fordi det kun er to stenger over hverandre i bunten, og fordi det antas at heftforholdene er gode. EC 2, 8.9.1(4)
Ok!

Senteravstand mellom hver bunt:

$$a_s := \frac{h - \left(2 \frac{\phi}{2} + 2 \phi_b + 2 \cdot c_{nom} \right)}{(n_{bunt} - 1)} = 296 \text{ mm}$$

Fri avstand mellom hver bunt:

$$a_{h1} := a_s - \phi = 256 \text{ mm}$$

$$s_{h.min} := \max(\phi \cdot k_1, d_g + k_2, 20 \text{ mm}) = 80 \text{ mm} \quad \text{Sjekker krav om minimum fri avstand fra EC 2, 8.2(2)}$$

$$s_{h.min} \leq a_{h1} \quad \text{OK!}$$

Beregning med aksialkraft og moment om to akser

Bøyning om x-aksen:

$$A_{sx1} := \left(\frac{n_\phi}{2} \right) \pi \cdot \frac{\phi^2}{4} = 3770 \text{ mm}^2$$

$$A_{sx2} := A_{sx1} = 3770 \text{ mm}^2$$

$$A_{sx} := A_{sx1} + A_{sx2}$$

Bøyning om y-aksen:

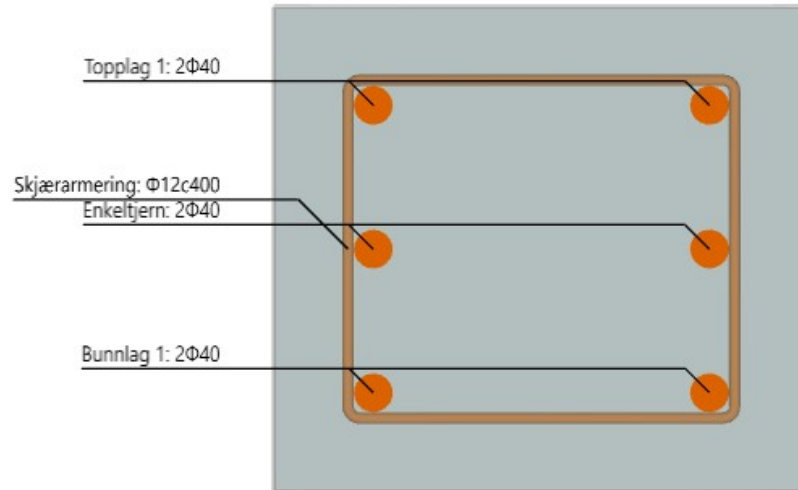
$$A_{sy1} := \left(\frac{n_\phi}{2} \right) \pi \cdot \frac{\phi^2}{4} = 3770 \text{ mm}^2$$

$$A_{sy2} := A_{sy1} = 3770 \text{ mm}^2$$

$$A_{sy} := A_{sy1} + A_{sy2}$$

Tverrsnittet er armert symmetrisk med n_ϕ jern på hver side. Ved moment om z-aksen vil alle jernene være aktive, mens ved moment om x-aksen vil bunten i midten forbli inaktiv fordi den ligger ved nøytralaksen.

Figur hentet fra
ISY Design



Overdekningen kan i noen tilfeller settes til c_{min} på toppen av en bjelke, dersom den har tilstrekkelig beskyttelse fra overliggende plate eller lignende. I et tilfelle som dette, hvor konstruksjonen skal være ved sjøoverflaten velges c_{nom} både i over- og underkant.

Mekanisk armeringsforhold

$$A_c := b \cdot h = 275000 \text{ mm}^2$$

$$w_y := (f_{yk} \cdot A_{sx}) \div (f_{ck} \cdot A_c) = 0.305$$

$$w_z := (f_{yk} \cdot A_{sy}) \div (f_{ck} \cdot A_c) = 0.305$$

Dimensjonsløs aksialkraft:

$$n := N_{Ed.FX2} \div (f_{cd} \cdot h \cdot b) = 0.287$$

Fra MN-diagram

$$m_{diag,y} := 0.35 \quad m_{diag,z} := 0.35$$

EC 2, 6.1

Momentkapasitet

$$M_{Rd,y} := m_{diag,y} \cdot f_{ck} \cdot b \cdot h^2 = 2166 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Sørensen (lign. 4.98)

$$M_{Rd,z} := m_{diag,z} \cdot f_{ck} \cdot b^2 \cdot h = 2382 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Sørensen (lign. 4.98)

Kontroll av kapasitet for aksialkraft

$$N_{Rd} := f_{cd} \cdot (A_c - A_s) + f_{yd} \cdot A_s = 12295 \text{ kN}$$

$$N := \frac{N_{Ed.FX2}}{N_{Rd}} = 0.2 \quad \text{EC 2, 5.8.9(4)}$$

Kapasiteten for aksialkraft utnyttes bare 20%. Dette kan vurderes redusert ved eventuell optimalisering.

Kontroll av kapasitet for moment

$$\alpha := 1.1 \quad \text{Interpolasjon fra tabell i EC2} \quad \text{EC 2, 5.8.9(4)}$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{if } \left(\frac{M_{Ed.MY2}}{M_{Rd.y}} \right)^\alpha + \left(\frac{M_{Ed.MZ2}}{M_{Rd.z}} \right)^\alpha \leq 1 \\ \parallel \text{ "OK!"} \\ \text{else} \\ \parallel \text{ "Underkjent!"} \end{array} \right| = \text{"OK!"} \quad \text{EC 2, 5.8.9(4)}$$

$$\left(\frac{M_{Ed.MY2}}{M_{Rd.y}} \right)^\alpha + \left(\frac{M_{Ed.MZ2}}{M_{Rd.z}} \right)^\alpha = 0.41$$

Tverrsnittet har overkapasitet og utnyttes kun 40%. Denne overkapasiteten reduseres ved å redusere tverrsnittet noe. Armeringstverrsnittet kan ikke reduseres på grunn av krav om minimumsarmering. Noe som kan gjøres ved senere optimalisering.

Skjærstrekkapasitet av tverrsnittet

Dimensjonerende skjærkraft

$$V_{Ed.Y} := V_{Ed.FY} = 206 \text{ kN}$$

$$V_{Ed.Z} := V_{Ed.FZ} = 136 \text{ kN}$$

Sjekker for y-aksen

$$\rho_L := A_s \div (b \cdot d_y) = 0.03$$

$$k := 1 + \sqrt{200 \div d_y} = 1.7$$

$$k_2 := 0.18$$

EC 2, 6.2.2(1)

EC 2, 6.2.2(1)

EC 2, 6.2.2(1)

Vedlegg 8: Dimensjonering av støttebjelke - Bruddgrensetilstand (ULS)

$$\gamma_c := 1.2 \quad \text{EC 2, 2.1N}$$

$$C_{Rd.c} := k_2 \div \gamma_c = 0.15$$

$$V_{Rd.c1} := C_{Rd.c} \cdot k \cdot \left(100 \cdot \rho_L \cdot f_{ck}\right)^{\frac{1}{3}} \cdot b \cdot d_y = 310128 \quad \text{EC 2, 6.2.2(1)}$$

$$V_{Rd.c2} := V_{Rd.c1} \div 1000 = 310$$

$$V_{Rd.c} := 310 \text{ kN}$$

$V_{Rd.c} > V_{Ed} \rightarrow$ Skjærkraftskapasiteten er tilstrekkelig, slik at det beregningsmessig ikke er nødvendig med skjærarmering.

Sjekker for z-aksen

$$\rho_L := A_s \div (h \cdot d_z) = 0.038 \quad \text{EC 2, 6.2.2(1)}$$

$$k := 1 + \sqrt{200 \div d_y} = 1.7 \quad \text{EC 2, 6.2.2(1)}$$

$$k_2 := 0.18 \quad \text{EC 2, 6.2.2(1)}$$

$$\gamma_c := 1.2 \quad \text{EC 2, 2.1N}$$

$$C_{Rd.c} := k_2 \div \gamma_c = 0.15$$

$$V_{Rd.c1} := C_{Rd.c} \cdot k \cdot \left(100 \cdot \rho_L \cdot f_{ck}\right)^{\frac{1}{3}} \cdot b \cdot d_y = 333405 \quad \text{EC 2, 6.2.2(1)}$$

$$V_{Rd.c2} := V_{Rd.c1} \div 1000 = 333$$

$$V_{Rd.c} := 333 \text{ kN}$$

$V_{Rd.c} > V_{Ed} \rightarrow$ Skjærkraftskapasiteten er tilstrekkelig, slik at det beregningsmessig ikke er nødvendig med skjærarmering.

Minimum skjærarmering

Dobbeltsnittet tverrsnitt med ϕ_b

$$A_{sw} := 2 \cdot \pi \cdot \frac{\phi_b^2}{4} = 226.2$$

$$\rho_{w.min} := 0.1 \cdot \frac{\sqrt{45}}{500} = 0.001342$$

$$\frac{A_{sw}}{s} = \rho_{w.min} + b_w = 0.1 \cdot \frac{\sqrt{45}}{500} \cdot 500 = 0.671 \frac{mm^2}{mm}$$

Krever senteravstand

$$s := \frac{A_{sw}}{0.1 \cdot \frac{\sqrt{45}}{500} \cdot 500} = 337.191 \text{ mm}$$

Maksimal senteravstand for skjærarmeringen

$$h' := h - \left(c_{nom} - 12 \text{ mm} - \frac{40 \text{ mm}}{2} \right) = 462 \text{ mm}$$

$$s_{l,max} := h' \cdot 0.6 = 277.2 \text{ mm}$$

EC 2, NA.9.2.2(6,7)

Velger bøylearmering: $\phi 12s270$