

Nulljoon asub plaadis

Survetsoonis asuva plaadiga ribiplaatristlõike arvutus sõltub nulljoone asukohast.

Kui

$$A_{s1}f_{yd} \leq f_{cd}bh_f + f_{ycd}A_{s2} \quad (10.134)$$

või

$$M_{Ed} \leq f_{cd}bh_f(d_1 - 0,5h_f) + f_{ycd}A_{s2}(d_1 - d_2) \quad (10.135)$$

siis asub nulljoon plaadis ja ristlõiget arvutatakse täisnurkse ristlõikenäitega b (joonis 10.49, a).

Nulljoon asub ribis

Kui tingimus (10.134) või (10.135) pole täidetud, asub nulljoon ribis ja ristlõike tugevustingimused on

$$M_{Ed} \leq M_{Rd} = f_{cd}b_w y(d_1 - 0,5y) + f_{cd}(b - b_w)h_f(d_1 - 0,5h_f) + f_{ycd}A_{s2}(d_1 - d_2) \quad (10.136)$$

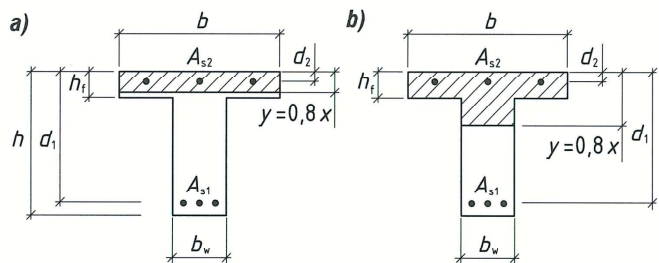
Survetsooni arvutuskõrgus leitakse valemiga

$$y = \frac{f_{yd}A_{s1} - f_{ycd}A_{s2} - f_{cd}(b - b_w)h_f}{f_{cd}b_w} \quad (10.137)$$

Kui valemist (10.137) $y > \omega_c d_1$, võib tugevustingimuseks võtta

$$M_{Ed} \leq M_{Rd} = \mu_c f_{cd}b_w d_1^2 + f_{cd}(b - b_w)h_f(d_1 - 0,5h_f) + f_{ycd}A_{s2}(d_1 - d_2) \quad (10.138)$$

Mõnevõrra suurem kandevõime saadakse, arvutades ristlõiget p 10.8 järgi.



Joonis 10.49. Ribiplaatristlõike nulljoone asend. a – plaadis, b – ribis

Armatuuri A_{s2} dimensioonimine

$$A_{s2} = \frac{M_{Ed} - \mu_c f_{cd} b d_1^2 - f_{cd}(b - b_w)h_f(d_1 - 0,5h_f)}{f_{ycd}(d_1 - d_2)} \quad (10.139)$$

Kui $A_{s2} < 0$, siis pole arvutuslik survearmatuur vajalik.

Armatuuri A_{s1} dimensioonimine

$$A_{s1} = \frac{\omega f_{cd} b_w d_1 + f_{cd}(b - b_w)h_f + f_{ycd}A_{s2}}{f_{yd}} \quad (10.140)$$

kus ω määratakse tabelist 10.25 sõltuvalt tegurist

$$\mu = \frac{M_{Ed} - f_{cd}(b - b_w)h_f(d_1 - 0,5h_f) - f_{ycd}A_{s2}(d_1 - d_2)}{f_{cd}b_w d_1^2} \leq \mu_c \quad (10.141)$$

Kui A_{s2} on määratud valemiga (10.139), siis valemis (10.140) $\omega = \omega_c$.

10.10. SURVE

Vaadeldakse sümmeetriapinnas mõjuva pikijõuga ristkülikristlõikega (joonis 10.50) või ribiplaatristlõikega (joonis 10.51) elementi, mille pikiaratuur on koondatud surutud ja tõmmatud serva juurde. Arvutus vastab punkti 10.8 üldsätetele. Erinevalt punktist 10.8 käsitletakse elemente, kus betooni tugevusklass ei ole suurem kui C50/60 ja $f_{ck} \leq 50$ MPa, $\lambda = 0,8$, $\eta = 1,0$, $\varepsilon_{cu3} = 0,0035$.

Elemendi kandevõime arvutamisel tuleb punkti 10.7 järgi arvesse võtta hälvetest põhjustatud lisakstsentrilisust e_i ning $\lambda > \lambda_{lim}$ korral ka teist järku paindemomenti. Arvutuslik paindemoment ristlõikes

$$M_{Ed} = M_{0Ed} + M_2 = N_{Ed}e_{tot}$$

kus $M_{0Ed} = N_{Ed}e_0$ esimest järku paindemoment koos hälvete mõjuga

$$M_2 = N_{Ed}e_2 \quad \text{teist järku paindemoment}$$

$$e_0 = e_{10} + e_i \quad \text{esimest järku ekstsentrilisus}$$

$$e_{tot} = e_0 + e_2 \quad \text{pikijõu üldine ekstsentrilisus}$$

Ristlõike tugevusarvutusel ei võeta üldist ekstsentrilisust e_{tot} väiksemaks kui 20 mm või $h/30$, kus h on ristlõike kõrgus.

Ristkülikulise ja sümmeetrilise ribiplaatristlõike pikijõu ekstsentrilisuseks armatuuri A_{s1} raskuskeskme suhtes võib võtta

$$e = e_{tot} + d_1 - 0,5h \quad \text{või} \quad e = e_{tot} + d_1 - x_p$$

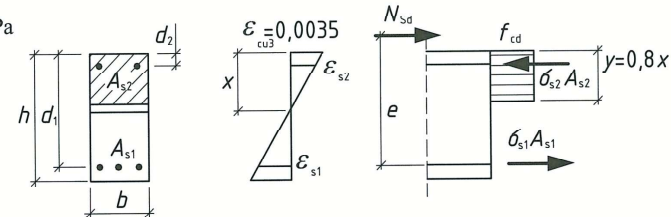
Abisuurused.

x survetsooni kõrgus,

$y = 0,8x$ survetsooni arvutuskõrgus.

$\xi_c, \xi_{c2}, \omega_c$ ja μ_c vt tabel 10.24.

$$\delta_d = \frac{d_2}{d_1}; \sigma_{sc,u} = 700 \text{ MPa}$$



Joonis 10.50. Surutud täisnurkse ristlõike deformatsiooni- ja pingegaotus

10.10.1. Ristkülikristlõige

Ebasümmeetrilise armatuuriga ristlõige

Kandevõime kontroll

Abisuurused α_{s1} , $\alpha_{s1c,u}$, α_{s2c} ja $\alpha_{s2c,u}$ vt valemid (10.95), α_n vt valem (10.97)

Kandevõime kontrollil on tugevustingimus (joonis 10.50):

$$(Ne)_{Ed} \leq (Ne)_{Rd} = f_{cd}by(d_1 - 0,5y) + \sigma_{s2}A_{s2}(d_1 - d_2) \quad (10.142)$$

Ristlõike kontroll toimub olenevalt survetsooni kõrgusest

$$x = \frac{f_{yd}A_{s1} - f_{ycd}A_{s2} + N_{Ed}}{0,8f_{cd}b} \quad (10.143)$$

a) $x \leq \xi_c d_1$

a1) kui $x \geq \xi_{c2} d_2$, siis tugevustingimuses (10.142) $\sigma_{s2} = f_{ycd}$

a2) kui $x < \xi_{c2} d_2$, siis $\sigma_{s2} < f_{ycd}$ ja survetsooni täpsustatud kõrgus $x = \xi d_1$, kus

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

$$\lambda_1 = 0,625(\alpha_n + \alpha_{s1} - \alpha_{s2c,u}) \quad (10.144)$$

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

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

b) $x > \xi_c d_1$

Survetsooni suhtelise kõrguse ξ täpsustatud suurus leitakse valemiga (10.99), võttes seal

$$\lambda_1 = 0,625(\alpha_n - \alpha_{s2c} - \alpha_{s1c,u}) \quad (10.145)$$

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

b1) Kui $x \geq \xi_{c2}$, siis tugevustingimuses (10.142)

$$\sigma_{s2} = f_{ycd}$$

b2) Kui $x < \xi_{c2}d_2$, siis võetakse survetsooni kõrguse ξ täpsustamiseks valemis (10.99)

$$\lambda_1 = 0,625(\alpha_n - \alpha_{s1c,u} - \alpha_{s2c,u}) \quad (10.146)$$

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

σ_{s2} tugevustingimuses (10.142) leitakse valemiga (10.105).

c) Kui punkti (b) järgi arvatud $x > 1,25h$, siis peavad kandevõime tagamiseks olema samaaegselt rahuldatud tingimused:

$$N_{Ed} \leq N_{Rd,0} = f_{cd}bh + f_{ycd}A_{s2}(A_{s2} + A_{s1}) \quad (10.148)$$

$$M_{Ed} \leq M_{Rd} = f_{cd}bh(d_1 - h/2) +$$

$$+ f_{ycd}A_{s2}(d_1 - d_2) - N_{Ed}(d_1 - x_p) \quad (10.149)$$

$$\text{kus } x_p = \frac{f_{cd}bh^2/2 + f_{ycd}A_{s2}d_2 + f_{yd}A_{s1}d_1}{f_{cd}bh + f_{ycd}(A_{s1} + A_{s2})}$$

Armatuuri dimensioonimine

Surve- ja tõmbearmatuuri ristlõikepindala on määratav järgmistele valemitega.

a) Kui $\mu_c \geq 0,4$:

$$A_{s2} = \frac{(Ne)_{Ed} - 0,4f_{cd}bd_1^2}{f_{ycd}(d_1 - d_2)} \quad (10.150)$$

$$A_{s1} = \frac{0,55f_{cd}bd_1 - N_{Ed}}{f_{yd}} + A_{s2} \frac{f_{ycd}}{f_{yd}} \quad (10.151)$$

b) Kui $\mu_c < 0,4$:

$$A_{s2} = \frac{(Ne)_{Ed} - \mu_c f_{cd}bd_1^2}{f_{ycd}(d_1 - d_2)} \quad (10.152)$$

$$A_{s1} = \frac{\omega_c f_{cd}bd_1 - N_{Ed}}{f_{yd}} + A_{s2} \frac{f_{ycd}}{f_{yd}} \quad (10.153)$$

c) Kui valemitega (10.151) või (10.153) saadud $A_{s1} < 0$, siis võetakse A_{s1} lähtudes konstruktiivsetest nõuetest, kuid mitte vähemana suurusel $A_{s1,min}$:

$$A_{s1,min} = \frac{N_{Ed}(d_1 - d_2 - e) - f_{cd}bh(0,5h - d_2)}{f_{ycd}(d_1 - d_2)} \quad (10.154)$$

Kui valemist (10.154) $A_{s1,min} > 0$, siis

$$A_{s2} = \frac{N_{Ed} - f_{cd}bh}{f_{ycd}} - A_{s1,min} \quad (10.155)$$

Kui $A_{s1,min} < 0$, siis võib leida A_{s2} valemiga

$$A_{s2} = \frac{(N_{Ed} - f_{cd}bd_2) - \sqrt{(N_{Ed} - f_{cd}bd_2)^2 - N_{Ed}[N_{Ed} - 2f_{cd}b(d_1 - e)]}}{f_{ycd}} \quad (10.156)$$

Kui tegelik survearmatuuri pindala $A_{s2, fact}$ on oluliselt suurem valemiga (10.150) või (10.152) leitud (samuti negatiivse A_{s2} korral), siis võib tõmbearmatuuri pindala leida valemiga

$$A_{s1} = \frac{\omega f_{cd}bd_1 - N_{Ed} + f_{ycd}A_{s2, fact}}{f_{yd}} \quad (10.157)$$

kus ω võetakse tabelist 10.25 sõltuvalt tegurist

$$\mu = \frac{(Ne)_{Ed} - f_{ycd}A_{s2, fact}(d_1 - d_2)}{f_{cd}bd_1^2} \quad (10.158)$$

Kui survearmatuuri ei ole või seda ei võeta arvutuses arvesse, siis määratakse tõmbearmatuuri ristlõikepindala valemiga (10.157), kusjuures peab olema rahuldatud tingimus $\mu < \mu_c$.

Sümmeetrilise armatuuriga ristlõike

Arvutuses eeldatakse, et:

$$A_s = A_{s1} = A_{s2} \quad d_2 = h - d_1 \quad f_{yd} = f_{ycd}$$

$$\alpha_s = \frac{f_{yd}\rho}{f_{cd}} \quad \alpha_{sc,u} = \frac{\sigma_{sc,u}\rho}{f_{cd}}$$

$$\alpha_n = \frac{N_{Ed}}{f_{cd}bd_1} \quad \alpha_m = \frac{(Ne)_{Ed}}{f_{cd}bd_1^2}$$

$$\rho = \frac{A_s}{bd_1} \quad \delta_d = \frac{d_2}{d_1} \quad \delta_h = \frac{h}{d_1}$$

Kandevõime kontroll

Tugevustingimused on:

$$(Ne)_{Ed} \leq (Ne)_{Rd} = f_{cd}by(d_1 - 0,5y) + \sigma_{s2}A_s(d_1 - d_2) \quad (10.159)$$

kus $y = 0,8x$

Arvutus toimub olenevalt survetsooni kõrgusest

$$x = \frac{N_{Ed}}{0,8f_{cd}b} \quad (10.160)$$

a) $x \leq \xi_{c1}d_1$

a1) Kui $x \geq \xi_{c2}d_2$, siis tugevustingimuses (10.159)

$$\sigma_{s2} = f_{ycd}$$

a2) Kui $x < \xi_{c2}d_2$, siis $\sigma_{s2} < f_{ycd}$ ja survetsooni täpsustatud kõrgus $x = \xi d_1$, kus

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

$$\lambda_1 = 0,625(\alpha_n + \alpha_s - \alpha_{sc,u}) \quad (10.161)$$

$$\lambda_2 = 1,25\alpha_{sc,u}\delta_d \quad (10.162)$$

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

b) $x > \xi_{c1}d_1$

Survetsooni suhteline kõrgus leitakse valemiga (10.99), võttes seal

$$\lambda_1 = 0,625(\alpha_n - \alpha_s - \alpha_{sc,u}) \quad (10.163)$$

$$\lambda_2 = 1,25\alpha_{sc,u} \quad (10.164)$$

b1) Kui $\xi \geq \xi_{c2}$, siis tugevustingimuses (10.159)

$$\sigma_{s2} = f_{ycd}$$

b2) Kui $x < \xi_{c2}d_2$, siis võetakse survetsooni kõrguse ξ määramisel valemis (10.99)

$$\lambda_1 = 0,625(\alpha_n - 2\alpha_{sc,u}) \quad (10.165)$$

$$\lambda_2 = 1,25\alpha_{sc,u}(1 + \delta_d) \quad (10.166)$$

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

c) Kui punkti b) järgi arvatud $x > 1,25h$, siis peavad kandevõime tagamiseks olema samaaegselt rahuldatud tingimused

$$N_{Ed} \leq N_{Rd,0} = f_{cd}bh + f_{ycd}(A_{s2} + A_{s1}) \quad (10.167)$$

$$M_{Ed} \leq M_{Rd} = f_{cd}bh(d_1 - h/2) +$$

$$+ f_{ycd}A_{s2}(d_1 - d_2) - N_{Ed}(d_1 - x_p) \quad (10.168)$$

Armatuuri dimensioonimine

Sümmeetrilise armatuuri vajalik ristlõikepindala

$$A_s = \frac{f_{cd}bd_1}{f_{yd}}\alpha_s \quad (10.169)$$

kus α_s määratakse sõltuvalt survetsooni suhtelisest kõrgusest

$$\xi = \frac{N_{Ed}}{0,8f_{cd}bd_1} = 1,25\alpha_n \quad (10.170)$$

a) Kui $\xi \leq \xi_c$, siis

$$\alpha_s = \frac{\alpha_m - 0,8\xi(1 - 0,4\xi)}{1 - \delta_d} \quad (10.171)$$

b) Kui $\xi > \xi_c$, siis arvutatakse α_s valemiga (10.171), võttes ξ suuruseks

$$\xi = \frac{\alpha_n - \alpha_s(1 + \sigma_{sc,u}/f_{yd})}{1,6} + \sqrt{\left(\frac{\alpha_n - \alpha_s(1 + \sigma_{sc,u}/f_{yd})}{1,6}\right)^2 + 1,25\alpha_s \frac{\sigma_{sc,u}}{f_{yd}}} \quad (10.172)$$

Valemis (10.172) võib võtta

$$\alpha_s = \frac{\alpha_m - 0,8\xi(1 - 0,4\xi)}{1 - \delta_d} \quad (10.173)$$

$$\text{ja } \xi_1 = 0,5(\xi_c + 1,25\alpha_n) \quad (10.174)$$

Täpsemalt saab survetsooni suhtelise kõrguse ξ määrata järgmise kuupvõrrandi lahendina:

$$0,32(1 + f_{yd}/\sigma_{sc,u})\xi^3 - (1,12 + 0,8\delta_d f_{yd}/\sigma_{sc,u})\xi^2 + [0,8 + \alpha_m(1 + f_{yd}/\sigma_{sc,u}) - \alpha_n(1 - \delta_d)f_{yd}/\sigma_{sc,u}]\xi - \alpha_m = 0 \quad (10.175)$$

Pärast ξ leidmist määratakse α_s ja A_s valemitega (10.171) ja (10.169).

c) Kui valemist (10.172) $\xi > 1,25h/d_1$, siis leitakse A_s valemiga (10.169), võttes seal α_s võrdseks suuremaga parameetritest $\alpha_{s(1)}$ ja $\alpha_{s(2)}$:

$$\alpha_{s(1)} = \frac{\alpha_m - \delta_h(1 - 0,5\delta_h)}{1 - \delta_d} \quad (10.176)$$

$$\alpha_{s(2)} = \frac{\alpha_n - \delta_h}{2} \quad (10.177)$$

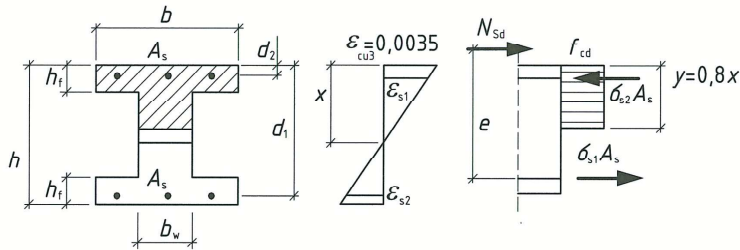
10.10.2. Sümmeetriline ribiplaatristlõige

Arvutuses eeldatakse, et:

$$A_s = A_{s1} = A_{s2} \quad d_2 = h - d_1$$

$$f_{yd} = f_{ycd} \quad \delta_h = \frac{h}{d_1}$$

Sümmeetrilise ristlõikega ja vöödesse koondatud sümmeetrilise pikiarmatuuriga ribiplaatristlõike (joonis 10.51) kandevõimet kontrollitakse olenevalt nulljoone asendist.



Joonis 10.51. Sümmetrilise ribiplaatristlõike deformatsiooni- ja pingeaotus

Arvutuslik nulljoon ülemises vöös

Kui arvutuslik nulljoon on ülemises vöös, siis $x \leq 1,25h_f$ ja survetsooni kõrgus

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

Tugcvuskontroll tehakse p 10.10.1 järgi nagu sümmeetrilise armatuuriga ristkülikristlõikele, mille laius on ribiplaatristlõike vöö laius b .

Arvutuslik nulljoon ribis

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

Abisuurused.

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

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

Tugevustingimuseks on:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Arvutuslik nulljoon alumises vöös

Kui arvutuslik nulljoon on ristlõike alumises vöös, siis $1,25(h - h_f) < x \leq 1,25h$.

Abisuurused.

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

$$\alpha'_{0v} = \frac{A'_{ov}}{b d_1} \quad \rho = \frac{A_s}{b d_1} \quad A'_{ov} = (b - b_w)(h - 2h_f)$$

Tugevustingimus on:

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

Survetsooni kõrgus määratakse valemiga

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

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

a1) Kui $x \geq \xi_{c2} d_2$, 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);

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

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

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

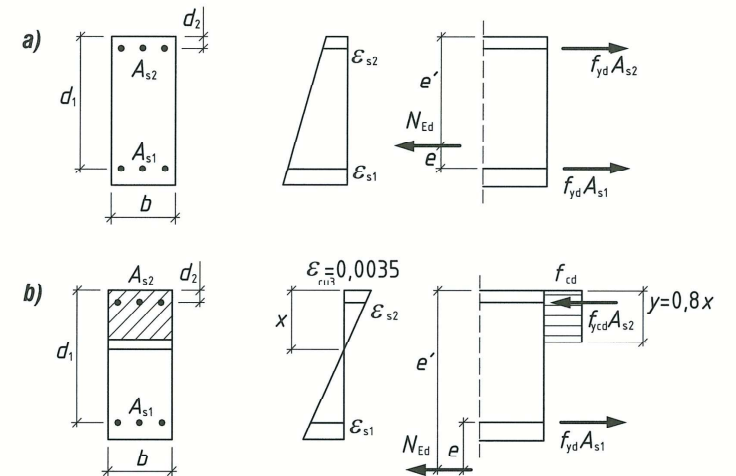
b) Valemist (10.188) saadud $x > \xi_c d_1$

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

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

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

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



Joonis 10.52. Tõmmatud ristlõike deformatsiooni- ja pingeaotus. a – väike eksentrilisus, b – suur eksentrilisus