$$\int_{A_c} \sigma_c \mathrm{d}A - \sigma_{s1}A_{s1} - \sigma_{s2}A_{s2} - N_{Ed} = 0 \qquad (10.48)$$

kus A_c on betooni survetsooni pindala

σ_c betooni pinge (positiivne survel)

A_{s1} tõmmatud (või enamtõmmatud või vähemsurutud) armatuuri ristlõikepindala

A_{s2} surutud (või enamsurutud või vähemtõmmatud) armatuuri pindala,

σ_{s1}, σ_{s2} pinge armatuuris A_{s1} ja A_{s2} (positiivne tõmbel)

N_{Ed} pikijõud (normaaljõud) ristlõikes (positiivne survel)

Võrrandi (10.48) lahendamisel avaldatakse pinged σ_{s1}, σ_{s2} ja σ_c survetsooni kõrguse x kaudu, lähtudes ristlõike lineaarsest deformatsioonijaotusest. Leitud x on lõplik, kui sellele vastavad armatuuri pinged jäävad piiridesse $f_{yd} \geq \sigma_s \geq -f_{ycd}$. Juhul kui pinge väljub neist piiridest, tuleb arvutust korrata, võttes valemis (10.48) σ_s suuruseks kas f_{yd} (kui esialgne $\sigma_s > f_{yd}$) või $-f_{ycd}$ (kui esialgne $\sigma_s < -f_{ycd}$).

Tugevustingimus

Tugevustingimuseks on painutatud elemendil

$$M_{Ed} \leq M_{Rd} = \int_{A_c} \sigma_c z_c \mathrm{d}A - \sigma_{s2}A_{s2}z_s \qquad (10.49)$$

ja surutud või tõmmatud elemendil

$$(Ne)_{Ed} = N_{Ed}e \leq (Ne)_{Rd} = \int_{A_c} \sigma_c z_c \mathrm{d}A - \sigma_{s2}A_{s2}z_s \qquad (10.50)$$

kus M_{Rd}, $(Ne)_{Rd}$ on arvutuslik kandevõime

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

z_c survetsooni vaadeldava nivoo kaugus armatuuri A_{s1} raskuskeset läbivast teljest

z_s armatuuride A_{s1} ja A_{s2} raskuskeskmete vahekaugus

10.6.2. Lihtsustatud tugevuskontroll

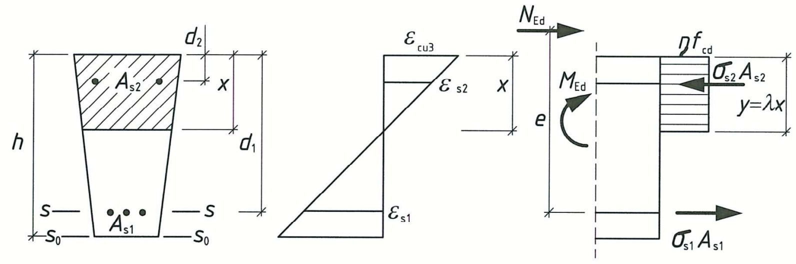
Alternatiivina eelmise punkti eeldustele võib ristlõike kandevõime leidmiseks vajaliku deformatsiooni- ja pingejaotuse määrata, lähtudes joonisel 10.4 antud ristkülikulisest pinge-deformatsiooni diagrammist, betooni piirsurvedeformatsioonist ε_{cu3} ning joonisel 10.38 toodud lihtsustatud deformatsiooni- ja pingejaotusest. Lihtsustatud arvutusmeetodi korral on betooni survetsoon määratud kahe suurusega:

x survetsooni kõrgus, so deformatsiooni ε nullnivoo kaugus ristlõike enamsurutud servast; väikese ekstsentrilisusega surutud ristlõike korral võib x olla suurem kui ristlõike kõrgus h;

y survetsooni arvutuskõrgus, so tugevusarvutuses kasutatava betooni tingliku ristkülikulise pingeepüüri kõrgus; $y = \lambda x \leq h$.

Survetsooni arvutuskõrgust $y = \lambda x$ ja betooni efektiivset tugevust ηf_{cd} määravad tegurid λ ja η saadakse järgnevalt (antud ka tabelis 10.1):

- kui $f_{ck} \leq 50$ MPa, siis $\lambda = 0{,}8$ ja $\eta = 1{,}0$
- kui $50 < f_{ck} \leq 90$ MPa, siis $\lambda = 0{,}8 - (f_{ck} - 50)/400$ ja $\eta = 1{,}0 - (f_{ck} - 50)/200$



Joonis 10.38. *Ristlõike lihtsustatud deformatsiooni- ja pingejaotus*

Pinge σ_{s2} on positiivne survel. Kui survetsooni laius väheneb betooni enamsurutud kihi suunas, siis tuleks ηf_{cd} väärtust vähendada 10% võrra.

10.7. TEIST JÄRKU KOORMUSTULEMID

10.7.1. Üldist

Seotud element või süsteem on konstruktsiooni element või osasüsteem, mis ei tööta kaasa konstruktsiooni horisontaalse üldstabiilsuse tagamisel.

Sideelement või -süsteem on konstruktsiooni element või osasüsteem, mis töötab kaasa konstruktsiooni horisontaalse üldstabiilsuse tagamisel (jäikussidemed ja -diafragmad, mittepaigutuvad või paigutuvad raamid).

Mittepaigutuv konstruktsioon või element on selline, mille puhul võib sõlmede paigutiste mõjust sisejõudude määramisel loobuda, vastasel juhul loetakse konstruktsioon või konstruktsioonielement paigutuvaks. Mittepaigutuvad on hoonekonstruktsioonid, mille jäikus tagatakse nihkele töötavate seinte või hoone südamikkonstruktsioonidega, sideelementidega seotud raamid (sideelementide piisava paindejäikuse korral), sideelementideta raamid (raami piisava horisontaaljäikuse korral).

Hoonekonstruktsiooni võib lugeda mittepaigutuvaks, kui on rahuldatud tingimus

$$F_{V,Ed} \leq k \cdot \frac{n_s}{n_s + 1{,}6} \cdot \frac{\sum E_{cd} I_c}{L^2} \qquad (10.51)$$

kus $F_{V,Ed}$ on seotud ja sideelementidele rakendatud üldine vertikaalkoormus

n_s korruste arv

L hoone üldkõrgus mõõdetuna tõkestatuse tasandist

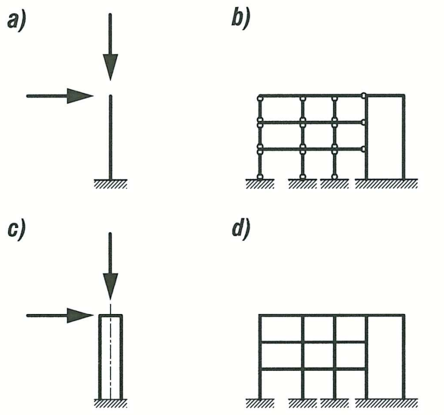
$E_{cd} = E_{cm}/1{,}2$ – betooni elastsusmooduli arvutusväärtus

I_c sideelemendi (-elementide) pragunemata betoonristlõike pinna inertsimoment

k = 0,31; kui kandepiirseisundis ei teki sideelementides pragusid, võib võtta $k = 0{,}62$

Valem (10.51) kehtib ainult siis, kui on täidetud kõik järgmised tingimused:

- ruumilise väändestabiilsuse kadu ei ole määrav, s.o konstruktsioon on küllalt sümmeetriline;
- üldine nihkedeformatsioon on ebaoluline (nt ilma suurte avadeta nihkejäikadest seintest koosneva sidesüsteemi korral);
- sideelementide pöördumine alusel on ebaoluline;
- sideelementide jäikus on elemendi pikkuses küllalt konstantne;
- üldine vertikaalkoormus suureneb korruste kaupa ligikaudu võrdselt.



Joonis 10.39. *Eraldiseisvaid elemente.*
a – üksikpost, b – mittepaigutuva konstruktsiooniga seotud postid, c – eraldiseisvana käsitatav sideelement, d – jäiga kinnitusega postid mittepaigutuvas konstruktsioonis

Eraldiseisev element on selline, millel puuduvad arvutuses arvesse võetavad sidemed naaberelementidega (joonis 10.39). Erinevate rajatingimustega eraldiseisvate elementide näited vt joonisel 10.41.

Esimest järku tulem on koormustulem, mille arvutamisel ei ole arvesse võetud konstruktsiooni deformeerumist, kuid on arvestatud geomeetrilisi hälbeid.

Teist järku tulemid on konstruktsiooni deformeerumise põhjustatud täiendavad koormustulemid. Eraldi tuleks vaadelda eraldiseisva elemendi teist järku koormustulemeid (olenevad elemendi saledusest) ja üldisi (globaalseid) teist järku koormustulemeid. Üldisi teist järku tulemeid võib eirata mittepaigutuvates konstruktsioonides, sh hoonekonstruktsioonides, mille puhul on rahuldatud tingimus (10.51). Üldiste teist järku tulemite kohta vt /2/ p 5.8.3 ja lisa H.

Nõtke avaldub elemendi või konstruktsiooni stabiilsuse kao põhjustatud purunemisena põikkoormuseta ideaalsel telgsurvel. Nõtke ei ole reaalse konstruktsiooni omaette piirseisund, kuid sellele vastavat nõtkekoormust võib kasutada parameetrina mõnes teist järku arvutusmeetodis.

Nõtkekoormus on koormus nõtke ilmnemisel; eraldiseisva tsentriliselt surutud elastse elemendi korral on see samatähenduslik Euleri jõuga $N = \pi^2 EI/L^2$.

Nõtkepikkus (arvutuspikkus) on tegeliku elemendiga samasuguse ristlõike ja nõtkekoormusega mõlemas otsas liigendkinnitusega ja konstantse normaaljõuga posti pikkus.

Teist järku nimipaindemoment on arvutustes kasutatav teist järku paindemoment ristlõike piirkandevõimele vastava üldise paindemomendi saamiseks.

Käesolev punkt käsitleb eraldiseisvaid elemente, mille töötamist mõjutavad oluliselt teist järku tulemid, nt postid ja seinad. Teist järku tulemeid võib eirata, kui need ei ületa 10% vastavast esimest järku tulemist. Konstruktsiooni üldstabiilsusega seotud üldisi (globaalseid) teist järku tulemeid siin ei vaadelda.

10.7.2. Geomeetrilised konstruktsioonihälbed

Konstruktsiooni geomeetria ebatäpsust ja koormuste paiknemise määramatust võetakse arvesse kandepiirseisundis kaldena θ_i määratletud geomeetriliste konstruktsioonihälvete kaudu.

Tulemid eraldiseisvale elemendile

Konstruktsioonihälbe võib esitada kujul

$$\theta_i = \theta_0 \alpha_h \alpha_m \tag{10.52}$$

kus $\theta_0 = 1/200$ on hälbe baasväärtus.

Konstruktsioonihälvete tulemi rakendamisel eraldiseisvale elemendile $\alpha_m = 1$ ja

$$\alpha_h = \frac{2}{\sqrt{l}}$$

kus l on elemendi tegelik pikkus ja $2/3 \le \alpha_h \le 1$.

Seega eraldiseisvale elemendile

$$\theta_i = \frac{1}{100\sqrt{l}} \text{ ja } 1/300 \le \theta_i \le 1/200 \tag{10.52′}$$

Geomeetriliste konstruktsioonihälvete tulemit võib arvesse võtta kas (joonis 10.40):

a) ekstsentrilisusena

$$e_i = \theta_i l_0/2 \tag{10.53}$$

kus l_0 on elemendi arvutuspikkus.

Seinte ja seotud süsteemis olevate eraldiseisvate postide korral võib lihtsustusena võtta $e_i = l_0/400$

b) põikisuunalise koormusena H_i, mis on rakendatud suurimat paindemomenti esile kutsuvas elemendi lõikes:

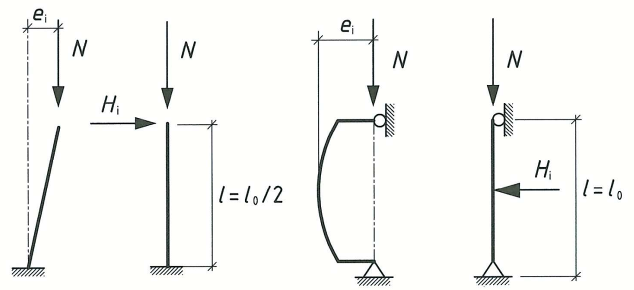
mitteseotud elemendi korral $H_i = \theta_i N$ (10.54,a)

seotud elemendi korral $H_i = 2\theta_i N$ (10.54,b)

kus N on pikijõud

Tulemid sidesüsteemidele

Konstruktsioonihälvete tulemite rakendamisel horisontaalkoormust vastu võtvatele sidesüsteemidele (vertikaalsed jäikuskonstruktsioonid või horisontaalsed laediafragmad) võib θ_i ja H_i määrata /2/ p 5.2 järgi.



Joonis 10.40. *Eraldiseisva elemendi geomeetriliste konstruktsioonihälvete arvesse võtmine*

10.7.3. Eraldiseisva elemendi saledus

Elemendi saledus ja arvutuspikkus

Eraldiseisva elemendi saledus $\lambda = \frac{l_0}{i}$ (10.55)

kus l_0 on elemendi arvutuspikkus

i elemendi pragunemata betoonristlõike inertsiraadius

Elemendi arvutuspikkus

$$l_0 = \beta l \tag{10.56}$$

kus l on elemendi tegelik pikkus (otsasõlmede vahekaugus)

β posti otsa kinnitusviisist ja paigutuvusest sõltuv tegur (joonis 10.41)

Korrapärase raami posti arvutuspikkuse $l_0 = \beta l$ võib ligikaudselt määrata joonise 10.42 abil,

kus k_A, k_B on posti otsa kinnituse järeleandlikkust iseloomustavad tegurid

E_{cm} betooni elastsusmoodul

I_{col}, I_b posti ja tala brutoristlõike inertsimoment

l_{col} posti kinnitussõlmede vahekaugus

l_{eff} tala arvutussille

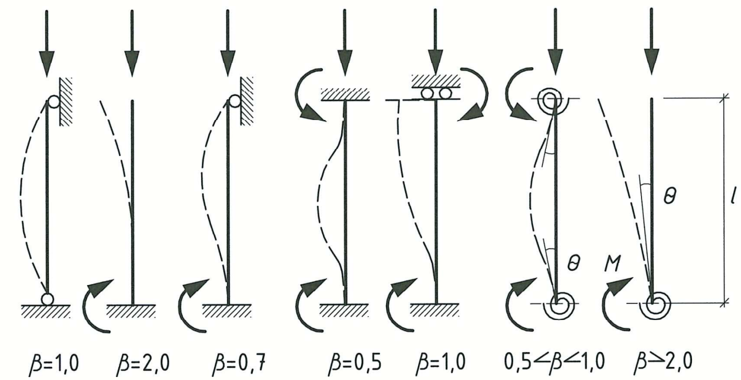
α tala vastasotsa kinnitustingimusi arvestav tegur:

α = 1,0, kui vastasots on kinnitatud elastselt või jäigalt

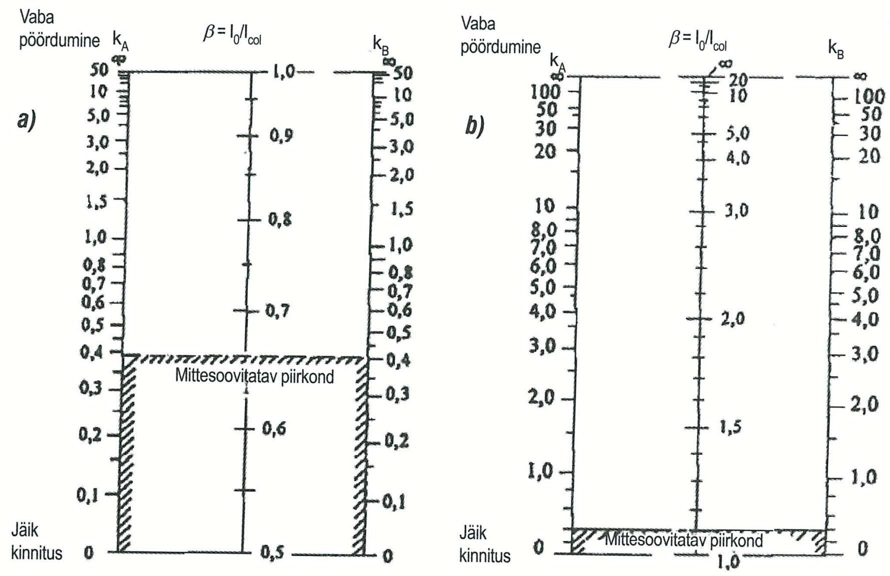
α = 0,5, kui vastasotsa pöördumine pole tõkestatud

α = 0 konsoolil

Täpsemalt vt /2/ p 5.8.3.2 (3).



Joonis 10.41. *Eraldiseisvate elementide erinevad nõtkekujud ja vastavad β väärtused*

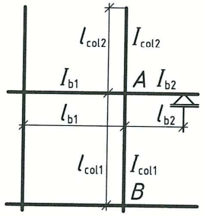


$$k_A(k_B) = \frac{\sum E_{cm}I_{col}/l_{col}}{\sum E_{cm}\alpha I_b/l_{eff}}$$

c)

Näide:

k_A arvutamine lõikes A



$$k_A = \frac{I_{col1}/l_{col1} + I_{col2}/l_{col2}}{I_{b1}/l_{b1} + 0{,}5I_{b2}/l_{b2}}$$

Joonis 10.42. *Nomogramm raami posti arvutuspikkuse määramiseks. a – mittepaigutuv raam, b – paigutuv raam, c – näide*

Surutud elemendi piirsaledus

Eraldiseisva elemendi teist järku koormustulemeid võib eirata, kui elemendi saledus

$$\lambda \le \lambda_{lim} \qquad (10.57)$$

kus piirsaledus

$$\lambda_{lim} = 20 \cdot A \cdot B \cdot C\frac{1}{\sqrt{n}} \qquad (10.58)$$

Valemis (10.58):

$A = 1/(1+0{,}2\varphi_{ef})$ Kui φ_{ef} ei ole teada, võib võtta $A = 0{,}7$

$B = \sqrt{1+2\omega}$ Kui ω ei ole teada, võib võtta $B = 1{,}1$

$C = 1{,}7 - r_m$ Kui r_m ei ole teada, võib võtta $C = 0{,}7$

$\varphi_{ef} = \varphi(\infty,t_0)M_{0Eqp}/M_{0Ed}$

$\varphi(\infty,t_0)$ lõplik roometegur, vt p 10.1 joonis 10.5

M_{0Eqp} esimest järku paindemoment kasutuspiirseisundi tõenäolises koormuskombinatsioonis

M_{0Ed} esimest järku paindemoment kandepiirseisundis

$\omega = \frac{A_s f_{yd}}{A_c f_{cd}}$ mehaaniline armeerimistegur

A_s pikiarmatuuri kogu ristlõikepindala

$n = \frac{N_{Ed}}{A_c f_{cd}}$ pikijõu tegur

$r_m = \frac{M_{01}}{M_{02}}$ momentide suhe

M_{01}, M_{02} esimest järku paindemomendid elemendi otsalõigetes, $|M_{02}| \ge |M_{01}|$

Kui mõlemad otsamomendid põhjustavad tõmbe elemendi samal küljel, tuleks r_m võtta positiivseks (s.o $C \le 1{,}7$), vastasel korral negatiivseks (s.o $C > 0{,}7$).

Suhe r_m tuleks võtta võrdseks 1,0 (s.o $C = 0{,}7$) järgmistel juhtudel:

- seotud elementidel, mille esimest järku paindemomendid on põhjustatud ainult või valdavalt hälvetest või põikkoormusest,
- mitteseotud elementidel.

Esialgsel ligikaudsel arvutusel võiks piirsaleduseks võtta

$$\lambda_{lim} = \frac{11}{\sqrt{n}} \qquad (10.59)$$

10.7.4. Eraldiseisva elemendi teist järku arvutus

Roome mõju

Teist järku arvutuses tuleb arvesse võtta roome mõju ja mõjuvate koormuste kestust.

Lihtsustatult võib koormuse kestust arvesse võtta tegeliku roometeguriga φ_{ef}.

$$\varphi_{ef} = \varphi(\infty,t_0)M_{0Eqp}/M_{0Ed} \qquad (10.60)$$

kus $\varphi(\infty,t_0)$ on lõplik roometegur, joonis 10.5

M_{0Eqp}, M_{0Ed} – vt p 10.7.3

Kui elemendis M_{0Eqp}/M_{0Ed} muutub, võib suhte arvutada suurima paindemomendiga lõikes või kasutada suhte keskmist väärtust.

Roomet võib eirata, s.o eeldada, et $\varphi_{ef} = 0$, kui on rahuldatud järgmised kolm tingimust:

$$\varphi(\infty,t_0) \le 2 \qquad \lambda \le 75 \qquad M_{0Ed}/N_{Ed} \ge h \qquad (10.61)$$

kus h on ristlõike kõrgus vastavas suunas

Arvutuslik paindemoment

Surutud elemendi ristlõike arvutus kandepiirseisundis lähtub ristlõike arvutuslikust normaaljõust N_{Ed} ja arvutuslikust paindemomendist M_{Ed}.

Arvutuslik paindemoment

$$M_{Ed} = M_{0Ed} + M_2 \qquad (10.62)$$

kus $M_{0Ed} = M_{10Ed} + M_i$ on esimest järku paindemoment koos konstruktsioonihälvete mõjuga

M_{10Ed} konstruktsiooniarvutusega määratud esimest järku paindemoment ilma konstruktsioonihälvete mõjuta

M_i konstruktsioonihälvete tulemina saadud paindemoment

M_2 teist järku nimipaindemoment

Eraldiseisva elemendi arvutamisel ei ole teist järku paindemomenti vaja arvesse võtta, kui on täidetud tingimus $\lambda \leq \lambda_{\text{lim}}$. Sellisel juhul kontrollitakse posti ristlõiget ainult esimest järku sisejõudude N_{Ed} ja $M_{\text{Ed}} = M_{\text{0Ed}}$ suhtes.

Kui $\lambda > \lambda_{\text{lim}}$, tuleks arvutusel arvesse võtta teist järku sisejõudusid. Selleks võib projekteerija valikul kasutada kahte lihtsustatud arvutusmeetodit:

a) nimikõverusel põhinev meetod;

b) nimijäikusel põhinev meetod.

NIMIKÕVERUSEL PÕHINEV ARVUTUS

Meetod vaatleb surutud elementi eraldiseisva postina ja lähtub posti deformeerunud telje lihtsustatud kujust. Arvutuslik paindemoment elemendi ristlõikes

$$M_{\text{Ed}} = M_{\text{0Ed}} + M_2 = N_{\text{Ed}} e_{\text{tot}} \qquad (10.62')$$

Teist järku nimipaindemoment

$$M_2 = N_{\text{Ed}} e_2 \qquad (10.63)$$

Üldine ekstsentrilisus

Ristlõike üldine ekstsentrilisus

$$e_{\text{tot}} = e_0 + e_2 = e_{10} + e_{\text{i}} + e_2 \qquad (10.64)$$

kus $e_0 = M_{\text{0Ed}}/N_{\text{Ed}}$ on esimest järku ekstsentrilisus koos konstruktsioonihälvete mõjuga

$e_{10} = M_{\text{10Ed}}/N_{\text{Ed}}$ esimest järku ekstsentrilisus ilma konstruktsioonihälvete mõjuta

e_{i} valemiga (10.53) määratud lisaekstsentrilisus konstruktsioonihälvetest

e_2 teist järku ekstsentrilisus

h ristlõike kõrgus ekstsentrilisuse suunas

Konstantse ristlõike ja pikiarmatuuriga mittepaigutuva posti kõige ohtlikuma lõike üldine ekstsentrilisus määratakse järgmiselt:

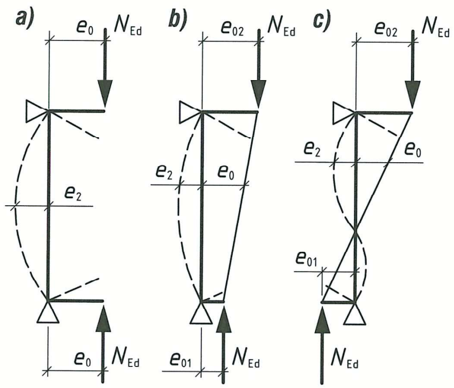
- kui esimest järku ekstsentrilisused posti mõlemas otsas on võrdsed (joonis 10.43, *a*), siis e_{tot} leitakse valemiga (10.64);
- kui esimest järku ekstsentrilisused on kummaski elemendi otsas erinevad oma väärtuse ja/või märgi poolest (joonis 10.43, *b* ja *c*), siis tuleks avaldises (10.64) e_0 asemel kasutada ekvivalentekstsentrilisust e_{e}, milleks on suurem väärtustest:

$$e_{\text{e}} = 0{,}6e_{02} + 0{,}4e_{01} \qquad (10.65)$$

$$e_{\text{e}} = 0{,}4e_{02} \qquad (10.66)$$

kus e_{01}, e_{02} on esimest järku ekstsentrilisused elemendi otstes ja $|e_{01}| \leq |e_{02}|$

Posti otsaristlõigete kontrollimisel $e_{\text{tot}} = e_0$.



Joonis 10.43. *Üldise ekstsentrilisuse määramise skeem mittepaigutuvas konstruktsioonis.*
a – ekstsentrilisus on mõlemas otsas võrdne, b ja c – ekstsentrilisus on kummaski otsas erinev

Teist järku ekstsentrilisus

Teist järku ekstsentrilisus

$$e_2 = \frac{1}{r} \cdot \frac{l_0^2}{c} \qquad (10.67)$$

kus $1/r$ on elemendi telje kõverus kriitilises lõikes, leitakse valemiga (10.68)

l_0 elemendi arvutuspikkus, valem (10.56)

c kõveruse jaotusest olenev tegur. Konstantse ristlõike korral võib võtta $c = 10$, täpsemalt $c = c_0$ (vt nimijäikusel põhinev arvutus)

Kõverus

Konstantse sümmeetrilise ristlõikega (sh konstantse armeeringuga) elemendi korral võib kasutada avaldist

$$\frac{1}{r} = K_{\text{r}} K_{\varphi} \frac{1}{r_0} \qquad (10.68)$$

kus $\dfrac{1}{r_0} = \dfrac{\varepsilon_{\text{yd}}}{0{,}45d}$ ja $\varepsilon_{\text{yd}} = \dfrac{f_{\text{yd}}}{E_{\text{s}}}$

d on kasuskõrgus

Kui kogu armatuur ei ole koondatud ristlõike vastasservade juurde, vaid osa sellest on jaotatud paindetasandiga paralleelselt, siis $d = \dfrac{h}{2} + i_{\text{s}}$

kus i_{s} on armatuuri kogu ristlõikepinna inertsiraadius.

Normaaljõust oleneva parandusteguri K_{r} väärtuseks tuleks võtta:

$$K_{\text{r}} = \frac{n_{\text{u}} - n}{n_{\text{u}} - n_{\text{bal}}} \leq 1 \qquad (10.69)$$

kus $n = \dfrac{N_{\text{Ed}}}{A_{\text{c}} f_{\text{cd}}}$ on pikijõutegur

N_{Ed} arvutuslik normaaljõud

$n_{\text{u}} = 1 + \dfrac{A_{\text{s}} f_{\text{yd}}}{A_{\text{c}} f_{\text{cd}}}$

n_{bal} maksimaalsele paindekandevõimele vastav n väärtus; võib võtta $n_{\text{bal}} = 0{,}4$

A_{s} armatuuri kogu ristlõikepindala

A_{c} betoonristlõike pindala

Varu kasuks võib võtta $K_{\text{r}} = 1$

Roome mõju arvesse võttev tegur

$$K_{\varphi} = 1 + \beta \varphi_{\text{ef}} \geq 1 \qquad (10.70)$$

kus $\beta = 0{,}35 + \dfrac{f_{\text{ck}}}{200} - \dfrac{\lambda}{150}$

φ_{ef} tegelik roometegur, valem (10.60)

λ elemendi saledus

Kui $\lambda \geq 52{,}5 + 0{,}75 f_{\text{ck}}$ või on täidetud tingimused (10.61), võib võtta $K_{\varphi} = 1{,}0$

NIMIJÄIKUSEL PÕHINEV ARVUTUS

Eraldiseisva elemendi teist järku arvutusel tuleks kasutada paindejäikuse nimiväärtust, võttes arvesse pragunemise, materjali mittelineaarsuse ja roome mõju elemendi töötamisele.

Nimijäikus

Meelevaldse ristlõikega saleda surutud elemendi nimijäikuseks võib võtta:

$$EI = K_{\text{c}} E_{\text{cd}} I_{\text{c}} + K_{\text{s}} E_{\text{s}} I_{\text{s}} \qquad (10.71)$$

kus $E_{\text{cd}} = \dfrac{E_{cm}}{1{,}2}$ betooni elastsusmooduli arvutusväärtus

I_{c} betoonristlõike inertsimoment

E_{s} armatuuri elastsusmoodul

I_{s} armatuuri pinna inertsimoment betoonristlõike peatelje suhtes

K_{c} pragude, roome jm mõju arvestav tegur

K_{s} armatuuri kaasatöötamist arvestav tegur

Kui $\rho \geq 0{,}002$, võib võtta:

$K_{\text{s}} = 1$

$$K_{\text{c}} = k_1 k_2 / (1 + \varphi_{\text{ef}}) \qquad (10.72)$$

kus $\rho = A_{\text{s}} / A_{\text{c}}$ geomeetriline armeerimistegur

A_{s} armatuuri kogu ristlõikepindala

A_{c} betoonristlõike pindala

φ_{ef} tegelik roometegur, valem (10.60)

$$k_1 = \sqrt{\frac{f_{\text{ck}}}{20}} \ \text{(MPa)} \qquad (10.73)$$

$$k_2 = n \cdot \frac{\lambda}{170} \leq 0{,}20 \qquad (10.74)$$

$n = \dfrac{N_{\text{Ed}}}{A_{\text{c}} f_{\text{cd}}}$

λ elemendi saledus

Kui λ on määratlemata, võib võtta

$$k_2 = 0{,}30n \leq 0{,}20 \qquad (10.75)$$

Kui $\rho \geq 0{,}01$, võib esialgses arvutuses lihtsustatult võtta: $K_{\text{s}} = 0$

$$K_{\text{c}} = 0{,}3 / (1 + 0{,}5\varphi_{\text{ef}}) \qquad (10.76)$$

10

Arvutuslik paindemoment

Teist järku momenti sisaldava üldise paindemomendi võib avaldada kujul:

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

kus M_{0Ed} 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

$$N_B = \frac{\pi^2 EI}{l_0^2} \qquad (10.78)$$

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 $M_0 = N_{Ed}e_0$ 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_{0e} (tegur $c_0 = 8$):

$$M_{0e} = 0,6M_{02} + 0,4M_{01} \ge 0,4\,M_{02} \qquad (10.80)$$

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

Otsaristlõiget kontrollitakse paindemomendi $M_0 = N_{Ed}e_0$ 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

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

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)

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

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

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

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

b, h ristlõike laius ja kõrgus

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

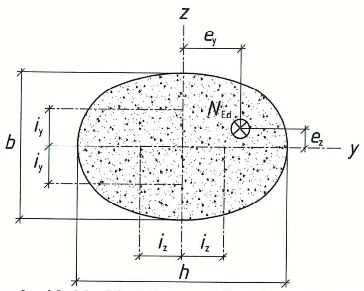
i_y, i_z ristlõike inertsiraadius telgede y ja z suhtes

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

$e_y = \dfrac{M_{Edz}}{N_{Ed}}$ 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:

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

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_{Ed}/N_{Rd}

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

vahepealsed väärtused interpoleeritakse

N_{Ed} arvutuslik normaaljõud

$N_{Rd} = A_c f_{cd} + A_s f_{yd}$ 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 $f_{ycd} = f_{yd} \le 440$ MPa. Tõmbearmatuuri pinge loetakse positiivseks tõmbel, survearmatuuri pinge – survel. Pikijõud (normaaljõud) on positiivne survel. Ristlõike deformatsiooni- ja pingejaotus kandepiirseisundis vastab joonisele 10.38.

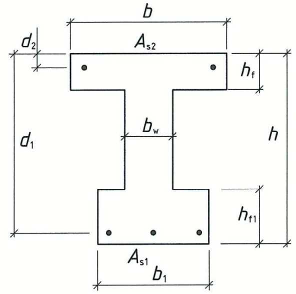
Tugevustingimus

Tugevustingimuseks on painutatud elemendil

$$M_{Ed} \le M_{Rd} = \eta f_{cd} S_c + \sigma_{s2} A_{s2}(d_1 - d_2) \qquad (10.84)$$

ja surutud või tõmmatud elemendil

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



Joonis 10.45. *Ribiplaatristlõike tähised*

Survetsooni kõrgus

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

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

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

Valemites (10.84) kuni (10.86):

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

M_{Rd}, $(Ne)_{Rd}$ 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; $f_{ck} \le 50$ MPa korral $\eta = 1,0$ ja $\lambda = 0,8$