

Skallberegning av betongplate

Introduksjon til dokumentet

Dokumentet kontrollerer et betongskall ved å anvende trykkfeltsteori gjennom sandwich (skive) - metoden, og tverrrskjær ved å anvende beregningsmetoder for armerte betongdekker fra NS. Tverrrskjær og sandwich metoden behandles separat, og får ikke innvirkning på hverandres beregninger

For enkel oversikt brukes det følgende fargekoder for å illustrere viktige elementer i dokumentet.

Input verdier som må vurderes for hver situasjon merkes med grått.

Kontroll som viser om resultater er innenfor tillat kapasitet merkes med oransje

Viktige mellomregnings resultater som er av viktig karakter merkes med blått

Resultater og kapasitetskontroller merkes med grønt

Inndata for serieberegninger

Krefter B30 - Med tilleggsarmering NY

Med tilleggsarmering NY - Skjær

M_x	M_y	M_{xy}	$A_{sx.1.valgt}$	$A_{sy.1.valgt}$	$A_{sx.2.valgt}$	$A_{sy.2.valgt}$	n	V_{zx}	V_{yz}	A_{sw}
20	20	1	393	393	393	393	0	50	50	393
-6.65	-32.06	-0.22	393	393	393	393	1.00	-122.06	13.41	1963
-17.15	-4.47	-0.23	393	393	735	393	2.00	-127.57	-14.22	1963
-2.83	-4.52	1.61	393	393	393	393	3.00	31.47	-122.89	3926
-59.80	-9.38	22.34	393	1524	1347	393	4.00	117.76	-52.26	1963
-7.78	-47.42	0.17	393	393	393	393	5.00	144.7	36.46	2827
8.59	-17.72	1.18	393	393	393	1178	6.00	142.93	52.52	1963
3.07	-30.88	-3.85	589	393	393	393	7.00	121.65	-33.29	5655
-53.55	-65.12	7.61	393	393	785	1547	8.00	-21.02	197.11	11310
3.44	-25.85	9.51	589	393	393	393	9.00	110.98	30.28	5655
-28.31	-15.44	4.20	393	393	393	393	10.00	-175.74	14.85	2827
-27.80	-17.27	-4.03	393	393	393	393	11.00	-22.76	-191.48	11310
11.05	-15.68	19.16	589	393	393	393	12.00	508.09	-203.33	22620
-7.55	-26.91	-6.59	589	393	393	393	13.00	-207.02	32.15	14137
2.14	-27.50	5.49	589	393	393	393				
-23.70	-75.60	-30.79	1720	1524	1524	1524				

Beregning ved bruk av snittkrefter fra FEM-analyse gjennom trykkfeltsteori

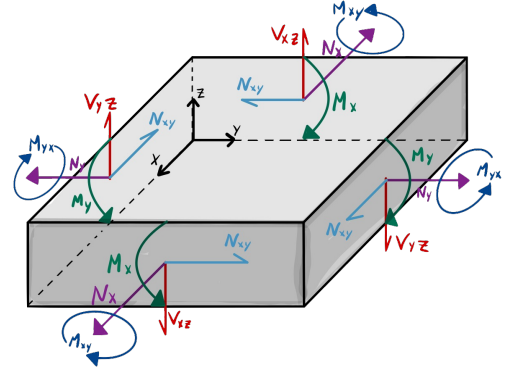
Inndata

$nn := 0$

Bestemmer hvilke rekke av tabellen som beregnes for effektiv kontrollering av flere punkter

Hva skal kontrolleres?

Kontr := "MEMBRAN"



Materialer

Betong

$\gamma_c := 1.5$ Materialkoeffesient betong

$\alpha_{cc} := 0.85$ Koeffesient for langtidslast og ugunstige virkninger

$f_{ck} := 30$ Betongens karakteristiske trykkfasthet

$f_{cd} := \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \cdot \alpha_{cc} = 17$ Betongens dimensjonerende trykkfasthet

$E_{cm} := 30000$ Betongens elastisitetsmodul

Stål

$\gamma_s := 1.15$ Materialfaktor stål

$f_{yk} := 500$ Stålets karakterisiske flytespenning

$E_s := 200000$ Stålets elastisitetsmodul

$f_{yd} := \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = 434.8$ Stålets dimensjonerende flytespenning

Snittkrefter

Membrankrefter

$M_x := M_{x_{nn}} = 20$

$M_y := M_{y_{nn}} = 20$

$M_{xy} := M_{xy_{nn}} = 1$

$N_x := N_{x_{nn}} = 0$

$N_y := N_{y_{nn}} = 1$

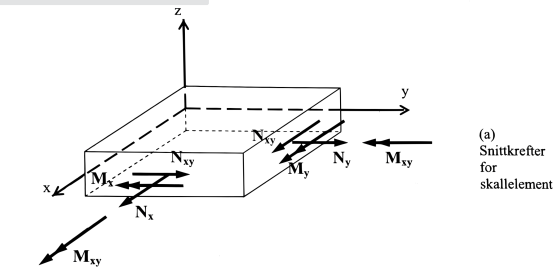
$N_{xy} := N_{xy_{nn}} = 1$

Tverrrskjær

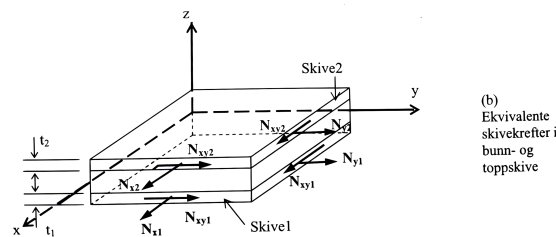
$V_{zx} := V_{zx_{nn}} = 50$

$V_{yz} := V_{yz_{nn}} = 50$

Valg av snittkrefter bestemmes av posisjonsnummer "nn"



(a) Snittkrefter for skallelement



(b) Ekvivalente skivekrefter i bunn- og toppskive

(Sørensen, 2013)

Dimensjoner plate

$h := 250$ [mm] Skive tykkelse

$b_w := 1000$ [mm] Skive bredde

$C_{nom} := 25$ [mm] nominell overdekning

$t_{overskriv} := 0$

Overbestemmer tykkelsen på skiven. $t_{overskriv}$
Legger på ekstra tykkelse på innsiden av ytterskivene. **Om du ikke vet hva dette er bruk 0!**

Lengde armering

Ytterste armeringslag

$\phi_{N\ddot{a}rmest.Cnom} :=$ "Lag x" ▾

Fyll inn hvilket lag som er nærmest overdekning

Bunnplate

Topplate

$\phi_{sx.1} := 10$ ▾

$\phi_{sx.2} := 10$ ▾

Kam diameter x retning

$cc_{sx.1} := 200$ ▾

$cc_{sx.2} := 200$ ▾

Senteravstand x retning

$\phi_{sy.1} := 10$ ▾

$\phi_{sy.2} := 10$ ▾

Kam diameter y retning

$cc_{sy.1} := 200$ ▾

$cc_{sy.2} := 200$ ▾

Senteravstand y retning

$A_{skive} :=$ "JA" ▾

Skal armering i begge skiver beregnes selv om armering ikke er nødvendig i begge?

Skjær armering

Er det skjærarmering?

$Skj\ddot{a}rarm\ddot{e}ring :=$ "NEI" ▾

"NEI" ->
Beregninger uten skjærarmering

$\theta := 45$ ° ▾

Rissvinkel

$\phi_{sw} := 10$ ▾

Bøylediameter

Bøylearmering

"JA" ->
Beregninger med skjærarmering

$cc_{b\ddot{o}yle} := 200$ ▾

Senteravstand bøylar

Tidlig fasthet

Skal tidlig trykkfasthet kontrolleres?

$Tidlig.fasthet :=$ "NEI" ▾

"NEI" -> Kontrollerer σ_c

"JA" -> Kontrollerer $\sigma_{c,t}$

$t := 6$ ▾

Alder av betong angitt i t dager etter herdestart

$s :=$ N ▾

R = 0,20 for rapid høyfast sement (klasse R)

N = 0,25 for høyfast sement (klasse N)

S = 0,38 for standard sement (klasse S)

De vanligste klassene er N og R. N er konservativt for klasse R

Beregninger betongskall

Armeringsareal

Bunnplate

$$A_{sx.1.valgt} := \left(\frac{\phi_{sx.1}}{2} \right)^2 \pi \cdot \frac{1000}{CC_{sx.1}} = 393$$

$$A_{sy.1.valgt} := \left(\frac{\phi_{sy.1}}{2} \right)^2 \pi \cdot \frac{1000}{CC_{sy.1}} = 393$$

Topplate

$$A_{sx.2.valgt} := \left(\frac{\phi_{sx.2}}{2} \right)^2 \pi \cdot \frac{1000}{CC_{sx.2}} = 393$$

$$A_{sy.2.valgt} := \left(\frac{\phi_{sy.2}}{2} \right)^2 \pi \cdot \frac{1000}{CC_{sy.2}} = 393$$

Armeringsareal x
retning

Armeringsareal y
retning

Overstyring armeringsareal for serieberegning

Bunnplate

$$A_{sx.1.valgt} := A_{sx.1.valgt_{nn}} = 393$$

$$A_{sy.1.valgt} := A_{sy.1.valgt_{nn}} = 393$$

Topplate

$$A_{sx.2.valgt} := A_{sx.2.valgt_{nn}} = 393$$

$$A_{sy.2.valgt} := A_{sy.2.valgt_{nn}} = 393$$

Bestemmer posisjonsnummer
"nn" fra tabell side 1

Beregning av armeringsareal
over på slås av

Armeringsforhold

$$Arm_{forhold.1} := \frac{A_{sx.1.valgt}}{A_{sy.1.valgt}} = 1$$

$$Arm_{forhold.2} := \frac{A_{sx.2.valgt}}{A_{sy.2.valgt}} = 1$$

Forhold mellom
armeringsareal i
lengdearmering og
tverrarmering

Armeringstyngdepunkt

$$\phi_{ytterst} := \begin{cases} \text{if } \phi_{N\ddot{a}rmest.Cnom} = \text{"Lag x"} \\ \left| \max(\phi_{sx.1}, \phi_{sx.2}) \right| = 10 \\ \text{else} \\ \left| \max(\phi_{sy.1}, \phi_{sy.2}) \right| \end{cases}$$

$$\phi_{innerst} := \begin{cases} \text{if } \phi_{N\ddot{a}rmest.Cnom} \neq \text{"Lag x"} \\ \left| \max(\phi_{sx.1}, \phi_{sx.2}) \right| = 10 \\ \text{else} \\ \left| \max(\phi_{sy.1}, \phi_{sy.2}) \right| \end{cases}$$

Finner ytterste lag og regner
konservativt med avstand fra
skiven som gir størst avstand
til skalloverflate som gir
minst momentarm

$$c := C_{nom} + \frac{(\phi_{ytterst} + \phi_{innerst})}{2} = 35$$

Avstand fra skalloverflate til armeringstyngdepunkt (tyngdepunkt begge lag). Ved stor forskjell mellom lengde og tverrarmeringens diameter, vil beregninger gi større avvik.

Skjærarmering

Effektivt skjærarmeringsareal

$$A_{sw} := \pi \cdot \frac{\phi_{sw}^2}{4} = 78.54$$

Skjærarmeringens tverrsnittsareal.
(snitter en bøyle 2 ganger)

$$A_{sw} := A_{sw_{nn}} = 393$$

Skjærarmeringsareal fra tabell

Forhåndsdimensjonering dimensjoner

Skivetykkelser

Bunnskive

$$t_1 := \frac{h}{2} = 125$$

$$k_1 := \frac{(h - t_2)}{(2h - t_1 - t_2)} = 0.5$$

$$z := h - 0.5(t_1 + t_2) = 125$$

Toppskive

$$t_2 := t_1 = 125$$

$$k_2 := k_1 = 0.5 \quad \text{Faktorer for...}$$

Indre momentarm

Forhåndsdimensjonering skivekrefter

Bunnskive

$$N_{x1} := k_1 \cdot N_x + \frac{M_x \cdot 10^3}{z} = 160$$

$$N_{y1} := k_1 \cdot N_y + \frac{M_y \cdot 10^3}{z} = 160.5$$

$$N_{xy1} := k_1 \cdot N_{xy} + \frac{M_{xy} \cdot 10^3}{z} = 8.5$$

Toppskive

$$N_{x2} := k_2 \cdot N_x - \frac{M_x \cdot 10^3}{z} = -160$$

$$N_{y2} := k_2 \cdot N_y - \frac{M_y \cdot 10^3}{z} = -159.5$$

$$N_{xy2} := k_2 \cdot N_{xy} - \frac{M_{xy} \cdot 10^3}{z} = -7.5$$

Største hovedkraft i skivene

Bunnskive

$$N_{11.1} := \frac{N_{x1} + N_{y1}}{2} \downarrow = 168.8$$

$$+ \sqrt{\left(\frac{N_{x1} - N_{y1}}{2}\right)^2 + N_{xy1}^2}$$

Toppskive

$$N_{11.2} := \frac{N_{x2} + N_{y2}}{2} \downarrow = -152.2$$

$$+ \sqrt{\left(\frac{N_{x2} - N_{y2}}{2}\right)^2 + N_{xy2}^2}$$

clear (t₁, t₂, z)

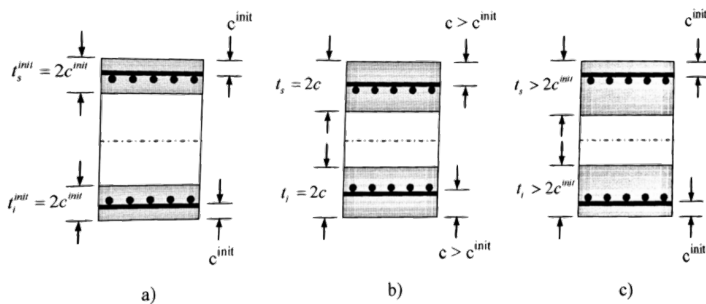
Risser skivene?

Bunnskive

```

RISS1 := || if N11.1 < 0
           || return "NEI"
           || else
           || return "JA"
           || = "JA"

```



```

t1 := if Askive = "NEI"
        || if (RISS1 = "JA", 2 c, h/2)
        || else
        || if (toverskriv > 0, 2 c + toverskriv, 2 c)
        || = 70

```

Toppskive

```

RISS2 := || if N11.2 < 0
           || return "NEI"
           || else
           || return "JA"
           || = "NEI"

```

RISS="JA", er det strekk i skiven, og det MÅ derfor være armering i skiven

Det brukes her $t_n := 2 c$ dersom platen risser.
Dersom $t_{overskriv}$ er valgt, legges denne på $2c$

```

t2 := if Askive = "NEI"
        || if (RISS2 = "JA", 2 c, h/2)
        || else
        || if (toverskriv > 0, 2 c + toverskriv, 2 c)
        || = 70

```

Nye dimensjoner skiver

$$z := h - 0.5 (t_1 + t_2) = 180$$

Ny indre momentarm

$$k_1 := \frac{(h - t_2)}{(2 h - t_1 - t_2)} = 0.5 \quad k_2 := k_1 = 0.5$$

$t_1 = 70$ Ny bunnskive

$t_2 = 70$ Ny toppskive

$$c = 35$$

c = Avstand fra skalloverflate til armeringstyngdepunkt (tyngdepunkt begge lag)

clear ($N_{x1}, N_{y1}, N_{xy1}, N_{x2}, N_{y2}, N_{xy2}$)

Ekvivalente skivekrefter

Bunnskive

$$N_{x1} := k_1 \cdot N_x + \frac{M_x \cdot 10^3}{z} = 111.1$$

$$N_{y1} := k_1 \cdot N_y + \frac{M_y \cdot 10^3}{z} = 111.6$$

$$N_{xy1} := k_1 \cdot N_{xy} + \frac{M_{xy} \cdot 10^3}{z} = 6.1$$

Toppskive

$$N_{x2} := k_2 \cdot N_x - \frac{M_x \cdot 10^3}{z} = -111.1$$

$$N_{y2} := k_2 \cdot N_y - \frac{M_y \cdot 10^3}{z} = -110.6$$

$$N_{xy2} := k_2 \cdot N_{xy} - \frac{M_{xy} \cdot 10^3}{z} = -5.1$$

Rissvinkler

Bunnskive

$$V_1 := \tan(\varphi_1)^2 \downarrow = 0$$

$$+ \left(\frac{N_{x1}}{N_{xy1}} - \frac{N_{y1}}{N_{xy1}} \cdot Arm_{forhold.1} \right) \downarrow$$

$$\cdot \tan(\varphi_1) - Arm_{forhold.1}$$

Toppskive

$$V_2 := \tan(\varphi_2)^2 \downarrow = 0$$

$$+ \left(\frac{N_{x2}}{N_{xy2}} - \frac{N_{y2}}{N_{xy2}} \cdot Arm_{forhold.2} \right) \downarrow$$

$$\cdot \tan(\varphi_2) - Arm_{forhold.2}$$

Usikker på hva denne variabelen er

$$\varphi_1 := V_1 \xrightarrow{\text{solve}, \varphi_1} \begin{bmatrix} -0.7647676771207087268909 \\ 0.8060286496741878923405 \end{bmatrix}$$

$$\varphi_2 := V_2 \xrightarrow{\text{solve}, \varphi_2} \begin{bmatrix} -0.8101033136015647060542 \\ 0.7606930131933319131771 \end{bmatrix} \text{Løser } V_n \text{ for } \varphi_n$$

$$\varphi_1 = \begin{bmatrix} -43.818 \\ 46.182 \end{bmatrix} \circ$$

$$\varphi_2 = \begin{bmatrix} -46.416 \\ 43.584 \end{bmatrix} \circ$$

$$\varphi_1 := \text{if } N_{xy1} < 0 \quad = 46.182 \circ$$

$$\quad \left\| \begin{array}{l} \min(\varphi_1) \\ \text{else} \\ \max(\varphi_1) \end{array} \right\|$$

$$\varphi_2 := \text{if } N_{xy2} < 0 \quad = -46.416 \circ$$

$$\quad \left\| \begin{array}{l} \min(\varphi_2) \\ \text{else} \\ \max(\varphi_2) \end{array} \right\|$$

Rissvinkelen φ_n
velges med samme
fortegn som
skiveskjærkraften
 $N_{xy.n}$

Indre krefter i armering og betongtrykkfelt

Bunnskive

$$F_{sx1} := N_{x1} + N_{xy1} \cdot \tan(\varphi_1) = 117$$

$$F_{sy1} := N_{y1} + N_{xy1} \cdot \cot(\varphi_1) = 117$$

$$F_{c1} := \frac{N_{xy1}}{\sin(\varphi_1) \cdot \cos(\varphi_1)} = 12$$

Toppskive

$$F_{sx2} := N_{x2} + N_{xy2} \cdot \tan(\varphi_2) = -106$$

$$F_{sy2} := N_{y2} + N_{xy2} \cdot \cot(\varphi_2) = -106$$

$$F_{c2} := \frac{N_{xy2}}{\sin(\varphi_2) \cdot \cos(\varphi_2)} = 10$$

Armeringskrefter x
retning

Armeringskrefter y
retning

Trykkraft i
betongfeltet

Nødvendig armeringsareal

Bunnskive

$$A_{sx.1} := \left| \frac{F_{sx1} \cdot 10^3}{f_{yd}} \right| = 270.07$$

$$A_{sy.1} := \left| \frac{F_{sy1} \cdot 10^3}{f_{yd}} \right| = 270.07$$

Toppskive

$$A_{sx.2} := \left| \frac{F_{sx2} \cdot 10^3}{f_{yd}} \right| = 243.34$$

$$A_{sy.2} := \left| \frac{F_{sy2} \cdot 10^3}{f_{yd}} \right| = 243.34$$

Nødvendig
armeringsareal x
retning

Nødvendig
armeringsareal y
retning

Spenninger og tøyninger i armering

Bunnplate x retning

$$\sigma_{sx1} := \frac{F_{sx1} \cdot 10^3}{A_{sx.1.valgt}} = 298.8$$

$$\frac{|\sigma_{sx1}|}{f_{yd}} = 0.69$$

$$\varepsilon_{sx1} := \frac{|\sigma_{sx1}|}{E_s} = 0.00149$$

Bunnplate y retning

$$\sigma_{sy1} := \frac{F_{sy1} \cdot 10^3}{A_{sy.1.valgt}} = 298.8$$

$$\frac{|\sigma_{sy1}|}{f_{yd}} = 0.69$$

$$\varepsilon_{sy1} := \frac{|\sigma_{sy1}|}{E_s} = 0.00149$$

Spenning i armering y
retning

Utnyttelsesgrad
armering y retning

Er det riktig å finne
tøyning i denne
situasjonen?

Topplate x retning

$$\sigma_{sx2} := \frac{F_{sx2} \cdot 10^3}{A_{sx.2.valgt}} = -269.2$$

$$\frac{|\sigma_{sx2}|}{f_{yd}} = 0.62$$

$$\varepsilon_{sx2} := \frac{|\sigma_{sx2}|}{E_s} = 0.00135$$

Topplate y retning

$$\sigma_{sy2} := \frac{F_{sy2} \cdot 10^3}{A_{sy.2.valgt}} = -269.2$$

$$\frac{|\sigma_{sy2}|}{f_{yd}} = 0.62$$

$$\varepsilon_{sy2} := \frac{|\sigma_{sy2}|}{E_s} = 0.00135$$

Kontroll av betongspenninger i trykkfelt

$$V' := 1 - \frac{f_{ck}}{250} = 0.88$$

Reduksjonsfaktor

$$\sigma_{Rd,max} := 0.6 \cdot V' \cdot f_{cd} = 8.98$$

Redusert dimensjonerende fasthet for trykkfelt med strekk i tverretning. Uten stekk \implies
 $\sigma_{Rd,max} = f_{cd}$ EC2, 6.5.2(2)

Bunnskive

$$\sigma_{c1} := \frac{F_{c1}}{t_1} = 0.17$$

Topskive

$$\sigma_{c2} := \frac{F_{c2}}{t_2} = 0.14$$

Betongtrykkspenning

$$\frac{\sigma_{c1}}{\sigma_{Rd,max}} = 0.02$$

$$\frac{\sigma_{c2}}{\sigma_{Rd,max}} = 0.02$$

Utnyttelsesgrad
betongtrykkspenning

$$\varepsilon_{c1} := \frac{\sigma_{c1}}{E_{cm}} = 0.00001$$

$$\varepsilon_{c2} := \frac{\sigma_{c2}}{E_{cm}} = 0$$

```
Betongtrykkc1 := if  $\sigma_{c1} < \sigma_{Rd,max} \wedge \sigma_{c2} < \sigma_{Rd,max}$  | = "OK"
                || return "OK"
                else
                || return "IKKE.OK"
```

Kontrollerer kapasitet

Trykkfasthet i betong tidligere enn 28 døgn

Forutsettelser: herding med overensstemmelse med NS-EN 12390 ved middelstemperatur på 20 °C

Input

$t = 6$ Alder av betong angitt i t dager etter herdestart $s = 0.25$ Parameter som er avhengig av sementtype

Beregninger

$f_{cm} := f_{ck} + 8 = 38$ Middelerverdi av trykkfasthet ved 28 døgn $B_{cc} := e^{s \cdot \left(1 - \sqrt{\frac{28}{t}}\right)}$

$f_{cm}(t) := B_{cc} \cdot f_{cm} = 28.43$ Middelerverdi av trykkfasthet ved alder t døgn

$f_{ck,t} := \begin{cases} \text{if } 3 \leq t \leq 28 \\ \quad \left\| \begin{array}{l} f_{cm}(t) - 8 \\ f_{ck} \end{array} \right. \\ \text{else if } t \geq 28 \\ \quad \left\| f_{ck} \end{cases} = 20.4$ Betongens trykkfasthet ved en alder $t = 6$ døgn

$$f_{cd,t} := \frac{f_{ck,t} \cdot \alpha_{cc}}{\gamma_c} = 11.6$$

Betongens dimensjonerende trykkfasthet ved en alder $t = 6$ døgn

$$V'_t := 1 - \frac{f_{ck,t}}{250} = 0.92$$

Reduksjonsfaktor

Dimensjonerende fasthet

$\sigma_{Rd,t} := 0.6 \cdot V'_t \cdot f_{cd,t} = 6.4$ Redusert dimensjonerende fasthet for trykkfelt med strekk i tverretning. Uten stekk $\implies \sigma_{Rd,max} = f_{cd}$ EC2, 6.5.2(2)

Betongtrykkspenning etter t dager

Bunnskive

$$\frac{\sigma_{c1}}{\sigma_{Rd,t}} = 0.03$$

Topskive

$$\frac{\sigma_{c2}}{\sigma_{Rd,t}} = 0.02$$

Utnyttelsesgrad betongtrykkspenning etter t dager

kontrollerer kapasitet for tidlig fasthet

Er betongtrykk ok etter t dager?

$Betongtrykk_{c1,t} := \begin{cases} \text{if } \sigma_{c1} < \sigma_{Rd,t} \wedge \sigma_{c2} < \sigma_{Rd,t} \\ \quad \left\| \text{return "OK"} \right. \\ \text{else} \\ \quad \left\| \text{return "IKKE.OK"} \right. \end{cases} = \text{"OK"}$

Finner hvor mange dager betongen må herde før belastning

$$\sigma_{Rd.t.fb} := \max(\sigma_{c1}, \sigma_{c2}) = 0.1731633$$

Kontrollerer mest påkjente plate

Guess Values	$t_{fb} := 5$
Constraints	$0.6 \cdot \left(1 - \frac{\left(e^{s \cdot \left(1 - \sqrt{\frac{28}{t_{fb}}} \right)} \right) \cdot (f_{ck} + 8) - 8}{250} \right) \downarrow = \sigma_{Rd.t.fb}$
Solver	$t_{fb} := \mathbf{find}(t_{fb}) = 0.57$

Det er snudd om på ligningene for å finne en funksjon som er avhengig av nødvendig herde tid.

Løser $\sigma_{Rd.t.fb}(t_{fb})$ for t_{fb}

$$t_{fb} := \text{if } 3 \leq t_{fb} \leq 28 = 3$$

t_{fb}
else if $t_{fb} \geq 3$
28
else
3

Betongen tåler snittkreftene etter $t_{fb} = 3$ dager

Tar høyde for minimum 3 dagers herdetid, og dersom herdetid for mer enn 28 dager er nødvendig, brukes karakteristisk fasthet.

Kontrollerer armering og betongtrykk i begge skivene

$$Beregninger_{skive} := \text{if } |\sigma_{sx1}| < f_{yd} \wedge |\sigma_{sy1}| < f_{yd} \wedge |\sigma_{sx2}| < f_{yd} \wedge |\sigma_{sy2}| < f_{yd} \wedge \text{if } Tidlig.fasthet = \text{“JA”} = \text{“OK”}$$

$\sigma_{c1} < \sigma_{Rd.t} \wedge \sigma_{c2} < \sigma_{Rd.t}$
else
$\sigma_{c1} < \sigma_{Rd.max} \wedge \sigma_{c2} < \sigma_{Rd.max}$
return “OK”
else
return “IKKE_OK”

Kontrollerer for $\sigma_{Rd.t}$ dersom tidlig fasthet her valgt.

Beregninger tverrskjær (behandles separat fra skivemetoden)

Finner mest skjærpåkjente plan

$$\alpha_{max.skjær} := \text{atan} \left(\frac{V_{yz}}{V_{zx}} \right) = 45^\circ$$

Den mest skjærpåkjente retningen

$$V_{\alpha_{max}} := |V_{zx} \cdot \cos(\alpha_{max.skjær})| + |V_{yz} \cdot \sin(\alpha_{max.skjær})| = 70.71$$

største mulige skjærkraften

$$\begin{aligned} n_{\alpha_{skjærmax}} := & N_x \cos(\alpha_{max.skjær})^2 \downarrow = 1.5 \\ & + N_y \cdot \sin(\alpha_{max.skjær})^2 \downarrow \\ & + 2 \cdot N_{xy} \cdot \sin(\alpha_{max.skjær}) \cdot \cos(\alpha_{max.skjær}) \end{aligned}$$

Reell aksialkraft for retningen

Finner mest trykkpåkjente plan

$$\bar{n}(q) := N_x \cos(q)^2 + N_y \cdot \sin(q)^2 + 2 \cdot N_{xy} \cdot \sin(q) \cdot \cos(q)$$

$$q := 56^\circ \quad q \leq 180^\circ \quad q \geq 0^\circ$$

$$\alpha_{max.aksial} := \text{maximize}(n, q) = 58.28^\circ$$

Den meste trykkpåkjente retningen

$$\begin{aligned} n_{\alpha_{max}} := & N_x \cos(\alpha_{max.aksial})^2 \downarrow = 1.62 \\ & + N_y \cdot \sin(\alpha_{max.aksial})^2 \downarrow \\ & + 2 \cdot N_{xy} \cdot \sin(\alpha_{max.aksial}) \cdot \cos(\alpha_{max.aksial}) \end{aligned}$$

Største mulige
aksialkraften

$$V_{\alpha_{aksialmax}} := |V_{zx} \cdot \cos(\alpha_{max.aksial})| + |V_{yz} \cdot \sin(\alpha_{max.aksial})| = 68.82$$

Reell skjærkraft for retningen

Forutsetninger for videre beregninger

Til sikker side brukes $V_{\alpha_{max}}$ og $n_{\alpha_{max}}$ samtidig i beregningene under. Vinkelen som er brukt til å bestemme $A_{s\alpha}$ er samme vinkelen som brukes for å finne maks skjærkraft

Skjærstrekk uten skjærarmering

Effektive tverrsnittsareal

$$\begin{aligned} A_{s\alpha} := & A_{sx.1.valgt} \cdot \cos(\alpha_{max.skjær})^2 \downarrow = 393 \\ & + A_{sy.1.valgt} \cdot \sin(\alpha_{max.skjær})^2 \end{aligned}$$

Effektive tverrsnittsarealet av
lengdearmeringen i α -retningen

Aksialspenning fra betong

$$\sigma_{\alpha} := \frac{n_{\alpha_{max}}}{h} = 0.01$$

if $\sigma_{\alpha} < 0$ | = "Strekkspenning"
 || return "Trykkspenning"
 else
 || return "Strekkspenning"

$$\sigma_{cp,\alpha} := \min\left(-\sigma_{\alpha}, \frac{f_{cd}}{0.2}\right) = -0.01$$

-Strekkspenning gir redusert kapasitet

-Trykkspenning gir økt kapasitet

$\sigma_{cp,\alpha} = +$ (Trykkspenning i betong fra aksialbelastning eller forspenning)

$\sigma_{cp,\alpha} = -$ (Strekkspenning i betong fra aksialbelastning)

Konstant avhengig av aksialspenning i betong

$$k_1 := \begin{cases} \text{if } \sigma_{\alpha} < 0 & = 0.3 \\ \text{|| } 0.1 \\ \text{else} \\ \text{|| } 0.3 \end{cases}$$

$k_1 = 0.1$ benyttes konservativt i plater rundt konsentrerte laster. $k_1 = 0.15$ kan i noen tilfeller benyttes

Andre parametere som brukes i bestemmelsen av skjærstrekk kapasitet til betong

Trykksonehøyde skjær

$$d_x := h - \frac{t_1}{2} = 215 \quad \text{Avstand fra trykksone til lengdearmeringen}$$

$$d_y := h - \frac{t_2}{2} = 215 \quad \text{Avstand fra trykksone til tverrarmering}$$

$$d_{eff} := \frac{d_y + d_x}{2} = 215$$

Effektive tykkelsen av platen

$$\rho_{\alpha} := \frac{A_{s\alpha}}{b_w \cdot d_{eff}} = 0.002 \quad \rho_{\alpha} := \min(\rho_{\alpha}, 0.02) = 0$$

Armeringsforholdet for strekkarmering med tilstrekkelig forankring

$$k := 1 + \sqrt{\frac{200}{d_{eff}}} = 1.96 \quad k := \min(k, 2) = 1.96$$

Konstant

$$k_2 := 0.15$$

($k_2 = 0.18$ for betong med største tilslag etter NS-EN 12620, ellers 0.15)

$$C_{Rd,c} := \frac{k_2}{\gamma_c} = 0.1$$

Konstant

$$V_{min} := 0.035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}} = 0.53$$

Minste skjærstrekk kapasitet til betong

Skjærstrekk kapasitet til betong uten skjærarmerring $V_{Rd,c}$

$$V_{Rd,c} := \max\left(C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_{\alpha} \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} + k_1 \cdot \sigma_{cp,\alpha}, V_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp,\alpha}\right) \cdot \frac{b_w \cdot d_{eff}}{10^3} = 113.07$$

Finner hvor mange dager betongen må herde før belastning skjærkrefter

Det er snudd om på ligningene for å finne en funksjon som er avhengig av nødvendig herde tid.

$$V_{Rd.c.t.fb} := V_{\alpha_{max}} = 70.71$$

Kontrollerer mest skjærpåkjente retning

Kontrollerer kapasiteten: $C_{Rd.c} \cdot k \cdot \left(100 \cdot \rho_{\alpha} \cdot f_{ck}\right)^{\frac{1}{3}} + k_1 \cdot \sigma_{cp,\alpha}$

Values	$t_{fb.s.1} := 3300$
	$\left(C_{Rd.c} \cdot k \cdot \left(100 \cdot \rho_{\alpha} \cdot \left(\left(e^{s \cdot \left(1 - \sqrt{\frac{28}{t_{fb.s.1}}}\right)} \right) \right) \cdot (f_{ck} + 8) - 8 \right) \right)^{\frac{1}{3}} + k_1 \cdot \sigma_{cp,\alpha} \right) \cdot \frac{b_w \cdot d_{eff}}{10^3} = V_{Rd.c.t.fb}$
Solver	$t_{fb.s.1} := \text{find}(t_{fb.s.1}) = 13.7$

Løser $V_{Rd.c.t.fb.s.1}(t_{fb.s.1})$ for $t_{fb.s.1}$

Kontrollerer den minste kapasiteten: $V_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp,\alpha}$

Values	$t_{fb.s.2} := 5000$
	$\left(0.035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot \left(\left(e^{s \cdot \left(1 - \sqrt{\frac{28}{t_{fb.s.2}}}\right)} \right) \right) \cdot (f_{ck} + 8) - 8 \right)^{\frac{1}{2}} + k_1 \cdot \sigma_{cp,\alpha} \right) \cdot \frac{b_w \cdot d_{eff}}{10^3} = V_{Rd.c.t.fb}$
Solver	$t_{fb.s.2} := \text{find}(t_{fb.s.2}) = 2.15$

Løser $V_{Rd.c.t.fb.s.2}(t_{fb.s.2})$ for $t_{fb.s.2}$

Antall dager før betongen tåler skjærkreftene

$$t_{fb.s} := \min(t_{fb.s.1}, t_{fb.s.2}) = 2.15$$

$$t_{fb.s} := t_{fb.s.2} = ?$$

Overstyrer og tar med kun minste kapasitet man har (**Må slå av min funksjonen**)

$$t_{fb.s} := \text{if } 3 < t_{fb.s} < 28 \mid = 3$$

$$\left\| \begin{array}{l} t_{fb.s} \\ \text{else if } t_{fb.s} > 3 \\ \mid \\ 28 \\ \text{else} \\ \mid \\ 3 \end{array} \right.$$

Betongen tåler skjærkreftene etter $t_{fb.s} = 3$ dager

Tar høyde for minimum 3 dagers herdetid, og dersom herdetid for mer enn 28 dager er nødvendig, brukes karakteristisk fasthet.

Skjærstrekk kapasitet i betong etter t dager: $V_{Rd.c.t}$

$$V_{Rd.c.t} := \max \left(C_{Rd.c} \cdot k \cdot \left(100 \cdot \rho_{\alpha} \cdot f_{ck,t} \right)^{\frac{1}{3}} + k_1 \cdot \sigma_{cp,\alpha}, 0.035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck,t}^{\frac{1}{2}} + k_1 \cdot \sigma_{cp,\alpha} \right) \cdot \frac{b_w \cdot d_{eff}}{10^3} = 93.24$$

Skjærutnyttelse etter t dager: $UR_{c,t}$

$$UR_{c,t} := \frac{V_{\alpha_{max}}}{V_{Rd.c.t}} = 0.76$$

Trenger man skjærarmering?

```

Skjær := if  $V_{\alpha_{max}} \geq V_{Rd.c}$  | = "trenger ikke skjærarmering"
|| return "trenger skjærarmering"
else
|| return "trenger ikke skjærarmering"

```

Hva er utnyttelsesgraden for skjær?

```

 $U_{skjær} :=$  if  $Skjær = \text{"trenger skjærarmering"}$  = 0.63
|| return "overskridet"
else
||  $\frac{V_{\alpha_{max}}}{V_{Rd.c}}$ 

```

Utnyttelsesgrad

$$UR_c := \frac{V_{\alpha_{max}}}{V_{Rd.c}} = 0.63$$

Utnyttelsesgrad

```

BeregningerSkjær uten armering := if  $V_{\alpha_{max}} < V_{Rd.c}$  | = "OK"
|| return "OK"
else
|| return "IKKE.OK"

```

Kontroll
tverrskjær **uten**
skjærarmering

Skjærarmoring

Skjærtrykk med skjærarmoring

$$\alpha_{cw} := \begin{cases} \text{if } \sigma_\alpha < 0 & \\ \quad \text{if } [\sigma_\alpha] \leq 0.25 \cdot f_{cd} & \\ \quad \quad \left| 1 + \frac{[\sigma_\alpha]}{f_{cd}} \right| & \\ \quad \text{else if } 0.25 \cdot f_{cd} < [\sigma_\alpha] \leq 0.5 \cdot f_{cd} & \\ \quad \quad \left| 1.25 \right| & \\ \quad \text{else} & \\ \quad \quad \left| 2.5 \cdot \left(1 - \frac{[\sigma_\alpha]}{f_{cd}} \right) \right| & \\ \text{else} & \\ \quad \left| 1 \right| & \end{cases} = 1 \quad \text{konstant} \quad v_1 := 0.6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250} \right) = 0.53$$

fasthetsreduksjonsfaktor for betong opprisset grunnet skjærkraft.

Skjærstrykk kapasitet $V_{Rd,max}$ med $\theta = 45^\circ$

$$V_{Rd,max} := \frac{\alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd}}{\cot(\theta) + \tan(\theta)} = 808$$

Hva er utnyttelsesgraden for skjærtrykk med $\theta = 45^\circ$

$$UR_{max} := \frac{V_{\alpha,max}}{V_{Rd,max}} = 0.09$$

Kontrollerer den minste kapasiteten:

$$V_{\alpha_{max}} = 70.71$$

Guess Values	$t_{fb.s.3} := 5$
Constraints	$\frac{\alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot \left(\left(e^{s \cdot \left(1 - \sqrt{\frac{28}{t_{fb.s.3}}} \right)} \right) \cdot \alpha_{cc} \right)}{\gamma_c} \cdot \frac{\cot(\theta) + \tan(\theta)}{10^3} = V_{\alpha_{max}}$
Solver	$t_{fb.s.3} := \mathbf{find}(t_{fb.s.3}) = 0.75$

Antall dager før betongen tåler skjærkreftene

$$t_{fb.s.3} := \text{if } 3 < t_{fb.s.3} < 28 \text{ then } 3$$

$t_{fb.s.3}$
else if $t_{fb.s.3} > 3$
28
else
3

Betongen tåler skjærkreftene
etter $t_{fb.s.3} = 3$ dager

Tar høyde for minimum 3 dagers herdetid, og dersom herdetid for mer enn 28 dager er nødvendig, brukes karakteristisk fasthet.

Skjærstrekk med skjærarmering

Skjærstrekk kapasitet med skjærarmering

$$V_{Rd.s} := \frac{A_{sw} \cdot z \cdot f_{yd} \cdot \cot(\theta)}{10^6} = 30.76$$

Har gjort om på denne formelen slik at det stemmer med FEM-design

Hva er utnyttelsesgraden for skjærstrekk med bøylearmering?

$$UR_s := \frac{V_{\alpha_{max}}}{V_{Rd.s}} = 2.3$$

Skjærtrykk i betongen med armering

Er den innlagte skjærarmeringen OK?

```
Beregninger_Skjar_med_armering := if V_alpha_max < V_Rd.s ^ V_alpha_max < V_Rd.max = "IKKE.OK"
|| return "OK"
else
|| return "IKKE.OK"
```

Kontroll tverrskjær **med skjærearmring**

Kontrollerer skjær etter valgt beregningsmetode

```
Beregninger_Skjar := if if Skjararmering = "JA"
|| Beregninger_Skjar_med_armering = "OK"
else
|| Beregninger_Skjar uten armering = "OK"
|| return "OK"
else
|| return "IKKE_OK"
```

Dersom "OK" er beregninger innenfor etter valgt beregningsmetode

Kontrollerer alle beregninger

```
Beregninger_total := if Beregninger_skive = "OK" ^ Beregninger_Skjar = "OK" = "OK"
|| return "OK"
else
|| return "IKKE_OK"
```

Oppsumerte resultater

Armering utnyttelse

Bunnplate x retning

$$U_{sx1} := \frac{|\sigma_{sx1}|}{f_{yd}} = 0.69$$

Bunnplate y retning

$$U_{sy1} := \frac{|\sigma_{sy1}|}{f_{yd}} = 0.69$$

Topplate x retning

$$U_{sx2} := \frac{|\sigma_{sx2}|}{f_{yd}} = 0.62$$

Topplate y retning

$$U_{sy2} := \frac{|\sigma_{sy2}|}{f_{yd}} = 0.62$$

Nødvendig armeringsareal

Bunnplate x retning

$$A_{sx.1} = 270.07$$

Bunnplate y retning

$$A_{sy.1} = 270.07$$

Topplate x retning

$$A_{sx.2} = 243.34$$

Topplate y retning

$$A_{sy.2} = 243.34$$

Er armering og betongtrykk OK?

Beregninger_{skive} = "OK"

Er skjær OK?

Beregninger_{skjær} = "OK"

Er alle beregninger OK?

Beregninger_{total} = "OK"

Betongspenning utnyttelse

Bunnskive

$$U_{c1} := \frac{\sigma_{c1}}{\sigma_{Rd.max}} = 0.02$$

Topskive

$$U_{c2} := \frac{\sigma_{c2}}{\sigma_{Rd.max}} = 0.02$$

Betongspenning utnyttelse etter t dager

Bunnskive

$$U_{c1.t} := \frac{\sigma_{c1}}{\sigma_{Rd.t}} = 0.03$$

Topskive

$$U_{c2.t} := \frac{\sigma_{c2}}{\sigma_{Rd.t}} = 0.02$$

Betongen tåler snittkreftene
etter $t_{fb} = 3$ dager

Tverrskjær utnyttelse

Med armering

$$UR_s := \frac{V_{\alpha.max}}{V_{Rd.s}} = 2.3$$

$$UR_{max} := \frac{V_{\alpha.max}}{V_{Rd.max}} = 0.09$$

Betongen tåler
skjærkreftene etter
 $t_{fb.s.3} = 3$ dager

Uten armering

$$UR_c := \frac{V_{\alpha.max}}{V_{Rd.c}} = 0.63$$

Betongen tåler
skjærkreftene etter
 $t_{fb.s} = 3$ dager

Kontrollerer betongtrykk og armering.
Dersom beregning for tidlig fasthetet
er valgt brukes trykkfasthet etter t
døgn

$$t_{fb.s} := 28$$

Kraft og kapasitet

Kontrollerer beregningsmetode etter
"JA" eller "NEI" på skjærarmering

$$V_{Rd.max} = 807.84$$

Kontrollerer alle beregninger basert
på valgte beregningsparametre

$$V_{\alpha.max} = 70.71$$

$$V_{Rd.c} = 113.07$$

$$V_{Rd.s} = 31$$

Output for serieberegninger

Kontr = "MEMBRAN"
nn = 0

Export_{excel.membran} := [Kontr nn U_{sr1} U_{sy1} U_{sr2} U_{sy2} U_{c1} U_{c2} U_{c1.t} U_{c2.t} t_{fb} A_{sr.1} A_{sy.1} A_{sr.2} A_{sy.2} t_{overskriv}]

Export_{tittel.membran} := [Kontr "nn" "Usx1" "Usy1" "Usx2" "Usy2" "Uc1" "Uc2" "Uc1.t" "Uc2.t" "tfb" "Asx.1" "Asy.1" "Asx.2" "Asy.2" ...]

Export_{excel.tverrskjær} := [Kontr nn V_{α,max} V_{Rd,max} V_{Rd.c} V_{Rd.s} UR_c UR_s UR_{max} t_{fb.s} t_{fb.s.3} 0]

Export_{tittel.tverrskjær} := [Kontr "nn" "Vα,max" "VRd,max" "VR.c" "VR.s" "URc" "URs" "URmax" "tfb.s" "tfb.s.3" 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 ...]

Export_{excel.begge} := [Kontr nn U_{sr1} U_{sy1} U_{sr2} U_{sy2} U_{c1} U_{c2} U_{c1.t} U_{c2.t} t_{fb} A_{sr.1} A_{sy.1} A_{sr.2} A_{sy.2} t_{overskriv} Kontr nn V_{α,max} V_{Rd,max} V_{Rd.c} V_{Rd.s} ...]

Export_{tittel.begge} := [Kontr "nn" "Usx1" "Usy1" "Usx2" "Usy2" "Uc1" "Uc2" "Uc1.t" "Uc2.t" "tfb" "Asx.1" "Asy.1" "Asx.2" "Asy.2" ...]

excel := ".\Regneark i Skalldimensjonering.xlsx"

```

if Kontr = "MEMBRAN"
  if nn = 0
    WRITEEXCEL (excel, Exportexcel.membran, "Ark2!A1:P1")
  else if nn = 1
    WRITEEXCEL (excel, Exportexcel.membran, "Ark2!A2:P2")
  else if nn = 2
    WRITEEXCEL (excel, Exportexcel.membran, "Ark2!A3:P3")
  else if nn = 3
    WRITEEXCEL (excel, Exportexcel.membran, "Ark2!A4:P4")
  else if nn = 4
    WRITEEXCEL (excel, Exportexcel.membran, "Ark2!A5:P5")
  else if nn = 5
    WRITEEXCEL (excel, Exportexcel.membran, "Ark2!A6:P6")
  else if nn = 6
    WRITEEXCEL (excel, Exportexcel.membran, "Ark2!A7:P7")
  else if nn = 7
    WRITEEXCEL (excel, Exportexcel.membran, "Ark2!A8:P8")
  else if nn = 8
    WRITEEXCEL (excel, Exportexcel.membran, "Ark2!A9:P9")
  else if nn = 9
    WRITEEXCEL (excel, Exportexcel.membran, "Ark2!A10:P10")
  else if nn = 10
    WRITEEXCEL (excel, Exportexcel.membran, "Ark2!A11:P11")
  else if nn = 11
    WRITEEXCEL (excel, Exportexcel.membran, "Ark2!A12:P12")
  else if nn = 12
    WRITEEXCEL (excel, Exportexcel.membran, "Ark2!A13:P13")
  else if nn = 13
    WRITEEXCEL (excel, Exportexcel.membran, "Ark2!A14:P14")
  else if nn = 14
    WRITEEXCEL (excel, Exportexcel.membran, "Ark2!A15:P15")
  else if nn = 15
    WRITEEXCEL (excel, Exportexcel.membran, "Ark2!A16:P16")
  else if nn = 16
    WRITEEXCEL (excel, Exportexcel.membran, "Ark2!A17:P17")
  else if nn = 17
    WRITEEXCEL (excel, Exportexcel.membran, "Ark2!A18:P18")
  else if nn = 18
    WRITEEXCEL (excel, Exportexcel.membran, "Ark2!A19:P19")
  else if nn = 19
    WRITEEXCEL (excel, Exportexcel.membran, "Ark2!A20:P20")
  else if nn = 20
    WRITEEXCEL (excel, Exportexcel.membran, "Ark2!A21:P21")

if Kontr = "MEMBRAN"
  WRITEEXCEL (excel, Exporttittel.membran, "Ark2!A1:P1")

if Kontr = "TVERRSKJÆR"
  if nn = 0
    WRITEEXCEL (excel, Exportexcel.tverrskjær, "Ark2!Q1:AP1")
  else if nn = 1
    WRITEEXCEL (excel, Exportexcel.tverrskjær, "Ark2!Q2:AP2")
  else if nn = 2
    WRITEEXCEL (excel, Exportexcel.tverrskjær, "Ark2!Q3:AP3")
  else if nn = 3
    WRITEEXCEL (excel, Exportexcel.tverrskjær, "Ark2!Q4:AP4")
  else if nn = 4
    WRITEEXCEL (excel, Exportexcel.tverrskjær, "Ark2!Q5:AP5")
  else if nn = 5
    WRITEEXCEL (excel, Exportexcel.tverrskjær, "Ark2!Q6:AP6")
  else if nn = 6
    WRITEEXCEL (excel, Exportexcel.tverrskjær, "Ark2!Q7:AP7")
  else if nn = 7
    WRITEEXCEL (excel, Exportexcel.tverrskjær, "Ark2!Q8:AP8")
  else if nn = 8
    WRITEEXCEL (excel, Exportexcel.tverrskjær, "Ark2!Q9:AP9")
  else if nn = 9
    WRITEEXCEL (excel, Exportexcel.tverrskjær, "Ark2!Q10:AP10")
  else if nn = 10
    WRITEEXCEL (excel, Exportexcel.tverrskjær, "Ark2!Q11:AP11")
  else if nn = 11
    WRITEEXCEL (excel, Exportexcel.tverrskjær, "Ark2!Q12:AP12")
  else if nn = 12
    WRITEEXCEL (excel, Exportexcel.tverrskjær, "Ark2!Q13:AP13")
  else if nn = 13
    WRITEEXCEL (excel, Exportexcel.tverrskjær, "Ark2!Q14:AP14")
  else if nn = 14
    WRITEEXCEL (excel, Exportexcel.tverrskjær, "Ark2!Q15:AP15")
  else if nn = 15
    WRITEEXCEL (excel, Exportexcel.tverrskjær, "Ark2!Q16:AP16")
  else if nn = 16
    WRITEEXCEL (excel, Exportexcel.tverrskjær, "Ark2!Q17:AP17")
  else if nn = 17
    WRITEEXCEL (excel, Exportexcel.tverrskjær, "Ark2!Q18:AP18")
  else if nn = 18
    WRITEEXCEL (excel, Exportexcel.tverrskjær, "Ark2!Q19:AP19")
  else if nn = 19
    WRITEEXCEL (excel, Exportexcel.tverrskjær, "Ark2!Q20:AP20")
  else if nn = 20
    WRITEEXCEL (excel, Exportexcel.tverrskjær, "Ark2!Q21:AP21")

if Kontr = "TVERRSKJÆR"
  WRITEEXCEL (excel, Exporttittel.tverrskjær, "Ark2!Q1:AP1")

if Kontr = "BEGGE"
  if nn = 0
    WRITEEXCEL (excel, Exportexcel.begge, "Ark2!A1:AP1")
  else if nn = 1
    WRITEEXCEL (excel, Exportexcel.begge, "Ark2!A2:AP2")
  else if nn = 2
    WRITEEXCEL (excel, Exportexcel.begge, "Ark2!A3:AP3")
  else if nn = 3
    WRITEEXCEL (excel, Exportexcel.begge, "Ark2!A4:AP4")
  else if nn = 4
    WRITEEXCEL (excel, Exportexcel.begge, "Ark2!A5:AP5")
  else if nn = 5
    WRITEEXCEL (excel, Exportexcel.begge, "Ark2!A6:AP6")
  else if nn = 6
    WRITEEXCEL (excel, Exportexcel.begge, "Ark2!A7:AP7")
  else if nn = 7
    WRITEEXCEL (excel, Exportexcel.begge, "Ark2!A8:AP8")
  else if nn = 8
    WRITEEXCEL (excel, Exportexcel.begge, "Ark2!A9:AP9")
  else if nn = 9
    WRITEEXCEL (excel, Exportexcel.begge, "Ark2!A10:AP10")
  else if nn = 10
    WRITEEXCEL (excel, Exportexcel.begge, "Ark2!A11:AP11")
  else if nn = 11
    WRITEEXCEL (excel, Exportexcel.begge, "Ark2!A12:AP12")
  else if nn = 12
    WRITEEXCEL (excel, Exportexcel.begge, "Ark2!A13:AP13")
  else if nn = 13
    WRITEEXCEL (excel, Exportexcel.begge, "Ark2!A14:AP14")
  else if nn = 14
    WRITEEXCEL (excel, Exportexcel.begge, "Ark2!A15:AP15")
  else if nn = 15
    WRITEEXCEL (excel, Exportexcel.begge, "Ark2!A16:AP16")
  else if nn = 16
    WRITEEXCEL (excel, Exportexcel.begge, "Ark2!A17:AP17")
  else if nn = 17
    WRITEEXCEL (excel, Exportexcel.begge, "Ark2!A18:AP18")
  else if nn = 18
    WRITEEXCEL (excel, Exportexcel.begge, "Ark2!A19:AP19")
  else if nn = 19
    WRITEEXCEL (excel, Exportexcel.begge, "Ark2!A20:AP20")
  else if nn = 20
    WRITEEXCEL (excel, Exportexcel.begge, "Ark2!A21:AP21")

if Kontr = "BEGGE"
  WRITEEXCEL (excel, Exporttittel.begge, "Ark2!A1:AP1")

```

READEXCEL (excel, "Ark2!") =

"MEMBRAN"	0	0.7	0.7	0.6	0.6	0	0	0	0	3	270.1	270.1	243.3	243.3	0	"BEGGE"	0	70.7	807.8	113.1
"MEMBRAN"	1	0.2	0.2	1	1	0.2	0.2	0.3	0.3	3	84.9	84.9	409.7	409.7	0	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
"BEGGE"	15	0.1	0.1	0.9	0.9	0.6	0.6	0.8	0.8	3.8	151.9	134.6	1426.3	1426.3	35	"BEGGE"	15	55.2	650.8	116.2 ...

Gjennomlokking

Introduksjon til dokumentet

Dokumentet kontrollerer skjærkraft ved konsentrerte laster. Dette gjøres i henhold til EC2 6.4 og 9.4. Gjennomlokkingsmanualen til ISY Design er brukt som støttelitteratur der standarden ikke er klar nok

Forutsetninger:

β -faktor for kant og hjørnesøyle er hentet utfra ISY-Design

Hjørnesøyler er sirkulære

Vouter er sirkulære

Kant og innvendige søyler er rektangulære

For enkel oversikt brukes det følgende fargekoder for å illustrere viktige elementer i dokumentet.

Input verdier som må vurderes for hver situasjon merkes med grått.

Kontroll som viser om resultater er innenfor tillat kapasitet merkes med oransje

Viktige mellomregnings resultater som er av viktig karakter merkes med blått

Resultater og kapasitetskontroller merkes med grønt

Inndata for serieberegninger

n	N_x	N_y	M_{Ed}	$type$	A_{sx}	A_{sy}	A_x	A_y	c_1	c_2	V_{Ed}
0 (<i>Test</i>)	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	2	1916	1916	500	500	350	350	211
2	0	0	0	3	393	393	0	460	560	320	222
3	0	0	0	3	785	785	0	1184	560	320	408
4	0	0	0	2	1916	1916	500	500	350	350	221
5	0	0	0	1	393	393	0	0	320	320	103
6	0	0	0	1	393	393	0	0	320	320	109
7	0	0	0	2	1916	1916	500	500	350	350	193
8	0	0	0	3	393	393	0	460	560	320	265
9	0	0	0	3	785	785	0	1184	560	320	399
10	0	0	0	2	1916	1916	500	500	350	350	241

$nn :=$

Bestemmer hvilke rekke av tabellen som beregnes for effektiv kontrollering av flere punkter

type = 1, innvendig
type = 2, hjørne
type = 3, kant

Hvilken type søyle er det?

$type := type_{nn} = 2$

```

if type = 1 | = "hjørne"
  || "innvendig"
else if type = 2
  || "hjørne"
else if type = 3
  || "kant"

```

Input fra ISY Design

Hjørne

Kant

$\beta_{0.hjørne} := 1.63$

$\beta_{0.kant} := 1.26$

β -faktor ved kritisk kontrollsnitt 0

$\beta_{1.hjørne} := 1.76$

$\beta_{1.kant} := 1.54$

β -faktor ved kritisk kontrollsnitt 1

$\beta_{out.hjørne.30} := 2.59$

$\beta_{out.kant.30} := 1.75$

β -faktor ved ytterste kontrollsnitt B30

$\beta_{out.hjørne.20} := 2.68$

$\beta_{out.kant.20} := 1.96$

β -faktor ved ytterste kontrollsnitt B20

$\beta_{1.hjørne.ext} := 1.98$

β -faktor ved kontrollsnitt utenfor vouten B20

$\beta_{1.hjørne.int} := 1.94$

β -faktor ved kontrollsnitt innenfor vouten B20

Anbefalt verdier for β , i henhold til figur 6.21N:

$\beta_{anbefalt.innvendig} := 1.15$

$\beta_{anbefalt.kant} := 1.4$

$\beta_{anbefalt.hjørne} := 1.5$

Krav for β -faktor oppfylt?

$\beta_{anbefalt} := \text{"NEI"}$

Det har for søylenr 3 og 9 blitt gjort en konservativ tilnærming og det er blitt beregnet disse som kantsøyler. $\beta_{anbefalt}$ er brukt her fordi det beregnede β verdien ga mindre spenninger

```

 $\beta_{anbefalt} :=$  if nn = 3 | = "NEI"
  || "JA"
else if nn = 9
  || "JA"
else
  ||  $\beta_{anbefalt}$ 

```

Snittkrefter i dekke:

$$N_x := N_{x_{nn}} = 0$$

$$N_y := N_{y_{nn}} = 0$$

Materialer

$$\gamma_c := 1.5$$

$$f_{ck} := 20$$

$$\alpha_{cc} := 0.85$$

$$f_{cd} := \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \cdot \alpha_{cc} = 11.3$$

Aksialkraft i søyle:

$$V_{Ed} := V_{Ed_{nn}} = 241$$

Materialkoeffesient betong

Betongens karakteristiske trykkfasthet

Koeffesient for langtidslast og ugunstige virkninger

Betongens dimensjonerende trykkfasthet

Momentoverføring fra søyle:

$$M_{Ed} := M_{Ed_{nn}} = 0$$

$$\gamma_s := 1.15$$

$$f_{yk} := 500$$

$$f_{yd} := \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = 434.8$$

Materialfaktor stål

Stålets karakteristiske flytespenning

Stålets dimensjonerende flytespenning

Lengde armering

Topplate

$$\phi_{sx.2} := 12$$

Kam diameter x retning

$$cc_{sx.2} := 100$$

Senteravstand x retning

$$\phi_{sy.2} := 12$$

Kam diameter y retning

$$cc_{sy.2} := 100$$

Senteravstand y retning

Overdekning

$$C_{nom} := 25 \quad [mm]$$

Dimensjoner plate

$$h := 250 \quad [mm] \quad \text{Skive tykkelse}$$

$$b_w := 1000 \quad [mm] \quad \text{Skive bredde}$$

Dimensjoner søyle

$$c_1 := c_{1_{nn}} = 350 \quad [mm] \quad \text{Søylens dimensjon parallelt med lastens eksentrisitet}$$

$$c_2 := c_{2_{nn}} = 350 \quad [mm] \quad \text{Søylens dimensjon vinkelrett med lastens eksentrisitet}$$

Trykksonehøyde

$$d_x := h - C_{nom} - \frac{\phi_{sx.2}}{2} = 219$$

Avstand fra trykksone til lengdearmeringen

$$d_y := h - C_{nom} - \frac{\phi_{sy.2}}{2} - \phi_{sx.2} = 207$$

Avstand fra trykksone til tverrarmering

Velger en distanse som er lengden fra søylekant til første skjærarmeringsenhet

$$d_{eff} := \frac{d_y + d_x}{2} = 213$$

Effektive tykkelsen av platen

vanlig kontroll uten voute

$$S_{int} := \text{floor} \left(\frac{0.5 \cdot d_{eff}}{10} \right) \cdot 10 = ?$$

$$l_{H.voute} := 250$$

Lengde voute

utenfor vouten

$$h_{H.voute} := 100$$

Høyde voute

$$S_{int.voute.ext} := \text{floor} \left(\frac{0.5 \cdot d_{eff}}{10} \right) \cdot 10 = 100$$

$$l_{H.plate} := 300$$

Lengde plate

innenfor vouten

$$h_{H.plate} := 125$$

Høyde plate

$$S_{int.voute.int} := \text{floor} \left(\frac{0.5 \cdot d_{eff}}{10} \right) \cdot 10 = 100$$

Beregninger Gjennomlokking

Skjærtrykkkapasitet

$$\nu := 0.6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0.552 \quad \text{NA.6.2.2(6)}$$

$$v_{Rd,max} := 0.4 \cdot \nu \cdot f_{cd} = 2.502 \quad \text{NA.6.4.5(3)}$$

Skjærstrekkkapasitet

Armeringsareal

Topplate

$$A_{sx} := A_{s_{x_{nn}}} = 1916 \quad \text{Armeringsareal x retning}$$

$$A_{sy} := A_{s_{y_{nn}}} = 1916 \quad \text{Armeringsareal y retning}$$

Armeringsforhold i x-retning

Armeringsforhold i y-retning

$$\rho_{lx} := \frac{A_{sx}}{b_w \cdot d_{eff}} = 0.009$$

$$\rho_{ly} := \frac{A_{sy}}{b_w \cdot d_{eff}} = 0.009$$

Armeringsforholdet i betongen

$$\rho_l := \sqrt[2]{\rho_{lx} \cdot \rho_{ly}} = 0.009 \quad \rho_l := \min(\rho_l, 0.02) = 0.009$$

Andre faktorer som brukes til beregning av skjærkapasitet uten skjærarmering

$$k := 1 + \sqrt[2]{\frac{200}{d_{eff}}} = 1.969 \quad k := \min(k, 2) = 1.97 \quad \text{Konstant}$$

$$k_2 := 0.15 \quad (k_2 = 0.18 \text{ for betong med største tilslag etter NS-EN 12620, ellers } 0.15)$$

$$C_{Rd,c} := \frac{k_2}{\gamma_c} = 0.1 \quad \text{Konstant}$$

$$v_{min} := 0.035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}} = 0.432 \quad \text{Minste skjærstrekk kapasitet til betong}$$

Normalspenning i x-retning

$$\sigma_{cx} := \frac{N_x}{A_{sx}} = 0$$

Normalspenning i y-retning

$$\sigma_{cy} := \frac{N_y}{A_{sy}} = 0$$

Normalspenning i betongen

$$\sigma_{cp} := \frac{\sigma_{cx} + \sigma_{cy}}{2} = 0$$

Konstant avhengig av aksialspenning i betong

$$k_1 := \begin{cases} \text{if } \sigma_{cp} < 0 & = 0.1 \\ \quad \parallel & -0.3 \\ \text{else} & \\ \quad \parallel & 0.1 \end{cases}$$

k_1 er en faktor som er 0.1 for trykk og -0.3 for strekk

Skjærkapasitet uten skjærarmoring $v_{Rd,c}$

$$v_{Rd,c} := \max \left(C_{Rd,c} \cdot k \cdot \left(100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck} \right)^{\frac{1}{3}} + k_1 \cdot \sigma_{cp}, v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp} \right) = 0.516 \quad (6.47)$$

K-faktor som er lik i kontrollsnitt 0 og 1

$$k := \begin{cases} \text{if } \frac{c_1}{c_2} \leq 0.5 & = 0.6 \\ \quad \parallel & 0.45 \\ \text{else if } 0.5 < \frac{c_1}{c_2} \leq 1.0 & \\ \quad \parallel & 0.45 + \left(\frac{c_1}{c_2} - 0.5 \right) \cdot \frac{(0.60 - 0.45)}{(1 - 0.5)} \\ \text{else if } 1.0 < \frac{c_1}{c_2} \leq 2.0 & \\ \quad \parallel & 0.60 + \left(\frac{c_1}{c_2} - 1.0 \right) \cdot \frac{(0.70 - 0.60)}{(2 - 1)} \\ \text{else if } 2.0 < \frac{c_1}{c_2} \leq 3.0 & \\ \quad \parallel & 0.70 + \left(\frac{c_1}{c_2} - 2.0 \right) \cdot \frac{(0.80 - 0.70)}{3 - 2} \\ \text{else if } 3.0 < \frac{c_1}{c_2} & \\ \quad \parallel & 0.8 \end{cases}$$

Det brukes interpolasjon mellom verider for k i EC2 Tabell 6.1

Faktoren k definerer andelen av det ubalanserte momentet som balanseres av skjærkrefter i forhold til bøye og torsjonsmomenter

Innvendig søyle

Skjærspenning ved søyleomkretsen U_0 kontrolleres mot trykkbrudd

$$U_0 := 2 \cdot (c_1 + c_2) = 1400$$

Lengde av kontrollsnitt 0

$$W_0 := \frac{c_1^2}{2} + c_1 \cdot c_2 = 183750$$

Plastisk motstandsmoment Beregnes for en foredeling av skjærspenningene

$$\beta_0 := 1 + k \cdot \frac{M_{Ed} \cdot 10^6}{V_{Ed} \cdot 10^3} \cdot \frac{U_0}{W_0} = 1$$

β er en faktor som tar hensyn til et økt fordelt skjær. Det økte fordelte skjæret kommer fra det ubalanserte søylemomentet. Faktoren er avhengig av størrelsen på momentet som må balanseres og dimensjoner på søylen og geometrien til det kritiske snittet

$$\beta_{0,innvendig} := \max(\beta_0, \beta_{anbefalt,innvendig}) = 1.15$$

$$v_{Ed,0} := \beta_{0,innvendig} \cdot \frac{V_{Ed} \cdot 10^3}{U_0 \cdot d_{eff}} = 0.929$$

Skjærspenning ved kontrollsnitt 0

Utnyttelse skjærtrykk

$$UR_{c,0,innvendig} := \frac{v_{Ed,0}}{v_{Rd,max}} = 0.371$$

Må holde. Ellers kreves det mer omfattende tiltak en armering

Skjærspenning ved kontrollsnitt 2d fra søyleliv U_1 kontrolleres mot skjærbrudd

$$U_1 := 2 \cdot (c_1 + c_2) + 2 \cdot \pi \cdot 2 \cdot d_{eff} = 4076.637$$

$$U_{1,innvendig} := U_1$$

Lengde av kontrollsnitt 1

$$W_{1,innvendig} := \frac{c_1^2}{2} + c_1 \cdot c_2 + 4 \cdot c_2 \cdot d_{eff} + 16 \cdot d_{eff}^2 + 2 \cdot \pi \cdot d_{eff} \cdot c_1 = 1.676 \cdot 10^6$$

Beregnes for en foredeling av skjærspenningene

$$\beta_1 := 1 + k \cdot \frac{M_{Ed} \cdot 10^6}{V_{Ed} \cdot 10^3} \cdot \frac{U_1}{W_{1,innvendig}} = 1$$

β er en faktor som tar hensyn til et økt fordelt skjær

$$\beta_{1,innvendig} := \max(\beta_1, \beta_{anbefalt,innvendig}) = 1.15$$

$$v_{Ed,1} := \frac{\beta_{1,innvendig} \cdot V_{Ed} \cdot 10^3}{U_1 \cdot d_{eff}} = 0.319$$

Skjærspenning ved kontrollsnitt 1

$$UR_{c,innvendig} := \frac{v_{Ed,1}}{v_{Rd,c}} = 0.619$$

Utnyttelsesgrad

Hjørne

Gjennomlokking nær to kanter sirkulært tverrsnitt

β -faktor er hentet fra ISY og er tatt fra den mest påkjente hjørnesøylen (søylenummer 10). Den utvendige β -faktoren ble bestemt ved bruk av generell armering.

$$\beta_{0,hjørne} := \begin{cases} \beta_{anbefalt} = \text{"JA"} \\ \beta_{anbefalt,hjørne} \\ \text{else} \\ \max(\beta_{0,hjørne}, \beta_{anbefalt,hjørne}) \end{cases} = 1.63 \quad \beta_{out,hjørne.20} := \begin{cases} \beta_{anbefalt} = \text{"JA"} \\ \beta_{anbefalt,hjørne} \\ \text{else} \\ \max(\beta_{out,hjørne.20}, \beta_{anbefalt,hjørne}) \end{cases} = 2.68$$

$$\beta_{1,hjørne} := \begin{cases} \beta_{anbefalt} = \text{"JA"} \\ \beta_{anbefalt,hjørne} \\ \text{else} \\ \max(\beta_{1,hjørne}, \beta_{anbefalt,hjørne}) \end{cases} = 1.76 \quad \beta_{out,hjørne.30} := \begin{cases} \beta_{anbefalt} = \text{"JA"} \\ \beta_{anbefalt,hjørne} \\ \text{else} \\ \max(\beta_{out,hjørne.30}, \beta_{anbefalt,hjørne}) \end{cases} = 2.59$$

Avstander til dekkekant

$$A_x := A_{x_{nn}} = 500$$

Avstand fra senter til kant i x-retning

$$A_y := A_{y_{nn}} = 500$$

Avstand fra senter til kant i y-retning

Diameter søyle

$$c_1 = 350$$

for de sirkulære betongsøylene i første etasje er det ikke noen forsterkningsplater som kan øke diameteren

Omkrets kontrollsnitt 1

$$U_{1,mod,hjørne} := \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 2 \left(\frac{c_1}{2} + 2 \cdot d_{eff} \right) + A_y + A_x = 1944.05$$

Største mulige reduserte omkrets til kontrollsnitt 0 for hjørnesøyle

$$U_{0,red,max,hjørne} := \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot c_1 + 2 \cdot \frac{c_1}{2} = 624.889$$

Første steget i bestemmelsen av $U_{0,red,max}$ er å flytte alle relevante kanter til kant belastet flate. Disse nye fiktive kantene er med på å bestemme den største mulige omkretsen til kontroll snitt 0, $U_{0,red,max}$. Resten av fremgangen er lik som ved bestemmelsen av $U_{1,mod}$; stien skal være konveks og velges slik at den blir minimert. (Brukermanual ISY, s.25)

Redusert omkrets kontrollsnitt 0 for hjørnesøyle

$$3 \cdot d_{eff} = 639$$

$3 \cdot d_{eff}$ kan finnes i både EC2 6.4.5 (3) og i brukermanualen til ISY s.25 som er ment til å være $U_{0,red}$ hvis ikke denne verdien overskrider $U_{0,red,max}$. $U_{0,red,max}$ står i NS-EN 1992-1-1 6.4.5 (3) for rektangulære søyler som $c_1 + c_2$, men det står ingenting om sirkulære søyler. Derfor er det valgt å beregne $U_{0,red,max}$ slik som i brukermanualen til ISY

Redusert omkrets kontrollsnitt 0

$$U_{0,red,hjørne} := \min(U_{0,red,max,hjørne}, 3 \cdot d_{eff}) = 624.889$$

Spenninger ved kontrollsnitt 0

$$v_{Ed.0.hjørne} := \beta_{0.hjørne} \cdot \frac{V_{Ed} \cdot 10^3}{U_{0.red.hjørne} \cdot d_{eff}} = 2.951$$

Utnyttelsesgrad ved kontrollsnitt 0, skjærtrykk

$$UR_{c.0.hjørne} := \frac{v_{Ed.0.hjørne}}{v_{Rd.max}} = 1.179$$

Spenninger ved kontrollsnitt 1

$$v_{Ed.1.hjørne} := \beta_{1.hjørne} \frac{V_{Ed} \cdot 10^3}{U_{1.mod.hjørne} \cdot d_{eff}} = 1.024$$

Utnyttelsesgrad ved kontrollsnitt 1, skjærstrekk

$$UR_{c.hjørne} := \frac{v_{Ed.1.hjørne}}{v_{Rd.c}} = 1.985$$

Kant

Gjennomlokking nær kant rektangulært tverrsnitt

β -faktor er hentet fra ISY og er tatt fra søylenr 8. Den utvendige β -faktoren ble bestemt ved bruk av generell armering

$$\beta_{0.kant} := \begin{cases} \beta_{anbefalt} & \text{if } \beta_{anbefalt} = \text{"JA"} \\ \max(\beta_{0.kant}, 1.4) & \text{else} \end{cases} = 1.4 \quad \beta_{out.kant.20} := \begin{cases} \beta_{anbefalt} & \text{if } \beta_{anbefalt} = \text{"JA"} \\ \max(\beta_{out.kant.20}, \beta_{anbefalt.kant}) & \text{else} \end{cases} = 1.96$$

$$\beta_{1.kant} := \begin{cases} \beta_{anbefalt} & \text{if } \beta_{anbefalt} = \text{"JA"} \\ \max(\beta_{1.kant}, \beta_{anbefalt.kant}) & \text{else} \end{cases} = 1.54 \quad \beta_{out.kant.30} := \begin{cases} \beta_{anbefalt} & \text{if } \beta_{anbefalt} = \text{"JA"} \\ \max(\beta_{out.kant.30}, \beta_{anbefalt.kant}) & \text{else} \end{cases} = 1.75$$

Avstander til dekkekant

$$A_x = 500$$

$$A_y = 500$$

Avstand fra senter søyle til kant dekke. For kantsøyle er det bare en retning som er i nærheten av en kant

Omkrets kontrollsnitt 1

$$U_1 = 4076.637$$

$$U_{1.mod.kant} := c_2 + \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot 2 \cdot (2 \cdot d_{eff}) + 2 \cdot c_1 + 2 \cdot (A_y + A_x) - \frac{c_1}{2} \cdot 2 = 4038.32$$

kontrollsnitt $2 \cdot d_{eff}$ rundt søylen
Kontrollsnitt $2 \cdot d_{eff}$ rundt søylen og ned til kant

Bruker den miste kontrollsnittet mellom U_1 og $U_{1.mod.kant}$. Dette gir størst spenning ved kontrollsnittet

$$\bar{U}_{1.mod.kant} := \min(U_1, U_{1.mod.kant}) = 4038.318$$

Omkrets kontrollsnitt 0

$$\bar{U}_0 := 2 \cdot c_1 + 2 \cdot c_2 = 1400$$

Største mulige reduserte omkrets til kontrollsnitt 0 for kantsøyle

$$U_{0.red.max.kant} := c_2 + 2 \cdot c_1 = 1050$$

Redusert omkrets kontrollsnitt 0 for kantsøyle

$$c_2 + 3 \cdot d_{eff} = 989$$

c_2 Er sidelengden parallelt med kanten (Brukermanual ISY s.25)

Redusert omkrets kontrollsnitt 0

$$U_{0.red.kant} := \min(U_{0.red.max.kant}, c_2 + 3 \cdot d_{eff}) = 989$$

Ta hensyn til kanten i beregningen av U_0 ?

$$b_f := A_y - \frac{c_1}{2} = 325$$

Den benyttet omkretsen for kontrollsnitt 0

$$U_{0.red.kant} := \begin{cases} \text{if } b_f \geq \max(2 \cdot d_{eff}, c_2) \\ \quad \parallel U_0 \\ \text{else if } b_f < \max(2 \cdot d_{eff}, c_2) \\ \quad \parallel U_{0.red.kant} \end{cases} = 989$$

EC2 angir ikke hvordan man skal regne når den frie kanten ligger et stykke utenfor den belastet flaten. Derfor er det brukt en gitt grenseverdi som er den største mellom $2 \cdot d_{eff}$ og c_2 . Denne grenseverdien sammenlignes med avstanden mellom kant anleggsflate og kant dekke, b_f . Dersom b_f er større en grenseverdien trenger man ikke å ta hensyn til kanten i beregningene av U_0 (ISY design, s 24)

Spenninger ved kontrollsnitt 0

$$v_{Ed.0.kant} := \beta_{0.kant} \cdot \frac{V_{Ed} \cdot 10^3}{U_{0.red.kant} \cdot d_{eff}} = 1.602$$

Spenninger ved kontrollsnitt 1

$$v_{Ed.1.kant} := \beta_{1.kant} \cdot \frac{V_{Ed} \cdot 10^3}{U_{1.mod.kant} \cdot d_{eff}} = 0.431$$

Utnyttelsesgrad ved kontrollsnitt 0, skjærtrykk

$$UR_{c.0.kant} := \frac{v_{Ed.0.kant}}{v_{Rd.max}} = 0.64$$

Utnyttelsesgrad ved kontrollsnitt 1, skjærstrekk

$$UR_{c.kant} := \frac{v_{Ed.1.kant}}{v_{Rd.c}} = 0.836$$

Kontrollsnitt hvor skjærarmering ikke er nødvendig:

NB! Denne kontrollen er bare nødvendig når $v_{Rd.c} < v_{Ed.1}$

Hvilken β -faktor for det ytterste kontrollsnittet?

For innvendige søyler vil β bli redusert desto større kontrollsnittet er. Å bruke β fra et mindre kontrollsnitt vil derfor være en konservativ antagelse.

$$\beta_{out.innvendig} := \beta_{0.innvendig} = 1.15 \quad \beta_{out.hjørne} := \begin{cases} \text{if } f_{ck} = 20 & = 2.68 \\ \left\| \beta_{out.hjørne.20} \right. \\ \text{else if } f_{ck} = 30 & \\ \left\| \beta_{out.hjørne.30} \right. \end{cases} \quad \beta_{out.kant} := \begin{cases} \text{if } f_{ck} = 20 & = 1.96 \\ \left\| \beta_{out.kant.20} \right. \\ \text{else if } f_{ck} = 30 & \\ \left\| \beta_{out.kant.30} \right. \end{cases}$$

Den benyttede β -faktoren ved det ytterste kontrollsnitt

$$\beta_{out} := \begin{cases} \text{if } type = 1 & = 2.68 \\ \left\| \beta_{out.innvendig} \right. \\ \text{else if } type = 2 & \\ \left\| \beta_{out.hjørne} \right. \\ \text{else if } type = 3 & \\ \left\| \beta_{out.kant} \right. \end{cases}$$

Regner ut ny skjærstrekkkapasitet uten skjærarmering

Det er valgt å regne ut en mer konservativt verdi for $v_{Rd.c}$ enn ved kontrollsnitt 0 og 1. da det er avtagende armeringsmengder når man går lenger ifra søylene.

$$A_{sx.generell} := 393$$

$$A_{sy.generell} := 393$$

Armeringsforhold i x-retning

Armeringsforhold i y-retning

$$\rho_{lx} := \frac{A_{sx.generell}}{b_w \cdot d_{eff}} = 0.002$$

$$\rho_{ly} := \frac{A_{sy.generell}}{b_w \cdot d_{eff}} = 0.002$$

Armeringsforholdet i betongen

$$\rho_l := \sqrt{\rho_{lx} \cdot \rho_{ly}} = 0.002 \quad \rho_l := \min(\rho_l, 0.02) = 0.002$$

Andre faktorer som brukes til beregning av skjærkapasitet uten skjærarmering

$$k_1 := 1 + \sqrt{\frac{200}{d_{eff}}} = 1.969 \quad k_1 := \min(k, 2) = 1.97 \quad \text{Konstant}$$

$$k_2 := 0.15 \quad (k_2 = 0.18 \text{ for betong med største tilslag etter NS-EN 12620, ellers } 0.15)$$

$$C_{Rd.c} := \frac{k_2}{\gamma_c} = 0.1$$

Konstant

$$v_{min} := 0.035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}} = 0.432$$

Minste skjærstrekk kapasitet til betong

Normalspenning i x-retning

Normalspenning i y-retning

$$\sigma_{cx} := \frac{N_x}{A_{sx}} = 0$$

$$\sigma_{cy} := \frac{N_y}{A_{sy}} = 0$$

Normalspenning i betongen

$$\sigma_{cp} := \frac{\sigma_{cx} + \sigma_{cy}}{2} = 0$$

Konstant avhengig av aksialspenning i betong

$$k_1 := \begin{cases} \text{if } \sigma_{cp} < 0 & 0.1 \\ \quad \parallel & -0.3 \\ \text{else} & \\ \quad \parallel & 0.1 \end{cases}$$

 k_1 er en faktor som er 0.1 i trykk og -0.3 i strekkSkjærkapasitet uten skjærarmering $v_{Rd.c}$

$$v_{Rd.c.out} := \max \left(C_{Rd.c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} + k_1 \cdot \sigma_{cp}, v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp} \right) = 0.432$$

Kontrollsnitt der det ikke er behov for skjærarmering U_{out}

$$U_{out} := \beta_{out} \cdot \frac{V_{Ed} \cdot 10^3}{v_{Rd.c.out} \cdot d_{eff}} = 7011.639$$

Avstand fra søylekant til U_{out}

$$r_{out} := \begin{cases} \text{if } type = 1 & \\ \quad \parallel & \frac{U_{out} - 2 \cdot (c_1 + c_2)}{2 \cdot \pi} \\ \text{else if } type = 2 & \\ \quad \parallel & \frac{U_{out} - (A_y + A_x)}{\pi} \cdot 2 - \frac{c_1}{2} \\ \text{else if } type = 3 & \\ \quad \parallel & \frac{U_{out} - 2 \cdot (A_y + A_x) - c_1 \cdot 2 - c_2 + \frac{c_1}{2} \cdot 2}{\pi} \end{cases} = 3652.128$$

Nødvendig skjærarmering

Avstander mellom skjærarmering

$$S_{r,max} := 0.75 \cdot d_{eff} = 159.75 \quad S_r := \text{floor} \left(\frac{S_{r,max}}{10} \right) \cdot 10 = 150 \quad \text{Radiell avstand mellom skjærarmering}$$

$$S_{t,max.0d2d} := 1.5 \cdot d_{eff} = 319.5 \quad S_{t.0d2d} := \text{floor} \left(\frac{S_{t,max.0d2d}}{10} \right) \cdot 10 = 310 \quad \text{Tangentiell avstand mellom skjærarmering innenfor kontrollsnitt 2d}$$

$$S_{t,max.2d} := 2.0 \cdot d_{eff} = 426 \quad S_{t.2d} := \text{floor} \left(\frac{S_{t,max.2d}}{10} \right) \cdot 10 = 420 \quad \text{Tangentiell avstand mellom skjærarmering utenfor kontrollsnitt 2d}$$

Spenning ved kritisk kontrollsnitt 1

Omkrets kritisk kontrollsnitt 1

$$v_{Ed.1} := \text{if } type = 1 \quad = 1.024$$

$$\quad \parallel v_{Ed.1}$$

$$\text{else if } type = 2$$

$$\quad \parallel v_{Ed.1.hjørne}$$

$$\text{else if } type = 3$$

$$\quad \parallel v_{Ed.1.kant}$$

$$U_1 := \text{if } type = 1 \quad = 1944.049$$

$$\quad \parallel U_{1.innvendig}$$

$$\text{else if } type = 2$$

$$\quad \parallel U_{1.mod.hjørne}$$

$$\text{else if } type = 3$$

$$\quad \parallel U_{1.mod.kant}$$

Finner det ytterste snittet hvor skjærarmeringen skal plasseres

$$k := 1.0$$

$$k = 1, \text{ NA 6.4.5(4)}$$

$$r_{out.kd} := \max(r_{out} - k \cdot d_{eff}, 2 \cdot d_{eff}) = 3439.128$$

Radiell avstand fra søylekant til det ytterste snittet skjærarmeringen skal være

$$U_{out.kd} := \text{if } type = 1 \quad = 6677.06$$

$$\quad \parallel r_{out.kd} \cdot 2 \cdot \pi + 2 \cdot (c_1 + c_2)$$

$$\text{else if } type = 2$$

$$\quad \parallel \frac{\left(\frac{c_1}{2} + r_{out.kd} \right) \cdot \pi}{2} + (A_y + A_x)$$

$$\text{else if } type = 3$$

$$\quad \parallel \frac{r_{out.kd} \cdot \pi \cdot 2}{2} + 2 \cdot (A_y + A_x) + c_1 + c_2$$

Omkresten til det ytterste snittet hvor skjærarmering skal ligge

Nødvendig skjærarmering i tangentiell retning

Effektiv spenning i skjærarmering

$$f_{ywd.ef} := \min(250 + 0.25 \cdot d_{eff}, f_{yd}) = 303.25$$

Får redusert spenning fra $d_{eff} < 740 \text{ mm}$

Nødvendig skjærarmeringsareal langs av kritisk kontrollsnitt

Velger å droppe betongbidraget $0.75 \cdot v_{Rd.c}$ og regner $\alpha := 90^\circ$ i formel (6.52) i EC2

$$A_{sw} := \frac{v_{Ed.1} \cdot S_r \cdot U_1}{1.5 \cdot f_{ywd.ef}} = 656.673$$

formel (6.52) snudd

Minimumstverrsnitt av en armeringsstang etter formel (9.11)

$$A_{sw.min} := \frac{0.08 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot S_r \cdot S_{t.2d}}{1.5 \cdot f_{yk}} = 30.053$$

$$\phi_{beregnet.Asmin} := \sqrt[2]{\frac{A_{sw.min} \cdot 4}{\pi}} = 6.186$$

Geometrifaktor

$$x := \frac{2 \cdot d_{eff}}{\frac{r_{out.kd}}{d_{eff}}} \cdot 2 = 0.247737 \quad \boxed{x} := \min(x, 1.5) = 0.248$$

Ytre kontrollsnitt (>2d)

Minimumstverrsnitt av skjærarmering av en armeringstang i ytterste kontrollsnitt

$$A_{s.2d} := \frac{2 \cdot d_{eff}}{U_{out.kd}} \cdot A_{sw} = 41.896$$

Kritisk kontrollsnitt 1 (=2d)

Minimumstverrsnitt av skjærarmering av en armeringstang i kontrollsnitt 1

$$A_{s.0d2d} := \frac{x \cdot d_{eff}}{U_1} \cdot A_{sw} = 17.824$$

Kamdiameter

$$\phi_{beregnet.2d} := \sqrt[2]{\frac{A_{s.2d} \cdot 4}{\pi}} = 7.304$$

Kamdiameter

$$\phi_{beregnet.0d2d} := \sqrt[2]{\frac{A_{s.0d2d} \cdot 4}{\pi}} = 4.764$$

Minste mulige kamdiameteren ved bruk av størst mulig senteravstander i tangentiell retning

$$\phi_{beregnet} := \max(\phi_{beregnet.2d}, \phi_{beregnet.0d2d}, \phi_{beregnet.Asmin}) = 7.304$$

Kamdiameter som benyttes videre

$$\phi_{benyttes} := \begin{array}{l} \text{if } \phi_{beregnet} \leq 10 \\ \quad \parallel 10 \\ \text{else if } 10 < \phi_{beregnet} \leq 12 \\ \quad \parallel 12 \\ \text{else if } 12 < \phi_{beregnet} \leq 14 \\ \quad \parallel 14 \end{array} = 10$$

Sjekker den største mulige tangenseille avstanden som er mulig for valgt skjærarmering

$$S_t := \frac{\phi_{benyttet}^2 \cdot \pi \cdot U_{out.kd}}{A_{sw} \cdot 4} = 798.594$$

$$S_{t.out} := \begin{cases} S_t & \text{if } S_t > S_{t.2d} \\ S_{t.2d} & \text{else if } S_t < S_{t.2d} \\ S_t & \text{else} \end{cases} = 420$$

$$S_t := \begin{cases} S_{t.out} & \text{if } r_{out.kd} \geq 2.667 \cdot d_{eff} \\ \min(S_{t.0d2d}, S_t) & \text{else if } r_{out.kd} < 2.667 \cdot d_{eff} \end{cases} = 420$$

Avstandskrav-tangentiell ytterste kontrollsnitt

$$\frac{U_{out.kd}}{S_{t.out}} = 15.898$$

Avstandskrav-tangentiell kritisk kontrollsnitt 1

$$\frac{U_1}{\min(S_{t.0d2d}, S_t)} = 6.271$$

Avstandskrav-tangentiell

$$Antall_{skjærarmering.avtandskrav} := \begin{cases} \text{ceil}\left(\frac{U_{out.kd}}{S_{t.out}}\right) & \text{if } S_t = S_{t.out} \\ \text{ceil}\left(\frac{U_1}{\min(S_{t.0d2d}, S_t)}\right) & \text{else if } S_t = S_{t.0d2d} \end{cases} = 16$$

Armeringstvernitt for en benyttet armeringstang

$$A_s := \pi \cdot \left(\frac{\phi_{benyttet}}{2}\right)^2 = 78.54$$

Armeringskrav

$$Antall_{skjærarmering.armeringskrav} := \text{ceil}\left(\frac{A_{sw}}{A_s}\right) = 9$$

Antall skjærarmeringsenheter i tangentiell retning

$$n_t := \max(Antall_{skjærarmering.avtandskrav}, Antall_{skjærarmering.armeringskrav}) = 16$$

Nødvendig skjærarmering i radiell retning

Det første snittet med skjærarmering må forekomme mellom $0.3 \cdot d_{eff} = 63.9$ og $0.5 \cdot d_{eff} = 106.5$

$$S_{r.int} := \begin{cases} \text{if } 0.3 \cdot d_{eff} \leq S_{int} \leq 0.5 \cdot d_{eff} \\ \quad \parallel S_{int} \\ \text{else} \\ \quad \parallel \text{“første avstand må endres”} \end{cases} = ?$$

Antall skjærarmeringsenheter i radiell retning

$$n_r := \text{ceil} \left(\frac{r_{out.kd} - S_{r.int}}{S_r} \right) + 1 = 24$$

Skjærstrekk utnyttelse

$$UR_c := \begin{cases} \text{if } type = 1 \\ \quad \parallel UR_{c.innvendig} \\ \text{else if } type = 2 \\ \quad \parallel UR_{c.hjørne} \\ \text{else if } type = 3 \\ \quad \parallel UR_{c.kant} \end{cases} = 1.985$$

Tiltak?

$$tiltak := \begin{cases} \text{if } UR_c < 1 \\ \quad \parallel \text{“trenger ikke skjærarmering”} \\ \text{else if } 1.0 < UR_c \leq 1.5 \\ \quad \parallel \text{“trenger bøylearmering”} \\ \text{else if } 1.5 < UR_c \leq 1.8 \\ \quad \parallel \text{“trenger T-hodestenger”} \\ \text{else if } 1.8 < UR_c \\ \quad \parallel \text{“trenger andre tiltak”} \end{cases} = \text{“trenger andre tiltak”}$$

Sjekker mot formel 6.52 i EC2 om det er tilstrekkelig kapasitet ved bruk av skjærarmering

$$v_{Rd.cs} := 1.5 \cdot \frac{d_{eff}}{S_r} \cdot A_{sw} \cdot f_{ywd.ef} \cdot \frac{1}{U_1 \cdot d_{eff}} = 1.024$$

Setter $k_{max} = 1.8$

$$v_{Rd.cs.1.8} := \min(v_{Rd.cs}, 1.8 \cdot v_{Rd.c}) = 0.929$$

Utnyttelsesgrad T-hodestenger

$$UR_{cs.1.8} := \frac{v_{Ed.1}}{v_{Rd.cs.1.8}} = 1.103$$

Setter $k_{max} = 1.5$

$$v_{Rd.cs.1.5} := \min(v_{Rd.cs}, 1.5 \cdot v_{Rd.c}) = 0.774$$

Utnyttelsesgrad Armeringskroker

$$UR_{cs.1.5} := \frac{v_{Ed.1}}{v_{Rd.cs.1.5}} = 1.324$$

if løkker som er ment for å få ut et mer oversiktlig resultat når man eksportere til excel

$$n_t := \text{if } \textit{tiltak} = \text{"trenger ikke skjærarmering"} = 16$$

$$\begin{array}{l} \parallel \\ 0 \\ \text{else} \\ \parallel \\ n_t \end{array}$$

$$n_r := \text{if } \textit{tiltak} = \text{"trenger ikke skjærarmering"} = 24$$

$$\begin{array}{l} \parallel \\ 0 \\ \text{else} \\ \parallel \\ n_r \end{array}$$

$$S_r := \text{if } \textit{tiltak} = \text{"trenger ikke skjærarmering"} = 150$$

$$\begin{array}{l} \parallel \\ 0 \\ \text{else} \\ \parallel \\ S_r \end{array}$$

$$S_t := \text{if } \textit{tiltak} = \text{"trenger ikke skjærarmering"} = 420$$

$$\begin{array}{l} \parallel \\ 0 \\ \text{else} \\ \parallel \\ S_t \end{array}$$

$$\phi_{\text{benyttet}} := \text{if } \textit{tiltak} = \text{"trenger ikke skjærarmering"} = 10$$

$$\begin{array}{l} \parallel \\ 0 \\ \text{else} \\ \parallel \\ \phi_{\text{benyttet}} \end{array}$$

$$r_{\text{out}} := \text{if } \textit{tiltak} = \text{"trenger ikke skjærarmering"} = 3652.128$$

$$\begin{array}{l} \parallel \\ 0 \\ \text{else} \\ \parallel \\ r_{\text{out}} \end{array}$$

$$r_{\text{out.kd}} := \text{if } \textit{tiltak} = \text{"trenger ikke skjærarmering"} = 3439.128$$

$$\begin{array}{l} \parallel \\ 0 \\ \text{else} \\ \parallel \\ r_{\text{out.kd}} \end{array}$$

$$S_{r.int} := \text{if } \textit{tiltak} = \text{"trenger ikke skjærarmering"} = 100$$

$$\begin{array}{l} \parallel \\ 0 \\ \text{else} \\ \parallel \\ S_{r.int} \end{array}$$

Oppsummerte resultater

Tiltak skjærarmering?

tiltak = “trenger andre tiltak”

Skjærarmering

$$n := n_t \cdot n_r = 384$$

Totalt antall skjærarmeringsenheter

$$n_t = 16$$

Tangensiell senteravstand mellom skjærarmering

$$n_r = 24$$

Radiell senteravstand mellom skjærarmeringen

$$S_{r.int} = 100$$

Radiell avstand til første skjærarmeringsenhet

$$S_r = 150$$

Radiell senteravstand mellom skjærarmeringen

$$S_t = 420$$

Tangensiell senteravstand mellom skjærarmeringen

$$\phi_{benyttet} = 10$$

Armeringsdiamter på skjærarmering

$$r_{out} = 3652.128$$

Ytterste kontrollsnitt

$$r_{out.kd} = 3439.128$$

Skjærarmeres ut en avstand $r_{out.kd}$ fra søylekant

Kapasitet

Trykkbrudd kapasitet

Skjærstrekk kapasitet

$$v_{Rd.max} = 2.502$$

$$v_{Rd.c} = 0.516$$

Følgende resultater er aktuelle for serieberegning

$$nn = 10$$

if $type = 1$	= “hjørne”	type søyle
“innvendig”		
else if $type = 2$		
“hjørne”		
else if $type = 3$		
“kant”		

Spenning

kontrollsnitt 0

$$v_{Ed.0} := \begin{cases} \text{if } type = 1 & = 2.951 \\ \parallel v_{Ed.0} \\ \text{else if } type = 2 & \\ \parallel v_{Ed.0.hjørne} \\ \text{else if } type = 3 & \\ \parallel v_{Ed.0.kant} \end{cases}$$

kontrollsnitt 1

$$v_{Ed.1} := \begin{cases} \text{if } type = 1 & = 1.024 \\ \parallel v_{Ed.1} \\ \text{else if } type = 2 & \\ \parallel v_{Ed.1.hjørne} \\ \text{else if } type = 3 & \\ \parallel v_{Ed.1.kant} \end{cases}$$

Utnyttelse

Skjærtrykk utnyttelse

$$UR_{c.0} := \begin{cases} \text{if } type = 1 & = 1.179 \\ \parallel UR_{c.0.innvendig} \\ \text{else if } type = 2 & \\ \parallel UR_{c.0.hjørne} \\ \text{else if } type = 3 & \\ \parallel UR_{c.0.kant} \end{cases}$$

Skjærstrekk utnyttelse

$$\overline{UR}_c := \begin{cases} \text{if } type = 1 & = 1.985 \\ \parallel UR_{c.innvendig} \\ \text{else if } type = 2 & \\ \parallel UR_{c.hjørne} \\ \text{else if } type = 3 & \\ \parallel UR_{c.kant} \end{cases}$$

T-hodestenger utnyttelsesgrad

$$UR_{cs.1.8} = 1.103$$

Armeringskroker utnyttelsesgrad

$$UR_{cs.1.5} = 1.324$$

Voute og forsterkningsplate rundt hjørnesøyler

Forutsetninger for de følgende beregningene:

-Da det kun er observert at det er nødvendig med tiltak utover skjærarmering ved hjørnesøylene, så er det her kun tatt for seg geometrien til de sirkulære hjørnesøylene. Med β -verdi som for hjørnesøyler

Beregningene av forsterkningsplate og voute som del av søylen, var ikke regnet ut skjærarmeringsmengder for. Dette kommer av at det var valgt å bruke voute som del av søylen i oppgaven. Voute som del av dekket begynner på side 24

Forsterkningsplater

Velger en platetykkelse etter ACI 318-14(2014):

$$t_{plate} := \frac{1}{4} \cdot h = 62.5$$

Maksimal spennvidde: $spennvidde := 5660$

Plate sin minste lengde i den lengste spennvidde retningen etter ACI 318-14(2014)

$$l_{plate} := \frac{spennvidde}{6} = 943.333$$

Velger å se vekk i fra minste mulige lengden etter ACI 318-14(2014). Da det ikke er et krav å følge den i Norge. Men det er valgt å bruke minste platetykkelse etter ACI 318-14(2014) som et utgangspunkt for beregningene

Velger plate slik at $l_H > 2 \cdot h_H$ da blir platen en del av dekket

$$h_{H,plate} := \frac{1}{4} \cdot h = 62.5$$

$$l_{H,plate} := 2 \cdot h_{H,plate} = 125$$

Avstand fra senter søyle til kant plate

$$Avstand_{s,k,plate} := \frac{c_1}{2} + l_{H,plate} = 300$$

if $Avstand_{s,k,plate} < \min(A_y, A_x)$ = "Avstand OK"

|| "Avstand OK"

else

|| "Avstand ikke OK"

Voute/kapitel

Velger voute slik at $l_H < 2 \cdot h_H$ da blir vouten en del av søylen

Avstand fra senter søyle til kant voute

$$Avstand_{s,k,voute} := \frac{c_1}{2} + l_{H,voute} = 425$$

if $Avstand_{s,k,voute} < \min(A_y, A_x)$ = "Avstand OK"

|| "Avstand OK"

else

|| "Avstand ikke OK"

Avstand fra senter søyle til kant plate (voute + plate kombinasjon)

$$Avstand_{s.k.voute.plate} := \frac{c_1}{2} + l_{H.voute} + l_{H.plate} = 550$$

if $Avstand_{s.k.voute.plate} < \min(A_y, A_x)$ = "Avstand ikke OK"
 || "Avstand OK"
 else
 || "Avstand ikke OK"

Bruk av både forsterkningsplate og voute

$$d_H := d_{eff} + h_{H.plate} = 275.5$$

$$3 \cdot d_H = 826.5$$

$$r_{søyle.voute} := \frac{c_1}{2} + l_{H.voute} = 425 \quad U_{0.red.max.voute} := \frac{2 \cdot r_{søyle.voute}}{4} \cdot \pi + 2 \cdot \frac{2 \cdot r_{søyle.voute}}{2} = 1517.588$$

$$U_{0.red.tiltak} := \min(3 \cdot d_H, U_{0.red.max.voute}) = 826.5$$

$$v_{Ed.0.tiltak} := \beta_{0.hjørne} \cdot \frac{V_{Ed} \cdot 10^3}{U_{0.red.tiltak} \cdot d_H} = 1.725$$

$$UR_{c.0.tiltak} := \frac{v_{Ed.0.tiltak}}{v_{Rd.max}} = 0.689$$

Kontrollsnitt 1

$$r_{count} := 2 \cdot d_H + l_{H.voute} + 0.5 \cdot c_1 = 976$$

$$U_{1.mod.tiltak} := \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 2 (r_{count}) + A_y + A_x = 2533.097$$

d_{eff} := if $r_{count} > Avstand_{s.k.plate}$ = 213
 || d_{eff}
 else
 || d_H

$$v_{Ed.1.tiltak} := \beta_{1.hjørne} \cdot \frac{V_{Ed} \cdot 10^3}{U_{1.mod.tiltak} \cdot d_{eff}} = 0.786$$

$$UR_{c.tiltak} := \frac{v_{Ed.1.tiltak}}{v_{Rd.c}} = 1.524$$

Kun bruk av voute $l_H < 2 \cdot h_H$

Velger voute slik at $l_H < 2 \cdot h_H$ da blir vouten en del av søylen

Kontrollsnitt 0

$$U_{0.red.max.voute} := \frac{2 \cdot r_{søyle.voute}}{4} \cdot \pi + 2 \cdot 2 \cdot \frac{r_{søyle.voute}}{2} = 1517.588$$

$$U_{0.red.tiltak} := \min(3 \cdot d_{eff}, U_{0.red.max.voute}) = 639$$

$$v_{Ed.0.tiltak} := \beta_{0.hjørne} \cdot \frac{V_{Ed} \cdot 10^3}{U_{0.red.tiltak} \cdot d_{eff}} = 2.886$$

$$UR_{c.0.tiltak} := \frac{v_{Ed.0.tiltak}}{v_{Rd.max}} = 1.153$$

Kontrollsnitt 1

$$r_{count} := 2 \cdot d_{eff} + l_{H.voute} + 0.5 \cdot c_1 = 851 \quad (6.33)$$

$$U_{1.mod.tiltak} := \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 2 \cdot (r_{count}) + A_y + A_x = 2336.748$$

$$d_{eff} := \begin{cases} \text{if } r_{count} > Avstand_{s.k.plate} & = 213 \\ \parallel d_{eff} \\ \text{else} \\ \parallel d_H \end{cases}$$

$$v_{Ed.1.tiltak} := \beta_{1.hjørne} \cdot \frac{V_{Ed} \cdot 10^3}{U_{1.mod.tiltak} \cdot d_{eff}} = 0.852$$

$$UR_{c.tiltak} := \frac{v_{Ed.1.tiltak}}{v_{Rd.c}} = 1.652$$

Forsterkningsplate

$$d_H := d_{eff} + h_{H.plate} = 275.5$$

Kontrollsnitt 0

$$U_{0.red.max.hjørne} = 624.889$$

$$3 \cdot d_H = 826.5$$

$$U_{0.red.tiltak} := \min(U_{0.red.max.hjørne}, 3 \cdot d_H) = 624.889$$

$$v_{Ed.0.tiltak} := \beta_{0.hjørne} \cdot \frac{V_{Ed} \cdot 10^3}{U_{0.red.tiltak} \cdot d_H} = 2.282$$

$$UR_{c.0.tiltak} := \frac{v_{Ed.0.tiltak}}{v_{Rd.max}} = 0.912$$

Kontrollsnitt 1

$$U_{1.mod.tiltak} := \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 2 \left(\frac{c_1}{2} + 2 \cdot d_H \right) + A_y + A_x = 2140.398$$

$$d_{eff} := \begin{cases} r_{count} > Avstand_{s.k.plate} & = 213 \\ \parallel d_{eff} \\ \text{else} \\ \parallel d_H \end{cases}$$

$$v_{Ed.1.tiltak} := \beta_{1.hjørne} \cdot \frac{V_{Ed} \cdot 10^3}{U_{1.mod.tiltak} \cdot d_{eff}} = 0.93$$

$$UR_{c.tiltak} := \frac{v_{Ed.1.tiltak}}{v_{Rd.c}} = 1.803$$

Voute $l_H > 2 \cdot h_H$

Velger voute slik at $l_H > 2 \cdot h_H$ da blir vouten en del av dekket

$$l_{H.voute} = 250$$

Lengde voute

$$h_{H.voute} = 100$$

Høyde voute

$$d_H := d_{eff} + h_{H.voute} = 313$$

Effektiv tykkelse innenfor vouten

Kontrollsnitt 0

$$U_{0.red.max.hjørne} = 624.889$$

Største mulige reduserte omkrets

$$U_{0.red.voute} := \min(3 \cdot d_H, U_{0.red.max.hjørne}) = 624.889$$

Redusert omkrets kontrollsnitt 0

Spenninger ved kontrollsnitt 0

$$v_{Ed.0.voute} := \beta_{0.hjørne} \cdot \frac{V_{Ed} \cdot 10^3}{U_{0.red.voute} \cdot d_H} = 2.008$$

Utnyttelsesgrad ved kontrollsnitt 0, skjærtrykk

$$UR_{c.0.voute} := \frac{v_{Ed.0.voute}}{v_{Rd.max}} = 0.803$$

Kritisk kontrollsnitt utenfor vouten $U_{1.ext.mod.tiltak}$

$$r_{count.ext} := l_{H.voute} + 2 \cdot d_{eff} + 0.5 \cdot c_1 = 851$$

(6.36) radius til kontrollsnitt utenfor vouten

$$U_{1.ext.mod.voute} := \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 2 \cdot (r_{count.ext}) + A_y + A_x = 2336.748$$

Omkrets til kritisk kontrollsnitt utenfor vouten

Spenninger ved kontrollsnitt utenfor vouten

$$v_{Ed.1.voute.ext} := \beta_{1.hjørne.ext} \cdot \frac{V_{Ed} \cdot 10^3}{U_{1.ext.mod.voute} \cdot d_{eff}} = 0.959$$

Utnyttelsesgrad ved kontrollsnitt utenfor vouten

$$UR_{c.voute.ext} := \frac{v_{Ed.1.voute.ext}}{v_{Rd.c}} = 1.858$$

Nødvendig skjærarmering ved bruk av kritisk kontrollsnitt utenfor vouten tangentiell retning

$$S_{r.voute.ext} := \text{floor} \left(\frac{0.75 \cdot d_{eff}}{10} \right) \cdot 10 = 150$$

Radiell senteravstand

$$A_{sw.voute.ext} := \frac{v_{Ed.1.voute.ext} \cdot S_{r.voute.ext} \cdot U_{1.ext.mod.voute}}{1.5 \cdot f_{ywd.ef}} = 738.757$$

Nødvendig skjærarmeringsareal langs av kritisk kontrollsnitt

Minimumstverrsnitt av en armeringsstang etter formel (9.11)

$$A_{sw.min} := \frac{0.08 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot S_{r.voute.ext} \cdot S_{t.2d}}{1.5 \cdot f_{yk}} = 30.053$$

 $(r_{out.kd}$ blir satt lik 1 slik at serieberegningen fungerer)

$$\phi_{beregnet.Asmin} := \sqrt[2]{\frac{A_{sw.min} \cdot 4}{\pi}} = 6.186$$

$$r_{out.kd} := \begin{cases} \text{if } r_{out.kd} = 0 & = 3439.128 \\ \parallel & 1 \\ \text{else} & \\ \parallel & r_{out.kd} \end{cases}$$

Geometrifaktor

$$x_{voute.ext} := \frac{r_{count.ext} - \frac{c_1}{2}}{\frac{r_{out.kd}}{d_{eff}}} \cdot 2 = 0.393$$

$$x_{voute.ext} := \min(x_{voute.ext}, 1.5) = 0.393$$

Ytre kontrollsnitt (>2d)

Kritisk konstruksjonsnitt 1 (=2d)

Minimumstverrsnitt av skjærarmering av en armeringsstang i ytterste kontrollsnitt

Minimumstverrsnitt av skjærarmering av en armeringsstang i kontrollsnitt 1

$$A_{s.2d} := \frac{2 \cdot d_{eff}}{U_{out.kd}} \cdot A_{sw.voute.ext} = 47.133$$

$$A_{s.0d2d} := \frac{x_{voute.ext} \cdot d_{eff}}{U_{1.ext.mod.voute}} \cdot A_{sw.voute.ext} = 26.473$$

Kamdiameter

$$\phi_{beregnet.2d} := \sqrt[2]{\frac{A_{s.2d} \cdot 4}{\pi}} = 7.747$$

Kamdiameter

$$\phi_{beregnet.0d2d} := \sqrt[2]{\frac{A_{s.0d2d} \cdot 4}{\pi}} = 5.806$$

Minste mulige kamdiameteren ved bruk av størst mulig senteravstander i tangentiell retning

$$\phi_{beregnet.voute.ext} := \max(\phi_{beregnet.2d}, \phi_{beregnet.0d2d}, \phi_{beregnet.Asmin}) = 7.747$$

Kamdiameter som benyttes videre

$$\phi_{benyttes.voute.ext} := \begin{cases} \text{if } \phi_{beregnet.voute.ext} \leq 10 & = 10 \\ \parallel & 10 \\ \text{else if } 10 < \phi_{beregnet.voute.ext} \leq 12 & \\ \parallel & 12 \\ \text{else if } 12 < \phi_{beregnet.voute.ext} \leq 14 & \\ \parallel & 14 \end{cases}$$

Sjekker den største mulige tangenseille avstanden som er mulig for valgt skjærarmering

$$S_{t.voute.ext} := \frac{\phi_{benyttet.voute.ext}^2 \cdot \pi \cdot U_{out.kd}}{A_{sw.voute.ext} \cdot 4} = 709.861$$

$$S_{t.out} := \begin{cases} S_{t.voute.ext} & \text{if } S_{t.voute.ext} > S_{t.2d} \\ S_{t.2d} & \\ S_{t.voute.ext} & \text{else if } S_{t.voute.ext} < S_{t.2d} \end{cases} = 420$$

$$S_{t.voute.ext} := \begin{cases} \frac{r_{count.ext} - \frac{c_1}{2}}{2} & \text{if } r_{out.kd} \geq 2.66667 \\ S_{t.out} & \\ \frac{r_{count.ext} - \frac{c_1}{2}}{2} & \text{else if } r_{out.kd} < 2.66667 \\ \min(S_{t.0d2d}, S_{t.voute.ext}) & \end{cases} = 420$$

Avstandskrav-tangentiell ytterste kontrollsnitt

$$\frac{U_{out.kd}}{S_{t.out}} = 15.898$$

Avstandskrav-tangentiell kritisk kontrollsnitt 1

$$\frac{U_{1.ext.mod.voute}}{\min(S_{t.0d2d}, S_{t.voute.ext})} = 7.538$$

Avstandskrav-tangensiell

$$Antall_{skjærarmering.avtandskrav} := \begin{cases} \text{ceil}\left(\frac{U_{out.kd}}{S_{t.out}}\right) & \text{if } S_{t.voute.ext} = S_{t.out} \\ \text{ceil}\left(\frac{U_{1.ext.mod.voute}}{\min(S_{t.0d2d}, S_{t.voute.ext})}\right) & \text{else if } S_{t.voute.ext} = S_{t.0d2d} \end{cases} = 16$$

Armeringstvernitt for en benyttet armeringstang

$$A_s := \pi \cdot \left(\frac{\phi_{benyttet.voute.ext}}{2}\right)^2 = 78.54$$

Armeringskrav

$$Antall_{skjærarmering.armeringskrav} := \text{ceil}\left(\frac{A_{sw.voute.ext}}{A_s}\right) = 10$$

Antall skjærarmeringsenheter i tangentiell retning

$$n_{t.voute.ext} := \max(Antall_{skjærarmering.avtandskrav}, Antall_{skjærarmering.armeringskrav}) = 16$$

Nødvendig skjærarmering ved bruk av kritisk kontrollsnitt utenfor vouten radiell retning

Det første snittet med skjærarmering må forekomme mellom $0.3 \cdot d_{eff} = 63.9$ og $0.5 \cdot d_{eff} = 106.5$

$$S_{r.int.voute.ext} := \begin{cases} \text{if } 0.3 \cdot d_{eff} \leq S_{int.voute.ext} \leq 0.5 \cdot d_{eff} & = 100 \\ \parallel S_{int.voute.ext} \\ \text{else} \\ \parallel \text{"første avstand må endres"} \end{cases}$$

$$r_{skjærarmering} := \max(r_{out.kd}, r_{count.ext}) = 3439.128$$

Avstanden det skal skjærarmeres

Antall skjærarmeringsenheter i radiell retning

$$n_{r.voute.ext} := \text{ceil} \left(\frac{r_{skjærarmering} - S_{r.int.voute.ext}}{S_{r.voute.ext}} \right) + 1 = 24$$

Effektiv spenning i skjærarmering

$$f_{ywd.ef} := \min(250 + 0.25 \cdot d_{eff}, f_{yd}) = 303.25$$

Nødvendig skjærarmeringsareal langs av kritisk kontrollsnitt

Sjekker mot formel 6.52 i EC2 om det er tilstrekkelig kapasitet ved bruk av skjærarmering

$$v_{Rd.cs.voute.ext} := 1.5 \cdot \frac{d_{eff}}{S_{r.voute.ext}} \cdot A_{sw.voute.ext} \cdot f_{ywd.ef} \cdot \frac{1}{U_{1.ext.mod.voute} \cdot d_{eff}} = 0.959$$

Setter $k_{max} = 1.8$

$$v_{Rd.cs.1.8.voute.ext} := \min(v_{Rd.cs.voute.ext}, 1.8 \cdot v_{Rd.c}) = 0.929$$

Utnyttelsesgrad T-hodestenger

$$UR_{cs.1.8.voute.ext} := \frac{v_{Ed.1.voute.ext}}{v_{Rd.cs.1.8.voute.ext}} = 1.032$$

Setter $k_{max} = 1.5$

$$v_{Rd.cs.1.5.voute.ext} := \min(v_{Rd.cs.voute.ext}, 1.5 \cdot v_{Rd.c}) = 0.774$$

Utnyttelsesgrad Armeringskroker

$$UR_{cs.1.5.voute.ext} := \frac{v_{Ed.1.voute.ext}}{v_{Rd.cs.1.5.voute.ext}} = 1.239$$

Kritisk kontrollsnitt innenfor vouten $U_{1.int.mod.tiltak}$

$$r_{count.int} := 2 \cdot (d_{eff} + h_{H.voute}) + 0.5 \cdot c_1 = 801 \quad (6.37)$$

$$U_{1.int.mod.voute} := \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 2 \cdot (r_{count.int}) + A_y + A_x = 2258.208$$

$$d_{eff} := \begin{cases} d_{eff} & \text{if } r_{count} > Avstand_{s.k.voute} \\ d_H & \text{else} \end{cases} = 213$$

Omkrrets til kritisk kontrollsnitt innenfor vouten

Hvis kritisk kontrollsnitt faktisk er innen vouten brukes $d_{eff} = d_H$

Spenninger ved kontrollsnitt innenfor vouten

$$v_{Ed.1.voute.int} := \beta_{1.hjørne.int} \frac{V_{Ed} \cdot 10^3}{U_{1.int.mod.voute} \cdot d_{eff}} = 0.972$$

Utnyttelsesgrad ved kontrollsnitt innenfor vouten

$$UR_{c.voute.int} := \frac{v_{Ed.1.voute.int}}{v_{Rd.c}} = 1.884$$

Nødvendig skjærarmering ved bruk av kritisk kontrollsnitt innenfor vouten tangentiell retning

$$S_{r.voute.int} := \text{floor} \left(\frac{0.75 \cdot d_{eff}}{10} \right) \cdot 10 = 150$$

Radiell avstand

$$A_{sw.voute.int} := \frac{v_{Ed.1.voute.int} \cdot S_{r.voute.int} \cdot U_{1.int.mod.voute}}{1.5 \cdot f_{ywd.ef}} = 723.833$$

Nødvendig skjærarmeringsareal langs av kritisk kontrollsnitt

Minimumstversnitt av en armeringsstang etter formel (9.11)

$$A_{sw.min} := \frac{0.08 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot S_{r.voute.int} \cdot S_{t.2d}}{1.5 \cdot f_{yk}} = 30.053$$

$$\phi_{beregnet.Asmin} := \sqrt{\frac{A_{sw.min} \cdot 4}{\pi}} = 6.186$$

Geometrifaktor

$$x_{voute.int} := \frac{r_{count.int} - \frac{c_1}{2}}{\frac{d_{eff}}{\frac{r_{out.kd}}{d_{eff}}}} \cdot 2 = 0.364$$

$$x_{voute.int} := \min(x_{voute.int}, 1.5) = 0.364$$

Ytre kontrollsnitt (>2d)

Minimumstverrsnitt av skjærarmering av en armeringstang i ytterste kontrollsnitt

$$A_{s,2d} := \frac{2 \cdot d_{eff}}{U_{out.kd}} \cdot A_{sw.voute.int} = 46.181$$

Kamdiameter

$$\phi_{beregnet.2d} := \sqrt{\frac{A_{s,2d} \cdot 4}{\pi}} = 7.668$$

Kritisk kontrollsnitt 1 (=2d)

Minimumstverrsnitt av skjærarmering av en armeringstang i kontrollsnitt 1

$$A_{s,0d2d} := \frac{x_{voute.int} \cdot d_{eff}}{U_{1.int.mod.voute}} \cdot A_{sw.voute.int} = 24.855$$

Kamdiameter

$$\phi_{beregnet.0d2d} := \sqrt{\frac{A_{s,0d2d} \cdot 4}{\pi}} = 5.625$$

Minste mulige kamdiameteren ved bruk av størst mulig senteravstander i tangentiell retning

$$\phi_{beregnet.voute.int} := \max(\phi_{beregnet.2d}, \phi_{beregnet.0d2d}, \phi_{beregnet.Asmin}) = 7.668$$

Kamdiameter som benyttes videre

$$\phi_{benyttes.voute.int} := \begin{cases} \phi_{beregnet.voute.int} \leq 10 & \parallel 10 \\ \text{else if } 10 < \phi_{beregnet.voute.int} \leq 12 & \parallel 12 \\ \text{else if } 12 < \phi_{beregnet.voute.int} \leq 14 & \parallel 14 \end{cases} = 10$$

Sjekker den største mulige tangenseille avstanden som er mulig for valgt skjærarmering

$$S_{t.voute.int} := \frac{\phi_{benyttes.voute.int}^2 \cdot \pi \cdot U_{out.kd}}{A_{sw.voute.int} \cdot 4} = 724.497$$

$$S_{t.out} := \begin{cases} S_{t.voute.int} > S_{t,2d} & \parallel S_{t,2d} \\ \text{else if } S_{t.voute.int} < S_{t,2d} & \parallel S_{t.voute.int} \end{cases} = 420$$

$$S_{t.voute.int} := \begin{cases} r_{out.kd} \geq 2.66667 \frac{r_{count.int} - \frac{c_1}{2}}{2} & \parallel S_{t.out} \\ \text{else if } r_{out.kd} < 2.66667 \frac{r_{count.int} - \frac{c_1}{2}}{2} & \parallel \min(S_{t,0d2d}, S_{t.voute.int}) \end{cases} = 420$$

Avstandskrav-tangentiell ytterste kontrollsnitt

$$\frac{U_{out.kd}}{S_{t.out}} = 15.898$$

Avstandskrav-tangentiell kritisk kontrollsnitt 1

$$\frac{U_{1.int.mod.voute}}{\min(S_{t.0d2d}, S_{t.voute.int})} = 7.285$$

Avstandskrav-tangensiell

$$\begin{aligned} \text{Antall}_{skjærarming.avtandskrav} &:= \text{if } S_{t.voute.int} = S_{t.out} && = 16 \\ &\left\| \text{ceil} \left(\frac{U_{out.kd}}{S_{t.out}} \right) \right. \\ &\text{else if } S_{t.voute.int} = S_{t.0d2d} \\ &\left\| \text{ceil} \left(\frac{U_{1.int.mod.voute}}{\min(S_{t.0d2d}, S_{t.voute.int})} \right) \right. \end{aligned}$$

Armeringstvernitt for en benyttet armeringstang

$$A_s := \pi \cdot \left(\frac{\phi_{benyttet.voute.int}}{2} \right)^2 = 78.54$$

Armeringskrav

$$\text{Antall}_{skjærarming.armeringskrav} := \text{ceil} \left(\frac{A_{sv.voute.int}}{A_s} \right) = 10$$

Antall skjærarmingsenheter i tangentiell retning

$$n_{t.voute.int} := \max(\text{Antall}_{skjærarming.avtandskrav}, \text{Antall}_{skjærarming.armeringskrav}) = 16$$

Det første snittet med skjærarmering må forekomme mellom $0.3 \cdot d_{eff} = 63.9$ og $0.5 \cdot d_{eff} = 106.5$

$$S_{r.int.voute.int} := \begin{cases} \text{if } 0.3 \cdot d_{eff} \leq S_{r.int.voute.int} \leq 0.5 \cdot d_{eff} & = 100 \\ \parallel S_{r.int.voute.int} \\ \text{else} \\ \parallel \text{“første avstand må endres”} \end{cases}$$

$$r_{skjærarmering} := \max(r_{out.kd}, r_{count.int}) = 3439.128$$

Avstanden det skal skjærarmers

Antall skjærarmeringsenheter i radiell retning

$$n_{r.voute.int} := \text{ceil} \left(\frac{r_{skjærarmering} - S_{r.int.voute.ext}}{S_{r.voute.int}} \right) + 1 = 24$$

Effektiv spenning i skjærarmering

$$f_{ywd.ef} := \min(250 + 0.25 \cdot d_{eff}, f_{yd}) = 303.25$$

Nødvendig skjærarmeringsareal langs av kritisk kontrollsnitt

Sjekker mot formel 6.52 i EC2 om det er tilstrekkelig kapasitet ved bruk av skjærarmering

$$v_{Rd.cs.voute.int} := 1.5 \cdot \frac{d_{eff}}{S_{r.voute.int}} \cdot A_{sw.voute.int} \cdot f_{ywd.ef} \cdot \frac{1}{U_{1.int.mod.voute} \cdot d_{eff}} = 0.972$$

Setter $k_{max} = 1.8$

$$v_{Rd.cs.1.8.voute.int} := \min(v_{Rd.cs.voute.int}, 1.8 \cdot v_{Rd.c}) = 0.929$$

Utnyttelsesgrad T-hodestenger

$$UR_{cs.1.8.voute.int} := \frac{v_{Ed.1.voute.int}}{v_{Rd.cs.1.8.voute.int}} = 1.047$$

Setter $k_{max} = 1.5$

$$v_{Rd.cs.1.5.voute.int} := \min(v_{Rd.cs.voute.int}, 1.5 \cdot v_{Rd.c}) = 0.774$$

Utnyttelsesgrad Armeringskroker

$$UR_{cs.1.5.voute.int} := \frac{v_{Ed.1.voute.int}}{v_{Rd.cs.1.5.voute.int}} = 1.256$$

If løkker for å få ut riktige verdier i excel fra serieberegningene

$$l_{H.voute} := \text{if } f_{ck} = 20 \left\{ \begin{array}{l} \text{if } type = 2 \\ \quad \parallel \\ \quad \parallel l_{H.voute} \\ \text{else} \\ \quad \parallel \\ \quad \parallel 0 \end{array} \right. \\ \text{else} \\ \parallel \\ \parallel 0$$

$$UR_{c.0.voute} := \text{if } f_{ck} = 20 \left\{ \begin{array}{l} \text{if } type = 2 \\ \quad \parallel \\ \quad \parallel UR_{c.0.voute} \\ \text{else} \\ \quad \parallel \\ \quad \parallel 0 \end{array} \right. \\ \text{else} \\ \parallel \\ \parallel 0$$

$$UR_{c.voute.int} := \text{if } f_{ck} = 20 \left\{ \begin{array}{l} \text{if } type = 2 \\ \quad \parallel \\ \quad \parallel UR_{c.voute.int} \\ \text{else} \\ \quad \parallel \\ \quad \parallel 0 \end{array} \right. \\ \text{else} \\ \parallel \\ \parallel 0$$

$$h_{H.voute} := \text{if } f_{ck} = 20 \left\{ \begin{array}{l} \text{if } type = 2 \\ \quad \parallel \\ \quad \parallel h_{H.voute} \\ \text{else} \\ \quad \parallel \\ \quad \parallel 0 \end{array} \right. \\ \text{else} \\ \parallel \\ \parallel 0$$

$$UR_{c.voute.ext} := \text{if } f_{ck} = 20 \left\{ \begin{array}{l} \text{if } type = 2 \\ \quad \parallel \\ \quad \parallel UR_{c.voute.ext} \\ \text{else} \\ \quad \parallel \\ \quad \parallel 0 \end{array} \right. \\ \text{else} \\ \parallel \\ \parallel 0$$

$$UR_{cs.1.8.voute.int} := \text{if } f_{ck} = 20 \left\{ \begin{array}{l} \text{if } type = 2 \\ \quad \parallel \\ \quad \parallel UR_{cs.1.8.voute.int} \\ \text{else} \\ \quad \parallel \\ \quad \parallel 0 \end{array} \right. \\ \text{else} \\ \parallel \\ \parallel 0 \quad = 1.047$$

$$UR_{cs.1.8.voute.ext} := \text{if } f_{ck} = 20 \left\{ \begin{array}{l} \text{if } type = 2 \\ \quad \parallel \\ \quad \parallel UR_{cs.1.8.voute.ext} \\ \text{else} \\ \quad \parallel \\ \quad \parallel 0 \end{array} \right. \\ \text{else} \\ \parallel \\ \parallel 0 \quad = 1.032$$

$$UR_{cs.1.5.voute.int} := \text{if } f_{ck} = 20 \left\{ \begin{array}{l} \text{if } type = 2 \\ \quad \parallel \\ \quad \parallel UR_{cs.1.5.voute.int} \\ \text{else} \\ \quad \parallel \\ \quad \parallel 0 \end{array} \right. \\ \text{else} \\ \parallel \\ \parallel 0 \quad = 1.256$$

$$UR_{cs.1.5.voute.ext} := \text{if } f_{ck} = 20 \left\{ \begin{array}{l} \text{if } type = 2 \\ \quad \parallel \\ \quad \parallel UR_{cs.1.5.voute.ext} \\ \text{else} \\ \quad \parallel \\ \quad \parallel 0 \end{array} \right. \\ \text{else} \\ \parallel \\ \parallel 0 \quad = 1.239$$

Oppsummerte resultater voute

Tiltak skjærarming?

$tiltak = \text{“trenger andre tiltak”}$

Skjærarming

$$n_{t.voute} := \max(n_{t.voute.ext}, n_{t.voute.int}) = 16$$

Tangensiell senteravstand mellom skjærarming

$$n_{r.voute} := \max(n_{r.voute.ext}, n_{r.voute.int}) = 24$$

Radiell senteravstand mellom skjærarming

$$n_{voute} := n_{t.voute} \cdot n_{r.voute} = 384$$

Totalt antall skjærarmingsenheter

$$S_{r.int.voute} := \min(S_{r.int.voute.ext}, S_{r.int.voute.int}) = 100$$

Radiell avstand til første skjærarmingsenhet

$$S_{r.voute} := \min(S_{r.voute.ext}, S_{r.voute.int}) = 150$$

Radiell senteravstand mellom skjærarming

$$S_{t.vout} := \min(S_{t.voute.ext}, S_{t.voute.int}) = 420$$

Tangensiell senteravstand mellom skjærarming

$$\phi_{benyttes.voute} := \max(\phi_{benyttes.voute.ext}, \phi_{benyttes.voute.int}) = 10$$

Armeringsdiamter på skjærarming

$$r_{out} = 3652.128$$

Ytterste kontrollsnitt

$$r_{out.kd} = 3439.128$$

Skjærarmes ut en avstand $r_{out.kd}$ fra søylekant

Spenning

kontrollsnitt 0

kontrollsnitt utenfor voute

kontrollsnitt innenfor voute

$$v_{Ed.0.voute} = 2.008$$

$$v_{Ed.1.voute.ext} = 0.959$$

$$v_{Ed.1.voute.int} = 0.972$$

Utnyttelse

Skjærtrykk utnyttelse

$$UR_{c.0.voute} = 0.803$$

Skjærstrekk utnyttelse

$$UR_{c.voute.ext} = 1.858$$

Skjærstrekk utnyttelse

$$UR_{c.voute.int} = 1.884$$

Armeringskroker utnyttelsesgrad

Armeringskroker utnyttelsesgrad

$$UR_{cs.1.5.voute.ext} = 1.239$$

$$UR_{cs.1.5.voute.int} = 1.256$$

T-hodestenger utnyttelsesgrad

T-hodestenger utnyttelsesgrad

$$UR_{cs.1.8.voute.ext} = 1.032$$

$$UR_{cs.1.8.voute.int} = 1.047$$

$$Export_{excel} := [nn \ UR_{c.0} \ UR_c \ tiltak \ n \ n_t \ n_r \ S_{r.int} \ S_r \ S_t \ \phi_{benyttet} \ r_{out} \ \dots]$$

$$Export_{excel} = [10 \ 1.179 \ 1.985 \ \text{“trenger andre tiltak”} \ 384 \ 16 \ 24 \ 100 \ 150 \ 420 \ 10 \ 3652.128 \ \dots]$$

Regneark i gjennomlokking

range := “Ark2”

excel := “. \ Regneark i gjennomlokking.xlsx”

31

if nn = 1 = [10 1.179 1.985 ...]

WRITEEXCEL (excel, Export_{excel}, “Ark2!A1:AE1”)

AE

else if nn = 2

WRITEEXCEL (excel, Export_{excel}, “Ark2!A2:AE2”)

else if nn = 3

WRITEEXCEL (excel, Export_{excel}, “Ark2!A3:AE3”)

else if nn = 4

WRITEEXCEL (excel, Export_{excel}, “Ark2!A4:AE4”)

else if nn = 5

WRITEEXCEL (excel, Export_{excel}, “Ark2!A5:AE5”)

else if nn = 6

WRITEEXCEL (excel, Export_{excel}, “Ark2!A6:AE6”)

else if nn = 7

WRITEEXCEL (excel, Export_{excel}, “Ark2!A7:AE7”)

else if nn = 8

WRITEEXCEL (excel, Export_{excel}, “Ark2!A8:AE8”)

READEXCEL (excel, range) = [NaN]

else if nn = 9

WRITEEXCEL (excel, Export_{excel}, “Ark2!A9:AE9”)

else if nn = 10

WRITEEXCEL (excel, Export_{excel}, “Ark2!A10:AE10”)

else if nn = 11

WRITEEXCEL (excel, Export_{excel}, “Ark2!A11:AE11”)

else if nn = 12

WRITEEXCEL (excel, Export_{excel}, “Ark2!A12:AE12”)

else if nn = 13

WRITEEXCEL (excel, Export_{excel}, “Ark2!A13:AE13”)

else if nn = 14

WRITEEXCEL (excel, Export_{excel}, “Ark2!A14:AE14”)

else if nn = 15

WRITEEXCEL (excel, Export_{excel}, “Ark2!A15:AE15”)

else if nn = 16

WRITEEXCEL (excel, Export_{excel}, “Ark2!A16:AE16”)

else if nn = 17

WRITEEXCEL (excel, Export_{excel}, “Ark2!A17:AE17”)

else if nn = 18

WRITEEXCEL (excel, Export_{excel}, “Ark2!A18:AE18”)

else if nn = 19

WRITEEXCEL (excel, Export_{excel}, “Ark2!A19:AE19”)

else if nn = 20

WRITEEXCEL (excel, Export_{excel}, “Ark2!A20:AE20”)

Inndata

Dimensjoner

$$b := 1000 \quad h := 250$$

$$c_{nom} := 25 \quad \phi := 10 \quad d := h - c_{nom} - \frac{\phi}{2} = 220$$

Armeringsareal for tverrsnitt

$$A_{s.test} := 393$$

Stål informasjon

$$f_{yk} := 500$$

$$f_{yd} := \frac{f_{yk}}{1.15} = 434.8$$

$$E_s := 200000$$

$$\varepsilon_{yd} := \frac{f_{yd}}{E_s} = 0.00217$$

$$n_n := 1 \quad \downarrow$$

Fasthetsklasser

n	f_{ck}	f_{ctm}	ε_{cu}	ε_{c1}	Armering	A_s
0	12	1.6	0.0035	0.0018	Armering	393
1	16	1.9	0.0035	0.0019	Armering	393
2	20	2.2	0.0035	0.002	Armering	393
3	25	2.6	0.0035	0.0021	Armering	393
4	30	2.9	0.0035	0.0022	Armering	393
5	35	3.2	0.0035	0.00225	Armering	393
6	40	3.5	0.0035	0.0023	Armering	393
7	45	3.8	0.0035	0.0024	Armering	393
8	50	4.1	0.0031	0.00245	Armering	393
9	55	4.2	0.0029	0.0025	Armering	393
10	60	4.4	0.0027	0.0026	Armering	393
11	70	4.6	0.0026	0.0027	Armering	393
12	80	4.8	0.0026	0.0028	Armering	393

$$n_{nn} = 1$$

Minimumsverdier armering (fra FEM-design)

$$A := 0.26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b \cdot d = \begin{bmatrix} 183.04 \\ 217.36 \\ 251.68 \\ 297.44 \\ 331.76 \\ 366.08 \\ 400.4 \\ 434.72 \\ 469.04 \\ 480.48 \\ 503.36 \\ 526.24 \\ 549.12 \end{bmatrix}$$

$$B := 0.0013 \cdot b \cdot d = 286$$

Vektor multiplikasjon

$$a := \text{ORIGIN} .. \text{last}(A)$$

$$A_{s.min_a} := \max(A_a, B)$$

Alternativ metode

$$\text{limit}(a, b) := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in \text{ORIGIN} .. \text{last}(a) \\ \quad \left\| R_i \leftarrow \max(a_i, b) \right\| \\ \text{return } R \end{array} \right\|$$

Angi funksjonen på vector A og verdi B

$$A_{s.1} := \text{limit}(A, B)$$

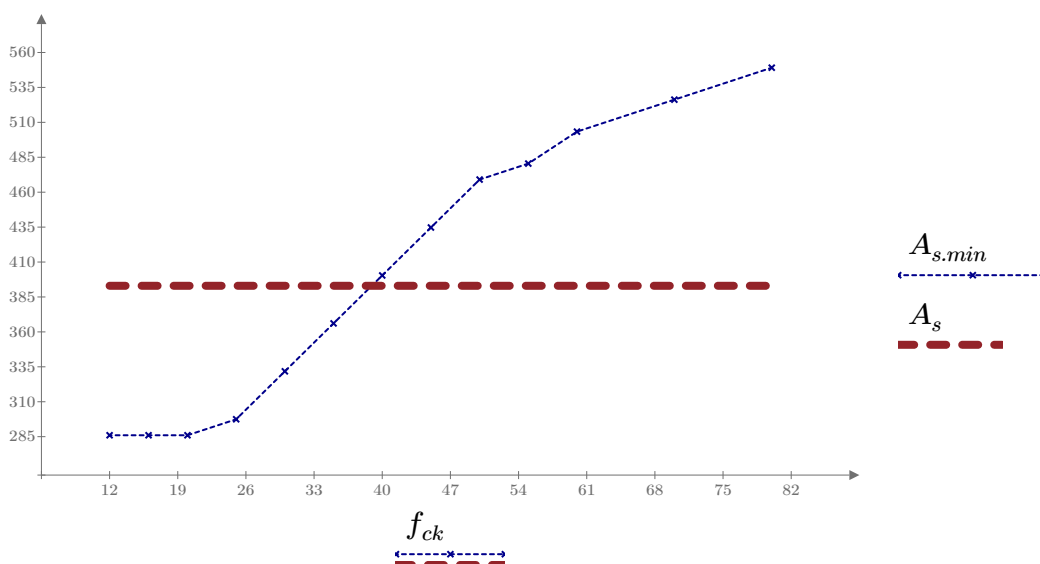
Minimumsarmering

$$A_{s.min_a} = \begin{bmatrix} 286 \\ 286 \\ 286 \\ 297.44 \\ 331.76 \\ 366.08 \\ 400.4 \\ 434.72 \\ 469.04 \\ 480.48 \\ 503.36 \\ 526.24 \\ 549.12 \end{bmatrix}$$

Minimumsarmering

$$A_{s.1} = \begin{bmatrix} 286 \\ 286 \\ 286 \\ 297.44 \\ 331.76 \\ 366.08 \\ 400.4 \\ 434.72 \\ 469.04 \\ 480.48 \\ 503.36 \\ 526.24 \\ 549.12 \end{bmatrix}$$

plot av minimumsarmering



Kamdiamentre

$$\phi_8 := 8 \quad \phi_{10} := 10$$

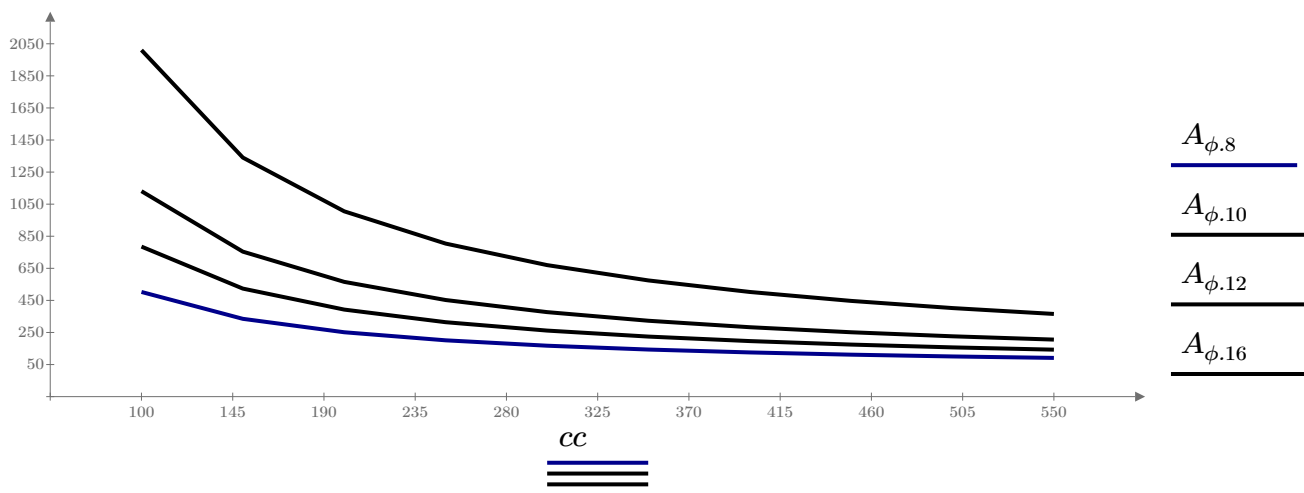
$$\phi_{12} := 12 \quad \phi_{16} := 16$$

Armeringsareal for forskjellige kamdiamentre og senter avstander

Senteravstander

				cc		
$A_{\phi.8} := \frac{1000}{cc} \cdot \left(\frac{\phi_8}{2}\right)^2 \pi =$	$\pi =$	$\begin{bmatrix} 502.655 \\ 335.103 \\ 251.327 \\ 201.062 \\ 167.552 \\ 143.616 \\ 125.664 \\ 111.701 \\ 100.531 \\ 91.392 \end{bmatrix}$	$A_{\phi.10} := \frac{1000}{cc} \cdot \left(\frac{\phi_{10}}{2}\right)^2 \pi =$	$\pi =$	$\begin{bmatrix} 785.398 \\ 523.599 \\ 392.699 \\ 314.159 \\ 261.799 \\ 224.399 \\ 196.35 \\ 174.533 \\ 157.08 \\ 142.8 \end{bmatrix}$	_____
						100
						150
						200
						250
						300
						350
						400
						450
						500
$A_{\phi.12} := \frac{1000}{cc} \cdot \left(\frac{\phi_{12}}{2}\right)^2 \pi =$	$\pi =$	$\begin{bmatrix} 1130.973 \\ 753.982 \\ 565.487 \\ 452.389 \\ 376.991 \\ 323.135 \\ 282.743 \\ 251.327 \\ 226.195 \\ 205.632 \end{bmatrix}$	$A_{\phi.16} := \frac{1000}{cc} \cdot \left(\frac{\phi_{16}}{2}\right)^2 \pi =$	$\pi =$	$\begin{bmatrix} 2010.619 \\ 1340.413 \\ 1005.31 \\ 804.248 \\ 670.206 \\ 574.463 \\ 502.655 \\ 446.804 \\ 402.124 \\ 365.567 \end{bmatrix}$	550

Plot av armeringsareal



Vedlegg D: Mengdeberegninger

Dette vedlegget tar for seg beregningene av Betongvolum, armeringsmengder og stålvekt av bygg B i Damsgårdsveien 97. Det tar også for seg beregning av skjærarmeringsvekt

Mengdeberegninger

Beregning av betongvolum

Betongvolum horisontale strukturer

Når det skal hentes ut volum av dekkene som skal brukes i en livssyklusanalyse, er det viktig å få sortert disse volumene etter betongkvalitet. Det er av god nytte å få sortert betongvolumene etter hvilken funksjon betongen har. Dette har med armeringsmengder å gjøre og det kan leses mer om dette under armeringsmengder.

Figuren under viser en material takeoff av første etasje. Her ser man at det er oppgitt volum av både isolasjon og betongandelen av dekket. Det som er mest interessant å vite er betongandelen og det er derfor regnet ut i tabellen øverst på neste side

Dekketype	Areal (m ²)	Volum (m ³)	Tykkelse (mm)	Materiale
1. etasje				
80 mm Påstøp + 200 mm	12.50 m ²	4.53 m ³	360	Concrete - Cast-in-Place
95 mm Påstøp + 350 mm EPC	215.94 m ²	96.09 m ³	445	Concrete - Cast-in-Place
110 mm Påstøp + 350 mm EP	76.06 m ²	34.99 m ³	460	Concrete - Cast-in-Place
Betongdekke 400	325.30 m ²	130.12 m ³	400	Concrete - Cast-in-Place
Betongdekke 500	0.15 m ²	4.07 m ³	500	Concrete - Cast-in-Place
	638.02 m ²	269.80 m ³		

Utklipp fra revit: material takeoff av første etasje

Vedlegg D: Mengdeberegninger

Tabell Feil! Det er ingen tekst med den angitte stilen i dokumentet.-1 *Betongvolum i 1.etasje*

første etasje	Areal	Tykkelse	Volum
	[m ²]	[mm]	[m ³]
80mm påstøp	12,58	80	1,01
95mm påstøp	215,94	95	20,51
110mm påstøp	76,06	110	8,37
betongdekke 400	325,30	400	130,12
betongdekke 500	8,15	500	4,08
totalt			164,08

Det totale volumet av betong i første etasje er 164,08m³. Det vil si at det resterende volumet fra material takeoff er isolasjonen i første etasje. Isolasjonsmengden blir da 269.8-164.08 = 105.72m³. Nå som betongmengden i første etasje er funnet, så er det bare å addere betongmengden fra første etasje med betongmengden fra 2-7 etasje for å finne det totale volumet av betong i dekker. Material takeoff av 2-7 etasje gir et betongvolum på 577,91m³. Dette volumet var lettere å finne fordi det var ingen isolasjon eller annet materiale å trekke fra i material takeoff i revit. Det totale betongvolumet fra dekker blir da:

$$V_{tot_{dekker}} = 577.91 + 164.08 = 741,99m^3 \quad \text{Betongvolum dekker}$$

Videre er det av interesse å sortere volumene etter hvilken betongkvalitet volumet består av. Man kunne ikke sortere betongmengden etter betongkvaliteten i material takeoff fordi dekkene var ikke gitt denne «parameteren». Derfor måtte man se igjennom tegningene og finne ut hvor det var brukt de forskjellige betongkvalitetene. I tegningene kan man se at balkongene, takplaten og bunnplaten var av betongkvalitet B35. De enkelte volumene til balkong, takplaten og bunnplaten blir gitt i tabellen under. Det totale volumet av B35 i dekkene finnes. De resterende dekkene er da av betongkvalitet B30

Tabell Feil! Det er ingen tekst med den angitte stilen i dokumentet.-2

	Volum
	[m ³]
Balkong	62,31
Tak	129,71
Bunnplate	134,20

Vedlegg D: Mengdeberegninger

Betongvolum B35

$$V_{\text{Betong B35}} = 62,31 + 129,71 + 134,20 = 326,22\text{m}^3$$

Betongvolum B30

$$V_{\text{Betong B30}} = 741,99 - 326,22 = 415,77\text{ m}^3$$

Det er valgt å sortere ut et volum som det kommer til å være nytte av i beregning av armeringsmengder i kapittel 6.1.2. Dette volumet er det totale volumet av dekkene der man ser bort ifra bunnplaten.

Volum dekker utenom bunnplaten

$$V_{\text{dekker utenom bunnplate}} = 741,99 - 134,20 = 607,79\text{m}^3$$

Betongvolum vertikale strukturer

For å finne volumet av de horisontale strukturer ble det brukt material takeoff fra vegg og søyler i revit. Disse volumene er viktig at holdes separat på grunn av forskjellige betongkvaliteter.

Volum vegger B30

$$V_{\text{Vegger}} = 172,23\text{m}^3$$

Volum søyle B45

$$V_{\text{Søyle}} = 1,22\text{m}^3$$

Betongvolum fundamenter

Det gikk ikke and å ta ut betongvolum av fundamentene i material takeoff i revit. I dette tilfelle var det valgt å bruke målene i plantegningen av fundamenter og bunnplate til å regne ut volum av hvert enkelt fundament og summerte deretter opp alle volumene. Geometrien og volumene til de 26 pelehettene er gitt i tabellen på neste side.

Vedlegg D: Mengdeberegninger

Geometri og volum til de 26 pelehettene

Bredde [mm]	Lengde [mm]	Tykkelse [mm]	Volum [m ³]
1300	1300	200	0,338
1000	1194	600	0,7164
1000	1000	200	0,2
1300	1300	200	0,338
1000	1000	200	0,2
1000	1000	200	0,2
1000	1000	200	0,2
1000	1000	200	0,2
1000	1000	200	0,2
1200	1000	600	0,72
1000	1000	200	0,2
1000	800	200	0,16
1000	1200	600	0,72
1100	380	450	0,1881
1000	1000	200	0,2
1000	1200	600	0,72
1000	1000	200	0,2
1000	1000	200	0,2
1200	1000	600	0,72
1200	1000	600	0,72
1200	1000	600	0,72
1000	1000	200	0,2
1000	1000	200	0,2
1000	1000	200	0,2
1000	1000	200	0,2
1000	1200	600	0,72
1000	1000	200	0,2

Totalt volum pelehetter

$$V_{pelehette} = 9,58m^3$$

(Feil! Det er ingen tekst med den angitte stilen i dokumentet.-1)

Betongvolum oppsummering

Oppsummert er betongvolumene som skal tas med i One Click LCA satt opp i tabellen under

Oppsummerte betongvolum

Horisontale strukturer		Vertikale strukturer		Fundamenter	Total betong
Dekker B30	Dekker B35	Betongsøyler B45	Vegger B30	Pele hette B35	
[m ³]	[m ³]	[m ³]	[m ³]	[m ³]	[m ³]
415,77	326,22	1,22	172,23	9,58	925,01

Vedlegg D: Mengdeberegninger

1.1.1. Beregning av armeringsmengder

De er valgt å bruke nedre grenseverdi for erfaringstall for de ulike strukturene i

Erfaringstall

Element	Erfaringstall [kg/m ³]
Vegg - vind (Walls - wind)	90-150
Dekke (Plate Slabs)	95-135
Bunnplate (Rafts)	115
Betongsøyle (Columns)	200-450
Pelehette (Pile Caps)	110-150

Armering vertikale strukturer

Armering vegg – vind (walls – wind)

$$(90-150) \rightarrow \rho_{\text{antatt armering i vegg per kubikk}} = \frac{90\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$m_{\text{armering i vegg}} = 172,23\text{m}^3 \times \frac{90\text{kg}}{\text{m}^3} = 15\,500,7\text{kg}$$

$$\text{Armering søyler (columns) (200-450)} \rightarrow \rho_{\text{antatt armering i søyle per kubikk}} = \frac{200\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$m_{\text{armering i søyle}} = 1,216\text{m}^3 \times \frac{200\text{kg}}{\text{m}^3} = 243,2\text{kg}$$

Total armering i vertikale strukturer:

$$m_{\text{tot armering vertikal}} = 15\,500,7\text{kg} + 243,2\text{kg} = 15\,743,9\text{kg}$$

Armering horisontale strukturer

$$\text{Armering dekke (plate slabs) (95-135)} \rightarrow \rho_{\text{antatt armering i dekke per kubikk}} = \frac{95\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$m_{\text{armering i dekke}} = 607,79\text{m}^3 \times 95\text{kg}/\text{m}^3 = 57\,739,79\text{kg}$$

Vedlegg D: Mengdeberegninger

Armering Bunnplate (raft) (115) $\rightarrow \rho_{\text{antatt armering i bunnplate per kubikk}} = \frac{115\text{kg}}{\text{m}^3}$

$$m_{\text{armering i bunnplate}} = 134,20\text{m}^3 \times 115\text{kg}/\text{m}^3 = 15\,433\text{kg}$$

Total armering i dekker/horisontale strukturer:

$$m_{\text{tot armering horisontal}} = 57\,739,79\text{kg} + 15\,433\text{kg} = 73\,172,79\text{kg}$$

Armering fundamenter

Armering pele hette (pile caps) (110-150) $\rightarrow \rho_{\text{antatt armering i pelehette per kubikk}} = \frac{110\text{kg}}{\text{m}^3}$

$$9,58\text{m}^3 \times \frac{110\text{kg}}{\text{m}^3} = 1053,86\text{kg}$$

Armering oppsummering

Oppsummert kan resultatene som skal med i One Click LCA settes i en tabell:

Armeringsvekt

Horisontale strukturer		Vertikale strukturer		Fundamenter	Total armering
Dekker	Bunnplate	Betongsøyler	Vegger	Pele hette	
[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]
57 739,79	15433	243,2	15500,7	1053,86	89 970,55

Beregning av stålmengder

Stålkjernepeler

Det er brukt peler fra kynningsrud. Det er brukt verdier fra et produktblad fra kynningsrud for å gjøre et overslag av stålpelevolumet. Verdien som har blitt brukt er stålpelevekten per meter stålpele. Stålpele lengden er tilnærmet lik lengden til foringsrøret. Det er tatt ut lengdeverdier fra foringsrørene i revit for å finne den totale vekten av pelene. I tillegg er det beregnet ut volum av pelehodet utfra de dimensjonene som er oppgitt av sweco i deres beregningsrapport.

Vedlegg D: Mengdeberegninger

Pelehode volum:

Pelehode kam120 BxLxT = 440x440x65

$$V = 440\text{mm} \times 440\text{mm} \times 65\text{mm} = 0,012584\text{m}^3$$

Pelehode kam130 BxLxT = 440x440x80

$$V = 440\text{mm} \times 440\text{mm} \times 80\text{mm} = 0,015488\text{m}^3$$

Pelehode kam150 BxLxT = 500x500x100

$$V = 500\text{mm} \times 500\text{mm} \times 100\text{mm} = 0,025\text{m}^3$$

Pele volum:

Vertikale stålkjernepler:

Kam120

Pele kam120	Total lengde foringsrør	Antall kam120
88,8kg/m	63,05m	9

$$m_{pel} = \frac{88,8\text{kg}}{\text{m}} \times 63,05\text{m} = 5\,598,84\text{kg}$$

$$V_{pelehoder} = 9 \times 0,0126\text{m}^3 = 0,1134\text{m}^3$$

$$m_{pelehoder} = V \times \rho = 0,1134\text{m}^3 \times \frac{7850\text{kg}}{\text{m}^3} = 890,19\text{kg}$$

Vedlegg D: Mengdeberegninger

$$\begin{aligned} m_{tot_vertikal_ø120} &= m_{pel} + m_{pelehode} = 5\,598,84kg + 890,19kg \\ &= 6\,489,03kg \end{aligned}$$

Kam130 vertikal

Pele kam130	Total lengde foringsrør	Antall kam130
104,0kg/m	62,65m	7

$$m_{pel} = \frac{104,0kg}{m} \times 62,65m = 6\,515,6$$

$$V_{pelehoder} = 7 \times 0,0155m^3 = 0,1085m^3$$

$$m_{pelehoder} = V \times \rho = 0,1085m^3 \times \frac{7850kg}{m^3} = 851,725kg$$

$$m_{tot_vertikal_ø130} = m_{pel} + m_{pelehode} = 6\,515,6kg + 851,725kg = 7\,367,325kg$$

Kam150

Pele kam150	Total lengde foringsrør	Antall kam150
139kg/m	16,9m	2

$$m_{pel} = \frac{139kg}{m} \times 16,9m = 2\,349,1kg$$

$$V_{pelehoder} = 2 \times 0,025 = 0,05m^3$$

Vedlegg D: Mengdeberegninger

$$m_{pelehoder} = V \times \rho = 0,05m^3 \times \frac{7850kg}{m^3} = 392,5kg$$

$$\begin{aligned} m_{tot_vertikal_0150} &= m_{pel} + m_{pelehode} = 2\,349,1kg + 392,5kg \\ &= 2\,741,6kg \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m_{tot_vertikal} &= 6\,489,03kg + 7\,367,325kg + 2\,741,6kg \\ &= 16\,597,955kg \end{aligned}$$

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{16597,955kg}{7850kg/m^3} = 2,11m^3$$

Volumet fra materiall takeoff i revit: $2m^3$

Skrå ståljernepel:

Kam130

Pele kam130	Total lengde foringsrør	Antall kam130
104,0kg/m	26,4m	2

$$m_{pel} = \frac{104,0kg}{m} \times 26,4m = 2\,745,6kg$$

$$V_{pelehoder} = 2 \times 0,0155m^3 = 0,031m^3$$

$$m_{pelehoder} = V \times \rho = 0,031m^3 \times \frac{7850kg}{m^3} = 243,35kg$$

Vedlegg D: Mengdeberegninger

$$m_{tot_skrå_Ø130} = m_{pel} + m_{pelehode} = 2\,745,6kg + 243,35kg = 2\,988,95kg$$

Kam150

Pele kam150	Total lengde foringsrør	Antall kam150
139kg/m	62,2m	6

$$m_{pel} = \frac{139kg}{m} \times 62,2m = 8\,645,8kg$$

$$V_{pelehoder} = 6 \times 0,025 = 0,15m^3$$

$$m_{pelehoder} = V \times \rho = 0,15m^3 \times \frac{7850kg}{m^3} = 1\,177,5kg$$

$$m_{tot_skrå_Ø150} = m_{pel} + m_{pelehode} = 8\,645,8kg + 1\,177,5kg = 9\,823,3kg$$

$$m_{tot_skrå} = 2\,988,95kg + 9\,823,3kg = 12\,812,25kg$$

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{12\,812,25kg}{7850kg/m^3} = 1,63m^3$$

Volumet fra materiall takeoff i revit: 1,57m³

Total masse av stålkjernerpelene:

$$m_{tot} = m_{tot_vertikal} + m_{tot_skrå} = 16\,597,955kg + 12\,812,25kg = 29\,410,205$$

Det totale volumet av stålkjernerpelene fra revit:

Vedlegg D: Mengdeberegninger

$$V_{tot \text{ stålkernepel}} = V_{\text{vertikal}} + V_{\text{skrå}} = 2m^3 + 1,57m^3 = 3,57m^3$$

Total masse av stålkernepelene ifølge revit:

$$m_{tot_revit} = V_{tot \text{ stålkernepel}} \times \rho = 3,57m^3 \times \frac{7850kg}{m^3} = 28\,024,5kg$$

Stålplate og stålsøyle

Det kan hentes ut vekt av stålplatene og stålsøylene i material takeoff i revit. Dette er gjort og resultatet er representert i tabellen under som skal brukes i One Click LCA

	kg
Stålsøyle	10085,78
Stålplate	5181
Stålkjernepel	29410,21
Totalt stål	44676,99

Overslag av armeringskrok og T-hodestang

Armeringskrok

Det er valgt å bruke armeringskroker som er bøyd 180°

$$h - 2 C_{nom} = 250 - 50 = 200mm$$

Høyde mellom topplatearmering og
bunnplatearmering

Antatt bruk av minste tillatte dor diameter etter EC2 tabell NA.8.1N.c), $\phi_{m,min} = 25mm$
(Norsk Standard, 2010, s. 19)

$$\pi \frac{\phi_{m,min} + \frac{\phi}{2}}{2} = \pi \frac{25 + \frac{10}{2}}{2} = 47,1mm$$

Buelengde til armeringskrok

Vedlegg D: Mengdeberegninger

$$200 - \frac{25}{2} * 2 = 175mm$$

Høyde armeringskrok for bøy

T-hodestang

I henhold til EC2 figur 8.1 a) må forankringen gå ut $5\phi \geq 50mm$. I dette tilfellet med bruk av $\phi 10$ må forankringen gå ut 50mm (Norsk Standard, 2010, s. 137).

Den totale lengden av en armeringskrok vil da ligge rundt

$$175 + 47 + 50 = 272mm$$

Lengde av en armeringskrok

Vekt av en $\phi 10$ med lengde lik 272mm vil være lik

$$0,617 * \frac{272}{1000} = 0,168kg$$

Vekt av en armeringskrok

Det er valgt HDB fra halven. De spesifiserer i produktbladet at høyden på T-hodestengene er lik høyden på dekket trukket fra overdekningen. Dette blir sånn som for armeringskroker.

$$h - 2 C_{nom} = 250 - 50 = 200mm$$

Høyde mellom topplatearmering
og bunnplatearmering

Tykkelsen på hodene er gitt for en $\phi 10$ T-hodebøyle lik 5 mm. Kamdiameter til hodene er lik 30mm. Dette blir forneklet om til 5 mm med en kamdiameter på 20 mm. Hodene forekommer både ved topplatearmeringen og bunnplatearmeringen. Det vil derfor tilsi at det er 10 mm med $\phi 20$. Igjen er det bare stangen av $\phi 10$ som da må utgjøre en lengde

$$200 - 10 = 190mm$$

Lengde av kam10 stangen

Den totale armeringsvekten av en T-hodestang er da:

$$2,47 * \frac{10}{1000} + 0,617 * \frac{190}{1000} = 0,142kg$$

Vekt av en T-hodestang

Vedlegg D: Mengdeberegninger

Mengder etter tiltak

Stålsøyler

Det er blitt antatt at det er like tiltak som kreves oppover i bygget. Det vil derfor være vouter i hver etasje ved hjørnesøylene. Disse voutene vil forutsake at høyden for hjørnesøyle vil være noe mindre. Det er blitt brukt KR323.9x10 og KR323.9x8 for hjørnesøylene som ikke er over første etasje. Tabellen under viser vekt av stålsøyler før og etter tiltaket med vouter. Det er brukt forholdsregning til å finne den nye vekten til søylene. Det er gjort ved bruk av formel xx

$$m_{med.voute} = m_{søyle} - \frac{h_H}{H} m_{søyle} \quad \text{Vekt av en søyle med en voute}$$

Vekt av hjørnesøyler før tiltaket med vouter og etter tiltaket med vouter

		Uten Voute			Med Voute		
	Antall	Høyde	Vekt/enhet	Vekt totalt	Høyde voute	Vekt/enhet	Vekt totalt
	stk	mm	kg	kg	mm	kg	kg
KR323.9x10	2	2530	199,47	398,94	100	191,59	383,17
KR323.9x8	18	2530	160,59	2890,62	100	154,24	2776,37
Totalt				3289,56	3159,54		

De andre stålsøylene har en uendret vekt på 6796 kg. Det kan av formel xx beregnes total vekt av stålsøylene etter tiltak voute

$$3159,54 + 6796 = 9955,54$$

Total stålsøyle vekt etter tiltak voute

Betongsøyler

Det er brukt samme metode som for stålsøyler til å finne volumet av betongsøylene. Volumet før tiltaket var 1,216m³ og volumet etter tiltaket blir 1,178m³. Armeringsmengdene i søylen går da fra å være 243,2 kg til 235,5 kg ved bruk av typiske verdier for armering for et betongvolum med en gitt funksjon.

Vedlegg D: Mengdeberegninger

Armeringsmengder og betongmengder

Det er valgt å ikke redusere betongkvaliteten for plattendekkerne. Tabellen under viser Betongvolumet og armeringsvekt før og etter reduksjon av betongkvalitet for innvendige dekker utenom plattendekker. I disse beregningen er det brukt som tidligere estimat for å beregne armeringsmengder ved hjelp av betongvolumet, men «ekstra armeringsvekt» tar med seg tilleggsvekten av den ekstra armeringen som måtte til for å få dekket over første etasje til å holde i beregningene. Det er antatt at tiltakene er av likt omfang videre oppover i bygget og det er derfor brukt tilleggsvekt på 634 kg i hver etasje.

Volum og armeringsmengder for de dekkene som har blitt bestemt at skal få en redusert fasthet, før og etter reduksjon av betongkvalitet

	B30		B20		
Dekke over etg	Volum [m ³]	Armeringsvekt [kg]	Volum med voute [m ³]	Armeringsvekt [kg]	Ekstra Armeringsvekt [kg]
1	69,63	6614,85	69,76	6627	7261
2	71,91	6831,45	72,04	6844	7478
3	71,91	6831,45	72,04	6844	7478
4	71,91	6831,45	72,04	6844	7478
5	71,92	6832,40	72,05	6845	7479
Tot	357,28	33941,60	357,94	34005	37175

Betongmengder

Det totale betongvolumet for B20 blir da 357,94 m³. Det resterende betongvolumet for B30 kan da finnes

$$415,75 - 357,28 = 58,47$$

Volum av B30 betong etter reduksjon betongkvalitet.

Armeringsmengder

Den ekstra armeringen som kommer av tiltaket

$$37175 - 33942 = 3233 \text{ kg}$$

Vekt av ekstra armering etter reduksjon av betongkvalitet.

Den totale armeringsmengden av tiltaket

$$57738 + 3233 = 60971 \text{ kg}$$

Vekt av total armering i dekker

Vedlegg D: Mengdeberegninger

Oppsummerte mengder før og etter tiltak

Før tiltak

Betong	m³
Vegger B30	172,23
Dekker B30	415,75
Dekker B35	326,22
Betongsøyler B45	1,216
Pelehette B35	9,5805
Totalt	925
Armering	kg
Vegger	15500,7
Dekke	57738
Bunnplate	15433
Betongsøyle	243,2
Pelehette	1053,855
Totalt	89969
Stål	kg
Stålplate	5181,00
Stålsøyle	10085,56
Stålkjernepel	29410,21
Totalt	44676,77

Etter tiltak

Betong	m³
Vegger B30	172,23
Dekker B20	358
Dekker B30	58,47
Dekker B35	326,22
Betongsøyler B45	1,1775
Pelehette B35	9,5805
Totalt	926
Armering	kg
Vegger	15500,7
Dekke	60971
Bunnplate	15433
Betongsøyle	235,5
Pelehette	1053,855
Totalt	93194
Stål	kg
Stålplate	5181,00
Stålsøyle	9955,54
Stålkjernepel	29410,21
Totalt	44546,75