

Teräs-betoni liittorakenteiden laskentaesimerkit ja -ohjelmat

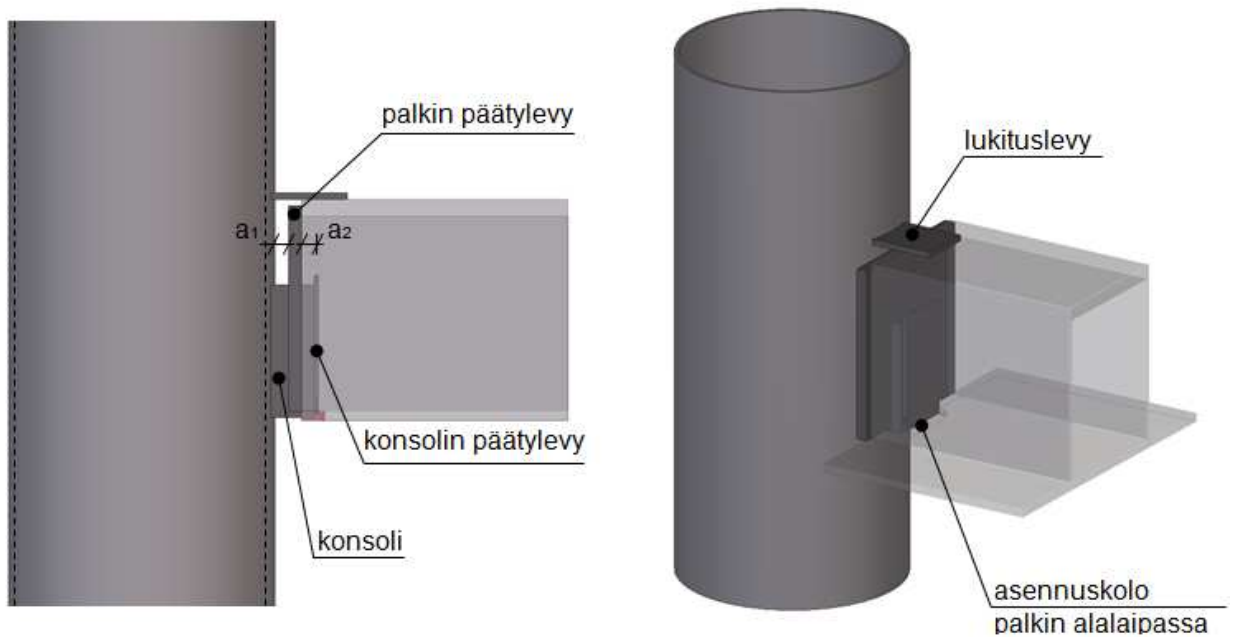
Teräsrakenneyhdistys ry / Suomen Betoniyhdistys ry

16.12.2014, Metropolia AMK, Agricolankatu 1-3, Helsinki

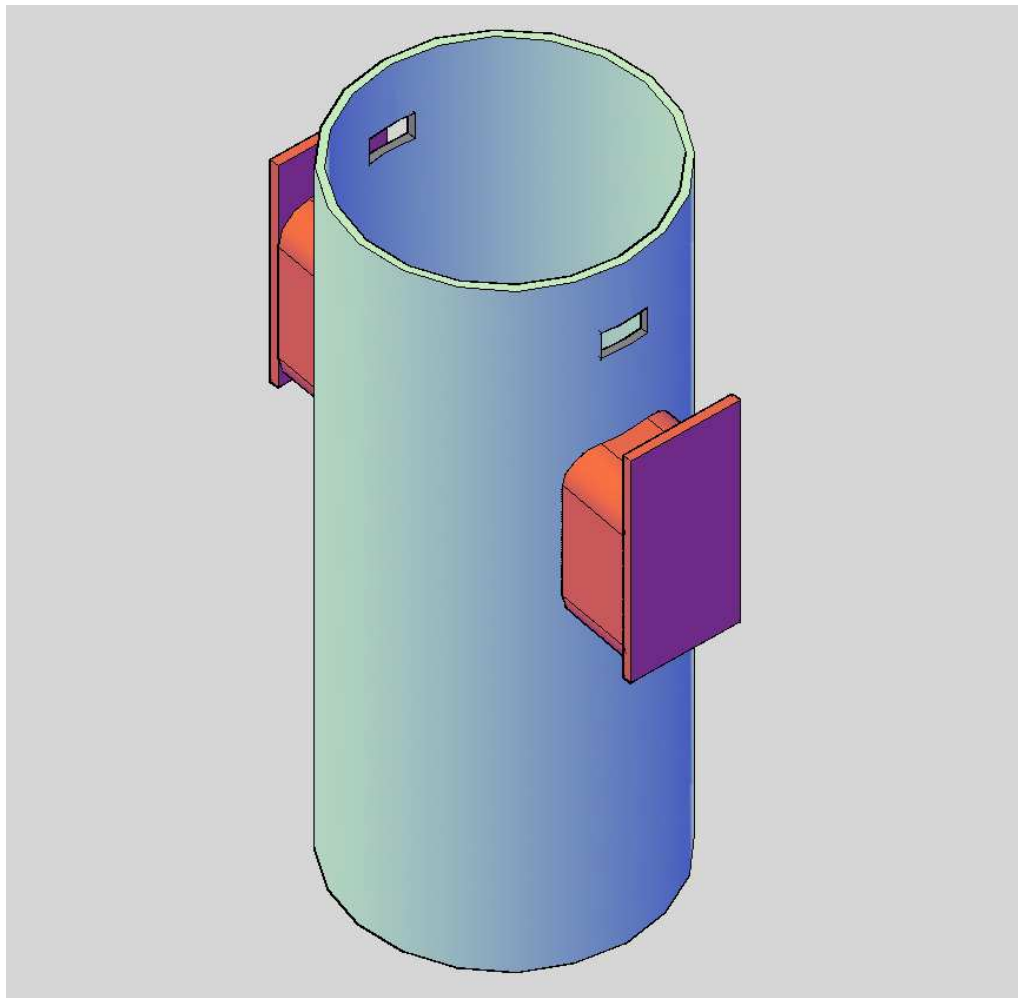
Putkikonsoliliitoksen esimerkkilaskelma

TEP/WP3/liitos 701

Putkikonsoliliitos



Tässä esimerkissä mitoitetaan yllä olevan kuvan mukainen liittopilarin putkikonsoliliitos.



Liittopilarissa olevat putkikonsolin osat.

1. Lähtötietoja



Osavarmuusluvut

$$\gamma_{M0} := 1.00 \quad (\text{SFS-EN 1993-1-1 kohta 6.1 (1)})$$

$$\gamma_{M2} := 1.25 \quad (\text{SFS-EN 1993-1-8 taulukko 2.1})$$

$$\gamma_{M5} := 1.00 \quad (\text{SFS-EN 1993-1-8 taulukko 2.1})$$

$$\gamma_c := 1.35 \quad (\text{SFS-EN 1992-1-1 NA, Liite A, kohta A.2.1})$$

$$\gamma_s := 1.1 \quad (\text{SFS-EN 1992-1-1 NA, Liite A, kohta A.2.1})$$

$$\alpha_{cc} := 0.85 \quad (\text{SFS-EN 1992-1-1 NA}) \text{ Huom. SFS-EN 1994-1-1, betonitäytteiset putkipilarit } \alpha_{cc}=1$$

Putkikonsolin mitat

$$h := 250\text{mm} \quad \text{konsolin korkeus}$$

$$b := 150\text{mm} \quad \text{konsolin leveys}$$

$$t := 10\text{mm} \quad \text{konsolin ainepaksuus}$$

$$A_{\text{ww}} := 7257 \cdot \text{mm}^2 \quad \text{konsolin pinta-ala}$$

$$s_L := 70\text{mm} \quad \text{konsolin pituus}$$

$$s_x := 40\text{mm} \quad \text{konsolikuorman etäisyys pilarin vaipasta}$$

Liittopilarin teräsvaipan mitat

$$D_0 := 323.9\text{mm} \quad \text{pilarin halkaisija}$$

$$t_0 := 8 \cdot \text{mm} \quad \text{pilarin vaipan paksuus}$$

$$D_c := D_0 - 2t_0 = 307.9 \cdot \text{mm}$$

$$A_0 := \pi \cdot \frac{D_0^2}{4} - \pi \cdot \frac{D_c^2}{4} = 7939 \cdot \text{mm}^2$$

$$W_0 := \left[\pi \left(\frac{D_0^4}{64} - \frac{D_c^4}{64} \right) \right] \cdot \frac{2}{D_0} = 611922 \cdot \text{mm}^3$$

$$\frac{D_0}{t_0} = 40.487 \quad \begin{array}{l} \text{pitää olla alle 50 kun konsoli yhdellä puolella} \\ \text{pitää olla alle 40 kun konsoli molemmin puolin} \end{array}$$

Materiaalilujuudet, rakenneteräs

$$E_a := 210000 \cdot \text{MPa}$$

$$f_y := 355 \text{MPa} \quad f_{yd} := \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 355 \cdot \text{MPa}$$

$$f_u := 510 \text{MPa}$$

Materiaalilujuudet, betoni C35/45

$$E_{cm} := 34000 \cdot \text{MPa}$$

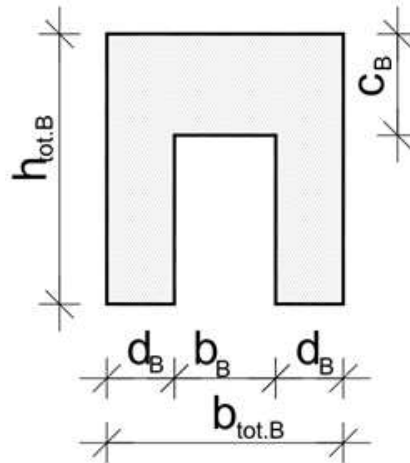
$$f_{ck} := 35 \text{MPa} \quad f_{cd} := \frac{\alpha_{cc} f_{ck}}{\gamma_c} = 22.037 \cdot \text{MPa}$$

Materiaalilujuudet, harjateräs B500 B

$$f_{sy} := 500 \text{MPa}$$

$$E_s := 200000 \cdot \text{MPa}$$

Palkin päätylevyn mitat



$$c_B := 100 \cdot \text{mm}$$

$$b_B := 153 \cdot \text{mm}$$

$$d_B := 100 \cdot \text{mm}$$

$$t_B := 30 \text{ mm}$$

$$b_{\text{tot.B}} := 2 \cdot d_B + b_B = 353 \cdot \text{mm}$$

$$h_{\text{tot.B}} := c_B + h = 350 \cdot \text{mm}$$

$$b_{\text{beam}} := 250 \cdot \text{mm}$$

palkin päätylevyn paksuus

palkin päätylevyn kokonaisleveys

palkin päätylevyn kokonaiskorkeus

palkin uumien välinen etäisyys



Kuormat liitokselle

Kuormitus I. Konsoliin kohdistuvat suurimmat pystysuuntaiset MRT tukireaktiot asennustilanteessa (Näitä vastaava vääntömomentti on 0)

$$F_{\text{Ed.1.inst}} := 3.6 \cdot 8.5(1.15 \cdot 4 + 1.5 \cdot 1) \text{ kN} = 187 \cdot \text{kN} \quad \text{vasen puoli}$$

$$F_{\text{Ed.2.inst}} := 3.6 \cdot 8.5(1.15 \cdot 4 + 1.5 \cdot 1) \text{ kN} = 187 \cdot \text{kN} \quad \text{oikea puoli}$$

$$F_{\text{Ed.inst}} := \max(F_{\text{Ed.1.inst}}, F_{\text{Ed.2.inst}}) = 187 \cdot \text{kN}$$

Kuormitus II. Konsoliin kohdistuva pystysuuntainen MRT tukireaktio asennustilanteessa, joka vaikuttaa samaan aikaan asennusaikaisen vääntömomentin maksimin kanssa

$$F_{\text{T.Ed.inst}} := 3.6 \cdot 4.25(1.15 \cdot 4 + 1.5 \cdot 1) \text{ kN} = 93 \cdot \text{kN}$$

$$T_{\text{Ed.inst}} := 0.25 \text{ m} \cdot F_{\text{T.Ed.inst}} = 23 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

Kuormitus III. Pystysuuntaiset tukireaktiot konsolille MRT:ssa lopputilanteessa (lopputilanteessa ei vääntöä)

$$F_{\text{Ed.1}} := 3.6 \cdot 8.5(1.15 \cdot 6.5 + 1.5 \cdot 3) \text{ kN} = 366 \cdot \text{kN} \quad \text{vasen puoli}$$

$$F_{\text{Ed.2}} := 3.6 \cdot 8.5(1.15 \cdot 6.5 + 1.5 \cdot 3) \text{ kN} = 366 \cdot \text{kN} \quad \text{oikea puoli}$$

$$F_{\text{Ed}} := \max(F_{\text{Ed.1}}, F_{\text{Ed.2}}) = 366 \cdot \text{kN}$$

$$T_{\text{Ed}} := 0 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

Kuormitus IV. Pystysuuntainen tukireaktio yhdelle konsolille palotilanteessa. Palonkestovaatimus R60. Palotilanteessa ei vääntöä.

$$F_{\text{fi.Ed}} := 3.6 \cdot 8.5(1.0 \cdot 6.5 + 0.3 \cdot 3) \text{ kN} = 226 \cdot \text{kN}$$

$$T_{\text{fi.Ed}} := 0 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

2. Asennustilanne, liittopilari betonoimatta, kuormitus 1

Pilarin vaipan kestävyys asennusaikaiselle kuormalle

Pilarin vaipan myötääminen konsolin laipan kohdalla, asennustilanne, kuormitus 1 (Ruukki rakenneputken EN 1993 -Käsikirja 2012, taulukko 11.3.16)

$N_{0.inst.Ed} := 190 \cdot \text{kN}$ vaipan normaalivoiman mitoitusarvo asennustilanteessa

$M_{0.inst.Ed} := 40 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$ vaipan taivutusmomentin mitoitusarvo asennustilanteessa

$$n_p := \frac{N_{0.inst.Ed}}{A_0 \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M5}}} + \frac{M_{0.inst.Ed}}{W_0 \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M5}}} = 0.252$$

$$k_p := 1.0 - 0.3 \cdot n_p - 0.3 \cdot n_p^2 = 0.906$$

$$\beta := \frac{b-t}{D_0} = 0.432 \quad \text{pitää olla yli } 0.4$$

$$N_{1.os.Rd} := k_p \cdot f_y \cdot t_0^2 \cdot \frac{(4 + 20 \cdot \beta^2)}{\gamma_{M5}} = 159 \cdot \text{kN}$$

$$N_{1.bs.Rd} := \frac{5k_p \cdot f_y \cdot t_0^2}{(1 - 0.81 \cdot \beta) \gamma_{M5}} = 158 \cdot \text{kN}$$

$$N_{1.Rd} := \min(N_{1.os.Rd}, N_{1.bs.Rd}) = 158 \cdot \text{kN} \quad \text{konsolin ylälaipan ulosvetokestävyys pilarin vaipasta, myötääminen}$$

$$M_{1.Rd} := 0.5 \cdot N_{1.Rd} \cdot (b-t) = 11 \cdot \text{kN} \cdot \text{m} \quad \text{konsolin ylälaipan taivutuskestävyys pilarin vaipan myötäämisen suhteen}$$

$$F_{Ed.1.inst} = 187 \cdot \text{kN}$$

$$M_{Ed.1.inst} := 0 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$N_{Ed.1.inst} := \frac{(s_x \cdot F_{Ed.1.inst})}{(h-t)} = 31 \cdot \text{kN} \quad \text{konsolin ylälaipan ulosvetovoima pilarin vaipasta}$$

$$\frac{N_{Ed.1.inst}}{N_{1.Rd}} = 19.7\% \quad \text{Pilarin vaipan myötääminen}$$

Pilarin vaipan leikkauslävistys konsolin laipan kohdalla (Ruukki rakenneputken EN 1993 -Käsikirja 2012, taulukko 11.3.16)

$$A_1 := t \cdot (b-t) = 1400 \cdot \text{mm}^2$$

$$W_{el.1} := t \cdot \frac{(b-t)^2}{6} = 32667 \cdot \text{mm}^3$$

$$\sigma_{\max} := \frac{N_{Ed.1.inst}}{A_1} + \frac{M_{Ed.1.inst}}{W_{el.1}} = 22 \cdot \text{MPa}$$

$$\frac{\sigma_{\max} \cdot t}{(2 \cdot f_y \cdot t_0)} = 6.8\%$$

$$\sqrt{3} \gamma_{M5}$$

Pilarin vaipan leikkauslävistyminen konsolin laipan kohdalla

Pilarin vaipan myötääminen konsolin laipan kohdalla, asennustilanne, kuormitus 2 (Ruukki rakenneputken EN 1993 -Käsikirja 2012, taulukko 11.3.16)

$$H_{Ed.inst} := \frac{T_{Ed.inst}}{(h - t)} = 97 \cdot \text{kN}$$

$$M_{Ed.2.inst} := s_x \cdot H_{Ed.inst} = 3.9 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$N_{Ed.2.inst} := \frac{(s_x \cdot F_{T.Ed.inst})}{(h - t)} = 16 \cdot \text{kN}$$

$$N_{2.Rd} := N_{1.Rd} = 158 \cdot \text{kN}$$

$$M_{2.Rd} := M_{1.Rd} = 11.1 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$\frac{N_{Ed.2.inst}}{N_{2.Rd}} + \frac{M_{Ed.2.inst}}{M_{2.Rd}} = 44.9\%$$

Pilarin vaipan myötääminen, kun asennustilanteessa maksimivääntömomentti

Konsolin yläpinnan paikallinen puristuskestävyys asennustilanteessa

Tehollisen leveyden b_{eff} laskennassa sovelletaan SFS-EN 1993-1-8 kohdan 4.10 periaatteita (jakautumisleveys tässä varman päälle 1:1 eikä 1:2,5)

Palkin päätylevyn paikallinen puristuskestävyys yhden uuman kohdalla

$$b_{eff.B} := 2 \cdot t = 20 \cdot \text{mm}$$

paikallisen puristuksen jakautumisleveys konsolin yhden uuman kohdalla

$$F_{Rd.B} := t_B \cdot b_{eff.B} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 213 \cdot \text{kN}$$

Paikallinen puristuskestävyys päätylevyssä konsolin yhden uuman kohdalla

Konsolin yläreunan paikallinen puristuskestävyys yhden uuman kohdalla

$$b_{eff.pla} := \min[t_B + 2 \cdot t, 2(s_L - s_x)] = 50 \cdot \text{mm}$$

$$F_{Rd.pla} := t \cdot b_{eff.pla} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 177.5 \cdot \text{kN}$$

Paikallinen puristuskestävyys konsolissa yhden uuman kohdalla

Paikallinen puristuskestävyys päätylevyn ja konsolin välillä yhden uuman kohdalla

$$F_{Rd.tot} := \min(F_{Rd.B}, F_{Rd.pla}) = 177.5 \cdot \text{kN}$$

$$\frac{F_{T.Ed.inst}}{F_{Rd.tot}} = 52.6\%$$

Paikallisen puristuskestävyyden käyttöaste konsolissa yhden uuman kohdalla. Vääntömomentin vuoksi tukireaktio toispuoleinen

3. Lopputilanne, kuormitus III (liittopilari betonoitu)



$$F_{Ed} = 366 \cdot \text{kN}$$

$$M_{Ed} := 0 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$N_{Ed} := \frac{(s_x \cdot F_{Ed})}{(h - t)} = 61 \cdot \text{kN} \quad \text{konsolin ylälaipan ulosvetovoima pilarin vaipasta}$$

$$N_{3.Rd} := 91 \cdot \text{kN}$$

konsolin ylälaipan ulosvetokestävyys pilarin vaipasta, myötääminen. Laskettu aivan samoin kuin $N_{3.Rd}$ on laskettu samalla tavalla kuin $N_{1.Rd}$ käyttäen pilarin vaipan rasituksille arvoja

$$\frac{N_{Ed}}{N_{3.Rd}} = 67.1 \cdot \%$$

$$N_{0.Ed} := 1900 \cdot \text{kN}$$

$$M_{0.Ed} := 40 \cdot \text{kN}$$

Palkin päätylevyn kestävyys (leikkauskestävyys / palamurtuminen)

$$A_{nv} := \frac{2}{3} c_B \cdot t_B = 2000 \cdot \text{mm}^2 \quad \text{SFS-EN 1993-1-8 kohta 3.10}$$

$$V_{B.Rd} := 2A_{nv} \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 820 \cdot \text{kN}$$

$$\frac{F_{Ed}}{V_{B.Rd}} = 44.7 \cdot \%$$

Palkin päätylevyn taivutuskestävyys (tukireaktion siirtäminen palkin uumilta putkikonsolin uumalle)

$$W_{B.el} := \frac{c_B^2 t_B}{6} = 50000 \cdot \text{mm}^3$$

$$M_{B.Rd} := W_{B.el} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 18 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{B.Ed} := \frac{F_{Ed}}{2} \cdot \left(\frac{b_{\text{beam}}}{2} - \frac{b_B}{2} \right) = 8.9 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$\frac{M_{B.Ed}}{M_{B.Rd}} = 50.1 \cdot \%$$

Putkikonsolin leikkauskestävyys lopputilanteessa

Rakenneputken kimmoteorian mukainen leikkauskestävyys

$$A_v := A \cdot \frac{h}{(b + h)} = 4.536 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$V_{el.Rd} := A_v \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 930 \cdot \text{kN}$$

$$V_{el.Rd} = 930 \cdot \text{kN}$$

$$V_{Ed} := F_{Ed}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{el.Rd}} = 39.4 \cdot \%$$

päätylevyltä konsolille tuleva kuorma ei välttämättä ehdi jakautua lyhyessä putkikonsolissa niin, että tässä tarkastuksessa oletettu konsoliputken uuman leikkausjännitys jakauma saavutetaan. Siksi konsoliputken ylälaipan ja pilarin välisen vaipan hitsi on liitoksen toiminnan kannalta elintärkeä.

Paikallinen puristuskestävyys päätylevyn ja konsolin välillä yhden uuman kohdalla

$$\frac{F_{Ed}}{2 \cdot F_{Rd,tot}} = 103.2\%$$

Paikallisen puristuskestävyyden käyttöaste konsolissa kahden uuman kohdalla. $F_{Rd,tot}$ on yhden uuman paikallinen puristuskestävyys

Putkikonsolin yhdistetty leikkaus- ja taivutusrasitus pilarin vaipan pinnassa

Tarkistetaan yhdistetty leikkaus- ja taivutusrasitus pilarin vaipan pinnassa, kun rasituksena on konsolille tulevan kuorman mitoitusarvo F_{Ed}

$$\rho := \begin{cases} 0 & \text{if } F_{Ed} \leq 0.5 \cdot V_{el,Rd} \\ \left(\frac{2V_{Ed}}{V_{el,Rd}} - 1 \right)^2 & \text{otherwise} \end{cases} \quad \rho = 0$$

$$M_{1,Ed} := F_{Ed} \cdot s_x = 14.657 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$W_{pl} := 582000 \cdot \text{mm}^3 = 582 \times 10^3 \cdot \text{mm}^3$$

$$M_{V,Rd} := W_{pl} \cdot \frac{(1 - \rho) f_y}{\gamma_{M0}} = 207 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$\frac{M_{1,Ed}}{M_{V,Rd}} = 7.1\%$$

Kuorman siirtäminen putkikonsolilta betonisisukselle

$$\tau_{Rd} := 0.55 \text{ MPa} \quad \text{tartuntajännitys SFS-EN 1994-1-1 taulukko 6-6}$$

$$L_{col} := 3.6 \cdot \text{m}$$

$$L_S := \min \left(2D_0, \frac{L_{col}}{3} \right) = 647.8 \cdot \text{mm} \quad \text{Kuormien siirtymisalueen pituus olla enintään } 2D_0 \text{ (tai pilarin pituuden kolmasosa)}$$

$$A_{eff} := \pi \cdot D_0 \cdot L_S = 659177 \cdot \text{mm}^2$$

$$V_{eff,max} := A_{eff} \cdot \tau_{Rd} = 363 \cdot \text{kN}$$

MRT:ssa konsolikuorma siirretään osin betonisisukselle (voima jaetaan teräsvaipan ja betonisisuksen aksiaalijäykkyyksien suhteessa)

$$N_{col,G,Ed} := 2000 \cdot \text{kN} \quad \text{pilarin normaalivoima MRT:ssa omista painosta}$$

$$N_{col,Ed} := 3000 \cdot \text{kN} \quad \text{pilarin normaalivoima MRT:ssa}$$

$$\varphi_t := 2$$

$$E_{c,eff} := \frac{E_{cm}}{1 + \frac{N_{col,G,Ed}}{N_{col,Ed}} \cdot \varphi_t} = 14571 \cdot \text{MPa}$$

$$A_s := 8 \cdot 201 \cdot \text{mm}^2 = 1608 \cdot \text{mm}^2$$

$$A_c := \frac{(\pi \cdot D_c)^2}{4} - A_s = 232308 \cdot \text{mm}^2$$

$$A_a := \frac{(\pi \cdot D_0)^2}{4} - \frac{(\pi \cdot D_c)^2}{4} = 24942 \cdot \text{mm}^2$$

$$EA_a := E_a \cdot A_a = 5.24 \times 10^9 \text{ N}$$

$$EA_{\text{eff}} := 0.9 \cdot (E_a \cdot A_a + E_s \cdot A_s + E_{c,\text{eff}} \cdot A_c) = 8.05 \times 10^9 \text{ N}$$

$$R_{\text{Ed}} := F_{\text{Ed},1} + F_{\text{Ed},2} = 733 \cdot \text{kN} \quad \text{kerroksesta MRT:ssa tuleva tukireaktio (molemmilta konsoleilta)}$$

$$\tau_{\text{Ed}} := R_{\text{Ed}} \cdot E_a \cdot \frac{t_0}{L_S} \cdot \left(\frac{1}{EA_a} - \frac{1}{EA_{\text{eff}}} \right) = 0.127 \cdot \text{MPa} \quad \text{TRY/by 58 kohdan 3.5.2.2. mukainen kaava}$$

$$\frac{\tau_{\text{Ed}}}{\tau_{\text{Rd}}} = 23. \%$$



Putkikonsolin hitsien mitoitus murtorajatilassa



Liittopilarin teräsvaipan ja Putkikonsolin välinen hitsi on aina läpihitsattu puoli-V railo, jonka kestävyys on SFS-EN 1993-1-8 kohdan 4.7.1 mukaisesti sama kuin heikoimman liitettävän osan kestävyys. Jos hitsi on heikompi, eivät SFS-EN 1993-1-8 liitosmitoituskaavat ole sellaisenaan voimassa.

Muut hitsit mitoitetaan liitoksissa oleville voimille. Hitsien mitoitusta ei käsitellä tässä esimerkissä.



5. Kestävyys palotilanteessa, kuormitus IV

Putkikonsolin kestävyys palotilanteessa

Putkikonsolin palotilanteen lämpötila riippuu käytetystä palosuojauksesta ja tulipalon kestosta. Tässä esimerkissä Putkikonsolin kaikkien osien lämpötilaksi oletetaan 500 °C

$$k_{y,\theta} := 0.78 \quad \text{SFS 1993-1-2 Taulukko 3.1}$$

$$f_{y,\theta} := k_{y,\theta} \cdot f_y = 276.9 \cdot \text{MPa}$$

Palkin päätylevyn kestävyys palotilanteessa (leikkauskestävyys / palamurtuminen)

$$A_{nv} = 2000 \cdot \text{mm}^2$$

$$V_{B,\text{fi},\text{Rd}} := 2A_{nv} \cdot \frac{f_{y,\theta}}{\sqrt{3}} = 639 \cdot \text{kN}$$

$$F_{\text{fi},\text{Ed}} = 226.44 \cdot \text{kN}$$

$$\frac{F_{\text{fi},\text{Ed}}}{V_{B,\text{fi},\text{Rd}}} = 35.4. \%$$

Palkin päätylevyn taivutuskestävyys palotilanteessa (tukireaktion siirtäminen palkin uumilta konsolipuukon keskelle)

$$W_{B,\text{el}} = 50000 \cdot \text{mm}^3$$

$$M_{B,\text{fi},\text{Rd}} := W_{B,\text{el}} \cdot f_{y,\theta} = 14 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{B,\text{fi},\text{Ed}} := \frac{F_{\text{fi},\text{Ed}}}{2} \cdot \left(\frac{b_{\text{beam}}}{2} - \frac{b_B}{2} \right) = 5.5 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$\frac{M_{B,\text{fi},\text{Ed}}}{M_{B,\text{fi},\text{Rd}}} = 39.7. \%$$

Putkikonsolin ja palkin päätylevyn välinen paikallinen puristuskestävyys palotilanteessa (palkin tukireaktiolle)

Palkin päätylevyn paikallinen puristuskestävyys palotilanteessa

$$F_{fi.Rd.B} := 2 \cdot t_B \cdot b_{eff.B} \cdot f_{y,\theta} = 0.332 \cdot \text{MN} \quad \text{Paikallinen puristuskestävyys päätylevyssä}$$

Konsolin yläreunan paikallinen puristuskestävyys palotilanteessa

$$F_{fi.Rd.pla} := 2 \cdot t \cdot b_{eff.pla} \cdot f_{y,\theta} = 0.277 \cdot \text{MN} \quad \text{Paikallinen puristuskestävyys konsolissa}$$

Paikallinen puristuskestävyys päätylevyn ja konsolin välillä palotilanteessa

$$F_{fi.Rd.tot} := \min(F_{fi.Rd.B}, F_{fi.Rd.pla}) = 0.277 \cdot \text{MN}$$

$$\frac{F_{fi.Ed}}{F_{fi.Rd.tot}} = 81.8\%$$

Putkikonsolin leikkauskestävyys palotilanteessa

$$V_{el.fi.Rd} := A_v \cdot \frac{f_{y,\theta}}{\sqrt{3}} = 725 \cdot \text{kN}$$

$$V_{fi.Ed} := F_{fi.Ed}$$

$$\frac{V_{fi.Ed}}{V_{el.fi.Rd}} = 31.2\%$$

Kuorman siirtäminen putkikonsolilta betonisisukselle palotilanteessa

$$R_{fi.Ed} := 2 \cdot F_{fi.Ed} = 453 \cdot \text{kN} \quad \text{kerroksesta palossa tuleva tukireaktio (molemmilta konsoleilta)}$$

$$\gamma_v := 1.25$$

$$d_{st} := 20 \cdot \text{mm} \quad h_{st} := 40 \cdot \text{mm}$$

Mitoituskaavat on esitetty TRY/by 58 kohdassa 3.5.3.2

$$\alpha := 0.2 \cdot \left(\frac{h_{st}}{d_{st}} + 1 \right) = 0.6$$

Kaavojen rajoitukset:

Tapin pituus vähintään 2*tapin halkaisija, aina kuitenkin vähintään 30 mm

Tapin halkaisija enintään 3*pilarin vaipan paksuus

tapin nimellislujuus enintään 500MPa

$$P_{1.Rd} := \frac{(f_u \cdot \pi)}{\gamma_v} \cdot \frac{d_{st}^2}{4} = 128177 \text{ N}$$

$$P_{2.Rd} := 0.29 \cdot \alpha \cdot d_{st}^2 \sqrt{f_{ck} \cdot E_{cm}} = 75925 \text{ N}$$

$$P_{Rd} := \min(P_{1.Rd}, P_{2.Rd}) = 75925 \text{ N}$$

$$\frac{R_{fi.Ed}}{P_{Rd}} = 5.965$$

tarvitaan vähintään 6 kannatonta tappia siirtämään yhdestä kerroksesta tuleva palotilanteen tukireaktio betonisisukselle

6. Jatkuvan sortuman esto

Konsoliliitoksen yläpuolelle hitsataan palkkien selkään jatkuvasta sortumasta aiheutuvan sidevoiman kestävä latta, joka vieään liittopilarin lävitse. Mitoitusta ei käsitellä tässä esimerkissä.