

- 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  $a_c$ , tegurite  $\alpha_{s1}$ ,  $\alpha_{s1c}$ ,  $\alpha_{s1c,u}$ ,  $\alpha_{s2}$ ,  $\alpha_{s2c,u}$  ja  $\alpha_v$  kaudu ning määratakse  $k_0$ ;
- arvutatakse tegurid  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ , surveetsooni suhteline kõrgus  $\xi$  ja surveetsooni täpsustatud kõrgus  $x = \xi d_1$  ning leitakse sellele vastavad armatuuri pinged  $\sigma_{s1}$  ja  $\sigma_{s2}$ ;
- kui armatuuri pinged jäävad piiridesse  $f_{yd} \leq \sigma_{s1} \geq -f_{yd}$  ja  $f_{yed} \geq \sigma_{s2} \geq -f_{yed}$ , siis on leitud  $x$  lõplik. Vastasel juhul korratakse arvutust, lähtudes viimases surveetsooni 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, mistöttu  $y = h$  ja  $x \geq h/\lambda$ . Sellisel juhul ristlõikes betooniga ja armatuuri  $A_{s2}$  vastu võetavad survejõud on konstantsed ning ristlõike kandevõime suurus oleneb armatuuri  $A_{s1}$  survepinge värtustest kandepeirseisundis. Ristlõike kandevõimet kontrollitakse paindemomendi  $M_{Ed}$  ja normaaljõu  $N_{Ed}$  suhtes. Normaaljõud  $N_{Ed}$  loetakse rakendatuks ristlõike plastses raskuskeskmes, so punktis, kus tsentrilisel surve paikneb betooni ja terase piirsisejõudude resultant. Plastse raskuskeskme kaugus ristlõike enamsurutud servast  $x_p$  leitakse tsentriliselt surutud ristlõike momentide tasakaalutingimusest piirlukorras

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

Ristlõike kandevõime on tagatud, kui samaaegselt on rahuldatud tugevustingimused

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

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

Toodud valemites (vt alapunkt  $A_c$  ja  $S_c$  arvutamise valemid)

$A_{c0}$  betoonristlõike kogupindala

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

## 10.9. PAINE

Vaadeldakse surutud ja tömmatud serva juurde koondatud armatuuri ristkülikristlõiget (joonis 10.46) ja surveetsoonis asuva plaatiga ribiplatristlõiget (joonis 10.49), mis vastavad punkti 10.8 üldsatetele. Erinevalt punktist 10.8 käsitleetakse elemente, kus betooni tugevusklass ei ole suurem kui C50/60 ja  $f_{ck} \leq 50 \text{ MPa}$ ,  $\lambda = 0.8$ ,  $\eta = 1.0$ ,  $\epsilon_{cu3} = 0.0035$ .

Mõisted ja abisuurused

$x$  surveetsooni kõrgus,

$y = 0.8x$  surveetsooni arvutuskõrgus,

$\xi$ ,  $\omega$ ,  $\mu$  ja  $\zeta$  vt tabel 10.25

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

$\alpha_{s1}$ ,  $\alpha_{s1c,u}$ ,  $\alpha_{s2c}$  ja  $\alpha_{s2c,u}$  vt valemid (10.95), kus

$$\eta = 1.0$$

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

Tabel 10.25. Tegurid  $\omega$ ,  $\xi$ ,  $\mu$  ja  $\zeta$  ( $\lambda = 0.8$ ,  $\eta = 1.0$ )

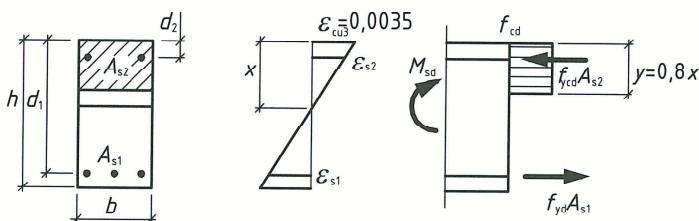
$\omega = \frac{y}{d_1}$	$\xi = \frac{x}{d_1}$	$\mu$	$\zeta$	$\omega = \frac{y}{d_1}$	$\xi = \frac{x}{d_1}$	$\mu$	$\zeta$	$\omega = \frac{y}{d_1}$	$\xi = \frac{x}{d_1}$	$\mu$	$\zeta$
0,01	0,013	0,010	0,995	0,26	0,325	0,226	0,870	0,51	0,638	0,380	0,745
0,02	0,025	0,020	0,990	0,27	0,338	0,234	0,865	0,52	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  $\xi = \frac{x}{d_1}$   $\omega = \frac{y}{d_1} = 0,8\xi$   $\zeta = 1 - 0,5\omega$   $\mu = \omega(1 - 0,5\omega)$   $\omega = 1 - \sqrt{1 - 2\mu}$

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

## 10.9.1. Ristkülikristlõige

### Survearmatuuriga ristlõige



Joonis 10.46. Ristkülikristlõike deformatsiooni- ja pingegaotus ( $f_{ck} \leq 50 \text{ MPa}$ )

### Kandevõime kontroll

Tugevustingimus:

$$M_{Ed} \leq M_{Rd} = f_{cd} b y (d_1 - 0,5y) + \sigma_{s2} A_{s2} (d_1 - d_2) \quad (10.110)$$

Arvutus oleneb surveetsooni kõrgusest

$$x = \frac{f_{yd} A_{s1} - f_{ycd} A_{s2}}{0,8 f_{cd} b} \quad (10.111)$$

a)  $x \leq x_c = \xi_c d_1$

a1) Kui  $x \geq \xi_{c2} d_2$ , siis tugevustingimus (10.110)

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

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

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

$\lambda_1 = 0,625(\alpha_{s1c,u} - \alpha_{s2c,u}) \quad (10.112)$

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

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

Veaga varu kasuks võib kandevõimet kontrollida avaldisega  $M_{Ed} \leq M_{Rd} = f_{yd} A_{s1} (d_1 - d_2)$  (10.114)

b)  $x > \xi_c d_1$

Survetsooni suhtelise kõrguse  $\xi$  täpsustatud suurus leitakse valemiga (10.99), võttes seal

$\lambda_1 = -0,625(\alpha_{s1c,u} + \alpha_{s2c,u}) \quad (10.115)$

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

Tugevustingimus (10.110)  $\sigma_{s2} = f_{ycd}$

Veaga varu kasuks võib kandevõimet kontrollida avaldisega

$M_{Ed} \leq M_{Rd} = \mu_c f_{cd} b d_1^2 + f_{ycd} A_{s2} (d_1 - d_2) \quad (10.117)$

### Armatuuri $A_{s1}$ ja $A_{s2}$ dimensioonimine

Antud paindemomendi  $M_{Ed}$  korral

$$A_{s2} = \frac{M_{Ed} - \mu_c f_{cd} b d_1^2}{f_{ycd} (d_1 - d_2)} \quad (10.118)$$

$$A_{s1} = \frac{\omega_c f_{cd} b d_1}{f_{yd}} + \frac{f_{ycd}}{f_{yd}} A_{s2} \quad (10.119)$$

Kui  $\mu_c > 0,4$ , siis võib pikiammatuuri kogupindala mõnevõrra vähendada, võttes

$$A_{s2} = \frac{M_{Ed} - 0,4 f_{cd} b d_1^2}{f_{ycd} (d_1 - d_2)} \quad (10.120)$$

$$A_{s1} = \frac{0,55 f_{cd} b d_1}{f_{yd}} + \frac{f_{ycd}}{f_{yd}} A_{s2} \quad (10.121)$$

Kui valemest (10.118) või (10.121)  $A_{s2} < 0$ , ei ole arvutuslik survearmatuur vajalik.

### Armatuuri $A_{s1}$ dimensioonimine

Antud  $A_{s2}$  korral

$$A_{s1} = \frac{\omega f_{cd} b d_1}{f_{yd}} + \frac{f_{ycd}}{f_{yd}} A_{s2} \quad (10.122)$$

kus  $\omega$  võetakse tabelist 10.25 sõltuvalt tegurist

$$\mu = \frac{M_{Ed} - f_{ycd} A_{s2} (d_1 - d_2)}{f_{cd} b d_1^2} \quad (10.123)$$

Kui valemest (10.123)  $\mu > \mu_c$ , siis ei ole surveetsooni etteantud armatuur piisav ja arvutus tuleks teha valemitega (10.118) ja (10.119). Kui  $\mu < 0$ , siis võib võtta

$$A_{s1} = \frac{M_{sd}}{f_{yd} (d_1 - d_2)} \quad (10.124)$$

### Survearmatuurita ristlõige ( $A_{s2} = 0$ )

Tugevustingimus:

$$M_{Ed} \leq M_{Rd} = f_{cd} b y (d_1 - 0,5y) \quad (10.125)$$

Survetsooni esialgne kõrgus

$$x = \frac{f_{yd} A_{s1}}{0,8 f_{cd} b} \quad (10.126)$$

a)  $x \leq \xi_c d_1$ , tugevustingimus (10.125)  $y = 0,8x$

b)  $x > \xi_c d_1$

Survetsooni suhtelise kõrguse  $\xi$  täpsustatud suurus leitakse valemiga (10.99), võttes seal

$$\lambda_1 = -0,625 \alpha_{s1c,u} \quad (10.127)$$

$$\lambda_2 = 1,25 \alpha_{s1c,u} \quad (10.128)$$

Tugevustingimus (10.110)  $\sigma_{s2} = f_{ycd}, y = 0,8 \xi d_1$

Veaga varu kasuks võib kandevõimet kontrollida avaldisega

$$M_{Ed} \leq M_{Rd} = \mu_c f_{cd} b d_1^2 \quad (10.129)$$

### Armatuuri $A_{s1}$ dimensioonimine

$$\text{Tegur } \mu = \frac{M_{sd}}{f_{cd} b d_1^2} \quad (10.130)$$

$$\text{Kui } \mu \leq \mu_c \text{ siis } A_{s1} = \frac{\omega f_{cd} b d_1}{f_{yd}} \quad (10.131)$$

$\omega$  võetakse  $\mu$  järgi tabelist 10.25.

Kui  $\mu > \mu_c$ , siis tuleb suurendada ristlõike mõõtmeid, valida kõrgem betooni klass või ette näha survearmatuur.

## 10.9.2. Ribiplaatristlõige

### Plaadi arvutuslaius

Plaadi arvutuslaiaeks  $b_{eff}$  võib võtta:

$$b_{eff} = \sum b_{eff,i} + b_w \leq b \quad (10.132)$$

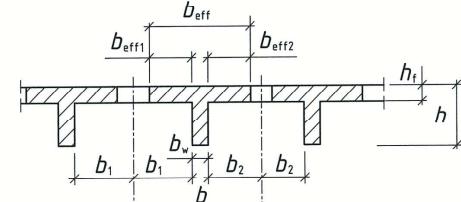
kus  $i = 1$  ja  $2$  ning

$$b_{eff,i} = 0,2b_i + 0,1l_0 \leq 0,2l_0 \text{ ja } b_{eff,i} \leq b_i \quad (10.133)$$

$$b, b_w, b_p, b_{eff,i}, b_{eff} \quad \text{vt joonis 10.47}$$

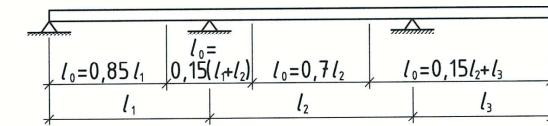
$l_0$  tala paindemomendi nullpunktide vahekaugus, mille ligikaudse suuruse võib võtta joonise 10.48 järgi (kui konsooli pikkus on väiksem kui pool naabersilide pikkust ja naabersillete pikuste suhe on vahemikus 2/3 kuni 1,5).

Suurt täpsust mittenõudvates arvutustes võib  $b_{eff}$  võtta ühtlaseks tala kogu silde ulatuses, kasutades selleks silderistlõikele vastavat suurust.



Joonis 10.47. Tala plaadi (vöö) arvutuslaius

Joonis 10.48. Konsooli jätkuvtalal paindemomendi nullpunktide ligikaudsed vahekaugused  $l_0$



## Nulljoon asub plaadis

Survetsoonis asuva plaadiga ribiplaatristlõike arvutus sõltub nulljoone asukohast.

Kui

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

või

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

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

## Nulljoon asub ribis

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

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

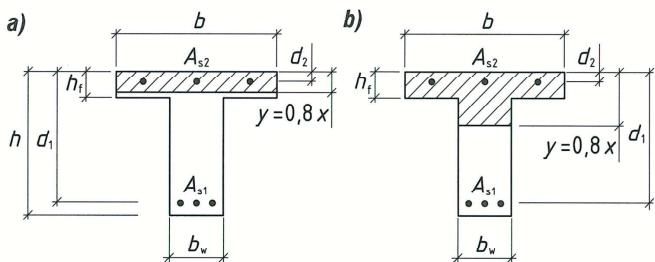
Survetsooni arvutuskõrgus leitakse valemiga

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

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

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

Mõnevõrra suurem kandevõime saadakse, arvutades ristlõiget p 10.8 järgi.



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

## Armatuuri $A_{s2}$ dimensioonimine

$$A_{s2} = \frac{M_{Ed} - \mu_c f_{cd}bd_1^2 - f_{cd}(b - b_w)h_f(d_1 - 0,5h_f)}{f_{ycd}(d_1 - d_2)} \quad (10.139)$$

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

## Armatuuri $A_{s1}$ dimensioonimine

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

kus  $\omega$  määratatakse tabelist 10.25 sõltuvalt tegurist

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

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

## 10.10. SURVE

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

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

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

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

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

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

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

Ristikülike tugevusarvutusel ei võeta üldist eksentsentrilisust  $e_{tot}$  väiksemaks kui 20 mm või  $h/30$ , kus  $h$  on ristikülike kõrgus.

Ristikülikulise ja summeetrilise ribiplaatristlõike pikijõu ekstsentrilisuseks armatuuri  $A_{s1}$  raskuskeskme suhtes võib võtta

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

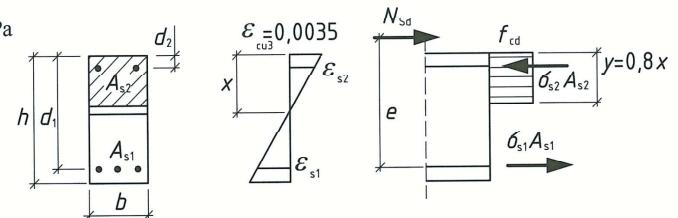
Abisuurused.

$x$  surveetsoonni kõrgus,

$$y = 0,8x \quad \text{survetsoonni arvutuskõrgus.}$$

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

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



Joonis 10.50. Surutud täisnurkse ristikülike deformatsiooni- ja pingegaotus

## 10.10.1. Ristikülikristlõige

### Ebasümmeetrilise armatuuriga ristlõige

#### Kandevõime kontroll

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

Kandevõime kontrollil on tugevustingimus (joonis 10.50):

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

Ristikülike kontroll toimub olenevalt surveetsoonni kõrgusest

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

$$a) x \leq \xi_c d_1$$

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

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

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

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

$$\lambda_2 = 1,25\alpha_{s2c,u} d_1 \quad (10.113)$$

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

$$b) x > \xi_c d_1$$

Survetsoonni suhtelise kõrguse  $\xi$  täpsustatud suurus leitakse valemiga (10.99), vt seal

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

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