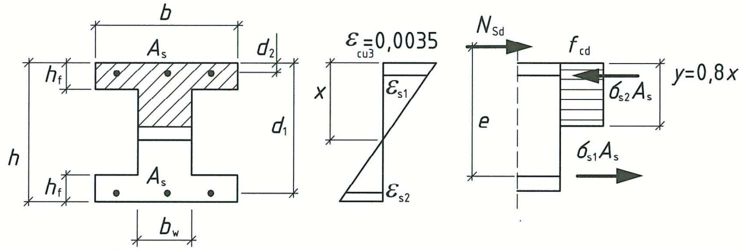


Joonis 10.51. *Sümmeetrilise ribiplaatristlõike deformatsiooni- ja pingejaotus*

Arvutuslik nulljoon ülemises töös

Kui arvutuslik nulljoon on ülemises töös, siis $x \le 1{,}25h_f$ ja survetsooni kõrgus

$$x = \frac{N_{Ed}}{0{,}8 f_{cd} b} \qquad (10.178)$$

Tugevuskontroll tehakse p 10.10.1 järgi nagu sümmeetrilise armatuuriga ristkülikristlõikele, mille laiuseks on ribiplaatristlõike töö laius b.

Arvutuslik nulljoon ribis

Kui arvutuslik nulljoon on ribis, siis $1{,}25h_f < x \le 1{,}25(h - h_f)$

Abisuurused.

$$\alpha_s = \frac{f_{yd}\rho}{f_{cd}} \qquad \alpha_{sc,u} = \frac{\sigma_{sc,u}\rho}{f_{cd}} \qquad \alpha_n = \frac{N_{Ed}}{f_{cd} b_w d_1}$$

$$\alpha_{0v} = \frac{(b - b_w)h_f}{b_w d_1} \qquad \rho = \frac{A_s}{b_w d_1} \qquad A_{ov} = (b - b_w)h_f$$

Tugevustingimuseks on:

$$(Ne)_{Ed} \le (Ne)_{Rd} = f_{cd} b_w y(d_1 - 0{,}5y) +$$
$$+ f_{cd} A_{ov}(d_1 - 0{,}5h_f) + \sigma_{s2} A_s (d_1 - d_2) \qquad (10.179)$$

Kui valemist (10.178) $x > 1{,}25h_f$, siis määratakse survetsooni kõrgus valemiga

$$x = \frac{N_{Ed} - f_{cd} A_{ov}}{0{,}8 f_{cd} b_w} \qquad (10.180)$$

a) Valemist (10.180) $x \le \xi_c d_1$

a1) Kui $x \ge \xi_{c2} d_2$, on tugevustingimuses (10.179) $\sigma_{s2} = f_{ycd}$

a2) Kui $x < \xi_{c2} d_2$, siis survetsooni täpsustatud kõrgus $x = \xi d_1$, kus

$$\xi = \lambda_1 + \sqrt{\lambda_1^2 + \lambda_2} \qquad (10.99)$$

$$\lambda_1 = 0{,}625(\alpha_n - \alpha_{ov} + \alpha_s - \alpha_{sc,u}) \qquad (10.181)$$

$$\lambda_2 = 1{,}25\,\alpha_{sc,u}\delta_d \qquad (10.182)$$

tugevustingimus $\sigma_{s2} = \sigma_{sc,u}(1 - d_2/x)$ (10.105)

b) Valemist (10.180) $x > \xi_c d_1$

b1) Kui $x \ge \xi_{c2} d_2$, siis võetakse ξ määramisel valemis (10.99)

$$\lambda_1 = 0{,}625(\alpha_n - \alpha_{ov} - \alpha_s - \alpha_{sc,u}) \qquad (10.183)$$

$$\lambda_2 = 1{,}25\alpha_{sc,u} \qquad (10.184)$$

tugevustingimuses (10.179) $\sigma_{s2} = f_{ycd}$

b2) Kui $x < \xi_{c2} d_2$, siis leitakse ξ samuti valemiga (10.99), kus

$$\lambda_1 = 0{,}625(\alpha_n - \alpha_{ov} - 2\alpha_{sc,u}) \qquad (10.185)$$

$$\lambda_2 = 1{,}25\alpha_{sc,u}(1 + \delta_d) \qquad (10.186)$$

tugevustingimus $\sigma_{s2} = \sigma_{sc,u}(1 - d_2/x)$ (10.105)

Arvutuslik nulljoon alumises töös

Kui arvutuslik nulljoon on ristlõike alumises töös, siis $1{,}25(h - h_f) < x \le 1{,}25h$.

Abisuurused.

$$\alpha'_s = \frac{f_{yd}\rho}{f_{cd}} \qquad \alpha'_{sc,u} = \frac{\sigma_{sc,u}\rho}{f_{cd}} \qquad \alpha'_n = \frac{N_{Ed}}{f_{cd} b d_1}$$

$$\alpha'_{ov} = \frac{A'_{ov}}{b d_1} \qquad \rho = \frac{A_s}{b d_1} \qquad A'_{ov} = (b - b_w)(h - 2h_f)$$

Tugevustingimus on:

$$(Ne)_{Ed} \le (Ne)_{Rd} = f_{cd} by(d_1 - 0{,}5y) -$$
$$- f_{cd} A'_{ov}(d_1 - 0{,}5h) + \sigma_{s2} A_s (d_1 - d_2) \qquad (10.187)$$

Survetsooni kõrgus määratakse valemiga

$$x = \frac{N_{Ed} + f_{cd} A'_{ov}}{0{,}8 f_{cd} b} \qquad (10.188)$$

a) Valemist (10.188) saadud $x \le \xi_c d_1$

a1) Kui $x \ge \xi_{c2} d_2$, on tugevustingimuses (10.187) $\sigma_{s2} = f_{ycd}$

a2) Kui $x < \xi_{c2} d_2$, siis survetsooni täpsustatud kõrgus $x = \xi d_1$, kus

ξ arvutatakse valemiga (10.99);

$$\lambda_1 = 0{,}625(\alpha'_n + \alpha'_{ov} + \alpha'_s - \alpha'_{sc,u}) \qquad (10.189)$$

$$\lambda_2 = 1{,}25\alpha'_{sc,u}\delta_d \qquad (10.190)$$

tugevustingimuses (10.187) $\sigma_{s2} = \sigma_{sc,u}(1 - d_2/x)$ (10.105)

b) Valemist (10.188) saadud $x > \xi_c d_1$

b1) Kui $x \ge \xi_{c2} d_2$, on survetsooni kõrgus $x = \xi d_1$, kus ξ leitakse valemiga (10.99) ja

$$\lambda_1 = 0{,}625(\alpha'_n + \alpha'_{ov} - \alpha'_s - \alpha'_{sc,u}) \qquad (10.191)$$

$$\lambda_2 = 1{,}25\alpha'_{sc,u} \qquad (10.192)$$

tugevustingimuses (10.187) $\sigma_{s2} = f_{ycd}$

b2) Kui $x < \xi_{c2} d_2$, on survetsooni kõrgus $x = \xi d_1$, kus ξ leitakse valemiga (10.99) ja

$$\lambda_1 = 0{,}625(\alpha'_n + \alpha'_{ov} - 2\alpha'_{sc,u}) \qquad (10.193)$$

$$\lambda_2 = 1{,}25\alpha'_{sc,u}(1 + \delta_d) \qquad (10.194)$$

tugevustingimuses (10.187)

$$\sigma_{s2} = \sigma_{sc,u}(1 - d_2/x) \qquad (10.105)$$

Kogu ristlõige surutud

Kui arvutuslik survetsoon hõlmab kogu ristlõike, siis survetsooni kõrgus $x > 1{,}25h$.

Ristlõike kandevõime on tagatud, kui on rahuldatud mõlemad tingimused:

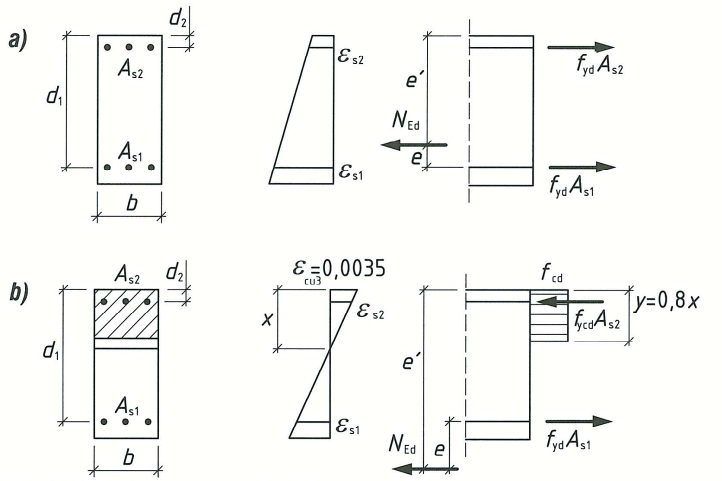
$$N_{Ed} \le N_{Rd,0} = f_{cd} A_{c0} + 2 f_{ycd} A_s \qquad (10.195)$$

$$M_{Ed} \le M_{Rd} = \eta f_{cd} S_{c0} +$$
$$+ f_{ycd} A_s (d_1 - d_2) - N_{Ed}(d_1 - h/2) \qquad (10.196)$$

kus $S_{c0} = hb_w(d - 0{,}5h) + (b - b_w)h_f(d - 0{,}5h_f)$ (10.91′)

10.11. TÕMME

Vaadeldakse ristkülikristlõiget, mille pikiarmatuur paikneb elemendi sümmeetriapinnaga risti olevate välispindade läheduses (joonis 10.52).



Joonis 10.52. *Tõmmatud ristlõike deformatsiooni- ja pingejaotus. a – väike ekstsentrilisus, b – suur ekstsentrilisus*

Ristlõige võib olla tõmmatud:

- tsentriliselt – pikijõud mõjub elemendi teljel;
- väikese ekstsentrilisusega – pikijõud mõjub tõmbe- ja survetsooni pikiarmatuuri resultantjõu rakenduspunktide vahel ($e' \le d_1 - d_2$, joonis 10.52, *a*);
- suure ekstsentrilisusega – pikijõud ei asu tõmbe- ja survetsooni pikiarmatuuri resultantjõu rakenduspunktide vahel ($e' > d_1 - d_2$, joonis 10.52b).

Suure ekstsentrilisuse korral vastab arvutus punkti 10.8 üldsätetele. Erinevalt punktist 10.8 käsitletakse elemente, kus betooni tugevusklass ei ole suurem kui C50/60 ja $f_{ck} \le 50$ MPa, $\lambda = 0{,}8$, $\eta = 1{,}0$, $\varepsilon_{cu3} = 0{,}0035$.

Abisuurused.

x survetsooni kõrgus

$y = 0{,}8x$ survetsooni arvutuskõrgus

ξ, ω ja μ vt tabel 10.25

$\delta_d = \dfrac{d_2}{d_1}$

$\sigma_{sc,u} = 700$ MPa

α_{s1}, $\alpha_{s1c,u}$, α_{s2c} ja $\alpha_{s2c,u}$ vt valemid (10.95)

ξ_c, ξ_{c2}, ω_c ja μ_c vt tabel 10.24.

10

Tsentriliselt tõmmatud ristlõige

Tugevustingimus on:

$$N_{Ed} \le N_{Rd} = f_{yd} A_s \qquad (10.197)$$

kus A_s kogu pikiarmatuuri ristlõikepindala

Väikese ekstsentrilisusega tõmmatud ristlõige

Antud ekstsentrilisuse $e_0 = M_{Ed}/N_{Ed}$ korral on pikijõu ekstsentrilisus armatuuri A_{s2} suhtes $e' = e_0 + 0{,}5h - d_2$ ja armatuuri A_{s1} suhtes $e = 0{,}5h - e_0 = d_1 - e'$.

Kandevõime tagamiseks peavad olema rahuldatud tingimused

$$(Ne')_{Ed} \le (Ne')_{Rd} = f_{yd} A_{s1}(d_1 - d_2) \qquad (10.198)$$

$$(Ne)_{Ed} \le (Ne)_{Rd} = f_{yd} A_{s2}(d_1 - d_2) \qquad (10.199)$$

Suure ekstsentrilisusega tõmmatud ristlõige

Antud ekstsentrilisuse e_0 korral

$e = 0{,}5h + e_0 - d_1$

Tugevustingimus on

$$(Ne)_{Ed} \le (Ne)_{Rd} = f_{cd} b y (d_1 - 0{,}5y) + + \sigma_{s2} A_{s2}(d_1 - d_2) \qquad (10.200)$$

Ristlõike tugevuskontroll toimub olenevalt survetsooni kõrgusest

$$x = \frac{f_{yd} A_{s1} - f_{ycd} A_{s2} - N_{Sd}}{0{,}8 f_{cd} b} \qquad (10.201)$$

a) $x \le \xi_c d_1$

a1) Kui $x \ge \xi_{c2} d_2$, siis tugevustingimuses (10.200) $\sigma_{s2} = f_{ycd}$

a2) Kui $x < \xi_{c2} d_2$, siis survetsooni täpsustatud kõrgus $x = \xi d_1$, kus

$$\xi = \lambda_1 + \sqrt{\lambda_1^2 + \lambda_2} \qquad (10.99)$$

$$\lambda_1 = 0{,}625(-\alpha_n + \alpha_{s1} - \alpha_{s2c,u}) \qquad (10.202)$$

$$\lambda_2 = 1{,}25\, \alpha_{s2c,u} \delta_d \qquad (10.113)$$

$$\sigma_{s2} = \sigma_{sc,u}(1 - d_2/x) \qquad (10.105)$$

Kui valemist (10.201) $x < 0$, tehakse tugevuskontroll valemiga (10.198).

b) Kui valemist (10.201) $x > \xi_c d_1$, siis survetsooni kõrgus $x = \xi d_1$, kus ξ leitakse valemiga (10.99).

b1) Kui $x \ge \xi_{c2} d_2$, siis

$$\lambda_1 = -0{,}625(\alpha_n + \alpha_{s2c} + \alpha_{s1c,u}) \qquad (10.203)$$

$$\lambda_2 = 1{,}25\, \alpha_{s1c,u} \qquad (10.116)$$

tugevustingimuses (10.198) $\sigma_{s2} = f_{ycd}$

b2) Kui $x < \xi_{c2} d_2$, siis

$$\lambda_1 = 0{,}625(-\alpha_n - \alpha_{s1c,u} - \alpha_{s2c,u}) \qquad (10.204)$$

$$\lambda_2 = 1{,}25(\alpha_{s1c,u} + \alpha_{s2c,u}\delta_d) \qquad (10.147)$$

tugevustingimuses $\sigma_{s2} = \sigma_{sc,u}(1 - d_2/x)$ (10.105)

Kui valemist (10.201) $x > \xi_c d_1$, siis võib kandevõimet kontrollida ka valemiga (10.200), võttes seal $y = 0{,}8\xi_c d_1$ ja $\sigma_{s2} = f_{ycd}$.

Sümmeetrilise armeerimise korral võetakse ülaltoodud valemites $A_{s1} = A_{s2} = A_s$ ja $\rho_1 = \rho_2 = \rho$. Kandevõimet võib sel juhul kontrollida ka valemiga (10.198), sõltumata ekstsentrilisuse e' suurusest.

Armatuuri dimensioonimine

Arvutus oleneb pikijõu asukohast.

a) $e' \le d_1 - d_2$

$$A_{s1} = \frac{N_{Ed} e'}{f_{yd}(d_1 - d_2)} \qquad (10.205)$$

$$A_{s2} = \frac{N_{Ed} e}{f_{yd}(d_1 - d_2)} \qquad (10.206)$$

b) $e' > d_1 - d_2$

$$A_{s1} = \frac{\omega f_{cd} b d_1 + N_{Ed}}{f_{yd}} + A_{s2}\frac{f_{ycd}}{f_{yd}} \qquad (10.207)$$

kus ω võetakse tabelist 10.25 sõltuvalt tegurist

$$\mu = \frac{N_{Ed} e - f_{ycd} A_{s2}(d_1 - d_2)}{f_{cd} b d_1^2} \qquad (10.208)$$

Kui valemist (10.208) $\mu > \mu_c$ (μ_c vt. tabel 10.24), siis tuleb suurendada survearmatuuri ristlõikepinda, ristlõike mõõtmeid või betooni klassi. Kui $\mu < 0$, siis määratakse armatuuri A_{s1} pindala valemiga (10.205).

Sümmeetrilise armeerimise korral võib armatuuri ristlõikepindala leida valemiga (10.205) sõltumata ekstsentrilisuse e' suurusest.

10.12. NOMOGRAMMID SÜMMEETRILISE RISTLÕIKE ARVUTAMISEKS

Sümmeetrilise armatuuriga ristkülikristlõige: normaaljõud ja paindemoment

Joonistel 10.53...10.57 vaadeldakse sümmeetrilise armatuuriga ($A_{s1} = A_{s2}$) painutatud, surutud või tõmmatud ristkülikristlõiget, kus pikijõud mõjub elemendi sümmeetriatasandis. Nomogrammid võimaldavad antud armatuuri $A_{s,tot} = A_{s1} + A_{s2}$ järgi kontrollida ristlõike kandevõimet ja antud arvutusliku paindemomendi M_{Ed} ning normaaljõu N_{Ed} järgi leida vajalikku pikiarmatuuri kogupindala $A_{s,tot}$. Nomogrammid on koostatud, lähtudes betooni parabool-lineaarsest pinge-deformatsiooni diagrammist ja armatuuri piirdeformatsioonist $\varepsilon_{ud} = 0{,}02$. Nomogrammid on võetud abivahendist /15/.

Sümmeetrilise armatuuriga ristkülikristlõige: normaaljõud ja viildakpaine

Joonisel 10.58 vaadeldakse ristlõike nurkades paikneva sümmeetrilise armatuuriga ristlõiget, milles mõjub mõlema peatelje suhtes ekstsentriline pikisurvejõud. Nomogramm võimaldab antud arvutuslike paindemomentide M_{Edy} ja M_{Edz} ning normaaljõu N_{Ed} järgi hinnata vajalikku pikiarmatuuri kogupindala $A_{s,tot}$. Nomogramm on koostatud, lähtudes betooni parabool-lineaarsest pinge-deformatsiooni diagrammist ja armatuuri piirdeformatsioonist $\varepsilon_u = 0{,}02$. Nomogramm on võetud abivahendist /15/.

10

Ekstsentriliselt surutud ümarristlõige

Joonistel 10.59 kuni 10.63 toodud nomogrammid võimaldavad ristlõike perimeetril ühtlaselt jaotuva pikiarmatuuri $A_{s,tot}$ järgi kontrollida ristlõike kandevõimet ja antud arvutusliku paindemomendi M_{Ed} ning normaaljõu N_{Ed} järgi leida vajalikku armatuuri pindala $A_{s,tot}$. Nomogrammid on võetud kogumikust /16/.

Seoses standardi EN 1992-1-1:2007 rakendumisega on nomogrammidega määratud tulemused usaldusväärsed betooni normsurvetugevuse $f_{ck} \le 50$ MPa (betooni tugevusklass kuni C50/60) korral.