

## Liitristlõike tugevuskontroll ja dimensiooni-mine

Väändemoment  $T_{Ed}$  jagatakse osaristlõigete vahel võrdeliselt osade väändekandevõimega  $T_{Rd,max,i}$ .

$i$ -ndale osaristlõikele tuleb väändemoment

$$T_{Ed,i} = T_{Ed} \frac{T_{Rd,max,i}}{T_{Rd,max}} \quad (10.245)$$

kus  $i$ -nda osaristlõike väändekandevõime

$$T_{Rd,max,i} = \frac{2\alpha_{cw} \nu_{cd} t_{ef,i} A_{ki}}{\cot \theta + \tan \theta} \quad (10.246)$$

ja kogu ristlõike üldine väändekandevõime

$$T_{Rd,max} = \sum T_{Rd,max,i}$$

Valemis (10.246) on  $A_{ki}$ ,  $u_{ki}$  ja  $t_{ef,i}$   $i$ -nda ekvivalentosaristlõike parameetrid  $A_k$ ,  $u_k$  ja  $t_{ef}$ .

Kõigi osaristlõigete puhul peavad olema rahuldatud tugevustingimused (10.234)...(10.236).

Liitristlõike väändearmatuuri dimensioonitakse osaristlõigete kaupa, lähtudes valemiga (10.245) määratud väändemomendist  $T_{Ed,i}$ .

### 10.14.2. Sisejõudude koosmõju

#### Vääne koos paindega

Eraldi võib määrata paindemomendi (ja pikijõu) ning väändemomendi vastuvõtmiseks vajaliku pikiarmatuuri. Painde tõmbetsoonis lisatakse vajalik väändearmatuur paindemomendi ja pikijõu vastuvõtmiseks tarvilikule pikiarmatuurile. Kui painde survetsoonis on väände põhjustatud tõmme väiksem kui paindemomendi ja pikijõu põhjustatud surve, siis ei ole seal täiendavat väändearmatuuri vaja.

#### Vääne koos põikjõuga

Arvutusliku väändemomendi  $T_{Ed}$  ja põikjõu  $V_{Ed}$  koosmõjumisel võib kandevõime lugeda tagatuks, kui on rahuldatud tingimus

$$T_{Ed}/T_{Rd,max} + V_{Ed}/V_{Rd,max} \leq 1,0 \quad (10.247)$$

kus  $T_{Rd,max}$  on valemiga (10.237) määratud arvutuslik väändekandevõime

$V_{Rd,max}$  valemiga (10.219) määratud arvutuslik põikjõukandevõime

$\theta$  võetakse sama nii väände- kui ka põikjõu arvutuses.  $V_{Ed}$  puhul ei võeta arvesse kandevõime suurenemist toelähedases piirkonnas.

Vajalik rangide intensiivsus ristlõike kogulaiuse kohta

$$a_{sw} = 2a_{sw,T} + a_{sw,V}$$

kus  $a_{sw,T}$  arvutatakse valemiga (10.243) ja  $a_{sw,V}$  valemiga (10.225)

Ligikaudu ristkülikulise täisristlõike korral ei ole arvutuslik põikjõu- ja väändearmatuur vajalik, kui on täidetud järgmine tingimus:

$$T_{Ed}/T_{Rd,c} + V_{Ed}/V_{Rd,c} \leq 1,0 \quad (10.248)$$

kus väändepugnemismoment

$$T_{Rd,c} = 2A_k t_{ef} f_{ctd} \quad (10.249)$$

$V_{Rd,c}$  arvutatakse valemitega (10.213) ja (10.214).

## 10.15. LÄBISURUMINE

### 10.15.1. Arvutuskeem

Läbisurumise arvutuskeem on esitatud joonistel 10.73, kus:

**koormatud ala**  $A_{load}$  – pind, kuhu on rakendatud plaadi või vundamendi läbisurumist põhjustav koormatud jõud

**baaskontrollperimeeter**  $u_1$  – koormatud ala ümbritsev ja sellest kaugusel  $2d$  asuv perimeeter (joonis 10.73)

**baaskontrollala**  $A_{cont}$  – baaskontrollperimeetriga ümbritsetud ala

**baaskontroll-lõige** – baaskontrollperimeetrit jälgiv lõige, selle kõrgus on võrdne kasuskõrgusega  $d$

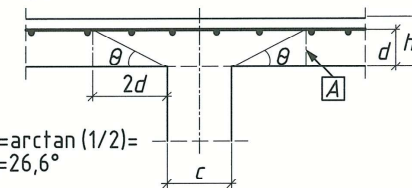
Plaadi kasuskõrguseks võib võtta  $d = (d_y + d_z)/2$ , kus  $d_y$  ja  $d_z$  on kasuskõrguse kahe ristuv suunas paikneva armatuuri suhtes. Muutuva paksusega plaadil või vundamendil (joonis 10.77) võib kasuskõrguse võtta koormatud ala perimeetrit.

Läbisurumisel tuleks kontrollida põikjõukindlust posti servas ja baaskontrollperimeetrit  $u_1$ . Põikarmatuuri vajaduse korral tuleks määrata lisaperimeeter  $u_{out,ef}$  kus põikarmatuuri enam ei vajata. Vundamentide korral (joonis 10.77) või kui oluline koormus mõjub kauguse  $2d$  ulatuses koormatud ala piirist, tuleks vaadelda koormatud alale lähemal kui  $2d$  paiknevat kontrollperimeetrit. Sees- või väljaspool baaskontrollala paiknevad lisaperimeetrid  $u_i$  peaksid olema samakujulised baaskontrollperimeetriga.

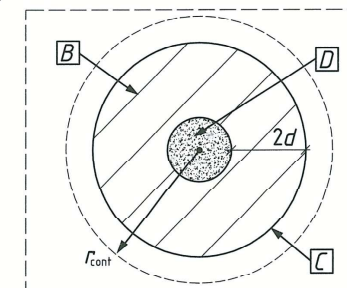
Kontrollperimeetri (kontroll-lõike) määramise kohta kapiteeliga ringsilindrilise või ristkülikulise ristlõikega posti korral vt /2/ p 6.4.

Ava või plaadi vaba serva lähedal määratakse baaskontrollperimeeter jooniste 10.75 ja 10.76 järgi.

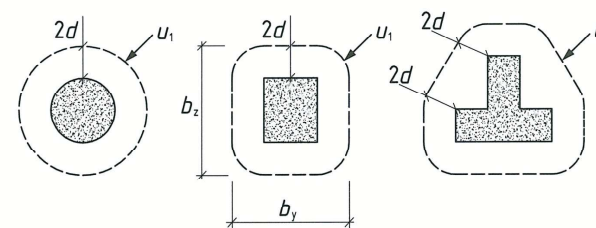
#### a) Lõige



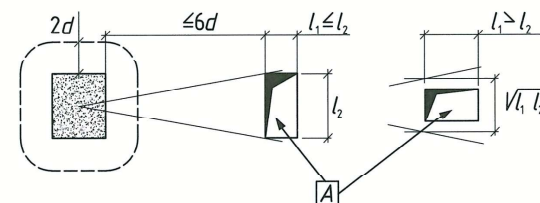
#### b) Plaan



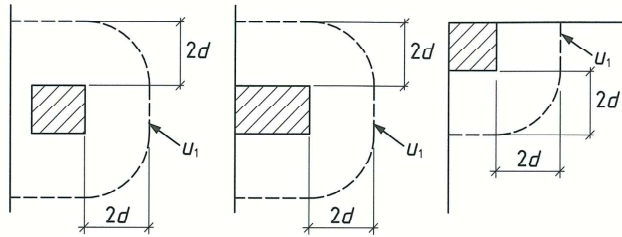
Joonis 10.73. Läbisurumiskontrolli skeem kandepiiriseisundis. A – baaskontrolllõige, B – baaskontrollala  $A_{cont}$ , C – baaskontrollperimeeter  $u_1$ , D – koormatud ala  $A_{load}$ ,  $r_{cont}$  – lisakontrollperimeeter



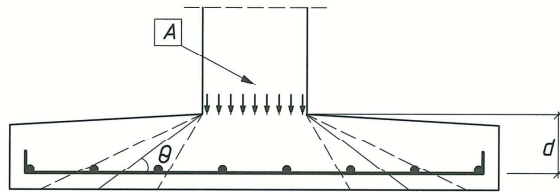
Joonis 10.74. Koormatud ala ümbritsevad tüüpilised baaskontrollperimeetrid



Joonis 10.75. Baaskontrollperimeeter ava lähedal. A on ava



Joonis 10.76. Koormatud ala baaskontrollperimeeter serva või nurga lähedal



Joonis 10.77. Muutuva paksusega vundamendi kontroll-lõike kõrgus. A on koormatud ala;  $\theta \geq \arctan(1/2)$

### 10.15.2. Läbisurumise arvutus

Arvutusega kontrollitakse maksimaalset läbisurumispinget  $v_{Ed}$  posti servas ja baaskontrollperimeetril  $u_1$  olevas lõikes. Põikarmatuuri vajaduse korral tuleks leida lisaperimeeter  $u_{out,ef}$  kus põikarmatuur ei ole enam vajalik. Vaadeldava kontroll-lõike läbisurumiskandevõime väljendatakse järgmiste arvutuslike piirnihkepingetena (MPa):

- $v_{Rd,c}$  põikarmatuurita plaadi arvutuslik läbisurumiskandevõime
- $v_{Rd,cs}$  põikarmatuuriga plaadi arvutuslik läbisurumiskandevõime
- $v_{Rd,max}$  plaadi maksimaalne arvutuslik läbisurumiskandevõime

Posti või koormatud ala perimeetril peaks olema rahuldatud tingimus

$$v_{Ed} \leq v_{Rd,max} \quad (10.250)$$

Läbisurumisarmatuur ei ole vajalik, kui kontrollperimeetril on rahuldatud tingimus

$$v_{Ed} \leq v_{Rd,c} \quad (10.251)$$

Kui vaadeldavas kontroll-lõikes  $v_{Ed} > v_{Rd,c}$  tuleks ette näha läbisurumisarmatuur.

Suurim nihkepinge kontroll-lõikes

$$v_{Ed} = \beta \frac{V_{Ed}}{u_1 d} \quad (10.252)$$

kus  $u_1$  vaadeldava kontrollperimeetri pikkus

$V_{Ed}$  üldine arvutuslik põikjõud kontrollperimeetril. Vahelaeplaadil võetakse tavaliselt varu kasuks  $V_{Ed}$  võrdseks posti normaaljõuga. Vundamendiplaadis tuleks  $V_{Ed}$  suurust vähendada seespool kontrollperimeetrit mõjuva pinnase surve arvel

$\beta$  koormuse ekstsentrilisust arvestav tegur. Kui ekstsentrilisuse tekkimine ei ole võimalik, siis  $\beta = 1,0$ . Konstruktioonide korral, mille põikstabiilsus ei olene plaadi ja postide koostöötamisest raamina ja naabersillete pikkus ei erine

üle 25%, võib kasutada joonisel 10.78 toodud  $\beta$  ligikaudset väärtust. Muude juhtude jaoks on eeskirjad  $\beta$  määramiseks antud standardi /2/ punktis 6.4.3.

### Põikarmatuurita plaadi ja postivundamendi läbisurumiskandevõime

Posti perimeetril tuleks kontrollida tingimust (10.250), kus

$$v_{Rd,max} = 0,5 v_{f,cd} \quad (10.253)$$

$$v = 0,6 \left( 1 - \frac{f_{ck}}{250} \right) \quad (10.217)$$

( $f_{ck}$  MPa,  $v$  väärtused vt tabel 10.26)

Plaadi baaskontroll-lõikes perimeetril  $u_1$  tuleks kontrollida tingimuse (10.251) täitmist. Arvutuslik läbisurumiskandevõime MPa

$$v_{Rd,c} = C_{Rd,c} k (100 \rho_v f_{ck})^{1/3} + 0,1 \sigma_{cp} \geq v_{min} + 0,1 \sigma_{cp} \quad (10.254)$$

kus  $f_{ck}$  ühikkuks on MPa

$$C_{Rd,c} = 0,18 / \gamma_c$$

$$v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2} \text{ (vt tabel 10.26) } \quad (10.215)$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2,0$$

( $d$  on millimeetrites, vt tabel 10.26)

$$\rho_1 = \sqrt{\rho_y \rho_z} \leq 0,02$$

$\rho_y, \rho_z$  on armeerimistegurid suundades  $y$  ja  $z$ .  $\rho_y$  ja  $\rho_z$  tuleks arvutada keskmiste väärtustena, võttes plaadi laiuks posti laiuks plus  $3d$  mõlemale poole:

$$\sigma_{cp} = (\sigma_{cy} + \sigma_{cz}) / 2$$

kus  $\sigma_{cy}, \sigma_{cz}$  on betooni normaalpinged kriitilises lõikes suundades  $y$  ja  $z$  (MPa, positiivsed survel):

$$\sigma_{cy} = \frac{N_{Ed,y}}{A_{cy}} \quad \sigma_{cz} = \frac{N_{Ed,z}}{A_{cz}}$$

$N_{Ed,y}, N_{Ed,z}$  on sisemise posti korral normaaljõud kogu silde ulatuses ja ääreposti korral normaaljõud kontroll-lõike ulatuses

$A_{cy}, A_{cz}$  on  $N_{Ed,y}$  ja  $N_{Ed,z}$  määratlusele vastav betooni pindala

### Postivundament

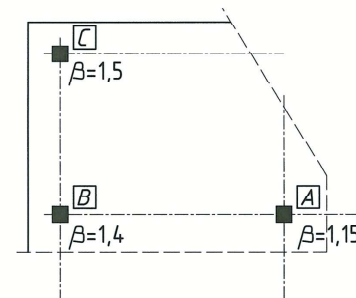
Postivundamendil tuleks tingimuse  $v_{Ed} \leq v_{Rd,c}$  täitmist kontrollida erinevatel kontrollperimeetritel, mis jäävad posti servast kaugusele kuni  $2d$ .

$$v_{Ed} = V_{Ed,red} / u_d \quad (10.255)$$

Läbisurumisjõud tsentriliselt koormatud vundamendi korral

$$V_{Ed,red} = V_{Ed} - \Delta V_{Ed} \quad (10.256)$$

kus  $V_{Ed}$  on üldine põikjõud, võrdne posti vundamendipealse lõike normaaljõuga



Joonis 10.78. Teguri  $\beta$  ligikaudsed väärtused. A – sisemine post, B – äärepõst, C – nurgapost



$\Delta V_{Ed}$  seespool vaadeldavat kontrollperimeetrit mõjuv pinnase rõhk koormusest  $V_{Ed}$

Ekstsentriliselt koormatud vundamendil tuleks  $v_{Ed}$  määrata /2/ punkti 6.4.4 järgi.

$$v_{Rd,c} = C_{Rd,c} k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3} \frac{2d}{a} \geq v_{min} \frac{2d}{a} \quad (10.257)$$

kus  $a$  on vaadeldava kontrollperimeetri kaugus posti servast

### Põikarmatuuriplaadi ja postivundamendi läbisurumiskandevõime

Kui baaskontrollõikes  $v_{Ed} > v_{Rd,c}$ , siis tuleks ette näha läbisurumisarmatuur, mille puhul oleks täidetud tingimus

$$v_{Ed} \leq v_{Rd,cs} \quad (10.258)$$

Lõike läbisurumiskandevõime

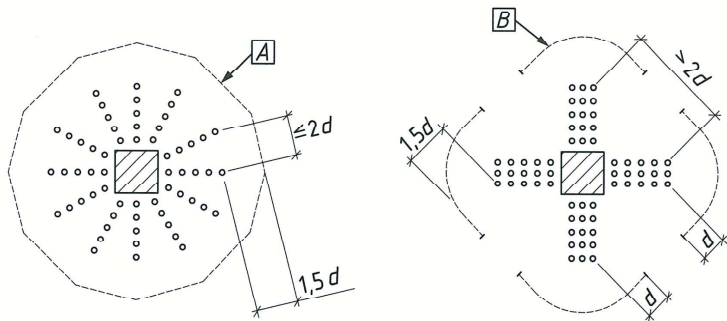
$$v_{Rd,cs} = 0,75 v_{Rd,c} + 1,5 \frac{d}{s_r} A_{sw} f_{ywd,ef} \frac{1}{u_1 d} \sin \alpha \quad (10.259)$$

kus  $A_{sw}$  on põikarmatuuri ristlõikepindala ühel posti ümbriseval perimeetril  $mm^2$

$s_r$  põikarmatuuri paiknemise perimeetri te radiaalsamm  $mm$

$f_{ywd,ef} = 250 + 0,25d \leq f_{ywd}$  on põikarmatuuri efektiivne arvutustugevus läbisurumisel MPa

$d$  plaadi kahe ristuva suuna keskmine kasuskõrgus  $mm$



Joonis 10.79. Sisemise posti kontrollperimeetrid. A – perimeeter  $u_{out}$ , B – perimeeter  $u_{out,ef}$

$\alpha$  nurk põikarmatuuri ja plaadi pinna vahel

Kui ette on nähtud üks rida ülespõrdeid, võib valemis (10.259) suhte  $d/s_r$  väärtuseks võtta 0,67.

Põikarmatuuri konstrueerimisnõuded läbisurumisel on antud punktis 10.5.3.

Posti perimeetril peab olema rahuldatud tingimus

$$v_{Ed} = \frac{\beta V_{Ed}}{u_0 d} \leq v_{Rd,max} \quad (10.260)$$

kus sisemisel postil  $u_0 =$  posti ümbermõõt  $mm$

$$\text{äärepostil} \quad u_0 = c_2 + 3d \leq c_2 + 2c_1$$

$$\text{nurgapostil} \quad u_0 = 3d \leq c_1 + c_2$$

$c_1, c_2$  on posti ristlõike mõõtmised; äärepostil on  $c_1$  plaadi servaga paralleelne mõõde

$$v_{Rd,max} = 0,5 v_{f_{cd}} \quad (10.253)$$

Kontrollperimeeter  $u_{out}$  (või  $u_{out,ef}$ , vt joonis 10.79), kus põikarmatuur ei ole vajalik, tuleks arvutada valemiga

$$u_{out,ef} = \frac{\beta V_{Ed}}{v_{Rd,c} d} \quad (10.261)$$

Põikarmatuuri kõige äärmine perimeeter peaks paiknema seespool perimeetrit  $u_{out}$  (või  $u_{out,ef}$ ) vt joonis 10.79) ja sellest mitte kaugemal kui  $1,5d$ .

## 10.16. KASUTUSPIIRSEISUNDID

### 10.16.1. Painutatud elemendi pinged

Betooni ja armatuuri kasutusseisundi pingete määramisel tuleb arvesse võtta normaalprao olemasolu või puudumine vaadeldavas ristlõikes, samuti roome ja mahukahanemise ning vajadusel ka temperatuuri mõju.

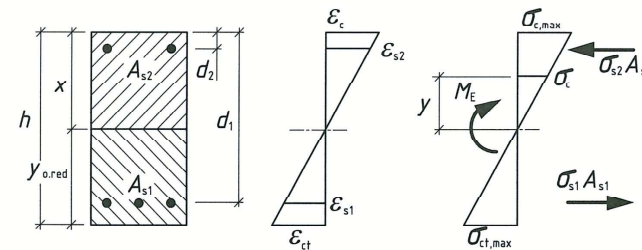
Betooni lõpliku roomedeformatsiooni mõju saab arvesse võtta, asendades arvutuses betooni elastsusmooduli  $E_{cm}$  tegeliku elastsusmooduliga

$$E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{1 + \varphi(\infty, t_0)}$$

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

Pinge määratakse eeldusel, et ristlõige on kas pragnemata või siis täispragnunenud (täielikult väljaarenenud praoga). Pragnunena käsitatakse ristlõiget siis, kui praota ristlõikes arvutatud suurim betooni tõmbepinge normatiivsest koormuskombinatsioonist ületab suurust  $f_{ctm}$  (vt tabel 10.1).

Enne prao tekkimist käsitatakse töötavana kogu betoonristlõiget ja oletatakse, et betoon ja teras töötavad elastsena nii tõmbel kui ka survel. Praoga ristlõike korral oletatakse, et betoon töötab survel elastsena, kuid ei võta vastu tõmmet.



Joonis 10.80. Praota ristlõike deformatsiooni- ja pingeaotus

### Betooni ja armatuuri pinge praota ristlõikes

Pingete määramisel lähtutakse redutseeritud ristlõikest, mis koosneb betoonristlõike pindalast ning terase ja betooni elastsusmoodulite suhtega  $\alpha_s = E_s / E_{cm}$  korrutatud armatuuri ristlõikepindalast (joonis 10.80). Eeldatakse betooni ja armatuuri elastset töötamist.

Redutseeritud ristlõike peamised karakteristikud on:

- ristlõike pindala  $A_{red} = A_c + \alpha_s A_{s1} + \alpha_s A_{s2} \quad (10.262)$
- ristlõike raskuskeskme kaugus ristlõike tõmmatud servast  $y_{0,red} = \frac{S_{0,red}}{A_{red}} = \frac{S_{0c} + \alpha_s A_{s1}(h-d_1) + \alpha_s A_{s2}(h-d_2)}{A_{red}} \quad (10.263)$

- survetsooni kõrgus  $x = h - y_{0,red}$
- ristlõike inertsimoment  $I_{red} = I_c + \alpha_s A_{s1}(d_1 - x)^2 + \alpha_s A_{s2}(x - d_2)^2 \quad (10.264)$

Valemites (10.262) kuni (10.264):

- $A_c$  betoonristlõike pindala
- $I_c$  betoonristlõike pinna inertsimoment redutseeritud ristlõike raskuskeset läbiva telje suhtes
- $S_{0c}$  betoonristlõike pinna staatiline moment ristlõike tõmmatud serva suhtes
- $d_1, d_2$  armatuuride  $A_{s1}$  ja  $A_{s2}$  raskuskeskme kaugus ristlõike surutud servast