Arvutuslik paindemoment

Teist järku momenti sisaldava üldise paindemomendi võib avaldada kujul:

$$M_{\mathrm{Ed}} = M_{0\mathrm{Ed}}\left[1+\frac{\beta}{(N_{\mathrm{B}}/N_{\mathrm{Ed}})-1}\right] \qquad (10.77)$$

kus $M_{0\mathrm{Ed}}$ esimest järku paindemoment koos konstruktsioonihälvete mõjuga

N_{Ed} arvutuslik normaaljõud

N_{B} nimijäikusest lähtuv nõtkekoormus

β paindemomentide jaotusest olenev tegur, valem (10.79)

Eraldiseisva tsentriliselt koormatud konstantse ristlõikega elemendi nõtkekoormus

$$N_{\mathrm{B}} = \frac{\pi^2 EI}{l_0^2} \qquad (10.78)$$

kus l_0 elemendi arvutuspikkus

EI ristlõike nimijäikus, valem (10.71)

$$\beta = \pi^2/c_0 \qquad (10.79)$$

kus c_0 on esimest järku paindemomentide $M_0 = N_{\mathrm{Ed}}e_0$ jaotusest (vt joonis 10.43) olenev tegur:

konstantse M_0 korral (joonis 10.43a) $c_0 = 8$

paraboolse M_0 jaotuse korral $c_0 = 9{,}6$

sümmeetrilise kolmnurkse M_0 jaotuse korral $c_0 = 12$

Erinevate esimest järku otsamomentide M_{01} ja M_{02} korral (joonis 10.43, b ja c) võib põikkoormuseta elemendi arvutamisel lähtuda ekvivalentsest konstantsest esimest järku paindemomendist $M_{0\mathrm{e}}$ (tegur $c_0 = 8$):

$$M_{0\mathrm{e}} - 0{,}6M_{02} + 0{,}4M_{01} \geq 0{,}4\,M_{02} \qquad (10.80)$$

kus M_{01} ja M_{02} loetakse samamärgilisteks, kui need põhjustavad tõmbe elemendi samal küljel ja kus $|M_{02}| \geq |M_{01}|$.

Otsaristlõiget kontrollitakse paindemomendi $M_0 = N_{\mathrm{Ed}}e_0$ suhtes.

Kui valemi (10.79) puhul antud soovitused c_0 määramiseks ei ole rakendatavad, võib lihtsustusena võtta $\beta = 1$. Sellisel juhul saab valemi (10.77) avaldada kujul

$$M_{\mathrm{Ed}} = \frac{M_{0\mathrm{Ed}}}{1-(N_{\mathrm{Ed}}/N_{\mathrm{B}})} \qquad (10.81)$$

VILDAKPAINE

Vildakpainde korral võib esimese sammuna teha arvutuse, eirates vildakpainet eraldi kummaski peasuunas, võttes konstruktsioonihälbeid arvesse ainult ebasoodsamas suunas. Edasine kontroll ei ole vajalik, kui on rahuldatud mõlemad tingimused (10.82, a)

$$\lambda_y/\lambda_z \leq 2 \text{ ja } \lambda_z/\lambda_y \leq 2 \qquad (10.82,\ a)$$

ja üks tingimustest (10.82, b) (vt joonis 10.44):

$$\frac{e_y/h_{\mathrm{eq}}}{e_z/b_{\mathrm{eq}}} \leq 0{,}2 \text{ või } \frac{e_z/b_{\mathrm{eq}}}{e_y/h_{\mathrm{eq}}} \leq 0{,}2 \qquad (10.82b)$$

kus λ_y, λ_z saledus l_0/i vastavalt telje y ja z suhtes

b, h ristlõike laius ja kõrgus

$b_{\mathrm{eq}} = i_y\sqrt{12}$ ja $h_{\mathrm{eq}} = i_z\sqrt{12}$ ristlõike ekvivalentlaius, ristkülikristlõikel $b_{\mathrm{eq}} = b$ ja $h_{\mathrm{eq}} = h$

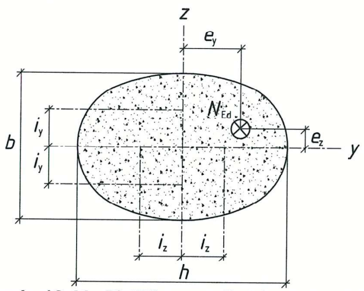
i_y, i_z ristlõike inertsiraadius telgede y ja z suhtes

$e_z = \dfrac{M_{\mathrm{Edy}}}{N_{\mathrm{Ed}}}$ ekstsentrilisus telje z suunas

$e_y = \dfrac{M_{\mathrm{Edz}}}{N_{\mathrm{Ed}}}$ ekstsentrilisus telje y suunas

M_{Edy}, M_{Edz} arvutuslik paindemoment telgede y ja z suhtes, kaasa arvatud teist järku moment

N_{Ed} arvutuslik normaaljõud



Joonis 10.44. *Ristlõike peateljed ja ekstsentrilisused e_y ja e_z*

Kui tingimused (10.82) ei ole täidetud, tuleks vildakpainet arvesse võtta. Täpse arvutuse puudumisel võib kasutada lihtsustatud kandevõimekriteeriumi:

$$\left(\frac{M_{\mathrm{Edz}}}{M_{\mathrm{Rdz}}}\right)^a + \left(\frac{M_{\mathrm{Edy}}}{M_{\mathrm{Rdy}}}\right)^a \leq 1{,}0 \qquad (10.83)$$

kus M_{Rdy}, M_{Rdz} on arvutuslik paindekandevõime vastava telje suhtes normaaljõu N_{Ed} korral

astendaja a on ring- ja ellipsristlõikel $a = 2$

ristkülikristlõikel sõltub a suhtest $N_{\mathrm{Ed}}/N_{\mathrm{Rd}}$

$N_{\mathrm{Ed}}/N_{\mathrm{Rd}}$	0,1	0,7	1,0
a	1,0	1,5	2,0

vahepealsed väärtused interpoleeritakse

N_{Ed} arvutuslik normaaljõud

$N_{\mathrm{Rd}} = A_{\mathrm{c}}f_{\mathrm{cd}} + A_{\mathrm{s}}f_{\mathrm{yd}}$ on ristlõike arvutuslik kandevõime tsentrilisel survel

A_{c}, A_{s} betoonristlõike ja pikiarmatuuri pindala

10.8. RIBIPLAAT- JA RISTKÜLIKRISTLÕIKE KANDEVÕIME KONTROLL

Käesolevas punktis käsitletakse eelpingeta ristkülik- või ribiplaatristlõikega (joonis 10.45) painutatud, surutud või suure ekstsentrilisusega tõmmatud elemente, milles paindemoment või pikijõud mõjub elemendi sümmeetriatasandis.

Arvutus lähtub vaadeldava ristlõike tasakaalutingimustest ja punkti 10.6.2 eeldustest.

Armatuuri arvutuslik survetugevus $f_{\mathrm{ycd}} = f_{\mathrm{yd}} \leq 440$ MPa. Tõmbearmatuuri pinge loetakse positiivseks tõmbel, survearmatuuri pinge – survel. Pikijõud (normaaljõud) on positiivne survel. Ristlõike deformatsiooni- ja pingejaotus kandepiirseisundis vastab joonisele 10.38.

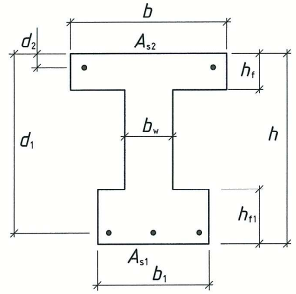
Tugevustingimus

Tugevustingimuseks on painutatud elemendil

$$M_{\mathrm{Ed}} \leq M_{\mathrm{Rd}} = \eta f_{\mathrm{cd}}S_{\mathrm{c}} + \sigma_{\mathrm{s2}}A_{\mathrm{s2}}(d_1 - d_2) \qquad (10.84)$$

ja surutud või tõmmatud elemendil

$$(Ne)_{\mathrm{Ed}} = N_{\mathrm{Ed}}e \leq (Ne)_{\mathrm{Rd}} = \eta f_{\mathrm{cd}}S_{\mathrm{c}} + \sigma_{\mathrm{s2}}A_{\mathrm{s2}}(d_1 - d_2) \qquad (10.85)$$



Joonis 10.45. *Ribiplaatristlõike tähised*

Survetsooni kõrgus

Survetsooni kõrgus x (või arvutuskõrgus $y = \lambda x$) leitakse ristlõikes esinevate pikijõudude tasakaalutingimusest kandepiirseisundis (joonis 10.38):

$$\eta f_{\mathrm{cd}}A_{\mathrm{c}} - \sigma_{\mathrm{s1}}A_{\mathrm{s1}} + \sigma_{\mathrm{s2}}A_{\mathrm{s2}} - N_{\mathrm{Ed}} = 0 \qquad (10.86)$$

Pinged σ_{s1} ja σ_{s2} avaldatakse survetsooni kõrguse x ja betooni piirsurvedeformatsiooni $\varepsilon_{\mathrm{cu3}}$ kaudu, kusjuures $-f_{\mathrm{ycd}} \leq \sigma_{\mathrm{s1}} \leq f_{\mathrm{yd}}$ ja $-f_{\mathrm{yd}} \leq \sigma_{\mathrm{s2}} \leq f_{\mathrm{ycd}}$

Valemites (10.84) kuni (10.86):

N_{Ed} pikijõud (normaaljõud) ristlõikes (positiivne surve, negatiivne tõmbe korral)

M_{Rd}, $(Ne)_{\mathrm{Rd}}$ arvutuslik kandevõime

A_{s1} tõmmatud (või vähemsurutud) armatuuri ristlõikepindala

A_{s2} surutud (või enamsurutud) armatuuri ristlõikepindala

e pikijõu ekstsentrilisus armatuuri A_{s1} raskuskeset läbiva telje s–s suhtes

A_{c} betooni survetsooni (kõrgusega $y = \lambda x$) arvutuspindala, vt valemid (10.87)...(10.94)

S_{c} survetsooni arvutuspinna A_{c} staatiline moment telje s–s suhtes, vt valemid (10.87′)...(10.94′)

d_1 ristlõike kasuskõrgus

d_2 armatuuri A_{s2} raskuskeskme kaugus ristlõike enamsurutud servast

σ_{s1} armatuuri A_{s1} pinge kandepiirseisundis (positiivne tõmbel)

σ_{s2} armatuuri A_{s2} pinge kandepiirseisundis (positiivne survel)

η, λ vt tabel 10.1; $f_{\mathrm{ck}} \leq 50$ MPa korral $\eta = 1{,}0$ ja $\lambda = 0{,}8$

A_c ja S_c arvutamise valemid

I-ristlõige

1. $0 \le x \le h_f/\lambda$

$$A_c = \lambda x b \tag{10.87}$$

$$S_c = \lambda x b(d_1 - 0{,}5\lambda x) \tag{10.87'}$$

2. $h_f/\lambda \le x \le (h - h_{f1})/\lambda$

$$A_c = \lambda x b_w + (b - b_w)h_f \tag{10.88}$$

$$S_c = \lambda x b_w(d - 0{,}5\lambda x) + (b - b_w)\, h_f(d_1 - 0{,}5h_f) \tag{10.88'}$$

3. $(h - h_{f1})/\lambda \le x \le h/\lambda$

$$A_c = \lambda x b_w + (b - b_w)h_f + (b_1 - b_w)(\lambda x - h + h_{f1}) \tag{10.89}$$

$$S_c = \lambda x b_w(d - 0{,}5\lambda x) + (b - b_w)\, h_f(d_1 - 0{,}5h_f) + (b_1 - b_w)(\lambda x - h + h_{f1})[d_1 - 0{,}5(\lambda x + h - h_{f1})] \tag{10.89'}$$

4. $x > h/\lambda$

$$A_c = A_{c0} = hb_w + (b - b_w)h_f + (b_1 - b_w)\, h_{f1} \tag{10.90}$$

$$S_c = S_{c0} = hb_w(d_1 - 0{,}5h) + (b - b_w)\, h_f(d_1 - 0{,}5h_f) + (b_1 - b_w)\, h_{f1}\,(d_1 - h + 0{,}5h_{f1}) \tag{10.90'}$$

$$S_{cc} = 0{,}5b_w h^2 + 0{,}5(b - b_w)\, h_f^2 + (b_1 - b_w)\, h_{f1}\,(h - 0{,}5h_{f1}) \tag{10.90''}$$

T-ristlõige ($b_1 = b_w$, $h_{f1} = 0$)

1. $0 \le x \le h_f/\lambda$

A_c vt valem (10.87)

S_c vt valem (10.87′)

2. $h_f/\lambda \le x \le h/\lambda$

A_c vt valem (10.88)

S_c vt valem (10.88′)

3. $x > h/\lambda$

$$A_c = A_{c0} = hb_w + (b - b_w)h_f \tag{10.91}$$

$$S_c = S_{c0} = hb_w(d_1 - 0{,}5h) + (b - b_w)\, h_f(d_1 - 0{,}5h_f) \tag{10.91'}$$

$$S_{cc} = 0{,}5b_w h^2 + 0{,}5(b - b_w)\, h_f^2 \tag{10.91''}$$

⊥-ristlõige ($b = b_w$, $h_f = 0$)

1. $0 \le x \le (h - h_{f1})/\lambda$

$$A_c = \lambda x b_w \tag{10.92}$$

$$S_c = \lambda x b_w(d_1 - 0{,}5\lambda x) \tag{10.92'}$$

2. $(h - h_{f1})/\lambda \le x \le h/\lambda$

$$A_c = \lambda b_w x + (b_1 - b_w)(\lambda x - h + h_{f1}) \tag{10.93}$$

$$S_c = \lambda x b_w(d - 0{,}5\lambda x) + (b_1 - b_w)(\lambda x - h + h_{f1})[d_1 - 0{,}5(\lambda x + h - h_{f1})] \tag{10.93'}$$

3. $x > h/\lambda$

$$A_c = A_{c0} = hb_w + (b_1 - b_w)\, h_{f1} \tag{10.94}$$

$$S_c = S_{c0} = hb_w(d_1 - 0{,}5h) + (b - b_w)\, h_{f1}\,(d_1 - h + 0{,}5h_{f1}) \tag{10.94'}$$

$$S_{cc} = 0{,}5\, b_w h^2 + (b_1 - b_w)\, h_{f1}\,(h - 0{,}5h_{f1}) \tag{10.94''}$$

Ristkülikristlõige ($b_1 = b$, $h_f = h_{f1} = 0$)

1. $0 \le x \le h/\lambda$

A_c vt valem (10.87)

S_c vt valem (10.87′)

2. $x > h/\lambda$

$$A_c = A_{c0} = bh$$

$$S_c = S_{c0} = bh(d_1 - 0{,}5h)$$

$$S_{cc} = 0{,}5bh^2$$

Abisuuruste arvutamise valemid

$$\alpha_{s1} = \frac{f_{yd}\rho_1}{\eta f_{cd}} \qquad \alpha_{s1c} = \frac{f_{ycd}\rho_1}{\eta f_{cd}} \qquad \alpha_{s1c,u} = \frac{\sigma_{sc,u}\rho_1}{\eta f_{cd}}$$
$$\alpha_{s2} = \frac{f_{yd}\rho_2}{\eta f_{cd}} \qquad \alpha_{s2c} = \frac{f_{ycd}\rho_2}{\eta f_{cd}} \qquad \alpha_{s2c,u} = \frac{\sigma_{sc,u}\rho_2}{\eta f_{cd}} \tag{10.95}$$

Ristkülikristlõikel $\rho_1 = \dfrac{A_{s1}}{bd_1}$ $\quad \rho_2 = \dfrac{A_{s2}}{bd_1}$ (10.96)

ribiplaatristlõikel $\rho_1 = \dfrac{A_{s1}}{b_w d_1}$ $\quad \rho_2 = \dfrac{A_{s2}}{b_w d_1}$ (10.96′)

Ristkülikristlõikel $\alpha_n = \dfrac{N_{Ed}}{\eta f_{cd} b d_1}$ $\quad \alpha_{0v} = \alpha_{1v} = 0$ (10.97)

ribiplaatristlõikel $\alpha_n = \dfrac{N_{Ed}}{\eta f_{cd} b_w d_1}$ $\quad \alpha_{0v} = \dfrac{(b - b_w)h_f}{b_w d_1}$ $\quad \alpha_{1v} = \dfrac{(b_1 - b_w)(h - h_{f1})}{b_w d_1}$ (10.97′)

$$\delta_d = \frac{d_2}{d_1} \qquad \sigma_{sc,u} = \varepsilon_{cu3} E_s \tag{10.98}$$

Tähised valemites (10.95)…(10.98) vastavad joonistele 10.38 ja 10.45.

Survetsooni suhteline kõrgus

Survetsooni suhteline kõrgus $\xi = \dfrac{x}{d_1}$ on määratav valemiga

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

kus $\lambda_1 = 0{,}5\, k_0\, (a_{s1} + a_{s2} + a_v + \alpha_n)/\lambda$ (10.100)

$\lambda_2 = k_0\, (a_{s1c,u} + a_{s2c,u}\delta_{d,})/\lambda$ (10.101)

Valemites (10.100) ja (10.101):

- parameetrid a_{s1}, $a_{s1c,u}$, a_{s2}, ja $a_{s2c,u}$ on antud tabelis 10.22 sõltuvalt armatuurist (A_{s1} või A_{s2}) ja nulljoone asukohast; tabelis esinevad survetsooni suhtelised piirkõrgused ξ_c ja ξ_{c2} määratakse valemitega (10.102) ja (10.103). $f_{ck} \le 50$ MPa korral on ξ_c ja ξ_{c2} antud tabelis 10.24;
- tegur k_0 ja parameeter a_v on antud tabelis 10.23 olenevalt ristlõike tüübist ja nulljoone asukohast;
- parameeter α_n on antud valemitega (10.97) või (10.97').

$$\xi_c = \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} + \varepsilon_{yd}} \qquad (10.102)$$

$$\xi_{c2} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} - \varepsilon_{ycd}} \qquad (10.103)$$

Tabel 10.23. *Parameetrid a_v ja k_0*

I- ristlõige			
	x	a_v	k_0
1	$0 \le x \le h_f/\lambda$	0	b_w/b
2	$h_f/\lambda < (h - h_{f1})/\lambda$	$-\alpha_{0v}$	1
3	$(h - h_{f1})/\lambda < x \le h/\lambda$	$\alpha_{1v} - \alpha_v$	b_w/b_1
T- ristlõige			
	x	a_v	k_0
1	$0 \le x \le h_f/\lambda$	0	b_w/b
2	$h_f/\lambda < x \le h/\lambda$	$-\alpha_{0v}$	1
⊥-ristlõige			
	x	a_v	k_0
1	$0 \le x \le (h - h_{f1})/\lambda$	0	b_w/b
2	$(h - h_{f1})/\lambda < x \le h/\lambda$	α_v	b_w/b_1

α_{0v} ja α_{1v} vt valemid (10.97) ja (10.97')

Tabel 10.22. *Armatuuri pinge σ_s ning tegurid a_s ja $a_{sc,u}$ ($x \le h/\lambda$)*

Armatuur A_{s1}				
	Piirkond	σ_{s1}	a_{s1}	$a_{s1c,u}$
1	$x \le \xi_c d_1$	f_{yd}	α_{s1}	0
2	$\xi_c d_1 < x < \xi_{c2} d_1$	$\sigma_{sc,u}(d_1/x - 1)$	$-\alpha_{s1c,u}$	$\alpha_{s1c,u}$
3	$x \ge \xi_{c2} d_1$	$-f_{ycd}$	$-\alpha_{s1c}$	0
Armatuur A_{s2}				
	Piirkond	σ_{s2}	a_{s2}	$a_{s2c,u}$
1	$x \le \xi_c d_2$	$-f_{yd}$	α_{s2}	0
2	$\xi_c d_2 < x < \xi_{c2} d_2$	$\sigma_{sc,u}(1 - d_2/x)$	$-\alpha_{s2c,u}$	$\alpha_{s2c,u}$
3	$x > \xi_{c2} d_{s2}$	f_{ycd}	$-\alpha_{s2c}$	0

ξ_c ja ξ_{c2} vt valemid (10.102) ja (10.103), $f_{ck} \le 50$ MPa korral tabel 10.24
α_{s1}, α_{s1c}, $\alpha_{s1c,u}$, α_{s2}, α_{s2c} ja $\alpha_{s2c,u}$ vt valemid (10.95); $\sigma_{sc,u} = \varepsilon_{cu3} E_s$, $f_{fck} \le 50$ MPa korral $\sigma_{sc,u} = 700$ MPa

Armatuuri pinge kandepiirseisundis

Armatuuri A_{s1} pinge:

$x \le \xi_c d_1 \quad \sigma_{s1} = f_{yd}$

$\xi_c d_1 < x \le \xi_{c2} d_1 \quad \sigma_{s1} = \sigma_{sc,u}(d_1/x - 1)$ (10.104)

$x > \xi_c d_1 \quad \sigma_{s1} = -f_{ycd}$

Armatuuri A_{s2} pinge:

$x \le \xi_c d_2 \quad \sigma_{s2} = -f_{yd}$

$\xi_c d_2 < x \le \xi_{c2} d_2 \quad \sigma_{s2} = \sigma_{sc,u}(1 - d_2/x)$ (10.105)

$x > \xi_{c2} d_2 \quad \sigma_{s2} = f_{ycd}$

Kandevõime kontroll

Kandevõime kontroll $x < h/\lambda$ korral

Painde, suure ekstsentrilisusega tõmbe ja mitte väga väikese ekstsentrilisusega surve korral jääb arvutuslik survetsoon täielikult betoonristlõike piiridesse, so $y = \lambda x < h$. Sellisel juhul võiks esialgse survetsooni kõrguse leida eeldusel, et $x \le \xi_c d_1$ ($\sigma_{s1} = f_{yd}$) ja $x \ge \xi_{c2} d_2$ ($\sigma_{s2} = f_{ycd}$):

$$x = \frac{f_{yd} A_{s1} - f_{ycd} A_{s2} \pm N_{Ed}}{\lambda \eta f_{cd} b} \qquad (10.106)$$

Kui ribiplaatristlõikel saadud $x > h_f/\lambda$, siis esialgne survetsooni kõrgus

$$x = \frac{f_{yd} A_{s1} - f_{ycd} A_{s2} - \eta f_{cd} h_f (b - b_w) \pm N_{Ed}}{\lambda \eta f_{cd} b_w} \qquad (10.107)$$

Valemites (10.106) ja (10.107) võetakse painde korral $N_{Ed} = 0$, surve korral $+N_{Ed}$ ja tõmbe korral $-N_{Ed}$.

Kui valemiga (10.106) või (10.107) leitud $x \le \xi_c d_1$ ja $x \ge \xi_{c2} d_2$ ning ribiplaatristlõikel $x \le (h - h_{f1})/\lambda$, on saadud x suurus lõplik ja kandevõimet kontrollitakse valemiga (10.84) või (10.85), võttes seal $\sigma_{s2} = f_{ycd}$. S_c arvutatakse valemitega (10.87')…(10.94').

Suhteliselt väikese ekstsentrilisusega surve korral võiks esialgse x määramisel võtta $x > \xi_c d_1$ ja $x \ge \xi_{c2} d_2$.

Kui $x > \xi_c d_1$ või $x < \xi_{c2} d_2$, siis leitakse survetsooni suhteline kõrgus $\xi = \dfrac{x}{d_1}$ valemiga (10.99) järkjärgulise lähenemise teel:

Tabel 10.24. *Survetsooni suhtelised piirkõrgused ξ_c, ξ_{c2} ja ω_c ning tegur μ_c* ($f_{ck} \le 50$ MPa, $\varepsilon_{cu3} = 0{,}0035$, $\lambda = 0{,}8$)

f_{yk} MPa	ξ_c	ξ_{c2}	ω_c	μ_c	Armatuuriteras
295	0,732	1,578	0,585	0,414	A-II
390	0,674	1,940	0,539	0,394	A-III
400	0,668	1,988	0,534	0,392	EN*
450	0,641	2,268	0,513	0,381	EN*
490	0,622	2,556	0,497	0,374	Bp-1
500	0,617	2,639	0,493	0,372	EN*, A500HW, B500K
550	0,594	3,157	0,475	0,362	EN*
600	0,573	3,927	0,458	0,353	EN*, B600KX
650	0,553	5,194	0,443	0,345	EN*
700	0,535	7,667	0,428	0,336	A700HW

$\xi_c = \dfrac{0{,}0035}{0{,}0035 + \varepsilon_{yd}}$ $\quad \xi_{c2} = \dfrac{0{,}0035}{0{,}0035 - \varepsilon_{ycd}}$ $\quad \omega_c = 0{,}8\xi_c$ $\quad \mu_c = \omega_c(1 - 0{,}5\omega_c)$

EN* on standardi EVS-EN 10080 nõuetele vastav armatuuriteras

- valitakse ette nulljoone paiknemise oletatav piirkond, lähtuda võib esialgselt määratud x suurusest;
- tabelite 10.22 ja 10.23 abil avaldatakse valemite (10.100) ja (10.101) suurused a_{s1}, $a_{s1c,u}$, a_{s2}, $a_{s2c,u}$ ja a_v tegurite α_{s1}, α_{s1c}, $\alpha_{s1c,u}$, α_{s2}, α_{s2c}, $\alpha_{s2c,u}$ ja α_v kaudu ning määratakse k_0;
- arvutatakse tegurid λ_1, λ_2, survetsooni suhteline kõrgus ξ ja survetsooni täpsustatud kõrgus $x = \xi d_1$ ning leitakse sellele vastavad armatuuri pinged σ_{s1} ja σ_{s2};
- kui armatuuri pinged jäävad piiridesse $f_{yd} \leq \sigma_{s1} \geq -f_{yd}$ ja $f_{ycd} \geq \sigma_{s2} \geq -f_{yd}$, siis on leitud x lõplik. Vastasel juhul korratakse arvutust, lähtudes viimasest survetsooni kõrgusest.

Kandevõimet kontrollitakse valemiga (10.84) või (10.85), kus S_c arvutatakse valemitega (10.87')...(10.94') ja armatuuri A_{s2} pinge valemiga (10.105).

Kandevõime kontroll $x \geq h/\lambda$ korral

Väga väikese ekstsentrilisusega surve korral võib kogu betoonristlõige osutuda surutuks, mistõttu $y = h$ ja $x \geq h/\lambda$. Sellisel juhul ristlõikes betooniga ja armatuuriga A_{s2} vastu võetavad survejõud on konstantsed ning ristlõike kandevõime suurus oleneb armatuuri A_{s1} survepinge väärtusest kandepiirseisundis. Ristlõike kandevõimet kontrollitakse paindemomendi M_{Ed} ja normaaljõu N_{Ed} suhtes. Normaaljõud N_{Ed} loetakse rakendatuks ristlõike plastses raskuskeskmes, so punktis, kus tsentrilisel survel paikneb betooni ja terase piirsisejõudude resultant. Plastse raskuskeskme kaugus ristlõike enamsurutud servast x_p leitakse tsentriliselt surutud ristlõike momentide tasakaalutingimusest piirolukorras

$$x_p = \frac{\eta f_{cd} S_{cc} + f_{ycd} A_{s2} d_2 + f_{yd} A_{s1} d_1}{\eta f_{cd} A_{c0} + f_{ycd}(A_{s1} + A_{s2})}$$

Ristlõike kandevõime on tagatud, kui samaaegselt on rahuldatud tugevustingimused

$$N_{Ed} \leq N_{Rd,0} = \eta f_{cd} A_{c0} + f_{ycd}(A_{s2} + A_{s1}) \quad (10.108)$$

$$M_{Ed} \leq M_{Rd} = \eta f_{cd} S_{c0} + f_{ycd} A_{s2}(d_1 - d_2) - N_{Ed}(d_1 - x_p) \quad (10.109)$$

Toodud valemites (vt alapunkt A_c ja S_c arvutamise valemid)

A_{c0} betoonristlõike kogupindala

S_{cc}, S_{c0} pinna A_{c0} staatiline moment vastavalt ristlõike surutud serva ja armatuuri A_{s1} raskuskeset läbiva telje suhtes

10.9. PAINE

Vaadeldakse surutud ja tõmmatud serva juurde koondatud armatuuriga ristkülikristlõiget (joonis 10.46) ja survetsoonis asuva plaadiga ribiplaatristlõiget (joonis 10.49), mis vastavad 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, $\lambda = 0{,}8$, $\eta = 1{,}0$, $\varepsilon_{cu3} = 0{,}0035$.

Mõisted ja abisuurused

x survetsooni kõrgus,

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

ξ, ω, μ ja ζ 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), kus $\eta = 1{,}0$

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

Tabel 10.25. *Tegurid ω, ξ, μ ja ζ ($\lambda = 0{,}8$, $\eta = 1{,}0$)*

$\omega = \frac{y}{d_1}$	$\xi = \frac{x}{d_1}$	μ	ζ	$\omega = \frac{y}{d_1}$	$\xi = \frac{x}{d_1}$	μ	ζ	$\omega = \frac{y}{d_1}$	$\xi = \frac{x}{d_1}$	μ	ζ
0,01	0,013	0,010	0,995	0,26	0,325	0,226	0,870	0,51	0,638	0,380	0,745
0,02	0,025	0,020	0,990	0,27	0,338	0,234	0,865	0,52	0,650	0,385	0,740
0,03	0,038	0,030	0,985	0,28	0,350	0,241	0,860	0,53	0,663	0,390	0,735
0,04	0,050	0,039	0,980	0,29	0,363	0,248	0,855	0,54	0,675	0,394	0,730
0,05	0,063	0,049	0,975	0,30	0,375	0,255	0,850	0,55	0,688	0,399	0,725
0,06	0,075	0,058	0,970	0,31	0,388	0,262	0,845	0,56	0,700	0,403	0,720
0,07	0,088	0,068	0,965	0,32	0,400	0,269	0,840	0,57	0,713	0,408	0,715
0,08	0,100	0,077	0,960	0,33	0,413	0,276	0,835	0,58	0,725	0,412	0,710
0,09	0,113	0,086	0,955	0,34	0,425	0,282	0,830	0,59	0,738	0,416	0,705
0,10	0,125	0,095	0,950	0,35	0,438	0,289	0,825	0,60	0,750	0,420	0,700
0,11	0,138	0,104	0,945	0,36	0,450	0,295	0,820	0,62	0,775	0,428	0,690
0,12	0,150	0,113	0,940	0,37	0,463	0,302	0,815	0,64	0,800	0,435	0,680
0,13	0,163	0,122	0,935	0,38	0,475	0,308	0,810	0,66	0,825	0,442	0,670
0,14	0,175	0,130	0,930	0,39	0,488	0,314	0,805	0,68	0,850	0,449	0,660
0,15	0,188	0,139	0,925	0,40	0,500	0,320	0,800	0,70	0,875	0,455	0,650
0,16	0,200	0,147	0,920	0,41	0,513	0,326	0,795	0,72	0,900	0,461	0,640
0,17	0,213	0,156	0,915	0,42	0,525	0,332	0,790	0,74	0,925	0,466	0,630
0,18	0,225	0,164	0,910	0,43	0,538	0,338	0,785	0,76	0,950	0,471	0,620
0,19	0,238	0,172	0,905	0,44	0,550	0,343	0,780	0,78	0,975	0,476	0,610
0,20	0,250	0,180	0,900	0,45	0,563	0,349	0,775	0,80	1,000	0,480	0,600
0,21	0,263	0,188	0,895	0,46	0,575	0,354	0,770	0,85	1,063	0,489	0,575
0,22	0,275	0,196	0,890	0,47	0,588	0,360	0,765	0,90	1,125	0,495	0,550
0,23	0,288	0,204	0,885	0,48	0,600	0,365	0,760	0,95	1,188	0,499	0,525
0,24	0,300	0,211	0,880	0,49	0,613	0,370	0,755	1,00	1,250	0,500	0,500
0,25	0,313	0,219	0,875	0,50	0,625	0,375	0,750				

Tabelis $\xi = \dfrac{x}{d_1}$ $\omega = \dfrac{y}{d_1} = 0{,}8\xi$ $\zeta = 1 - 0{,}5\,\omega$ $\mu = \omega(1 - 0{,}5\omega)$ $\omega = 1 - \sqrt{1 - 2\mu}$

Täisnurkristlõikel $\omega = (f_{yd}A_{s1} - f_{ycd}A_{s2})/(f_{cd}bd_1)$ ja $\mu = [M_{Ed} - f_{ycd}A_{s2}(d_1 - d_2)]/(f_{cd}bd_1^2)$