

ΔV_{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

Põikarmatuuri plaadi 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

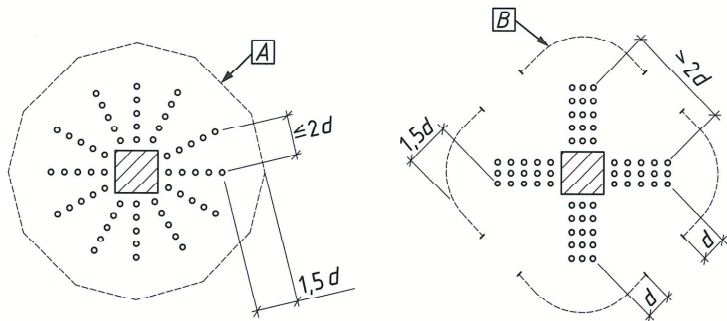
$$v_{Rd,cs} = 0,75 v_{Rd,c} + 1,5 \frac{d}{s_r} A_{sw} f_{ywd,ef} \frac{1}{u_1 d} \sin \alpha \quad (10.259)$$

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

s_r põikarmatuuri paiknemise perimeetrite 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 $u_{out,ef}$

α 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.

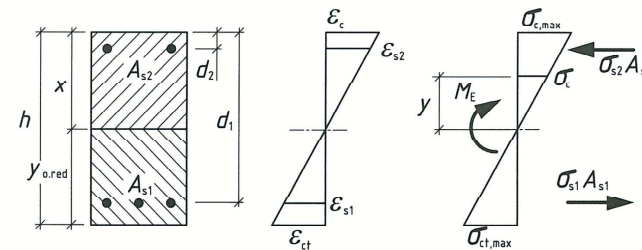
Betooni lõpliku roomedeformatsiooni mõju saab arvesse võtta, asendades arvutuses betooni elastsusmooduli E_{cm} tegeliku elastsusmooduliga

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

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). Pragnunenuna 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

Ristkülikulisel survearmatuurita ristlõikel

$$y_{0,\text{red}} = \frac{0,5bh^2 + \alpha_s A_{s1}(h - d_1)}{bh + \alpha_s A_{s1}} \quad (10.265)$$

$$x = h - y_{0,\text{red}}$$

$$I_{\text{red}} = \frac{bh^3}{12} + bh(x - 0,5h)^2 + \alpha_s A_{s1}(d_1 - x)^2 \quad (10.266)$$

Betooni normaalpinge kaugusel y redutseeritud ristlõike raskuskeset läbivast peateljest

$$\sigma_c = \pm \frac{M_E y}{I_{\text{red}}} \quad (10.267)$$

Betooni pinge ristlõike surutud ja tõmmatud servas

$$\sigma_{c,\text{max}} = \frac{M_E}{W_{c,\text{red}}} \quad \sigma_{ct,\text{max}} = -\frac{M_E}{W_{t,\text{red}}} \quad (10.268)$$

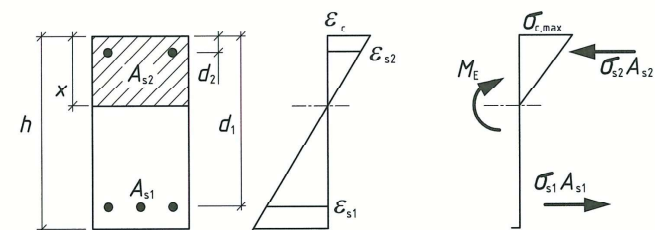
$$\text{kus } W_{c,\text{red}} = \frac{I_{\text{red}}}{x} \quad W_{t,\text{red}} = \frac{I_{\text{red}}}{y_{0,\text{red}}} \quad (10.269)$$

Armatuuri pinged

$$\sigma_{s1} = \alpha_s \frac{M_E (d_1 - x)}{I_{\text{red}}} \quad \sigma_{s2} = \alpha_s \frac{M_E (d_2 - x)}{I_{\text{red}}} \quad (10.270)$$

Märgid on kokkuleppelised. Käesoleval juhul on betooni pinge võetud positiivseks surve, armatuuri pinge tõmbe korral.

Betooni nihkepinge redutseeritud ristlõike nulljoonel



Joonis 10.81. Praoga ristlõike deformatsiooni- ja pingeaotus

$$\tau_c = \frac{V_E S_{\text{red,max}}}{I_{\text{red}} b} \quad (10.271)$$

kus $S_{\text{red,max}}$ on surve- või tõmbetooni redutseeritud pinna staatiline moment nulljoone suhtes

b ristlõike laius nulljoone kohal

Betooni ja armatuuri pinge täispragunenud ristlõikes

Paindemoment normaalprao tekkimisel

$$M_{\text{cr}} = f_{\text{ctm}} W_{t,\text{red}} \quad (10.272)$$

Pärast normaalprao tekkimist määratakse betooni ja armatuuri pinge eeldustel, et

- rakendatav on ristlõike tasapindsuse hüpotees
- betoon ei võta vastu normaal tõmbepingeid
- armatuurile ja surutud betoonile on rakendatav Hooke'i seadus.

Ristlõike deformatsiooni- ja pingeaotus on toodud joonisel 10.81.

Survetsooni kõrgus x leitakse tingimusest, et kogu töötava ristlõike staatiline moment ristlõike nulljoone suhtes võrdub nulliga:

$$S_c + \alpha_s A_{s2}(x - d_2) - \alpha_s A_{s1}(d_1 - x) = 0 \quad (10.273)$$

Ristlõike inertsimoment

$$I = I_c + \alpha_s A_{s1}(x - d_{s1})^2 + \alpha_s A_{s2}(x - d_{s2})^2 \quad (10.274)$$

Valemities (10.273) ja (10.274)

S_c survetsooni betooni staatiline moment nulljoone suhtes

I_c survetsooni betooni inertsimoment nulljoone suhtes

Survearmatuurita ristkülikristlõikel

$$x = -\frac{\alpha_s A_{s1}}{b} + \sqrt{\left(\frac{\alpha_s A_{s1}}{b}\right)^2 + \frac{2\alpha_s A_{s1} d_1}{b}} \quad (10.275)$$

$$I = \frac{bx^3}{3} + \alpha_s A_{s1}(d_{s1} - x)^2 \quad (10.276)$$

Betooni suurim survepinge (positiivne surve)

$$\sigma_{c,\text{max}} = \frac{M_E x}{I} \quad (10.277)$$

armatuuri pinged (positiivsed tõmbel)

$$\sigma_{s1} = \alpha_s \frac{M_E (d_1 - x)}{I} \quad \sigma_{s2} = \alpha_s \frac{M_E (d_2 - x)}{I} \quad (10.278)$$

10.16.2. Pingepiirangute piiriseisund

Pingepiirangute kontroll on vajalik

- vältimaks betooni selliseid pikisurvepingeid, mis põhjustavad konstruktsiooni kestvust vähendavaid pikipragusid
- vältimaks ülemäärast roomet põhjustavaid betooni pikisurvepingeid
- vältimaks armatuuri plastseid deformatsioone, mis põhjustaksid pragude ülemäärast avanemist.

Betooni pikipragunemist põhjustavate survepingete kontroll

Keskonnaklasside XD, XF ja XS mõjupiirkonda jäävates pindades tuleks konstruktsiooni kestvust vähendavate pikipragude vältimiseks piirata betooni survepinget tingimusega $\sigma_c \leq 0,6f_{\text{ck}}$ või ette näha survetsooni tugevdavad abinõud (armatuuri kaitsekihi suurendamine survetsoonis või survetsooni ümbritsev põikarmatuur).

σ_c on suurim betooni survepinge normatiivsest koormuskombinatsioonist elemendi täispragunenud ristlõikes enne roome deformatsioonide arenemist.

Betooni survepinge kontroll ülemäärase roome vältimiseks

Mittelineaarsete roome deformatsioonide vältimiseks peaks betooni suurim survepinge elemendis jääma piiridesse $\sigma_c \leq 0,45f_{\text{ck}}$. Kui $\sigma_c > 0,45f_{\text{ck}}$, tuleks arvesse võtta roome mittelineaarsust (vt /2/ p 3.1.4).

σ_c määratakse, lähtudes tõenäolisest koormuskombinatsioonist ja täispragunenud ristlõikest.

Armatuuri pinge kontroll terase plastsete deformatsioonide vältimiseks

Armatuuri plastse deformatsiooni vältimiseks peaks armatuuri pinge jääma piiridesse $\sigma_s \leq 0,8f_{\text{yk}}$. Kui armatuuri pinge tekib vaid sunddeformatsioonidest, on tingimuseks $\sigma_s \leq f_{\text{yk}}$.

σ_s määratakse, lähtudes normatiivsest koormuskombinatsioonist ja täispragunenud ristlõikest.

10.16.3. Pragudekindluse piiriseisund

Prao lubatud laius

Prao avanemise lubatav arvutusekohane piiralaus w_{max} oleneb keskkonnaklassist. Erinõuete puudumisel (nt veetiheduse suhtes) on hoonete raudbetoonielementide välimuse ja kestvuse suhtes küllaldane võtta w_{max} väärtus järgmiselt:

- keskkonnaklasside X0 ja XC1 korral $w_{\text{max}} = 0,4$ mm. Piirangut võib pehmendada, kui konstruktsiooni välimuse suhtes nõudeid ei ole;
- keskkonnaklasside XC2, XC3, XC4, XD1, XD2, XS1, XS2 ja XS3 korral $w_{\text{max}} = 0,3$ mm;
- keskkonnaklassi XD3 korral võivad olla vajalikud erinõuded, mis sõltuvad keskkonnas esineva agressiivse aine iseloomust.

Elemendi pragude laius on lubatavates piirides, kui tõenäolisele koormuskombinatsioonile vastav prao arvutatud laius $w_k \leq w_{\text{max}}$. Tingimuse täitmist saab kontrollida

- w_k määramisega arvutuse abil
- armatuurvarraste vahekauguse ja läbimõõdu sobiva valikuga (kaudne pragudekontroll).

Armatuuri minimaalne ristlõikepindala

Pragude arenemise piiramiseks ja ülemääraste roomeformatsioonide vältimiseks on nõutav teatav minimaalne kogus nakkega armatuuri nendes pindades, kus on oodata tõmmet. Koguse võib määrata, lähtudes betoonis vahetult enne pragunemist esineva tõmbejõu tasakaalust armatuuri tõmbejõuga pärast prao tekkimist. Tõmbe- toonis paikneva armatuuri minimaalse nõutava pinna võib arvutada valemiga

$$A_{s,min} = k_c k_{ct,eff} A_{ct} / \sigma_s \quad (10.279)$$

kus A_{ct} betooni tõmbeooni ristlõikepindala vahetult enne esimese prao tekkimist

σ_s armatuuri maksimaalne lubatav pinge vahetult pärast prao tekkimist. Selle võib võtta võrdseks armatuuri voolavustugevusega f_{yk} . Prao lubatud laiuse tagamiseks võib osutada vajalikuks σ_s vähendamine olenevalt maksimaalsest varda läbimõõdust või varraste vahekaugusest

$f_{ct,eff}$ betooni efektiivne keskmine tõmbe- tugevus esimese prao oodatava tekkimise ajal $f_{ct,eff} = f_{ctm}$. Kui prao tekkimist on oodata enne 28 päeva, siis $f_{ct,eff} = f_{ctm}(t)$, kus $f_{ctm}(t)$ on tõmbe tugevus ajal t , vt /2/ p 3.1.2 (6) ... (9)

k tegur, mis võtab arvesse tõkestusjõu- dade vähenemisele viivat ebaühtlaselt jaotuvate isetasakaalustuvate algpin- gete mõju:

$k = 1$ ribidel kõrgusega $h \leq 300$ mm või vöödel laiusega $b \leq 300$ mm
 $k = 0,65$ ribidel $h \geq 800$ mm või vöö- del $h \geq 800$ mm

Vahepealseid väärtusi võib interpoleerida.

k_c tegur, mis võtab arvesse ristlõike pin- gejaotust vahetult enne prao tekkimist ja sisejõudude õla muutumist puhta tõmbe korral (kogu ristlõige on enne prao tekkimist tõmmatud) $k_c = 1,0$ painde või ekstsentrilise tõmbe korral (osa ristlõikest on surutud) võiks ligi-

kaudselt võtta $k_c = 0,4$, täpsustatud k_c väärtuse võib määrata /2/ p 7.3.2 järgi.

Kaudne pragudekontroll

Pragudekindluse kontroll ei ole vajalik hoone- konstruktsioonina töötaval plaadil paksusega $h \leq 200$ mm, kui on täidetud p 10.5.2 või /2/ p 9.3. ettekirjutused.

Muudel juhtudel ei ole normaalprao laiust vaja arvutusega kontrollida, kui vaadeldavas lõikes on rahuldatud tingimus $A_s \geq A_{s,min}$ ja kui samal ajal

a) pragunemisel eeskätt tõkestastest ei ületa varraste läbimõõd tabeliga 10.27 määratud suurust, kusjuures terase pinge (vt σ_s valemis (10.279)) leitakse vahetult pärast prao tekki- mist;

b) prao tekkimisel eeskätt otsesest koormusest on täidetud kas tabeli 10.27 või 10.28 nõu- ded. Terase pinge tuleks arvutada pragunenud ristlõike järgi asjakohases koormuskombinat- sioonis.

A_s tõmbearmatuuri tegelik ristlõikepindala

$A_{s,min}$ valemiga (10.279) määratav minimaalne armatuuri ristlõikepindala

Tabel 10.27. Armatuurivarda esialgne suurim läbimõõt ϕ_s^*

Terase pinge σ_s MPa	ϕ_s^* mm		
	$w_k = 0,4$ mm	$w_k = 0,3$ mm	$w_k = 0,2$ mm
160	40	32	25
200	32	25	16
240	20	16	12
280	16	12	8
320	12	10	6
360	10	8	5
400	8	6	4
450	6	5	—

Tabel 10.28. Varraste suurim vahekaugus pragudekontrolliks

Terase pinge σ_s MPa	Ribivarraste suurim vahekaugus a_s mm		
	$w_k = 0,4$ mm	$w_k = 0,3$ mm	$w_k = 0,2$ mm
160	300	300	200
200	300	250	150
240	250	200	100
280	200	150	50
320	150	100	—
360	100	50	—

Pinge σ_s tabelites 10.27 ja 10.28

Juhul a määratakse tabelis 10.27 näidatud arma- tuuri pinge vahetult pärast sunddeformatsiooni põhjustatud prao tekkimist, võttes valemis (10.278) $M_E = f_{ct,eff} W_{t,red}$. Sama pingega tuleks kontrollida, kas tegelik armatuuri ristlõikepindala $A_s \geq A_{s,min}$.

Juhul b määratakse tabelites 10.27 ja 10.28 esi- nev armatuuri A_s pinge σ_s praoga ristlõikes vale- miga (10.278), lähtudes tõenäolisest koormus- kombinatsioonist.

Varda suurima läbimõõdu täpsustamine

Paindel (vähemalt osa ristlõikest on surutud)

$$\phi_s = \phi_s^* \cdot \frac{f_{ct,eff}}{2,9} \cdot \frac{k_c h_{cr}}{2(h-d)} \quad (10.280)$$

Tõmbel (kogu ristlõige on ühtlaselt tõmmatud)

$$\phi_s = \phi_s^* \cdot \frac{f_{ct,eff}}{2,9} \cdot \frac{h_{cr}}{8(h-d)} \quad (10.281)$$

kus ϕ_s on varda täpsustatud suurim läbimõõt
 ϕ_s^* tabelis 10.27 antud varda esialgne suu- rim läbimõõt

h ristlõike üldkõrgus

h_{cr} tõmbeooni kõrgus vahetult enne prao tekkimist tõenäolise koormuskombi- natsiooniga korral

d kasuskõrgus välise armatuurikihi ras- kuskeskme suhtes

Üleni tõmmatud ristlõike korral on $(h-d)$ mini- maalne kaugus armatuurikihi keskmele betooni pinnani (kui armatuur ei paikne sümmeetriliselt, siis vaadeldakse iga pinda).

Lisanõuded talale kõrgusega $h \geq 1,0$ m

Kui talas kõrgusega $h \geq 1,0$ m on töötav pikiar- matuur kontsentreeritud ristlõike tõmmatud serva lähedale, tuleks pragude piiramiseks tala kül- g-pindades ette näha täiendav pikiaratuur. See peaks jaotuma ühtlaselt tõmbearmatuuri nivoo ja elemendi nulljoone vahel ning paiknema sees- pool range. Selle ristlõikepindala ei tohiks olla väiksem valemiga (10.279) määratud pindalast $A_{s,min}$ (võttes valemis $k = 0,5$ ja $\sigma_s = f_{yk}$ ning läh- tudes tõmbe juhust). Varraste vahekauguse ja läbimõõdu saab leida tabelite 10.27 ja 10.28 abil, võttes pinge σ_s võrdseks poolega piktõmbearma- tuuri pingest.

Kaldpragunemise kontroll

Pragunemise nihkejõudude toimel võib celdada vältituks, kui järgitakse punktides 10.5.1, 10.5.2 ja 10.5.3 antud põik-, väände- ja läbisurumis- armatuuri konstrueerimise reegleid.

Prao laiuse arvutamine

Normaalprao laiuse võib arvutada valemiga

$$w_k = s_{r,max} (c_{sm} \quad c_{cm}) \quad (10.282)$$

kus $s_{r,max}$ pragude maksimaalne vahekaugus

ϵ_{sm} armatuuri keskmine suhteline defor- matsioon asjakohasel koormus- kombinatsioonil, sisaldab ka sund- deformatsioone ja võtab arvesse pragudevahelise betooni tõmbejäikuse mõju. Arvestatakse ainult lisadefor- matsiooni, mis esineb pärast betooni nulldeformatsiooni saavutamist arma- tuuri nivool

ϵ_{cm} betooni keskmine suhteline deformat- sioon pragude vahel

Keskmine pragudevaheline deformatsioon

$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}$ võib arvutada valemiga

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_1 \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} (1 + \alpha_c \rho_{p,eff})}{E_s} \geq 0,6 \frac{\sigma_s}{E_s} \quad (10.283)$$

kus σ_s on praoga ristlõike järgi arvatud tõmbe-armatuuri pinge, vt valem (10.278), kus M_E on paindemoment vaadeldaval koormusel

$$\alpha_c = E_s / E_{cm}$$

$$\rho_{p,eff} = A_s / A_{c,eff}$$

$A_{c,eff}$ armatuuri ümbritseva tõmmatud betooni kasulik pind kõrgusega $h_{c,ef}$, kus $h_{c,ef}$ on vähim suurustest $2,5(h-d)$, $(h-x)/3$ või $h/2$ (vt joonis 10.82)

x survetsooni kõrgus praoga ristlõikes

k_1 on koormuse kestvusest olenev tegur: Lühiajalise koormuse korral $k_1 = 0,6$ Pikaajalise koormuse korral $k_1 = 0,4$

Pragude maksimaalne vahekaugus

Kui armatuur paikneb tõmbetsoonis vahekaugusega $a_s \leq 5(c + \phi/2)$, võib lõpliku maksimaalse pragude vahekauguse arvutada valemiga (10.284), vt joonis 10.83:

$$s_{r,max} = 3,4c + 0,425k_1k_2\phi/\rho_{p,eff} \quad (10.284)$$

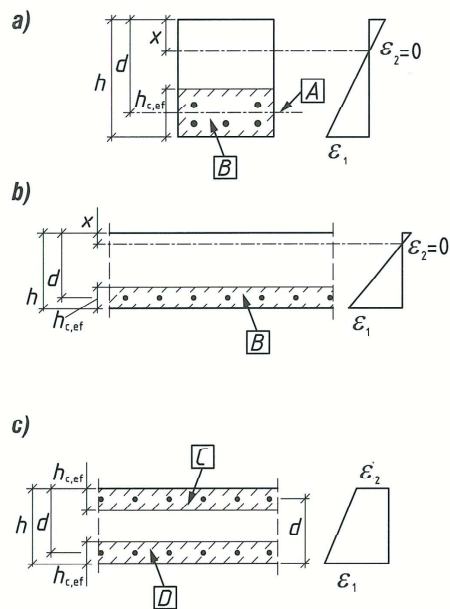
kus ϕ on varda läbimõõt. Kui ristlõikes kasutatakse erineva läbimõõduga vardaid, tuleks kasutada ekvivalentlääbimõõtu ϕ_{eq} . n_1 varda läbimõõduga ϕ_1 ja n_2 varda läbimõõduga ϕ_2 korral

$$\phi_{eq} = \frac{n_1\phi_1^2 + n_2\phi_2^2}{n_1\phi_1 + n_2\phi_2} \quad (10.285)$$

c pikiarmatuuri kaitsekiht

k_1 armatuuri nakkeomadusi arvestav tegur: kõrgnakkcga varrastel $k_1 = 0,8$, silvarrastel $k_1 = 1,6$

k_2 deformatsioonijaotust arvestav tegur: paindel $k_2 = 0,5$, tsentrilisel tõmbel $k_2 = 1,0$.



Joonis 10.82. Betooni kasulik pind (tüüpilised juhud). a – tala, b – plaat, c – tõmmatud element; A – terase raskuskeskme tasand, B – kasulik tõmmatud pind $A_{c,eff}$, C – ülemine kasulik tõmmatud pind $A_{ct,eff}$, D – alumine kasulik tõmmatud pind $A_{ch,eff}$

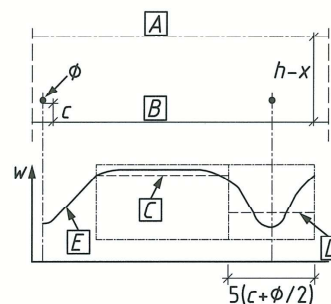
Ekstsentrilise tõmbe korral

$$k_2 = (\varepsilon_1 + \varepsilon_2) / (2\varepsilon_1) \quad (10.286)$$

kus ε_1 on suurem ja ε_2 väiksem praoga ristlõike järgi määratud tõmbedeformatsioon vaadeldava ristlõike servadel

Kui $a_s > 5(c + \phi/2)$ (vt joonis 10.83), võib võtta

$$s_{r,max} = 1,3(h-x) \quad (10.287)$$



Joonis 10.83. Prao laius w betooni pinnal olenevalt varda kaugusest.

A – nulljoon, B – betooni tõmmatud välispind, C – pragude vahekaugus valemi (10.287) järgi, D – pragude vahekaugus valemi (10.284) järgi, E – praotegelik laius

10.16.4. Lääbipainde piirseisund

Lubatud läbipaine

Konstruksiooni välimusest ja üldisest kasutatavusest tulenevaks tala, plaadi või konsooli arvutatud läbipainde lubatavaks suuruseks võib võtta $f_{k,adm} = l_{eff} / 250$, kus l_{eff} – elemendi arvutussille. Lääbipainde kompenseerimiseks võib kasutada eeltõusu. Raketisega antud eeltõus ei tohiks ületada suurust $l_{eff} / 250$.

Kui läbipaine võib kahjustada teisi vaadeldava konstruktsiooniga seotud elemente, siis pärast viimaste paigaldamist lubatud konstruktsiooni läbipaine sõltub kahjustatava elemendi või materjali iseloomust. Enamasti loetakse vastuvõetavaks suurust $f_{k,adm} = l_{eff} / 500$.

Elemendi jäikus on piisav, kui on rahuldatud tingimus

$$f_k \leq f_{k,adm} \quad (10.288)$$

kus f_k on tõenäolisele koormuskombinatsioonile vastav arvutusega leitud läbipaine.

Lääbipainde piirseisundit võib kontrollida kas

- piirates elemendi silde ja kasuskõrguse suhet (kaudne kontroll);
- võrreldes arvutusega leitud läbipainet f_k lubatud läbipaindega $f_{k,adm}$.

Lääbipainde kaudne kontroll

Kui hoone raudbetoonitalla või -plaadi silde ja kasuskõrguse suhe l/d ei ületa teatud piirväärtust $(l/d)_u$, siis võib eeldada, et konstruktsiooni läbipaine ei ületa lubatavat suurust $f_{k,adm}$. Suhte $(l/d)_u$ väärtuse võib määrata, korrutades valemit (10.289), a) ja (10.289), b) saadud põhisuhtet $(l/d)^*$ armatuuri tüüpi ja muid muutujaid arvesse võtvate parandusteguritega:

$$(l/d)_u = k_1 k_2 k_3 k_\sigma (l/d)^* \quad (10.289)$$

$$\left(\frac{l}{d}\right)^* = K \left[11 + 1,5\sqrt{f_{ck}} \frac{\rho_0}{\rho} + 3,2\sqrt{f_{ck}} \left(\frac{\rho_0}{\rho} - 1\right)^{3/2} \right] \quad (10.289a)$$

kui $\rho \leq \rho_0$

$$\left(\frac{l}{d}\right)^* = K \left[11 + 1,5\sqrt{f_{ck}} \frac{\rho_0}{\rho - \rho'} + \frac{1}{12}\sqrt{f_{ck}} \sqrt{\frac{\rho'}{\rho_0}} \right] \quad (10.289b)$$

kui $\rho > \rho_0$

kus K on konstruktsiooni skeemi arvesse võetav tegur, vt tabel 10.29

$\rho_0 = 10^{-3} \sqrt{f_{ck}}$ on armeerimisteguri võrdlusväärtus

ρ arvutuskoormuse põhjustatud paindemomendi vastuvõtmiseks vajalik tõmbearmeerimistegur silde keskel (konsooli korral toel)

ρ' arvutuskoormuse põhjustatud paindemomendi vastuvõtmiseks nõutav survearmeerimistegur silde keskel (konsooli korral toel)

f_{ck} ühik on MPa

Valemites (10.289) ei ole arvestatud eeltõusu.

Parandustegurid k_i võetakse järgmiselt:

- survetsoonis asuva plaadiga ribiplaatriistolõikel, kui plaadi ja ribi laiuste suhe $b/b_w > 3$, $k_1 = 0,8$
- elemendil sildega üle 7 m (välja arvatud lameplaadid), millele toetuvad läbipainde suhtes tundlikud vaheseinad, $k_2 = 7/l_{\text{eff}}$ (l_{eff} meetrites)
- lameplaadil suurema sildega üle 8,5 m, millele toetuvad läbipainde suhtes tundlikud vaheseinad, $k_3 = 8,5/l_{\text{eff}}$
- muudel juhtudel on tegurite k_1 kuni k_3 suurus 1,0
- $k_\sigma = 310/\sigma_s$, kus σ_s (MPa) on tõenäolise koormuskombinatsiooni põhjustatud armatuuri pingetala või plaadi silde keskel või konsooli toel olevas ristlõikes. Võib loobuda σ_s määramisest ja võtta

$$k_\sigma = \frac{500 A_{s,\text{req}}}{f_{yk} A_{s,\text{prov}}} \quad (10.290)$$

kus $A_{s,\text{prov}}$ on armatuuri tegelik ristlõikepindala vaadeldavas lõikes

$A_{s,\text{req}}$ kandepiir seisundis nõutav armatuuri ristlõikepindala samas lõikes

(l/d)^{*} väärtused enam levinud juhtudele (C30, $\sigma_s = 310$ MPa, erinevad konstruktsioonisteedid ning armeermistegurid $\rho = 0,5\%$ ja $\rho = 1,5\%$) on toodud tabelis 10.29.

Läbipainde arvutus

Läbipainde arvutamisel eeldatakse tõenäolise koormuse pikaajalist toimet.

Läbipainde arvutamisel tuleb arvesse võtta pragude mõju elemendi jäikusele. Vajadusel tuleb arvestada ka roomet ja mahukahanemist, samuti tõmmatud betooni kaasatõttamist pragudevahelisel alal ja eelneva koormamise põhjustatud pragusid.

Raudbetoonelemendi läbipainet mõjutab suur hulk kindlalt määramata tegureid, mistõttu ülemääratult komplitseeritud arvutusel ei ole mõtet.

Tabel 10.29. Pikisurvejõu raudbetoonelemendi põhisuhte sille/kasuskõrgus (l/d)^{*}

Konstruktsiooni liik	K	Põhisuhe (l/d) [*]	
		Kõrgelt pingestatud betoon	Madalalt pingestatud betoon
		$\rho = 1,5\%$	$\rho = 0,5\%$
Lihttala; ühes või kahes suunas töötav vabalt toetatud plaat	1,0	14	20
Jätkuvtala või ühes suunas töötava plaadi äärmise sille või kahes suunas töötava ja üle pikema serva jätkuva plaadi äärmise sille	1,3	18	26
Jätkuvtala või ühes või kahes suunas töötava plaadi keskmine sille	1,5	20	30
Punkttoetusega plaat (lameplaat) (määratakse pikema silde järgi)	1,2	17	24
Konsool	0,4	6	8

Märkused. 1. Üldiselt on tabeli väärtused antud konservatiivsetena, mistõttu otsene arvutus võimaldab sageli kasutada saledamat elementi.

2. Kahes suunas töötavat plaati tuleks kontrollida lühema silde, lameplaati pikema silde suunas.
3. Tuginedes praktikale on tabelis lameplaadi korral lähtutud silde kesklõike suuremast läbipaindest postide suhtes kui 1/250 sillet.

Pragunemata ja täispragunenud ristlõige

Ristlõike töötamisel eristatakse kahte olukorda:

- pragunemata olukord, mis esineb, kui ristlõikes $\sigma_{ct,\text{max}} \leq f_{ctm}$ ehk painde korral $M_{Ek} \leq M_{cr} = f_{ctm} W_{t,\text{red}}$
- täispragunenud olukord, kui $\sigma_{ct,\text{max}} > f_{ctm}$ ehk painde korral $M_{Ek} > M_{cr}$

kus $\sigma_{ct,\text{max}}$ on koormuse põhjustatud betooni suurim tõmbepinge praota ristlõikes,

$$\text{painde korral } \sigma_{ct,\text{max}} = \frac{M_{Ek}}{W_{t,\text{red}}} \quad (10.291)$$

M_{Ek} vaadeldava koormuse põhjustatud paindemoment ristlõikes

M_{cr} normaalpragu põhjustav paindemoment, painde korral

$$M_{cr} = f_{ctm} W_{t,\text{red}} \quad (10.292)$$

Kui on võimalik näidata, et ei esine telgtõmbepingeid (kaasa arvatud roomest või temperatuurikoormusest), võib kasutada f_{ctm} asemel paindetõmbetugevust $f_{ctm,\text{fl}}$, vt valem (10.5).

Pragudeta ja pragudega element

Element, milles koormuse põhjustatud betooni tõmbepinge σ_{ct} jääb kõigis lõigetes väiksemaks betooni tõmbetugevusest f_{ctm} , käsitatakse pragudeta elemendina.

Element, mille puhul eeldatakse pragude tekkimist, loetakse töötavaks pragunemata seisundi ja täispragunenud seisundi vahelises olukorras. Valdavalt paindele töötava elemendi käitumist võib kirjeldada parameetri α abil:

$$\alpha = \zeta \alpha_{II} + (1 - \zeta) \alpha_I \quad (10.293)$$

kus α on vaadeldav deformatsiooniparameeter, näiteks suhteline deformatsioon, telje kõverus või pööre (lihtsustatult võib parameetrit α vaadelda ka läbipaindena)

α_I pragunemata seisundi järgi arvatud parameetri α väärtus

α_{II} täispragunenud seisundi järgi arvatud parameetri α väärtus

ζ pragudevahelise betooni tõmbejäikust arvesse võttev jaotustegur

$$\zeta = 1 - \beta \left(\frac{\sigma_{sr}}{\sigma_s} \right)^2 \quad (10.294)$$

Praota ristlõikele $\zeta = 0$.

β tegur, mis võtab arvesse koormuse kestvuse või korduvuse mõju keskmisele suhtelisele deformatsioonile: ühekordsel lühiajalisel koormamisel $\beta = 1,0$, kestval või paljutsüklilisel korduval koormamisel $\beta = 0,5$

σ_s praoga lõike põhjal arvatud tõmbearmatuuri pingetala vaadeldavast koormusest

σ_{sr} praoga lõike põhjal arvatud tõmbearmatuuri pingetala esmaselt pragu põhjustatud koormusest

Suhte σ_{sr}/σ_s võib painde korral asendada suhtega M_{cr}/M_{Ek} ja puhta tõmbe korral suhtega N_{ct}/N_{Ek} , kus M_{cr} on pragu põhjustav paindemoment ja N_{cr} pragu põhjustav normaaljõud.

Roome mõju

Koormuse põhjustatud läbipainde määramisel võib roome lõppmõju arvesse võtta, asendades arvutuses betooni elastsusmooduli E_{cm} tegeliku elastsusmooduliga

$$E_{c,\text{eff}} = \frac{E_{cm}}{1 + \varphi(\infty, t_0)} \quad (10.295)$$

kus lõplik roometegur $\varphi(\infty, t_0)$ saadakse jooniselt 10.5.

Mahukahanemise mõju

Mahukahanemise mõju võib arvesse võtta mahukahanemise põhjustatud teljekõveruse $1/r_{cs}$ kaudu:

$$\frac{1}{r_{cs}} = \varepsilon_{cs} \alpha_c \frac{S}{I} \quad (10.296)$$

kus ε_{cs} on mahukahanemisindeformatsioon

$S = A_{s1}(d_1 - x) - A_{s2}(x - d_2)$ armatuuri ristlõikepinna staatiline moment normaalõike nulljoont läbiva telje suhtes

I normaallõike inertsimoment
 $\alpha_e = E_s / E_{c,eff}$ armatuuri elastsusmoduli ja betooni tegeliku elastsusmoduli suhe
 A_{s1}, A_{s2} tõmbe- ja survearmatuuri ristlõikepindala
 d_1, d_2 tõmbe- ja survearmatuuri ristlõike raskuskeskme kaugus ristlõike surutud servast

Vastavalt olukorrale arvutatakse I ja x valemis (10.296) kas pragunemata ristlõike või täispragunenud ristlõike järgi.

Painutatud elemendi läbipaine

Koormuse põhjustatud ja betooni roomet arvesse võttes elemendi telje kõverus:

pragunemata ristlõikes

$$\frac{1}{r_i} = \frac{M_{Ek}}{E_{c,eff} I_i} \quad (10.297)$$

täispragunenud ristlõikes

$$\frac{1}{r_{II}} = \frac{M_{Ek}}{E_{c,eff} I_{II}} \quad (10.298)$$

mingis pragude piirkonnas olevas ristlõikes

$$\frac{1}{r_{cr}} = \frac{M_{Ek}}{E_{c,eff} I_{cr}} \quad (10.299)$$

Valemities (10.297)...(10.299):

$I_1 = I_{red}$ pragunemata ristlõike inertsimoment (p 10.16.1)

I_{II} täispragunenud ristlõike inertsimoment

I_{cr} inertsimoment vaadeldavas olukorras pärast prao tekkimist:

$$I_{cr} = \zeta I_{II} + (1 - \zeta) I_1 \quad (10.300)$$
 ζ jaotustegur, arvutatakse valemiga (10.294).

Läbipaine määramise üldjuht

Muutuva jäikusega painutatud elemendi läbipaine mingis lõikes a

$$f_a = \int_0^a M_x \frac{1}{r_x} dx \quad (10.301)$$

kus M_x^* on lõikes a rakendatud otsitava läbipaine suunalise ühikjõu põhjustatud paindemoment lõikes x

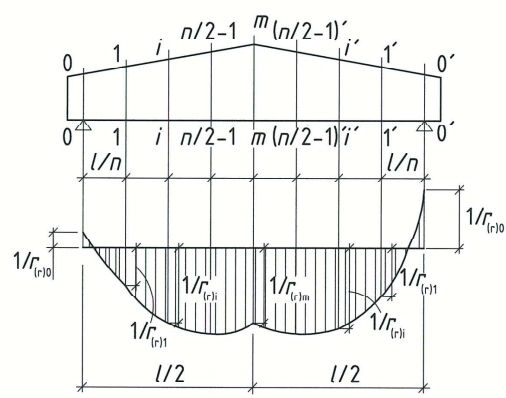
$\frac{1}{r_x}$ elemendi telje üldine kõverus lõikes x
 Läbipaine võib leida numbrilise integreerimisega.

Läbipaine silde keskel

$$f_m = \frac{l^2}{12n^2} \left(\frac{1}{r_{(y_0)}} + \frac{1}{r_{(y_n)}} + 6 \sum_{i=1}^{n-1} i \left(\frac{1}{r_{(y_i)}} + \frac{1}{r_{(y_{i+1})}} \right) + (3n-2) \frac{1}{r_m} \right) \quad (10.302)$$

kus (joonis 10.84)
 $\frac{1}{r_{(y_0)}}$ ja $\frac{1}{r_{(y_n)}}$ on elemendi kõverus vasakul ja paremal toel

$\frac{1}{r_{(y_i)}}$, $\frac{1}{r_{(y_{i+1})}}$, $\frac{1}{r_m}$ elemendi kõverus lõikes i , sellele sümmeetrilises lõikes i' ja silde keskel
 n võrdsete lõikude arv, milleks element on jaotatud; n peab olema paarisarv ja mitte väiksem kui 6.



Joonis 10.84. Muutuva kõrgusega elemendi telje kõveruse epiüür

Kõverused $1/r$ valemities (10.301) ja (10.302) määratakse pragunemata ristlõikele valemiga (10.297), praoga ristlõikele valemiga (10.299).

Mahukahanemise arvesse võtmisel

$$\frac{1}{r} = \frac{1}{r_{cr}} + \frac{1}{r_{cs,cr}} \quad \text{või} \quad \frac{1}{r} = \frac{1}{r_{cr}} + \frac{1}{r_{cs,I}} \quad (10.303)$$

Pragudeta ristlõikele arvutatakse $1/r_{cs,I}$ valemiga (10.296), praoga ristlõikele arvutatakse $1/r_{cs,cr}$ valemitega (10.293) ja (10.296).

Sümmeetrilise koormusega sümmeetriline element

Läbipaine silde keskel saab leida valemiga

$$f_m = \frac{l^2}{216} \left(\frac{1}{r_0} + 6 \frac{1}{r_1} + 12 \frac{1}{r_2} + 8 \frac{1}{r_m} \right) \quad (10.303)$$

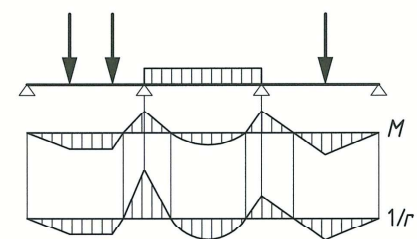
kus $1/r_0$, $1/r_m$ on elemendi kõverus toel ja silde keskel

$1/r_1$, $1/r_2$ elemendi kõverus $l/6$ ja $l/3$ kaugusel toelõikest

Kõverused leitakse analoogiliselt ülaltooduga.

Konstantse kõrgusega element

Konstantse kõrgusega konstruktsioonieleменти korral, kus praod tekivad igas ühemärgilises paindemomendiga piirkonnas, võib igas sellises piirkonnas arvutada kõveruse vaid kõige suurema paindemomendiga lõikes ja selle piirkonna teistes lõigetes oletada, et telje kõverus on proportsionaalne paindemomendiga (joonis 10.85). Läbipaine arvutatakse valemiga (10.302) või (10.303).



Joonis 10.85. Konstantse kõrgusega elemendi paindemomendi ja telje kõveruse epiüür

Lihttala ja konsool

Lihttala või konsooli läbipaine võib määrata elastse arvutuskeemi järgi, kasutades ehitusmehaanika (tugevusõpetuse) valemied. Koormuse kestuse ja normaalpragude mõju arvesse võtmiseks tuleks elemendi paindejäikuseks võtta

$E_{c,eff} I_{cr}$ kus $E_{c,eff}$ on valemiga (10.295) määratud lõplikku roome deformatsiooni arvesse võttes betooni tegelik elastsusmodul, I_{cr} elemendi suurima paindemomendiga ristlõike valemiga (10.300) määratud inertsimoment

Valemis (10.300) leitakse

- jaotustegur ζ valemiga (10.294), võttes seal $\sigma_{sr} / \sigma_s = M_{cr} / M_{Fk}$, kus M_{Fk} on lihttala suurim sildemoment või konsooli toemoment

- pragunemata ristlõike inertsimoment I_1 ja täispragunenud ristlõike inertsimoment I_{II} p 10.16.1 järgi

Elastsusmodulite suhe $\alpha_s = \alpha_e = E_s / E_{c,eff}$

Mahukahanemise põhjustatud läbipaine

Kõverus mahukahanemisest pragudeta ristlõikes saadakse valemities (10.296)

$$\frac{1}{r_{cs,I}} = \epsilon_{cs} \alpha_e \frac{A_{s1}(d_1 - x_1) - A_{s2}(x_1 - d_2)}{I_1} \quad (10.304)$$

Kõverus mahukahanemisest täispragunenud ristlõikes

$$\frac{1}{r_{cs,II}} = \epsilon_{cs} \alpha_e \frac{A_{s1}(d_1 - x_{II}) - A_{s2}(x_{II} - d_2)}{I_{II}} \quad (10.305)$$

kus x_1 ja I_1 ning x_{II} ja I_{II} leitakse p 10.16.1 järgi.

Lõplik kõverus mahukahanemisest

$$\frac{1}{r_{cs,cr}} = \zeta \frac{1}{r_{cs,II}} + (1 - \zeta) \frac{1}{r_{cs,I}} \quad (10.306)$$

Mahukahanemise põhjustatud läbipaine:

- lihttala silde keskel

$$f_{cs} = \frac{1}{r_{cs,cr}} \cdot \frac{l_{eff}^2}{8} \quad (10.307)$$

- konsooli otsas

$$f_{cs} = \frac{1}{r_{cs,cr}} \cdot \frac{f_{eff}^2}{2} \quad (10.308)$$

Üldine läbipaine saadakse koormuse ja mahukahanemise põhjustatud läbipainete summana.

Alternatiivne lahenduskäik

Alternatiivina ülalloodule võib arvutada koormuse ja mahukahanemise põhjustatud läbipainde f_I pragunenema ristlõike korral ja läbipainde f_{II} täispragunenud ristlõike korral. Üldine läbipaine saadakse sellisel juhul valemiga

$$f_{cr} = \zeta f_{II} + (1 - \zeta) f_I \quad (10.309)$$

kus ζ leitakse elemendi suurima paindemomendiga lõikes.

KASUTATUD KIRJANDUS

1. EVS-EN 1990:2002. Eurokoodeks. Ehituskonstruksioonide projekteerimise alused
2. EVS-EN 1992-1-1:2005+NA:2007. Eurokoodeks 2: Betoonkonstruktsioonide projekteerimine. Osa 1-1: Üldreeglid ja reeglid hoonetele (varasem tähis EVS-EN 1992-1-1:2007).
3. EVS-EN 1992-1-1/NA:2007. Eurokoodeks 2: Betoonkonstruktsioonide projekteerimine. Osa 1-1: Üldreeglid ja reeglid hoonetele. Eesti standardi rahvuslik lisa
4. EVS-EN 1992-1-2:2005+NA:2008. Eurokoodeks 2: Betoonkonstruktsioonide projekteerimine. Osa 1-2: Üldreeglid. Tulepüsisus
5. EVS-EN 206-1:2007. Betoon. Osa 1: Spetsifitseerimine, toimivus, tootmine ja vastavus
6. EVS-EN 10080-1:2006. Betooni sarrusteras. Keevitatav sarrusteras. Üldsääted
7. EVS-EN 13369:2006. Betoonvalmistoodete üldeeskirjad
8. EVS 814:2003. Normaalebetooni külma-kindlus. Määratlused, spetsifikatsioonid ja katsemeetodid
9. EVS-EN 12390-8:2002. Kivistunud betooni katsetamine. Osa 8: Surve all oleva vee sisestungimissügavus
10. EN ISO 17660. Permitted welded process for reinforcement
11. EPN 2/AM-1 Raudbetoonkonstruktsioonid. Eelpingestamata raudbetoonelementide kandepiiriseisundid. Abimaterjal EPN 2.1.1 kasutajale. Eesti Ehitusteave 1999
12. СНиП 52-01-2003. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения
13. СП 52-101-2003. Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры. Свод правил по проектированию и строительству
14. Betoon ja raudbetoon. Spetsifitseerimine, tehnoloogia, kvaliteet, vastavushindamine. BÜ2 2006. Eesti Betooniühing. Tallinn 2007
15. Deutscher Ausschuss für Stahlbeton. Bemessungshilfsmittel zu Eurocode 2, Teil 1 (DIN V ENV 1922 Teil 1-1, Ausgabe 06.92). Planung von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken. 2. ergänzte Auflage. Berlin 1992
16. RIL 131-1991. Betoninormit. Rakennustyön valvonta. Kantavat rakenteet. Betonirakenteet. Mitoitustaulukot ja käyrästöt. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto 1991
17. Matti V. Leskelä. Betonirakenteiden suunnittelu ja mitoitus 2005. BY 210, Helsinki 2006

10

11. KIVIKONSTRUKTSIOONID

Väino Voltri

SISUKORD

11.1. TERMINID JA TÄHISED	364
11.2. MATERJALID	367
11.2.1. Müürikivid	367
11.2.2. Mördid	369
11.2.3. Täitebetoon	372
11.2.4. Armatuur	372
11.3. MÜÜRITISE STRUKTUUR	372
11.3.1. Müüritise töötamine	372
11.3.2. Müüritise seotis	374
11.4. MÜÜRITISE TUGEVDAMINE	376
11.4.1. Survetugevus	376
11.4.2. Nihketugevus	378
11.4.3. Paindetugevus	379
11.5. MÜÜRITISE DEFORMATSIOONID	379
11.5.1. Koormusdeformatsioonid	379
11.5.2. Muud deformatsioonid	380
11.6. MÜÜRITISE TUGEVDAMINE	381
11.6.1. Kaudne tugevdamine	381
11.6.2. Tugevdamine ladumise ajal	381
11.6.3. Olemasoleva müüri tugevdamine	383
11.6.4. Konstruktiivne armeerimine	386
11.7. MÜÜRITISE TUGEVDAMISE ARVUTUS	387
11.7.1. Arvutuse alused	387
11.7.2. Vertikaalkoormusega armeerimata müür	388
11.7.3. Pilastriga sein	393
11.7.4. Avadega sein	394
11.7.5. Toesõlmed	398
11.7.6. Ankrud ja sidemed	400
11.8. HOONE STABIILSUS	402
Lisa 11.1. Müüritise omadused	404
Lisa 11.2. Seinade arvutuskõrguse tegurid	407
Lisa 11.3. Arvutuspinna müüritise kaudse tugevuse määramisel	407
Lisa 11.4. Pingejaotusepõlvkonnas	408
KASUTATUD KIRJANDUS	410

Kivikonstruktsioonide käsitlus põhineb standardil EVS 1996-1-1:2008 ja ehitusnormil Kivikonstruktsioonid (*Eurocode 6*). Eeldatakse materjalide valmistamist ja katsetamist vastavate EN-standardite järgi. Kivimüüritist vaadeldakse kui liitmaterjali, mille komponentideks on kivid, mört, täitebetoon ja armatuur ning millel on üldjuhul tugevus ja muud vajalikud omadused. Võrreldes käsiraamatu eelmise trükiga on mõningaid avaldisi ja juhiseid täpsustatud vastavalt *Eurocode 6* muudatustele. Seejuures on püütud tähtsustada kasutatavaid termineid Eesti praktikaga.

11